생산계획 및 우선순위규칙에 따른 Order Release 정책의 유효성에 관한 연구

The Effectiveness of Order Release Strategies considering Production Plan and Dispatching Rules

최병대*, 이기창**, 박찬권***, 박진우**
Byung-Dae Choi, Ki-Chang Lee, Chan-Kwon Park, Jin-Woo Park

Abstract

Order Review/Release (ORR) System is the linkage between planning system and actual production. Reduction of the waiting time on the machines, work in process and lead time variation may be achieved by adopting ORR strategies. But researchers on the ORR do not agree on the effectiveness of ORR. Some say that the overall system flow time may be increased if ORR is adopted, but others say that ORR can reduce work in process, flow time and variation of flow time. The objective of this research is to clarify under what environments order release strategy is effective. Simulation study was conducted in a hypothetical job shop. The experimental results show that dispatching rule is much more important than ORR is in controlling the shop floor. But the results indicate that ORR can reduce mean shop flow time, average work in process and variation of shop flow time under such environments where utilization level is high and planned order is weekly released to the order pool. And the results also show that the effect of plan smoothing on the ORR is insignificant, which is inconsistent with the results of the previous researches.

* 동양시스템하우스
** 서울대학교 산업공학과
*** 영산대학교 경영학부

1. 서론

생산계획 및 통제시스템은 수요와 생산용량을 고려하여 품목별 생산량을 결정하는 생산계획시스템과 제조현장에서의 작업의 흐름을 효율적으로 통제하는 생산통제시스템으로 구성된다. Order Review/Release(ORR) 시스템은 작업현장 통제시스템에 앞서 계획시스템과 통제시스템을 연결해주는 역할을 한다. ORR은 어떤 오더를 언제, 어떤 조건하에서 작업현장으로 내려보낼 것인가를 결정한다. ORR은 작업현장으로의 작업투입을 조정해주는 역할을 함으로써 제조시스템의 성능 향상을 가져올 수 있다는 장점이 있다. 그러나 그 동안의 많은 연구들은 ORR의 역할을 무시하고 모든 오더는 바로 작업현장으로 투입된다고 가정하고, 우선순위규칙(Dispatching rule)이나 최적화(Optimization)기법, 발견적 기법(Heuristic) 등을 이용한 일정계획을 중심으로 이루어져 왔다. 상대적으로 ORR에 대한 연구는 부족하다.

환경에 따라 ORR의 유효성이 어떠한 차이를 보이는지를 조사한 연구들은 가동률 수준, 납기긴급정도(due date tightness), 작업장 구성, 계획시스템의 부화평준화 수준 등을 다양하게 하여 환경변수로 설정하고, 환경변수와 ORR 간의 관계에 대해 연구가 이루어 져 왔다. 그러나, 생산계획단계에 대해서는 존재할 때와 존재하지 않을 때, 즉, 오더가 발생하면 Pre shop pool로 바로 이송될 때와, 생산계획단계를 거쳐 주기적으로 Pre shop pool로 이송될 때의 상황 중 하나를 가정하고 연구를 하였다. 그로 인해 생산계획단계가 존재할 때와 계획오더 이송간격 차이가 ORR의 효과에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해서는 직접적으로 연구되지는 않았다. 단지 여러 연구들을 비교, 분석하여 그 효과를 파악할 수 있겠으나, 각 연구마다 대상시스템과 적용한 통제정책이 상이하므로, 직접적으로 비교하기 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 생산계획단계의 유·무와 계획오더 이송간격을 환경 변수로 설정하고, ORR의 성능에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

본 연구에서는 먼저, 두 가지 환경변수-작업종류별 평균도착시간간격(작업현장 부하수준 또는 작업장 가동률 수준), 생산계획단계에서 계획오더이송 간격-에 대해 작업현장의 부하를 고려하여 작업의 투입을 통제하는 다섯 가지의 Order Release 정책과 세 가지 우선순위규칙을 적용하여, 리드타임과 납기측면에서 각 통제정책의 유효성을 평가하고자 한다. 그리고, 계획시스템의 부하평준화를 적용하였을 때 시스템의 성능향상을 가져올 수 있는지를 조사하여 부하평준화와 ORR이 결합되어 사용될 때, ORR의 효과가 더 커진다고 밝힌 기존의 연구결과와 비교하고자 한다. 궁극적으로는 어떠한 환경에서 Order Release 정책을 도입하는 것이 생산시스템의 성능향상에 도움을 줄 수 있는 지 조사하는 것을 목적으로 한다.

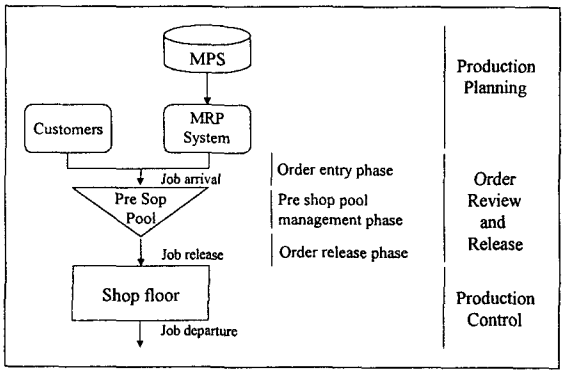
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 Order Review/Release 시스템의 역할, 방법 및 관련연구에 대해 설명한다. 3장에서는 본 연구의 실험환경과 실험인자, 실험절차를 서술한다. 4장에서는 실험결과 및 통계분석 결과를 다루고 5장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

2. Order Review/Release 시스템

2.1. Order Review/Release 시스템의 역할

Order Review/Release 시스템은 생산계획시스템과 작업현장 통제시스템간의 연결을 담당하며, 계획오더와 고객의 주문을 작업현장의 실행단계로 전환하는 것을 관리하고, 작업현장으로 투입할 오더를 선별하고, 작업현장의 부하를 조정하는 용량관리도구로서의 역할을 한다.

