

자동차 도장공정의 생산성 향상을 위한 시뮬레이션 분석

Analysis of the Productivity of Automobile Painting Process Using Computer Simulation

김원경*, 김충규*

Won Kyung Kim, Chung Gyu Kim

Abstract

In this paper, the productivity estimation of the painting line in an automobile plant is studied. To improve the bottleneck and the weak point of the process, computer simulations are performed. In determining the system specification, the status of the conveyor lines and the other physical facilities are considered in order not to intervene with each other and to satisfy the painting facility restrictions. As simulation parameters, production performance ratio, number of hanger and dolley, down time, speed of conveyor and the pitch of a painting body are chosen on the basis of exhaustive field evaluation to study their effects on the capacity of the process. The results of the simulation show that we can improve the capability of the system without additional investment to the plant facility. The best condition for the maximum capacity of the process is selected by comparing the alternative computer simulation results. As a simulation language, Promodel is used which is very useful and easy to use in manufacturing oriented simulation.

* 경남대학교 산업공학과

** 대우중공업(주) 국민차사업부문

1. 서론

컴퓨터 시물레이션이란 분석의 대상이 되는 실제 "시스템"을 컴퓨터를 이용하여 모델링하고, 시간의 경과에 따른 시스템의 상태변화와 추이를 실제상황과 유사하게 흉내냄으로써, 대상 시스템의 예상행태를 사전에 간접적으로 예측하기 위해 사용하는 방법이다[5]. 이는 최근에 생산,유통,의료 및 환경등 다양한 분야에서 학문적 연구와 실제시스템이 병행됨으로써 뛰어난 의사결정 기법으로 주목받고 있다. 또한 시물레이션 기법은 최근 컴퓨터 기술의 발전과 더불어 응용분야가 날로 확대되어 왔으며, 다양한 시물레이션 응용프로그램의 개발로 인하여 모델링 시간과 실행시간을 단축시켰고, 작성이 용이한 그래픽 애니메이션(Graphic Animation)은 시물레이션 모델에 대한 사용자의 확신을 증대시켜 시물레이션 기법을 이용한 의사결정의 범위를 확대시키게 되었다. 오늘날 실제 시스템을 수학적으로 분석하기에는 매우 복잡하고 시스템의 상황이 동적으로 계속해서 변화하고 있으므로 시물레이션 기법을 통한 분석과 통계적 분석기법을 이용한 종합적인 평가가 필요하게 된다[7]. 이를 위하여 본 논문에서는 미국의 PROMODEL Corporation사에서 생산시스템 분야의 상용 시물레이터로 개발된 Promodel 소프트웨어를 사용하였다[6,8]. 이어 현실적용의 예로써 D자동차사 도장라인을 분석 대상 시스템으로 선정하여, 도장라인 전체를 Promodel 소프트웨어를 통해 문제점을 분석하고 평가하며, 다공정으로 구성되어 공정분석이 복잡한 도장라인에서 가장 효율적인 시스템의 대안을 제시하는 일련의 과정을 고찰하고자 한다. 기존의 자동차 도장라인을 대상으로 연구한 논문은 [3,4] 등에서 찾아 볼 수 있다.

본 연구를 수행하는 목적은 수시로 다변하는 생산계획에 대응하기 위해, 각 공정의 운영형태를 분석하고, 이를 토대로 도장라인의 최대생산능력을 위한 가장 효율적인 설비조건을 검토하고자하는 것이다.

2. 생산라인의 현황 및 연구과제

2.1 생산라인의 구성

본 연구의 시물레이션 모델은 컨베이어에 의한 흐름방식이며 장치산업의 대표적 공장 형태인 자동차 도장라인을 연구대상으로 선정하였다. 자동차 도장공정은 자동차의 부식과 노화를 방지하고, 외관을 아름답게 하여 상품의 가치를 향상시키며, 구매력을 유인시키는 효과에 크게 기여하고 있다. 따라서 산업의 고도화, 생활 문화의 발달에 따라 미를 추구하는 욕구가 증가함에 따라 자동차 도장분야의 중요성에 많은 관심을 갖게 되었다. 자동차 도장라인을 구성하고 있는 주요공정은 크게 보아 전처리 (Pretreatment) → 전착(Electro Deposition) →중도 (Primer Coat Line) → 상도(Top Coat Line) → 검사 및 수정(Inspection & Repair Line) 등으로 구분되며[1, 2] 각 공정에 대한 개요는 아래와 같고, 세분화된 공정도는 <그림 1>과 같다.

