

고객 및 부품공급자를 포함한 개별공정 제조시스템에서의 생산입력통제의 역할에 관한 연구

The Analysis of the Role of Production Input Control in a Job Shop
Manufacturing Environment Considering Customers and Suppliers

김현수*

Hyun Soo Kim*

Abstract

Manufacturing is fast entering a new age of industrial excellence that is being called "Agile Manufacturing." The goal of Agile Manufacturing is to link customers, suppliers, and the manufacturing system into a super-efficient confederation to produce a variety of products quickly and at a low cost. In order to improve the quality of the study of production input control(PIC) in a job shop manufacturing system by reducing the significant gap between research models and models of actual manufacturing systems, the previous line of research on PICs in a job shop manufacturing system is extended by integrating customers and suppliers with the manufacturing system. Then, a set of measures is developed to evaluate PICs, measures that reflect concerns of customers and suppliers as well as concerns of the manufacturer. Also, a weighted overall measure(with various cases to represent different possible weights of manufacturer's emphasis on the performance measures) is used to synthesize all the performance measures. Then, for each case, various existing PICs are evaluated in combination with various priority dispatching rules(PDRs).

* 경기대학교 산업공학과

1. 서론

제조활동은 빠른 시간 내에 최저의 비용으로 다양한 제품을 생산할 수 있도록 제조시스템과 부품공급자 그리고 고객을 초 효율적으로 통합하는 “신속제조”(Agile Manufacturing) 환경으로 빠르게 전환하여가고 있다. 생산통제에 관해 많은 연구를 해온 Baker[2]는 생산입력통제(production input control, PIC)의 연구가 가장 큰 결실을 얻을 수 있는 분야는 개별공정 제조시스템이며, 특별히 연구에 사용되는 모델은 실제 개별공정 제조시스템의 복잡성을 충실히 잘 나타낼 수 있어야 한다고 강조한다. 더욱이 최근의 연구를 통하여 Lingayat를 비롯한 몇 명의 학자[7]들도 생산통제에 관한 연구는 좀더 실제적인 제조분야의 상황을 연구 모형화할 필요가 있다고 제안한다. 이러한 문제점들의 지적은 지금까지 사용되어왔던 연구모델들이 실제적인 제조시스템을 나타내기에는 많은 차이점들을 가지고있기 때문이며, 이 차이점들은 제조환경이 신속제조로 급속히 전환 되어감에 따라 더욱 커져만 가고있는 실정이다.

2. 연구목적

제조시스템만을 고려했던 기존의 연구모형을[1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12] 부품공급자와 고객을 포함시키는 확장된 제조환경의 연구모형으로 새롭게 개발하여 개별공정 제조시스템에서의 생산입력통제에 관한 연구결과를 좀더 현실적인 방향으로 이끌도록 하며, 신속제조 환경하에서의 생산입력통제의 역할을 분석하고자 한다. 이러한 연구목적을 달성하

기 위하여 다음과 같은 세부적 연구사항들이 다루어진다:

- (i) 개별공정 제조시스템에서의 생산입력통제에 관한 기존의 연구모형을 제조시스템과 부품공급자 그리고 고객을 모두 함께 포함시키는 연구모형으로 새롭게 확장하여 실제적 제조환경과 연구모델과의 차이점을 좁힌다.
- (ii) 제조업자뿐만 아니라 고객과 부품공급자 각각의 관심도를 개별적으로 측정할 수 있는 새로운 성과측정치들을 개발하여 생산입력통제의 평가에 사용한다.
- (iii) 각각의 성과측정치들에 대한 제조업자의 중요 관심도에는 제조업자의 특성상 차이가 있을 수 있으며, 이를 고려하기 위하여 여러 개의 상황을 설정하고, 각 상황마다 사용된 생산입력통제의 역할을 비교, 분석하기 위하여 모든 성과측정치들을 종합하여 하나의 수치로 나타낼 수 있도록 가중적 종합측정치(Weight Overall Measure)를 개발한다.
- (iv) 새롭게 개발된 생산통제모형을 사용하여 기존에 개발된 여러 생산입력통제방식들을 작업우선순위결정방식들과 함께 비교, 분석하여 생산통제에 있어서의 생산입력통제의 역할을 연구한다.

3. 연구모형

본 연구에서는 제조시스템에 부품공급자와 고객을 포함시킨 확장된 연구모형을 “제조환

경"이라 명칭하며 그림 1과 같이 나타낸다.

제조환경내에서 고객과 제조시스템의 접촉은 주문(order)의 도착으로 나타낼 수 있으며, 이전까지의 연구들은 도착된 주문은 모두 접수된다고 가정한 반면 본 연구모형에서는 고객의 주문은 바로 접수되는 것이 아니라 주문시 제조시스템의 상황에 따라 결정되도록 하였다. 이것은 실제적으로, 고객의 주문접수시 제조시스템의 상황이 이미 접수한 주문으로 많은 작업물량을 보유하고 있는 상태이면 새로 도착한 고객은 주문이 완료될 때까지 오랜 시간을 기다려야만 하므로 주문을 접수하지 않을 것이다. 따라서 좀 더 현실적인 상황을 나타내기 위하여 제조시스템내의 주문접수조건이 만족스러운 경우에만 고객은 주문을 하며, 주문접수조건이 만족스럽지 못할 경우 주문을 하지 않도록 가정하였다. 또한

고객의 주문이 접수될 때 작업 완성후의 배달일자에 관한 고객의 선호도를 미리 접수하여 적절한 조치가 이루어지도록 하였다. 고객의 주문배달에 관한 선호도는 작업이 주문납기일 이전에 완료되었을 경우 (i) 주문납기일 이전에도 배달을 원하거나 (ii) 단지 미리 약속된 주문납기일에만 배달을 허용하는 것으로 분류한다.

