혼류 조립 생산 공장을 위한 MES(Manufacturing Execution System) 구축에 관한 연구

안 재명, 신 현준, 전 진, 김 성식
고려대학교 산업공학과

Abstract

혼류 생산은 동시에 여러 모델의 제품들이 조립, 생산되는 환경에서 적용되는 생산방법이다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 공장도 혼류 생산 방법을 이용하여 다양한 모델의 냉장고들을 생산하고 있다. 대상 공장에서는 기준 생산 계획을 수립하는 시스템이 구축되어 있기 때문에, 수립된 기준 생산 계획에 따라 공장 상황에 맞는 세부 생산 계획을 수립하고, 생산이 수립된 계획에 따라 진행되는지를 모니터링하는 시스템이 요구되었다.

적용 대상이 되는 공장의 구조는 세 개의 조립 주 라인이 있고, 주 라인들에 부품을 공급하는 두 개의 하부 라인들이 있다. 또한, 각 주 라인에는 해당 주 라인에 부품을 공급하기 위한 세 개의 단위 작업장이 속해 있다. 하부 라인과 단위 작업장은 부품들을 batch 형태로 생산하고, 주 라인에서 생산되는 제품의 종류에 따라 부품들을 주 라인에 공급한다.

본 연구에서 개발한 시스템은 기준 생산 계획 시스템에서 보내오는 생산 주문에 대해 위해 제품을 조립할 주 라인과 생산의 시작 시점을 결정하고, 결정된 계획에 따라 주 라인에서 생산을 시작하기 전에 부품들이 적절히 공급될 수 있도록 하부 라인과 단위 작업장에서의 batch 생산 계획을 수립한다. 또, 계획된 대로 주문을 진행시키기 위해 생산을 통제하고, 생산 중에 이상 상황이 발생하였을 때는 재계획을 수립한다. 본 연구에서 개발한 시스템은 대상 공장에 적용되어 효과적으로 역할을 수행하고 있다.

1. 서론

본 논문은 혼류 생산 냉장고 공장의 생산일정 계획 및 통제를 위한 MES(Manufacturing Execution System)의 구축을 대상으로 하고 있다. 혼류 생산은 동시에 여러 모델의 제품들이 조립, 생산되는 환경에서 적용되는 생산방법이다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 공장도 혼류 생산 방법을 이용하여 다양한 모델의 냉장고들을 생산하고 있다. 대상 공장에서는 기준 생산 계획을 수립하는 시스템이 구축되어있기 때문에, 수립된 기준 생산 계획에 따라 공장 상황에 맞는 세부 생산계획을 수립하고, 생산이 수립된 계획에 따라 진행되는지를 모니터링하는 시스템이 요구되었다.

그림 1에서 보이는 것과 같이, 대상 공장에는 혼류 조립 생산을 하는 세 개의 주 라인과 주 라인들에 부품을 공급하기 위해 batch 생산을 하는 2개의 하부 라인들이 있다. 또한, 각 주 라인마다 부품을 공급해주기 위해 냉장고 주몸체를 생산하는 Type-1 단위 작업장, 냉장고 문의 플라스틱 라이너를 생산하기 위한 Type-2 단위 작업장, 후측 판넬을 제조하기 위한 Type-3 단위 작업장 등의 세 개의 단위 작업장이 속해 있다. 각 단위 작업장들은 batch단위로 생산을 하고 생산하는 부품이 변경될 때에는 각 부품별 작업변경이 필요하다. 하부 라인 1에서는 주 라인의 단위 작업장에서 필요한 다양한 크기의 플라스틱 판넬을 생산하고, 하부 라인 2에서는 주 라인의 발포(foaming) 공정에서 필요한 다양한 도어 커버를 생산한다.