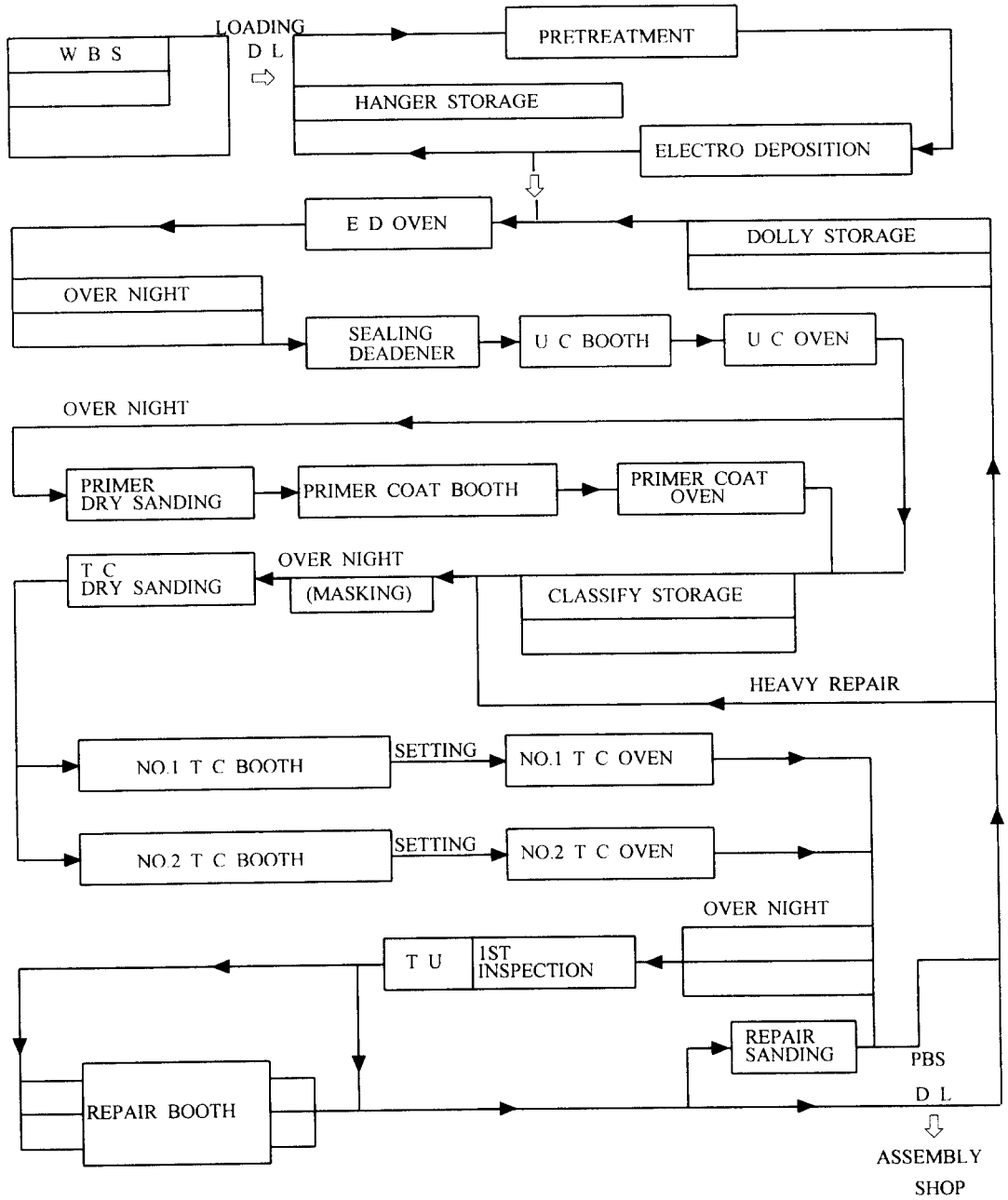
전처리 : 차체에 묻은 이물질이나 기름때를 제거하는 공정으로, 차체에 방청성 향상과 페인트 부착력 향상을 위하여 인산아연피막을 입히는 공정이다.

전착 : 침적조내 도료를 깨끗한 물로 혼합하여 전기분해, 침투, 굴절 등 전기적 현상에 의한 방청성 부여를 목적으로 하는 도막을 차체에 부착시킨다.

중도 : 전착도막의 결합부위를 제거하고 표면을 연마한 후 상도 물성 및 외관의 향상을 위하여 자동도장기나 수동 스프레이를 이용하여 차체 내부 및 외부를 도포하고 열풍을 이용하여 습도막을 건조시킨다.

상도 : 중도공정에서 발생된 결합부위를 제거한 후 도장차체의 최종색상을 자동도장기나 수동스프레이로 차체의 내부와 외부를 도포하는 도장공장의 핵심공정이다.

검사 및 수정 : 도장의 품질을 검사하여 합격 여부를 판단하며 단순한 내외부의 도막결합은 라인상에서 직접 수정하고 강제조건으로 수정해야 할 결합부위는 상도를 수정한 후 재도장한다. 도장결합이 차체표면의 전반에 발생할 때는 재도장을 위해 차체를 연마한다.



<그림 1> 자동차 도장라인의 공정도

2.2 연구과제

D자동차사의 도장라인은 현재 2조 2교대 근무로 매일 20시간씩 운영되고 있다[4]. 도장라인은 자동차의 생산 흐름공정 특성상 차체공장과 조립공장의 중간에 위치하여 전,후공장이 라인 밸런싱을 이루도록 하는 중요한 역할을 한다. 한편 신차 모델의 평균수명이 점점 줄어들고 고객들의 선택사양이 다양화 되어가는 현재 상황에서 단일차종 생산체계의 한계를 넘어, 다품종소량 생산체계의 유연생산방식(Flexible Manufacturing System)으로 변환이 요구되고 있고, 이를 위한 각 공정의 생산능력 분석 및 개선을 통하여 최대생산능력의 확보가 필요하게 되었다. 도장공정은 크게 2가지 그룹의 공정으로 구성되는데 첫째, 생산량의 증감에도 공정조건을 변경할 수 없는 절대공정이 있고 둘째, 생산량의 증감시 제한된 범위 내에서 설비조건이나 작업자의 배치를 변경하여 공정능력의 조정이 용이한 상대공정이 있다. 시물레이션 최적화를 수행하기 위해서는 무엇보다도 먼저 현재의 24만대 생산라인의 기본자료에 대한 정확한 분석이 필요하므로, <표 1>과 같은 현장에서 직접 수집된 기초자료로 Promodel을 이용하여 시물레이션을 실시한다. 본 논문에서는 상대공정에 한하여, 현재 설비에서 연간 27만대 생산을 목표로 하여, 각 공정의 개선을 아래의 조건으로 고찰하고자 한다.

- (1) 공장설비를 더 이상 늘리지 않은 상태에서, 즉 설비 투자비용을 추가하지 않고, 현재의 연간 24만대 생산량을 연간 27만대로 증산한다.
- (2) 도장 작업물인 차체(Body)를 연속적으로 이동시키는 컨베이어 속도는 변경시키지 않는다.
- (3) 각 공정에서 차체가 이동할 때 컨베이어의 분기 및 합류부에 대한 제어방식은 FIFO(First In First Out)에 의하여 우선순위를 부여 하였다.
- (4) 컨베이어에 의한 차체 운동거리는 도면을 참조한 후, 현장의 운용상태를 실제로 실측 검사하여 그것을 토대로 분석을 실시하였다.
- (5) 모델링시 시간단위는 분, 거리단위는 미터를 사용하였다.