접수된 고객의 주문은 바로 주문등록단계로 보내지며 그곳에서는 주문의 제조과정에서 필요한 다음의 특성들이 결정된다: (i)제조시스템에 도착한 시간, (ii)주문납기일, (iii)총 공정수, (iv)공정순서, (v)각 공정단계에서의 공정시간 및 준비시간. 주문납기일의 결정을 위해서는 필요한 부품의 재고상태가 점검되며, 필요한 부품이 없을 시에는 부품의 주문에서 배달까지 소요되는 시간이 주문납

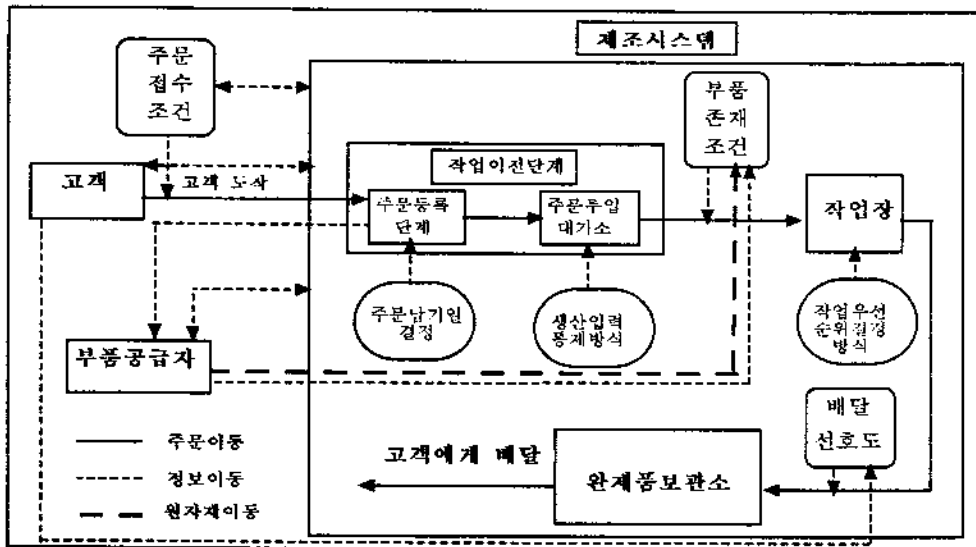


그림 1. 개별공정의 "제조환경"

기일 결정에 추가된다.

제조과정에 필요한 모든 특성들이 결정되면, 필요한 부품의 재고여부에 따라 각각의 주문은 바로 주문투입대기소로 보내지거나 (부품이 있을 때), 주문등록단계에서 필요한 부품이 배달될 때까지 대기하게 된다. 주문 투입대기소에 도착된 주문은 생산입력통제방식(PIC)에 의해 실제 작업장으로 투입될 때까지 주문투입대기소에서 대기하게 된다. 실제 작업장에 투입된 주문(order)은 그때부터 작업(job)이라고 불리며 작업장내에서의 이동은 작업우선순위결정방식(Priority Dispatching Rule: PDR)에 따라 통제된다. 작업에 필요한 모든 공정들이 끝난 후 만일 작업이 납기일보다 일찍 끝났을 경우 고객의 주문배달 선호도에 따라 (1) 바로 고객에게 배달되거나 (2) 납기일 까지 완제품보관소에서 대기하게 된다.

본 연구모형에서 개별공정 제조시스템을 나타내기 위해 사용된 구성요소들은 생산통제에 관한 이전의 연구에서 자주 사용되어온 대표적인 것들로 구성되었다: 여섯개의 각기 다른 작업소가 실제 작업장을 이루고 있으며, 각 작업소는 한개의 기계와 한명의 작업자로 구성된다. 작업에 필요한 총 공정수는 평균이 4인 정규분포를 따르지만 최소 공정수를 2로 하여, 만일 총 공정수가 2이하로 정해지는 경우 그 작업의 총 공정수는 2로 한다. 공정순서에 따라 한 공정을 위해 배정된 작업은 그 작업에는 다시 배정될 수 없으며 따라서 최대 공정수는 6개가 된다.

주문의 도착은 개별공정 연구에서 대표적으로 사용하고 있는 포아송분포를 따르며 평균 시간당 1.67의 주문이 도착한다고 가정한다.