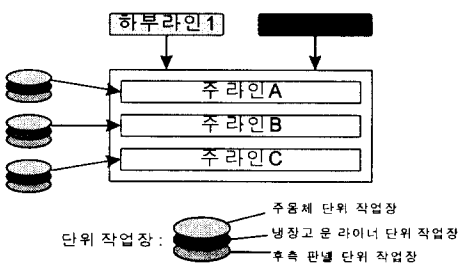

그림 1. 공장의 구성

주 조립 라인은 다양한 기능을 하는 다수의 기계들로 구성되어 있고, 생산중인 모델이 변경되어도 제품 변경에 대한 준비 시간이 무

시할 수 있을 정도로 작기 때문에, 여러 모델의 냉장고들이 동시에 조립 생산될 수 있다. 주 라인에서 생산되는 제품의 종류들은 수립된 생산 계획에 따라 변화하게 되고, 생산되는 제품의 종류에 따라 필요한 부품들도 달라지게 된다. 그러므로, 주 라인에서 소비되는 다양한 부품들은 하부 라인이나 단위 작업장에서의 생산에 의해 미리 준비되어져야 한다. 그리고, 주 라인들에 부품을 공급하는 하부 라인과 단위 작업장들은 batch 단위로 생산을 하기 때문에 종류가 다른 batch들간에는 기종 변경이 발생할 수 있다. 이런 제약 조건들을 만족시키기 위하여 주 라인에 대해서는 주어진 계획 시간과 생산 주문에 대해 효과적으로 생산 계획을 세우는 방법과 보다 좋은 라인 효율을 얻을 수 있도록 라인에 제품들을 할당하는 방법이 필요하다. 주 라인에 부품을 적시에 공급해야 하는 단위 작업장과 하부 라인들은 그들의 생산 방식에 알맞은 batch 생산 계획 알고리즘이 필요하다. 공장내의 재고 공간이 제한되어 있기 때문에, batch 생산 계획 알고리즘은 부품의 재고를 일정 수준 이하로 유지하면서, 주 라인의 생산 계획을 제약 조건으로 하여 batch 생산의 순서와 시작 시기를 결정하여야 한다.

개발된 MES는 공장의 주 생산 계획 시스템으로부터 제품 종류, 수량, 납기 등으로 구성된 생산 주문을 입력받아, 1) 수주된 주문들로 주 라인과 하부 라인에 대한 생산 계획을 수립하고, 2) 생산 계획의 진행상태를 관리, 통제하며, 3) 이상 상황이 발생하거나, 생산 계획과 실제 생산 결과와의 차이가 일정 기준보다 커지면 생산 계획을 재구성하고, 4) 필요한 통계치와 데이타들을 갱신하고 보존한다.

2. 구축 시스템의 구조

대상 공장에는 관리 계층과 각 관리 계층에서의 역할이 확실히 세워져 있기 때문에 생산 공정을 관리하기 위해 이용되는 구조도 실제 관리 계층과 MES계층이 일치하도록 계층적 구조로 개발하였다. MES 시스템의 각 주요 모듈들은 관리 계층에 부합되는 적절한 기능들을 갖춘 객체 구조로 설계되어 있어서 4종류의 주요 모듈들에 관리 계층에서 동일한 기능을 수행하는 공장 관리자, 주 라인 관리자, 하부 라인 관리자, 단위 작업장 책임자 등의 이름을 사용하였다. 작업장 책임자는 라인을 구성하는 기계들을 관리하는 역할을 한다. 그러나, 단위 작업장 책임자는 주어진 작업만 수행하는 다른 작업장 책임자들과는 달리 스스로의 생산 계획을 세우고 그 진행을 모니터링하기 때문에 주요 모듈의 하나로 포함되었다. MES의 구조는 그림 2에 도시되어 있다.

