

물류의사결정을 위한 계량 모형의 현황과 발전방향*

文相源**

Development of Logistics Decision Models – Review and Research Direction –

Sangwon Moon*

ABSTRACT

This paper shows the direction in which logistics modellers should make their effort by examining the gap between desirable characteristics which logistics decision models should possess and deficiencies from which existing models suffer. For this purpose, we(1) categorized logistics models into facility planning, inventory management and transportation/delivery planning models, (2) carried out a wide survey of theoretical and industry models within each category and (3) assessed recent development of integrated logistics models.

1. 물류의사결정의 절차와 관련모형의 발전

오늘날 소비자들은 국내외를 막론하고 더 좋은 제품, 더 나은 서비스를 끊임없이 요구하고 있다. 세계시장에서는 하루가 멀다하고 수 많은 신제품이 설계되고, 생산되고, 팔린다. 물자가 필요한 시점에 필요한 양 만큼 필요한 장소에 있게 만드는 활동인 물류가 큰 관심의 대상이 되고 있는 것도 바로 이러한 국제경쟁상황과 밀접한 관계가 있다. 문제의 심각성과 중요성에 비추어 볼 때 각

사는 물류시스템을 장기적이고 체계적으로 검토하여 정리해 나가야 한다. 본 논문에서는 이러한 목적에 유용할 수 있는 계량모형의 연구에 초점을 두고자 한다.

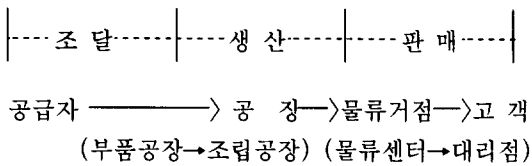
1.1 물류의사결정의 절차와 문제유형의 분류

물류를 협의로 해석하면, 완제품이 공장에서 소비자에게로 전달되는 과정에서 필요한 운송, 하역, 보관 그리고 포장기능 등을 머리속에 떠올리게 된다. 그러나 시장경쟁력을 유지 또는 향상시

* 이 논문은 1993년도 한국방송통신대학교 학술연구비 지원을 받아 작성된 것임.

** 한국방송통신대학교 경영학과 교수

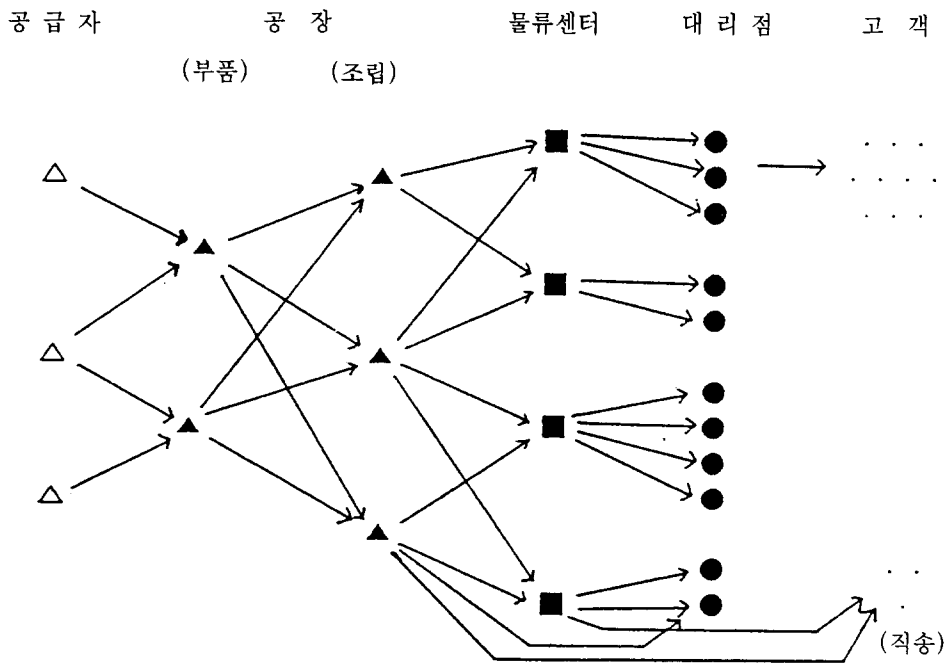
키기 위한 물적흐름은 구매, 생산, 판매의 전분야에서 일관적으로 합리화되어야 마땅하며, 결코 어느 일부분의 최적화만으로 해결될 문제가 아니다. 따라서 우리는 물류의 영역을 [그림 1]과 같이 원자재의 조달, 생산공정상에서의 반제품의 이동, 물류거점을 거쳐 고객에게로 전달되는 완제품의 이동 등 Supply Chain 전체의 시각에서 이해하는 것이 필요하다.



[그림 1] 물류의 영역

여기에서 제시된 일관물류의 관점으로 볼 때, Supply Chain을 흐르는 물류는 [그림 2]로 나타내어 질 수 있다. 공급자로부터 생산공장으로의 원자재 흐름, 부품공장에서부터 조립공장으로의 반제품 이송, 공장에서 물류센터, 대리점 또는 최종고객으로 이어지는 완제품 이동 등 복잡다단한 물자이동이 [그림 2]에 나타나 있다. 물론 이러한 물자의 흐름이 가능하기 위해서는 운송, 보관, 포장, 하역, 정보 등 제반기능이 뒷바침 되어야 한다.

