

## ARENA 시뮬레이션을 이용한 차체공장 수행도 분석

### Performance Analysis of Auto Body Manufacturing System using ARENA Simulation

정 재 호\* 김 현 근\*\* 김 향 희\*\*\* 전 태 보\*\*\*\*  
Jung, Jae-Ho Kim, Hyun-Gun Kim, Hyang-He Jeon, Tae-Bo

#### Abstract

Simulation analysis for an auto body manufacturing system has been performed in this study. The major goal is to figure out the condition yielding the production rate, 70 per hour. It is, however, very difficult to maintain this rate due to inherent system factors such as machine failure rates, machine repair rates, number of carriers between manufacturing lines(shops), carrier speed etc. We first carefully examined the system and developed a simulation model using ARENA. We then applied statistical experimental design concepts for performance analysis. Our results indicate that the buffer size of 30 and quick repair of failed robots are required for the desired production rate. Other factors, on the other hand, are seen to have minor effects on the throughput. The approach taken in this study and the results obtained may provide a practical guideline for performance analysis and thus be applied without trepidation for similar cases.

키워드: ARENA, S/N, 광대특성, 정의대비, 평균반응그래프  
Keywords: ARENA, S/N, Larger the Better Characteristic, Defining Contrast, Average Response Graph

#### 1. 서론

컴퓨터 시뮬레이션은 시스템의 운영과 특성을 모방하기 위하여 고안된 소프트웨어를 사용하여 간접의 실험을 함으로써, 현실세계 시스템의 광범위한 모델의 다양성을 연구하는 방법으로써, 새로운 정책과 운영 절차 등을 실제 작업 없이 효과적으로 실험할 수 있게 해주고 시뮬레이션 수행에 가장 중요한 변수들과 이 변수들이 어떻게 상호작용을 하는가에 대하여 정보를 얻을 수 있게 해준다. 현재 이러한 시뮬레이션기법은 생산, 의료, 유통, 경영 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특

히 자동화된 생산 시스템의 복잡한 측면을 연구하는 방법으로써 공장의 레이아웃, 운영 정책, 문제점 등의 평가를 위한 설계 및 분석과 시스템의 일정계획을 위한 도구로써 각광을 받고 있다.

본 연구에서 대상으로하는 자동차회사는 새로 출시할 신차에 대하여 많은 노력을 기울이고 있으며 막대한 자본이 투입될 차체공장의 생산능력이 전체 생산시스템의 수행도에 결정적으로 영향을 미치는 점에 비추어 이 부분의 분석을 수행하고자 한다. 불행히도 일차 검토를 통하여 목표화하고 있는 시간당 70대의 생산이 불투명하다 판단되었다. 이에 차체공장에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 이용하여 생산 능력을 예측해 보고자 한다. 분석결과, 목표 생산량 달성이 어려울 것으로 예상되면, 개선안을 제안하고 그 효과를 예측하는 것이 두번째 목적이다. 개선안이 필요한 경우에는 생산라인 사이의 버퍼 크기(캐리어의 수, 최대 30개)를 조정하여 생산 능력을 향상시키는 방안을 강

\* 강원대학교 대학원 산업공학과 석사과정(예정)

\*\* (주)보고정보시스템

\*\*\* LG 캐피탈

\*\*\*\* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

구한다. 또한 수리 및 정비 능력 향상에 따른 각 단위 설비의 고장 간격의 10% 내외 증가와 수리 소요 시간의 최대 20% 감소, 5% 내외의 제한적인 사이클 타임의 단축, 30% 내외의 캐리어 이동 속도의 향상 등의 방법 등이 개선안을 위하여 고려된다.

목적달성을 위하여 제 2절에서 고려 중인 영역상의 차체공장에 대한 내용을 검토하였으며, 제 3절에서는 ARENA를 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 수립하였다. 제 4절에서는 결과분석을 위한 입력데이터 설계를 행하였고, 5절에서는 수립된 프로그램과 입력데이터 설계에 따라 시뮬레이션을 수행한 뒤 얻어진 결과데이터를 바탕으로 다양한 분석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과가 대상시스템 뿐 아니라 비슷한 또는 다른 제조업의 수행도 분석으로 중요한 도구로 사용함에 좋은 참고가 될 것이다.

2. 시스템 정의 및 개요

대상 회사의 차체공장 중 본 연구의 고려영역은 하체라인(underbody line), 프론트라인(front line), 좌·우측 사이드라인(left/right side line), 프레임라인(frame line), 그리고 재용접 라인(rewelding line)등의 라인들과 각각 몇 개씩의 세부 공정들로 구성되어 있다. 그림 1이 이를 도시하며 그림의 라인내 10/20/... 등의 번호는 해당 라인내의 세부공정을 의미하고, 편의상 하체라인, 프레임, 재용접 라인을 메인라인(main line), 그리고 기타 프론트라인과 좌·우측 사이드라인은 서브라인(sub-line)으로 부르기로 한다.

모든 공정 및 라인상의 설비들은 자동화가 되어 있으며 일일 24시간 체제로 가동된다. 라인간의 작업물 이동은 캐리어(carrier)를 통해 이루어지며 한 개의 캐리어마다 한 개씩 반제품이 장착되어 운반된다. 캐리어 속도는 분당 100 미터이고, 가감속도는 주행 속도와 큰 차이가 없으므로 고려하지 않는다. 각 캐리어는 운반을 마친 후, 다음 작업물의 운반을 위해 빈 채로 본래의 라인으로 되돌아간다(왕복 거리는 동일). 라인간 거리와 캐리어 수가 도표 1에 제시되어 있다. 각 서브 라인의 경우 메인 라인으로의 이동은 캐리어의 반환이 이루어지지 않아 캐리어가 없거나 설비 고장으로 라인이 정지되는 경우가 아니면, 항상 작업물 투입이 가능하다고 가정한다.

