

혼류 조립 공장을 위한 계층적 생산 계획 및 통제 시스템 개발 - 냉장고 공장 사례

신현준[†]

상명대학교 산업정보시스템공학과

Development of Hierarchical Production Planning and Control System for Mixed-Model Assembly Manufacture – an Application in Refrigerator Factory

Hyun Joon Shin

Department of Industrial Information and Systems Engineering, Sangmyung University, Cheonan, 330-720

This paper presents a scheme for a hierarchical production scheduling and control system for a refrigerator factory with mixed model assembly lines. The setting of the factory is as follows. There are three mixed-model assembly lines called main line A, B and C and two batch lines that supply parts to the main lines. For each of the main lines, three work-centers are dedicated to them. The sub-lines and work-centers produce parts in batch type. An incoming production order from the master planner is characterized by its product type, amount, and due date. Under this situation, the proposed scheme has several features to schedule and control the above mentioned factory; 1) select the starting time and the place (assembly line) for an order processing, 2) devise a way to control orders to be processed as scheduled, and 3) reschedule orders when something unexpected happen. Finally, this paper provides a case study where the proposed scheme is applied to.

Keywords: mixed-model assembly lines, hierarchical production planning and control

1. 서론

여러 모델의 제품들을 생산하는 제조업체들은 다양한 모델에 대한 수요를 신속히 만족시키면서 재고를 최소화하기 위해 혼류 생산 방식을 선호하고 있다. 혼류 생산 방식은 하나의 조립 라인에서 서로 다른 모델의 제품들을 동시에 생산하는 방식으로 각 공정에서의 모델별 가공시간의 차이를 이용하여 전체 생산량(Throughput)의 향상과 재고 감소를 위해 도입되었다 (Okamura and Yamashida, 1979). 이러한 생산 방식은 동시에 흘러가는 여러 모델에 대한 합리적인 혼류 비율을 결정하는 생

산 계획을 세움으로써 전체 생산시간을 단축시키고 기계들의 효율을 높일 수 있다. 그리고 일반적으로 혼류 생산을 무리 없이 적용하기 위해서는 모델별 기종 변경시간이 존재하지 않거나 무시될 수 있어야 한다는 기본 전제가 수반된다.

일반적인 혼류 조립 공장은 <Figure 1>과 같이 혼류 주조립 라인(이후 주라인이라 함)과 주라인의 생산 진행에 맞춰 부품을 공급하는 하부 라인으로 구성되어 있다.

<Figure 1>에서와 같이 전체 조립 과정은 주라인과 하부라인들의 일련의 흐름 조립 생산(flow assembly line)으로 볼 수 있으며 주라인과 하부라인에서의 생산 방식의 형태가 다른 예가

[†]연락처 : 신현준 교수, 330-720 충남 천안시 안서동 98-20 상명대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 041-550-5185,

E-mail : hjshin@smu.ac.kr

2005년 9월 접수, 1회 수정 후 2006년 1월 게재 확정.

많고, 이러한 경우에 하부라인의 효과적인 운영은 주라인의 원활한 생산 진행을 가능하게 한다. 따라서 주라인과 하부라인 모두의 계획과 상황을 고려하여 주어진 목적에 맞도록 전체의 생산 흐름을 조정하는 장치가 있다면 전체 조립 과정의 관리는 효율적으로 이루어질 수 있을 것이다(Ding and Tolani, 2003).

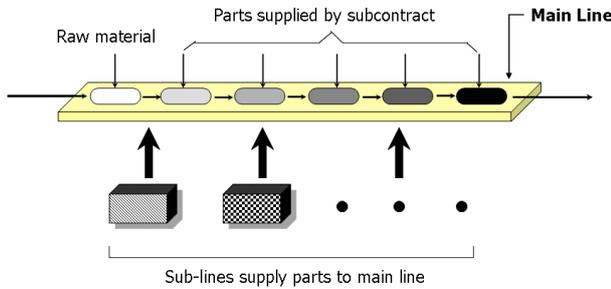


Figure 1. Structure of mixed-model assembly factory.

현재 여러 제조업체에서 이러한 시스템의 개발을 수행하고 있지만 아직 그 결과가 기대할 만큼의 효과를 내지는 못하고 있는 실정이다. 그 이유로는 조립 과정의 주라인 및 각 하부라인들에 대한 실시간 모니터링과 효율적인 계획 및 통제 시스템이 구축되어 있지 않다는 점과 특히 주라인의 생산 진행에 영향을 주는 각 하부라인들의 생산 일정에 관한 정보들이 불안정한 점을 들 수 있다. 또한 기존의 이러한 혼류 조립 공장의 생산일정은 주로 주라인을 중심으로 수립되었다. 이것은 하부라인의 현 상황 정보, 즉 생산 능력 및 재고 허용 수준 등을 충분히 고려하지 않은 관계로 주라인의 생산 정지 및 하부라인과 주라인 사이의 공간에 수용할 수 있는 재고 능력의 초과 등의 문제 등을 발생시킬 수 있다. 그리고 하부라인의 물리적인 특성상 하부라인이 주라인의 생산 방식과 다른 생산 방식을 채택해야 하는 경우가 빈번하고, 이와 같은 경우에 주라인에서 수립된 생산 일정 계획과 하부라인에서 수립된 생산 일정 계획을 서로 동기화 시켜주는 일 등의 어려운 문제가 발생한다.

본 연구는 이와 같은 현실적 어려움들을 반영하여 혼류 조립 공장의 주라인과 각 하부라인들을 동시에 효율적으로 운용·관리할 수 있는 실시간 생산 일정 계획 및 통제 시스템을 위한 프레임워크를 개발하는 데 목적을 두고 있다.

본 연구의 대상이 되는 공장은 혼류 조립 방식으로 운용되는 냉장고 공장이다. 이 공장에는 <Figure 2>와 같이 A, B, C의 세 개의 주라인이 있고 각 주라인들에 부품을 공급하는 두 개의 하부라인과 세 개의 단위작업장이 있다.

