

시뮬레이션 강의노트

2021년 9월 1일

충북대학교 공과대학
테크노산업공학과

정근채 교수

- 목차 -

- 강의계획서
- 주별 강의내용
- 보고서 양식(출석 인정용 보고서 #01 ~ #13)

00. 시뮬레이션 강의소개
01. 시뮬레이션이란 무엇인가?
02. 시뮬레이션의 기본 개념
03. 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04. 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션
05. ARENA 길라잡이 : 모델 3-1
06. ARENA 길라잡이 : 모델 3-2, 모델 3-3, 모델 3-4, 모델 3-5
07. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1
08. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2, 모델 4-3
09. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4
10. 세부 모델링 : 모델 5-1
11. 세부 모델링 : 모델 5-2
12. 세부 모델링 : 모델 5-3
13. 세부 모델링 : 모델 5-4

강의계획서

출력일시 : 2021-07-29 11:18:20

1. 교과목 정보

개설연도-학기	2021년	2학기	개설학과	테크노산업공학과
교과목번호-분반번호	6577008	01	교과목명	시뮬레이션
이수구분	전공선택		학점/시수	3-3-0
강의시간/강의실	수 01 ,02 ,03 [H-211(하이닉스)]			
수업방식	비대면			
강의언어		담당교수	정근채(전임교원)	
전화	043-261-2401	E-mail	kcjeong@cbnu.ac.kr	
강의정원	40	학과전화	043-249-1820	
선수과목		수강대상	학부(4학년)	
공학인증관련정보	인증영역	이론시수	실습시수	설계시수

2. 교과목 개요

강의개요	<ul style="list-style-type: none"> ● ARENA Simulation Software를 이용하여, 시뮬레이션의 기본개념, AREA 사용법, 생산시스템 기본 공정에 대한 모델링과 세부 모델링에 대한 이론을 학습한다. ● 시뮬레이션 모델 작성 실습을 통해 시뮬레이션을 활용한 생산현장 개선활동에 대한 이해도를 높인다. 					
학습목표	● 컴퓨터를 이용하여 가상으로 생산시스템을 모사할 수 있는 기법을 배운다.					
문제해결방법	해당사항 없음					
수업진행방법	강의	토의/토론	실험/실습	현장학습	개별/팀별 발표	기타
	50%	0%	50%	0%	0%	0%
	상세정보	<ul style="list-style-type: none"> ● 이론강의와 전산실습 병행 ● 이론강의(50%) + 전산실습(50%) = 합계 100% 				
평가방법	중간고사	기말고사	출석	퀴즈	과제	기타
	40%	40%	20%	0%	0%	0%
	상세정보	<ul style="list-style-type: none"> ● 중간고사(40%) + 기말고사(40%) + 출석(20%) = 합계 100% ● 출석점수 20점 만점 기준 : 1시간 결석 당 1점 감점, 1회 지각 당 0.5점 감점 				
프로그램 학습성과의 평가	해당사항 없음					
교재 및 참고문헌	1. 주교재 : ARENA를 이용한 시뮬레이션 6판, 문일경, 박양병, 조면식, 최원준, MacGraw-Hill Korea, 2015					
핵심역량과 연계성	주역량:E역량(전문성)					

3. 주별 강의계획

주차	수업내용	교재범위 및 과제물	비고
1	강의소개, 1장. 시뮬레이션이란 무엇인가?	출석보고서 #01	비대면 수업 (eCampus 활용)
2	2장. 시뮬레이션의 기본 개념	출석보고서 #02	비대면 수업 (eCampus 활용)
3	2장. 시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션	출석보고서 #03	비대면 수업 (eCampus 활용)
4	2장. 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 이용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제, M/U/1 Queue 문제	출석보고서 #04	비대면 수업 (eCampus 활용)
5	중간고사		비대면 수업 (eCampus 활용)
6	3장. ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습	출석보고서 #05	대면 수업 (등교 시험)
7	3장. ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습	출석보고서 #06	비대면 수업 (eCampus 활용)
8	4장. 기본공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습	출석보고서 #07	비대면 수업 (eCampus 활용)
	4장. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델		비대면 수업

시뮬레이션 주별 강의내용 (수요일)

(공지사항, 강의노트 : <https://cbnu.blackboard.com>)

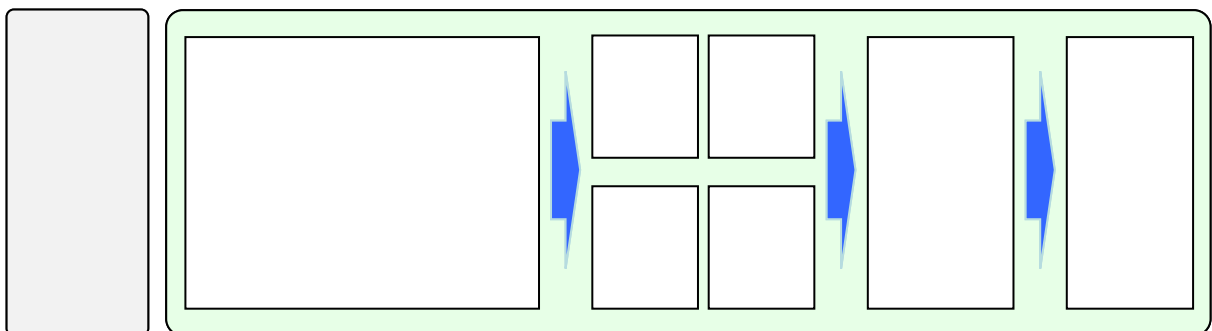
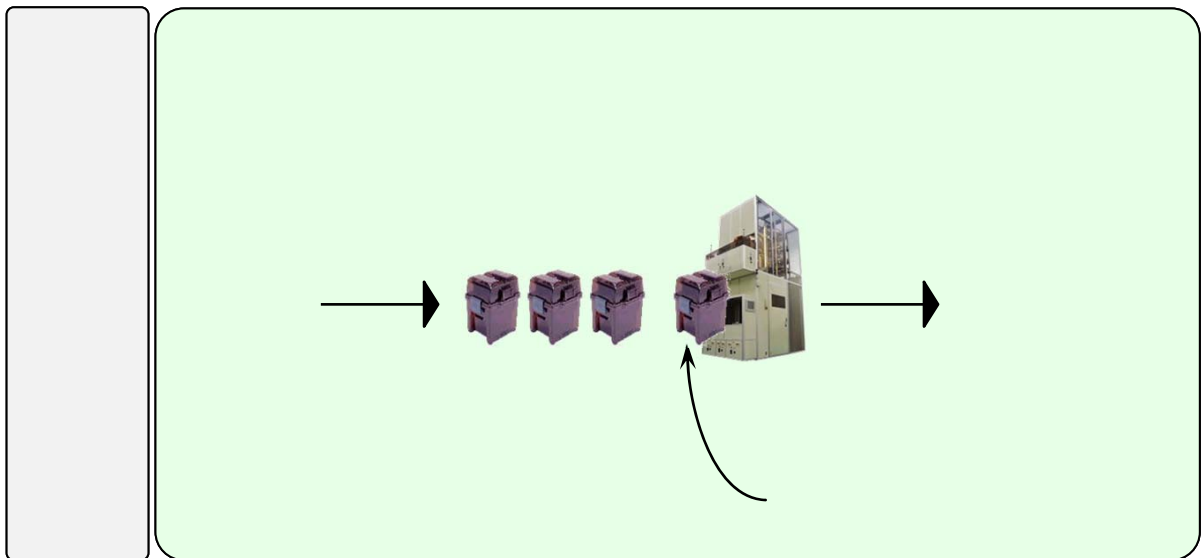
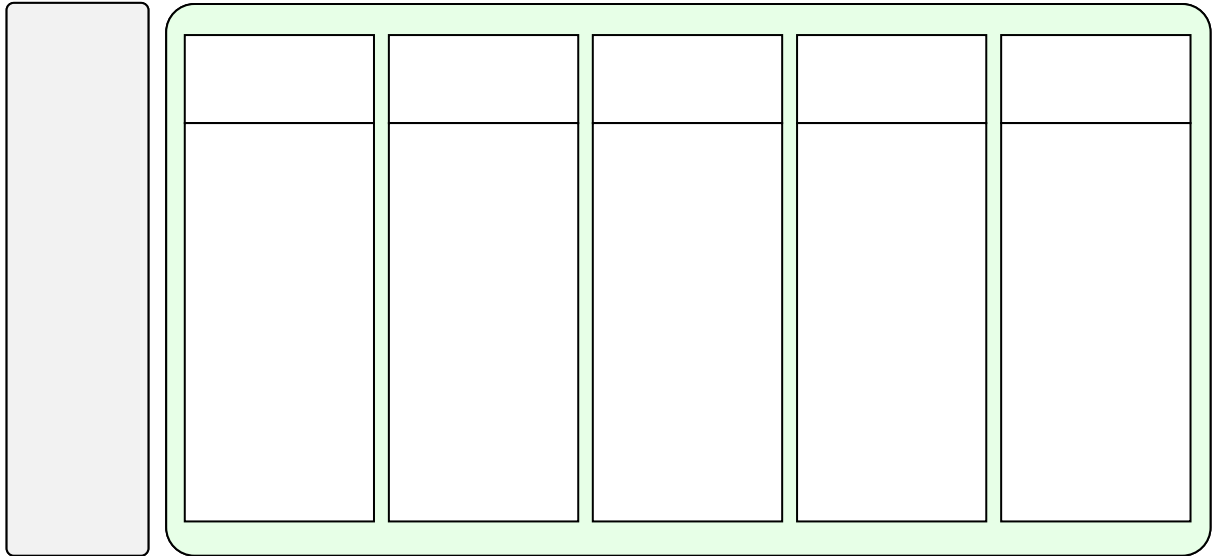
(최신강의노트 : <http://kcjeong.cbnu.ac.kr/working/ss>)

수업 일정	일자	강의주제	보고서	실습
1주	9월 1일	강의소개, 시뮬레이션이란 무엇인가?	출석보고서 #01	Buffon Needle Calculation of Pi
2주	9월 8일	시뮬레이션의 기본 개념	출석보고서 #02	M/M/1 Queue
3주	9월 15일	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션	출석보고서 #03	시뮬레이션 시트
4주	9월 22일	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제	출석보고서 #04	Newsvendor.xls MUI.xls
5주	9월 29일	중간고사		
6주	10월 6일	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습	출석보고서 #05	모델 3-1
7주	10월 13일	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(식별처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습	출석보고서 #06	모델 3-2, 3-3 모델 3-4, 3-5
8주	10월 20일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습	출석보고서 #07	모델 4-1
9주	10월 27일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습	출석보고서 #08	모델 4-2, 4-3
10주	11월 3일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습	출석보고서 #09	모델 4-4
11주	11월 10일	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #10	모델 5-1
12주	11월 17일	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #11	모델 5-2
13주	11월 24일	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #12	모델 5-3
14주	12월 1일	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화	출석보고서 #13	모델 5-4
15주	12월 8일	기말고사		

출석 인정용 보고서 #01-(1/2) : 강의소개, 시뮬레이션이란 무엇인가?

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 시뮬레이터의 프레임워크에 대해 설명하시오.



출석 인정용 보고서 #01-(2/2) : 강의소개, 시뮬레이션이란 무엇인가?

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 2> 시뮬레이션에 있어서 모델의 유효성에 대해 설명하시오.

<문항 3> 시뮬레이션의 종류에 대해 설명하시오.

출석 인정용 보고서 #02-(1/2) : 시뮬레이션의 기본 개념

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 시뮬레이션의 출력수행척도 정의를 위해 사용되는 다음 변수들에 대해 설명하시오.

- $Q(t)$

- $B(t)$

<문항 2> 다음 시뮬레이션의 출력수행척도에 대해 설명하시오.

- P

$$- \frac{\sum_{i=1}^N WQ_i}{N}$$

$$- \max_{i=1, \dots, N} WQ_i$$

$$- \frac{\int_0^{20} Q(t) dt}{20}$$

$$- \max_{0 \leq t \leq 20} Q(t)$$

$$- \frac{\sum_{i=1}^P TS_i}{P}$$

$$- \max_{i=1, \dots, P} TS_i$$

$$- \frac{\int_0^{20} B(t) dt}{20}$$

출석 인정용 보고서 #02-(2/2) : 시뮬레이션의 기본 개념

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> M/M/1 대기행렬에서 평균대기시간을 구하기 위한 식과 도착시간 간격과 서비스 시간의 평균값이 다음과 같이 주어져 있을 때, 평균대기시간을 구하시오.

$$\frac{\mu_S^2}{\mu_A - \mu_S}, \quad \mu_A = E(\text{interarrival time})$$

- 평균 도착시간 간격 = 4.08 분
- 평균 서비스 시간 = 3.46 분

- 평균대기 시간 =

<문항 4> 다음 시뮬레이션 구성요소들에 대해 설명하시오.

- 개체 Entities :

- 속성 Attributes :

- (광역) 변수 (Global) Variables :

- 자원 Resources :

- 대기행렬 Queues :

- 통계적 누적 계산기 Statistical accumulators :

- 사건 Events :

- 시뮬레이션 시계 Simulation clock variable :

- 사건 달력 Event Calendar :


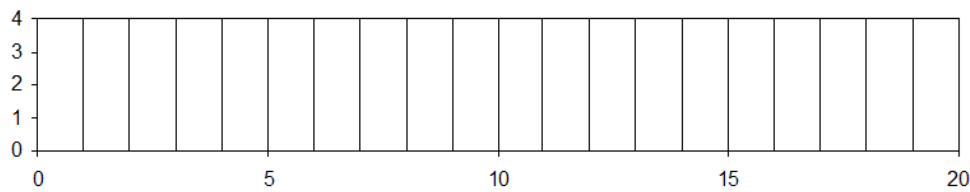
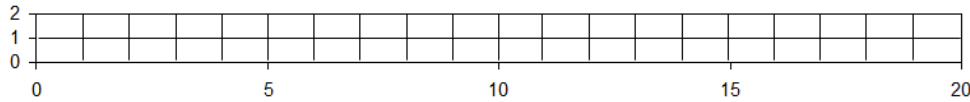
- 시작과 종료 Start & End :

출석 인정용 보고서 #03-(1/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


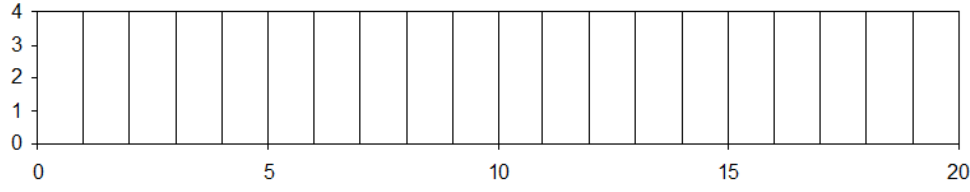
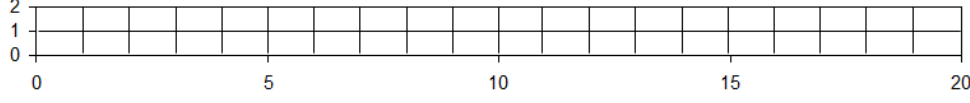
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Time (Minutes)						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


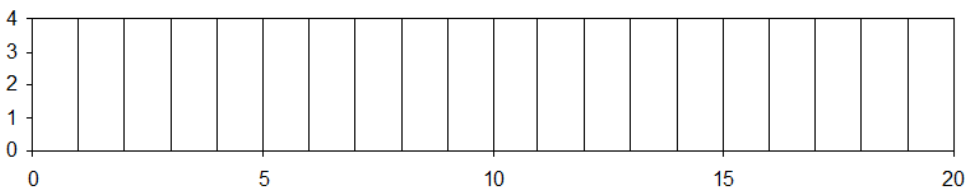
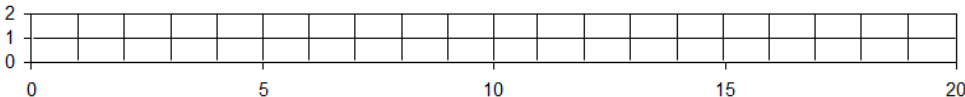
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Time (Minutes)						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(2/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


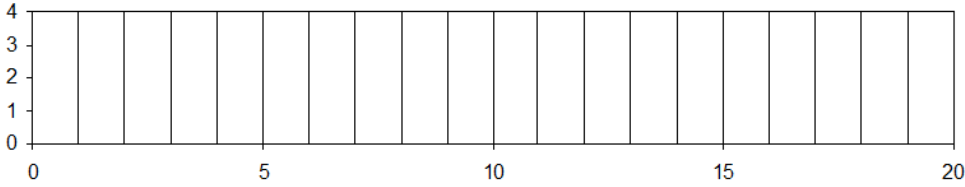
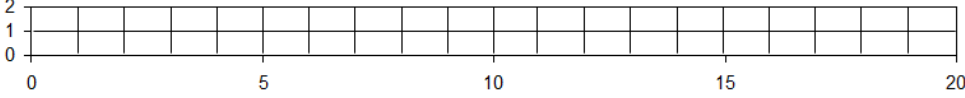
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


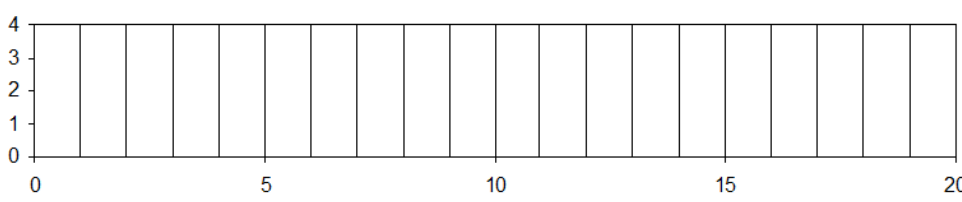
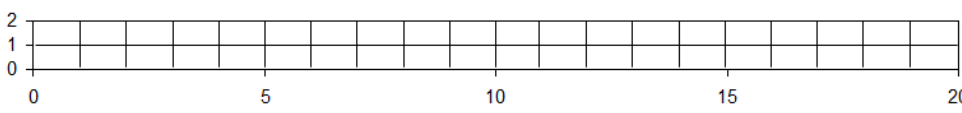
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(3/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


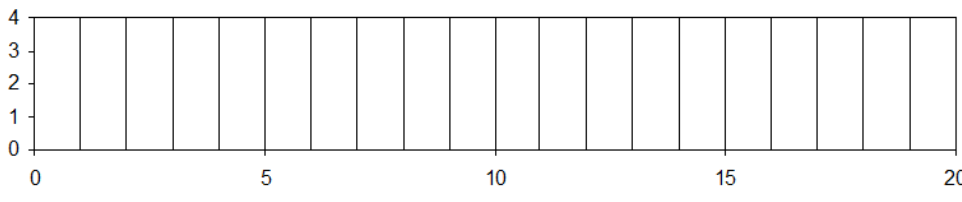
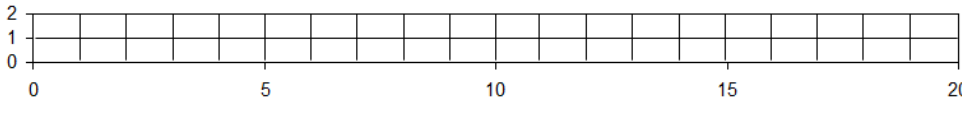
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


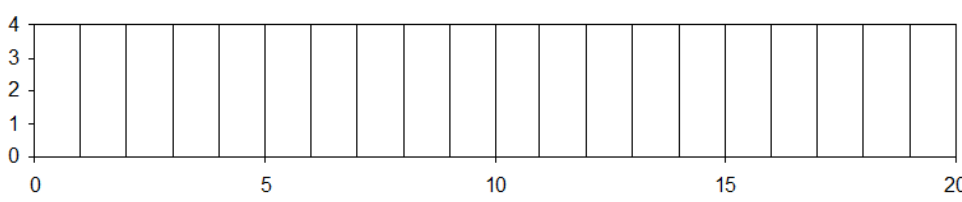
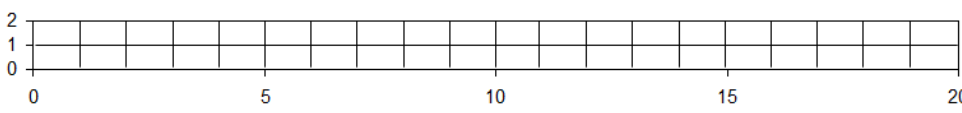
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(4/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


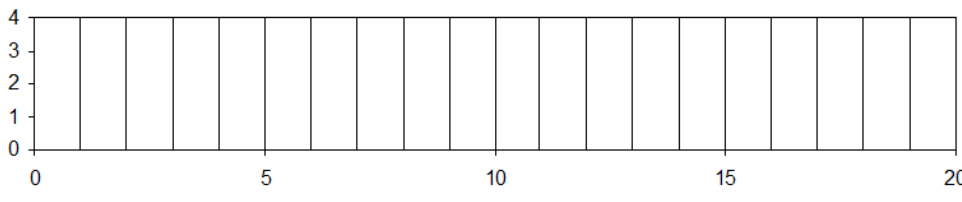
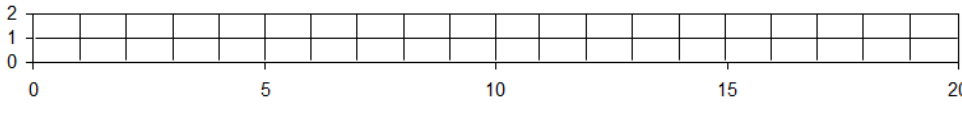
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Time (Minutes)						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


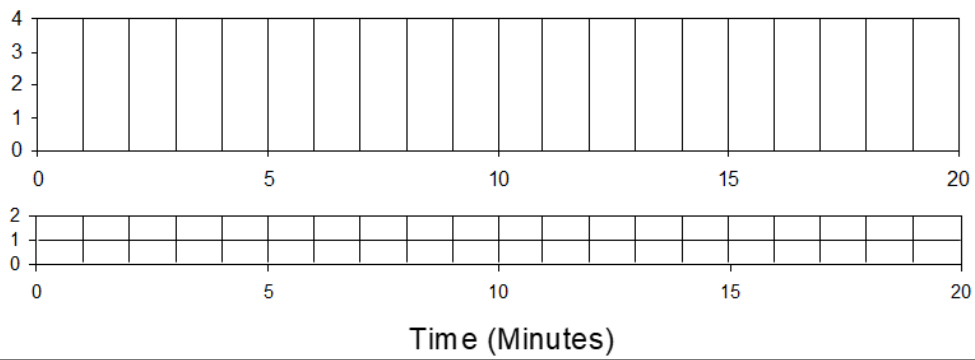
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Time (Minutes)						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(5/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


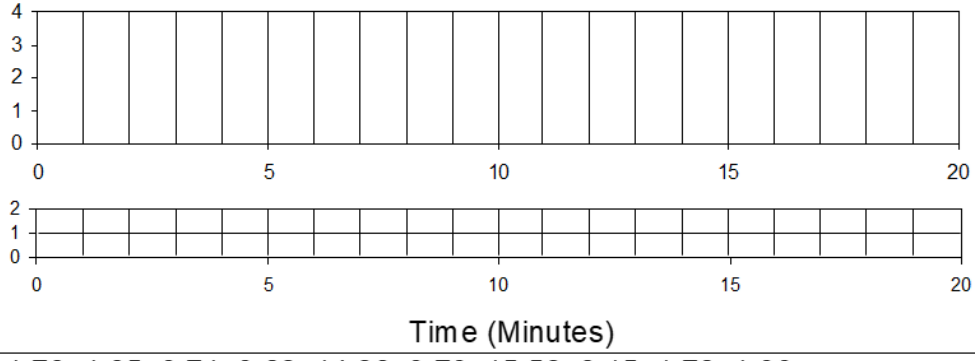
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


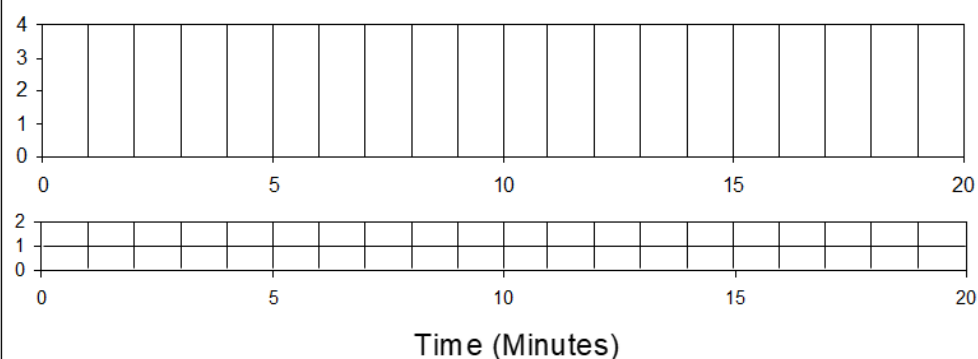
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(6/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


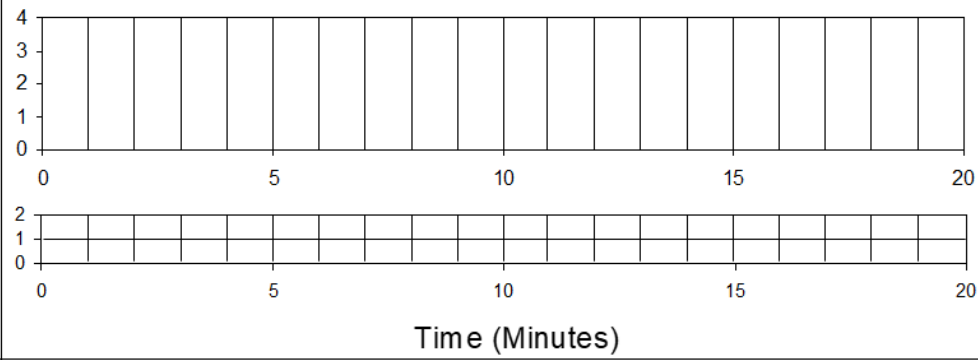
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$


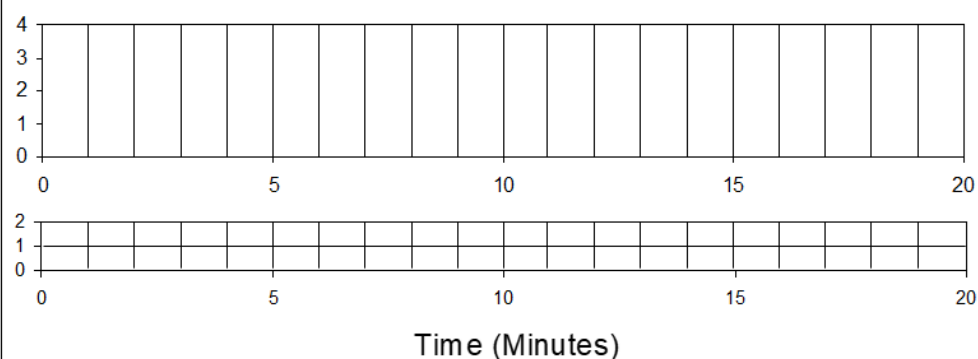
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(7/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션


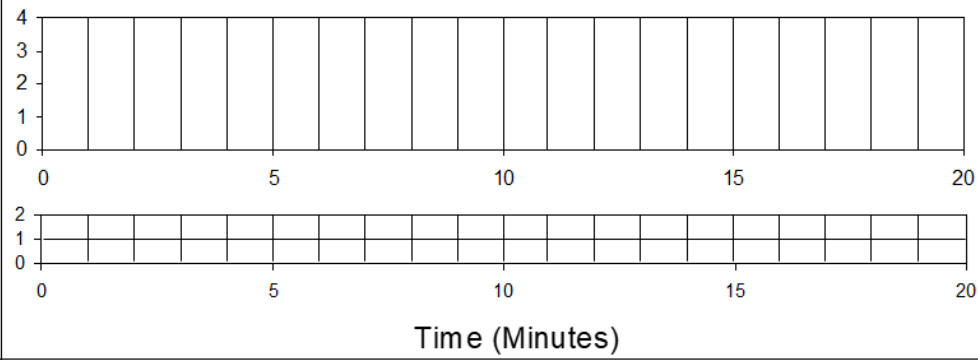
제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 수작업 시뮬레이션 양식을 이용하여 $t = 0$ 에서 $t = 20$ 까지 시뮬레이션을 수행하시오.

$t =$

System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

$t =$



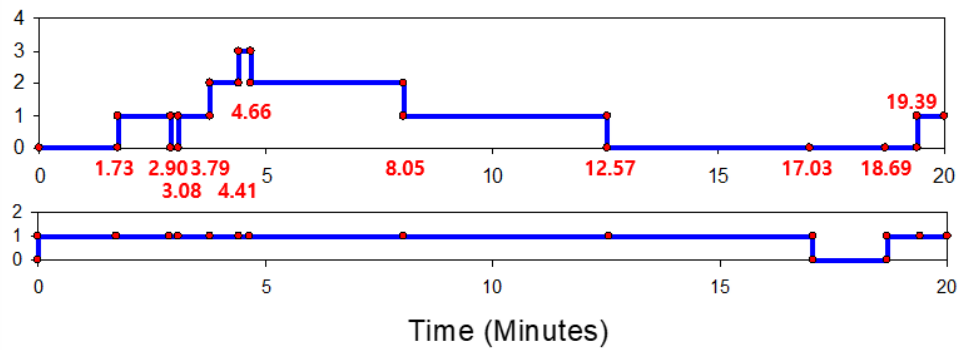
System		Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue		Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$	Area under $B(t)$	
$Q(t)$ graph						
$B(t)$ graph						
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...					
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...					

출석 인정용 보고서 #03-(8/8) : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 2> 다음 수작업 시뮬레이션 결과를 이용하여, 시뮬레이션의 출력성능척도를 계산하시오.

$t = 20.00$, The End

System  	Clock 20.00	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr]
Number of completed waiting times in queue 6 제품1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under $Q(t)$ 15.78 = 15.17 + (20 - 19.39) * 1	Area under $B(t)$ 18.34 = 17.73 + (20 - 19.39)	
$Q(t)$ graph $B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.82, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.80, 1.76, 3.29, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				

- 부품들의 대기행렬에서의 평균 대기시간 :

- 대기행렬에서 기다리는 부품의 시간 평균 개수 :

- 장비의 가동률 :

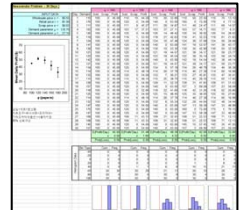
출석 인정용 보고서 #04-(1/2) : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 신문판매원의 하루 수익을 계산하기 위한 다음식에 대해 설명하시오.

$$W(q) = r \min (D, q) + s \max (q - D, 0) - cq$$

<문항 2> 신문판매원의 하루 수익을 계산하기 위한 엑셀 시뮬레이션 파일을 실행 한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



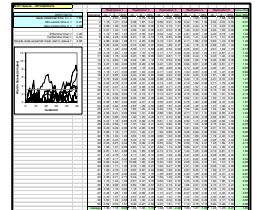
출석 인정용 보고서 #04-(2/2) : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> 제품의 대기시간을 계산하기 위한 다음식에 대해 설명하시오.

$$WQ_i = \max (WQ_{i-1} + S_{i-1} - A_i, 0), i = 2, 3, \dots$$

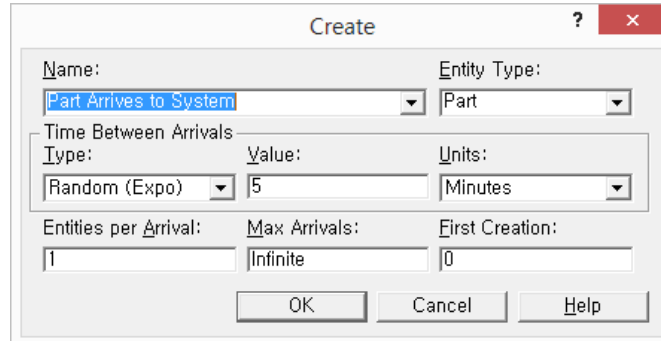
<문항 4> 제품의 대기시간을 계산하기 위한 엑셀 시뮬레이션 파일을 실행 한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입 하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #05-(1/2) : 모델 3-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> Create 플로우차트 모듈의 각 입력창의 의미에 대해 설명하시오.



[Time Between Arrivals : Type] Random(EXPO) :

[Time Between Arrivals : Value] 5 :

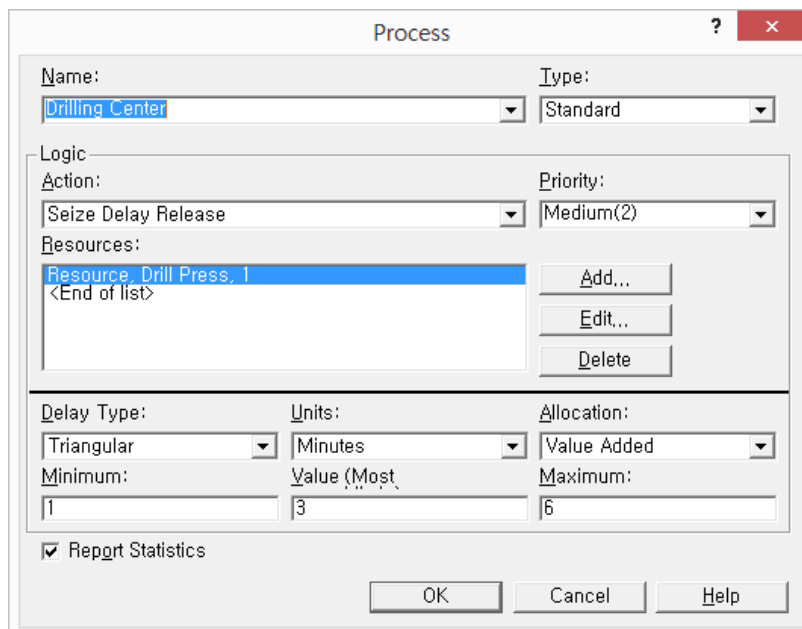
[Time Between Arrivals : Units] Minutes :

[Time Between Arrivals : Entities per Arrival] 1 :

[Time Between Arrivals : Max Arrivals] Infinite :

[Time Between Arrivals : First Creation] 0 :

<문항 2> Process 플로우차트 모듈의 각 입력창의 의미에 대해 설명하시오.



[Logic : Action] Seize Delay Release :

[Logic : Resources] Resource, Drill Press, 1 :

[Delay Type] Triangular :

[Minimum] 1 :

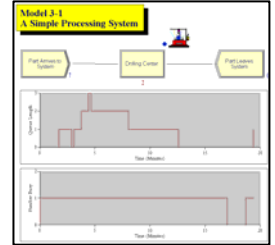
[Value (Most Likely)] 3 :

[Maximum] 6 :

출석 인정용 보고서 #05-(2/2) : 모델 3-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 3-1을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #06-(1/3) : 모델 3-2, 3-3, 3-4, 3-5

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음은 모델 3-2의 실행결과 중 일부를 보여주고 있다. 이 결과를 보고 현재 시스템의 문제점 및 해결방안을 설명하시오.

Time		Time per Entity	
VA Time	Average	VA Time Per Entity	Average
Application	4.0990	Alfie Checks Credit	1.0241
NVA Time	Average	Betty Prepares Covenant	0.8792
Application	0.00	Chuck Prices Loan	1.0472
Wait Time	Average	Doris Disburses Funds	1.0915
Application	11.9841	Wait Time Per Entity	Average
Transfer Time	Average	Alfie Checks Credit	2.3919
Application	0.00	Betty Prepares Covenant	1.2582
Other Time	Average	Chuck Prices Loan	3.1067
Application	0.00	Doris Disburses Funds	5.1924
Total Time	Average	Total Time Per Entity	Average
Application	16.0831	Alfie Checks Credit	3.4160
		Betty Prepares Covenant	2.1375
		Chuck Prices Loan	4.1539
		Doris Disburses Funds	6.2839

<문항 2> 다음은 모델 3-2와 모델 3-3의 실행결과 중 일부를 보여주고 있다. 이 결과를 바탕으로 공정 범용화의 효과에 대해 설명하시오.

Time 모델 3-2		Time 모델 3-3	
VA Time	Average	VA Time	Average
Application	4.0990	Application	4.0560
NVA Time	Average	NVA Time	Average
Application	0.00	Application	0.00
Wait Time	Average	Wait Time	Average
Application	11.9841	Application	1.3282
Transfer Time	Average	Transfer Time	Average
Application	0.00	Application	0.00
Other Time	Average	Other Time	Average
Application	0.00	Application	0.00
Total Time	Average	Total Time	Average
Application	16.0831	Application	5.3842

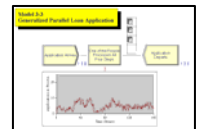
출석 인정용 보고서 #06-(2/3) : 모델 3-2, 3-3, 3-4, 3-5

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 3-2를 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



<문항 4> Arena를 이용하여 모델 3-3을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



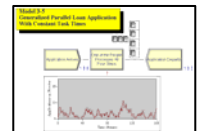
출석 인정용 보고서 #06-(3/3) : 모델 3-2, 3-3, 3-4, 3-5

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 5> Arena를 이용하여 모델 3-4를 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



<문항 6> Arena를 이용하여 모델 3-5를 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #07-(1/2) : 모델 4-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 Create 모듈의 입력정보를 활용하여, 100시간동안 생성되는 Part A와 B 개체의 평균 개수를 구하시오.

Create ? x

Name: Part A Arrive Entity Type: Part A

Time Between Arrivals
Type: Random (Expo) Value: 5 Units: Minutes

Entities per Arrival: 1 Max Arrivals: Infinite First Creation: 0.0

OK Cancel Help

Create ? x

Name: Part B Arrive Entity Type: Part B

Time Between Arrivals
Type: Random (Expo) Value: 30 Units: Minutes

Entities per Arrival: 4 Max Arrivals: Infinite First Creation: 0.0

OK Cancel Help

<문항 2> 다음은 모델 4-1의 실행결과 중 일부를 보여주고 있다. 이 결과를 보고 현재 시스템의 문제점 및 해결방안을 설명하시오.

Queue

Time

Waiting Time

	Average
Prep A Process.Queue	14.6220
Prep B Process.Queue	26.9037
Rework Process.Queue	456.35
Sealer Process.Queue	2.5153

Other

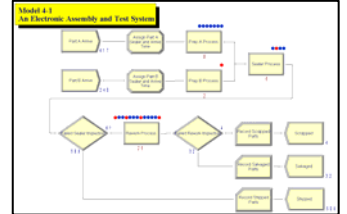
Number Waiting

	Average
Prep A Process.Queue	3.1680
Prep B Process.Queue	3.5017
Rework Process.Queue	12.9534
Sealer Process.Queue	0.8631

출석 인정용 보고서 #07-(2/2) : 모델 4-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 4-1을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #08-(1/2) : 모델 4-2, 4-3

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 Failure 데이터 모듈의 입력정보의 의미에 대해 설명하시오.

Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1	Sealer Failure	Time	EXPO(120)	Minutes	EXPO(4)	Minutes	

Up Time :

Down Time :

또한, 이 정보들을 활용하여, Part가 충분히 공급된다는 가정하에, 다음을 구하시오.

가동률 =

고장 중일 확률 =

100 시간을 가동한 경우 평균 고장 발생 회수 =

<문항 2> 다음은 모델 4-1의 실행결과 중 일부를 보여주고 있다. 이 결과를 보고 다음 빈칸의 값을 계산하여 입력하시오.

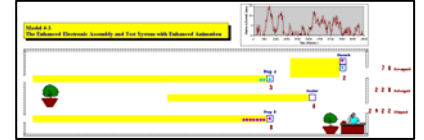
Electronic Assembly and Test Version 2					Replications: 1		
Replication 1		Start Time:	0.00	Stop Time:	9,600.00	Time Units:	Minutes
Rework Queue Stats		Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
0 Racks	41	69.4722	29.67	29.67			
1 Rack	52	119.96	64.98	64.98			
2 Racks	12	42.8210	5.35	5.35			
Sealer States		Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
BUSY	697	11.6044	84.25	84.25			
FAILED	68	4.1861	2.97	2.97			
IDLE	640	1.9173	12.78	12.78			

Number Obs	Average Time	점유시간 = Number Obs * Average Time	Standard Percentage
41	69.4722		
52	119.9600		
12	42.8210		
합계		9,600.1322	100.00%

출석 인정용 보고서 #08-(2/2) : 모델 4-2, 4-3

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 4-3을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #09-(1/1) : 모델 4-4

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음은 모델 4-4의 실행결과 중 일부를 보여주고 있다. 각 부품의 수송시간이 최소 6시간과 최대 8시간으로 차이가 나는 이유에 대해 설명하시오.

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part A	6.1648	0.030857118	6.0000	8.0000
Part B	6.1823	0.038994067	6.0000	8.0000

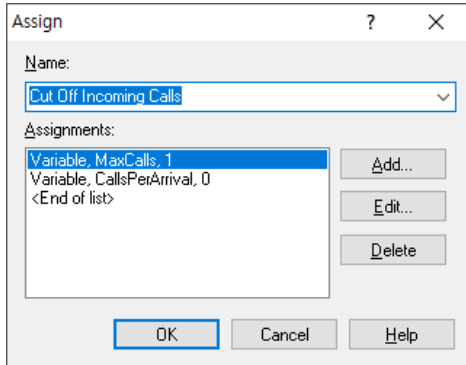
<문항 2> Arena를 이용하여 모델 4-4를 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



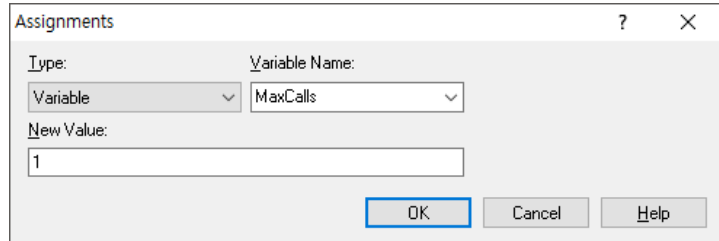
출석 인정용 보고서 #10-(1/2) : 모델 5-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

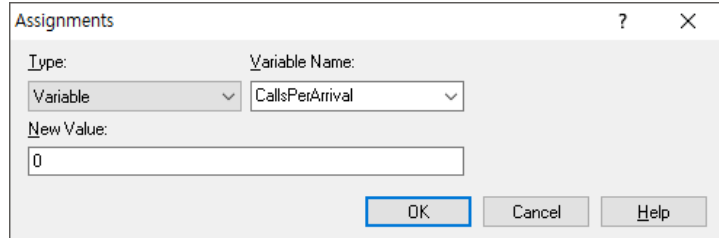
<문항 1> 다음 Assign 플로우차트 모듈에서 사용되고 있는 두 변수, MaxCalls와 CallsPerArrival의 용도에 대해 설명하십시오.



The 'Assign' dialog box shows the name 'Cut Off Incoming Calls' and a list of assignments: 'Variable, MaxCalls, 1', 'Variable, CallsPerArrival, 0', and '<End of list>'. Buttons for 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' are visible.



The 'Assignments' dialog box for MaxCalls shows 'Type: Variable' and 'Variable Name: MaxCalls'. The 'New Value' field contains '1'.

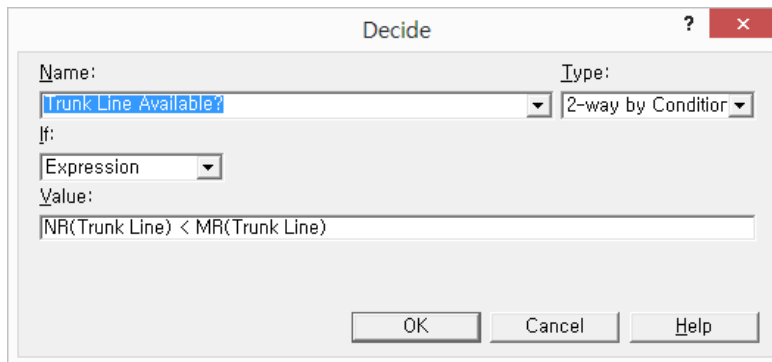


The 'Assignments' dialog box for CallsPerArrival shows 'Type: Variable' and 'Variable Name: CallsPerArrival'. The 'New Value' field contains '0'.

MaxCalls = 1

CallsPerArrival = 0

<문항 2> 다음 Decide 플로우차트 모듈에서 사용되고 있는 두 함수, NR()와 MR()의 의미에 대해 설명하십시오. 또한, 이 함수들을 이용한 Expression "NR(Trunk Line) > MR(Trunk Line)"의 의미에 대해 설명하십시오.



The 'Decide' dialog box shows the name 'Trunk Line Available?' and 'Type: 2-way by Condition'. The 'If' field is set to 'Expression' and the 'Value' field contains the expression 'NR(Trunk Line) < MR(Trunk Line)'.

NR :

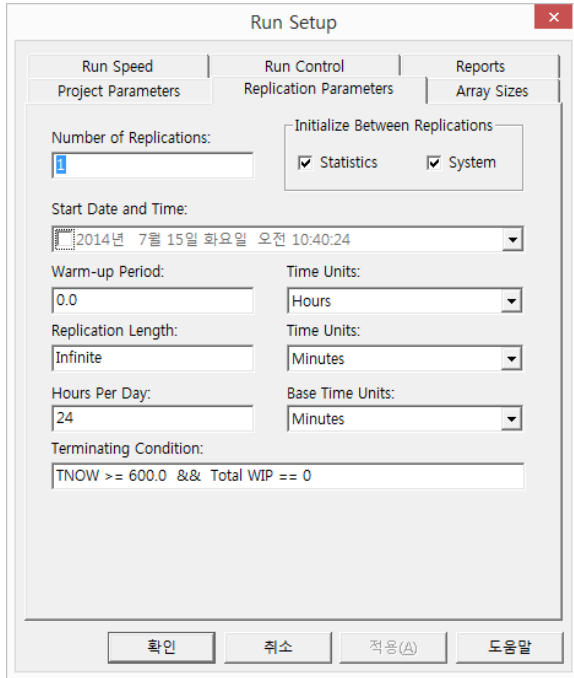
MR :

NR(Trunk Line) > MR(Trunk Line) :

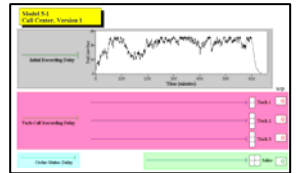
출석 인정용 보고서 #10-(2/2) : 모델 5-1

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> 다음 Run-Setup 화면에서 종료조건 "TNOW >= 600.0 && Total WIP == 0"의 의미에 대해 설명하시오.



<문항 4> Arena를 이용하여 모델 5-1을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



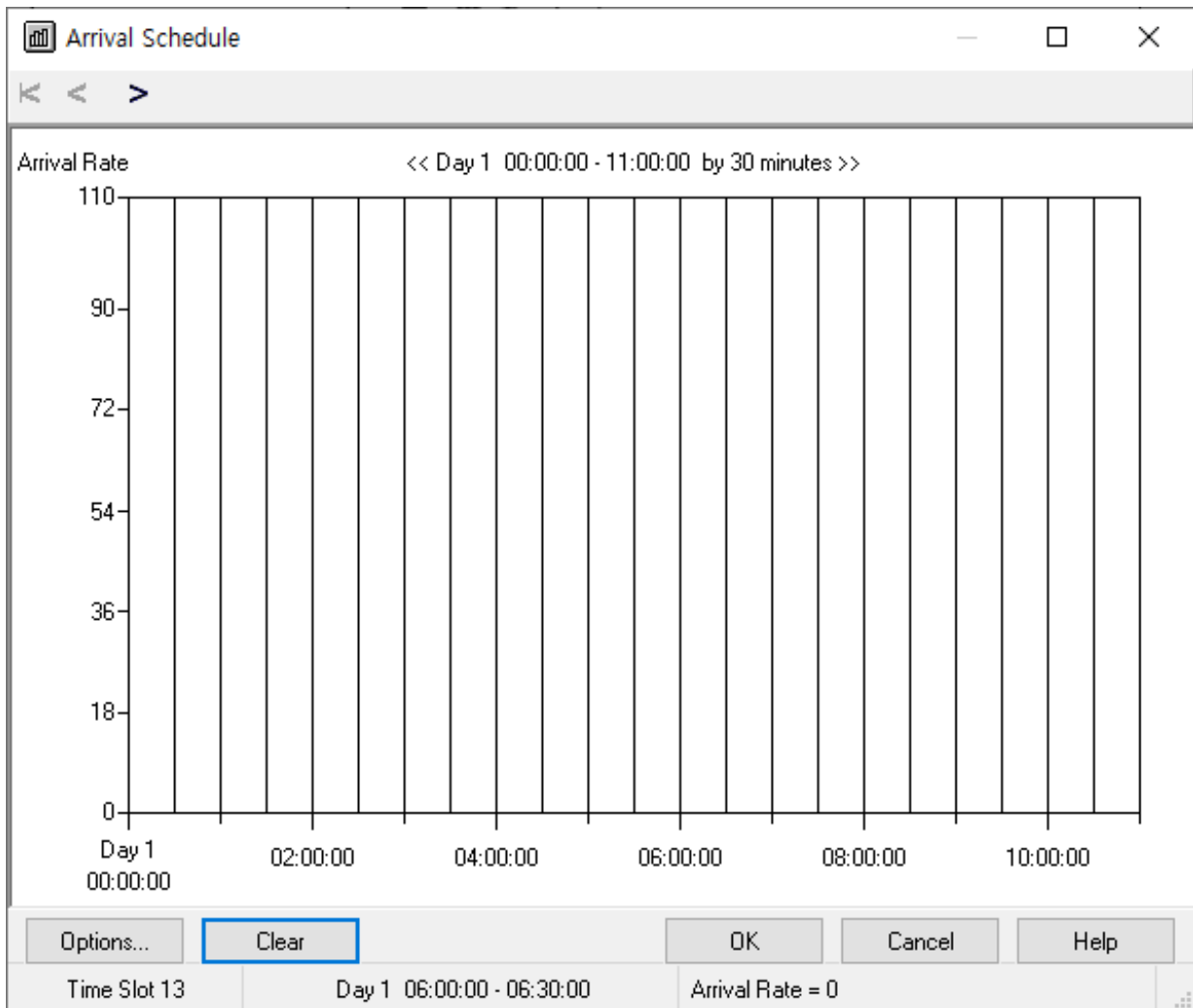
출석 인정용 보고서 #11-(1/2) : 모델 5-2

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 정보를 이용하여, Arrival Schedule 모듈의 Arrival Rate 그래프를 완성하시오.

Table 5-2. Call Arrival Rates (Calls Per Hour)

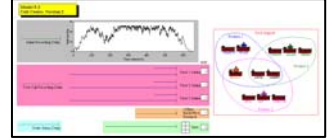
Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate
8:00 - 8:30	20	10:30 - 11:00	75	1:00 - 1:30	110	3:30 - 4:00	90
8:30 - 9:00	35	11:00 - 11:30	75	1:30 - 2:00	95	4:00 - 4:30	70
9:00 - 9:30	45	11:30 - 12:00	90	2:00 - 2:30	105	4:30 - 5:00	65
9:30 - 10:00	50	12:00 - 12:30	95	2:30 - 3:00	90	5:00 - 5:30	45
10:00 - 10:30	70	12:30 - 1:00	105	3:00 - 3:30	85	5:30 - 6:00	30



출석 인정용 보고서 #11-(2/2) : 모델 5-2

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 2> Arena를 이용하여 모델 5-2를 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #12-(1/2) : 모델 5-3

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 정보를 이용하여, 상담원의 주당 총임금을 계산하시오.

- 판매 상담원 일간 근무시간 : 45시간/일
- 판매 상담원 임금 : \$20/hr.
- 기술지원 상담원 일간 근무시간 : 8시간/일
- 기술지원 상담원 수 : 단일 제품 상담 가능 8명, 두가지 제품 상담 가능 1명, 세가지 제품 상담 가능 2명
- 숙련도에 따른 기술지원 상담원 임금
 - 단일 제품 상담 가능 : \$18/hr
 - 두가지 제품 상담 가능 : \$20/hr
 - 세가지 제품 상담 가능 : \$22/hr
- 1주일 5일 근무
- 근무 중이든 유티 중이든 관계없이 임금 지급

- 판매 상담원 총임금

- 기술지원 상담원 총임금

- 주간 총임금

<문항 2> New Res Cost를 구하기 위한 다음 식의 의미를 설명하시오.

$$\text{New Sales} * 340 + (\text{New Tech 1} + \text{New Tech 2} + \text{New Tech 3}) * 320 + \text{New Tech All} * 360 + 98 * \text{MR}(\text{Trunk Line})$$

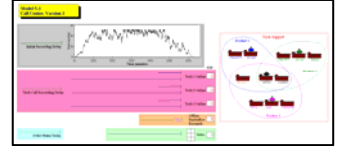
<문항 3> Total Cost를 구하기 위한 다음 식의 의미를 설명하시오.

$$\text{New Res Cost} + 12820 + \text{Excess Sales Wait Time} * 4.09 + \text{Excess Status Wait Time} * 1.73 + \text{Excess Tech Wait Time} * 1.84$$

출석 인정용 보고서 #12-(2/2) : 모델 5-3

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 4> Arena를 이용하여 모델 5-3을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



출석 인정용 보고서 #13-(1/2) : 모델 5-4

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> 다음 Expression 모듈의 Demand Size 확률분포의 의미를 설명하시오.

[Demand Size의 확률분포 정의]

1개일 확률 =

2개일 확률 =

3개일 확률 =

4개일 확률 =

<문항 2> 다음은 모델 5-4의 출력 결과 중 일부를 보여주고 있다. 이 정보를 바탕으로 다음 비용을 산출하시오.

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Holding Cost	9.3701	(Correlated)	0.00	60.0000
Shortage Cost	17.0265	4.19506	0.00	200.00

Output

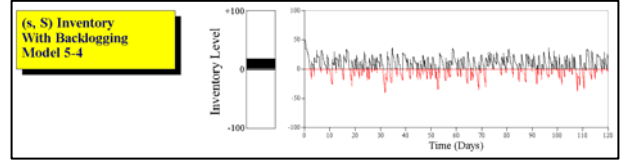
Output	Value
Avg Ordering Cost	100.39
Avg Total Cost	126.79

- 일일 평균 재고유지비용
- 일일 평균 품절비용
- 일일 평균 주문비용
- 일일 평균 총 운영비용

출석 인정용 보고서 #13-(2/2) : 모델 5-4

제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 5-3을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하기 바랍니다.



시뮬레이션 수강 안내

교과목 정보

1. 교과목 정보

개설연도-학기	2021년	2학기	개설학과	테크노산업공학과
교과목번호-분반번호	6577008	01	교과목명	시뮬레이션
이수구분	전공선택		학점/시수	3-3-0
강의시간/강의실	수 01 ,02 ,03 [H-211(하이닉스)]			
수업방식	비대면			
강의언어		담당교수	정근채(전임교원)	
전화	043-261-2401	E-mail	kcjeong@cbnu.ac.kr	
강의정원	40	학과전화	043-249-1820	
선수과목		수강대상	학부(4학년)	
공학인증관련정보	인증영역	이론시수	실습시수	설계시수

교과목 개요

2. 교과목 개요

강의개요	<ul style="list-style-type: none"> ● ARENA Simulation Software를 이용하여, 시뮬레이션의 기본개념, AREA 사용법, 생산시스템 기본 공정에 대한 모델링과 세부 모델링에 대한 이론을 학습한다. ● 시뮬레이션 모델 작성 실습을 통해 시뮬레이션을 활용한 생산현장 개선활동에 대한 이해도를 높인다. 					
학습목표	● 컴퓨터를 이용하여 가상으로 생산시스템을 모사할 수 있는 기법을 배운다.					
문제해결방법	해당사항 없음					
수업진행방법	강의	토의/토론	실험/실습	현장학습	개별/팀별 발표	기타
	50%	0%	50%	0%	0%	0%
평가방법	중간고사	기말고사	출석	퀴즈	과제	기타
	40%	40%	20%	0%	0%	0%
상세정보	<ul style="list-style-type: none"> ● 이론강의와 전산실습 병행 ● 이론강의(50%) + 전산실습(50%) = 합계 100% 					
프로그램 학습성과의 평가	중간고사	기말고사	출석	퀴즈	과제	기타
	40%	40%	20%	0%	0%	0%
상세정보	<ul style="list-style-type: none"> ● 중간고사(40%) + 기말고사(40%) + 출석(20%) = 합계 100% ● 출석점수 20점 만점 기준 : 1시간 결석 당 1점 감점, 1회 지각 당 0.5점 감점 					
교재 및 참고문헌	1. 주교재 : ARENA를 이용한 시뮬레이션 6판, 문일경, 박양병, 조면식, 최원준, MacGraw-Hill Korea, 2015					
핵심역량과 연계성	주역량:E역량(전문성)					

주별강의계획

3. 주별 강의계획

주차	수업내용	교재범위 및 과제물	비고
1	강의소개, 1장. 시뮬레이션이란 무엇인가?	출석보고서 #01	비대면 수업 (eCampus 활용)
2	2장. 시뮬레이션의 기본 개념	출석보고서 #02	비대면 수업 (eCampus 활용)
3	2장. 시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션	출석보고서 #03	비대면 수업 (eCampus 활용)
4	2장. 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 이용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제, M/U/1 Queue 문제	출석보고서 #04	비대면 수업 (eCampus 활용)
5	중간고사		비대면 수업 (eCampus 활용)
6	3장. ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습	출석보고서 #05	대면 수업 (등교 시험)
7	3장. ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습	출석보고서 #06	비대면 수업 (eCampus 활용)
8	4장. 기본공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습	출석보고서 #07	비대면 수업 (eCampus 활용)
9	4장. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습	출석보고서 #08	비대면 수업 (eCampus 활용)
10	4장. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습	출석보고서 #09	비대면 수업 (eCampus 활용)
11	5장. 세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #10	비대면 수업 (eCampus 활용)
12	5장. 세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #11	비대면 수업 (eCampus 활용)
13	5장. 세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #12	비대면 수업 (eCampus 활용)
14	5장. 세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backlogging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화	출석보고서 #13	비대면 수업 (eCampus 활용)
15	기말고사		대면 수업 (등교 시험)

기타안내

4. 장애학생을 위한 학습 및 평가지원 사항

- 학습지원: 강의 파일 제공, 대필 도우미 및 속기 지원 허락, 강의 녹음 허락, 과제 제출 기간 연장 (시각, 손사용 불편 학생), 보조기구 사용 가능 등
- 평가지원: 영어교과 듣기 시험 대체(청각장애학생), 장애종류 및 정도에 따라 시험 시간 1.5배 ~ 1.7배 연장 별도 시험장소 및 시험지 제공, 필요한 경우 학습기자재 사용을 허용

5. 수강에 특별히 참고하여야 할 사항

- 강의노트는 <http://kcjeong.cbnu.ac.kr/working/ss>에서 다운로드 받을 수 있음.
- 시험중 부정행위를 한 자는 학사운영규정 제99조에 의거 징계처분을 받을 수 있으며, 학내의 학업 정직성이 존중 될 수 있도록 수강생들은 적극 협조하여 주시기 바람.
- COVID-19 Pandemic 상황으로 인해, 본 수업은 비대면 형식으로 진행될 예정임.
- 본 수업에서는 강의 PPT 슬라이드에 음성으로 설명을 입힌 동영상을 제공할 예정이며, 학생들은 매주 동영상 강의를 수강한 후 출석 인정용 보고서를 이러닝시스템을 통해 제출해야 출석을 인정 받을 수 있음.

학습 체계

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화

주별 강의일정

수업 일정	일자	강의주제	보고서	실습
1주	9월 1일	강의소개, 시뮬레이션이란 무엇인가?	출석보고서 #01	Buffon Needle Calculation of Pi
2주	9월 8일	시뮬레이션의 기본 개념	출석보고서 #02	M/M/1 Queue
3주	9월 15일	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션	출석보고서 #03	시뮬레이션 시트
4주	9월 22일	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제	출석보고서 #04	Newsvendor.xls MUI.xls
5주	9월 29일	중간고사 (대면 시험)		
6주	10월 6일	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습	출석보고서 #05	모델 3-1
7주	10월 13일	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습	출석보고서 #06	모델 3-2, 3-3 모델 3-4, 3-5
8주	10월 20일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습	출석보고서 #07	모델 4-1
9주	10월 27일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습	출석보고서 #08	모델 4-2, 4-3
10주	11월 3일	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습	출석보고서 #09	모델 4-4
11주	11월 10일	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #10	모델 5-1
12주	11월 17일	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #11	모델 5-2
13주	11월 24일	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #12	모델 5-3
14주	12월 1일	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화	출석보고서 #13	모델 5-4
15주	12월 8일	기말고사 (대면 시험)		

7

대면 시험

□ 중간고사

- ✓ 2021년 9월 29일(수), 5주차에 대면 시험 예정
- ✓ 시험 범위 : 1주차 ~ 4주차 동영상 강의

□ 기말고사

- ✓ 2021년 12월 8일(수), 15주차에 대면 시험 예정
- ✓ 시험 범위 : 6주차 ~ 14주차 동영상 강의

□ 시험 준비 요령

- ✓ 출석보고서 내용을 철저히 복습
- ✓ 손으로 수행하는 시뮬레이션 확실히 이해
- ✓ 강의노트 Arena 모듈 입력내용 설명 부분을 집중적으로 학습

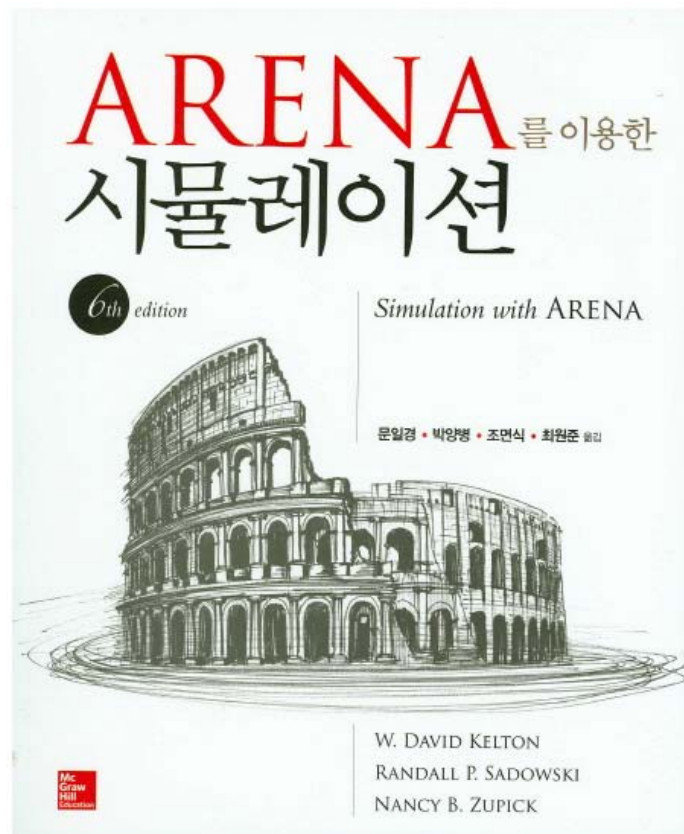
8

eCampus 강의자료 - 강의노트.pdf

주차	강의동영상	실습동영상	보고서
1주	01.mp4		출석보고서 #01
2주	02.mp4		출석보고서 #02
3주	03.mp4		출석보고서 #03
4주	04.mp4		출석보고서 #04
5주	중간고사		
6주	05.mp4	Model 3-1.mp4	출석보고서 #05
7주	06.mp4	Model 3-2.mp4 Model 3-3.mp4 Model 3-4.mp4 Model 3-5.mp4	출석보고서 #06
8주	07.mp4	Model 4-1.mp4	출석보고서 #07
9주	08.mp4	Model 4-2.mp4 Model 4-3.mp4	출석보고서 #08
10주	09.mp4	Model 4-4.mp4	출석보고서 #09
11주	10.mp4	Model 5-1.mp4	출석보고서 #10
12주	11.mp4	Model 5-2.mp4	출석보고서 #11
13주	12.mp4	Model 5-3.mp4	출석보고서 #12
14주	13.mp4	Model 5-4.01.mp4 Model 5-4.02.mp4	출석보고서 #13
15주	기말고사		

9

교과서



강의노트

시뮬레이션 강의노트

2021년 9월 1일

충북대학교 공과대학
테크노산업공학과

정근채 교수

- 목차 -

- 강의계획서
 - 주별 강의내용
 - 보고서 양식(출석 인정용 보고서 #01 ~ #13)
00. 시뮬레이션 강의소개
 01. 시뮬레이션이란 무엇인가?
 02. 시뮬레이션의 기본 개념
 03. 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
 04. 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션
 05. ARENA 길라잡이 : 모델 3-1
 06. ARENA 길라잡이 : 모델 3-2, 모델 3-3, 모델 3-4, 모델 3-5
 07. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1
 08. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2, 모델 4-3
 09. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4
 10. 세부 모델링 : 모델 5-1
 11. 세부 모델링 : 모델 5-2
 12. 세부 모델링 : 모델 5-3
 13. 세부 모델링 : 모델 5-4

보고서 양식

보고서 총 2페이지

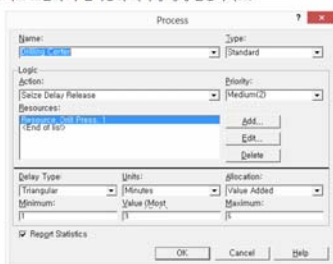
출석 인정용 보고서 #05-(1/2) : 모델 3-1
 제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 1> Create 플로우차트 모듈의 각 입력항의 의미에 대해 설명하십시오.



[Time Between Arrivals : Type] Random(EXPO) :
 [Time Between Arrivals : Value] 5 :
 [Time Between Arrivals : Units] Minutes :
 [Time Between Arrivals : Entities per Arrival] 1 :
 [Time Between Arrivals : Max Arrivals] Infinite :
 [Time Between Arrivals : First Creation] 0 :

<문항 2> Process 플로우차트 모듈의 각 입력항의 의미에 대해 설명하십시오.



[Logic : Action] Seize Delay Release :
 [Logic : Resources] Resource, Drill Press, 1 :
 [Delay Type] Triangular :
 [Minimum] 1 :
 [Value (Most Likely)] 3 :
 [Maximum] 6 :

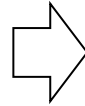
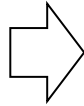
출석 인정용 보고서 #05-(2/2) : 모델 3-1
 제출일 : 2021년 __월 __일 학번 : _____ 이름 : _____

<문항 3> Arena를 이용하여 모델 3-1을 작성하여 실행한 후, 결과 화면을 캡처한 후 아래에 삽입하여 제출하시기 바랍니다.



시뮬레이션 화면 캡처 후 삽입
(종료시점 스냅샷)

보고서 제출 방법 : 수기작성 -> 사진촬영 -> eCampus 과제 제출



[제출 파일 형식 안내]

1순위 : pdf 파일 형식

2순위 : 이미지 파일 형식 (jpg, png 등)

13

문의사항

이메일 문의 : kcjeong@cbnu.ac.kr

오픈 채팅방 운영 : 공지사항 확인

카카오톡 오픈채팅방 참여
<https://open.kakao.com/o/gtL7Nd4b>

참여코드 : 49323

15

당부

한학기 동안 열심히 공부하시기 바랍니다.

감사합니다.



강의계획서

출력일시 : 2021-07-29 11:18:20

9	4.3(애니메이션 강화) 작성 실습	출석보고서 #08	(eCampus 활용)
10	4장. 기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습	출석보고서 #09	비대면 수업 (eCampus 활용)
11	5장. 세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #10	비대면 수업 (eCampus 활용)
12	5장. 세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #11	비대면 수업 (eCampus 활용)
13	5장. 세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습	출석보고서 #12	비대면 수업 (eCampus 활용)
14	5장. 세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화	출석보고서 #13	비대면 수업 (eCampus 활용)
15	기말고사		대면 수업 (등교 시험)
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

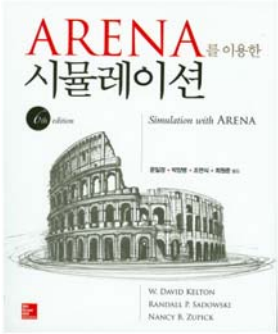
4. 장애학생을 위한 학습 및 평가지원 사항

- 학습지원: 강의 파일 제공, 대필 도우미 및 속기 지원 허락, 강의 녹음 허락, 과제 제출 기간 연장 (시각, 손사용 불편 학생), 보조기구 사용 가능 등
- 평가지원: 영어교과 듣기 시험 대체(청각장애학생), 장애종류 및 정도에 따라 시험 시간 1.5배 ~ 1.7배 연장 별도 시험장소 및 시험지 제공, 필요한 경우 학습기자재 사용을 허용

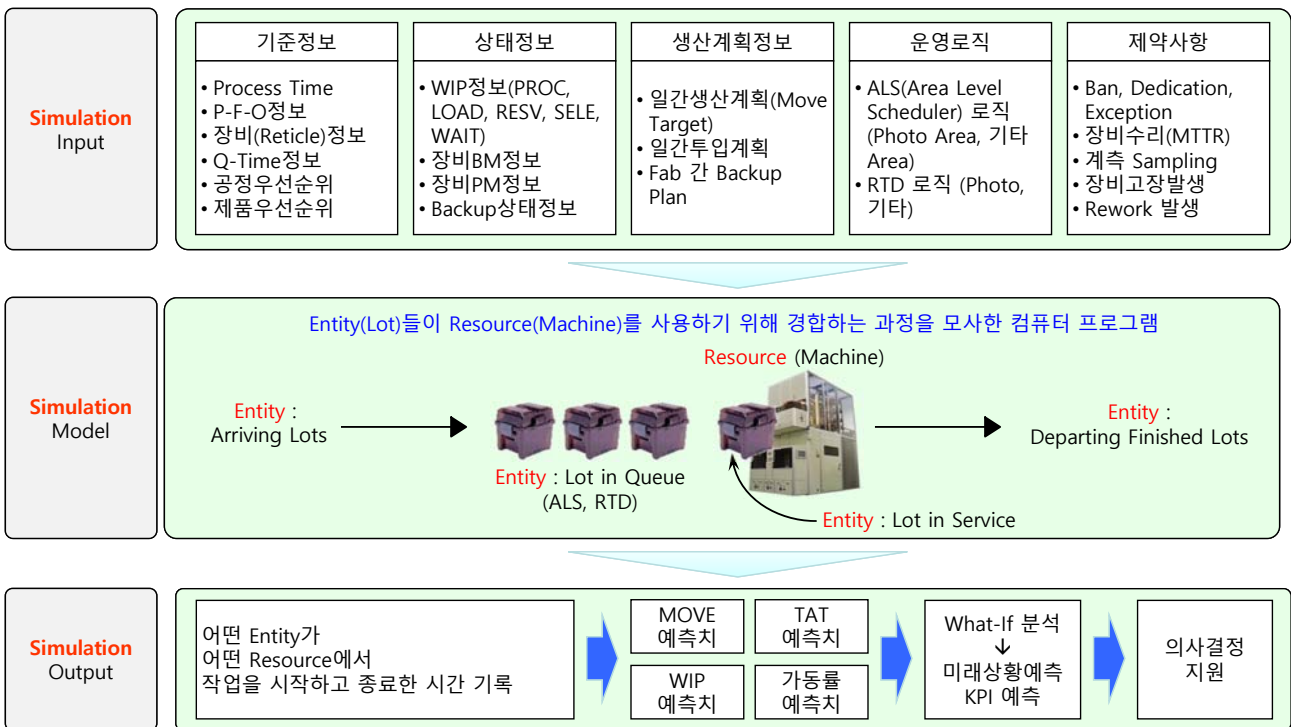
5. 수강에 특별히 참고하여야 할 사항

- 강의노트는 <http://kcjeong.cbnu.ac.kr/working/ss>에서 다운로드 받을 수 있음.
- 시험중 부정행위를 한 자는 학사운영규정 제99조에 의거 징계처분을 받을 수 있으며, 학내의 학업 정직성이 존중 될 수 있도록 수강생들은 적극 협조하여 주시기 바람.
- COVID-19 Pandemic 상황으로 인해, 본 수업은 비대면 형식으로 진행될 예정임.
- 본 수업에서는 강의 PPT 슬라이드에 음성으로 설명을 입힌 동영상을 제공할 예정이며, 학생들은 매주 동영상 강의를 수강한 후 출석 인정용 보고서를 이러닝시스템을 통해 제출해야 출석을 인정 받을 수 있음.