일반적인 경우 고객서비스의 제고에 따라 비용이 증가하게 된다. 이러한 관계하에서 비용을 극소화하면서 고객에 대한 서비스를 적정 수준으로 유지하는 일이 필요하게 되며 이러한 노력을 물류합리화라고 부른다. 그런데 위에서 본 바와 같



[그림 2] 물류의 전체도

이 물적흐름의 합리화를 위한 수 많은 의사결정을 동시에 수행함은 불가능 할 뿐만 아니라 실제 경영관행에도 부합되지 못한다. 따라서 우리는 의사결정 영역을 <표 1>과 같이 장기적이고 전략적

인 성격을 지니는 것과 단기적이고 전술적인 성격을 지니는 것으로 구분하여 계층적 의사결정절차(Hierarchical Planning Procedure[25,91])를 적용하는 것이 합당하다고 본다.

<표 1> 물류의사결정영역의 구분

장기 의사결정 영역	단기 의사결정 영역
<ul style="list-style-type: none"> • 물류거점에 관한 의사결정 <ul style="list-style-type: none"> - 입지 - 규모 • 공장입지 및 규모에 관한 의사결정 <ul style="list-style-type: none"> - 입지 - 규모 - 제품라인의 할당 • 기타(정보시스템의 구축 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 수배송 정책의 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 유통경로 - 유통수단 • 재고정책의 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 서비스 수준 - 적정재고 • 기타(포장, 하역 등)

물류관련 의사결정모형들은 학계에서 개발된 이론적 모형들과 실제 문제해결을 위해 산업계에서 개발되어 쓰이고 있는 모형들로 대별해 볼 수 있는데 여기서는 우선 전자인 이론적 모형을 중심으로 살펴보고 실용 모형들에 대하여는 다음 장에서 보다 구체적으로 정리해 보고자 한다.

이하에서는 물류시설계획, 재고정책, 수배송정책과 관련한 모형을 중심으로 그 이론적 발전현황을 정리해 본다.

1.2 문제유형별 의사결정을 위한 이론모형의발전

1.2.1 물류시설에 관한 의사결정 모형

물류시설에 관한 의사결정 대상은 공장 및 물류거점의 입지와 규모가 된다. 전통적으로 이들 의사결정을 위한 접근방법은 동적접근(dynamic approach)과 정적접근(static approach)의 두가

지 유형으로 나누어 진다.

동적접근법은 계획기간을 통하여 주어지는 예측 수요를 충족시키는 데 필요한 시설의 구축, 유지 및 운용비용의 총현가가 최소화 될 수 있도록 시설의 확장이나 폐쇄를 계획하는 것을 일컬으며 이러한 접근법에 의거한 모형들은 Luss[127]에 잘 정리되어 있다. 이러한 동적 계획법은 일견 매우 이상적인 접근방법으로 보일 수도 있으나, 실제로는 몇 가지의 중요한 이유(Hax and Candea[94]참조. 예 : 심각한 불확실성으로 인해 장기 예측치의 정확성이 의문시 됨.)로 인하여 동적접근법보다는 정적 접근법이 보다 유용한 것으로 여겨지고 있으며 결과적으로 후자에 관한 연구가 상대적으로 활발히 이루어져 왔다. 정적접근법을 취하는 연구자들은 미래의 수요에 대한 시나리오 분석을 통하여 향후 다년간에 대한 전략대안의 평가가 가능하다고 주장하고 있다.(Cohen, Lee and Moon[43]. 文相源[2]). 시설계획법에 관한

정적접근법에 의거하여 개발된 모형들은 크게 그 구조에 따라 다음과 같이 4가지로 분류해 볼 수 있다.

1.2.1.1 단제품, 단층적(single-product, single-stage) 모형

동 분류에 속하는 모형은 아래의 수식에 의해 대표되어 진다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_j F_j Y_j + \sum_{j,k} C_{jk} X_{jk} \\ \text{S.T. (1) } & \sum_j X_{jk} = D_k, \quad k=1, \dots, K \\ & (2) \sum_k X_{jk} \leq S_j Y_j, \quad j=1, \dots, J \end{aligned}$$

여기서 j 는 고려대상이 되는 시설입지후보집단 J 의 개별 요소들을 일컫는 지수이며, k 는 K 개의 고객(시장)을 가리키는 지수이다. F_j 는 시설 j 를 운용하는데 드는 비용, Y_j 는 시설 j 가 운용되면 1, 그렇지 않을 경우 0으로 되는 정수 결정변수이며, X_{jk} 는 시설 j 에서 시장 k 로 움직이는 연간 물동량이다. 그리고 D_k 는 시장 k 에서의 연간수요, S_j 는 시설 j 의 연간최대 취급물량이다.

'Fixed charge problem'으로 불리우는 위와 같은 모형에 대한 연구는 주로 동 문제의 효율적 해법을 중심으로 발전되어 왔다. 1950년대 부터 시작된 동 분야에 관한 연구의 초기에는 동 문제의 효율적 해결을 위한 탐색적 접근법이 다수 개발된 바 있으며(Baumol and Wolfe[22], Kuehn and Hamburger[118], Manne[129]), 이후 선형 계획법(LP) 및 정수계획법의 개발에 따라 이를 이용한 해결방법이 시도되기에 이르렀다(Geoffrion and Marsten[80], Marsten[130], Marsten and Singhal[131], Murtagh and Saunders[142, 143]).

