

中期-生産計劃 模型에 관한 研究現況 및 展望 (A Research Survey and Prospect on the Medium-Range Production Planning Model)

金萬洙*, 金禹烈*

Abstract

Considerable research has concentrated on medium-range production planning model in that it can contain long and short-term decision making in contents. Since medium-range production planning deals in situations with setup time or/and costs, solution methodology is classified by (1) optimization method using a sort of integer programming approach and network formulation (2) heuristic method offering an computationally easy, approximate solution. But, solution methodology is different in type of demand generation, existence of capacity and dependant demand. Therefore this paper reviewed the medium range production planning according to above mentioned three factors, and suggested for further work direction.

I. 서 론

生産計劃에 관한 의사결정은 조직내 의사결정 段階와 고려하는 의사결정 내용 및 計劃기간에 따라 분류된다. 그림 1은 일반적인 生産計劃 과정에 관한 의사결정을 보여준다. 조직구조의 맨 꼭대기 段階에서 수행하는 전략적 의사결정은 1

년 이상의 장기 生産計劃으로, 製品의 종류 및 공정, 판매에 관한 내용과 공장 및 기계설비에 의한 生産容量 규모에 관한 내용을 다룬다. 1개월에서 1년 정도의 計劃기간을 고려하는 中期 生産計劃은 완제품 및 부품들의 生産시기와 수량을 결정하는 生産일정과 인력에 의한 容量규모 결정에 관한 내용을 다루게 된다. 그리고 1개

* 東新工大

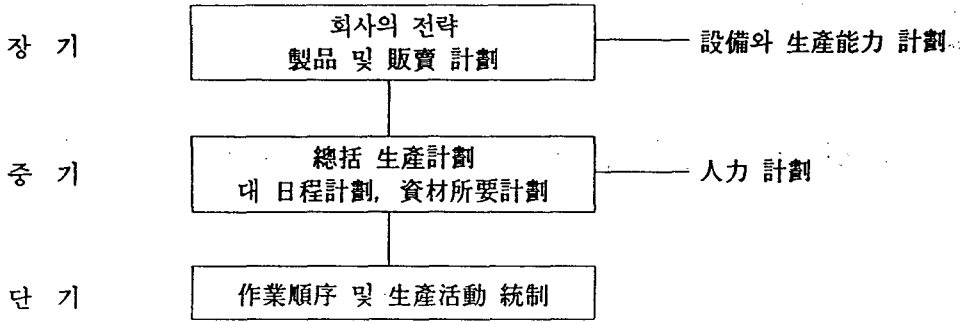


그림 1. 生産計劃 意思決定

월 미만의 단기 生産計劃에서는 기계별 작업순서 및 작업장 통제에 관한 내용을 다루고 있다.

각 段階에서의 의사결정은 다른 段階의 의사결정에 영향을 끼치는 것이므로 모든 段階의 의사결정을 동시에 다루는 모델이 제시되어야 할 것이다. 지금까지의 研究들의 대부분은 각 段階별 의사결정에 관한 모델을 제시하였는데, 특히 中期 生産計劃 모델에 관한 研究가 활발하게 계속되어 왔다. 그 이유 중 하나로서 中期 生産計劃 모델은 다루는 내용이 다른 段階의 의사결정 내용을 포함할 수 있기 때문이다.

본 研究는 中期 生産計劃 모델에 관한 지금까지의 研究현황을 살펴보고, 통합모델을 포함하는 앞으로의 研究방향을 전망하고자 한다.

II. 研究 현황

中期 生産計劃 모델은 가동준비(set-up) 비용을 고려하고 있다. 가동준비는 生産여부를 나

타내는 것으로, 0또는 1의 값으로 표현된다. 따라서, 모델은 0,1 혼합정수모델이 된다. 이 모델의 研究는 정수計劃法(IP) 제 技法을 사용하거나, 네트워크 모델으로 전환하여 해를 구하는 최적해법에 관한 研究와, 계산의 효율을 제고한 휴리스틱(heuristic) 技法에 관한 研究로 나뉘어진다.

그런데, 해를 구하는 방법은 需要 발생형태, 容量 제약식의 유무 및 종속需要의 유무에 의해 달라지게 된다. 따라서 본 研究 현황은 이런 요인들로 분류하고자 한다.

1. 連續需要形 生産시스템(Continuous Demand Type Production System)

連續需要形 生産시스템은 일반적으로 製品의 需要가 일정한 비율로 連續적으로 발생하며, 計劃期間은 무한하다고 가정하고 있다. 1915년 Harris의 경제적 주문량(economic order quantity : EOQ) 모델이 제안된 이래로, 이를 토대로

수많은 生産-재고 시스템이 개발되었고, 다양한 生産시스템의 로트크기 결정技法에 관한 研究가 활발히 進行되었다. (65)

EOQ 模型은 連續需要形 生産시스템에서 가동준비 비용과 재고유지비가 같아지는 수량이 총 비용을 최소화하는 최적 수량이 된다는 것을 보여주고 있다(89). 이 模型은 원래 連續需要形 시스템에 관해 研究되어졌으나, MRP시스템이 적용되는 離散需要形 生産시스템에도 사용하고 자 하는 研究가 있었다. Schwarz (92)는 유한 計劃기간하에서 EOQ 模型을, Heemsbergen (61)은 需要가 일정율로 離散的으로 발생할 때의 EOQ 模型에 관해 研究했다. 그러나, 需要가 주기별로 가변적으로 발생하고, 計劃기간이 유한한 離散需要形 生産시스템에서는 더 이상 최적해를 제공하지 못하므로 대신 휴리스틱技法이 개발되었다(69, 82).

