

제조공정 개선을 위한 생산계획 평가 시뮬레이션

A simulation of production planning strategies for the improvement of a manufacturing process

고종영*, 조대호*

Jong Young Koh, Tae Ho Cho

Abstract

A manufacturing environment without a computerized system causes numerous problems, since many important decisions are made based on the experience of veteran staffs. Especially, when a strategy for the improvement of manufacturing efficiency is considered, it is hard to predict the effect of the strategy. A solution to the problem without large investment of the computerized system is the simulation study. This paper shows the modeling and simulation based on DEVS(Discrete Event System Specification). Two types of models are implemented, one for representing the current production strategy and the other for the new strategy. The new strategy is expressed as priority rules within the model. The process in concern is the metal grating production process in which the size of the group, for applying a specific cutting and scheduling strategies, is one of the important factors in improving the production efficiency. Some reliable criteria for the evaluation related to the production efficiency are established from the simulation study.

* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

1. 서론

제조공정 전반에 걸친 지식을 바탕으로 하는 생산계획은 크게 공정계획과 일정계획으로 구분된다. 생산공정계획은, 자재를 제품으로 변환하기 위한 계획으로서 세부공정에서의 작업방법을 정의하며, 생산일정계획은, 언제, 어느 생산설비에 어떤 일을 얼마나 할당 하는가를 정의한다. 이들은, 제품 제작방법, 설비의 성능과 기능, 생산 투입 인원 및 능력, 현재 진행중인 작업장의 상황, 납기 및 자재사용의 효율성, 자재의 적재 및 중간생산물의 이동 등을 다각도로 고려하여야 한다[7]. 이러한 계획들은 계산과정이나 의사결정요인이 상당히 복잡하기 때문에, 전 공정을 통합하는 정보처리체계를 기반으로 하는 컴퓨터 시스템의 지원이 없으면 시간적 제약이 크고, 유연적인 수정이 어려울 뿐 아니라, 통계적 분석의 자료체계가 부실하다.

컴퓨터 시물레이션은 제조공정의 설계 및 분석에 많이 사용되는 방법중의 하나이며, 대상시스템의 물리적 환경과 더불어 생산계획에 대한 기존전략의 효율성을 평가하고, 아울러 적용결과 예측을 통한 새로운 개선전략의 타당성을 평가함에 있어서, 신뢰성 있는 근거와 기준을 마련하는 수단으로 이용될 수 있다[12].

최성훈[3]에서는 염색/가공 공정의 생산성 향상을 목표로 추가적인 설비투자 계획 수립시의 여러 대안들에 대해, 예상 생산량 및 플로우(리드) 타임 등을 예측하여 평가하였다. 이진춘[2]은 자동차 부품생산 공정의 운용과정에서 라인의 작업투입방식 즉, 기계선택규칙 및 작업배정규칙의 조합 전략을 사용한 결과로, 작업소요시간, 평균유통시간, 평균기계이용율, 대기열과 대기시간 등의 비교를 통해 공정구조의 효율성을 검증하였다. 이들은 시물레이션 모델링 및 실행의 구현도구로 각각 AIM, SLAMSYSTEM 등의 소프트웨어를 사용하였다.

한편, DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론에 기반한 모델링 및 시물레이션 기법은 종래의 방법론과 달리, 객체지향 패러다임을 통하여 복잡하고 대규모의 대상시스템이라도 신속하고 정확한 추상화를 할 수 있고, 모델의 독립적 설계

및 검증, 재사용성을 지원하는 모델링 아키텍처를 정의한다. 또한, 의사결정체계를 오브젝트들 내에 은폐하기 용이하며, 제어체계가 명백하다[15]. 아울러, 대상 시스템의 특징을 연속된 시간중심(Time-driven)이 아닌 이산적인 사건중심(Event-driven)으로 추적함으로써 시물레이션 실행속도가 크게 향상된다. 위와 같은 장점들로 인해, 보다 나은 성능향상 및 관리자의 다양한 제어체계에 대한 요구가 증대되는 상황의 대상시스템에 대하여, 물리적 구성요소들의 동작상태를 표현하는데 매우 유용하다[16].

DEVS 형식론을 기반으로, 대상 시스템의 운용 전략에 대한 전문가의 지식을 체계적 규칙의 형태로 모델에 반영하는 연구가 수행되었는데, Cho[9][17]와 조대호[4]에서는 제조공정의 스케줄링, 오류진단 등 지식기반 제어를 위한 시물레이션 모델을 구성함에 있어 전문가 시스템 개념을 모델에 삽입하였다. 지승도[6]는 컴퓨터 네트워크 환경에 대한 여러가지 설계 대안들의 평가를 수행하는 시물레이션에서 설계 전문가가 갖는 고도의 지식을 모델에 도입하였다.

본 논문에서의 연구대상은, 공정의 단계가 비교적 단순하고, 전통적이지만, 입력이 되는 수주의 발생시점이나 크기가 불규칙하고, 생산의 계획 단계에 복잡한 계산 및 의사결정 요인이 존재하는 S회사의 그레이팅(Grating) 제조공정이다. 여기서의 생산계획시 문제점은 핵심공정에서 시시각각 산출되는 작업진척 및 상태에 관련된 데이터베이스의 지원이 없고, 복잡한 계산 및 중요 의사결정을 전문담당자의 경험적 지식에 의존하고 있다는 것이다. 이 때문에, 전체 공정의 과학적 개선 및 관리가 어려운 상황이지만, S회사의 입장은, 가변적인 수주환경에서 생산계획의 기존전략 및 개선전략의 효율성, 타당성을 평가하고자 한다.

따라서, 본 논문의 연구목표는 상당한 투자를 요하는 생산계획지원 컴퓨터시스템의 도입 이전에 공정개선을 위한 생산계획의 효율성을 평가할 수 있는 방법으로, DEVS형식론에 기반한 컴퓨터 모델링 및 시물레이션을 수행하는 것이다. 이를 통해, 신뢰성 있는 평가기준을 마련함으로써, 생산의 진척도 관리와 납기예측의 근거를 마련하고자 한다.

