

유연흐름 생산시스템에서의 시뮬레이션을 이용한 동적일정계획 연구*

The dynamic production scheduling on flexible flowshop systems using simulation

우훈식**

Hoon-Shik Woo

Abstract

Utilizing the simulation approaches, the dynamic production scheduling system FOLS (Flexible flowshop On-Line Simulation) is developed under the flexible flowshop environments. When an interruption such as machine failure/recovery is occurred at the shop floor, the FOLS system performs evaluations for job selection rule oriented alternatives, and generates a dynamic production schedule based on the collected current shop floor data. For the case study, the FOLS system is applied to the printed circuit card assembly (PCCA) line and simulation results are reported.

1. 서 론

시장 수요 중심의 생산 환경하에서 기업 경쟁력 향상을 위한 생산 관리 측면의 역할은 제품의 적시 공급에 있다. 납기 준수 등의 소비자 요구는 직접적으로 생산 현장의 생산 스케줄과 관계하며, 생산 스케줄을 통한 작업 통제가 제품의 적시 공급을 좌우한다. 대부분의 국내 기업은 작업 통제를 위한 스케줄 작성을 수작업 또는 오프 라인(off-line)으로 진행하고 있다. 때문에 긴급 작업 도착, 기계 고장 등의 일상적인 이상 사건 발생에 적절히 대응하지 못하며, 이로 인한, 재공 재고의 누적, 납기 지연, 과도

한 설비 투자 등의 비생산적인 요소가 생산 현장에 일상화되어 있는 경우가 많다. 이상 사건 발생 등의 생산 현장에서의 활동은 동적이라는 말로 특징 지을 수 있다. 동적이라는 의미는 복잡성 뿐만 아니라 불확실성도 포함한다. 따라서, 수작업에 의존한 생산 스케줄로는 이상 사건 등의 동적인 불확실성 생산 환경에 적절하게 대응할 수 없다.

동적 생산 환경하의 생산 시스템 성능을 극대화하기 위해서는 효과적인 생산 스케줄을 짧은 시간 안에 제공할 필요가 있다. 즉, 생산 현장의 동적 특성을 고려한 실시간 스케줄링 시스템이 요구되는 것이다. 실시간 스케줄링의

* 본 논문은 CRAY Research, Inc.의 1994/1995년도 R&D Grant Program의 일부 지원을 받아 연구되었음.

** 시스템공학연구소 시스템통합연구부

의미는 생산 현장에서의 이상 사건 발생 등에 따른 의사 결정 요구에 대한 즉각적인 대응을 말한다. 실시간 시스템에서의 대응시간은 제품 작업 시간, 그리고 시스템 유연성과 같은 시스템 모수에 대단히 영향을 받는다. Ranky [10]에 의하면 대응 시간은 시스템 운영에 중단을 주지 않는 범위에서 한 공정에서 다른 한 공정으로 팽팽이 이동하는 시간보다 짧아야 한다고 제안되기도 한다.

시간 제약을 갖는 실시간 스케줄링 시스템을 구현하기 위하여 수학적 수리 모델링 방법, 휴리스틱 방법, 인공지능 방법, 시물레이션 방법, 그리고 인공 지능과 시물레이션을 결합하는 방법 등이 연구되었다. 수학적 수리 모델링과 휴리스틱 방법은 전통적인 방법으로 유연 생산 시스템 및 컴퓨터 통합 생산 시스템의 스케줄링과 통제에 많이 적용되어 왔다. Shmilovici와 Maimon [12]은 유연 생산 시스템에서 실시간 작업 경로를 결정하는 세 가지 휴리스틱을 제시하였으며, Perkins와 Kumar [8]은 생산 현장의 기계에 대하여 각각의 재공 수준에 적합한 독립적 스케줄링을 시행하여 실시간 시스템 적용을 추구하였다. 인공 지능 방법은 기존의 큐잉 네트워크(queueing network) 해법과 같은 분석 모델이 실제 현장에 대한 응용이 제한되는 한계를 지니므로 이를 완화하기 위해 고안되었으며, 대표적인 것으로는 MADEMA (MANufacturing DECision MAKing) [3]가 있다. 시물레이션 방법은 시스템의 미래를 예측한다는 장점을 가지고 각종 의사결정에 사용되어 왔다. 실시간 시스템에서의 시물레이션 응용은 Davis와 Jones [4], Branam [1]등의 연구를 들 수 있다. 또한, 인공지능과 시물레이션을 결합하는 방법론은 인간의 의사 결정 과정에 대한 모델링을 인공 지능 기법을 이용 설계하고, 생산 시스템의 객체와 운용에 대한 모델링을 시물레이션을 통해 설계한다는 개념에서 출발하였으며 대표적인 연구는 Manivannan과 Banks [7], Jain 등[5], Sepulveda와 Sullivan [11], Wu와 Wysk [14]등에서 찾을 수 있다.

본 연구에서는 동적 환경하의 생산 시스템에 대한 스케줄 평가에 효과적인 툴인 시물레이션을 이용하는 실시간 시물레이션 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 실제 생산 시스템을 시물레이션 모델을 통하여 모의실험 하므로써, 실시간 또는 근사 실시간으로 생산 스케줄을 생성하는 시스템이다. 생산 시스템의 스케줄 성능은 고려 중인 대상 생산 시스템의 시스템 모수는 물론 적용하는 스케줄링 룰에 따라 크게 달라지기 때문에, 시물레이션의 미

래 예측 기법을 이용하여 스케줄링 룰을 이용 시물레이션을 수행하므로써 실제 시스템에 대한 직접적인 실험으로 파생되는 위험 부담을 줄일 수 있다.

실시간 시물레이션 시스템의 실제적인 구현은 통신 네트워크, 센서, 그리고 실시간 시물레이션 소프트웨어의 유기적인 조합으로 가능해진다. 국내 대기업의 전자 제품 생산 현장을 보면, 실시간 데이터 수집을 위한 센서와 네트워크 설비 등의 각종 하드웨어 설비가 잘 구비되어 있는 경우를 많이 볼 수 있다. 이렇게, 하드웨어 설비는 점차 그 쓰임이 증가 일로에 있지만, 이를 이용하여 생산 현장의 기계 고장, 긴급 작업 도래와 같은 이상 사고가 생길 때 적절한 대응 방안을 제공하는 실시간 의사 결정 시스템의 구축은 요원한 실정이다.

