

생산계획 단계를 고려한 Job Shop 환경에서 Order Release 정책의 유효성에 관한 연구

An Evaluation of Workload Limited Order Release Strategies considering Planning Stage in a Job Shop

최병대*, 이기창**, 김기동***, 박진우**

* 동양시스템하우스

** 서울대학교 산업공학과

*** 강원대학교 산업공학과

Abstract

Order Review/Release(ORR) 시스템은 생산계획 시스템과 작업현장간의 연결고리로서, 작업현장으로의 작업투입을 조절하여 작업현장에서의 체류시간과 공정중재고, 리드타임의 변동을 줄여주는 역할을 한다. 그러나, 지금까지의 ORR에 관한 연구들은 ORR의 유효성에 관하여 명확한 결론을 내지 못하고 있다. 일부는 ORR이 작업의 전체 리드타임을 증가시키는 악영향이 있음을 주장하고, 일부는 ORR을 도입함으로써 작업현장에서의 리드타임과 공정중재고가 줄어들고, 안정화될 수 있다고 주장한다.

본 연구는 어떠한 환경에서 Order Release 정책을 도입하는 것이 시스템의 성능향상에 기여할 수 있는지 확인하는 것을 목적으로 하고, 가상의 Job Shop을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 작업장 가동률 수준과 생산계획 단계에서의 계획오더 이송간격을 환경변수로 설정하고, 작업현장의 부하를 고려하여 작업투입을 통제하는 다섯 가지 Order Release 정책과 세 가지 우선순위규칙을 적용하여 실험하였으며, 리드타임, 납기, 공정중재고 등과 관련된 8가지 척도에 대해 각 정책을 평가하였다.

그리고, 계획시스템의 부하평준화 기능이 존재할 때, Order Release 정책의 도입으로 인한 효과가 더 크다는 기존의 연구결과를 검증하기 위해, 부하평준화를 적용하였을 때 Order Release를 통제하지 않는 정책과 통제하는 정책간의 성능향상 차이가 있는지를 확인하는 실험을 수행하였다.

실험결과, ORR 보다는 우선순위규칙이 시스템의 성능을 결정하는 주요 통제정책으로 밝혀졌다. 그러나, 생산계획시스템에서 1주 간격으로 계획오더를 이송할 때는 Order Release 방법을 적용하여 작업현장에서의 평균 리드타임과 리드타임의 변동, 공정중재고가 줄어드는 결과를 보였고, 가동률 수준이 높을수록 ORR 방법간의 차이가 크게 나타났다. 그리고, 부하평준화 기능은 Order Release 정책의 유효성에 별 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 결론적으로, Order Release 방법은 우선순위규칙간의 성능 차이를 줄이거나, 대체할 수 있는 통제 기법이라기보다는 우선순위규칙을 보완하여 공정중재고와 작업현장에서의 리드타임, 리드타임을 편차를 줄여주는 역할을 한다고 볼 수 있다. 그리고, 계획시스템이 존재하여 계획오더가 일정기간간격으로 이송되는 환경에서 특히 유용하다는 결론을 얻었다.

주요어: Order Review/Release, 우선순위규칙, 생산통제정책, 시뮬레이션

1. 서론

생산계획 및 통제시스템은 수요와 생산용량을 고려하여 품목별 생산량을 결정하는 생산계획시스템과 제조현장에서의 작업의 흐름을 효율적으로 통제하는 생산통제시스템으로 구성된다.

생산계획시스템은 기준데이터(품목마스터, BOM, 라우팅 등)의 정확성과 제조현장에서의 안정성이 이

루어질 때 실행가능하고 안정적인 생산계획을 수립할 수 있다. 역으로, 효율적 생산통제를 위해서는 생산용량을 고려한 가능한 생산계획이 수립되어야 좋은 성능을 가져올 수 있다.