2. DEVS 방법론

본 논문에서의 시뮬레이션 모델링은 Zeigler[14][16]에 의해 개발되어 이산사건 모델들의 계층구조적 모듈화 방법을 제공해주는 형식론인 DEVS에 따른다. DEVS는 시스템을 작은 모듈로 나누고 그것들로 전체 시스템을 계층적으로 구성해 나가는 데, 각 모듈은 기본(Basic)모델로 표현되며 그것들의 계층적 구성은 결합(Coupled)모델로 표현된다. 기본모델의 구조 표현은 다음과 같다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$$

X : 입력 사건(Event)들의 집합

S : 시간의 변화에 따라 가질 수 있는 상태들의 집합

Y : 출력 사건들의 집합

$\delta_{int} : S \rightarrow S$: 내부 상태전이(State Transition) 함수

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$: 외부 상태전이 함수

$\lambda : S \rightarrow Y$: 출력 함수

$ta : S \rightarrow R^{+0}$: 시간 진행 함수

where $Q = \{(s,e) \mid s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$

e : 최근의 상태 전이이후로 경과된 시간

다음은 결합모델의 구조 표현이다.

$$DN = \langle D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_{ij}\}, select \rangle$$

D : 구성요소 모델들의 이름 집합

M_i : i번째 구성요소 모델

I_i : M_i 에 영향을 주는 모델들의 집합

Z_{ij} : M_i 에서 M_j 로의 출력 함수

Select : 동시에 여러 모델에서 사건이 발생할 때 우선순위를 결정하는 함수

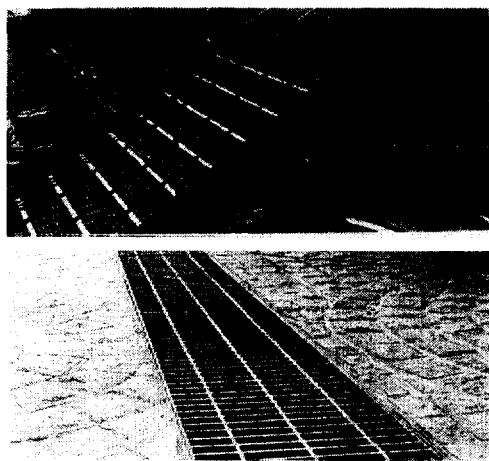
그리고, 모델링된 시스템의 시뮬레이션을 위해서 추상화 시뮬레이터(Abstract simulator) 알고리즘이 제공되는데, 추상화 시뮬레이터의 종류에는 시뮬레이터와 코오디네이터(Coordinator)가 있으며 이것들은 각각 기본모델과 결합모델을 위한 시뮬레이터이다. 모델들과 추상화 시뮬레이터들은 일대일 대응관계를 가진다. 즉, 하나의 모델은 하나의 추상

화 시뮬레이터와 항상 쌍을 이루게 된다.

본 논문에서 시뮬레이션 모델의 구현은 DEVS의 C++ 언어 구현버전인 DEVS-C++ 라이브러리를 바탕으로 이루어졌다[15].

3. 그레이팅(Grating) 제조공정 설명

그레이팅은 <그림1>의 예와 같이 산업시설(발전소, 공장 등), 도로, 주택, 선박, 교량 등 각종 분야에서 바닥, 계단, 배수로 덮개 등으로 사용되는 격자모양의 건축 및 토목용 철재 구조물이다.



<그림 1> 그레이팅이 사용되는 분야와 제품형태

각종 그레이팅을 생산하는 S회사는 수요자의 주문에 의해서만 제품을 생산한다. 공장의 생산형태는 Job shop으로, 공정중심으로 고정된 작업장이 나뉘어 있다.

■ 제품설계

그레이팅이 사용될 현장의 구조적 환경과 적용될 제품형태를 고려하여, <그림 2>에서와 같이, 최종제품 생산에 필요한 자재들로 BB(Bearing-Bar), CB(Cross-Bar), EB(End-Bar)의 타입, 높이, 두께 등과 제품목록의 폭, 길이, BP(Pitch of BB), CP(Pitch of CB), EP(Pitch of EB), 모양 등의 사

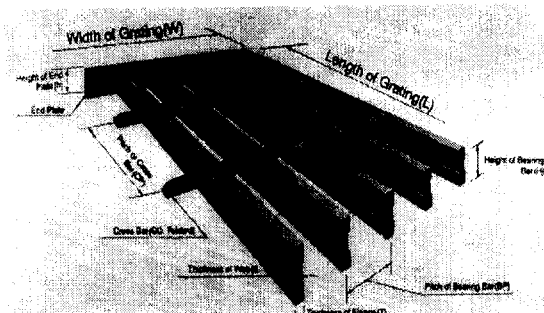
양을 결정한다.

■ 생산공정계획

필요한 공정순서, 설계된 제품의 사양, 품질조건, 설비조건, 자재의 절단계획(Cutting Plan) 등을 명시한 작업지시서를 작성한다. 절단계획이란, 설계된 제품들을 자재 단위별로 알맞게 배치하는 것으로, 정해진 사각의 바탕(일련의 자재단위)에 서로 크기가 다른 여러가지 사각 단편(설계된 제품)들을 끼워 맞추는 것이다. 자재 단위별로 쓸모없게 되는 손실량을 효과적으로 줄이도록 배치하는 것이 절단계획의 주목표이다.

■ 생산일정계획

대상 수주의 납기와 작업장의 부하량, 주작업대상 등을 고려한 몇몇의 분배규칙에 따라, 공정계획에서 작성된 작업지시서를 각 작업장에 분배하여 생산을 실행한다.



<그림2> 그레이팅의 구조, 명칭, 부재치수 및 단면

■ 생산실시

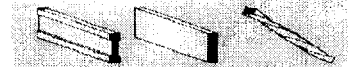
<그림3>과 같이, 다음 순서에 따라 이루어진다.

- 1)기계공정(Auto Projection-Welding & Cutting): NC공작기계인 그레이팅 기계에 의해 원자재를 압접하고 절단한다. 기계의 가장 중요한 속성은, 1회에 CB를 하나씩 압접하느냐 두개씩 압접하느냐에 따라 '1본압접'과 '2본압접'으로 구분된다.
- 2)가공공정(End Plate Welding): 투입인원들이 소형 절단기, 용접기, 기타 공구들을 이용하여 중간 제품에 대한 용접, 사상 등의 수작업을 행한다.
- 3)도금공정: 여러 가공팀으로부터 생산되는 제품들중 도금이 필요한 제품만을 모아서 용융한 아연

으로 도금하는데 도금 작업장은 한 곳이다.