준비된 차체가 하체라인으로 투입됨으로써 전체적인 작업이 시작된다. 본 연구에서는 3가지 제품(이하 A, B, C라 표기)을 고려하며 이들이 1:3:1의 비율인 B-A-B-C-B-B-A-B-C-B 순서로 미리스케줄링되어 일정한 순서로 매 48초마다 투입된다. 그림 1에서 보듯이 하체라인은 5개의 세부공정으로 구성되며(10~50) 각각 로봇, 다용도로봇, 또는 리프터 등의 설비들에 의해 작업되어진다. 프론트라인에서 별도로 생산되는 프론트는 하체라인의 40 공정에서 하체 작업물에 장착된다. 하체라인을 통과한 작업물은 프레임 라인으로 이동되어 비슷한 방법으로 5개의 세부공정을 따라 차체 골격들이 용접·조립되어 진다. 여기서 차체의 좌·우측 사이드 반제품이 장착된다. 좌·우측 사이드 라인들은 각각 독립된 내부 사이드공정으로부터 작업이 시작되며 사이드라인의 공정들을 거친 후 좌·우 부품들이 한 쌍을 이루어 프레임라인 30공정으로 이동되어 차체 골격과 용접 결합된다. 프레임

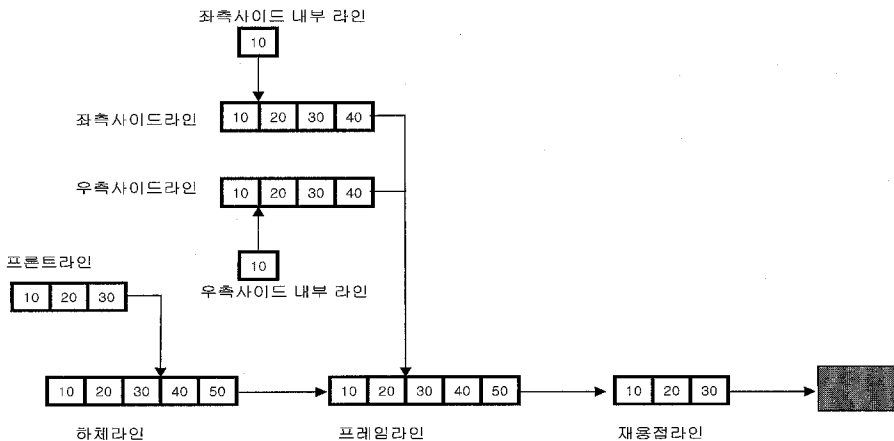


그림 1 대상 회사의 차체 공장 개략도

라인 이후 채용접 라인을 거친 작업물은 설치라인 앞까지 캐리어로 운반된 후 48초에 한 개씩 설치 라인으로 투입된다. 각 공정별 설비들의 종류 및 수량들이 도표 2와 3에 도시되었다.

생산시스템 특성상 좌·우측 사이드는 동시에 이동되어야 한다. 즉, 좌측 및 우측 사이드 반제품은 좌·우가 한 쌍으로 한개의 캐리어를 통하여 프레임 라인으로 이동되어 각각 차체의 좌우에 장착된다. 단, 좌(우)측 차체 사이드 내부 생산 공정과 좌(우)측 사이드 라인 사이에는 전용의 운반 장비가 사용되며, 이동속도가 매우 빠른 관계로 이동 시간은 무시하고 버퍼 크기 제약만 고려한다.

도표 1 라인간 거리와 캐리어 수

출발지점	목적지점	거리 (m)	캐리어 수
하체	프레임	80	10
프레임	채용접	80	10
채용접	설치	85	10
프론트	하체	82	10
우측사이드	프레임	120	12
좌측사이드	프레임	120	12
우측사이드 내부	우측사이드	60	10
좌측사이드 내부	좌측사이드	60	10

도표 2 메인 라인별 공정구성 및 설비

라인	설비	공정	거리			리프트	전용 설비	반제품 및 투입 위치
			용접	조립	다용도			
하체 라인	10	5				1		플로어
	20	7						
	30	8						
	40	5		1				프론트
	50	6				1		
프레임 라인	10	2				1		
	20	7	1					
	30	3	1	2				좌/우측 사이드
	40	7						
	50	2				1		
채용접 라인	10	14				1		
	20	14						
	30	8	1			1		

도표 3 서브 라인별 공정구성 및 설비

라인	설비	공정	거리			리프트	전용 설비	반제품 및 투입 위치
			용접	조립	다용도			
프론트 라인	10	3	2	1				
	20	4						
	30	3				1		
LS 라인	10	6	1					
	20	6	1	2				LS내부
	30	8						
	40	5				1		
RS 라인	10	6	1					
	20	6	1	2				RS내부
	30	8						
	40	5				1		
LS 내부	10						1	
RS 내부	10						1	

\* LS/RS: left/right side

다음으로, 도표 4는 라인별 작동 형태와 사이클 타임에 대한 정보를 제공하고 있다. 이 도표에서 셔틀라인은 특정 생산라인 (예, 하체라인)을 구성하는 전체 공정들이 동일한 사이클 타임으로 작동되고, 공정간 이동이 동시에 이루어지는 라인을 의미한다. 또한 셔틀 라인을 구성하는 공정 사이에는 버퍼가 없고, 만일 어느 한 공정이라도 정지하면 해당 라인의 전 공정이 정지되는 라인 형태로 일반 독립적인 공정과는 차이가 있다. 셔틀 라인에서 공정간 이동시간은 사이클 타임에 포함되어 있으므로 공정간 이동시간은 무시한다.

