

시뮬레이션을 사용한 엔진생산라인의 설계개선

Improved Design of Engine Manufacturing Line Using Simulation

오필범*, 임석철**, 한형상***

PilBum Oh, SukChul Rim, HyungSang Han

Abstract

When a new manufacturing line is constructed, its production capacity can be substantially affected in its design stage. Computer simulation often provides better design by evaluating feasible alternatives. In this paper we study an automobile engine manufacturing line which is under construction. Three alternatives are considered in the design; (1) to use machining tools of longer life; (2) to reassign the buffer space to each sequential processes while maintaining the same total buffer length; and (3) to reduce the machine repair time to 30 minutes using TPM and maintenance team. Simulation results using AutoMod indicates that employing the three alternatives will save about 1.5 million dollars per year.

* 아주대학교 시스템공학과

** 아주대학교 기계 및 산업공학부

*** 고등기술연구원 생산기술연구실

1. 서론

신규공장 건설시 공정간의 불균형이 라인 효율에 얼마나 큰 손실을 초래할지 미리 시뮬레이션해볼수 있다면 설계변경 및 개선을 통하여 상당한 생산성 개선을 거둘수 있을 것이다. 일반적으로 공장이 완공된 후에는 레이아웃이나 공정의 변경이 불가능하거나 엄청난 비용과 시간이 소요되기 때문에 공장의 양산 돌입 전까지 운영상의 문제점들을 분석하고 적절한 대책을 수립하여 이를 최종설계에 반영하는 것이 매우 중요하다[7, 8]. 원칙적으로는 공장의 설계 이전에 공정에 대한 시뮬레이션을 통해 문제점을 보완한 후에 이를 설계에 반영하는 것이 이상적이지만 현실적으로는 설계 이전에는 시뮬레이션에 필요한 입력데이터가 불분명한 경우가 많기 때문에 공장설계 직후에 구체적인 입력데이터를 가지고 시뮬레이션을 하는 경우가 많다

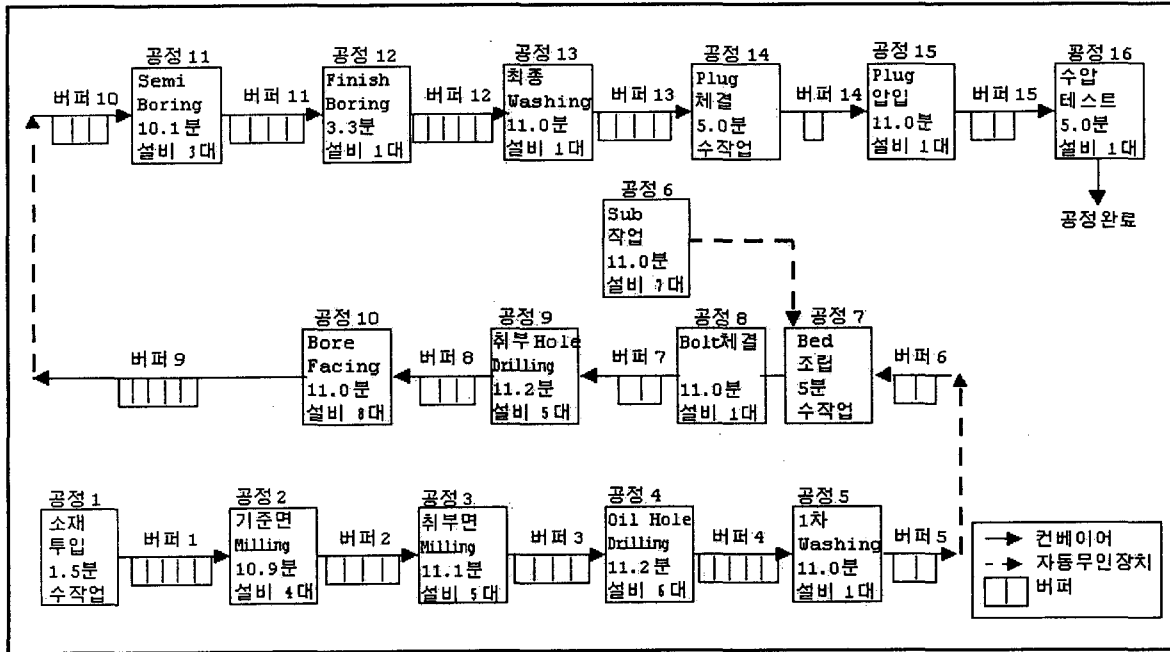
국내공장에서 라인효율 향상을 추진한다고 하면 주로 단위공정 차원의 개선을 위한 자동화 기계, 로봇, 센서개발 등 주로 요소기술 개발노력에 치중하는 경향이 있다. 이러한 요소기술 개발에 앞서 해당 요소기술의 개발이 전체 시스템의 라인효율 향상과 원가절감에 기여하는 효과를 체계적으로 추정하는 경우는 드물다. 그러나 최근에는 물류에 대한 인식이 강조되면서 물류시스템의 설계와 관련된 연구가 다수 발표되었다.