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화

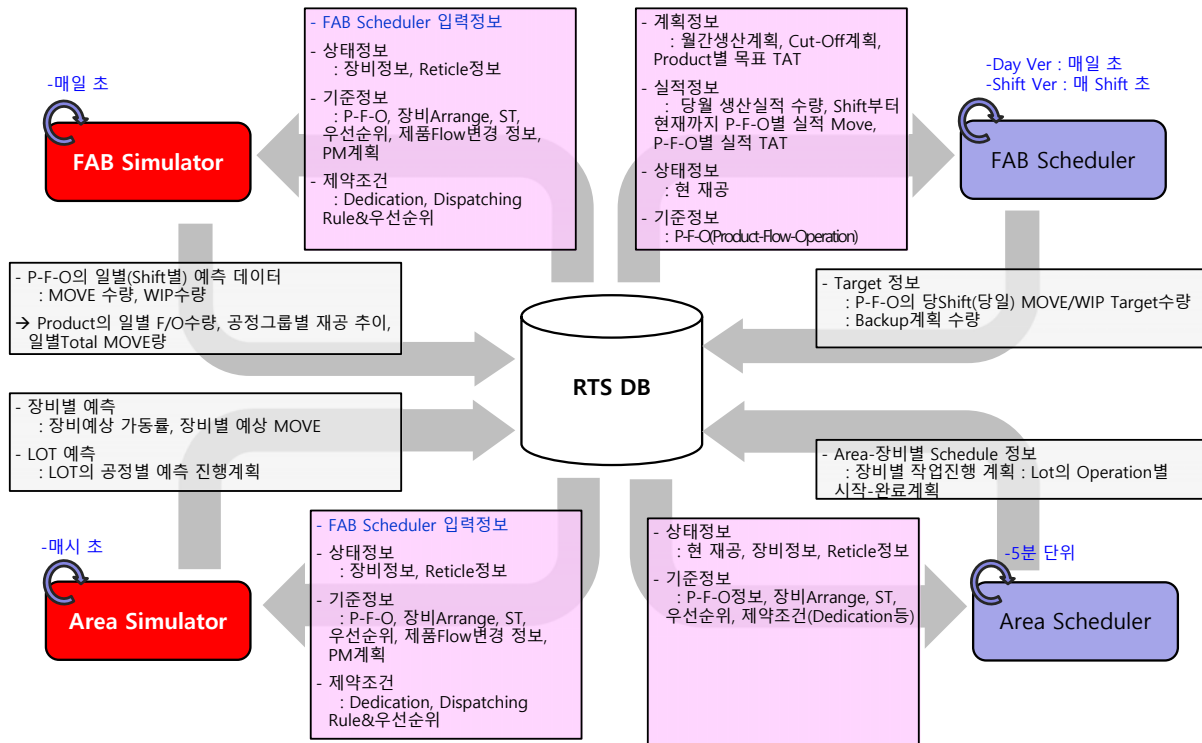


1. Simulator / Framework



1. Simulator / APS 활용

Simulation 기반 APS(Advanced Production Scheduling)

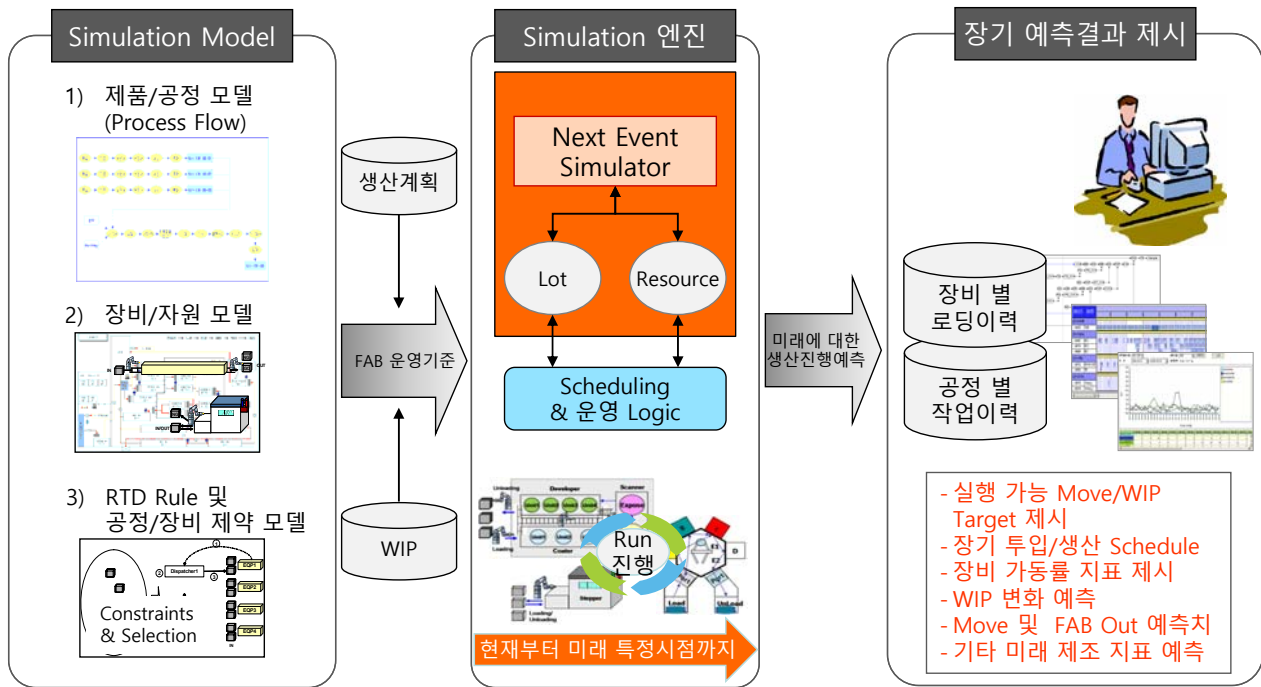


2. FAB Simulator

- 정적(Static) vs. 동적(Dynamic)
 - 시간이 모델에서 중요한 역할을 수행하는가? 제조 모델 vs. 포커 확률 추정
- 연속-변화(Continuous-change) vs. 이산-변화(Discrete-change)
 - 시스템의 상태가 특정 시점에서만 변화할 수 있는가? 아니면 언제나 변화할 수 있는가? 대기중인 품(FOUP)의 개수 변화 vs. 퍼니스(Furnace)의 압력 변화
- 확정적(Deterministic) vs. 추계적(Stochastic)
 - 모든 것이 확실한가? 아니면 불확실성이 있는가? 입력값 : 상수 vs. 확률변수
- 생산 계획 수립을 위한 FAB Simulator (추세를 볼 뿐, 상세 상황을 보지 않음)
 - 동적, 이산-변화, 추계적 특성을 가짐
 - 장기간의 시뮬레이션 길이 (안정 상태의 성능 평가치 이용)
 - ← 변동 가공 시간 (장비 고장 & 수리, 재작업 등 포함)

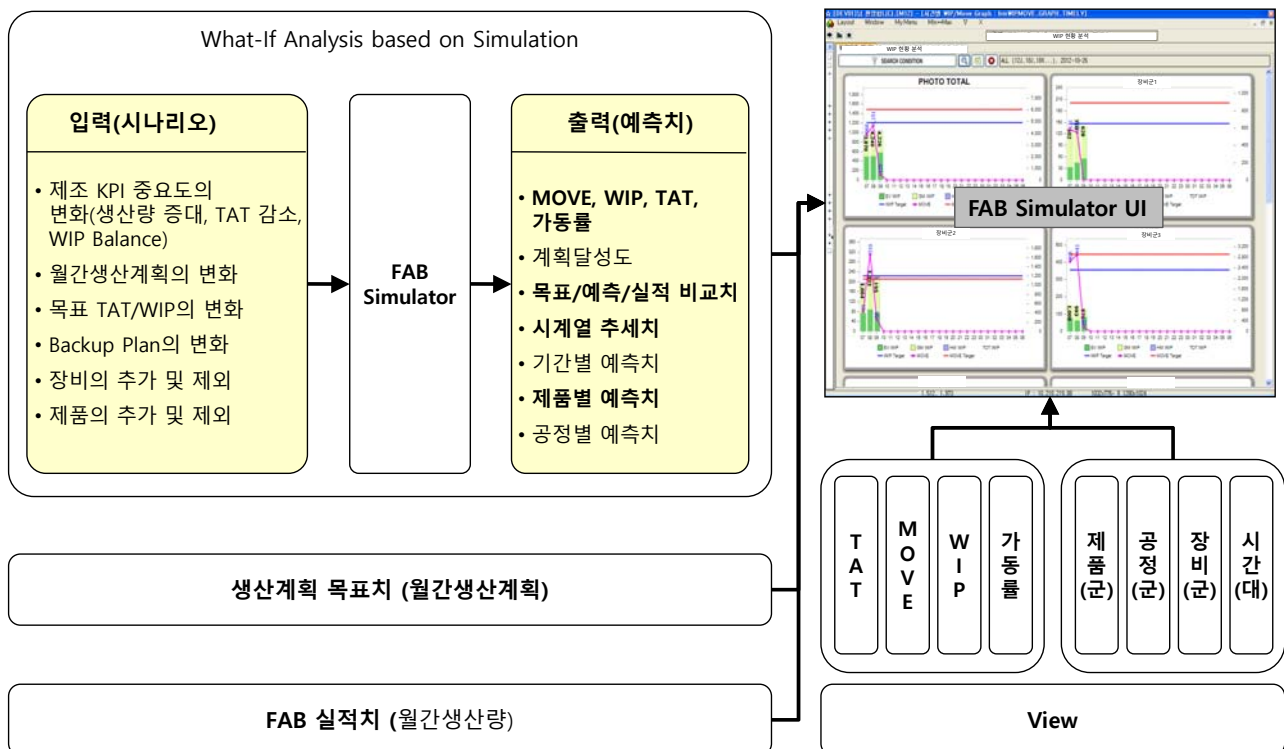
2. FAB Simulator

Scheduler 내부에 각각 Simulator를 탑재하여 장기 FAB 상황에 대해 예측



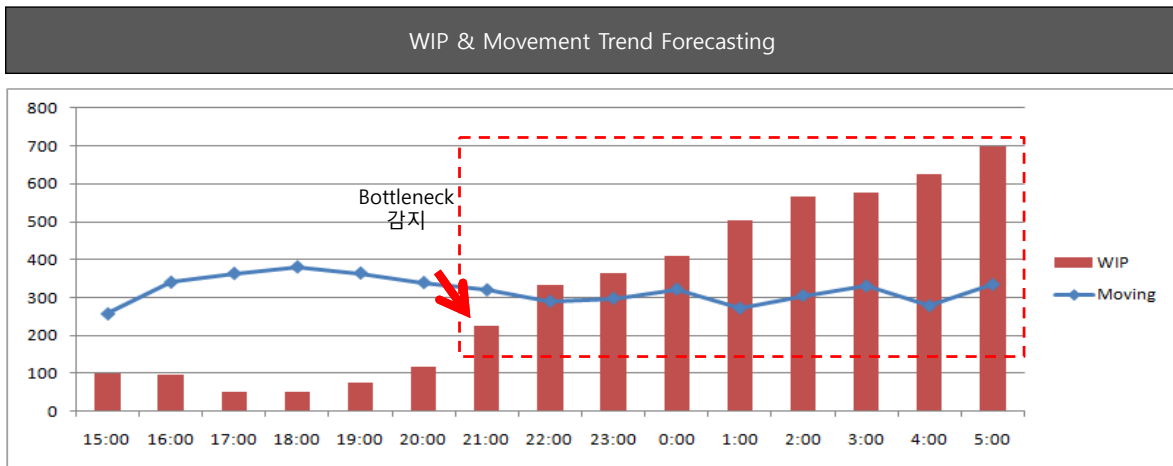
2. FAB Simulator / What-if 분석

투입계획 / FAB 간 Back-Up 물량 계획 / 장비 PM 계획 확정을 위한
 목표 TAT, WIP, MOVE의 변경에 대한 제조 KPI 예측기능 제공



2. FAB Simulator / 병목감지 및 완화

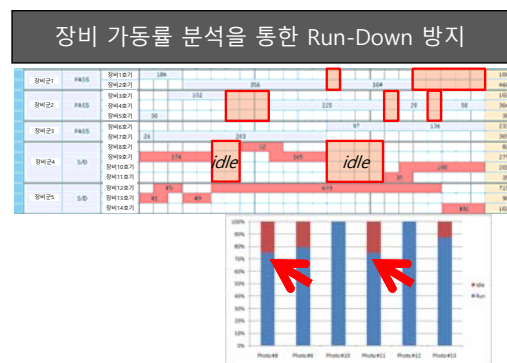
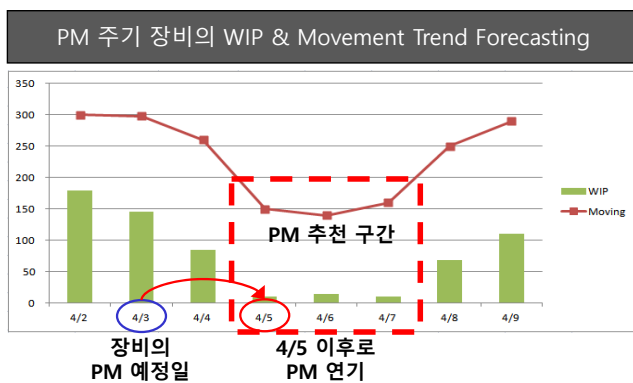
특정 제품에 대해 특정 공정이 향후 Bottleneck이 될 가능성에 대해 감지를 할 수 있으며 해당 공정 Move 최대화, 추가 장비 할당, 타 공정 Back-Up 등 선행 해소방안 마련이 가능



- | 추가 할당 가능한 장비군 분석 | Area Scheduler 우선순위 조정 | 타 FAB CAPA 활용 |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 추가 할당이 가능한 장비 후보군 파악 ② 후보군 장비 중에 가동률이 낮은 장비에 추가로 해당 공정 할당 | <ul style="list-style-type: none"> ① 공정 Movement를 최대화 Logic 적용 ② 장비 가동률 최대화 Logic 적용 (동일 Recipe, Setup Change 최소화) | <ul style="list-style-type: none"> ① Send FAB을 통한 Back-Up 물량 확보 |

2. FAB Simulator의 / PM 시점결정 및 Run-Down 방지

장비의 WIP 및 Move Trend, 가동률 예측을 통해 장비의 PM 시점과 해당 장비 및 타 장비의 Arrange를 변경할 수 있도록 의사결정 지원



What-If Simulation을 통한 장비(군) Arrange 조정

Step 정보	Eqp 정보	ResCode	15	15	15	20	20	20	25	25
LayerID	StdStep	ResGroup	CP101	CP102	CP103	CP201	CP202	CP203	CP301	CP302
		장비군1	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400
		장비군2	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400	BB/2400
		장비군3	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200
		장비군4	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200	R4/3200
		장비군5	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560
		장비군6	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560
		장비군7	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560
		장비군8	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560
		장비군9	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560
		장비군10	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560	108/560

2. FAB Simulator / 생산계획 실현 가능 여부 판단

Biz. 상황의 변화에 따라 제조계획으로부터 Product Mix 변화가 큰 월간 생산계획이 왔을 때
CAPA Simulation을 통해 제시된 월간 생산계획이 실현 가능한지 검증 가능

- Simulation Horizon: 4 ~ 8 weeks
- Product Mix 변화

	1M	2M
DRAM	28,000	12,000
FLASH	12,000	28,000
TOTAL	40,000	40,000

-Flash 생산량을 12,000/월에서 28,000/월로 변경
-주 생산량 변화
DRAM: 7,000 → 3,000
FLASH: 3,000 → 7,000

- 주 단위 FAB Out CAPA Simulation 결과



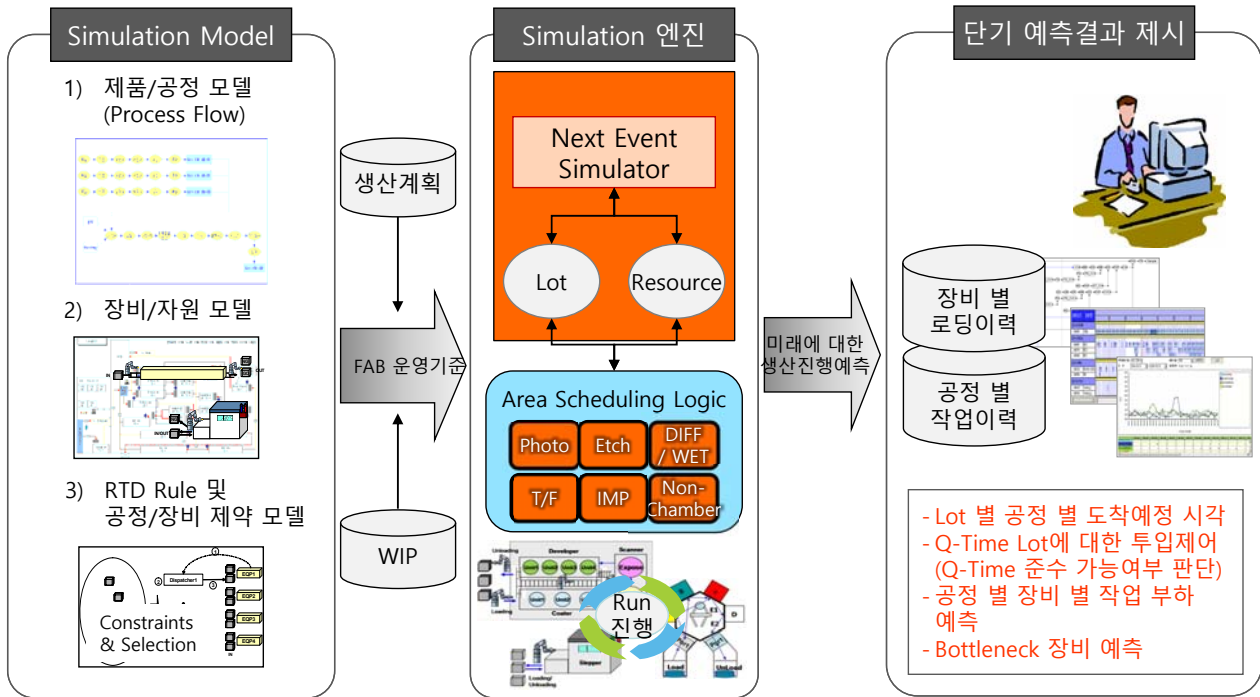
Flash 생산량이
5,500/주
이상 증가하지 못함

3. Area Simulator

- 정적(Static) vs. 동적(Dynamic)
 - 시간이 모델에서 중요한 역할을 수행하는가? 제조 모델 vs. 포커 확률 추정
- 연속-변화(Continuous-change) vs. 이산-변화(Discrete-change)
 - 시스템의 상태가 특정 시점에서만 변화할 수 있는가? 아니면 언제나 변화할 수 있는가? 대기중인 품(FOUP)의 개수 변화 vs. 퍼니스(Furnace)의 압력 변화
- 확정적(Deterministic) vs. 추계적(Stochastic)
 - 모든 것이 확실한가? 아니면 불확실성이 있는가? 입력값 : 상수 vs. 확률변수
- 일정 계획 수립을 위한 AREA Simulator (작업 순서가 중요함)
 - 동적, 이산-변화, 확정적 특성을 가짐
 - 단기간의 시뮬레이션 길이 (가까운 미래에 대한 확정적 예측)
 - ← 상수로 된 표준 가공 시간 (장비 고장 & 수리, 재작업 등 불포함)

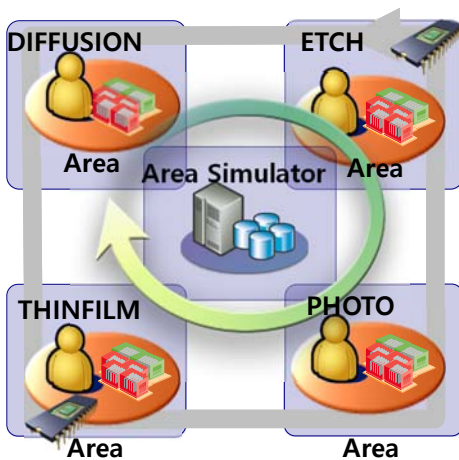
3. Area Simulator

Scheduler 내부에 각각 Simulator를 탑재하여 단기 Area 상황에 대해 예측



3. Area Simulator / Area Scheduler를 위한 정보 제공

독립된 Instance로 수행하는 Area Scheduler에 예상 도착 Lot 정보, Hot Lot 정보, 예상 장비 부하 등을 제공함으로써, 정체관리, Hot Lot 관리, 공정간 효율적 부하 할당 등에 활용 가능함.



1. Q-Time 진도 및 투입 관리

- 1) Q-Time 구간의 장비 부하를 사전 예측
- 2) 구간 내 공정간의 Q-Time Lot의 작업 시작시간 및 완료 시간
- 3) Q-Time 투입 여부를 사전에 판단 가능

2. 예상 도착 시간 산출

- 1) 전공정의 Lot의 현공정 예상 도착 시간 정보
- 2) Furnace Batch 의사 결정 가능
- 3) Setup Change 최소화 가능
- 4) Hot Lot의 효율적 Manage 가능

3. 전후 공정 부하 계산

- 1) 후공정 부하량에 따른 전후공정 Load Balancing
- 2) 사전 병목공정 예상, Lot의 생산 촉진 및 지연 조절

3. Area Simulator의 활용 방안 / Scheduling Logic 검증

Area Simulator의 RTD 및 RTD rule 동기화 통한 스케줄러 및 RTD Logic 검증 및 단기 예측 가능

1. 스케줄러 Logic 검증

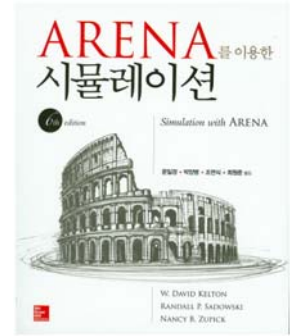
- 1) Area Scheduler의 구현 Logic 의 검증
- 2) Hot Lot 및 Normal Lot의 공정별 진행 시간, Move 량 예측
- 3) KPI 비교를 통한 스케줄러의 올바른 구현 검증

2. RTD 로직 검증

- 1) RTD/AQM에 적용된 Area 별 Logic 검증
- 2) Area Simulator 에 의한 결과 및 RTD에 의한 실적 결과 비교
- 3) 불합리 적출, 로직 개선



00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



시뮬레이션이란

- **시뮬레이션** : 일반적으로 적절한 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터 상에서 **시스템(System)의 거동을 흉내내기** 위한 방법들과 응용을 일컫는다.
- **시스템의 정의** : 그리스어 Systema: 조직화된 전체 (Organized whole)에서 단어가 유래되었다. 시스템은 특정한 요구사항을 충족시킨다는 공통의 목적을 가지고 함께 작업하는 상호관련 있는 구성요소들의 집합으로 구성된다.
- **시스템** : 물리적 시설 또는 프로세스를 가리키며, 실제로 존재하거나 아니면 계획된 것일 수도 있다.
- **대표적 시스템** : 기계, 사람, 운반기기, 컨베이어 벨트와 저장공간 등으로 구성된 제조공장
- **시뮬레이션의 활용** : 시스템의 성능을 측정하여 시스템의 운영을 향상시키거나, 존재하지 않는 시스템을 설계하기 위해 이용한다.
- **시뮬레이션**은 시스템 분석을 위해 사용할 수 있는 여러 **모델** 중 하나임



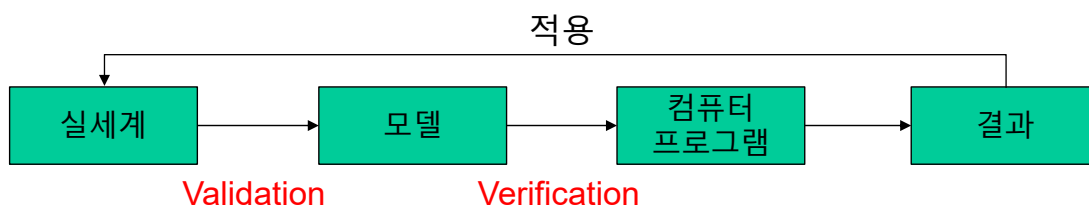
모델

- **시스템을 대상으로 실험할 수 없는 경우 모델을 활용** : 시스템 자체에서 물리적인 학습을 하는 것이 너무 어렵거나, 비용이 많이 들거나, 아예 불가능한 경우가 대부분임.
 - 공장을 아직 신축하지 않은 경우
 - 잘 작동할지 모르는 실험적 배치를 실제 시스템에 적용하는 것은 위험
 - 인근 지역의 은행의 폐쇄 효과를 알아보기 위해 고객을 두배로 늘려서 운영해보는 것은 불가능
 - 병원에서 응급실을 늘리거나 줄이는 실험을 해보는 것은 불가능
- **시스템에 대한 모델을 이용하면** 누구에게도 피해를 주지 않고, 모델을 사용하여 광범위한 아이디어를 자유롭게 시도해 봄으로써 현실 시스템에서는 시도해 볼 수 없었던 매력적인 대안들을 찾아낼 수 있음.



모델의 유효성

- **모델의 유효성(Validity)**
 - 모델을 통해 사용자가 학습하는 것이 실제 시스템으로 직접 실험함으로써 학습할 수 있는 것과 절대 달라서는 안된다는 의미.
 - **Verification** : 모델링 된 대로 프로그래밍이 되었는가? 모델을 컴퓨터 프로그램으로 옮기는 과정에 오류가 없는가?
 - **Validation** : 모델이 실세계의 거동을 올바르게 반영하고 있는가?
 - **Garbage In Garbage Out(GIGO)** : 잘못된 모델을 이용하여 프로그래밍 되었다면 프로그래밍이 아무리 잘 되었어도 컴퓨터 프로그램이 현실세계를 올바르게 반영할 수는 없다 - **모델링의 중요성 강조**
 - **제 3종 오류(Type III Error)** : 모델 자체의 오류를 의미 - 틀린 문제에 대한 정확한 해답보다는 옳은 문제에 대한 근사해가 더 낫다.
 - Validation과 Verification을 모두 통과해야 현실세계의 거동을 정확히 표현할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이 완성될 수 있다.



적합한 방법론 사용의 중요성

- 적합한 방법론 사용의 중요성

You're walking along in the dark and see someone on hands and knees searching the ground under a **street light**.

You: "What's wrong? Can I help you?"

Other person: "I dropped my car keys and can't find them."

You: "Oh, so you dropped them around here, huh?"

Other person: "No, I dropped them over there." (Points into the **darkness**.)

You: "Then why are you looking here?"

Other person: "Because this is where the light is."

- 문제를 해결할 수 있는 **적합한 방법론**이 있지만, 이 방법론을 사용하지 않고 그저 **내가 이미 알고 있는 방법론**으로 문제를 해결하려고 함.



모형의 종류

- 물리적 모형 Physical (iconic) models**

- 모형 전기 기차 세트
- 실물 크기의 패스트푸드 식당
- 원자력 발전소 모의 제어실
- 물리적 비행 시뮬레이터

- 논리적(수학적) 모형 Logical (Mathematical) models**

- 어떻게 실제 시스템이 돌아가는 지를 비슷하게 표현하거나 가정하여 정리한 것
- 대기행렬 이론, 미분방정식, 선형계획법 등
- 보통 적당한 소프트웨어를 이용한 컴퓨터 프로그램으로 표현됨
- 프로그램을 수행시켜 결과를 얻고 이를 통해 모형의 거동에 대해 학습



논리적 모형의 한계

- **논리적(수학적) 모형의 한계**

- 모형이 간단하다면 논리적(수학적) 모형을 통해 분석하여 정확한 결과를 얻는 것이 가능
- 그러나 대부분의 현실 시스템들은 매우 복잡하여 유효성 있는 수학적 모형으로 표현하는 것이 불가능함
- 과도하게 단순화하여 모델링하는 것의 위험 : 모형 유효성
- Type III error – 잘못된 모델에 대해 문제를 푸는 오류

- **대안은 무엇인가?**

- 컴퓨터 시뮬레이션

- **시뮬레이션의 필요성**

- 사람이 모델링하여 연구하는 **대부분의 시스템은 상당히 복잡**하며, 그 때문에 시스템의 유효한 모델들 역시 매우 복잡함
- 이런 모델에 대해서 정확한 수학적 해를 구하지 못할 수도 있는데, 바로 이러한 부분에서 시뮬레이션이 활용됨



컴퓨터 시뮬레이션

- **컴퓨터 시뮬레이션**

- 시스템의 운영 및 특성을 모방하기 위해 설계된 소프트웨어를 사용하여 수치적인 평가를 함으로써 현실 세계 시스템의 다양한 모델을 연구하는 방법을 의미한다.

- **시뮬레이션이 인기가 있는 주된 이유**

- 복잡한 시스템의 경우 **모델이 복잡**하더라도 이를 다룰 수 있는 능력이 있기 때문
- 컴퓨터 **하드웨어와 소프트웨어의 진보**에 기인
- 컴퓨터 하드웨어의 **수행도/가격 비율의 현저한 향상**

- **시뮬레이션의 단점**

- 많은 실제 시스템은 제어가 불가능하고, 랜덤한 입력에 의해 영향을 받음
- 대부분의 시뮬레이션 모델들이 **추계적인 입력요소**들을 갖게 되고 결과적으로 **출력이 랜덤하게 됨**
- 체계적인 실험계획과 출력에 대한 **통계적 분석이 필요함**



시뮬레이션의 대중성

- **운영관리 / 경영과학 분야의 가장 유용하고 대중적인 도구는?**
 - 1978: M.S. graduates of CWRU O.R. Department ... after graduation
 1. Statistical analysis
 2. Forecasting
 3. Systems Analysis
 4. Information systems
 5. Simulation
 - 1979: Survey 137 large firms, which methods used?
 1. Statistical analysis (93% used it)
 2. Simulation (84%)
 3. Followed by LP, PERT/CPM, inventory theory, NLP, ...
 - 1980: (A)IIE O.R. division members
 - First in utility and interest — simulation
 - First in familiarity — LP (simulation was second)
 - 1983, 1989, 1993: Longitudinal study of corporate practice
 1. Statistical analysis
 2. Simulation
 - 1989: Survey of surveys
 - Heavy use of simulation consistently reported



시뮬레이션의 종류

□ 정적(Static) vs. 동적(Dynamic)

- 시간이 모델에서 중요한 역할을 수행하는가? 제조 모델 vs. 포커 확률 추정

□ 연속-변화(Continuous-change) vs. 이산-변화(Discrete-change)

- 시스템의 상태가 특정 시점에서만 변화할 수 있는가? 아니면 언제나 변화할 수 있는가?
대기중인 품(FOUP)의 개수 변화 vs. 퍼니스(Furnace)의 압력 변화

□ 확정적(Deterministic) vs. 추계적(Stochastic)

- 모든 것이 확실한가? 아니면 불확실성이 있는가? 입력값 : 상수 vs. 확률변수

□ 대부분의 운영 모형은

- 동적, 이산-변화, 추계적 특성을 가짐

□ 시뮬레이션의 수행은 수작업으로도 컴퓨터를 이용해서도 가능함

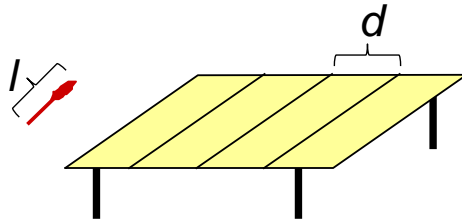


손으로 하는 시뮬레이션 뷔퐁의 바늘던지기 실험

Georges-Louis Leclerc de Buffon



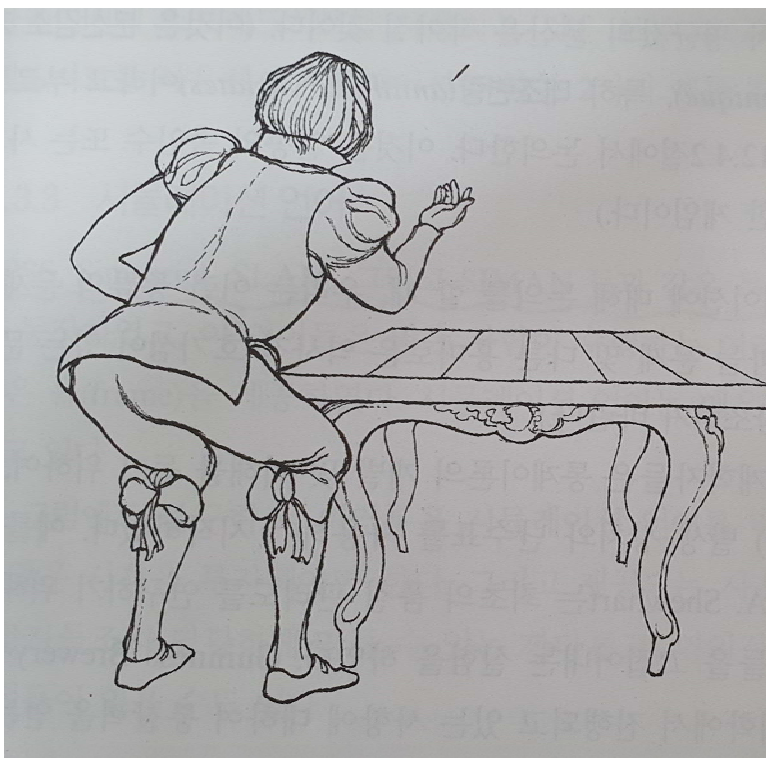
1707 - 1788



- Estimate π (George Louis Leclerc, c. **1733**)
- Toss needle of length l onto table with stripes d ($>l$) apart
- P (needle crosses a line) = $\frac{2l}{\pi d}$
- Repeat; tally \hat{p} = proportion of times a line is crossed
- Estimate π by $\frac{2l}{\hat{p}d}$



손으로 하는 시뮬레이션 뷔퐁의 바늘던지기 실험



이 단계를 'n'번 반복한다.

바늘을 준비하고 탁자 위에 선을 긋는다.

바늘을 던질 횟수 'n'을 결정한다.

계수기를 '0'으로 지정한다.

바늘을 탁자 위에 임의로 던진다.

던져진 바늘이 선들 중 어느 하나와 교차하면 계수기를 '1'만큼 증가시킨다.

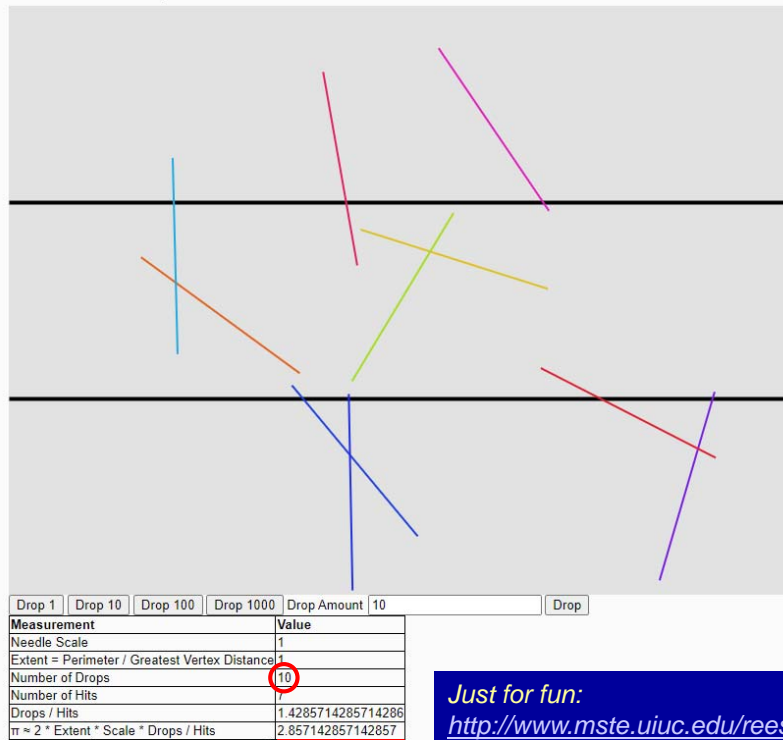
바늘이 선과 교차된 비율 \hat{p} 를 계산한다.

$$\hat{p} = \frac{\text{계수기의 마지막 값}}{n}$$

$\hat{p} > 0$ 이라고 가정하고 $\frac{2l}{\hat{p}d}$ 의 값으로 π 를 추정한다.



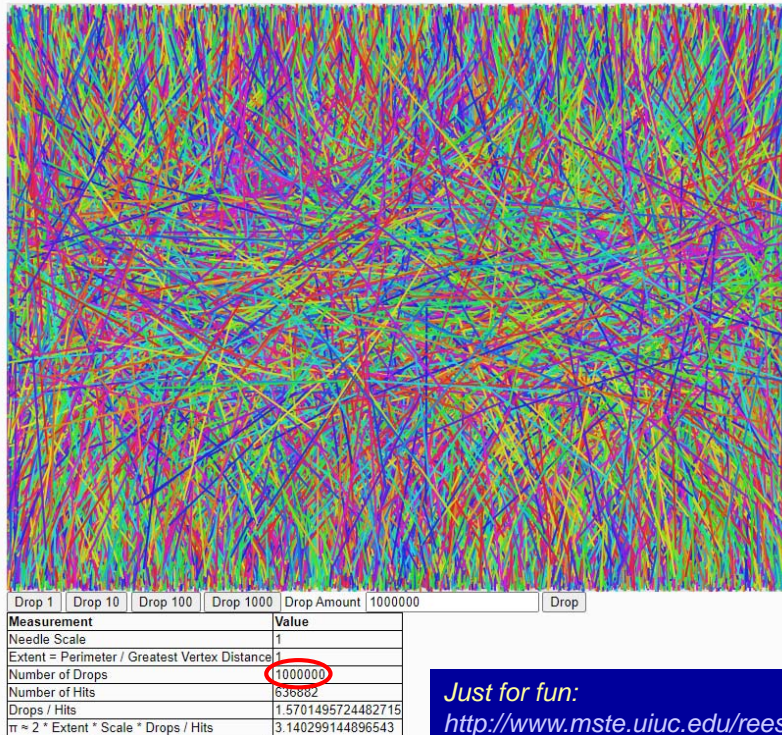
손으로 하는 시뮬레이션 뷔퐁의 바늘던지기 실험



손으로 하는 시뮬레이션 뷔퐁의 바늘던지기 실험



손으로 하는 시뮬레이션 뷔퐁의 바늘던지기 실험



Just for fun:

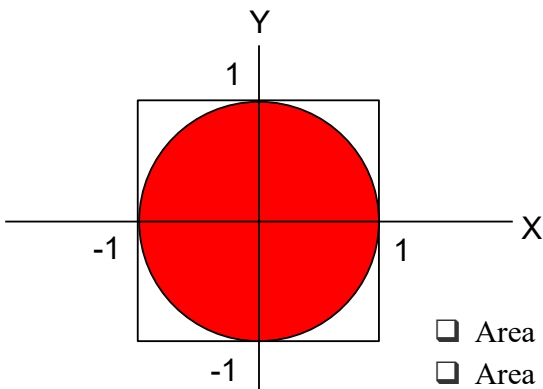
<http://www.mste.uiuc.edu/reese/buffon/buffjava.html>



손으로 하는 시뮬레이션: π 값 계산



Monte Carlo Simulation



시행	X	Y	Z	판정
1	=1-RAND()*2	=1-RAND()*2	=B2^2+C2^2	=IF(D2<=1,1,0)
...				
10000	=1-RAND()*2	=1-RAND()*2	=B3^2+C3^2	=IF(D3<=1,1,0)
				=SUM(E2:E4)
				=E5*4/A4

	A	B	C	D	E
1	시행	X	Y	Z	판정
2	1	0.176776	0.858728	0.768664	1
3	2	-0.5021	0.91313	1.085913	0
4	3	0.316613	0.162613	0.126687	1
5	4	0.83799	0.29547	0.78953	1
6	5	-0.91836	-0.46533	1.059927	0

- Area of square = $2*2 = 4$
- Area of circle = $\pi r^2 = \pi$
- Random number generation : $x, y = \text{Random}(-1, 1)$
- Calculate $z = x^2 + y^2$: if $z \leq 1$ than count++
- Repeat N experiments
- $4 : \pi = N : \text{count} \rightarrow \pi = 4 * \text{count} / N$



시뮬레이션을 위해 컴퓨터 활용

- 일반적인 프로그래밍 언어 (FORTRAN, C, C++, C#, Java, Matlab, others)
 - 지루하며, 낮은 계층의, 오류를 범하기 쉬운 특성
 - 그러나 **완벽한 유연성 제공**
- 스프레드 시트
 - 보통 정적 모형 작성 시 이용
 - 재무 시나리오, 확률 분포 샘플링, 통계적 품질 관리
 - 2장의 예제 (하나는 정적 모형, 하나는 동적 모형)
- 시뮬레이션 언어
 - GPSS, SLX, **SIMAN (Arena의 기본이 되는 언어, Arena에 내재되어 있음)**
 - 대중적이며, 일부는 현재도 사용 중
 - 학습을 위해 충분한 시간이 필요, 효과적 사용, 언어 문법에 익숙해야 함



시뮬레이션을 위해 컴퓨터 활용

- 고급 시뮬레이터
 - 사용하기 쉬우면, **그래픽 인터페이스**를 가짐
 - 제한적인 적용영역 (제조, 통신 등)
 - **제한적인 유연성**, 모형의 유효성을 유지할 수 있을 만큼의 충분한 유연성 제공 부족
- High level simulators for Discrete event simulation.
 - [AutoMod](#) - Simulating Reality
 - [Arena](#) ← 우리가 배우게 될 도구
 - [ExtendSim](#) - Simulation software for discrete event, continuous, [discrete rate](#) and [agent-based](#) simulation**[GPSS](#)
 - [Simio](#) software for discrete event, continuous, and agent-based simulation.^[1]
 - [SimPy](#), an open-source package based on [Python](#)
 - [SIMSCRIPT II.5](#), a well established commercial compiler
 - [Simula](#)
 - [jEQN](#) a [Domain Specific Language](#) for M&S of [Queueing Networks](#)

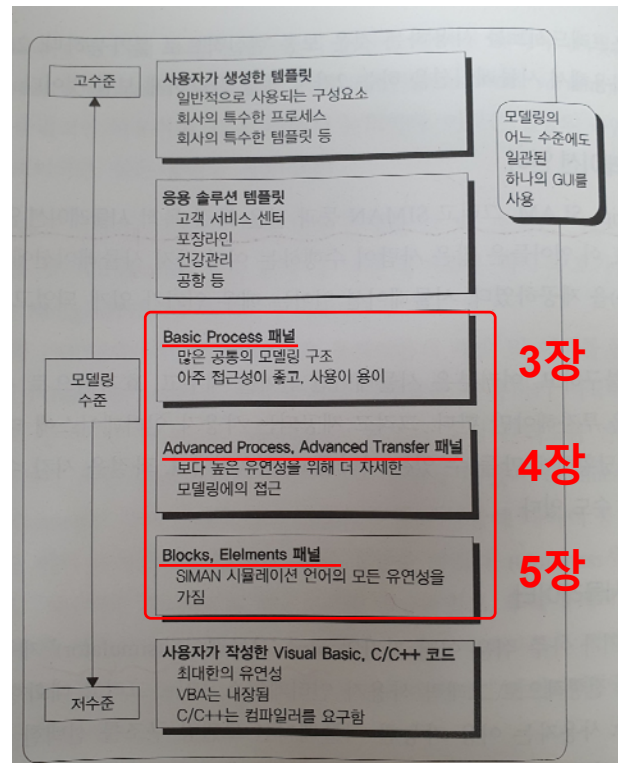


Arena는 어디에 적합한가?

• 계층적 구조

- 모델링을 위한 다중 계층
- 하나의 모형에서 복수의 계층을 혼용하여 사용할 수 있음
- 종종, 상위 계층에서 시작한 후 필요한 경우 하위 계층으로 이동

• 모델의 유연성을 희생하지 않은 채, 시뮬레이터의 사용 용이성(ease-of-use)이라는 장점을 유지



시뮬레이션 발전사

• 시뮬레이션은 하드웨어와 소프트웨어의 진화와 함께 발전해 옴

• 초창기 (1950s-1960s)

- 배우 비싸며 특별한 도구로 여겨 짐
- 대형 컴퓨터와 특별한 훈련이 요구됨
- 대부분 FORTRAN 언어 이용(심지어는 Assembler 언어 이용)

• 형성기 (1970s-early 1980s)

- 컴퓨터가 점점 빨라지고 저렴해짐
- 점점 여러 분야에서 시뮬레이션의 가치를 인정받기 시작함
- 시뮬레이션 소프트웨어가 개선되었으나, 여전히 학습이 필요하고, 타이핑이 필요하며, 배치처리가 필요함
- 자동차와 항공산업 분야에서 골치 아픈 문제들의 해결을 위해 이용됨

• 최근 (late 1980s-1990s)

- 마이크로 컴퓨터 등장
- GUI, Animation 기능을 겸비한 소프트웨어 진화
- 좀 더 넓은 분야에서 폭넓게 받아 들여 짐
- 여전히 대기업 중심
- 시뮬레이션 수행 능력이 스펙의 일부가 됨

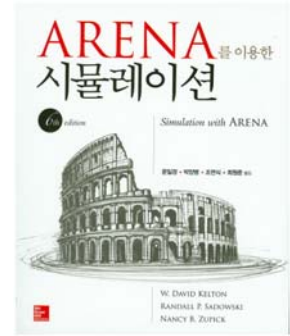


시뮬레이션 발전사

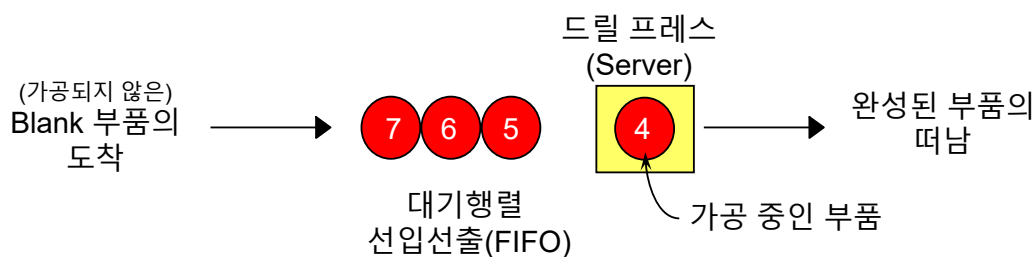
- **현재**
 - 소규모 기업으로 확산
 - 표준 도구로 자리 잡음
 - 설계의 초기 단계에서 주로 이용됨
 - 실시간 통제에 활용
- **미래**
 - 산업, 기업을 위한 전문 "템플릿"
 - 자동화된 통계 설계, 분석
 - 실시간 네트워크 데이터 공유
 - 다른 애플리케이션과 통합
 - 분산 모델 구축, 실행
- **시스템 설계 및 운영에 대한 성능평가도구 및 의사결정지원도구로 활용**



00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



시뮬레이션 대상 시스템 : 단순 가공 시스템



- 단일 제품, 단일 장비 시스템
 - Blank 부품이 도착해서, 장비에서 가공을 한 후, 완성된 부품이 되어 시스템을 떠남
- 시뮬레이션 목적:
 - 기대 생산량 예측
 - 대기행렬에서의 부품 대기시간, 대기중인 부품 수, 장비 가동률 예측



시스템 상세 정보

- 초기 (시간 0) 대기행렬은 비어있고, 장비는 유휴 상태
- 기본 시간 단위 : **분** 단위
- 입력 자료 (주어져 있다고 가정) :

부품 번호	도착시간(분)	도착시간 간격(분)	서비스 시간(분)
1	0.00	1.73	2.90
2	1.73	1.35	1.76
3	3.08	0.71	3.39
4	3.79	0.62	4.52
5	4.41	14.28	4.46
6	18.69	0.70	4.36
7	19.39	15.52	2.07
8	34.91	3.15	3.36
9	38.06	1.76	2.37
10	39.82	1.00	5.38
11	40.82	.	.
.	.	.	.

- 시뮬레이션은 **20분** 동안 진행한 후 종료



시뮬레이션 목적 : 출력 수행 척도

- **20분 작업 동안의 총 생산량 (P)**
- **부품들의 대기행렬에서의 평균 대기시간 :**

$$\frac{\sum_{i=1}^N WQ_i}{N}$$

N = 대기 끝난 부품의 수

WQ_i = i 번째 부품의 대기시간

Know: $WQ_1 = 0$ (첫번째 부품의 대기시간 = 0)

$N \geq 1$ (첫번째 부품은 무조건 대기 완료)

- **부품들의 대기행렬에서의 최대 대기시간 :**

$$\max_{i=1, \dots, N} WQ_i$$

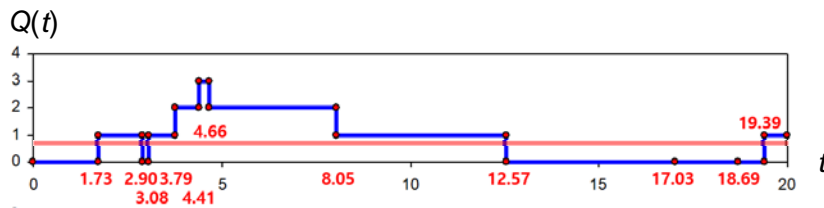


시뮬레이션 목적 : 출력 수행 척도

- 대기행렬에서 기다리는 부품의 시간 평균 개수:

$$\frac{\int_0^{20} Q(t) dt}{20} \quad Q(t) = \text{시각 } t \text{에서 대기행렬에 대기중인 부품의 수}$$

- 대기행렬에서 기다리는 부품의 최대수 : $\max_{0 \leq t \leq 20} Q(t)$



시뮬레이션 목적 : 출력 수행 척도

- 부품들의 시스템에서 체류하는 평균 및 최대 시간 (a.k.a. 주기 시간 *cycle time*):

$$\frac{\sum_{i=1}^P TS_i}{P}, \quad \max_{i=1, \dots, P} TS_i$$

$TS_i =$ 부품 i 의 시스템 체류 시간

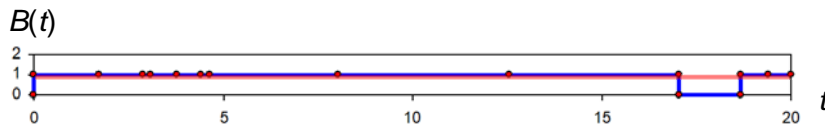


시뮬레이션 목적 : 출력 수행 척도

- 장비의 가동률 (가동중인 시간의 비율)

$$\frac{\int_0^{20} B(t) dt}{20}, \quad B(t) = \begin{cases} 1 & \text{if the machine is busy at time } t \\ 0 & \text{if the machine is idle at time } t \end{cases}$$

Server status $B(t) = 1$ for busy, 0 for idle



시뮬레이션 목적 : 출력 수행 척도

반도체 Fab 용어

- 20분 작업 동안의 총 생산량(P):  Movement
- 대기행렬에서 기다리는 부품의 시간 평균 개수:  WIP
- 부품들의 시스템에서 체류하는 평균 및 최대 시간(주기 시간 cycle time):  TAT
- 장비의 가동률 (가동중인 시간의 비율):  Utilization



Analysis Options

- 경험에서 나온 추측

- 평균 도착시간 간격 = 4.08 분
- 평균 서비스 시간 = 3.46 분
- 만약, 평균 도착시간 간격 < 평균 서비스 시간인 상황이 계속된다면, 들어오는 부품 수가 시스템을 빠져나가는 부품 수보다 많아 지기 때문에, 대기행렬은 폭발함
- 즉, 끊임없이 대기 부품이 늘어나 대기공간이 가득 차 버림



Analysis Options (cont'd.)

- 대기 이론

- 가장 단순하고 대중적인 모형: *M/M/1 queue*
 - 첫번째 *M*: 도착시간 간격 ~ 지수분포, 도착시간 간격은 독립적
 - 두번째 *M*: 서비스 시간 ~ 지수분포, 서비스 시간은 독립적
 - 1: 장비(Server가 한대)
 - $E(\text{서비스 시간}) < E(\text{도착시간 간격}) \rightarrow$ 안정상태
 - 대기행렬에서의 정확한 평균 대기 시간을 이론적으로 구할 수 있다.

$$\frac{\mu_S^2}{\mu_A - \mu_S}, \quad \begin{array}{l} \mu_A = E(\text{interarrival time}) \\ \mu_S = E(\text{service time}) \end{array}$$

- 평균 도착시간 간격 = 4.08 분
- 평균 서비스 시간 = 3.46 분
- 평균대기 시간 = $3.46^2 / (4.08 - 3.46) = 19.31$ 분



시뮬레이션 모델의 구성요소

• 개체 *Entities*

- 대부분의 시뮬레이션에는 시스템 내부를 이동하면서 상태를 변화시키고, 또 다른 개체 및 시스템의 상태에 의해 영향을 주기도 하고 받기도 하며, 출력 수행 척도에 영향을 미치는 개체(Entities)가 있다.
- 개체는 시뮬레이션 내에서 동적 대상물로서, 일반적으로 생성되어, 얼마동안 시스템 내부를 돌아다니다가, 그 다음에 시스템을 떠나면서 소멸한다.
- 일반적으로 실제 사물을 나타낸다.
 - 단순 가공 시스템: 개체는 부품



시뮬레이션 모델의 구성요소

• 속성 *Attributes*

- 개체들을 개별화하기 위해 속성(Attributes)를 붙인다.
- 속성은 모든 개체가 갖는 공통 특성인데, 개체마다 서로 다른 값을 가질 수 있다, 예를 들면 부품의 :
 - 도착 시각 Time of arrival
 - 납기 Due date
 - 우선 순위 Priority
 - 색상 Color



시뮬레이션 모델의 구성요소

• (광역) 변수 (Global) Variables

- 변수(Variable) 또는 광역 변수(Global Variable)은 시스템에 존재하는 개체들의 수와 종류에 관계없이, 시스템의 특성을 반영하는 정보의 하나이다.
- 속성과는 달리 변수들은 어떤 특정한 개체에 연결되어 있지 않고 전체 시스템에 연결되어 있다.
- 속성을 현재 방에서 돌아다니는 개체에 붙은 꼬리표로 생각한다면, 변수들은 벽에 기록하는 것(재기록 가능)으로 생각하라. 예를 들면,
 - 시스템 내의 부품의 수
 - 시뮬레이션 시계



시뮬레이션 모델의 구성요소

• 자원 Resources

- 개체들은 사람, 장비 또는 크기가 제한된 저장 공간 등과 같은 사물을 나타내는 자원(Resource)로부터 서비스를 받기 위해 자주 서로 경쟁한다.
- 개체는 자원이 이용 가능할 때 자원을 점유하여 사용하고, 작업이 완료되면 자원을 놓아 준다.



시뮬레이션 모델의 구성요소

• 대기행렬 *Queues*

- 하나의 개체가 더 이동할 수 없을 때, 예를 들면, 다른 개체가 자원의 한 단위를 사용 중인 경우, 자원을 점유하기 위해서 기다릴 수 있는 공간이 필요하다. 이 공간을 대기행렬이라 부른다.



시뮬레이션 모델의 구성요소

• 통계적 누적계산기 *Statistical accumulators*

- 시뮬레이션 출력 수행 척도를 얻기 위해서는, 시뮬레이션이 진행해 감에 따라 다양한 통계적 누적계산 변수(Statistical Accumulator Variables)를 추적 관리해야 한다. 예를 들면,
 - 생산량 Number of parts produced so far
 - 대기시간의 합 Total of the waiting times spent in queue so far
 - 대기완료 부품수 No. of parts that have gone through the queue
 - 최대 대기시간 Max time in queue we've seen so far
 - 시스템에서 머문 시간의 합 Total of times spent in system
 - 시스템에서 머문 최대 시간 Max time in system we've seen so far
 - $Q(t)$ 그래프 아래 면적 Area so far under queue-length curve $Q(t)$
 - 최대 $Q(t)$ 값 Max of $Q(t)$ so far
 - $B(t)$ 그래프 아래 면적 Area so far under server-busy curve $B(t)$



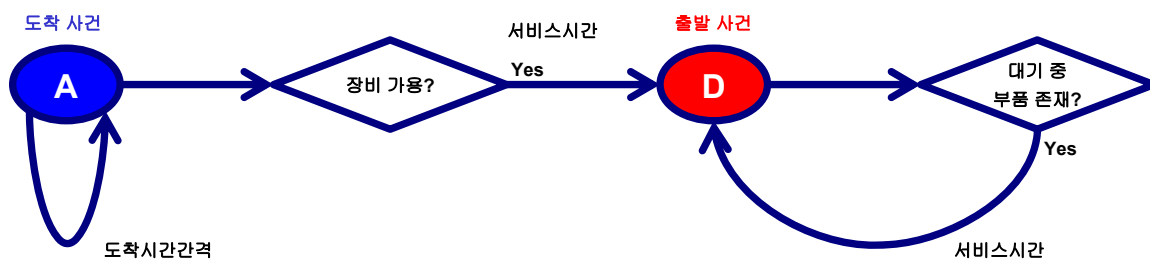
시뮬레이션 모델의 구성요소

• 사건 Events

- 사건이란 속성, 변수, 통계적 누적치 등을 변화시키는 어떤 일로서, 실험시간의 특정 순간에 발생한다. 사건이 발생하면:
 - 사건 유형에 따라 상태 변화 처리
 - 통계치 계산
 - 미래 사건의 발생 시간을 계산
 - 시뮬레이션을 실행하려면, 미래에 일어날 것으로 예정된 사건들에 대해서 추적 관리를 해야 한다. Arena에서 이 정보는 **사건 달력(Event Calendar)**에 저장한다.
 - **이산 사건 시뮬레이션에서는 시뮬레이션 시간이 하나의 사건발생 시각에서 다른 사건 발생시각으로 점프(Jump)**
- 새로운 부품의 **도착(A)** 사건, 완료된 부품의 **출발(D)** 사건, 시뮬레이션 **종료(E)** 사건



시뮬레이션 모델의 구성요소



- 도착 사건은 도착 사건을 발생시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 도착시간 간격
- 도착사건은 장비가 가용하면 출발사건을 발생시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 서비스 시간
- 출발사건은 대기중인 부품이 존재하면 출발 사건을 발생 시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 서비스 시간



시뮬레이션 모델의 구성요소

- **시뮬레이션 시계 *Simulation clock variable (internal in Arena)***

- 시뮬레이션에서 시간의 현재 값은 시뮬레이션 시계라고 불리는 변수에서 간단하게 관리된다.
- 시뮬레이션 시계는 실제 시계의 바늘과 같이 시간 값이 연속적으로 바뀌지 않고, 하나의 사건 시간에서 다음 계획된 사건 시간으로 건너뛴다. → 이산 사건 시뮬레이션 (특정한 시점에서만 시스템의 상태가 변화)



시뮬레이션 모델의 구성요소

- **사건 달력: 사건 기록에 대한 목록:**

- [사건 일련 번호, 사건 발생 시간, 사건 유형]
- 사건 발생 시간으로 정렬하여 보관
- 바로 다음에 발생하는 사건이 사건 달력의 맨 위에 위치함
- 시뮬레이션 초기화 시, 첫번째 도착 사건과 종료 사건을 스케줄 함.



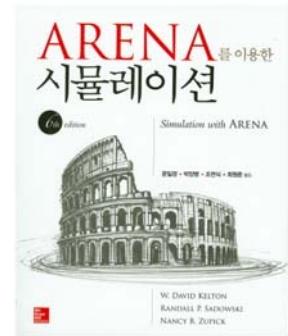
시뮬레이션 모델의 구성요소

- **시작 및 종료**

- 시뮬레이션에서 중요하지만 때때로 간과되는 것은 시뮬레이션의 시작과 종료 시점을 정하는 것이다.
- 시작 (0분에 시작), **종료 규칙 정의 필요(20분이 되면 종료)**



00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



수작업으로 수행하는 시뮬레이션

- **새로운 부품의 도착** *Arrival of a new part to the system*
 - 시간 지속형 통계치 갱신 (이전 시간에서 현재로)
 - $Q(t)$ 그래프 아래 면적
 - $Q(t)$ 최대값
 - $B(t)$ 그래프 아래 면적
 - 도착한 사건의 현재 시간을 기록해 둬 (향후 사용)
 - **장비가 가용하면**(장비가 유휴 중이면):
 - 가공 시작 (**출발 사건 생성**), 장비 상태를 가동 중으로 변경, 대기 완료 수(+1), 대기 시간 합계 (+0 : 누적치 불변) 갱신
 - 그렇지 않으면 (장비가 가동 중이면):
 - 부품을 대기행렬의 끝에 위치시키고, 대기행렬 길이를 하나 증가
 - **다음 도착 사건을 생성**



수작업으로 수행하는 시뮬레이션

- **완료된 부품의 출발** *Departure* (when a service is completed)

- 생산 완료된 부품의 수를 저장하고 있는 통계치 갱신(+1)
- 시스템에 머물렀던 시간(현재시간 - 도착 시간) 계산 및 합계 갱신
- 기타 시간 지속형 통계치 갱신 (이전 시간에서 현재로)
- **대기행렬이 비어 있지 않으면**(대기중인 부품이 있으면):
 - 대기행렬의 맨 앞에서 대기중인 부품을 꺼내, 대기행렬에서의 대기시간을 계산하고 합계를 갱신, 서비스를 시작 (**다음 출발 사건을 생성**)
- 그렇지 않으면 (대기행렬이 비어 있으면):
 - 장비의 상태를 유휴 중으로 변경 (대기중인 부품이 없으므로 다음 출발 사건을 생성할 수 없음)



수작업으로 수행하는 시뮬레이션

- **종료** *The End*

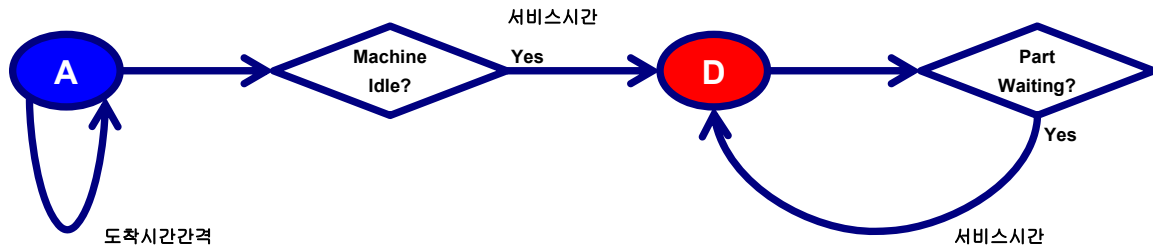
- 시간 지속형 통계치 갱신 (시뮬레이션 종료 시간으로)
- 통계적 누적 계산기를 이용하여 최종 출력 수행 척도를 계산

- **이산 사건 시뮬레이션 진행 방식**

- 각 **사건의 처리**를 위해서는,
- 우선 **사건 달력의 맨 위 사건을 제거**하고,
- 제거된 사건을 이용하여 **시뮬레이션 시간을 갱신**하며,
- 시스템의 **상태와 통계치**를 갱신하며,
- 조건을 만족하는 경우 **새로운 사건을 발생**시킴



수작업으로 수행하는 시뮬레이션



- 도착 사건은 도착 사건을 발생시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 도착시간 간격
- 도착사건은 장비가 가용하면 출발사건을 발생시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 서비스 시간
- 출발사건은 대기중인 부품이 존재하면 출발 사건을 발생 시킴. 사건 발생시간은 현재 시간 + 서비스 시간


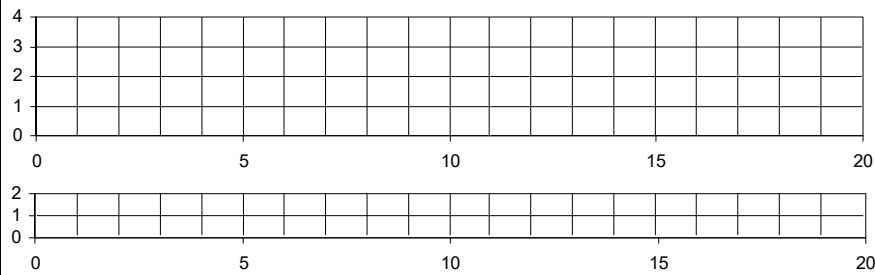


수작업으로 수행하는 시뮬레이션

- 수작업으로 수행하는 시뮬레이션
 - 사건 발생 동안 상태 변수(Q(t), B(t) 등)와 통계적 누적 계산기(P, N, ΣWQ, Σ TS 등)를 추적 관리한다.
 - 주어진 도착 시간 간격과 서비스 시간을 이용한다.
 - 사건(제품번호, 사건 발생 시간, 사건 유형) 달력을 유지한다.
 - 시뮬레이션 시계를 하나의 사건에서 다음 사건의 발생 시간으로 이동한다.




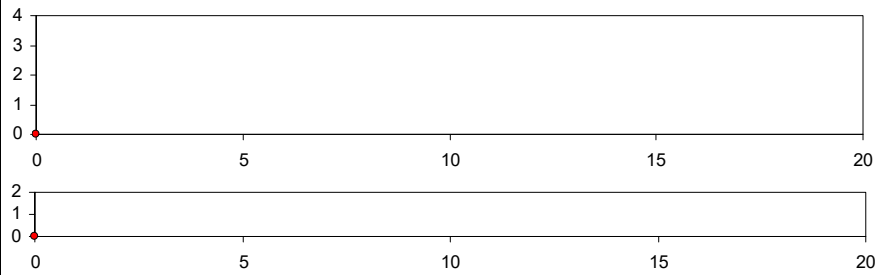
Simulation by Hand: Simulator Setup

System 대기행렬  장비	Clock 현재시간	$B(t)$ 장비상태 가동중 = 1 유휴중 = 0	$Q(t)$ 대기중인 제품의 수	Arrival times of custs. in queue Queue에서 대기중인 제품의 도착시간	Event calendar 사건달력 (제품번호, 사건발생시간, 사건유형)
Number of completed waiting times in queue 대기를 완료하고 서비스를 개시한 제품의 수	Total of waiting times in queue 대기를 완료한 제품들에 대한 대기시간의 합계		Area under $Q(t)$ 대기중인 제품의 수에 대한 시간 누적치: $Q(t)$ 그래프 아래 면적		Area under $B(t)$ 장비상태에 대한 시간 누적치: $B(t)$ 그래프 아래 면적
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
도착시간간격	제품1~2 2~3 3~4 4~5 5~6 6~7 7~8 8~9 9~10 10~11				
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				
서비스시간	제품1 제품2 제품3 제품4 제품5 제품6 제품7 제품8 제품9 제품10				



Simulation by Hand: $t = 0.00$, 초기화 Initialize


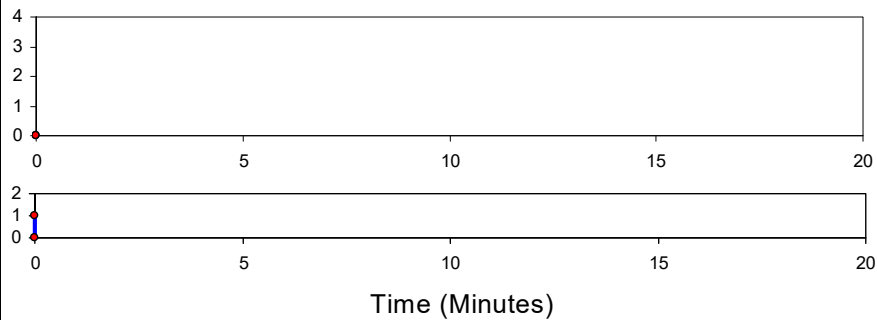
0분 → 제품1의 도착 사건과
20분 → 시뮬레이션 종료 사건 초기화

System 	Clock 0.00	$B(t)$ 0	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue <empty>	Event calendar [1, 0.00, Arr] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 0	Total of waiting times in queue 0.00		Area under $Q(t)$ 0.00		Area under $B(t)$ 0.00
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				





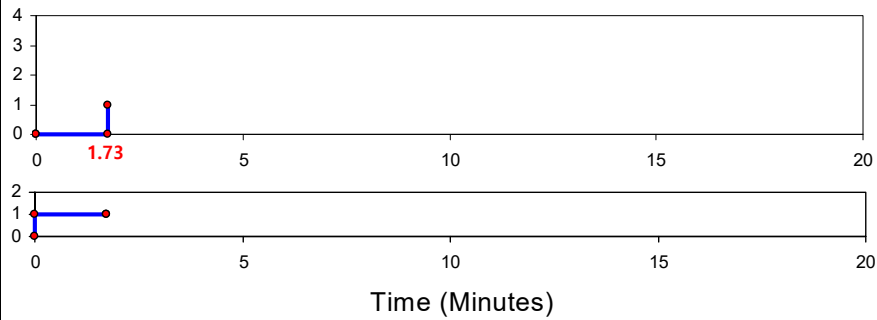
Simulation by Hand:

$t = 0.00$, Arrival of Part 1

System 	Clock 0.00	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue <empty>	Event calendar [2, 1.73, Arr] = 0 + 1.73 [1, 2.90, Dep] = 0 + 2.90 [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 1 제품1	Total of waiting times in queue 0.00	Area under $Q(t)$ 0.00		Area under $B(t)$ 0.00	
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73 , 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90 , 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				


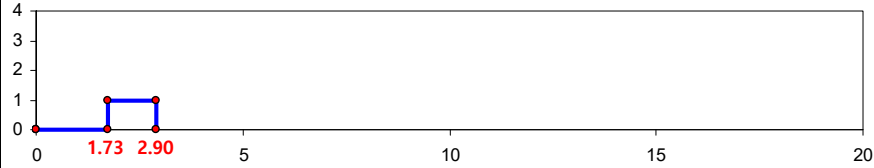
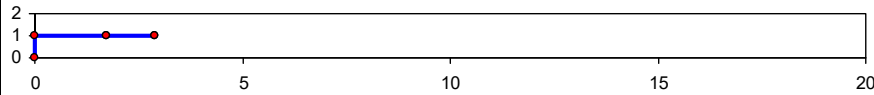
Simulation by Hand:

$t = 1.73$, Arrival of Part 2

System  	Clock 1.73	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs. in queue (1.73)	Event calendar [1, 2.90, Dep] [3, 3.08, Arr] = 1.73 + 1.35 [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 1 제품1	Total of waiting times in queue 0.00	Area under $Q(t)$ 0.00		Area under $B(t)$ 1.73 = 0 + (1.73 - 0)	
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73 , 1.35 , 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90 , 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				

Simulation by Hand:



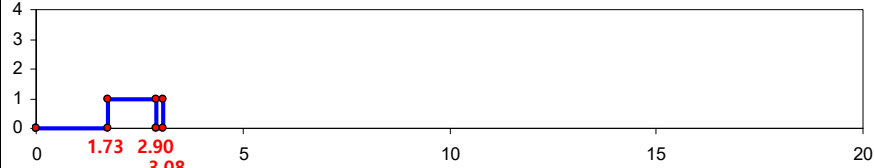
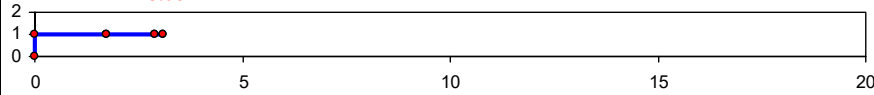
$t = 2.90$, Departure of Part 1

System 	Clock 2.90	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue <empty>	Event calendar [3, 3.08, Arr] = 2.90 + 1.76 [2, 4.66, Dep] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 2 제품1, 2	Total of waiting times in queue $1.17 = 2.90 - 1.73$		Area under $Q(t)$ $1.17 = 0 + (2.90 - 1.73) * 1$		Area under $B(t)$ $2.90 = 1.73 + (1.73 - 1.17)$
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35 , 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76 , 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand:

$t = 3.08$, Arrival of Part 3

System  	Clock 3.08	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs. in queue (3.08)	Event calendar [4, 3.79, Arr] = 3.08 + 0.71 [2, 4.66, Dep] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 2 제품1, 2	Total of waiting times in queue $1.17 = 1.17 + 0$		Area under $Q(t)$ $1.17 = 1.17 + 0$		Area under $B(t)$ $3.08 = 2.90 + (3.08 - 2.90)$
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71 , 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76 , 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand:

$t = 3.79$, Arrival of Part 4

System 4 3 2	Clock 3.79	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 2	Arrival times of custs. in queue (3.79, 3.08)	Event calendar [5, 4.41, Arr] = 3.79 + 0.62 [2, 4.66, Dep] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 2 제품1, 2	Total of waiting times in queue 1.17 = 1.17 + 0		Area under $Q(t)$ 1.88 = 1.17 + (3.79-3.08) * 1		Area under $B(t)$ 3.79 = 3.08 + (3.79-3.08)
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.82 , 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76 , 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				

Simulation by Hand:

$t = 4.41$, Arrival of Part 5

System 5 4 3 2	Clock 4.41	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 3	Arrival times of custs. in queue (4.41, 3.79, 3.08)	Event calendar [2, 4.66, Dep] [6, 18.69, Arr] = 4.41 + 14.28 [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 2 제품1, 2	Total of waiting times in queue 1.17 = 1.17 + 0		Area under $Q(t)$ 3.12 = 1.88 + (4.41 - 3.79) * 2		Area under $B(t)$ 4.41 = 3.79 + (4.41 - 3.79)
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.82, 14.28 , 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76 , 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				

Simulation by Hand:

$t = 4.66$, Departure of Part 2

System 5 4 3	Clock 4.66	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 2	Arrival times of custs. in queue (4.41, 3.79)	Event calendar [3, 8.05, Dep] = 4.66 + 3.39 [6, 18.69, Arr] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 3 제품 1, 2, 3	Total of waiting times in queue 2.75 = 1.17 + (4.66 - 3.08)		Area under $Q(t)$ 3.87 = 3.12 + (4.66 - 4.41) * 3	Area under $B(t)$ 4.66 = 4.41 + (4.66 - 4.41)	
$Q(t)$ graph $B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.02, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				


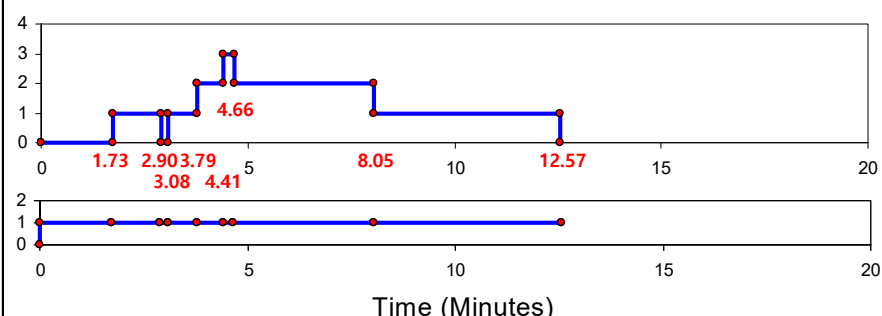
Simulation by Hand:

$t = 8.05$, Departure of Part 3

System 5 4	Clock 8.05	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs. in queue (4.41)	Event calendar [4, 12.57, Dep] = 8.05 + 4.52 [6, 18.69, Arr] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 4 제품 1, 2, 3, 4	Total of waiting times in queue 7.01 = 2.75 + (8.05 - 3.79)		Area under $Q(t)$ 10.65 = 3.87 + (8.05 - 4.66) * 2	Area under $B(t)$ 8.05 = 4.66 + (8.05 - 4.66)	
$Q(t)$ graph $B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.02, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				

Simulation by Hand:


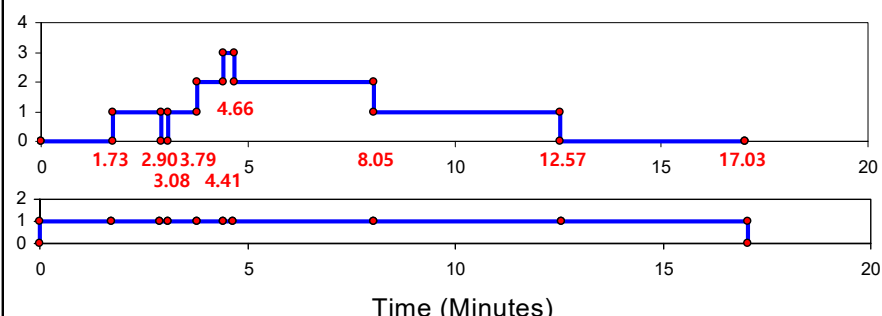
$t = 12.57$, Departure of Part 4

System 	Clock 12.57	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue ()	Event calendar [5, 17.03, Dep] = 12.57 + 4.46 [6, 18.69, Arr] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 5 제품 1, 2, 3, 4, 5	Total of waiting times in queue $15.17 = 7.01 + (12.57 - 4.41)$		Area under $Q(t)$ $15.17 = 10.65 + (12.57 - 8.05) * 1$		Area under $B(t)$ $12.57 = 8.05 + (12.57 - 8.05)$
$Q(t)$ graph $B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28 , 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46 , 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand:


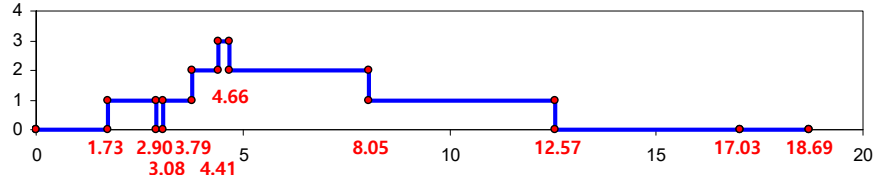
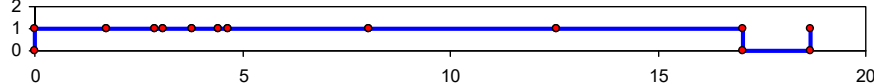
$t = 17.03$, Departure of Part 5

System 	Clock 17.03	$B(t)$ 0	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue ()	Event calendar [6, 18.69, Arr] [-, 20.00, End]
Number of completed waiting times in queue 5 제품 1, 2, 3, 4, 5	Total of waiting times in queue $15.17 = 15.17 + 0$		Area under $Q(t)$ $15.17 = 15.17 + 0$		Area under $B(t)$ $17.03 = 12.57 + (17.03 - 12.57)$
$Q(t)$ graph $B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28 , 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46 , 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand:



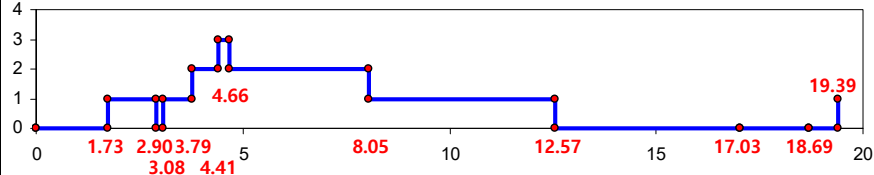
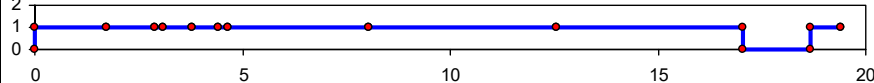
$t = 18.69$, Arrival of Part 6

System 	Clock 18.69	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs. in queue ()	Event calendar [7, 19.39, Arr] = 18.69 + 0.70 [-, 20.00, End] [6, 23.05, Dep] = 18.69 + 4.36
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under $Q(t)$ 15.17 = 15.17 + 0		Area under $B(t)$ 17.03 = 17.03 + 0
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.82, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				





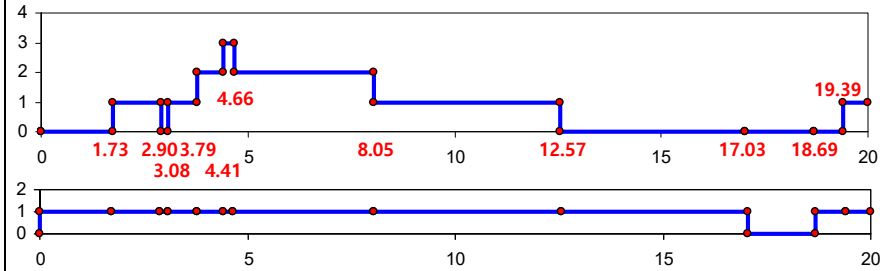
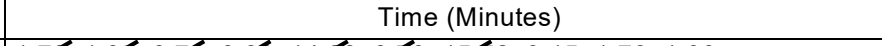
Simulation by Hand:

$t = 19.39$, Arrival of Part 7

System  	Clock 19.39	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [-, 20.00, End] [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr] = 19.39 + 15.52
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under $Q(t)$ 15.17 = 15.17 + 0		Area under $B(t)$ 17.73 = 17.03 + (19.39 - 18.69)
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.82, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand: t = 20.00, The End



System  	Clock 20.00	B(t) 1	Q(t) 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr]
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under Q(t) 15.78 = 15.17 + (20 - 19.39) * 1		Area under B(t) 18.34 = 17.73 + (20 - 19.39)
Q(t) graph					
B(t) graph					
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



Simulation by Hand: Finishing Up

- 부품들의 대기행렬에서의 평균 대기시간:

$$\frac{\text{Total of times in queue}}{\text{No. of times in queue}} = \frac{15.17}{6} = 2.53 \text{ minutes per part}$$

System  	Clock 20.00	B(t) 1	Q(t) 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr]
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under Q(t) 15.78 = 15.17 + (20 - 19.39) * 1		Area under B(t) 18.34 = 17.73 + (20 - 19.39)

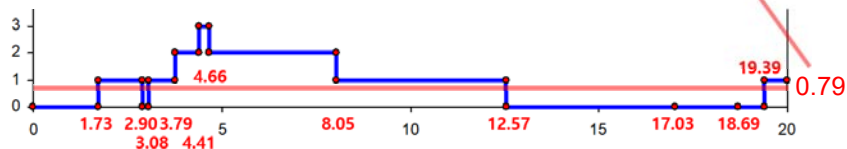


Simulation by Hand: Finishing Up

- 대기행렬에서 기다리는 부품의 시간 평균 개수:

$$\frac{\text{Area under } Q(t) \text{ curve}}{\text{Final clock value}} = \frac{15.78}{20} = 0.79 \text{ part}$$

System 7 6	Clock 20.00	B(t) 1	Q(t) 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr]
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under Q(t) 15.78 = 15.17 + (20 - 19.39) * 1	Area under B(t) 18.34 = 17.73 + (20 - 19.39)	

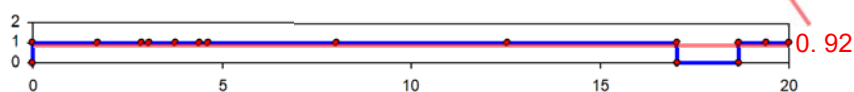


Simulation by Hand: Finishing Up

- 장비의 가동률:


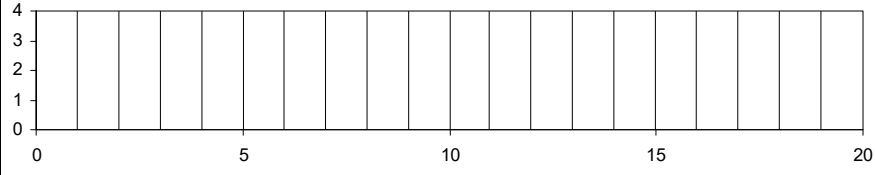
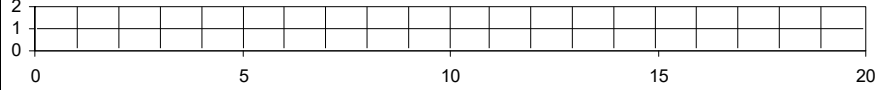
$$\frac{\text{Area under } B(t) \text{ curve}}{\text{Final clock value}} = \frac{18.34}{20} = 0.92 \text{ (dimensionless)}$$

System 7 6	Clock 20.00	B(t) 1	Q(t) 1	Arrival times of custs. in queue (19.39)	Event calendar [6, 23.05, Dep] [8, 34.91, Arr]
Number of completed waiting times in queue 6 제품 1, 2, 3, 4, 5, 6	Total of waiting times in queue 15.17 = 15.17 + 0		Area under Q(t) 15.78 = 15.17 + (20 - 19.39) * 1	Area under B(t) 18.34 = 17.73 + (20 - 19.39)	



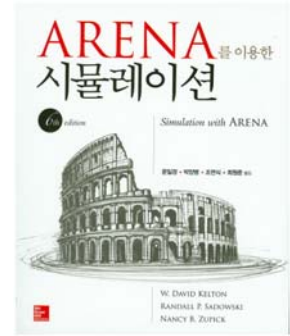
Simulation by Hand:

$t =$

System 	Clock	$B(t)$	$Q(t)$	Arrival times of custs. in queue	Event calendar
Number of completed waiting times in queue	Total of waiting times in queue		Area under $Q(t)$		Area under $B(t)$
$Q(t)$ graph					
$B(t)$ graph					
	Time (Minutes)				
Interarrival times	1.73, 1.35, 0.71, 0.62, 14.28, 0.70, 15.52, 3.15, 1.76, 1.00, ...				
Service times	2.90, 1.76, 3.39, 4.52, 4.46, 4.36, 2.07, 3.36, 2.37, 5.38, ...				