한 대의 기계가 여러 종류의 製品을 生産하는 이른바 경제적 로트크기 문제(economic lot size problem : ELSP)는 특정 시간에 많아야 한 종류의 製品만이 기계에 할당되도록 製品별 生産순서와 生産量의 크기를 결정하는 문제로서 최적해를 제공하는 공통주기法(common rotation cycle method)과 휴리스틱 해를 제공하는 기본주기법(base period method) 등이 研究되었다. (32, 36, 41, 58) 가동준비비가 生産순서에 따라 변하는 경우에 Galvin (51)은 최적 生産순서를 얻기위해 TSP技法을 사용하였다.

連續需要形 多段階 生産시스템에 관한 研究로, Taha & Skeith (98)는 주문잔고를 허용하는 직렬형 시스템에 대해 최적 生産일정을 구하였다. 조립형 시스템에 관한 研究로는 Crowston et al. (31)의 동적計劃 模型, Schwarz & Schrage (93)의 분지한계技法 등을 들 수 있다. 이들은 각 段階의 최적 로트크기는 상위段階(successor stage) 로트크기의 정수배가 된다고 주장하였다. 이와 유사한 研究로 정수분할 로트 요구량(integer split lot requirement) 개념이 Jensen & Khan (64), Drezner et al. (37), Moily (83) 등에 의해 제안되었는데, 이는 상위 段階에서 요구하는 로트크기의 일부분만을 하위 段階에서 충당하는 방식으로 로트크기를 결정한 다.

2. 離散需要形 生産시스템(Discrete-Type Production System)

고정된 生産計劃기간 하에서 각 기간별 需要量은 일정하지 않으며, 需要는 기간말에 일시에 발생한다고 가정하고 있다. 이 분야에 관한 研究는 需要형태와 容量제약의 유무에 의해 분류할 수 있다(8, 72). 需要형태는 고객의 직접적인 요구에 의해 발생하는 독립需要(independent demand)와 부분 조립품 또는 完製品 등의 상위부품을 生産할 때에 하위부품에 대하여 발생하는 종속需要(dependent demand)로써 구분되며, 이것은 자재명세서(bill of material) 상에 단일段

階 (single-level)와 多段階 (multi-level)로 나뉘게 된다. 容量제약의 유무는 製品生産에 필요한 자원(예를들면 기계, 인력 또는 자본)의 수량이 제한되어 있는지의 여부에 의해 나뉘어진다.

1) 容量제약이 없는 단일段階 生産시스템 (single-level system without capacity constraints)

이 시스템에 관한 研究들의 주된 관심사는 단일 製品의 각 기간별 需要 D_t 를 충족시키면서, 計劃기간 T 내의 총 가동준비 비용과 재고유지비용의 합을 최소화시키는 生産일정 즉 生産시기와 生産량을 결정하는 것이다.

수학적으로 아래와 같은 형태가 된다.

$$(P1) \quad \text{Min} \sum_{t=1}^T (S \cdot \delta(X_t) + H \cdot I_t) \\ \text{s. t.} \quad I_{t-1} + X_t - I_t = D_t \quad \forall t \quad (1)$$

$$\delta(X_t) = \begin{cases} 0 & X_t = 0 \\ 1 & X_t > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$X_t, I_t \geq 0 \quad \forall t$$

(1)식은 재고균형 제약식이고, (2)식은 주기별 生産가동 여부를 나타내고 있다. Wanger 와 Whitin (101)은 최적해를 주는 동적計劃模型을 개발하였다. 이들은 비용함수의 오목성 (concavity)을 통하여, 오직 Extreme Solution만 고려하면 최적해를 찾을 수 있다는 것을 제시하였고, Planning Horizon Theorem을 증명하였다. w-w 模型의 계산상 난해함으로 인하여 여러 휴리스틱 技法들이 제안되었다. Gorham (53)의

Least Total Cost (LTC) 模型, Orlicky (86)의 Periodic Order Quantity (POQ)와 Lot for Lot (LFL) 模型, Dilworth & Lowe (33)의 Part Period Balancing (PPB) 模型, Silver & Meal (94)의 Silver-Meal (SM) 模型, 그리고 Groff (56)의 한계비용 模型 등이 잘 알려진 技法들이다.

이 외에 需要분포 및 비용함수의 변화에 따른 휴리스틱 模型들간의 비교 研究 (11, 23, 24)와 고정된 計劃기간이 아닌 Rolling Horizon의 경우에 관한 研究가 병행되어 왔다 (9, 63).

2) 容量제약이 있는 단일段階 生産시스템 (single level system with capacity constraints)

容量제약이 있는 단일段階 生産시스템은 동일한 자원을 사용하는 多製品을 다루고 있다. 일반적으로 자원의 容量이 제한되어 있으므로, 需要를 만족시키면서 비용을 최소화하는 生産일정을 구하는 일은 결코 용이하지 않다. 보편적인 문제類型은 고정된 計劃기간 하에서 각 기간별 需要는 주어져 있고, 주문잔고 없이 만족되어야 하며, 기간별 및 자원類型별 容量제약 하에서 計劃기간 T 내의 가동준비 비용과 재고유지비용의 합을 최소화 하는 N 개의 多製品의 生産시기와 生産량을 결정하는 것이다.

수학적으로 아래와 같은 형태가 된다.

$$(P2) \quad \text{Min} \sum_{i=1}^K \sum_{t=1}^T (S_i \cdot \delta(X_{it}) + H_i \cdot I_{it}) \\ \text{s. t.} \quad I_{it-1} + X_{it} - I_{it} = D_{it} \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot X_{it} \leq C_t \quad \forall t \quad (4)$$

$$\delta(X_{it}) = \begin{cases} 0 & X_{it} = 0 \\ 1 & X_{it} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad \forall i, t$$

(3)식과 (5)식은 (PI)과 동일하고, 식(4)는 가용용량 C_t 인 용량제약식이다. 이 모델식의 변화로는 S_t, H_t 값이 시간에 따라 변화하는 경우, (4)식에 고정 용량소요량이 첨가되는 경우 및 단위량 생산시에 소모되는 자원용량 a_i 가 시간에 따라 달라지는 경우 등이다.

