

MRP와 간반을 결합한 혼합시스템의 설계에 관한 연구

Design of a Hybrid System in Integrating Kanban with MRP

*송태영 박진우

서울대학교 산업공학과

Abstract

생산시스템에 대한 연구는 주로 hybrid생산 시스템 효율성의 우위를 비교적 단순한 생산환경에서 부각시키는데 초점이 맞추어져 왔다. 본 연구에서는 실제 생산 환경에 근접한 모형을 세우고 MRP생산 시스템과 JIT 생산 시스템을 통합하는데 있어서 고려할 요소로서 기존의 MRP에 의한 간반의 자동 생성 이외의 다기능 작업자와 간반의 우선순위의 추가 요소를 고려하였다. 본 실험에서는 유희한 상태의 다기능 작업자를 이를 필요로 하는 work centers로 배치하는 법칙을 도출하였고 간반의 우선순위를 부여함으로써 보다 재고 수준을 줄여 제품의 흐름생산에 가깝도록 하였다. 위 실험은 카메라 제조업체를 대상으로 모의실험은 Arena를 이용하였다.

1. 서론

기업의 생산시스템은 그 제조환경에 따라 MRP 생산시스템과 JIT 생산시스템으로 크게 나뉜다. 그러나 다양한 품목과 수요를 가지는 실제 생산현장에서는 MRP를 이용한 계획생산과 간반을 이용한 JIT생산방식이 엄연히 존재한다. 이는 각각의 생산시스템의 잇점을 동시에 취할 필요가 있기 때문이다. 즉 ATO (Assembly To Order) 환경과 같이 제품을 구성하는 부품 또는 모듈의 수요가 비교적 일정한 경우도 있고, 경우에 따라서는 일정하지 않은 경우도 있다. 이러한 경우 위 두 생산시스템을 동시에 적용하는 것이 바람직하고 실제로 많은 제조환경에서 이 방법을 사용하고 있는데 이와 같은 생산시스템을 Hybrid 생산시스템이라고 한다.

일반적으로 MRP를 운영하여 다품종 소량생산을 하고있는 모기업 일지라도 다음의 경우에는 JIT 생산방식의 혼용을 피하게 된다.

- 1) 일부 부품의 수요 패턴이 일정하여 재공품을 줄이고자 하는 경우
- 2) 특정부품의 외주업체가 JIT 생산방식을 사용하고 있는 경우
- 3) 전체 제품의 Lead time은 길어 부품에 대한 MRP식 계획생산을 하고 있지만 최종 모듈만 조립하는 라인의 Lead Time은 짧아서 최종 조립라인의 경우 JIT식 생산을 고려하고 있는 경우이다.

1.1 Hybrid 생산시스템 연구현황

1988년 karmarkar에 의해 Push Pull 복합생산시스템의 운영에 대한 개괄적인 모형이 제시되었다. 이후 수리적 모형에 의한 복합생산시스템의 높은 효율성을 밝힌 논문들이 그 뒤를 따르게 되었다.¹⁾ 위같은 논문에서 주된 효율성 측정 척도로서는 주로 최적 간반의 개수²⁾, Mixed product line sequence, JIT Performance³⁾등이 사용되었다. 그러나 이와 같은 수리적 모형에 의한 복합생산시스템의 단점으로는 실제 제조환경에 적용하기는 매우 힘들 뿐더러 이론적인 관점에만 너무 치우친 지적을 받고 있다. 이에 실제 현장에 적용될 수 있는 복합생산시스템의 설계와 사례연구에 대한 연구가 그 뒤를 잇게 되었다.⁴⁾

지금까지의 Kanban 과 MRP의 통합에 관한 연구는 크게 수리적 모형과 사례연구로 나누어져 있음을 알 수 있다. 전자의 경우 그 연구 성과에도 불구하고 실제 현장에 적용하기 힘들다는 비판⁵⁾을 받고 있다. 또한 후자의 경우 실제 통합을 구현한 실제 기업을 사례로 들면서 효율성 향상을 정량적으로 제시하고 있지만 보편적인 회사에 모두 적용될만한 통합의 모형이기보다는 해당 회사의 고유한 특성만을 고려한 모형이라고 보는 것이 더 적당하다. 이에 본 연구에서는 hybrid system을 사용하고 있는 회사에서 보편적으로 쓰일 수 있는 모형을 설계함과 동시에 기존의 연구에서 간과되었던 요소들

1 Thom J. Hodgson & Dingwei Wang

2 Vijay S. Nori and Bhaba R. Sarker

3 Crawford, M. and Cox

4 Sylvain Landry and Claude P. Duguay

5 Prashanth B. Nagendra and Sanchoy

을 포함한 모형의 설계에 초점을 두었다.