00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행하는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 – News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backlogging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



스프레드시트를 이용한 시뮬레이션

- **마이크로소프트 엑셀**과 같은 대중적이고 누구나 쉽게 사용할 수 있는 도구를 이용하여 시뮬레이션을 수행
- **두개의 예제**
 - **신문판매원 이익 최대화 – 정적 모형**
 - **단일 서버 대기행렬에서의 대기시간 예측 – 동적 모형**



신문판매원 이익 최대화 문제 정의

- Rupert는 길거리에서 일간 신문을 판매한다.
 - 신문 한 부당 구매 가격 $c = \$0.55$, 판매 가격 $r = \$1.00$
- 매일 아침, 신문 q 부를 구매
 - q 는 고정된 숫자, 매일 동일 \rightarrow 의사결정 변수
- 하루 동안의 신문 수요: $D = \max(\lfloor X \rfloor, 0)$
 - 실적 자료로부터 추정, $X \sim \text{normal}(m = 135.7, s = 27.1)$
 - $\lfloor X \rfloor$ 는 실수 X 를 가장 가까운 정수로 변환하는 함수
- 만약 $D \leq q$, 모든 수요를 만족하고, $(q - D \geq 0)$ 부가 남음, 남은 신문은 ($s = \$0.03$)에 폐지로 판매
- 만약 $D > q$, 신문 완판 (q 부의 신문 매진), 잔여 = 0부
 - 그러나 이 경우 $D - q > 0$ 부의 판매 기회를 놓친 셈임
- 이익 최대화를 위해서, q 값은 얼마가 되어야 할까?



신문 판매 이익 함수 정의

- 하루 동안의 이익이 최대가 되도록 q 값을 결정
 - q 가 너무 작으면, 완판 $\rightarrow \$0.45 (= 1 - 0.55)$ 의 추가 판매 기회 상실
 - q 가 너무 크면, 미판매분 증가 $\rightarrow \$0.52 (= 0.55 - 0.03)$ 의 손해를 안고 폐지로 판매
- 전형적인 운영관리 문제
 - 다양한 형태의 응용, 변형 문제 존재
 - 많은 경우 최적해를 구할 수 있음
 - 스프레드시트를 이용하여 쉽게 시뮬레이션 할 수 있음
- 하루 동안의 이익을 q 의 함수로 나타낼 수 있음:
$$W(q) = \underbrace{r \min(D, q)}_{\text{판매 수익}} + \underbrace{s \max(q - D, 0)}_{\text{폐지 수익}} - \underbrace{cq}_{\text{구입 비용}}$$
 - $W(q)$ 는 확률 변수 – 이익은 매일매일 변할 수 있음
- 음수가 아닌 정수 q 에 대해, $E(W(q))$ 값을 최대화

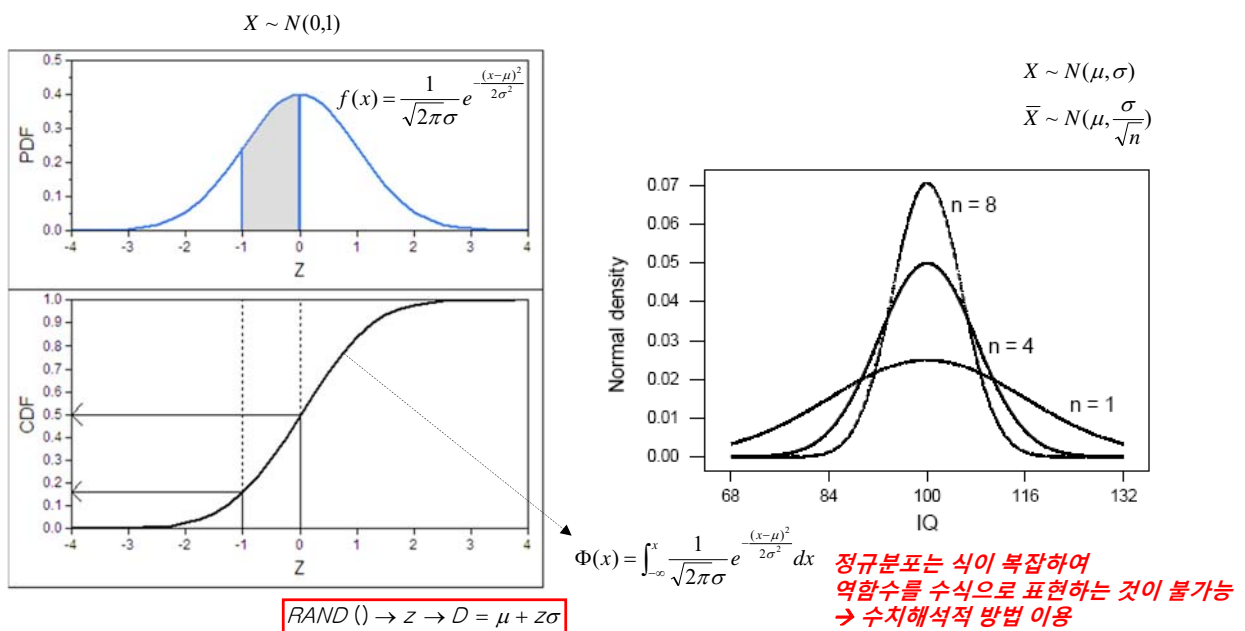


시뮬레이션 수행 방법

- 임의의 값 q 에 대해, 수요 D 를 생성, 하루 동안의 이익을 계산
 - 이와 같은 방식으로, 여러 날에 대해 실험을 독립적으로 반복 수행, 평균을 이용하여 $E(W(q))$ 추정
 - 신뢰구간을 추정, $P(\text{loss})$ 를 추정, $W(q)$ 에 대해 도수분포도 작성
 - 특정 q 값에 대해, 이익의 평균 값 $E(W(q))$ 을 추정
- 수요 D 발생 방법 : $D = \max(\lfloor X \rfloor, 0)$
 - $X \sim \text{normal}(m = 135.7, s = 27.1)$ 를 발생시킴
 - 이 경우, $X = F_{m,s}(U)^{-1}$ 와 같이 역함수 개념을 이용하여 X 값을 발생시킴
 - U 는 정규분포 $[0, 1]$ 에서 발생된 랜덤 넘버
 - $F_{m,s}$ 는 정규분포 (m, s) 의 누적확률분포함수 (CDF)



정규분포 CDF를 이용한 수요 발생 방법



$$D = \text{Max}(\lfloor 135.7 + 27.1z \rfloor, 0)$$



엑셀 MS Excel 작성 방법

- 파일 04.xlsx – NV 모형 시트
- 입력변수 셀들 B4 – B8 (파랑)
- 2번째 행의 q 에 다양한 값을 시도해 봄 (분홍)
- D 열의 날짜 번호 (1, 2, ..., 30)
- E 열의 하루 동안의 수요 :

$$= \text{MAX}(\underbrace{\text{ROUND}}_{\text{Rounding function}}(\underbrace{\text{NORMINV}}_{F^{-1}}(\underbrace{\text{RAND}}_{U(0, 1) \text{ random number}}(), \underbrace{\$B\$7}_m, \underbrace{\$B\$8}_s), 0), 0)$$

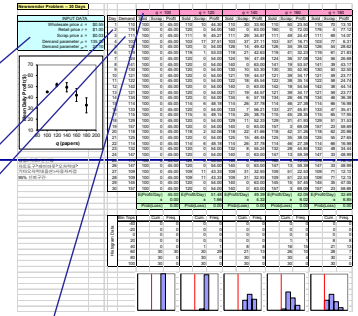
$X \sim \text{normal}(m, s)$

RAND() is "volatile" so regenerates on any edit, or F9 key

\$ pins down following column or row when copying

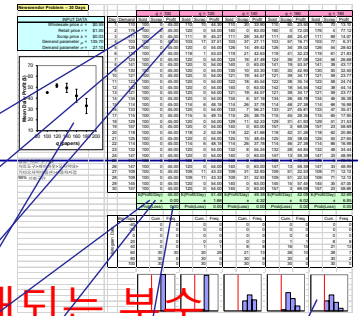
Round to nearest integer

MAX 2nd argument



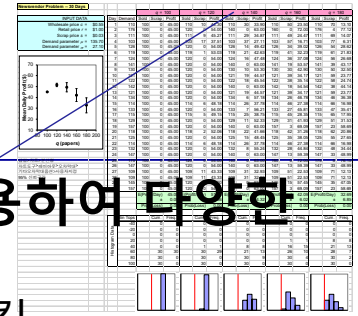
엑셀 MS Excel 작성 방법

- 각 q 값에 대해:
 - "Sold" 열: 당일 판매된 신문 부수
 - "Scrap" 열: 당일 판매하고 남아 폐지로 판매되는 부수
 - "Profit" 열: 당일의 판매 이익 (+, -, 0)
 - 공식의 복사를 위해 셀 고정 연산자 "\$" 이용
- "Profit" 열의 아래 부분 (녹색):
 - 30 일동안의 평균 일간 이익
 - $E(W(q))$ 에 대한 95% 신뢰구간 제공
 - 2.045 는 자유도 29를 갖는 t 분포의 누적 확률값 0.975를 갖는 점
 - 왼편에 신뢰구간 그래프 "I-beams" 제공
 - $P(W(q) < 0)$: 하루 동안의 이익이 0보다 작은 확률 추정
 - COUNTIF 함수 이용
- 아래에 $W(q)$ 에 대한 도수분포도 제공
 - 0 값에 붉은색 수직선, 손해와 이익이 분리되는 선



실험 결과

- 동일한 일간 신문 판매 수요(E열)를 이용하여 다양한 q 값을 테스트
 - 30일간의 일간 수요를 독립적으로 발생 시킴
 - q의 평가를 위해 동일한 수요 집합을 이용
- 결과
 - 최적 q는 약 140, 아마 140보다 조금 작을 듯
 - 매 시행 결과는 랜덤하게 나타남 (tap F9 key)
 - 각 시행마다 모든 수요, 이익, 그래프가 변함
 - 신뢰구간, 도수분포도 역시 변화
 - 매 시행마다 랜덤한 출력과 랜덤한 그래프 발생
 - 큰 q 값 \Rightarrow 이익에 대해 변동성이 커짐
 - 큰 q 값에 대해 도수분포도의 폭이 넓어짐
 - 높은 이익이 발생하기도 하지만, 높은 손해 역시 발생함
 - 위험/이익 상충관계가 나타남 : 위험 선호 vs. 위험 회피



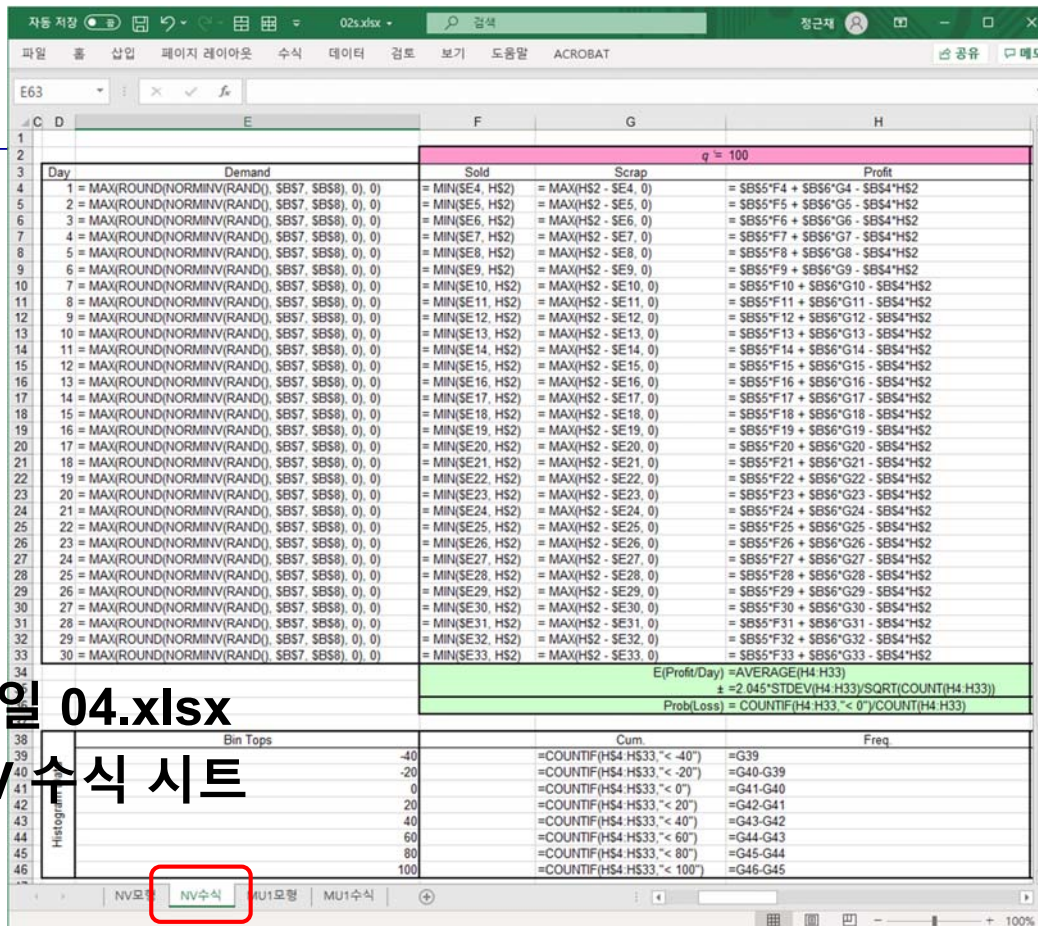
News vendor Problem – 30 Days

INPUT DATA				q = 100			q = 120			q = 140			q = 160			q = 180		
Wholesale price c	Retail price r	Scrap price s	Demand parameter μ	Sold	Scrap	Profit	Sold	Scrap	Profit	Sold	Scrap	Profit	Sold	Scrap	Profit	Sold	Scrap	Profit
\$0.55	\$1.00	\$0.03	135.70	110	0	45.00	110	0	44.30	110	30	33.90	110	50	23.50	110	70	13.10
				E(Profit/Day) 45.00			E(Profit/Day) 51.48			E(Profit/Day) 49.39			E(Profit/Day) 42.09			E(Profit/Day) 32.69		
				± 0.00			± 1.66			± 4.32			± 6.02			± 6.85		
				Prob(Loss) 0.00			Prob(Loss) 0.00			Prob(Loss) 0.00			Prob(Loss) 0.00			Prob(Loss) 0.00		

Bin Tops	Cum.		Freq.		Cum.		Freq.		Cum.		Freq.		Cum.		Freq.		
	q=100	q=120	q=140	q=160	q=100	q=120	q=140	q=160	q=100	q=120	q=140	q=160	q=100	q=120	q=140	q=160	
	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	40	0	0	0	0	1	1	1	1	8	8	16	15	21	13	21	13
60	0	0	30	29	21	13	28	10	21	13	26	10	28	7	28	7	
80	0	30	0	30	0	30	9	30	4	30	4	30	2	30	2	30	
100	30	0	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	

실행>차트>분산형
차트도구>레이아웃>오차막대>
기타오차막대 옵션>사용자지정
95% 신뢰구간

- 파일 04.xlsx
- NV 모형 시트

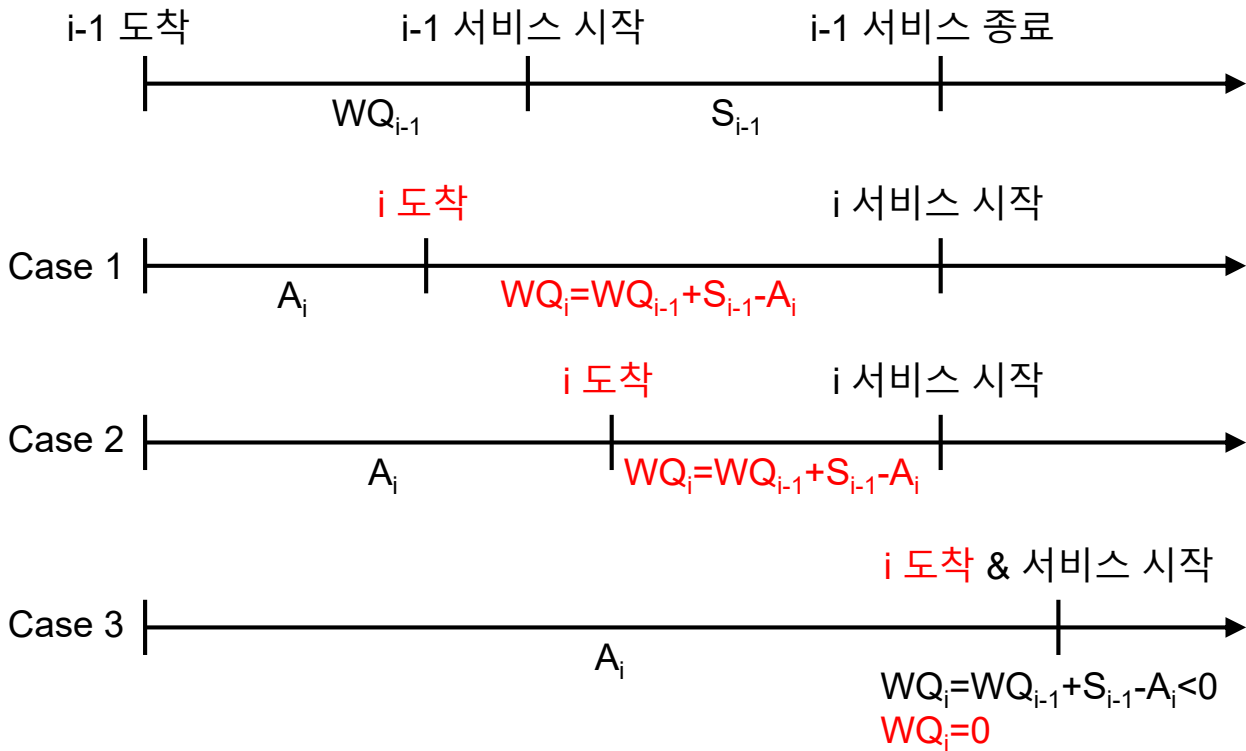


- 파일 04.xlsx
- NV수식 시트

단일 서버 대기행렬에서의 대기시간 예측

- 다음을 제외하고 단순한 가공 시스템과 동일
 - 도착시간 간격 ~ 평균 $1/\lambda = 1.6$ 분인 지수분포.
 - 서비스 시간 ~ 일양분포 $[a, b] = [0.27, 2.29]$ 분.
 - 50번째 대기시간이 관찰되면 시뮬레이션 종료
 - 즉, 50번째 고객이 서비스를 시작하는 시점에 종료
- 대기열에서의 대기시간을 관찰 $WQ_1, WQ_2, \dots, WQ_{50}$
 - 손으로 하는 시뮬레이션과 달리 다른 것은 관찰하지 않음
- S_i = 고객 i 의 서비스 시간,
 A_i = 고객 $i-1$ 과 i 사이의 도착시간 간격
- Lindley 재귀(되부름)식 (1952): $WQ_1 = 0$ 으로 초기화,
 $WQ_i = \max(WQ_{i-1} + S_{i-1} - A_i, 0), i = 2, 3, \dots$

Lindley's recursion

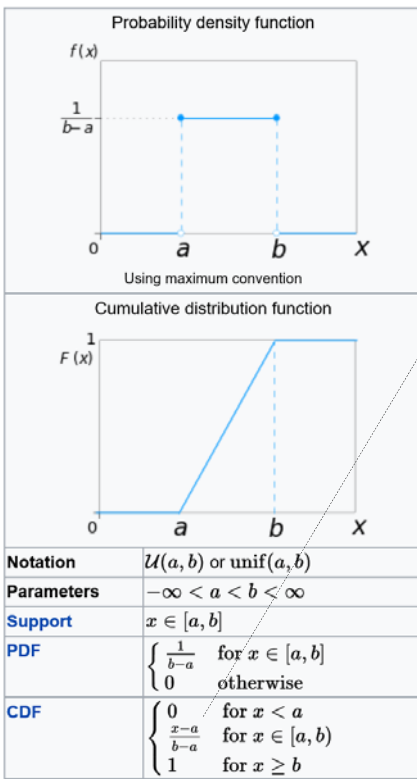


스프레드시트를 이용한 시뮬레이션

- 무작위로 시간 자료 생성: $U \sim U[0, 1]$
 - 지수분포 (평균 $1/\lambda$): $A_i = -(1/\lambda) \ln(1 - U)$
 - 일양분포 $[a, b]$: $S_i = a + (b - a) U$
- 파일 04.xlsx – NU1 모형 시트
- B4 – B6 (blue) 셀에 모수 입력
 - B8 – B10 셀에 이론적인 값 출력
- D 열에 고객 번호 ($i = 1, 2, \dots, 50$)
- 다섯번의 IID 반복 실험 (각각에 대해 3열씩)
 - IA = 도착시간 간격, S = 서비스 시간
 - WQ = 대기행렬에서의 대기시간 (그래프 5회 + 평균)
 - 첫번째 대기시간은 0으로 초기화, 이후 Lindley 재귀식 이용
 - 그래프는 0에서 시작, 오른쪽으로 갈수록 변동성 증가
 - WQ 열에 대해 아래쪽으로 갈수록 양의 상관 발생
 - WQ_i 들이 독립적이었다면, 변동의 폭은 줄어들



Exponential & Uniform 분포



$$U : \text{Rand}()$$

$$U = \frac{x-a}{b-a}$$

$$x = a + (b-a)U$$

$$S_i = a + (b-a)U$$

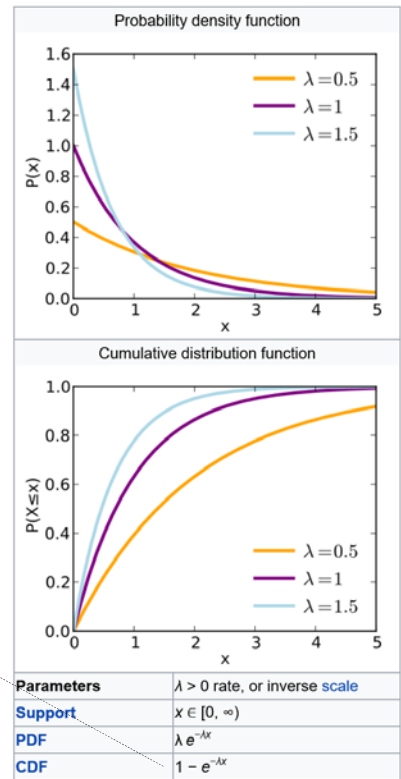
일양분포와 지수분포는 정규분포보다 식이 간단하여 역함수를 수식으로 표현하는 것이 가능

$$U : \text{Rand}()$$

$$U = 1 - e^{-\lambda x}$$

$$x = -\left(\frac{1}{\lambda}\right) \ln(1-U)$$

$$A_i = -(1/\lambda) \ln(1-U)$$



Simulating with Spreadsheets: Single-Server Queue – Results

- **행 평균(녹색)**
 - 평균 도착시간 간격과 서비스 시간은 기대치에 근접
- **열 평균(녹색)**
 - T 열, 굵은 선의 그래프가 변동성이 적음
 - 5회 반복에 대한 평균 WQ_i
 - 이론적 기대치에서 큰 차이가 나지 않음
 - 발생할 수 있을 정도의 변동성
 - 평균의 변동성이 개별적인 반복의 변동성보다 작음

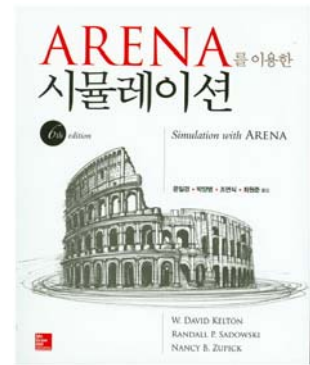


시뮬레이션 연구의 개요

- 시스템을 이해하라
- 목표를 명확하게 정하라
- 모델 표현을 제대로 하라
- 모델링 소프트웨어로 번역하라
- 컴퓨터에 표현한 것이 개념적인 모델을 충실하게 나타내고 있는지를 검증(Verification)하라
- 모델의 유효성을 확인(Validation)하라
- 실험을 설계하라
- 실험을 실행하라
- 결과를 분석하라
- 통찰력을 얻어라
- 수행한 일들을 문서화하라



00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



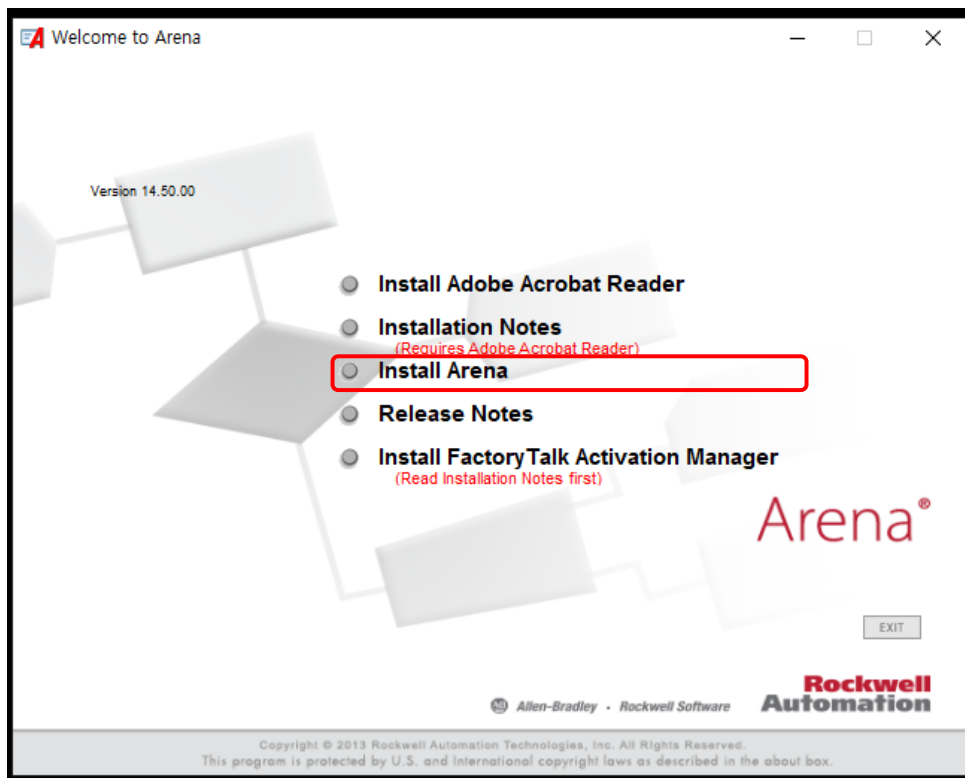
Arena 설치

설치 프로그램 다운로드

<http://kcjeong.cbnu.ac.kr/working/ss/HandsOn.zip>

ARENA 14.5 > Arena 설치파일 > Medialmage >			
이름	수정된 날짜	유형	크기
Help	2020-06-30 오후 5:36	파일 폴더	
Install	2020-06-30 오후 5:37	파일 폴더	
Redist	2020-06-30 오후 5:38	파일 폴더	
Support	2020-06-30 오후 5:38	파일 폴더	
arena.ico	2014-01-22 오전 11:11	아이콘	6KB
autorun.exe	2014-01-22 오후 12:32	응용 프로그램	2,085KB
autorun.inf	2014-01-22 오전 11:11	설치 정보	1KB

3



4



Arena 14.50.00002 Setup

Customer Information
Please enter your information.

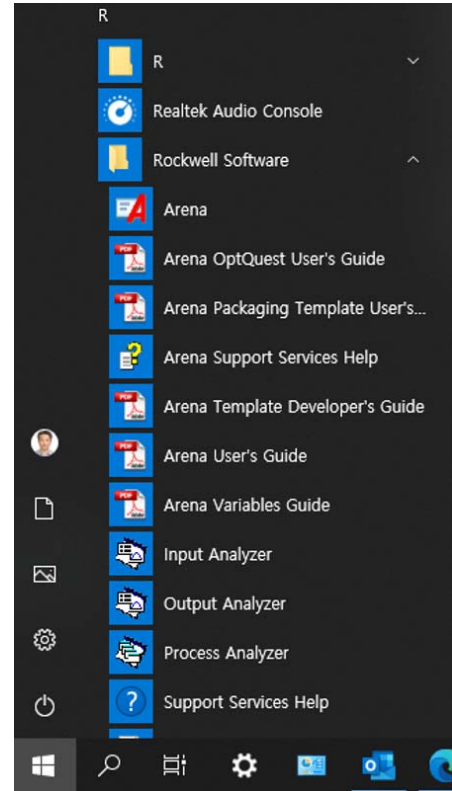
User Name:
정근채

Organization:
충북대학교

Enter your 10 digit activation Serial Number (on Master Disk label or Activation Certificate). If you are a student, type in the word STUDENT. If this is an evaluation or runtime installation, leave this field blank:
STUDENT

InstallShield

< Back Next > Cancel



5

Arena Training & Evaluation Mode (Student) - Commercial Use Prohibited - [Model1]

File Edit View Tools Arrange Object Run Window Help

58%

Tool Bar

Flowchart Modules

- Create
- Dispose
- Process
- Decide
- Batch
- Separate
- Assign
- Record

Data Modules

- Attribute
- Entity
- Queue
- Resource
- Variable
- Schedule
- Set

Reports

Navigate

For Help, press F1

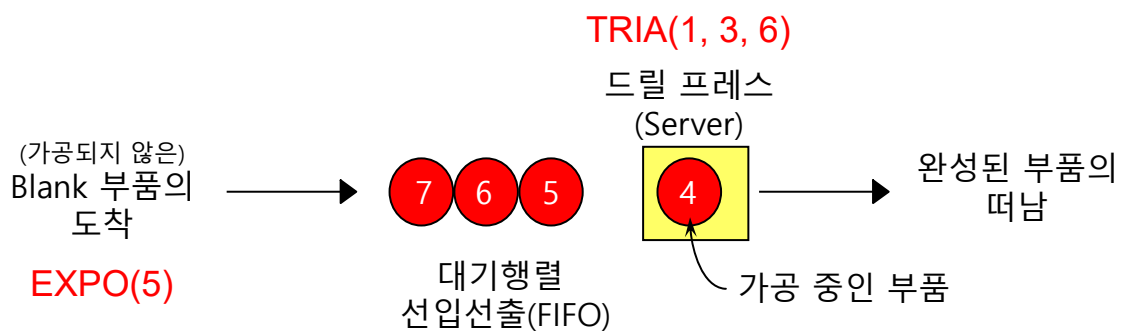
Arena
Training/Evaluation Mode (STUDENT)
This free version of Arena provides full functionality with limited model size and may be copied onto other PC's. There is no time limit. It is intended for academic use only. Any attempted commercial use of this software violates the license agreement and is strictly prohibited.
To obtain information about the full commercial version of Arena, contact your local representative (www.ArenaSimulation.com/partners) or Rockwell Automation at +1.724.741.4000.
확인

6

Model 3-1

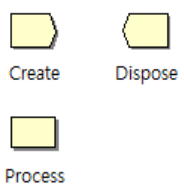
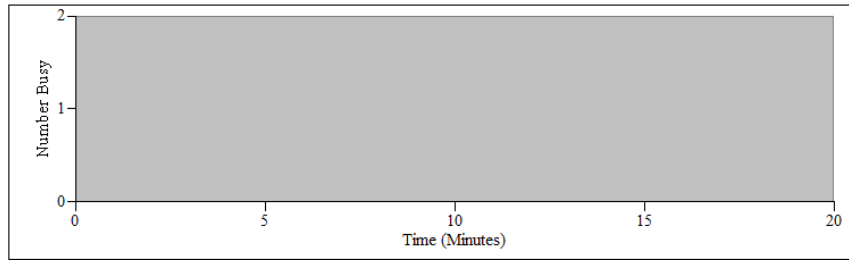
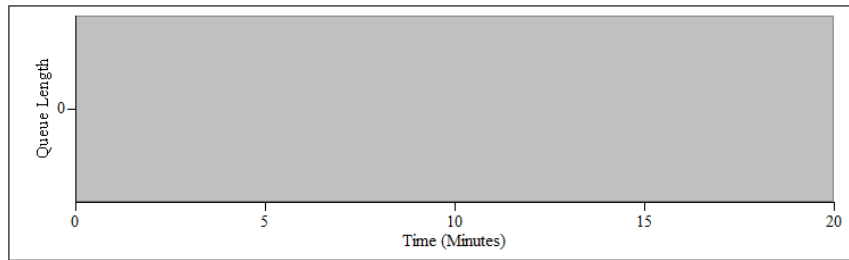
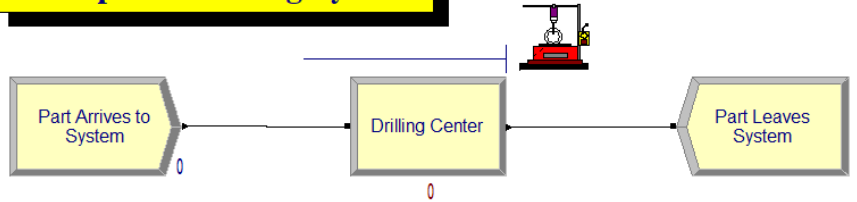
7

The System: 단순한 가공 시스템



8

Model 3-1 A Simple Processing System



- Create & Dispose : 개체의 생성 및 소멸
- Process : 자원을 이용하여 개체를 처리, 바로 처리가 불가능한 경우 Queue에 대기

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Part	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double Click!

Entity ? x

Entity Type:
Part

Initial Picture: Picture,Blue Ball Holding Cost / Hour: 0,0

Initial Costs

Value Added: 0,0	Non-Value Added: 0,0	Waiting: 0,0
Transfer: 0,0	Other: 0,0	

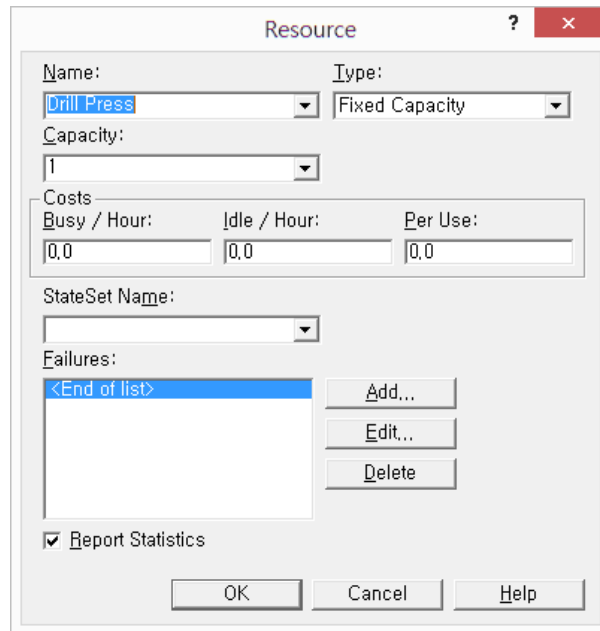
Report Statistics

OK
Cancel
Help

Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Drill Press	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double Click!



The dialog box titled "Resource" contains the following fields and controls:

- Name: Drill Press (dropdown)
- Type: Fixed Capacity (dropdown)
- Capacity: 1 (dropdown)
- Costs section:
 - Busy / Hour: 0.0 (text input)
 - Idle / Hour: 0.0 (text input)
 - Per Use: 0.0 (text input)
- StateSet Name: (dropdown)
- Failures: <End of list> (list box)
- Buttons: Add..., Edit..., Delete
- Report Statistics:
- Bottom buttons: OK, Cancel, Help

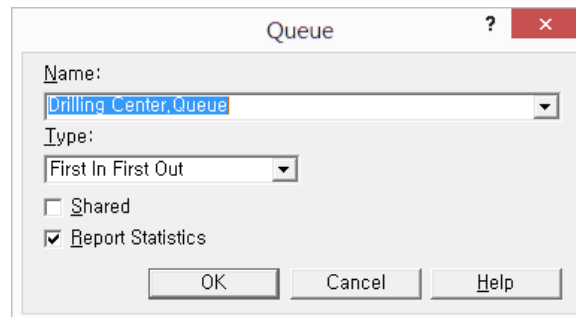
11

Queue

Process에서 Resource 삽입 시 자동 생성

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Drilling Center.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Double Click!

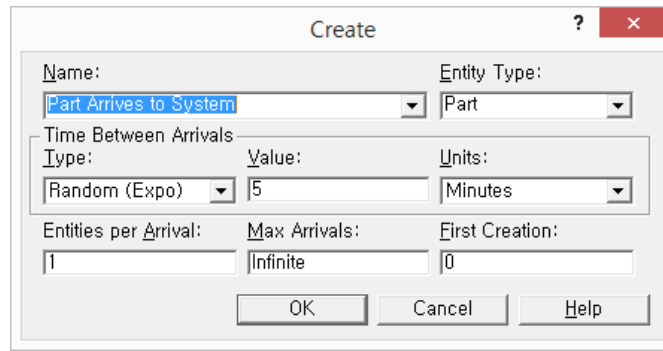


The dialog box titled "Queue" contains the following fields and controls:

- Name: Drilling Center.Queue (dropdown)
- Type: First In First Out (dropdown)
- Shared:
- Report Statistics:
- Bottom buttons: OK, Cancel, Help

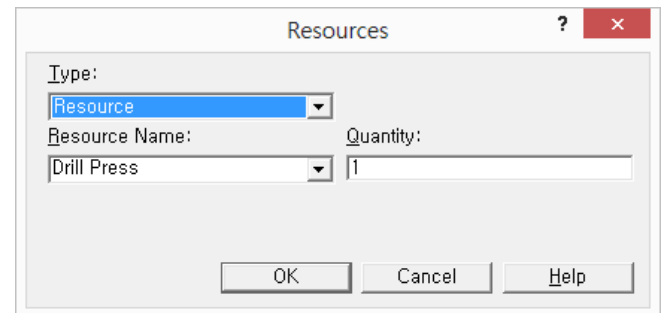
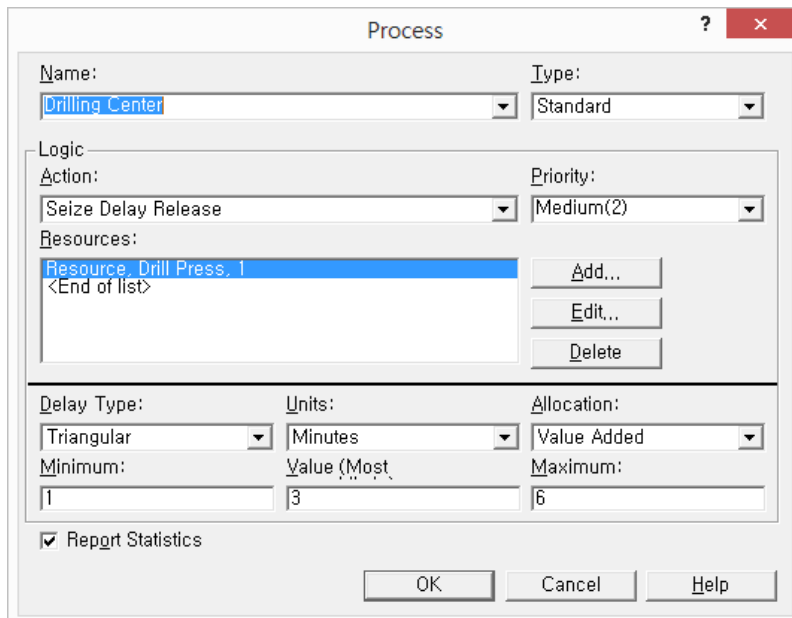
12

1. Create



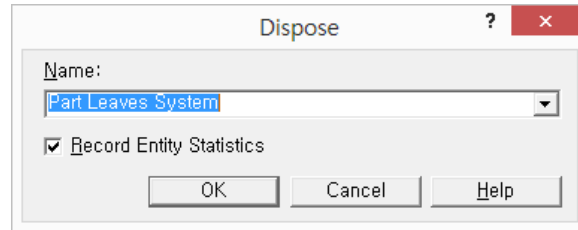
- [Time Between Arrivals : Type] Random(EXPO) : 도착시간간격이 지수분포를 따름.
- [Time Between Arrivals : Value] 5 : 지수분포의 평균이 5임.
- [Time Between Arrivals : Units] Minutes : 시간 단위가 분임.
- [Time Between Arrivals : Entities per Arrival] 1 : 개체가 한 번에 한 개씩 도착함.
- [Time Between Arrivals : Max Arrivals] Infinite : 개체가 무제한으로 도착할 수 있음.
- [Time Between Arrivals : First Creation] 0 : 첫 번째 개체가 시간 0에 도착함.

2. Process



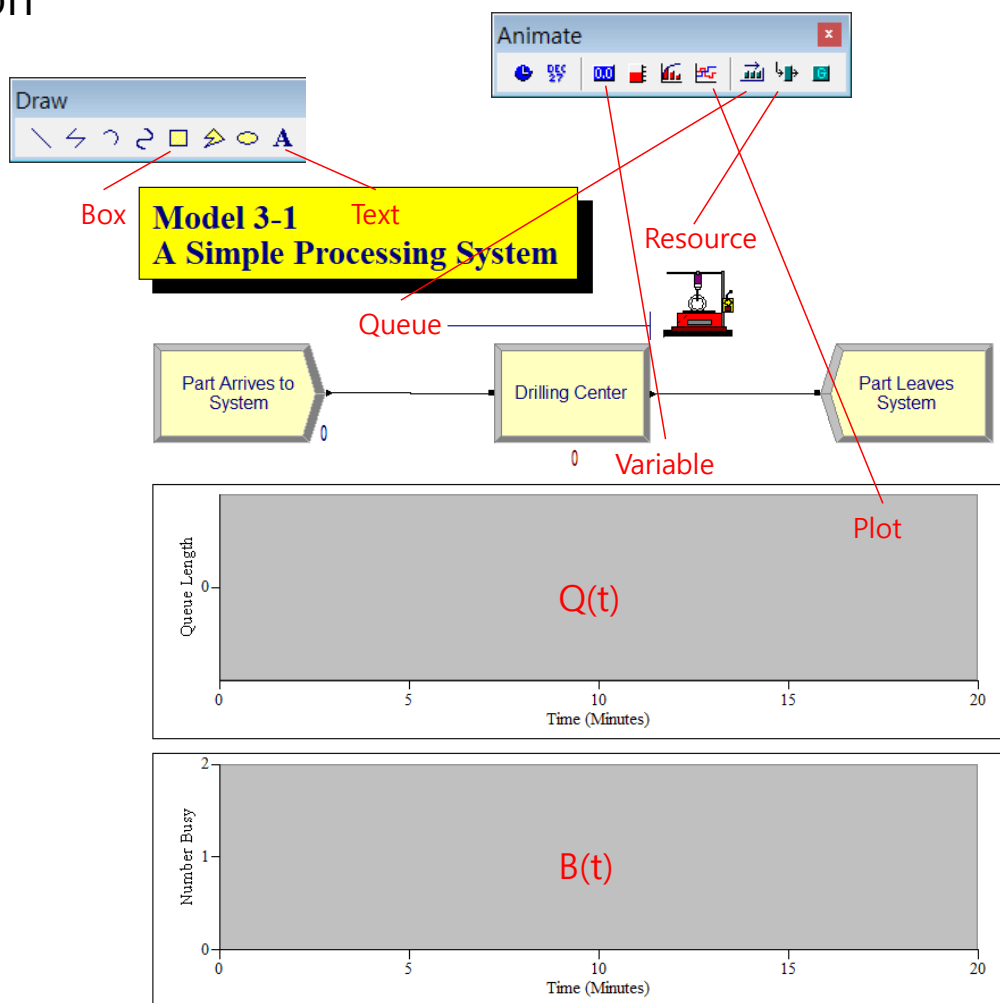
- [Logic : Action] Seize Delay Release : Resource를 잡고, 지연하고, 풀어주는 방식으로 작업을 진행함.
- [Logic : Resources] Resource, Drill Press, 1 : 작업을 진행하기 위해 Drill Press 자원 1개가 필요함.
- [Delay Type] Triangular : 작업시간이 삼각분포를 따름.
- [Minimum] 1 : 최소작업시간이 1임.
- [Value (Most Likely)] 3 : 최빈작업시간이 3임.
- [Maximum] 6 : 최대작업시간이 6임.

3. Dispose



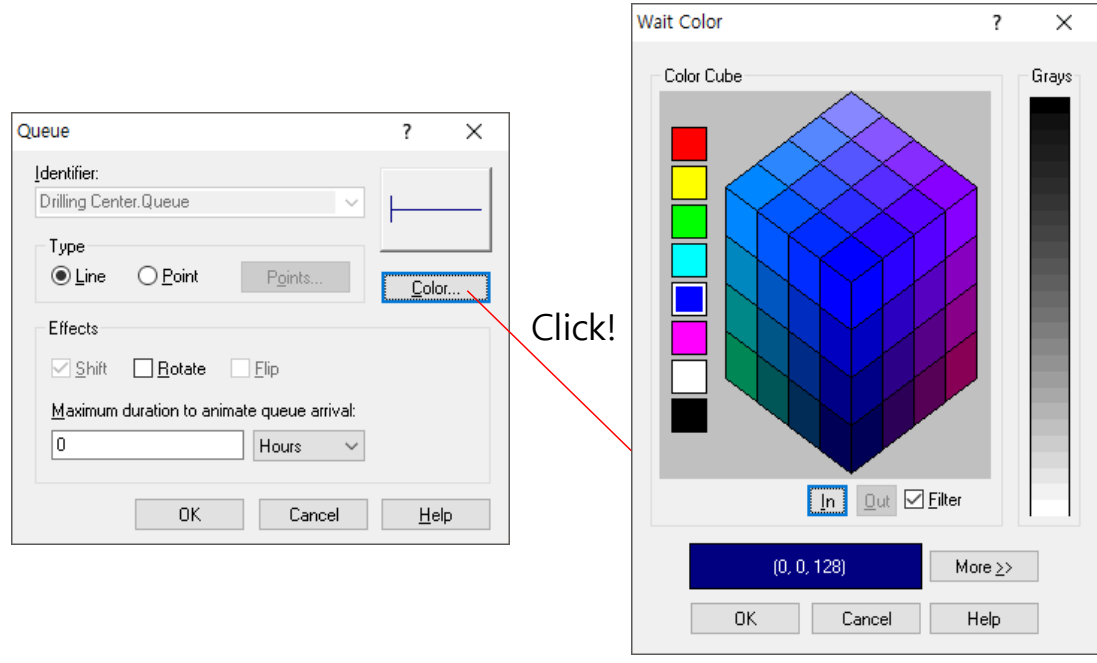
15

Animation

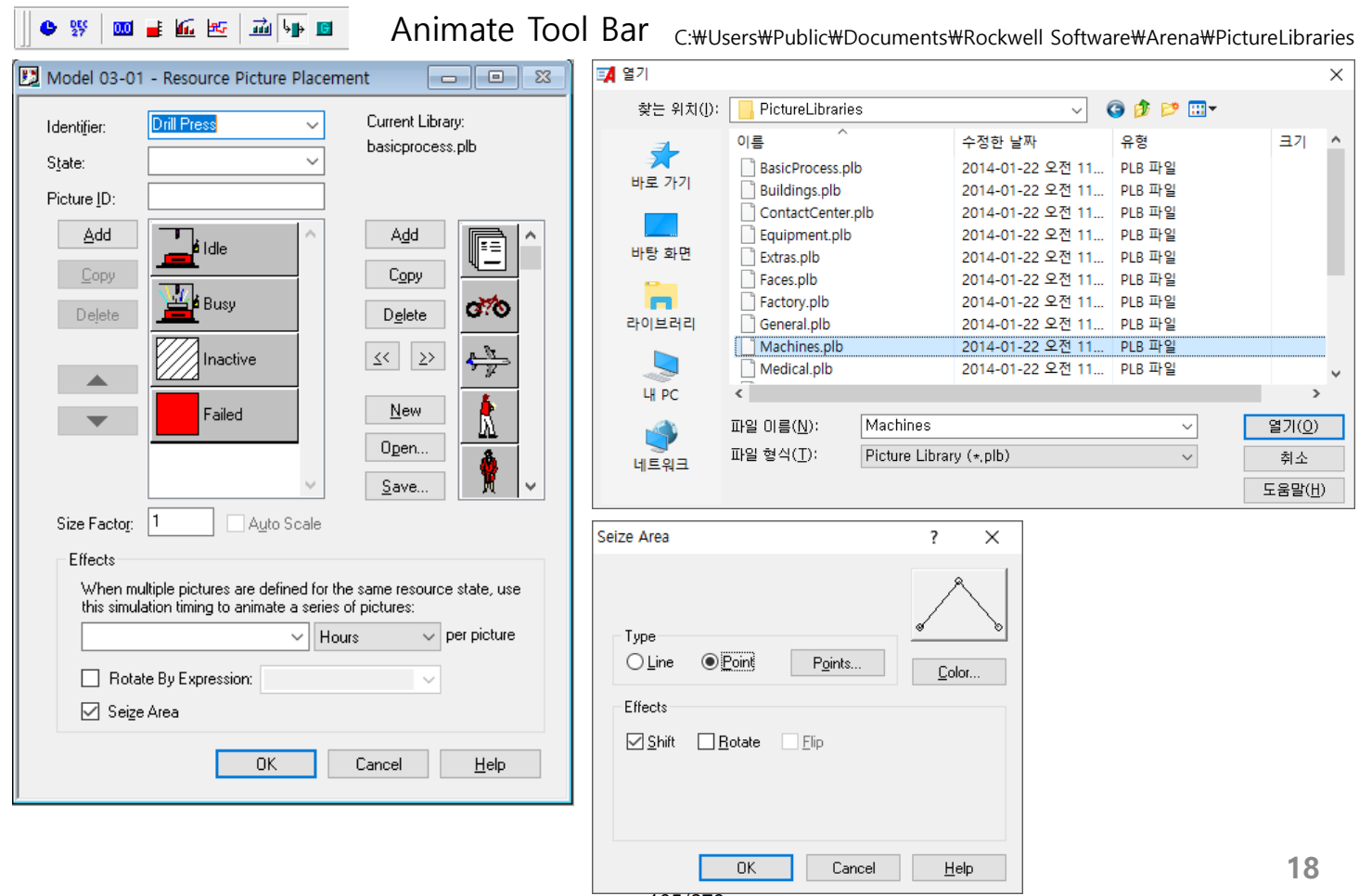


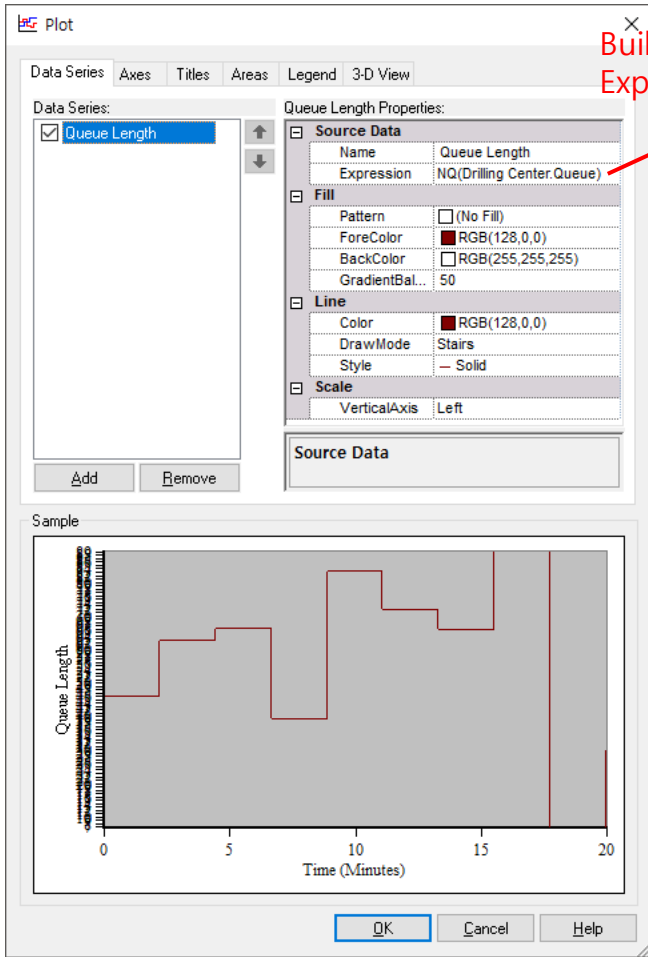
16

Animation-Queue



Animation-Resource





Build Expression

대기중인 파트의 수

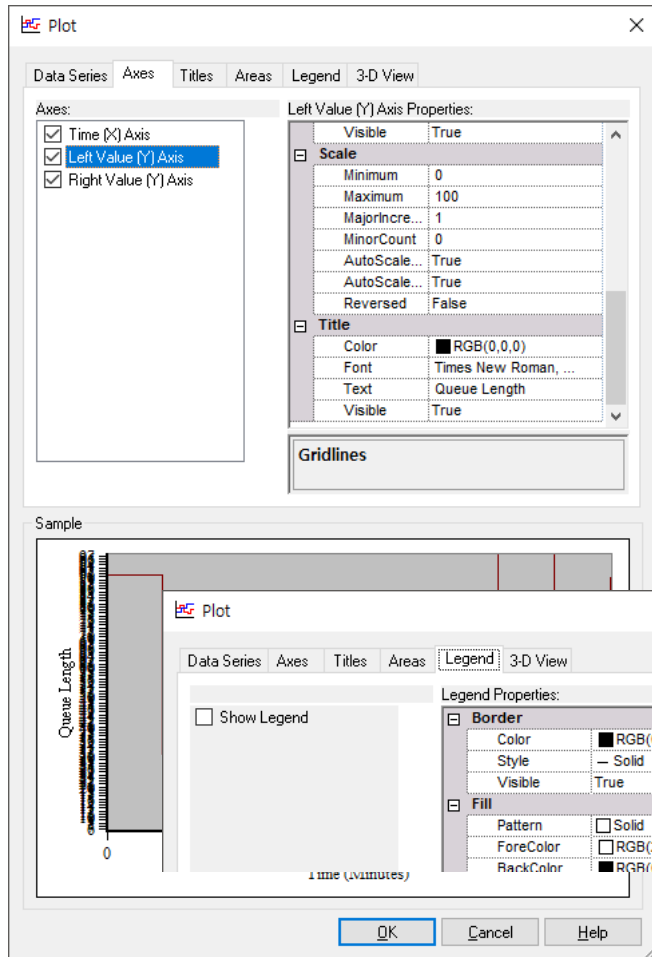
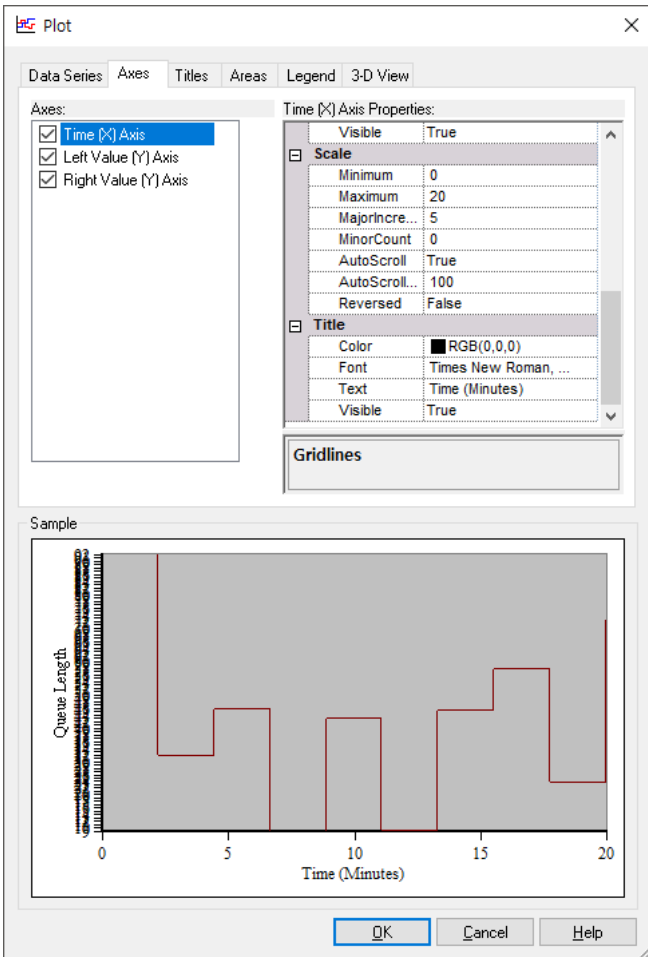
Expression Builder

Expression Type:

- Basic Process Variables
 - Entity
 - Process
 - Queue
 - Current Number In Queue**
 - Average Number In Queue
 - Average Wait Time
 - Average Wait Cost
 - Value of Queued Entity Attribute
 - Sum of Queued Entity Attributes
 - Entity Number Of Queued Entity

Queue Name: Drilling Center.Queue

Current Expression: NQ(Drilling Center.Queue)



Plot

Data Series: Number Busy

Number Busy Properties:

- Source Data: Name: Number Busy, Expression: NR(Drill Press)
- Fill: Pattern: (No Fill), ForeColor: RGB(128,0,0), BackColor: RGB(255,255,255), GradientBal.: 50
- Line: Color: RGB(128,0,0), DrawMode: Stairs, Style: Solid
- Scale: VerticalAxis: Left

Sample

OK Cancel Help

Build Expression

가동중인 드릴 프레스의 수

Expression Builder

Expression Type: Basic Process Variables

- Entity
- Process
- Queue
- Resource
 - Costs
 - State
 - Usage
 - Current Number Scheduled
 - Average Number Scheduled
 - Current Number Busy**
 - Average Number Busy

Resource Name: Drill Press

Current: NR(Drill Press)

OK Cancel

Plot

Axes: Time (X) Axis, Left Value (Y) Axis, Right Value (Y) Axis

Time (X) Axis Properties:

- Visible: True
- Scale: Minimum: 0, Maximum: 20, MajorIncre: 5, MinorCount: 0, AutoScroll: True, AutoScroll: 100, Reversed: False
- Title: Color: RGB(0,0,0), Font: Times New Roman, Text: Time (Minutes), Visible: True

Gridlines

Sample

OK Cancel Help

Plot

Axes: Time (X) Axis, Left Value (Y) Axis, Right Value (Y) Axis

Left Value (Y) Axis Properties:

- Visible: True
- Scale: Minimum: 0, Maximum: 2, MajorIncre: 1, MinorCount: 0, AutoScale: True, AutoScale: False, Reversed: False
- Title: Color: RGB(0,0,0), Font: Times New Roman, Text: Number Busy, Visible: True

Gridlines

Sample

Plot

Legend Properties:

- Show Legend
- Border: Color: RGB(0,0,0), Style: Solid, Visible: True
- Fill: Pattern: Solid, ForeColor: RGB(255,255,255), BackColor: RGB(0,0,0)

OK Cancel Help

Run-Setup

Run Setup

Replication Parameters Array Sizes Arena Visual Designer

Run Speed Run Control Reports Project Parameters

Project Title:

Analyst Name:

Project Description:

Statistics Collection

Costing Queues Transporters

Entities Processes Conveyors

Resources Stations Activity Areas

Tanks

Run Setup

Run Speed Run Control Reports Project Parameters

Replication Parameters Array Sizes Arena Visual Designer

Number of Replications: Initialize Between Replications: Statistics System

Start Date and Time:

Warm-up Period: Time Units:

Replication Length: Time Units:

Hours Per Day:

Base Time Units:

Terminating Condition:

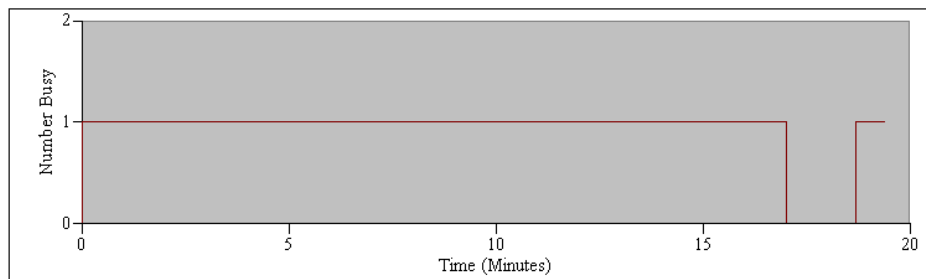
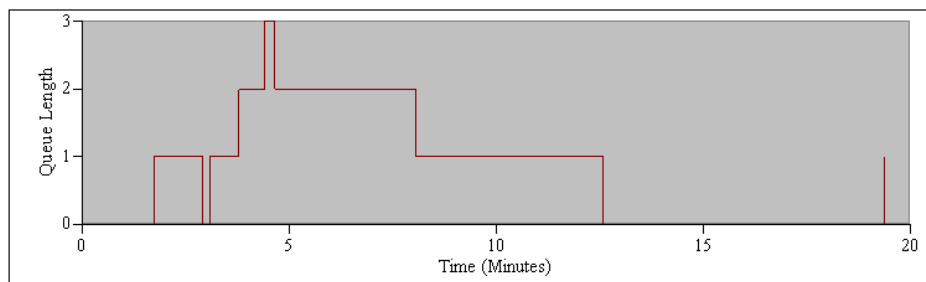
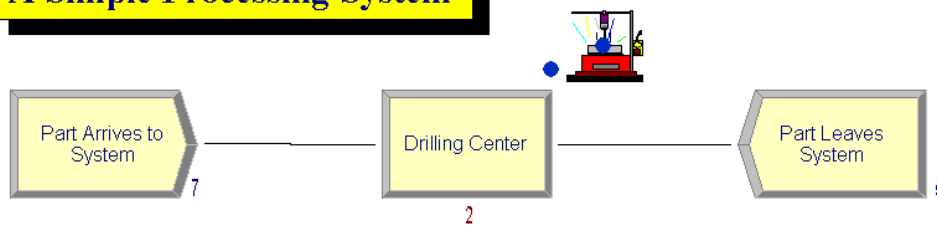
시뮬레이션 기간 : 20분

23

Results



Model 3-1 A Simple Processing System



24

오후 7:16:44

Category Overview

8월 21, 2017

Simple Processing

Replications: 1 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	5

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	3.4056	(Insufficient)	1.7642	4.5167
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	3.0340	(Insufficient)	0.00	8.1598
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part	6.4397	(Insufficient)	2.8956	12.6185

가공이 완료된 5개 부품에 대한 평균

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drilling Center	3.4056	(Insufficient)	1.7642	4.5167
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drilling Center	3.0340	(Insufficient)	0.00	8.1598
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drilling Center	6.4397	(Insufficient)	2.8956	12.6185

가공이 완료된 5개 부품에 대한 평균

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drilling Center.Queue	2.5283	(Insufficient)	0.00	8.1598

Other

대기를 완료한 6개 부품에 대한 평균

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drilling Center.Queue	0.7889	(Insufficient)	0.00	3.0000

Resource

Usage

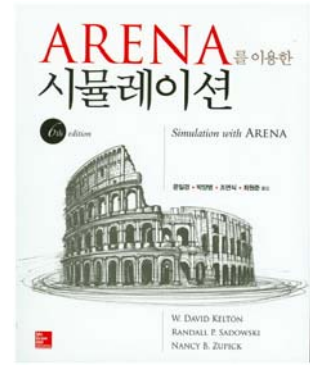
Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drill Press	0.9171	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drill Press	0.9171	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Drill Press	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization				
	Value			
Drill Press	0.9171			
Total Number Seized				
	Value			
Drill Press	6.0000			

대기를 완료한 6개 부품

따라하기

Model 3-1.mp4

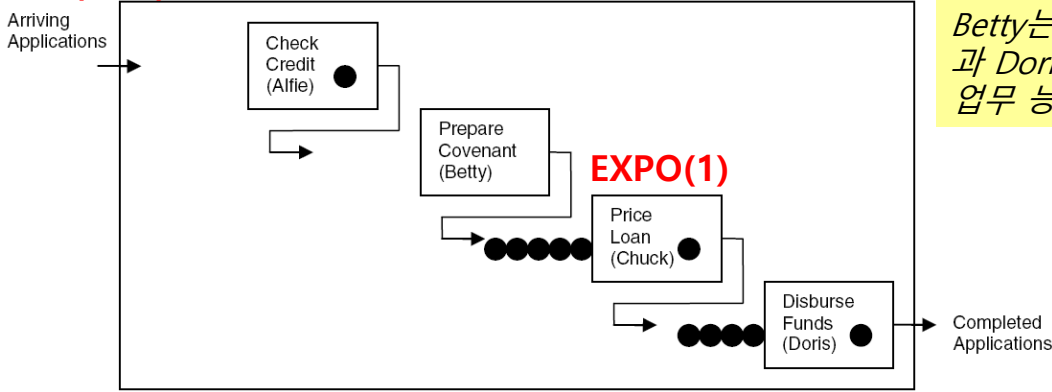
00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 3-2

(대출신청사무실: 직렬처리)

EXPO(1.25)

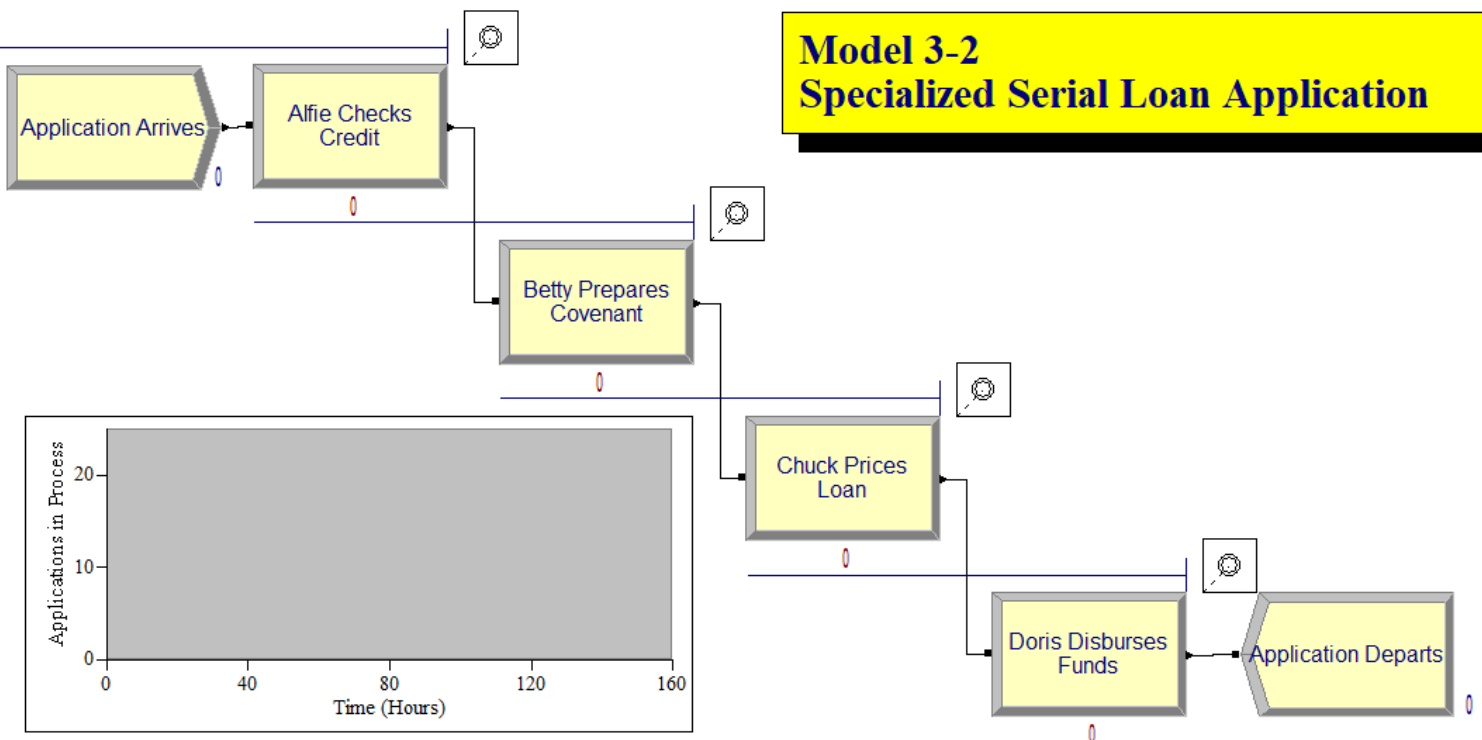


Betty는 한가한데, Chuck 과 Doris 과부하가 걸림 - 업무 능력의 낭비?