자원제약하의 다품종 생산계획은 NP-hard 문제로 알려져 있다(44). 그럼에도 불구하고 최적해를 구하고자 하는 여러 시도가 있었다. 비용함수의 오목성(concavity)을 가정한 연구(43)와 분지한계(branch & bound) 기술을 사용한 연구(10) 등이 있다. 최근에는 변수 재정의(variable redefinition) 기술을 이용한 연구가 있었다. (42).

휴리스틱 기술은 대부분 두 유형으로 분류되는데, 첫번째 유형은 기간 1부터 각 제품의 생산량을 결정하면서 계획기간 T까지 점차적으로 진행되는 기간별(Period by period) 기술이고, 두번째 유형은 자원제약 조건을 무시한 단일단계 문제를 풀어서 초기해를 구한 다음, 점차로 용량제약 조건을 만족시켜 나가는 방식을 사용하고 있다. 전자의 방법은 우선순위(priority index)를 사용하여 우선적으로 생산할 제품과 그 수명을 결정하고 있다(34, 40, 75, 79). 이 유형

에 속한 연구들은 우선순위(priority index)를 결정하는 방법과 실행가능성(feasibility)을 보증하는 방법에서 차이가 있다. 후자의 방법은 용량 제약 조건을 무시하고 얻은 해의 실행가능성(infeasibility)을 최소의 비용으로 제거하고자 한다. 실행불가능성을 제거하기 위해서는 생산시기를 앞당기므로써 가능하다. 이 유형의 잘 알려진 휴리스틱 기술으로는 Dogramaci et al(35)의 4단계 알고리즘(four step algorithm)과 Karni & Roll(68)의 연구가 있다.

이 외에, 계산시간은 위에서 언급한 휴리스틱 기술보다 많이 소요되지만, 최적해에 좀 더 접근하려는 시도가 있었다(84, 100). Lagrangian Relaxation 및 분지한계 기술을 사용하되, 하한한계(lower bound)값이 미리 설정된 상한한계(upper bound)값이 되거나 또는 지정된 계산 반복 횟수가 되면 멈추고, 지금까지 얻은 값중에서 최선의 것을 선택하는 방식을 사용하고 있다.

자원 제약하의 문제에 있어서, 용량을 결정하는 정규노동시간 및 초과노동시간을 결정변수로 하여 다제품의 생산시기와 생산량 및 용량규모를 결정하는 연구가 계속되어 왔다. 이 분야는 계층적 생산계획(Hierarchical Production Planning : HPP) 및 총괄 생산계획(Aggregate production Planning : APP)과 함께 연구되어 왔다. HPP는 개별제품(item)을 동시에 가동준비 할 수 있는 제품의 집합 즉 그룹(fa-

mily)으로 나누고, 그룹들은 유사한 需要형태 및 같은 生産率을 갖는 그룹들의 집합 즉, 類型 (type)으로 분해함으로써, 소요容量은 類型 (type)을 다루는 문제에서 결정하고, 가동준비는 그룹 (family)에서 고려함으로써 容量규모와 함께 生産시기와 수량을 동시에 결정하고 있다. 이에 관한 研究는 Hax & Meal(60), Bitran et al(16) 및 Graves(55) 등이 기여하였다.

APP는 자원 제약하의 문제에서 변화하는 需要를 충족시키기 위하여 生産量, 재고수준 및 노동력수준을 결정하는 生産計劃으로서, 노동력수준은 가용容量 규모를 조정하는 역할을 수행한다. 이에 관한 研究는 최적해를 제공하는 분석적 模型과 근사해를 주는 시뮬레이션 模型으로 분류할 수 있다. 분석적 模型으로는 Holt et al의 LDR(62), Hansman & Hess의 LP(59) 및 Lee & Moore의 GP(76) 技法 등이 있고, 시뮬레이션 模型으로 Bowman의 경영계수 模型(21), Jones의 모수 生産計劃(66), Taubert의 탐색결정技法(99) 및 Mellichamp & Love의 生産전환 模型(81) 등이 있다.

Manne(80)는 W-W 해의 가능한 生産순서 (dominant production sequences)를 결정변수로 하는 정수計劃 模型을 제시하고, 生産시기 및 生産量, 재고량 및 초과근무량을 LP技法을 사용하여 결정하였다. Dzielinski & gomory(38), Lasdon & TerJung(77), Bahl & Ritzman(7) 등은 각각 decomposition, column

generation technique 및 가능한 生産 순서쌍의 수를 줄임으로써 Manne 模型의 계산상 효율을 증대시켰다.

Newson(84), Kleindorfer & Newson(71)은 Lagrangian Relaxation 技法을 사용하여 容量제약식을 목적함수 항에 포함시킴으로써 원래 문제를 生産일정 구하는 문제와 生産容量 구하는 문제로 나누어서 풀었다.

3) 容量제약이 없는 多段階 生産시스템 (multi-stage production system without capacity constraints)

원재료, 부품, 부분품 또는 半製品, 完製品 등 여러 段階의 제조 공정으로 구성되는 多段階 시스템에서의 生産計劃은, 단일段階 시스템에서 보다 더욱 복잡한 문제를 야기시킨다. 하위段階에 속해 있는 부품의 生産量과 生産시기는 상위段階의 生産計劃에 의해 영향을 받는다. 따라서 多段階 生産計劃 수립시에 이 영향을 반영시켜야 한다.