다. 각 공정에 필요한 시간은 공정시간과 준비시간으로 구성되며, 공정시간은 지수분포를 따르며 공정당 평균 0.825시간을 사용한다. 지수분포의 꼬리부분으로부터 배정될 수 있는 아주 특별한 공정시간의 발생을 막기 위하여 한 개의 공정당 최대 공정시간을 4시간으로 제한한다. 공정 준비시간은 공정시간에 비해 상대적으로 적은 시간으로써 정규분포를 따르며 배정된 공정시간의 10%에 해당하는 시간을 평균으로 하고 평균준비시간의 15%를 표준편차로 한다.

4. 성과측정치

생산통제에 관한 기존의 연구에서는 다음과 같은 성과측정치들이 주로 사용되어 왔다: (1) 주문배달 성과(delivery performance), (2) 공정중 재고량(WIP inventory), (3) 시간(주문이 완성품이 될 때까지의 시스템시간(system time), 작업장내에서의 실제 작업시간(shop floor time)), (4) 총비용(재고유지비용 과 납기일을 지키지 못한 경우의 벌금).

실제로 고객은 제조시스템에 주문을 접수시킨 후 여러 번에 걸쳐 주문을 변경하고자 하는 것이 현실이며, 이러한 고객의 주문변경 요청에 잘 대응할 수 있는 능력은 고객의 만족도 라는 측면에서 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서 새롭게 도입된 제조환경은 고객을 포함하고 있으므로 고객의 만족도를 측정하는 새로운 성과측정치가 개발되었다. 유연성(Flexibility)이라 명칭된 새로운 성과측정치는 이전에는 사용된 적이 없으며, 주문이 접수된 후 고객이 주문을 변경할 수 있는 시간을 총 시스템시간과의 비율로 나타내었

다. 접수된 주문의 변경은 그 주문의 납기일에 영향을 미치지 않을 경우에만 가능하며, 또한 주문이 실제 작업장에 투입되기 이전까지만 가능하다고 가정한다. 유연성은 다음과 같이 정의된다:

유연성 = 실제작업 이전시간/전체시스템시간

실제작업 이전시간: 주문접수시간 - 실제 작업장으로의 투입시간

전체시스템시간: 주문접수시간 - 주문 (작업) 완료시간

따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 다섯 가지의 성과측정치들이 사용된다:

- (1) 완료된 작업중 납기일을 넘겨 완료된 작업수(Proportional Number of Tardy Jobs) = 지각 완료된 총 작업수 / 완료된 작업수
- (2) 공정중 재고량(WIP Inventory)
- (3) 평균작업시간(Shop floor Time)
- (4) 총비용(Total Cost)
 - = 배달지연벌금(late delivery penalty)* 평균지연시간(average tardiness) + 완공품재고보관비(holding costs of finished goods)*납기일한정 배달선호주문중 평균조기 완공시간(average earliness of jobs which has on-time delivery preference)
- (5) 유연성(Flexibility)
 - = 실제작업 이전시간/전체시스템시간

생산통제에 관한 기존의 연구에서는 앞서 언급한 네가지 성과측정치(주문배달 성과, 공

정중 재고량, 시간, 총비용)들이 생산입력통제방식을 평가하기 위하여 각각 따로 사용되어 왔다. 따라서, 기존의 연구결과들을 살펴보면 거의 모든 경우에 특정 생산입력통제방식은 특정 성과측정치에서는(예, 공정중재고량) 뛰어난 성과를 얻으나 그 외의 성과측정치들(예, 시스템 시간, 정시배달)에서는 다른 생산입력통제방식들보다 못한 결과를 초래하는 것을 알 수 있다. 제조업의 특성상 어느 특정 성과측정치에 비중을 많이 둘 수는 있지만, 이들 네가지 성과측정치들 모두가 제조공정으로부터 야기된 결과들을 각각 다른 측면에서 나타내기 때문에 네가지 성과측정치 모두가 중요시 취급되어야 한다는 점에서 기존의 연구에 도입되었던 성과측정치 사용 방법에는 문제점이 있으며, 이를 보완하기 위해서 기존의 연구에 사용되어온 네가지 성과측정치들과 새롭게 개발된 성과측정치(유연성)를 각각이 아닌 모두가 동시에 평가될 수 있는 “종합적” 성과측정치(Combined Performance Measure: CPM)가 개발되었다. 종합적 성과측정치(CPM)는 해당 제조업의 특성과 관심사항을 나타내는 특정 성과측정치를 중요시 하면서도 기타 다른 성과측정치들도 고려하는 새로운 개념의 성과측정치라고 할 수 있으며 다음과 같이 구성된다:

$$\text{종합적성과측정치(CPM)} = \sum_{i=1}^5 \text{WF}_i * \text{PM}_i$$

WF_i: 성과 측정치 i에 대한 제조업의 관심 비중, i=1,5

PM_i: 성과 측정치 i, i=1,5

새롭게 개발된 종합적 성과측정치는 단순한 형태로 구성되어 있으나, 여러 성과측정

치들을 함께 사용하여 생산입력통제방식을 평가, 연구할 수 있다는 의미에서 중요성을 둘 수 있으며, 종합적성과측정치(CPM)의 사용은 고객과 부품공급자를 포함하는 새로운 제조환경에서 제조업의 특성과 관심사항에 따라 가장 적절한 생산입력통제방식을 채택할 수 있게 한다. 다만, 본 연구에서는 종합적성과측정치(CPM)에 사용된 다섯가지 성과측정치들간에 발생할 수 있는 상관관계는 고려하지 않았다.