본 연구의 목적은 두가지이다. 첫 번째 목적은 전자 제품 생산 라인에서 자주 볼 수 있는 유연 흐름 생산 시스템용 실시간 시물레이션 시스템 FOLS (Flexible flowshop On-Line Simulation)를 설계하고 이를 개발하는 것이다. 두 번째 목적은 개발된 FOLS 시스템을 사용하여, 전자 제품의 기본 부품으로 폭 넓게 이용되는 인쇄회로기판 조립공정에 대하여 사례 연구하는 것이다. FOLS 시스템은 기본적으로 시물레이션을 이용하여 생산 현장에서의 각종 동적 활동을 모델링하며, 이를 이용하여 실시간 스케줄을 제공함으로써, 생산 현장의 실시간 의사결정 수요에 대한 본격적인 대응을 목표로 하고 있다.

2. 유연 흐름 생산 시스템

유연 흐름 생산 시스템은 흐름 생산의 개념하에서 한정된 종류의 제품을 작은 배치 크기로 생산할 수 있는 전자 제품 조립 공정등에서 자주 볼 수 있는 일반적인 형태의 생산 시스템이라고 할 수 있다. 이러한 생산 시스템은 뱅크라고 불리는 일련의 공정으로 구성되어 있으며, 각 공정은 하나 혹은 그 이상의 동일 기계로 구성되고 각 공정의 앞쪽에는 특정 작업 선정 룰에 의해 통제되는 제한된 크기의 공통 입력 버퍼를 갖는다 [6].

유연 흐름 생산 시스템은 각 생산 주기마다 제한된 종류의 제품을 생산한다. 생산되는 각 제품은 각 공정의 기계 하나를 거쳐야 하거나, 혹은 제품의 타입에 따라서는 일정 공정을 건너 뛸 수도 있다. 기계가 하나의 제품 타입을 처리하다가 다른 제품 타입을 처리할 때, 준비 작업

이 필요하다. 또한 작업 시간도 각각의 공정에 따라 달라지고 각각의 제품 타입에 따라 달라진다. 이렇게, 준비 시간 그리고 작업 시간은 공정과 제품 타입의 함수로 나타낼 수 있다. 각 기계에 대한 제품의 작업은 반드시 처리되고 있는 작업이 끝나야만 다음 작업을 시작할 수 있다.

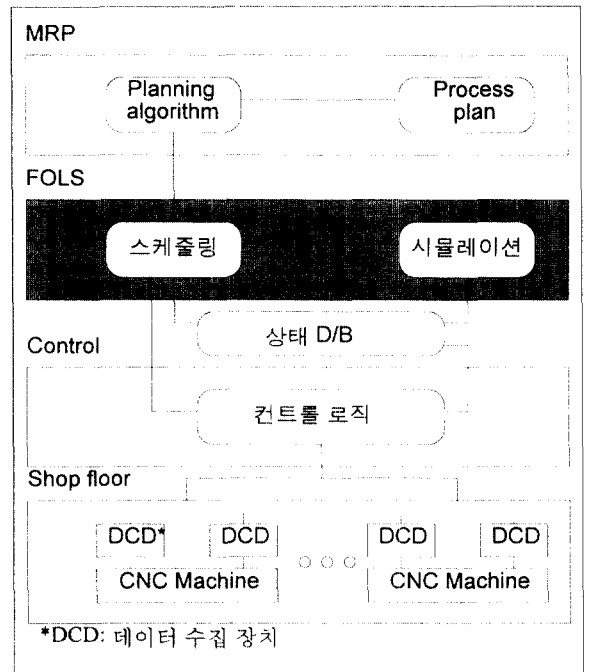
공정 사이의 제품의 이동 및 운반은 매거진 또는 랙이라고 불리는 특정 수의 제품을 보관하는 컨테이너에 의해 운반된다. 공정 사이의 공통 버퍼 크기를 제한함으로써 매거진이 라인을 통과하는 시간 즉 체류 시간(flow time)을 줄일 수 있다. 만약 특정 공정을 거친 제품의 수가 공정 뒤에 있는 공통 버퍼 한계까지 도달하면, 다음 제품을 위한 버퍼 여유가 생길 때까지 작업이 완료된 기계는 새로운 생산 활동을 할 수 없다. 이것이 잘 알려진 블럭킹(blocking) 현상이다. 또한, 만약 입력 제품이 없으면, 즉 입력 버퍼가 비어 있으면, 작업이 완료된 기계는 작업을 시작할 수 없으며 이러한 현상이 기갈(starvation) 현상이다. 생산 현장에서 재공 재고의 크기를 줄이는 JIT (Just In Time) 환경을 강조하다 보니 버퍼의 크기를 줄이게 되며, 따라서 블럭킹과 기갈 현상의 효과는 상당히 심각하다.

블럭킹과 기갈 현상 이외에도, 정상적인 생산 활동을 막는 여러 요인이 있다. 예를 들면, 기계의 갑작스러운 고장, 물류 운반 시스템의 고장, 그리고 툴의 마모나 고장이 그것이다. 이러한 고장은 막대한 자본이 투자된 생산 설비의 이용율을 저하시켜서, 생산 관리자에게 즉각적인 이상 사고 처리라는 무거운 짐을 안겨준다. 하지만, 문제가 너무 복잡하여 해결하기 어려운 경우가 많고 매우 짧은 시간 안에 문제를 해결해야 함으로, 관리자에게는 엄청난 부담과 의무를 지우게 된다. 또한, 기업에게는 공정내 재공 재고의 증가로 인한 자본의 고정과 일정 생산율을 얻기 위한 불필요한 자원에 대한 투자를 발생시키기 때문에 원가 부담 및 자금 압박 등의 결과를 파생한다. 따라서, 생산 현장의 제반 동적 활동을 효과적으로 통제하고 이를 통하여 생산성을 향상시키기 위한 실시간 의사 결정 및 통제 시스템의 구축이 필요하다.

