

주문 검토 및 투입 모형의 분류체계 : DSS화를 위한 탐색적 연구[†]

(An Exploratory Study on Classification Schemes for Building Order Review/Release DSS)

민 동 권*

(Dong-Kwon Min)

요약 주문 검토 및 투입(ORR; Order Review/Release) 모형의 활발한 활용을 위해서는 ORR모형의 분석과, 사용 환경에 맞는 분류가 이뤄져야 한다. 본 논문은 ORR의 역할과 관련 패러독스를 소개하고, ORR의 DSS화를 위한 분류체계를 제시한다. "COMPACT(COMplexity-imPACT) 매트릭스"라 명명된 ORR모형 분류체계는 복잡성에 따라 모형을 분류하고 각 복잡성 단계에서 모형의 유효성을 평가한 결과물이다. 이 분류체계는 사용자가 설정한 복잡성 정도에 맞춰 효과적인 모형을 제시한다는 사상을 통해 ORR모형의 DSS화와 활용에 기여할 것이다.

핵심주제어 : 주문 투입, ORR모형, 분류체계, DSS

Abstract To make most out of Order Review/Release(ORR) models, they are to be analyzed and classified according to their prospective users' requirements. To this end, we discuss ORR functions and so-called "ORR paradox", and propose an ORR model classification scheme named "COMPACT(COMplexity-imPACT) Matrix". Under the scheme, the complexity and impact levels of each ORR model are rated one after another in order to position it across the matrix. We explore the process and present the results, insisting that a DSS should suggest ORR models to its users on the complexity-impact basis.

Key Words : Order Review/Release, ORR Models, Classification Schemes, DSS

1. 서론

1970년 Wight(1970)가 주문(MTO; Make-to-Order) 생산이 이뤄지는 작업장의 통제(SFC; Shop Flow Control)를 위해 주문 투입량과 산출량을 통제해야 한다고 처음 주장하였다. 그 이후 수주한 주문의 검토 및 투입(ORR; Order Review/Release)에 대해 많은 연구가 이뤄졌다(주로 구미의 연구이고 우리나라에서는 미미한 상황임). 하지만 그 연구결과를 충분히 활용하고 있지는 못한 실정이다(Wisner & Siferd, 1995).

ORR과 관련된 정보시스템의 지원은 더더욱 활발하지 못하다. 단적인 예로, 실시간 의사결정지원시스템(DSS; Decision Support System)인 SAP사의 SAP APO(Advanced Planner and Optimizer)도 ORR 기능을 제공하지 않는다.

근본적으로 여러 ORR 기법과 모형을 충분히 활용하기 위해 정보 기술적 지원이 필요하다. 먼저 상황이론(contingency theory)처럼 제시된 여러 실증연구 결과를 일관성 있게 정리하고, 응용 목적이나 환경에 맞게 효과적인 ORR모형을 고를 틀(framework)을 만들어야 한다. 이 틀을 가지고 적합한 ORR모형을 추천할 DSS를 개발한다면 ORR모형의 활용은 크게 늘어날 것이다.

본 연구는 MTO 상황의 SFC 시스템 중 ORR 부분

[†] 본 연구는 숙명여자대학교 2006년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

* 숙명여자대학교 경영학부 교수

을 담당할 DSS을 개발하기 위해 ORR 모형을 분석하고, 그 DSS가 특정 여건에 따라 일정 ORR 모형을 선정하게 하는 분류체계를 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 SFC와 ORR의 내용을 정리할 것이며, 다음으로 기존의 ORR 모형을 비교하고, 기존의 DSS를 소개하며 새로운 ORR모형 분류체계를 마련할 것이다.

2. ORR의 배경

2.1 ORR의 역할

SFC 시스템은 생산계획이 잡힌 주문을 완성품 형태로 만드는 전 과정을 직접적으로 관리하는 것으로서, 다음과 같이 다섯 가지 기능이 있다(Melnyk 등, 1985, Chapter 4). 첫째, 주문 검토 및 투입(ORR) 기능으로서, 생산계획으로부터 작업장으로 주문을 이관하는 전 과정을 포괄한다. 둘째, 세부 일정계획(Detailed Scheduling) 기능으로서, 주문의 생산과 유지보수 활동과 같이 생산자원을 필요로 하는 활동에 작업장¹⁾의 자원(인력, 기계, 공구, 원자재 등)을 배분하는 과정을 담당한다. 셋째, 데이터 수집/모니터링(Data Collection/Monitoring) 기능으로서, 작업 진척도, 자원 사용 상황 등에 관한 정보를 수집하고 이를 미리 정한 표준과 비교하여 통제 상황을 판단하는 과정을 망라한다. 넷째, 통제/피드백(Control/Feedback) 기능으로서, 작업장의 상황을 사내의 다른 부서에 알리고, 통제를 벗어난(out-of-control) 상황에 이를 경우 이 문제를 바로 잡을 수 있도록 지원한다. 다섯째, 주문 정리(Order Disposition) 기능으로서, 주문이 완성되었을 때 모든 관련사항을 종결하는 업무를 처리한다. 이 중 ORR 업무는 구체적으로 다음의 세 가지 단계로 세분할 수 있다(Melnyk & Carter, 1987).

(1) 주문 준비

생산계획이 잡힌 주문과 관련하여 작업자에게 필요한 모든 정보를 취합하는 과정이다. 여기에는 서류 작성, 필요시 설계도면 확보, 작업주문번호 부여 등의 활동이 포함된다.

(2) 주문 검토 및 평가

SFC의 목적은 시간을 맞추고 비용을 절감하면서

주문을 완성하는 데 있다. 주문 중에는 필요한 생산용량이나 공구, 혹은 원자재의 부재로 인해 제 시간에 완성할 수 없는 것들이 있다. 이렇게 문제가 될 수 있는 주문을 파악해서 그런 상태 하에서는 작업장에 투입되지 않도록 해야 한다. 이런 주문은 문제가 해결된 이후에 투입해야 한다.

(3) 부하 평준화

원자재나 공구가 갖춰졌어도 생산계획이 잡힌 모든 주문을 곧바로 투입하지 않는다. 대신 작업부하를 평준화하기 위해 일정 기간동안 주문을 누적하여 대기시켰다가 통제된 수량만큼 투입한다. 이는 설비가동률을 평준화하려는 것이다. 어떤 경우에는 작업시작을 연기할 수도 있고, 또 다른 경우에는 계획된 주문을 일찍 투입할 수도 있다. 주문 투입 전 대기를 통해 생산계획과 작업장 통제를 분리(decouple)한다.

이상과 같은 ORR의 의의에도 불구하고 실무적으로 모든 기업이 ORR 단계를 거쳐 SFC를 하는 것은 아니다(Wisner & Siferd, 1995). ORR 활동을 수행하지 않는 기업에서는 주문을 수주하는 즉시 작업을 개시한다. 즉시 투입(IMR; Immediate Release)이 유리한 경우를 Wisner(1995)는 다음과 같이 제시한다.

- 지연 벌금의 비중이 완제품 재고 유지비보다 상대적으로 큰 경우
- 작업장에 부하가 많이 걸리거나(즉, 유희생산자원이 없는 것이 아니라 적을 때) 납기일이 상대적으로 촉박한 경우
- 작업장의 목표가 주문을 될 수 있는 한 빨리 완성하는 것일 경우, 즉 평균 시스템흐름시간(MSFT; Mean System Flow Time, 주문도착부터 완성까지 기업 내에서 경과된 시간)의 최소화 목표인 경우

또한 주문이 계속 들어오는 동적 환경(Dynamic Environment)에서는 현재의 주문을 처리하지 않고 생산설비의 유희시간을 방치하는 것보다 미래의 주문을 처리하기 위해 지금 당장 생산설비를 최대한 활용하고 유희시간을 미래에 확보하는 편이 유리할 수 있다.

반대로 ORR 단계를 거치는 기업에서는 주문을 수주하는 즉시 작업장에 주문을 투입하지 않고 일정 기간 작업개시를 늦추게 된다. 주문 투입 지연이 타당한 이유를 설명하기 위해 Sabuncuoglu와 Karapinar(2000)는 다음과 같이 세 가지 경우를 제시한다.

1) 본고에서는 조직 단위를 나타내는 System, Shop, Work Center 등의 용어를 각각 기업, 공장, 작업장/작업센터라 칭하겠다(여기서, 기업≡공장≡작업장/작업센터).

- 납기일이 너무 멀어 작업 개시를 나중에 하는 경우
- 유휴생산자원이 없어 곧바로 생산을 시작할 수 없는 경우
- 주요 생산계획을 주기적으로 하는 경우

첫째, 둘째와 같은 상황은 사실 일정계획 기준(Job Scheduling Rules, Job Dispatching Rules, Job Prioritization Rules, 작업 우선순위 결정규칙)을 적용할 때에도 고려되는 사항이다. 첫째 경우는 납기일을 고려하는 일정계획 기준(예, EDD/Earliest Due Date, CR/Critical Ratio, MINSLK/Minimum Slack 등)에서 반영된다. 둘째 경우는 모든 일정계획 기준에서 고려되는 사항이다. 셋째 경우는 특정 기업의 관행일 뿐 반드시 이 방식이 합리적이라고 할 수는 없는 사항이다.