4) 선별,포장 및 출고

원자재



기계공정 (압접)



기계공정 (절단)



가공공정



도금공정



출고



<그림3> 그레이팅 생산공정

4. 연구대상 및 목표

4.1 생산계획 규칙

본 논문의 연구대상인 그레이팅 제조공정에서도 가장 핵심부분인 생산계획의 기반이 되는 공정 전문가의 지식은 다음과 같다.

4.1.1 절단계획 생성 규칙

- 한 수주의 제품목록은 동일 제작사양에 따라, 하나 이상의 계획그룹으로 나뉘고, 한 계획그룹씩 분리해서 계획한다.
- 제품목록을 CB가 홀수개 및 짝수개인 집합으로 분리하는데, 기본적으로 짝수개인 제품은 2본압접 그레이팅 기계에서, 홀수개인 제품은 1본압접 기계에서 생산해야 불필요한 손실을 없앨수 있다.

- 일련의 자재단위를 바탕으로 계획의 출력단위가 되는 ‘계획판’을 정의하고, 각 계획판에 대한 품목 배치 상태를 제품점유율을 기준으로 E(Even), O(Odd), AO(Alterable- Odd) 등의 타입으로 구분한다.
 - E타입 계획판: 반드시 2분압접 그레이팅 기계에 할당.
 - O타입 계획판: 반드시 1분압접 그레이팅 기계에 할당.
 - AO타입 계획판: 추가손실 계산량이 잔재 계산량보다 작아서, 2분압접 그레이팅 기계에 할당 가능한 O타입 계획판으로 개선전략에 추가된 타입이다.
- 계획판의 가장 끝에 남은 잔재는 손실량으로 기록, CB를 압접하지 않는다.

4.1.2 일정계획 생성 규칙

- 임의의 수주에 대한 절단계획판을 2단계의 여러 작업장에 배정하는데, 접수된 수주들 중 제일 남기가 이른 수주를 우선적으로 처리한다.
 - 대상 수주의 남기, 자재손실을 등과 각 작업장의 동적속성인 미처리 잔여 작업, 정적속성인 평균성능, 주작업대상(압접방법) 등을 고려한다.
 - 계획판 단위로 그레이팅 기계에 분배: 기계의 압접방법을 고려하여 후보 기계집합을 추리고, 계획판에 대한 평균작업시간을 계산하여 가장 먼저 끝낼수 있는 기계에 할당한다.
 - 기존 전략 : E타입 계획판은 2분, O타입 계획판은 1분에 할당하여, 절단계획시의 자재손실율을 준수한다.
 - 개선 전략 : E타입 계획판은 2분, O타입 계획판은 1분에 원칙적으로 할당하고, AO타입 계획판들은 원칙에 상관없이 부하량 균형화(load balancing)만을 최우선으로 하여 할당한다. 절단계획시의 자재손실율을 위배하고, 추가손실이 발생 가능하다.
- 즉, 추가적인 자재 손실을 감수하고, 남기만족율(Due-term / Turnaround time), 기계이용율을

높이기 위해, 부하량 균형화 차원에서 O타입 계획판을 2분에 할당하도록 허용한다. AO타입 계획판들은, 추가손실을 감안할때, 절단계획시 배치된 품목을 모두 생산할만한 잔재여분이 있는 계획판이다.

- 계획판 단위로 가공팀에 분배 : 기계공정 종료 시간이 빠른순으로 계획판에 대한 평균작업시간을 계산하여 가장 먼저 끝낼수 있는 팀에 할당한다.

4.2 연구 목표

그레이팅 제조공정의 시뮬레이션 결과로써 분석하고자 하는 궁극적인 목표는 다음의 두가지로 요약되고, 모델을 통한 주요 관측지표는 <표 1>과 같다.

- 절단계획 전략의 평가 : 임의의 수주들을 계획 그룹으로 조직할 때, 그룹개수 및 그룹의 범위(품목종류 가지수)를 조정하여, 자재사용의 효율성을 분석한다. 이는, 자재손실을 비교함으로써 얻어진다.
- 일정계획 전략의 평가 : 임의의 수주들에 대한 절단계획판을 2단계의 여러 작업장(그레이팅 기계 혹은, 가공팀)에 할당할때, 기존전략과 개선전략의 유용성 및 효율성을 분석한다. 이는, 각 수주의 남기만족율, 각 작업장의 이용율 및 대기열(Queue)길이, 등과 절단계획시와 다른 추가적인 자재손실을 비교함으로써 얻어진다.

<표 1> 주요 관측지표

대상	관측지표
수주	반환시간(TurnAround time)
	단위시간당 처리량
	남기만족율
	자재손실율
작업장	이용율
	평균 큐길이
	최대 큐길이

4.3 모델링 및 시물레이션 제약조건

- 시물레이션 시간단위(TU) = 1/10 시간
- 1 일 = 8시간 = 80 TU(Time Unit)
- 자재, 제작사양 및 설비정보는 아래 표들과 같다.

<표 2> 자재개요

자재코드	자재타입	길이(mm)	단중(kg/m)
0	SQ66	1000	0.29
1	I25	7000	0.78
2	I32	7000	0.96
3	I38	7000	1.13
4	I44	7000	1.30