특정 성과측정치에 대한 제조업의 관심비중(weight factor) 할당문제를 전반적으로 다루기 위해, 본 연구에서는 사용된 다섯가지 성과측정치들에 대한 관심비중 할당배정을 여섯가지 경우로 나누었다. 표 1은 관심비중 할당배정에 관한 여섯가지 경우를 소개하고 있다.

입력통제방식, (3) 작업우선순위결정방식. 본 연구에서 사용된 자기 다른 생산통제방식들은 다음과 같다:

주문납기일결정방식

기존의 연구결과에 따르면 주문납기일결정방식의 경우에 실제 작업장의 상태를 알 수 있는 정보를 사용하는 방식이 가장 뛰어난 성과측정치를 얻을 수 있다고 한다[7]. 따라서 본 연구에서는 실제 작업장의 상태를 나타내는 정보와, 주문에 관한 정보를 사용하는 주문납기일 결정방식을 사용하도록 한다:

$$DD_i = AT_i + [TPT_i + TPTJS_i] * PC$$

DD_i: 주문 i의 납기일,

AT_i: 주문 i의 제조 시스템에 도착한 시간,

TPT_i: 주문 i의 총 공정시간,

TPTJS_i: 현재 시스템에 있는 작업들 중 주

표 1. 관심비중 할당배정에 관한 여섯가지 경우

	성과측정치 1 (납기일 넘겨 완료된 작업수)	성과측정치 2 (공정중제고량)	성과측정치 3 (평균작업시간)	성과측정치 4 (1/유연성)	성과측정치 5 (총비용)
경우 1	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
경우 2	40 %	15 %	15 %	15 %	15 %
경우 3	15 %	40 %	15 %	15 %	15 %
경우 4	15 %	15 %	40 %	15 %	15 %
경우 5	15 %	15 %	15 %	40 %	15 %
경우 6	15 %	15 %	15 %	15 %	40 %

5. 생산통제방식

개별공정 제조시스템의 생산통제를 위해서는 일반적으로 세가지 자기 다른 통제방식이 사용된다: (1) 주문납기일결정방식, (2) 생산

문 i의 공정순서에 있는 작업소를 현재 또는 앞으로 거칠 작업들의 총 공정시간,

PC: 양의 상수.

작업우선순위결정방식

“실제 작업장내의 작업자들은 복잡한 형태의 작업우선순위결정방식보다는 작업자들이 이해하기 쉽고, 다루기 쉬운 작업우선순위결정방식을 사용하려 한다[10]”는 이유에서 볼 수 있듯이 작업우선순위결정방식의 단순화는 매우 중요한 사항이다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 연구에서 가장 많이 사용되어 왔던 단순한 형태의 세가지 작업우선순위결정방식과 그것보다는 다소 복잡한 형태의 한가지 작업우선순위결정방식을 사용하도록 한다.

- (1) FCFS(First-Come-First-Served): 가장 오랫동안 대기중인 작업이 우선적으로 선택된다.
- (2) EDD(Earliest Due-date): 대기중인 작업들 중에서 가장 빠른 주문납기일을 가지고 있는 작업이 우선적으로 선택된다.
- (3) SPT(Shortest Processing Time): 대기중인 작업들 중 가장 짧은 공정시간을 가지고 있는 작업이 우선적으로 선택된다.
- (4) CR(Critical Ratio): 대기중인 작업들 중에서 가장 작은 CR 수치를 가지고 있는 작업이 우선적으로 선택된다. CR 수치는 작업이 주문납기일을 맞추기가 얼마나 어려운가를 나타내는 척도로서, CR 수치가 작을수록 주문납기일을 맞추기가 어려운 작업임을 나타낸다. CR 수치는 다음과 같이 구한다:

$$CR_i = (DD_i - TNOW)/RTPT_i$$

CR_i: 작업 i의 CR 수치

DD_i: 작업 i의 주문납기일

TNOW: 현재시각

RTPT_i: 작업 i의 총 잔여 공정시간

생산입력통제방식

본 연구에서는 생산입력 통제방식에 관한 기존의 연구에서 추천하고있는 세가지 생산입력 통제방식과 사실상 입력통제를 하지 않는 즉시투입(IMM)의 네가지 각기 다른 생산입력 통제방식을 사용하도록 한다:

- (1) IMM (즉시투입): 주문은 도착된 즉시 실제 작업장으로 투입된다.
- (2) ILN (공정수에 따른 무한정 투입): 주문은 반듯이 투입일이 되어야만 실제 작업장으로 투입된다. 주문의 투입일은 다음과 같이 계산된다:

$$RD_i = DD_i - k_1N_i - k_2Q_i$$

RD_i: 주문 i의 투입일

DD_i: 주문 i의 주문납기일

N_i: 주문 i의 총 공정수

Q_i: 주문 i의 공정 순서상에 있는 작업소에 현재 대기중인 총 작업수

k₁, k₂: 양의 상수

- (3) MSL (작업장내 최대작업량을 사용한 한정 투입): 작업장내의 최대작업량을 미리 정하여 현재시점의 총 작업량과 최대작업량을 비교하여 주문을 한정적으로 투입한다. 현 시점의 총 작업량이 최대작업량을 초과할 시에는 주문은 투입되지 못하고 주문투입대기소로 보내진다. 반면에, 현 시점의 총 작업량이 최대작업량보다 미달할 시에는 주문투입대기소에서 대기중인 주문들에 대하여 현시점을 기준으로 우선순위수치(priority value, PV)를 각각의 주문에 대