<그림 1>을 보면, MPS(Master Production Schedule)와 MRP(Material Requirement Planning)를 통해 계획오더가 생성되거나 고객으로부터 직접 오더가 도착하면 Order Entry Phase를 거쳐 Pre Shop Pool로 들어가게 된다. Order Release는 Pre Shop Pool에 있는 오더들



<그림 1> Order Review/Release System (Bergamaschi et al. 1997)

중 부품가용성을 체크하고, 제조 가능한 오더들에 대해 어떤 오더를 언제, 어떤 조건하에서 작업현장으로 투입할 것인지를 결정하는데, 공정중 재고를 일정수준으로 유지하고, 작업장별, 기간별 작업부하가 평준화되도록 작업의 투입을 통제하는 기능을 수행한다. 그 결과 전체 작업장의 가동률을 높이고 대기작업 수와 리드타임을 줄임과 동시에 안정화시켜 납기 성능의 향상을 가져올 수 있다.

2.2. Order Review/Release 시스템의 구성

Order Review/Release 시스템은 세 가지의 주요 단계-Order Entry Phase, Pre Shop Pool Management, Order Release Phase-로 구성된다 (<그림 1>). Order Entry Phase는 ORR과 계획 시스템이 접속하는 부분으로 계획오더 이송간격마다 계획오더나 고객오더를 Pre Shop Pool로 이송하는 것을 담당한다. Pre Shop Pool Management는 PSP에 있는 오더들을 관리하는 역할을 하는데, 주로 오더들에 대한 우선순위를 결정하여 작업현장으로 투입되는 순서를 관리한다. 오더들에 대한 우선순위규칙으로 많이 사용되는 것들은 다음과 같다.

- Shortest processing time (SPT)
- Earliest due date (EDD), (Ragatz et al., 1988);
- Earliest release date (ERD), (Bechte, 1988, Perona et al., 1996);
- Critical ratio (CR), (Bobrowski, 1989);
- Capacity slack based rule (Philipoom et al., 1993)

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 주로 다음의 세 가지 정보를 이용한다.

- 현재 PSP의 상태: 어떤 오더가 얼마나 많이 PSP에서 대기하고 있는지에 관한 정보
- 현재 작업현장 상태: 어떤 오더가 작업현장으로 투입되었으며, 어느 작업장에서 대기하고 있고, 작업현장의 용량과 부하가 어느 정도인지에 관한 정보
- 제조리드타임, 납기 준수율 등과 같은 작업현장의 계획된 성능 정보

2.3. Order Release 방법

기존의 연구들에서 많이 사용한 Order Release 방법들로는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) Immediate release(IMM): 가장 간단한 방법으로 오더가 PSP에 도착하면 바로 작업현장으로 투입한다.

(2) Backward infinite loading (BIL): BIL은 공정 하나에 일정시간이 걸린다고 가정하고, 납기일로부터 오더의 공정수(n_i)에 따라 일정시간 앞에 투입한다. $RD_i = DD_i - k_1 n_i$

(3) Modified infinite loading (MIL): BIL과 마찬가지로 작업현장의 용량을 고려하지는 않지만, 작업장의 대기작업 수(Q_i)에 따라 대기시간이 달라진다는 점을 고려한 방법이다.

$$RD_i = DD_i - k_2 n_i - k_3 Q_i$$

● 용어정의

RD_i = release date of job i,
DD_i = due date of job i,
n_i = total number of operations in job i,
Q_i = the number of jobs in queue at machines on job i's routing,
WIP = the number of jobs in shop floor,
ESD_i = expected start date of job i by backward finite scheduling,
EFD_i = expected finish date of job i by forward finite scheduling,
CD = current date,
TSL = total shop load at current time,
$MaxLL$ = predetermined load limit used by MAX,
tf_1, tf_2 = time fence,
k_1, k_2, ..., k_n = planning factors, set by management,

(4) Maximum number of jobs (MNJ): 작업현장에 존재하는 작업 수의 최대 허용값(k_4)을 설정하고, 작업 수(WIP)가 최대 허용값을 넘지 않도록 오더의 투입을 통제한다.

if $WIP < k_4$, release order with highest priority

(5) Backward finite loading (BFL): 여러 계획기간(planning horizon)에 대해 각 작업장별 부하수준을 파악하고(load profile), 오더의 마지막 공정부터, 납기일을 시점으로 역방향으로 스케줄하여(backward scheduling), 예상시작일(expected start date, ESD_i)이 현 시점(CD)으로부터 일정기간(time fence, tf_1) 안에 존재하면 작업현장으로 투입하고, 밖에 존재하면 투입을 미룬다.

if $ESD_i < CD + tf_1$, release order i

(6) Forward finite loading (FFL): BFL과 유사하게 기간별 load profile을 유지하지만, 시작가능일로부터 순방향으로 스케줄(forward scheduling)한다는 점이 다르다. 오더의 첫 번째 공정부터 시작가능일을 시점으로 순항향으로 스케줄하여, 예상완료일(expected finish date, EFD_i)이 납기일(DD_i)로부터 일정기간(time fence, tf_2) 내에 존재하면 작업현장으로 투입하고, 일정기간보다 이후에 있으면, 투입을 미룬다.

if $EFD_i < DD_i + tf_2$, release order i

(7) Aggregate workload trigger, work-in-next-queue selection (AGGWNQ): 작업현장의 총 부하가 미리 설정한 수준 이하가 되면 대기작업의 부하가 가장 작은 작업장을 선택하고, 이 작업장에서 첫 번째 공정을 시작하는 오더를 PSP에서 선택하여 작업현장으로 투입한다.

(8) Work center workload trigger, earliest due date selection (WCEDD): 이 방법은 작업현장의 부하정보와 오더의 납기일을 고려하여 투입을 통제한다. 각 작업장에 대해 대기작업 부하수준을 미리 설정하고, 어떤 작업장의 대기작업의 부하가 미리 설정한 수준 이하가 되면 해당 작업장에서 첫 번째 공정을 시작하는 오더를 PSP에서 선택하여 작업현장으로 투입한다.