여기서, 하부라인과 단위작업장은 모두 주라인에 부품을 공급한다는 점에서는 공통적이지만, <Figure 2>와 같이 주라인에 대한 종속 여부에 따라 구분될 수 있다. 즉, ‘하부라인’은 주라인에 독립되어 있으면서, 세 개의 주라인에서 필요로 하는 부품을 하나의 하부라인에서 같이 취합하여 생산하는 라인을 가리키며, ‘단위작업장’은 각 주라인마다 하나씩 종속되어 있

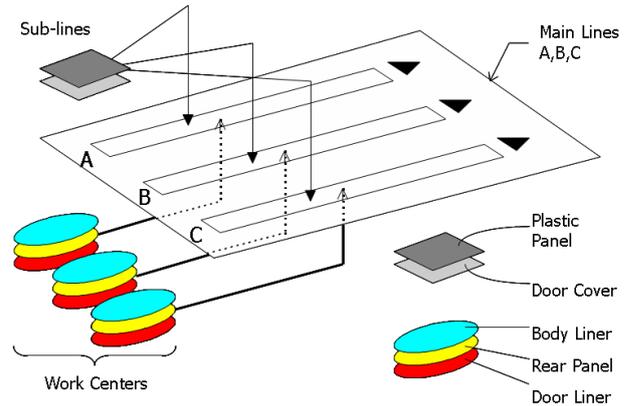


Figure 2. Organization of the target factory.

으면서, 해당 주라인에서 필요로 하는 부품만을 공급하는 작업장을 의미한다.

주라인은 서로 다른 여러 모델 간의 혼합 비율을 혼류 패턴으로 정하여 그에 따라 여러 모델을 혼류로 생산한다. 그리고 주라인에서 혼류 패턴 생산 계획이 수립되면 각 하부라인과 단위작업장들은 주라인에서 진행되고 있는 생산에 필요한 부품을 적시에 공급하기 위하여 미리 부품을 생산하여 준비한다. 또한 각 하부라인과 단위작업장들은 기종 변경 시간이 길다. 이와 같은 물리적인 특성으로 인해 각 하부라인과 단위작업장들은 배치(batch) 단위로 생산을 하며, 다른 부품을 생산하는 배치들 간에는 기종 변경을 수행해야 한다.

이러한 특징을 갖는 혼류 조립 공장을 효율적으로 운용·관리하기 위해 다음과 같은 문제를 고려할 수 있다. 먼저, 1) 각 주라인들에 대해서는 주어진 생산 주문들을 가장 좋은 라인 효율을 얻을 수 있도록 각 라인들에 생산 주문을 할당하는 방법, 그리고 2) 계획 대상 구간 내에서 주라인에 할당된 생산 주문들에 대하여 라인의 능력과 납기를 준수하면서, 그 라인의 혼류 패턴 효율과 라인의 생산량을 최대로 할 수 있는 일정 계획 방법, 또한 3) 주라인에 부품을 적시에 공급해야 하는 단위작업장과 하부라인들은 그들의 생산 방식의 특성상 배치 생산계획 알고리즘이 요구된다. 공장 내의 재고 공간이 제한되어 있기 때문에, 배치 생산계획 알고리즘은 부품의 재고를 일정 수준 이하로 유지하면서 주라인의 생산 계획을 제약 조건으로 하여 배치 생산의 순서와 시작 시기를 결정하여야 한다.

본 연구에서는 위에서 언급한 실시간 생산 계획 및 통제 시스템의 주요 문제와 이를 위한 기능들을 계층별로 구분하여 주요 모듈들을 구성하였다. 이러한 모듈들은 자신에게 주어진 기능들을 수행할 뿐만 아니라, 다른 모듈들 간의 인터페이스를 통해 정보들을 주고받는다. 계층별 주요 모듈의 구성 및 기능들은 본문에서 자세히 설명하도록 한다.

본 연구에서 개발한 시스템의 기능들을 요약하여 살펴보면 주라인과 하부라인, 그리고 단위작업장 각각의 생산 일정 계획을 수립하는 기능, 생산 계획의 진행 상태를 관리·통제하는 기능, 그리고 이상 상황이 발생하거나 생산 계획과 실제 생산

실적치와의 차이가 일정 기준보다 커지면 생산 계획을 재수립하는 기능, 마지막으로 필요한 통제치와 데이터들을 데이터베이스에 저장하고 갱신하는 기능들로 요약할 수 있다.

기존 연구들은 대부분 주라인과 하부라인들이 같은 생산 방식으로 운용되는 상황에서 생산 일정 계획을 수립하였는데, Miltenberg(1989)는 혼류 생산 계획 수립 시에, 여러 모델의 생산 순서를 일정하게 반복하여 생산하는 사이클 생산 방식을 사용하였다. 이 방법은 하부라인에서 생산해야 할 각 부품의 양이 시간에 따라 일정하게 유지되도록 주라인을 계획하고 제품들의 가공시간을 고려하여 가공시간이 상대적으로 긴 제품들을 연속해서 가공하지 않도록 함으로써 생산 지연이 되는 제품 수를 줄이고 균형을 이룬 사이클을 결정하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한, Miltenbug and Sinnamon(1989)은 JIT 생산 환경에서의 혼류 생산에 관한 연구를 수행하였고, 혼류 조립 주라인에 대한 라인의 멈춤을 방지하기 위해 Okamura and Yamashina(1979)는 효과적인 휴리스틱(heuristic) 방법을 개발하였다.

Ding and Tolani(2003)는 혼류 조립 라인의 생산 계획 수립을 지원하는 응용 시스템을 개발하여 실제 산업 적용성을 보여주었다. 이 시스템의 목적은 조립 라인에서의 적절한 혼류 비율의 유지 및 라인 간 부하 밸런싱이고 알고리즘은 초기해를 구하는 단계와 해를 개선하는 단계로 구성되어 있다. Kotani *et al.*(2004)은 토요타 생산 시스템에서 혼류 조립 라인에 대해 작업순서를 결정하는 문제를 연구하였고 JIT 생산 환경에서 라인을 정지시키지 않으면서 일정한 생산율을 유지시키는 것을 목적으로 하는 휴리스틱 방법론을 제시하였다. Jin and David(2003)는 혼류 조립 라인의 라인 밸런싱 문제를 위해 JIT 환경에서의 목표 추적(goal chasing) 방법론을 응용한 변화 알고리즘(variance algorithm)을 제시하였고 그 성능을 최적해와 비교하였다.