<표 3> 제작사양

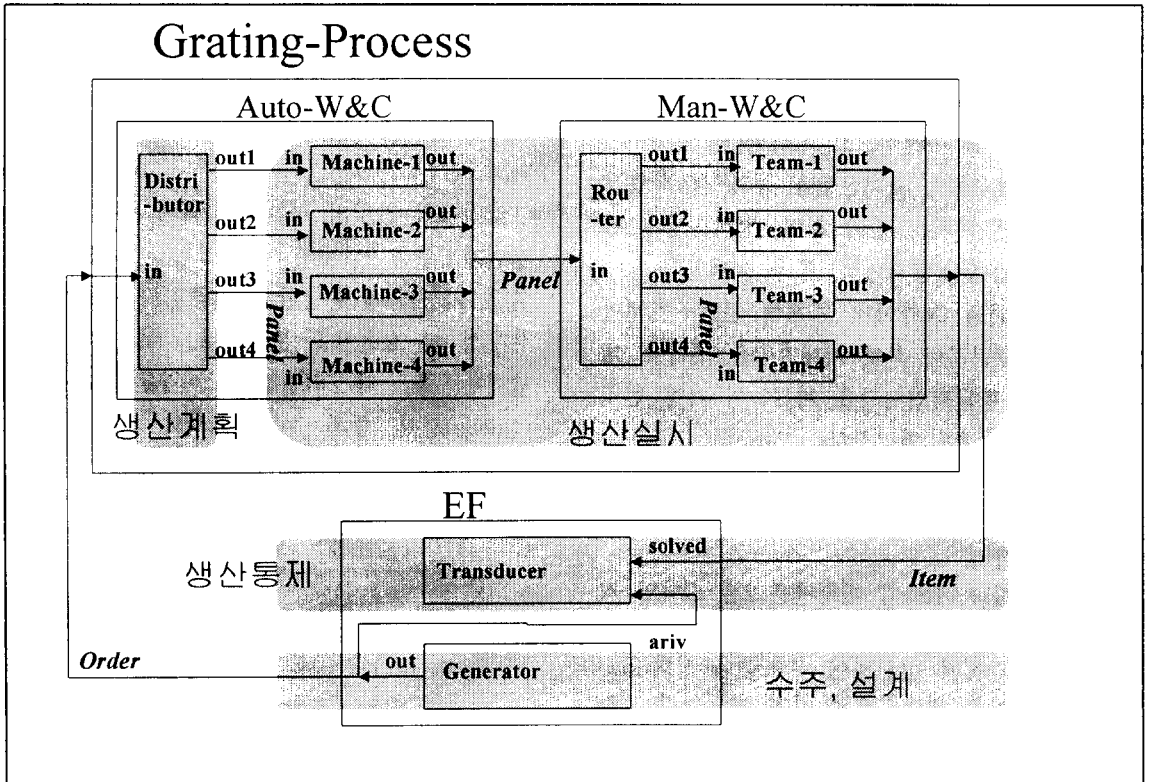
BB	CB	BP	CP
I25, I32, I38, I44	SQ66	30 mm	100 mm

<표 4> 그레이팅 기계개요

기계ID	압접방법	평균성능(m ² /TU)
MACH-1	1	1.8 (1.2~2.4)
MACH-2	1	1.8 (1.2~2.4)
MACH-3	2	2.4 (1.6~3.2)
MACH-4	2	2.4 (1.6~3.2)

<표 5> 가공팀개요

가공팀ID	평균성능(kg/TU)
TEAM-1	70.0
TEAM-2	70.0
TEAM-3	80.0
TEAM-4	80.0



<그림 4> 모델 구성도

<표 2>, <표 3>은 현재 S회사에서 가장 많이 쓰이고 있는 자재 및 제작사양을 나타내고, <표 4>, <표 5>는 S회사의 일부 공장에서 기계공정 및 가공공정 작업장에 배치된 그레이팅 기계 및 가공팀에 대한 가장 중요한 특성만을 나타낸다.

5. 각 구성요소 모델 설명

전체 그레이팅 제조공정을 추상화한 시뮬레이션 모델의 구성 및 모델들의 입출력 포트간의 연결관계는 <그림 4>와 같다.

■ 발생기(Generator) 모델

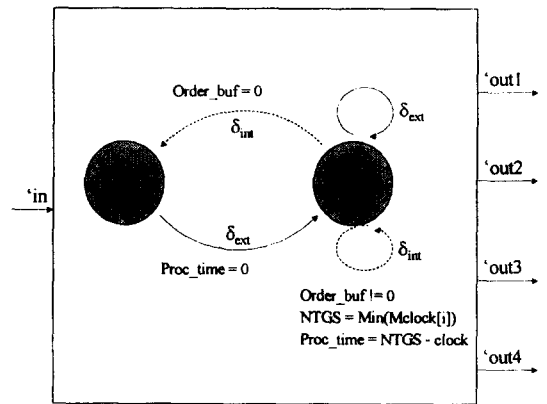
수주 및 설계단계를 추상화한 모델이다. 임의의 발생간격시간(Inter-arrival time) 마다 한 수주를 발생하여 분배기(Distributor) 모델과 변환기(Transducer) 모델로 전달한다. 표본 자료의 분석을 바탕으로 계획그룹ID, 자재타입, 품목종류 개수, 품목ID, 품목길이, CB개수, EP, 품목수량, 품목중량, 제작난이도, 납기기간 등의 수주정보를 무작위로 발생한다. 납기기간은 총면적*총중량*제작난이도로 계산되는데, 이는 기계공정에 소요되는 시간이 총면적에 의존하고, 가공공정은 총중량에 의존하기 때문이다. 수주발생간격은 지수확률분포를 따르고, 자재타입, 품목종류 개수, 품목길이, 수량 등은 균일확률분포를 따라 발생한다.

■ 분배기(Distributor) 모델

생산계획단계를 추상화한 모델로서, 입력포트(in-port)로 전달되는 수주(Order)들을 버퍼에 저장해두었다가, 임의의 한 그레이팅 기계가 유휴(idle) 상태가 되는 시점마다 제일 납기가 이른 수주를 찾아 4.1절에서 기술한 규칙에 따라 절단계획 및 일정계획을 실행한다. 이러한 계획에 따라, 각 기계에 할당된 계획판(Panel)들을 기계(Machine-#) 모델로 분배한다. 이 모델의 상태전이도는 <그림 5>와 같고, 주요 상태변수는 <표 6>에 나타나 있다.

'Active' 상태에서 발생하는 외부상태전이는 단지 입력수주를 버퍼에 저장한다. 'Active' 상태에

서 발생하는 내부상태전이는 수주버퍼가 비었을 경우 'Passive' 상태로 전이한다. 그러나, 버퍼에 수주가 존재하는 경우에는 우선순위가 가장 높은 수주에 대하여 생산계획을 수립하고, 일정계획 결과 가장 빨리 일정이 종료되는 기계의 종료시점을 다음번 생산계획 시점으로 정의한다. 따라서, 'Active' 상태를 유지하는 처리시간(processing time)은 NTGS(Next Time to Generate Schedule)에서 현재시간(clock)을 뺀 값이다.



<그림 5> 분배기 모델의 상태전이도

■ 그레이팅 기계(Machine-#) 모델

생산실시단계의 기계공정에 해당하는 모델로서, 입력포트로 전달되는 계획판들을 대기열에 적재하고 하나씩 처리하여 중계기 모델로 전달한다.

■ 중계기(Router) 모델

생산실시단계의 가공팀분배에 해당하는 모델이다. 가공팀분배관 중간생산물(계획판)이 기계공정에서 가공공정으로 작업장을 이동하는 과정이다. 입력포트로 전달되는 계획판들을 대기열에 적재하고 하나씩 처리하여 가공팀 모델로 전달한다.