(9) Maximum load limit (MAX): 이 방법은 작업현장의 총 부하(TSL)가 미리 설정한 최대부하한계(maximum load limit, $MaxLL$) 수준에 도달하거나 PSP에 더 이상 오더가 없을 때까지, 오더를 투입한다.

if $TSL < MaxLL$, release the first order in PSP

(10) Path Based Bottleneck (PBB) : 이 방법은 용량제약이 있고, 앞으로 병목이 될 것 같은 기계로의 작업흐름을 제한하는 방법이다. 먼저 각 기계별로 PBB threshold를 설정하고, Pre Shop Pool에 있는 오더들을 PBB slack ratio에 따라 순서를 정하고, 첫 번째 작업부터 작업의

라우팅에 따라 기계에 부하할당을 한 후 라우팅 상의 모든 기계에 대해 부하가 PBB threshold 보다 작으면 작업을 투입한다.

2.4 Order Review/Release의 관련연구

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 못 했다는 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)는 ORR보다는 우선순위규칙이 시스템의 성능에 훨씬 큰 영향을 미친다고 주장한다. 그러나, Bechte(1988)와 Perona et al.(1996) 등은 시간별, 작업장별 작업부하를 평준화하는 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 연구자들 간에 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.

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.

작업종류는 총 30 가지가 존재하고, 작업종류별 공정표(Routing)는 다음의 규칙에 따라 랜덤하게 결정하였다.

(1) 작업종류별 최소공정수는 3, 최대공정수는 15로 설정한다.

(2) 첫 번째 공정의 작업장은 11개의 작업장 중에서 동일한 확률로 선택한다.

(3) 후속공정의 작업장은 선행공정의 작업장을 제외한 나머지 작업장과 완료공정 중 하나를 동일한 확률로 랜덤하게 선택한다. 완료공정을 선택하였을 때의 공정수가 최소공정수보다 크거나, 공정수가 최대공정수가 되면 공정표 생성을 종료한다. 그렇지 않으면 (3)의 과정을 반복한다.

(4) 각 공정의 작업시간은 평균이 60분인 지수분포에 의해 랜덤하게 할당한다.

Bertrand et al. (1996)은 MRP를 사용하는 생산계획시스템에서의 작업오더 도착 패턴을 포아송 프로세스로 표현할 수 있음을 보인다. 또, 서로 다른 시간 간격으로 정규적으로 도착하는 여러 품목들을 집합적으로 보면 Pseudo-Poisson Process를 따른다는 것이 알려져 있다. MRP 생산계획시스템의 상황에서는 개별 품목 도착 패턴이 정규적이지 않으므로, 개별 오더들은 포아송 프로세스에 따라 도착한다고 가정할 수 있다.

본 연구에서는 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 들

어간다. 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 i의 납기, $PSPArrivalTime_i$는 오더 i가 계획시스템으로부터 PSP로 이송되는 시점이고, TWK_i는 오더 i의 총 작업시간이다. 본 실험에서는 K를 7로 설정하였다. Pre Shop Pool에 있는 오더는 모두 자재가용성이나 자원가용성 확인이 끝나고, 바로 작업현장으로 투입될 수 있는 상태라고 가정하였다. Order Release 정책은 PSP에 있는 오더들에 대해 투입결정을 수행한다. 작업현장으로 투입된 오더들에 대해서는 작업장별로 우선순위규칙을 적용하여 순서를 결정하고, 작업을 수행한다.

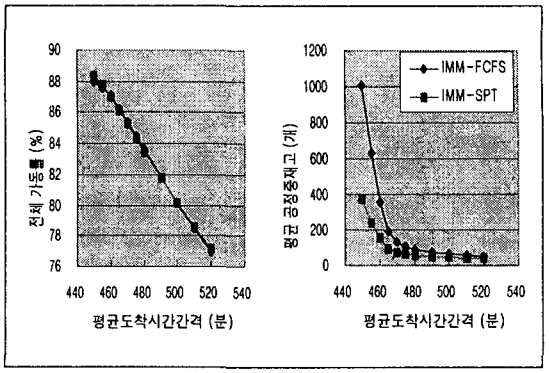
3.2. 실험 인자(Experimental factors)

본 실험은 어떤 환경에서 Order Release 정책이 유용한지를 알아보기 위해 두 가지 환경변수-2가지 수준의 시스템 가동률, 3가지 계획단계에서의 계획오더 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 FCFS(First-come first-serve)와 SPT(Shortest processing time) 규칙을 적용하여 평균도착시간간격이 변함(520분-450분)에 따라 가동률과 생산량이 어떠한 차이를 보이는지를 실험하였다. 예비실험결과(<그림 2>)에 따라, 본 실험에서는 가동률이 높을 때는 평균도착시간간격을 460분으로, 가동률이 낮을 때는 480분으로 설정하였다. 각 경우에 전체 시스템 가동률은 평균 87% 와 83%로 나타났다.



<그림 2> 평균도착시간간격과 가동률, 공정중재고의 관계

(2) 계획단계에서의 계획오더 이송간격

일반적으로 MRP 계획시스템을 적용하는 시스템에서는 매주 또는 매일 한번 계획오더를 생성, 확인하고 이송한다. 본 실험에서도 이러한 현실을 반영할 수 있도록 1일 간격으로 계획오더를 이송할 때와 1주 간격으로 계획오더를 이송할 때를 고려하였다. 그리고, 계획단계를 고려하지 않은 대부분의 연구들에서는 오더가 포아송 프로세스에 의해 도착하면 바로 PSP로 들어간다고 가정하였으므로, 본 실험에서도 오더가 발생하면 바로 PSP로 이송하는 상황을 추가하였다.

본 실험에서는 다음의 세 가지 방법으로 계획오더를 Pre Shop Pool로 이송하는 상황에 대하여 실험을 하였다.