1.2 연구의 목적

위의 현황분석에서 나타난 MRP와 JIT 시스템을 복합적으로 사용하는 Hybrid system의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- MRP 출력물에서 간반의 개수를 자동으로 생성하여 준다.
- 단순한 작업장을 모형화 하고 확률적 모형을 세운 후 Hybrid system의 효율성을 입증한다.
- 다양한 품목에 대한 간반이 존재할 때 간반 선택의 우선 순위를 부여하는 방법을 고려한다.

그러나 기존의 hybrid system에 대한 연구들은 그 실용적인 측면에서는 적지 않은 비판을 가지고 있다. 즉 hybrid system을 구성하는 제조현장의 여러 요소를 충분히 고려했다고 보기 힘들기 때문이다. 기존 Hybrid system의 현황분석에서 본 부족한 점은 다음으로 요약될 수 있다.

- Hybrid 생산 시스템을 구성하는 JIT 부분 중에서 오직 간반 개수만을 MRP에서 계획할 대상으로 삼았다는 점

- 간반과 동시에 실제 현장에서 재공품 감소의 재원이 될 수 있는 다기능 작업자 (multi tasking worker)에 대한 계획 통제 방안은 없다는 것을 들 수 있다.

다기능 작업자란 현재 작업라인이 일정기간 유희한 상태라면 특정 작업라인에 가서 작업을 도와 줄 수 있는 작업자를 가르킨다. 실제 현장에서는 이러한 작업자에 대한 통제규정이 명확히 명시되어 있기보다는 현장 작업자의 추상적인 판단에 따라 통제된다. 따라서 다기능 작업자는 간반과 마찬가지로 수요변동이 많은 환경에서 작업장의 재공품 감소에 기여할 수 있는 자원이 된다.

이에 본 논문의 연구 주제는 다음의 3가지 기능을 담은 Hybrid system을 구성하는 것이다.

첫째, 다기능 작업자와 간반과의 연관관계를 고려한 간반 개수 생성한다는 점이다.

주 단위 MRP를 수행한 후 제품의 수요의 변동이 생겼을 때 기존의 JIT생산라인에서 변동사안은 간반수의 변화이다. 즉 해당 작업장의 수요량이 증가되면 간반의 개수도 증가되어야 한다. 이때 간반수의 증가에 앞서 이 작업장에 가용한 다기능 작업자를 투입해서 라인의 생산 용량을 늘이는 방법이 먼저 고려될 수 있다. 이를 고려함으로써 얻는 잇점이라 함은 단순히 간반의 개수를 증가시킬 때 초래되는 재공품량의 증가를 억제할 수 있다는 점이다.

둘째, Product Mix가 존재하는 환경에서 다기능 작업자의 파견 법칙 선정한다.

이제 특정 작업장에 대한 주 단위의 투입 작업자 수와 간반 개수가 결정되었다고 가정하자. 하지만 개개 Product의 수요량은 일단위로 보았을 때 역시 수요량의 변화가 있을 수 있다. 이는 각 품목별 납기일이 다른 점에 기인한다. 이에 특정라인에 이미 배치된 다기능 작업자라 할지라도 필요하다면

여러 제품의 '수요변동에 대처하기 위해 다른 작업장에 투입될 수 있다. 이때 어떤 환경에서 어느 작업장으로 다기능 작업자를 파견할 것인가에 대한 rule이 필요하다. 이를 선정하는 것이 기능2의 역할이다.

세째, 이를 바탕으로 간반의 우선순위 부여한다. 실제 현장의 작업장에서 여러 제품에 대한 간반이 있을시 어느 간반을 선택할 것인가에 대해 명확한 법칙이 없다. 다만 많이 누적된 품목의 간반을 선택하도록 작업자에게 재량권이 부여된 경우가 대부분이다. 이와 같은 방법은 단일품목을 생산하는 serial한 생산라인에서는 좋은 방법이지만 product mix가 존재하는 환경에서도 반듯이 좋은 방법이라고 볼 수는 없다. 이제 본 연구에서는 제품 구성 부품의 수요를 보다 일정하게 하여 부품이 작업장에서 머무르는 시간을 줄이려는 시도에서 간반선택에 있어서 우선순위를 부여하는 기능을 추가하고자 한다.