가장 단순한 多段階 生産시스템은 完製品을 제외한 모든 부품이 서로 다른 오직 하나의 직속 상위부품을 가지는 선형 조립형 (line-assembly) 生産시스템이다. 오목비용 (concave cost)의 가정 하에서 Zangwill(103, 104), Love(78), Kang & Kim(67) 등은 최적해를 주는 模型을 제시하였다.

여러 부품이 동일한 직속 상위부품을 갖는 조립형 시스템에 관한 研究는 Crowston & Wag-

ner(28)가 동적計算法과 분지한계 技法에 의한 최적해를, Afentakis et al(2)이 Lagrangian Relaxation과 분지 한계 技法에 의한 최적해를 제시하였다. 휴리스틱 模型에 관한 研究는 single pass와 multi pass 방식에 의해 구분되는데, Crowston et al(30), Graves (54) 등이 기여하였다. 段階간의 상호 연관성을 무시한 채로 단일段階 로트크기 결정技法인 EOQ, W-W, PPB 등을 순차적으로 적용하는 시도가 있었다. (12, 13, 26) 이 방법들은 계산상 단순하고 신속하지만, 상당부분 최적해의 손실을 감수해야 한다. 이러한 약점을 보강하고자 段階간의 상호연관성을 비용함수의 값을 수정하여 고려하고자 하는 시도가 있었다(19, 20). 가장 복잡한 다단계 生産시스템은 부품이 다수의 직속 상위부품을 갖는 경우이다. Steinberg & Napier (95)는 네트워크 模型을 개발하여 최적해를 제공하였다. 이 模型은 문제크기가 커지는 단점이 있으나, 다른 휴리스틱 模型을 평가하는 기준으로 사용할 수 있다. Graves(54)는 자신의 multi-pass 휴리스틱 模型을 확장, 적용하였다. Afentakis et al(1)은 조립형 시스템에 적용하였던 자신의 研究를 확장하였다.

4) 容量 제약하의 多段階 生産計劃 (multi-stage production planning with capacity constraints)

容量제약하의 多段階 生産計劃 문제는 실제 생산 현장에서 흔히 발생하고 있는 문제이다. 복

잡한 문제를 풀 분석적 模型이 거의 없다는 현실 인식 하에서 기업 현실에 잘 맞고, 生産性 향상에 기여할 목적으로 여러 시스템이 개발되었다. 이 중에 광범위하게 研究, 적용되고 있는 生産 시스템을 MRP, KANBAN 및 OPT를 들 수 있다.

MRP 시스템의 이론과 방법론은 이 분야의 전문가들의 研究 및 문헌에 잘 정리되어 있다(86, 87, 89). MRP 에 관한 대부분의 研究는 로트크기에 관한 것으로, 容量제약이 없는 多段階 生産計劃 분야에서 다루었다. (13, 26, 27). 이 외에 MRP의 동적 성질을 다룬 MRP nervousness에 관한 研究(23, 24, 96)와 容量計劃을 함께 고려하는 MRP-II 또는 폐회로 시스템에 관한 研究(50, 86) 등이 있다.

KANBAN은 일본 Toyota회사에서 처음 개발한 生産統制技法으로 현재 일본 기업내에서 활발히 사용되고 있다. Sugimori et al(97)과 Kimura & Tenada(70)에 의해 방법론과 수학적 模型이 제시되었다. Chang(25)은 비선형 정수計劃法 模型을 개발하여 최적해를 제공하였다. MRP와 비교한 研究로 Rice & Yoshikawa(90)와 Krajeaski et al (73)을 들 수 있다.

OPT는 사용한 회사에서 괄목할 만한 성과를 거둔 것으로 알려지고 있지만, 이 技法 내용에 대한 독점적 규제로 인해 研究가 활성화 되지 못하고 있다. OPT는 로트크기, 容量 및 작업순서를 포함한 生産計劃 및 통제에 관한 의사결정

을 동시에 수행하는 技法으로, Fox(45, 46, 46, 48)가 OPT의 개념과 방법론 및 MRP, KANBAN과의 비교연구를 수행하였다.

容量제약하의 多段階 生産計劃문제에 관한 수학적 模型은 Haehling von Lanzenuer (57), Krajewski & Ritzman(72) 등에 의해 제안되었다. 문제크기, 段階간 상호 연관성, 容量 제약 등으로 인해 특별한 製品구조를 갖는 문제에 관한 연구가 있었다. Lambrecht & Vander Eecken(74)은 단일 完製品에만 자원제약이 있는 선형조립형 문제를 다루고, Gabbay(49)는 Lambrecht 模型을 확장하여 모든 製品에 자원 제약이 있고, 여러 完製品을 다룬 模型을 제시하였다. Zahorik et al(102)은 오직 한 段階에 흐름제약이 있는 선형 조립형 문제를 네트워크 模型으로 전환하여 3기간 문제에 대한 최적해를 제공하였다.

Bitran et al(16)은 Hax & Meal(60)에 의해 제안된 단일段階 HPP 模型을 2段階 HPP模型으로 확장하였다. 이와 유사한 연구로 복잡한 多段階 製品구조를 다루기 쉬운 製品구조로 변환하여 문제크기를 줄이고자 하는 시도가 있었다. (14, 54, 85)

Ⅲ. 결론 및 추후 研究방향

우리는 지금까지 生産計劃 문제에 대한 제반 研究들을 需要 발생형태, 需要 종류 및 容量 제약 유무에 의해 분류하여 조사하였다. 이러한 조

사 방법론은 지금까지 여러 論文에서 다루었던 것으로, 본 論文은 이러한 研究들을 종합, 보완한 것이다.