이 외에도 작업장의 혼잡도를 줄인다는지, 그래서 작업장 내에서의 리드타임(Shop Lead Time, 제조 리드타임, 작업장흐름시간)을 줄인다는지, 조기 완성에 따른 재고유지 비용을 절감한다는지 하는 이유로 ORR을 실행하여 주문 투입을 지연시킬 수 있다. 한편, 일단의 실증연구에서는 ORR이 일부 일정계획 기준(예, SPT/Shortest Processing Time 기준)이 지닌 한계점을 완화시킨다고 지적한다(Newman & Maffei, 1999).

ORR은 여과장치 및 생산용량 관리도구로서, 투입할 필요가 있고 준비가 된 작업만을 작업장에 투입하여 납기를 맞추게(즉, 납기 준수) 하고, 작업장의 작업부하와 생산용량 간에 균형을 유지하게(즉, 부하 평준화) 한다(Melnyk & Ragatz, 1988). 여기서 부하평준화는 일차적으로 관리를 위한 대내적인 목표라 한다면, 납기 준수는 고객 서비스를 위한 전략적이고 대외적인 목표라 하겠다. 따라서 부하 평준화는 납기 준수의 범위 내에서 이뤄져야 한다.

2.2 ORR 패러독스

실무자들은 ORR의 효과에 대해 일반적으로 수긍하는 반면, 학자들은 ORR 연구의 초기에 ORR의 긍정적인 효과에 관해 일관성 있는 연구결과를 보여주지 못했다(Wisner, 1995). Baker(1984)는 ORR이 일정계획 기준의 유효성을 떨어뜨릴 수 있다고 보았다. 단지 열악한 일정계획 기준은 ORR 과정을 거칠 때 ORR을 거치지 않을 때보다 약간의 성과개선이 있으며, 그럼에도 그 성과란 좋은 일정계획 기준만을 ORR 없이 사용할 때보다 못하다는 것이다. 따라서 ORR모형의 선택보다 일정계획 기준의 결정이 더 중요하다고 주장했다. 그의 논지는 ORR의 성과개선 효과가 상황에

크게 좌우된다는 것이다.

Kanet(1988)도 ORR이 작업부하를 제한하고 유휴시간을 초래하기 때문에 시스템흐름시간, 재고, 지연시간 등의 성과에서 모두 부정적인 영향을 주며, ORR만 가지고는 총 리드타임(즉, 시스템흐름시간)을 줄일 수 없다고 하였다.

이와는 달리 몇몇 학자들은 ORR을 하면 일정계획 기준이 상대적으로 덜 중요해 진다고 주장한다(Nicholson & Pullen, 1971; Ragatz & Mabert, 1988). 더욱이 ORR은 작업자들이 우선순위(즉, 작업일정)를 결정할 여지를 줄임으로써 작업자들이 생산관리자가 세운 작업일정을 준수토록 한다고 지적한다(Philipoom & Fry, 1999).

또, ORR이 작업장별로, 그리고 시간대별로 작업부하를 평준화한다는 점에서 더 나은 이용률과 산출률을 이끌어내고, 더 짧은 제조 리드타임(즉, 작업장흐름시간)과 더 높은 납기준수율을 달성하게 한다는 연구 결과도 있다(Bechte, 1988; Perona & Portioli, 1996). 한편, 일단의 학자는 ORR의 성과는 일정계획 기준이나 납기일의 촉박정도(Tightness)와 상호작용이 있어 상황적이라 볼 수 있지만 그 효과 자체는 긍정적이라는 점을 강조한다(Ahmed & Fisher, 1992; Philipoom 등, 1993).

ORR 패러독스를 풀려는 시도로서 Sabuncuoglu와 Karapinar(1999)는 작업장 간의 작업물 이동설비와 각 작업장에 딸린 보관공간이 제한적일 때 작업장 내에 한 번에 허용된 작업 수에 따라 평균 시스템흐름시간(MSFT)이 'U'자 형태를 띤다는 점을 보였다. 또 MSFT와 평균지연시간(MT; Mean Tardiness, 주문이 조기·적시 완성될 때의 0과, 지연 완성될 때의 그 지연시간을 가지고 계산한 평균) 상으로 ORR과 일정계획 기준 간에 상호작용이 없다는 점(즉, ORR의 효과가 일정계획 기준으로부터 영향을 받지 않으므로 상황적이지 않다는 것)을 보였다. 이 결과에 의하면 ORR은 동시에 처리하는 주문의 수를 특정 수준으로 통제함으로써 총 리드타임을 최소화시킨다. 특기할 것은 이런 'U'자 형태의 MSFT가 납기가 촉박하지 않은 상황(즉, 주문 투입을 조절할 여지가 충분히 있는 상황)에서 나타났다는 점이다. (하지만 IMR과 함께 우수한 일정계획 기준을 적용했을 때와 리드타임을 비교하지는 않았다.) 또 하나의 시도로서 Bertrand와 Van Ooijen(2002)은 작업의 수가 작업자의 긴장도(level of arousal)에 영향을 주고 긴장도는 다시 생산성·처리시간·총소요시간에 영향을 미친다는 점을 심리학 이론과 규모의 비경제 등과 같은 현실 증거를

가지고 설명하였다. 이들은 ORR을 통해 작업부하(작업의 수)를 통제하면 통제하지 않았을 때보다 MSFT가 단축된다고 주장하였다. 종합적으로 우리는 ORR의 유효성을 기본적으로 인정하되 상황에 따라 ORR 유효성 정도가 달라질 수 있다고 판단한다.

2.3 ORR을 위한 DSS

대부분의 SFC 관련 연구가 세부 일정계획에 집중된 것과 마찬가지로 DSS 개발도 그 분야에 집중되어 있다(예, Fick, 1982; Speranza & Woerlee, 1991; Jacobs & Joachim, 1994; Riane 등, 2001).

Tatsiopoulos(1983)는 ORR와 관련된 DSS의 틀(Framework)을 제시하였다. 이 틀은 주문생산을 하는 기업, 규모로는 중소기업 정도에서 리드타임을 관리하는 방법론을 포함하고 있다. 그 이후 제조 리드타임(즉, 작업장 흐름시간)을 관리하기 위한 방법론이 Kingsman 등(1989)에 의해 더욱 발전되었으며, 이를 기반으로 한 DSS가 개발되기에 이른다(Hendry, 1989). 이 시스템은 두 단계의 의사결정으로 구성된 계층적 의사결정 지원 시스템이다. 1 단계는 납기일과 가격을 결정하는 고객문의 단계(Customer Inquiry Stage)이고, 2 단계는 작업 투입일 결정, 생산용량 조정, 작업부하 평준화 등을 수행하는 작업 투입 단계(Job Release Stage)이다(작업 투입 메커니즘의 자세한 설명은 Hendry & Kingsman(1991)을 참조하기 바람). 이 DSS는 생산관리자에게 최적의 작업 투입 방안을 제시하기 보다는 합리적으로 가용 정보를 반영하여 의사결정을 내리게 하는 데 중점을 두고 있다(이 DSS를 관련 연구자들의 소속 대학인 Lancaster University Management School의 첫 글자를 따서 "LUMS1"이라 하겠음). 최근 Stevenson과 Hendry(2006)는 LUMS1을 보완한 "LUMS2"를 내놓았다. 이들 DSS는 단일 ORR 모형을 구현한 것이며, 주기적으로 주문 투입 결정을 지원하는 시스템이다.

아직 모델베이스(Model Base)를 갖춘 ORR DSS는 알려진 바가 없다. 하나의 ORR모형으로 DSS를 구성한 앞의 예는 있지만, 하나의 모형이 모든 상황에서 가장 효과적인 결과를 얻을 수 있을지는 의문이다. 무엇을 기준으로 효과성을 판단할 지도 의문이다. 모든 상황에 적합하게 일반적인 ORR DSS를 구축하는 것이 어려운 이유가 여기에 있다.

사실, 각 ORR 모형은 사용하는데 필요한 정보의 양이나 종류도 다르고 실행에 따른 관리노력이나 비용에 있어서도 다르다. 또 상황이나 성과 평가 기준에

따라 우열이 나뉜다. 그럼에도 불구하고 다양한 ORR 모형을 모델베이스에 갖추고 사용자 요구에 맞게 모형을 제안하는 기능이 ORR DSS에 꼭 필요하다. 이를 위해 ORR 모형의 파악과 분류가 선행되어야 한다.

3. ORR모형의 분류 체계

3.1 기존의 분류 체계

ORR모형을 분류하는 체계를 일찍이 Melnyk과 Ragatz(1988; 1989)가 제시하였으며, 수정·확대된 분류 체계를 나중에 Bergamaschi 등(1997)이 소개하였다. 이 분류기준은 ORR모형의 개발 측면에서 여러 정보를 제공한다.