전술한 바와 같이 상대공정에서는 컨베이어의 작업 조건중 속도를 높이는 방법으로 생산량을 늘리는 일은 가능하나, 이는 도장공장에서 피도물의 화학처리시간, 작업수행 절대시간, 자동화 시스템의 대응시간 및 전,후공정의 라인밸런싱에 직접적인 영향을 주므로 본 시물레이션에서는 고려하지 않기로 하였다. 그 대신 현재의 컨베이어 설비조건을 변경시키지 않고도 생산량을 증가시키는 방법으로 Tact Time을 줄이고 차체 한 대의 점유공간을 줄이는 방법을 선택하였다. 다시 말하면 각 공정 컨베이어의 절대 길이는 고정되어 있으므로 차체 Pitch를 줄여 각 공정의 용량(Capacity)을 키우는 것이다. 그러나 국지적인 일부 공정의 컨베이어만 개선한다고 하여도 전후 공정이 모두 밸런스를 맞추어 개선되지 않으면 결국 대기(queue) 또는 블록킹(blocking) 현상이 나타나 아무 소용이 없다. 이러한 상대도장공정 컨베이어의 용량과 Pitch, Tact Time 등을 전후 공정과의 시간적인 간섭과 공정특성 등, 물리적인 제반 여건을 감안하여 설비조건의 여러 가지 문제점에 대한 전반적인 검증을 끝낸 <표 2>를 적용하여 증산 시물레이션을 수행한다. 그런 다음 이 시스템이 27만대의 생산목표를 달성할 수 있도록, 생산 시스템에 관한 매개변수(Parameter)의 수정 및 공정 변경을 통한 효율적인 시스템을 제안한다.

3. 시물레이션 모델의 구축

본 연구는 분석의 효율성을 위하여 모델링 대상 시스템을 도장공장으로 한정하였다. 시물레이션에 사용된 모델의 구조는 본 연구를 통해 현실성이 확인된 모든 경우의 수를 시물레이션 메뉴에서 시나리오에 의해, 간단히 입력 데이터만 변경시킴으로써 예측되는 다양한 경우를 시물레이션 할 수 있게 되어있다. 그래픽방식인 Promodel 소프트웨어를 이용하여 모델링시 모든 설비조건은 마우스를 이용하여 애니메이션 작성과 동시에 정의되며, 설비를 정확하게 제어하는데 필요한 정보는 <표 1> 또는 <표 2>와 같은 설비조건을 이용하여 순차적으로 입력하면 된다. 도장공장은 각각 독립된 구동모터로 운전되는 컨베이어들이 단위공정으로 연결되어 전체 시스템

<표 1> 연간 240,000대 생산시 설비조건(기본안)

주요공정	모델공정	LENGTH (M)	CAP. (대)	BODY PITCH (M)	TACT TIME (분)	C/V 속도 (M/분)
	WBS	-	2000	-	-	-
LOADING DL	LOADING DI.	-	1	-	-	-
TRANSFER LINE	LOADED HANGER 1	15	4	-	-	18.6
PRETREATMENT	PRETREATMENT	240	39	6.15	1.08	5.7
ELECTRO DEPOSITION	ELECTRO DEPOSITION	145	24	6.10	1.09	5.6
TRANSFER LINE	LOADED HANGER 2	14	3	-	-	18.6
UNLOADED DL1	UNLOADED DI.1	-	1	-	-	-
UNLOADED DL2	UNLOADED DI.2	-	1	-	-	-
E DOLLY STORAGE	LOADED DOLLY 1	19.7	5	4.6	-	18.6
TRANSFER LINE	TRANSFER LINE	113	24	-	-	18.6
E- CARRIER STORAGE	E HANGER STORAGE	331.4	73	-	-	18.6
E D OVEN	E D OVEN	170	34	5.1	1.09	4.7
E D STRIP OFF(1)	E D STRIP OFF	217.5	49	-	-	18.6
E D STRIP OFF(2)	E D STRIP OFF	369.5	82	-	-	18.6
SEALING	SEALING DEADENER	89	16	5.7	1.08	5.3
TRANSFER LINE	U C BOOTH	56	10	5.7	1.00	18.6
U C OVEN	U C OVEN	117	23	5.1	1.09	4.7
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	148.5	33	-	-	18.6
DRY SANDING	PRIMER DRY SANDING	35.2	6	6.0	1.09	5.5
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY 5	32	7	-	-	18.6
PRIME COAT BOOTH	PRIMER COAT BOOTH	55	9	6.2	1.09	5.7
PRIME COAT OVEN	PRIMER COAT OVEN	192.4	38	5.1	1.08	4.7
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	147.1	34	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	108.8	25	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	82	19	-	-	18.6
TC DRY SANDING	TOP COAT DRY SANDING	70.9	12	6.0	1.00	6.0
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	57.4	14	-	-	18.6
NO1 TOP COAT	NO 1 TOP COAT BOOTH	79.2	13	6.4	2.00	3.2
NO1 T/C OVEN	NO 1 TOP COAT OVEN	135	27	5.1	1.96	2.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY 10	95	21	-	-	18.6
NO2 TOP COAT	NO 2 TOP COAT BOOTH	79.2	13	6.4	2.00	3.2
NO2 T/C OVEN	NO 2 TOP COAT OVEN	135	27	5.1	1.96	2.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	152.2	35	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	73	16	-	-	18.6
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY 144	63.5	14	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY 15	9.1	2	-	-	18.6
1ST INSPECTION	TOUCH UP 1ST INSPECTION	41	7	5.8	1.00	5.8
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	12.9	3	-	-	18.6
REPAIR BOOTH	REPAIR BOOTH	90.5	21	-	-	18.6
REPAIR BOOTH	REPAIR BOOTH	107	26	-	-	18.6
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	109.6	25	-	-	18.6
	PRS DI.	-	1	-	-	-
	ASSEMBLY SHOP	-	1	-	-	-
TRANSFER LINE	E DOLLY TRANSFER	105.7	25	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE 1	71.8	16	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE 2	93	21	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE	167.6	37	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE	99.8	24	-	-	18.6