Fixed charge problem의 해법에 대한 연구는

이후에도 활발히 진행되어 branch-and-bound 기법을 이용한 해법에 대한 연구결과가 다수 발표 되었으며(Atkins and Shriver[11], Akinc and Khumawala[7], Efronymson and Ray[57], Davis and Ray[51], Ellwein and Gray[58], Khumawala[114], Sâ[163], Soland[180], Spielberg[182]), 또한 일군의 학자들에 의해 쌍대기법을 이용한 해법도 다수 제시되었다(Erlenkottter[61], Galvao[73], Guignard and Spielberg[92]).

그러나 시설계획 문제는 일반적으로 그 규모상 이러한 전통적인 해법으로써는 해결할 수 없는 경우가 허다하여 여러 학자들에 의해 대규모 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 방안이 제시되었다(Bradley, Hax, and Magnanti[33], Geoffrion[75], Lasdon[120], Guignard and Spielberg[92] Johnson, Kostreva and Suhl[104], Padberg, Van Roy and Wolsey[149]). 이러한 기법의 발전에 힘입어 개발된 것들로서는 Lagrangean relaxation을 이용한 해법(Fisher[69], Geoffrion[76], Cornuejols, Fisher, and Nemhauser[48], Cabot and Erenguc[35], Geoffrion and McBride[81], Nauss[147]), Benders decomposition해법(Benders[24], Geoffrion and Graves[78], Hoang[99], Moon[136], Sherali and Adams[170]), Cross decomposition해법(Van Roy[189]) 등이 있다. 이들 가운데 특히 Benders decomposition해법은 일상경영에서의 의사결정 개념을 그대로 해법절차에 도입하고 있는데 이는 우선 시설의 개폐($Y_j=1$ or 0)에 대한 의사결정(master problem)을 행하고 난 다음, 열린시설의 운용에 대한 의사결정(linear subproblem)을 행한다는 것이며, 최적하는 이러한 절차를 반복적으로 수행함으로써 얻어지게 된다. 단 순모형과 관련한 이러한 해법들은 다음에 설명되

는 보다 복잡한 모형들을 최적화 하는 데에 그 개념적 기초를 마련하기도 하였다.

1.2.1.2 단제품, 다층적(single-product, multi-stage) 모형

위의 단제품, 단층적 모형에 비해 다제품 또는 다층적 모형에 대한 해법의 개발은 그다지 활발하지 못하였다. Kaufman, Eede and Hansen [111]에서는 공장과 창고입지를 동시에 결정할 수 있는 branch-and-bound 기법을 이용한 해법이 제시되고 있으며, 이 해법은 또한 다층적 물류거점의 설계에도 그대로 적용되어 질 수 있으나 앞서 설명한 바와 같이 대규모의 문제해결에는 미흡하다. Tcha and Lee[187]에서는 3단계의 분배시스템을 구성하는 시설망을 계획하기 위한 해법이 제시되어 있으나, 이것은 시설용량의 제한이 없는 문제에만 적용 가능하다.

한편 Glover et al.[84, 85], Klingman, Randolph and Fuller[117] 등은 네트워크의 개념을 이용하여 전략대안들을 효율적으로 평가하는 방법을 제시하였는데, 이러한 방법은 물적흐름의 구조를 알기쉽게 표현하고 있는 점에서 의사결정자에게 매우 유용한 분석수단이 될 수 있다.

1.2.1.3 다제품, 단층적(multi-product, single-stage) 모형

다제품, 단층적 모형으로는 공장의 입지와 공장별 제품할당을 계획하기 위한 모형(Warszawski [195]), 각기 다른 단일제품을 취급하는 복수 공장입지를 계획하기 위한 모형(Neebe and Khumawala[148]), 다수 제품을 취급할 수 있는 다수 공장의 입지결정을 위한 모형(Akinc[6]) 등이 개발되었으며, 이들은 단제품, 다층적 모형과 함께 다음에 설명할 다제품, 다층적 모형으로 발

전하기에 이르렀다.

1.2.1.4 다제품, 다층적(multi-product, multi-stage) 모형

공장-물류센터-고객으로 구성되는 다제품, 다층적 모형은 Elson[59]에서 제시되었으며, 이의 최적화에는 복합정수 모형이 이용되었다. 그러나 이러한 범용적인 복합정수 해법으로써는 현실에서 제기되는 복잡성과 규모를 지닌 문제를 해결하기가 불가능한 경우가 많으므로, Geoffrion and Graves[78]에서는 앞에서 설명한 Benders decomposition 기법을 이용하여 다음의 다제품, 다층적 문제를 효율적으로 푸는 방법이 제시되고 있다.