김원경과 김충규[1]는 시뮬레이션을 이용하여 추가적인 설비투자없이 자동차 도장라인의 효율을 개선할수 있는 대안을 제시하였다. 백준걸 등[2]은 시스템 개발기간과 비용을 최소화하기 위하여 새로운 제조관리 시스템을 현장에 구축하기 전에 시뮬레이터를 이용하여 평가하는 방법을 제안하였다. 이충수 등[3]은 절삭가공기에서 공구의 상태를 참조하여 계산한 공구대기시간을 부품 투입에 고려함으로써 가공중에 공구경쟁으로 인한 공구의 과부하를 줄여 시스템의 성능을 높일수 있으며 부품 투입시 공구경쟁의 정도를 정확히 고려하여 시스템의 성능을 개선하는 알고리즘을 제안하였다. 장동영[4]은 시뮬레이션을 통해

절삭공구의 효율평가를 위해서 절삭공정의 각 상태를 평가하기 위한 프로그램을 개발하고 절삭 및 공정모델을 조합하는 시뮬레이션 시스템용 선택표면조도 시뮬레이션 알고리즘을 제안하였다. 조규갑 등[5]은 전자레이저 조립라인의 효율적인 운용을 위하여 공정을 분석하고 용접규칙에 따른 용접생산계획 작성을 전산화하고 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 통하여 예상되는 문제점을 도출하여 용접, 도장, 및 조립라인의 동기화를 이루어 재공품 재고의 감축을 시도하였다. 또한 납기관리를 위해 체류시간을 구하고 최적대안을 제안하였으며 효율적인 생산계획의 작성방법, 각 라인의 운영규칙 및 과잉재고 처리를 위한 대안을 제시하였다.

본 연구에서는 자동차 엔진 가공라인의 생산 효율을 극대화하기 위한 설계 및 운영변수 값을 결정함을 목적으로 한다. 본 연구에서 시뮬레이션 대상인 A자동차 대형엔진 제조 전용라인은 현재 공장을 건설중이며 설비가 도입중이므로 현재 설계안을 능가하는 개선안을 도출하여 이를 설비 설치시에 반영하는 것이 본 연구의 목적이다. 대상 공장은 첫 공정인 Block소재 투입에 이어서 <그림1>과 같은 16개의 공정과 40여대의 설비로 구성되어 있다. 각 공정에서 복수대의 설비는 직렬라인이며 각 설비의 가공소요시간은 확정적인 값을 갖는다. 각 공정의 사이클타임은 그 공정내의 직렬로 배치된 복수기계의 사이클타임중 최대치로 결정된다.

이러한 엔진 제조라인에서 생산능력에 영향을 주는 요소로는 설비고장 빈도, 공구교환 주기, 소재투입 방법, 수작업, 자주검사, 공정간 버퍼크기, 고장수리 소요시간 등이 있다. 이중 어떤 결정변수가 출력변수에 가장 큰 영향을 줄지를 선정함에 있어 실험계획법을 적용하는 것이 원칙이나, 현재 고려 가능한 결정변수중 설비고장 빈도는 이미 현장에서 최소화 노력을 지속적으로 경주하고 있는 주요 관리항목이기 때문에 본 연구에서 임의로 이상적인 목표수준을 제시한다고 하더라도 이를 달성하는 것은 설비관리, 자주보전 등의 현장노력의 결과로서만이 달성가능하기 때



<그림1> 엔진가공라인의 공정흐름도

문에 본 연구의 대안으로는 무리하다고 판단하여 제외하였다. 또한 소재투입 방법이나 수작업 내용도 작업설계(Work Design)의 영역으로서 시물레이션의 대안으로 보기에는 매우 현장기술에 기반한 요인이 크다고 판단되어 대안에서 제외하였다. 이에 따라 본 논문에서는 나머지 세가지 요인들을 모두 시물레이션 대안으로 검토하였다.