<표 2> 연간 270,000대 생산시 설비조건(증대안)

주요공정 27000	모델공정	LENGTH (M)	CAP. (대)	BODY PITCH (M)	TACT TIME (분)	C/V 속도 (M/분)
	WBS	-	2000	-	-	-
LOADING DL	LOADING DL	-	1	-	-	-
TRANSFER LINE	LOADED HANGER 1	15	4	-	-	18.6
PRETREATMENT	PRETREATMENT	240	46	5.2	0.91	5.7
ELECTRO DEPOSITION	ELECTRO DEPOSITION	145	28	5.1	0.91	5.6
TRANSFER LINE	LOADED HANGER 2	14	3	-	-	18.6
UNLOADED DL1	UNLOADED DL1	-	1	-	-	-
UNLOADED DL2	UNLOADED DL2	-	1	-	-	-
E DOLLY STORAGE	LOADED DOLLY 1	19.7	5	4.6	-	18.6
TRANSFER LINE	TRANSFER LINE	113	24	-	-	18.6
E- CARRIER STORAGE	E HANGER STORAGE	331.4	73	-	-	18.6
E D OVEN	E D OVEN	170	37	4.5	0.96	4.7
E D STRIP OFF(1)	E D STRIP OFF	217.5	49	-	-	18.6
E D STRIP OFF(2)	E D STRIP OFF	369.5	82	-	-	18.6
SEALING	SEALING DEADENER	89	16	5.3	1.00	5.3
TRANSFER LINE	U C BOOTH	56	10	5.7	-	18.6
U C OVEN	U C OVEN	117	26	4.5	0.96	4.7
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	148.5	33	-	-	18.6
DRY SANDING	PRIMER DRY SANDING	35.2	7	5.4	0.98	5.5
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY 5	32	7	-	-	18.6
PRIME COAT BOOTH	PRIMER COAT BOOTH	55	10	5.4	0.95	5.7
PRIME COAT OVEN	PRIMER COAT OVEN	192.4	42	4.5	0.96	4.7
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	147.1	34	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	108.8	25	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	82	19	-	-	18.6
TC DRY SANDING	TOP COAT DRY SANDING	70.9	13	5.4	0.90	6.0
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	57.4	14	-	-	18.6
NO1 TOP COAT	NO 1 TOP COAT BOOTH	79.2	13	5.8	1.80	3.22
NO1 T/C OVEN	NO 1 TOP COAT OVEN	135	30	4.5	1.73	2.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY 10	95	21	-	-	18.6
NO2 TOP COAT	NO 2 TOP COAT BOOTH	79.2	13	5.8	1.80	3.22
NO2 T/C OVEN	NO 2 TOP COAT OVEN	135	30	4.5	1.80	2.5
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	152.2	35	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY	73	16	-	-	18.6
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY 144	63.5	14	-	-	18.6
STRIP-OFF	LOADED DOLLY 15	9.1	2	-	-	18.6
1ST INSPECTION	TOUCH UP 1ST INSPECTION	41	7	5.2	0.90	5.8
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	12.9	2	-	-	18.6
REPAIR BOOTH	REPAIR BOOTH	90.5	21	-	-	18.6
REPAIR BOOTH	REPAIR BOOTH	107	26	-	-	18.6
TRANSFER LINE	LOADED DOLLY	109.6	25	-	-	18.6
	PBS DL	-	1	-	-	-
	ASSEMBLY SHOP	-	1	-	-	-
TRANSFER LINE	E DOLLY TRANSFER	105.7	25	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE 1	71.8	16	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE 2	93	21	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE	167.6	37	-	-	18.6
E-DOLLY STORAGE	E DOLLY STORAGE	99.8	24	-	-	18.6

을 구성하고 있으며, 컨베이어의 정의는 그래픽 방식으로 마우스를 이용하여 실제의 물리적인 배치와 크기와 모양을 동일하게 작성하면 된다.

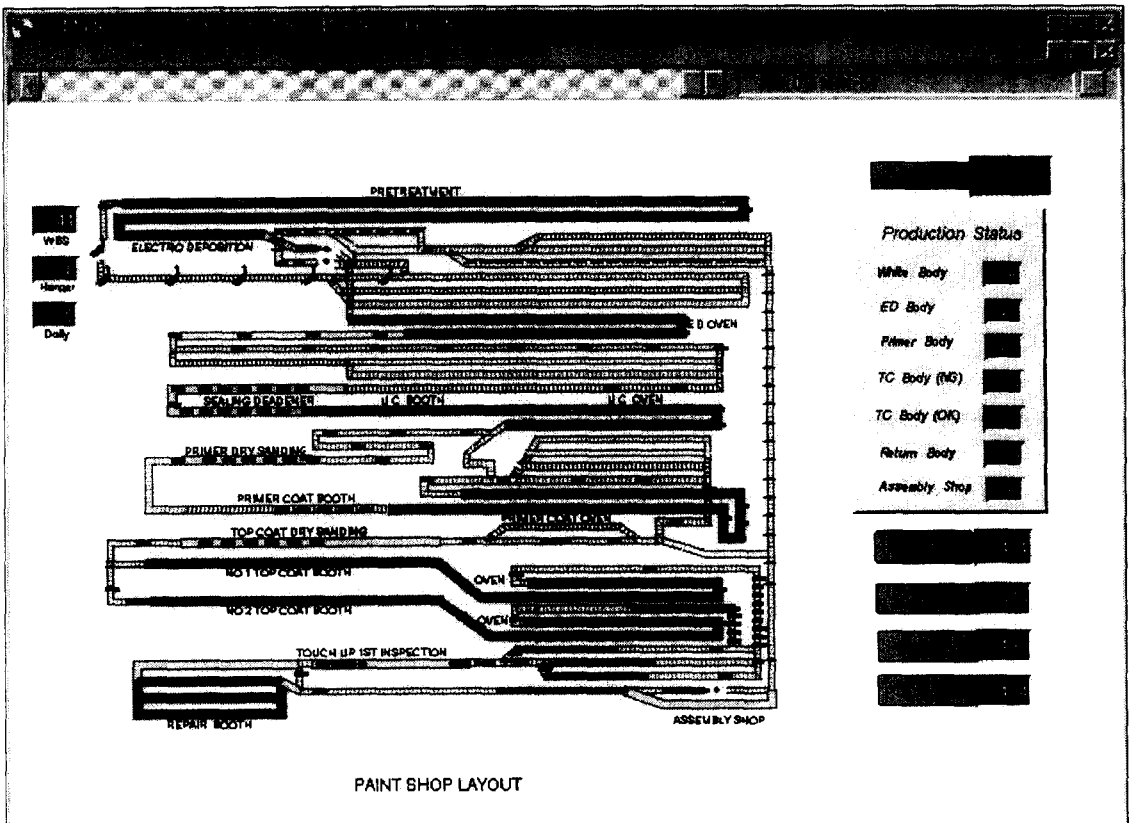
컨베이어의 종류는 운전중 정지 할 때, 작업물이 계속 합쳐지는 Accumulating 방식과 작업물이 동일한 간격으로 유지되는 Non-accumulating 방식의 2가지가 있으나, 여기서 작업구역으로 분석의 대상이 되는 상대공정은 Non-Accumulating으로, 단순한 이송라인은 Accumulating으로 정의되었다. 본 논문에서는 원활한 프로그램 작성을 위해, 컨베이어의 분지 및 합류부를 기준으로 가상의 모델공정을 만들어 세분화 시켰고, 이 공정 전부를 각각의 단위작업장 (Location)으로 모델링 하였기 때문에 다소 많은 수의 단위작업장들이 생성되었다. 이상과 같이하여 구축된 모델에 대한 애니메이션 화면은 <그림 2>와 같다.