Minimize

$$\sum_{i,j,k,m} C_{ijkm} X_{ijkm} + \sum_k [F_k Z_k + V_k (\sum_{i,m} D_{im} Y_{km})]$$

$$S. T. \sum_{k,m} X_{ijkm} \leq S_j \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$\sum_i X_{ijkm} = D_{im} Y_{km} \quad \forall i \in I, k \in K, m \in M$$

$$\sum_k Y_{km} = 1 \quad \forall m \in M$$

$$\underline{V}_k Z_k \leq \sum_{i,m} D_{im} Y_{km} \leq \bar{V}_k Z_k \quad \forall k \in K$$

linear configuration on Y and Z (시설운용에 관한 경영층의 방침이 있는 경우 이를 반영)

여기서 i, j, k, m은 각각 제품, 공장, 창고, 시장을 나타내는 지수이며, C_{ijkm}은 제품 i가 공장 j에서 창고 k를 거쳐 시장 m으로 흐르기 위한 단위 운송비용, X_{ijkm} 그 연간 물량을 나타내는 변수, S_j는 공장 j가 공급할 수 있는 제품 i의 최대 물량, D_{im}은 시장 m에서의 제품 i에 대한 수요물량, Y_{km}은 (0,1)값을 취하는 변수로서 시장 m을 담당하는 창고가 k인 경우에는 1, 그렇지 않은 경우는 0의 값을 취하며, Z_k역시 (0,1)의 변수로

서 창고 k 가 가동되는 경우 1, 그렇지 않은 경우는 0의 값을 취한다.

F_k 는 창고 k 가 가동되는 경우에 발생하는 연간 고정비용이다. V_k 는 창고 k 에서 취급되는 단위 물량당 변동비용이며 \underline{V}_k 와 \bar{V}_k 는 각각 창고 k 가 취급가능한 연간 물량의 최소 및 최대한도를 나타낸다.

Benders decomposition 기법을 사용하여 위의 문제를 풀자면, 전체문제를 정수문제와 연속변수 문제로 구분하여야 하고, 정수문제를 풀어 정수변수인 Y_{km} 의 값을 잠정적으로 결정한 다음 연속변수문제를 풀어 X_{ijkm} 을 결정하는 작업을 반복시행하여 최적해를 발견하는 방식을 취하게 된다. 동해법의 성공적 적용사례는 Geoffrion [77], Geoffrion, Graves and Lee [79], Moore [138] 등에 의해 발표된 바 있으며, Magnanti and Wong [128], LeBlanc [121], Hoang [99], Moon [136], Cohen and Moon [45] 등은 동해법을 개선하거나 비선형문제에 적용하기에 이르렀다.

1.2.2 재고관리에 관한 의사결정 모형

재고관리는 경제적 주문량 (EOQ)모형에서 시작하여, EOQ모형의 기본가정이 완화된 경제적 생산량(EPQ)모형, 수량할인 모형, 재고부족허용 모형 등의 개발이 이루어졌으며, 이후에는 이러한 개념을 기초로 현실에서의 수요 및 조달기간의 불확실성을 감안하는 모형으로 발전되어져 갔다. 우리는 일반적으로 전자를 확정적 모형, 후자를 확률적 모형이라 부르고 있는데 이 중 어느 것이 더 유용한 것인가는 의사결정의 상황에 따라 다르므로, 재고 모형을 일단 아래와 같이 그 구조에 따라 단층적 및 다층적 모형으로 나누고 각 분류 내에서 확정적 및 확률적 모형을 함께 다루어 나

가기로 한다.

1.2.2.1 단층적(single echelon inventory)

재고관리 모형

이 부류에 속하는 모형은 다시 아래와 같이 4가지 유형으로 나누어 살펴보기로 한다.

① 일정한 수요율을 가정한 모형

EOQ모형은 확실성을 가정한 가장 기초적인 재고 모형으로, 그 기본가정들이 비현실적이라는 지적도 있으나 현장에서 매우 유용한 것으로 인정되고 있다. 그 이유는 동 모형의 단순성으로 인해 이해하기가 쉽다는 것과 비용자료의 부정확성이 존재하는 경우에도 총비용상에 미치는 영향은 비교적 작다는 것(Hadley and Whitin [93], Silver and Peterson [174])등을 들 수 있다. 이 모형의 변형으로서 EPQ모형, 현가 EOQ모형 (Jesse, Mitra and Cox [103], Porteus [155]), 수량할인 모형(Ladany and Sternlieb [119], Rosenblatt and Lee [161], Hadley and Whitin [93], Hax and Candea [94]), 학습효과 모형 (Muth and Spremann [144], Smunt and Morton [179], Fisk and Ballou [72]), 입고수량불확실 모형(Silver [172], Porteus [156], Rosenblatt and Lee [162]), 판매정책 연계모형(Ladany and Sternlieb [119], Cohen [41]), 부패성 물품 모형(Ghare and Schrader [82], Cohen [41]), 가격변동모형(Taylor and Bradley [186], Jesse, Mitra and Cox [103], Kanet and Miles [105])등을 들 수 있다. 또한 Resh, Friedman and Barbosa [158], Barbosa and Friedman [19]등은 수요가 일정한 추세에 따라 증가함이 알려진 경우에 최적 재고정책을 도출하는 방법을 제시하고 있다.

② 기간별로 상이하나 확정적인 수요를 가정한 모형

여기에 속하는 대표적인 것으로서 우리는 Wagner-Whitin [194]모형을 들 수 있으며 이는 아래의 수식으로 표현된다.