• 네 단계로 구성된 대출 업무

- 신용도 체크, 대출 계약서 작성, 대출 금액 결정, 대출금 지급
- 각 단계는 **expo(1 hour)** 서비스 시간 소요
- 대출 상담은 **expo(1.25 hour)** 도착시간 간격으로 발생
 - 첫번째 대출상담은 시간 0에 도착
- 160 시간 동안 시뮬레이션 수행
- 대기중인 평균 및 최대 상담 건수 (WIP) 관찰
- 대출 건이 시스템에 머물렀던 평균 및 최대 체류 시간 관찰
- 네 명의 사무원은 모든 업무를 처리할 수 있음

3



Model 3-2
Specialized Serial Loan Application

4

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Application	Picture Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

5

Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Alfie	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Betty	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Chuck	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Doris	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

6

Process에서 Resource 삽입 시 자동 생성

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Alfie Checks Credit.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Betty Prepares Covenant.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Chuck Prices Loan.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Doris Disburses Funds.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

대기행렬 규칙 : 선입선출

7

1. Create

Dialog box titled "Create" with fields:

- Name: Application Arrives
- Entity Type: Application
- Time Between Arrivals:
 - Type: Random (Expo)
 - Value: 1.25
 - Units: Hours
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 0.0

Buttons: OK, Cancel, Help

도착시간간격 : 랜덤한 지수분포

지수분포의 평균

8

2. Process

Process

Name: Alfie Checks Credit Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource: Alfie, 1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added

Expression: EXPO(1)

Report Statistics

Buttons: OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Alfie Quantity: 1

Buttons: OK Cancel Help

9

2. Process

Process

Name: Betty Prepares Covenant Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource: Betty, 1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added

Expression: EXPO(1)

Report Statistics

Buttons: OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Betty Quantity: 1

Buttons: OK Cancel Help

10

2. Process

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

Resources

Type:

Resource Name: Quantity:

11

2. Process

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

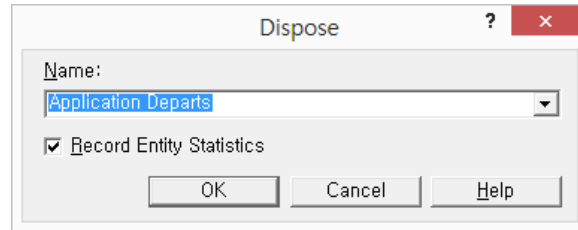
Resources

Type:

Resource Name: Quantity:

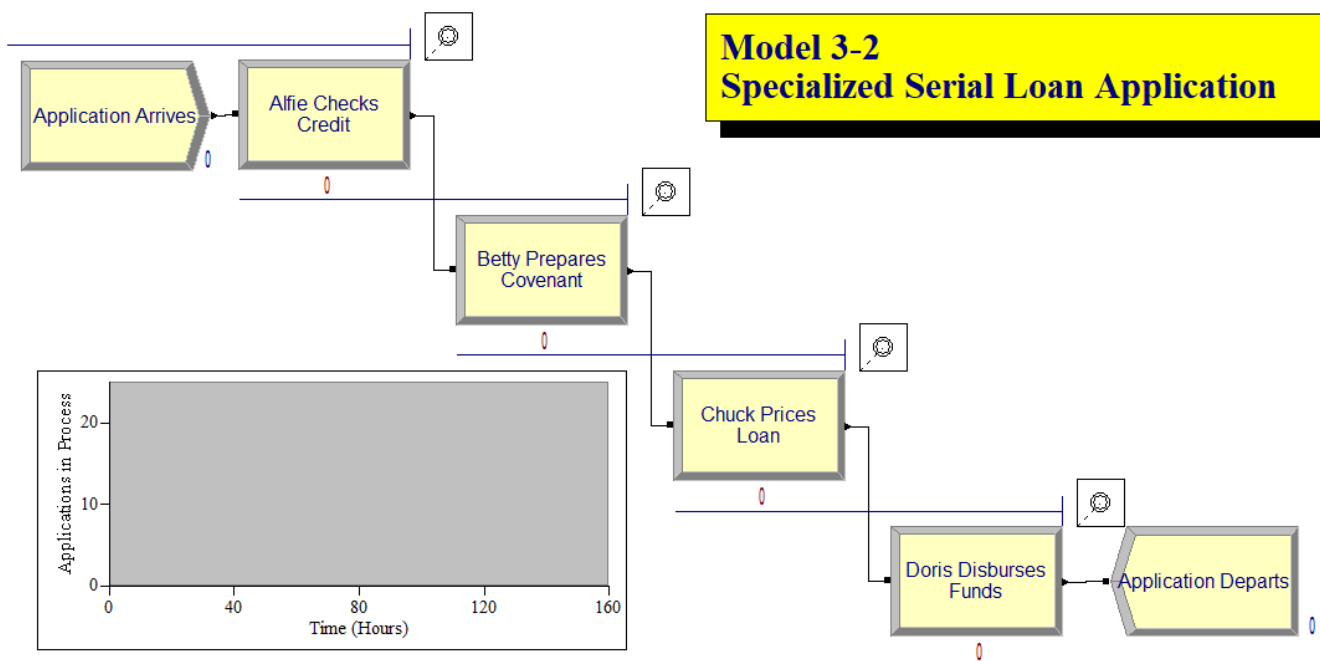
12

3. Dispose



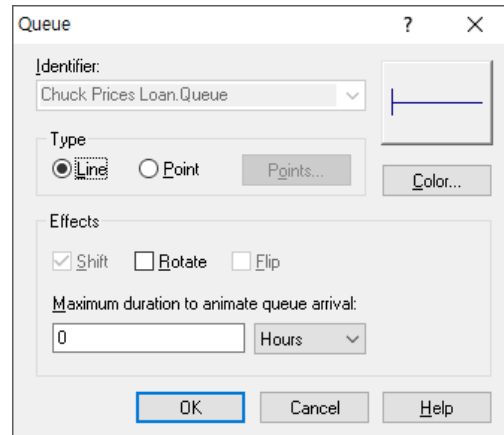
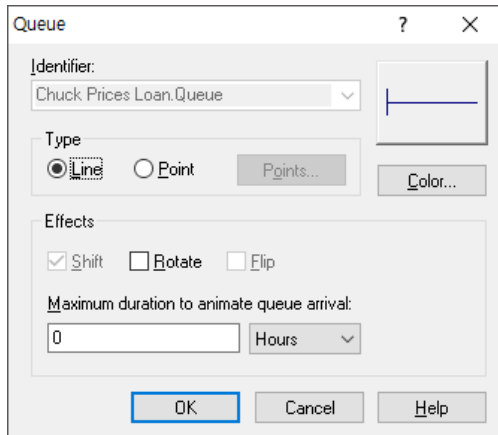
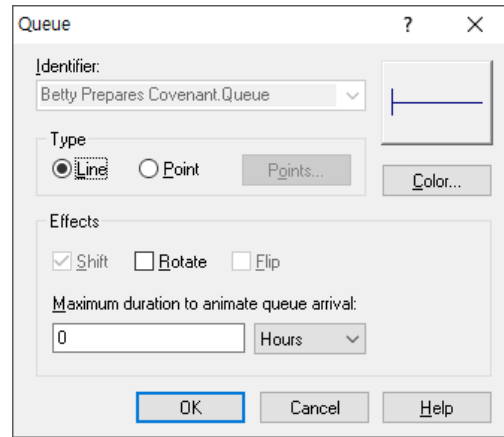
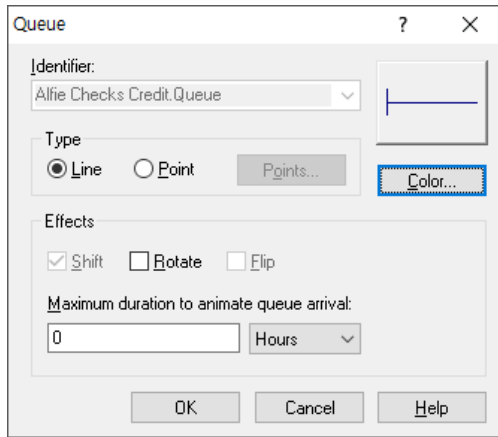
13

Animation

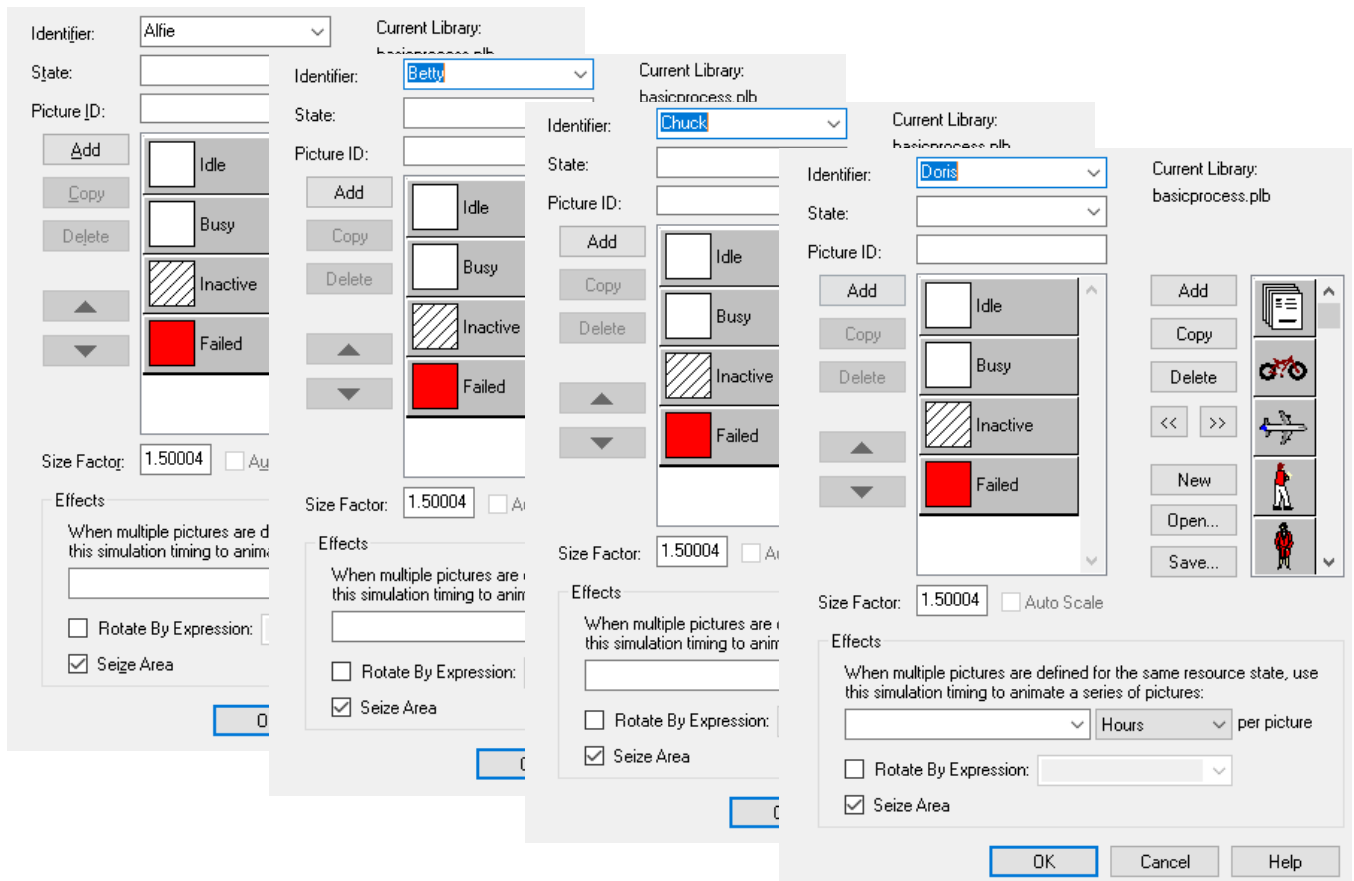


14

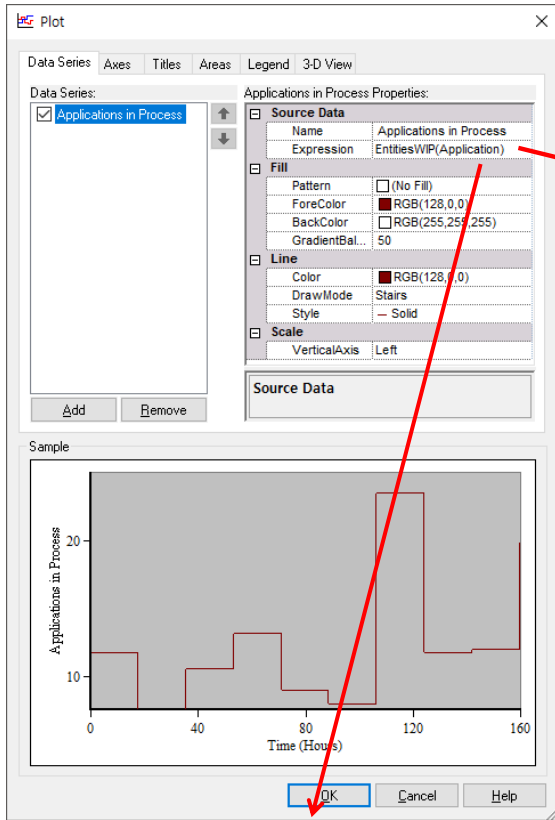
Animation-Queue



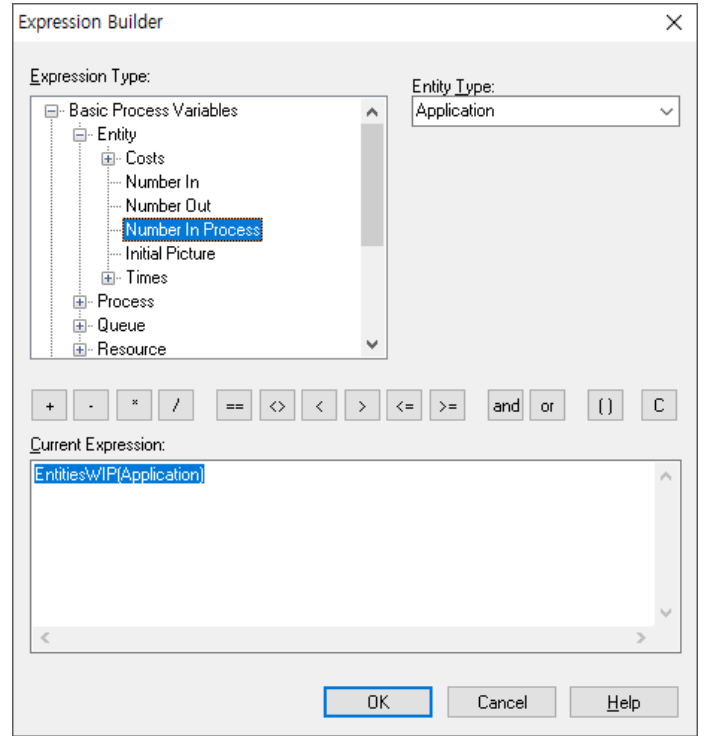
Animation-Resource



Animation-Plot

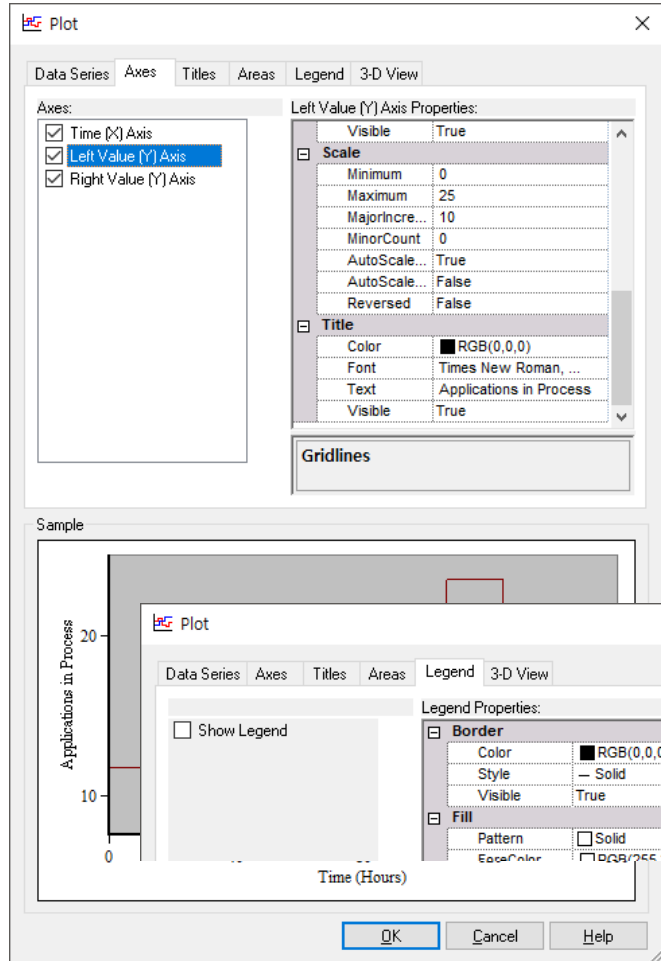
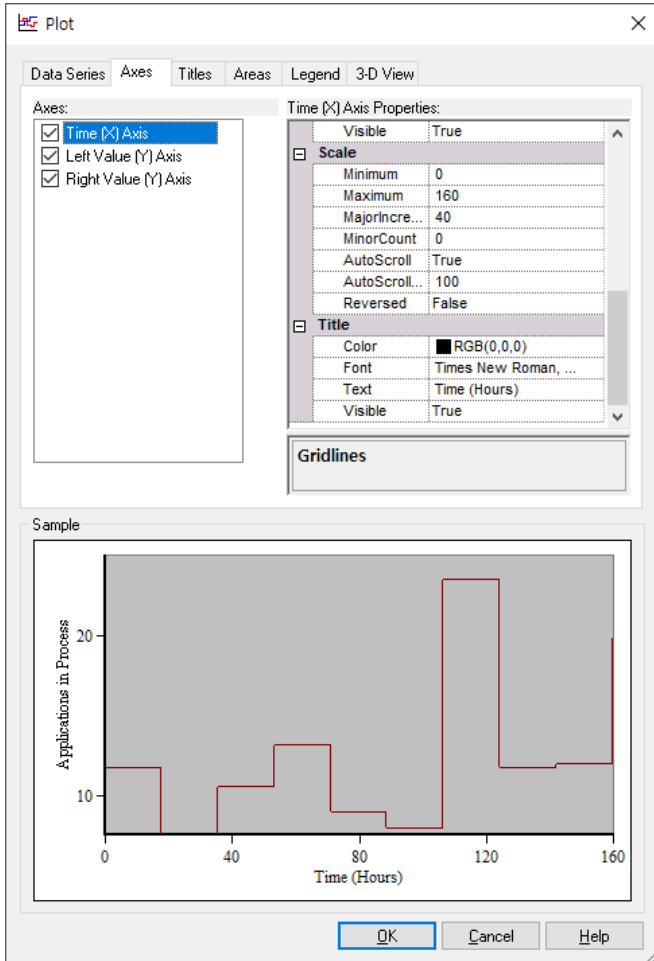


드롭 다운
Build Expression



현재 시스템 안에 있는(대기 또는 가공)
Application Entity의 수

Animation-Plot



Run-Setup

Run Setup

Replication Parameters Array Sizes Arena Visual Designer

Run Speed Run Control Reports **Project Parameters**

Project Title:
Loan Application (Serial)

Analyst Name:
Daddy Warbucks

Project Description:
Loan applications arrive, are processed serially through four stages, and then leave. Interarrivals are exponential with mean 1.25 hours, and all service times are exponential with mean 1 hour. The model starts empty and idle and runs for 160 hours.

Statistics Collection

Costing Queues Transporters
 Entities Processes Conveyors
 Resources Stations Activity Areas
 Tanks

확인 취소 적용(A) 도움말

Run Setup

Run Speed Run Control Reports Project Parameters

Replication Parameters Array Sizes Arena Visual Designer

Number of Replications:
1

Initialize Between Replications
 Statistics System

Start Date and Time:
2017년 8월 22일 화요일 오전 7:13:43

Warm-up Period:
0.0

Time Units:
Hours

Replication Length:
160

Time Units:
Hours

Hours Per Day:
24

Base Time Units:
Hours

Terminating Condition:

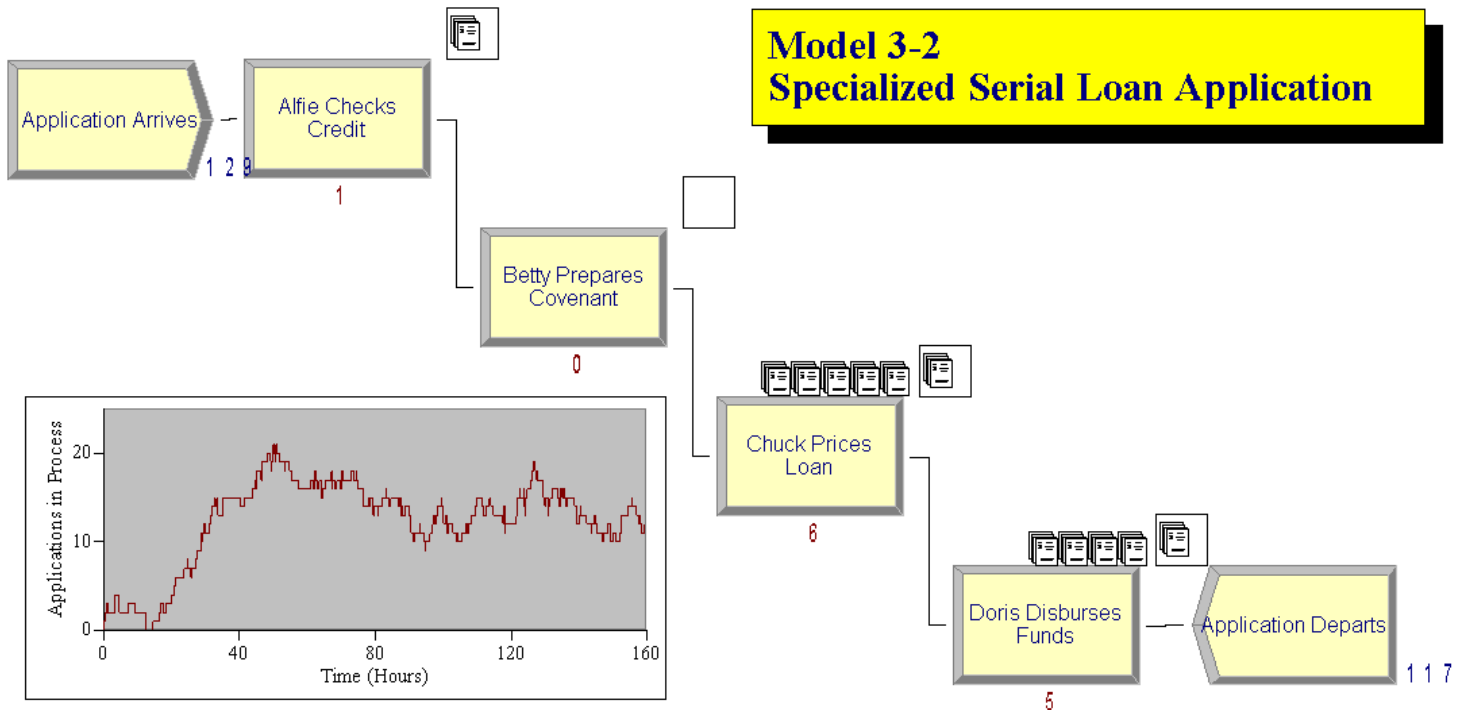
확인 취소 적용(A) 도움말

19

Results



Adobe Acrobat
문서



20

Results

Time		Time per Entity	
VA Time	<i>Average</i>	VA Time Per Entity	<i>Average</i>
Application	4.0990	Alfie Checks Credit	1.0241
NVA Time	<i>Average</i>	Betty Prepares Covenant	0.8792
Application	0.00	Chuck Prices Loan	1.0472
Wait Time	<i>Average</i>	Doris Disburses Funds	1.0915
Application	11.9841	Wait Time Per Entity	<i>Average</i>
Transfer Time	<i>Average</i>	Alfie Checks Credit	2.3919
Application	0.00	Betty Prepares Covenant	1.2582
Other Time	<i>Average</i>	Chuck Prices Loan	3.1067
Application	0.00	Doris Disburses Funds	5.1924
Total Time	<i>Average</i>	Total Time Per Entity	<i>Average</i>
Application	16.0831	Alfie Checks Credit	3.4160
		Betty Prepares Covenant	2.1375
		Chuck Prices Loan	4.1539
		Doris Disburses Funds	6.2839

합계

- ✓ 문제점:
 - 개별 공정의 대기시간이 길다 → 네 공정을 모두 마치려면 평균적으로 16시간이 소요됨.
- ✓ 해결책:
 - 직렬 형태의 Alfie, Betty, Chuck, Doris 공정을 범용화하여 병렬화 한다. → 모델 3-3
 - 개별 공정 서비스 시간의 변동성을 줄인다. → 모델 3.4

21

Model 3-3

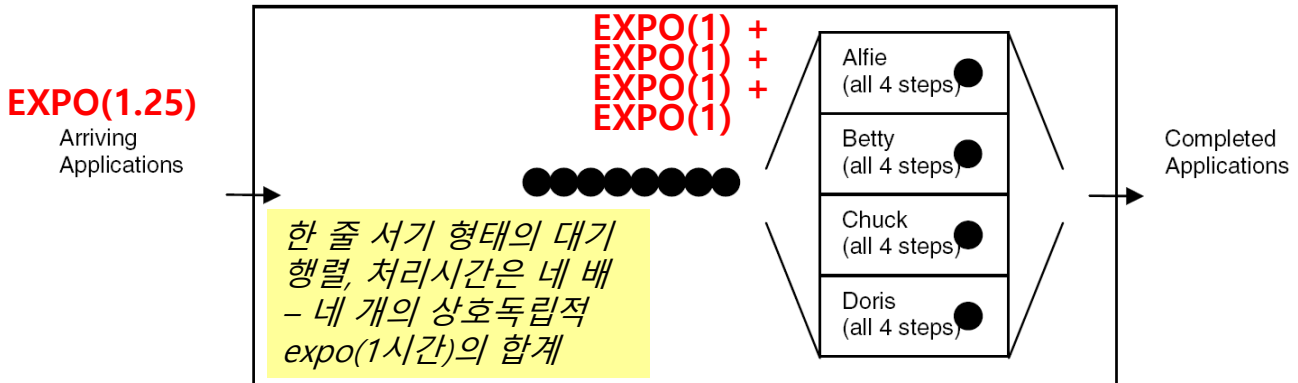
(대출신청사무실: 병렬처리)

22

- 네 개의 프로세스 모듈을 하나의 프로세스 모듈로 대체

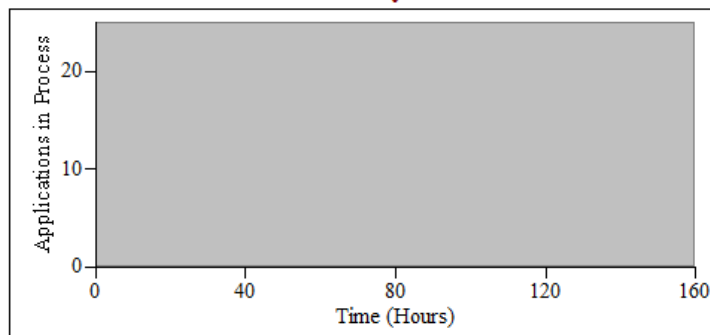
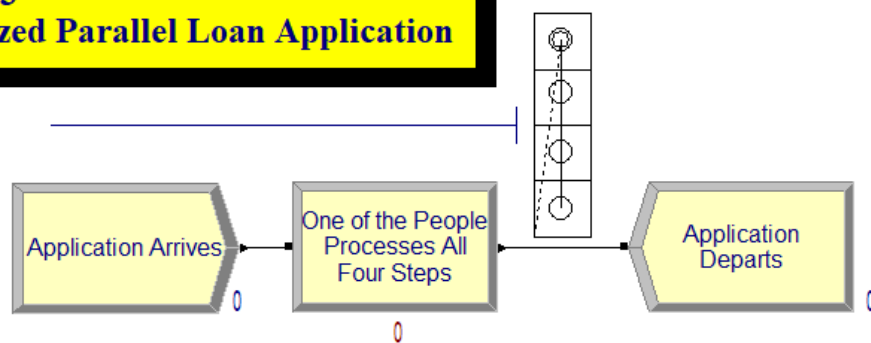
- Delay type – Expression

$$EXPO(1) + EXPO(1) + EXPO(1) + EXPO(1)$$



생산라인의 장비를 특정한 작업에 전용화 시키는 전략과 모든 장비들이 모든 작업을 수행할 수 있도록 범용화 시키는 전략을 비교한다면, 재공재고 최소화, Cycle Time 최소화, 장비간 가동률의 균형화에 보다 적합한 전략은 **장비 범용화 전략**이다.

Model 3-3 Generalized Parallel Loan Application



Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Application	Picture Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

25

Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Loan Officer	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

장비 범용화를 통해 동일 공정을 수행하는 4명의 생산용량을 확보

26

Process에서 Resource 삽입 시 자동 생성

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	One of the People Processes All Four Steps.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1. Create

Create ? x

Name: Application Arrives Entity Type: Application

Time Between Arrivals
Type: Random (Expo) Value: 1.25 Units: Hours

Entities per Arrival: 1 Max Arrivals: Infinite First Creation: 0.0

OK Cancel Help

2. Process

Process

Name: One of the People Processes All Four Steps Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: Resource, Loan Officer, 1
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added

Expression: EXPO(1) + EXPO(1) + EXPO(1) + EXPO(1)

Report Statistics

OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Loan Officer Quantity: 1

OK Cancel Help

29

3. Dispose

Dispose

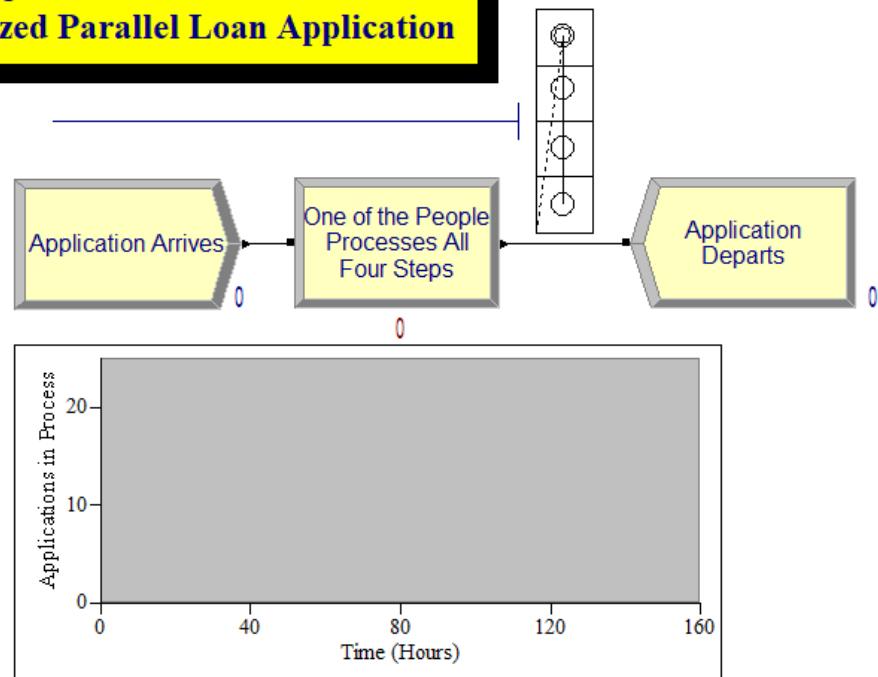
Name: Application Departs

Record Entity Statistics

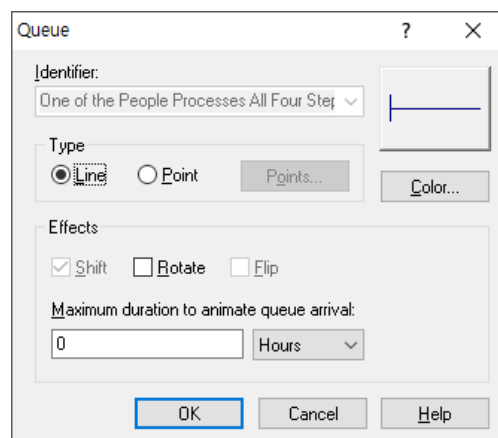
OK Cancel Help

30

Model 3-3 Generalized Parallel Loan Application



Animation-Queue



Animation-Resource

Identifier: Loan Officer Current Library: basicprocess.plb
 State: Idle
 Picture ID:

Add Add
 Copy Copy
 Delete Delete

Idle
 Busy
 Inactive
 Failed

Size Factor: 1.50004 Auto Scale

Effects
 When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:
 Hours per picture
 Rotate By Expression:
 Seize Area

OK Cancel Help

Seize Area

Type
 Line Point Points... Color...

Effects
 Shift Rotate Elip

OK Cancel

Points

Picture Rotation Angle

#1: 270

270
270
269
269

Add Delete User Defined

OK Cancel Help

더블클릭 → 그림편집

Model 03-03.doe - Picture Editor

Animation-Plot

Plot

Data Series Axes Titles Areas Legend 3-D View

Data Series:
 Applications in Process

Applications in Process Properties:

Source Data	
Name	Applications in Process
Expression	EntitiesWIP(Application)
Fill	
Pattern	<input type="checkbox"/> (No Fill)
ForeColor	RGB(128,0,0)
BackColor	RGB(255,255,255)
GradientBal...	50
Line	
Color	RGB(128,0,0)
DrawMode	Stairs
Style	Solid
Scale	
VerticalAxis	Left

Source Data

Sample

OK Cancel Help

Expression Builder

Expression Type:
 Basic Process Variables

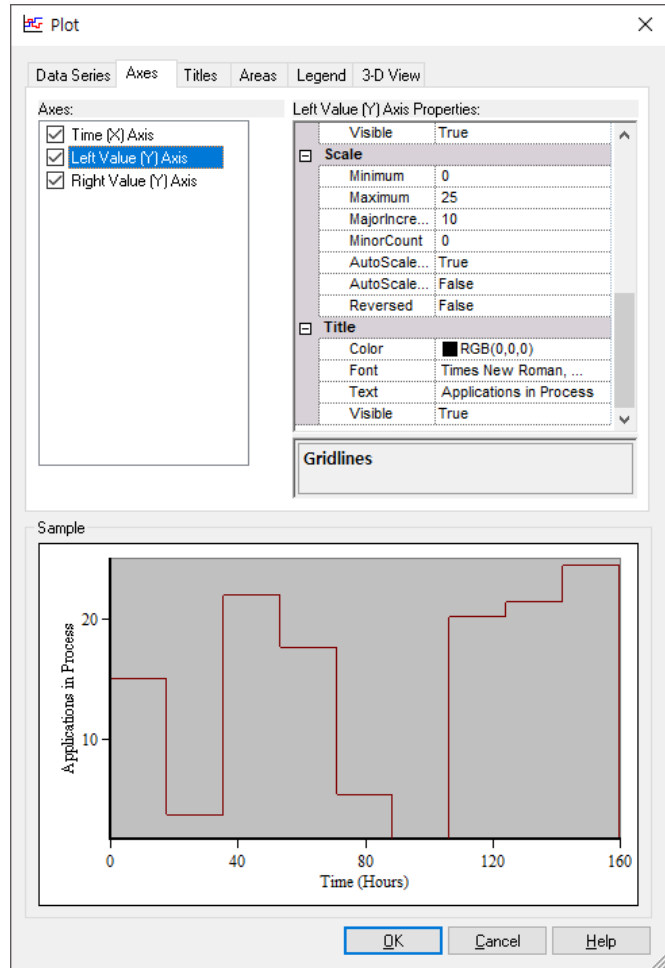
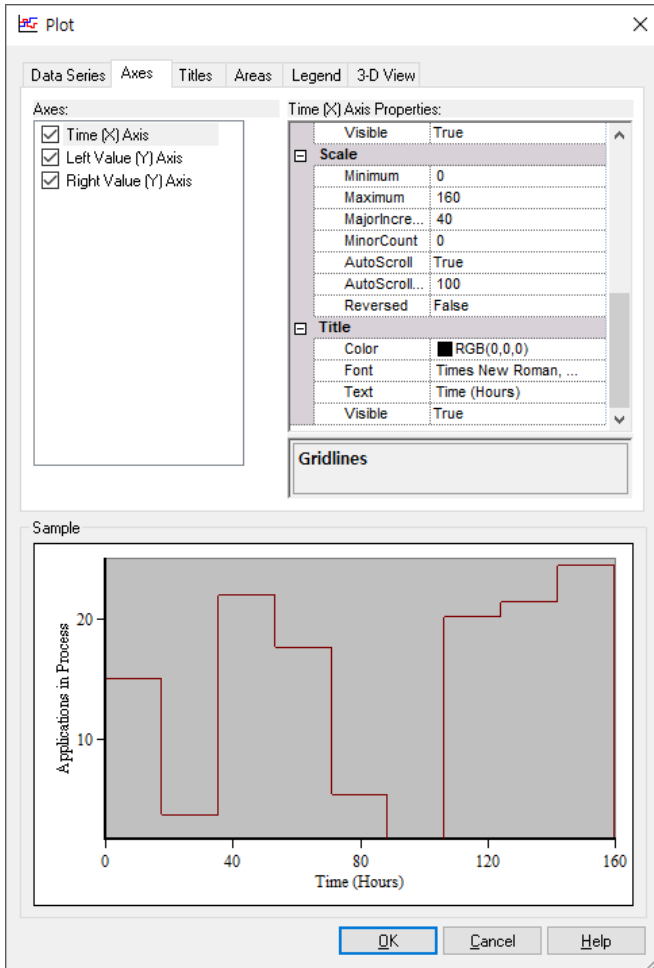
Entity Type: Application

- Entity
 - Costs
 - Number In
 - Number Out
 - Number In Process
 - Initial Picture
 - Times
- Process
- Queue
- Resource

Current Expression:
 EntitiesWIP(Application)

OK Cancel Help

Animation-Plot



35

Run-Setup

The Run Setup dialog box is open to the 'Project Parameters' tab. The following information is entered:

Project Title: Loan Application (Parallel)

Analyst Name: Daddy Warbucks

Project Description: Loan applications arrive, are processed in parallel through four stages, and then leave. Interarrivals are exponential with mean 1.25 hours, and all service times for each stage of service are exponential with mean 1 hour. The model starts empty and idle and runs for 160 hours.

Statistics Collection:

- Costing
- Queues
- Transporters
- Entities
- Processes
- Conveyors
- Resources
- Stations
- Activity Areas
- Tanks

The Run Setup dialog box is open to the 'Run Speed' and 'Run Control' tabs. The following parameters are configured:

Number of Replications: 1

Initialize Between Replications: Statistics, System

Start Date and Time: 2017년 8월 22일 화요일 오전 7:27:36

Warm-up Period: 0.0

Time Units: Hours

Replication Length: 160

Time Units: Hours

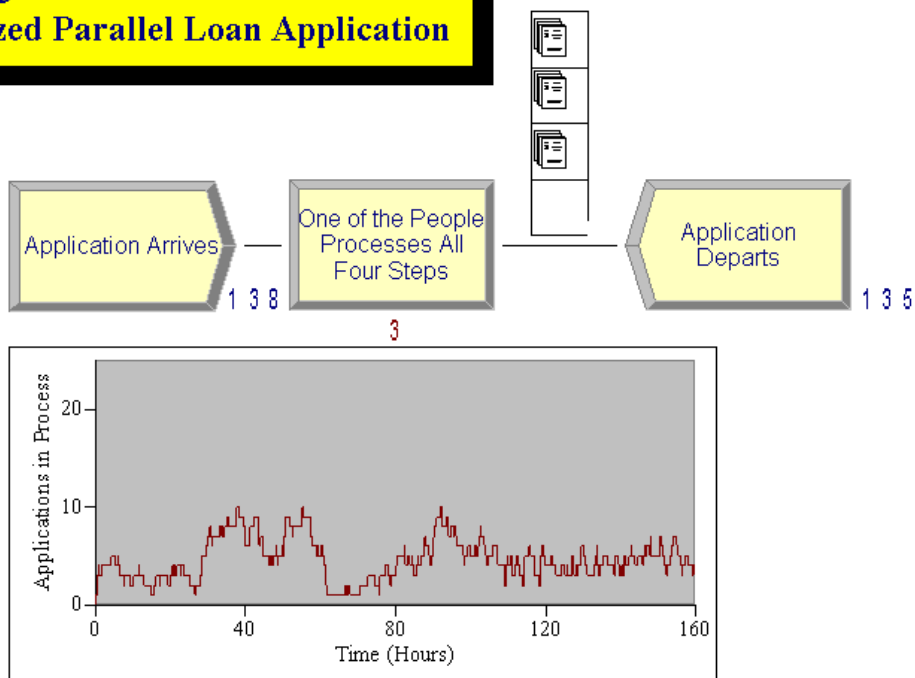
Hours Per Day: 24

Base Time Units: Hours

Terminating Condition: (empty)

36

**Model 3-3
Generalized Parallel Loan Application**



Results

Time	모델 3-2	모델 3-3
VA Time		
Application	Average 4.0990	Average 4.0560
NVA Time		
Application	Average 0.00	Average 0.00
Wait Time		
Application	Average 11.9841	Average 1.3282
Transfer Time		
Application	Average 0.00	Average 0.00
Other Time		
Application	Average 0.00	Average 0.00
Total Time		
Application	Average 16.0831	Average 5.3842

감소

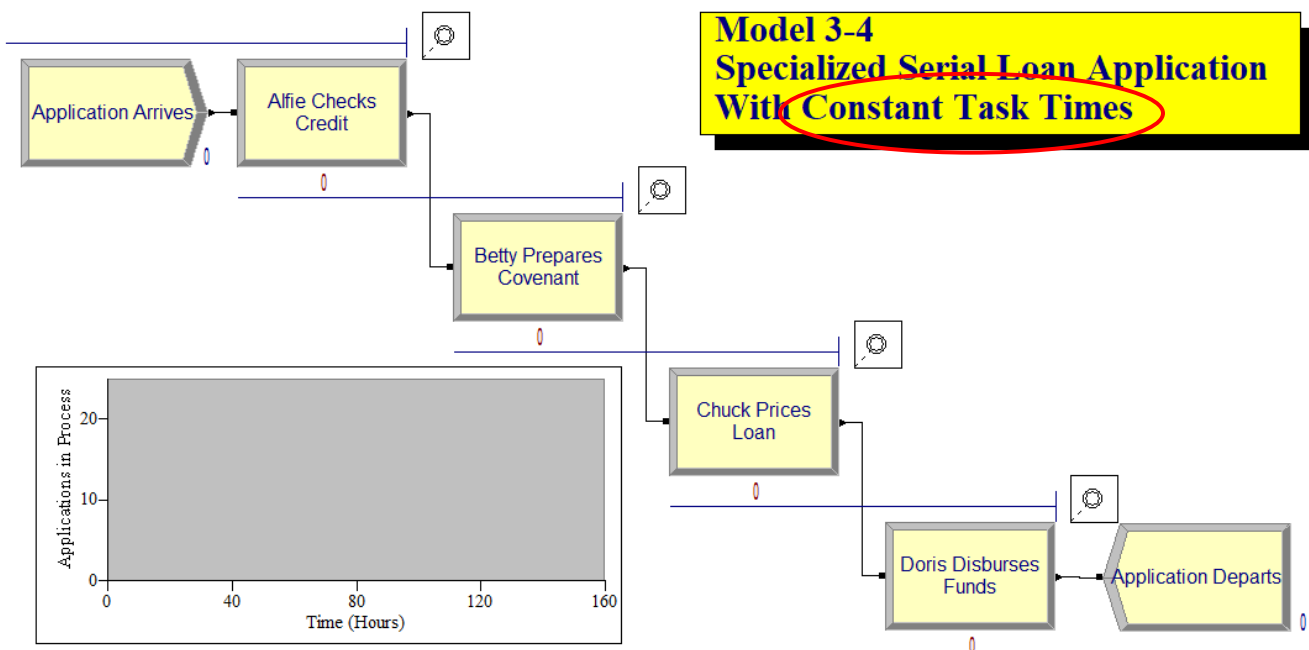
감소

- ✓ 개선: 직렬 형태의 Alfie, Betty, Chuck, Doris 공정을 범용화하여 병렬화 한다.
 - 평균대기기간: 11.98시간 → 1.33시간
 - 평균소요시간: 16.08시간 → 5.38시간

Model 3-4

(Model 3-2 수정)

서비스 시간의 산포를 제거함으로써 재공재고 최소화, Cycle Time 최소화, 장비간 가동률의 균형을 꾀함



2. Process

Process

Name: Alfie Checks Credit Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Alfie, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Constant Units: Hours Allocation: Value Added

Value: 1

Report Statistics

OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Alfie Quantity: 1

OK Cancel Help

41

2. Process

Process

Name: Betty Prepares Covenant Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Betty, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Constant Units: Hours Allocation: Value Added

Value: 1

Report Statistics

OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Betty Quantity: 1

OK Cancel Help

42

2. Process

The 'Process' dialog box is shown with the following settings:

- Name: Chuck Prices Loan
- Type: Standard
- Logic: Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2)
- Resources: Resource, Chuck, 1
- Delay Type: Constant (circled in red)
- Units: Hours
- Allocation: Value Added
- Value: 1
- Report Statistics: checked

Buttons: OK, Cancel, Help

The 'Resources' dialog box is shown with the following settings:

- Type: Resource
- Resource Name: Chuck
- Quantity: 1

Buttons: OK, Cancel, Help

43

2. Process

The 'Process' dialog box is shown with the following settings:

- Name: Doris Disburses Funds
- Type: Standard
- Logic: Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2)
- Resources: Resource, Doris, 1
- Delay Type: Constant (circled in red)
- Units: Hours
- Allocation: Value Added
- Value: 1
- Report Statistics: checked

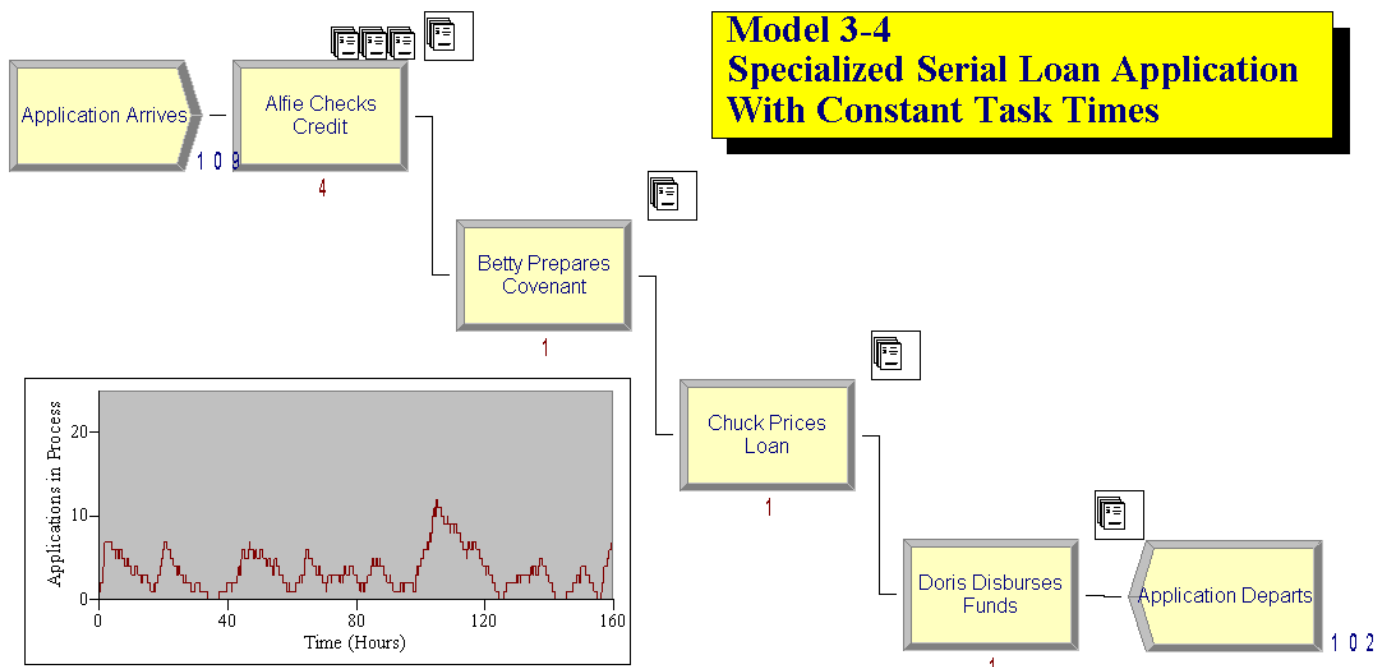
Buttons: OK, Cancel, Help

The 'Resources' dialog box is shown with the following settings:

- Type: Resource
- Resource Name: Doris
- Quantity: 1

Buttons: OK, Cancel, Help

44



Time	모델 3-2
VA Time	Average
Application	4.0990
NVA Time	Average
Application	0.00
Wait Time	Average
Application	11.9841
Transfer Time	Average
Application	0.00
Other Time	Average
Application	0.00
Total Time	Average
Application	16.0831

Time	모델 3-4
VA Time	Average
Application	4.0000
NVA Time	Average
Application	0.00
Wait Time	Average
Application	1.3182
Transfer Time	Average
Application	0.00
Other Time	Average
Application	0.00
Total Time	Average
Application	5.3182

감소

감소

- ✓ 개선: 개별 공정 서비스 시간의 변동성을 줄인다.
 - 평균대기기간: 11.98시간 → 1.32시간
 - 평균소요시간: 16.08시간 → 5.32시간

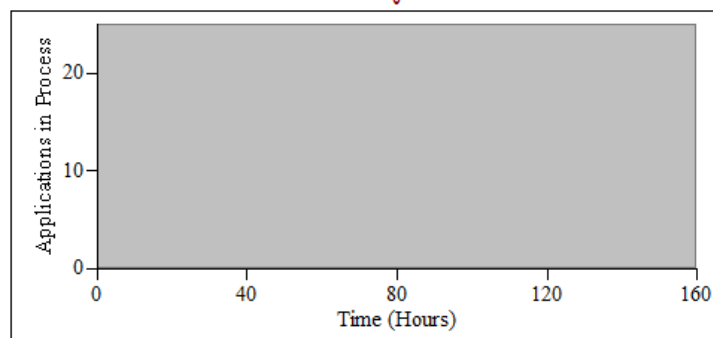
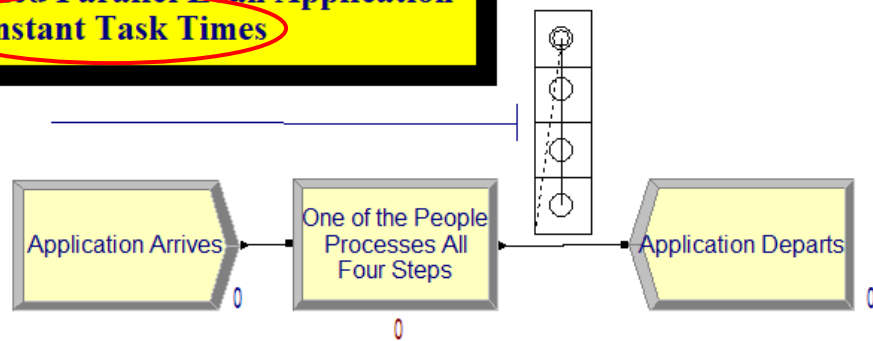
Model 3-5

(Model 3-3 수정)

47

공정 범용화와 서비스 시간의 산포를 제거함으로써, 재공재고 최소화, Cycle Time 최소화, 장비간 가동률의 균형을 꾀함

Model 3-5
Generalized Parallel Loan Application
With Constant Task Times



48

2. Process

Process

Name: One of the People Processes All Four Steps Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Loan Officer, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Constant Units: Hours Allocation: Value Added

Value: 4

Report Statistics

OK Cancel Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Loan Officer Quantity: 1

OK Cancel Help

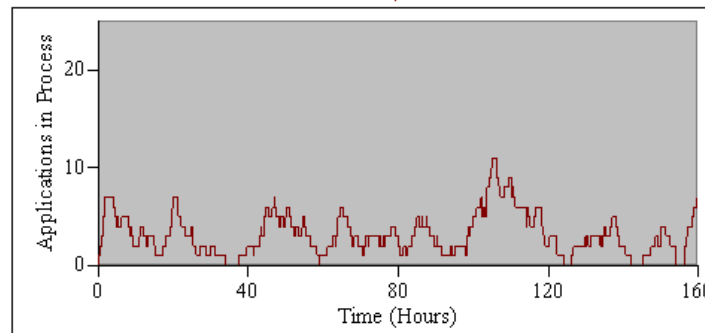
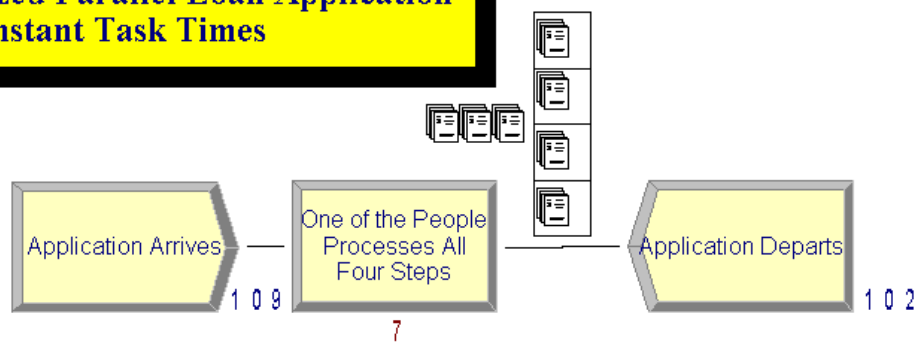
49

Results



Adobe Acrobat
문서

Model 3-5 Generalized Parallel Loan Application With Constant Task Times



50

Results

Time		모델 3-2	Time		모델 3-5
VA Time	Average		VA Time	Average	
Application		4.0990	Application		4.0000
NVA Time	Average		NVA Time	Average	
Application		0.00	Application		0.00
Wait Time	Average	11.9841	Wait Time	Average	0.8107
Application			Application		
Transfer Time	Average		Transfer Time	Average	
Application		0.00	Application		0.00
Other Time	Average		Other Time	Average	
Application		0.00	Application		0.00
Total Time	Average	16.0831	Total Time	Average	4.8107
Application			Application		

감소

감소

- ✓ 개선: 개별 공정 서비스 시간의 변동성을 줄인다.
 - 평균대기기간: 11.98시간 → 0.81시간
 - 평균소요시간: 16.08시간 → 4.81시간

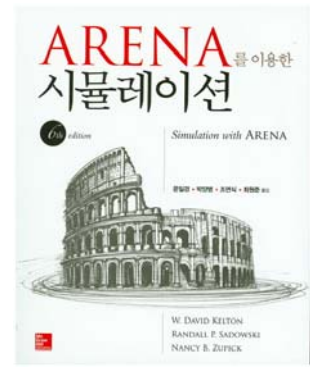
51

따라하기

Model 3-2.mp4
Model 3-3.mp4
Model 3-4.mp4
Model 3-5.mp4

52

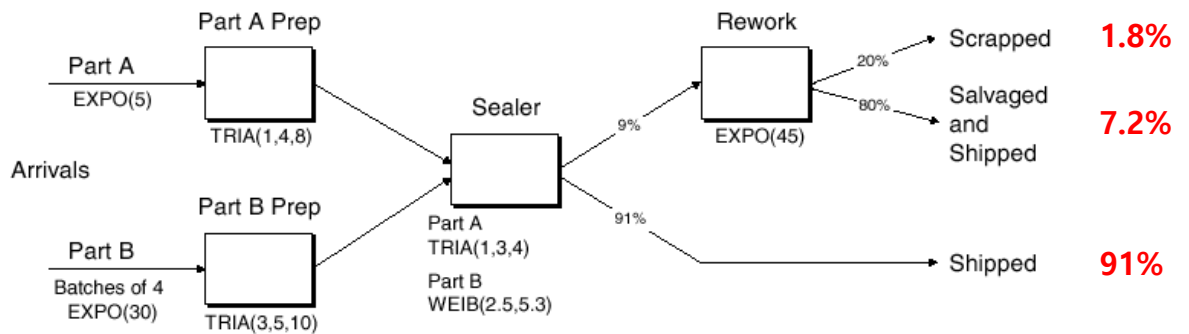
00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 4-1

(전자조립 및 검사 시스템)

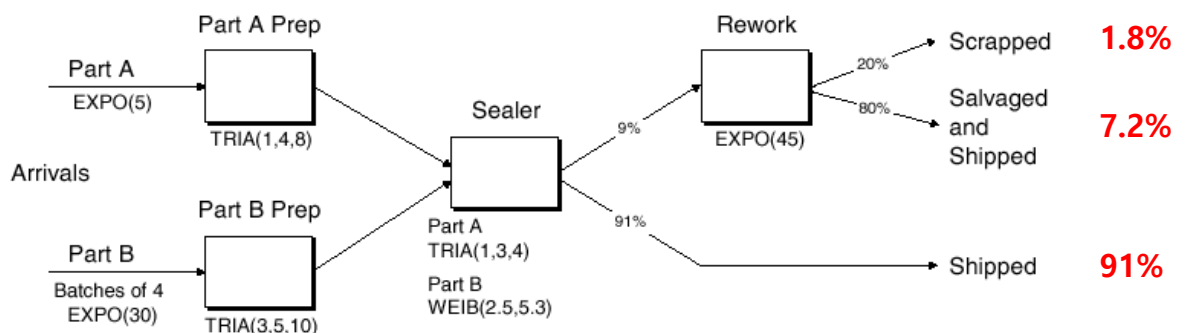
4.1 전자조립 및 검사 시스템



- 두 종류의 밀봉된 전자 장치 생산. 부품 (A, B)
- 도착 부품: 전자 부품들을 장착할 수 있도록 미리 가공된 주물 금속 케이스
- 부품 A, 부품 B : 분리된 준비(Prep)구역으로 이동 → 케이스 면을 기계로 가공
- 조립과 검사를 위해 밀봉기(Sealer)로 이동 - 양품(Shipped)이면 바로 선적, 불량이면 재작업(Rework) 수행
- 재작업 - 성공이면 재생품(Salvaged and Shipped)으로 선적, 실패면 불량품(Scrapped)으로 폐기

3

4.1 전자조립 및 검사 시스템



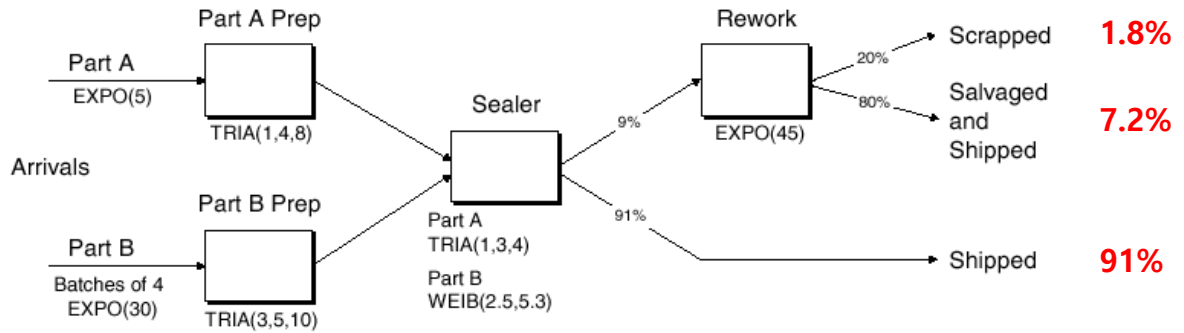
Part A

- 부품 도착 시간 간격 : 평균 5분의 지수분포 EXPO (5) min.
- 도착하면, 바로 Part A Prep으로 이동
 - 가공시간 = (기계가공 + 디버링 + 세척) ~ 삼각분포 TRIA (1, 4, 8) min.
- 이동시간 없이 밀봉기로 이동
 - 가공시간 = (조립 + 검사) ~ 삼각분포 TRIA (1, 3, 4) min.
 - 91% 양품 → 선적, 9% 불량 → 재작업
- 재작업: (재작업 + 검사) ~ 평균 45분의 지수분포 EXPO (45) min.
 - 80% 성공 → 재생품 선적, 20% 실패 → 불량품 폐기

4

4.1 전자조립 및 검사 시스템

기대치

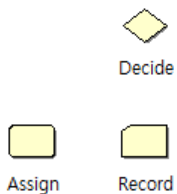
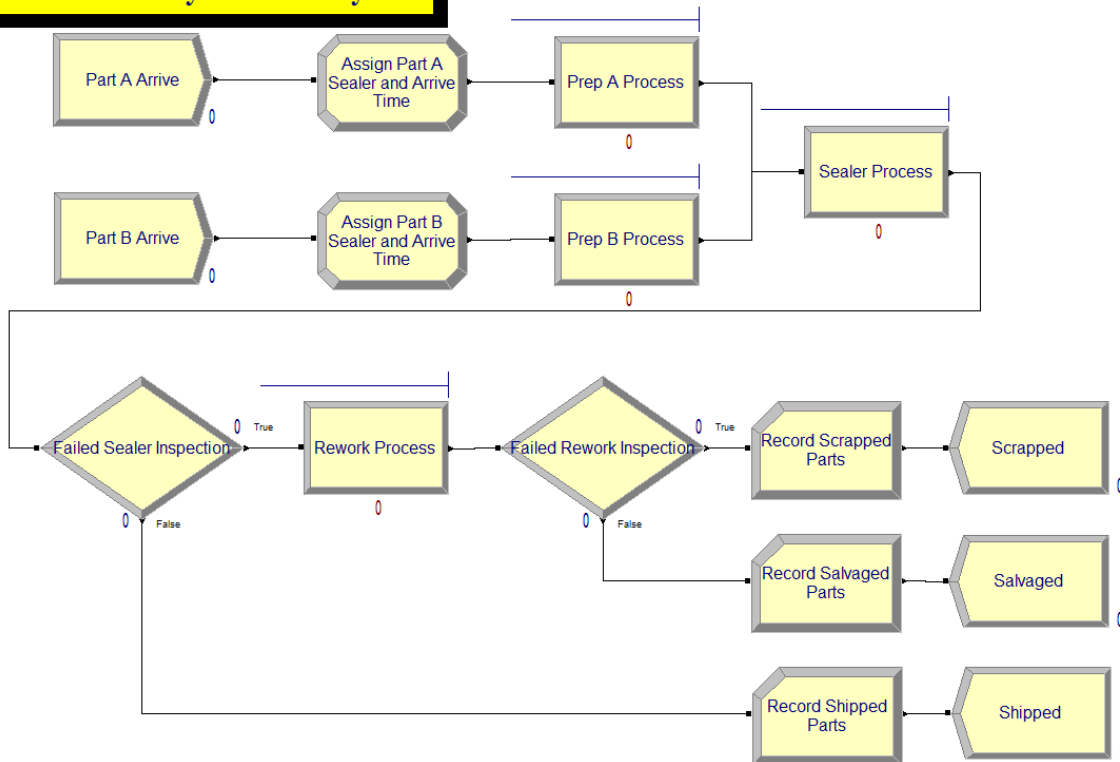


Part B

- 부품 도착 시간 간격 : 4개 배치, 평균 30분의 지수분포 EXPO (30) min.
- 도착하면, 바로 Part B Prep으로 이동
 - 가공시간 = (기계가공 + 디버링 + 세척) ~ 삼각분포 TRIA (3, 5, 10) min.
- 이동시간 없이 밀봉기로 이동
 - 가공시간 = (조립 + 검사) ~ 와이블 분포 WEIB (2.5, 5.3) min.
 - 91% 양품 → 선적, 9% 불량 → 재작업
- 재작업: (재작업 + 검사) ~ 평균 45분의 지수분포 EXPO (45) min.
 - 80% 성공 → 재생품 선적, 20% 실패 → 불량품 폐기

5

Model 4-1 An Electronic Assembly and Test System



- Decide : 확률 또는 조건에 따라 개체를 분기시키는 역할
- Assign : Attribute, Variable, Entity Type, Entity Picture 등의 값 지정.
- Record : 시뮬레이션 수행 중 필요한 정보를 수집하는 역할

6

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Part A	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Part B	Picture.Red Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

7

Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Prep A	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Prep B	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Sealer	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Rework	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

8

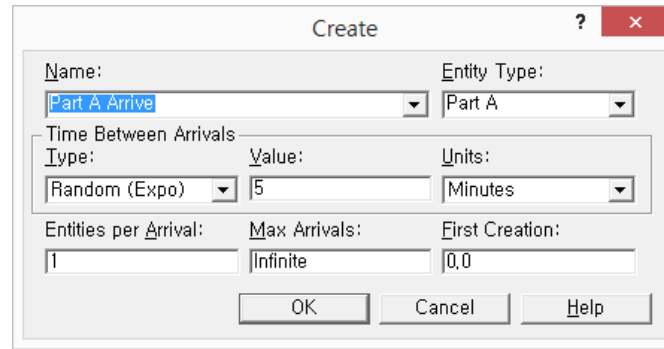
Attribute

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1 ▶	Sealer Time			Real	0 rows
2	Arrive Time			Real	0 rows

Queue

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Prep A Process.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Prep B Process.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Sealer Process.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Rework Process.Queue	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1. Create



The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following settings:

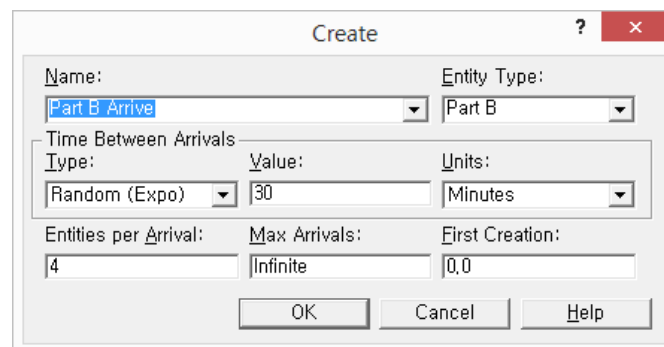
- Name: Part A Arrive
- Entity Type: Part A
- Time Between Arrivals Type: Random (Expo)
- Value: 5
- Units: Minutes
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 0,0

Buttons: OK, Cancel, Help

100시간 동안 생성되는 Part A Entity의 평균 개수
= 1개/5분 * 100시간 * 60분/시간 = 약 1,200개

11

2. Create



The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following settings:

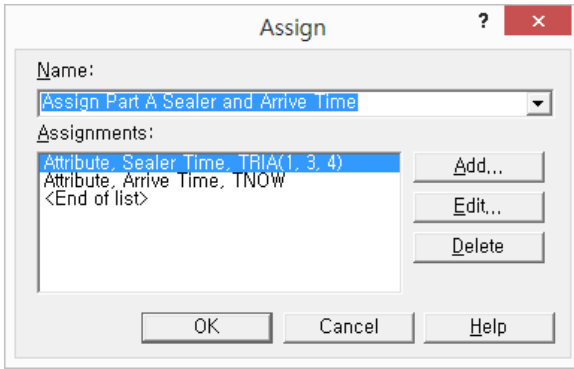
- Name: Part B Arrive
- Entity Type: Part B
- Time Between Arrivals Type: Random (Expo)
- Value: 30
- Units: Minutes
- Entities per Arrival: 4
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 0,0

Buttons: OK, Cancel, Help

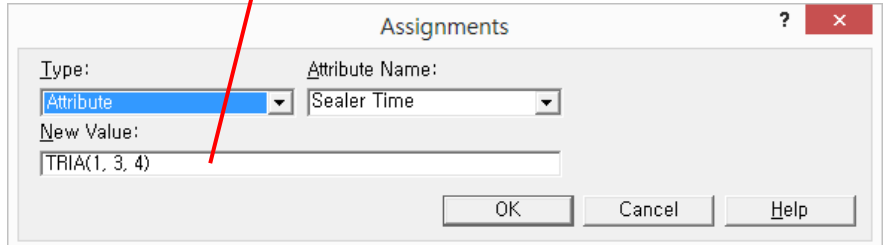
100시간 동안 생성되는 Part B Entity의 평균 개수
= 4개/30분 * 100시간 * 60분/시간 = 약 800개

12

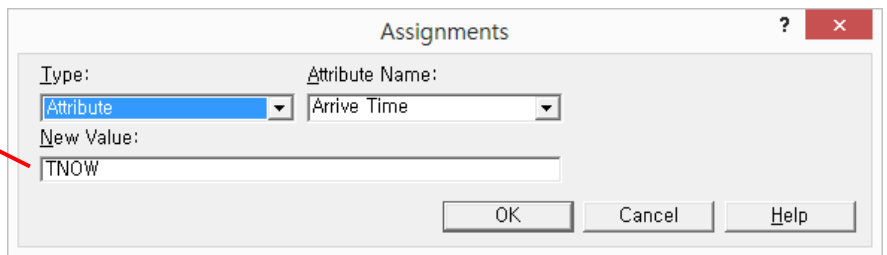
3. Assign



속성: Sealer Time을 저장
최소값 1, 최빈값 3, 최대값 4인 삼각분포



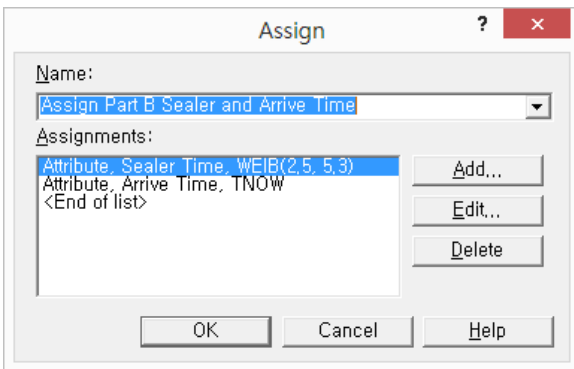
속성: 부품도착시간을 저장
시뮬레이션 상의 현재 시간



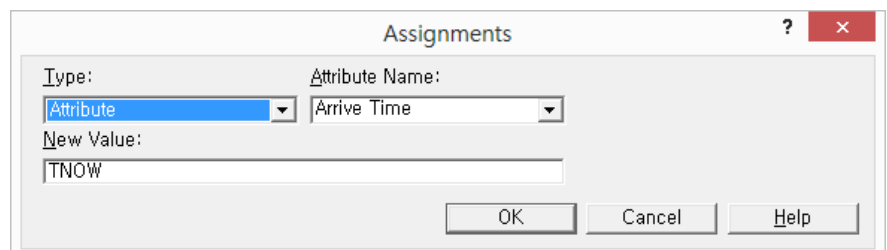
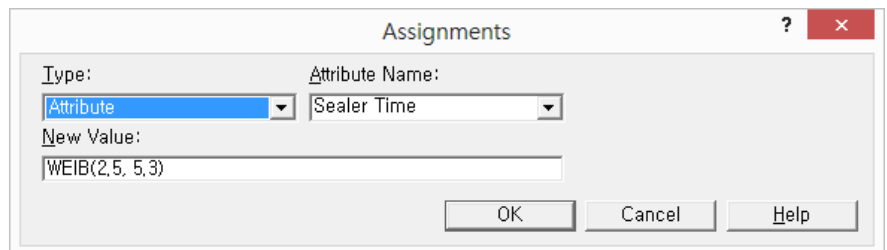
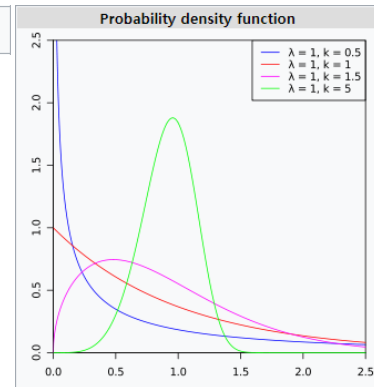
13

4. Assign

Parameters $\lambda \in (0, +\infty)$ scale
 $k \in (0, +\infty)$ shape



척도(Scale) 모수
형상(Shape) 모수
베타 2.5, 알파 5.3인 와이블분포



14

5. Process

The 'Process' dialog box for 'Prep A Process' is shown. The 'Name' field is 'Prep A Process' and the 'Type' is 'Standard'. Under 'Logic', the 'Action' is 'Seize Delay Release' and the 'Priority' is 'Medium(2)'. The 'Resources' list contains 'Resource, Prep A, 1'. The 'Delay Type' is 'Triangular', 'Units' is 'Minutes', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Minimum' is 1, 'Value (Most)' is 4, and 'Maximum' is 8. The 'Report Statistics' checkbox is checked. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

최소값 1분, 최빈값 4분, 최대값 8분인 삼각분포

The 'Resources' dialog box shows 'Resource' as the 'Type'. The 'Resource Name' is 'Prep A' and the 'Quantity' is 1. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

15

6. Process

The 'Process' dialog box for 'Prep B Process' is shown. The 'Name' field is 'Prep B Process' and the 'Type' is 'Standard'. Under 'Logic', the 'Action' is 'Seize Delay Release' and the 'Priority' is 'Medium(2)'. The 'Resources' list contains 'Resource, Prep B, 1'. The 'Delay Type' is 'Triangular', 'Units' is 'Minutes', and 'Allocation' is 'Value Added'. The 'Minimum' is 3, 'Value (Most)' is 5, and 'Maximum' is 10. The 'Report Statistics' checkbox is checked. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

최소값 3분, 최빈값 5분, 최대값 10분인 삼각분포

The 'Resources' dialog box shows 'Resource' as the 'Type'. The 'Resource Name' is 'Prep B' and the 'Quantity' is 1. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

16

7. Process

Process

Name: Sealer Process Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: Resource, Sealer, 1
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: Sealer Time

Report Statistics

OK Cancel Help

개체의 속성에 저장되어 있던 Sealer Time을 이용

Resources

Type: Resource

Resource Name: Sealer Quantity: 1

OK Cancel Help

17

8. Decide

Decide

Name: Failed Sealer Inspection Type: 2-way by Chance

Percent True (0-100): 9 %

OK Cancel Help

9% : True
91% : False로 진행

18

9. Process

Name: Rework Process Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: Resource, Rework, 1

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: EXPO(45)

Report Statistics

OK Cancel Help

평균이 45분인 지수분포

Type: Resource

Resource Name: Rework Quantity: 1

OK Cancel Help

19

10. Decide

Name: Failed Rework Inspection Type: 2-way by Chance

Percent True (0-100): 20 %

OK Cancel Help

20% : True
80% : False로 진행

20

11. Record

Record dialog box configuration:

- Name: Record Scrapped Parts
- Type: Time Interval
- Attribute Name: Arrive Time
- Tally Name: Record Scrapped Parts
- Record into Set:

현재시간 TNOW와 Arrive Time과의 시간 간격을 기록
 의미 : 시스템을 빠져나가는 시간에서 시스템에 들어온 시간을 뺀으로써 시스템에 머문 총 시간을 계산하여 기록

개체의 속성에 저장되어 있던 Arrive Time을 이용

Record dialog box configuration:

- Name: Record Salvaged Parts
- Type: Time Interval
- Attribute Name: Arrive Time
- Tally Name: Record Salvaged Parts
- Record into Set:

Record dialog box configuration:

- Name: Record Shipped Parts
- Type: Time Interval
- Attribute Name: Arrive Time
- Tally Name: Record Shipped Parts
- Record into Set:

21

12. Dispose

Dispose dialog box configuration:

- Name: Scrapped
- Record Entity Statistics:

Dispose dialog box configuration:

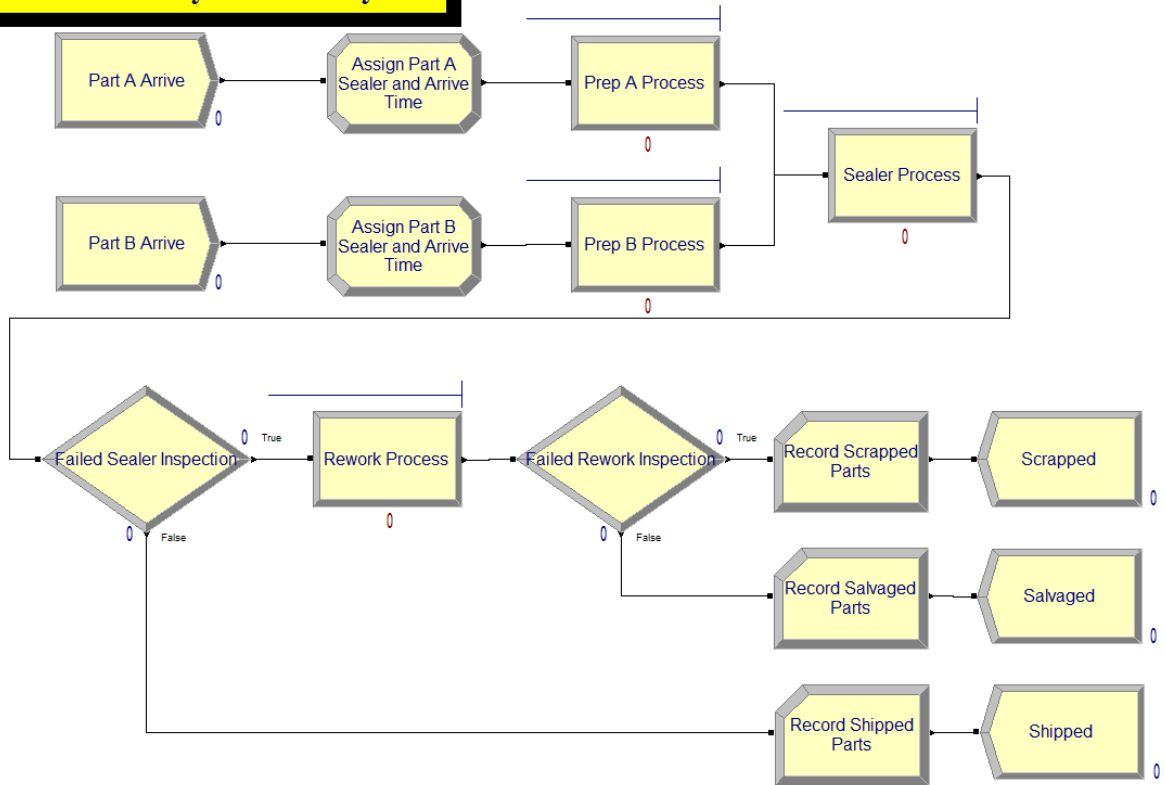
- Name: Salvaged
- Record Entity Statistics:

Dispose dialog box configuration:

- Name: Shipped
- Record Entity Statistics:

Animation

Model 4-1 An Electronic Assembly and Test System



23

Animation-Queue

Queue ? X

Identifier: Prep A Process.Queue

Type: Line Point Points... Color...

Effects: Shift Rotate Flip

Maximum duration to animate queue arrival: 0 Hours

OK Cancel Help

Queue ? X

Identifier: Prep B Process.Queue

Type: Line Point Points... Color...

Effects: Shift Rotate Flip

Maximum duration to animate queue arrival: 0 Hours

OK Cancel Help

Queue ? X

Identifier: Sealer Process.Queue

Type: Line Point Points... Color...

Effects: Shift Rotate Flip

Maximum duration to animate queue arrival: 0 Hours

OK Cancel Help

Queue ? X

Identifier: Rework Process.Queue

Type: Line Point Points... Color...