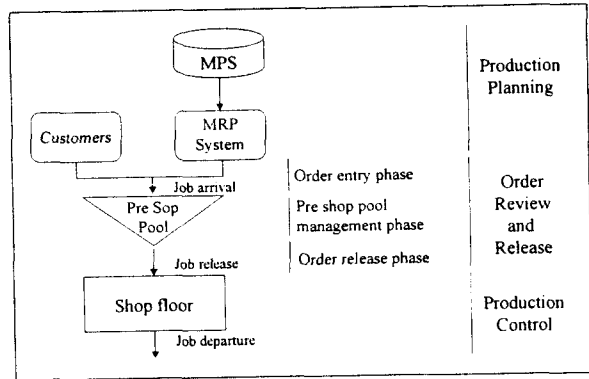
Order Review/Release(ORR) 시스템은 작업현장 통제시스템에 앞서 계획시스템과 통제시스템을 연결해주는 역할을 한다. ORR은 어떤 오더를 언제, 어떤

조건하에서 작업현장으로 내려보낼 것인가를 결정함으로써 작업현장에 과부하나 불균형을 방지하기 위해 작업의 투입을 통제함으로써, 공정중재고와 리드타임을 줄이고, 안정적으로 유지할 수 있는 가능성이 있다. 개념적으로는 적절한 ORR 정책을 사용하면 생산율이나 가동률의 저하 없이 인도기간과 납기관련 성능의 향상을 가져올 수 있을 것 같다. 그러나 기존의 연구는 항상 이러한 결과를 보여주지는 않는다. Melnyk et al. (1994)은 ORR 시스템에 대해 "research paradox"라고 표현한다. 많은 현장관리자들은 작업현장의 성능을 향상시키기 위해 ORR 시스템을 광범위하게 사용하여 왔지만, ORR에 관한 연구들은 ORR의 효용성에 대해 일관된 결과를 얻지 못했다는 것이다. 일부 시뮬레이션 연구들에 의하면 ORR을 적용하면 대기작업이 안정화되고 줄어들어 shop flow time은 줄어들지만, 전체 시스템 flow time은 감소하지 않고 오히려 증가한다는 것을 보였다(Melnyk et al. 1989). 그리고 Baker (1984)와 Bertrand (1983)은 ORR보다는 우선순위규칙이 시스템의 성능에 훨씬 큰 영향을 미친다고 주장한다. 그러나 Bechte(1988)와 Perona et al.(1996) 등은 시간별, 작업장별 작업부하를 평균화하는 적절한 ORR 방법을 적용하면 가동률과 생산율을 높이면서도 리드타임과 납기관련을 동시에 향상시킬 수 있다고 주장한다. 그리고 일부 연구들은 계획시스템에서 부하평준화(load smoothing)와 ORR을 결합하면 시스템의 성능향상을 가져올 수 있음을 보여준다(Melnyk et al., 1991, 1994, Fredendall et al., 1995 and Park et al., 1995). 다시 말해, ORR의 유효성에 관해서는 연구자들간에 의견일치가 이루어지지 않은 분야라고 할 수 있다. 본 연구는 Order Release 정책을 도입하면 작업현장의 여러 가지 성능평가척도에 대해 어떠한 효과를 미치는지를 밝히는 것을 주요 목적으로 한다.

2. ORR 시스템의 구성

Order Review/Release 시스템은 세 가지의 주요 단계-Order Entry Phase, Pre Shop Pool Management, Order Release Phase-로 구성된다([그림 1]).

먼저 Order Entry Phase는 ORR과 계획시스템이 접속하는 부분으로 계획오더 이송간격마다 계획오더나 고객오더를 Pre Shop Pool로 이송하는 것을 담당하며, 다음의 기능들을 수행한다.



[그림 1] Order Review/Release System (Bergamaschi et al. 1997)

- 라우팅 관리: 오더의 라우팅과 관련된 정보를 결정하고 필요한 툴, CNC 프로그램 등이 존재하는지 확인한다.
- Pick list 관리: 필요한 자재에 대해 pick list를 생성하고 자재가용성을 확인한다.
- 납기일 설정: 납기일(due date)을 생산계획 및 통제시스템 내부에서 선정한다면, 각 오더에 대해 인도일(delivery date)을 할당한다.