4. 시뮬레이션 결과분석

기본안에 대한 시뮬레이션은 <표 3>에서와 같이 현재 운영 중인 연간 240,000대 생산 시스템을 생산 효율(Production Efficiency)만 변경하여 실시한 후 그 출력 결과를 분석하면 실제상황과 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 기본안에 대한 시뮬레이션 모델을 기초로, 증대안에 대한 모델링을 실시하여 연간 270,000대 생산 체계를 구축하는 기본 자료로 활용하고자 한다.

4.1 연간 240,000대 생산 시스템 분석

시뮬레이션은 초기상태에서 Hanger 88대가 Loading DL(Drop Lift)에 투입완료되고 이어서 Dolly 400대가 컨베이어상에 투입완료되는데 필요한



<그림 2> 시뮬레이션 진행중의 애니메이션

<표 3> 기본안 설비 기본조건

항 목	기 본 조 건
Tact Time	1.03 분/대
Gross Production Q'ty	60분/시간+1.03분/대 = 58.3대/시간
생산효율	85.5%
Net Production Q'ty	58.3대/시간 × 0.855 = 49.8대/시간
년간 작업시간	4,833시간(휴식시간제외)
년간 생산대수	240,000대

Warm-up 시간이 8시간 58분 소요된다. 이 시간 이후에 정상적인 작업상태에 돌입했다고 보았으며, 이때부터 Terminating 시스템으로 10시간 동안 통계 자료를 수집하여 분석을 반복하였다. 기본안 상대공정의 일일 생산량 검토를 위해서 시물레이션을 수행한 결과, 도장작업 완료 후 차체가 조립작업장(Assembly Shop)으로 이동된 수량은 <표 4>에서 시간당 47.5대로 실제 공장 설계조건(통칭 시간당 48대)과 근접한 데이터를 갖게 되었다. 따라서 현재의 연간 240,000대 생산설비에 대한 모델링 신뢰도는 높은 수준임이 확인되었다. 여기서 Pretreatment로 들어온 차체와 Assembly Shop으로 나간 차체의 차이를 계산하면 52.4-47.5=4.9JPH(Job Per Hour: 시간당 생산대수)이므로 시간당 대략 5대의 차체가 도장불량으로 재도장을 위해 Top Coat Dry Sanding으로 회송된다고 볼 수 있다. 참고로 <표 4>에서 용어의 정의는 다음과 같다.

<표 4> 기본안 상대공정의 생산량 현황

상대공정	Capacity (대)	생산현황 (JPH)	생산효율 (%)
Pretreatment	39	52.4	94
Electro Deposition	24	50.8	82
E D Oven	34	51.2	93
Sealing Deadener	16	50.4	91
U C Oven	23	50.3	91
Primer Dry Sanding	6	49.4	85
Primer Coat Booth	9	49.7	90
Primer Coat Oven	38	52.1	94
Top Coat Dry Sanding	12	53.1	89
No 1 T C Booth	13	24.5	82
No 1 T C Oven	27	25.2	82
No 2 T C Booth	13	29.5	98
No 2 T C Oven	27	30.4	100
Touch Up Inspection	7	51.3	88
Assembly Shop	1	47.5	82

$$\text{생산효율(\%)} = \frac{\text{생산현황(JPH)}}{\text{Gross Production Q'ty}} \times 100$$

생산현황(JPH) = 상대공정의 Simulation 결과치

$$\text{Gross Production Q'ty} = \frac{60\text{분}}{\text{주요공정의 Tact Time(분)}}$$

$$\text{Tact Time(분)} = \frac{\text{Body 피치(m)}}{\text{C/V 속도(m/분)}}$$

순수생산량(Net Production Q'ty)을 결정할 때 생산효율을 어떻게 설정하느냐가 큰 변수로 작용하나 공장 설계조건인 85.5%와 <표 5>에 나타난 대로 지난 1년간의 생산효율 실적이 84%인 점을 감안하여, 생산효율을 85.5%로 각 Drop Lift에 가동정지시간(Down-Time)으로 적용하여 시물레이션을 실시하였다. 그 결과 각 단위공정에 대한 생산효율이 실제 운영상황과는 약간의 차이가 있다. 특히, No 2 Top Coat Booth 및 Oven에서는 100%의 높은 효율을 나타내는 불일치가 발견되었으나, 이는 컨베이어 모델링 시 설비제어와 현실이 차이가 생기는 문제점으로 향후 보완이 요구된다. 특히 컨베이어가 100% 이용되고 있는 공정은 Pretreatment와 Touch Up 1st Inspection인데, 먼저 현재의 설비조건에서는 Pretreatment에 여유가 없어 추가생산이 불가하므로, A/S 부품 생산계획시 사외 외주가 불가피하다는 것을 알 수 있다. 또한 Touch Up 1st Inspection에도 여유가 없으므로 이용률을 고르게 분산하여, 향후 도장불량 차체의 회송률 증가에 따른 병목현상을 방지하는 공정개선이 필요하다고 판단된다. 다음은 <표 5>에서 사용된 용어의 정의이다.