3. 유연 흐름 생산 시스템을 위한 실시간 시뮬레이션 시스템

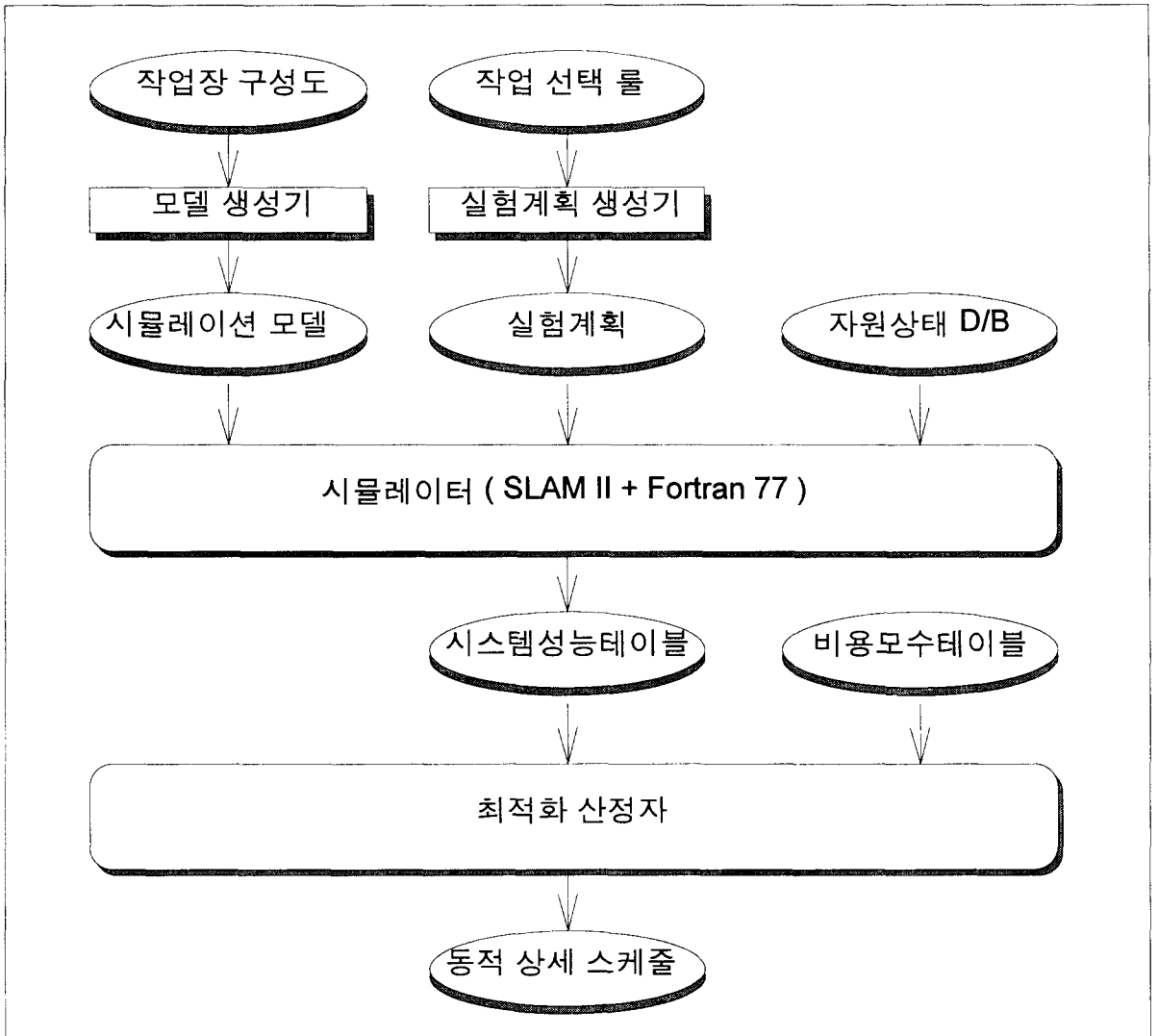
본 연구에서는 생산 현장의 현재 상태와 이상 사고 정

보를 받아서, 실시간 시뮬레이션을 실행하여 이를 성능 평가함으로써, 최적화된 단기간 동적 스케줄을 생성하는 시스템인 FOLS를 개발하였다. FOLS는 기존 생산 현장의 MRP (Material Requirements Planning)와 같은 상위 정보 시스템을 염두에 두고 개발하였으며, 또한 독립적으로도 운용될 수 있도록 개발되었다. FOLS와 기존의 생산 정보 시스템간의 관계가 <그림 1>에 나타나 있다.



<그림 1> FOLS와 생산정보시스템의 관계

FOLS의 궁극적인 목표는 유연 흐름 생산 시스템에서의 자원의 상태 변화와 작업 주문의 변화 등에 대하여 최적화된 생산 스케줄을 빠르게 제공하는 것이다. 자원의 변화에 대한 의사 결정은 기계 부품의 고장이나 툴의 마모 및 고장 등으로 인한 자원 상태 변화를 주안점으로 하였고, 작업 주문 변화에 대한 의사 결정은 높은 우선 순위를 갖는 긴급 작업 주문의 도착을 가정하였다. 결론적으로, 제공되는 실시간 의사 결정은 시간대별로 각 공정의 기계에 대하여 배대할 작업을 선택하는 생산 스케줄을 작성하는 것이다. FOLS는 <그림 2>와 같이 모델 생성기, 실험 계획 생성기, 시뮬레이터, 최적화 산정자의 모듈로 구성된다.



〈그림 2〉 FOLS 실시간 시물레이션 시스템 구성도

3.1 시스템 입력과 출력

FOLS에서 요구되는 입력이 〈표 1〉에 기술되었다. 시스템 입력은 크게 정적 데이터, 동적 데이터, 그리고 작업 조정 데이터로 구성된다. 정적 데이터는 공정 수, 기계 수, 버퍼 크기 등의 작업장 구조를 기술한 작업장 구성도 테이블과 각 제품 타입에 따른 작업 시간, 준비 시간 및 이동 시간을 기술한 표준 시간 테이블로 구분한다. 동적 데

이터는 생산 현장의 기계 상태 등을 기술하는 자원 상태 테이블과 재공 재고 및 작업 주문을 기술한 작업 주문 테이블로 구성된다. 작업 조정 데이터는 자원에 의한 작업 선택시 기준이 되는 작업 선택 룰을 기술한 작업 선택 룰 테이블과 최적화 산정 모듈의 모수를 제공하는 비용 모수 테이블로 구성된다.

FOLS의 출력은 크게 두 가지로, 시뮬레이터의 출력이며 최적화 산정자의 입력으로 사용되는 시스템 성능 테이블

〈표 1〉 실시간 시뮬레이션을 위한 입력 데이터 구조

구분	내용
정적 데이터	작업장 구성도 테이블 표준 시간 테이블
동적 데이터	자원 상태 테이블 작업 주문 테이블
작업 조정 데이터	작업 선택 룰 테이블 비용 코스 테이블

블과 궁극적인 결과물인 상세 스케줄이 있다. 시스템 성능 테이블은 현재 재공 주문의 완료 시간을 나타내는 메이크 스패н(makespan), 납기가 지연되는 작업의 수, 전체납기 지연 시간, 생산율, 재공 재고의 평균 크기, 그리고 기계이용율 등을 기술한다. 또한, 상세 스케줄은 작업 번호, 배대할 공정 및 기계 번호, 그리고 시작 시간 및 작업 시간을 기술한다.