Pre Shop Pool Management는 PSP에 있는 오더들을 관리하는 역할을 하는데, 주로 오더들에 대한 우선순위를 결정하여 작업현장으로 투입되는 순서를 관리한다. Order Release Phase는 ORR 시스템의 핵심적인 의사결정 단계로서, PSP에 있는 오더들의 특성과 작업현장의 부하 및 상태를 분석하여 계획된 성능을 달성하기 위해서 어떤 오더를 언제 작업현장으로 투입할 것인가를 결정한다. 이러한 의사결정을 위해 현재 PSP의 상태, 현재 작업현장 상태, 제조리드타임, 납기 준수율 등과 같은 작업현장의 계획된 성능 등의 정보를 이용한다.

3. 실험 계획

3.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 대상시스템은 11개의 작업장으로 구성되고, 각 작업장은 동일기계로 이루어졌다. 작업장의 기계 수는 작업종류(Job Type)와 공정표(Routing)가 결정된 후, 예비실험을 통해 각 작업장의 가동률이 평준화되는 수준에서 결정하였다. 작업시간은 주 5일, 1일 8시간으로 가정하였으며, 기계 제약만 존재하고, 작업자의 제약은 고려하지 않았다. 또, 작업종류는 총 30 가지로 구성하여 공정표를 랜덤하게 결정하였다.

각 작업종류별로 도착시간간격은 동일한 평균을

갖는 음의 지수분포(Negative Exponential Distribution)를 따른다고 가정하였다. 가동률 수준의 차이에 따른 통제정책의 효과를 파악하기 위해, 가동률이 높을 때는 도착시간간격을 460분으로, 낮을 때는 480분으로 하여 실험하였다.

오더가 도착하면 먼저 Plan Order Pool로 들어간다. 계획시스템은 계획오더 이송기간마다 Plan Order Pool에 있는 계획오더를 모두 Pre Shop Pool로 이송하는 데, 이 때 각 오더의 납기는 다음과 같은 규칙을 적용하여 결정된다.

$$DueTime_i = PSPArrivalTime_i + K * TWK_i$$

여기서 $DueTime_i$ 는 오더 i 의 납기, $PSPArrivalTime_i$ 는 오더 i 가 계획시스템으로부터 PSP로 이송되는 시점이고, TWK_i 는 오더 i 의 총 작업시간이다. 본 실험에서는 K 를 7로 설정하였다.

3.2. 실험 인자(Experimental factors)

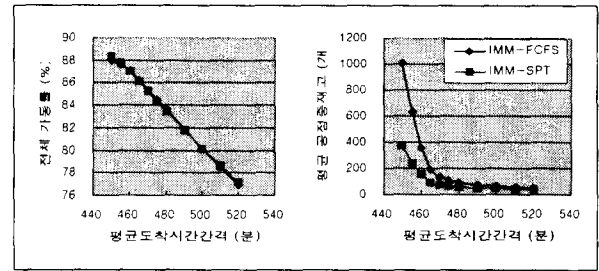
본 실험은 어떤 환경에서 Order Release 정책이 유용한지를 알아보기 위해 두 가지 환경변수-2가지 수준의 시스템 가동률, 3가지 계획단계에서의 계획 오더 이송간격-와 두 가지 생산통제정책-5가지 Order Release 방법, 3가지 우선순위규칙-을 실험인자로 선정하였다.