■ 설비가동율(%) = $\frac{\text{가동시간}}{\text{부하시간}} \times 100$ 으로서, 가동시간

은 실제 설비를 가동한 시간이고, 부하시간은 일일 또는 월간을 통해 가동해야 하는 시간

■ 작업효율(%) = $\frac{\text{표준공수}}{\text{실적공수}} \times 100$ 으로서, 표준공수는

규정된 작업조건하에서 평균 숙련과 기능을 갖는 작업자가 정상속도로 규정된 품질의 단위제품을 생산하는데 소요되는 시간이고, 실적공수는 실제 생산에 소요된 시간

■ 생산효율(Production Efficiency) = 설비가동율(Operation Rate) × 작업효율(Work Efficiency)

<표 5> 생산효율 실적표(%)

	'97 3/4분기	4/4분기	'98 1/4분기	2/4분기	평 균
설비가동율	99.1	99.2	99.0	99.6	99.2
작업효율	86.9	81.1	84.3	86.6	84.7
생산효율	86.1	80.5	83.5	86.2	84.0

4.2 연간 270,000만대 생산 시스템 분석

연간 270,000만대 생산설비로 확충시 각 공정별 로 일괄성 있게 문제점 여부를 검토하는 것이 필수 적이나 본 논문에서는 공정별 세부분석은 생략한다. 먼저 분석된 기본안을 기초로 연간 270,000대 증대 안에 대한 계획을 수립하기 위해 설비조건 및 생산 효율을 parameter로 하여 <표 6>과 같이 3가지 유형 의 대안으로 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 그 결과에 대한 중간 공정의 데이터는 생략하고 도장공 정의 총생산능력을 나타내는 조립작업장으로 이송 된 차체 수량에 대하여 대안별 생산량을 분석하였다. 이상의 시뮬레이션 결과치를 얻기 위해 제시된 각 대안별 조건을 살펴보기로 한다.

<표 6> 대안별 조건과 시뮬레이션 결과

		대안 1	대안 2	대안 3
조 건	설비조건	기본안	증대안	증대안
	생산 효율(%)	90%	85%	90%
	연간 작업시간	4,833	4,833	5,057
Assembly Shop 이송 Body(대/시간)		51.0	50.1	53.4
생산량(대/년)		246,000	242,500	270,000

대안 1: 설비조건은 그대로 두고 생산효율만 90% 까지 올린 경우이나 생산 목표량에 미달하 므로 설비조건 확충이 불가피함을 알 수 있다

대안 2: 설비조건을 증대안대로 확충시키고 생산효 율을 현재의 실적기준인 85%를 유지했을 경 우이나 이 때에도 생산량이 목표에 미달하 므로 생산효율도 최대한 향상시키고, 설비조 건 확충도 병행되어야 생산량을 대폭 늘릴 수 있음을 알 수 있다.

대안 3: 설비조건을 증대안으로 확충시키고 생산효 율도 90% 수준까지 크게 향상시켰을 때 생 산량이 연간 267,000대를 상회하므로, 작업 시간을 5,057시간으로 연장하여 복합적으로 분석했을 때, 목표량인 연간 270,000대를 달 성하게 되었다.

여기서 더 이상의 추가생산은 잔업이나 휴일 특 근무 근무시간의 연장에 의한 대응이 필요하다. 대 안 2의 결과를 볼 때 생산효율의 증가 없이 단지 설 비조건만 증대하는 것은 오히려 생산량을 감소시킬 을 알 수 있다. 최적으로 판단된 대안 3에 대하여 추가적인 분석을 위해, 현장에서 기본조건을 운용하 는데 필요한 내용으로 다음과 같은 사항을 보완한 후 그 결과를 개선증대안으로 제시하고자 한다.

■ Carrier의 필요대수 분석

■ 증대안 상대공정에서 일일 생산량 검토

이외에도 생산성 향상을 위해서는 가동손실의 분석 이 필요하나 여기서는 시뮬레이션과 직접적인 관련 이 없으므로 생략한다.

4.3 Carrier의 필요대수 분석

도장공장에서 차체를 운반하는 매체(Carrier)는 Hanger와 Dolly가 있는데, Hanger는 도장공장입구 에서 차체를 옮겨 받아 전처리와 전착공정만 연속적 으로 순회한다. 이 Hanger의 수를 parameter로 하여 시뮬레이션 한 결과 생산능력의 변화에 거의 영향을 미치지 않았으므로 현재의 88대를 기준으로 삼았다. 전착공정 이후 도장작업이 완료될 때까지 전 공정을 유동하는 Dolly에 대해서도 그 수를 Parameter로 삼 아 수정하여 적정대수를 분석해 보았다. 그 결과 Dolly의 변화량(400대±10%)에 대한 생산량의 차이 는 미미했으므로 더 이상의 논의는 진행하지 않는 다.