① 연속적으로 계획오더 이송 (NoP): 계획단계가 존재하지 않고 오더가 도착하면 즉시 Pre Shop Pool로 계획오더를 내려보낸다.

② 1일 간격으로 계획오더 이송 (P1): 오더가 도착하면 Plan Order Pool에 쌓이고, 다음 날 작업을 시작하기 전에 Plan Order Pool에 있는 오더를 모두 Pre Shop Pool로 내려보낸다.

③ 1주 간격으로 계획오더 이송 (P5): 오더가

<표 1> 본 실험에서 고려한 Order Release 방법

	IMM	MAX	AGGWNQ	WCEDD	PBB
Order release mechanism	No ORR	Load limited	Load limited	Load limited	Load limited
Timing convention	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Discrete
Workload measure	No ORR	Work quantity	Work quantity	Work Quantity	Work Quantity
Aggregation of workload measure	No ORR	Total shop load	Total shop load	Load by each work center	Load by each work center

도착하면 Plan Order Pool에 쌓이고, 다음 주 작업이 시작하기 전에 Plan Order Pool에 있는 작업을 모두 Pre Shop Pool로 내려보낸다.

3.2.2. 작업오더 Release 규칙

본 실험에서는 작업현장의 부하수준을 일정수준으로 제한하는(load limited order release mechanism) 다음의 다섯 가지 작업오더 Release 규칙- IMM, MAX, AGGWNQ, WCEDD, PBB을 적용하여 실험하였다.

본 실험에서 적용한 다섯 가지 Order Release 방법을 정리하면 <표 1>과 같다. 이 방법들의 공통점은 모두 작업현장의 부하한계 값을 미리 설정하고, 작업현장의 부하가 부하한계를 넘지 않도록 작업투입을 조절한다는 것이다.

위의 Order Release 방법을 적용하기 위해 먼저, 각 방법의 부하한계-MaxSLoad(작업현장에 존재하는 총 부하의 상한), MinSLoad(작업현장에 존재하는 총 부하의 하한), MinWLoad(작업장별 부하의 상한), MaxWLoad(작업장별 부하의 하한)-값을 설정하여야 한다. 이 때, 단일 성능평가척도에 대해 평가한다면 부하한계 값을 변경하며 반복적으로 시뮬레이션을 수행하여 가장 좋은 성능을 보일 때의 값으로 결정할 수 있을 것이다.

그러나, 본 실험에서는 서로 상충하는 여러 개의 척도에 대해 평가하므로, 모든 척도에 대해 최적인 부하한계 값을 찾는 것은 불가능하다. 본 실험은 각 환경별 가장 좋은 Order Release 방법을 찾는 것이 아니라, 작업현장의 부하를 조절하는 Order Release 정책이 어떠한 환경 하에서 유효한지를 밝히는 것이므로, 부하한계 값 설정을 다음과 같이 단순화하였다.

MaxSLoad(M) = MinSLoad(M) = LimitP(M)*1일 총 생산용량

MaxWLoad(M, w) = MinWLoad(M, w) = LimitP(M)*1일 작업장 생산용량

여기서, MaxSLoad(M)와 MinSLoad(M)는 평균도착시간간격이 M(480분/460분)일 때의 MAX와 AGGWNQ의 부하한계 값이고, MaxWLoad(M, w)와 MinWLoad(M, w)는 작업장 w에서의 부하한계 값이다. LimitP(M)은 다섯 가지 Order Release 방법과 세 가지 우선순위규칙을 적용하여 수행한 예비실험을 통해, 가동률과 생산량에 있어 각 방법들간에 큰 차이가 나지 않고, Mean System Flowtime과 Mean Shop Flowtime, Average WIP 등의 척도들간의 트레이드오프를 고려하여 Order Release 정책의 특성을 보여주면서, 전반적으로 좋은 성능을 보여주는 수준에서 결정된 부하한계값이다.

위의 과정을 거쳐 본 실험에서는 작업종류별 평균도착시간간격이 480분일 때, MAX의 MaxSLoad와 AGGWNQ의 MinSLoad값을 일일 총 생산용량의 300%, 460분일 때는 500%로 설정하였다. 그리고, WCEDD의 각 작업장별 MinWLoad와 PBB의 작업장별 MaxWLoad는 작업종류별 평균도착시간간격이 480분일 때는 작업장 일일 생산용량의 300%, 460분 일 때는 500%

로 설정하고 본 실험을 수행하였다.

또, 본 실험에서 고려한 우선순위규칙는 FCFS, SPT, EDD로 설정하였다.

본 실험의 인자를 다시 정리하면, 시스템 환경에 따라 ORR 방법의 효용성을 평가하기 위해 환경인자로는 두 가지 수준의 시스템 가동률과 세 가지 수준의 계획오더 이송간격을 선정하여, 총 6가지의 환경을 고려하였다. 그리고 작업현장 통제정책으로는 다섯 가지의 Order Release 방법과 세 가지의 우선순위규칙을 적용하여 총 15가지의 통제 조합을 구성하였다. 그런데 PBB Order Release 방법은 연속적으로 작업을 투입하는 것이 아니라 매일 작업을 시작하기 전에 투입결정을 하는 방법이므로, 계획오더 이송간격이 연속적일 때 적용하는 것은 적절치 않다. 따라서, 계획오더 이송간격이 연속적일 때는 PBB를 제외한 제 가지 Order Release 방법에 대해서만 실험하였다. 따라서 총 2*3*(5*2 + 4*1) = 84개의 조합에 대해 실험을 수행하였다.

3.3. 성능평가 척도

리드타임(Mean System Flowtime, Mean Shop Flowtime, S.D. of Shop Flowtime), 납기(Percentage Tardy, Mean Tardiness, Mean Earliness), 공정중재고, 가동률 등과 관련되어 8가지 성능척도에 대해 평가하였다. 여기서 생산량과 관련된 척도는 각 정책의 성능을 평가하기 위해서가 아니고, Order Release 정책의 부하한계 값이 너무 낮게 설정되었는지를 확인하기 위한 것이다.