Melnyk과 Ragatz(1988)가 처음 내놓은 ORR모형 분류체계는 다음과 같은 세부기준을 가지고 있다. 먼저, 투입 전 주문 Pool(이를 Pre-Shop Pool, Order Release Pool, 혹은 Back Order Pool/File이라 부름)을 운영하는 방식을 다음의 3가지 기준에 따라 분류한다.

- 1) **투입결정의 시점**; 언제 투입결정을 할 수 있는가? 상시적으로, 또는 주기적으로 결정함.
- 2) **투입여부 결정의 기준**; 실제로 투입해야 하는지를 어떻게 결정할 것인가? 각 주문과 관련된 정보(예, 미리 정한 투입일, critical ratio 등)나, 또는 공장의 상황(예, 현재의 작업부하 수준)을 기준으로 결정함.
- 3) **투입주문 선택의 기준**; 투입해야 하는 상황이라면 투입 전 주문 중 어떤 주문을 투입할 지를 어떻게 선택할 것인가? 투입 전 주문의 상황만을 기준(예, 선착순, 납기순 등)으로 하거나, 또는 공장의 상황도 반영된 기준(예, 작업장 간의 작업부하를 평준화하는 주문)을 가지고 선택함.

다음으로, 작업부하를 파악하는데 있어서 다음의 2가지 차원에 따라 달리 나타낼 수 있다.

- 4) **작업부하 집계 수준**; 작업부하를 어떤 수준에서 집계할 것인가? 공장 전체 수준에서, 또는 작업장(전부 또는 병목 작업장만) 수준에서 집계함.
- 5) **작업부하 집계시의 시간고려**; 작업부하의 시간대별 변동을 어떻게 나타낼 것인가? 변동을 고려치 않고 특정 시점의 작업부하만을 파악하거나, 아니면 시간대별로 작업부하의 프로파일을 파악함.

마지막으로, ORR모형이 상호작용하며 영향을 받는 생산계획 시스템을 다음의 2가지 분류 기준으로 나눈다.

- 6) **생산계획의 가시성**; 생산계획 시스템이 현 계획 기간 이후의 생산계획 정보를 주어서 생산능력에 대한 미래의 수요를 알 수 있는가? 정보가 없어 가시성이 제한되거나, 정보가 있어 가시성이 확대됨.
- 7) **생산능력 소요량의 통제**; 생산계획 시스템이 주문에 대한 생산일정을 수립할 때 생산능력 소요량을 고려하여 실행 가능한 통제된 생산일정을 내놓는가? 통제되지 않은 생산일정이 제공되거나, 통제된 생산일정이 제공됨.

수정·확대된 Bergamaschi 등(1997)의 분류 체계는 다음과 같다. (수정되거나 추가된 경우 해당 기준 옆의 괄호 안에 표시했으며, 그 외의 경우는 변경이 없는 것임)

- 1) **주문투입 메커니즘(수정)**; 주문투입 여부와 투입주문 선택을 결정하는 기준을 합쳤다. 여기에는 작업부하 기준(load-limited) 방식과 시간 기준(time-phased) 방식이 있음.
- 2) **투입결정의 시점**; 상시적, 또는 주기적
- 3) **작업부하 표시단위(추가)**; 작업부하를 작업의 수나 작업분량(시간)으로 나타냄.
- 4) **작업부하 집계 수준**; 공장 전체 수준, 병목 작업장별, 각각의 모든 작업장별
- 5) **작업부하 집계시의 시간고려(수정)**; 시간대와 상관없이

- 작업부하를 단순통합(atemporal, aggregate)하거나, 시간대별(time-bucketed)로 파악하거나, 작업부하의 유형별로 확률적(probabilistic)으로 달리 반영하여 집계함.
- 6) **작업부하 통제방식(추가)**; 작업부하를 최고 한도만을 가지고, 최저 한도만을 가지고, 또는 최고·최저 모두를 가지고 통제하거나, 작업장 간 작업부하를 평균화하는 방식이 있음.
- 7) **생산능력 조정(추가)**; ORR모형이 운영 중에 필요에 따라 생산능력을 조정하는 방식(능동형, active)이 있고, 하지 않는 방식(수동형, passive)이 있음 (생산계획 시스템의 특성을 말하는 것이 아님/생산능력 소요량의 통제와는 의미가 다름)있음.
- 8) **생산계획의 가시성**; 제한 형, 또는 확대형

<표 1>은 Bergamaschi 등(1997)이 제시한 표를 기초로 다른 연구를 추가하고 수정하여 재정리한 것이다(주문투입 메커니즘, 투입결정 시점, 생산계획 가시성 등에 혼합형 구분을 추가함).

3.2 새로운 분류 체계 - "COMPACT 매트릭스"

앞서 소개한 기존의 분류체계는 ORR모형의 운영방

<표 1> ORR모형의 기존 분류

연구자	모형	주문투입 메커니즘	투입 결정 시점	작업부하 표시단위	작업부하 집계수준	작업부하 시간고려	작업부하 통제방식	생산 능력 조정	생산 계획 가시성
Melnyk & Ragatz(1989)	AGG/WNQ	1	1	2	1	1	2	2	1
Glassey & Resende(1988)	SA	1	1	2	2	1	2	2	1
Melnyk & Ragatz(1989)	WC/EDD	1	1	2	3	1	2	2	1
Fredendall & Melnyk(1995)	CMS	2	1	1	3			2	
Philipoom et al.(1993)	MIL	2	1	2	3			2	
Ragatz & Mabert(1988)	MIL	2	2	1	3			2	
Melnyk et al.(1991)	MAX	1	2	2	1	1	1	2	2
Ragatz & Mabert(1988)	MNJ	1	2	1	1	1	1	2	1
Bobrowski(1989)	FFL	1	2	2	3	2	1	2	1
Irastorza & Deane(1974)		1	2	2	3	1	4	1	2
Onur & Fabrycky(1987)	DI/OCS	1	2	2	3	1	4	1	2
Philipoom et al.(1993)	PBB	1	2	2	3	1	1	2	1
Perona & Portioli(1996)	LIMITE	1	2	2	3	3	4	2	1
Ragatz & Mabert(1988)	BFL	1	2	2	3	2	1	2	1
Shimoyashiro et al.(1984)	SCOPE2	1	2	2	3	2	4	1	1
Bertrand(1983)		1	1	2	1	1	1	2	1
Bechte(1988)	LOMC	1	2	2	3	3	1	2	1
Bertrand & Van Ooijen('02)		1	1	1	1	1	1	2	1
Sabuncuoglu & Karapinar('00)	DLR	3	2	1	3	2	1	2	1
Hendry & Kingsman(1991)	LUMS1	1	2	2	3	1	3	1	1
Stevenson & Hendry ('06)	LUMS2	1	3	2	3	1(일부 3)	1	1	3
		1;작업부하 2;시간 3;혼합	1;상시적 2;주기적 3;혼합	1;작업 수 2;작업분량	1;공장전체 2;병목작업장 3;경로상의 모든 작업장	1;단순통합 2;시간대별 3;확률적	1;최고한도 2;최저한도 3;최고·최저 4;평균화	1;능동형 2;수동형	1;제한형 2;확대형 3;혼합

주: Bergamaschi 등(1997)이 제시한 표(p.407)에 다른 연구를 추가하고 재정리하였음(굵은 글씨체는 추가·수정 사항임).

식을 이해하고, 새로운 모형개발의 방향을 파악하는 데는 도움이 되지만, 하나의 DSS 내에서 사용자의 목적에 맞게 ORR모형을 선별·제안하는 데는 직접 도움을 주지 않는다. 왜냐하면 분류기준이 모형선택 상의 의미를 제시하지 않으며 어떤 상황에서 어떤 모형을 사용해야 하는지 가이드라인을 제공하지 않기 때문이다. DSS 사용자의 입장에서는 사용목적에 맞게 ORR모형을 취사선택할 수 있는 ORR모형 분류체계가 필요하다.

사용자의 입장에서 이상적인 ORR모형은 사용하기 쉬우면서 원하는 성과를 낼 수 있는 것이어야 한다. 이런 관점에서 ORR모형을 선택하는 데 근간이 되는 두 기준은 복잡성(Complexity)과 유효성(Impact)이다. 복잡성이란 ORR모형을 사용하기에 필요한 정보의 양과 그 정보의 수집·갱신·분석 빈도 등 모형이용의 정교성을 말한다. 여기서 복잡성은 실행용이성(operability)과 역의 관계에 있다고 할 수 있다. 또, 유효성이란 ORR모형의 운영 성과를 말한다. 간단히 말해 복잡성과 유효성은 각각 부담할 비용과 기대되는 혜택과 같은 것이다.