주라인과 단위작업장 간의 생산 동기화와 관련된 최근 연구로, Moon *et al.*(2005)은 자동차 공장의 Painted Body Storage (PBS) 운영을 위한 시뮬레이션에 대해 연구하였다. 이 연구에서 자동차 공장의 주요 생산 특징인 혼류 조립 주라인과 이 라인에 부품을 공급하는 도장 라인(paint shop) 사이에 PBS를 둬으로써 주라인과 단위작업장 사이의 원활한 부품 공급을 조절하는 시뮬레이션 방법론을 제시하였다. 시뮬레이션에 있어 두 개의 제약 조건이 있는데 하나는 PBS의 공간 제약이고 다른 하나는 주라인이 정지되지 않기 위한 원활한 부품 공급 제약이다.

패밀리 스케줄링(family scheduling)에 관한 연구는 일반적으로 작업장에서 기종 변경시간이 클 경우에 기종 변경 횟수를 줄이는 방법에 대한 연구와 작업별로 기종 변경시간이 다른 상황에서 전체 기종 변경시간의 합을 줄이는 방법에 대한 연구로 요약할 수 있다(Webster and Baker, 1995). Shin and Leon(2004)은 TFT-LCD 공장의 모듈 라인에 대해 납기 준수와 패밀리 간 기종 변경시간의 수를 최소화하는 스케줄링 알고리즘을 제시하였고, Kim *et al.*(1995)은 기종 변경 비용을 줄이고, 기계의 가동률을 높이기 위한 연구를 수행하였다.

다음 2장에서는 혼류 조립공장을 위한 계층적 생산계획 및

통제 시스템의 구조와 계층별 기능들을 설명한다. 3장에서는 실시간 계층적 생산 계획 및 통제 시스템을 구축하고, 실제 공장고를 생산하는 혼류 조립 공장에 적용하여 설명한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결론과 추후 연구 방향을 정리한다.

2. 혼류 조립 공장을 위한 계층적 생산 계획 및 통제 시스템

2.1 계층적 생산 계획 및 통제 시스템의 개요

생산 계획 및 통제 시스템의 구조는 시스템을 구성하는 계획 기능들과 통제 기능들이 어떻게 통합되고, 상호작용을 하는가를 보여준다. 명확히 정의된 구조와 기능 및 기능들 간의 상호작용을 이용하면, 특정 대상 환경에서 실제로 운용될 수 있는 계획 및 통제 시스템을 쉽게 구축할 수 있다. 일반적으로 사용되는 구조는 집중화된 구조와 계층적 구조로서 본 연구에서는 계층적 구조를 사용한다.

본 연구에서 제안하는 생산 계획 및 통제 시스템은 복수 개의 주라인들과 하부라인들 그리고 단위작업장들로 이루어진 혼류 조립 공장의 계획 및 통제 시스템에 적합하게 혼류 조립을 하는 주라인들 간의 계획 및 조정을 담당하는 계층, 각 주라인과 하부라인들의 작업 일정 계획 및 조정을 담당하는 계층, 각 주라인에 부품을 공급하는 단위작업장들의 작업 일정 계획 및 조정을 담당하는 계층의 세 계층으로 구성된 계층적 구조를 가진다. <Figure 3>은 제안된 계층적 생산 계획 및 통제 시스템이 적용되는 혼류 조립 공장의 계층적 구조를 나타낸 것이다.

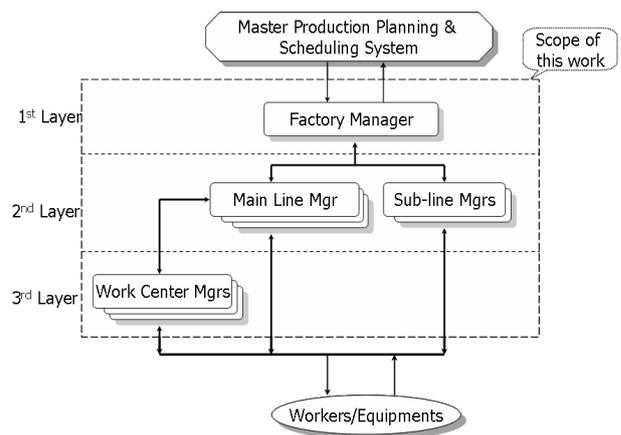


Figure 3. Hierarchical structure of mixed-model assembly system.

제안한 계층적 생산 계획 및 통제 시스템의 각 계층별 구성 기능들은 다음 절들에서 자세히 설명되며, 이를 개략적으로 살펴보면 다음과 같다. 최상위 계층인 기준 생산 계획 시스템은 대상 공장에 이미 설치되어 있는 시스템이며 공장들에 대한 통합 계획 수립 기능, 공장 간 통합 계획 조정 및 능력 계획 기능

등을 수행한다. 이 시스템은 위의 기능들로 수립된 계획에 따라 계층 1을 담당하는 공장 관리자에게 주문 코드, 제품 형태, 수량, 납기로 이루어진 생산 주문을 내려준다.

계층 1의 공장 관리자는 각 주라인들의 생산 물량을 평준화하고, 최상위 계층인 기준일정 계획 시스템으로부터 내려오는 생산주문에 대해서 라인 효율을 높일 수 있도록 생산할 라인을 결정한다. 또한 주라인의 기계 고장 등으로 인한 이상상황이 발생할 경우 이상상황이 발생한 라인에 기존에 할당되어 있던 생산주문들을 다른 라인들로 재할당하는 기능을 한다.

계층 2는 주라인 관리자와 하부라인 관리자가 담당한다. 주라인 관리자는 공장 관리자로부터 할당받은 생산주문들에 대하여 혼류 패턴 생산 계획을 수립하고 각 하부라인들과 단위작업장들에서 발생하는 이상상황에 따라 재계획을 수립한다. 하부라인 관리자는 배치 단위의 생산 계획을 수립하고 이상상황이 발생하면 재계획을 수립하거나 이것이 불가능하면 공장 관리자와 주라인 관리자에게 통보한다.

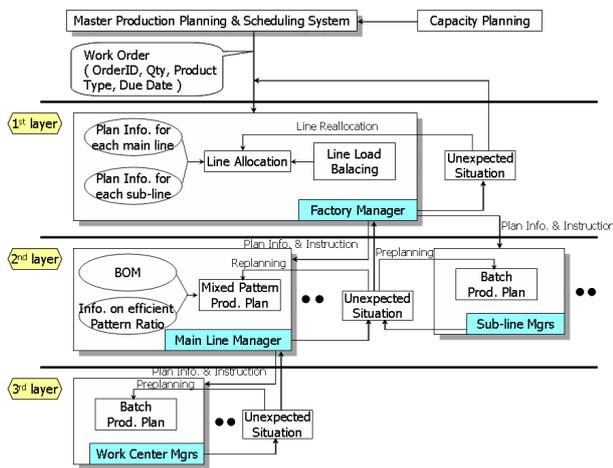


Figure 4. Overview of hierarchical production planning and control system.