3.2 모델 생성기와 실험 계획 생성기

FOLS의 첫 번째 구성 모듈인 모델 생성기는 작업장 구성도 테이블을 입력으로 시뮬레이터에 의해 실행될 모델을 생성한다. 고려된 시뮬레이터가 SLAM II [9]를 기본으로 하였으므로, SLAM II의 입력 형식에 맞는 모델이 생성된다.

실험 계획 생성기는 조정 룰을 조합하여 실험 계획을 작성하는 것이다. 계획된 실험의 복잡성은 고려된 룰의 수에 대하여 기하 급수적으로 증가한다. 〈표 2〉는 일반적으로 많이 사용되는 작업 선택 룰을 보여 준다 [2]. 모델 생

〈표 2〉 작업 선택 룰의 종류

구분	설명
POR	Preferred order
FCFS	First come first serve
LIFO	Last in first out
LS	Least slack times first
EDD	Earliest due date first
SPT	Shortest processing times first
LPT	Longest processing times first
RS	Random selection

성기에 의해 생성된 시뮬레이션 입력 모델과 실험 계획 생성기에 의해 생성된 실험 계획이 자원 상태 테이블 및 작업 주문 테이블과 합쳐져서 시뮬레이터의 입력으로 사용된다.

3.3 SLAM II를 이용한 시뮬레이터

FOLS 시스템의 엔진인 시뮬레이터가 유연 흐름 생산 시스템을 실시간으로 통제하기 위하여 이산 사건 방법으로 SLAM II와 FORTRAN 77을 이용 개발되었다. 시뮬레이터 설계에는 이벤트 진행 방법과 프로세스 기반 방법을 동시에 적용하였다. 이벤트 진행 방법이 이벤트에 대한 시간 순서에 따른 배열에 중점을 두었다면, 프로세스 기반 방법은 생산 공정에서의 논리적 순서에 중점을 두었다.

시뮬레이터에 대한 입력은 모델 생성기의 출력인 시뮬레이션 모델과 실험 계획 생성기의 출력인 실험 계획, 그리고 시스템 상태를 나타내는 동적 데이터 입력으로 구성되었다. 시뮬레이션 모델에서의 주 엔터티는 동적 데이터 입력에서의 작업 주문이며, 각종 통계량 획득을 위한 엔터티는 외부 엔터티로 처리하였다. 생산 시스템에서의 기계와 버퍼와 같은 자원은 엔터티를 작업 주문의 정보, 즉 제품 타입, 작업표준시간, 그리고 우선순위 등의 에트리뷰트로 구분한다.

유연 흐름 생산 시스템 전용의 시뮬레이터를 위하여 SLAM II에 FORTRAN 77을 이용 네 개의 하부 루틴을 첨가하였다. 첫번째 루틴은 초기화 루틴으로 작업 엔터티의 에트리뷰트를 정의하는 부분과 자원의 상태를 정의하는 부분으로 구성된다. 두번째 루틴은 작업 엔터티가 자원을 점유하는 룰을 정의하는 부분이고 세번째 루틴은 자원이 작업에 의해 점유될 때 소요되는 시간을 정의하는 부분으로 이를 이용 본 연구의 최종 결과물인 상세 스케줄을 생성한다. 마지막 루틴은 자원 이용율등의 시스템 성능을 정의하는 루틴이다.

시뮬레이션 모델을 실행한 결과가 시스템 성능 테이블로 기록된다. 본 연구에서는 시스템 성능 기준으로 생산능력을 나타내는 생산율, 납기 준수 여부를 결정하기 위한 지연 작업의 수와 지연 작업 시간, 재공 재고의 크기, 그리고 기계 이용율을 고려하였다. 생산율(production rate)은 단위 시간당 생산되는 제품의 수라고 할 수 있다. 지연 작업에 대한 측정은 작업지연시간(lateness), 납기지연

시간(tardiness), 그리고 체류시간(flow time)으로 나타낼 수 있다. 작업지연시간은 스케줄에 의한 예정 완료 시각과 실제 작업의 완료 시각 간의 차이이다. 납기지연시간은 납기를 지키지 못한 경우에 대한 작업지연시간을 말한다. 체류시간은 작업이 시스템에서 소요한 시간이라고 할 수 있다. 경우에 따라서 모든 작업을 끝낼 때까지 걸리는 시간이 중요한 경우도 있다. 이를 메이크스팬(makespan)이라고 한다. 이렇게 정의된 여러 기준은 소비자 만족도인 납기 준수와 생산자 만족도인 시스템의 효율을 나타낸다.

재공 재고의 크기는 생산 도중에 있는 자재와 반제품의 재공량 크기를 말한다. 재공 재고는 주로 자원에 대한 반제품의 대기에서 발생한다. 재공 재고가 반제품의 보유를 위한 공간 낭비와 자본의 사장이라는 의미가 있으므로 생산 스케줄 생성시 매우 중요하게 고려되어야 한다. 자원의 이용율은 자원이 생산 활동에 직접적으로 참여된 비율을 말한다. 특히, 막대한 자본이 투자된 자동화 기계의 경우, 기계 이용율을 증가시키는 것이 매우 중요하다.

3.4 최적화 산정자

FOLS 시스템의 마지막 모듈인 최적화 산정자는 시물레이터를 통한 시스템 성능 테이블과 비용 및 이익 분석을 위한 최적화 모델에 대한 비용 모수 테이블을 입력으로 한다. 최종적으로 최적화 모델을 실행함으로써 여러 대안 중 최적의 동적 스케줄을 생성한다. 최적화 산정자는 최적화 수리 모델을 기본으로 작성되었다. 여러 대안중, 제약식을 만족하는 대안을 찾고 이들 대안에 대해 목적식을 비교함으로써, 최적 스케줄을 찾을 수 있다. 만약, 제약식을 만족하는 대안을 찾지 못하면, 정의된 시스템 성능의 우선 순위에 따라서 스케줄을 생성한다. 본 연구에서는 메이크스팬, 납기 지연 작업의 수, 전체 납기 지연 시간, 생산율, 재공 재고 평균 크기, 기계 이용율의 순으로 우선 순위를 정하였다.