■ 가공팀(Team-#) 모델

생산실시단계의 가공공정에 해당하는 모델로서, 입력포트로 전달되는 계획판들을 대기열에 적재하고 하나씩 처리하여 변환기 모델로 전달한다. 기계보다는 성능편차가 조금 크다.

<표 6> 각 모델에서 주요 상태변수들

기본모델	상태변수	설명	
발생기	IAT(Inter Arrival Time)	Expon(m) ; 수주빈도의 변화를 반영하기 위해, m=160, 80, 40 의 세가지 경우를 갖는다.	
	수주	계획그룹 개수	고정 상수
		제작난이도	고정 상수
		총수량	그룹개수 × 품목종류개수 × 품목수량
		납기기간	총면적 × 총중량 × 제작난이도
	계획 그룹	BB자재타입	Uniform[I25, I44]
		품목종류개수	Uniform[5, 15]
	품목	폭	고정 상수 (1000mm)
		길이	Uniform[200, 1200]
		수량	Uniform[1, 19]
중량		[BB단종 × (품목길이/1000) × BB개수] + { CB단종 × (품목너비/1000) × CB개수 }	
분배기	수주버퍼	입력된 수주들의 리스트	
	계획판(Panel)	임의의 품목군	
	NTGS	다음번 생산계획을 실행할 시점	
	Clock	Global clock (현재시간)	
	MClock[# of Machines]	머신공정에서 각각의 머신에대한 최후일정 종료시점을 갖는 변수로 머신 대수만큼의 배열	
	TClock[# of Teams]	가공공정에서 각각의 팀에 대한 최후일정 종료시점	
그레이팅 기계	Panel-Queue	입력된 계획판들의 대기열	
	처리시간 (/계획판)	계획판총면적 / normal[평균성능±30%]	
중계기	Panel-Queue	입력된 계획판들의 대기열	
	처리시간 (/계획판)	고정된 전달지연시간 (20TU)	
가공팀	Panel-Queue	입력된 계획판들의 대기열	
	처리시간 (/계획판)	계획판총중량 / normal[평균성능±35%]	
변환기	Warm-up period	2.5 days (200 TU) ; 유효한 관측값을 얻기 위한 준비 시간	
	Observation interval	12.5 days (1000 TU) ; 시물레이션 1회 실행시 총 관측 시간	

* Expon(m) : 평균이 m인 지수확률분포에 따른 무작위 값
 * Uniform[a, b] : a에서 b사이 범위에서 균일확률분포에 따른 무작위 값
 * Normal[m ± r] : 평균m에서 r% 편차 범위에서 정규확률분포에 따른 무작위 값

■ 변환기(Transducer) 모델

생산통제단계에 해당하는 모델로서, 입력포트로는 arriv, solved 포트 두개가 있다. arriv포트로 전달되는 수주들에 대해 작업진척도를 파악하는데, 시시각각 solved포트로 전달되는 품목(Item)들을 누적하여 발생수주의 총수량과 같아질 때, 그 수주에 대한 처리가 종료된다.

6. 시뮬레이션 실행결과

<표 7> 제어 매개변수

제어 변수	ID	설명
일정계획 전략	S	기존전략
	A	개선전략
절단계획 전략 (그룹개수 및 범위)	2	한 수주를 두개의 그룹으로 구성, 한 그룹은 10가지 품목으로 구성
	5	5그룹 → 4가지/그룹
수주발생 시간간격 (TU)	80	기계이용율이 50% 정도로 관측되도록 설정
	40	기계이용율 90% 정도

<표 7>의 제어 매개변수들의 조합으로 발생하는 시뮬레이션 실행전략의 8가지 경우를 S-5-80, A-5-80, S-2-80, A-2-80, . . . A-2-40 등의 식별자로 구분하고 각각에 대해 5번씩 총 40회의 시뮬레이션을 실행하여 얻은 주요 결과가 <표 8>에 나타나 있다. <표 8>에는, 시뮬레이션 1회 실행시 관측시간 간격내에 발생하는 수주들에 대한 평균 수주반환시간(TA), 평균 납기만족율(DPT), 평균 기본 자재손실율(BL), 평균 추가 자재손실율(AL), 평균 기계이용율(MU), 평균 기계 대기열길이(MQ) 등의 주요 관측지표를 구하는데, 5회 실행해서 얻어진 표본의 평균과 그들 간의 상관계수(correlation)를 명시하였다. 상관계수 항목은 바로 아래 행의 관측지수와의 상관관계를 나타낸다.

TA와 DPT는 높은 상반적 상관관계(negatively correlated)를 나타내고, DPT와 AL은 상승적 상관관계(positively correlated)가 예상되었는데, 그다지 명확한 관계를 나타내지 않는다. MU와 MQ는 높은 상승관계를 나타내고, AL과 MU도 높은 상승관계를 나타낸다. BL지수에 대해서는 하나의 실행전략에 대해 5회 실행하는 동안 극히 미미한 차이를 나타내어 다른 지표와의 상관관계가 없는 것으로 간주했다.

서로 다른 실행전략 간의 관측지표 차이를 비교하기 위한 적절한 방법의 하나로, “차이가 0이 아니다” 라는 가설을 검정할 수 있다. 그러나 가설검정 방법은 ‘가설을 기각한다’ 또는, ‘기각하지 못한다’ 라는 결론만을 내릴 수 있는 반면, 실행결과값의 차에 대한 신뢰구간을 구하는 방법은 신뢰구간이 0을 포함하는지 여부에 따라 가설검정과 상응한 결론을 내릴 수 있을 뿐만 아니라 차이가 난다면 얼마나 나는가를 정량화 할 수 있다. 더욱이, 일반적으로 복수개 실행결과 값들의 분포는 조금씩 비대칭성을 나타내는데, 서로 다른 전략의 출력 분포가 같은 방향으로 뒤틀렸다고 가정한다면, 뺄셈의 부수적 효과로 각 출력 분포에 존재하는 비대칭성을 상쇄할 수 있다.