계층 3의 단위작업장 관리자는 주라인 관리자가 혼류 패턴 생산 계획을 수립하면 그에 따른 배치 단위의 생산 계획을 수립하고, 이상상황이 발생하면 재계획을 수립하거나 이것이 불가능하면 주라인 관리자에게 통보한다. <Figure 4>는 제안한 계층적 생산 계획 및 통제 시스템의 각 계층별 구성 기능들을 개략적으로 도시하고 있다.

본 연구에서는 각 계층별 관리자들이 수행하여야 할 일들을 세분하여 모든 관리자에 공통적으로 필요한 기능들과 각 관리자가 독립적으로 수행하여야 할 기능들로 분류하고 각 관리자들이 수행하여야 할 이러한 기능들을 공통 모듈과 관리자별 주요모듈로 구성하였다. 이렇게 각 관리자별로 공통적으로 필요한 기능들을 공통 모듈로 구성하여 동일한 일의 중복 수행을 피함으로써 전체 시스템의 부하를 줄이고 효율을 높일 수 있다.

공통 모듈은 통신 처리 모듈, 작업 처리 관리 모듈, 데이터베이스 작업 처리 모듈로 구성된다. 통신 처리 모듈은 자기 관리자 내의 프로세스들 간의 내부통신과 타 관리자들과의 외부통신 기능을 담당하고, 작업 처리 관리 모듈은 통신 처리 모듈을 통해서 입수되는 작업을 관리한다. 그리고 데이터베이스 작업 처리 모듈은 데이터베이스에서 필요한 데이터를 얻어오거나 갱신하고 저장하는 기능을 담당한다. 관리자별 주요 모듈들은 관리자별로 설명하도록 한다.

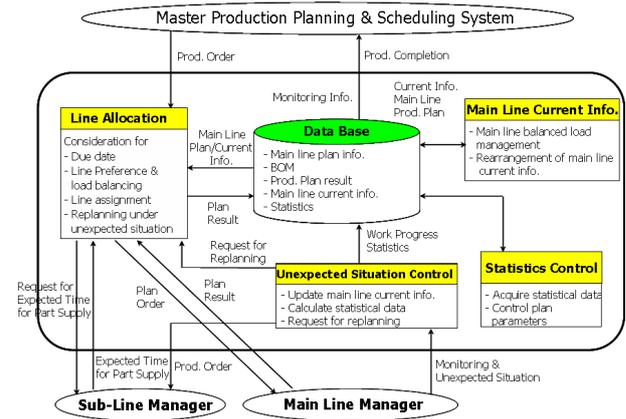


Figure 5. Main modules and functions of factory manager.

2.2 공장 관리자

계층 1의 공장 관리자는 상위 계층인 기준 생산계획 시스템으로부터 내려오는 생산주문들에 대해서 생산주문의 제품형태 정보와 각 주라인들의 상황정보 등을 토대로 주라인의 효율을 높이고 동일 모델의 제품을 연속해서 생산할 수 있도록 생산주문들을 각 생산주문들의 납기 내에 해당 주라인에 할당한다. 이러한 일들을 수행하는 공장 관리자는 주라인 상황정보 계산 모듈, 하부라인 상황정보 계산 모듈, 라인 할당 모듈, 이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈, 통계량 수집 및 모수(parameter) 갱신 모듈들로 구성된다. <Figure 5>는 공장 관리자의 주요 모듈 및 기능 구성도를 도시하고 있다.

주라인 상황정보 계산 모듈은 현재의 각 주라인의 계획과 실적, 그리고 주라인별 평준화된 물량도를 관리하여 라인 할당

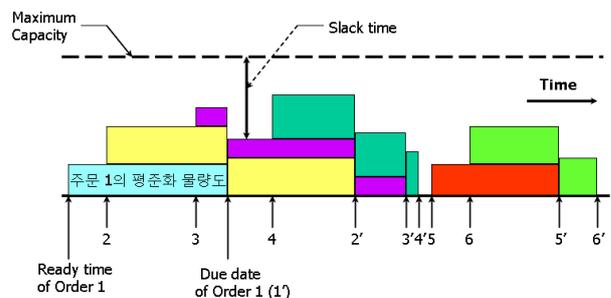


Figure 6. Balanced load for each order.

모듈에 정보를 제공한다. 여기서 주라인별 평균화된 물량도란 <Figure 6>과 같이 기존에 할당되어 있는 주문들에 대하여 시작 가능 시점부터 납기 내의 구간 사이에 작업 물량을 평균적으로 누적시킨 것을 말한다. 여유시간은 최대 가용 능력과 누적된 물량 사이의 차를 의미한다.

라인 할당 모듈은 생산주문의 제품형태 정보와 각 주라인들의 상황정보 등을 토대로 상위 계층인 기준 생산 계획 시스템으로부터 입수한 생산주문들을 어느 주라인에서 생산할 것인지를 결정하는 모듈이다. 생산주문 내의 제품형태 정보에는 제품 모델에 대한 주라인 간의 상대적인 선호도 정보가 포함되어 있어, 선호도가 높은 주라인에 할당이 될수록 생산 효율을 더 높일 수가 있다. 또한 생산주문들 중에는 생산될 주라인이 미리 결정되어 있는 경우도 있으므로, 라인 할당 모듈은 생산될 주라인이 미리 결정된 생산주문들을 먼저 주라인에 할당하고, 그 이외의 생산주문들을 제품형태 정보의 주라인 선호도와 평균화된 물량도의 구간별 여유시간을 고려하여 주라인 선호도가 높고 구간별 여유시간이 많은 라인에 우선순위를 두어 할당되어질 주라인을 선택한다.

이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈은 주라인 관리자, 하부라인 관리자, 단위작업장 관리자로부터 올라오는 상황정보나 이상정보를 입수하여 이상상황에 대하여 재계획을 포함한 적절한 수행을 하는 모듈이다. 통계량 수집 및 모수 갱신 모듈은 하부 관리자들에게서 보고되는 정보를 이용하여 관리 통계량을 수집하고 계획에 필요한 모수를 조정하는 모듈이다.