고려된 수리 모델은 Smith와 Daskalaki [13]의 모델을 수정하여 재공 재고량과 생산율과의 관계를 기초로 생성되었다. 유연 흐름 생산 시스템에서의 재공 재고를 저장하는 버퍼의 효과는 각각의 공정을 독립적으로 작업하도록 하는 것이다. 공정 상호간의 독립성 추구가 블럭킹과 기갈현상 같은 부정적 현상에 의해 파생하는 작업 대기 시간을 줄인다. 작업 대기 시간의 감소는 생산율의 증가로

나타난다. 반면에 재공 재고의 증가는 재고 비용을 증가시키며 자본의 회전율을 감소시키고 체류시간의 증가로 인한 소비자 불만 증가 등을 야기시킨다. 고려된 수리 모델은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} & \text{Max } (R-C)P-H \cdot L \\ & \text{s. t. } F_i \leq D_i \end{aligned}$$

단,

R : 단위 당 marginal revenue,

C : 단위 당 변동 생산 비용,

P : 평균 생산율,

H : 단위 당 재고 비용,

L : 평균 재공 재고 크기,

F_i : lot i 의 체류시간,

D_i : lot i 의 납기.

4. 인쇄회로기판 조립 공정 사례연구

본 연구의 실제적인 생산 현장 응용을 위하여, 개발된 FOLS를 이용, 각종 전자 제품의 핵심 부품으로 폭 넓게 사용되는 인쇄회로기판 조립공정을 사례로 연구하였다. 본 장의 목표는 인쇄회로기판 조립공정중 발생하는 각종 이상 사고에 효율적으로 대응하는 실시간 의사 결정용 스케줄을 생성하는 것이다.

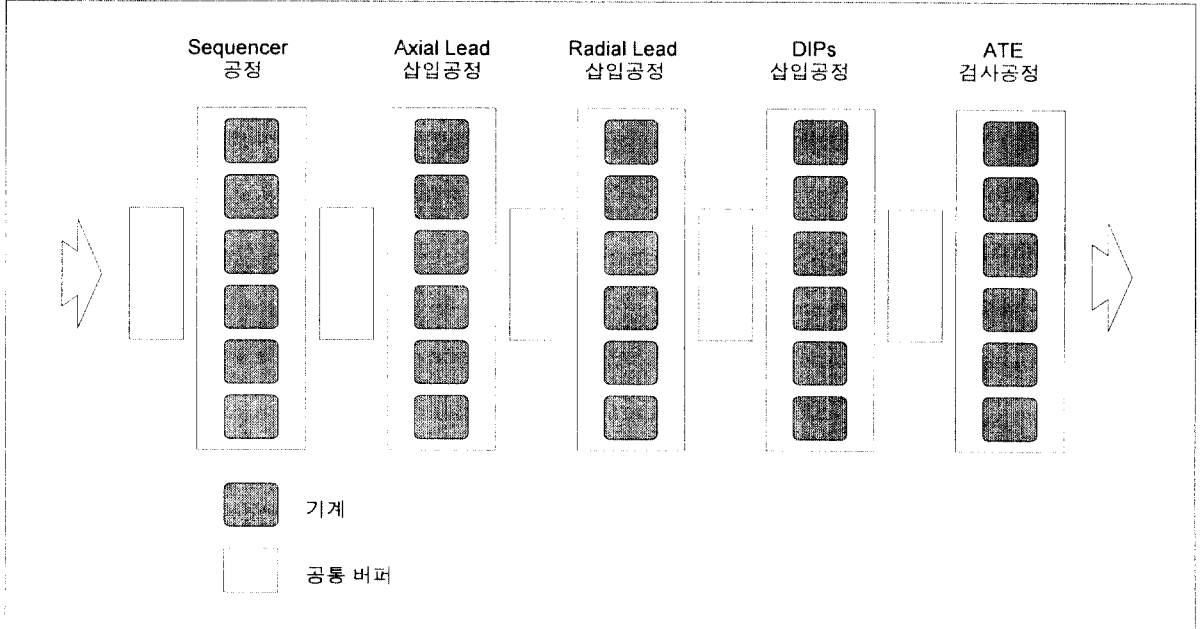
인쇄회로기판은 하나 혹은 여러 층의 금속 전해 물질로 구성되며 각종 전기 및 전자 부품을 갖고 있어서 전자 제품이 전기적으로 작동할 수 있도록 하는 전자 제품의 기본 부품이다. 여러 층간의 전기 교류는 기판에 구멍을 뚫어서, 도금을 함으로써 이루어 질 수 있다. 이렇게, 전자 부품을 인쇄회로기판에 부착시키는 작업이 인쇄회로기판 조립공정이다. 조립 기법에는 크게 부품을 삽입하기 위해 구멍을 생성하여 조립하는 기법과 바로 표면에 실장하는 표면 실장법이 존재한다. 본 연구에서는 국내 기업의 생산 현장에서 일반적으로 적용되는 부품 삽입과 그 검사를 중심으로 하는 인쇄회로기판 조립공정을 고찰하기로 한다.

4.1 조립 공정의 흐름 분석

인쇄회로기판 조립 공정의 흐름은 일반적으로 시퀀싱

(sequencing) 공정, 액시얼 부품(axial lead) 삽입 공정, 래디얼 부품(radial lead) 삽입 공정, DIP 부품 삽입 공정, 그리고 조립된 기판을 검사하는 자동 검사 공정으로 이루어진다. 인쇄회로기판 조립 공정의 흐름도가 <그림 3>에 표현되었다.

태로 된 원자재로부터 부품을 잘라서, 컨베이어 형태의 체인에 순서대로 배열한다. 그러면, 컨베이어는 순서화된 부품을 테이핑하는 곳까지 운반하고 다시 재테이핑한 뒤 VCD 기계에 장착될 릴의 형태로 만든다. 이러한 시퀀싱 공정은 전형적으로 각 인쇄회로기판의 디자인에 따라 쓰



<그림 3> 인쇄회로기판 조립공정 흐름도

액시얼 부품 삽입 공정에 폭 넓게 사용되는 기계는 VCD (variable center distance) 자동 삽입 기계이다. VCD 기계는 여러 가지 다른 종류의 크기를 갖는 부품을 자동으로 삽입할 수 있다. 입력으로 순서화 되거나 혹은 릴에 패키징된 부품이 장전되고 이러한 부품의 직접적인 삽입을 위한 작업 명령이 수치 제어 코드로 전달된다. 프로그램화 된 여러 톨이 7.6 mm 과 33 mm 사이의 부품을 삽입할 수 있다. 제조업체 및 모델별로 다르지만 일반적으로 자동 삽입 기계는 시간당 15,000개의 액시얼 부품을 삽입할 수 있다.