이 세가지 결정변수들은 가동률에 상호 독립적으로 영향을 줄것으로 판단된다. 즉, 공구교체주기와 공정간 버퍼크기는 상호 독립적이며, 공구교체주기와 고장수리시간 단축도 독립적으로 영향을 줄것이므로 이들 세가지 요소의 수준(level) 조합(combination)을 대안으로 하지 않고 각 요소의 최적인 선정시의 효과를 분석하였다. 본 연구는 위 연구논문들과 넓은 의미에서 생산시스템의 설계 및 평가라는 관점에서 관련성을 갖지만 구체적으로 고려하는 대안이 크게 상이하다. 각 대안의 성능평가는 시물레이션 전용언어인 AutoMod[6]를 사용하였다.

2. 데이터 분석 및 모델링

본 장에서는 상기한 엔진제조라인을 시물레이션하기 위해 필요한 데이터를 선정하고, 각각의 분포 및 모수를 추정하며 시스템을 모델링한다.

2.1 데이터 분석

(1) 설비고장 데이터

자동차 조립라인에서 설비의 고장은 라인 생산성에 큰 영향을 미친다. 시물레이션 대상인 A공장의 조립라인은 아직 가동하지 않기 때문에 설비고장 데이터는 A공장의 설비와 유사한 기존 공장으로부터 '98년 1월 1일부터 '98년 12월 31일까지 1년간의 데이터를 수집하여 사용하였다. 이 기존공장은 일일 작업시간이 18시간 수준이었으며, A공장도 일일 18시간 작업을 기본으로 하기 때문에 고장발생 데이터를 원용해도 좋다고 판단된다. 고장분포 선택 방법에는 Histogram, Probability Plot, Goodness-of-fit Test, 인자 평

2.2 시물레이션 모델링

시물레이션의 일반적인 절차에 따라 본 연구에서도 첫째로 현황 및 요구사항을 분석하여 문제를 정의하고, 둘째로 입력자료 수집 및 분석하여 그 분포를 추정하고, 셋째로 결정변수의 대안을 선정하고, 넷째로 대상 시스템의 로직을 시물레이션 모델링 및 프로그래밍하였고, 다섯째로 실험계획에 따라 시물레이션을 수행하고, 여섯째로 시물레이션 결과치를 통계적으로 분석하여 결론을 도출하거나 적절한 목적함수를 기준하여 최상의 대안을 선정하였다.

대상 시스템은 각 엔진블럭이 개체(entity)인 이산형 시스템으로서, 시스템에 투입된 각 엔진은 <그림 1>에 나타난 공정순서대로 이동하면서 가공 및 조립된다. 복수대의 설비를 갖는 공정에서는 설비간 버퍼가 없기 때문에 가장 긴 처리시간이 소요된 이후에 가공물들은 일제히 동기적으로 다음 설비로 이동한다. 각 설비는 <표 1>에 나타난 시간분포를 따라 고장발생과 수리, 그리고 공구교환이 진행된다. 총 4명의 작업자가 전체 공정을 4개 구역으로 분할하여 관리하며, 작업자의 작업 우선순위는 고장처리, 공구교환, 수작업, 소재투입, 자주검사의 순이다. 라인은 일일 24시간 운영되지만 작업자는 식사 및 휴식 시간 등 일일 200분의 비가동시간을 제하여 일일 1,240분을 2교대로 작업할 예정이다. 이는 2장에서 언급한 설비고장 데이터를 수집한 공장의 일일 18시간 작업과 동일하지는 않으나 두값 사이에 큰 차이는 없다고 판단되어 고장분포를 그대로 사용하였다. 시물레이션의 길이는 90일씩 5회 반복하였으며, 시물레이션의 초기에는 각 설비가 empty인 초기상태의 영향을 받기 때문에 90일의 기간중 첫 5일은 결과치를 버린다.

3. 시물레이션 대안선정

본 연구에서는 엔진가공라인의 생산능력을 증가시킬 수 있는 여러가지 대안중에서 경제성 및 구현용이성을 기준으로 다음과 같은 세가지 대안

만을 고려하였다.