2.3 주라인(main line) 관리자

2.3.1 주라인 관리자의 기능

계층 2의 주라인 관리자들은 계층 1의 공장 관리자로부터 할당된 각각의 생산주문들에 대하여 계획 대상 구간 내에서 라인의 능력과 납기를 준수하면서 그 주라인의 혼류 패턴 효율과 생산량을 최대로 하도록 하는 주라인 혼류 생산 계획을 수립한다.

대상공장의 주라인은 하부라인과 단위작업장의 물리적인 특성과 능력으로 인하여 특정한 수 이상의 모델을 반복 생산할 수 없다. 따라서 주라인은 혼류 패턴 생산 방식을 택하고 있다. 여기서, 혼류 패턴 생산이란 사이클 생산 방식의 특수한 경우로, 동시에 반복 생산할 수 있는 모델의 종류가 한정되어 있을 경우에 사용되며 특정한 수의 모델을 일정한 혼합 비율로 연속해서 반복 생산하는 혼류 생산 방식을 의미한다. <Figure 7>은 혼류 패턴 생산 계획 결과와 혼류 패턴의 예를 보여주고 있다.

주라인 관리자는 생산 계획 수립 시에 시간의 진행에 따라 계획을 조정해 나가는 연동 구간 계획(rolling horizon scheduling) 방법을 사용한다. 그 이유는 시간의 진행에 따라 이상상황 발생 등으로 인해 계획대로 생산이 정확히 진행된다는 보장이 없고, 계획된 주문 이외에 긴급 주문이 내려올 수 있기 때문이다. 따라서 주라인 관리자는 이러한 변동 사항을 다음 계획 대상

구간에 반영하여 계획을 수립한다. <Figure 7>은 주라인 관리자가 수립한 혼류 패턴 생산 계획으로, 고정(frozen), 유동(slush), 미정(liquid)의 3개 구간의 계획으로 구분된다.

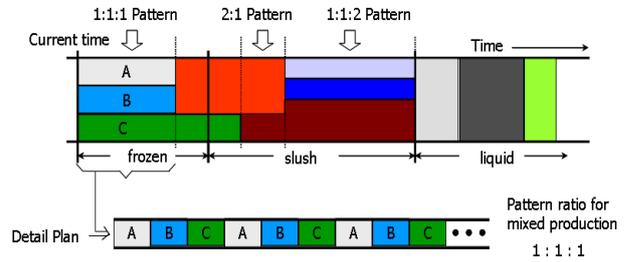


Figure 7. An example of mixed-model production planning of main line manager.

수립된 생산 계획 중 고정기간 동안의 계획은 하부라인과 단위작업장의 선행 생산에 차질을 주지 않기 위해 아주 급박한 긴급 주문이나 주라인의 고장으로 인한 장기간 생산 중단 등의 특수한 경우를 제외하고는 변경되지 않는다. 유동기간 동안에 수립된 계획은 계획 시작 시점에 계획 대상이 되며, 새로운 생산주문들과 기존에 계획되었던 생산주문들을 함께 고려하여 생산 계획을 수립한 후 기존의 계획보다 개선되었다면 변경될 수 있는 계획이다. 또한 이상상황의 발생 등으로 인한 현 상황들을 고려하여 재계획 수립의 대상이 되기도 한다. 미정기간 동안의 계획은 공장 관리자로부터 할당받은 생산주문들을 납기 순으로 나열하여 놓은 것으로, 혼류 생산 계획이 수립되지 않은 상태의 계획이다.

주라인 관리자의 생산 계획 수립은 생산주문의 납기를 준수하면서 주라인의 생산량(throughput)과 혼류 패턴 효율을 최대로 하기 위하여 혼류 패턴 비율과 그 패턴의 유지 기간 및 시작 시기를 결정하는 문제로 요약할 수 있다. 또한 제약 조건으로 주라인과 하부라인, 그리고 단위작업장의 능력도 함께 고려하여야 한다. 이와 같은 생산 계획을 수립하기 위한 기본 절차는 먼저, 초기 패턴 생산 계획을 수립하고, 보다 향상된 생산 계획으로 개선해 나가는 것이다. 여기서, 초기 패턴 생산 계획은 생산주문들의 납기와 생산 능력 등을 고려하면서 전진전개(forward) 방식으로 혼류 패턴을 만들어 가는 방법으로 수립된다.

2.3.2 주라인 관리자의 주요 모듈별 기능 및 구성

주라인 관리자가 수행하는 기능들은 주라인 생산 계획 수립 모듈, 혼류 패턴 효율 계산 모듈, 생산 지시 모듈, 이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈, 통계량 수집 및 모수 갱신 모듈들로 세분화된다. <Figure 8>은 이러한 주라인 관리자의 주요 모듈 및 기능 구성도를 설명하고 있다.

주라인 생산 계획 수립 모듈은 공장 관리자로부터 할당받은 생산주문들에 대하여 혼류 패턴 생산 계획을 수립한다. 혼류 패턴 효율 계산 모듈은 패턴 생산 계획 수립 시에 각 혼류 패턴에 대한 효율 정보를 제공한다. 이때 패턴 효율 정보는 대상 공

장에서 그 동안 실제 생산 과정에서 축적되어 온 정보로서, 동시에 생산하는 모델의 혼류 비율에 대한 상대적인 선호도를 의미한다. 생산 지시 모듈은 생산 계획 모듈에서 계획이 수립이 되면 단위작업장에서 생산하여야 할 부품들을 BOM 정보를 이용하여 전개하고, 이 결과를 단위작업장에 제공한다. 이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈과 통계량 수집 및 모수 갱신 모듈은 공장 관리자의 모듈에서와 같은 기능을 수행한다.

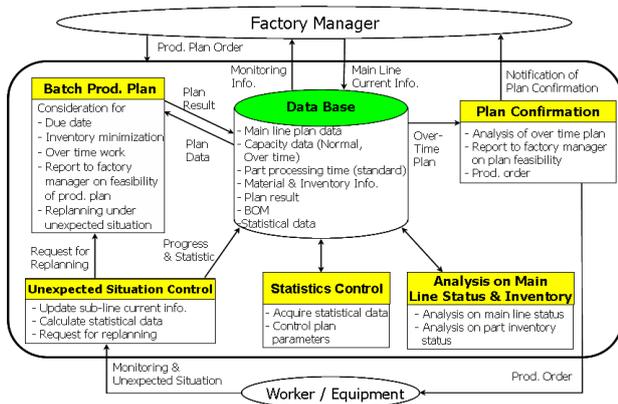


Figure 8. Main modules and functions of main line manager.