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

4.1. 실험결과 및 분산분석

6가지 환경에 대해 Order Release 방법과 우선순위규칙을 적용한 시뮬레이션 결과의 평균은 <표 2>, <표 3>과 같다. Plan 항목의 NoP는 계획오더를 연속적으로 이송할 때이고, P1은 1일 단위로 계획오더를 이송할 때, P5는 1주 단위로 계획오더를 이송할 때를 의미한다. 여기서 평균은 총 11*1600 분 동안 시뮬레이션 실험을 수행하고, 처음 1600분의 결과를 제외한 나머지 10개 기간의 시뮬레이션 결과 평균값이다. 분산분석 결과, 우선순위규칙은 6가지 환경 모두에서 생산량을 제외한 모든 척도에 대해 유의한 것으로 나타났다.

Order Release 방법은 시스템 가동률이 낮고, 계획오더를 연속적으로 이송하는 환경일 때, Mean Shop Flowtime, Standard Deviation of Shop Flowtime, Average Work In Process에 대해 유의한 차이를 보이지 못하는 것으로 나타났다. 나머지 척도에 대해서는 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났지만, <표 2>를 보면 WCEDD 방법이 다른 방법에 비해 월등히 나쁜 결과를 보였기 때문에 이러한 결과가 나왔다는 것을 알 수 있다. 이것은 WCEDD에 적용되는 부하한계 값이 너무 낮게 설정되어 WCEDD의 성능을 떨어뜨린 측면이 있으므로 (WCEDD의 MinWLoad 부하한계를 크게 잡으면 적어도 IMM과 동일한 결과를 얻을 수는 있다), WCEDD를 제외하면 480-NoP 환경에서는 Order Release 방법간의 차이가 유의하지 않다는 결론을 내릴 수 있다. 반면에, 계획오더를 일정기간마다 이송할 때와 가동률이 높을 때는 생산량을 제외한 모든 척도에 대해 Order Release 방법이 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 우선순위규칙과 Order Release 방법간의 교호작용도 Order Release 방법의 결과와 유사하게 나타났다.

<표 2> 실험결과 (평균도착시간간격 = 480 분일 때)

Plan	DR	ORR	Mean Throuput	Mean System Flowtime	Mean Shop Flowtime	SD of Shop Flowtime	Average WIP	Percent Tardy	Mean Tardiness	Mean Earliness
NoP	FCFS	IMM	6009.90	1507.79	1507.79	934.87	94.62	10.21	65.35	1729.16
		MAX	6010.30	1506.03	1503.74	929.14	94.37	10.22	64.56	1730.39
		AGG	6010.60	1506.85	1504.65	932.56	94.43	10.27	66.35	1731.16
		WCE	6015.40	1573.09	1501.70	897.25	94.24	11.04	79.53	1677.78
	EDD	IMM	6010.50	1378.81	1378.81	1449.66	86.49	0.71	2.11	1795.24
		MAX	6011.40	1486.68	1343.23	1419.25	84.18	1.48	3.75	1689.50
		AGG	6012.30	1431.10	1344.40	1410.33	84.32	1.38	17.59	1757.30
		WCE	6008.80	2855.39	1523.30	1487.20	95.37	20.85	749.36	1066.44
	SPT	IMM	6010.90	948.05	948.05	1053.32	59.50	1.72	34.98	2258.93
		MAX	6010.80	951.32	949.80	1056.33	59.61	1.72	35.11	2255.74
		AGG	6011.00	949.07	948.25	1043.72	59.53	1.72	33.69	2256.46
		WCE	6011.50	1036.54	962.74	1003.58	60.43	3.28	54.36	2189.59
P1	FIFO	IMM	6011.30	1872.68	1632.85	971.36	102.46	12.51	82.72	1621.44
		MAX	6010.70	1869.20	1622.44	956.58	101.80	12.38	80.16	1622.41
		AGG	6010.30	1868.09	1622.39	958.05	101.80	12.39	80.41	1623.62
		WCE	6016.40	1948.09	1624.32	928.05	101.90	13.49	100.09	1563.67
		PBB	6012.00	1789.13	1402.07	691.41	87.83	7.83	72.05	1695.05
	EDD	IMM	6011.60	1729.83	1490.01	1497.85	93.43	1.00	3.16	1685.30
		MAX	6011.00	1839.89	1402.73	1444.41	87.87	2.51	6.56	1579.09
		AGG	6010.60	1777.32	1407.31	1432.74	88.20	1.65	18.42	1652.61
		WCE	6008.80	2357.50	1472.91	1443.66	92.24	10.40	247.90	1302.21
		PBB	5957.00	5873.48	1314.18	1113.37	81.58	9.08	3703.88	1233.61
	SPT	IMM	6011.30	1261.43	1021.58	1066.67	64.10	1.82	35.92	2186.42
		MAX	6011.40	1259.74	1017.60	1055.32	63.86	1.82	34.53	2186.65
		AGG	6011.80	1261.71	1019.47	1058.38	63.99	1.78	35.38	2185.41
		WCE	6012.00	1344.09	1025.86	1012.90	64.35	3.43	58.11	2125.62
		PBB	6010.50	1288.53	961.16	777.26	60.20	2.13	46.11	2169.04
P5	FIFO	IMM	6012.40	3913.44	2717.45	1292.34	170.34	42.63	423.23	877.65
		MAX	6011.80	3630.25	2111.41	1041.22	132.29	35.24	308.74	1046.45
		AGG	6012.60	3741.98	2201.71	1065.00	137.99	38.26	327.12	952.46
		WCE	5892.10	11565.12	3184.21	2113.43	197.35	76.62	7480.67	278.26
		PBB	5733.60	20508.63	1730.16	781.37	103.29	57.62	16597.18	343.74
	EDD	IMM	6011.20	3748.57	2552.65	1899.13	159.93	17.08	85.01	704.70
		MAX	6009.40	4684.57	1623.50	1602.61	101.62	61.40	646.69	330.28
		AGG	5879.20	14710.39	1989.28	1720.34	121.72	65.90	10641.02	255.58
		WCE	5829.10	20004.18	2358.85	2242.18	142.70	70.40	15829.91	168.66
		PBB	5728.70	21949.13	1683.63	1034.51	100.52	64.99	17875.17	192.06
	SPT	IMM	6010.40	2903.72	1707.83	1340.75	107.01	7.96	79.17	1544.37
		MAX	6010.10	2885.84	1445.75	1264.08	90.59	9.72	82.36	1565.44
		AGG	6009.30	2892.79	1468.16	1249.88	92.00	9.32	80.91	1556.75
		WCE	6012.20	2946.62	1427.85	1129.94	89.45	8.96	93.47	1515.52
		PBB	6006.10	2999.53	1251.21	784.08	78.31	9.45	93.24	1460.40