해 새롭게 계산하여 가장 작은 수치를 가지는 주문을 투입하게 된다. 우선순위 수치는 다음과 같이 계산된다:

$$PV_i = (DD_i - TNOW)/TOT_i$$

PV_i: 주문 i의 우선순위수치

DD_i: 주문 i의 주문납기일

TNOW: 현재시각

TOT_i: 주문 i의 총 공정시간

- (4) CWIP (일정 작업수를 사용한 한정 투입): 작업장내의 총 작업수가 미리 정한 일정작업수(Constant WIP level) 보다 적을 경우에만 FCFS에 의해 투입되므로 작업장내의 작업수를 일정하게 유지시키고자 한다.

6. 실험준비

좀더 정확한 성과측정치를 얻기 위하여 다 반복적인 모의실험(simulation)을 사용하였으며, 초기단계에서 발생할 수 있는 불안정한 데이터를 통한 문제점을 없애고자 일정량의 초기단계 데이터를 삭제하였다. 초기조건으로는 항상 “기계는 작동하지 않고있고 작업장내에는 아무런 작업도없다”는 상황을 적용하였으며, 모의실험 결과의 우발성을 줄이기 위하여 Common Random Number (CRN)를 사용한 블록제도를 도입하였다[6]. 모의실험용 언어로는 SLAM II(Simulation Language for Alternative Modeling)가 사용되었다.

총 16개의 각기 다른 생산통제방식 조합은 11개의 생산입력통제방식(IMM, ILN, MSL, CWIP)과 5개의 작업우선순위결정방식(FCFS, EDD, SPT, CR) 그리고 한개의 주문납기일결정방식으로 이루어졌으며 각기 다른 관심비

중을 할당한 여섯가지 경우에 따라 각각 비교, 분석되었다. 사용된 생산입력통제방식중 세가지 방식(ILN, MSL, CWIP)은 각각이 필요로 하는 모수를 모의실험에 앞서 미리 결정해 주어야 하기 때문에 다음과 같은 절차를 거쳐 결정하였다:

- (1) 잠정적 모수를 임의로 정한다.
- (2) 정해진 모수를 사용하여 모의실험을 실시한다.
- (3) 모의실험 결과로부터 다섯가지의 성과 측정치를 얻는다.
- (4) (1)부터 (3)까지의 단계를 충분한 횟수 동안 반복한다.
- (5) 얻어진 모든 성과측정치들을 함께 비교하기 위하여 일반화한다.
- (6) 각각의 모수에 따라 종합적성과측정치를 계산한다.
- (7) 생산입력 통제방식과 작업우선순위결정방식의 조합에 따라 가장 적절한 모수를 선택한다.

7. 실험결과

표 2에 나타나 있는 모의실험 결과에서 볼 수 있듯이 경우에 따라 생산통제방식에 사용된 모수들이 동일한 수치가 사용된 것을 알 수 있으며 이들을 비교, 분석하기 위하여 표 1을 통해 소개한 여섯개의 각기 다른 경우(경우1 - 경우6)에 따라 다른 관심비중이 할당된 각각의 성과측정치들을 이용한 종합적 성과측정치(CPM)가 계산되었다. 특별히, 성과측정치들이 나타내는 수치의 범위가 각기 다르기 때문에 발생하는 문제점을 없애기 위하여 일반화 작업을 (최우량 수치와 최불량