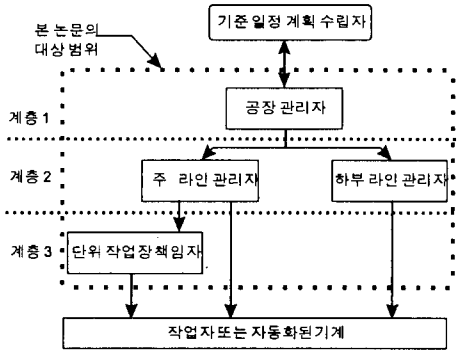

그림 2. MES의 구조

한 계층의 모듈에 대한 입력 정보는 한 계층 위나, 한 계층 아래의 모듈로부터 발생된다. 한 계층 위에서 입력이 발생하였을 때에는, 일반적으로 위의 계층에서 보내온 제약하에서 생산 계획을 하라는 지시이다. 상위 계층으로부터 계획 지시를 받았을 때, 모듈은 시스템의 현재 상태(다른 제약 조건들)와 시스템 데이타베이스에서 읽어온 파라미터값들을 이용하여 주어진 제약 조건하에서 생산 계획을 세우게 된다. 만약 이런 시도가 성공하지 못하면, 해당 모듈은 입력을 보낸 모듈에 실패의 이유와 실패에 대한 보고서를 다시 돌려보내고, 시도가 성공을 하면, 결정된 생산 계획을 데이타베이스에 저장하고 적절한 모듈에 생산 계획의 변경을 알리는 신호를 보낸다. 이 신호는 보통 한 계층 아래의 모듈에 대한 생산 계획 지시로 이용되기도 한다. 아래 계층에서의 모듈에 대한 입력은 사건 발생에 대한 보고이거나 지시에 대한 피드백 정보이다. 만약 아래 계층에서 피드백되어온 정보가 생산 계획 시도에서의 실패일 경우 모듈은 함께 올라온 정보와 제약 조건들을 통합하여 다른 생산 계획을 수립하고, 그 결과를 다시 생산 계획에 대한 지시로 하위 계층의 모듈로 보낸다.

3. 주요 모듈들과 그 기능들

앞에서 언급한 것과 같이, 본 연구에서 개발한 MES는 세 개의 통제 계층과 네 개의 주요 모듈들을 가지도록 설계되었다. 주요 모듈들로 공통적으로 있는 중요한 기능들은 생산 계획을 수립하고, 설비들을 모니터하는 기능들이며, 시스템 데이타베이스에 있는 여러 데이타들과 통계치들을 갱신, 유지하는 것도 그 기능들의 일부라고 할 수 있다. 모듈들간

의 통신은 공장내의 컴퓨터들을 연결하는 LAN을 이용하여 이루어진다. 그러나, 세 계층에 있는 모듈들 간에는 정보교환의 대부분이 데이타베이스에 정보를 쓰거나 데이타베이스로부터 정보를 읽어오는 형태를 취하고, 프로세스간의 직접적인 메시지 교환은 한 모듈이 다른 쪽에 데이타베이스의 정보가 변경되었음을 알릴 때만 사용된다.

1) 공장 관리자

MES내의 최상위 계층에는 하나의 공장 관리자가 있다. 이 공장 관리자의 주목적은 상위시스템인 기준 일정 계획(Master Production Scheduling)시스템으로부터 수주된 생산 주문을 납기 내에 끝마칠 수 있도록 주 라인들의 작업량을 평준화 시켜 주는 것이다. 공장 관리자는 상위 시스템으로부터는 생산 주문을, 하위 계층인 라인 관리자로부터는 라인 이상상황 발생보고를 입력받고 이에 대해 다음과 같이 수행한다. 제품 종류, 수량, 납기로 구성된 생산 주문을 입력받았을 때는 먼저 계획 대상기간내에서 각 라인의 가능한 능력과 생산 주문의 제품 종류를 참조하여 라인 선호도를 체크하고, 그 정보들에 기초하여 개발된 알고리즘에 따라 적당한 라인에 주문들을 할당한다. 라인 관리자로부터 주 라인들 중의 하나가 고장으로 인하여 생산이 불가능하게 되었다는 보고를 받았을 때는 그 라인에 할당되어 있던 작업량을 나머지 라인들로 재분배시킨다. 이 경우에 고려되어야 할 주문들의 수가 많을 수도 있지만, 하나의 생산 주문을 라인에 할당할 때와 동일한 방법을 사용한다.