2.4 하부라인(subline) 관리자

2.4.1 하부라인 관리자의 기능

<Figure 2>에서와 같이 대상 공장은 두 개의 하부라인이 존재하고, 각 하부라인은 주라인의 생산 방식과 독립적으로 세 개의 주라인에서 필요로 하는 부품을 생산하여 공급한다. 각 하부라인은 플라스틱 사출 공정을 통해 플라스틱 판넬을 생산하는 라인과 도어 커버를 생산하는 라인으로 구성되어 있다. 플라스틱 판넬을 생산하는 하부라인은 세 개의 주라인에 속해 있는 각 단위작업장 중 몸체 라이너와 도어 라이너 생산 시에 각각 플라스틱 판넬을 공급하고, 도어 커버를 생산하는 하부라인은 세 개의 주라인에 직접 도어 커버를 공급한다.

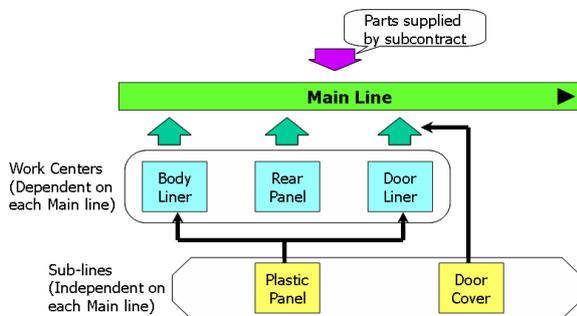


Figure 9. Production relationship among main line, work center, and sub-line.

<Figure 9>는 이러한 주라인, 하부라인, 그리고 단위작업장

의 전체 생산 구조를 도시하고 있다. 두 개의 하부라인은 세 개의 주라인에서 진행되고 있는 생산에 맞추어 부품을 공급한다. 따라서 계층 2의 하부라인 관리자는 세 개의 주라인에서 필요로 하는 부품들을 통합하여 두 개의 하부라인으로 분할하고, 각 하부라인에 분할된 부품들을 생산하기 위한 배치 단위의 생산 계획을 수립한다. 여기서, 하부라인 관리자가 주라인의 혼류 패턴 생산 계획 형태와는 다른 배치 생산 계획을 수립하는 이유는 서로 다른 부품 간에 기종 변경시간이 발생하므로 기종 변경이 자주 요구되는 주라인의 혼류 패턴 생산 형태의 계획을 따라갈 수 없는 반면에, 각 하부라인마다 비교적 가공이 완료된 재고를 수용할 수 있는 공간상의 여유가 있기 때문이다.

2.4.2 하부라인 관리자의 주요 모듈별 기능 및 구성

하부라인 관리자가 수행하는 기능들은 주라인 상황 분석 및 재고 분석 모듈, 배치 생산 계획 수립 모듈, 계획 결과 확정 모듈, 이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈, 통계량 수집 및 모수 갱신모듈들로 분류할 수 있다. 이러한 하부라인 관리자의 주요 모듈 및 기능 구성도를 <Figure 10>에서 설명하고 있다.

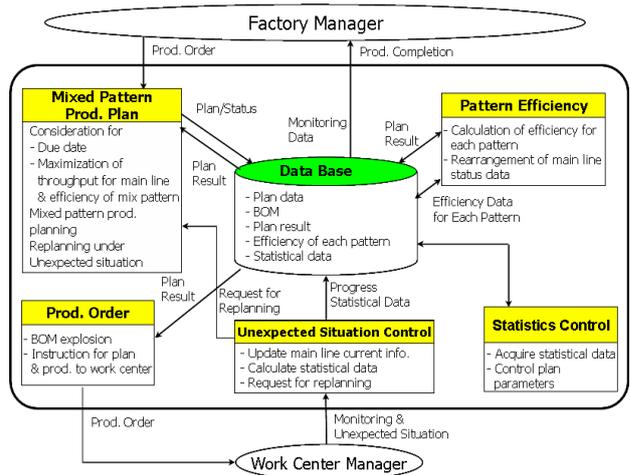


Figure 10. Main modules and functions of sub-line manager.

주라인 상황 분석 및 재고 분석 모듈은 세 개의 주라인에서 수립되어 있는 계획 정보를 입력받아 각 주라인의 상황, 즉 최초로 공급해야 할 부품의 공급시간, 납기 등을 분석하고 데이터베이스로부터 해당 부품의 재고 정보를 입력받아 이를 분석하여 생산 계획 수립 모듈에 제공한다. 배치 생산 계획 수립 모듈은 주라인 상황 분석 정보와 재고 분석 정보를 통해 납기를 만족시키면서 재고를 최소화시킬 수 있는 일별 생산량을 계산하고 부품별 생산순서를 결정한다.

계획 결과 확정 모듈은 생산계획 수립 가능 여부를 공장 관리자에게 통보하고 작업자 및 자동화 설비에 생산을 지시한다. 이상상황 처리 및 재계획 요청 모듈, 통계량 수집 및 모수 갱신 모듈들은 공장 관리자에서의 동일 모듈들과 같은 기능을 수행한다.

2.5 단위작업장(workcenter) 관리자

<Figure 9>에서와 같이 대상공장의 각 주라인에는 단위작업장이 종속되어 있다. 단위작업장은 냉장고 몸체를 냉각시키는 데 사용되는 몸체 라이너(진공 파이프)를 생산하는 작업장, 냉장고 문을 냉각시키는 데 사용되는 도어 라이너를 생산하는 작업장, 그리고 냉장고 뒤판을 만드는 데 사용되는 후측 판넬을 생산하는 작업장으로 구성되어 있다. 단위작업장은 하부라인의 생산 방식인 배치 단위의 생산 방식 형태를 따른다. 하지만, 단위작업장은 하부라인과는 달리 주라인에 종속되어 주라인의 생산 계획에 맞춰 배치 생산 계획을 수립해야 한다는 점과 하부라인에 비해 재고를 수용할 수 있는 재고 공간이 비교적 크지 않다는 점들에 있어서, 하부라인과 구분된다.