표 2. 모의실험을 통해 예측된 성과측정치

생산통제방식 (PIC, PDR)	경우	납기일 넘겨 완료된 작업수	공정중재고량	평균작업시간	1/유연성	총비용
IMM, FCFS	모든경우	0.003467	64.640	41.86	17.8956	177.11
IMM, EDD	모든경우	0.000136	61.494	39.70	18.3584	110.76
IMM, SPT	모든경우	0.045480	40.808	25.44	9.3923	5356.57
IMM, CR	모든경우	0.247438	69.818	45.50	18.9627	462.86
ILN,FCFS	1,2,6	0.027342	49.181	32.34	3.2676	136.61
	3,4,5	0.071147	45.031	29.80	2.7235	142.23
ILN, EDD	1,2,5,6	0.000724	41.780	27.95	2.4416	93.29
	3,4	0.012935	37.689	25.36	2.1158	115.24
ILN, SPT	1,3,4,5,6	0.092487	26.894	17.07	1.8221	1232.24
	2	0.066461	28.728	18.15	2.0223	1914.67
ILN, CR	1,3,4,5,6	0.384102	52.027	34.33	3.2179	296.87
	2	0.344500	55.615	36.51	3.9286	306.79
MSL, FCFS	1,3,4,5	0.050600	59.248	38.45	5.4821	391.06
	2	0.007770	63.305	40.96	11.8077	254.89
	6	0.003429	64.600	41.79	17.8201	175.16
MSL, EDD	1	0.017557	47.035	30.74	3.0102	293.45
	2	0.005114	52.210	33.85	4.3440	275.93
	3,4,5	0.038516	41.229	27.18	2.2981	304.86
	6	0.000226	61.280	38.93	17.8433	105.07
MSL, SPT	1,3,4,5,6	0.100003	31.286	19.69	2.0015	1561.28
	2	0.069722	33.514	20.99	2.3264	2463.85
MSL, CR	1,2,6	0.262518	66.105	43.06	9.0354	467.43
	3,4,5	0.288020	62.251	40.58	5.6459	480.70
CWIP, FCFS	1,2,6	0.024265	57.880	38.16	4.6959	163.67
	3,4,5	0.062907	51.952	35.20	3.4227	170.62
CWIP, EDD	1,2,6	0.000952	47.967	31.69	3.2085	127.78
	3	0.037393	37.998	25.60	2.1031	133.24
	4,5	0.007204	41.993	28.01	2.4385	128.16
CWIP, SPT	1,5	0.061588	33.943	20.83	2.4040	3068.30
	2	0.047915	37.863	23.96	3.3303	4993.31
	3,4,6	0.074032	30.959	19.57	2.1693	2307.38
CWIP, CR	1,2,6	0.337518	59.912	39.62	4.2424	496.88
	3,4,5	0.350443	57.937	38.29	3.8739	488.26

수치와의 차이에 따른 비율적용) 통해 성과측정치들을 일반화하여 종합적성과측정치(CPM)를 계산하였다:

$$\text{종합적성과측정치(CPM}_k) = \sum_{i=1}^5 \text{WF}_{ki} * \text{NPM}_{ki}$$

CPM_k: 경우 k의 종합적성과측정치, k=1,6
 WF_{ki}: 경우 k의 성과측정치 i에 대한 관심비

중, $i=1,5$

NPM_{ki} : 경우 k의 일반화된 성과측정치 $i, i=1,5$

중요관심도의 차이에 따라 나누어진 여섯 가지 경우를 통해, 각기 다른 경우를 종합적 성과측정치를 사용하여 비교된 총 16가지의 생산통제방식의 결과가 표 3에 있다.

- (2) 주문 도착시간,
 - (3) 원자재 사용가능시간,
 - (4) 공정 완료를 위해 필요한 공정수,
 - (5) 주문의 공정순서상에 있는 각각의 작업소에서 현재 대기 중에 있는 작업의 총수.
- 특별히, 네가지의 생산입력통제방식(IMM,

표 3. 종합적성과측정치를 이용한 각 경우에 따른 결과 분석

	경우 1 (모두동일)	경우 2 (납기일 넘겨 완료된 작업수: 40%)	경우 3 (공정중재고량: 40%)	경우 4 (평균작업시간: 40%)	경우 5 (1/유연성: 40%)	경우 6 (총비용: 40%)
가장 우수	ILN, SPT	ILN, EDD	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, EDD
2번째 우수	MSL, SPT	ILN, SPT	MSL, SPT	MSL, SPT	MSL, SPT	ILN, SPT
3번째 우수	ILN, EDD	CWIP, EDD	CWIP, SPT	CWIP, SPT	ILN, EDD	CWIP, EDD

표 3에서 볼 수 있듯이, 모든 경우에서 ILN 생산입력통제방식이 가장 우수한 결과를 나타내고 있으며, 이 결과는 네가지 경우(경우 1, 경우3, 경우4, 경우5)에서 ILN 생산입력통제방식은 SPT 작업우선순위결정방식과 함께, 그리고 나머지 두가지 경우(경우2, 경우6)에서는 EDD 작업우선순위결정방식과 함께 가장 우수한 결과를 나타내고 있다.

본 연구에 사용된 네가지의 생산입력통제방식(IMM, ILN, MSL, CWIP)중 ILN 생산입력통제방식이 가장 우수한 결과를 나타낸 것은 매우 흥미있는 결과로서, 사용된 네가지의 생산입력통제방식중 ILN 생산입력통제방식이 가장 다양한 정보를 사용하고 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. ILN 생산입력통제방식에 사용된 정보는 다음과 같다:

(1) 주문납기일,

ILN, MSL, CWIP)중 ILN 생산입력통제방식만이 주문의 투입일을 미리 계산하여 사용하고 있다. 투입일을 미리 계산하여 사용하는 점은 제조업자와 원자재공급자 그리고 고객이 모두 '언제쯤 고객의 주문이 실제 작업장으로 투입되는지'를 미리 알 수 있다는 점에서 다음과 같은 여러 중요성을 내포하고 있다:

- (1) 원자재공급자는 언제까지 원자재가 공급되어야 하는지 날짜를 미리 알 수 있으므로 해서 필요한 원자재 공급과 관련한 자체적 제조계획을 미리 수립할 수 있다.
- (2) 필요한 원자재는 필요한 시점에 맞춰 원자재공급자로부터 실제 작업장으로 배달될 수 있으므로 해서 작업장내의 재고수준을 최저상태로 낮춰 유지할 수

있다.