3.2.1. 환경적인 인자 (Environmental factors)

(1) 시스템 가동률 (Shop utilization)

본 실험에서는 가동률(부하수준)이 높거나 낮은 환경을 표현하기 위해 평균도착시간간격을 조정하였다. 먼저, 평균도착시간간격을 설정하기 위해 오더가 발생하면 바로 작업현장으로 투입되는 상황을 가정하고 FCFS와 SPT 우선순위규칙을 적용하여 평균도착시간간격이 변함(520분-450분)에 따라 가동률과 생산량이 어떠한 차이를 보이는지를 실험하였다. 실험결과([그림 2])를 보면 평균도착시간간격이 480분 일 때까지는 가동률과 공정중재고 수준이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 가동률이 높을 때는 평균도착시간간격을 460분으로, 가동률이 낮을 때는 480분으로 설정하여 실험을 수행하였다. 각 경우에 전체 시스템 가동률은 평균 87% 와 83%로 나타났다.

(2) 계획오더 이송간격 : 계획단계에서의 계획오



[그림 2] 평균도착시간간격과 가동률, 공정중재고의 관계

더 이송간격은 연속적으로 계획오더 이송 (NoP), 1일 간격으로 계획오더 이송 (P1), 1주 간격으로 계획오더 이송 (P5)으로 나누어 설정하였다.

3.2.2. 작업현장 통제정책 인자 (Shop control policy factors)

(1) 작업오더 Release 규칙(Order Release Rules)

① Immediate Release (IMM): 작업이 Pre Shop Pool에 도착하면 바로 작업현장으로 작업을 내려보낸다.

② Maximum Shop Load (MAX): 작업현장에 존재하는 총 부하의 상한(MaxSLoad)을 미리 설정하고, 현재 작업장의 부하가 MaxSLoad 보다 작으면, Pre Shop Pool에 있는 작업 중 첫 번째 작업을 작업현장으로 투입한다.

③ AGGWNQ: 작업현장의 총 부하가 미리 설정한 수준(MinSLoad) 이하가 되면 대기작업의 부하가 가장 작은 작업장을 선택하고, 이 작업장에서 첫 번째 공정을 시작하는 오더를 PSP에서 선택하여 작업현장으로 투입한다.

④ WCEDD: 각 작업장별로 부하수준을 미리 설정하고, 어떤 작업장의 부하가 미리 설정한 수준 이하가 되면 해당 작업장에서 첫 번째 공정을 시작하는 오더를 PSP에서 선택하여 작업현장으로 투입한다.

⑤ PBB (Order Release 간격: 480 분): 용량제한이 있고 앞으로 병목이 될 가능성이 있는 작업장로의 작업흐름을 제한하는 방법이다.

(2) 우선순위규칙(Dispatching Rules) : 본 실험에서는 우선순위규칙으로 FCFS, SPT, EDD를 선택하였다.

3.3. 성능평가 척도

본 실험에서 ORR 시스템의 성능을 평가하기 위한 척도는 평균흐름시간(Mean System Flowtime) 및 그 편차, 평균납기지연 및 납기지연작업수, 평균 공정중재고 (Average WIP), 생산량(Throughput) 등이다.

3.4. 실험 방법 및 절차

WITNESS 8.50을 이용하여 시뮬레이션 모형을 만들었다. 총 84개의 실험 셀에 대해 1600(200일)*11 시뮬레이션 시간 동안 실험을 진행시켜, 처음 1600 시간(warm up period)의 결과는 버리고, 이후 1600 시간마다 위의 성능평가 척도에 대해 결과를 수집하여, 각 실험 셀 마다 10 개의 실험결과를 얻었다 ('batch means' approach). 실험 셀 간의 variance를 줄이기 위해 동일난수(Common Random Number) 기법을 사용하였다.

4. 실험결과 및 분석

실험결과, 모든 환경에서 우선순위규칙은 생산량을 제외한 모든 척도에 대해 유의미한 차이를 보이지만, Order Release 방법과 두 인자의 교호작용은 가동률이 낮고, 계획오더를 연속적으로 이송하는 환경 (480-NoP)을 제외한 거의 모든 환경과 척도에 대해 유의미한 것으로 나타났다[표 1].