액시얼 부품을 삽입하기 이전에 이들 부품이 적절한 순서에 따라 VCD 기계에 입력될 필요가 있다. 이러한 액시얼 부품의 순서를 생성하는 공정이 시퀀싱 공정이며, 해당 기계는 프로그램에 의해 정해진 순서에 따라, 릴의 형

어진 통제 프로그램에 의해 운용된다. 일반적으로, 시퀀싱 기계는 약 200여 개의 부품을 순서화할 수 있으며, 시간당 2,500개 정도의 부품을 처리할 수 있다.

기본적인 래디얼 부품의 삽입 공정은 액시얼 부품 삽입 공정과 유사하다. 또한 시퀀서에 의한 테이핑 작업도 액시얼 부품 삽입 공정과 유사하다. 테이핑 작업을 위하여, 보편적인 래디얼 부품 자동 삽입 기계는 최대 80여 개의 부품 타입을 처리할 수 있는 시퀀서를 기본적으로 갖고 있다. 이러한 자동삽입기계는 2.5 mm에서 5 mm의 지름을 갖는 부품을 처리할 수 있다.

인쇄회로기판 조립공정에서 중요한 역할을 하는 또 다른 공정은 DIP (dual in line package) 삽입 공정이다. 이러한 부품은 많은 선을 가지고 있으므로, 삽입하는 공정은 타 공정에 비해 상당히 까다롭다. 일반적인 DIP 자동 삽

입 기계는 7.62 mm의 몸체와 2.54 mm의 선 두께, 그리고 6에서 20개의 선을 갖는 부품을 삽입할 수 있다. 최대 90 종류의 DIP 부품과 소켓이 주어진 순서에 따라 삽입될 수 있다. DIP 부품은 DIP 스틱이라는 플라스틱 튜브로 삽입 기계에 운반된다.

인쇄회로기판의 고장은 대부분 운반 중의 부주의, 부적합한 부품 삽입 등에서 일어난다. 인쇄회로기판에 대한 회

〈표 3〉 작업장 구성도 테이블

공정번호	기계수	버퍼크기
1	6	30
2	6	30
3	6	30
4	6	30
5	6	30

```

GEN,WOO,PCCA,12/31/1995,1,Y,Y,Y/Y.Y,Y/1.72;
LIMITS, 10, 20, 90;
PRIORITY/1,LVF(12);
:
PRIORITY/5,LVF(12);
NET;
    RESOURCE/ 1, 1, 1;
    :
    RESOURCE/ 30, 6, 5;
Y1  AWAIT(1/50),ALLOC(1),BLOCK,1;
    ACTIVITY,USERF(1);
    GOON,1;
    ACTIVITY,USERF(2);
    FREE,ATRIB(11),1;
    ACTIVITY,,;
    ASSIGN,ATRIB(2)=ATRIB(2)+1,ATRIB(3)=1,ATRIB(10)=0,1;
    ACTIVITY,USERF(3),;
    :
Y5  AWAIT(5/50),ALLOC(1),BLOCK,1;
    ACTIVITY,USERF(1);
    :
    ACTIVITY,USERF(3),;
    ASSIGN,ATRIB(9)=TNOW;
    ACTIVITY;
    ASSIGN,XX(3)=XX(3)+ATRIB(7),XX(5)=XX(5)+ATRIB(9)*ATRIB(7);
    ACTIVITY;
    ASSIGN,XX(6)=XX(5)/XX(3),XX(8)=TNOW;
    ACTIVITY
    GOON,1;
    ACTIVITY,,TNOW.GT.ATRIB(8),TARDY;
    ACTIVITY,,TNOW.LE.ATRIB(8),EARLY;
    ASSIGN,XX(1)=XX(1)+1,XX(9)=TNOW-ATRIB(8)+XX(9),1;
    ACTIVITY;
    TERM;
    ASSIGN,XX(2)=XX(2)+1,1;
    ACTIVITY;
    TERM;
    END;
INIT,, 99999.Y;
FIN;

```

〈그림 4〉 인쇄회로기판 조립 공정의 SLAMII 모델

로와 기능에 대한 검사 기능이 너무 복잡하고 오랜 시간을 요구함으로써, 수작업에 의한 검사는 거의 불가능하다. 이러한 단점을 해결하기 위한 최근의 경향은 자동검사장치를 이용하는 것이다. 자동검사 시스템은 검사할 루틴의 프로그램이 요구되며, 이러한 검사 소프트웨어가 검사할 제품에 대한 신호의 입력, 회로 백 드라이빙, 저항 측정, 검사 중인 제품의 각종 반응, 그리고 오차를 고려한 결과의 비교 등을 조정한다.

위의 조립과 검사공정을 통하여 인쇄회로기판에 각종

트 모델은 <표 3>의 작업장 구성도 테이블을 입력으로 모델 생성기를 실행하여 <그림 4>와 같이 생성된다. 주의할 것은 모델 생성기에 의해 제공된 모델에서는 작업 주문을 나타내는 엔터티가 생성되지 않는다는 것이다. 즉, 시뮬레이션 실행시 작업 주문 테이블을 읽음으로써, 엔터티를 모델에 삽입하는 방법을 사용하였다.

모델 생성기에 대한 입력으로 정적 데이터인 작업장 구성도 테이블과 지수분포를 가정한 표준 시간 테이블이 <표 3>와 <표 4>에, 동적 데이터인 자원 상태 테이블과 작업

<표 4> 표준 시간 테이블 (작업시간/준비시간/이동시간)

		공정 번호				
		1	2	3	4	5
제품코드	1	5/50/15	7/70/16	6/80/27	4/70/18	7/70/29
	2	4/60/16	1/60/17	4/70/28	8/90/19	6/40/10
	3	3/70/17	3/70/18	7/60/9	5/80/10	5/30/11
	4	2/70/18	8/70/18	3/60/9	3/70/29	4/40/29
	5	8/60/14	3/90/19	8/70/22	4/60/20	7/50/11
	6	7/50/18	4/80/18	9/80/9	5/60/10	8/70/11
	7	6/50/17	6/30/18	3/90/9	7/70/10	9/80/11
	8	9/70/16	7/50/17	2/90/8	6/80/39	6/80/10
	9	2/90/15	5/80/16	5/60/17	2/70/28	5/90/29

부품이 조립된 후, 라인화되어 있는 납땜 공정을 거치면 최종적인 인쇄회로기판 제품이 된다. 상기의 조립공정은 앞 절에서 이미 논의된 유연 흐름 생산 시스템으로 정의할 수 있다 [6].