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^n [C_t(Y_t) + h_t(X_t)]$$

$$\text{S. T. } X_t = \sum_{j=1}^t (Y_j - r_j),$$

$$X_t \geq 0, t=1, \dots, n$$

$$X_0 = 0$$

단, $C_t(Y_t) = K\sigma(Y_t) + CY_t$, $h_t(X_t) = hX_t$

여기서 Y_t 는 t기의 생산량이며, $\sigma(Y_t)$ 는 $Y_t > 0$ 인 경우에 1, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취하는 변수이다. K는 생산준비비용이며 C는 단위변동 생산비용, h는 단위재고 비용이다. X_t 는 t기 말에 발생하는 재고량이며 r_t 는 t기에 발생하는 수요량이다. 위 문제에 대하여는 최적해가 $Y_t, X_{t-1} = 0$ 의 특성을 지닌다는 사실에 근거하여 동적계획법(dynamic programming)을 사용한 효율적인 해법이 제시되었다. 이 문제에서는 backorder를 허용하지 않는다는 가정이 작용하고 있는데, Zangwill[199, 200]에서는 backorder를 허용하는 모형을 설정하고 이 경우에 있어서의 최적해를 구하는 방법이 제시되고 있다.

한편 Wagner-Whitin의 lot sizing문제에 동적 계획법을 사용하지 않고 근사해를 얻을 수 있는 heuristic도 활발히 개발된 바 있다 (DeMatteis [53], Silver and Meal [173], Silver and Peterson[174]). 이 외에도 Wagner-Whitin 모형의 변형으로서 생산능력제약하에서의 lot sizing모형(Baker et al. [14], Dixon and Silver [54], Karni [110], Nahmias [146]), convex비용곡선 모형(Veinott [193]) 등을 들 수 있다.

③ 정기관찰(periodic review)체제하에서 확률적 수요를 가정한 모형

재고관리에 관한 연구에 있어서는 수요가 알려진 경우 보다는 수요가 불확실한 경우에 보다 많은 관심이 기울어져 온 것이 사실이며, 이러한 추세는 현실적으로 합당한 것이라 할 수 있다. 수요의 불확실성을 가정한 모형중에서 정기관찰을 전제로 하는 것으로서 다음과 같은 것들을 들 수 있다. 첫째, 단일기간을 분석대상으로하는 news-boy model(Hadley and Whitin [93], Hillier and Lieberman [98], Nahmias [146])을 들 수 있다. 둘째, 준비비용을 감안하지 않는 동적(다수기간) 모형으로서 Bellman, Glicksberg and Gross[23], Karlin and Scarf [107], Morton [139] 등을 들 수 있으며, 셋째, 준비비용을 감안한 동적모형으로서 Scarf [165], Porteus [153, 154] 등을 들 수 있다.

④ 연속관찰(continuous review)체제하에서 확률적 수요를 가정한 모형

연속관찰은 정기관찰에 비해 수요의 변화에 대한 대응력이 강한 반면 비용이 많이 드는 단점이 있다. 근래에 와서는 JIT, POS 등 수요에 민감히 대응하기 위한 시스템이 대거 출현하고 있으므로 연속적 관찰모형의 유용성이 상대적으로 증대될 것으로 보인다. 불확실한 수요를 가정한 모형 중 연속관찰을 전제로 하는 모형들을 살펴보자. 연속관찰 시스템에 있어서 의사결정의 목표가 되는 정책은 (s,S)에 있어서의 s와 S를 결정하는데에 있다. 이를 결정하기 위한 heuristic에 관한 연구로서는 Nahmias [145], Yano [198] 등을 들 수 있다. 다음, 수요가 renewal process를 취하는 경우를 가정한 모형으로서 Sivazlian[176], Richards [159], Sahin [164], Zipkin [206] 등을 들 수 있으며, 수요가 poisson분포를 취하는

모형으로서 Archibald [9], Archibald and Silver [10], Gross and Harris [89, 90] 등을 들 수 있다. 이 외에 개별수요에 대응한 주문(order-for-order)을 가정한 모형으로서 Smith [177], Feeney and Sherbrooke [65] 등을 들 수 있다.

1.2.2.2 다층적재고관리(multiechelon inventory) 모형

앞에서 설명한 단층적 재고관리 모형은 단위조직의 재고관리의 주체가 독립적인 경우에 해당되는 것으로서, 이는 다층적 구조를 지닌 재고 시스템내의 단위조직별 의사결정이 독립적인 경우에도 적용될 수 있다. 따라서 본 절에서는 다층적 구조를 지닌 재고 시스템내의 단위조직이 독립적으로 의사결정을 하지 않고, 본부에서 재고정책의 수립이 이루어지는 경우에 최적정책의 결정을 위해 유용한 모형을 살펴 본다.

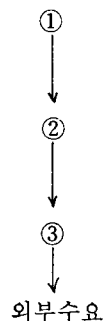
재고의 통제가 집중화된 경우는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 한 가지는 본부가 각 단위조직의 최적 재고수준을 결정하며, 단위조직은 동 재고수준에 기초한 재고관리를 독자적으로 행하는 경우(부분적 집중화 모형)이며, 다른 한 가지는 본부가 단위조직별 재고관리를 인정하지 않

고 중앙집중식 재고관리를 하는 경우(중앙 집중식 모형)이다.