도표 4 라인별 형태 및 사이클 타임

라인 명칭	공정 수	라인 형태	각 공정의 사이클 타임(초)
하체	5	셔틀라인	43.24
프레임	5	셔틀라인	44.18
채용접	3	셔틀라인	44.19
프론트	3	셔틀라인	40.24
좌측 사이드	4	셔틀라인	43.24
우측 사이드	4	셔틀라인	43.24
좌측 사이드 내부	1	단일설비	42.30
우측 사이드 내부	1	단일설비	42.30

단위 설비들의 고장 및 수리 시간은 지수 분포를 따르며, 단위 설비간 고장은 서로 연관성이 없다. 현재 사용 중인 유사 설비의 과거 실적 자료를 근간으로 하여 추정된 평균값은 도표 5와 같다. 고장 발생 즉시 수리가 시작되며, 수리 즉시 잔여 작업 시간에 대한 작업이 진행된다. 한편, 좌(우)측 사이드 내부 공정은 전용 설비로 고장간격은 역시 지수분포 평균치 14시간을 따르나, 수리시간은 삼각분포(0.5,1.0,2.0)를 따른다. 특별히, 셔틀라인의 경우, 가장 빨리 고장 나는 단위 설비가 라인 전체를 정지시키는 특성이 있음을 주목하자.

도표 5 설비의 평균 고장간격 및 수리 소요시간

(단위: 시간)

구분 \ 설비	용접	지지	다용도	리프터
	로봇	로봇	로봇	
고장간격	139.54	398.51	224.60	254.37
수리소요	0.31	0.12	0.25	0.13

이상의 개략적인 모형을 토대로 시스템을 모형화하기에 앞서 원활한 프로그램 흐름을 위해 설정한 가정은 다음과 같다. 첫째, 차종에 따른 사이클 타입은 모두 동일하고, 하체라인으로 투입되는 차의 종류와 부품은 미리 스케줄되어 항상 같은 순서로 투입되기 때문에 부품간 잘못 match되는 경우는 없다. 둘째, 특정 공정에서 여러 설비들은 함께 작업되나 고장과 수리는 각각 독립적으로 이루어진다. 셋째, 특정 라인내 한 공정의 고장시 다른 공정들은 현재의 남은 cycle 시간 동안은 작업(용접)을 계속하고 그 후에 정지된다. 즉, 라인의 고장과 공정의 고장은 구분됨을 나타내며, 공정별, 라인별 자원(resource)의 상태(busy, idle, failed)별 점유시간을 구할 수 있다. 예를들어, 하체라인의 5개 공정 중 한 공정이 고장날 경우 하체라인 자체도 "고장"이 된다. 그러나, 라인내 다른 공정들은 현재의 cycle 시간중 남은 작업을 계속 완료하도록 하였으며 단지 고장난 공정의 수리가 완료되기까지 다음 공정/라인으로 이송이 중지된다. 이 경우 한 공정의 고장시 나머지 공정들이 비록 독립적으로 고장이 schedule되나 라인이 정지(고장) 되었으므로 개별공정의 고장은 더 이상 발생되지 않는다. 또 한가지 중요한 사항은 때로, 특정설비의 고장으로 해당 공정/라인의 정지(failed)시 다른 라인이 buffer상의 모든 차체 작업을 완료하고 idle 상태에 이를 때까지 수리가 완료되지 않을 경우가 가능하며, 이 때는 idle상태의 라인 모든 공정 설비들의 고장 schedule을 일시 정지시켜 주어야 한다.

### 3. 시뮬레이션 프로그램 작성

모델의 구현은 ARENA[1,2,3]를 통하여 이루어졌고 차체들의 이동 및 공정작동의 사실적 묘사를 위해 photoshop을 이용하여 그림 2, 3과 같이 표현하였다. 그림 2는 다른 색으로 구분한 3형태의 제품들과 이들을 라인간 운반하는 캐리어의 형태이며, 그림 3은 라인내 공정들에서 사용되는 여러 로봇설비들을 도시한 것이다. 차체의 표현은 라인을 따라가며 점차 완성되는 형태로 표현하였고 다양한 로봇들은 라인의 성격에 맞추어 배치하였다.

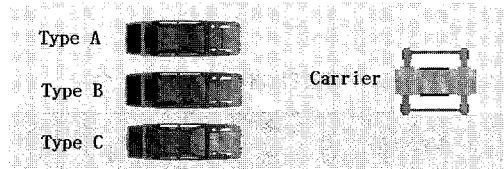


그림 2 제품별 차체와 캐리어의 형태

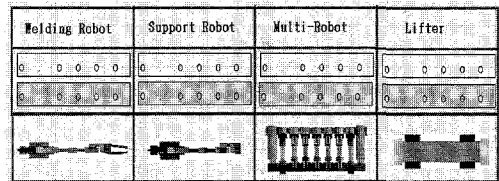


그림 3 형태별 로봇의 표현

편의상 각 라인의 형태 및 로직에 대한 도시는 생략하며 중요한 부분별 처리방법은 다음과 같이 요약된다.