4.4 증대안 상대공정에서 일일 생산량 검토

다음은 증대안에 대한 설비 기본조건을 <표 7> 과 같이 정하고, 상대공정에 대한 생산량을 분석해

<표 7> 증대안 설비 기본조건

항 목	기 본 조 건
Tact Time	1.0 분/대
Gross Production Q'ty	60분/시간 ÷ 1.0분/대=60.0대/시간
생산효율	90.0%
Net Production Q'ty	60.0대/시간 × 0.9=54.0대/시간
년간 작업시간	5,057시간(휴식시간제외)
년간 생산대수	270,000대

보도록 한다. 증대안 시물레이션 결과가 <표 8>에 나타나 있는데, 도장공장에서 조립작업장으로 이송된 차체는 시간당 53.4대가 생산되어, 실제 설계시 계산된 값(시간당 54대)과 거의 동일하므로 <표 2>로 작성된 연간 270,000대 생산시 설비조건이 적정하다고 판단할 수 있다. 물론 여기서도 생산현황(JPH)은 총생산량(GJPH)에 생산효율을 곱한 수치이므로 생산효율의 변동에 따라 차이를 나타내고 있으나 그 산포는 기본안인 연간 240,000대 생산시 설비조건 시물레이션 결과보다는 훨씬 줄었다는 것을 알 수 있으므로 각 상대공정의 작업량이 균등하게 분산되었다고 예측할 수 있다. 그러나 생산효율이 90%를 상회하는 각 Oven류에 대해서는 별도의 작업자에 의한 작업이 없으므로 설비가동률만 향상

<표 8> 증대안 상대공정의 생산량 현황

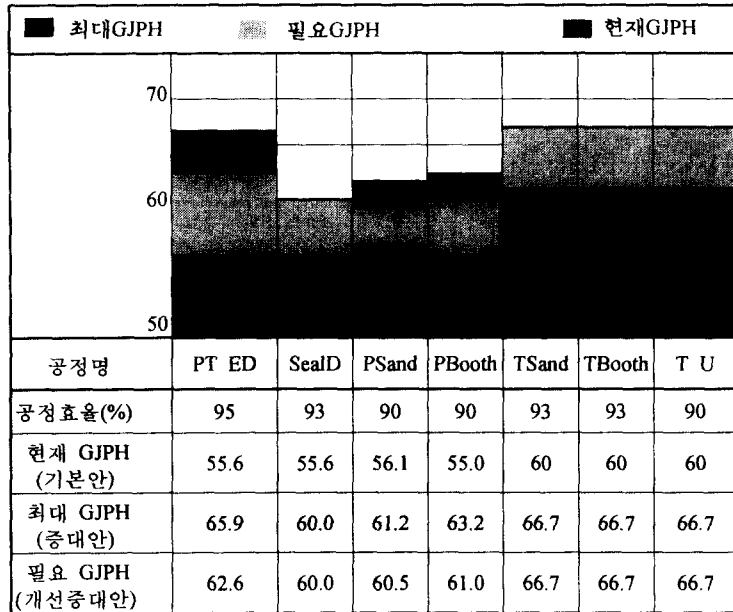
상대공정	Capacity (대)	생산현황 (Jobs/Hour)	생산효율 (%)
Pretreatment	46	58.6	89
Electro Deposition	28	56.8	86
E D Oven	37	57.5	92
Sealing Deadener	16	55.6	93
U C Oven	26	56.3	90
Primer Dry Sanding	7	54.5	89
Primer Coat Booth	10	54.9	87
Primer Coat Oven	42	57.5	92
Top Coat Dry Sanding	13	57.8	87
No 1 T C Booth	13	29.0	87
No 1 T C Oven	30	29.9	86
No 2 T C Booth	13	29.7	89
No 2 T C Oven	30	30.8	92
Touch Up Inspection	10	56.5	85
Assembly Shop	1	53.4	89

시키면, 관리가 가능할 것으로 예상된다. 그러나 특별히 관심을 가져야 할 공정은 Sealing Deadener 작업장으로, 전적으로 작업자의 숙련도에 의존해야하고 품질관리 정도에 따라 후공정에서 많은 불량이지적되는 곳이며, 평균 생산효율이 85.5%임을 감안하면 시물레이션 결과치인 생산효율 93%는 매우 높은 수치임을 알 수 있다. 따라서 향후 병목현상을 방지하기 위해 이 공정의 집중적인 개선이 필요하다고 하겠다.

4.5 개선 증대안 제안

지금까지 검토된 내용으로 볼 때, 생산성을 향상시키기 위해서는 단위공정의 용량을 증가시키는 것과 같은 국부적인 개선은 지양하고 시물레이션을 이용하여 전체적인 관점에서의 접근이 중요함을 알 수 있다. 이런 논점을 토대로 한 개선증대안은 <그림 3>과 같다. 여기에 사용된 최대 GJPH(Gross Job Per Hour)란, 현재 컨베이어의 신설이나 확장공사 없이 컨베이어 속도나 피치 변경만으로 증대가능한 생산용량이며 필요 GJPH란, 연간 270,000대 생산목표에 5,057시간 근무시간 기준으로 필요한 GJPH을 표시한다. 현재까지 시물레이션 결과에 의하면 상대공정에서의 설비이용률이 90%까지 도달하여 활용률이 대단히 높아 설비에 여유가 없는 것이 확인되었으며, 제안된 개선증대안이 현재의 설비에서 생산량을 가장 극대화시킨 효율적인 안으로 판단된다. 다음 <그림 3>의 개선증대안의 계산식에서, PT ED의 필요GJPH에는 After Service 부품의 생산여유치 5%가 포함되었고, TSand, TBooth, TU에는 도장불량시 수정을 위한 Recoat 및 부품도장 7%가 포함된 것으로 아래와 같이 정리한다.

- 공정효율(%): 각 주요공정에 대한 실적 데이터
- 현재GJPH(기본안): 현재 사용중인 설비를 별도 보완 없이 생산할 수 있는 최대능력 즉, 60분/각 주요공정 Tact Time(분)으로 계산하며, 각 주요공정 Tact Time(분)은 <표 1> 연간 240,000대 생산시 설비조건에 나타난 데이터 기준임
- 최대GJPH(증대안): 현재 사용중인 설비를 Body



PT ED: Pretreatment Electro Deposition
 SealD: Sealing Deadener, P Sand: Primer Dry Sanding
 PBooth: Primer Coat Booth, TSand: Top Coat Dry Sanding
 TBooth: Top Coat Booth, T U: Touch Up 1St Inspection

<그림 3> 개선 증대안 요약

Pitch(M) 변경을 통한 보관을 했을 때 생산 할 수 있는 최대능력으로 현재 GJPH와 같은 방식으로 계산되나, 각 주요공정의 Tact Time은 <표 2> 연간 270,000대 생산시 설비조건에 나타난 데이터 기준임.