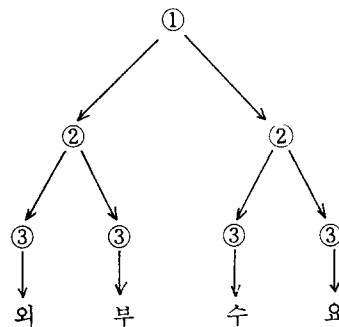
① 부분적 집중화 모형

이 부류에 속하는 모형은 또다시 개별보충(one-for-one)모형과 묶음보충(batch-order)모형으로 나누어 볼 수 있다. 개별보충 모형의 대표적인 것으로는 METRIC 모형(Sherbrooke [171], Graves [88], Axsäter [12])을 들 수 있으며, 동 모형의 변형작업도 활발하여 계층적 부품구조를 포함하는 모형(Muckstadt [140, 141], Sherbrooke [171]), 창고간 환적을 가정한 모형(Lee [122]) 등의 연구가 이루어졌다.

묶음보충 모형에 관한 연구로서는 연결(serial) 시스템을 가정한 모형(De Bodd and Graves [52]), 확장(arborescence) 시스템을 가정한 모형(Simon [175], Axsäter [13], Schwarz, Deuermeyer and Badinelli [167], Lee and Moinzadeh [123, 124], Moinzadeh and Lee [135], Svoronos and Zipkin [185]) 등을 들 수 있다. 이러한 부분적 집중화 모형들은 다음에 설명할 중앙집중식 모형보다는 상대적으로 PULL 시스템의 개념을 많이 도입한 것으로 생각할 수 있다.



[그림 3A] 연결모형



[그림 3B] 확장모형

② 중앙집중식 모형

중앙집중식 모형들은 PUSH개념에 입각하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 부류에 속하는 모형들도 물품의 분배구조에 따라 연결(series)모형과 확장(arborescence)모형으로 나누어 볼 수 있다.

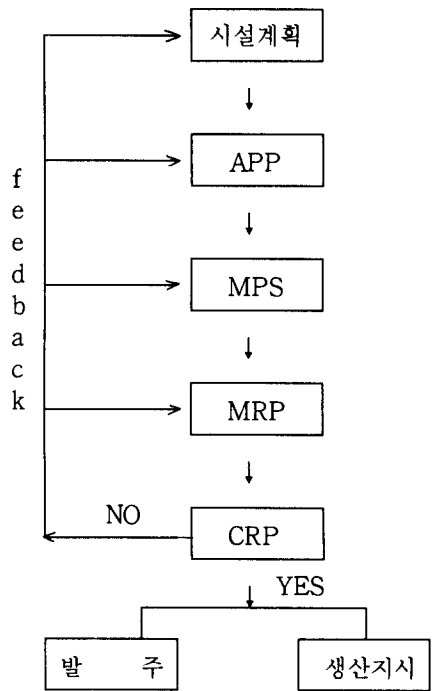
연결모형과 관련하여서는 Clark and Scarf [39], Gross, Soland and Pinkus [91], Federgruen and Zipkin [63], Zheng and Federgruen [203] 등에 의해 거점간 lead time이 알려진 경우에 있어서의 연구결과가 발표되었으며, lead time의 불확실성에 관한 연구도 Zipkin [206, 207]에 의해 행해진 바 있다. 확장모형에 대해서는 크게 본부거점에 재고를 두는 경우와 그렇지 않은 경우(본부거점이 단지 행정업무 내지 통과점으로서의 기능만 행하는 경우)로 구분할 수 있는데 전자에 관한 모형연구로서는 Federgruen and Zipkin [63], Jackson [102] 등

을 들 수 있으며, 후자에 대한 연구로서는 Eppen and Schrage [60], Federgruen and Zipkin [62, 64], Zipkin [204, 205] 등을 들 수 있겠다.

다층적 재고관리 모형과 관련하여서 또한 연구가 활발히 진행되고 있는 분야로서는 환적(transshipment)을 활용한 재고의 최적화를 들 수 있다. Karmarkar and Patel [109], Karmarkar [108], Klein [115] 등의 연구가 이에 속한다.

③ 기타재고관련 모형

이상에서는 재고관리의 주안점을 분배시스템에 두고 이와 관련한 모형들을 살펴보았다. 그러나 재고관리는 분배시스템내에서의 재고뿐 아니라 생산시스템까지를 그 대상으로 하여야 한다. 왜냐하면 특정제품의 분배재고 필요량은 그 제품의 생산주기 및 유연성에 크게 좌우되기 때문이다.



[그림 4] 계층적 생산의사 결정 절차

[그림 4]는 총괄생산계획(APP), 대일정계획(MPS) 및 자재소요계획(MRP)의 의사결정절차를 계층적 생산의사결정(Hierarchical Production Planning : HPP)의 구조하에 나타내고 있다. HPP에 관하여는 Hax and Meal [95], Bitran and Hax [25], Bitran, Haas and Hax [26, 27] 등을 참조 바람.

생산계획과 재고계획을 통합적으로 다루는 모형으로서는 총괄생산계획모형(Holt, Modigliani, Muth and Simon [100], Wagner and Whitin [194], Schwarz and Johnson [168], Bowman [31, 32], McClain, Thomas and Mazzola [133] 등)이 있으며 최근에 와서는 Thomas and Weiss [188], Sox, McClain and Thomas [181] 등에 의해 수요의 불확실성을 감안한 총괄생산계획 연구가 발표되었다. 결국 총괄생산계획에서 재고를 계획하는 이유로서 생산의 평준화와 수요의 불확실성을 들 수 있겠다.