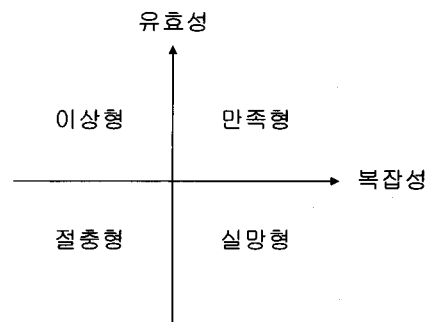
아이러니컬하게도 복잡한 ORR모형일수록 유효성이 더 높은 것은 아니라는 점을 여러 연구에서 보여주고 있다. 예를 들어, Ahmed와 Fisher(1992)는 특정 납기 결정 방식(CONStant due date, 주문일에 일정한 시간을 더하여 납기를 정하는 방식) 하에서, 사용된 모든 일정계획에 대해 BIL(Backward Infinite Loading)이 그보다 더 복잡한 MIL(Modified Infinite Loading)이나 FFL(Foward Finite Loading)보다 평균절대오차(MAD; Mean Absolute Deviation, 주문 완성일과 납기 간 절대편차의 평균)를 낮추는데 더 효과적임을 보여주었다.

여러 연구를 통해 그 타당성이 입증된 Davis(1989)의 기술수용모형(TAM; Technology Acceptance Model)은 사용자의 IT기술 수용이 그 기술의 이용용이성(Ease of Use)과 유용성(Usefulness)에 달려있다고 말한다. 여기서 이용용이성은 복잡성과, 유용성은 유효성과 같은 맥락이다. 다소간의 상황(context)적 차이에도 불구하고 사용자의 선택이라는 관점에서 복잡성과 유효성이 중요한 판단기준이 됨을 TAM이 알려준다.

우리는 복잡성과 유효성을 적합한 ORR모형의 선별 기준으로 삼으려는 새로운 ORR모형 분류체계를 "COMPACT (COMplexity-imPACT) 매트릭스"라 명명한다. (<그림 1> 참조) 사용자가 가장 추천받고 싶은 ORR모형은 복잡성이 낮고 유효성이 높은 "이상형" 모형일 것이다. 하지만 약간의 유효성 차이가 있

을 경우 복잡성이 높더라도 유효성이 더 높은 "만족형" 모형을 선호할 수 있다. 따라서 DSS는 유효성이 높은 ORR모형을 제안하되 "이상형"과 "만족형"을 구분하여야 한다.

사용자에게 추천하지 말아야 할 ORR모형은 복잡성이 높으면서 유효성은 낮은 "실망형" 모형이다. 복잡성도 낮고 유효성도 낮은 것은 "절충형" 모형이다. "실망형" 모형을 활용할 이유는 전혀 없으나, 약간의 부담으로 약간의 효과만이라도 거두려는 사용자를 위해 "절충형" 모형을 별도로 구별할 필요가 있겠다.



<그림 1> COMPACT 매트릭스

3.2.1 ORR모형의 복잡성

ORR모형의 복잡성은 그 모형이 사용하는 정보의 양, 갱신 빈도, 추정해야 할 계수 등에 의해 결정된다. Sabuncuoglu와 Karapinar(1999)는 ORR모형이 이용하는 정보를 기준으로 4가지 부류로 나누었다. 첫째는 공장의 상태나 개별 주문 정보를 이용하지 않고 아무런 결정 없이 주문을 투입하는 모형으로서 "Group 1", 둘째는 공장 내의 작업부하 상태와 해당 주문의 추가를 고려해 주문 투입을 결정하는 하는 모형으로서 "Group 2", 셋째는 생산설비 가동률, 주문의 납기 등의 정보를 이용하여 투입시기를 정해서 주문 투입 결정을 내리는 모형으로서 "Group 3", 넷째는 공장의 작업부하 상태와 더불어 해당 주문의 납기와 같은 개별 주문 정보를 이용하여 주문을 투입하는 모형으로서 "Group 4" 등이다. 복잡성 관점에서 보았을 때 Group 4에 속한 모형이 가장 복잡하고, Group 1에 속한 모형이 가장 간단하다. 하지만 Group 2와 3에 속한 모형들의 복잡성은 일률적으로 말할 수 없다. 각 ORR모형의 복잡성을 평가하기 위해서는 더 구체적인 기준이 필요하다.

우선적인 평가기준은 필요 정보량(수와 형태)인데 여기에는 주문투입의 메커니즘, 작업부하 집계의 수준, 작업부하 집계시의 시간고려 기준 등을 모두 반영해야 한다. 이와 같은 복잡성 기준에 따라 ORR모형을 다음 네 단계로 분류할 수 있다.

- 단계 1: 어떤 정보도 필요하지 않은 모형
- 단계 2: 공장전체 수준의 작업부하 정보나 개별 주문 정보 중 하나만 필요한 모형
- 단계 3: 개별주문 정보와 함께 그 주문의 생산경로에 속한 각 작업장별 작업부하 정보(단순 통합 정보)가 필요한 모형
- 단계 4: 개별주문 정보와 함께 그 주문의 생산경로에 속한 각 작업장별 작업부하 정보(확률적 계산 정보, 또는 시간대별 정보)가 필요한 모형

각 단계 안에서는 투입결정의 구체적 판단기준, 투입결정의 시점, 작업부하 표시단위 등을 반영해 복잡성을 세분할 수 있다. 투입결정의 시점은 정보의 갱신 빈도와 관련이 있으며, 투입 결정 조건이 만족되는지 지속적으로 갱신하여 투입결정을 해야 하는 상시적

결정 방식이 주기적 결정 방식보다 더 복잡하다(무조건 투입하는 IR(Interval Release)과 IMR의 경우, 상시적으로 투입하는 IMR보다는 주기적으로 투입하는 IR이 작업현장에서의 실행 상 더 복잡함). 또 작업부하를 시간단위로 표시하는 방식이 개수로 표시하는 방식보다 더 복잡하다. 이상의 기준을 바탕으로 <표 2>와 같이 복잡성 단계를 제시한다. (각 모형의 출전은 <표 1> 참고)

3.2.2 ORR모형의 유효성

ORR의 목적은 흐름시간의 단축, 납기준수율의 향상, 작업부하 평준화 등이다. 여러 ORR모형이 이런 목적 달성에 얼마나 효과적인지를 평가하기 위해 다양한 평가척도가 이용되었는데, Wisner(1995)는 1990년대 초반까지 여러 연구별로 평가척도를 정리하였다. 흐름시간 단축이라는 측면에서 유효성을 살피기 위해서는 평균 시스템흐름시간을 사용한다(예, Shimoyashiro 등, 1984; Glassey & Resende, 1988; Melnyk 등, 1991; Bertrand & Van Ooijen, 2002). 하지만 MSFT

<표 2> ORR모형의 복잡성 단계

복잡성 단계	필요 정보	투입결정의 구체적 판단기준	투입결정의 시점	작업부하 표시단위	해당 ORR모형
1	없음	무조건 투입	주기적 결정	불필요	IR(Interval Release)
			상시적 결정	불필요	IMR(Immediate Release)
2	공장전체 수준의 작업부하 정보	공장전체 수준의 작업부하 최고한도(MNJ, MSL) 내 투입	주기적 결정	개수	MNJ(Maximum Number of Jobs)
			주기적 결정	시간	MAX/MSL(Maximum Shop Load)/PAGG(Periodic Aggregate Loading)
	상시적 결정	시간	CAGG(Continuous Aggregate Loading)		
3	개별주문 정보 (k_i, n_i)	현시점+시간올타리 내에 투입일 ($DD_i - k_i \cdot n_i$) 해당 여부	주기적 결정	개수, 시간	BIL(Backward Infinite Loading)
	개별주문 정보, 경로상의 작업장별 작업부하 정보 (k_i, n_i, k_e, Q_i)	현시점+시간올타리 내에 투입일 ($DD_i - k_i \cdot n_i - k_e \cdot Q_i$) 해당 여부	주기적 결정	개수, 시간	MIL(Modified Infinite Loading)
4	개별주문 정보, 경로상의 작업장별로 단순 통합한 작업부하 (L_{ij}, L_j)	작업장별 작업부하 최고한도(LL_j) 내 투입	주기적 결정	시간	PBB(Path Based Bottleneck)
			상시적 결정	시간	WC/WIBL(Work Center Information Based Loading)
	개별주문 정보, 경로상의 작업장별로 확률적으로 계산한 작업부하 (L_{ij}, L_j')	작업장별 작업부하 최고한도(LL_j) 내 투입	주기적 결정	시간	LOMC(Load Oriented Manufacturing Control)
4	개별주문 정보, 경로상의 작업장 · 시간대별 작업부하 (L_{ij}, L_{jt})	완성일(작업장 · 시간대별 작업부하 최고한도 LL_{jt} 내의 순방향 일정계획 결과)+시간올타리 내에 납기일 해당 여부	주기적 결정	시간	FFL/FFIN(Forward Finite Loading)
		현시점+시간올타리 내에 투입일 (작업장 · 시간대별 작업부하 최고한도 LL_{jt} 내의 역방향 일정계획 결과) 해당 여부	주기적 결정	시간	BFL/BFIN(Backward Finite Loading)

주: DD_i = 주문 i 의 납기일; n_i = 주문 i 의 작업 수/총 작업시간; $k_i = n_i$ 에 따른 납기결정 계수; Q_i = 주문 i 의 생산경로에 속한 작업장 j 의 작업부하; $k_e = Q_e$ 에 따른 납기결정 계수; $L_{ij} =$ 주문 i 의 작업장 j 에서의 작업시간; L_j, L_j' = 작업장 j 에서의 작업부하; $LL_j =$ 작업장 j 에서의 작업부하 한도(Load Limit); $L_{jt} =$ 작업장 j 에서의 시간대(t)별 작업부하; $LL_{jt} =$ 작업장 j 에서의 시간대(t)별 작업부하 한도