- (3) 주문에 대한 좀더 정확한 상태의 정보를 고객에게 제공함으로써 해서 고객에 대한 서비스를 높일 수 있다.
- (4) 고객에게 주문 변경이 가능한 최종적 날짜를 미리 제공할 수 있으므로 해서 고객 만족도를 높일 수 있다.

위의 결과를 다른 측면에서 해석해 보면, 작업자들이 담당하여야 하는 작업우선순위결정방식은 가능한 간단한 방식을 사용하고(예, SPT 또는 EDD 작업우선순위결정방식), 작업자들이 직접 담당하지 않아도 되는 생산입력통제방식은 가능한 다양하고 많은 정보를 이용하는 방식(예, ILN 생산입력통제방식)으로 사용할 경우 종합적으로 매우 우수한 성과측정치를 얻을 수 있다는 사실을 나타내고 있다. 이것은 앞서 언급하였던 작업우선순위결정방식의 단순화가 다음과 같은 이유로 중요시되어야 하는 점과 부합되고 있다.

“실제 작업장의 작업자들은 많은 정보들을 사용해야 하는 복잡한 작업우선순위결정방식보다는 작업자들이 이해하기 쉽고 사용하기 쉬운 간단한 작업우선순위결정방식을 선호한다[10]”.

다음의 표 4에서는 각 성과측정치에 대하여 경우에 따라 가장 우수한 결과를 얻을 수 있는 생산입력통제방식과 작업우선순위결정방식을 보여주고 있다. 표 4에서 볼 수 있듯이, 공정중재고량 성과측정치에서는 가장 우수한 결과가 항상 ILN 생산입력통제방식과 SPT 작업우선순위결정방식이 조합된 생산통

제방식으로 얻을 수 있으며, 또한 평균작업시간 성과측정치와 유연성 성과측정치의 경우도 항상 ILN 생산입력통제방식과 SPT 작업우선순위결정방식이 조합된 생산통제방식으로 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 반면에 납기일을 넘겨 완료된 작업수 성과측정치에서는 가장 우수한 결과가 항상 IMM 생산입력통제방식과 EDD 작업우선순위결정방식이 조합된 생산통제방식으로 얻을 수 있으며, 총비용 성과측정치에서는 EDD 작업우선순위결정방식이 ILN 생산입력통제방식(4/6) 또는 IMM 생산입력통제방식(2/6)과 함께 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

SPT 와 EDD 작업우선순위결정방식은 동일하지는 않지만 다음과 같이 시간에 관련된 간단한 정보만을 사용하고 있다: (1) SPT: 작업의 공정시간에 관한 정보 사용, (2) EDD: 작업의 납기일에 관한 정보 사용. 그러나 SPT 작업우선순위결정방식은 공정중재고량, 평균작업시간, 유연성 등의 성과측정치에서 가장 뛰어난 결과를 얻을 수 있었고, EDD 작업우선순위결정방식은 총비용, 납기일을 넘겨 완료된 작업수 등의 성과측정치에서 가장 뛰어난 결과를 얻을 수 있었다는 점에서 본 연구에 사용된 다섯개의 각기 다른 성과측정치들은 다음과 같이 두개의 성과측정치 그룹으로 분류될 수 있다:

그룹 I 성과측정치: 공정중재고량, 평균작업시간, 유연성,

그룹 II 성과측정치: 납기일을 넘겨 완료된 작업수, 총비용.

두개의 그룹으로 분류된 각 성과측정치들은 동일 그룹내의 성과측정치들끼리는 서로 유사한 결과를 도출하는 반면에 다른 그룹의

표 4. 각 성과측정치에 대한 각 경우의 최우수 PIC, PDR

	경우 1 (모두동일)	경우 2 (납기일 넘겨 완료된 작업수: 40%)	경우 3 (공정중재고량: 40%)	경우 4 (평균작업시간: 40%)	경우 5 (1/유연성: 40%)	경우 6 (총비용: 40%)
납기일 넘겨 완료된작업수	IMM, EDD	IMM, EDD	IMM, EDD	IMM, EDD	IMM, EDD	IMM, EDD
공정중재고량	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT
평균작업시간	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT
유연성	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT	ILN, SPT
총비용	ILN, EDD	ILN, EDD	IMM, EDD	IMM, EDD	ILN, EDD	ILN, EDD

성과측정치들과는 서로 상반된 결과를 발생한다는 점에서 그 특징이 있다. 특히, SPT 작업우선순위결정방식이 그룹 I의 공정중재고량, 평균작업시간, 유연성과 같은 성과측정치들에서 뛰어난 결과를 얻었다는 사실과 EDD 작업우선순위결정방식이 그룹 II의 납기일을 넘겨 완료된 작업수, 총비용과 같은 성과측정치들에서 우수한 결과를 얻었다는 사실로부터 다음과 같은 결론을 유도할 수 있다:

- (1) 본 연구에 사용된 어떤 작업우선순위 결정방식과도 ILN 생산입력통제방식은 가장 적은 공정중재고량 성과측정치를 얻을 수 있고, IMM 생산입력통제방식은 가장 많은 공정중재고량 성과측정치를 발생시킨다. 이 결과는 좀더 다양하고 많은 정보를 사용한 생산입력통제방식이 공정중재고량을 낮출 수 있다는 것을 말하며, 이로부터 생산입력통제방식의 가장 근본적 기능은 공정중재고량 성과측정치를 통제하는 것이라 할 수 있으며 나아가 그룹 I의 성과

측정치들인 공정중재고량, 평균작업시간, 유연성들을 통제하는 것이라 할 수 있다.