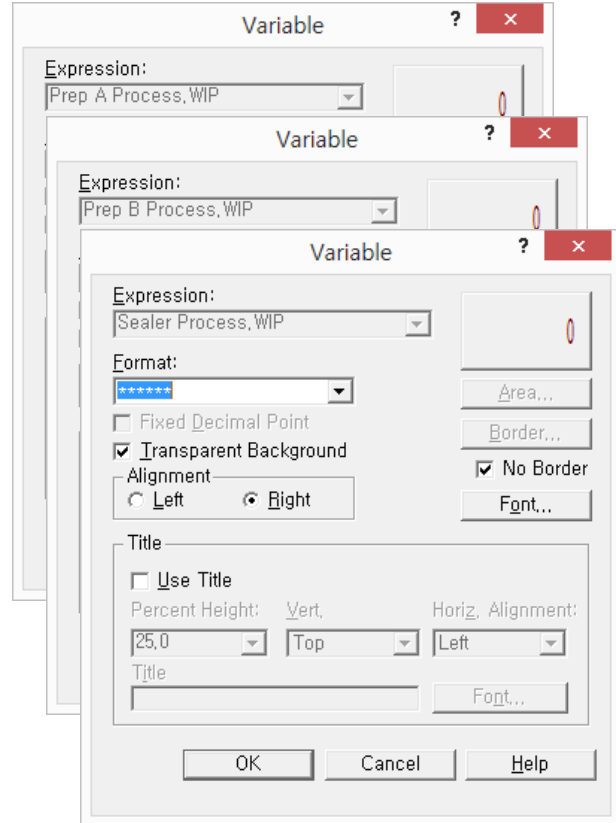
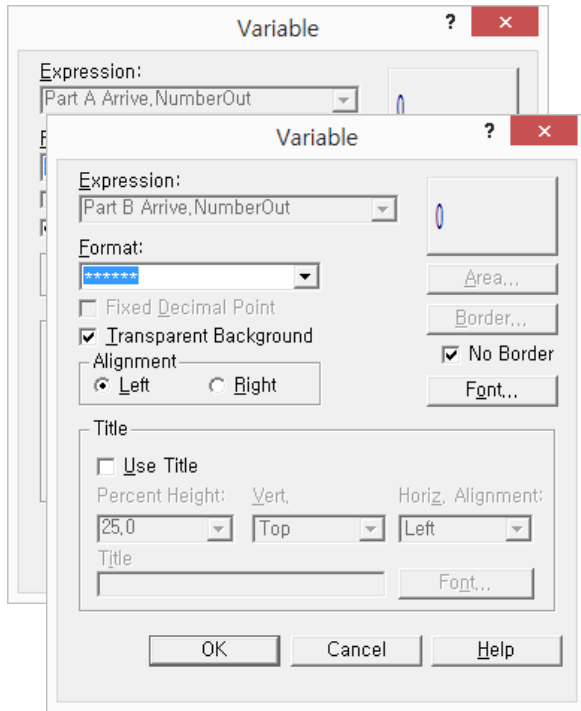
Effects: Shift Rotate Flip

Maximum duration to animate queue arrival: 0 Hours

OK Cancel Help

24

Animation-Variable

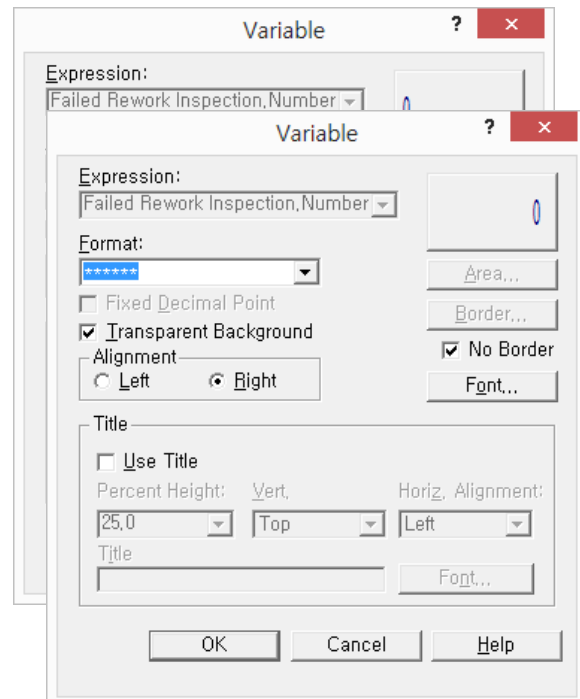
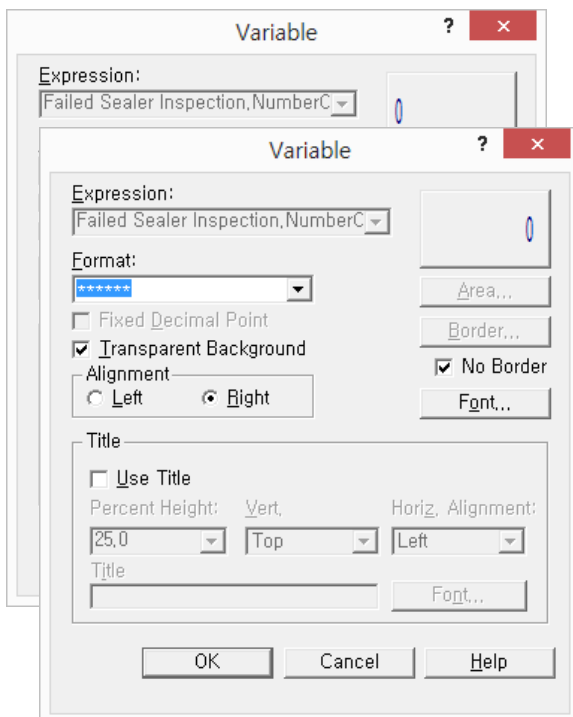


25

Animation-Variable

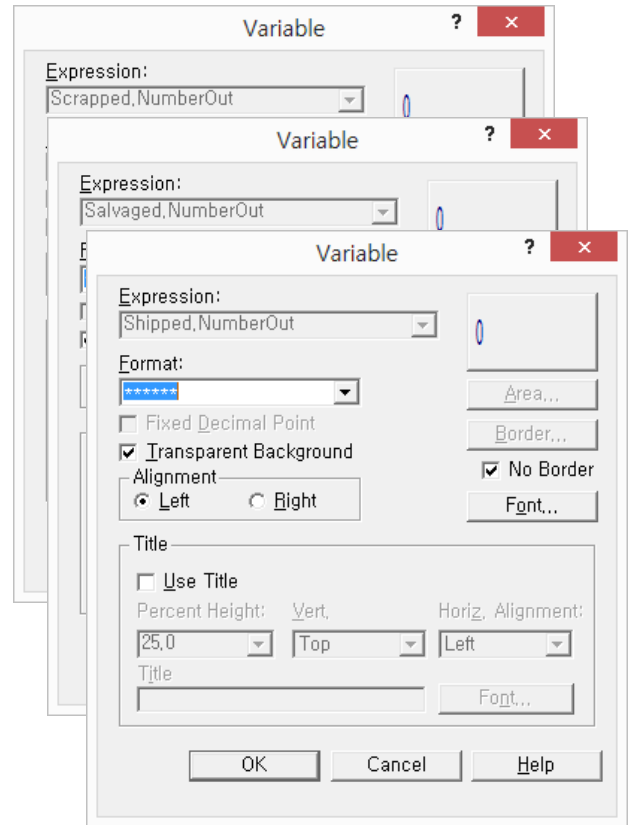
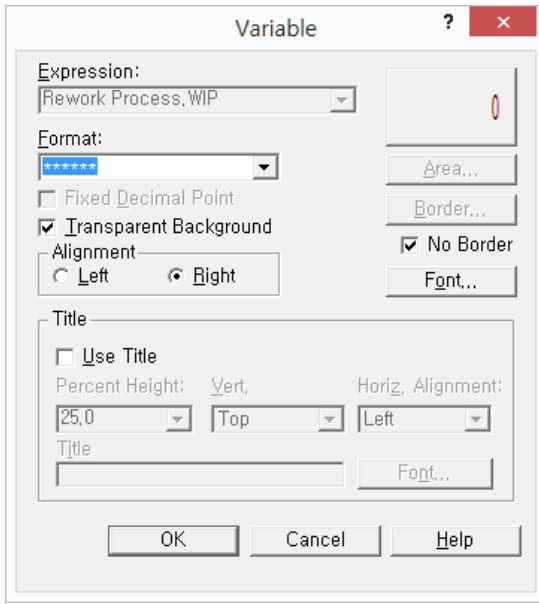
Failed Sealer Inspection.NumberOut False
Failed Sealer Inspection.NumberOut True

Failed Rework Inspection.NumberOut False
Failed Rework Inspection.NumberOut True



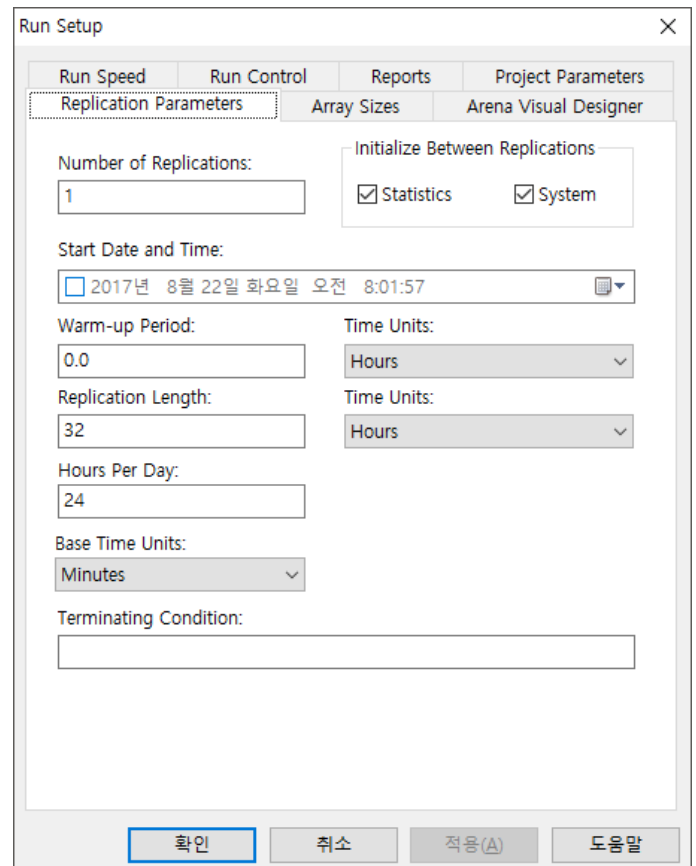
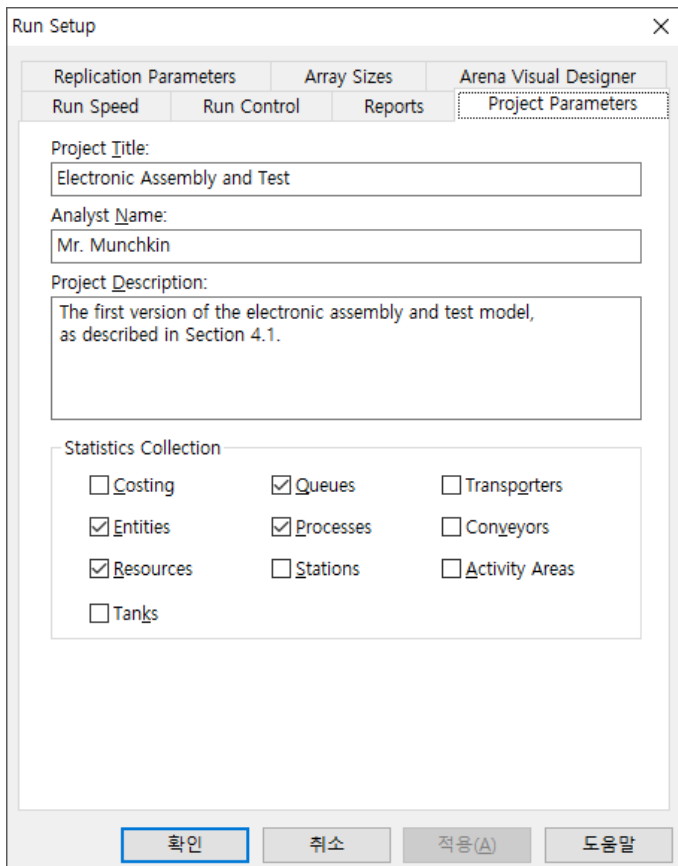
26

Animation-Variable



27

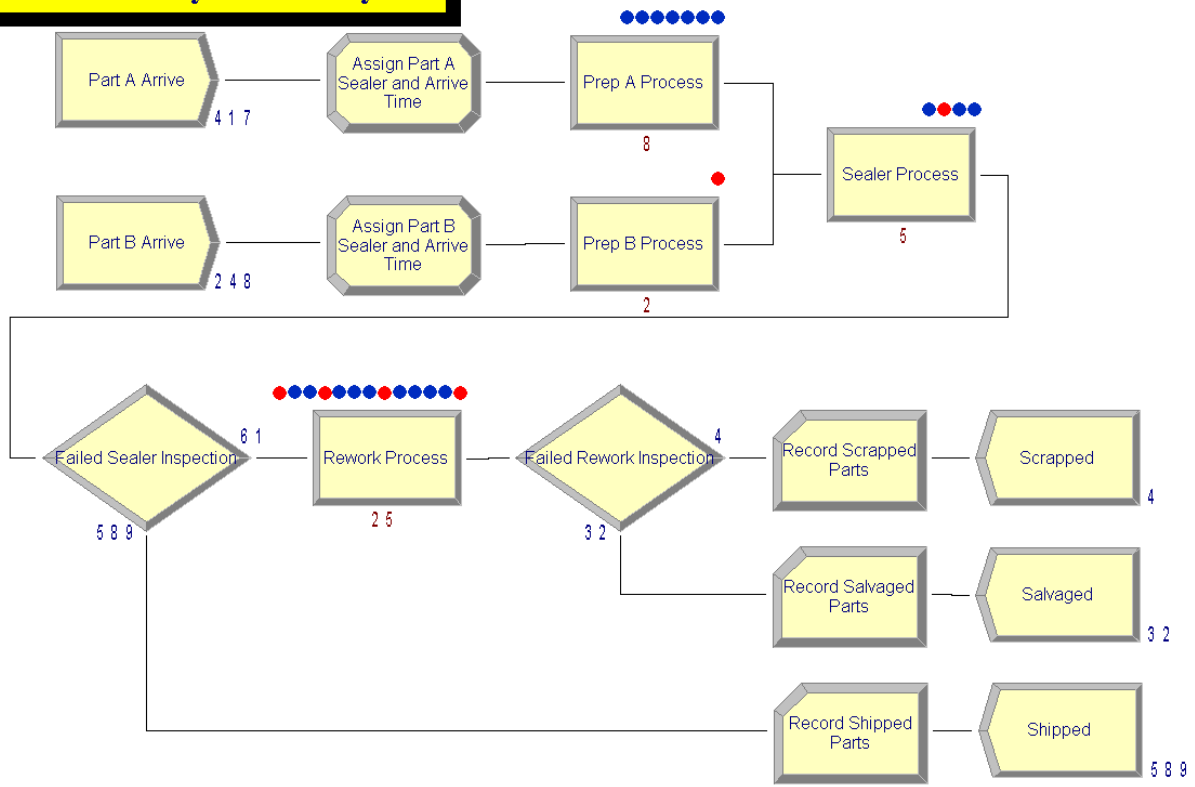
Run-Setup



28



**Model 4-1
An Electronic Assembly and Test System**



Queue

Time

Waiting Time	Average
Prep A Process.Queue	14.6220
Prep B Process.Queue	26.9037
Rework Process.Queue	456.35
Sealer Process.Queue	2.5153

Other

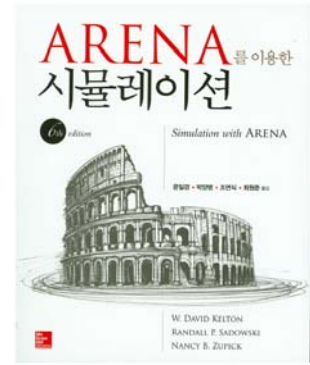
Number Waiting	Average
Prep A Process.Queue	3.1680
Prep B Process.Queue	3.5017
Rework Process.Queue	12.9534
Sealer Process.Queue	0.8631

- ✓ 문제점:
 - Rework 공정의 WIP과 대기시간 이 다른 공정에 비해 지나치게 크다.
- ✓ 해결책:
 - Rework 공정의 용량을 키운다.
 - Rework 공정의 서비스시간을 줄인다.
 - Rework 공정 서비스시간의 변동성을 줄인다.
 - 직렬 형태의 (PrepA, PrepB), Sealer, Rework 공정을 범용화하여 병렬화 한다.

따라하기

Model 4-1.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4-3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 4-2

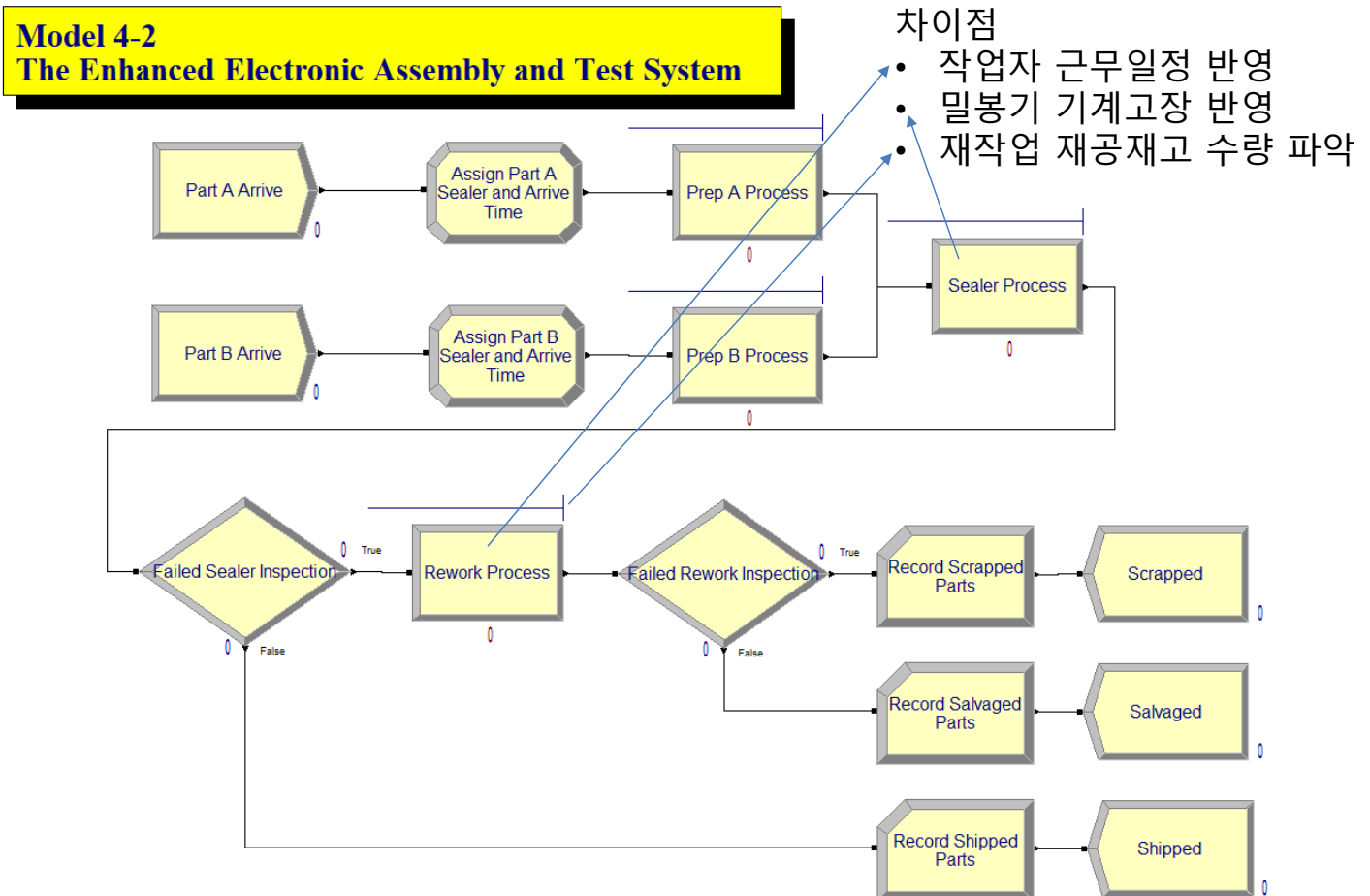
(Model 4-1 수정)
생산관리자 검증

- 검증을 위해 생산관리자에게 모델 4-1을 보여줌 → 생산관리자는 **3가지 의견**을 제시

- 교대조 문제
 - 4-1은 첫번째 교대조만 고려
 - 실제로는 **2교대 작업**(하루에 16시간 공장 가동)이 이루어짐
 - 두번째 교대조에서는 재작업(병목 작업장)에 한명이 아닌 **두명의 작업자가 근무함**.
- 밀봉기는 때때로 고장이 발생**하고 있음을 지적
 - 고장 사이의 가동 시간(MTBF) ~ EXPO (2) hours
 - 고장 수리 시간(MTTR) ~ EXPO (4) min.
- 재작업을 위해 **대기중인 부품을 보관하기 위한 선반** 필요
 - 하나의 선반은 10개의 부품을 올려 놓을 수 있음
 - 몇 개의 선반을 구입해야 하는가?
 - 10일에 대해 실험(하루에 16시간) : 총 160시간 실험 수행

- 필요한 기능:**

- 자원 일정(Schedule 모듈)
- 자원 고장(Failure 모듈)
- 자원 상태 통계(Statistic 모듈)



Resource

Failure Name	Failure Rule
1 Sealer Failure	Wait

Double-click here to add a new row.

Sealer : 고장발생

Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	State Set Name	Failures	Report Statistics
1 Prep A	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	✓
2 Prep B	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	✓
3 Sealer	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		1 rows	✓
4 Rework	Based on Schedule	Rework Schedule	Rework Schedule	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows	✓

Rework : 시점에 따라 용량 변경

5

Schedule

Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1 Rework Schedule	Capacity	Hours	1.0	2 rows

하루 근무시간 : 8시간 2교대 = 16시간

1교대 : 1명 근무

2교대 : 2명 근무

Run → Setup

Hours per Day : 16

Run Speed	Run Control	Reports	Project Parameters
Replication Parameters		Array Sizes	Arena Visual Designer
Number of Replications: <input type="text" value="1"/>		Initialize Between Replications	
		<input checked="" type="checkbox"/> Statistics <input checked="" type="checkbox"/> System	
Start Date and Time: <input type="text" value="2017년 8월 22일 화요일 오전 8:12:20"/>			
Warm-up Period: <input type="text" value="0.0"/>	Time Units: <input type="text" value="Hours"/>		
Replication Length: <input type="text" value="10"/>	Time Units: <input type="text" value="Days"/>		
Hours Per Day: <input type="text" value="16"/>			
Base Time Units: <input type="text" value="Minutes"/>			
Terminating Condition: <input type="text"/>			
<input type="button" value="확인"/>		<input type="button" value="취소"/>	<input type="button" value="적용(A)"/>
<input type="button" value="도움말"/>			

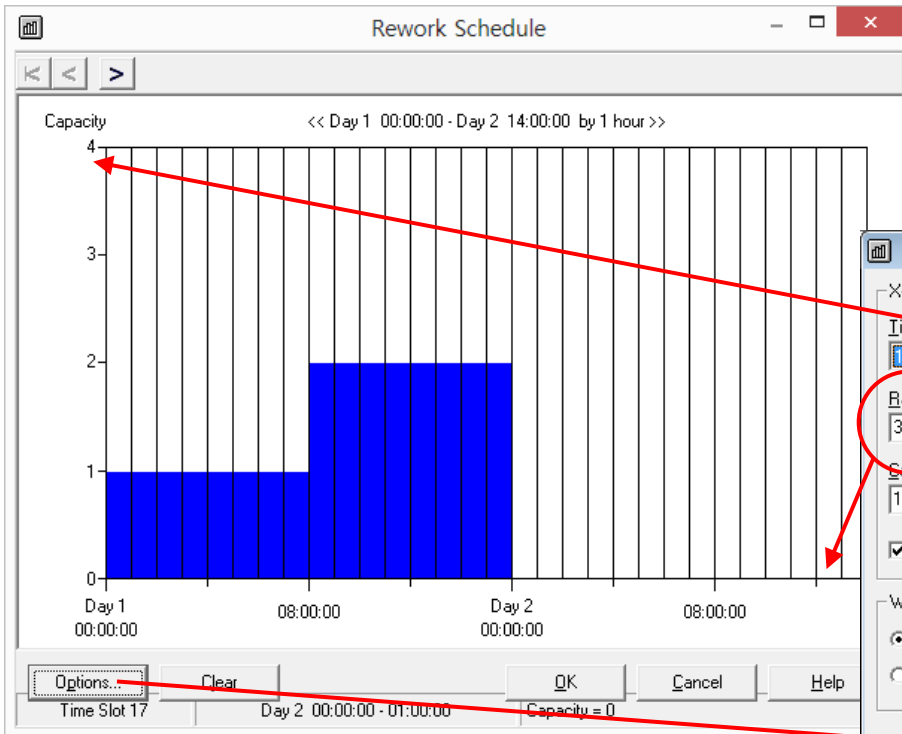
6

Schedule

1교대 : 1명 근무
2교대 : 2명 근무

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1 ▶	Rework Schedule	Capacity	Hours	1.0	2 rows

Click



Options dialog box:

- X-axis: Time slot duration: 1 hour
- Range (time slots): 30
- Calendar speed (slots per click): 1
- Show vertical grid lines
- When at end of schedule:
 - Repeat from beginning
 - Remain at capacity
- Y-axis:
 - Maximum: 4
 - Minimum: 0
 - Snag spacing: 1

7

Schedule

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1 ▶	Rework Schedule	Capacity	Hours	1.0	2 rows

Double Click

Schedule dialog box:

- Name: Rework Schedule
- Format Type: Duration
- Type: Capacity
- Time Units: Hours
- Scale Factor: 1.0
- Durations list:
 - 1 8
 - 2 8
 - <End of list>

처음 8시간은 1명
다음 8시간은 2명

Durations dialog box 1:

- Value(Capacity): 1
- Duration: 8

Durations dialog box 2:

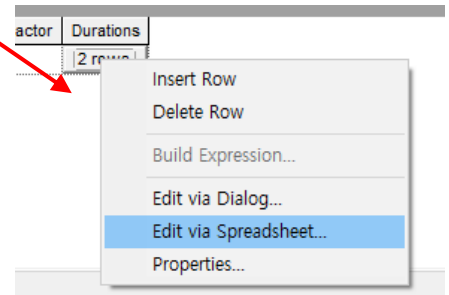
- Value(Capacity): 2
- Duration: 8

8

Schedule

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1 ▶	Rework Schedule	Capacity	Hours	1.0	2 rows

오른쪽 마우스 클릭



Durations		
	Value	Duration
1	1	8
2	2	8

Double-click here to add a new row.

처음 8시간은 1명
다음 8시간은 2명

9

Failure

Template Panel → Advanced Process

Up Time : 고장간격(Mean Time Between Failure ; MTBF) : 평균 120분 지수분포

Down Time : 수리시간(Mean Time To Repair ; MTTR) : 평균 4분 지수분포

Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1	Sealer Failure	Time	EXPO(120)	Minutes	EXPO(4)	Minutes	

Part가 충분히 공급된다는 가정하에, 장비가

$$\text{가동 중일 확률} = 120 / (120 + 4) \times 100\% = 96.77\%$$

$$\text{고장 중일 확률} = 4 / (120 + 4) \times 100\% = 3.23\%$$

100 시간을 가동한 경우 장비의 평균 고장 발생 회수

$$\text{회수} = 1\text{번} / (120 + 4)\text{분} \times 100\text{시간} \times 60\text{분/시간} = 48.4\text{번}$$

10

Statistic : Template Panel → Advanced Process

	Name	Type	Frequency Type	Expression	Resource Name	Collection Period	Report Label	Output File	Categories
1	Rework Queue Stats	Frequency	Value	NQ(Rework Process.Queue)		Entire Replication	Rework Queue Stats		5 rows
2	Sealer States	Frequency	State	Expression 1	Sealer	Entire Replication	Sealer States		0 rows

	Constant or Range	Value	High Value	Category Name	Category Option
1	Constant	0		0 Racks	Include
2	Range	0	10	1 Rack	Include
3	Range	10	20	2 Racks	Include
4	Range	20	30	3 Racks	Include
5	Range	30	40	4 Racks	Include

Double-click here to add a new row.

Expression Builder

Expression Type: Queue

Queue Name: Rework Process.Queue

Current: NQ(Rework Process.Queue)

OK Cancel Help

Rework 공정 WIP을
10개 단위의 선반에 보관
→ 몇 개의 선반을 놓아야 할까?

Run-Setup

Run Setup

Project Title: Electronic Assembly and Test Version 2

Analyst Name: Mr. Munchkin

Project Description: The second version of the electronic assembly and test model, as described in Section 4.2.

Statistics Collection:

- Costing
- Entities
- Resources
- Tanks
- Queues
- Processes
- Stations
- Transporters
- Conveyors
- Activity Areas

확인 취소 적용(A) 도움말

Run Setup

Number of Replications: 1

Start Date and Time: 2017년 8월 22일 화요일 오전 8:21:34

Warm-up Period: 0.0

Replication Length: 10

Hours Per Day: 16

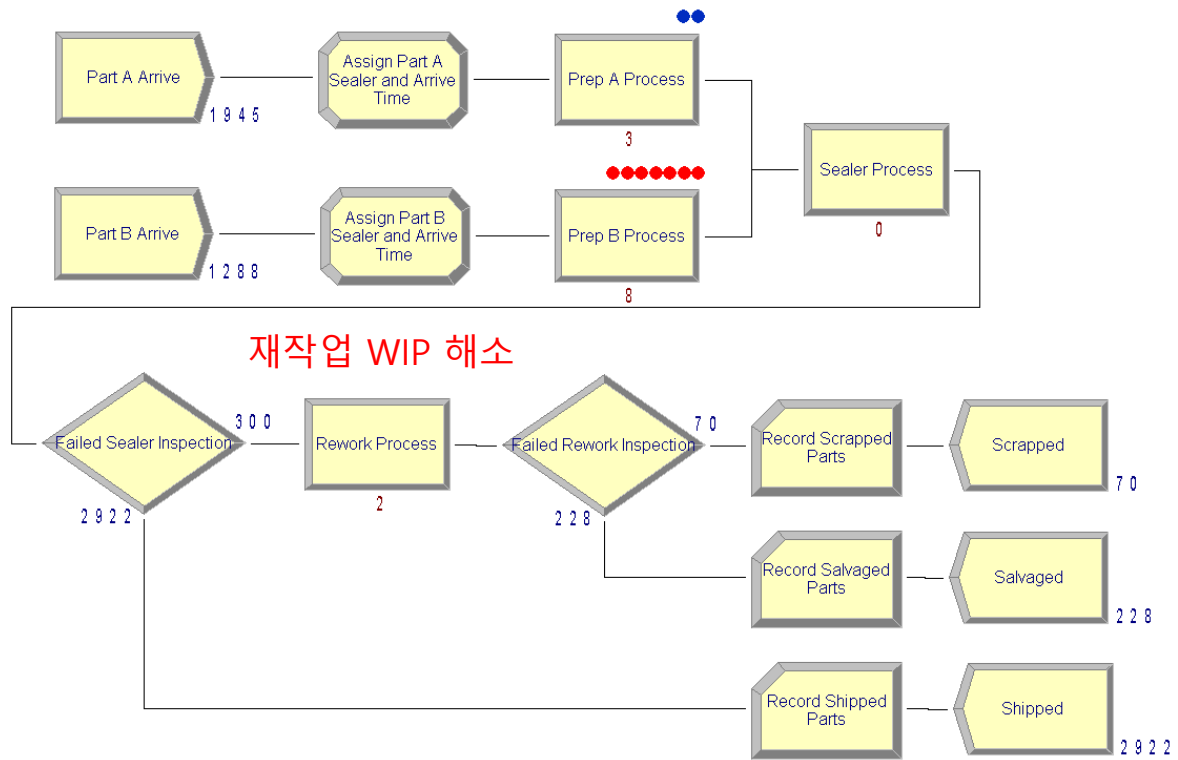
Base Time Units: Minutes

Time Units: Days

하루 가동 시간 : 16시간

확인 취소 적용(A) 도움말

Model 4-2
The Enhanced Electronic Assembly and Test System



Model 4-1

Queue

Time

Waiting Time

Average

Prep A Process.Queue	14.6220
Prep B Process.Queue	26.9037
Rework Process.Queue	456.35
Sealer Process.Queue	2.5153

Other

Number Waiting

Average

Prep A Process.Queue	3.1680
Prep B Process.Queue	3.5017
Rework Process.Queue	12.9534
Sealer Process.Queue	0.8631

Model 4-2

Queue

Time

Waiting Time

Average

Prep A Process.Queue	19.2028
Prep B Process.Queue	51.4159
Rework Process.Queue	116.25
Sealer Process.Queue	7.8260

Other

Number Waiting

Average

Prep A Process.Queue	3.8876
Prep B Process.Queue	6.8862
Rework Process.Queue	3.6329
Sealer Process.Queue	2.6266

재작업 평균 대기시간 및 대기부품수 감소

Electronic Assembly and Test Version 2				Replications: 1			
Replication 1		Start Time:	0.00	Stop Time:	9,600.00	Time Units:	Minutes
Rework Queue Stats		Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
0 Racks		41	69.4722	29.67	29.67		
1 Rack		52	119.96	64.98	64.98		
2 Racks		12	42.8210	5.35	5.35		
Sealer States		Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
가동중 BUSY		697	11.6044	84.25	84.25		
고장(수리)중 FAILED		68	4.1861	2.97	2.97		
유휴중 IDLE		640	1.9173	12.78	12.78		

Number Obs × Average Time → Standard Percentage

Number Obs	Average Time	점유시간 = Number Obs * Average Time	Standard Percentage
41	69.4722	2,848.3602	29.67%
52	119.9600	6,237.9200	64.98%
12	42.8210	513.8520	5.35%
합계		9,600.1322	100.00%

- 1개의 Rack를 설치하면, 평균적으로 94.65%(=29.67%+64.98%)의 기간 동안 선반이 부족하지 않음
- 2개의 Rack를 설치하면, 전체 기간 동안 선반이 부족하지 않음

Model 4-3

(Model 4-2 수정)

애니메이션 강화

- 개체 그림 바꾸기

- *Edit* → *Entity Pictures* 기능 활용



- 대기행렬을 선형태에서 점들의 집합 형태로 변경

- 개체들에게 고정된 위치를 제공

- 자원 그림 추가하기

- *Resource button* 활용 

- 변수와 도표 추가하기

- *Variable object* 활용 
- *Plot button* 활용 

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Part A	Picture.Part A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Part B	Picture.Part B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Current Library: basicprocess.plb

Value:

Picture ID:

Add Copy Delete

- Picture.Part A
- Picture.Part B
- Picture.Red B
- Picture.Green
- Picture.Yellow
- Picture.Boat
- Picture.Box
- Picture.Disket

Size Factor: 1.3 Auto Scale



Current Library: basicprocess.plb

Value:

Picture ID:

Add Copy Delete

- Picture.Part B
- Picture.Part B
- Picture.Red B
- Picture.Green
- Picture.Yellow
- Picture.Boat
- Picture.Box
- Picture.Disket

Size Factor: 1.3 Auto Scale

Edit → Entity Pictures

Animation

Box를 이용하여 작도

Model 4-3
The Enhanced Electronic Assembly and Test System with Enhanced Animation

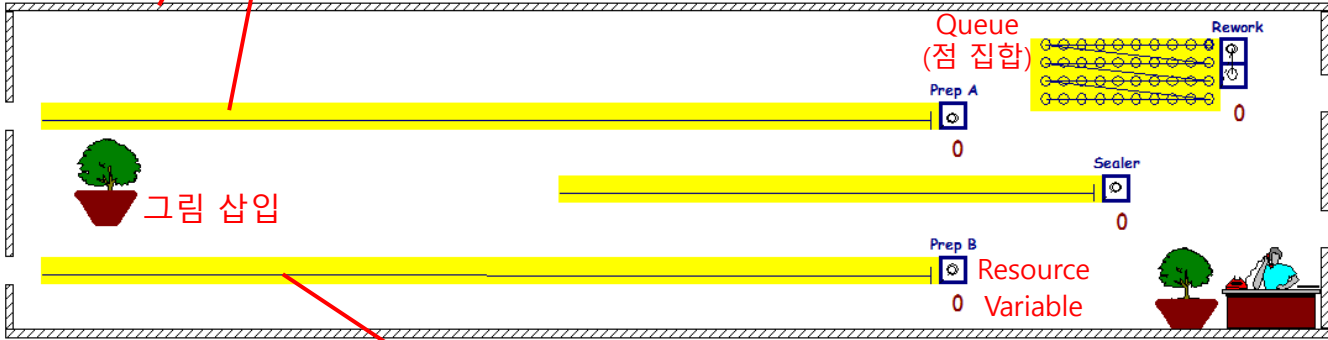
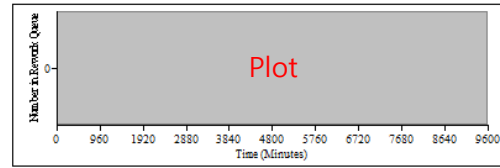
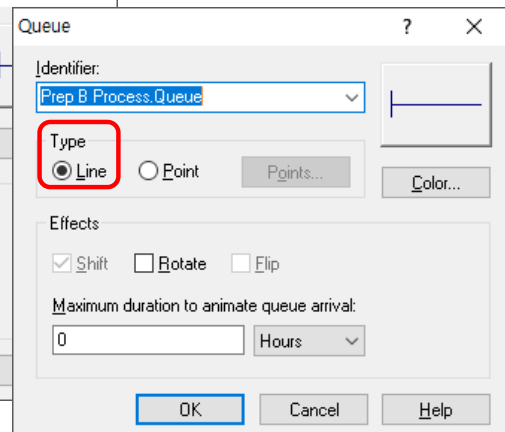
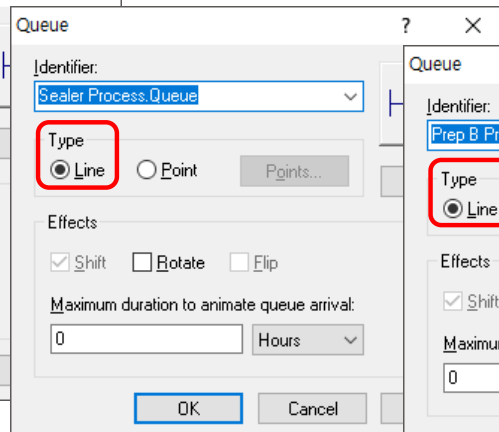
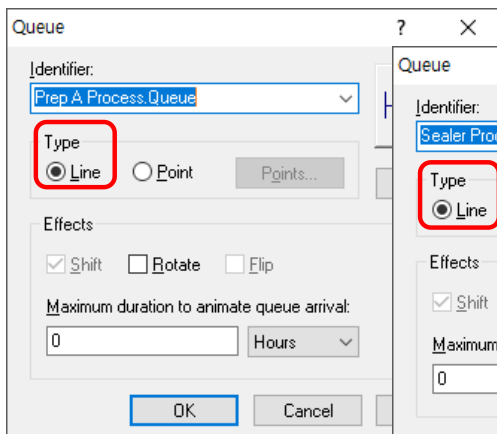
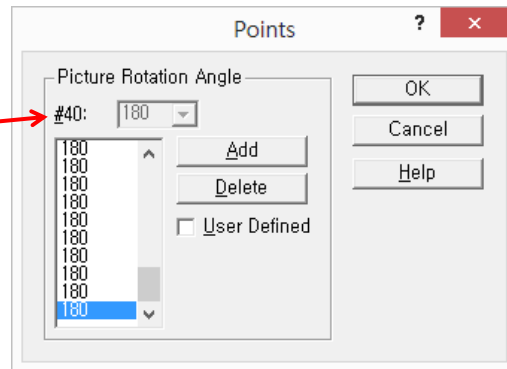
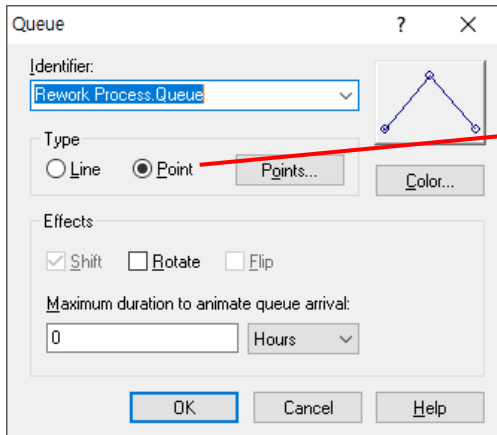


그림 삽입

Queue는 아래에서 마우스로 클릭하여 끌어옴

Animation-Queue

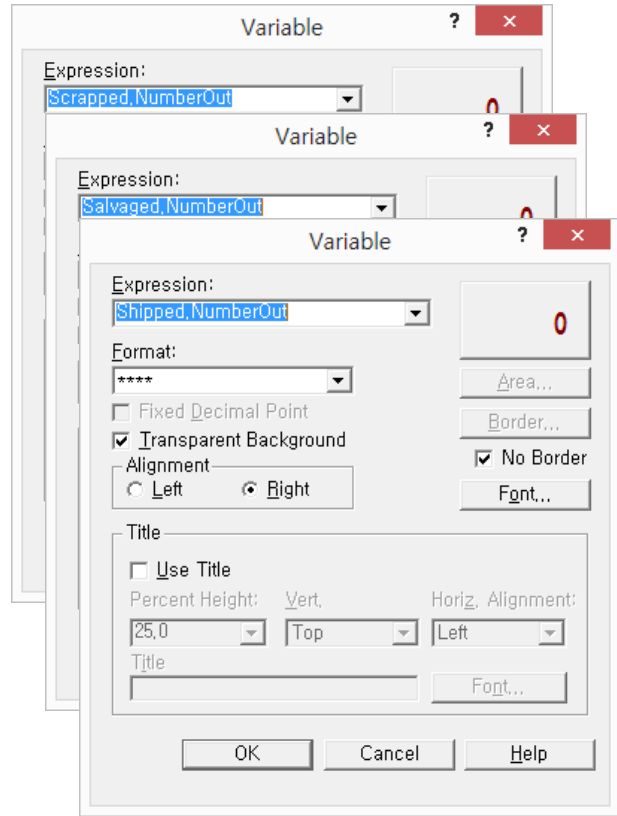
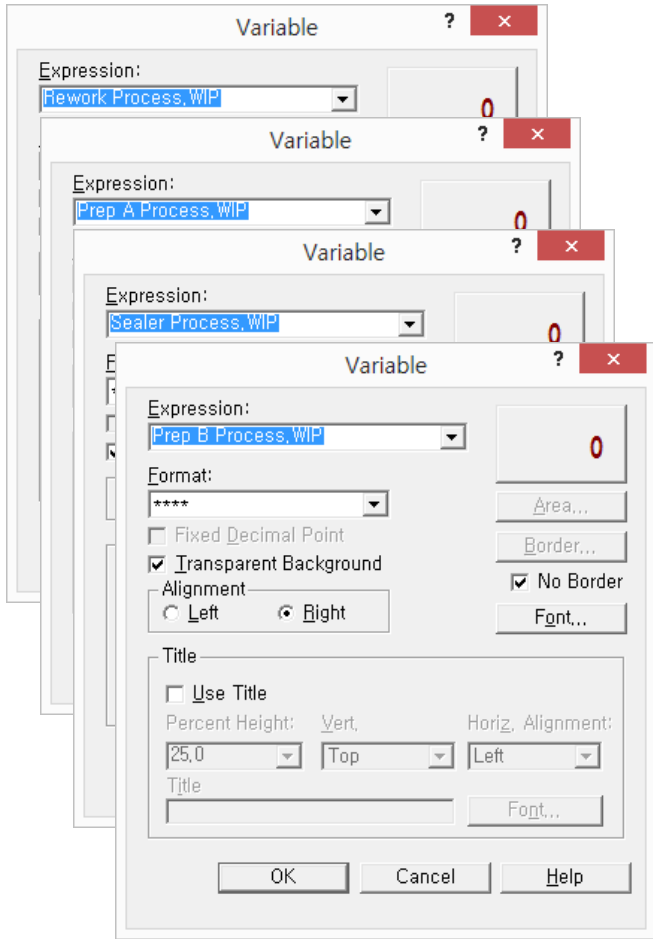
40개의 저장공간 표시



Animation-Variable

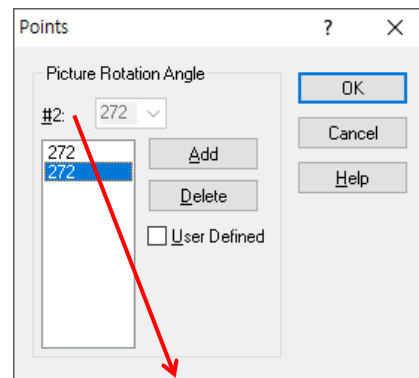
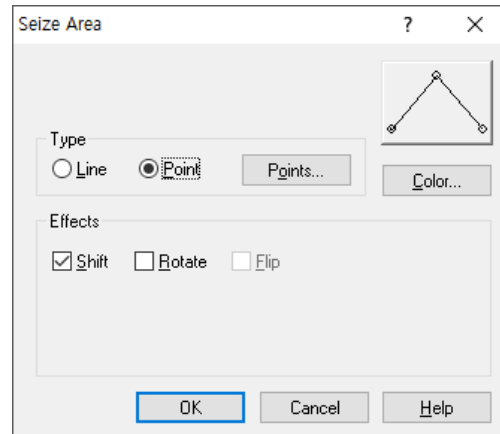
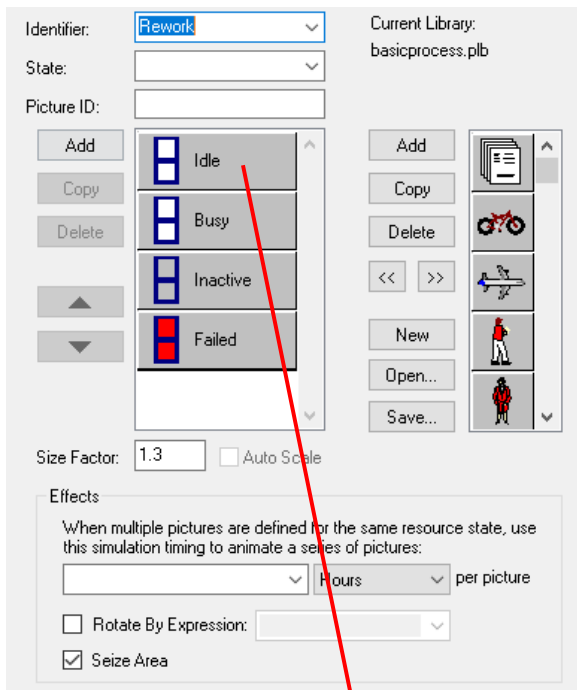
대기부품수 표시

완성부품수 표시



21

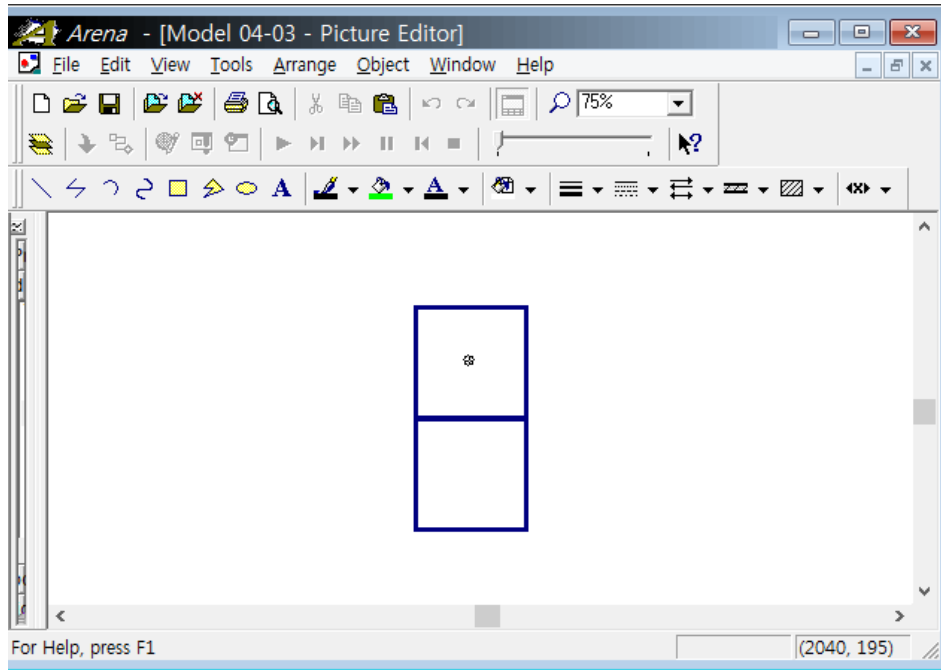
Animation-Resource



더블클릭 후 편집

2개의 작업공간 표시

22



Identifier: Current Library: basicprocess.plb

State:

Picture ID:

Add Idle

Copy Busy

Delete Inactive

Failed

Size Factor: Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the sa this simulation timing to animate a series of pi Hours

Rotate By Expression:

Seize Area

Identifier: Current Library: basicprocess.plb

State:

Picture ID:

Add Idle

Copy Busy

Delete Inactive

Failed

Size Factor: Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the sa this simulation timing to animate a series of pi Hours

Rotate By Expression:

Seize Area

Identifier: Current Library: basicprocess.plb

State:

Picture ID:

Add Idle

Copy Busy

Delete Inactive

Failed

Size Factor: Auto Scale

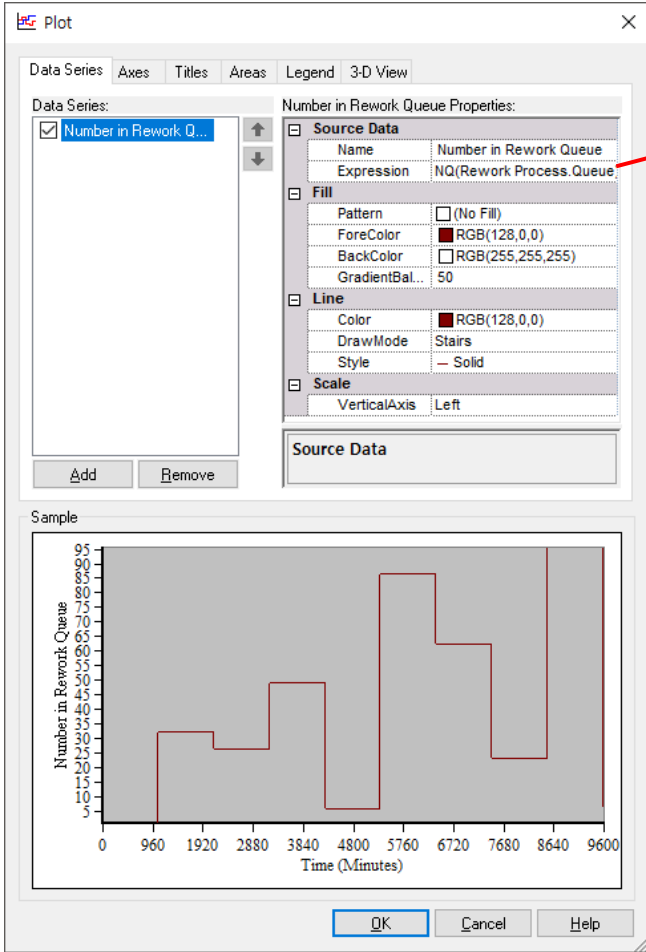
Effects

When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures: Hours per picture

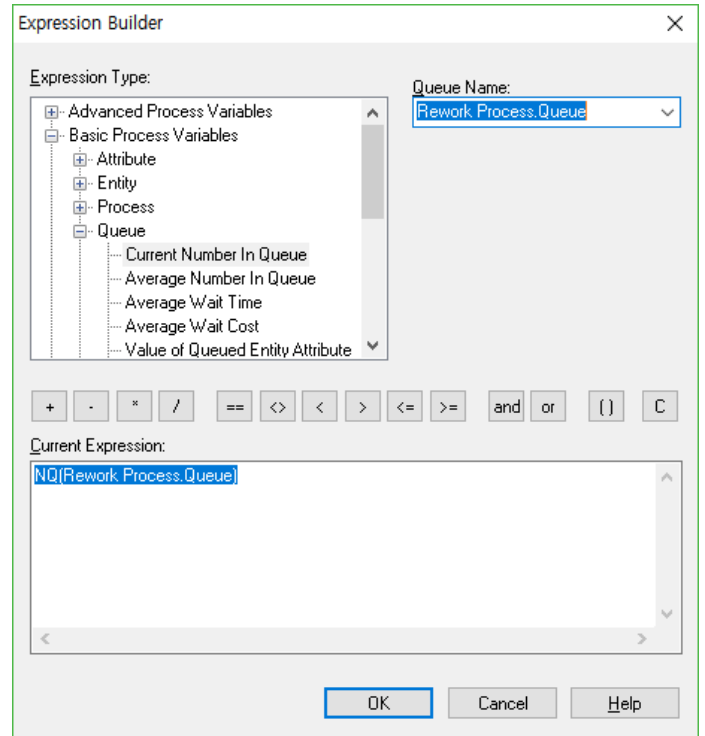
Rotate By Expression:

Seize Area

Animation-Plot

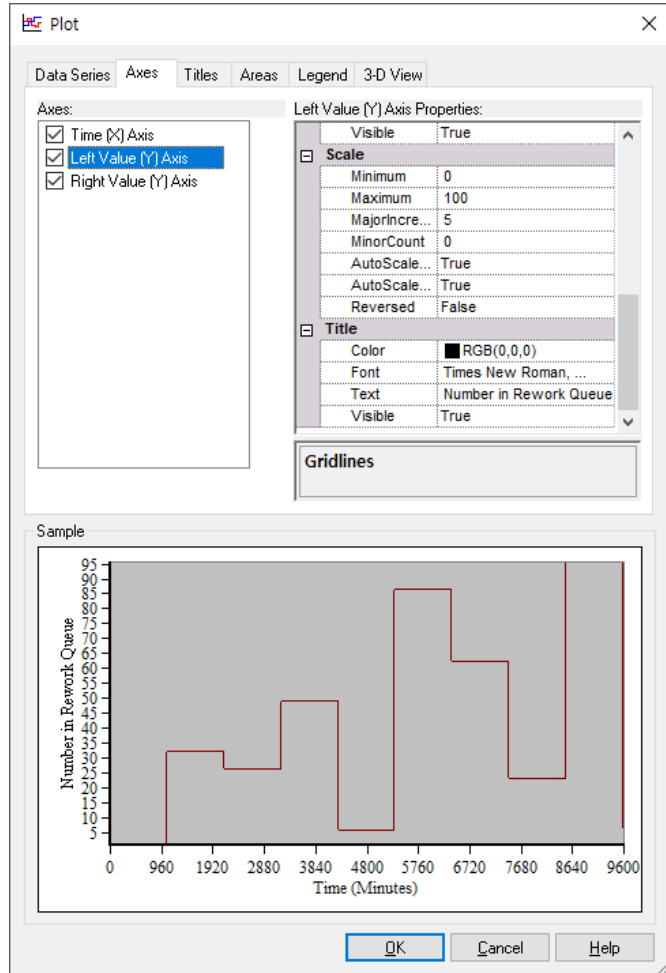
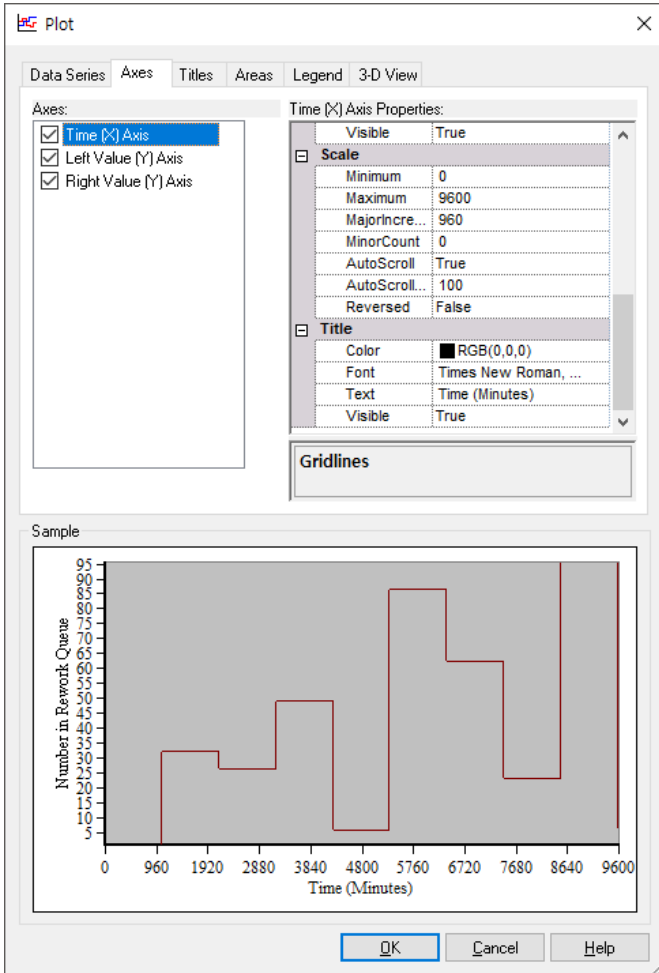


Rework Process의 대기행렬에서 대기중인 개체의 수



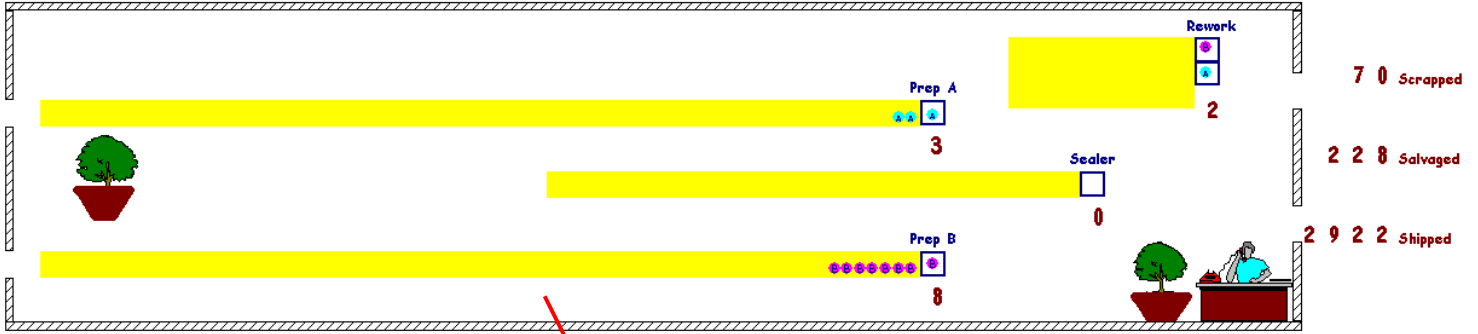
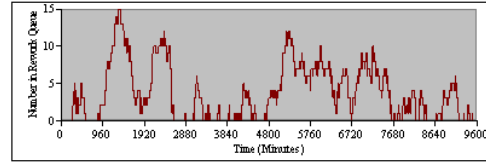
25

Animation-Plot



26

Model 4-3
The Enhanced Electronic Assembly and Test System with Enhanced Animation

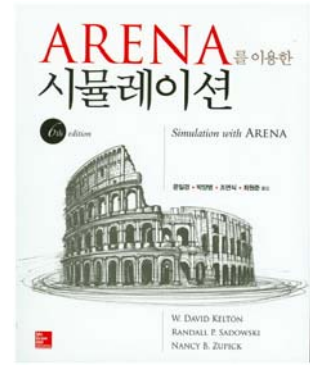


시뮬레이션 종료 시점에 시스템 안에 총 13개의 Part A와 B가 존재(가공 중 : 4개, 대기 중 : 9개)
완료된 Part A와 B의 수는 총 3,220개 이 중 불량품은 70개

따라하기

Model 4-2.mp4
Model 4-3.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 4-4

(Model 4-3 수정)

부품 이송

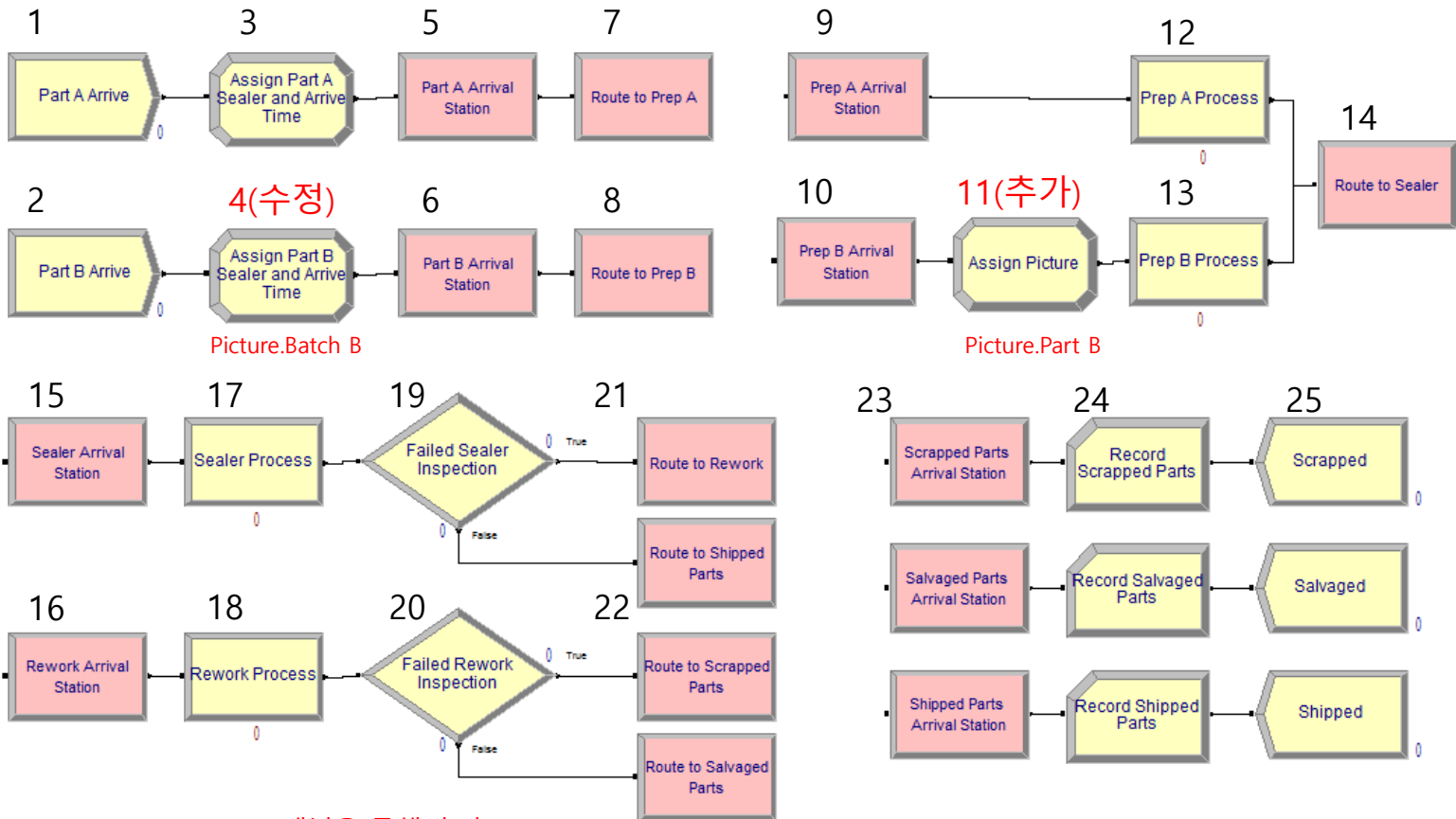
- 모든 부품은 다음 작업장으로 이송 시 거리와 관계없이 2분의 시간이 소요됨
- 필요한 기능: *Station, Route*



- 부품 B (4 Lot Batch) 아이콘 변경 :
Edit → Entity Pictures



3



Advanced Transfer 패널을 통해 추가

Station: 어떤 프로세스가 일어나는 장소 Route: 한 스테이션에서 다른 스테이션으로 이송

4

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Part A	Picture.Part A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Part B	Picture.Part B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Current Library: basicprocess.plb

Value:

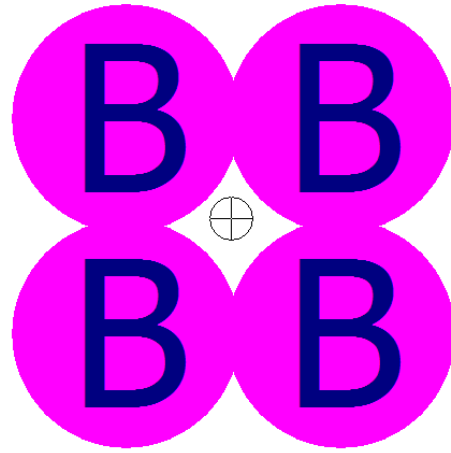
Picture ID:

Add
Copy
Delete

- Picture.Batch
- Picture.Red B
- Picture.Green
- Picture.Yellow
- Picture.Boat
- Picture.Box
- Picture.Disket
- Picture.Letter

Size Factor: Auto Scale

Edit → Entity Pictures



5

4. Assign

Assign

Name:

Assignments:

- Add...
- Edit...
- Delete
- <End of list>

OK Cancel Help

추가

Assignments

Type: Attribute Name:

New Value:

OK Cancel Help

Assignments

Type: Attribute Name:

New Value:

OK Cancel Help

Assignments

Type: Entity Picture:

OK Cancel Help

Part B 심볼 변경
→ Picture.Batch B

6

5. Station

Station 모듈의 이름
Station의 이름

Station ? x

Name: Part A Arrival Station Station Type: Station

Station Name: Part A Station

Parent Activity Area: Associated Intersection:

Report Statistics

OK Cancel Help

7

6. Station

Station 모듈의 이름
Station의 이름

Station ? x

Name: Part B Arrival Station Station Type: Station

Station Name: Part B Station

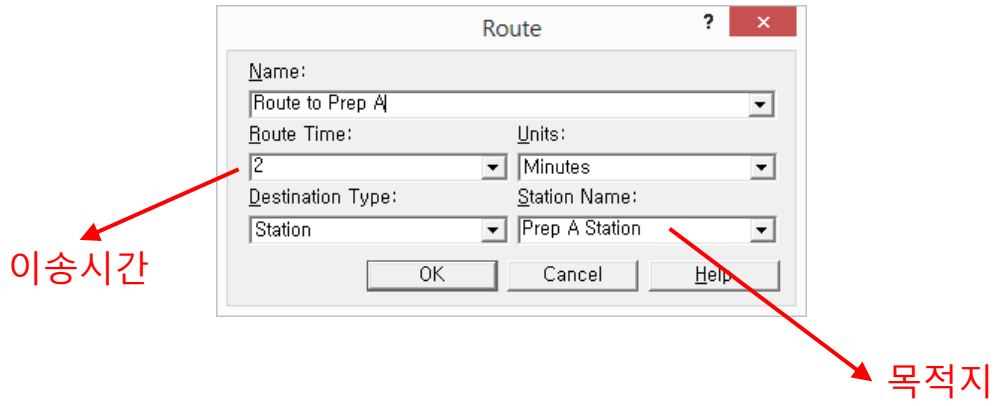
Parent Activity Area: Associated Intersection:

Report Statistics

OK Cancel Help

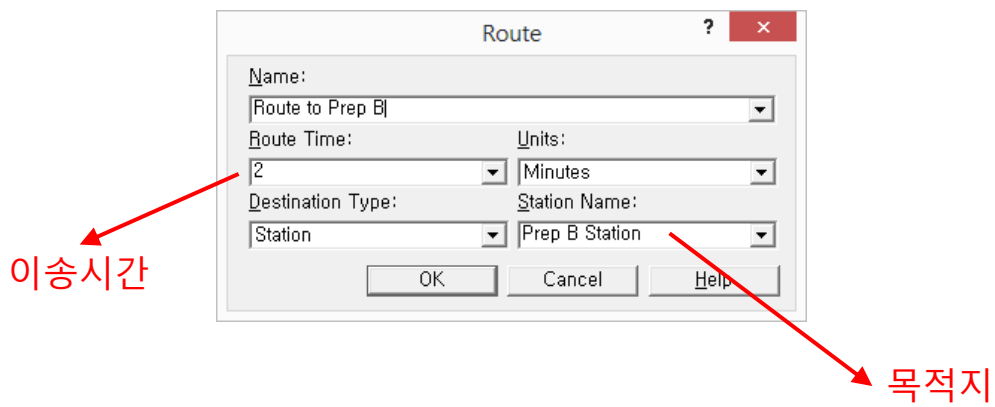
8

7. Route



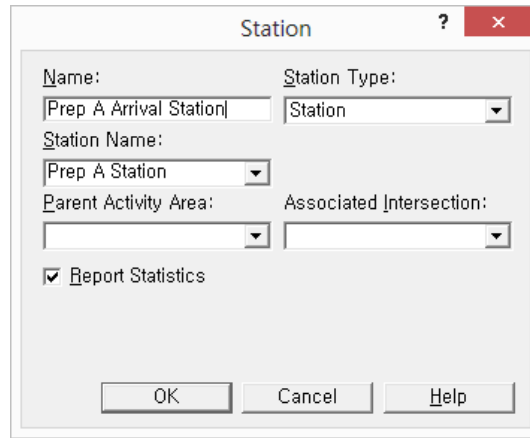
9

8. Route



10

9. Station

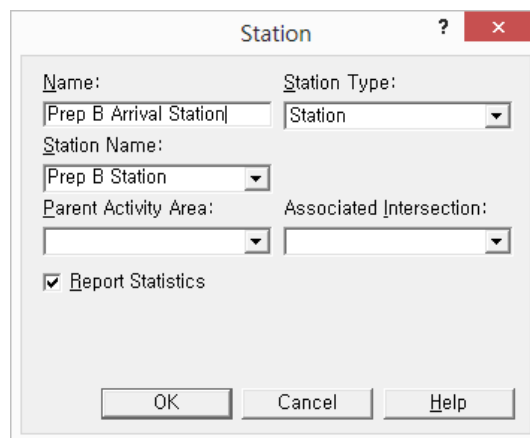


The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a question mark icon and a close button. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** A text box containing "Prep A Arrival Station".
- Station Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "Prep A Station" selected.
- Parent Activity Area:** An empty dropdown menu.
- Associated Intersection:** An empty dropdown menu.
- Report Statistics**
- Buttons: **OK**, **Cancel**, and **Help**.

11

10. Station

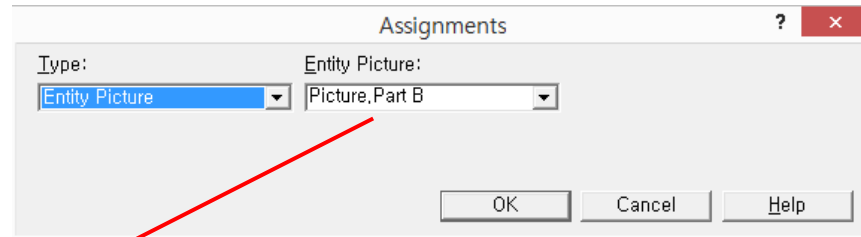
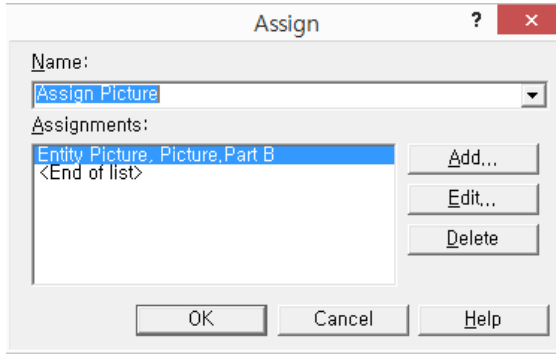


The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a question mark icon and a close button. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** A text box containing "Prep B Arrival Station".
- Station Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "Prep B Station" selected.
- Parent Activity Area:** An empty dropdown menu.
- Associated Intersection:** An empty dropdown menu.
- Report Statistics**
- Buttons: **OK**, **Cancel**, and **Help**.

12

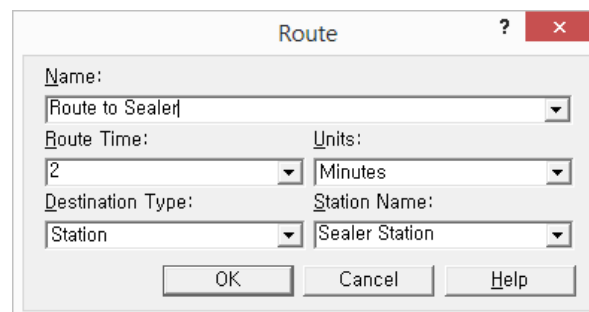
11. Assign



Part B 심볼 변경
Picture.Batch B → Picture.Part B
도착 할 때는 4개 단위로 도착하지만 가공 중에는 1개 단위로 가공됨

13

14. Route



14

15. Station

The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a question mark icon and a close button. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** A text input field containing "Sealer Arrival Station".
- Station Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "Sealer Station" selected.
- Parent Activity Area:** An empty dropdown menu.
- Associated Intersection:** An empty dropdown menu.
- Report Statistics**
- Buttons: **OK**, **Cancel**, and **Help**.

15

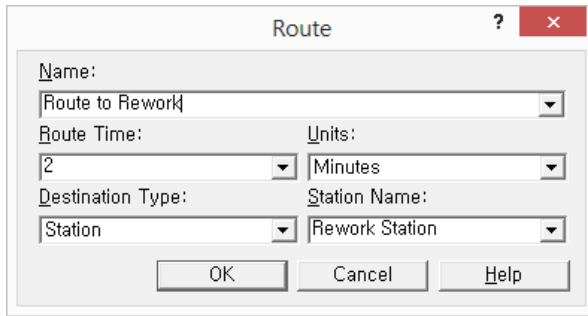
16. Station

The screenshot shows a dialog box titled "Station" with a question mark icon and a close button. The dialog contains the following fields and controls:

- Name:** A text input field containing "Rework Arrival Station".
- Station Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "Rework Station" selected.
- Parent Activity Area:** An empty dropdown menu.
- Associated Intersection:** An empty dropdown menu.
- Report Statistics**
- Buttons: **OK**, **Cancel**, and **Help**.