분석결과를 보면 어떤 우선순위규칙을 적용하느냐가 시스템의 성능을 결정하는 주요 결정인자라는 것을 알 수 있다. 모든 환경에서 SPT는 Mean System Flowtime, Mean Shop Flowtime, Average

[표 1] 유의수준 0.05에서 인자별로 유의하지 않은 환경

Factor	Mean Throuput	Mean Shop Flowtime	SD of Shop Flowtime	Average WIP
DR	480-NoP 480-P1			
ORR	480-NoP 480-P1 460-NoP 460-P5	480-NoP	480-NoP	480-NoP
DR* ORR	480-NoP 480-P1 460-NoP 460-P5	480-NoP	480-NoP 480-P1	480-NoP 480-P1

WIP, Percentage Tardy, Mean Tardiness 측면에서 매우 우수한 결과를 보였다. EDD는 Percentage Tardy와 Mean Tardiness, Mean Earliness 등에서 좋은 결과를 보이지만, 가동률이 높아지고, 계획오더 이송간격이 길어짐에 따라 성능이 떨어졌다. 그리고 Order Release 통제 방법과 함께 적용될 때 성능이 상당히 나빠지는 것으로 나타났다. FCFS는 SD of Shop Flowtime측면에서 전반적으로 우수한 결과를 보였다.

[표 2]는 Order Release 정책을 인자로 하여 부하 평준화에 의한 성능향상 정도의 차이가 통계적으로 유의미한지를 확인하기 위해 분산분석을 수행한 결과이다.

[표 2] Order Release 정책을 인자로 한 분산분석 결과 (* 유의수준 0.05에서 유의하지 않음)

Factor	Throuput	Mean System Flowtime	Mean Shop Flowtime	Average WIP	Percent Tardy	Mean Tardiness	Mean Earliness
ORR	0.54* (0.490)	0.001* (0.975)	1.371* (0.286)	1.361* (0.288)	0.016* (0.902)	0.172* (0.692)	0.124* (0.737)

실험결과 기존의 연구결과와 달리(Melnyk et al., 1991, Park et al., 1995), Order Release를 통제할 때와 그렇지 않을 때, 부하평준화 기능에 의한 성능향상 정도의 차이는 모든 척도에 대해 무의미한 것으로 나타났다.

Order Release 방법에 대한 특징은 다음과 같이 정리된다. 첫째, Order Release 방법에 의한 성능향상 정도는 우선순위규칙에 의한 향상에 미치지 못하지만, 전체 시스템 리드타임을 증가시키지 않고, 작업현장에서의 리드타임(Shop Flowtime)의 평균과 표준편차를 줄이고, 공정중재고 수준을 낮출 수 있는 장점이 있었다. 둘째, 계획오더를 연속적으로 이송할 때보다는 1주 간격으로 이송할 때 Order Release 방법에 의한 효과가 두드러지게 나타났다. 이러한 결과는 현실에서 ORR의 유용성을 보여준다고 할 수 있다.

셋째, 시스템의 가동률이 높을 때, Order Release 방법에 의한 효과가 크게 나타났는데, 이것은 현장에서 투입대기 중인 오더가 많을 때, 이러한 오더들 중 어떤 것을 언제 투입할 것인지를 결정하는 것이 중요해진다는 것을 의미한다.

넷째, Order Release 방법 중 어떤 것을 적용할 것인지는 환경과 우선순위규칙에 따라 달라지지만, 전반적으로 계획오더가 일정간격으로 이송되는 환경에서 SPT와 PBB를 함께 적용하였을 때 좋은 결과

를 보였다.

5. 결론

Order Review/Release 시스템은 생산계획시스템과 작업현장을 연결하는 부분으로 작업현장의 실 상황을 고려하지 못하고 세워진 계획에 대해, 작업현장의 부하나 작업의 상태를 반영하여 계획오더의 투입을 조정하는 역할을 하므로 실제 작업현장의 관리자들에게는 매우 중요한 통제정책으로 인식된다.