4.2 조립 공정의 시뮬레이션

FOLS의 시뮬레이터에 직접적으로 사용되는 스테이트먼

<표 5> 자원 상태 테이블 (1:고장, 0:정상)

		기계 번호					
		1	2	3	4	5	6
공정번호	1	1	0	1	0	0	0
	2	1	0	0	0	0	0
	3	0	1	0	0	0	0
	4	0	1	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0

<표 6> 작업 주문 테이블

작업번호	제품코드	우선순위	Lot 크기	납 기	현공정	작업상태	기계번호	완료제품수
1	1	1	50	2,400	4	1	0	0
2	1	1	50	2,400	4	1	0	0
3	7	1	50	2,400	4	1	0	0
4	4	1	50	3,500	3	1	0	0
5	5	1	50	3,600	3	1	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:
76	6	1	50	4,700	3	0	30	40
77	2	1	50	5,800	2	1	0	0
78	3	1	50	5,900	2	0	7	30
79	5	0	50	5,900	1	1	0	0
80	5	0	50	6,000	1	1	0	0

주문 테이블이 <표 5>와 <표 6>에 각각 나타나 있다. 시물레이션은 현재 존재하는 모든 작업 주문 엔터티가 모두 완료되면 종료된다. 본 실험에서는 총 80개의 작업 주문을 가정하였다. 시물레이션 실험의 횟수는 작업 선택률의 개수와 총 공정의 수로 정해지며, 본 연구에서는 작업 선택률을 SPT (short processing times first)와 EDD (earliest due date first)로 가정하고 또한 공정의 수가 5이므로 총 32번의 시물레이션 실험이 필요하다.

각 시물레이션에 대한 시스템 성능이 <표 8>과 같이 수

집되며, <표 7>의 비용 모수 테이블과 함께 최적화 산정자의 입력으로 사용된다. 최적화 산정자는 32개의 대안 중에서 최적화된 물의 세트를 결정한다. 본 실험에서는 각각의 공정 순으로 SPT-SPT-EDD-EDD-EDD의 물 할당을 갖는 세트 8이 최적이라고 결론되었다. <그림 5>는 물 세트 8하에서의 상세스케줄로 시물레이터의 세번째 루틴을 이용 작업 엔터티가 자원을 점유하는 시작시각과 종료시각을 기록하므로써 생성된다. <그림 5>는 공정 2의 상세스케줄을 보여 주며, 작업 68의 기계번호 M8에서의 시작시각은 0, 종료예정시각은 112를 나타낸다.