2 본론

2.1 Hybrid system의 구조도

서론에서 제시된 3가지 기능을 가지고 있는 Hybrid system의 구조도를 나타내면 다음과 같다. 즉 입력 데이터는 기존의 MRP에서 출력되는 각 품목별 발주량이며 출력 데이터는 작업장에 소요되는 작업자수, 작업자 파견 법칙, 간반 개수, 그리고 간반의 우선순위로 열거된다. 구조도는 3가지의 서브모듈을 포함하고 있다.

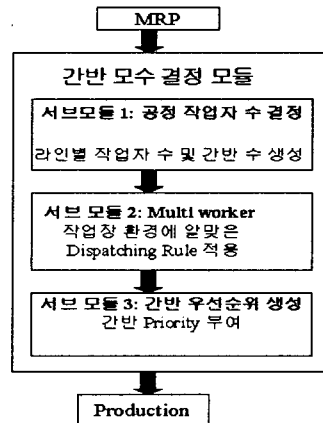


그림 1 본 논문에서 제안하는 hybrid system의 구조도

2.2 모듈 1: 공정의 작업자 수 및 간반의 수 생성

공정의 작업자 수 및 간반의 생성은 다음의 공식에 의거한다.

$$\text{작업자의 수} = \frac{D \times LC}{T} \quad \text{식 (1)}$$

D: 주당수요량
LC: 단위제품당 노동시간
T: 주당 노동시간

$$\text{간반의 개수} = \frac{D \times L \times (1 + \alpha)}{C} \quad \text{식 (2)}$$

D: 하위 작업장의 수요
L: 생산 리드타임
α: 안전 재고 계수
C: 컨테이너 용량

첫 번째 작업자 수를 구하는 공식에서 각 작업장 라인별로 필요한 작업자 수가 산출되게 된다. 이때 특정 품목이 기존의 수요량과 비교할 때 수요 변동이 클 경우 다기능 작업자는 해당 품목 생산라인으로 배치를 할 수 있다. 이로써 결과적으로 해당 생산라인의 생산용량을 늘리는 것이다. 기존의 Hybrid system에서 품목의 수요변동에 대처하는 방식은 단순히 식(2)에 의거하여 간반의 개수를 늘리는 것이었다. 간반수의 증가가 수요변동에 대비해 부품 품질의 상황을 예방할 수는 있지만 반대로 간반수의 증가는 곧 그만큼의 재공품 수의 증가를 의미한다. 이처럼 본 연구에서 간반을 구하는 차례는 각 작업장 라인별로 작업자 수가 결정된 다음에 수행되어 현장의 생산 자원을 보다 효과적으로 이용하여 재공품 수를 줄이는 효과를 의도하고 있다.

2. 3. 모듈 2: 다기능 작업자(Multitasking worker) 파견법칙(Dispatching rule) 선정

모듈 2에서는 주 단위 생산계획에 의거 선정된 라인별 작업자중 다기능 작업자가 일 단위 수요 변동에 따라 필요하다면 다른 라인의 다른 공정으로 이동 작업도 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 여기에서 다기능 작업자를 필요로 하는 환경을 명시하고 그 구체적인 파견 방법을 알아보기 위해 다음의 3가지 경우를 생각해 보자

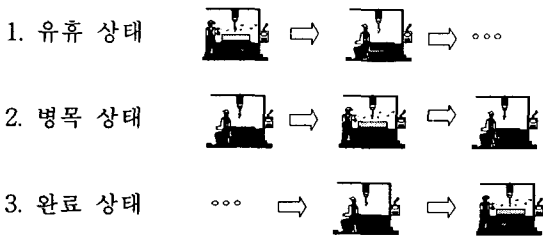


그림 2 다기능 작업자의 파견이 필요한 3가지 상태

첫 번째 유휴상태는 선행 작업장의 부품을 필요로 하는 여러 후행 작업장의 수요 상승으로 인해 여러 후행 작업장 중 한 작업장이 필요한 부품을 적시에 공급받지 못하고 유휴(idle)한 상태를 말한다. 이와 반대되는 경우가 세 번째 완료상태이다. 완료상태는 여러 후행 작업장의 수요가 전체적으로 평시보다 낮은 반면 특정 후행 작업장만 일손이 모자라는 경우로 이 경우에는 선행작업장의 다기능 작업자는 부품 생산 완료 상태에 있게 된다. 두 번째 상태는 병목공정 상태임을 의미한다. 즉 작업이 진행중인 특정 작업장의 선행 작업장은 완료상태이고 후행 작업장은 유휴 상태일 때의 중간 작업장의 상태를 병목공정 상태라 한다. 즉 위의 3가지 경우가 발생할 때 일을 하지 않는 작업장 중

다기능 작업자가 포함되어 있다면 이때 이 다기능 작업자는 다른 라인으로의 투입이 가능하게 된다. 그러므로 위의 3가지 경우는 언제, 어느 곳으로 다기능 작업자를 파견할 것인가에 대한 물음중 언제에 대한 부분을 정의하고 있다.