<표 3> ORR 연구의 환경 및 결과 예시

	납기결정	시물레이션 생산 환경	주문투입 우선순위	작업 우선 순위 결정	주문 투입 대안	주문 투입 결정방식	성과기준	주문 투입 영향	비고
Bertrand (1983)	3 options: T W K + β NOP [$+F(W)$]	5종의 기계, 30종의 주문 (최대 10개 작업요소)		MOD; MOD/SPT/Random	IMR: WLC	상시적 결정 작업부하기준 (해당 시점에 공장 전체 작업 시간의 최고 한도)	자연시간의 평균과 표준 편차	자연시간 (내부 납기 기준)에 영향 없음	내부 납기와 외부 납기를 구별 납기결정과 작업 우선 순위 결정이 중요
Ragatz & Mabert (1988)	NOP Util.=87% k'=9 ⁵	5종의 기계, 최대 8개 작업요소		FCFS ; SPT ; EDD ; CR	IR: BIL' ; MIL' ; MNJ ; BFL	주기적 결정 여러 기준	MAD	BFL과 MIL'이 우수함	주문도착 후, 주문투입 전에 납기결정 단계가 있음 (맷치 처리)
Philipoom et al. (1993)	TWK Util.=92% k=5.2, 6.9, 16.4 Util.=87% k=4.3, 5.6, 10.9	15종의 기계, 3~7개 작업 요소	Slack Ratio	SPT; CR	IR: MIL ; PBB	주기적 결정 작업부하기준 (해당 시점에 각 작업장 작업시간의 최고 한도)	Mean Tardy	PBB가 Mean Tardy상으로 항상 최우수군에 속함 CR은 납기가 느슨할 때 유리	매일매일을 주기로 함
Sabuncuoglu & Karapinar (2000)	TWK Util.=91%; k=15 or 33 Util.=66% k=4.1 or 6.5	6종의 기계, 5대의 기계 차, 최대 6개 작업요소	DLR: 1) FCFS 2) 투입일 계산 3) 작업부하 또는 투입일 기준 투입	SPT; MOD	IR: MAX ; PBB ; MIL' ; FFL ; DLR	주기적 결정 두 기준 혼합 (시간대별로 각 작업장 작업 시간의 최대 한도)	MAD, 총소요 시간의 평균, Mean Tardy	DLR이 항상 최우수군에 속함(특히 MOD병용시)	작업장별 보관공간과 공동 보관공간을 가정
Bertrand & Van Ooijen (2002)	TWK	10종의 기계, 최대 10개 작업요소		FCFS	IMR: WLC	상시적 결정 작업부하기준 (해당 시점에 공장 전체 작업 시간의 최고 한도)	총소요시간의 평균과 표준 편차	IMR은 불안정적 WLC는 안정적	작업처리 시간이 작업 부하의 함수

는 소요시간의 장단만을 나타낼 뿐 주문생산에서 납기를 맞추었느냐의 여부는 보여주지 않는다(시스템흐름시간의 표준편차도 마찬가지임). 납기를 못 맞추고 늦게 완성되는 정도를 보기 위해서는 그 지연시간만을 평균한 평균지연시간(MT)을 이용하거나, 지연주문 비율(Percentage of Jobs Completed Tardy) 등을 사용한다(예, Park & Bobrowski, 1989; Melnyk 등, 1991). 그러나 이상의 평가척도는 적기생산이라는 JIT (Just-in-time) 목표를 반영하지는 못한다. 적기생산 유효성을 반영한 평가척도는 총비용과 MAD이다. 조기완성 시 납기까지 사내에서 관리할 때의 재고유지 비용과 지연완성 시 고객에게 지불하는 벌금을 합한 것이 ORR에서 총비용의 개념이다(예, Ragatz & Mabert, 1988; Park & Bobrowski, 1989; Ahmed & Fisher, 1992). 이 척도의 한계는 재고유지비용과 벌금의 비율에 따라 다른 결과가 나타난다는데 있다. 이에 반해 MAD는 연구결과별로 정의와 측정에 일관성이 있고, 적기생산 유효성을 충분히 반영한다는 장점이 있다(예, Ragatz & Mabert, 1988; Park & Bobrowski, 1989; Ahmed & Fisher, 1992; Sabuncuoglu & Karapinar, 1999). 작업부하 평균화의 평가를 위해서는 공장전체나 개별 작업장 수준에서 가동률의 분산으로 측정하는 등 설비비용율의 관점에서 그 변화를 살핀

다(예, Irastorza & Deane, 1974; Cigolini & Portioli-Staudacher, 2002).

비교 상의 문제는 하나의 연구에서 여러 유효성 척도를 사용하고, 연구별로도 그 척도의 구성이 다양하다는 것이다. 게다가 척도별로 특정 ORR모형의 상대적인 유효성이 달리 나타난다(다음 절에서 자세히 논의함). 따라서 DSS의 모형제한기능을 위해서는 ORR 모형 사용의 가장 중요한 목적이 무엇이나에 따라 그에 맞는 척도를 기준으로 적합한 대안을 제시하는 것이 현실적이다. 탐색적 성격을 지닌 본 연구에서는 적기생산을 지향하면서, 비용구조의 영향을 받지 않는 MAD를 기준으로 각 ORR모형의 유효성을 평가할 것이다. 단, 조건에 맞는 연구의 수가 제한적이라는 것이 현실적이다.

척도 자체 외에 많은 연구에서 연구변수로 포함하고 있는 납기결정 방식, 납기촉박도(Due Date Tightness), 일정계획 기준 등도 ORR모형의 유효성 비교 시 고려해야 할 요인이다. 이외에도 설비가동률, 시물레이션 생산 환경 등이 있다. 연구마다 주요 영향요인의 설정이 얼마나 다양한지를 <표 3>이 예시적으로 보여준다. 특기할 것은 여러 연구가 납기결정 방식으로 TWK(Total Work Contents, 총 작업량) 기준을 사용한다는 점이며, 사용되는 일정계획 기준에 있

어서도 다소의 공통점을 찾아볼 수 있다.

본 연구에서는 MAD를 우선적인 유효성 평가기준으로 삼고, 납기결정 방식과 일정계획 기준을 고려하면서, 기존 연구의 결과를 종합하는 방식으로 ORR모형의 유효성을 살펴보기로 한다.

4. ORR모형의 분류

4.1 복잡성 평가

단계 1

여기에 속하는 모형은 투입 전 Pool로 넘어온 주문을 무조건 공장 내로 투입한다. 넘어온 주문을 투입 주기 때마다 모아서 투입(주기적 결정)하거나, 넘어올 때마다 투입(상시적 결정)한다. 필요한 정보는 없고, IMR과 IR이 여기에 속한다. 엄밀히 ORR모형이라 볼 수 없지만 흔히 비교 목적으로 연구에 포함되는데, 의외로 좋은 성과를 보여주기도 한다.

단계 2

이 단계에 속하는 한 부류 (가)의 모형들은 사전에 정해놓은 공장전체 수준의 작업부하 최고한도가 있어서 새로운 주문의 투입은 이 한도 내에서 이뤄진다. 그리 복잡하지 않은 ORR모형이다. 대표적인 모형으로는 최고한도가 주문 개수로 정해져있고, 주기적으로 투입결정이 이뤄지는 MAX/MNJ(Maximum Number of Jobs)/PAGG (Periodic Aggregate Loading) 모형, 최고한도가 총 작업시간이고 역시 주기적으로 투입결정이 이뤄지는 MSL(Maximum Shop Load) 모형, 총 작업시간 기준으로 상시적 결정을 하는 CAGG (Continuous Aggregate Loading) 모형 등이 있다.

이 단계의 다른 부류 (나)에 속한 모형은 개별주문 정보를 이용한다. BIL 모형은 아래와 같이 이미 정해져 있는 주문 i 의 납기(DD_i)를 기준으로 해당 주문이 투입되어야 하는 시기($RD_i =$ 주문 i 의 투입일)를 역산한다.

$$RD_i = DD_i - k_1 \cdot n_i$$

단, $n_i =$ 주문 i 의 총작업량(작업 수/총 작업시간);
 $k_1 = n_i$ 에 따른 납기결정 계수

여기서 k_1 는 기존의 DD_i , n_i 자료를 가지고 투입 결정 이전에 추정해 놓아야 하는 계수이다. n_i 는 그 단위가 개수가 될 수도 있고, 시간이 될 수도 있다. 계

산된 투입일이 미래의 일정시점, 즉 현시점+시간울타리(TF; time fence, 일정 시간 폭) 이내에 있을 경우 해당 주문을 투입한다. 이 모형은 공장 내의 작업부하를 직접적으로 고려하지 않는다. 작업부하의 영향은 기존 자료를 가지고 k_1 를 추정할 때 반영된다.