2) 라인 관리자

라인 관리자에 대한 정보의 입력은 두 가지가 있다. 하나는 공장 관리자의 주문 할당 정보인데, 이 정보가 들어오면 라인 관리자는 할당된 주문들을 이용하여 혼류 패턴 생산 계획을 수립하고, 수립된 생산 계획에 따라 초기 부품들을 주 라인에 투입하도록 지시한다. 라인 관리자는 혼류 패턴 생산 계획 수립 시에 계획 대상기간을 일정 기간으로 하여 시간을 진행시키면서 계획을 조정해 나가는 연동구간 계획(Rolling Horizon Scheduling)방법을 사용한다.[3] 그 이유는 실제 생산을 할 때, 계획한 대로 생산이 정확히 진행된다는 보장이 없고, 계획된 주문 이외에 긴급 주문이 내려올 수도 있기 때문이다. 라인 관리자에 의해 생성된 패턴 생산 계획은 고정(frozen), 유동(slush), 미정(liquid)의 3 가지 형태로 나뉠 수 있는데, 고정 생산 계획 기간동안은 하부 라인과 단위 작업장의 부품 공급 준비를 위한 선행 생산을 위해서 생산 계획이 고정되어진다. 유동 생산 계획 기간동안에 수립된 패턴 계획은 계획 시점에서의 공장 상황을 고려하여 변경되어질 수 있다. 미정 생산 계획 기간동안의 주문들은 공장 관리자에 의해서 라인에 할당은 되었으나 라인 관리자에 의해서 생산계획이 이루어지지는 않은 주문들이다. 패턴 생산 계획이 수립되었을 때 관리자는 작업자나 PLC로 하여금 초기 부품들을 주 라인에 투입하도록 지시하고, 주 라인에 속한 단위 작업장과 하부 라인들에 데이타베이스를 이용하여 부품 생산에 대한 요구를 한다.

다른 입력 정보는 주 라인과 단위 작업장 책임자의 기계들에서 올라오는 정보이다. 그런 정보들은 모니터링 데이타, 기계 고장, 하위 계층에서의 생산 계획 시도의 실패 보고 등으로 분류될 수 있다. 모니터링 데이타의 경우에는 라인 관리자들은 올라온 정보를 이용하여 통계치를 갱신하거나, 모니터링 데이타와 생산계획이 너무 차이가 나서 현재의 계획이 변경되어야 할 정도라면 재계획을 수립하여야 하며, 이상 상황 발생의 경우에는 고정된 생산 계획을 갱신하거나 상위계층에 요청하여 공장 관리자가 주문들을 재할당하도록 한다.

주 라인 관리자의 생산 계획 문제는 주 라인, 하부 라인, 단위 작업장의 능력 하에서 주문의 납기를 준수하면서 라인의 생산량(throughput)을 최대화하기 위하여 패턴종류와 생산 기간을 결정하는 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 휴리스틱 알고리즘이 개발되었는데, 그 기본 개념은 초기 패턴 생산 계획을 만들고, 현장 상황과 시간의 진행에 따라 보다 효율적인 생산 계획으로 갱신해 나가는 것이다. 초기 패턴 생산 계획은 납기와 능력을 고려하면서 전진전개(forward) 방식으로 주문들을 처리하는 방법으로 수립된다.

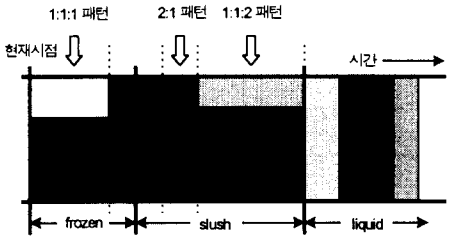

그림 3. 패턴 생산 계획 결과

3) 하부 라인 관리자

하부 라인 관리자의 상위 계층은 공장 관리자이고 하위 계층은 작업장 책임자이다. 하부 라인 관리자의 주 기능은 주 라인 생산 계획이 원활히 수행되도록 하부 라인작업을 생

산 계획하는 것이다. 하부 라인에서의 생산 계획 문제는 주어진 생산 능력, 버퍼의 크기, 기종 변경 시간을 제약 조건으로 하여 주 라인에서 요구되는 시간 전에 부품들의 batch들을 생산하는 생산 계획의 수립이다. 하부 라인은 재고에 대한 제한이 없기 때문에 필요한 부품들은 하루 단위로 생산한다.