본 연구에서는 두 가지 환경변수-시스템 가동률, 계획오더 이송간격-를 설정하고, Order Release 방법과 우선순위규칙을 적용하여 시물레이션을 수행하고, Order Release 통제정책을 도입함으로써 생산시스템의 성능을 향상시킬 수 있는지 확인하였다.

실험결과 어떠한 환경에서도 우선순위규칙이 Order Release 정책보다 제조시스템의 성능에 훨씬 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 그러나 각 환경과 우선순위규칙에 따라 적절한 Order Release 통제정책을 도입한다면, 작업현장에서의 리드타임과 공정중재고 수준을 줄일 수 있음을 밝혔다. 따라서 Order Release 통제정책은 우선순위규칙을 비롯한 스케줄링 기법을 대체하기보다는 스케줄링 기법을 보완하는 역할을 담당한다고 볼 수 있다.

또한, 계획오더의 이송시간간격이 연속적일 때 보다는 일정기간별로 계획오더가 이송될 때, ORR 정책의 도입으로 인한 작업현장의 성능향상이 두드러지게 나타난다는 것을 보였다. 이러한 결과는 현실에서는 계획시스템이 존재하여 주기적으로 계획오더를 이송한다는 점을 감안한다면, 연구 결과와 실제 현장에서 ORR의 효과에 대해 상반된 견해를 보이는 한 가지 이유를 밝혀줄 수 있다.

그리고 시스템 가동률이 높을수록 ORR의 효과가 두드러지게 나타났는데, ORR 시스템이 실제 작업현장의 상황을 고려하여 계획단계에서의 용량계획을 보완할 수 있다는 가능성을 보여준다. 또, Order Release를 통제할 때와 통제하지 않을 때 계획시스템의 부하평준화로 인한 성능향상정도를 비교한 결과 기존의 연구의 결론과 달리 유의한 차이가 발견되지 않았다. 이 결과는 대상시스템과 부하평준화 방법의 차이에 기인한다고 보여진다.

6. 참고문헌

[1] Baker, K. R., 1984, The effects of input control on the performance of a simple scheduling

model. *Journal of Operations Management*, 4(2), 99-112.

[2] Bechte, W., 1988, Theory and practice of load-oriented manufacturing control. *International Journal of Production Research*, 26, 375-395.

[3] Bergamaschi, D., Cigolini, R., Perona, M. and Portioli, A., 1997, Order review and release strategies in a job shop environment: a review and a classification. *International Journal of Production Research*, 35(2), 399-420.

[4] Bertrand, J. W. M., 1983, The use of workload information to control job lateness in controlled and uncontrolled release production systems. *Journal of Operations Management*, 3, 79-92.

[5] Fredendall, L. D. and Melnyk, S. A., 1995, Assessing the impact of reducing demand variance through improved planning on the performance of a dual resource constrained job shop. *International Journal of Production Research*, 27, 1935-1948.

[6] Melnyk, S. A. and Ragatz, G. L. and Fredendall, L., 1991, Load smoothing by the planning and order review/release systems: a simulation experiment. *Journal of Operations Management*, 10(4), 512-523.

[7] Melnyk, S. A. and Ragatz, G. L., 1989, Order review/release: research issues and perspectives. *International Journal of Production Research*, 27, 1081-1096.

[8] Melnyk, S. A., Tan, K. C., Denzler, D. R., 1994, Evaluating variance control, order review/release and dispatching: a regression analysis. *International Journal of Production Research*, 32(5), 1045-1061.

[9] Park., P. S. and Salegna, G. J., 1995, Load smoothing with feedback in a bottleneck job shop. *International Journal of Production Research*, 33(6), 1549-1568.

[10] Perona, M. and Portioli, A., 1996, An Enhanced loading model for the probabilistic workload control under imbalance. *Production Planning and Control*, 7(1), 68-78.