生産計劃 분야에 관한 추후 研究방향은 자원 제약하의 多段階 生産計劃 문제에 쏠려 있다고 본다. 왜냐하면 기업 현장에 실제로 발생하고 있는 문제들은 容量제약이 있으며, 일반적인 多段階의 製品구조를 가지고 있기 때문이다. 지금까지 진행되어 온 研究들을 종합, 검토한 결과, 추후 研究방향은 다음과 같을 것으로 전망된다.

(1) 模型의 일반화에 관한 研究

生産計劃은 로트크기, 작업순위 및 容量규모 등이 상호 연관을 갖고 있으며, 한 요소의 결정은 다른 요소의 결정에 영향을 미친다. 지금까지의 대부분의 研究는 이러한 상호 연관성을 무시하고 오직 한가지의 요인만을 결정하고 있다. 이러한 모든 요인들을 동시에 고려하고 결정하는 일반적인 模型 수립이 요청된다. 이것 뿐만 아니라 需要 발생형태 즉 離散形과 連續形에 관계없이 적용될 수 있는 模型개발이 요구된다.

(2) 최적화 해법에 관한 研究

복잡한 生産計劃문제의 대부분의 해법은 휴리스틱 技法이 주종을 이루고 있다. 이것은 현실 문제를 수학적으로 模型화 할 수 없다는 것과 설사 模型을 수립하였어도 계산시간이 많이 소요된다는 것이다. 또한, 변수 등의 환경요인 변화에 대응하는데 최적화 模型이 적합하지 않다는 것이다. 그러나 컴퓨터의 계산처리 속도가 급속도로

증가되는 추세로 볼 때, 최적화 모델의 약점은 충분히 보강할 수 있으리라 전망된다.

(3) 문제크기의 축소화에 관한 연구

하위단계에 속한 부품을 상호 공유하는 복잡한 製品구조를 갖는 문제는 다루기가 용이하지 않다. 통합/분배과정을 통하여 문제크기를 축소화하는 연구가 필요하다. 특히 HPP처럼 製品의 그룹화를 통한 방법이나, 計劃기간 및 段階통합을 통하여 다루기 쉬운 製品구조로 전환하는 방법 등이 연구할 과제라고 생각된다.

(4) 모델의 유연성에 관한 연구

산업화된 사회에서 고객의 욕구와 환경의 변화는 다양하면서도 신속성을 요구하고 있다. 生産計劃 모델이 이러한 요구에 부응하기 위해서는 충분한 유연성을 갖고 있어야 한다. 다양성과 신

속성이라는 상반된 요구를 충족시키기 위해 현재 GT 모델, 모듈화 모델, FMS 모델 등이 연구되고 있다. 이러한 연구들과 기존 生産計劃 모델과의 연관성이 추후 연구되어야 할 과제이다.

(5) 자동화 모델에 관한 연구

최근의 生産 현장에 로봇, 컴퓨터 및 CAD/CAM시스템의 도입이 활발히 검토되고 있다. 하드웨어 및 데이터베이스 구축과 아울러 生産시스템의 방법론과 모델에 관한 연구는 공장자동화를 실현시킬 것으로 본다. 이렇게 될 때, 生産시스템의 여러 의사결정 즉, 주 生産日程計劃(master production scheduling), 로트크기, 용량규모 및 작업순서 등은 보다 자동화된 의사결정 영역이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Afentakis, P., and B. Gavish, "Optimal Lot Sizing Algorithms for Complex Product Structures", *Opns. Res.*, Vol. 34, pp. 237~249, 1986.
2. Afentakis, P., B. Gavish and U. Karmarkar, "Computationally Efficient Optimal Solutions to the Lot Sizing Problem in Multi-Stage Assembly Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 30, pp. 222~239, 1984.
3. Axsater, S., and H. L. W. Nuttle, "Combining Items for Lot Sizing in Multi-Level Assembly Systems", *Int. J. Product. Res.*, Vol. 25, pp. 795~807, 1987.
4. Aras, D. A., and L. A. Swanson, "A Lot Sizing and Sequencing Algorithm for Dynamic Demands upon a Single Facility", *J. Opns. Mgmt.*, Vol. 2, pp. 177~185, 1982.
5. Bahl, H. C., and L. P. Ritzman, "An Empirical Investigation of Different Strategies for Material Requirements Planning", *J. Opns. Mgmt.*, Vol. 3, pp. 67~77, 1983.

6. Bahl, H. C, and L.P. Ritzman, "A Cyclical Scheduling Heuristic for Lot Sizing with Capacity Constraints", *Int. J. Product. Res.*, Vol. 22, pp. 791~800, 1984.
7. Bahl, H. C, and L.P. Ritzman, "An Integrated Model for Master Scheduling, Lot Sizing And Capacity Requirements Planning", *J. Opnl. Res. Soc.*, Vol. 35, pp. 389~399, 1984.
8. Bahl, H. C., L. P. Ritzman and J. N. D. Gupta, "Determining Lot Sizes and Resource Requirements : A Review", *Opns. Res.*, Vol. 35, pp. 329~345, 1987.
9. Baker, K. R., "An Experimental Study of the Effectiveness of Rolling Schedules in Production Planning", *Dec. Sci.*, Vol. 8, pp. 19~27, 1977.
10. Barany, T. J., V. Roy and L. A. Wolsey, "Strong Formulations for Multi-Items Capacitated Lot Sizing", *Mgmt. Sci.*, Vol. 30, pp. 1255~1261, 1984.
11. Berry, W. L., "Lot Sizing Procedures for Requirements Planning Systems : A Framework for Analysis", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 13, pp. 19~34, 1972.
12. Biggs, J. A., "Heuristic Lot Sizing and Sequencing Rules in a Multi-stage Production and Inventory System", *Dec. Sci.*, Vol. 10, pp. 96~115, 1979.
13. Biggs, J. R., S. H. Goodman and S. T. Hardy. "Lot Sizing Rules in a Hierarchical Multi-Stage Inventory System", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 18, pp. 104~116, 1977.
14. Billington, P. J., J. O. McClain and L. J. Thomas, "Mathematical Programming Approaches to Capacity Constrained MRP systems : Review, Formulation, and Problem Reduction", *Mgmt. Sci.*, Vol. 29, pp. 1126~1141, 1983.
15. Bitran, G. R., and H. H. Yanasse, "Computational Complexity of the Capacitated Lot Size Problem", *Mgmt. Sci.*, Vol. 28, pp. 1174~1184, 1982.
16. Bitran, G. R., E. A. Haas and A. C. Hax., "Hierarchical Production Planning : A Two-Stage System", *Opns. Res.*, Vol. 30, pp. 232~251, 1983.
17. Bitran, G. R., T. L. Magnanti and H. H. Yanasse, "Approximation Methods for the Uncapacitated Dynamic Lot Size Problem", *Mgmt. Sci.*, Vol. 30, pp. 1121~1140, 1984.
18. Blackburn, J. D., and R. A. Millen, "Heuristic Lot-Sizing Performance in a