하체라인으로 투입되는 부품의 순서는 제품 유형(A, B, C)별로 차체로 생성되도록 외부화일로 처리하였다. 각 공정은 기본적으로 작업의 시작과 끝이 동시에 이루어져야 하므로 blocking을 이용하는 방법으로 처리하였다. 캐리어는 누적형 컨베이어(accumulate conveyor)를 사용하였다[4]. 컨베이어 사용에 대한 예로 하체라인 컨베이어에 대한 모듈 대화상자는 그림 4와 같다[1,2,3].

라인간의 이동은 각 라인의 마지막 공정에서 누적 컨베이어 상에 활동하는 개체수(NEC(·))와 현재 누적 컨베이어 상에 누적되어진 개체수(NEA(·))의 합을 조사하여 그 값이 고려하는 캐리어의 수 이상이면 SCAN 블럭에서 대기하고, 그렇지 않으면 마지막 자원을 해제하고 컨베이어를 이용하여 다음 라인으로 이동한다. 단, 좌·우측 사이드 내부와 좌·우측 사이드 라인 간의 이동은 이동시간을 고려하지 않은 전용 운반 설비가 이용되므로, route 블럭를 이용하여 이동하고, 캐리어의 수에

해당하는 버퍼크기(MATCH 모듈에 포함된 QUEUE 블럭의 길이)를 정해진 수준에 맞게 재공품을 운반한다. 운반되어진 작업물은 다음 라인의 첫 번째 자원이 사용가능 하게 될 때까지 컨베이어 상에서 누적되어진 상태로 대기하고, 자원이 가용하게되면, 자원을 획득한 후 복사체를 만들어 이동한 경로를 되돌아가도록 한다.

마지막으로, 라인의 공정을 진행하는 작업물과 라인 중간 공정으로 들어오는 작업물은 Match 모듈의 선행 Queue 블럭에 도착하여 Match가 이루어질 때까지 대기하다가 Match가 되면 Match 모듈을 빠져 나온다.

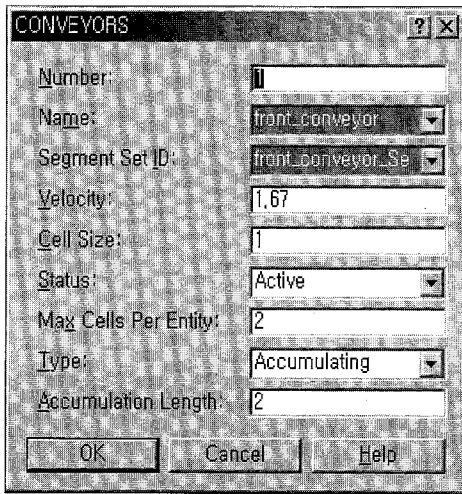
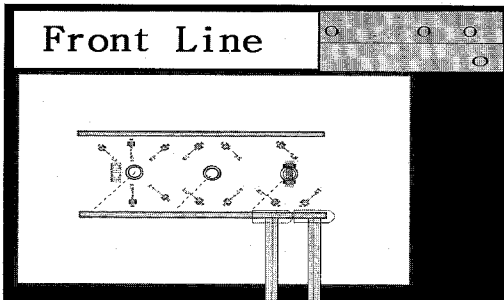


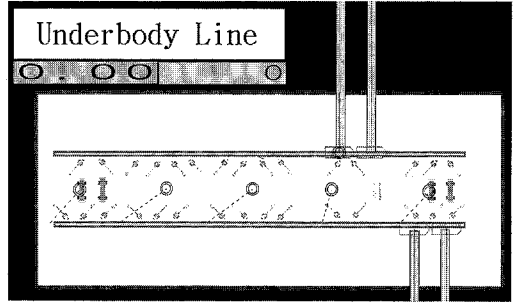
그림 4 누적형 컨베이어 모듈 대화상자

이제 ARENA를 이용하여 표현된 라인별 형태는 그림 5와 같다. 이들 그림에서 보듯이 앞에서 정의된 수십대의 로봇설비들이 라인들에 분포 설치되어 있음을 알 수 있다.