본 논문에서는 각 실행 전략에 대해 동일한 난수 계열을 사용함으로써, X_{1j} 과 X_{2j} (X_{ij} : i번째 실행전략의 j번째 실행시 결과값)가 상승적 상관관계를 갖게 되고, $(X_{1j} - X_{2j})$ 의 분산을 줄여 보다 작은 신뢰구간을 유도하였다. 또한, 동일한 실험조건이 성립되므로, 관측지표의 차이라는 것이 실험적 조건 보다는 실행전략의 차이에서 기인한다고 확신할 수 있다. 따라서, Paired-t 신뢰구간을 이용하여 서로 다른 실행전략에서 특정 관측지표값 간의 차이에 대한 p%신뢰구간을 계산할 수 있고, 그것은 관측지표의 모평균의 차이가 신뢰구간 만큼 날 확률이 거의 p%임을 나타낸다[12].

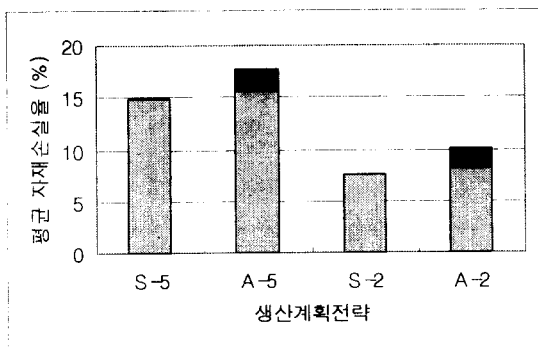
<표 8> 실행 전략별 결과 비교

(* CI : 신뢰구간)

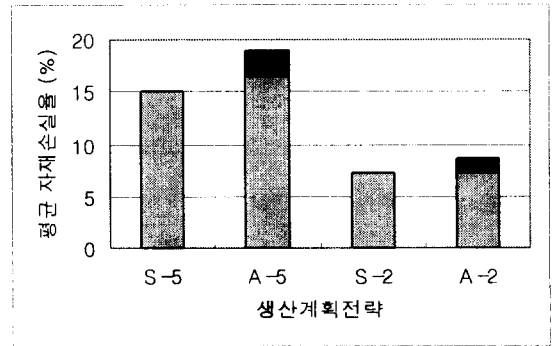
전략	관측 지수	상관 계수	표본 평균	일정계획전략만 바뀔 때 관측지수 차이 비교 항목			절단계획 전략만 바뀔 때 관측지수 차이 비교 항목		
				Diff.	90% CI	95% CI	Diff.	90% CI	95% CI
S-5-80	TA(TU)	-0.75	174.8						
	DPT(%)		117.0						
	AL(%)		0.0						
	MU(%)	0.63	65.0						
	MQ(판)		7.2						
	BL(%)		16.2						
A-5-80	TA(TU)	-0.76	131.2	-43.6	± 30.40	± 39.58			
	DPT(%)	-0.72	147.4	30.4	± 21.17	± 27.56			
	AL(%)	0.45	2.6	2.6	± 0.45	± 0.58			
	MU(%)	0.85	66.4	1.4	± 11.94	± 15.55			
	MQ(판)		3.4	-3.7	± 1.43	± 1.87			
	BL(%)		15.6	-0.5	± 1.00	± 1.30			
S-5-40	TA(TU)	-0.71	406.4						
	DPT(%)		53.0						
	AL(%)		0.0						
	MU(%)	0.74	88.2						
	MQ(판)		30.5						
	BL(%)		15.2						
A-5-40	TA(TU)	-0.97	213.0	-193.4	± 63.72	± 82.97			
	DPT(%)	0.27	96.6	43.6	± 30.49	± 39.69			
	AL(%)	0.47	2.3	2.3	± 0.28	± 0.37			
	MU(%)	0.83	95.8	7.6	± 4.08	± 5.31			
	MQ(판)		5.8	-24.7	± 6.13	± 7.98			
	BL(%)		16.5	1.3	± 0.98	± 1.28			
S-2-80	TA(TU)	-0.69	121.8				-53.0	± 42.95	± 55.92
	DPT(%)		150.4				33.4	± 22.99	± 29.93
	AL(%)		0.0						
	MU(%)	0.97	42.4				-22.6	± 10.88	± 14.17
	MQ(판)		5.6				-1.6	± 1.26	± 1.64
	BL(%)		7.0				-9.2	± 0.93	± 1.21
A-2-80	TA(TU)	-0.58	116.2	-5.6	± 28.10	± 36.59	-15.0	± 26.27	± 34.20
	DPT(%)	-0.53	174.2	23.8	± 17.18	± 22.37	26.8	± 33.08	± 43.07
	AL(%)	0.87	2.1	2.1	± 0.24	± 0.31	-0.6	± 0.59	± 0.77
	MU(%)	0.21	54.2	11.8	± 12.25	± 15.96	-12.2	± 17.86	± 23.25
	MQ(판)		3.0	-2.6	± 1.27	± 1.66	-0.4	± 0.72	± 0.93
	BL(%)		7.1	0.1	± 0.74	± 0.96	-8.5	± 1.12	± 1.46

S-2-40	TA(TU)	-0.61	342.4				-64.0	± 94.41	± 122.92
	DPT(%)		71.0				18.0	± 21.43	± 27.90
	AL(%)		0.0						
	MU(%)	0.90	89.0				0.8	± 5.45	± 7.10
	MQ(판)		23.0				-7.5	± 10.81	± 14.08
	BL(%)		7.0				-8.2	± 1.00	± 1.30
A-2-40	TA(TU)	-0.93	184.0	-158.4	± 91.63	± 119.31	-29.0	± 64.66	± 84.19
	DPT(%)	-0.56	109.0	38.0	± 27.18	± 35.39	12.4	± 36.00	± 46.87
	AL(%)	0.96	1.6	1.6	± 0.29	± 0.38	-0.8	± 0.36	± 0.47
	MU(%)	0.71	91.6	2.6	± 8.05	± 10.48	-4.2	± 9.85	± 12.82
	MQ(판)		5.6	-17.5	± 6.65	± 8.66	-0.3	± 1.19	± 1.55
	BL(%)		7.0	0.0	± 1.25	± 1.62	-9.5	± 1.66	± 2.17

<표 8>에는 일정계획전략이 다른 실행전략 간의 관측지표값 비교 4회, 절단계획전략이 다른 실행전략 간의 비교 4회에 대한 항목들이 포함되어 있다. <표 8>의 이해방법은 다음과 같다. 일정계획전략만 바뀌는 경우의 비교는 S-5-80과 A-5-80 간의 비교를 A-5-80행의 비교항목열(Diff., 90%CI, 95%CI)에서 찾는 식으로 확인할 수 있고, 절단계획전략만 바뀌는 경우의 비교는 S-5-80과 S-2-80 간의 비교를 S-2-80행의 비교항목열에서 찾는 식으로 확인할 수 있다. 관측지표의 표본평균 간의 차이를 Diff 항목으로 나타내었고, 그것의 90% 신뢰구간과 95% 신뢰구간을 계산하였는데, 신뢰구간이 0을 포함하면 차이가 난다고 말할 수 없다. 예를 들어, S-5-80과 S-2-80 전략에서 TA의 차이는 -53 ± 43 TU 라는 것을 90% 신뢰도를 갖고 말할 수 있지만, 95% 신뢰도에서는 구간이 -53 ± 56 TU 이므로 차이가 난다고 확신할 수 없다.