다음으로 어느 곳으로 보낼 것인가에 대한 부분, 즉 투입할 법칙에 대해 알아보자. 다기능 작업자 work machine에 할당하는 dispatching rule에는 Weeks and Rryer(1976), Cunther(1979)가 제안한 FCFS(first in first out), SPT(shortest processing time), LNQ(length of the queue) 들을 고려하였고 flow shop에서 의미 있는 LSF(last station first) Dispatching rule을 고려하였다.

이에 발생 가능한 상태 3가지에 4가지의 배치 방법을 생각해 볼 때 특정시점에 다기능 작업자를 파견하는 방법은 총 12가지를 고려할 수 있다.

[표 1] 작업장 상태별 파견법칙의 종류

	유휴	원료	병목
FIFO	rule 11	rule 12	rule 13
SPT	rule 21	rule 22	rule 23
LNQ	rule 31	rule 32	rule 33
LSF	rule 41	rule 42	rule 43

이제 어떤 작업장 환경에서 위에서 열거한 12가지의 방법 중 어느 방법이 가장 효율적인 방법인가를 알아내는데 있다.

작업장의 환경을 정의하는 변동 모수는 다양하다. 부품 수요율의 변동(coefficient of variation of demand), 다기능 작업자의 효율성(Utilization factor), 다기능 작업자의 수, Product mix의 수, 간반의 수, 그리고 작업장의 작업시간 등을 들 수 있다.

이중 Product mix, 간반, 작업장의 작업시간 등은 작업장의 특성상 이미 결정되어 있거나 도출 가능한 변수로 생각하고 나머지 모수들을 독립 변수로 보기로 하겠다.

2. 4. 모듈 3 간반 우선 순위 결정

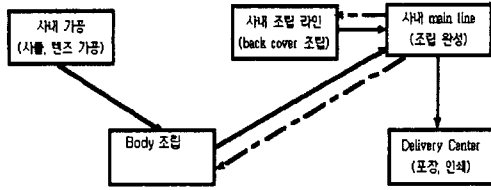
간반의 우선 순위를 생성하기 위해 기본적으로 Moden의 휴리스틱법을 사용하였다. 다만 여기서 산출되는 데이터는 부품 개개별로의 작업순서를 의미하는 것으로 Kanban을 이용한 생산시스템에서 이를 사용하기 위해서는 여기에 간반 컨테이너 용량만큼 batch 처리하는 절차가 필요하다. 즉 간반 컨테이너 용량의 제약조건이 더 추가된다.

2. 5. 모의 실험

본 논문에서 제시한 복합시스템의 Performance를 정량화 하기 위해 선정한 작업장은 카메라를 생산하는 제조업체이다.

품목 수: 970여 가지의 카메라 관련 품목, 이 중 완제품의 수는 30여 가지.

실험 대상 품목: 최 상위 공용 품목(common part) C8001001, C8002002, C8003002를 대상으로 하였다
구성 부품수: C8003002의 경우 4 수준의 390여개의 부품으로 BOM이 구성.



[그림 3] 작업장 라인 배치도

다기능 작업자에게 알맞은 파견법칙을 알아보기 위해 ARENA 3.5 모델링을 하였다. 독립변수는 제품별 수요율 변동, 다기능 작업자의 수 그리고 다기능 작업자의 Utilization factor 등은 다음과 같다.

제품별 수요의 변동: 수요의 변동에 있어서 Coefficient of variation of demand 가 0.7 미만일 때를 낮은 변동(low), 0.7~1.2 사이는 중간 변동(Medium), 그리고 1.2 이상은 높은 변동(high)로 두었다.

다기능 작업자의 수: 최대 3명까지 투입.

다기능 작업자의 효율수치(Utilization factor): 0.7 ~ 0.95.