(가)와 (나) 부류의 모형은 서로 성격이 다르지만, 공장전체 수준의 정보나 개별 주문 정보를 이용하는 수준이 초보적이기 때문에 유사한 복잡성 단계에 있다고 본다.

단계 3

(다) 부류의 모형은 (나) 부류의 모형을 좀더 세련시킨 모형이다. MIL은 주기적인 투입 결정 시점에서 다음과 같이 주문 i 가 투입되어야 하는 시기를 역산한다.

$$RD_i = DD_i - k_1 \cdot n_i - k_2 \cdot Q_i$$

단, $Q_i =$ 주문 i 의 생산경로에 속한 모든 작업장의 총작업부하(주문 수/총작업시간);
 $k_2 = Q_i$ 에 따른 납기결정 계수

여기서 k_2 는 기존의 DD_i , n_i , Q_i 자료를 가지고 투입 결정 이전에 추정해 놓아야 하는 계수이다. 이 모형의 성격과 투입 결정 방식은 (나)의 경우와 동일하다.

또 다른 (라) 부류의 모형은 주문 i 의 작업장 j 에서의 작업시간 L_{ij} (그 작업을 하게 될 시점은 무시), 그 작업장별 현재 작업부하 L_j 와 작업부하 한도(Load Limit) LL_j (대부분 모든 작업장에 대해 동일) 등을 고려하여 다음을 만족할 경우 투입하는 것으로 결정한다.

$$L_{ij} + L_j \leq LL_j \text{ for all } j \in J_i$$

단, $J_i =$ 주문 i 의 생산경로에 속한 모든 작업장의 집합

주기적 결정인 경우가 PBB(Path Based Bottleneck) 모형이고, 상시적 결정인 경우가 WC/WIBL(Work center Information Based Loading) 모형이다.

(다)와 (라) 부류의 모형 역시 투입 결정에 서로 다른 접근방식(각각 시간기준 대 작업부하 기준)을 취하고 있으나 개별주문 정보와 함께 생산경로에 속한 모든 작업장별 작업부하 정보가 필요하다는 공통점이 있기 때문에 유사한 복잡성을 지녔다고 본다.

단계 4

(마) 부류에 속한 LOMC(Load Oriented

Manufacturing Control) 모형은 (라) 부류의 모형과는 사뭇 다른 방식으로 작업장별 작업부하 L_j' 를 구한다. LOMC 모형은 공장에 이미 투입된 모든 주문이 현재 계획기간 동안 작업장 j 에서 작업하게 될 확률을 구하고 여기에 작업시간을 곱해서 작업장 j 의 현재 작업부하를 산출한다. 이 절차를 "작업부하 환산(Load Conversion)"이라 한다(Bechte, 1988). 이 절차의 복잡성 때문에 LOMC모형을 (라) 부류의 모형과 구별하며, (바) 부류의 모형과 비슷한 복잡성 수준이라고 본다.

투입 결정은 아래 조건의 만족여부에 달려있으며 이는 (라) 부류 모형에서와 동일하다. 주문 투입 결정은 주기적으로 이뤄진다.

$$L_{ij} + L_j' \leq LL_j \text{ for all } j \in J_i$$

단, J_i = 주문 i 의 생산경로에 속한 모든 작업장의 집합

또 다른 부류 (바)에 속한 모형은 먼저 시간대별로 작업부하(생산능력 대비)를 고려하면서 일정계획을 수립한다는 차별점이 있다. FFL/FFIN(Forward Finite Loading) 모형은 작업장 · 시간대별 작업부하 최고한도 LL_{jt} 내에서 순방향 일정계획을 수립해서 그 결과로 주문 i 의 완성일(CD_i)을 추정하고 이 완성일+시간울타리(TF) 이내에 납기일(DD_i)이 해당되면 투입하는 것으로 결정한다.

$$DD_i \leq CD_i + TF$$

단, CD_i = 순방향 일정계획에 의한 주문 i 의 추정 완성일

BFL/BFIN(Backward Finite Loading) 모형은 작업장 · 시간대별 작업부하 최고한도 LL_{jt} 내에서 역방향 일정계획을 수립하여 그 결과로 주문 i 의 투입일(RD_i)을 추정하고, 현시점($TNOW$)+시간울타리(TF) 이내에 이 투입일이 해당되면 그 주문을 투입하는 것으로 결정한다.

$$RD_i \leq TNOW + TF$$

단, RD_i = 역방향 일정계획에 의한 주문 i 의 추정 투입일

이 두 모형 모두 주기적으로 투입 결정이 이루어진다. 이상의 모형은 부분적으로라도 비교 연구가 누적

된 대표적인 ORR모형이다. 이 밖에 여러 ORR모형이 개발되었지만, 연구결과가 축적되지 않아 유효성을 비교·평가하기가 어렵기 때문에 분석대상에서 제외한다.

4.2 유효성 평가

4.2.1 단계 내 비교

단계 1

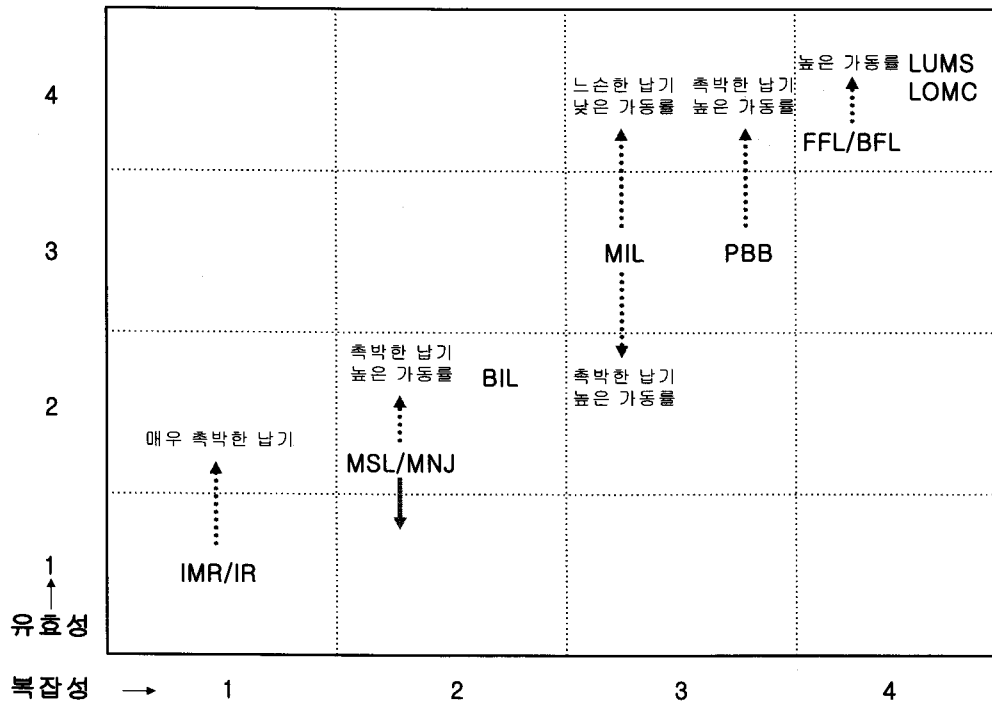
단계 1에 속한 IMR과 IR의 유일한 차이는 투입결정 주기에 있다. IR를 실험한 대부분의 연구는 투입결정 주기를 하루(즉, 8시간이며 1교대)로 잡았다(예, Ahmed & Fisher 1992; Sabuncuoglu & Karapinar, 2000). IMR과 IR의 성과차이를 분석한 연구는 Sabuncuoglu와 Karapinar(1999)가 유일무이하다. 이 연구에 따르면, 평균흐름시간이나 평균지연시간 상 IMR이 IR보다 항상 더 낮고(단순 비교), 그 차이도 대부분의 경우 통계적으로 유의하다. 여기서 일정계획 기준은 SPT와 MOD(Modified Operation Due Date)이다. 그러나 MAD 상으로 납기가 촉박한 환경에서는 당연히 IMR이 낮고, 촉박하지 않은 환경에서는 IR이 낮다. 논리적으로 볼 때 이러한 패턴은 다른 단계에서도 동일하게 나타나리라 추론한다.

Ahmed와 Fisher(1992)는 IR이 몇몇 납기결정 방식(JIQ: Jobs in the Queue) · 일정계획 기준(CR)과 함께 사용될 때 매우 우수한 성과를 거둠을 보였다. 또한 IR의 성과는 평가기준, 납기결정 방식, 일정계획 기준에 따라 달라진다는 점을 지적하였다. 하지만 Philipoom 등(1993)에 따르면, IR이 우수한 성과를 거두는 환경은 납기촉박도가 매우 높은 경우인데, 이런 경우에 효과적으로 작동하는 다른 ORR모형(예, PBB)과 비교하면 IR의 상대적 유효성은 낮게 평가될 수밖에 없다(p.1129).

단계 2

Ragatz와 Mabert(1988)에 따르면, MNJ는 공장 내 성과에 거의 영향을 미치지 않으며 IR과도 총비용 상 통계적으로 유의한 차이가 없다(p.184). 단지 MAD 상 일정계획 기준이 SPT인 경우 IR 대비 10% 내외의 성과개선이 있다. 여기서 다른 일정계획 기준은 FCFS(First Come First Served), EDD, CR이다. 또한 MNJ는 BIL보다 MAD 상으로 항상 열위에 있다.