- Rolling-Schedule Environment", *Dec. Sci.*, Vol. 11, No. 4, 1980.
19. Blackburn, J. D., and R. A. Millen, "Improved Heuristics for Multi-Stage Requirements Planning Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 28, pp. 44~56, 1982.
 20. Blackburn, J. D., and R. A. Millen, "Simultaneous Lot-Sizing and Capacity Planning in Multi-Stage Assembly Processes", *Eur. J. Opnl. Res.*, Vol. 16, pp. 84~93, 1984.
 21. Bowman, E. H., "Consistency and Optimality in Managerial Decision Making", *Mgmt. Sci.*, Vol. 9, pp. 310~321, 1963.
 22. Buffa, E. S., and J. G. Miller, "Production Inventory Systems : Planning and Control", R. D. Irwin, Homewood, Vol. III.
 23. Carlson, R. C., J. V. Jucker and D. H. Kropp, "Less Nervous MRP Systems : A Dynamic Economic Lot-Sizing Approach", *Mgmt. Sci.*, Vol. 25, pp. 754~761, 1979.
 24. Carlson, R. C., J. V. Jucker and D. H. Kropp, "Heuristic Lot-Sizing Approaches for Dealing with MRP Nervousness", *Dec. Sci.*, Vol. 14, pp. 156~169, 1983.
 25. Chang, L., "The KANBAN System, A New Approach Towards planning and Control", *Unpublished Ph. D. Thesis, Sloan School of Mgmt.*, MIT, 1982.
 26. Collier, D. A., "The Interaction of Single-Stage Lot Size Models in a Material Requirement Planning Environment", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 201, pp. 11~20, 1980.
 27. Collier, D. A., "Research Issues for Multi-Level Lot Sizing in MRP Systems", *J. Opns. Mgmt.*, Vol. 2, pp. 113~123, 1982.
 28. Crowston, W. B., and M. Wagner, "Dynamic Lot Size Models for Multi-Stage Assembly Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 20, pp. 14~21, 1973.
 30. Crowston, W. B., M. Wagner and Henshaw, "A Comparison of Exact and Heuristic Routines for Lot Size Determination in Multi-Stage Assembly Systems", *AIIE Trans.* Vol. 4, pp. 313~317, 1972.
 31. Crowston, W. B., M. Wagner and J. F. Williams, "Economic Lot Size Determination for Multi-Stage Assembly System", *Mgmt. Sci.*, Vol. 19, pp. 517~527, 1973.
 32. Delporte, C. M., and J. Thomas, "Lot Sizing and Sequencing for N Products on One

- Facility", *Mgmt. Sci.*, Vol. 23, pp.1070~1079, 1977.
33. Dilworth, J. B., and T. H. Lowe, "A Par-Period Algorithm for Production Lot Sizing", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 21, pp. 84~91, 1980.
 34. Dixon, P. S., and E. A. Silver, "A Heuristic Solution Procedure for the Multi-Item, Single Level, Limited Capacity, Lot Sizing Problem", *J. Opns. Mgmt.*, Vol. 2, pp. 23~40, 1981.
 35. Dogramaci, A., J. Panayiotopoulos and N. R. Adam, "The Dynamic Lot Sizing Problem for Multiple Items under Limited Capacity", *AIIE Trans.*, Vol. 13, pp. 294~326, 1981.
 36. Doll, C. L., and D. C. Whybark, "An Iterative Procedure for the Single Machine Multi-Product Lot Scheduling Problem", *Mgmt. Sci.*, Vol. 20, pp. 50~55, 1973.
 37. Drezner, Z., A. Z. Szendrovits and G. O. Wesolowsky, "Multi-Stage production with Variable Lot Sizes and Transportation of Partial Lots", *Eur. J. Opnl. Res.*, Vol. 17, pp. 227~237, 1984.
 38. Dzielinski, B. P. and R. E. Gomory, "Optimal Programming of Lot Sizes, Inventory and Labor Allocations", *Mgmt. Sci.*, Vol. 2, pp. 874~890, 1965.
 39. Dzielinski, B. P., C. T. Baker and A. S. Manne, "Simulation Tests of Lot Size Programming", *Mgmt. Sci.*, Vol. 9, pp. 229~258, 1963.
 40. Eisenhut, P. S., "A Dynamic Lot-Sizing Algorithm with Capacity Constraints" *AIIE Trans.*, Vol. 7, pp. 170~176, 1975.
 41. Elmaghraby, S. E., "The Economic Lot Scheduling Problem (ELSP) : Review and Extension", *Mgmt. Sci.*, Vol. 24, pp. 587~598, 1978.
 42. Eppen, G. D., and R. K. Martin, "Solving Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problems Using Variable Redefinition", *Opns. Res.*, Vol. 35, pp. 832~848, 1987.
 43. Florian, M., and M. Klein, "Deterministic Production Planning with Concave Costs and Capacity Constraints", *Mgmt. Sci.*, Vol. 18, pp. 12~20, 1971.
 44. Florian, M., J. K. Lenstra and A. H. G. Rinnooy Kan, "Deterministic Production Planning : Algorithms and Complexity", *Mgmt. Sci.*, Vol. 26, pp. 669~679, 1980.