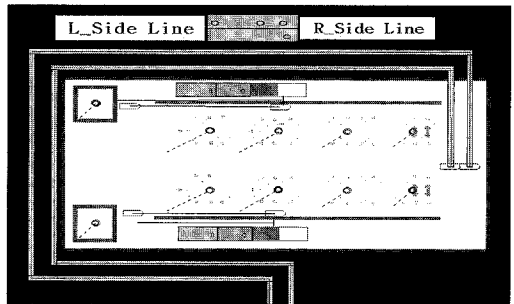
a) 프론트라인



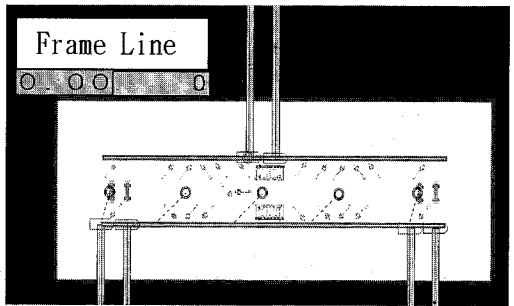
b) Underbody 라인



c) 좌·우측 사이드라인



d) 프레임라인



e) 재용접라인

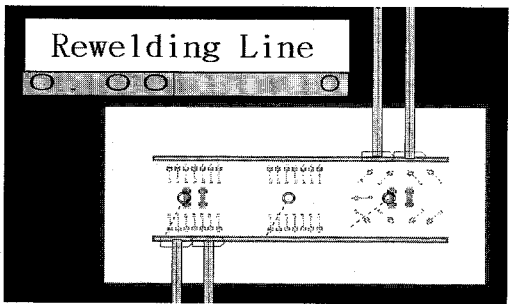


그림 5 라인별 설비배치 형태

그림 6은 개별라인들을 통합한 차체공장 전체의 형태를 보여준다.

도표 6 인자들 및 고려영역

4. 실험설계

4.1 목적함수와 독립변수

본 연구의 주된 목적함수는 시간당 생산량 (production rate)이다. 이는 큰 값을 갖는 것이 유리하며 품질의 특성분류상 망대특성(LTB: larger the better)에 해당한다[5,6]. 그러나 생산량은 시스템에 내재된 여러 변수들에 종속이며 일정 수준 이상은 불가능하다. 본 절에서는 생산량을 최대로 유지하도록 노력하되 원하는 70대 수준에의 달성이 어려운 경우를 고려하여 수반인자들 값의 변화에 따른 생산량에의 영향을 예측하고자 한다. 문제에 대한 사전 조사분석에 의하여 고려되는 주요 인자들로는 생산라인들 사이의 버퍼 크기(buffer size), 수리 및 정비 능력 향상과 관련한 각 단위설비의 고장시간 간격, 사이클 타임, 캐리어 이동 속도 등 5가지가 수집되었다. 도표 6은 인자들과 이들의 고려 가능한 영역을 도시한 것이다.

기호	인자	필요 자원	고려영역
A	Buffer Size	하체라인 프레임 라인	[10, 30]
B	단위설비 고장간격	용접로봇 지지로봇 다용도로봇 리프트 전용설비	[0,+10%]
C	단위설비 수리소요 시간	용접로봇 지지로봇 다용도로봇 리프트 전용설비	최대 20% 감소
D	사이클 타임	하체라인 프레임라인 재용접라인 프론트라인 사이드라인 사이드내부라인	최대 5% 증가
E	캐리어 속도	캐리어 속도	최대 30% 증가

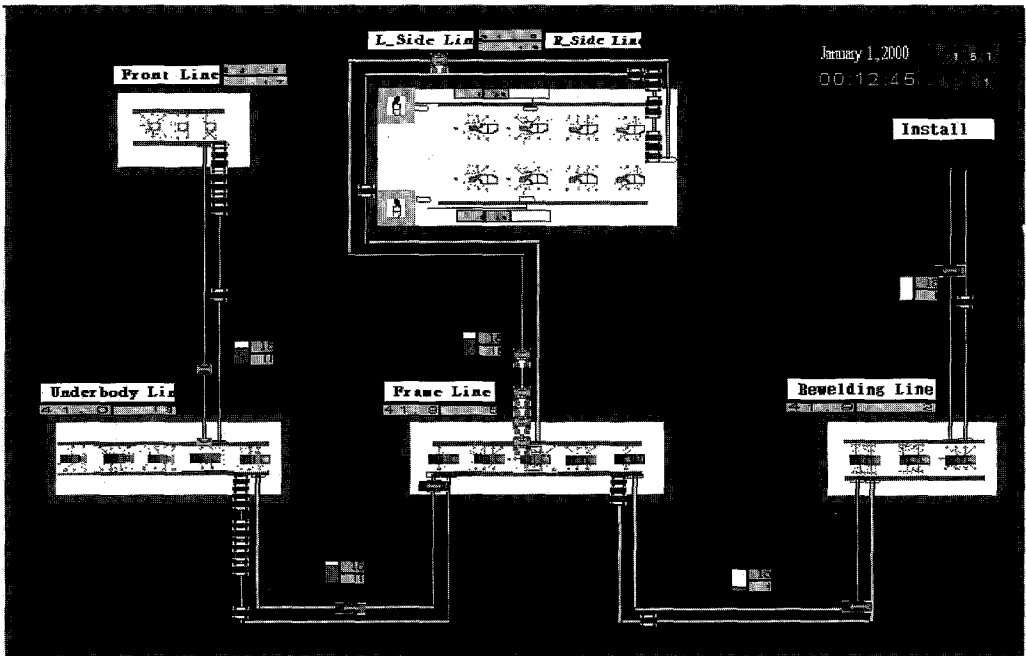


그림 6 차체공장 Layout

설비들의 고장, 수리과정을 모두 개별적으로 처리하는 관련 공정/라인내 설비의 수가 너무 많아 불가능하다. 즉, **복합체계 신뢰도 개념에 의거** 신뢰성 및 가용성을 이용하여 접근이 가능할 수 있겠으나 정확한 분포의 산출이 불가능하거나 유도과정이 너무 복잡하다. 본 문제 특성상 모든 라인의 고장은 개별 설비 고장에 종속되므로 직렬부품으로 이루어진 시스템으로 취급하는 **묶음** 처리가 가능하다. 즉, 각각의 설비 고장률이  $\lambda_i, i=1,2,\dots$ 의 독립 지수분포를 따를 경우, k개의 직렬부품으로 이루어진 전체시스템의 고장시간 간격은 모수  $\sum_{i=1}^k \lambda_i$ 의 지수분포를 따름을 쉽게 증명할 수 있다. 이를 로봇 형태별, 또는 라인별로 묶어 마치 한 대의 기계처럼 처리할 수 있다. 이 경우의 잠재적 문제점은 라인의 고장시간의 집계는 가능하나 본 문제에서 요구하는 개별 공정에 대한 설비의 상태별 점유시간(율)의 집계가 불가능하거나 설비에 따라 서로 다른 수리시간을 고장과 같이 쉽게 통합할 수 없다. 이러한 문제점들을 극