(1) 장수명 공구사용

절삭가공기의 공구교체시간을 줄이기 위하여 수명이 긴 고가의 공구를 사용하는 방안으로서, 공구의 재질에 따라 공구교체주기와 공구가격은 <표 2>와 같다. 예를 들어 개당 12만원인 W.Carbide Coated & Cermet, CeramicCBN, PCD형 공구를 사용하면 수명이 현재 사용중인 High Speed Steel & 초경합금의 3배로 연장되어 공구교체에 따른 기계정지율이 낮아짐에 따라 전체적인 생산능력이 향상된다. 이에 따른 비용상승은 제4장의 목적함수에서 종합적으로 고려한다.

<표 2> 공구재질에 따른 공구교체주기 및 공구가격

대안	공구 재질	공구교환 주기 연장	대당소요 공구비용
현재안	High Speed Steel & 초경합금	1배	2.5만원
A1	High Speed Steel Coated & 초경합금 Coated	1.5배	3.5만원
A2	HS Cobalt Coated & 초경합금 Coated	2배	4만원
A3	W.Carbide Coated & Cermet, CeramicCBN, PCD	3배	12만원

(2) 공정간 버퍼(buffer)량 재배치

<그림 1>에서 보듯이 A공장은 총 16개의 순차적 공정으로 구성되며, 각 공정 사이에는 가공물이 대기할 수 있는 버퍼공간이 배치되어 있다. 버퍼의 크기는 대기가능한 가공물의 최대수로 표시되며, 버퍼공간에 진입한 가공물은 다음 공정의 첫 설비가 가용해질 때마다 하나씩 자동 이송된다. 버퍼의 수를 늘이면 막힘(blocking)이나 starving 현상은 극소화할 수 있으나 버퍼를 구성하는 이송장치의 투자비가 증가하고 전체적인 공정길이가 길어져 공장의 면적을 증가시키고 물류동선을 증가시킨다. 이에 따라 본 연구에서는 현행 총 버퍼량인 47개를 유지하면서 공정간에 이를 재배치하는 대안을 고려한다.

각 공정 앞에 얼마나 많은 버퍼가 필요한지를 추정하기 위하여 본 연구에서 사용한 방법은 각 공정의 버퍼크기를 20개로 충분히 크게 주고 시물레이션을 통하여 각 버퍼에 발생하는 평균 대기량을 측정하여 이에 비례하도록 총 버퍼수를 배분하는 방법을 사용한다. 공구교체주기를 현행대비 2배 연장된 경우(A2)를 사용하여 시물레이션한 결과 각 버퍼에 발생하는 평균 대기량은 <표 3>의 B행에서 보듯이 그 총합은 25.4개이므로 이를 47개로 확장하기 위하여 $47/25.4 = 1.8$ 배 씩 비례적으로 증가시켜 각 공정앞의 적정 버퍼크기를 <표 3>의 C행과 같이 추정하였다.

<표 3> 각 공정별 버퍼 재배치 (단위: 개)

버퍼 번호	기존 버퍼량 (A)	시물레이션 결과			공정간 버퍼량	
		최대	평균 (B)	최소	(B) x 1.8	버퍼량 결정(C)
1	4	7.3	2.7	0.1	5.1	5
2	4	7.3	2.8	0.0	5.1	5
3	5	1.9	0.3	0.0	0.6	1
4	2	3.7	1.3	0.2	2.4	2
5	2	2.0	0.5	0.0	1.0	1
6	2	13.5	9.3	6.5	17.3	17
7	3	5.5	1.0	0.0	1.9	2
8	5	2.7	0.3	0.0	0.5	1
9	3	2.7	0.7	0.0	1.2	1
10	4	2.0	0.1	0.0	0.1	0
11	5	3.3	0.8	0.1	1.5	2
12	4	3.6	0.6	0.0	1.0	1
13	1	3.3	0.8	0.1	1.4	1
14	2	3.1	0.2	0.0	0.4	1
15	1	7.4	4.0	1.8	7.3	7
계	47	69.2	25.4	8.8	47.0	47

(3) 현재 유사한 설비에서 2-3시간 소요되는 고장수리시간을 30분으로 단축하는 대안이다. 이를 위해서는 예방보전, TPM 기동반 운영 등의 방법을 시행해야 하지만 이들은 신규 A공장에서 시행하도록 계획되어 있기 때문에 별도의 비용으로 간주하지 않았다.