<그림 6> 각 전략별 자재손실율 비교1

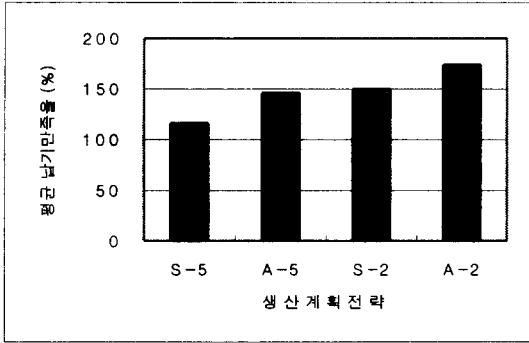


<그림 7> 각 전략별 자재손실율 비교2

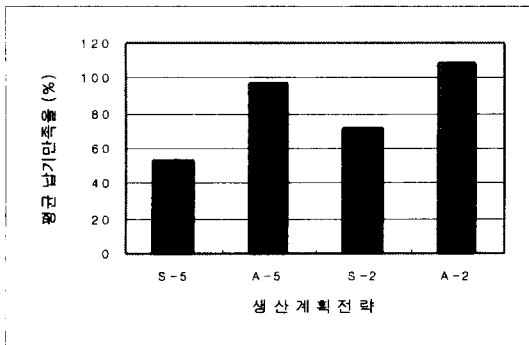
생산계획 전략을 일정계획전략과 절단계획전략의 조합으로 정의하고, 각 전략을 적용했을 때 관측되는 주요 지표들에 대한 비교 그래프를 <그림 6>~ <그림 11>에 나타내었다. <그림 6>, <그림 8>, <그림 10>은 수주발생간격이 80 TU일때이고, <그림 7>, <그림 9>, <그림 11>은 수주발생간격이 40 TU일때이다.

<그림 6>, <그림 7>에서 막대의 어둡게 칠해진 부분이 기본손실이고, 검게 칠해진 부분이 추가 손실이다. 수주발생 빈도에 상관없이, 절단계획의 그룹범위가 클 때(S-2, A-2), 작은쪽(S-5, A-5)보다 기본손실율이 현저히 감소하는데, <표 8>에서 진하게 표시된 수치들에 의하면, 95%신뢰도로 $8.8 \pm 1.5\%$ 정도의 감소율을 기록했다. 일정계획시, 부하량 균형화 우선 전략(A-5, A-2)은 자재손실 우선 전략(S-5, S-2)과 비교하여 기본손실부분은 별 차이가 없지만, 추가손실부분에서 2%가량 증가되었는

데, <표8>에서 95%신뢰도로 $2.2 \pm 0.4\%$ 정도의 증가율을 기록했다.



<그림 8> 각 전략별 납기만족율 비교1

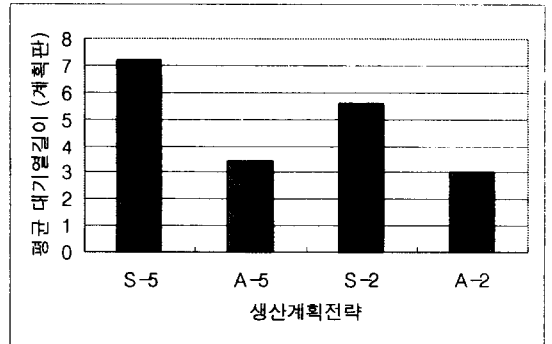


<그림 9> 각 전략별 납기만족율 비교2

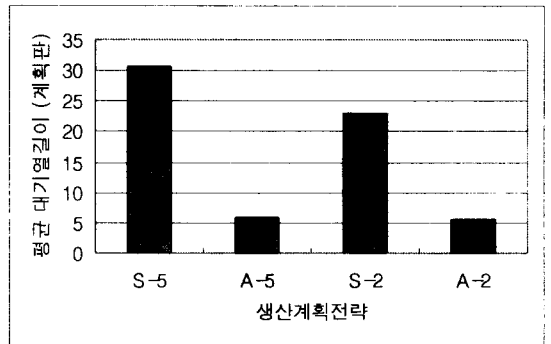
<그림 8>, <그림 9>를 보면, 일정계획의 기존 전략과 개선전략을 비교했을 때, 개선전략(A-5, A-2)쪽이 30% 이상 납기만족율이 증가했다. 그 차이는, 기계이용율이 50% 정도의 수주상황(<그림 8>)에서보다 이용율 90%정도의 수주상황(<그림 9>)에서 더욱 두드러지게 나타나는데, <표8>에서 음영처리된 수치들에 의하면 95% 신뢰도로 $44 \pm 40\%$ 혹은, $38 \pm 35\%$ 정도의 차이를 확인할 수 있다. 한편, 그룹범위가 큰 전략이 작은 전략보다 평균값만 보면 분명히 납기만족율이 증가했고, 기계이용율이 낮을 때 더욱 두드러진다. 그러나 <표8>에 의하면, 가장 크게 증가한 경우인 S-2-80과 S-5-80 간의 비교에서만 95% 신뢰도로 $33 \pm 30\%$ 가량의 차이를 확인할 수 있고, 나머지 경우의 차

이는 신뢰할 수 없다. 따라서, 기본 자재손실율을 줄이는 전략이 납기만족을 향상에 도움이 될 수 있는데, 기계이용율이 높지 않은 경우에 한하여 그 효과를 나타낼 수 있다.