복하기 위하여 각 공정별 동일 설비끼리만 통합하는 방법을 택하였다. 이로 인해 프로그램 상 entity의 수가 증가되는 단점이 있으나 모형에 대한 validation 측면의 큰 장점이 있다.

최종적으로, 설정된 인자들의 값들은 각각 2 수준씩 도표 7과 같이 요약된다.

**4.2 실험설계**

이제 고려하는 5인자들을 이용하여 시뮬레이션 실험을 실시하기 위하여 설계하자. 본 연구에서는 full factorial design으로 요구되는  $32(=2^5)$ 개의 조합(treatment combination)중 정의대비(defining contrast)  $I=ABCDE$ 에 근거한  $\frac{1}{2}(2^{5-1})$  **일부실험법(fractional design)**을 이용하여 총 16개의 조합만을 이용한다. 도표 8은 총 32 실험조합들을 도시하며 이중 수행할 조합은 블럭 1의 16 조합들이다.

**도표 7 시뮬레이션 수행을 위한 고려 인자들의 수준**

인자	변수명	입력변수	고려영역	수준 1	수준 2
A	Buffer Size	하체라인	30이하	10	30
		프레임라인		10	30
		재용접라인		10	30
		프론트라인		10	30
		좌·우측 사이드라인		12	30
		좌측사이드내부라인		10	30
		우측사이드내부라인		10	30
B	단위설비의 고장간격	용접로봇	10%내외 증가	502344	552578.4
		지지로봇		1434636	1578099.6
		다용도로봇		808560	889416
		리프터		915732	1007305.2
		전용설비		50400	55440
C	단위설비의 수리시간	용접로봇	20%내외 감소	892.8	1116
		지지로봇		345.6	432
		다용도로봇		720	900
		리프터		374.4	468
		전용설비		Tria(1440,2880,5760)	Tria(1880,3600,7200)
D	사이클 타임	하체라인	5%내외 감소	41.078	43.24
		프레임라인		41.971	44.18
		재용접라인		41.981	44.19
		프론트라인		38.228	40.24
		좌우측 사이드라인		41.078	43.24
		좌우측 사이드내부라인		40.185	42.30
E	캐리어 속도	캐리어속도	30%내외 증가	1.67	2.171

도표 8  $2^{5-1}$  실험조합( $I=ABCDE$ )

블럭 1		블럭 2	
abcd	ae	abcde	bce
abce	bc	abc	bde
abde	bd	abd	cde
acde	be	abe	a
bcde	cd	acd	b
ab	ce	ace	c
ac	de	ade	d
ad	(1)	bcd	e

### 4.3 실험결과 및 분석

도표 9는 총 16조합을 바탕으로 실시한 시물레이션 실험결과이다. 이 도표에서 보듯이 조합당 10개씩의 결과치를 얻었으며 이들의 평균, 표준편차, 그리고 S/N비(signal-to-noise ratio)값이 맨 마지막 열에 계산되었다[5,6].

다음으로, 그림 7과 도표 10은 도표 9를 바탕으로 계산된 인자수준별 평균반응결과를 도시한 것이고 그림 8은 인자들간의 상관관계를 조사하기 위한 2인자간의 교호작용(interaction effect) 그래프이다. 편의상 이들결과를 도표로 도시하지는 않았다. 결과에서 보듯이 인자들 중 A와 C가 월등히 큰 영향을 미치며 다른 요인들은 그 영향이 상대적으로 미미함을 알 수 있다. 한가지 재미있는 결과는 그림 8에서 보는 바와같이 인자들 간의 교호작용이 매우 미미함이다. 이는 분석과정상 문제를 단순화시킬 수 있음을 반영하며 궁극적으로 주효과(main effect)들만으로 모형화한 뒤 시스템을 분석할 수 있음을 반영한다.

적으로 미미함을 알 수 있다. 한가지 재미있는 결과는 그림 8에서 보는 바와같이 인자들 간의 교호작용이 매우 미미함이다. 이는 분석과정상 문제를 단순화시킬 수 있음을 반영하며 궁극적으로 주효과(main effect)들만으로 모형화한 뒤 시스템을 분석할 수 있음을 반영한다.