<표 7> 비용모수 테이블

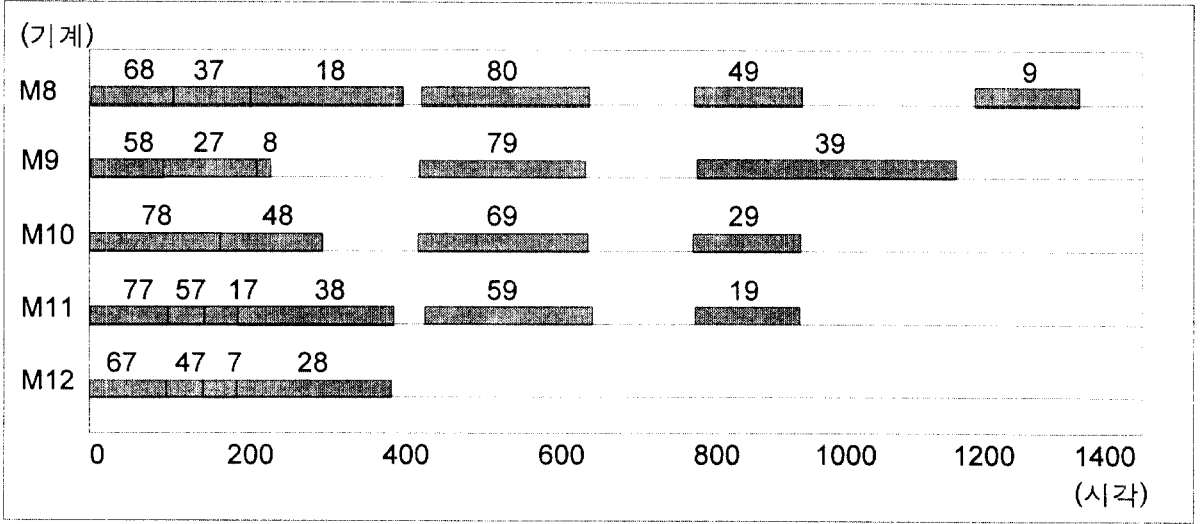
한계수입	변동생산비용	재고비용
100	50	5

5. 결론

자동화 생산 공정에서의 실시간 공정 통제를 위해서는

<표 8> 시스템 성능 테이블

대안 번호	Make Span	지연 작업수	생산율	재고크기	기계 이용율					평균
					공정 1	공정 2	공정 3	공정 4	공정 5	
1	5,509	8	0.725	2,184.9	0.12	0.13	0.55	0.68	0.90	0.476
2	5,440	4	0.735	2,242.1	0.12	0.12	0.55	0.69	0.92	0.480
3	5,379	6	0.743	2,295.7	0.12	0.12	0.57	0.71	0.93	0.490
4	5,520	2	0.725	2,285.8	0.13	0.12	0.55	0.69	0.91	0.480
5	5,509	6	0.727	2,184.9	0.12	0.13	0.57	0.68	0.90	0.480
6	5,449	5	0.734	2,237.8	0.12	0.12	0.57	0.68	0.91	0.480
7	5,389	4	0.742	2,290.4	0.13	0.12	0.58	0.71	0.92	0.492
8	5,521	0	0.725	2,289.3	0.12	0.13	0.56	0.68	0.90	0.478
9	5,509	9	0.726	2,184.0	0.12	0.12	0.55	0.68	0.90	0.474
10	5,449	5	0.734	2,237.3	0.12	0.13	0.56	0.69	0.92	0.484
11	5,379	7	0.745	2,295.1	0.12	0.13	0.58	0.72	0.93	0.496
12	5,521	1	0.725	2,285.0	0.12	0.12	0.58	0.69	0.91	0.484
13	5,509	10	0.716	2,184.9	0.12	0.12	0.56	0.68	0.90	0.476
14	5,449	6	0.735	2,237.3	0.12	0.12	0.57	0.69	0.93	0.486
15	5,391	3	0.741	2,291.3	0.12	0.13	0.58	0.70	0.92	0.490
16	5,524	1	0.721	2,289.3	0.12	0.12	0.57	0.69	0.91	0.482
17	5,509	6	0.726	2,184.9	0.12	0.12	0.56	0.68	0.90	0.476
18	5,439	5	0.735	2,242.4	0.12	0.12	0.56	0.69	0.94	0.486
19	5,379	6	0.742	2,295.7	0.12	0.12	0.56	0.70	0.92	0.484
20	5,519	2	0.725	2,285.8	0.12	0.12	0.55	0.69	0.91	0.478
21	5,520	7	0.727	2,184.9	0.12	0.12	0.57	0.68	0.90	0.478
22	5,449	4	0.737	2,237.6	0.12	0.13	0.55	0.69	0.92	0.482
23	5,390	4	0.742	2,290.5	0.12	0.12	0.58	0.70	0.91	0.486
24	5,525	0	0.723	2,289.3	0.12	0.13	0.55	0.68	0.91	0.478
25	5,511	9	0.726	2,185.0	0.12	0.12	0.55	0.68	0.90	0.474
26	5,450	3	0.734	2,238.3	0.12	0.12	0.55	0.69	0.92	0.480
27	5,369	5	0.744	2,295.9	0.12	0.13	0.57	0.70	0.93	0.490
28	5,519	1	0.725	2,285.6	0.12	0.12	0.55	0.69	0.90	0.476
29	5,510	8	0.726	2,184.7	0.12	0.12	0.57	0.68	0.91	0.480
30	5,449	5	0.734	2,238.3	0.12	0.13	0.58	0.69	0.92	0.488
31	5,388	3	0.742	2,291.3	0.12	0.12	0.58	0.72	0.92	0.492
32	5,523	0	0.722	2,288.3	0.13	0.12	0.56	0.69	0.90	0.480



〈그림 5〉 액시얼 샴입공정의 상세 생산 스케줄

만족되어야 할 여러 가지 조건이 있다. 먼저, 생산 현장이 컴퓨터화된 컨트롤러를 사용하고 있어야 하며, 센서와 네트워크 설비를 통한 실시간 데이터 수집이 가능하여야 한다. 국내 대기업의 전자제품 생산 현장에서 이러한 조건을 만족한 경우를 볼 수 있으며, 그 확산 추세도 증가 일로에 있다. 문제는 생산 현장에서의 이상 사고 발생에 대하여 직접적으로 대응할 수 있는 실시간 의사 결정 시스템이 없다는 것이다.

본 연구에서는 동적 환경하의 생산 시스템에 효과적인 평가틀인 시뮬레이션을 이용하여 유연 흐름 생산 시스템에서의 동적 작업 상세 스케줄 생성을 위한 실시간 의사 결정 시스템 FOLS를 개발하였다. 개발된 실제 시스템은 실제적인 생산 현장 응용을 위하여 전자 제품의 기본 부품으로 사용되는 인쇄회로기판의 조립공정에 응용되었다. 개발된 FOLS 시스템은 생산 현장의 동적 정보를 취합하여 이를 모델링하고 시뮬레이션을 이용 비교 평가하여 최적의 생산 스케줄을 제공한다. 이러한 방법으로, 기존의 방법인 일주일 단위의 스케줄링 작성에서 탈피하여, 매일 매일의 스케줄 심지어는 새로운 작업이 도착하거나 혹은 자원의 상태가 변할 때마다 스케줄을 작성할 수도 있다. 물론 이러한 스케줄링 작성은 생산 현장의 데이터가 정확하게 관리된다는 것을 기본 전제로 하고 있다.

참고문헌

- [1] Branam, J. W., "Dynamic simulation technique (DST) - a conceptual framework for schedule execution in CIM," *Autofact '87 Conference Proceedings* (1987), pp. 6.27-6.37.
- [2] Choi, R. H. and E. M. Malstrom, "Evaluation of traditional work scheduling rules in a flexible manufacturing system with a physical simulator," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 7 (1988), pp. 33-45.
- [3] Chryssolouris, G., "MADEMA: an approach to intelligent manufacturing systems," *CIM Review*, Spring, Vol. 3, No. 3 (1987), pp. 11-17.
- [4] Davis, W. J. and A. T. Jones, "A real-time production scheduler for a stochastic manufacturing environment," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 1, No. 2 (1988), pp. 101-112.
- [5] Jain, S., K. Barber, and D. Osterfield, "Expert simulation for on-line scheduling," *Communications of the ACM*, Vol. 33, No. 10 (1990), pp. 54-60.
- [6] Johri, P. K., "Engineering a circuit board assembly line for a desired capacity and flow time," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 6 (1991), pp. 492-500.

- [7] Manivannan, S. and J. Banks, "Design of a knowledge-based on-line simulation system to control a manufacturing shop floor," *IE Transactions*, Vol. 24, No. 3 (1992), pp. 72-83.
- [8] Perkins, J. R. and P. R. Kumar, "Stable, distributed, real-time scheduling of flexible manufacturing/assembly/disassembly systems," *IEEE Transactions on Automatic control*, Vol. 34 (1989), pp. 139-148.
- [9] Pritsker, A. A. B., "Introduction to simulation and SLAM II," Fourth Edition, *John Wiley & Sons*, New York, New York, 1995.
- [10] Ranky, P. G., "A real-time, rule-based FMS operation and control strategy in CIM environment-Part I," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 1 (1988), pp. 185-196.
- [11] Sepulveda, J. M. and W. G. Sullivan, "Knowledge based system for scheduling and control of an automated manufacturing cell," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 15 (1988), pp. 59-66.
- [12] Shmilovici, A. and O. Maimon, "Heuristics for dynamic selection and routing of parts in an FMS," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 4 (1992), pp. 285-296.
- [13] Smith, J. and S. Daskalaki, "Buffer space allocation in automated assembly lines," *Operations Research*, Vol. 36 (1988), pp. 343-358.
- [14] Wu, S. D. and R. A. Wysk, "An application of discrete-event simulation to on-line control and scheduling in flexible manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 27 (1989), pp. 1603-1623.

● 저자소개 ●



우훈식

1988년 한양대학교 공과대학 산업공학과 (학사)

1990년 Iowa State University, 산업공학과 (석사)

1993년 Iowa State University, 산업공학과 (박사)

현재 시스템공학연구소 시스템통합연구부 선임 연구원 및 SERI Journal, Associate Editor

관심분야 : SIMULATION, FMS, CIM, CALS