4. 시물레이션 결과분석

본 장에서는 앞장에서 서술한 대안들을 각각 채택할 경우 라인 전체의 생산량이 얼마나 증가하는지를 시물레이션으로 측정한 결과를 소개한다. 시물레이션의 목적함수인 효과금액은 (개선금액-투자비용)으로 표시된다. 효과금액 산출은 연간 작업시간을 7,000시간으로 설정하고 대당 판매금액 천만원, 순이익율은 3%로 설정하여 계산하였다.

(1) 장수명 공구사용 결과

절삭가공기기 중 부하율이 상대적으로 높은 공정에서 수명이 긴 고가의 공구를 사용함으로써 공구교체주기를 연장하는 경우 라인의 생산량 증가는 <표 4>와 같다. 공구재질에 의한 등급 A1, A2, A3에 대하여 공구교체주기는 현행 사용하는 공구보다 각각 1.5배, 2배, 및 3배로 증가하며 그 결과 평균 라인가동률은 각각 5.1%, 9.6%, 및 12.2%가 향상되는 것으로 나타났다. 이를 비용으로 환산하면 공구 A2급을 사용할 경우 연간 생산량은 현행보다 3,600대가 증가한다. 대당 평균가격 1천만원 및 순이익률 3%를 가정하여 대당 순이익은 30만원으로서 개선금액은 연간 10.8억원에 달한다. 한편, 공구비용 증가폭을 보면, 현행 공구는 연간 5.82억원이다. 그러나 장수명 공구 A2는 수명이 현행 공구의 2배이므로 연간 공구소요량은 11,640개이며 단가는 4만원이므로 연간 공구비용은 4.656억원이 된다. 따라서 공구를 A2로 바꾸면 공구비용도 연간 1.164억원이 절감된다. 따라서 총 개선액은 11.964억원에 달한다. A1과 A3에 대해서도 동일한 방법으로 절감액을 추산할수 있으며 이를 <표 4>에 요약하였다.

(2) 공정간 버퍼 재배치 결과

현행 16개 순차적 공정 사이에 배치된 총 47개의 버퍼공간을 그 총수를 유지하면서 <표 3>의 C행과 같이 보다 효과적으로 재배치했을 때 시물레이션 결과 blocking과 starving을 최소화함

<표 4> 대안의 종합비교

(단위: 대, 억원)

대안	내 용	가동률 (년생산량)			개선 금액	투자 비용	효과 금액
		현행	적용후	개선			
A1	공구교체주기 1.5배로 증가	75.1% (28,162)	80.2% (30,075)	5.1% (1,913)	5.739	-0.338 ⁽¹⁾	6.077
A2	공구교체주기 2배로 증가		84.7% (31,762)	9.6% (3,600)	10.8	-1.164 ⁽²⁾	11.964
A3	공구교체주기 3배로 증가		87.3% (32,737)	12.2% (4,575)	13.725	3.492 ⁽³⁾	10.233
B	공정간 버퍼 재배치		81.2% (30,450)	6.1% (2,288)	6.864	-	6.864
C	고장수리시간 30분으로 설정		79.2% (29,700)	4.1% (1,538)	4.614	-	4.614
종합	대안 A2+B+C		92.5% (34,687)	17.4% (6,525)	19.575	-1.164	20.739

(1) (23,280개*2.5만원)-(23,280개/1.5)*3.5만원 = 3,380만원

(2) (23,280개*2.5만원)-(23,280/2)*4만원 = 11,640만원

(3) (23,280개*2.5만원)-(23,280/3)*12만원 = -34,920만원

으로써 라인의 생산량을 연간 2,288대 향상할 수 있는 것으로 나타났다.

이를 금액으로 환산하면 연간 6.864억원으로 평가된다. 버퍼의 재배치는 현재 건설중인 공장의 현행 버퍼배치계획을 수정하기만 하면 되고 실제로 투입되는 추가비용은 없다.

(3) 고장수리시간 단축

현행 2~3시간 소요되는 설비고장 수리시간을 예방보전, 기동반 운영, TPM(Total Productive Maintenance)등의 활동을 통해 30분을 넘지 않도록 단축하는 경우 시뮬레이션 결과 라인가동률은 79.2%로 4.1%가 향상되며 생산량은 연간 1,538대가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 연간 4.614억원의 수익증가에 해당한다.

이와 같이 공구교체 대안 A2와 공정간 버퍼 재배치 및 고장수리시간 30분으로 단축 등 세가지 대안을 종합적으로 채택할 경우 <표 4>에서 보듯이 엔진제조라인의 연간 생산량은 현행

28,162대로부터 34,687대로 6,525대가 증가하고 공구비용 절감액을 포함하여 연간 총 20.739억원을 절감할 수 있을 것으로 추정된다.