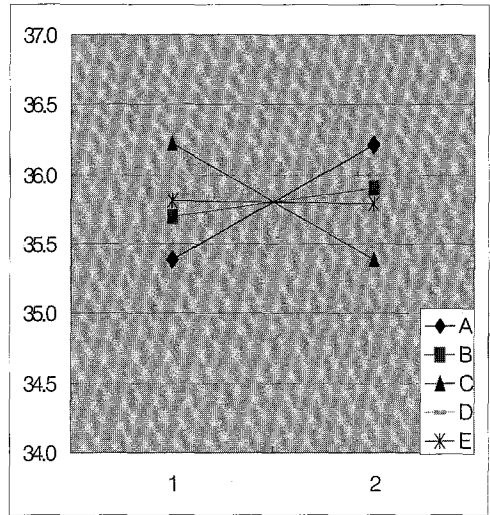


그림 7 인자수준별 평균반응그래프

도표 9 시물레이션 수행 결과

조합	A	B	C	D	E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균	표준 편차	S/N 비
1	1	1	1	1	1	54.58	65.50	67.50	66.58	53.50	61.38	62.42	66.00	56.58	61.79	61.58	5.11	35.70
2	1	1	2	2	1	64.96	52.17	56.71	56.96	59.50	53.83	51.13	52.29	61.42	63.21	57.22	4.91	35.07
3	1	2	1	2	1	62.54	65.54	59.63	63.58	65.79	62.92	61.63	61.92	57.21	54.21	61.50	3.61	35.73
4	1	2	2	1	1	59.88	55.54	65.96	51.63	60.42	54.25	66.96	50.25	62.25	57.96	58.51	5.67	35.23
5	2	1	1	2	1	73.42	69.63	68.67	59.42	65.25	65.29	69.83	62.92	69.04	66.13	66.96	4.00	36.47
6	2	1	2	1	1	59.75	59.33	54.71	68.29	61.46	66.54	66.71	64.83	56.38	62.46	62.05	4.57	35.79
7	2	2	1	1	1	67.75	69.21	71.42	67.92	72.25	69.21	65.38	73.25	68.50	68.50	69.34	2.35	36.81
8	2	2	2	2	1	55.75	56.75	65.08	61.46	62.13	66.88	73.92	61.54	56.58	59.96	62.01	5.54	35.76
9	1	1	1	2	2	60.54	58.25	61.13	67.00	54.71	65.13	68.46	61.58	55.92	56.29	60.90	4.76	35.62
10	1	1	2	1	2	53.29	49.21	58.58	60.13	63.58	57.13	52.88	57.75	51.46	58.00	56.20	4.38	34.92
11	1	2	1	1	2	57.08	63.42	66.92	58.92	56.50	67.88	67.79	66.00	60.17	60.04	62.47	4.46	35.85
12	1	2	2	2	2	60.00	49.79	57.92	49.75	58.63	58.96	55.17	54.00	64.67	61.58	57.05	4.87	35.04
13	2	1	1	1	2	72.67	67.92	72.63	66.29	64.92	73.46	60.75	72.96	67.25	68.17	68.70	4.19	36.69
14	2	1	2	2	2	65.58	57.75	60.33	53.83	61.58	61.33	59.50	48.33	61.13	62.54	59.19	4.90	35.35
15	2	2	1	2	2	68.54	73.29	67.46	68.42	71.92	68.71	71.75	69.42	69.21	72.96	70.17	2.10	36.91
16	2	2	2	1	2	68.04	62.63	64.25	59.88	63.54	69.13	72.67	49.63	64.00	62.88	63.67	6.18	35.95