대일정계획은 총괄생산계획보다 한 단계 세부적인 절차로서 개별제품의 생산일정을 계획함을 그 목적으로 한다. 대일정계획에 대한 연구는 Chung and Krajewski [38], Lee, Adam and Ebert [125], Sridharan, Berry and Udayabhanu [183] 등에서 찾아 볼 수 있으며, 이러한 대일정계획의 실행은 자재소요계획(Material Requirements Planning: MRP)을 거쳐 이루어진다.

원래의 MRP는 생산일정계획에 따른 자재의 소요량과 필요시기를 계산하는 기능을 행하나, 현장의 생산능력이 이를 흡수할 수 있는지에 대한 검토기능(Capacity Requirements Planning : CRP) 등은 미비되어 있다. 이의 보완으로 MRP II (Manufacturing Resources Planning)가 개발되어 생산계획의 실현 가능성을 검토하고 필요시 위 그림에서 보는 바와 같이 상위 생산계획

을 수정해 나가는 기능을 갖추게 되었다. MRP II에 관련한 연구는 Schmitt, Berry and Vollmann [166], Hosni and Alsebaise [101], Meal and Whybark [134] 등에서 찾아볼 수 있다.

최근에는 JIT개념이 도입되면서 생산준비시간의 단축에 따른 재고의 감소효과를 모형화한 연구결과가 출현하고 있는데 그 대표적인 것으로서 Porteus [153, 156], Fine and Porteus [68], Zangwill [201, 202] 등을 들 수 있겠다.

1.2.3 운송관리에 관한 의사결정 모형

운송관리와 관련한 의사결정은 크게 운송정책의 결정과 배차계획으로 나누어 볼 수 있다. 운송정책의 결정은 유통경로와 운송수단을 대상으로 이루어지는데, 이중 유통경로는 앞서 설명한 시설 계획 및 마케팅활동과 깊은 연관하에 이루어지며, 운송수단의 결정은 운송비용, 소요기간 및 서비스의 신뢰도에 근거하여 결정된다. 배차계획은 운송정책결정 보다는 일상적인 의사결정 분야인데, 여기에서는 차량경로(routing)와 일정(scheduling)이 의사결정의 주요목표가 된다. 운송관리와 관련한 모형은 주로 배차계획에 집중되어졌다고 볼 수 있다.

1.2.3.1 운송수단의 결정

운송수단의 선택에서는 전통적으로 운송거리, 선적량 그리고 운송수단이 물품에 미치는 영향 등이 주요기준으로 인식되어 왔으며, 이러한 운송거리, 중량 및 서비스와 운송수단의 선택과의 연관성을 분석한 연구결과는 Wilson [197], Stock and LaLonde [184] 등에서 찾아볼 수 있다.

Ballou and DeHayes [17]에서는 운송수단의 선택과 재고비용과의 관계가 분석되고 있으며, 이

러한 재고-운송 연결모형은 Baumol and Vinod [21], Comstable and Whybark [46] 등에 의해 발전되어 가고 있다.

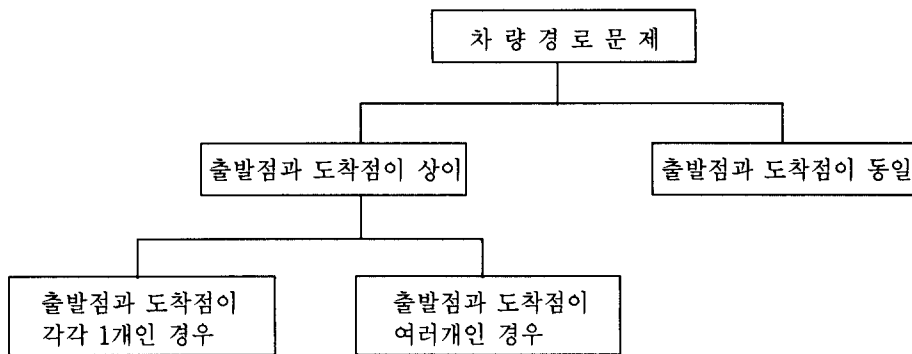
1.2.3.2 배차계획

배차계획 문제는 차량의 용량제한 유무에 따라

차량경로(vehicle routing)문제와 차량일정(vehicle scheduling)문제로 나누어 볼 수 있다.

① 차량경로문제

차량경로 문제는 다시 출발점과 도착점이 동일 하느냐 다르냐에 따라 [그림 5]와 같이 분류되어 진다.



[그림 5] 차량경로 문제의 분류

- 출발점과 도착점이 상이하며, 출발점과 도착점이 각각 1개인 경우: 이것은 출발점으로 부터 도착점까지 다수의 가능경로가 있을 때 어떤 경로를 택하는 것이 가장 단거리(또는 거리를 비용화 하면 최소비용)인가를 발견하는 문제이다. 이러한 문제를 최적화 하는 기법을 shortest-path 또는 shortest-route 기법 이라고 하며, 이에 관한 연구 결과는 Dreyfus [56], Pollack and Weibenson [152] 등에 나타나고 있다.