45. Fox, R. E., "MRP, KANBAN, or OPT", *Invent. Product. Magazine*, Vol. 2, 1982.
46. Fox, R. E., "OPT-An Answer for America : Part 2", *Invent. Product. Magazine*, Vol. 2, 1982.
47. Fox, R. E., "OPT-An Answer for America : Part 3, Part 4 : Leapfrogging the Japanese",
Invent. Product. Magazine, Vol. 3, 1983.
48. Fox, R. E., "OPT vs MRP : Thoughtware vs Software", *Invent. Product. Magazine*, Vol. 3,
1983.
49. Gabbay, H., "Multi-Stage PProduction Planning", *Mgmt. Sci.*, Vol. 25, pp. 1138~1148,
1979.
50. Gallagher, G. R., and J. J. Gullo, "Developing a Closed Loop MRP System",
Product. Invent. Mgmt., Vol. 21, pp. 21~37, 1980.
51. Galvin, T. M., "Economic Lot Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup
Costs", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 28, pp. 96~105, 1987.
52. Gelders, L. F., and L. N. Van Wassenhove, "Production Planning : A Review",
Eur. J. Opnl. Res., Vol. 7, pp. 101~110, 1981.
53. Gorham, T., "Dynamic Order Quantities", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 10, pp. 75~81, 1968.
54. Graves, S. C., "Multi-Stage Lot Sizing : An Iterative Procedure", *TIMS Studies in the
Mgmt. Sci.*, Vol. 16, pp. 95~110, 1981.
55. Graves, S. C., "Using Lagrangian Techniques to Solve Hierarchical Production Planning
Problems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 28, pp. 260~275, 1982.
56. Groff, G. K., "A Lot Sizing Rule for Time-Phased Component Demand",
Product. Invent. Mgmt., Vol. 20, pp. 47~53, 1979.
57. Haehling von Lanzenhauer, C., "Poduction and Employment Scheduling in Multi-Stage
Production Systems", *Naval Res. Logist. Quart.*, Vol. 17, pp. 193~198, 1970.
58. Haessler, R. W., "An Improved Extended basic Period Procedure for Solving the Eco-
nomic Lot Scheduling Problem", *AIIE Trans.*, Vol. 11, pp. 336~340, 1979.
59. Hanssman, P., and S. W. Hess, "A Liner Programming Approach to Production and
Employment Scheduling", *Mgmt. Technol.*, pp. 46~51, 1960.
60. Hax, A. C., and H. C. Meal, "Hierarchical Integration of Production Planning and

- Scheduling”, *In Studies in Management Sciences*, Vol. 1, Logistics, North Holland American Elsevier, 1975.
61. Heemsbergen, B. L., “Optimal Solution and Graphical Analysis for Single-Level Discrete-Demand Lot Sizing”, *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 27, pp. 104~110, 1986.
 62. Holt, C. C., F. Modigliani, and H. A. Simon, “A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling”, *Mgmt. Sci.*, Vol. 2, pp. 1~30, 1955.
 63. Huang, P. Y., and H. L. Ong, “Expected Performance of Some Lot-Sizing Heuristic in a Rolling-Schedule Environment”, *AIIE Trans.*, Vol. 16, pp. 248~256, 1984.
 64. Jensen, P. A., and H. A. Khan., “Scheduling in a Multi-Stage Production with Set-up and Inventory Costs”, *AIIE Trans.*, Vol. 4, pp. 126~133, 1972.
 65. Johnson, L. A., and D. C. Montgomery, “Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control”, Jon Wiley, 1974.
 66. Jones, C. H., “Parametric Production Planning”, *Mgmt. Sci.*, Vol. 13, pp. 843~865, 1967.
 67. Kang, S. H., and M. S. Kim., “A Study for Multi-Stage Multi-Product Planning with Concave Costs”, *J. KORS*, Vol. 9, pp. 59~65, 1984.
 68. Karni, R., and Y. Roll, “A Heuristic Algorithm for the Multi-Item Lot-Sizing Problem with Capacity Constraints”, *AIIE Trans.*, Vol. 14, pp. 249~256, 1982.
 69. Kim, S. B., “Single Level and Multi-Level Lot Sizing Strategies in Material requirements Planning Systems”, *Unpublished ph. d. thesis*, Illinois, 1986.
 70. Kimura, O., and H. Tenada, “Design and Analysis of Pull System, a Method of Multi-Stage Production Control”, *Int. J. Product. Res.*, Vol. 19, pp. 241~253, 1981.
 71. Kleindorfer, P. R., and E. F. P. Newson, “A Lower Bounding Structure for Lot-Size Scheduling Problems”, *Opns. Res.*, Vol. 23, pp. 299~311, 1975.
 72. Krajewski, L. J., and L. P. Ritzman, “Disaggregation in manufacturing and Service Organization : Survey of Problems and Research”, *Dec. Sci.*, Vol. 8, pp. 1~18, 1977.
 73. Krajewski, L. J., B. E. King, L. P. Ritzman and D. S. Wong, “Kanban, MRP and Shaping the Production Environment”, *Mgmt. Sci.*, Vol. 33, pp. 39~57, 1983.