주라인의 혼류 생산이 <Figure 7>과 같이 주어졌을 경우 단위작업장에서의 배치 생산 계획은 주라인의 부품 수요 비율이 일정한 기간, 즉 혼류 패턴 유지기간에 대한 생산 계획 수립 문제가 된다. 하지만 본 논문에서의 문제는 기존의 연구들과는 다르게 다음과 같은 제약조건이 추가된다.

■ 단위작업장에서의 배치 생산 계획은 주라인의 혼류 생산 계획에 영향을 주어서는 안 되며, 혼류 생산의 효과적인 운영을 위해 주라인에서 부품을 필요로 하는 시간 이전에 부품을 공급하여야 한다.

■ 배치 크기에 의해 발생하는 단위작업장과 주라인 사이의 재공 재고를 주어진 재고 공간에 따라 일정 수준 이하로 유지하여야 한다. 주라인과 단위작업장 사이에는 재고 공간의 한계를 가지고 있으므로 재공 재고를 재고 공간의 한계치 안에서만 가지고 있을 수 있다. 여기서 재공 재고는 단위작업장에서 생산한 부품이 아직 주라인에서 소비되지 않은 것을 말한다.

위 단위작업장에서의 생산 계획은 Back(1996)이 제시한 휴리스틱 방법을 이용하여 수립할 수 있다.

3. 구축 사례

본 연구에서는 제안된 계층적 생산 계획 및 통제 시스템을 냉장고를 생산하는 혼류 조립 공장에 적용·구현하였다. 구현된 실시간 계층적 생산 계획 및 통제 소프트웨어는 크게 주 프로세스(main process)부와 사용자 인터페이스 프로세스(user interface process)부로 나누어진다.

주 프로세스부는 공장 관리자, 주라인 관리자, 종속 라인 관리자, 그리고 단위작업장 관리자로 구성된 모듈들로 이루어져 있고, 공장의 현 상황이나 관리자의 요구에 따라 각 모듈들이 수행되고 각 모듈에서 수립된 결과(혼류 패턴 생산계획, 배치 생산 계획, 이상상황에 따른 재계획 등)를 바탕으로 전체 공장이 효율적으로 운영되도록 한다.

사용자 인터페이스 프로세스부는 각 계층별 관리자 및 작업자에게 전체 공장 또는 작업장의 작업 상황 및 계획 정보, 향후

의 구체적인 생산 일정, 그리고 긴급 상황 발생의 출력 및 처리 문의 등의 정보를 편리하게 제공하기 위해 사용된다. 또한 주 프로세스 내의 각 모듈별로 수립된 계획의 수정, 추가, 삭제 및 생산 정보의 변경과 같은 다양한 기능을 제공함으로써 관리자가 공장 운영에 대한 조정을 효과적으로 수행할 수 있도록 하였다.

다음의 ① - ④에서는 본 시스템의 운용 방법에 대하여 간략히 설명한다.

① 실시간 계층적 생산 계획 및 통제 시스템 소프트웨어 기동

먼저 데이터베이스 시스템을 구동시킨 후, 유닉스 셸 프로그래밍을 이용하여 주 프로세스부의 공장 관리자, 주라인 관리자, 종속 라인 관리자, 그리고 단위작업장 관리자의 각 프로세스들과 Main UI(User Interface)를 실행하면 <Figure 11>과 같은 주 사용자 인터페이스 화면이 표시된다. 주 프로세스부 내의 각 모듈들의 모든 기능들은 해당 모듈의 사용자 인터페이스 화면을 통해 수행되며, 이러한 사용자 인터페이스 화면들은 <Figure 11>의 주 사용자 인터페이스 화면을 통해 구동된다.

② 공장 관리자 모듈의 운용

<Figure 11>의 사용자 인터페이스 화면을 통해 공장 관리자와 주라인 관리자 모듈들의 모든 기능들이 수행되고, 종속 라인과 단위작업장을 포함한 전체 시스템의 상황들이 표시 또는 제어될 수 있다.

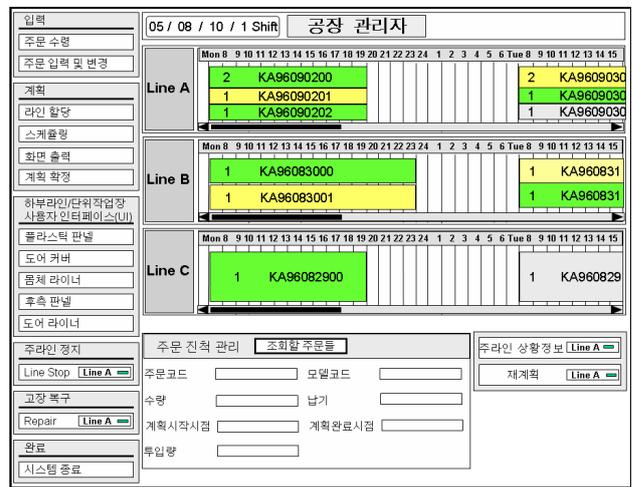


Figure 11. UI screen of factory manager module.

그림 중심부에 위치해 있는 Line A, Line B, Line C 영역 내의 간트-차트(Gant-Chart)들은 해당 주라인 관리자로부터 수립된 혼류 패턴 생산 계획의 결과물로서, 라인 A, B, C에서 동시에 생산할 수 있는 모델의 수가 각각 3개, 2개, 1개라는 제한하에서 수립된 것이다.

그림의 왼쪽 부분에 위치한 입력과 계획의 영역은 공장 관리

자와 주라인 관리자 모듈의 기능들로 구성되어 있다. ‘입력’ 영역 내의 ‘주문 수령’ 버튼은 기존 일정 계획을 수립하는 최상위 시스템으로부터 생산주문들을 확인한 후 수령하는 기능을 한다. 이때, 생산주문들은 각 주문마다 주문 코드, 제품 형태, 수량, 납기의 정보들을 포함하고 있고, 이러한 정보를 변경하거나 새로운 생산주문을 추가할 경우에는 ‘주문 입력 및 변경’ 버튼을 이용하여 최상위 시스템에 알린다.