<표 3> 실험결과 (평균도착시간간격 = 460 분일 때)

Plan	DR	ORR	Mean Throuput	Mean System Flowtime	Mean Shop Flowtime	SD of Shop Flowtime	Average WIP	Percent Tardy	Mean Tardiness	Mean Earliness
NoP	FCFS	IMM	6255.20	5432.76	5432.76	4225.91	355.88	61.72	2944.99	681.30
		MAX	6254.70	5850.36	4369.58	3236.39	285.15	77.36	3052.45	372.02
		AGG	6255.50	5258.90	4338.89	2934.26	283.23	63.92	2656.26	563.41
		WCE	6224.90	6561.51	3383.77	2154.79	221.22	60.97	4027.66	630.95
	EDD	IMM	6261.40	4551.81	4551.81	3065.81	297.97	60.10	1858.58	476.79
		MAX	6231.80	6988.12	2640.82	2101.08	171.47	95.39	3860.15	43.86
		AGG	6152.90	7914.53	3137.64	2662.42	201.64	58.23	5285.09	490.70
		WCE	6184.70	10427.22	2616.30	2433.68	168.38	72.24	7506.58	241.36
	SPT	IMM	6268.50	2235.96	2235.96	5559.49	147.95	8.00	1051.73	1983.55
		MAX	6264.30	2330.99	2170.68	5362.64	142.42	9.72	1014.41	1853.03
		AGG	6266.80	2449.60	2194.63	5176.89	144.31	10.54	1163.42	1881.37
		WCE	6257.00	3825.23	1718.48	2846.81	112.17	30.27	2068.79	1415.63
P1	FIFO	IMM	6254.80	5796.62	5557.10	4261.70	364.00	63.03	3031.02	643.04
		MAX	6254.70	6176.94	4378.35	3241.07	285.70	78.27	3121.71	354.23
		AGG	6254.90	5756.56	4367.64	2955.17	284.87	66.03	2867.33	516.50
		WCE	6225.40	6924.98	3505.29	2185.94	228.79	63.36	4099.01	582.96
		PBB	6264.90	4326.06	2669.00	1356.20	174.31	47.22	1749.05	831.82
	EDD	IMM	6262.20	4904.84	4665.32	3095.30	305.40	60.99	1934.69	439.08
		MAX	6230.20	7526.90	2642.45	2097.49	171.52	96.13	4151.19	35.40
		AGG	5954.90	12653.11	3374.12	2940.58	208.31	66.15	9644.99	369.10
		WCE	6173.30	11885.25	2785.90	2603.37	178.66	74.48	8708.72	223.66
		PBB	6243.90	5355.10	2165.29	1628.75	140.88	31.26	2470.35	523.71
	SPT	IMM	6268.10	2556.93	2317.44	5553.33	153.27	8.19	1060.28	1910.38
		MAX	6264.30	2658.87	2217.52	5350.85	145.52	10.56	1023.34	1773.33
		AGG	6266.60	2727.75	2229.59	5184.13	146.56	10.26	1127.00	1806.19
		WCE	6254.40	4181.40	1810.95	2972.10	118.26	30.30	2140.38	1370.41
		PBB	6268.30	3008.01	1499.59	2137.34	98.02	11.80	1430.95	1830.59
P5	FIFO	IMM	6252.90	7975.98	6777.53	4653.58	443.53	75.66	3952.84	346.37
		MAX	6253.80	8114.72	4421.68	3256.72	288.19	86.35	3957.93	212.90
		AGG	6102.00	9097.12	4571.95	2892.56	290.73	81.74	4948.94	204.21
		WCE	6216.90	9638.60	4035.77	2202.50	262.44	76.45	5567.13	291.57
		PBB	6220.80	8275.24	3021.96	1342.18	195.85	73.92	4182.34	265.14
	EDD	IMM	6257.50	7177.40	5979.07	3374.86	391.11	77.47	2954.19	146.54
		MAX	6193.10	12073.81	2670.85	2118.52	172.38	99.87	7704.07	0.65
		AGG	6152.50	11336.68	3287.81	2478.86	210.79	84.12	7157.13	129.76
		WCE	6121.50	17476.05	3187.93	2696.00	202.60	84.90	13205.94	79.96
		PBB	6052.80	17970.55	2931.87	1828.13	184.95	92.64	13681.03	34.82
	SPT	IMM	6265.10	4232.72	3034.27	5801.58	200.05	14.85	1192.17	1325.36
		MAX	6262.20	4293.47	2419.21	5465.06	158.60	23.84	1176.36	1251.62
		AGG	6262.80	4440.96	2495.84	5131.94	163.56	22.12	1244.40	1169.79
		WCE	6259.90	5867.92	2131.04	2929.92	139.39	35.04	2465.08	968.11
		PBB	6266.00	4687.59	1795.48	1994.02	117.36	20.47	1528.07	1207.32