■ 필요GJPH(개선증대안): 연간 270,000대 생산목표에 5,057시간 근무시간기준으로 필요한 GJPH이다. 예를 들어 PT ED는 <표 8> 증대안 생산공정의 생산량 현황에 나타난

$$\frac{\text{생산현황}(56.8)}{\text{공장효율}(0.95)} \times A/S \text{ Parts } 5\%(1.05) = 62.6$$

이며, 마찬가지로 나머지 공정은 다음과 같다.

- SealD: $55.6/0.93 = 60.0$
- PSand: $54.5/0.90 = 60.5$
- PBooth: $54.9/0.90 = 61.0$
- TSand: $57.8/0.93 \times$ 수정을 위한 재도장 7%

$$(1.07) = 66.7$$

- TBooth: $58.7/0.93 \times$ 수정을 위한 재도장 7%
(1.07) = 66.7

- TU: $56.5/0.90 \times$ 수정을 위한 재도장 7% (1.07) = 66.7 (계산은 67.2이나 66.7이 MAX임)

<그림 4> 개선 증대안 요약

5.결론

본 사례연구 논문은 국내 굴지 D자동차 공장의 기존 도장라인에 생산성 향상을 목적으로 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 적용해 분석한 것이다. 향후 세계 자동차 시장은 지속적으로 판매량 증가가 예상되며 이에 대응하는 도장설비의 투자대안 분석을 위해 현재 컨베이어에 의해 연속라인으로 구성되어 있는

체 공정의 최대 생산능력 분석을 위한 자료를 얻기 위해 컴퓨터 시물레이션을 실시하였다. 분석결과 추가의 설비투자 비용없이 연간 24만대에서 27만대로 생산량을 증가시키기 위해서는 증대설비 조건에서 연간 5,057시간의 작업시간과 90%의 생산효율이 필요하다. 시물레이션 파라미터로서 Hanger 또는 Dolley 등의 Carrier 수를 조정하여본 결과 이들은 증가시키지 않아도 됨을 알 수 있으며, 컨베이어의 이용률이 높은 공정의 집중관리와, 생산효율을 높이기 위해서 최적예방설비 정책, 전,후의 생산라인 안정화등을 통한 가동손실 대책 등이 필요하다. 이러한 분석결과는 향후 도장라인의 생산 증대 및 생산 계획 수립시 의사결정의 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

시물레이션 기법을 현장업무에 적용하여 효과를 내기 위해서는 능력을 갖춘 시물레이션 전문가를 확보하는 것이 가장 중요한 선결문제이다. 그러나, 컴퓨터, 통계, 시물레이션에 대한 이론과 경험, 그리고 현장 경험 등을 고루 갖춘 전문가를 확보하기란 쉽지 않은 것이 현실이다. 따라서 가능한 한 사용하기 쉬운 시물레이션 소프트웨어를 활용하고 통계와 같은 분야는 전문지원도구를 활용해야 할 것이다. 이를 위해 시물레이션 모델 개발과 실행을 위한 소프트웨어로 Promodel이 사용되었는데 이는 시물레이션 모델 구축을 위해, 프로그램 작성 방식에서 벗어나, 그래픽 방식을 활용하게 되어, 소프트웨어에 대한 기능파악과 모델개발 시간을 단축 할 수 있었다.

향후 본 연구와 병행하여 개선되어야 할 사항으로는 최대생산능력을 개선 검토하고자 할 때, 생산 시스템에 대한 제약조건들 즉, 설비가동효율과 작업 효율에 영향을 주는 각 공정의 가동정지시간(Down Time)을 구체적으로 제시하지 못하였기 때문에 현장조건을 정밀하게 모델링하는데 한계가 있었다. 따라서 시스템의 최대생산능력으로 공장을 가동하여 필요한 데이터와 제약조건들을 찾아내어 컴퓨터 시물레이션을 수행하면 더욱 최적화된 생산정보를 도출시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 박혜규, 최원준, 신현오, "자동차 도장공장의 Color Selection 시스템의 자동화", 산업공학, 9권, 2호, 1996.
- [2] 정은도, "도장실무 핸드북", 일진사, 1990, pp.11.
- [3] 최원준 외, "도장부스가 2개인 자동차 조립 공장의 생산순서계획작성", 한국 경영과학회 / 한국 산업공학회 '97춘계공동학술대회 논문집, 1997, pp.451-454.
- [4] 홍유석 외, "컴퓨터 시물레이션에 의한 시작 능력분석", Technical Review, 내우자동차 기술연구소, 1995, pp.180-181.
- [5] Averill M.Law, *Introduction to Simulation: A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing Systems*, Industrial Engineering, May 1986, pp.6-8.
- [6] Harrell,C.R., Bateman,R.E., Gogg,T.J., Mott,Jack R.A., *System Improvement Using Simulation*, Fourth Edition, Promodel Corporation, Orem, Utah, 1996.
- [7] Paul Bratley Bennett L.Fox, Linus E.Schrage, *A Guide to Simulation*, Second Edition, Springer- Verlag, 1987.
- [8] *Reference Guide, User's Guide*, Promodel Corporation, Orem, Utah, 1997.

● 저자소개 ●



김원경

1977년 서울대학교 산업공학과 학사

1979년 서울대학교 대학원 산업공학과 석사

1989년 미국 Ohio 주립대학교에서 M.S.

1993년 미국 University of Houston에서 Ph.D.

현재 경남대학교 산업공학과 교수

관심분야: 시뮬레이션, 신뢰도 공학, 응용통계



김충규

1984 경남대학교 기계공학과 학사

1999 경남대학교 대학원 산업공학과 석사

현재 대우자동차(주) 국민차 사업부문 생산기술팀

관심분야: 생산분야의 컴퓨터 시뮬레이션 기법 응용