실험 횟수: Dispatching rule 12가지에 반복횟수 3회 그리고 3가지 품목에 대한 수요변동은 세 가지 품목의 변동이 제각기 높을 때(High), 중간일 때(Medium), 그리고 낮을때(low)의 경우를 모두 고려한 9가지의 경우로 나누어 실시하여 총 실험 횟수는 모두 12 × 3 × 9 × 3 = 972 가지이다. 한편 실험에 있어서 측정의 기준은 해당 기간동안의 제품 산출물이다.

2. 6 실험 결과

전반적인 빈도 측면에서 병목상태에서의 파견 법칙(즉 R1,2,3,43)과 최종 조립라인으로의 파견 법칙(즉 R41,2,3)이 빈도 측면에서는 가장 많았다. 다만 이는 다양한 시스템의 환경 하에서 변동의 소지가 있을 수 있는데 각 독립변수별로 Performance 향상에 끼치는 영향은 다음과 같이 정리 될 수 있다.

1. 다기능 작업자

다기능 작업자의 수가 증가됨에 따라 산출량도 증가됨을 알 수 있다. 하지만 선형적으로 증가하는 것은 아니며 다기능 작업자의 수가 증가함에 따라 그 산출량 증가의 폭은 점차 줄어든다. 다기능 작업자가 산출량의 증가에 영향을 끼치되 그 효과는 다기능 작업자의 수에 비례하지는 않음을 알 수 있다.

2. Utilization factor

동일한 다기능 작업자의 수와 동일한 수요변동 하에서도 Utilization factor의 정도에 따라 선호되는 rule이 달라 질 수 있다. 즉 Utilization factor가 높을 때에는 주로 SPT(Short Processing Time)측면에서 우수한 작업장으로 작업자를 파견하는 rules(R21, R22, R23)가 선호되었으며 R2, 낮을 때에는 LNQ(length of the queue)가 큰 작업장으로 작업자를 파견하는 rules(R31, R32, R33)가 선호되었다.

3. 수요 변동

수요변동의 차이에 따라 알 수 있는 특징은 수요변동이 높을 시에는 R43 (병목상태에서 최종 조립라인으로 파견)이 빈도 측면에서 가장 많이 선호되었으며, 낮을 시에는 R41(유휴상태에서 최종 조립라인으로 파견), R42(완료 상태에서 최종 조립라인으로 파견)등이 선호되었다.

한편 간반수의 변화에 있어서는 4주간의 주문량 바탕으로 평균 150분이 소요되던 최종조립라인에서의 제공품의 제공기간이 최소 16.2분에서 최대 46분으로 감소하였다.

3. 결론 및 추후 연구과제

다양한 Rule이 일정한 법칙 없이 특정한 모수 환경에서 선호됨을 알 수 있다. 위 실험결과 및 수치들은 MRP수행에 있어서 feed back data로 반영되어 이후 생산능력 향상에 기여하게 된다.

Hybrid 생산 시스템의 독립 변수로서 다기능 작업자, Utilization factor, 그리고 수요의 변동을 들 수 있었다. 또 Product Mix가 있는 환경에서 MRP를 바탕으로 JIT 생산 시스템에 계획 기능을 보강함으로써 복합시스템의 효율성을 높일 수 있었다. 본 연구에서는 이러한 효율성 향상의 척도로서 생산라인내 제공품 수의 감소, 간반수의 감소들을 제시하였다.

한편 Product Mix가 확장 되었을 때, 그리고 보다 다양한 파견법칙을 적용하고 싶을때는 추가적인 실험이 요구된다. 이를 위해 실험 모형의 재활용성을 높이기 위한 user interface를 적용함으로써 현장 관리자의 의사결정을 위한 유용한 도구로 활용될 방안에 대한 추가적인 연구작업이 필요하다.

4. 참고문헌

Thom J. Hodgson & Dingwei Wang Optimal hybrid push/pull control strategies for a parallel multistage system Part I, Part II International Journal of Production Research 29, p 1279-1287

Vijay S. Nori and Bhaba R. Sarker Optimum number of Kanbans between two adjacent stations Production Planning & Control, 1998, Vol.9, No. 1, p60-65

Crawford, M. and Cox J. Design Performance Measurement Systems for JIT Operations International Journal of Production Research, Vol.28, No.11, p2025-2036, 1990

Sylvain Landry and Claude P. Duguay Integration MRP, Kanban and Bar coding to achieve JIT Procurement Production and Inventory Management Journal - First Quarter, 1997

Prashanth B. Nagendra and Sanchoy K. Das MRP/sfx : a Kanban-oriented shop flow or extension to MRP Production Planning & Control 1999, Vol. 10, No. 3.