5. 결론

본 연구에서는 현재 건설중인 자동차용 엔진 가공 및 조립라인의 생산능력을 개선하기 위한 대안을 시뮬레이션으로 평가하여 투자비용을 포함한 총수익을 최대로 하는 대안을 선정하였다. 실행가능한 대안으로 첫째, 수명이 긴 공구를 사용함으로써 공구교체주기를 연장시키는 대안; 둘째, 공정간 버퍼의 총량을 현행과 동일하게 유지하면서 각 공정별로 최적 재배치하는 방안; 그리고 셋째, 설비보전 및 고장수리 전담반을 운영하여 설비고장시 수리시간을 30분 이내로 단축하는 방안 등을 고려하였다. 첫번째 대안은 고가의 공구에 대한 추가비용이 발생하며 둘째 및 셋째 대안은 추가비용이 발생하지 않는다. 세가지 대안에 대하여 시뮬레이션으로 생산량 증가폭을 추

정한 결과 공구 A2와 버퍼의 재배치 및 설비수리시간 30분정액을 사용할 경우 기대효과는 연간 20.7억원으로 평가되었다.

장수명 공구를 사용하는 대안은 A1과 A2는 수명연장비율이 비용증가 비율보다 커서 공구비용 자체도 감소한다는 사실이 더욱 고무적이다. 버퍼의 재배치는 현행 버퍼총량이 47개인데 비하여 예비 시뮬레이션 결과 평균 총대기량이 25.4에 불과하여 각 공정별 평균대기수에 비례하여 확대배분할수 있었다. 그러나 만일 평균 총대기량이 현행 버퍼총량을 초과할 경우 버퍼총량을 늘이는 대안까지 고려해야 하며 이에 대한 추가 투자비용을 추정해야만 한다. 설비수리시간을 30분 이내로 단축하는 것은 설비관리능력 제고와 기동반 운영 등을 위하여 추가비용이 약간 발생할수도 있으나 이에 따른 개선액에 비하면 미미할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김원경, 김충규, "자동차 도장공정의 생산성 향상을 위한 시뮬레이션 분석", 한국시뮬레이션학회지 8(2), pp.73-84, 1999
- [2] 백준걸, 오훈언, 신현준, 김성식, 이홍철, "개체지향 제조관리시스템 평가를 위한 객체지향 시뮬레이터 개발", 한국시뮬레이션학회지 8(1), pp.1-10, 1999
- [3] 이충수, 김성식, 노형민, "SSMS에서 동적 공구할당을 고려한 부품투입 알고리즘의 시뮬레이션 분석", 한국시뮬레이션학회지, 8(1), pp.63-74, 1999
- [4] 장동영 "통합절삭 시뮬레이션 시스템용 선삭 표면조도 시뮬레이션 알고리즘의 설계", 한국시뮬레이션학회지, 8(1), pp.19-29, 1999
- [5] 조규갑, 문일경, 윤원영, 김영규, "전자레인지 조립라인의 생산물류분석 시뮬레이션", IE Interface 12(1), pp.121-131, 1999
- [6] AutoMod User Manual Vol. 1-4, AutoSimulations Corporation, 1996
- [7] Bennett, P. B., Fox, L., and Schrage, L. E., *A Guide to Simulation*, Second Ed., Springer Verlag, 1987
- [8] Law, A. M., "Introduction to Simulation: A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing Systems", *Industrial Engineering*, pp.6-8, May, 1986

● 저자소개 ●



오필범

1989 인하대학교 금속공학과 학사

1989-'99 대우중공업 엔진소재사업본부 근무

2000 아주대학교 시스템공학과 석사과정

관심분야: 시뮬레이션을 사용한 물류개선 방법 연구



임석철

1980 서울대학교 산업공학과 학사

1982 한국과학원 산업공학과 석사

1990 미시건대학교 산업공학과 박사

1990 워싱턴대학교 산업공학과 조교수

1991- 아주대학교 산업공학과 조교수/부교수/교수

관심분야: 물류시스템, SCM, 시뮬레이션



한형상

1982 서울대학교 산업공학과 학사

1984 한국과학원 산업공학과 석사

1992 위스콘신대학교 산업공학과 박사

1992- 고등기술연구원 생산기술연구실 책임연구원

관심분야: FMS, 생산시스템, 시뮬레이션