<표 4> New Model 분산분석 결과 (f-값)

* 유의수준 0.05에서 유의하지 않음

환경	Factor	Mean Throuput	Mean System Flowtime	Mean Shop Flowtime	SD of Shop Flowtime	Average WIP	Percent Tardy	Mean Tardiness	Mean Earliness
New-NoP	DR	0.01* (0.9903)	36.98 (0.0001)	188.34 (0.0001)	14.89 (0.0001)	116.89 (0.0001)	66.46 (0.0001)	5.18 (0.0068)	214.02 (0.0001)
	ORR	0.00* (1.0000)	5.48 (0.0004)	10.24 (0.0001)	13.87 (0.0001)	5.15 (0.0007)	11.48 (0.0001)	3.82 (0.0057)	8.36 (0.0001)
	DR*ORR	0.00* (1.0000)	3.54 (0.0010)	1.83* (0.0768)	0.32* (0.9576)	5.25 (0.0001)	7.70 (0.0001)	2.63 (0.0105)	4.34 (0.0001)
New-P1	DR	0.00* (0.9997)	38.75 (0.0001)	193.50 (0.0001)	14.53 (0.0001)	114.09 (0.0001)	67.19 (0.0001)	5.12 (0.0072)	217.94 (0.0001)
	ORR	0.00* (1.0000)	5.02 (0.0008)	12.78 (0.0001)	14.40 (0.0001)	4.31 (0.0026)	13.65 (0.0001)	3.72 (0.0066)	6.39 (0.0001)
	DR*ORR	0.00* (1.0000)	3.17 (0.0025)	2.02 (0.0484)	0.29* (0.9689)	5.02 (0.0001)	7.05 (0.0001)	2.45 (0.0167)	3.57 (0.0009)
New-P5	DR	0.00* (0.9951)	41.62 (0.0001)	205.54 (0.0001)	14.13 (0.0001)	108.16 (0.0001)	107.25 (0.0001)	8.95 (0.0002)	246.39 (0.0001)
	ORR	0.00* (1.0000)	6.25 (0.0001)	57.59 (0.0001)	28.05 (0.0001)	25.46 (0.0001)	24.46 (0.0001)	5.34 (0.0005)	5.66 (0.0003)
	DR*ORR	0.00* (1.0000)	3.60 (0.0008)	3.88 (0.0004)	0.71* (0.6866)	9.71 (0.0001)	8.45 (0.0001)	3.08 (0.0032)	3.23 (0.0021)

4.2. 우선순위규칙과 Order Release 정책

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

Order Release 방법은 다음과 같은 특징을 보였다.

첫째, Order Release 방법에 의한 성능향상정도는 우선순위규칙에 의한 향상에 미치지는 못하지만, 전체 시스템 리드타임을 증가시키지 않고, 작업현장에서의 리드타임(Shop Flowtime)의 평균과 표준편차를 줄이고, 공정중재고 수준을 낮출 수 있는 장점이 있었다. 그런데, EDD에서는 전체 시스템 리드타임을 증가시켜서 납기관련척도의 성능 저하를 가져오는 것으로 나타났다.

둘째, 계획오더를 연속적으로 이송할 때보다는 1주 간격으로 이송할 때 Order Release 방법에 의한 효과가 두드러지게 나타났다.

셋째, 시스템의 가동률이 높을 때, Order Release 방법에 의한 효과가 크게 나타났다.

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

4.3. 새로운 시스템에 대한 추가 실험

4.2 절의 결론을 검증하기 위해 새로운 가상의 시스템을 대상으로 추가실험을 실시하였다. 새로운 대상시스템은 기존의 ORR에 관한 연구들에서 많이 사용한 모형으로(Ragatz et al., 1988과 Ahmed et al., 1992 등), 단일 기계로 구성된

다섯 개의 작업장이 존재한다. 오더는 포아송 프로세스에 따라 도착하고, 오더가 도착할 때 라우팅은 랜덤하게 결정된다.

실험 환경인자로는 세 가지 수준의 계획오더 이송간격(연속적/1일 간격/1주 간격)을 고려하였고, 통제정책 인자로는 본 실험에서와 마찬가지로 5가지의 Order Release 방법(IMM/MAX /AGG/WCE/PBB)과 3가지의 우선순위규칙(FCFS/EDD/ SPT)을 적용하였다.

새로운 시스템에 대한 추가실험 및 분산분석 결과(<표 4>), 본실험에서와 마찬가지로 우선순위규칙과 Order Release 방법은 생산량을 제외한 모든 척도에 대해 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그리고 전반적으로 우선순위규칙에 의해 성능이 결정되는 것을 알 수 있다.

또, SPT의 성능이 가장 좋은 것으로 나타났는데, 계획오더 이송간격이 길어질수록 PBB를 비롯한 Order Release 방법을 적용할 때, Mean Shop Flowtime과 SD of Shop Flowtime, Average WIP에 있어서 IMM보다 유의미한 수준에서 성능향상을 할 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 새로운 시스템에 대한 추가실험 결과, 우선순위규칙이 Order Release 통제정책보다 더 중요한 결정인자라는 점과 계획시스템이 존재하여 계획오더를 주기적으로 이송할 때 Order Release 통제정책을 적용하는 것이 유용하다는 본 실험의 결과를 확인하여 준다.

4.4. 계획시스템의 부하평준화와 ORR의 유효성

Melnyk et al. (1991, 1994)와 Park et al. (1995) 등은 계획시스템에서 부하평준화 기능이 있을 때, Order Release 정책의 효과가 두드러지게 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 위의 대상 시스템에 대해서 동일한 결론을 얻을 수 있는 지 확인하기 위해 부하평준화를 고려한 실험을 추가적으로 수행하였다.

위의 두 연구들에서 사용한 Order Release 정책은 본 실험에서의 MAX와 동일하므로, 본 연구에서도 MAX 방법을 적용할 때와 Order Release를 통제하지 않고 즉시 투입(IMM)할 때, 부하평준화로 인해 얻을 수 있는 성능향상 정도가 차이가 있는지를 확인하였다.