<그림 10>, <그림 11>을 볼 때, 일정계획시의 개선전략은 기존전략에 비해 기계공정 평균 대기열 길이를 현저히 감소시킨다. 이러한 영향은 기계이용율이 높을 때 훨씬 크게 나타나는데, <표8>에서 A-5-40과 S-5-40간의 비교의 경우, 95% 신뢰도로 25 ± 8 개의 계획편이 감소함을 확인할 수 있다. 절단 계획시 그룹범위에 따른 감소효과는 그리 뚜렷하지 않다.



<그림10> 각 전략별 기계 대기열길이 비교1



<그림11> 각전략별 기계 대기열길이 비교2

결론적으로, 절단계획시 그룹범위를 크게 하는 전략은 자재손실에 대해 상당히 효율적이며, 기계이용율이 높지 않는한 납기준수에 대해서도 효율적

이라 할 수 있다. 일정계획시 개선전략은 납기준수 및 중간생산물 적재공간에 대해 상당히 효율적이며, 공정 가동율이 높아지는 수주 상황에서 보다 유용하다고 할 수 있다.

7. 결론 및 향후과제

6장에서는 일정 수준의 신뢰도를 바탕으로 정량적 수치 비교를 통해 여러가지 생산계획전략을 분석하였고, 이러한 신뢰할만한 평가기준을 바탕으로, 변화하는 수주상황에 따라, 각 전략들을 병용한다면, 보다 효율적인 제조공정 관리를 기대할 수 있을 것이다.

한편, 절단계획의 효율성을 향상시키기 위해서는 계획그룹범위가 큰 전략이 유용하지만, 이를 위해서는 여러 수주를 하나의 태스크로 묶고 아울러 같은 제작사양을 갖는 그룹별로 병합하여 새로운 계획그룹으로 재구성하는 조정 작업이 수반되어야 한다. 또한, 일정계획의 효율성을 향상시키기 위해서는, 각 작업장의 이용율을 고르게 하는 전략이 유용한데, 이것 역시 부가적인 자재손실을 감수해야 하고, 계획관의 AO타입 여부 판정, 추가손실 계산 등의 부가적인 작업이 필요하다.

즉, 생산계획시 다양한 전략을 병용하기 위해서는, 계산의 복잡도와 반복수행이 증가하게 되는데, 이점 역시, 사람의 능력으로 해결하기에는 정확도와 시간적 한계에 어려움이 따른다. 아울러, 높은 유연성과 적응성(adaptiveness)을 요구하는 Job shop 형태의 제조시스템에서 시뮬레이션을 통한 예측효과 및 의사결정 지원을 극대화하려면, 오프라인(off-line) 시뮬레이션 보다는 온라인(on-line) 실시간 시뮬레이션이 보다 효과적이다[7][10][13]. 이러한 문제점들을 극복하려면, 보다 근본적인 문제해결방법으로써, 전 제조공정을 통합하는 정보처리체계를 기반으로 하는 생산계획지원 컴퓨터시스템의 도입이 우선되어야 하고, 여기에 실시간 시뮬레이션 환경의 통합이 이뤄져야 한다.

참고문헌

- [1] 김형중, 조대호 외, "반도체 생산라인에서의 이 탈처리 추적 전문가 시스템의 지식베이스 구축," 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 5권, 1호(1999), pp54-61.
- [2] 이진춘, 윤재곤, "시뮬레이션에 의한 복합형 흐름라인 간의 성과 비교," 한국시뮬레이션학회 논문지, 4권 1호(1995), pp75-86.
- [3] 최성훈, 서대석, "AIM을 이용한 염색/가공 설비 투자 분석 시뮬레이션," 한국시뮬레이션학회 논문지, 4권 1호(1995), pp87-98.
- [4] 조대호, 김형중, "분산 전문가 시스템의 기능을 갖는 이산사건 시뮬레이션: 제조 공정 오류 감지와 진단에의 적용," 한국시뮬레이션학회 논문지, 7권, 2호(1998), pp137-152.
- [5] 조대호, "지식 표현 기법을 이용한 모델 구조의 표현과 구성 : 단편구조 유연생산 시스템 예," 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 4, No. 1, June 1995.
- [6] 지승도, 이종근, 이장세, "캠퍼스 네트워크의 구성 및 성능분석 자동화 방법론," 한국시뮬레이션학회 논문지, 7권 2호(1998), pp1-16.
- [7] R. G. Askin, C. R. Standridge, "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems," John Wiley & Sons, 1993.
- [8] David Brown, "An Introduction to Object-Oriented Analysis," John Wiley & Sons, 1997.
- [9] T. H. Cho, B. P. Zeigler, "Simulation of Intelligent Hierarchical Flexible Manufacturing: Batch Job Routing in Operation Overlapping," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. A, Vol. 27, pp.116-126, Jan. 1997.
- [10] G. R. Drake, J. S. Smith, "Simulation System for Real-time Planning, Scheduling,

- and Control," Winter Simulation Conference, San Diego, CA, 1996.
- [11] R. P. Goldman, "A Constraint-Based Scheduler for Batch Manufacturing," IEEE expert: Intelligent Systems, vol. 12, No. 1, pp49-56, 1997.
- [12] Averill M. Law and W. David Kelton, "Simulation Modeling & Analysis," McGraw-Hill, 1991.
- [13] B. A. Peters, J. S. Smith, "Simulation-Based Scheduling and Control in Flexible Manufacturing Environments," Winter Simulation Conference, San Diego, CA, 1996.
- [14] B. P. Zeigler, "Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation." Orlando, FL, USA, Academic Press, 1984.
- [15] B. P. Zeigler, "Objects and Systems," Springer-Verlag, New York, 1997.
- [16] B. P. Zeigler, "Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models," Academic Press, 1990.
- [17] B. P. Zeigler, T. H. Cho, and J. W. Rozenblit, "A Knowledge-based Environment for Hierarchical Modeling of Flexible Manufacturing System," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. A, Vol. 26, pp81-90, Jan. 1996.

● 저자소개 ●



고종영

1997년 성균관대학교 정보공학과 졸업 (학사)

1999년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업 (석사)

1999년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사과정

관심 분야 : 컴퓨터 모델링 및 시물레이션, 지능형시스템, ERP



조대호

1983년 성균관대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1987년 University of Alabama 전자공학과 졸업 (공학석사)

1993년 University of Arizona 전기 및 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

1993~1995년 경남대학교 전자계산학과 전임강사

1995년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수

관심 분야 : 컴퓨터 모델링 및 시물레이션, 지능형시스템, ERP