같은 MAD 상으로 보면, 일정계획 기준이 CR이나 MOD일 경우 MSL의 성과도 IR보다 낮지 못하다



<그림 2> 제안된 COMPACT 매트릭스

(Bobrowski & Park, 1989). Sabuncuoglu와 Karapinar (2000)는 대부분의 환경에서 MSL과 IR의 MAD 성도가 유사하나, 납기가 촉박하고 설비가동률이 높은 환경에서만 MSL이 IR보다 더 나은 모습을 보였다(일정계획 기준은 SPT와 MOD).

MNJ와 MSL은 MAD 성도가 IR과 유사하고 BIL보다는 좋지 못하다. 따라서 이 단계에서는 세 모형 중 BIL의 유효성이 가장 높다고 할 수 있다(MAD 기준, 검증된 일정계획 기준은 FCFS, SPT, EDD, CR).

단계 3

Sabuncuoglu와 Karapinar(2000)의 연구에 의하면 MAD 상으로 MIL과 PBB의 상대적인 유효성은 납기 촉박도에 영향을 받지 않으며, 설비가동률에 따라서 크게 달라진다. 사용된 일정계획 기준 SPT와 MOD 모두에 대해 낮은 설비가동률(66%) 환경에서 MIL이 더 낮고, 높은 설비가동률(91%) 환경에서 PBB가 더 좋다. 이들이 설정한 설비가동률 변화폭은 25% 포인트이며, Philipoom 등(1993)의 변화폭 5% 포인트(87% 대 92%)에 비해 매우 크다(<표 3> 참조). 따라서 전자의 연구에서 설비가동률의 영향이 아주 극명하게 대비된다.

일찍이 Philipoom 등(1993)은 설비가동률이 높고 납기촉박도 수준이 높은 경우 MIL이 주문을 즉시 투입

하게 되어 IR과 같이 기능하며, 그 유효성은 IR 수준으로 어느 정도 하락할 수밖에 없다고 지적하였다(p.1129). MIL과 PBB의 상대적 유효성 평가를 위해서 설비가동률과 납기촉박도가 동시에 고려되어야 하며, 상기한 90% 초반의 설비가동률에서 납기가 촉박하게 결정될수록 PBB가, 느슨하게 결정될수록 MIL이 나아질 것이라 판단된다.

단계 4

이 단계의 모형들을 비교 분석한 연구는 거의 찾아볼 수 없다. 단지 Oosterman 등(2000)이 순수 Job Shop(작업요소의 수와 작업경로가 전혀 일정치 않은 공장)에서 LOMC가 LUMS1보다 평균흐름시간 상 더 낫다고 한 정도이다. 하지만 작업요소의 수가 작업장의 수와 같다는 제한이 불거나 작업경로에 일정한 순서가 있다는 조건이 생기면 LOMC의 유효성(평균흐름시간 기준)은 상대적으로 악화된다.

4.2.2 단계 간 비교

IR과 MSL의 유효성은 MAD 수치상으로 볼 때 유사하다. Bobrowski와 Park(1989)에 따르면, IR과 MSL은 1~3일 정도(일정계획 기준과 납기촉박도에 따라 변화폭)의 MAD를 기록했는데, 이 둘 간의 MAD

차이는 23~95분 정도에 불과하다(일정계획 기준은 CR과 MOD). 앞서 논의한대로, Ragatz와 Mabert(1988)의 연구에서도 IR과 MNJ가 서로 비슷한 유효성 수준을 보였다. 예외적으로 MNJ와 SPT를 함께 선택할 때 IR과 SPT 조합보다 더 나은 성과를 보이거나 이 경우에도 MNJ와 함께 단계 2에 속한 BIL과는 현격한 차이가 있다.

BIL과 MIL은 주문 투입 메커니즘이 비슷하나, BIL은 MIL과 달리 투입결정 시 공장의 작업부하를 고려하지 않는다. 대부분의 경우 MIL보다 더 나은 유효성을 거둘 수 없다(예, Ragatz & Mabert, 1988). 단, MIL의 성과가 급격히 악화되는 상황이 발생하면 상황이 반전될 수도 있다(Ahmed & Fisher, 1992). 그런 상황은 MIL이 IR처럼 움직이는 상황으로서, 설비가동률이 높고 납기촉박도가 높은 환경이 여기에 속한다(Philipoom 등, 1993). 이런 경우 IR의 유효성이 향상되고, MIL의 유효성은 악화된다.

3, 4 단계 모형들에 관한 한 전 단계 모형들과는 달리 유효성 성과에 일관성이 드러나지 않는다. 따라서 연구결과를 일정계획 기준별로 나누어 살펴본다.

(1) 일정계획 기준이 CR일 때의 MAD 유효성 비교: Ragatz와 Mabert(1988)에 의하면 납기촉박도에 상관없이 BFL은 MIL보다 효과적이다. 일정계획 기준(FCFS, SPT, EDD, CR) 중 실험한 모든 ORR모형을 위해 가장 효과적인 것이 CR이고, 실험한 모든 일정계획 기준에 대해 가장 효과적인 ORR모형이 BFL이다. 가장 좋은 조합은 역시 BFL과 CR이다. 이는 모든 납기촉박도 수준에서 그러하다.

Bobrowski와 Park(1989)도 납기촉박도에 상관없이 FFL이 MIL보다 더 효과적이라는 결과를 내놓았다. 하지만 Ahmed와 Fisher(1992)의 연구(납기결정 방식이 NOP인 경우에 한함)에서는 MAD 값이 MIL, BIL, FFL, IR 순으로 커짐을 보여주었다.

(2) 일정계획 기준이 SPT일 때의 MAD 유효성 비교: MAD값에 있어 BFL이 MIL보다 더 효과적이지 않다는 연구결과(납기촉박도가 중간 이하일 경우)가 있다(Ragatz & Mabert, 1988).

한편, 또 다른 단계 4 모형 FFL이 BIL이나 MIL보다 더 효과적이라는 결과도 있다(Ahmed & Fisher, 1992). Sabuncuoglu와 Karapinar(2000)는 설비가동률이 낮은 환경에서는 MIL이 더 효과적이고, 설비가동률이 높은 환경에서는 FFL이 더 효과적이라고 하였다.

(3) 일정계획 기준이 FCFS나 EDD일 때의 MAD 유효성 비교: 단계 4의 두 모형 BFL과 FFL이 MIL보다 더 효과적임을 Ragatz와 Mabert(1988), Ahmed와

Fisher(1992)가 각각 보여주었다.

(4) 일정계획 기준이 MOD일 때의 MAD 유효성 비교: Bobrowski와 Park(1989)은 MIL보다 FFL이 더 효과적임을 보여주었다. 일정계획 기준이 SPT일 때와 마찬가지로 Sabuncuoglu와 Karapinar(2000)는 설비가동률이 낮은 환경에서는 MIL이 더 효과적이고, 설비가동률이 높은 환경에서는 FFL이 더 효과적임을 보여주었다.

4.3 제안된 COMPACT 매트릭스

전술한 복잡성·유효성 평가에 따라 <그림 2>와 같이 COMPACT 매트릭스를 제안한다. 우리는 복잡성에 상응하는 유효성을 기대하여 각 모형을 대각선상에 위치시켰다. 앞에서 ORR모형을 서로 비교한 바와 같이 납기촉박도와 설비가동률에 따라 유효성이 변할 수 있음을 화살표로 표시하였다. 여기서 유효성의 변화란 상대적 유효성의 개선이나 악화를 말하는 것이다. ORR DSS 사용자에게 ORR모형을 제안할 때 복잡성 단계별로 이상형 혹은 만족형 모형을 제안해야 한다.

IMR/IR의 경우 원래 절충형의 성격이 강하나 납기가 매우 촉박할 경우 이상형으로 변할 가능성이 있다. MSL/MNJ는 원래 절충형인데 촉박한 납기와 높은 가동률 하에서는 이상형으로 변할 가능성이 다소 있다. 단, 그 외의 경우 기대 이하의 성적을 낼 가능성이 더 많다. BIL은 MSL/MNJ에 비해 성과가 매우 안정적이고 뛰어나며 이상형의 속성을 가지고 있다. 상황에 따라 매우 뛰어난 만족형이 될 수도 있고 아주 심한 실망형이 될 수 있는 것이 MIL이다. 납기가 느슨하고 설비가동률이 낮아 주문 투입 결정의 여지가 많을 경우 뛰어난 성과를 낸다. 반면 PBB는 납기가 촉박하고 설비가동률이 높을 때 진가를 발휘하는 만족형 모형이다. 마지막으로 FFL/BFL은 일정계획 기준에 따라 다양한 결과가 상존하며 설비가동률이 높을수록 성과가 개선될 가능성이 있다. LUMS와 LOMC에 관한 평가를 위해서는 더 많은 실증연구가 필요하다.