- (2) 본 연구에 사용된 어떤 작업우선순위 결정방식과도 ILN과 IMM 생산입력통제방식은 공정중재고량과 납기일을 넘겨 완료된 작업수 성과측정치들에 있어 서로 상반되는 결과를 낳는다. 가장 적은 공정중재고량을 얻을 수 있는 ILN 생산입력통제방식은 가장 많은 공정중재고량을 얻는 IMM 생산입력통제방식보다 많은 납기일을 넘겨 완료된 작업수를 얻는다는 것이다. 이 결과는 좀더 다양하고 많은 정보를 사용한 생산입력통제방식이 더 많은 납기일을 넘겨 완료된 작업수를 발생케 한다는 것을 말하며, 이로부터 생산입력통제방식은 납기일을 넘겨 완료된 작업수 성과측정치를 통제하는 기능이 아니며 나아가 그룹 II의 성과측정치인 납기일을 넘겨 완료된 작업수, 총비용들을 통제할

수 없다고 할 수 있다.

- (3) 결론 (1)과 (2)를 근거로 하여 생산통제 방식에서 생산입력통제방식은 그룹 I의 성과측정치들을 통제하는 기능을 가지며 작업우선순위결정방식은 그룹 II의 성과측정치들을 통제하는 기능을 가지고 있다고 각각의 역할을 정의할 수 있다.

8. 결론

본 연구에서는 실제 제조환경에 좀더 가까운 연구모형을 개발하고자, 제조시스템에 고객과 부품공급자를 포함시키는 확정적 연구모형을 개발하였으며, 새로운 성과측정치의 개발과 함께 제조업의 중요관심도 차이에 따른 여러 경우에 생산통제방식을 비교, 분석하기 위하여 종합적성과측정치를 개발하였다. 모의실험을 통하여 생산입력통제방식은 가능한 한 다양하고 많은 정보를 사용하는 방식으로 이루어지며 작업우선순위결정방식은 가능한 한 간단한 방식으로 이루어질 때 생산통제에 있어서 가장 우수한 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 특별히 생산입력통제방식과 작업우선순위결정방식이 통제할 수 있는 영역이 각기 다르다는 것과 생산통제에 있어서 각각의 역할을 분석하였다.

참고문헌

- [1] Ahmed, I., and Fisher, W.W., "Due Date Assignment, Job Order Release, and Sequencing Interaction in Job Shop Scheduling", *Decision Sciences*, Vol.23, pp.633-647, 1992.
- [2] Baker, K.R., "The Effects of Input Control in a Simple Scheduling Model", *Journal of Operations Management*, Vol.4, No.2, pp.99-112, 1984.
- [3] Bertrand, J.W.M., "The Effect of Workload Dependent Due-dates on Job Shop Performance", *Management Science*, Vol.29, No.7, pp.799-816, 1983.
- [4] Glassey, C.R., Resende, M.G.C., "Closed-Loop Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing", *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol.1, No.1, pp.36-46, 1988.
- [5] Irastorza, J.C., and Deane, R.H., "A Loading and Balancing Methodology for Job Shop Control", *AIIE Transactions*, Vol.6, No.4, pp.302-307, 1974.
- [6] Law, A.M., and Kelton, W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw Hill, 1991.
- [7] Lingayat, S., Mittenthal, J., and O'Keefe, R.M., "Order Release in Automated Manufacturing System", *Decision Sciences*, Vol.26, No.2, pp.175-205, 1995.
- [8] Melnyk, S.A., and Ragatz, G.L., "Order Review/Release: Research Issues and Perspectives", *Int. J. of Production Research*, Vol.27, No.7, pp.1081-1096, 1989.
- [9] Melnyk, S.A., Ragatz, G.L., and Fredendall, L., "Loading Smoothing by the Planning and Order Review/Release Systems: A Simulation Experiment", *Journal of Operations Management*, Vol.10, No.4, pp.512-523,

- 1991.
- [10] Ragatz, B.L., and Mabert, V.A., "An Evaluation of Order Release Mechanisms in a Job-Shop Environment", *Decision Sciences*, Vol.19, pp.167-189, 1988.
- [11] Raman, N., "Input Control in Job Shops", *IE Transactions*, Vol.27, pp.201-209, 1995.
- [12] Spearman, M.L., Woodruff, D.L., and Hopp, W.J., "CONWIP: a pull alternative to Kanban", *Int. J. of Production Research*, Vol.28, No.5, pp.879-894, 1990.

97년 4월 최초 접수, 97년 7월 최종 수정