4) 단위 작업장 책임자

단위 작업장 책임자의 상위 계층은 주 라인 관리자이고 하위 계층은 기계 조작자이다. 주 기능은 batch 생산 계획을 수립하는 것인데, 하부 라인 관리자와 비슷하지만 버퍼의 크기가 작다. 일반적으로 batch 생산계획을 수립하는 방법에서는 Cycle time을 최대화하거나, 기종 변경 횟수를 최소화하는 것을 목적으로 삼는다. 그러나, 계획에서 고정된 패턴이 지속되는 기간이 아주 짧기 때문에 사이클 타임을 최대화하는 것은 별로 효과적이지 못하다. 그래서 기종 변경 횟수를 최소화하기 위해서 Block stacking 알고리즘이 개발되었다. Block은 부품의 최소 batch 크기를 나타낸다. Block stacking 알고리즘은 그림 4에 나타나 있다.

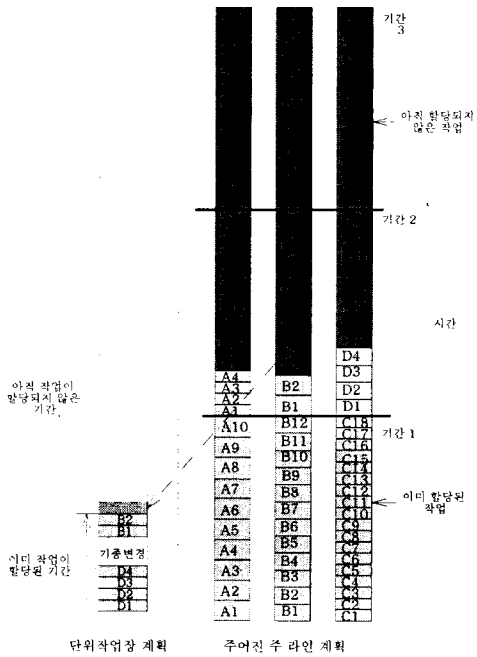

그림 4. Block stacking 알고리즘

4. 시스템 구축 환경

본 연구에서 개발된 MES는 기준 일정 계획을 수립하는 SAP R/3로부터 생산 주문을 입력받는다. 공장 관리자와 라인 관리자는 호스트 컴퓨터(HP-9000)에서 실행되고, 나머지 모듈들은 정해진 PC에서 실행된다. DBMS로는 ORACLE을 사용하였고, 시스템 하드웨어들은 LAN으로 연결되어있다.
프로그램은 C 언어를 이용하여 작성하였고, 사용자 인터페이스는 X-window Motif를 이용하여 구현하였다. PLC를 이용하여 기계로부터의 정보를 수집하며, 기계와 PLC간의 통신은 Field bus를 이용하여 이루어진다.

5. 결론

이미 기준 생산 계획 시스템을 설치한 혼류 조립 공장에서 계획 시스템으로부터의 주문을 공장 상황에 맞게 세부 계획으로 바꾸고, 생산 상황을 모니터링하기 위하여 MES를 개발하였다. MES의 기능들은 계층적인 관리자(공장 관리자, 라인 관리자, 단위 작업장 책임자)들로 모듈화 하였다. 또한, 혼류 조립 라인을 위한 알고리즘과 혼류 조립 라인에 부품을 공급하는 하부라인을 위한 알고리즘을 개발하였다. 개발된 시스템은 대상 공장에 적용되어 효율적으로 역할을 수행하고 있다.

REFERENCES

[1] Dobson, G., Karmarkar, "U. S., and Rummel, J. L., (1987), Batching to Minimize Flow Times onOne Machine", *Management Science*, Vol. 33, No. 6, pp. 784-799.

[2] Doll, C. M., and Whybark, L. J., (1973), "An Iterative Procedure for the Single Machine Multi-Product Lot Scheduling Problem", *Management Science*, Vol. 20, No. 1, pp. 50-55.

[3] Miltenburg, G. J,. and G. Sinnamon, (1989), "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just In Time Production Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, pp. 1478-1509.

[4] 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", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 17, pp. 233-247.