74. Lambrecht, M., and J. Vander Eecken, "A Facilities in Series Capacity Constrained Dynamic Lot Size Model", *Eur. J. Opnl. Res.*, Vol. 2, pp. 42~49, 1978.
75. Lambrecht, M. R., and H. Vanderveken, "Heuristic Procedures for the Single Operation, Multi-Item Loading Problem", *AIIE Trans.*, Vol. 11, 4, pp. 319~326, 1979.
76. Lee, S. M., and L. J. Moore, "A Practical Approach to Production Scheduling", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 16, pp. 78~92, 1974.
77. Lasdon, L. S., and R. C. Terjung, "An Efficient Algorithm for Multi-Item Scheduling", *Opns. Res.*, Vol. 19, pp. 892~914, 1967.
78. Love, S. F., "A Facilities in Series Inventory Model with Nested Schedules", *Mgmt. Sci.*, Vol. 18, pp. 327~338, 1972.
79. Maes, J., and L. N. V. Wassenhove, "A Simple Heuristics for the Multi Item Single Level Capacitated Lot Sizing Problem", *Opns. Res. Lett.*, Vol. 4, pp. 265~273, 1986.
80. Manne, A. S., "Programming of Economic Lot Sizes", *Mgmt. Sci.*, Vol. 4, pp. 115~135, 1958.
81. Mellichamp, J., and R. M. Love, "Production Switching Heuristics for the Aggregate Planning Problem", *Mgmt. Sci.*, Vol. 24, pp. 1242~1251, 1978.
82. Mitra, A., J. H. Blackstone and R. R. Jesse, "A Re-examination of Lot Sizing Procedures for Requirements Planning Systems : Some Modified Rules", *Int. J. Product. Res.*, Vol. 21, pp. 471~478, 1983.
83. Moily, J. P., "Optimal and Heuristic Procedures for Component Lot-Splitting in Multi-Stage Manufacturing Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 32, pp. 113~125, 1986.
84. Newson, E. F. P., "Multi-Item Lot Size Scheduling by Heuristic-Part 1 : With Fixed Resources and Part 2 : With Variable Resources", *Mgmt. Sci.*, Vol. 21, pp. 1186~1203, 1975.
85. Nuttle, H. L. W., and S. Axsater, "Combining Items for Lot Sizing in Multi-Level Assembly Systems", *Int. J. Product. Res.*, Vol. 25, pp. 795~807, 1987.
86. Orlicky, J. A., *Material Requirements Planning : The New Way of Life in Production and Inventory Management*, McGraw-Hill, New York, 1975.

87. Panayiotopoulos, J. C., "The Generalized Multi-Item Lot Size Scheduling",
Eur. J. Opnl. Res., Vol. 14, pp. 59~63, 1983.
88. Peterson, R., and E. A. Silver, *Decison Systems for Inventory Management and Production Planning*, John Wiley & Sons, New York, 1979.
89. Plossl, G. W., and O. W. Wight, "Capacity Planning and Control", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 14, pp. 31~67, 1973.
90. Rice, J. W., and T. Yoshikawa, "A Compaison of KANBAN and MRP Concepts for the control of Repetitive Manufacturing Systems", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 23, pp. 1~13, 1982.
91. Ritzman, L. P., B. E. King and L. J. Krajewski, "Manufacturing Perfomance - Pulling the Right Levers", *Harvard Business Rev.*, Vol. 84, pp. 143~152, 1984.
92. Schwarz, L. B., "Economic Order Quantities for Products with Finite Demand Horizons", *AIIE Teans.*, Vol. 4, pp. 234~237, 1972.
93. Schwarz, L. B., and L. Schrage, "Optimal and System Myopic Policies for Multi Echelon Production/Inventory Assembly Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 21, pp. 1285~1294, 1975.
94. Silver, E. A., and H. C. Meal, "A Heuristic for Selecting Lot Sizing Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Rate and Discrete Opportunities for Replenishment", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 14, pp. 64~74, 1973.
95. Steinberg, E., and H. A. Napier, "Optimal Multi-Level Lot Sizing for Requirement Planning Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 26, pp. 1258~1271, 1980.
96. Steele, D. C., "The Nervous MRP System : How to Battle", *Product. Invent. Mgmt.*, Vol. 4, pp. 83~88, 1975.
97. Sugimori, Y., K. Kusunoki, F. Cho and S. Uchikawa, "Toyota Production System and KANBAN System, Materialization of Just-in-Time and Respect for Human System", *Int. J. Product. Res.*, Vol. 15, pp. 553~564, 1977.
98. Taha, H. A., and R. W. Skeith, "The Economic Lot Size in Multistage Production Systems", *AIIE Trans.*, Vol. 2, pp. 157~162, 1970.

99. Taubert, W. H., "A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem", *Mgmt. Sci.*, Vol. 14, pp. 343~359, 1968.
100. Thizy, J. M., and L. N. Van Wassenhove, "Lagrangian Relaxation for the Multi-Item Capacitated lot Sizing Problem : A Heuristic Approach", *AIIE Trans.*, Vol. 17, pp. 308~313, 1985.
101. Wagner, H., and T. M. Whitin, "A Dynamic Version of the Economic Lot Size Model", *Mgmt. Sci.*, Vol. 5, pp. 89~96, 1958.
102. Zahorik, A., L. J. Thomas and W. M. Trigeiro, "Network Programming Models for Production Scheduling in Multi-Stage, Multi-Item Capacitated Systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 30, pp. 308~325, 1984.
103. Zangwill, W. I., "Minimum Concave Cost Flows in Certain Networks", *Mgmt. Sci.*, Vol. 14, pp. 429~450, 1968.
104. Zangwill, W. I., "A Backlogging Model and a Multi-Echelon Model of a Dynamic Lot Size Production System - A Network Approach", *Mgmt. Sci.*, Vol. 15, pp. 506~527, 1969.