작업종류별 도착시간간격은 480분, 계획오더 이송간격이 1일과 1주이고, 우선순위규칙으로는 FCFS와 SPT를 적용하는 환경에서, 부하평준화가 없을 때(NOSMOOTH)에 비해 부하평준화가 있을 때(FLOOR)의 성능향상정도가 Order Release 방법(IMM/MAX)에 따라 차이가 있는지를 확인하였다. 여기서 적용한 부하평준화 방법은 다음과 같다.

<표 5> 부하평준화 기능이 존재할 때 성능향상 정도

	Throuput	Mean System Flowtime	Mean Shop Flowtime	Percent Tardy	Average WIP	Mean Tardy	Mean Early
P5-FCFS-IMM	4	134.40	42.62	3.01	2.64	78.12	-56.52
P5-FCFS-MAX	-1	110.71	7.71	2.72	0.46	65.82	-44.73
P5-SPT-IMM	0	118.68	26.73	3.46	1.63	36.78	-81.61
P5-SPT-MAX	8	112.15	10.19	3.58	0.62	38.30	-73.94
P1-FCFS-IMM	9	41.06	14.37	0.84	0.89	7.02	-34.05
P1-FCFS-MAX	9	54.25	26.37	1.33	1.64	10.62	-43.16
P1-SPT-IMM	3	35.50	8.74	-0.01	0.54	-1.56	-36.99
P1-SPT-MAX	9	32.99	5.91	-0.03	0.36	-0.70	-33.70

① NOSMOOTH: 이송시간간격마다 도착한 모든 계획오더를 PSP로 이송한다.

② FLOOR: 기간별 계획오더의 총 부하가 일정수준(기간별 계획오더 부하 분포의 25% 수준)보다 작으면, 이 후 발생하는 계획오더는 다음 계획오더를 이송할 때까지 기다리지 않고, 부족한 부하를 채울 때까지 도착하는 즉시 PSP로 이송한다.

총 8가지 상황에 (두 가지 계획오더 이송간격, 두 가지 우선순위규칙, 두 가지 Order Release 정책) NOSMOOTH와 FLOOR를 적용하여, 총 16번의 시뮬레이션을 하였다. 11*96000분 동안 시뮬레이션을 수행하여, 처음 96000분의 결

과는 버리고 나머지 960000분 동안의 본 실험에서의 8가지 성능평가척도와 관련된 결과를 얻었다.

<표 5>는 각 환경에서 생산계획시스템의 부하평준화 기능이 있을 때의 성능향상 정도를 보여준다. 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.

5. 결론

본 연구에서는 두 가지 환경변수-시스템 가동률, 계획오더 이송간격-를 설정하고, Order Release 방법과 우선순위규칙을 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, Order Release 통제정책을 도입함으로써 생산시스템의 성능을 향상시킬 수 있는지, 성능향상에 도움이 된다면 어떠한 환경 하에서 어떤 성능평가척도의 향상을 가져올 수 있는지를 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 때보다는 일정기간별로 계획오더가 이송될 때, ORR 정책의 도입으로 인한 작업현장의 성능향상이 두드러지게 나타난다는 것을 보였다. 이러한 결과는 기존의 많은 연구들이 포아송 프로세스에 따라 작업이 연속적으로 ORR 시스템으로 도착한다는 가정 하에 이루어졌음에 비해, 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.

참고문헌

[1] Baker, K. R., The effects of input control on the performance of a simple scheduling model. Journal of Operations Management, 4(2), 99-112, 1984.

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

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

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

[5] Bertrand, J. W. M. and van Ooijen, H. P. G., Integrating material coordination and capacity load smoothing in multi-product multi-phase production systems. International Journal of Production Economics, 46, 1-12, 1996.

[6] Bobrowski, P. M., Implementing a loading heuristic in a discrete release job shop. International Journal of Production

Research, 27, 1935-1948, 1989.

[7] Fredendall, L. D. and Melnyk, S. A., 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, 1995.

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

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

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

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

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

[13] Philipoom, P. R., Malhotra, M. K. and Jensen, J. B., An evaluation of capacity sensitive order review and release procedures in a job shops. Decision Sciences, 24(6), 1109-1133, 1993.

[14] Ragatz, G. and Mabert, V. A., An evaluation of order release mechanisms in a job shop environment. Decision Sciences, 19, 167-189, 1988.

저자소개

최병대 (e-mail : bdchoi@tysystemhouse.com)
1997 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 학사
1999 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 석사
1999 ~ 현재 : 동양시스템즈㈜
관심분야: ERP, 생산계획 및 실행, 시뮬레이션

이기창 (e-mail : lkc@ultra.snu.ac.kr)
1995 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 학사
1997 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 석사
1997 ~ 현재 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 박사과정
관심분야: 생산시스템 모델링, 생산계획, ERP, 시뮬레이션

박찬권 (e-mail :chankwon@mail.ysu.ac.kr)
1987 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 학사
1989 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 석사
1989 ~ 1991 : LG정보통신
1991 ~ 1992 : LG전자
1996 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 박사
1996 ~1997 : 서울대학교 자동화시스템공동연구소 특별연구원
1997 ~ 현재 : 영산대학교 정보경영학부 조교수
관심분야: ERP/EC, 생산정보시스템, 시뮬레이션

박진우 (e-mail : autofact@snu.ac.kr)
1974 : 서울대학교 공과대학 산업공학과 학사
1976 : 한국과학원 산업공학과 석사
1976 ~ 1979 : 한국중공업 생산관리부
1985 : Univ. of Calif., Berkeley 산업공학과 박사
1985 ~ 현재 : 서울대학교 산업공학과 교수
관심분야: Manufacturing Systems Engineering, ERP/MRP, CIM, 시뮬레이션, 스케줄링