16

21. Route



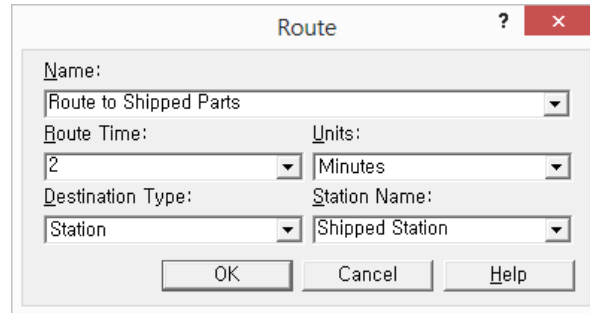
Route ? x

Name:
Route to Rework

Route Time: 2 Units: Minutes

Destination Type: Station Station Name: Rework Station

OK Cancel Help



Route ? x

Name:
Route to Shipped Parts

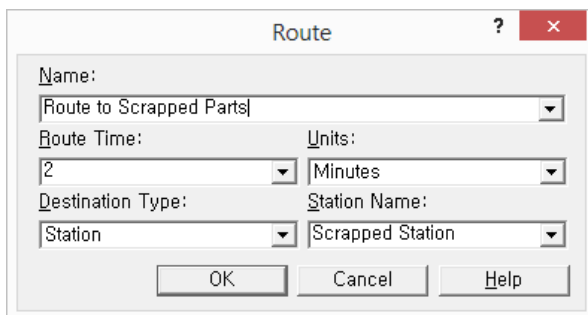
Route Time: 2 Units: Minutes

Destination Type: Station Station Name: Shipped Station

OK Cancel Help

17

22. Route



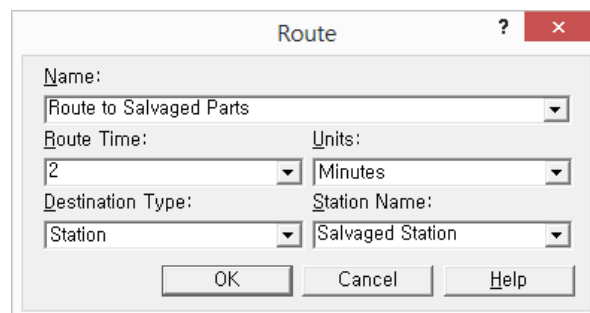
Route ? x

Name:
Route to Scrapped Parts

Route Time: 2 Units: Minutes

Destination Type: Station Station Name: Scrapped Station

OK Cancel Help



Route ? x

Name:
Route to Salvaged Parts

Route Time: 2 Units: Minutes

Destination Type: Station Station Name: Salvaged Station

OK Cancel Help

18

23. Station

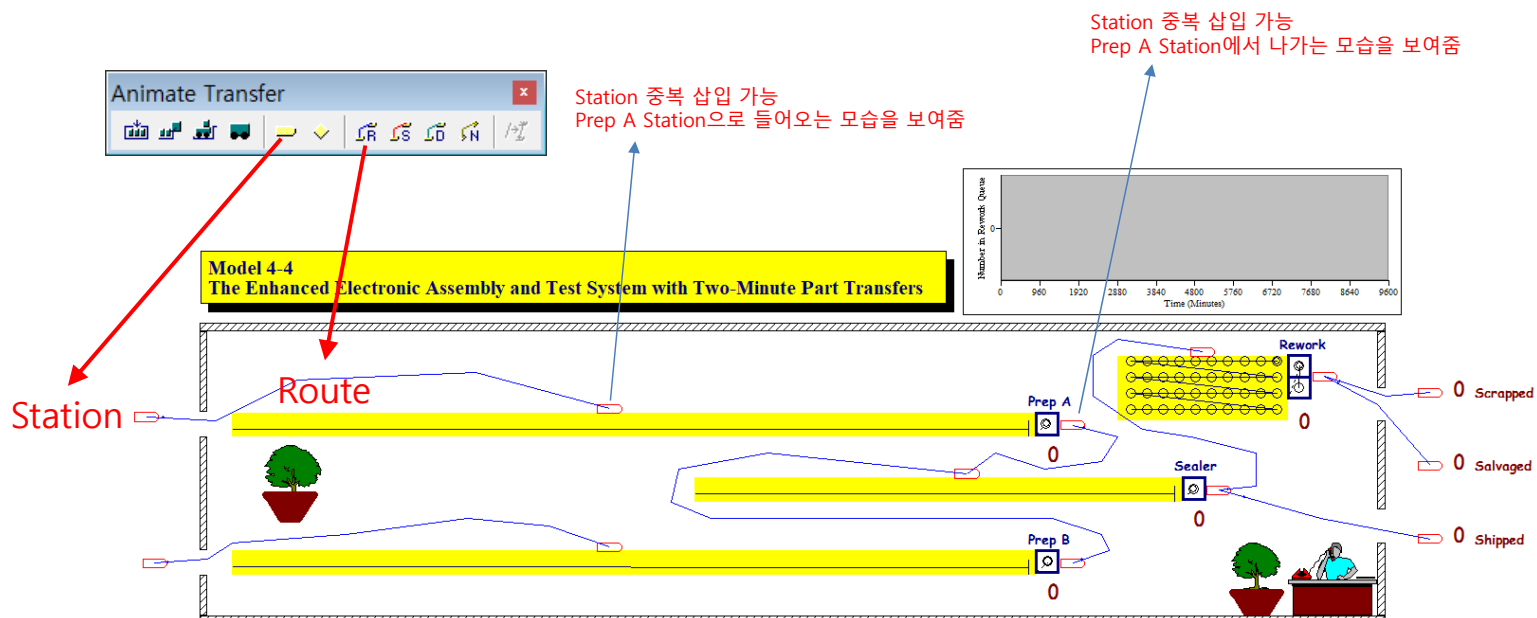
Scrapped Parts Arrival Station

Salvaged Parts Arrival Station

Shipped Parts Arrival Station

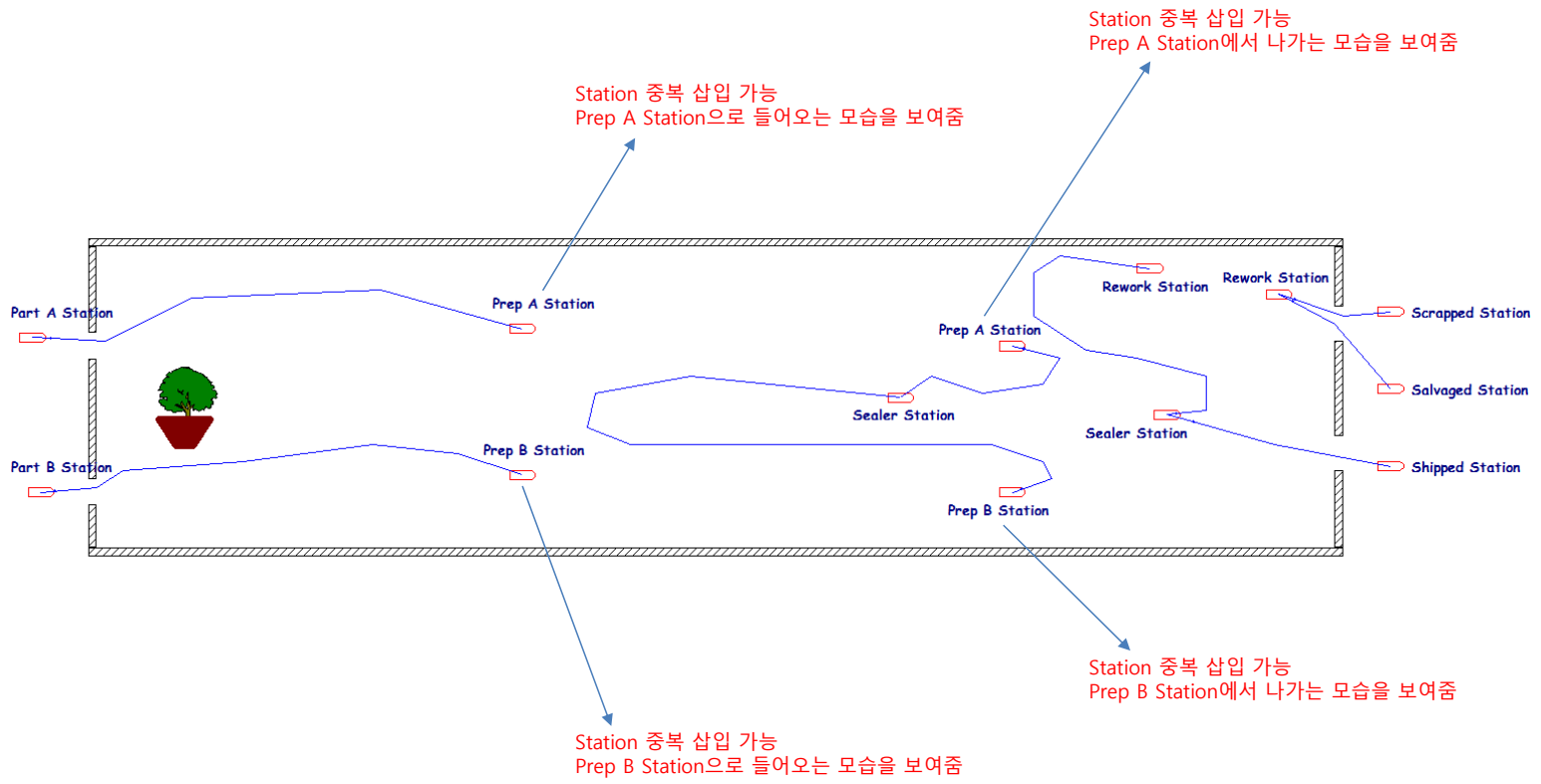
19

Animation

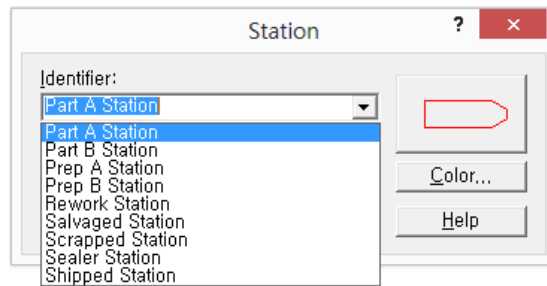
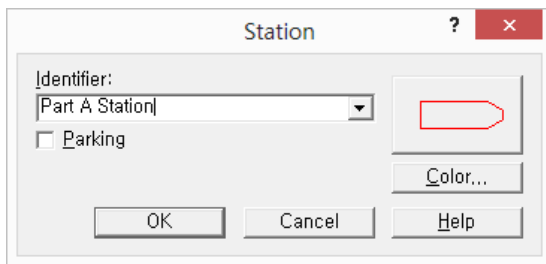


20

Animation



Animation-Station



Animation-Route

출발 Station
도착 Station

Route ? x

From Station: Part A Station

To Station: Prep A Station

Points: 5

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Part B Station

To Station: Prep B Station

Points: 7

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Prep A Station

To Station: Sealer Station

Points: 6

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Prep B Station

To Station: Sealer Station

Points: 9

Rotate Flip

OK Cancel Help

23

Animation-Route

출발 Station
도착 Station

Route ? x

From Station: Sealer Station

To Station: Rework Station

Points: 9

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Sealer Station

To Station: Shipped Station

Points: 3

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Rework Station

To Station: Scrapped Station

Points: 3

Rotate Flip

OK Cancel Help

Route ? x

From Station: Rework Station

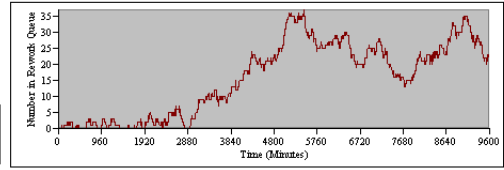
To Station: Salvaged Station

Points: 3

Rotate Flip

OK Cancel Help

24



Model 4-4 The Enhanced Electronic Assembly and Test System with Two-Minute Part Transfers



Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Part A	6.1648	0.030857118	6.0000	8.0000
Part B	6.1823	0.038994067	6.0000	8.0000
			재작업 (X)	재작업 (O)

3번 수송(6분) : Part A Station → Prep A Station → Sealer Station → Shipped Station

4번 수송(8분) : Part A Station → Prep A Station → Sealer Station → Rework Station → Scrapped/Salvaged Station

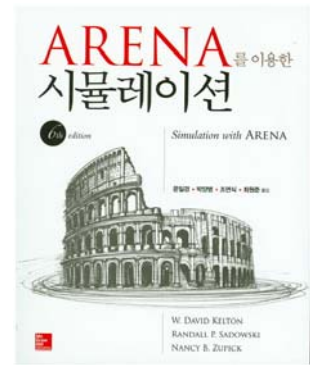
3번 수송(6분) : Part B Station → Prep B Station → Sealer Station → Shipped Station

4번 수송(8분) : Part B Station → Prep B Station → Sealer Station → Rework Station → Scrapped/Salvaged Station

따라하기

Model 4-4.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 5-1

(Call Center)

Model 5-1: 콜센터

- **고객에게 상담을 위한 대표 전화 번호를 제공**
 - 26개의 전화 회선 운영 중, 하나의 상담을 위해 하나의 전화 회선 필요 → 동시에 26명의 고객 상담 가능
 - 모든 회선이 사용 중이라면, 이 때 들어온 상담 전화는 서비스가 불가능함 → 상담 거절
 - 이러한 거절 통화 수(중요한 서비스 척도)를 카운트
- **상담 전화 도착시간 간격 : EXPO(0.857) min**
 - 첫번째 상담 전화는 0분에 발생
- **상담 전화는 총 세가지 유형이 존재**
 - 고객이 안내 메시지 청취 후, 서비스 받을 유형을 선택하는데 소요되는 시간 : UNIF(0.1, 0.6) min
 - 기술 지원 (76%), 판매 상담 (16%), 주문상태 문의 (8%)

3

Model 5-1: 콜센터

- **기술 지원 상담 전화**
 - 고객이 안내 메시지 청취 후, 상담 받을 제품을 선택하는데 소요되는 시간 ~ UNIF(0.1, 0.5) min
 - 제품 종류 1 (25%), 2 (34%), or 3 (41%)
 - 기술 지원 담당자가 상담
 - 제품 1에 2명, 제품 2에 3명, 제품 3에 3명의 상담원 배치
 - 상담원은 담당 제품만을 상담할 수 있음 ... Model 5-2에서 변경
 - 각 제품 종류에 대해 선입선출 원칙으로 상담 제공
 - 상담 시간 : 모든 제품 종류에 대해 TRIA(3, 6, 18) min
 - 상담 후 콜센터를 떠남
- **판매 상담 전화**
 - 모든 제품 종류에 대해 동일한 서비스 제공
 - 4명의 상담원이 서비스 제공
 - 하나의 선입선출 형태의 대기행렬 운영
 - 상담 시간 : TRIA (4, 15, 45) min
 - 상담 후 콜센터를 떠남

4

Model 5-1: 콜센터

• 주문상태 문의 전화

- 모든 제품 종류에 대해 동일한 서비스 제공
- 전화 시스템에 의해 **자동적으로 대응**
 - 동시에 서비스 받을 수 있는 고객의 수에는 제한이 없음, 단, 전화 회선의 수에는 제한을 받음
- **자동 상담 시간 : TRIA(2, 3, 4) min**
- 상담 후 **15%의 고객은 상담원과의 통화를 원함**
 - 판매 상담 전화 담당자에게 연결
 - 상담 시간 : TRIA(2, 3, 4) min
 - 주문상태 문의 전화보다 판매 상담 전화에 우선순위 부여

• 오전 8시부터 오후 6시까지 전화 상담을 받음

- 오후 6시 이전에 들어온 상담 전화는 반드시 **당일 상담을 마쳐야 함** → 오후 6시 이후에 상담 종료

5

Model 5-1: 콜센터

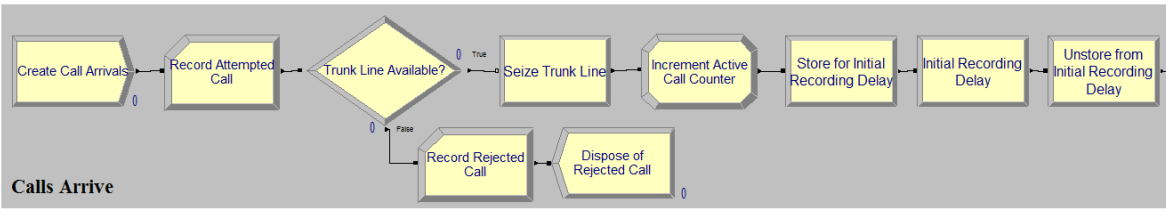
• 출력 성과 지표

- 시도된 상담 전화 수, 거절된 전화 수, 완료된 전화 수
- 상담 전화 유형별로 시스템에 머무른 총 시간
- 상담원 별로 대기 시간, 대기 상담 전화 수
- **자원 가동률** : 상담원, 전화 회선

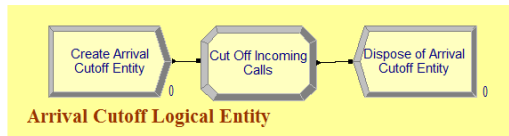
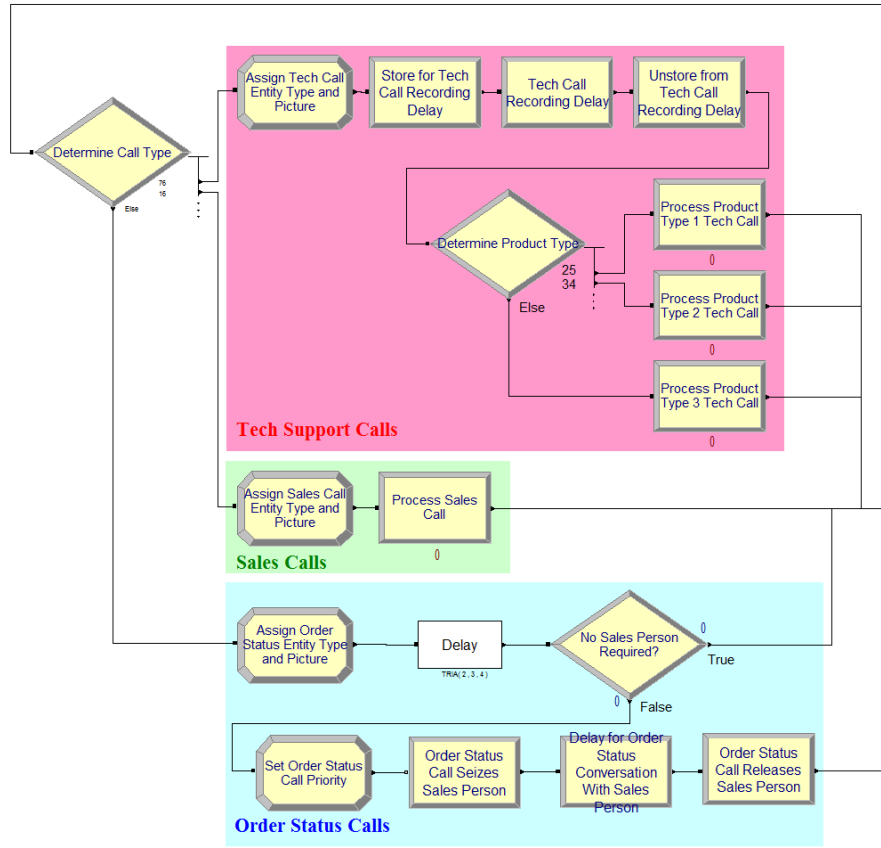
• 종료 조건

- 오늘 들어온 모든 상담을 마치면 시뮬레이션 종료

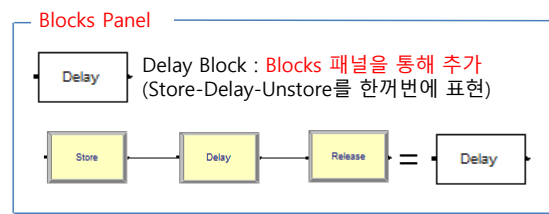
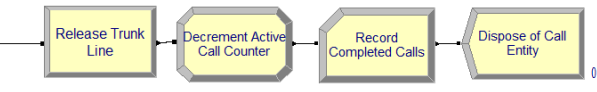
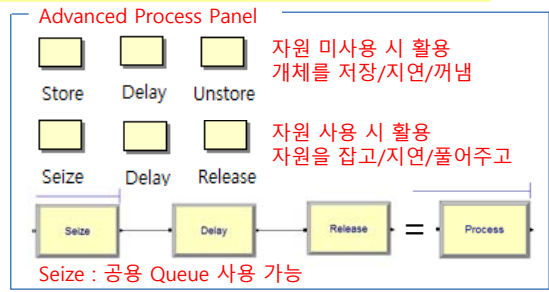
6



Calls Arrive



Arrival Cutoff Logical Entity



Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Tech Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
2	Sales Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
3	Order Status Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
4	Incoming Call	Picture.Black Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
5	Arrival Cutoff	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓

Queue

Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	Process Product Type 1 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Process Product Type 2 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Process Product Type 3 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Seize Trunk Line.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Process Sales Call.Queue	Lowest Attribute Value	Sales Call Priority	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

대기행렬 우선순위 규칙:

Sales Call Priority 속성값이 작은 개체부터 우선적으로 처리

대기행렬 공유

Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	State Set Name	Failures	Report Statistics
1	Tech 1	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Tech 2	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Tech 3	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Sales	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Trunk Line	Fixed Capacity	26	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Variable

Variable - Basic Process								
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Total WIP			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	MaxCalls			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
3	CallsPerArrival			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>

Initial Values

1

Initial Values

999999

Expression

Expression - Advanced Process				
	Name	Rows	Columns	Expression Values
1	Tech Time			1 rows

기술 지원 상담 시간
제품의 종류에 관계없이 TRIA(3, 6, 18)

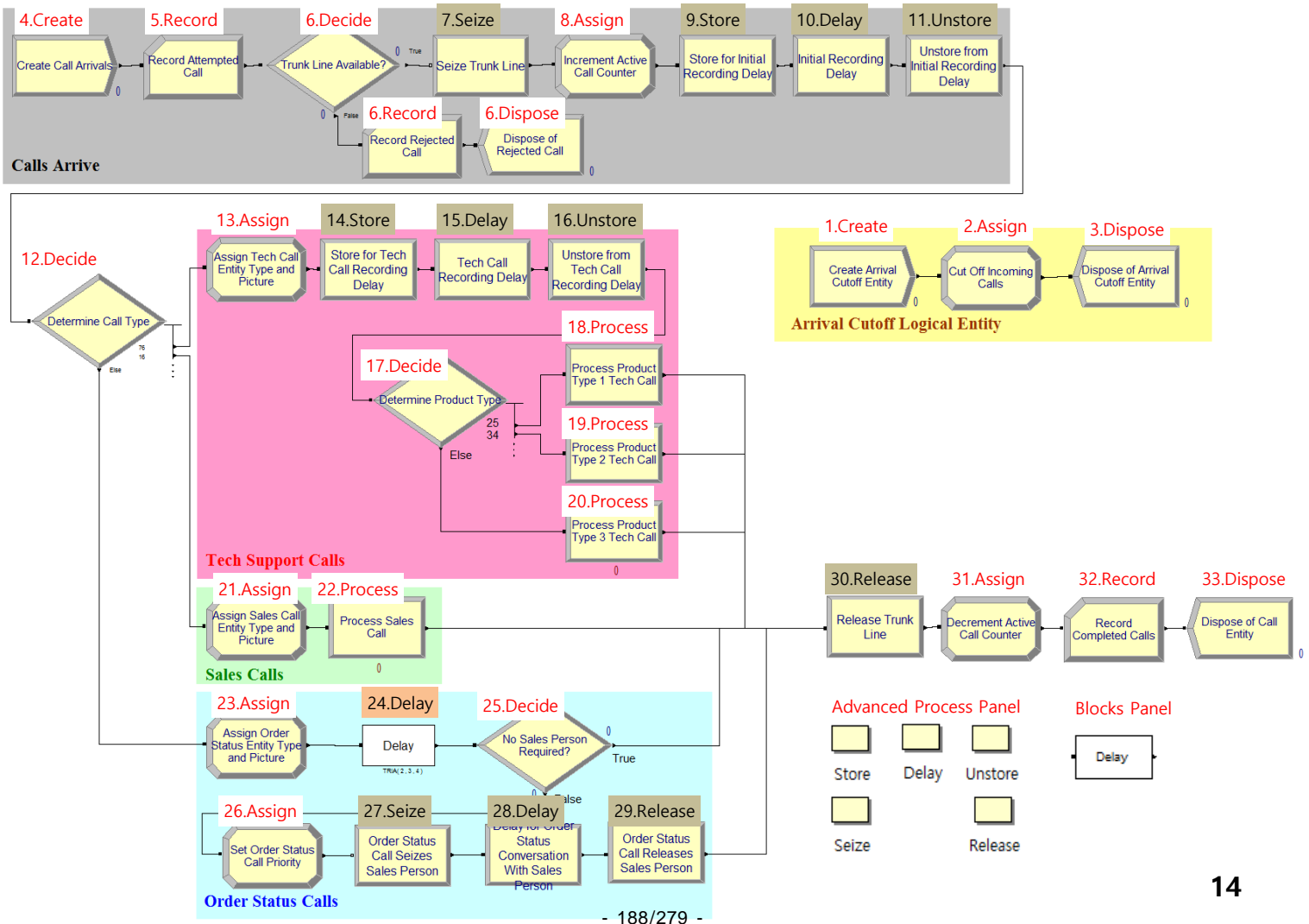
Expression Values

TRIA(3 6 18)

Storage

Storage - Advanced Process	
	Name
1	Initial Recording Delay Storage
2	Tech Call Recording Delay Storage
3	Order Status Delay Storage

상담 종류 선택 시 머무르는 저장소
 기술지원 제품 종류 선택 시 머무르는 저장소
 주문 상태 문의 자동 응답 시 머무르는 저장소



1. Create



Arrival Cutoff 개체는 단 1개만 도착

Arrival Cutoff 개체는 600분에 처음으로 도착

15

2. Assign



MaxCalls = 1
더 이상 Incoming Call을 생성하지 않게 함

CallsPerArrival = 0
전화 600 분 이후에 도착하는 것을 방지
(4번 Create 모듈에서 이용 : Entities per Arrival)

16

3. Dispose



Dispose ? [X]

Name:

Record Entity Statistics

17

4. Create



Create ? [X]

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Value: Units:

Entities per Arrival: Max Arrivals: First Creation:

시점 0분 시작값 : CallsPerArrival(1), MaxCalls(999999)
 시점 600분 종료값 : CallsPerArrival(0), MaxCalls(1)

18

5. Record



Record ? x

Name: Record Attempted Call Type: Count

Value: 1 Record into Set

Counter Name: Attempted Calls

OK Cancel Help

19

6. Decide, Record, Dispose



Decide ? x

Name: Trunk Line Available? Type: 2-way by Condition

If: Expression

Value: NR(Trunk Line) < MR(Trunk Line)

OK Cancel Help

Resource → Usage

NR : Current Number Busy

MR : Current Number Scheduled

의미 : Trunk Line 자원의 현재 사용량이 Trunk Line 자원의 전체 가용량보다 작은 경우 → 전화회선이 남아 있는 경우 7번으로 아니면 6번으로 분기

Record ? x

Name: Record Rejected Call Type: Count

Value: 1 Record into Set

Counter Name: Rejected Calls

OK Cancel Help

Dispose ? x

Name: Dispose of Rejected Call

Record Entity Statistics

OK Cancel Help

20

7. Seize



Seize ? x

Name: Allocation: Priority:

Resources:

Queue Type: Queue Name:

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

자원을 사용할 수 없을 때 대기할 Queue → 전화회선에 여유가 있는 경우에만 분기가 되기 때문에 실제 대기중인 통화는 존재할 수 없음

Resources ? x

Type:

Resource Name: Quantity:

Resource State:

Buttons: OK, Cancel, Help

21

8. Assign



Assign ? x

Name:

Assignments:

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Assignments ? x

Type: Variable Name:

New Value:

Buttons: OK, Cancel, Help

Total WIP = Total WIP + 1
Total WIP 변수 값을 하나 증가
콜센터에서 서비스 중인 통화 수를 하나 증가 시킴

22

9. Store



Store

Name: Type:

Storage Name: 상담 종류 선택 시 머무르는 저장소

OK Cancel Help

Store for Initial Recording Delay
Initial Recording Delay Storage

23

10. Delay



Delay

Name: Allocation:

Delay Time: Units:

상담 종류 선택 시간

OK Cancel Help

일양분포 : 최소값(0.1분), 최대값(0.6분)

24

11. Unstore



Unstore ? [X]

Name: Type:

상담 종류 선택 시 마무리하는 저장소

Unstore from Initial Recording Delay

12. Decide



Decide ? [X]

Name: Type:

Percentages:

76	<input type="button" value="Add..."/>
16	<input type="button" value="Edit..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Delete"/>

Conditions ? [X]

Percent True (0-100): %

Conditions ? [X]

Percent True (0-100): %

76% : 첫번째 가지로 분기
 16% : 두번째 가지로 분기
 100% - 76% - 16% = 8% : 마지막 가지로 분기

13. Assign



Assign ? [X]

Name: Assign Tech Call Entity Type and Picture

Assignments:

- Entity Type, Tech Call
- Entity Picture, Picture.Red Ball
- <End of list>

[Add...]

[Edit...]

[Delete]

[OK] [Cancel] [Help]

Assignments ? [X]

Type: Entity Type: Tech Call

[OK] [Cancel] [Help]

Assignments ? [X]

Type: Entity Picture: Picture.Red Ball

[OK] [Cancel] [Help]

27

14. Store



Store ? [X]

Name: Type: Storage

Storage Name: Tech Call Recording Delay Str

[OK] [Cancel] [Help]

기술지원 제품 종류 선택 시 머무르는 저장소

Store for Tech Call Recording Delay
Tech Call Recording Delay Storage

28

15. Delay



Delay ? [X]

Name:	Allocation:
Tech Call Recording Delay	Other
Delay Time:	Units:
UNIF(0,1 , 0,5)	Minutes

기술지원 제품 종류 선택 시간

OK Cancel Help

16. Unstore



Unstore ? [X]

Name:	Type:
from Tech Call Recording Delay	Default

기술지원 제품 종류 선택 시 머무르는 저장소

OK Cancel Help

Unstore from Tech Call Recording Delay

17. Decide



Decide ? x

Name: Type:

Percentages:

25	<input type="button" value="Add..."/>
34	<input type="button" value="Edit..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Delete"/>

25% : 첫번째 가지로 분기
 34% : 두번째 가지로 분기
 100% - 25% - 34% = 41% : 마지막 가지로 분기

Conditions ? x

Percent True (0-100):

%

Conditions ? x

Percent True (0-100):

%

31

18. Process



Process ? x

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

Resource_Tech 1, 1	<input type="button" value="Add..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Edit..."/>
	<input type="button" value="Delete"/>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

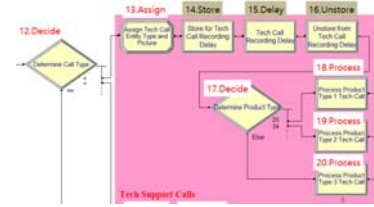
Resources ? x

Type:

Resource Name: Quantity:

32

19. Process



Process [?] [X]

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

Resources [?] [X]

Type:

Resource Name: Quantity:

33

20. Process



Process [?] [X]

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

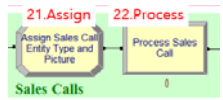
Resources [?] [X]

Type:

Resource Name: Quantity:

34

21. Assign



Assign ? x

Name:
 Assign Sales Call Entity Type and Picture

Assignments:
 Entity Type, Sales Call
 Entity Picture, Picture, Green Ball
 <End of list>

Add...
 Edit...
 Delete

OK Cancel Help

Assignments ? x

Type: Entity Type:
 Entity Type Sales Call

OK Cancel Help

Assignments ? x

Type: Entity Picture:
 Entity Picture Picture, Green Ball

OK Cancel Help

35

22. Process



Process ? x

Name: Type:
 Process Sales Call Standard

Logic
 Action: Priority:
 Seize Delay Release Medium(2)

Resources:
 Resource, Sales, 1
 <End of list>

Add...
 Edit...
 Delete

Delay Type: Units: Allocation:
 Triangular Minutes Value Added

Minimum: Value (Most) Maximum:
 4 15 45

Report Statistics

OK Cancel Help

Resources ? x

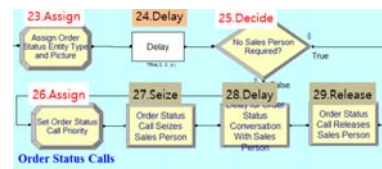
Type:
 Resource

Resource Name: Quantity:
 Sales 1

OK Cancel Help

36

23. Assign



Assign ? [X]

Name:

Assignments:

[Add...]
 [Edit...]
 [Delete]

[OK] [Cancel] [Help]

Assignments ? [X]

Type: Entity Type:

[OK] [Cancel] [Help]

Assignments ? [X]

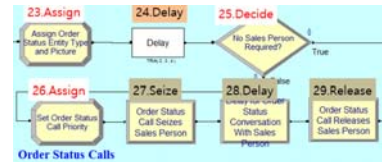
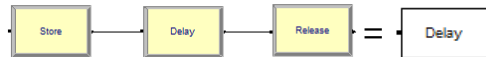
Type: Entity Picture:

[OK] [Cancel] [Help]

37

24. Delay Block (Store-Delay-Unstore를 한꺼번에 표현)

Blocks 패널을 통해 추가



Delay Block ? [X]

Label:
 Mark Attribute:
 Next Label:

Duration:
 Storage ID:
 Allocation:

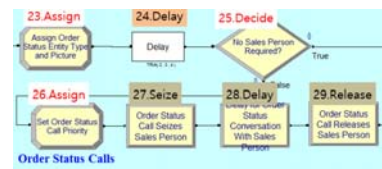
Comments:

[OK] [Cancel] [Help]

주문 상태 문의 자동 응답 시간
 주문 상태 문의 자동 응답 시 마무리하는 저장소

38

25. Decide



Decide ? x

Name: Type:

No Sales Person Required? 2-way by Chance

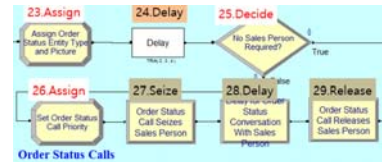
Percent True (0-100):

85 %

OK
Cancel
Help

39

26. Assign



Assign ? x

Name:

Set Order Status Call Priority

Assignments:

Attribute Sales Call Priority, 1 Add...

<End of list> Edit...

Delete

OK
Cancel
Help

Assignments ? x

Type: Attribute Name:

Attribute Sales Call Priority

New Value:

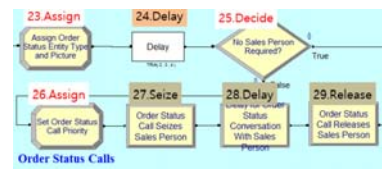
1

OK
Cancel
Help

- Order Status Call의 Sales Call Priority = 1 → Order Status Call의 우선순위를 낮추는 결과를 초래
- Sales Call의 Sales Call Priority는 정의되지 않았으므로 자동으로 0값을 가짐
- 낮은 Sales Call Priority 속성값을 가진 개체를 우선적으로 처리하므로 Sales Call이 Order Status Call 보다 우선적으로 처리됨 → Queue 모듈 참조

40

27. Seize



Seize ? x

Name: Allocation: Priority:

Resources:

-

Buttons: Add..., Edit..., Delete

Queue Type: Queue Name:

Buttons: OK, Cancel, Help

Sales Call 처리 프로세스 모듈과 대기행렬 공유 (같은 자원 Sales 사용)

Order Status Call Seizes Sales Person

Resources ? x

Type:

Resource Name: Quantity:

Resource State:

Buttons: OK, Cancel, Help

28. Delay



주문 상태 문의 상담 시간 → 상담원이 진행

Delay ? x

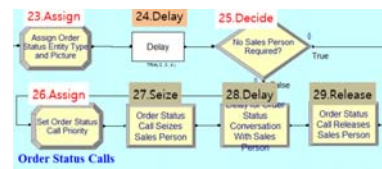
Name: Allocation:

Delay Time: Units:

Buttons: OK, Cancel, Help

Delay for Order Status Conversation With Sales Person

29. Release



Release

Name:
Order Status Call Releases Sales Person

Resources:
Resource Sales, 1
<End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Resources

Type:
Resource

Resource Name: Sales Quantity: 1

Buttons: OK, Cancel, Help

43

30. Release



Release

Name:
Release Trunk Line

Resources:
Resource Trunk Line, 1
<End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Resources

Type:
Resource

Resource Name: Trunk Line Quantity: 1

Buttons: OK, Cancel, Help

전화회선 하나를 반납

44

31. Assign



Assign ? x

Name:
Decrement Active Call Counter

Assignments:
Variable, Total WIP, Total WIP - 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

OK Cancel Help

Assignments ? x

Type: Variable Variable Name: Total WIP

New Value:
Total WIP - 1

OK Cancel Help

콜센터에서 서비스 중인 통화 수를 하나 감소 시킴
시스템 안의 WIP을 하나 줄임
Total WIP = Total WIP - 1

45

32. Record



Record ? x

Name: Record Completed Calls Type: Count

Value: 1 Record into Set

Counter Name: Completed Calls

OK Cancel Help

46

33. Dispose



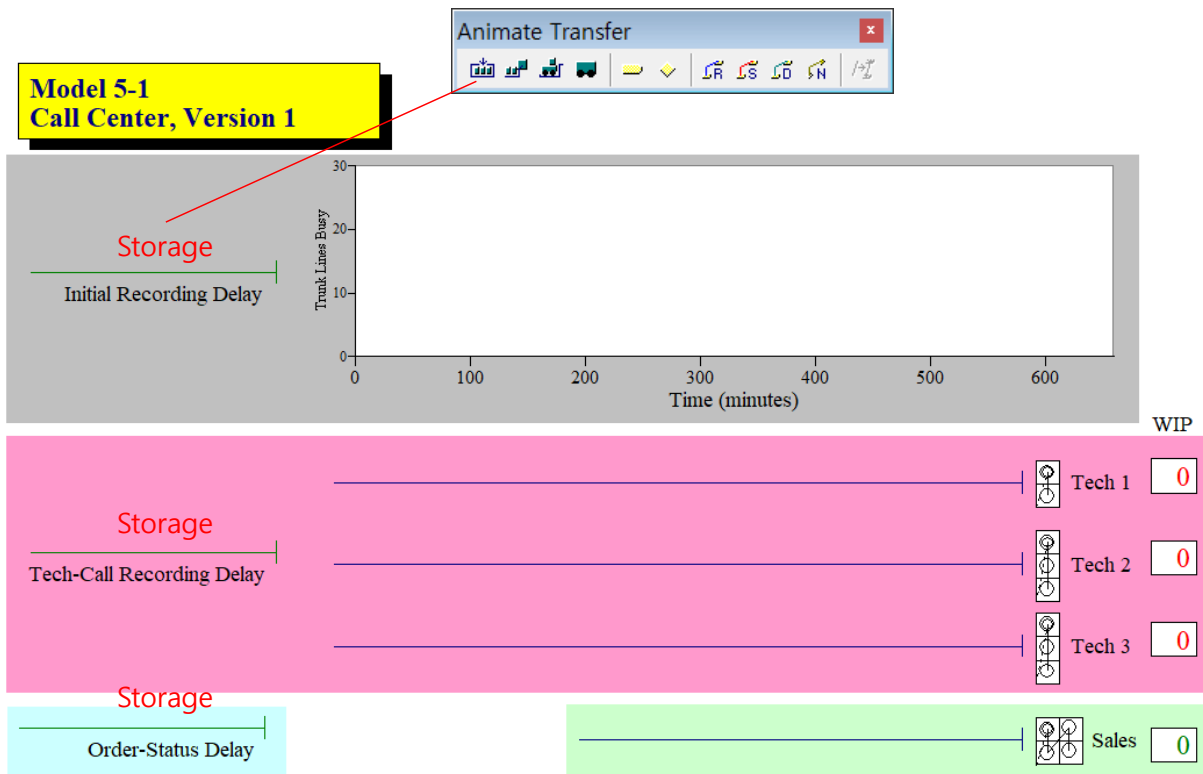
Dispose ? x

Name: Dispose of Call Entity

Record Entity Statistics

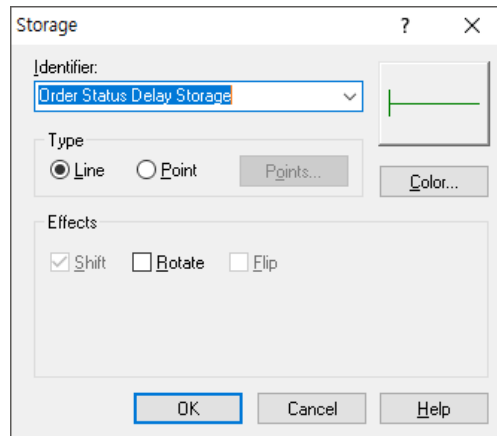
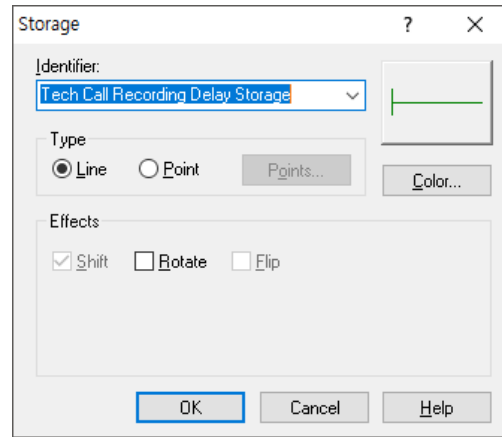
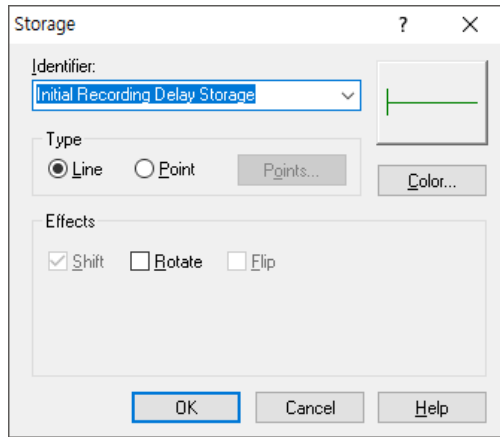
47

Animation



48

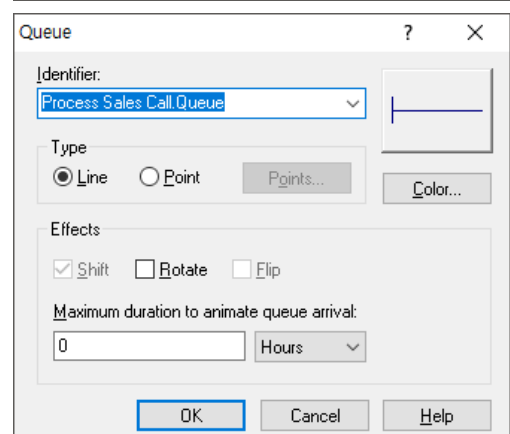
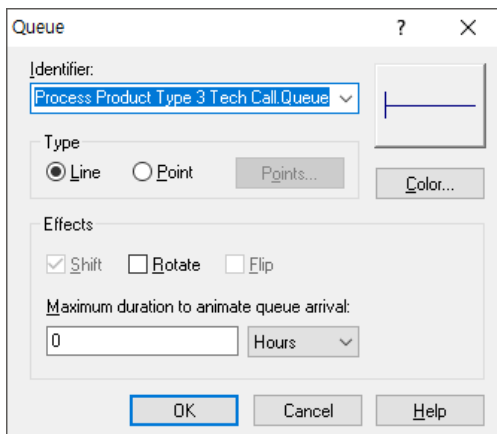
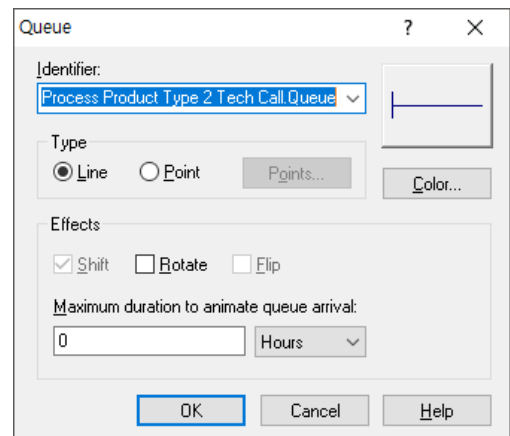
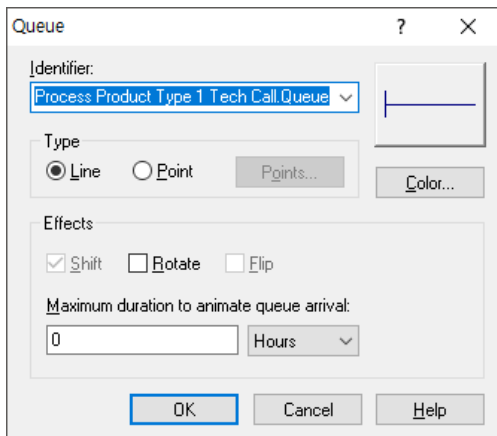
Animation-Storage(Animate Transfer Toolbar)



Animation-Queue

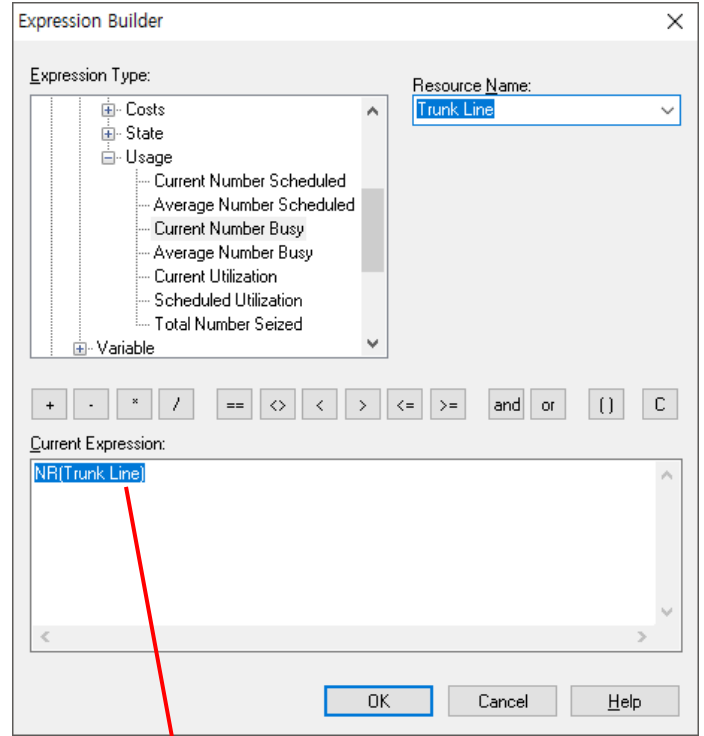
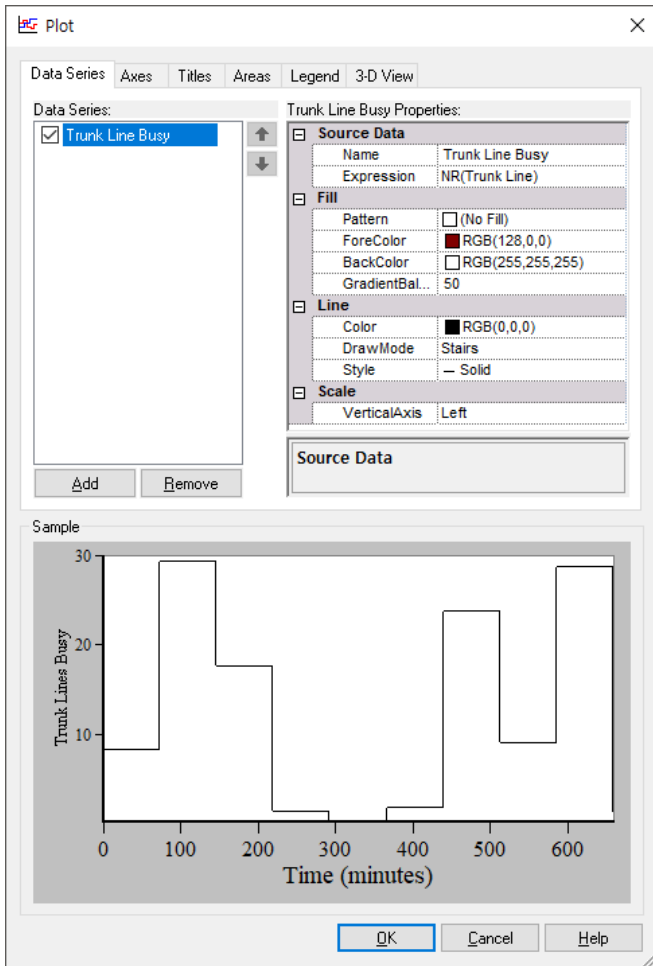
Process Product Type 1 Tech Call.Queue

Process Product Type 2 Tech Call.Queue



Process Product Type 3 Tech Call.Queue

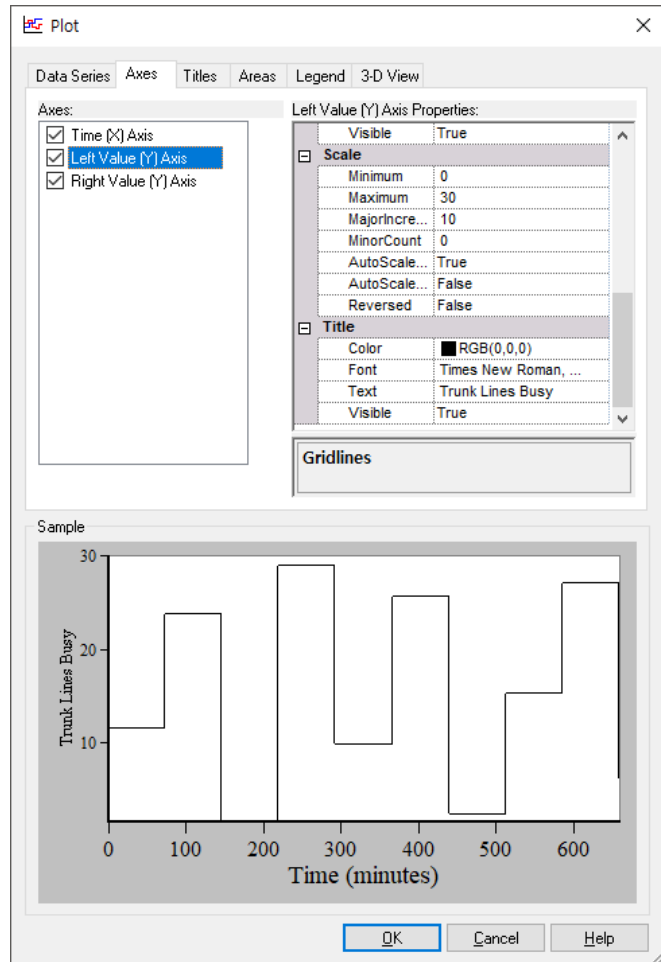
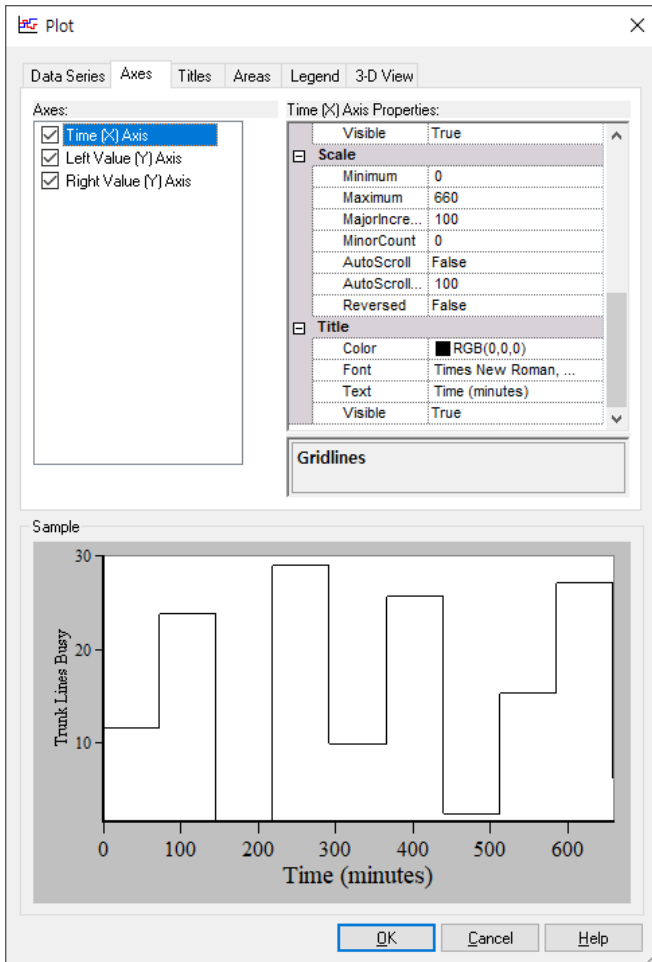
Animation-Plot



사용중인 전화 회선수를 표시

51

Animation-Plot



52

Animation-Resource

Identifier: **Tech 1** Current Library: basicprocess.plb

State:

Picture ID:

Add Copy Delete

Idle Busy Inactive Failed

Add Copy Delete << >> New Open... Save...

Size Factor: 1 Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:

Hours per picture

Rotate By Expression:

Seize Area

Seize Area ? X

Type

Line Point

Effects

Shift Rotate Flip

Points ? X

Picture Rotation Angle

#2: 270

270 270

User Defined

53

Animation-Resource

Identifier: **Tech 2** Current Library: basicprocess.plb

State:

Picture ID:

Add Copy Delete

Idle Busy Inactive Failed

Add Copy Delete << >> New Open... Save...

Size Factor: 1 Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:

Hours per picture

Rotate By Expression:

Seize Area

Seize Area ? X

Type

Line Point

Effects

Shift Rotate Flip

Points ? X

Picture Rotation Angle

#3: 270

270 270 270

User Defined

54

Animation-Resource

Identifier: Tech 3
State:
Picture ID:
Add Copy Delete
Idle
Busy
Inactive
Failed
Size Factor: 1 Auto Scale
Effects
When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:
Hours per picture
 Rotate By Expression:
 Seize Area

Seize Area ? X
Type
 Line Point
Effects
 Shift Rotate Flip
OK Cancel Help

Points ? X
Picture Rotation Angle
#3: 270
270
270
270
Add
Delete
 User Defined
OK
Cancel
Help

55

Animation-Resource

Identifier: Sales
State:
Picture ID:
Add Copy Delete
Idle
Busy
Inactive
Failed
Size Factor: 1 Auto Scale
Effects
When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:
Hours per picture
 Rotate By Expression:
 Seize Area

Seize Area ? X
Type
 Line Point
Effects
 Shift Rotate Flip
OK Cancel Help

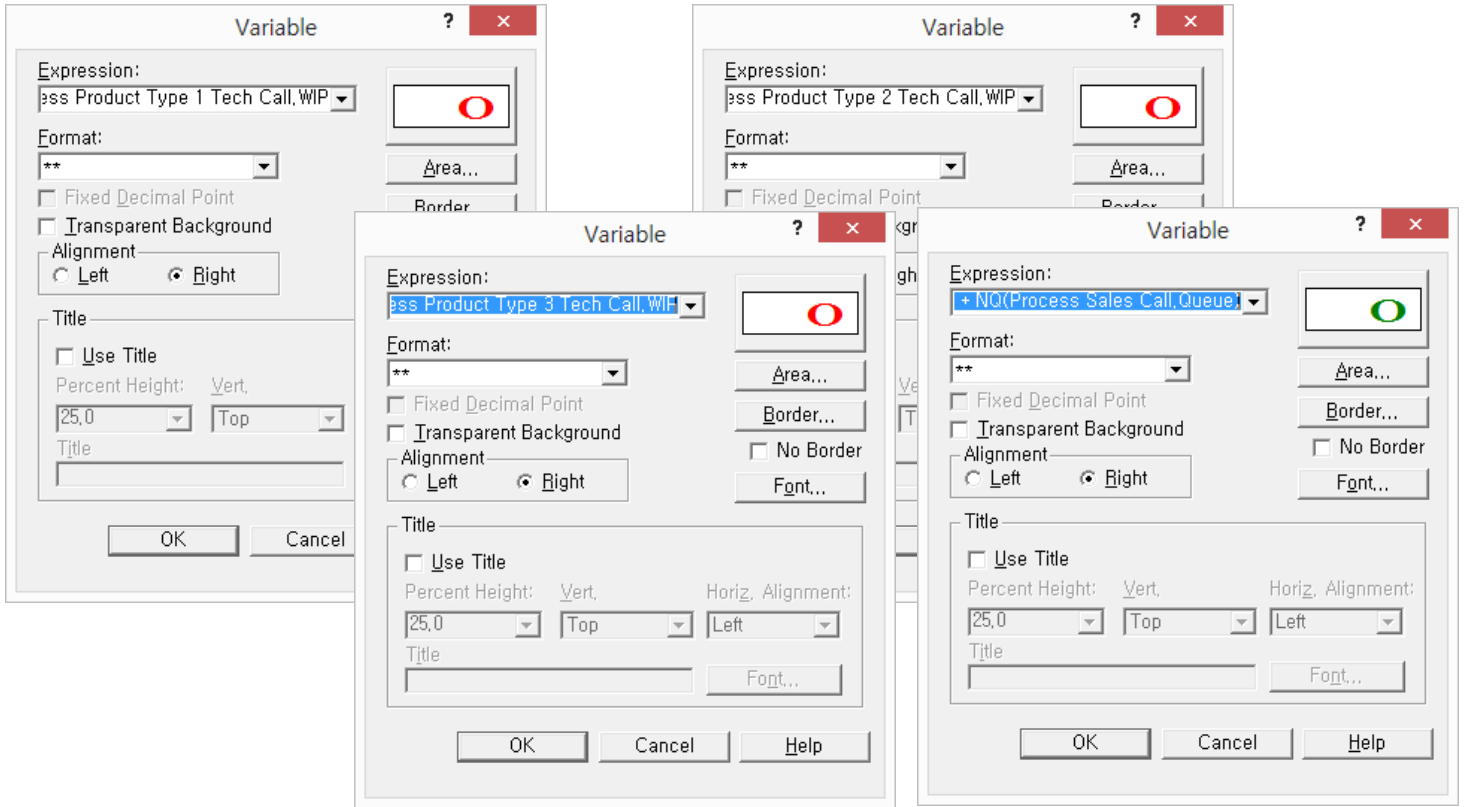
Points ? X
Picture Rotation Angle
#4: 270
270
49
270
270
Add
Delete
 User Defined
OK
Cancel
Help

56

Animation-Variable

Process Product Type 1 Tech Call.WIP

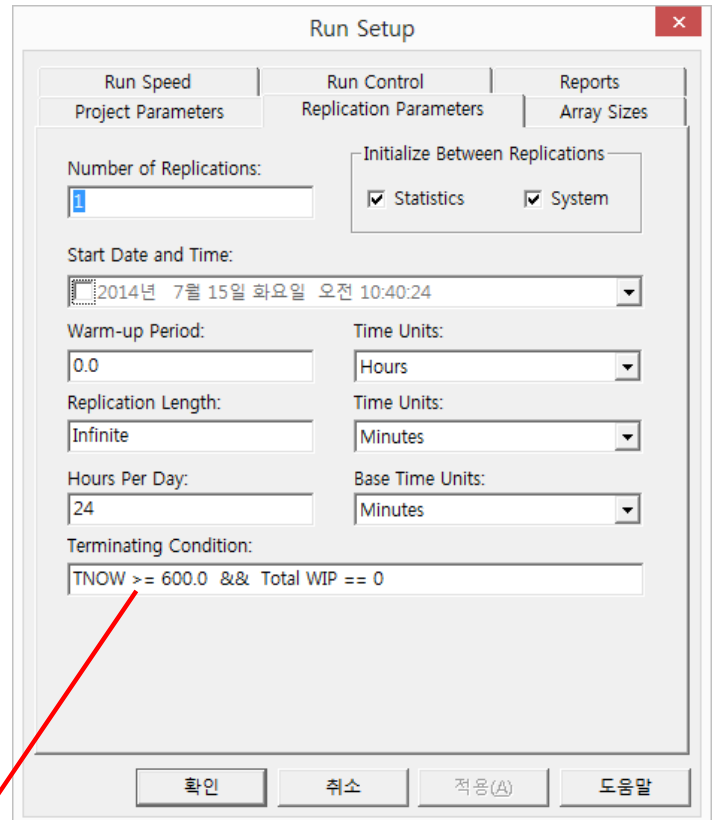
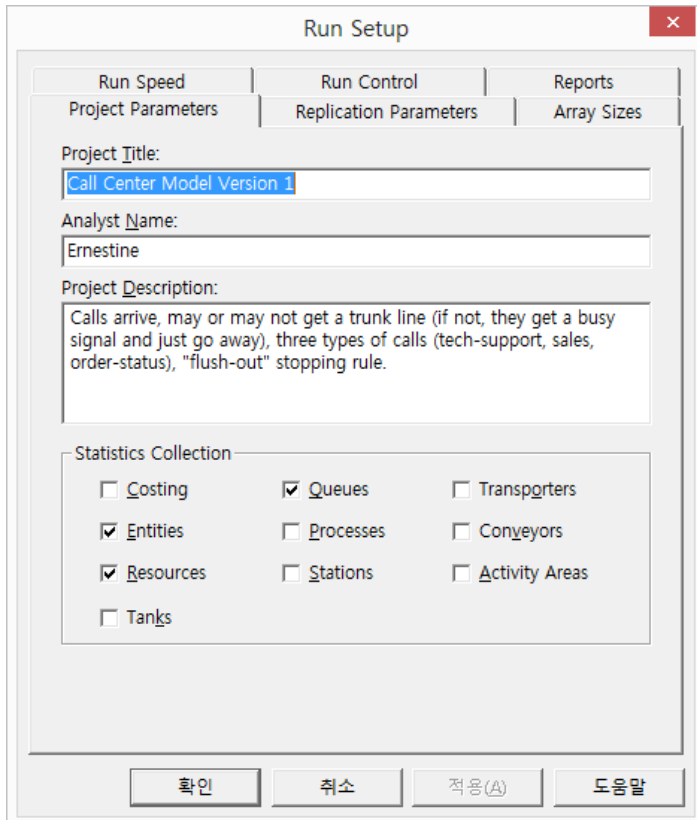
Process Product Type 2 Tech Call.WIP



Process Product Type 3 Tech Call.WIP

NR(Sales) + NQ(Process Sales Call.Queue)
 (주문상태문의에서 판매로 넘어온 Call을 포함하기 위해) 57
 Process Sales Call.WIP → 판매상담 대기 Call 수만 나타남

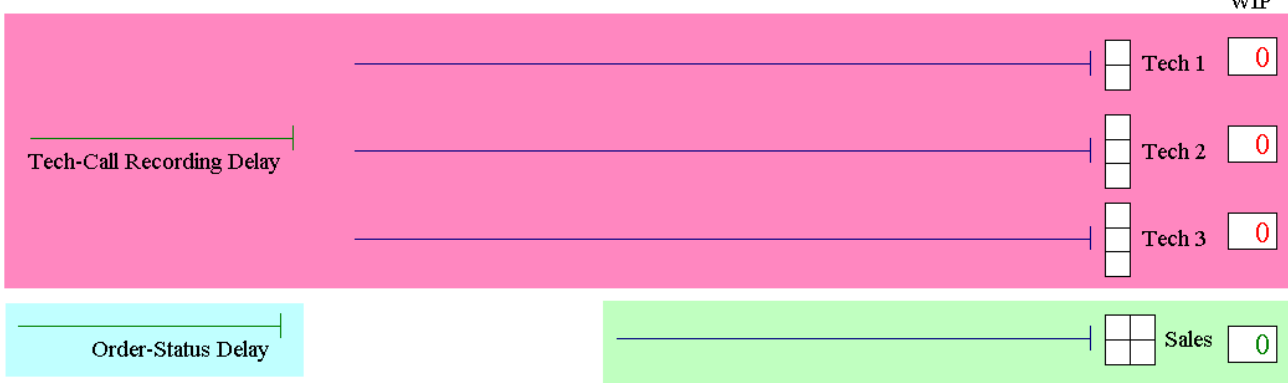
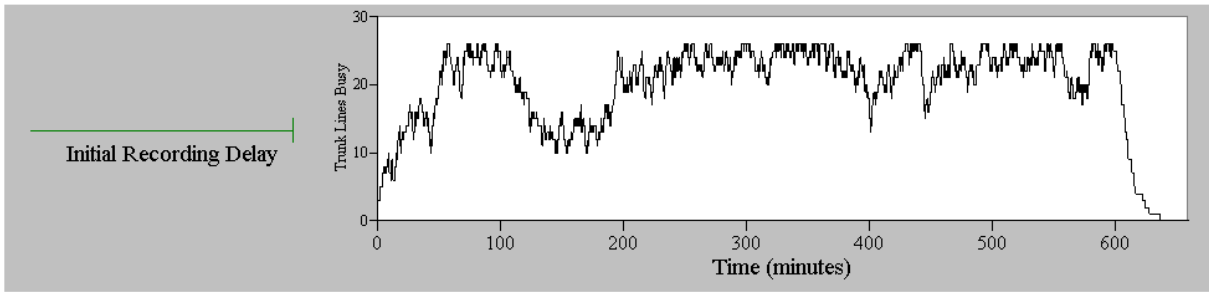
Run-Setup



현재시간이 600분보다 크고 Total WIP이 0인 경우,
 여기서 Total WIP이 0인 경우는 생성된 모든 Call이 서비스를 마쳤다는 의미임
 시스템 안에 Call이 하나도 없음 → 모든 Call을 처리



**Model 5-1
Call Center, Version 1**



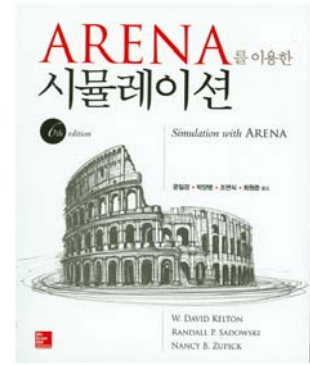
종료 시 WIP이 모두 0임을 확인

Waiting Time		Scheduled Utilization	
	Average		Value
Process Product Type 1 Tech Call.Queue	25.7528	Sales	0.8165
Process Product Type 2 Tech Call.Queue	2.5360	Tech 1	0.9567
Process Product Type 3 Tech Call.Queue	3.6833	Tech 2	0.7588
Process Sales Call.Queue	12.6188	Tech 3	0.8868
		Trunk Line	0.7755
Number Waiting		Count	
	Average		Value
Process Product Type 1 Tech Call.Queue	5.3349	Attempted Calls	734.00
Process Product Type 2 Tech Call.Queue	0.6448	Completed Calls	643.00
Process Product Type 3 Tech Call.Queue	1.1446	Rejected Calls	91.0000
Process Sales Call.Queue	2.0992		

따라하기

Model 5-1.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 5-2

(Model 5-1 수정)

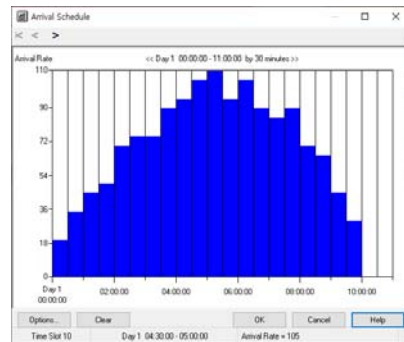
Model 5-2: 콜센터

- 콜센터로 들어오는 전화 상담 건수가 시간별로 상이

Table 5-2. Call Arrival Rates (Calls Per Hour)

Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate	Time	Rate
8:00 - 8:30	20	10:30 - 11:00	75	1:00 - 1:30	110	3:30 - 4:00	90
8:30 - 9:00	35	11:00 - 11:30	75	1:30 - 2:00	95	4:00 - 4:30	70
9:00 - 9:30	45	11:30 - 12:00	90	2:00 - 2:30	105	4:30 - 5:00	65
9:30 - 10:00	50	12:00 - 12:30	95	2:30 - 3:00	90	5:00 - 5:30	45
10:00 - 10:30	70	12:30 - 1:00	105	3:00 - 3:30	85	5:30 - 6:00	30

- Schedule module을 이용하여 시간대별 도착률 정의 - **Arrival Schedule**
- 평균 도착시간간격 = 1/도착률
- 도착률 = 20콜/시간
- 평균 도착시간간격 = 1/20시간/콜 = 3분/콜 = 3분



3

Model 5-2: 콜센터

- 근무하는 상담원의 수가 시간대별로 상이
 - Sales Schedule을 이용하여 시간대별 상담원 수 정의
- 기술지원 상담원
 - 직원별 상이한 근무시간 - 직원별 Schedule을 이용하여 정의
 - 일부 상담원은 한제품이 아닌 여러 제품을 상담할 수 있음

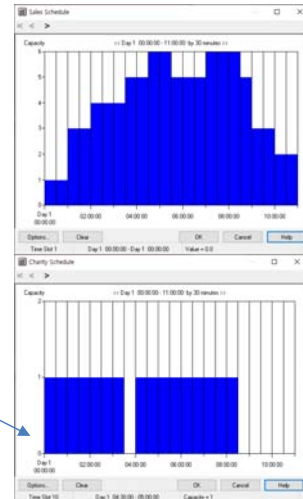


Table 5-3. Technical Support Schedules

Name	Product Lines	Time Period (30 minutes)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Charity	1	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•					
Noah	1						•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Molly	1, 3			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Anna	1, 2, 3					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sammy	1, 2, 3				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tierney	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
Aidan	2					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Emma	2				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Shelley	3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Jenny	3					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Christie	3				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Set 개념 이용

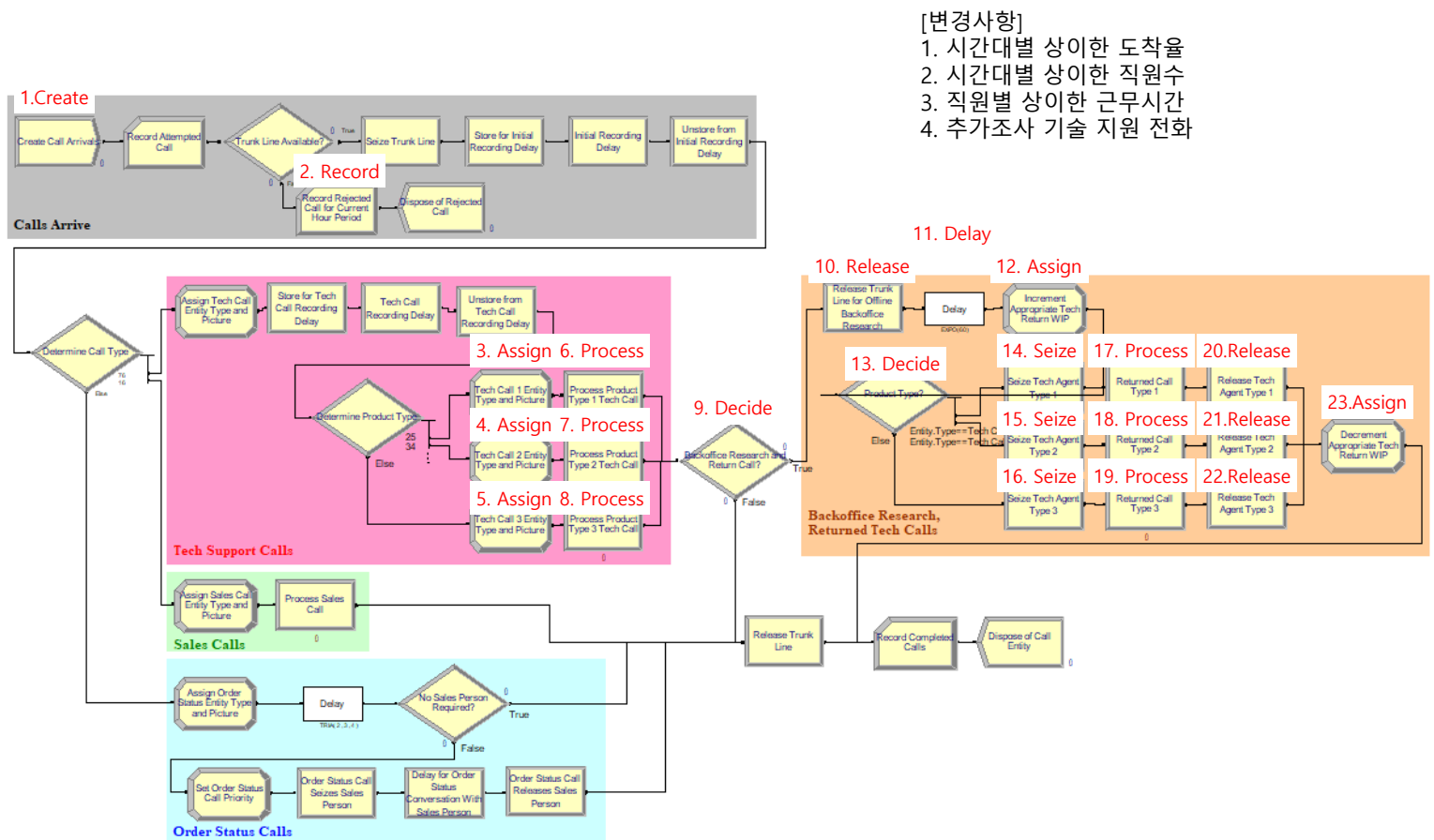
4

Model 5-2: 콜센터

- 4%의 기술 지원 상담은 전화 상담으로 마무리되지 못하고 다른 기술지원그룹으로 보내져 추가조사를 수행해야 함

- 이 건들은 다른 기술지원그룹으로 보내짐, EXPO(60)분의 시간이 소요됨
- 추가조사 결과는 원래 상담을 담당했던 직원에게 다시 보내지며, 일반 기술지원 상담보다 높은 우선순위를 가짐
- 이 기술지원 건은 상담원이 고객에게 전화를 걸어 상담을 마무리 하며, 상담시간은 TRIA (2, 4, 9)분이 소요됨 : 발신 통화 역시 전화 회선을 필요로 함
- 추가 기술지원이 필요했던 상담 건수를 추적하여 통계를 산출

5



6

Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1 ▶	Tech Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
2	Sales Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
3	Order Status Call	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
4	Incoming Call	Picture.Black Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
5	Tech Call 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
6	Tech Call 2	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑
7	Tech Call 3	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	☑

7

Attribute

기술지원 상담원 구별을 위해 사용되는 속성

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1 ▶	Tech Agent Index			Real	0 rows
2	Sales Call Priority			Real	0 rows
3	Tech Call Type			Real	0 rows

판매 상담 vs. 주문상태 문의

제품별 기술지원 전화 구별을 위해 사용되는 속성

8

Queue

Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1 ▶	Process Product Type 1 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Process Product Type 2 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Process Product Type 3 Tech Call.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Seize Trunk Line.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Process Sales Call.Queue	Lowest Attribute Value	Sales Call Priority	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Returned Call Type 1.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Returned Call Type 2.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Returned Call Type 3.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Seize Tech Agent Type 1.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Seize Tech Agent Type 2.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Seize Tech Agent Type 3.Queue	First In First Out	Attribute 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

9

Resource

판매상담원 :
근무하는 상담원의 수가 시간대별로 상이

Resource - Basic Process											
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ▶	Sales	Based on Schedule	Sales Schedule	Sales Schedule	Wait	20	20	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Trunk Line	Fixed Capacity	26	26	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Charity	Based on Schedule	Charity Schedule	Charity Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Noah	Based on Schedule	Noah Schedule	Noah Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Molly	Based on Schedule	Molly Schedule	Molly Schedule	Ignore	20	20	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Anna	Based on Schedule	Anna Schedule	Anna Schedule	Ignore	22	22	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Sammy	Based on Schedule	Sammy Schedule	Sammy Schedule	Ignore	22	22	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Tierney	Based on Schedule	Tierney Schedule	Tierney Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Aidan	Based on Schedule	Aidan Schedule	Aidan Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Emma	Based on Schedule	Emma Schedule	Emma Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Mya	Based on Schedule	Mya Schedule	Mya Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Ian	Based on Schedule	Ian Schedule	Ian Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Christie	Based on Schedule	Christie Schedule	Christie Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