ARENA 시뮬레이션을 이용한 차체공장 수행도 분석

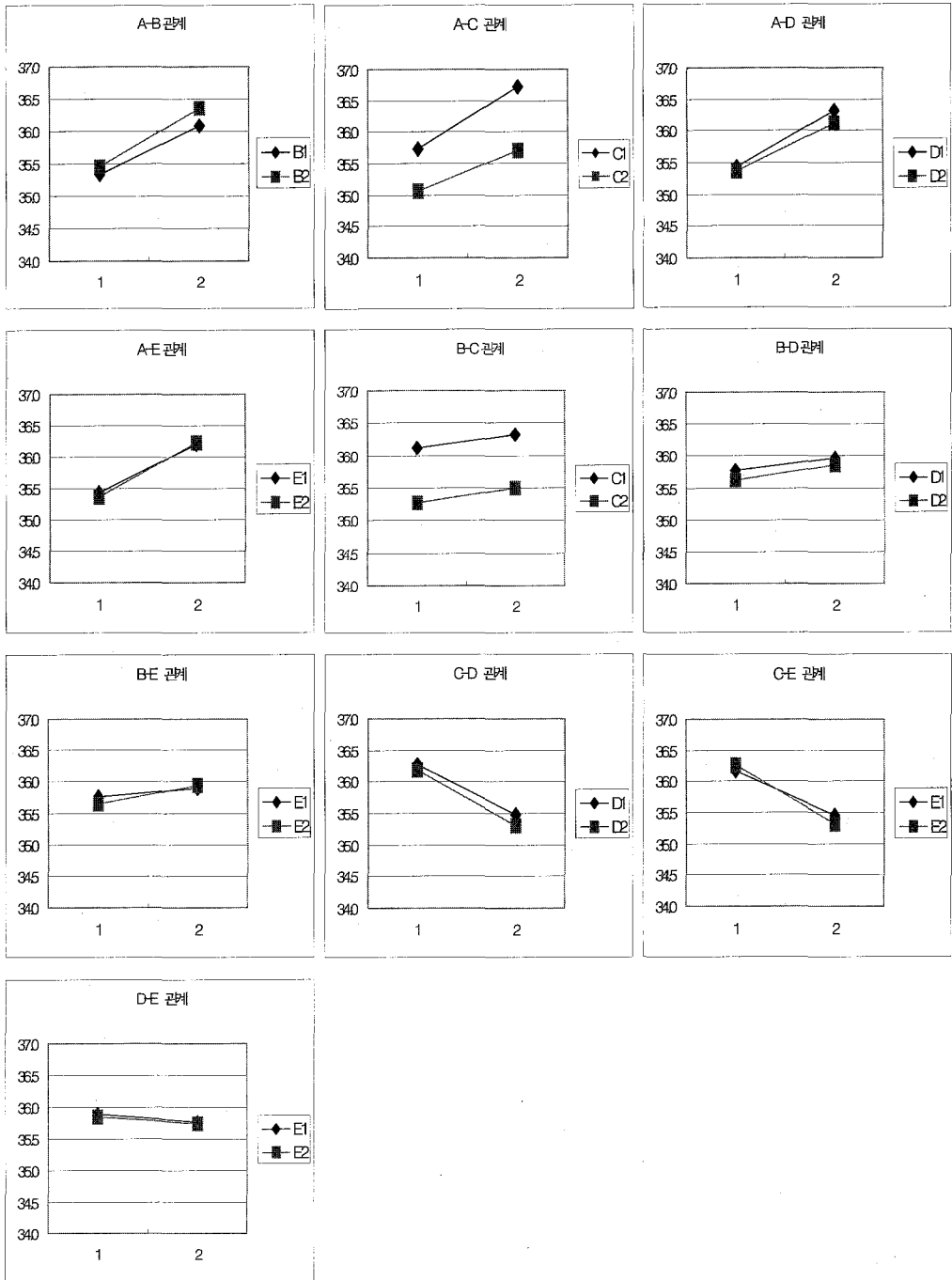


그림 8 인자들간의 교호작용 결과 그래프

도표 10 인자수준별 S/N 평균반응 결과

인자 수준	A	B	C	D	E
1	35.40	35.70	36.22	35.87	35.82
2	36.22	35.91	35.39	35.74	35.79
차이	2	3	1	4	5

개별 인자들의 수준 변화에 따른 영향을 검토하면 우선 라인간의 버퍼크기(A)는 기존의 10개로부터 그 수가 증가할수록 단위시간당 생산량 및 안정성이 결정적으로 증가하며 따라서 그의 수준을 30개로 유지함이 요구된다. 설비들의 수리소요시간(C) 역시 생산량에 매우 민감하게 영향을 미치며 설정된 수리시간 간격을 20% 감소(C1)시켜야 함이 요구된다. 반면 단위설비의 고장시간 간격(B)은 생산량에 다소 영향을 미치나 A와 C의 경우보다는 덜 민감하다. 이에 대한 이유는 기존의 설정된 고장시간 간격이 이미 시스템 성능상 필요조건을 만족하고 있음을 반영한다. 그러나 이 수준의 변경 역시 생산량에 다소 영향을 미치므로 고장시간 간격이 크도록(B2) 설비예방과 보존에 노력을 기울여야 할 것이다. 기타 D와 E에 대하여는 이들의 수준변화에 따른 생산량에의 영향이 거의 없다.

결론적으로, 단위시간당 생산량을 최대로 유지하기 위한 인자들의 최적 수준조합은 A2, B2, C1으로 설정할 수 있다. 최적 수준에서 기대되는 단위 시간당 생산량은 다음과 같이 예측된다.

$$\begin{aligned} \widehat{\text{생산량}} &= \widehat{A}_2 + \widehat{B}_2 + \widehat{C}_1 - 2\widehat{\mu} \\ &= 65.26 + 63.09 + 65.20 - 2(62.34) \\ &= 68.87 \end{aligned}$$

이 식의  $\widehat{A}_2, \widehat{B}_2, \widehat{C}_1$  등은 각 인자수준별 평균반응 값으로 도표 10과 같은 방법으로 계산하되 S/N이 아닌 본래의 관측결과치를 이용하여 계산한 값이고,  $\widehat{\mu}$ 은 데이터들의 전체 평균이다. 이 결과는 비록 목표치에 약간 미달되는 수준이지만 매우 근접한 수행도로 충분히 수용 가능하다. 참고로 도표 9의 조합 7과 15에서 보듯이 이 수준에서 생산량의 평균치가 70에 가까움을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 자동차 차체라인의 조립과정을 대상으로 효과적인 모델 설계와 분석을 위해 시뮬레이션을 언어를 사용하여 프로그래밍하고 분석하였다. 본 연구를 통하여 시뮬레이션의 활용과 실험 계획법을 이용한 문제의 분석이 매우 실용적이며 효과적임이 증명되었다. 본 연구의 결과는 실무에서 참고할 수 있을 만큼 명확하며 분석자 및 의사 결정자로 하여금 확신을 가지고 대처가 가능하다.

## 참 고 문 헌

- [1] ARENA User's Guide, System Modeling Corporation, 1995.
- [2] Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A., *Simulation With Arena*, McGraw-Hill, 1998.
- [3] 문일경, 윤원영, 조규갑, 최원준, *ARENA를 이용한 시뮬레이션*, 교보문고, 1999.
- [4] Pegden, C. D., Shannon, R. E. Sadowski, R. P., *Introduction To Simulation Using Siman*, McGraw-Hill, 1995.
- [5] Peace, G. S., *Taguchi Methods*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.
- [6] Phadke, M. S., *Quality Engineering using Robust Design*, Prentice Hall, 1989.