③ 하부라인 관리자 모듈의 운용

<Figure 12>는 하부라인 관리자 모듈의 사용자 인터페이스 화면으로, 공장 관리자 사용자 인터페이스 화면에서 ‘하부라인/단위작업장 사용자 인터페이스’ 영역 내의 ‘플라스틱 판넬’ 버튼을 누르면 출력된다. 플라스틱 판넬을 생산하는 중속 라인에는 ‘M1’, ‘M2’의 두 대의 기계가 있고 이 기계들은 주라인 A, B, C에서 필요로 하는 부품들을 로트 단위로 생산한다.

하부라인 관리자는 공장 관리자로부터 생산 계획 수립 지시 신호를 받으면 세 개의 주라인들의 생산 계획 결과를 바탕으로 배치 생산 계획을 수립한다. <Figure 12>의 상단에 위치한 ‘M1’과 ‘M2’ 영역 내의 간트-차트는 배치 단위의 생산 계획을 수립한 결과로, 간트-차트 사이의 검은색의 사각형은 서로 다른 부품으로 이루어진 배치를 생산하는 데 필요한 기종 변경시간을 나타내고 있다.

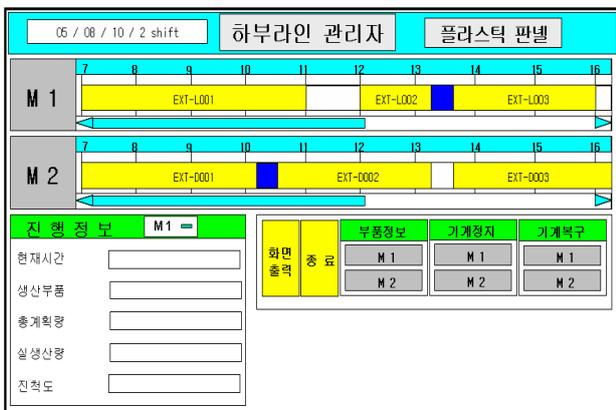


Figure 12. UI screen of subline manager module.

④ 단위작업장 관리자 모듈의 운용

단위작업장은 주라인에 종속되어 있기 때문에 상위 계층인 주라인 관리자가 수립한 생산 계획을 바탕으로 종속된 주라인에서 필요로 하는 부품을 공급하기 위한 배치 생산 계획을 수립한다. 단위작업장 관리자를 운용하는 사용자 인터페이스 상의 기능들은 하부라인 관리자의 사용자 인터페이스와 유사하다.

4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 혼류 조립 공장을 위한 계층적 생산 계획 및 통

제 시스템의 구축 방안을 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 생산 계획 및 통제 시스템은 복수 개의 주라인들과 하부라인들 그리고 단위작업장들로 이루어진 혼류 조립 공장의 계획 및 통제 시스템에 적합하게, 세 단계의 계층적 구조로 이루어져 있다. 상위계층은 공장 관리자, 중간계층은 주라인 관리자와 중속라인 관리자, 그리고 하위계층은 단위작업장 관리자의 모듈들로 구성되어 있다.

각 계층을 이루고 있는 모듈들의 기능들과 각 모듈들이 수행할 수 있는 일의 범위들을 정의함으로써, 각 모듈들의 부하를 감소시킬 수 있었고 이에 따라 생산 진행중에 발생하는 동적인 상황들을 신속하게 실시간적으로 처리할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 시스템의 공장 관리자는 각 주라인들에 대해 생산 물량을 할당하기에 앞서, 각 주라인과 해당 단위작업장, 그리고 각 중속 라인의 가용 능력들을 고려하여 현재의 능력으로 생산이 가능한지의 여부를 확인하는 절차를 통해 각 주라인의 생산 물량을 평준화하는 방향으로 물량을 할당하였다. 따라서 공장 관리자는 하부라인 및 단위작업장들의 실시간 상황정보나 능력 등을 주라인 간의 물량 평준화에 대한 정보로 사용함으로써, 물량이 한 라인에 편중되는 현상을 방지하고 전체 공장의 균형이 항상 유지되도록 할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 시스템은 대상 공장인 냉장고를 생산하는 혼류 조립 공장의 기존 매뉴얼 방식의 생산 계획 수립을 자동화하였다는 데 의미가 있다고 할 수 있으며, 향후 시스템의 효율 향상을 위해 각 관리자들의 생산 계획 수립 알고리즘을 개선할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

Baek, J. K. (1996), A batch scheduling scheme for the work-center that supplies parts to mixed-model assembly line, M.S. Thesis, Korea University.
 Ding, F. Y., and Tolani, R. (2003), Production planning to support mixed-model assembly, *Computers and Industrial Engineering*, 45(3), 375- 392.
 Jin, M., and David, W. S. (2003), A new heuristic method for mixed model assembly line balancing problem, *Computers and Industrial Engineering*, 44 (1), 375-392.
 Kim, S. L., Hayya, J. C., and Hong, J. (1995), Setup reduction and machine availability, *Production and Operations Management*, 4(1), 76-90.
 Kotani, S., Ito, T., and Ohno K. (2004), Sequencing problem for a mixed-model assembly line in the Toyota production system, *International Journal of Production Research*, 42(23), 4955-4974.
 Miltenberg, G. J. (1989), Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems, *Management Science*, 35(2), 192-207.
 Miltenburg, G. J., and Sinnamon, G. (1989), Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just In Time Production Systems, *International Journal of Production Research*, 29, 1478-1509.
 Moon, D. H., Song, S., and Ha, J. H. (2005), A simulation study on the operation of the painted body storage in an automobile factory, *IE Interfaces*, 18(2), 136-147.
 Okamura, K., and Yamashina, H. (1979), A Heuristic Algorithm for the Assembly Line Model-Mix Sequencing Problem to Minimize the Risk of Stopping the Conveyor, *International Journal of Production Research*, 17(3), 233-247.

Shin, H. J., and Leon, V. J. (2004), Scheduling with product family set-up times: an application in TFT LCD manufacturing, *International Journal of Production Research*, 42(20), 4235-4248.

Webster, S., and Baker, K. R. (1995), Scheduling groups of jobs on a single machine, *Operations Research*, 43(4), 692-703.



신 현 준

고려대학교 산업공학 학사

고려대학교 산업공학 석사

고려대학교 산업공학 박사

Texas A&M University 산업공학과 Post-doc

삼성전자 LCD 총괄

현재: 상명대학교 산업정보시스템공학과
전임강사

관심분야: 휴리스틱 최적화, SCM, 생산계획
및 통제 시스템, 스케줄링, 금융공학