기술지원 상담원 :
직원별 상이한 근무시간 표현을 위해, 직원별로 별도의 자원 형태로 정의

10

Schedule

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	10 rows

기술지원 상담원
근무시간 상이 표현

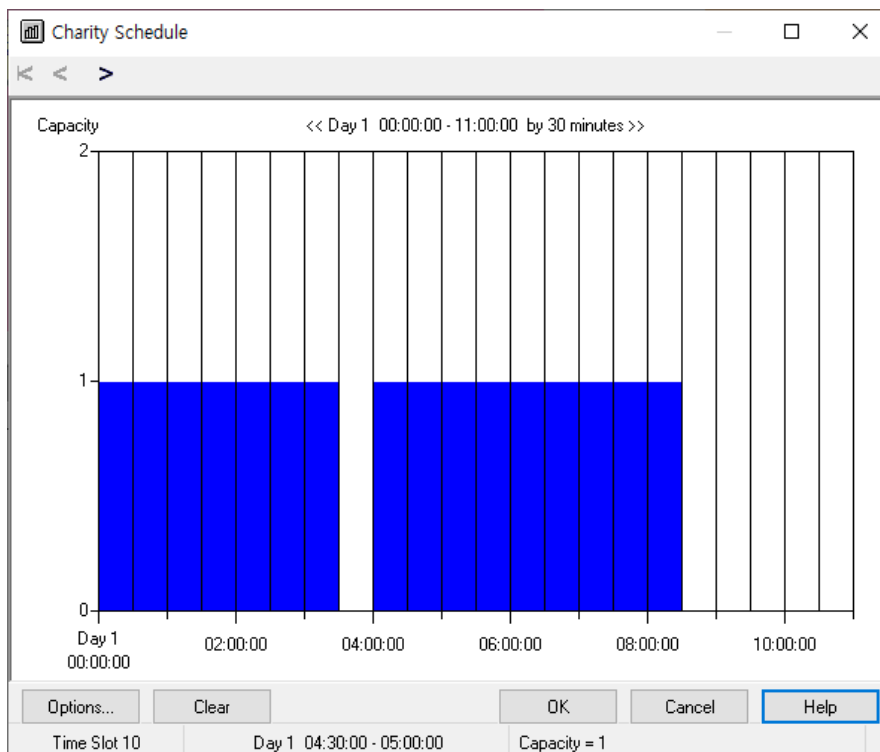
도착률 변화 표현

판매 상담원수 변화 표현

11

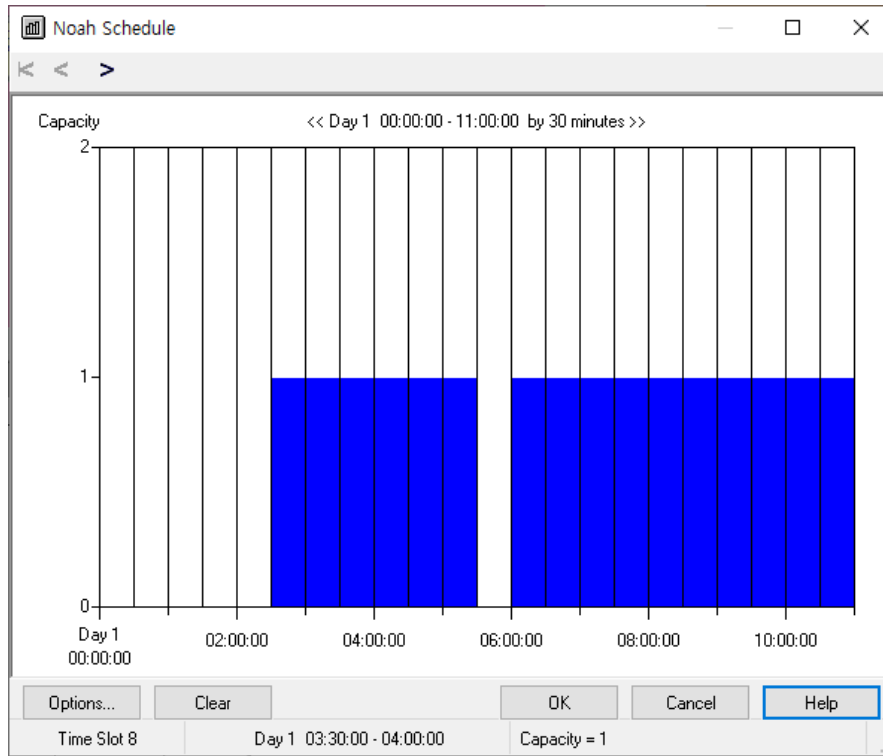
Schedule

기술지원 상담원 Charity는
0시~3시 30분 근무, 30분 휴식 후, 4시부터 8시 30분까지 근무함



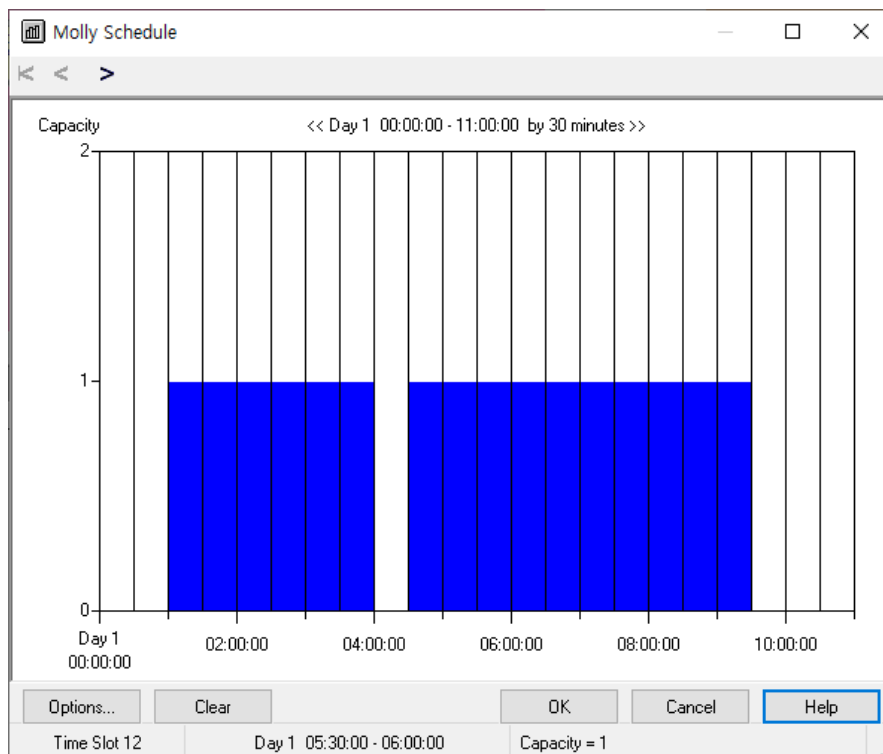
12

Schedule



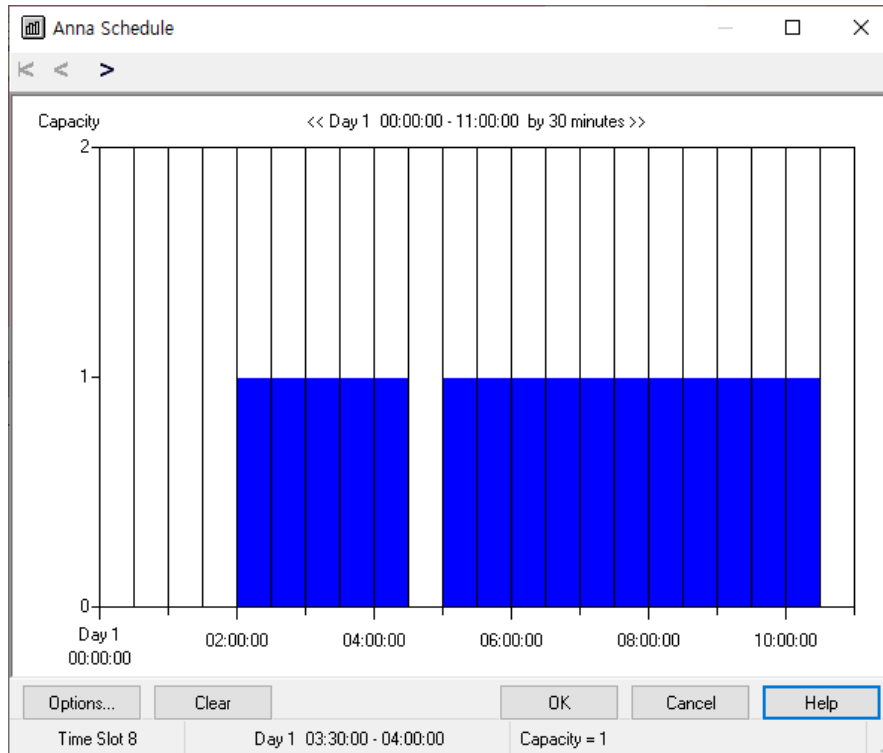
13

Schedule



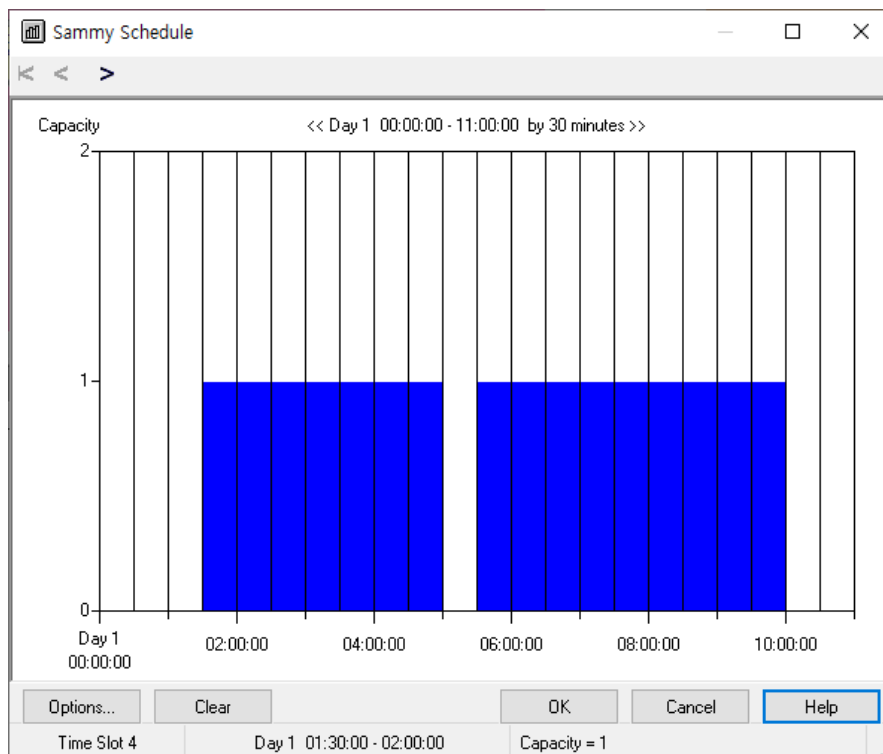
14

Schedule



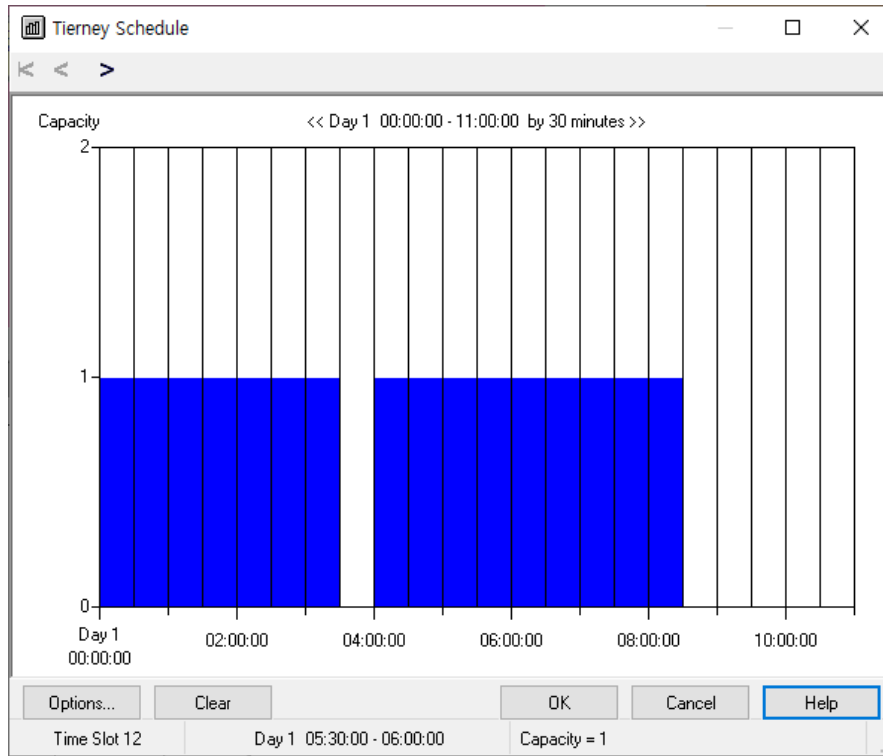
15

Schedule



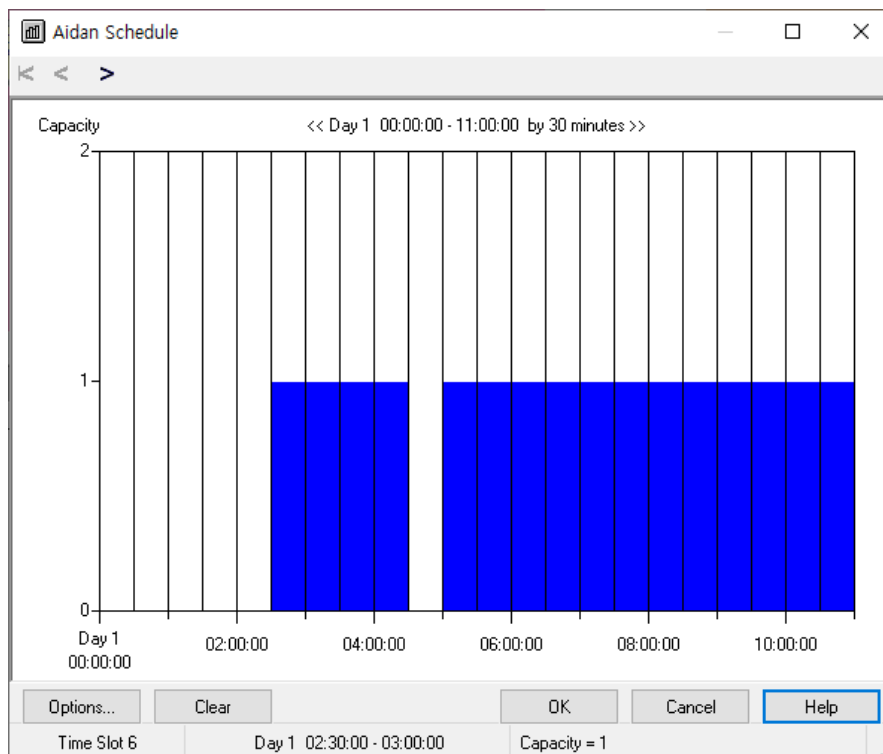
16

Schedule



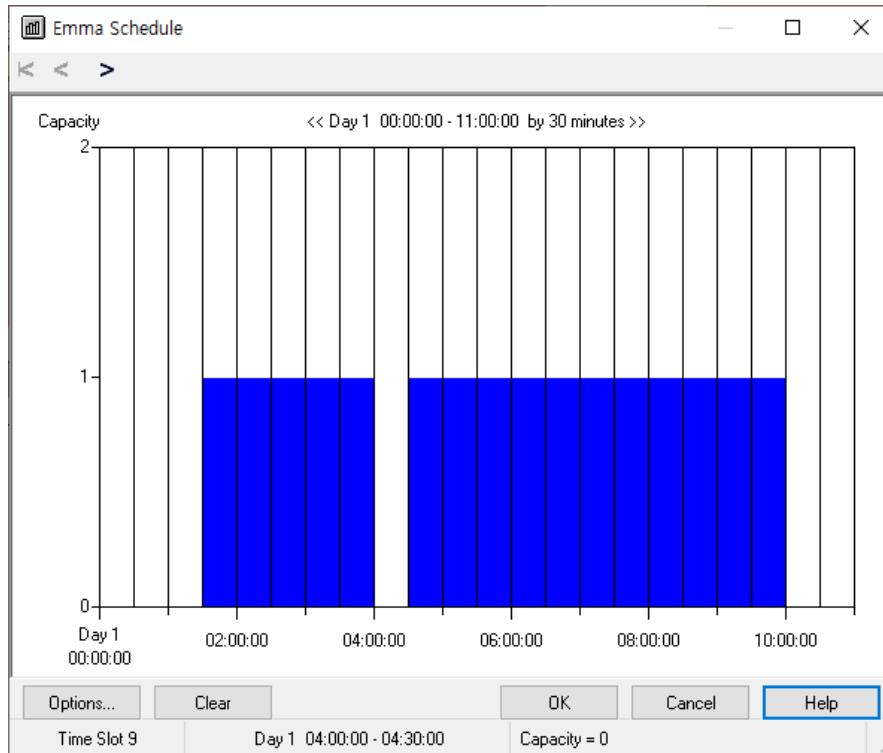
17

Schedule



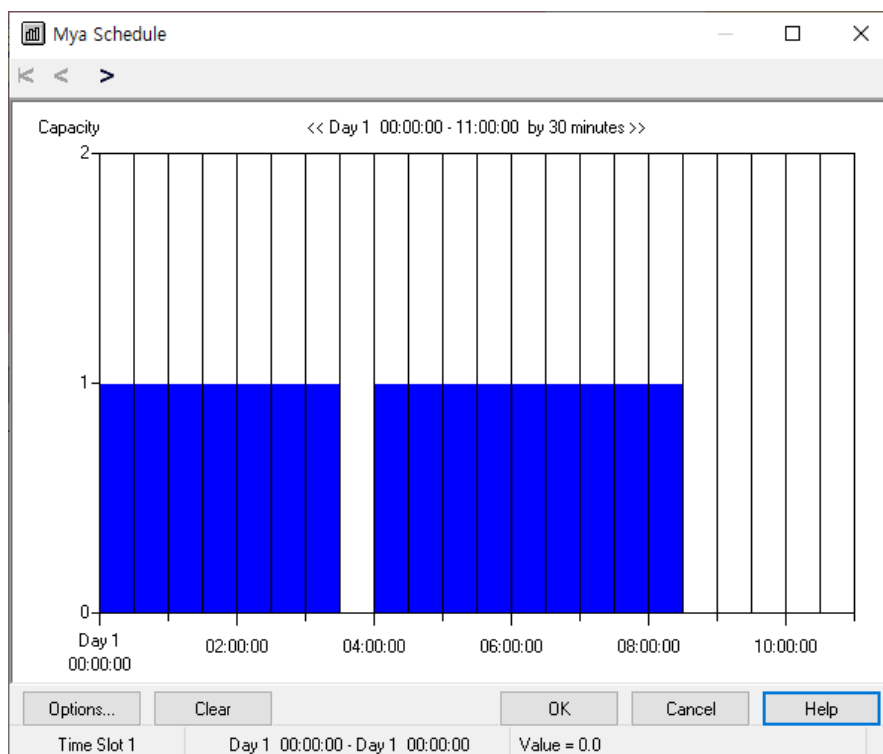
18

Schedule



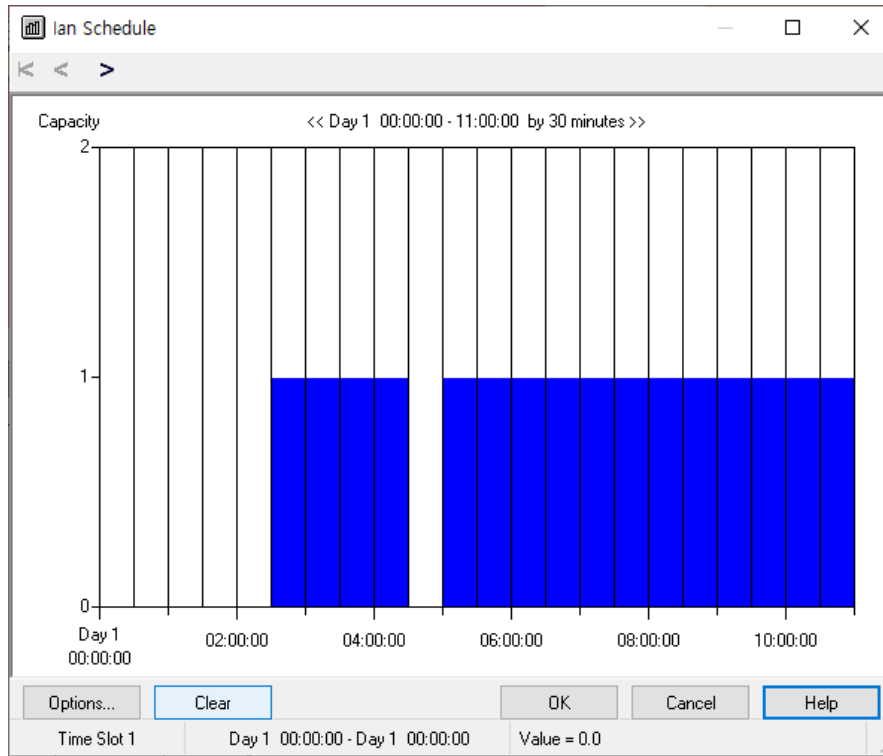
19

Schedule



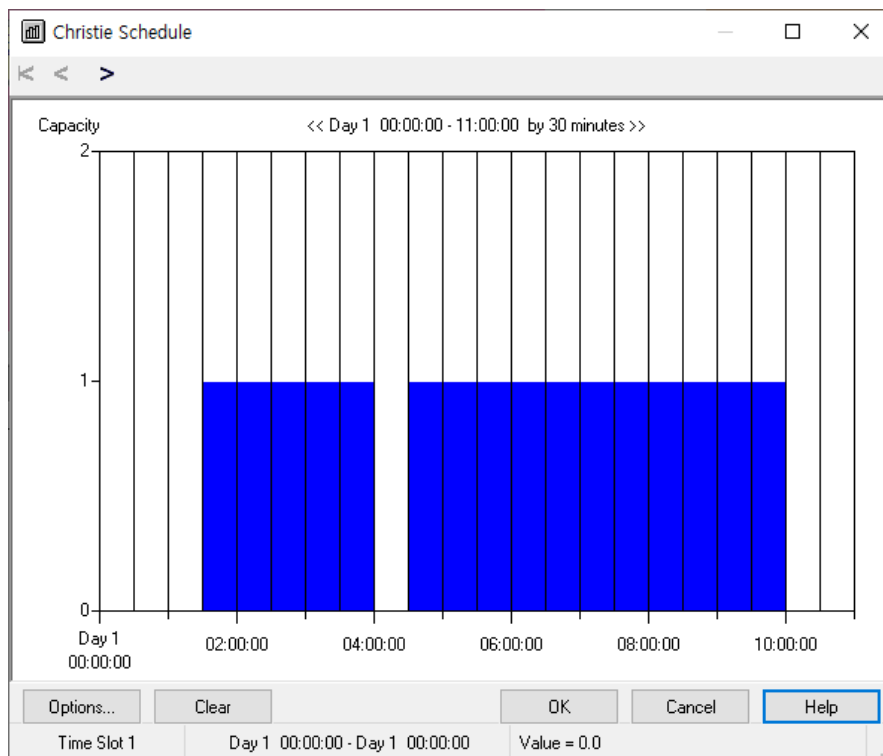
20

Schedule



21

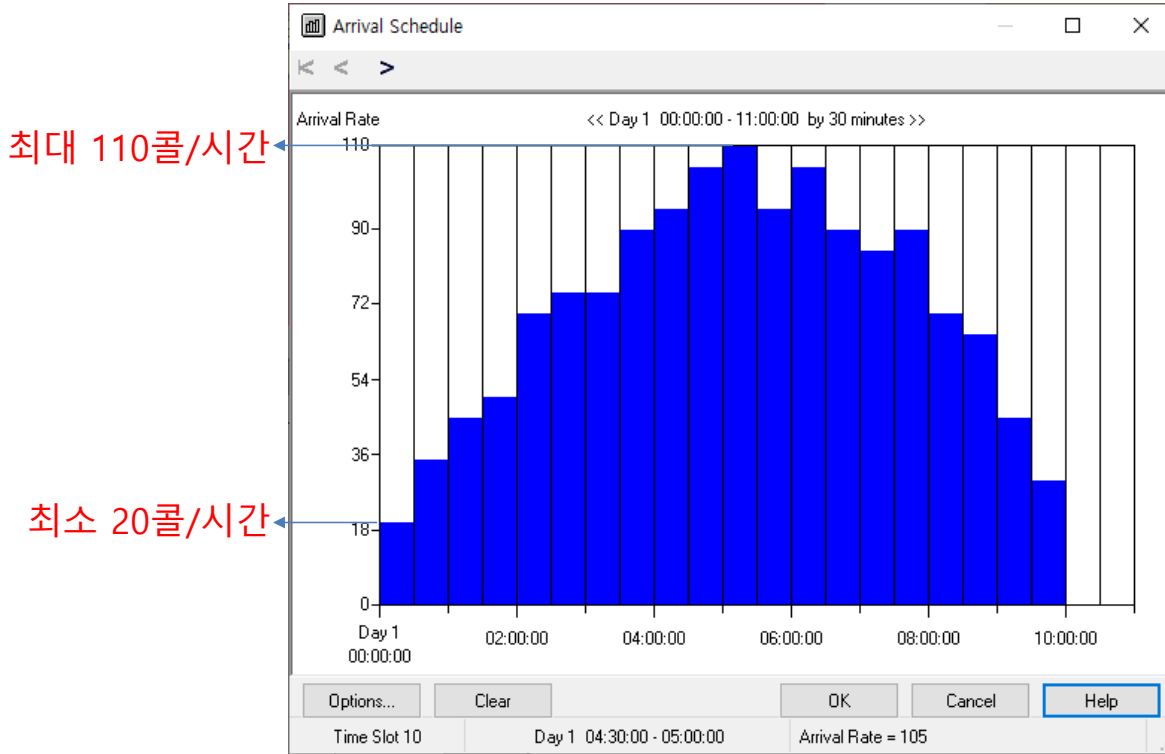
Schedule



22

Schedule

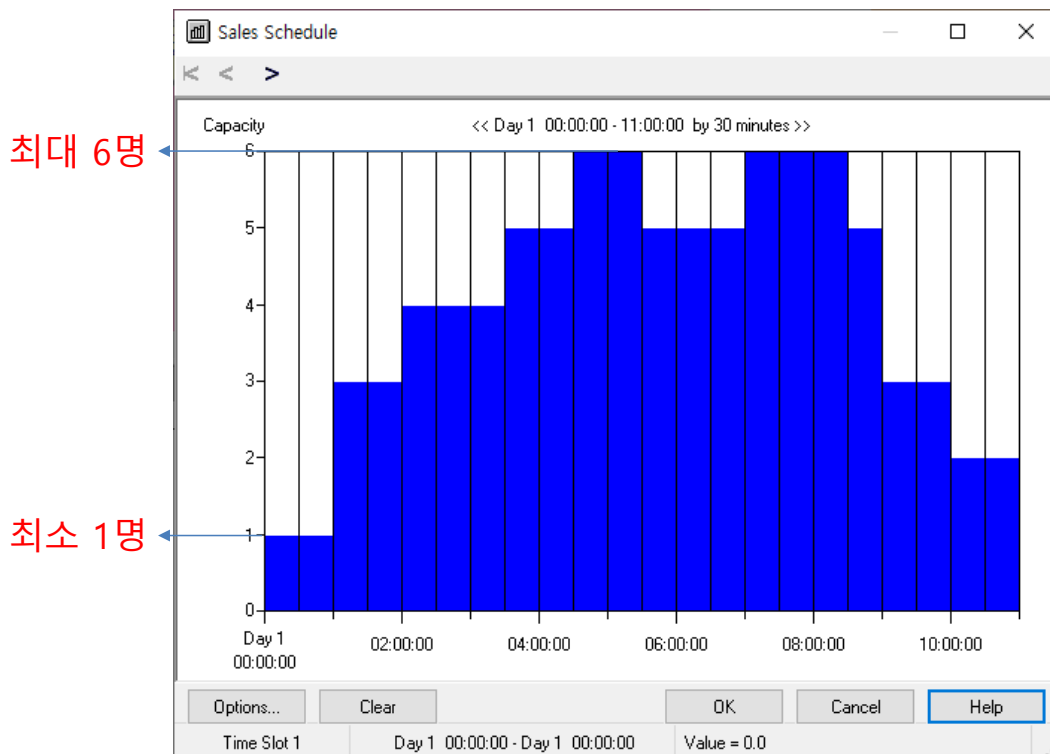
도착률



23

Schedule

판매상담원수



24

추가조사 중인 기술지원 통화수 현황

Call 구분 : 수신통화 vs 추가조사 vs 발신통화

Statistic - Advanced Process										
	Name	Type	Counter Name	Limit	Expression	Collection Period	Initialization Option	Counter Output File	Report Label	Output File
1	Period 01	Counter	Period 01 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 01	
2	Period 02	Counter	Period 02 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 02	
3	Period 03	Counter	Period 03 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 03	
4	Period 04	Counter	Period 04 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 04	
5	Period 05	Counter	Period 05 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 05	
6	Period 06	Counter	Period 06 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 06	
7	Period 07	Counter	Period 07 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 07	
8	Period 08	Counter	Period 08 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 08	
9	Period 09	Counter	Period 09 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 09	
10	Period 10	Counter	Period 10 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 10	
11	Backoffice Research WIP	Time-Persistent	Counter 22		NSTO(Backoffice Research Storage)	Entire Replication	Replicate		Backoffice Research WIP	
12	Tech 1 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 23		Tech 1 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 1 Total Online WIP Stat	
13	Tech 2 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 24		Tech 2 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 2 Total Online WIP Stat	
14	Tech 3 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 25		Tech 3 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 3 Total Online WIP Stat	

시간대별 거절 통화수 통계:
매 60분 마다의
거절 통화 수를 집계하기 위해
카운터 통계량 이용

제품별 기술지원 통화수 =
상담 중 수신(대기) 통화수 +
추가조사 후 발신(대기) 통화수

Set

Set - Basic Process			
	Name	Type	Members
1	Product 1	Resource	5 rows
2	Product 2	Resource	5 rows
3	Product 3	Resource	6 rows
4	Rejected Calls	Counter	10 rows

Members	
	Counter Name
1	Period 01 Rejected Calls
2	Period 02 Rejected Calls
3	Period 03 Rejected Calls
4	Period 04 Rejected Calls
5	Period 05 Rejected Calls
6	Period 06 Rejected Calls
7	Period 07 Rejected Calls
8	Period 08 Rejected Calls
9	Period 09 Rejected Calls
10	Period 10 Rejected Calls

Double-click here to add a new row.

시간대별 거절 통화수 집합

Members	
	Resource Name
1	Charity
2	Noah
3	Molly
4	Anna
5	Sammy

Double-click here to add a new row.

제품 1
기술지원이
가능한
상담원 집합

Members	
	Resource Name
1	Tierney
2	Aidan
3	Emma
4	Anna
5	Sammy

Double-click here to add a new row.

제품 2
기술지원이
가능한
상담원 집합

Members	
	Resource Name
1	Mya
2	Ian
3	Christie
4	Molly
5	Anna
6	Sammy

Double-click here to add a new row.

제품 3
기술지원이
가능한
상담원 집합

Name	Product Lines
Charity	1
Noah	1
Molly	1, 3
Anna	1, 2, 3
Sammy	1, 2, 3

Variable

Variable - Basic Process							
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values
1 ▶	Tech Return WIP	3		Real	System		0 rows

추가조사 후 발신통화가 필요한 기술지원 통화수 : 원소가 3개인 1차원 배열
Tech Return WIP[1], Tech Return WIP[2], Tech Return WIP[3]

Expression

Expression - Advanced Process						
	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1 ▶	Returned Tech Time			Native		1 rows
2	Tech Time			Native		1 rows
3	Tech 1 Total Online WIP			Native		1 rows
4	Tech 2 Total Online WIP			Native		1 rows
5	Tech 3 Total Online WIP			Native		1 rows

Expression Values

TRIA(2 , 4 , 9)

Expression Values

TRIA(3 , 6 , 18)

제품 1

Expression Values

Process/Product Type 1 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(1)

제품별 기술지원 통화수 =
상담 중 수신(대기) 통화수 + 추가조사 후 발신(대기) 통화수

제품 2

Expression Values

Process Product Type 2 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(2)

제품 3

Expression Values

Process Product Type 3 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(3)

Storage - Advanced Process	
	Name
1	Initial Recording Delay Storage
2	Tech Call Recording Delay Storage
3	Order Status Delay Storage
4	Backoffice Research Storage

상담 종류 선택 시 머무르는 저장소
 기술지원 제품 종류 선택 시 머무르는 저장소
 주문 상태 문의 자동 응답 시 머무르는 저장소
 기술지원 상담 추가조사 시 머무르는 저장소

1. Create



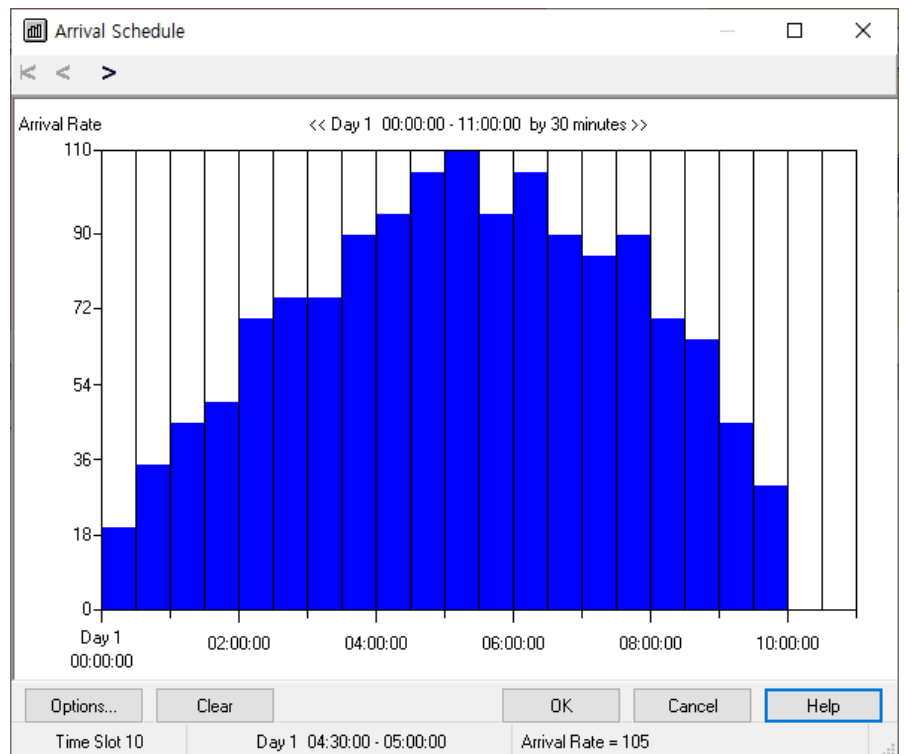
Create [?] [X]

Name: Entity Type:

Time Between Arrivals

Type: Schedule Name:

Entities per Arrival: Max Arrivals:



Arrival Schedule에 따라 상담전화 도착

2. Record



정수 값으로 내림 함수

Record

Name: Rejected Call for Current Hour Period Type: Count

Value: 1 Record into Set

Counter Set Name: Rejected Calls Set Index: AINT((TNOW/60) + 1)

OK Cancel Help

Members

	Counter Name
1	Period 01 Rejected Calls
2	Period 02 Rejected Calls
3	Period 03 Rejected Calls
4	Period 04 Rejected Calls
5	Period 05 Rejected Calls
6	Period 06 Rejected Calls
7	Period 07 Rejected Calls
8	Period 08 Rejected Calls
9	Period 09 Rejected Calls
10	Period 10 Rejected Calls

Double-click here to add a new row.

1시간 ~ 10시간 대에서 거절된 통화 수 집계
1~60분 → 1, 61분~120분 → 2, ..., 541분~600분 → 10

31

3. Assign

Assign

Name: Tech Call 1 Entity Type and Picture

Assignments:

- Entity Type, Tech Call 1
- Entity Picture, Picture.Tech Call 1
- Attribute, Tech Call Type, 1
- <End of list>

OK Cancel Help

제품 1 기술지원 전화

Assignments

Type: Entity Type Entity Type: Tech Call 1

OK Cancel Help

Assignments

Type: Entity Picture Entity Picture: Picture.Tech Call 1

OK Cancel Help

Assignments

Type: Attribute Attribute Name: Tech Call Type

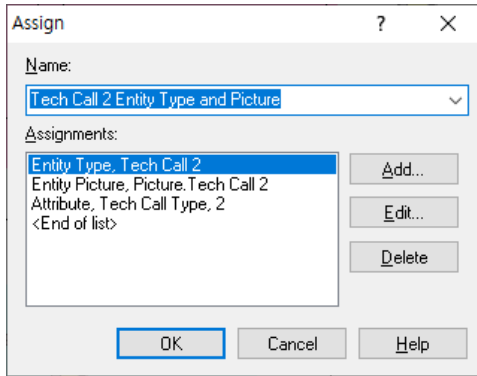
New Value: 1

OK Cancel Help



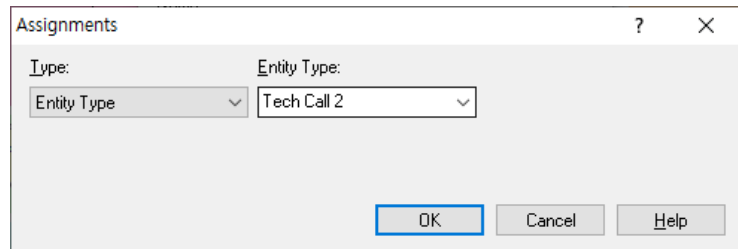
32

4. Assign

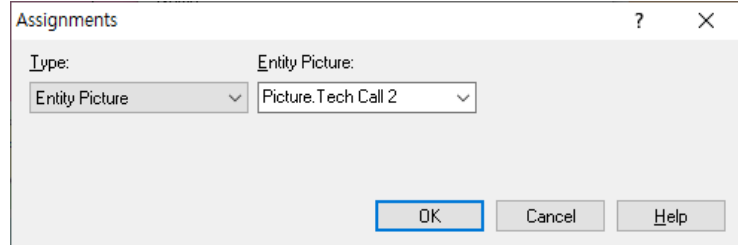


Assign dialog box showing configuration for 'Tech Call 2 Entity Type and Picture'. The 'Name' field is set to 'Tech Call 2 Entity Type and Picture'. The 'Assignments' list includes 'Entity Type, Tech Call 2', 'Entity Picture, Picture.Tech Call 2', and 'Attribute, Tech Call Type, 2'. Buttons for 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' are visible.

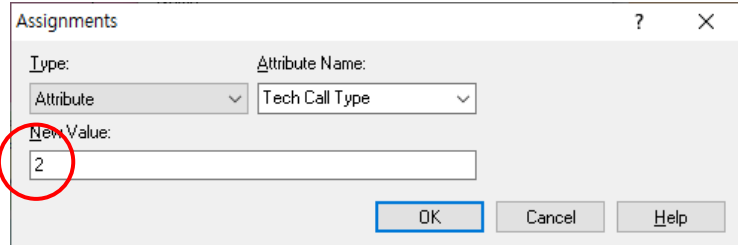
제품 2 기술지원 전화



Assignments dialog box for 'Tech Call 2'. The 'Type' is 'Entity Type' and the 'Entity Type' is 'Tech Call 2'. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.



Assignments dialog box for 'Tech Call 2'. The 'Type' is 'Entity Picture' and the 'Entity Picture' is 'Picture.Tech Call 2'. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

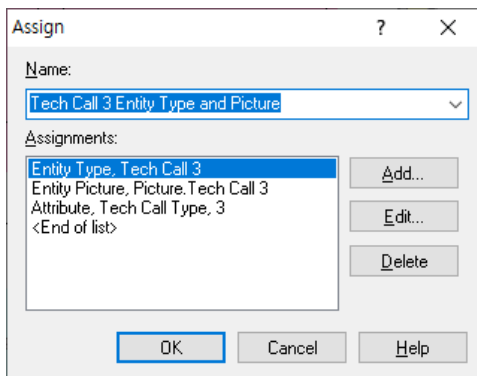


Assignments dialog box for 'Tech Call 2'. The 'Type' is 'Attribute' and the 'Attribute Name' is 'Tech Call Type'. The 'New Value' field contains the number '2', which is circled in red. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.



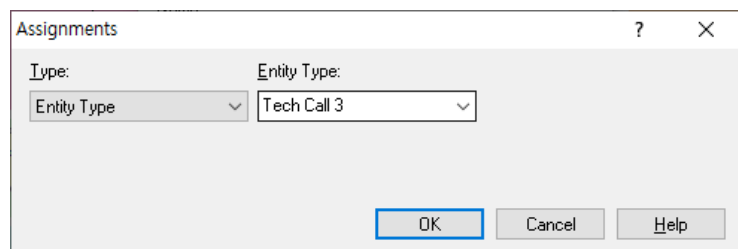
33

5. Assign

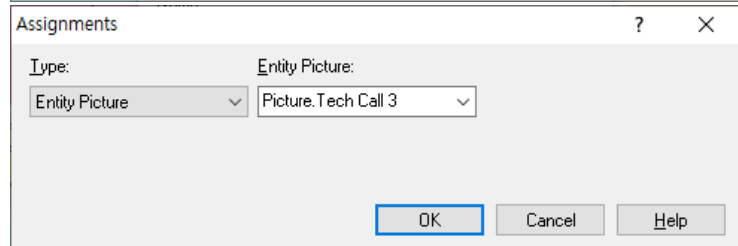


Assign dialog box showing configuration for 'Tech Call 3 Entity Type and Picture'. The 'Name' field is set to 'Tech Call 3 Entity Type and Picture'. The 'Assignments' list includes 'Entity Type, Tech Call 3', 'Entity Picture, Picture.Tech Call 3', and 'Attribute, Tech Call Type, 3'. Buttons for 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' are visible.

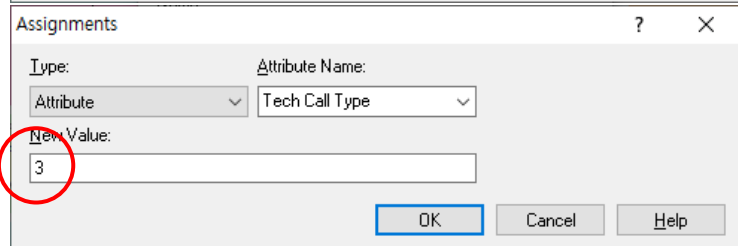
제품 3 기술지원 전화



Assignments dialog box for 'Tech Call 3'. The 'Type' is 'Entity Type' and the 'Entity Type' is 'Tech Call 3'. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.



Assignments dialog box for 'Tech Call 3'. The 'Type' is 'Entity Picture' and the 'Entity Picture' is 'Picture.Tech Call 3'. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.



Assignments dialog box for 'Tech Call 3'. The 'Type' is 'Attribute' and the 'Attribute Name' is 'Tech Call Type'. The 'New Value' field contains the number '3', which is circled in red. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.



34

6. Process

만일 추가 조사가 필요한 경우 어느 상담원이 그 콜을 상담했었는 지를 기억해 두기 위해 이용

제품1에 대한 기술지원 상담원 그룹

Process configuration window showing Name: Process Product Type 1 Tech Call, Type: Standard, Priority: Medium(2), and Resources: Set, Product 1, 1, Preferred Order, Tech Agent Index.

Resources configuration window showing Type: Set, Set Name: Product 1, Quantity: 1, and Save Attribute: Tech Agent Index.

1, 2, 3, 4, 5

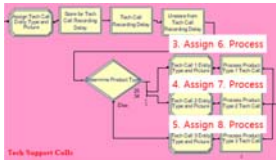
선호순서 규칙 : 집합 중 위의 멤버를 우선 사용

선호

불호

Members	
	Resource Name
1	Charity
2	Noah
3	Molly
4	Anna
5	Sammy

Double-click here to add a new row.



7. Process

제품2에 대한 기술지원 상담원 그룹

Process configuration window showing Name: Process Product Type 2 Tech Call, Type: Standard, Priority: Medium(2), and Resources: Set, Product 2, 1, Preferred Order, Tech Agent Index.

Resources configuration window showing Type: Set, Set Name: Product 2, Quantity: 1, and Save Attribute: Tech Agent Index.

Members	
	Resource Name
1	Tierney
2	Aidan
3	Emma
4	Anna
5	Sammy

Double-click here to add a new row.



8. Process

제품3에 대한 기술지원 상담원 그룹

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

Resources

Type:

Set Name: Quantity:

Selection Rule: Save Attribute:

Members

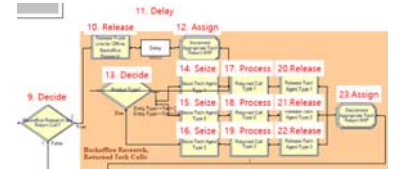
	Resource Name
1	Mya
2	Ian
3	Christie
4	Molly
5	Anna
6	Sammy

Double-click here to add a new row.



37

9. Decide



Decide

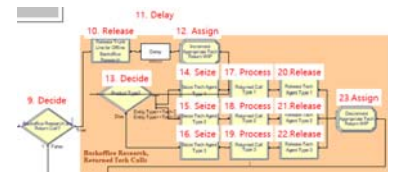
Name: Type:

Percent True (0-100): %

추가 조사가 필요한 기술지원 전화 : 4%

38

10. Release



Release

Name: Release Trunk Line for Offline Backoffice Research

Resources: Resource, Trunk Line, 1 <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Resources

Type: Resource

Resource Name: Trunk Line

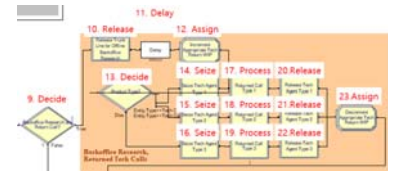
Quantity: 1

Buttons: OK, Cancel, Help

추가조사 전화 : 전화 회선 1개 반납

39

11. Delay - Blocks



Delay Block

Label: Offline Backoffice Research

Mark Attribute: [dropdown]

Next Label: [text]

Duration: EXP(60)

Storage ID: Backoffice Research Storage

Allocation: Other

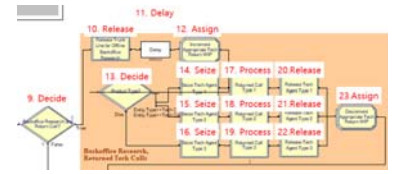
Comments: [text]

Buttons: OK, Cancel, Help

추가 조사가 필요한 시간 : 지수분포(60)분

40

12. Assign



Tech Return WIP(1) : 발신 통화가 필요한 제품 1 추가 조사 건수
 Tech Return WIP(2) : 발신 통화가 필요한 제품 2 추가 조사 건수
 Tech Return WIP(3) : 발신 통화가 필요한 제품 3 추가 조사 건수

Assign

Name:

Assignments:

- Variable Array (1D), Tech Return WIP, Tec
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Assignments

Type:	Variable Name:	Row:
Variable Array (1D)	Tech Return WIP	Tech Call Type 1, 2, 3

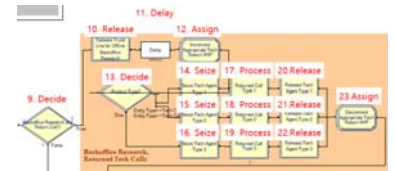
New Value:

Buttons: OK, Cancel, Help

추가조사 후 발신통화 필요 건수를 하나 증가시킴

41

13. Decide



Decide

Name:

Type:

Conditions:

- Entity Type, Tech Call 1
- Entity Type, Tech Call 2
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Conditions

If: Named:

Buttons: OK, Cancel, Help

Conditions

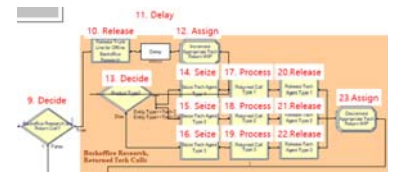
If: Named:

Buttons: OK, Cancel, Help

Entity Type을 기준으로
 추가 조사 제품 종류 1, 2, 3에 따라 분기

42

14. Seize



Seize dialog box. Fields include Name (Seize Tech Agent Type 1), Allocation (Other), Priority (High(1)), Resources (Set, Product 1, 1, Specific Member, Tech Agent Index), Queue Type (Queue), and Queue Name (Seize Tech Agent Type 1.).

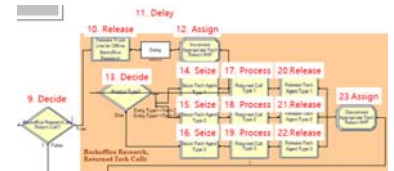
추가 조사 통보를 위한 발신통화가 수신통화보다 높은 우선순위를 가짐

Resources dialog box. Fields include Type (Set), Set Name (Product 1), Quantity (1), Selection Rule (Specific Member), and Set Index (Tech Agent Index).

제품1에 대한 기술지원 상담원 그룹

추가 조사 통보를 위한 발신통화는 최초 상담을 처리했던 상담원에게 배정됨

15. Seize

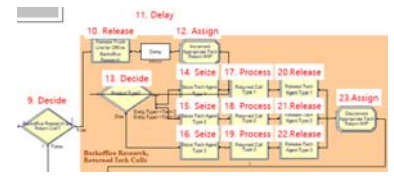


Seize dialog box. Fields include Name (Seize Tech Agent Type 2), Allocation (Other), Priority (High(1)), Resources (Set, Product 2, 1, Specific Member, Tech Agent Index), Queue Type (Queue), and Queue Name (Seize Tech Agent Type 2.).

Resources dialog box. Fields include Type (Set), Set Name (Product 2), Quantity (1), Selection Rule (Specific Member), and Set Index (Tech Agent Index).

제품2에 대한 기술지원 상담원 그룹

16. Seize



Seize

Name: Seize Tech Agent Type 3 Allocation: Other Priority: High(1)

Resources: Set, Product 3.1, Specific Member, Tech Agent Index, <End of list>

Queue Type: Queue Queue Name: Seize Tech Agent Type 3.(

OK Cancel Help

Resources

Type: Set

Set Name: Product 3 Quantity: 1

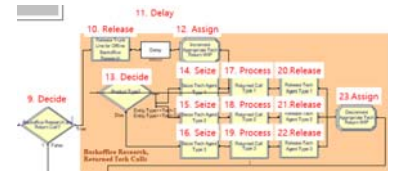
Selection Rule: Specific Member Set Index: Tech Agent Index

Resource State:

OK Cancel Help

제품3에 대한 기술지원 상담원 그룹

17. Process



Process

Name: Returned Call Type 1 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: High(1)

Resources: Resource, Trunk Line, 1 <End of list>

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: Returned Tech Time

Report Statistics

OK Cancel Help

발신통화를 위한 전화 회선 확보

Resources

Type: Resource

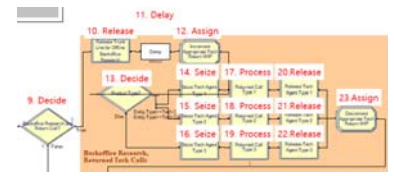
Resource Name: Trunk Line Quantity: 1

OK Cancel Help

Expression Values

TRIA(2, 4, 9)

18. Process



Process

Name: Returned Call Type 2 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: High(1)

Resources:

Resource, Trunk Line, 1
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: Returned Tech Time

Report Statistics

OK Cancel Help

발신통화를 위한 전화 회선 확보

Resources

Type: Resource

Resource Name: Trunk Line Quantity: 1

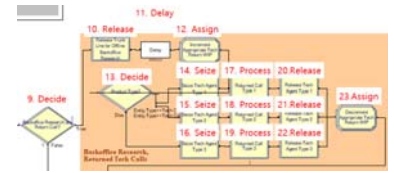
OK Cancel Help

Expression Values

TRIA(2, 4, 9)

47

19. Process



Process

Name: Returned Call Type 3 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: High(1)

Resources:

Resource, Trunk Line, 1
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: Returned Tech Time

Report Statistics

OK Cancel Help

발신통화를 위한 전화 회선 확보

Resources

Type: Resource

Resource Name: Trunk Line Quantity: 1

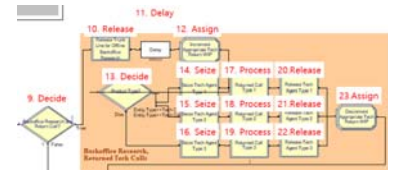
OK Cancel Help

Expression Values

TRIA(2, 4, 9)

48

20. Release

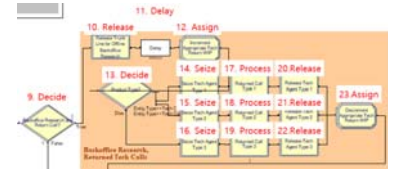


제품1에 대한 기술지원 상담원 그룹

추가 조사 통보를 했던 발신통화 상담원 사용 해제

49

21. Release

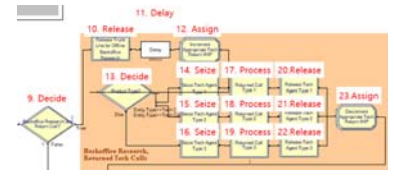


제품2에 대한 기술지원 상담원 그룹

추가 조사 통보를 했던 발신통화 상담원 사용 해제

50

22. Release

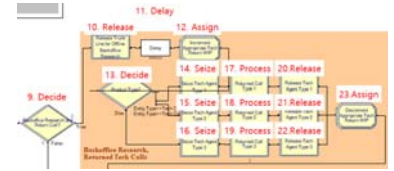


제품3에 대한 기술지원 상담원 그룹

추가 조사 통보를 했던 발신통화 상담원 사용 해제

51

23. Assign

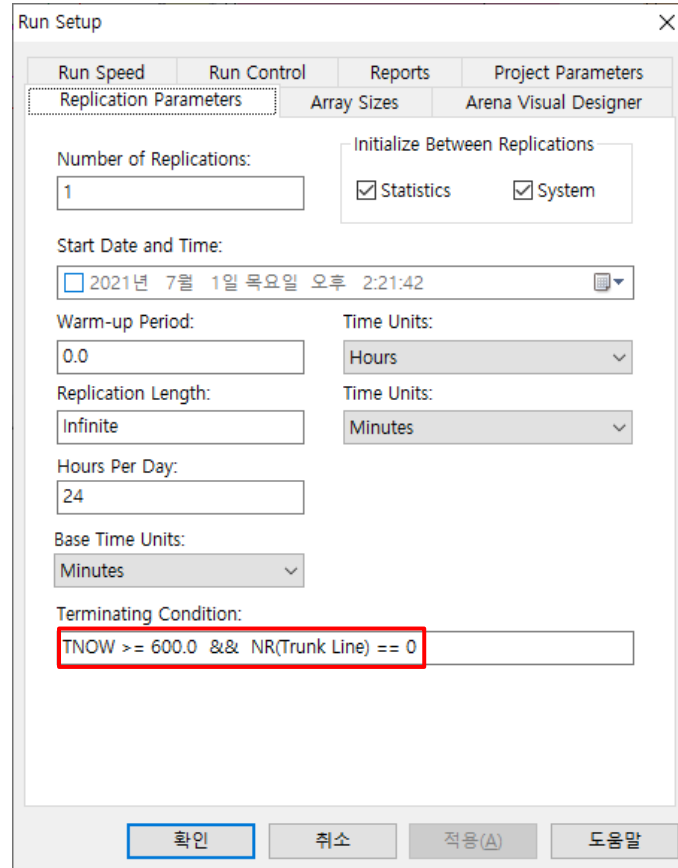


Tech Return WIP(1) : 발신 통화가 필요한 제품 1 추가 조사 건수
 Tech Return WIP(2) : 발신 통화가 필요한 제품 2 추가 조사 건수
 Tech Return WIP(3) : 발신 통화가 필요한 제품 3 추가 조사 건수

추가조사 후 발신통화 필요 건수를 하나 감소시킴

52

Run -Setup



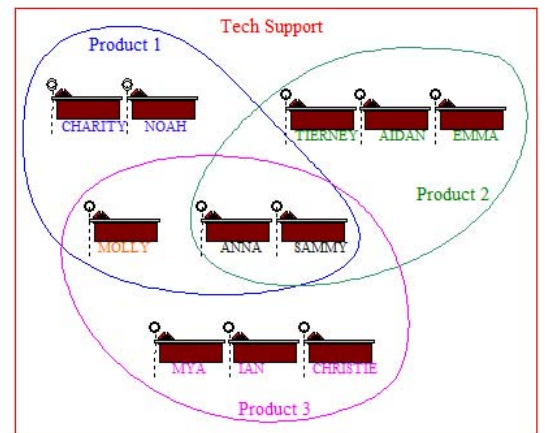
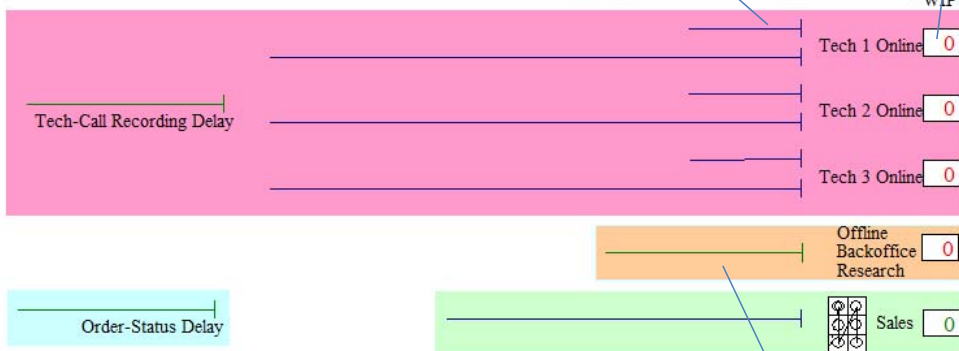
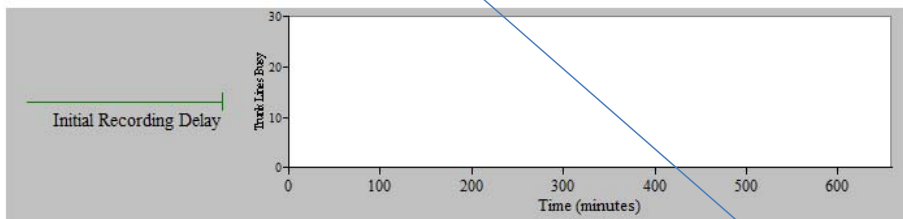
53

Animation

서비스를 기다리는 발신 통화 대기열

Model 5-2
Call Center, Version 2

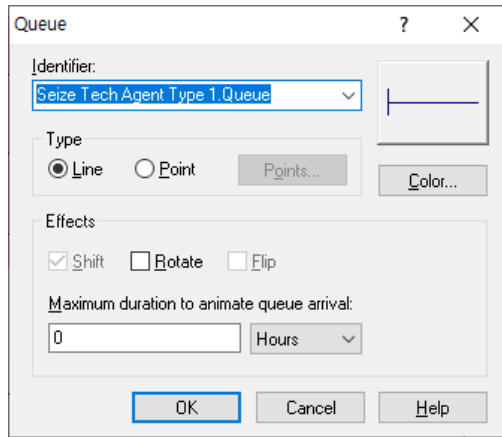
수신 상담전화 통화수 + 추가조사 후 발신 상담전화 통화수
Process Product Type 1 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(1)



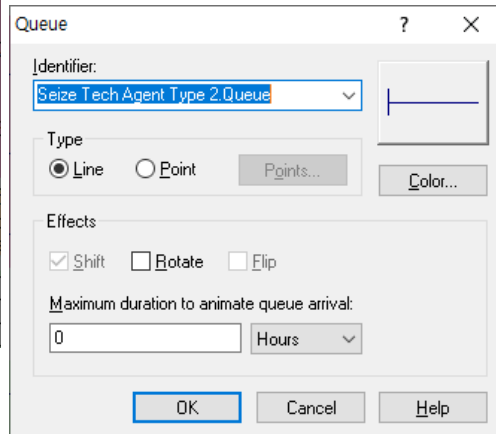
추가조사 중인 기술지원 상담 건
NSTO(Backoffice Research Storage)

54

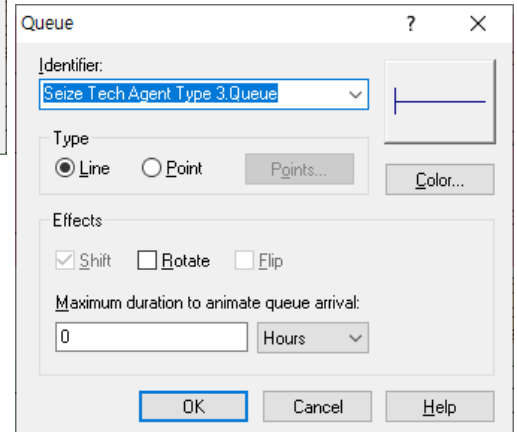
제품 1



제품 2

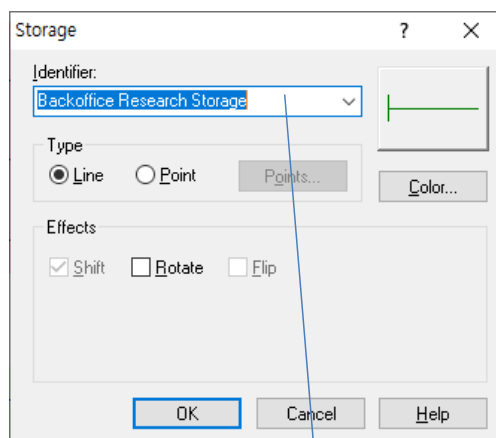


제품 3



Animation - Storage

추가조사 중인 기술지원 상담 건 저장소



추가 조사 중인 기술지원 상담 건
NSTO(Backoffice Research Storage)

Animation - Variable

수신 상담전화 통화수 +
추가조사 후 발신 상담전화 통화수

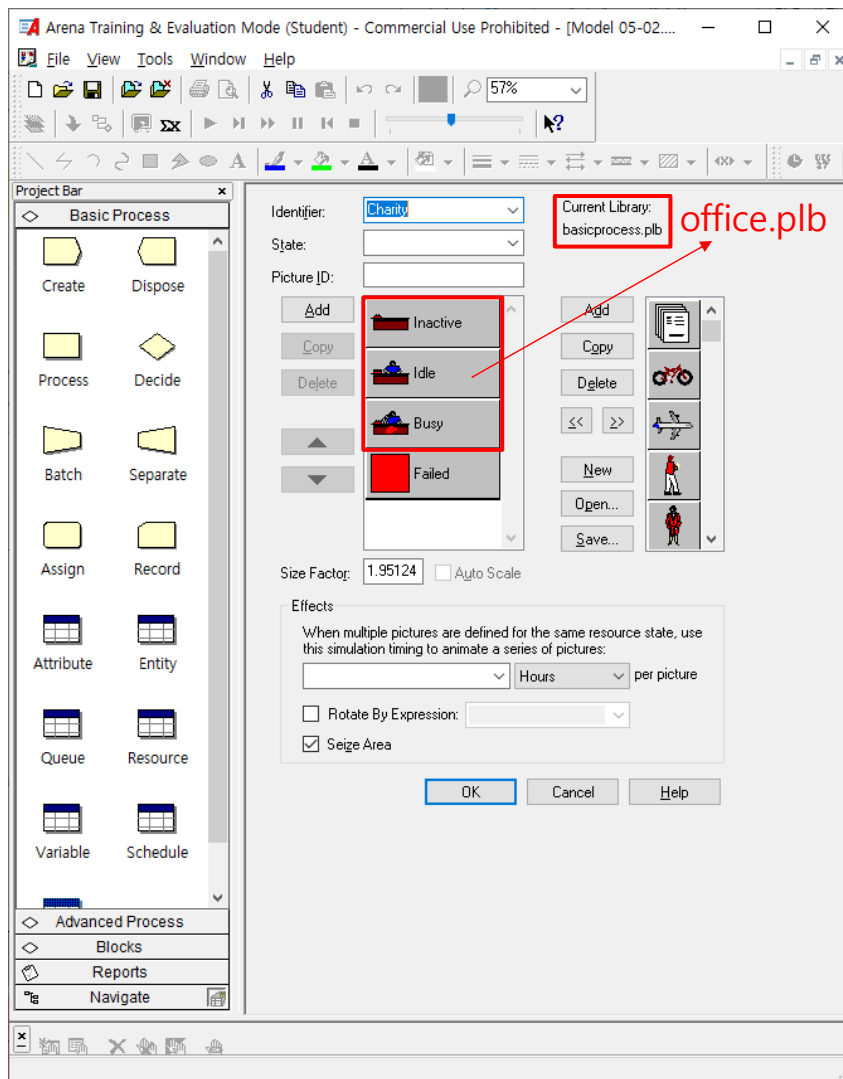
57

Animation - Variable

추가 조사 중인 기술지원 상담 건
NSTO(Backoffice Research Storage)

58

Animation



Output

Model 5-2
Call Center, Version 2

Adobe Acrobat Document

Trunk Line Busy

Time (minutes)

Initial Recording Delay

Order-Status Delay

Tech-Call Recording Delay

Offline Backoffice Research

Sales

WIP

Tech 1 Online 0

Tech 2 Online 0

Tech 3 Online 0

Offline Backoffice Research 1

Sales 0

Tech Support

Product 1: CHARITY, NOAH

Product 2: MOLLY, ANNA, SAMMY

Product 3: MYA, IAN, CHRISTIE

Tierney, Aidan, Emma

추가 조사 중인 기술지원 상담 건 : 미처리 1건

Terminating Condition:
 $TNOW \geq 600.0 \ \&\& \ NR(Trunk \ Line) == 0$

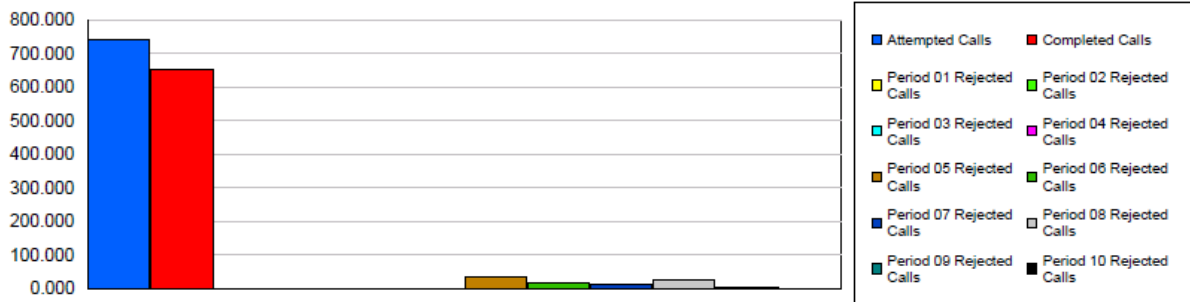
Output

Counter

Count	Value
Attempted Calls	740.00
Completed Calls	652.00
Period 01 Rejected Calls	0.00
Period 02 Rejected Calls	0.00
Period 03 Rejected Calls	0.00
Period 04 Rejected Calls	0.00
Period 05 Rejected Calls	33.0000
Period 06 Rejected Calls	17.0000
Period 07 Rejected Calls	11.0000
Period 08 Rejected Calls	24.0000
Period 09 Rejected Calls	2.0000
Period 10 Rejected Calls	0.00

$$740 - 652 = 33 + 17 + 11 + 24 + 2 + 1$$

추가 조사 중인 기술지원 상담 건 : 미처리 1건



61

Output

추가 조사 중인 기술지원 상담 건
NSTO(Backoffice Research Storage)

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Backoffice Research WIP	1.9143	(Insufficient)	0.00	6.0000
Tech 1 Total Online WIP Stat	2.2794	(Insufficient)	0.00	10.0000
Tech 2 Total Online WIP Stat	4.7040	(Correlated)	0.00	13.0000
Tech 3 Total Online WIP Stat	4.6422	(Correlated)	0.00	12.0000

수신 상담전화 통화수 + 추가조사 후 발신 상담전화 통화수

Expression Values x

Process Product Type 1 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(1)	

Expression Values x

Process Product Type 2 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(2)	

Expression Values x

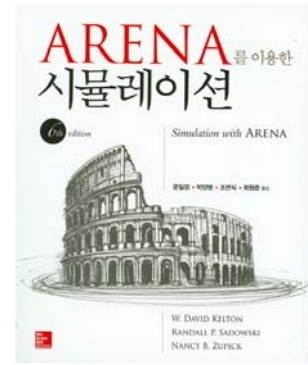
Process Product Type 3 Tech Call.WIP + Tech Return WIP(3)	

62

따라하기

Model 5-2.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 5-3

(Model 5-2 수정)

Model 5-3: 콜센터

- 전체적인 **운영비 척도 개발**
 - 두개의 비용 범주 – 인력배치/자원비용, 나쁜(오래 기다리게 하는) 고객 서비스로 인한 비용
- 서비스 품질에 대한 척도 개발, 거절된 통화 비율 %
- 인력배치를 늘리는 선택사항 추가, 자원(전화회선)을 늘리는 선택사항 추가
- 5번의 반복실험, 주간 비용을 중심으로

3

Model 5-3: 콜센터

- Resource 데이터 모듈 – 상담원에 대한 시간당 임금
 - \$20/hr. 판매 상담원 임금
 - \$18/hr. ~ \$22/hr. 숙련도에 따른 기술지원 상담원 임금
 - 근무 중이든 유틸 중이든 관계없이 임금 지급
 - 판매 상담원
 - 45시간/일 X 20달러/시간 X 5일/주 = 4,500달러/주
 - 기술지원 상담원
 - 8명 X (8시간/일)/명 X 18달러/시간 X 5일/주 = 5,760달러/주
 - 1명 X (8시간/일)/명 X 20달러/시간 X 5일/주 = 800달러/주
 - 2명 X (8시간/일)/명 X 22달러/시간 X 5일/주 = 1,760달러/주
 - 현 상담원에 대한 주간 초기자원비용 : \$12,820/주 (=4,500달러/주 + 5,760달러/주 + 800달러/주 + 1,760달러/주)

4

Model 5-3: 콜센터

- 정오부터 오후 4시까지 판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림 → 하루 4시간만 근무
 - **Variable New Sales** = 새롭게 추가된 판매 상담원 수
 - 추가 상담원당 \$17/hr., 4 hrs./day, 5 days/week → \$340/week
 - Schedule 데이터 모듈에서 **capacity**를 **New Sales** 만큼 증가시킴
 - **Sales** 상담원은 이미 Resource 데이터 모듈에 존재
 - **Variable New Tech 1, 2, 3, and New Tech All** = 새롭게 추가된 기술 지원 상담원수
 - \$16/hr. 한가지 제품 종류만 상담할 수 있는 직원(Larry(1), Moe(2), Curly(3)), \$18/hr. 모든 제품 종류를 상담할 수 있는 직원(Hermann)
 - \$320/week 단일 상품 상담원, \$360/week 모든 종류 상품 상담원
 - Resource 데이터 모듈에 새로운 상담원 추가 : Larry, Moe, Curly, Hermann
 - Schedule 데이터 모듈에 새로운 상담원 capacity 추가(New Tech 1, 2, 3, and New Tech All)

5

Model 5-3: 콜센터

- **전화회선을 26개 이상으로 증가 시킴**
 - 추가된 전화회선당 \$98/week
- **Expression 정의 New Res Cost : 추가 자원 비용**
New Sales*340
+ (New Tech 1 + New Tech 2 + New Tech 3)*320
+ New Tech All*360
+ 98*MR(Trunk Line)
 - 이 비용은 시뮬레이션 결과와 관계없이 **입력 값에 의해서 결정됨**

6

Model 5-3: 콜센터

- **고객이 한계시간을 넘게 기다리면 화가 나고, 이에 상응하는 비용이 발생 - 고객 분노 비용**
 - 한계 시간 : 기술지원 상담에 대해 3분, 판매 상담에 대해 1분, 주문상태 문의 상담에 대해 2분
 - 한계시간을 넘으면, 분당 다음의 비용이 발생
기술지원 상담 \$0.368, 판매 상담 \$0.818, 주문상태 문의 상담 \$0.346
 - 3개의 새로운 Assign 모듈을 이용하여 누적 통계치 산출
 - **Excess Wait Time : MAX(ENTITY.WAITTIME - 3, 0)**
 - 종료 시점에, 일간 누적 초과대기시간 Excess Wait Times에 "5 X 분당 비용"을 곱하여 고객이 화가 나서 발생하는 **주간 비용을 산출**
 - $5 \times \$0.368 = \1.84 for tech, per week
 - $5 \times \$0.818 = \4.09 for sales, per week
 - $5 \times \$0.346 = \1.73 for order-status, per week

7

Model 5-3: 콜센터

- **Statistic 데이터 모듈, Total Cost**
 - Type = Output, 반복실험 종료 시마다 산출
 - New Res Cost** → 추가 자원 비용
 - + **Excess Sales Wait Time * 4.09** → 판매상담 고객 분노 비용
 - + **Excess Status Wait Time * 1.73** → 주문상태 문의 고객 분노 비용
 - + **Excess Tech Wait Time * 1.84** → 기술지원 고객 분노 비용
 - + **12820** → 초기 자원 비용
- **Statistic 데이터 모듈, Percent Rejected**
 - 카운터 **Total Rejected Calls** 거절된 고객 상담 수 산출
 - Type = Output
 - 100 * NC(Total Rejected Calls) / NC(Attempted Calls)**
 - "거절된 고객 상담 수 / 전체 시도된 고객 상담 수"의 비율

8

Resource

시간당 임금 정보 (\$)

Resource - Basic Process											
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Sales	Based on Schedule	Sales Schedule	Sales Schedule	Wait	20	20	0.0		0 rows	✓
2	Trunk Line	Fixed Capacity	26	26	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	✓
3	Charity	Based on Schedule	Charity Schedule	Charity Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
4	Noah	Based on Schedule	Noah Schedule	Noah Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
5	Molly	Based on Schedule	Molly Schedule	Molly Schedule	Ignore	20	20	0.0		0 rows	✓
6	Anna	Based on Schedule	Anna Schedule	Anna Schedule	Ignore	22	22	0.0		0 rows	✓
7	Sammy	Based on Schedule	Sammy Schedule	Sammy Schedule	Ignore	22	22	0.0		0 rows	✓
8	Tierney	Based on Schedule	Tierney Schedule	Tierney Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
9	Aidan	Based on Schedule	Aidan Schedule	Aidan Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
10	Emma	Based on Schedule	Emma Schedule	Emma Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
11	Mya	Based on Schedule	Mya Schedule	Mya Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
12	Ian	Based on Schedule	Ian Schedule	Ian Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
13	Christie	Based on Schedule	Christie Schedule	Christie Schedule	Ignore	18	18	0.0		0 rows	✓
14	Larry	Based on Schedule	Larry Schedule	Larry Schedule	Wait	16	16	0.0		0 rows	✓
15	Moe	Based on Schedule	Moe Schedule	Moe Schedule	Wait	16	16	0.0		0 rows	✓
16	Curly	Based on Schedule	Curly Schedule	Curly Schedule	Wait	16	16	0.0		0 rows	✓
17	Hermann	Based on Schedule	Hermann Schedule	Hermann Schedule	Wait	18	18	0.0		0 rows	✓

새로
추가된 상담원

- 새롭게 추가되는 제품 1 기술지원 상담원을 대표하는 명칭
- 새롭게 추가되는 제품 2 기술지원 상담원을 대표하는 명칭
- 새롭게 추가되는 제품 3 기술지원 상담원을 대표하는 명칭
- 새롭게 추가되는 모든 제품 상담이 가능한 기술지원 상담원을 대표하는 명칭

Set

Set - Basic Process			
	Name	Type	Members
1	Product 1	Resource	7 rows
2	Product 2	Resource	7 rows
3	Product 3	Resource	8 rows
4	Rejected Calls	Counter	10 rows

Model 5-2와 동일

Members	
	Counter Name
1	Period 01 Rejected Calls
2	Period 02 Rejected Calls
3	Period 03 Rejected Calls
4	Period 04 Rejected Calls
5	Period 05 Rejected Calls
6	Period 06 Rejected Calls
7	Period 07 Rejected Calls
8	Period 08 Rejected Calls
9	Period 09 Rejected Calls
10	Period 10 Rejected Calls

Members	
	Resource Name
1	Charity
2	Noah
3	Larry
4	Molly
5	Anna
6	Sammy
7	Hermann

제품 1 기술지원 상담원

모든 제품 기술지원 상담원

Members	
	Resource Name
1	Tierney
2	Aidan
3	Emma
4	Moe
5	Anna
6	Sammy
7	Hermann

제품 2 기술지원 상담원

모든 제품 기술지원 상담원

Members	
	Resource Name
1	Mya
2	Ian
3	Christie
4	Curly
5	Molly
6	Anna
7	Sammy
8	Hermann

제품 3 기술지원 상담원

모든 제품 기술지원 상담원

Variable

- 판매상담 한계시간 초과 대기시간
- 주문상태 문의 한계시간 초과 대기시간
- 기술지원 한계시간 초과 대기시간
- 새롭게 추가된 제품 1 기술지원 상담원 수
- 새롭게 추가된 제품 2 기술지원 상담원 수
- 새롭게 추가된 제품 3 기술지원 상담원 수
- 새롭게 추가된 모든 제품 기술지원 상담원 수
- 새롭게 추가된 판매 상담원 수

Variable - Basic Process								
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1 ▶	Tech Return WIP	3		Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Excess Sales Wait Time			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
3	Excess Status Wait Time			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
4	Excess Tech Wait Time			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
5	New Tech 1 0 or More			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
6	New Tech 2 0 or More			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
7	New Tech 3 0 or More			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
8	New Tech All 0 or More			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>
9	New Sales 0 or More			Real	System		1 rows	<input type="checkbox"/>

새로 추가된 변수

초기 값 = 모두 0

Schedule

정오부터 오후 4시까지
판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13 ▶	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	12 rows
14	Larry Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
15	Moe Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
16	Curly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
17	Hermann Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

Durations		
	Value	Duration
1	1	2
2	3	2
3	4	3
4	5	1
5	5 + New Sales	1
6	6 + New Sales	2
7	5 + New Sales	3
8	6 + New Sales	2
9	6	1
10	5	1
11	3	2
12	2	2

30분 단위

정오부터
오후 4시까지

새롭게 추가된 판매 상담원 수

Schedule

정오부터 오후 4시까지
판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	12 rows
14▶	Larry Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
15	Moe Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
16	Curly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
17	Hermann Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

30분 단위

	Value	Duration
1	0	8
2	New Tech 1	8
3	0	6

정오부터 오후 4시까지

Double-click here to add a new row.