5. 결론

ORR을 통해 공장의 성과를 개선할 수 있지만 이를 지원할 DSS의 개발이 미진한 실정이다. 앞으로 개발될 ORR DSS는 사용자의 필요를 충족시키기 위해 다양한 ORR모형을 모델베이스에 갖추어야 한다. ORR

DSS 사용자는 복잡성 대비 유효성을 기준으로 모델 베이스로부터 특정 ORR모형을 선택하려 할 것이다. 여기서 ORR모형의 복잡성은 정보의 양과 그 정보의 수집·갱신·분석 빈도 등에 따라 결정된다. 또, ORR모형의 유효성은 여러 가지 운영 성과에 따라 결정된다. 현대 생산관리의 화두인 적시 생산에서 가장 중요한 운영 성과는 납기준수이다.

새로 개발될 ORR DSS는 사용자의 필요(복잡성 대비 유효성)에 따라 적합한 ORR모형을 제안하는 기능을 갖추어야 한다. 이를 위해 우리는 복잡성과 유효성을 두 차원으로 하는 "COMPACT 매트릭스"를 제안하고, 몇몇 ORR모형을 평가·분류하였다. 각 모형은 납기축박도와 설비가동률이란 상황변수로부터 많은 영향을 받기 때문에 그 유형 분류가 다소 가변적이었다. 새로 개발될 DSS는 상황변화에 맞춰 ORR모형을 달리 제안하는 역동성(Dynamics)을 가져야 한다.

본 연구는 DSS 구현을 염두에 두고 ORR모형의 분류체계를 개념적으로 설계한 것이다. 이 분류체계는 납기결정 방식, 일정계획 기준 등을 종합적으로 반영하여 더 세밀하게 발전시킬 필요가 있다. 이를 위해 근본적으로 더욱 폭넓은 실증연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Ahmed, I. and W. W. Fisher, "Due Date Assignment, Job Order Release, and Sequencing Interaction in Job Shop Scheduling," *Decision Sciences*, 1992, 23(3), 633-647.
- [2] Baker, K. R., "The Effects of Input Control on the Performance of a Simple Scheduling Model," *Journal of Operations Management*, 1984, 4(2), pp.99-112.
- [3] Bechte, K. "Theory and Practice of Load-oriented Manufacturing Control," *International Journal of Production Research*, 1988, 26(3), 375-395.
- [4] 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*, 1997, 35(2), 339-420.
- [5] Bertrand, J.W. M. and van Ooijen, H. P. G. "Workload Based Order Release and Productivity: A Missing Link." *Production Planning & Control*, 2002, 13(7), 665-678.
- [6] Bobrowski, P. M. and P. S. Park, "Work Release Strategies in a Dual Resource Constrained Job Shop," *OMEGA*, 1989, 17(2), 177-188.
- [7] Cigolini, R. and Portioli-Staudacher. "An Experimental Investigation on Workload Limiting Methods within ORR Policies in a Job Shop Environment," *Production Planning & Control*, 2002, 13(7), 602-613
- [8] Davis, F. D., "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology," *MIS Quarterly*, 1989, 13(3), 319-340.
- [9] Fick, G. P. "Decision Support System-A Development Strategy for Production Planning," *Engineering Costs and Production Economics*, 1982, 6, 201-204.
- [10] Glassey, C. R. and Resende, M. C. "Closed-Loop Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1988, 1(1), 1521-1534.
- [11] Hendry, L. C., & Kingsman, B. G., "Job Release: Part of a Hierarchical System to Manage Manufacturing Lead Times in Make-to-Order companies," *Journal of Operational Research Society*, 1991, 42(10), 61-70
- [12] Irastorza, J. C. and Deane, R. H. "A Loading and Balancing Methodology for Job Shop Control," *AIIE Transactions*, 1974, 6(4), 302-307
- [13] Jacobs, L. W. and Joachim "DSS for Job Shop Machine Scheduling," *Industrial Management*, 1994, 94(4), 15-24
- [14] Kingsman, B. G., Tatsiopoulou, L. P. and Hendry, L. C. "A Structural Methodology for Managing Manufacturing Lead Times in Make-to-Order Companies," *European Journal of Operational Research*, 1989, 40, 196-209
- [15] Kanet, J. J. "Load-Limited Order Release in Job Shop Scheduling Systems," *Journal of Operations Management*, 1988, 7(3), 44-58.
- [16] Melnyk, S. A., P. L. Carter, D. M. Dilts, and D. M. Lyth, *Shop Floor Control*, Dow Jones-Irwin, Homewood, IL, 1985.
- [17] Melnyk, S. A. and P. L. Carter, *Production Activity Control: A Practical Guide*, Dow Jones-Irwin, Homewood, IL, 1987.
- [18] Melnyk, S. A. and G. L. Ragatz, "Order

- Review/Release and Its Impact on the Shop Floor," *Production and Inventory Management Journal*, 1988, 29(2), pp.13-17.
- [19] Melnyk, S. A., Ragatz, G. L. & Fredendall, L. "Load Smoothing by the Planning and Order Review/Release System: A Simulation Experiment," *Journal of Operations Management*, 1991, 10(4), 512- 523
- [20] Newman, W. Rocky and Mary Jo Maffei, "Managing the Job Shop: Simulating the Effects of Flexibility, Order Release Mechanisms and Sequencing Rules," *Integrated Manufacturing Systems*, 1999, 10(5), 266-275.
- [21] Nicholson, S. A. J., & Pullen, R. D. "A Practical Control System for Optimizing Production Schedules," *International Journal of Production Research*, 1971, 9(2), 219-227
- [22] O'Grady, P. J. and M. A. Azoz, "An Adaptive Approach to Shop Loading," *OMEGA*, 1987, 15(2), 121-128.
- [23] Oosterman, B., Land, M. and Gaalman, G. "The Influence of Shop Characteristics on Workload Control," *International Journal of Production Economics*, 2000, 68, 107-119
- [24] Park, P. S. and P. M. Bobrowski, "Job Release and Labor Flexibility in a Dual Resource Constrained Job Shop," *Journal of Operations Management*, 1989, 8(3), 230-249.
- [25] Park, P. S. and G. J. Salegna, "Load Smoothing with Feedback in a Bottleneck Job Shop," *International Journal of Production Research*, 1995, 33(6), 1549-1568.
- [26] Philipoom, P. R. and T. D. Fry, "Order Review/Release in the Absence of Adherence to Formal Scheduling Policies," *Journal of Operations Management*, 1999, 17, 327-342.
- [27] Philipoom, P. R., M. K. Malhotra, and J. B. Jensen, "An Evaluation of Capacity Sensitive Order Review and Release Procedures in Job Shops," *Decision Sciences*, 1993, 24(6), 1109-1133.
- [28] Ragatz, G. L. and V. A. Mabert, "An Evaluation of Order Release Mechanisms in a Job-shop Environment," *Decision Sciences*, 1988, 19(1), 167-189.
- [29] Riane, F., Artiba, A and Lassinovski, S. "An Integrated Production Planning and Scheduling System Hybrid Flowshop Organizations," 2001, 74(1-3), 33
- [30] Sabuncuoglu, I. and Karapinar, H. Y. "Analysis of Order Review/Release Problem in Production System," *International Journal of Production Economics*, 1999, 62, 259-279
- [31] Sabuncuoglu, I. and H. Y. Karapinar, "A Load-based and Due-Date-Oriented Approach to Order Review/Release in Job Shops," *Decision Sciences*, 2000, 31(2), 413-447.
- [32] Shimoyashiro, S., Isoda, K. and Awane, H. "Input Scheduling and Load Balance Control for a Job Shop," *International Journal of Production Research*, 1984, 22(4), 597-605
- [33] Speranza, M. G. and Woerlee, A. P. "A Decision Support System for Operational Production Scheduling," *European Journal of Operational Research*, 1991, 55(3), 329-344
- [34] Stevenson, M. and Hendry, L.C. "Aggregate Load-Oriented Workload Control: A Review and a Re-classification of a Key Approach," *International Journal of Production Economics*, 2006, 104, 676-693
- [35] Tatsiopoulos, L. P. and Kingsman B. G. "Lead Time Management," *European Journal of Operational Research*, 1983, 13, 351-358
- [36] Tsai, C. H., G. T. Chang, and R. K. Li, "Integrating Order Release Control with Due-Date Assignment Rules," *International Journal of Production Research*, 1997, 35(12), 3379-3392.
- [37] Wight, O. W. "Input/Output Control- A Real Handle on Lead Time," *Production and Inventory Management*, 1970, 11(3), 9-31
- [38] Wisner, Joel D., "A Review of the Order Release Policy Research," *International Journal of Operations and Production Management*, 1995, 15(6), 25-40.
- [39] Wisner, Joel D. and S. P. Siferd, "A Survey of U.S. Manufacturing Practices in Make-to-Order Machine Shops," *Production and Inventory Management Journal*, 1995, 36(1), 1-7.



민 동 권 (Dong-Kwon Min)

- 서강대학교 경영학 학사, 석사
- 美 Indiana 대학교 경영학 박사
- 現 숙명여자대학교 경영학부 교수