새롭게 추가된 제품 1 기술지원 상담원 수

13

Schedule

정오부터 오후 4시까지
판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	12 rows
14	Larry Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
15▶	Moe Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
16	Curly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
17	Hermann Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

30분 단위

	Value	Duration
1	0	8
2	New Tech 2	8
3	0	6

정오부터 오후 4시까지

Double-click here to add a new row.

새롭게 추가된 제품 2 기술지원 상담원 수

14

Schedule

정오부터 오후 4시까지
판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	12 rows
14	Larry Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
15	Moe Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
16	Curly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
17	Hermann Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

Durations 30분 단위

	Value	Duration
1	0	8
2	New Tech 3	8
3	0	6

정오부터 오후 4시까지

Double-click here to add a new row.

새롭게 추가된 제품 3 기술지원 상담원 수

15

Schedule

정오부터 오후 4시까지
판매 및 기술지원 상담원 수를 늘림

Schedule - Basic Process					
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Charity Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
2	Noah Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
3	Molly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
4	Anna Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
5	Sammy Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
6	Tierney Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
7	Aidan Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
8	Emma Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
9	Mya Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
10	Ian Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	4 rows
11	Christie Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	5 rows
12	Arrival Schedule	Arrival	Halfhours	1.0	20 rows
13	Sales Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	12 rows
14	Larry Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
15	Moe Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
16	Curly Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows
17	Hermann Schedule	Capacity	Halfhours	1.0	3 rows

Durations 30분 단위

	Value	Duration
1	0	8
2	New Tech All	8
3	0	6

정오부터 오후 4시까지

Double-click here to add a new row.

새롭게 추가된 모든 제품 기술지원이
가능한 상담원 수

16

Expression

Expression - Advanced Process

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Returned Tech Time			Native		1 rows
2	Tech Time			Native		1 rows
3	Tech 1 Total Online WIP			Native		1 rows
4	Tech 2 Total Online WIP			Native		1 rows
5	Tech 3 Total Online WIP			Native		1 rows
6 ▶	New Res Cost			Native		1 rows

Double-click here to add a new row.

Expression Values

	Expression Value
1	New Sales*340 + (New Tech 1 + New Tech 2 + New Tech 3)*320 + New Tech All*360 + 98*MR(Trunk Line)

Double-click here to add a new row.

추가 배치된 인력 및 추가 설치된 전화회선 비용

Statistics

Statistic - Advanced Process

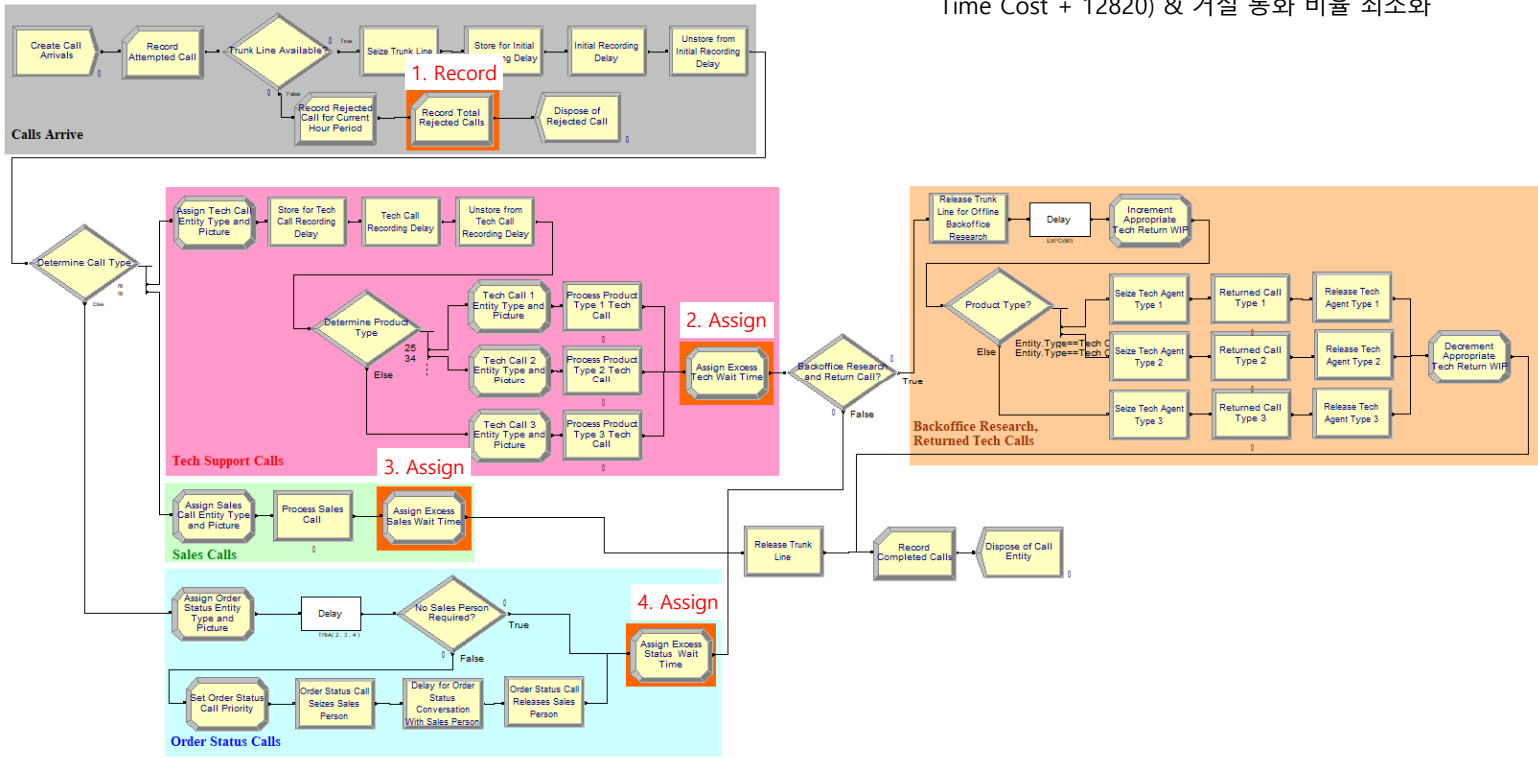
	Name	Type	Counter Name	Limit	Expression	Collection Period	Initialization ...	Counter O...	Report Label	Output File
1 ▶	Period 01	Counter	Period 01 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 01	
2	Period 02	Counter	Period 02 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 02	
3	Period 03	Counter	Period 03 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 03	
4	Period 04	Counter	Period 04 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 04	
5	Period 05	Counter	Period 05 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 05	
6	Period 06	Counter	Period 06 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 06	
7	Period 07	Counter	Period 07 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 07	
8	Period 08	Counter	Period 08 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 08	
9	Period 09	Counter	Period 09 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 09	
10	Period 10	Counter	Period 10 Rejected Calls			Entire Replication	Replicate		Period 10	
11	Backoffice Research WIP	Time-Persistent	Counter 22		NSTO(Backoffice Research Storage)	Entire Replication	Replicate		Backoffice Research WIP	
12	Tech 1 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 23		Tech 1 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 1 Total Online WIP Stat	
13	Tech 2 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 24		Tech 2 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 2 Total Online WIP Stat	
14	Tech 3 Total Online WIP Stat	Time-Persistent	Counter 25		Tech 3 Total Online WIP	Entire Replication	Replicate		Tech 3 Total Online WIP Stat	
15	Total Cost	Output	Counter 33		New Res Cost + Excess Sales Wait Time*4.09 + Excess Status Wait Time*1.73 + Excess Tech Wait Time*1.84 + 12820	Entire Replication	Replicate		Total Cost	
16	Percent Rejected	Output	Counter 26		100 * NC(Total Rejected Calls) / NC(Attempted Calls)	Entire Replication	Replicate		Percent Rejected	

$$\text{New Res Cost} + \text{Excess Sales Wait Time} \times 4.09 + \text{Excess Status Wait Time} \times 1.73 + \text{Excess Tech Wait Time} \times 1.84 + 12820$$
→ 추가 자원 비용 + 고객 분노 비용 + 초기 자원 비용

$$100 * \text{NC(Total Rejected Calls)} / \text{NC(Attempted Calls)}$$
→ 거절 통화 비율

[변경사항]

1. 의사결정 변수 : New Sales, New Tech 1, New Tech 2, New Tech 3, New Tech All, Trunk Line
2. 목적함수 : (Total Cost = New Res Cost + Wait Time Cost + 12820) & 거절 통화 비율 최소화



1. Record

Record

Name: Record Total Rejected Calls Type: Count

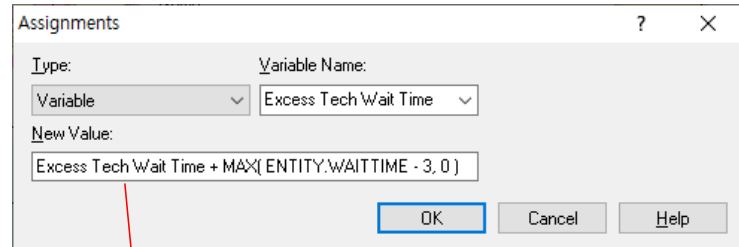
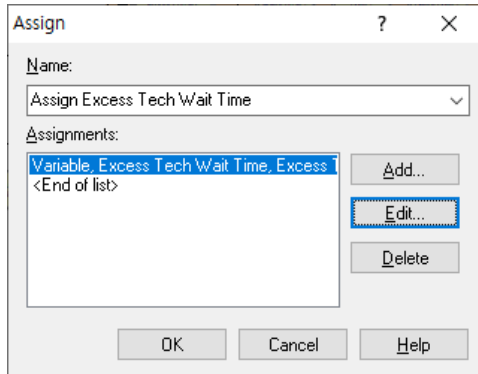
Value: 1 Record into Set

Counter Name: Total Rejected Calls

OK
Cancel
Help

전화회선이 모자라서 거절된 상담 통화 수

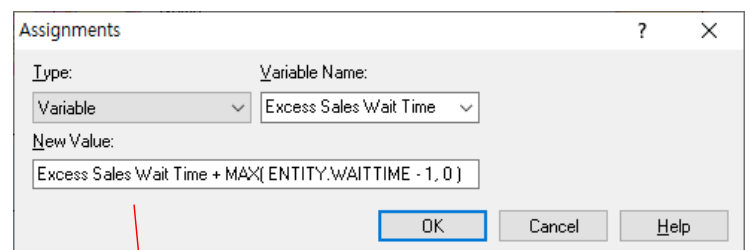
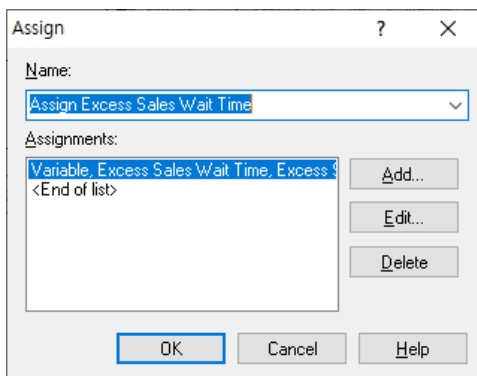
2. Assign



기술지원 상담 고객이 한계 대기시간(3분)을 넘게 기다려서 분노를 느꼈던 시간 누적 → 비용 발생

21

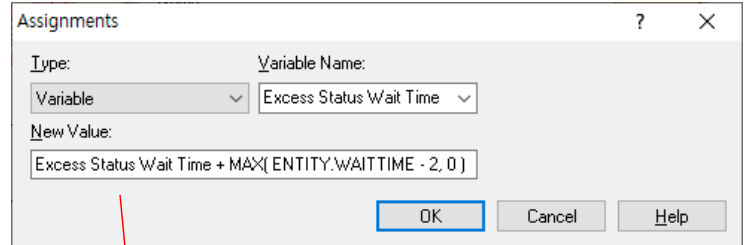
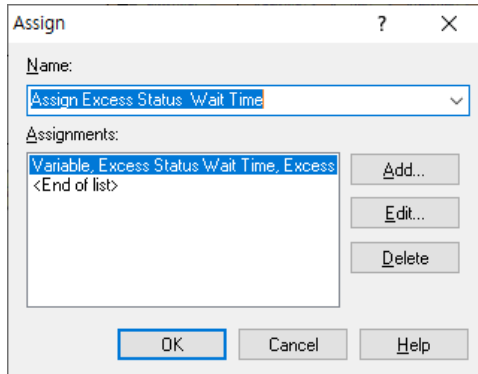
3. Assign



판매 상담 고객이 한계 대기시간(1분)을 넘게 기다려서 분노를 느꼈던 시간 누적 → 비용 발생

22

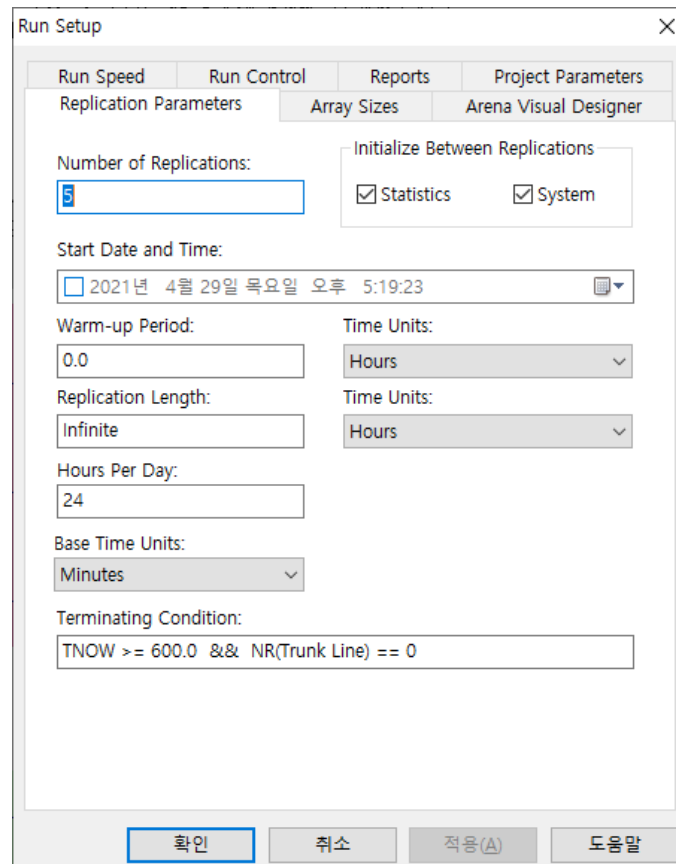
4. Assign



주문상태 문의 상담 고객이 한계 대기시간(2분)을 넘게 기다려서 분노를 느꼈던 시간 누적 → 비용 발생

23

Run Setup



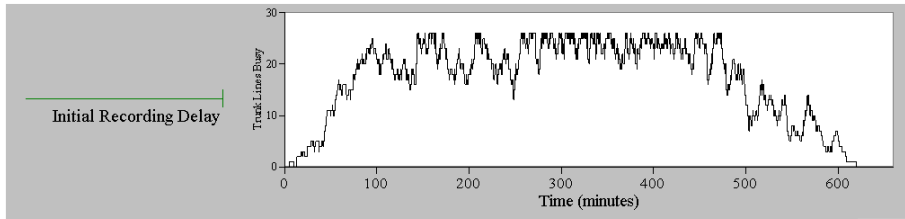
24

Output

Model 5-3 Call Center, Version 3



Adobe Acrobat Document



WIP

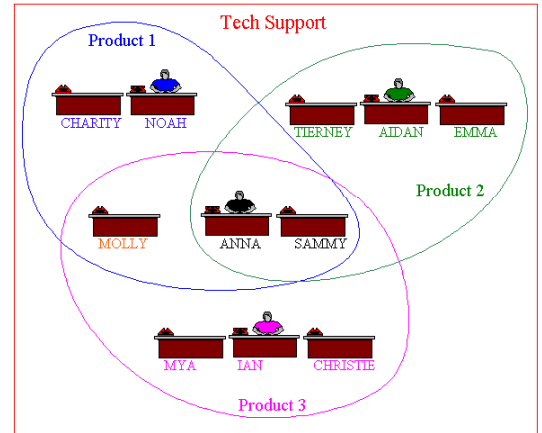
Tech 1 Online

Tech 2 Online

Tech 3 Online

Offline Backoffice Research

Sales



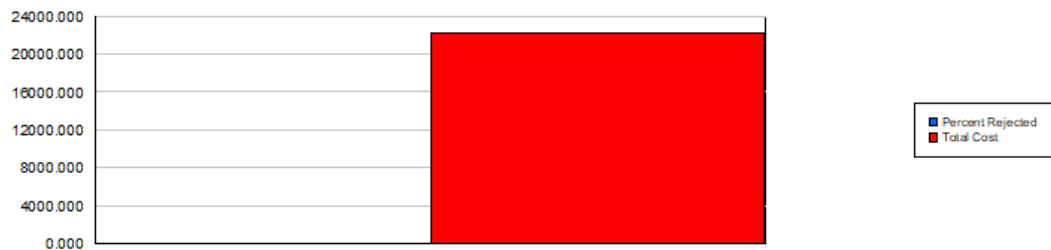
Output

New Tech 1, 2, 3, New Tech All, and New Sales = 0 인 경우

User Specified

Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Percent Rejected	11.9606	1.39	10.4558	13.5546
Total Cost	22242.55	1,439.47	20612.12	23837.38



Model 5-3: 콜센터

- 다섯번의 반복 실험 결과

- 기본안 : 추가 상담원 없음, 26개의 전화 회선

총비용 = \$22,500.07

5번 반복 실험 결과

거절 비율 = 12.9%

- 개선안 : 모든 종류의 상담원을 3명씩 증원, 3개의 전화회선 추가 → 추가자원비용 증가 & 고객분노비용, 거절비율 감소

총비용 = \$22,668.69

개선안이 더 좋은가?

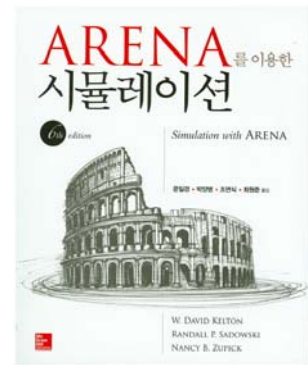
거절 비율 = 1.6%

27

따라하기

Model 5-3.mp4

00	시뮬레이션 강의소개
01	시뮬레이션이란 무엇인가?
02	시뮬레이션의 기본 개념
03	시뮬레이션의 기본 개념 : 수작업으로 진행되는 사건 지향 시뮬레이션
04	시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - News Vendor 문제 시뮬레이션의 기본 개념 : 스프레드시트를 사용한 시뮬레이션 - M/U/1 Queue 문제
05	ARENA 길라잡이 : 모델 3-1(A simple processing system) 작성 실습
06	ARENA 길라잡이 : 모델 3-2(직렬처리), 3-3(병렬처리), 모델 3-4(직렬처리, 상수작업시간), 3-5(병렬처리, 상수작업시간) 작성 실습
07	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-1(An electronic assembly and test system) 작성 실습
08	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-2(근무일정, 고장, 도수통계), 모델 4.3(애니메이션 강화) 작성 실습
09	기본 공정의 모델링과 입력 : 모델 4-4(수송) 작성 실습
10	세부 모델링 : 모델 5-1 (Call center) 시뮬레이션 작성 실습
11	세부 모델링 : 모델 5-2 (확장 Call center : 시간에 따라 변하는 도착률, 개인별 근무 스케줄 반영) 시뮬레이션 작성 실습
12	세부 모델링 : 모델 5-3 (확장 Call center : 다양한 성과지표 반영) 시뮬레이션 작성 실습
13	세부 모델링 : 모델 5-4 ((s, S) Inventory system with backloging) 시뮬레이션 작성 실습 & OptQuest를 활용한 최적화



Model 5-4

(재고관리 모형)

Model 5-4: (s, S) 재고관리

- **고객 도착시간 간격 ~ EXPO(0.1)일**
 - 하루 평균 10명의 고객이 도착, 첫번째 도착은 0에 발생하지 않고 첫번째 도착시간 간격 후에 발생
- **고객의 수요는 이산형 확률 변수**
 - 고객은 각각 다음의 확률로 1, 2, 3, 4개의 기계장치를 구입
0.167, 0.333, 0.333, 0.167
- **$I(t)$: 시점 t 에서의 재고수준**
 - 충분한 재고가 있다면, 고객은 제품을 구입하고 상점을 떠날 것이다.
 - 만약, 고객이 구입하고자 하는 수량이 준비되어 있지 못하면, 부족한 수량은 **부재고(Backlog, $I(t)$ 는 음수)**가 되며, 재고가 보충된 이후 부족했던 제품을 받아 간다.
 - 이때, $I(t)$ 가 이미 음수였다면, 음수 값은 점점 더 커지게 된다.

3

Model 5-4: (s, S) 재고관리

- **매일 아침 재고수준을 파악하여 부족 시 제품 주문**
 - 시간 0, 1, 2, ..., 119일 아침에 주문, 총 120번 (120일 동안 실험)
- **(s, S) 재고관리**
 - 만약 $I(t) \geq s$, 아무 것도 하지 않음
 - 만약 $I(t) < s$, $S - I(t)$ 만큼의 제품을 주문 (S 까지 주문)
 - 두개의 정책 변수 값을 결정해야 함 $s = 20, S = 40$ ($s < S$)
 - 주문은 **지연시간(Lead Time)** 이후에 도착 ~ **UNIF(0.5, 1.0)일**
 - 지연기간 동안 수요가 발생하기 때문에, 실제 주문한 제품이 도착한 시점의 재고수준은 S 가 아님

4

Model 5-4: (s, S) 재고관리

• 일간 평균 주문 비용

- 주문 시마다 고정비용 \$32 발생, 주문 제품의 수에 따라 개당 \$3 추가 발생
- 주문이 발생하지 않으면, 주문비용은 발생하지 않음
- 시뮬레이션 종료 시점에 총 주문 비용을 120일로 나눠 평균 비용을 산출

• 일간 평균 재고유지 비용

- $I(t) > 0$ 인 경우에 발생, 재고 1개당 \$1 발생
- Average holding cost = $\int_0^{120} 1 \times \max(I(t), 0) dt / 120$

• 일간 평균 품절 비용

- $I(t) < 0$ 인 경우에 발생, 부재고 1개당 \$5 발생
- Average shortage cost = $\int_0^{120} 5 \times \max(-I(t), 0) dt / 120$

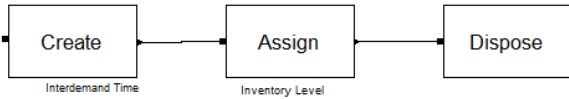
5

Model 5-4: (s, S) 재고관리

- 재고 정책 성능 평가 지표 : 재고 관리 비용
- 일간 평균 총 비용 = 일간 평균 주문 비용 +
일간 평균 재고유지비용 +
일간 평균 품절비용

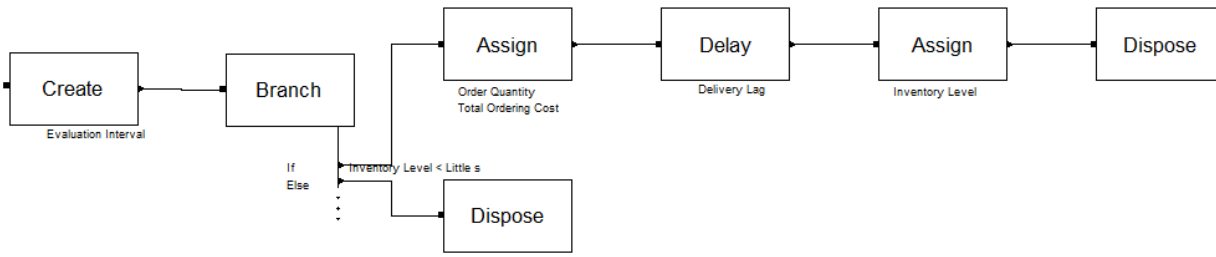
6

판매 논리



Inventory Evaluation and Possible Ordering with Subsequent Order Arrival

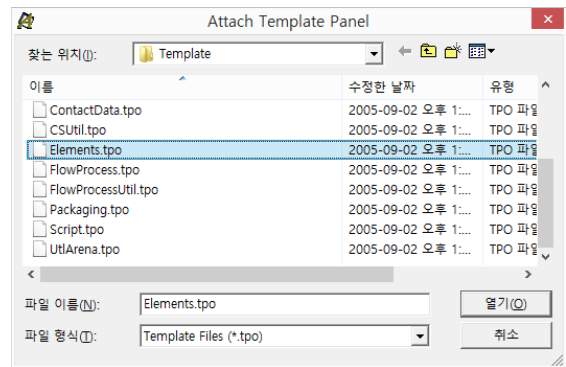
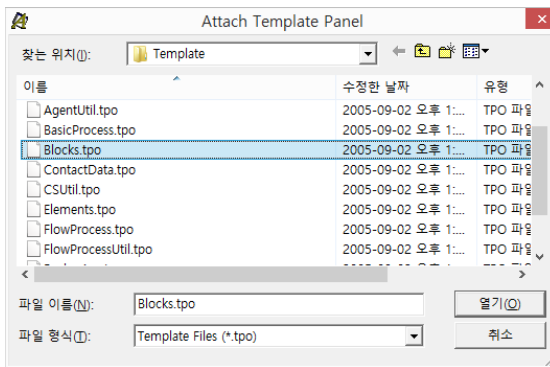
조달 논리



Modules from Elements Panel

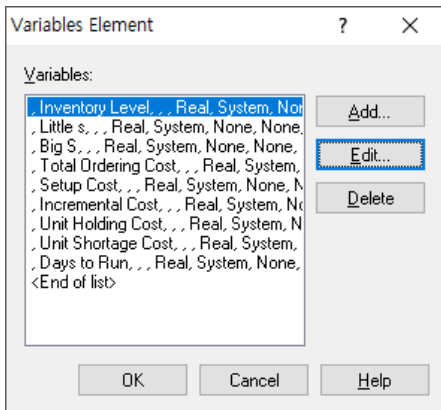
Variables Inventory Level Little s Big S Total Ordering Cost Setup Cost Incremental Cost Unit Holding Cost Unit Shortage Cost Days to Run	Expressions Interdemand Time Demand Size Evaluation Interval Delivery Lag Project Widgets by Bucky	Attributes Order Quantity Replicate Days to Run	Entities Customer Inventory Evaluator DStats Unit Holding Cost * MX(Inventory Level, 0) Unit Shortage Cost * MX(-Inventory Level, 0)	Outputs Total Ordering Cost / Days to Run OVALUE(Avg Ordering Cost) + DAVG(Holding Cost) + DAVG(Shortage Cost)
---	--	--	---	---

Low-Level (Flexible) Programming
→ Block & Element 활용

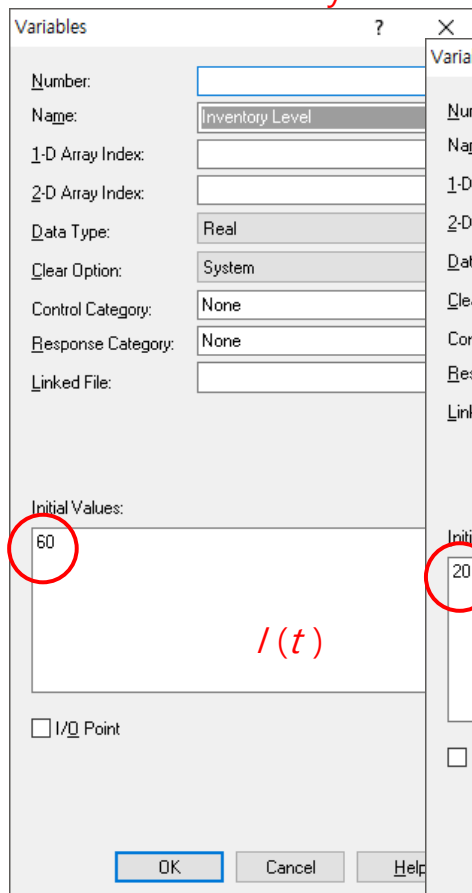


7

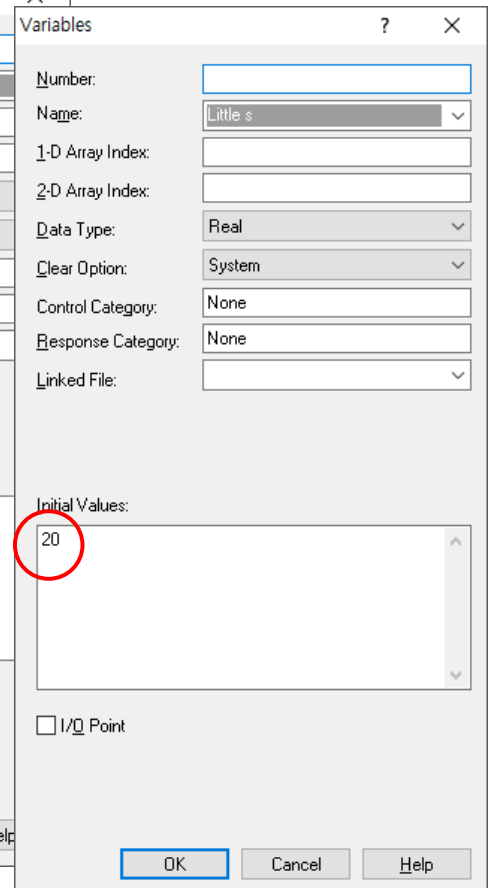
Variables



Inventory Level



Little s



8

Variables

Big S

Variables ? X

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel Help

Total Ordering Cost

Variables ? X

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel Help

Setup Cost

Variables ? X

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel Help

9

Variables

Incremental Cost

Variables

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel

Unit Holding Cost

Variables

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel

Unit Shortage Cost

Variables

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel

Days to Run

Variables ? X

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Clear Option:

Control Category:

Response Category:

Linked File:

Initial Values:

I/O Point

OK Cancel Help

10

Expressions

The screenshot shows the 'Expressions Element' window with a list of expressions. 'Interdemand Time' is selected. Below it, the 'Expressions' dialog box is open for 'Interdemand Time'. The 'Name' field is 'Interdemand Time', 'Data Type' is 'Native', and the 'Expression Values' field contains 'EXPO(0.1)'. A red label 'Interdemand Time' is overlaid on the dialog. Below the dialog, a red label '고객 도착 시간 간격' is shown.

The screenshot shows the 'Expressions' dialog box for 'Demand Size'. The 'Name' field is 'Demand Size', 'Data Type' is 'Native', and the 'Expression Values' field contains 'DISC(0.167, 1, 0.5, 2, 0.833, 3, 1.0, 4)'. A red label 'Demand Size' is overlaid on the dialog. Below the dialog, a red label '고객 제품 구입 수량' is shown.

[Demand Size의 확률분포 정의]

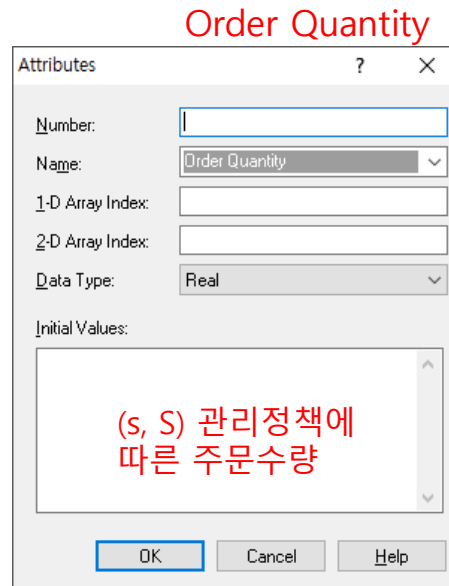
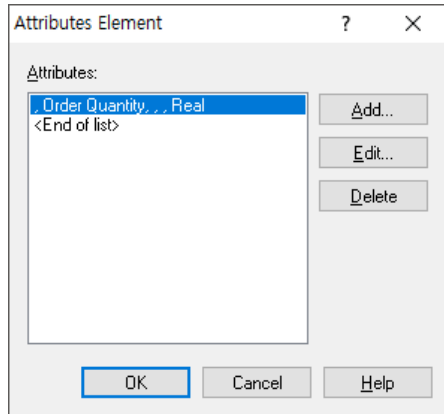
- 1개일 확률 = 0.167
- 2개일 확률 = 0.5 - 0.167 = 0.333
- 3개일 확률 = 0.833 - 0.5 = 0.333
- 4개일 확률 = 1.0 - 0.833 = 0.167

Expressions

The screenshot shows the 'Expressions' dialog box for 'Evaluation Interval'. The 'Name' field is 'Evaluation Interval', 'Data Type' is 'Native', and the 'Expression Values' field contains '1'. A red label 'Evaluation Interval' is overlaid on the dialog. Below the dialog, a red label '제품 주문 주기' is shown.

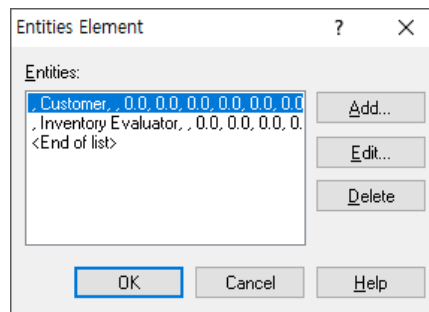
The screenshot shows the 'Expressions' dialog box for 'Delivery Lag'. The 'Name' field is 'Delivery Lag', 'Data Type' is 'Native', and the 'Expression Values' field contains 'UNIF(0.5, 1.0)'. A red label 'Delivery Lag' is overlaid on the dialog. Below the dialog, a red label '지연 시간' is shown.

Attribute



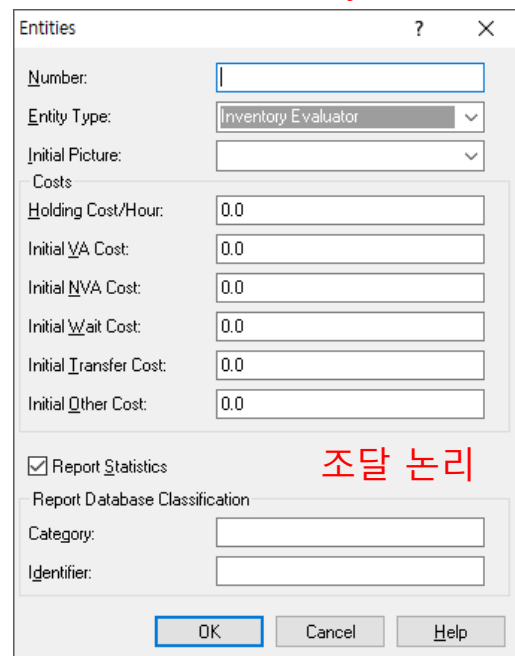
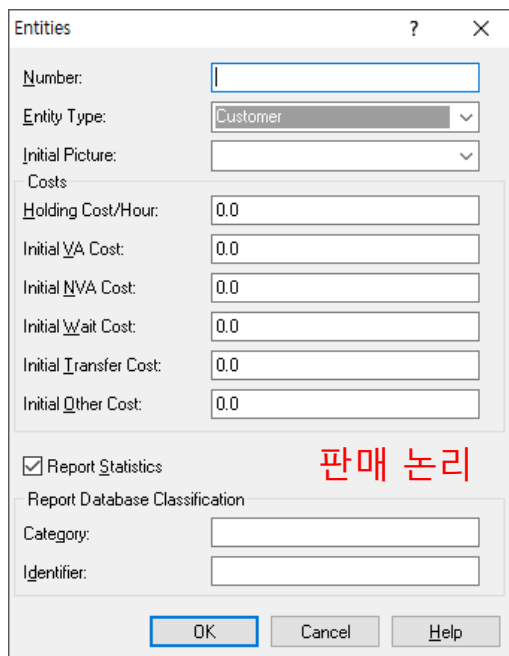
13

Entities



Customer

Inventory Evaluator



14

Widgets by Bucky

Project Element

Title: Widgets by Bucky

Analyst Name: Jim Morris

Date: [] [] []

Summary Report

Statistics Collection

Costing Queues Transporters

Entities Processes Conveyors

Resources Stations Activity Areas

Tanks

OK Cancel Help

Replicates

Replicate Element

Number of Replications: 1

Beginning Time: 0.0

Simulation Start Date: 2017년 8월 22일 화요일

Replication Length: Days to Run

Terminating Condition: []

Initialize System

Initialize Statistics

Warm-Up Period: 0.0

DLL Name in Double Quotes: []

Hours Per Day: 24.0

Base Time Units: Days

Run in Execution Mode

Advance Simulation Time Using Real Time Factor

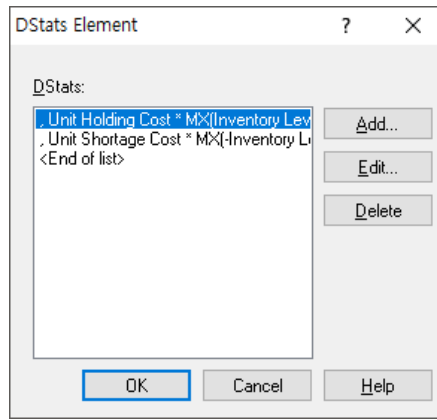
Include Fractional Resource Units

Disable Randomness

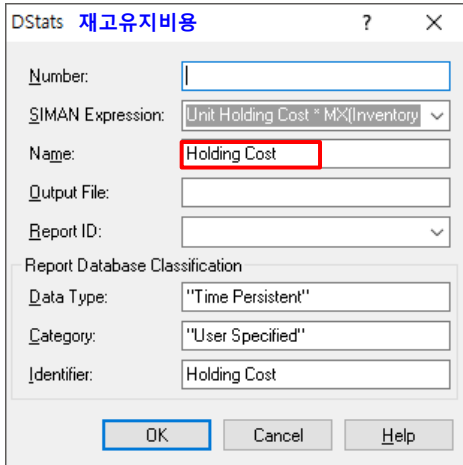
OK Cancel Help

Days to Run = 119.9999

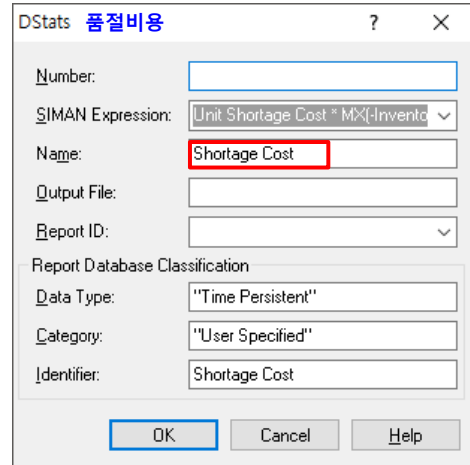
DStats



+ 재고비용



- 재고비용

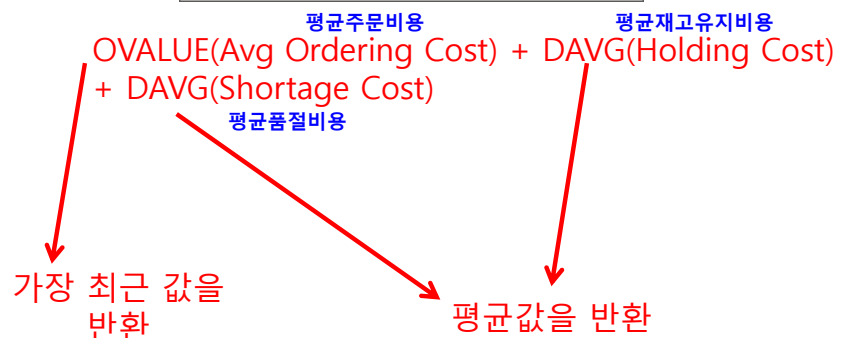
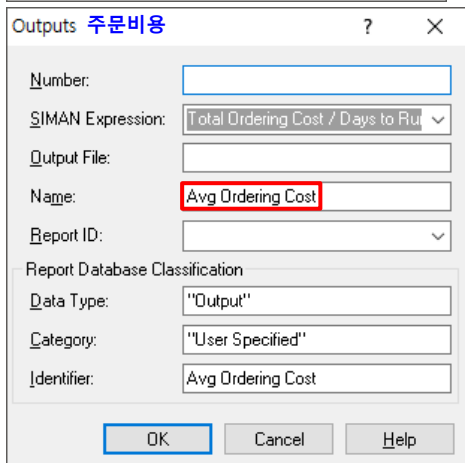
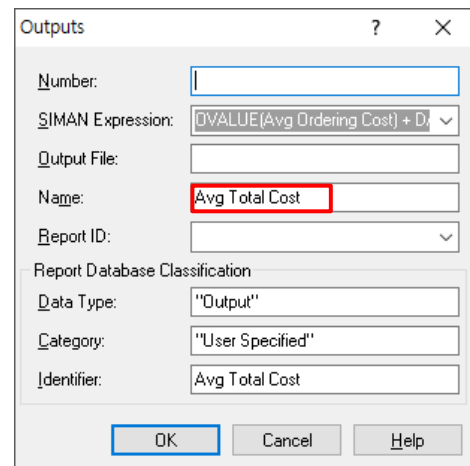
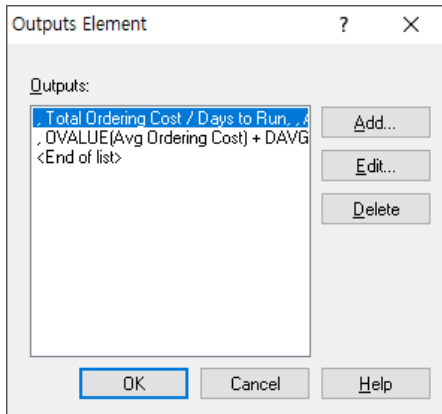


Unit Holding Cost * MX(Inventory Level, 0)

Unit Shortage Cost * MX(-Inventory Level, 0)

17

Outputs



Total Ordering Cost / Days to Run

18

1. Create

Create Block ? x

Label:

Mark Attribute:

Next Label:

Batch Size:

First Creation:

Entity Type:

Interval:

Maximum Batches:

Comments:

OK Cancel Help

Expressions Element ? x

Expressions:

- Interdemand Time, , Native, No
- Demand Size, , Native, No
- Evaluation Interval, , Native, No
- Delivery Lag, , Native, No
- <End of list>

Add... Edit... OK Cancel

Expressions ? x

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Linked File:

Expression Values: EXP0(0.1)

Cancel Help

Entities Element ? x

Entities:

- Customer, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0
- Inventory Evaluator, , 0.0, 0.0, 0.0, 0.
- <End of list>

Add... Edit... Delete OK Cancel Help

Interdemand Time
Customer
Interdemand Time

2. Assign

Assign Block ? x

Label:

Mark Attribute:

Next Label:

Variables:

- Inventory Level, Inventory Level - Demand Size
- <End of list>

Add... Edit... Delete

Comments:

OK Cancel Help

Expressions Element ? x

Expressions:

- Interdemand Time, , Native, No
- Demand Size, , Native, No
- Evaluation Interval, , Native, No
- Delivery Lag, , Native, No
- <End of list>

Add... Edit... Delete OK

Expressions ? x

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Linked File:

Expression Values: DISC(0.167,1, 0.5,2, 0.833,3, 1.0,4)

I/O Point

OK Cancel Help

Variables ? x

Variable or Attribute:

Value:

OK Cancel Help

재고량이 수요량만큼 작아짐
Inventory Level
Inventory Level - Demand Size

3. Dispose



Dispose Block

Label:

Record Entity Statistics

Comments:

OK Cancel Help

4. Create



Create Block

Label:

Mark Attribute:

Next Label:

Batch Size:

First Creation:

Entity Type:

Interval:

Maximum Batches:

Comments:

OK Cancel Help

Entities Element

Entities:

- , Customer, ., 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0
- , Inventory Evaluator, ., 0.0, 0.0, 0.0, 0.0
- <End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel

Expressions Element

Expressions:

- , Interdemand Time, ., ., Native, ., No
- , Demand Size, ., ., Native, ., No
- , Evaluation Interval, ., ., Native, ., No
- , Delivery Lag, ., ., Native, ., No
- <End of list>

OK Cancel

Expressions

Number:

Name:

1-D Array Index:

2-D Array Index:

Data Type:

Linked File:

Expression Values:

1

I/O Point

OK Cancel Help

Inventory Evaluator
Evaluation Interval

5. Branch, Dispose



Branch Block

Label: _____

Max Number of Branches:

Random Number Stream: _____

Branch Types:

- If Inventory Level < Little s, Yes
- Else, Yes
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete

Comments: _____

Buttons: OK, Cancel, Help

Inventory Level < Little s

Branch Types

Branch Type: If With Else Always

Condition or Probability:

Send To Label: _____

Primary Entity Indicator

Buttons: OK, Cancel, Help

Branch Types

Branch Type: If With Else Always

Send To Label: _____

Primary Entity Indicator

Buttons: OK, Cancel, Help

Dispose Block

Label: _____

Record Entity Statistics

Comments: _____

Buttons: OK, Cancel, Help

Variables Element

Variables:

- Inventory Level, System, None, None
- Little s, System, None, None
- Big S, System, None, None
- Total Ordering Cost, System, None, None
- Setup Cost, System, None, None
- Incremental Cost, System, None, None
- Unit Holding Cost, System, None, None
- Unit Shortage Cost, System, None, None
- Days to Run, System, None, None
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete

Buttons: OK, Cancel, Help

23

6. Assign



Assign Block

Label: _____

Mark Attribute: _____

Next Label: _____

Variables:

- Order Quantity, Big S - Inventory Level
- Total Ordering Cost, Total Ordering Co:
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete

Comments: _____

Buttons: OK, Cancel, Help

Attributes Element

Attributes:

- Order Quantity, Big S - Inventory Level
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete

Variables

Variable or Attribute:

Value:

Buttons: OK, Cancel, Help

Variables

Variable or Attribute:

Value:

Buttons: OK, Cancel, Help

Variables Element

Variables:

- Inventory Level, System, None, None
- Little s, System, None, None
- Big S, System, None, None
- Total Ordering Cost, System, None, None
- Setup Cost, System, None, None
- Incremental Cost, System, None, None
- Unit Holding Cost, System, None, None
- Unit Shortage Cost, System, None, None
- Days to Run, System, None, None
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete

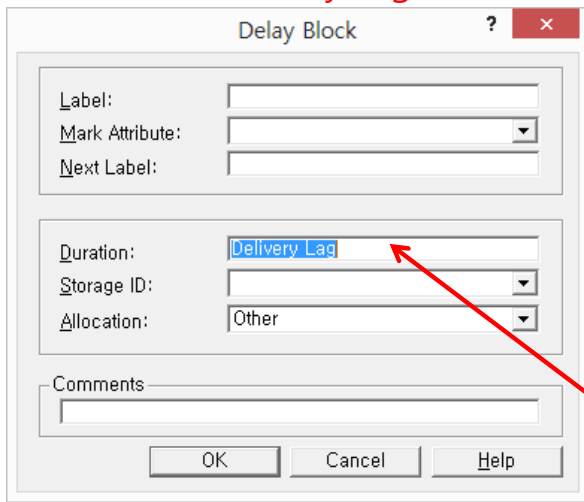
Buttons: OK, Cancel, Help

Total Ordering Cost
 Total Ordering Cost + Setup Cost +
 Incremental Cost * Order Quantity

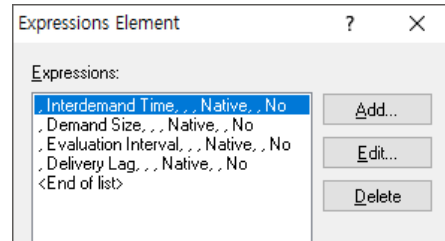
24

7. Delay

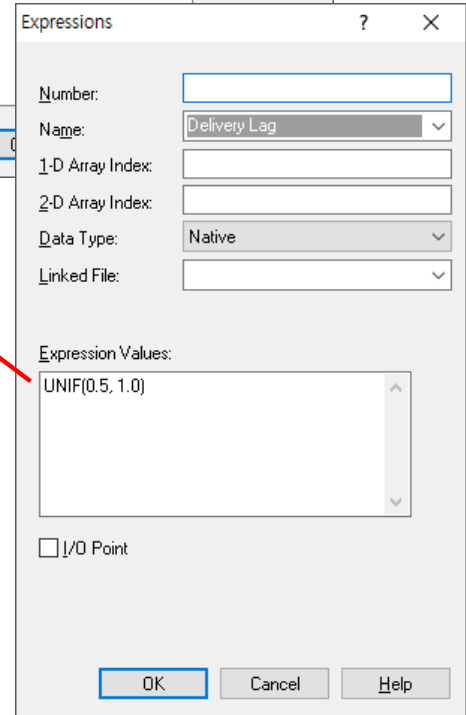
Delivery Lag



Delay Block dialog box with fields for Label, Mark Attribute, Next Label, Duration (set to Delivery Lag), Storage ID, Allocation (set to Other), and Comments. Buttons: OK, Cancel, Help.



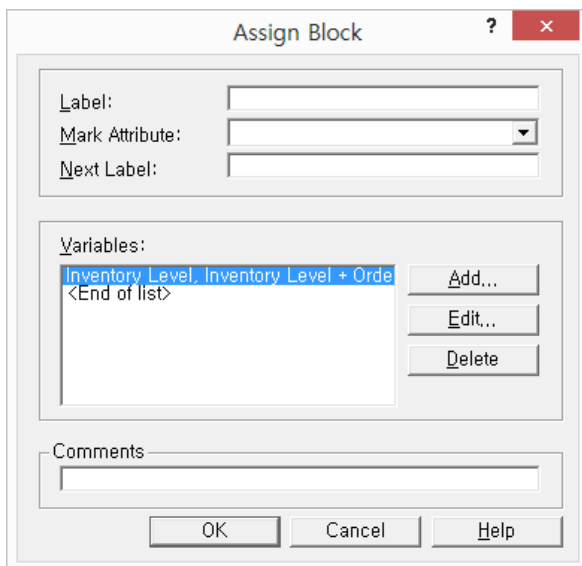
Expressions Element dialog box showing a list of expressions including Interdemand Time, Demand Size, Evaluation Interval, and Delivery Lag. Buttons: Add..., Edit..., Delete.



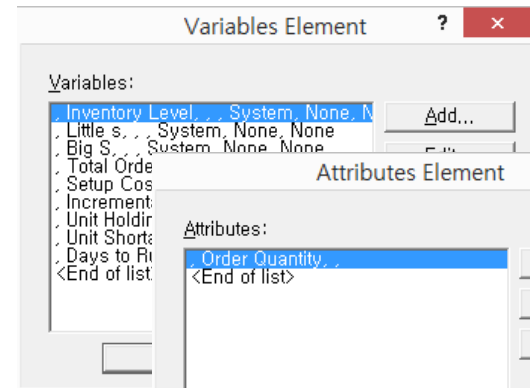
Expressions dialog box for 'Delivery Lag' with Name set to 'Delivery Lag', Data Type set to 'Native', and Expression Values set to 'UNIF(0.5, 1.0)'. Includes a checkbox for I/O Point. Buttons: OK, Cancel, Help.

25

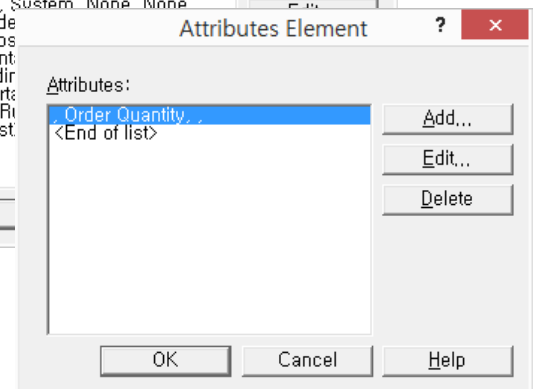
8. Assign



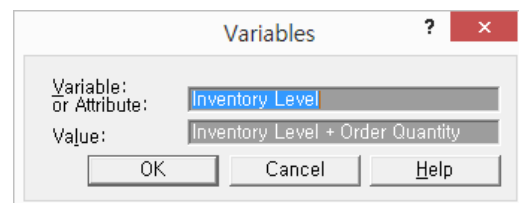
Assign Block dialog box with fields for Label, Mark Attribute, Next Label, and Variables (set to Inventory Level, Inventory Level + Order Quantity). Includes buttons for Add..., Edit..., and Delete. Buttons: OK, Cancel, Help.



Variables Element dialog box showing a list of variables including Inventory Level, Little s, Big S, Total Order, Setup Cost, Increment, Unit Hold, Unit Short, and Days to Fill. Buttons: Add..., Edit..., Delete.



Attributes Element dialog box showing a list of attributes including Order Quantity. Buttons: Add..., Edit..., Delete.



Variables dialog box for 'Inventory Level' with Variable set to 'Inventory Level' and Value set to 'Inventory Level + Order Quantity'. Buttons: OK, Cancel, Help.

재고량이 주문량만큼 많아짐
 $Inventory\ Level = Inventory\ Level + Order\ Quantity$

26

9. Dispose



Dispose Block

Label:

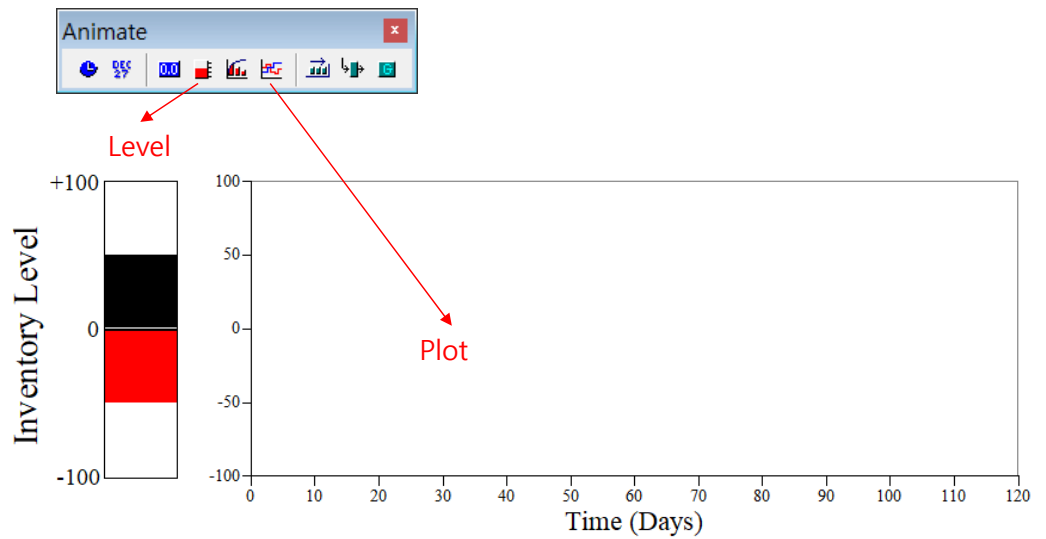
Record Entity Statistics

Comments

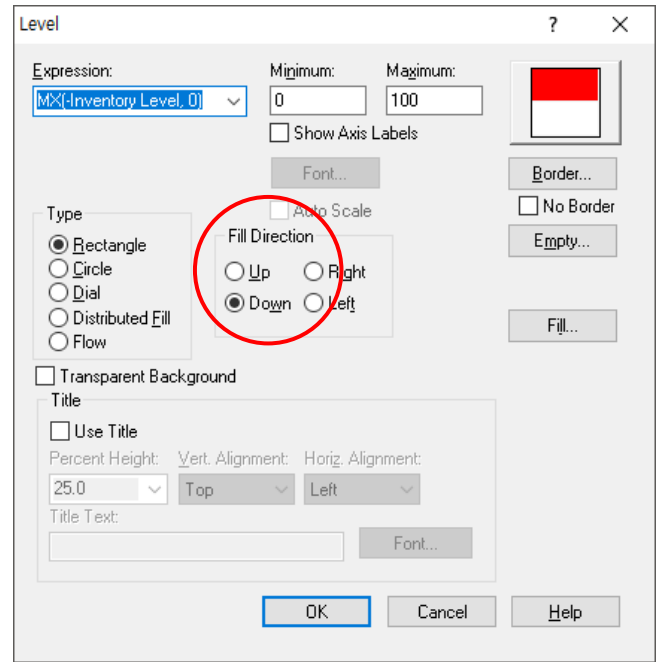
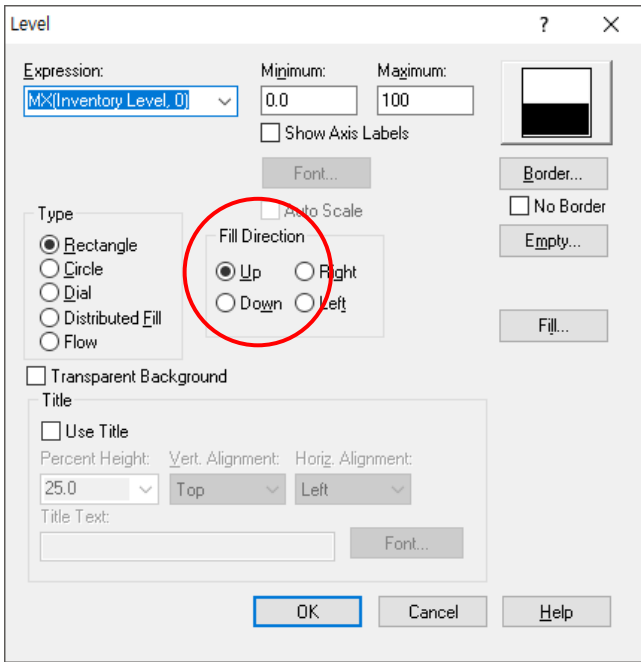
OK Cancel Help

Animation

**(s, S) Inventory
With Backlogging
Model 5-4**



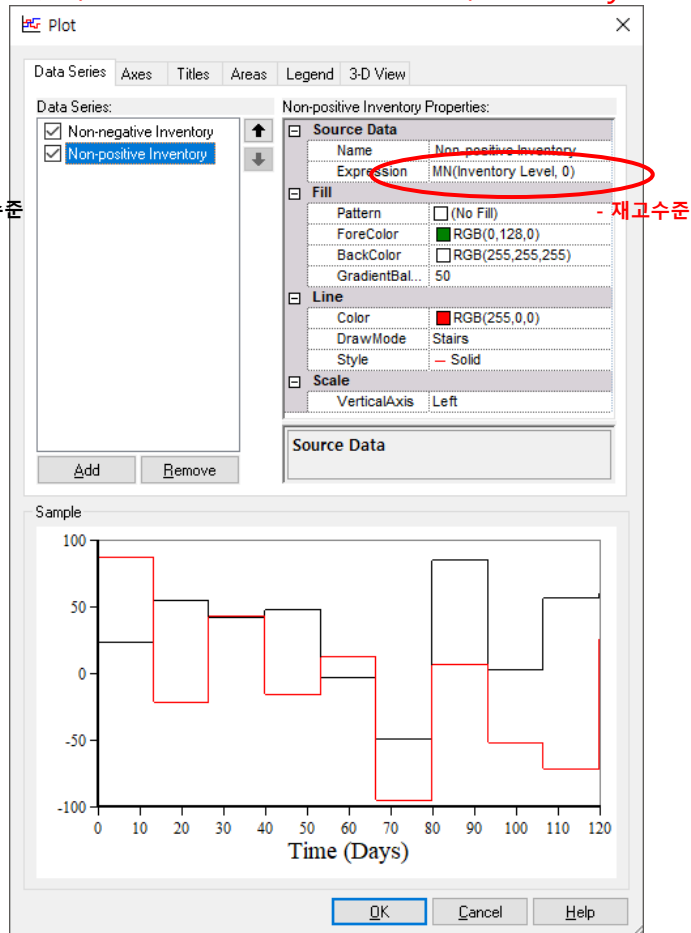
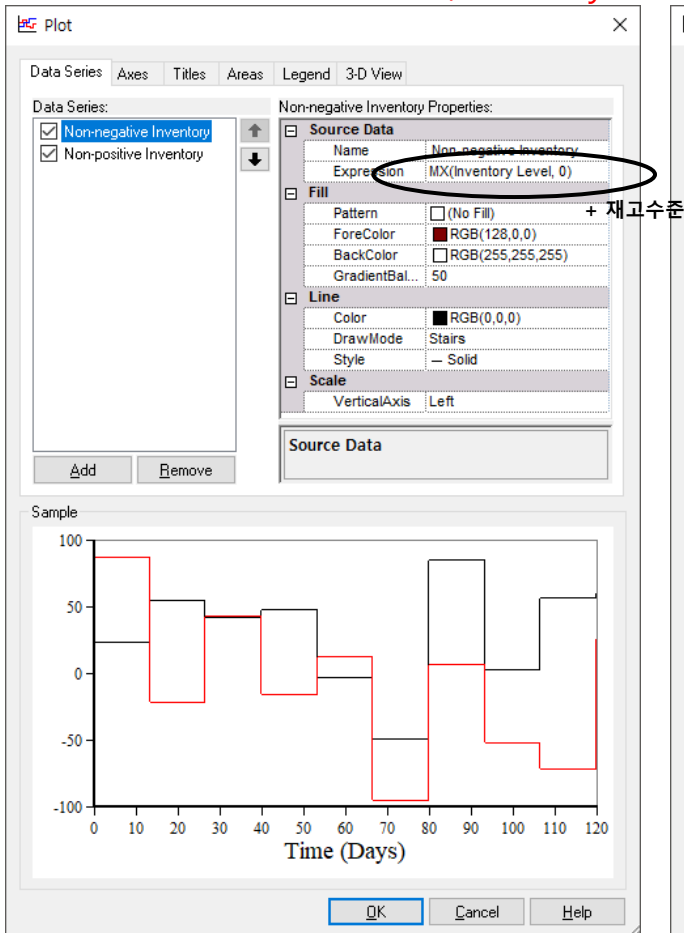
Animation-Level



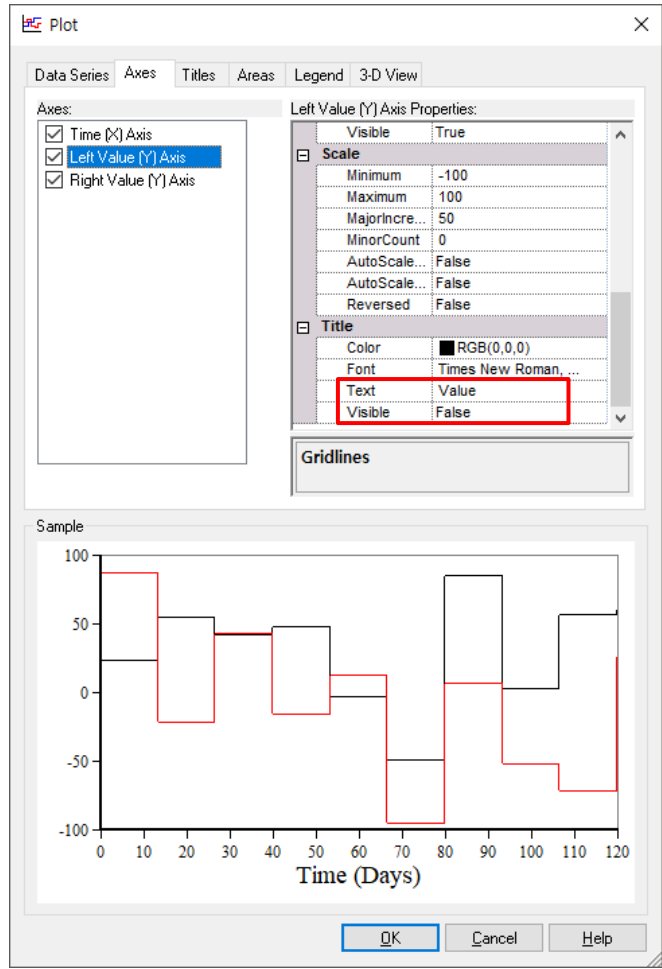
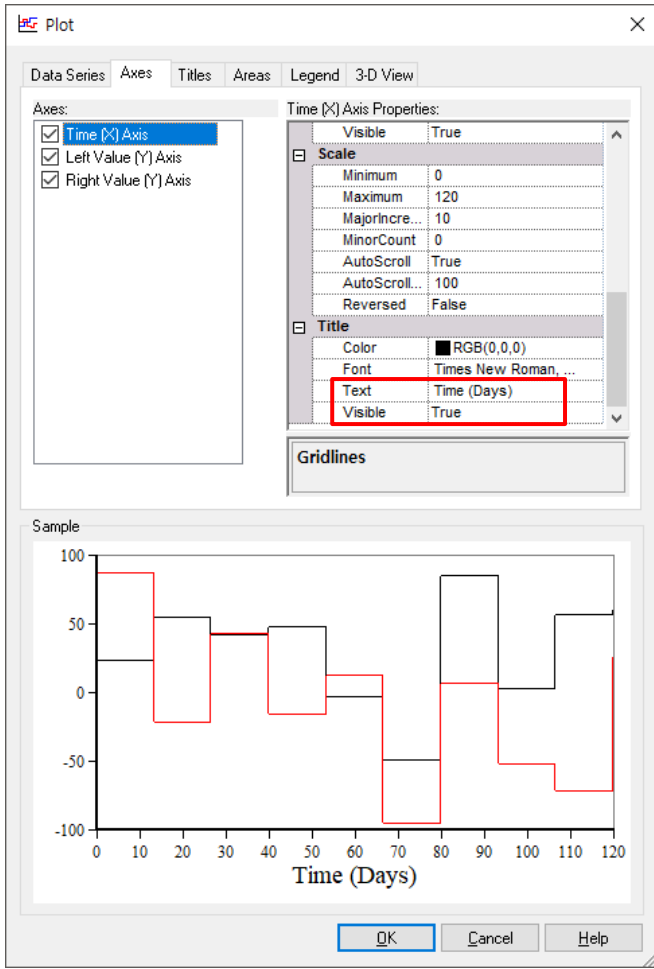
Animation-Plot

MX(Inventory Level, 0)

MN(Inventory Level, 0)



Animation-Plot



31

Results

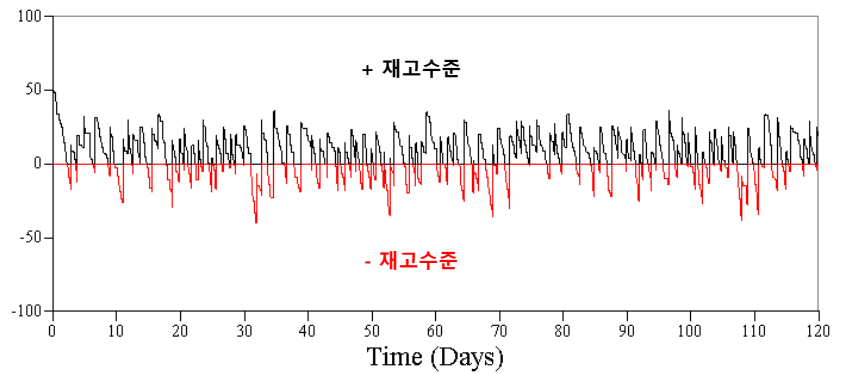


Adobe Acrobat
문서

현재 시점

시계열 자료

**(s, S) Inventory
With Backlogging
Model 5-4**



32

Results

일일 평균 재고유지비용

일일 평균 품질비용

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Holding Cost	9.3701	(Correlated)	0.00	60.0000
Shortage Cost	17.0265	4.19506	0.00	200.00

Output

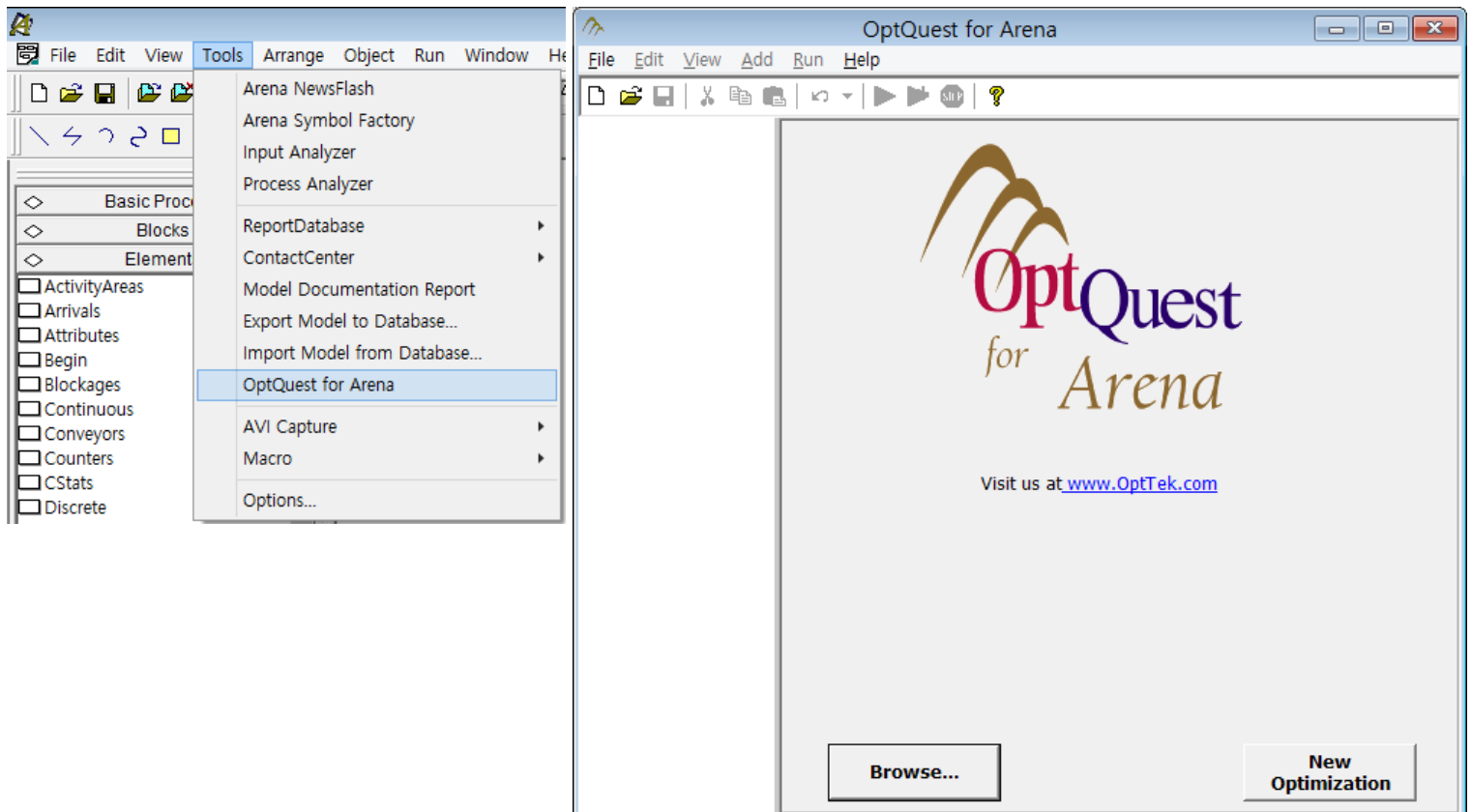
Output	Value
Avg Ordering Cost	100.39
Avg Total Cost	126.79

일일 평균 총 운영비용

일일 평균 주문비용

일일 평균 총 운영비용 = 일일 평균 주문비용 + 일일 평균 재고유지비용 + 일일 평균 품질비용
 $126.79 = 100.39 + 9.3701 + 17.0265$

Optimization – OptQuest : 최적화 도구 : 최적 s, S 수준 결정



Optimization - OptQuest

OptQuest for Arena [New Optimization]

File Edit View Add Run Help

Controls

Controls Summary

Included	Category	Control /	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	None	Big S	Variable	Integer	0	40	50	1	
<input type="checkbox"/>	None	Days to Run	Variable	Continuous	107.99991	119.9999	131.99989	N/A	
<input type="checkbox"/>	None	Incremental Cost	Variable	Continuous	2.7	3	3.3	N/A	
<input type="checkbox"/>	None	Inventory Level	Variable	Continuous	54	60	66	N/A	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	Little s	Variable	Integer	0	20	30	1	
<input type="checkbox"/>	None	Setup Cost	Variable	Continuous	28.8	32	35.2	N/A	
<input type="checkbox"/>	None	Total Ordering Cost	Variable	Continuous	0	0	0	N/A	
<input type="checkbox"/>	None	Unit Holding Cost	Variable	Continuous	0.9	1	1.1	N/A	
<input type="checkbox"/>	None	Unit Shortage Cost	Variable	Continuous	4.5	5	5.5	N/A	

Add Control From Array

Select All Clear All Modify

조절 가능 변수 선택

35

Optimization - OptQuest

OptQuest for Arena [New Optimization]

File Edit View Add Run Help

Controls

Control None

Control Name: Big S

Description:

Type

Continuous Binary

Discrete Integer

Values

Lower Bound: 0 하한값

Suggested Value: 40 추천값

Upper Bound: 60 최대값

Discrete Step Size: 1

OK Cancel

최적값 검색 범위 설정

하한값

추천값

최대값

36

Optimization - OptQuest

Control None

Control Name: Little s

Description:

Type:

Continuous Binary

Discrete Integer

Values:

Lower Bound: 0 (최적값 검색 범위 설정, 하한값) Discrete Step Size: 1

Suggested Value: 20 (추천값)

Upper Bound: 30 (최대값)

OK Cancel

37

Optimization - OptQuest

Responses

Included	Category	Data Type	Response /	Response Type
<input type="checkbox"/>	Entity	VA Time	Inventory Evaluator.VA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Wait Time	Inventory Evaluator.Wait Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	WIP	Inventory Evaluator.WIP	DStat Average
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Big S	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Days to Run	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Incremental Cost	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Inventory Level	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Little s	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Setup Cost	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Total Ordering Cost	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Unit Holding Cost	Variable Value
<input type="checkbox"/>	None	Variable	Unit Shortage Cost	Variable Value
<input type="checkbox"/>	System	Number Out	System.NumberOut	Output Value
<input type="checkbox"/>	User Specified	Output	Avg Ordering Cost	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	Output	Avg Total Cost	Output Value
<input type="checkbox"/>	User Specified	Time Persistent	Holding Cost	DStat Average
<input type="checkbox"/>	User Specified	Time Persistent	Shortage Cost	DStat Average

Add Response From Array

Select All Clear All

출력 변수 선택

38

Optimization - OptQuest

실행

목적식 설정
[Avg Total Cost] 최소화

Select	Name	Linear	Goal	Description	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	New Objective	NonLinear	Minimize		[Avg Total Cost]

Expression: [Avg Total Cost]

Maximize Minimize

Check Expression OK Cancel

39

Optimization - OptQuest

실행

Optimization Completed

Total simulations: 74
Best Simulation 67

	Objective Value	Status
Best Value	116.220894	Feasible
Current Value		

Control Name	Best Value	Current Value
Big S	59	
Little s	26	

최적값

목적식 값이 줄어드는 과정 표시

Objective Values

Simulation

Best Value

40

Optimization - OptQuest

The screenshot displays the OptQuest for Arena software interface. The main window is titled "OptQuest for Arena [New Optimization]". The menu bar includes File, Edit, View, Add, Run, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and simulation control. On the left, a "Controls" tree shows a list of variables and objectives, with "Best Solutions" selected. The central area is titled "Best Solutions" and contains a table with the following data:

Select	Simulation	Objective Value	Status	Big S	Little s
<input checked="" type="checkbox"/>	67	116.220894	Feasible	59	26
<input type="checkbox"/>	21	116.252072	Feasible	60	27
<input type="checkbox"/>	69	116.290902	Feasible	58	25
<input type="checkbox"/>	43	116.419900	Feasible	59	27
<input type="checkbox"/>	64	116.451763	Feasible	57	24
<input type="checkbox"/>	56	116.473747	Feasible	58	26
<input type="checkbox"/>	22	116.478448	Feasible	60	28
<input type="checkbox"/>	66	116.627966	Feasible	57	25
<input type="checkbox"/>	20	116.650338	Feasible	60	26
<input type="checkbox"/>	15	116.714003	Feasible	59	25

The first row is highlighted in blue, and the text "최적값" (Optimal Value) is written in red next to it. Below the table are three control panels: "View Solutions" with a "Refresh" button and a value of 25; "Advanced" with "More Solutions" and "Refine Solutions" buttons and a value of 25; and "Save Solutions" with "Add to Suggested" and "Write to File" buttons. At the bottom, there are "Select All", "Clear All", and "View" buttons.

41

따라하기

모델 5-4 구축 : Model 5-4.01.mp4

모델 5-4 최적화 : Model 5-4.02.mp4

42