- 출발점과 도착점이 상이하며, 출발점과 도착점이 다수인 경우: 이것은 수송모형으로 일컬어지며, 각 출발점으로부터 도착점에 운송하는데 소요되는 단위운송비용이 주어지면 각 출발점에서의 공급능력과 도착점에서의 필요수요량의 제약 조건을 충족하는데 드는 총 운송비용을 최적화하

는 운송량을 도출하는 모형이다. 이에 대한 해법은 매우 잘 알려져 있는 바, 대표적인 것으로 북서코너법, Vogel법, MODI법 등을 들 수 있다.

- 출발점과 도착점이 동일한 경우: 이것은 차량을 자가 보유하여 순회배달을 마치고 도로 출발점으로 돌아오는 경우이며, 이러한 문제는 "Traveling Salesman Problem(TSP)"로 잘 알려져 있다. 이러한 모형의 목표는 운송시간 또는 거리의 최소화에 있다 하겠다. TSP의 해법에 관해서는 휴리스틱 기법(Lin and Kernighan [126], Ferguson [66]), 그래픽 기법 (Barachet [18]), 근사해법(Doll [55], Golden, Bodin, Doyle and Stewart [86]), 최적해법 (Crowder and Padberg [49]) 등 다수 연구 결과가 발표된 바 있다. 특히 Karg and Thompson[106]은 유명

한 “savings” 개념에 입각한 접근법을 잘 설명해 주고 있다.

② 차량일정 문제

앞의 TSP에서는 차량의 용량제한이 없는 것으로 한정하였다. 현실에서는 차량의 용량은 흔히 의사결정에 중요한 영향을 미치기도 한다. 차량의 용량을 고려한 운송모형의 목표는 운송시간 또는 거리의 최소화화 및 필요차량대수의 최소화로 나누어 볼 수 있다.

- 운송시간 또는 거리의 최소화: 이 문제는 제각기 용량이 정해진 차량들을 운송루트에 적절히 배당하여 총 운송거리를 최소화하는 것이다. 이것에 대한 해법은 Clarke and Wright [40], Waston-Gandy and Foulds [196], Hill and Whybark [96] 등에서 찾아볼 수 있는데, 특히 Gillett and Miller [83] 와 Bartholdi et al. [20], 그리고 Fisher, Greenfield, Jaikumar and Lester [71]와 Fisher, Greenfield and Jaikumar [70]는 각기 잘 알려진 해법인 “SWEEP”기법과 “ROVER”기법에 대해 잘 설명해 주고 있다.

- 필요차량대수의 최소화: 운송시간 또는 거리를 최소화 하는 목표는 흔히 우리가 달성해야 할 목표이기는 하지마는 경우에 따라서는 선적 또는 배달 일시가 정해져 있는 경우가 발생하기도 한다. 이러한 때에는 최소한의 차량으로 주어진 운송조건을 만족시키는 것이 목표가 될 수 있다. Dantzig and Fulkerson [50]은 이문제를 수송모형화하여 해결하려는 노력을 기울인 바 있다.

2. 일관 물류의사결정을 위한 모형의 개발현황

2.1 물류의사결정에 있어서의 통합적 접근방법

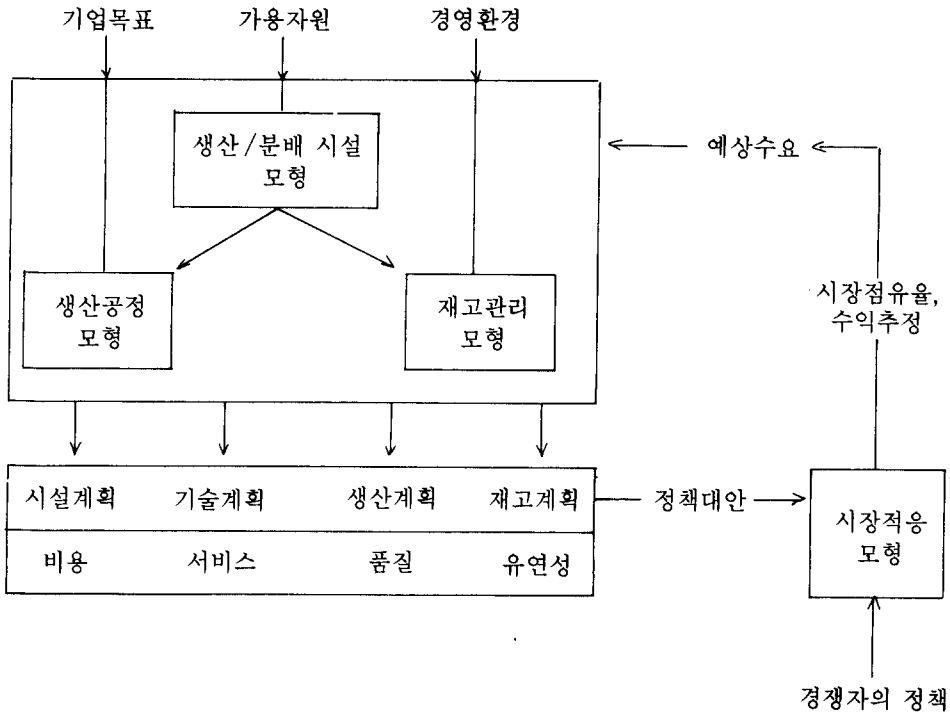
지금까지 설명한 시설계획, 재고계획 및 운송계

획에 관한 모형들은 그 나름대로 의미와 유용성을 지닌 것으로 해석될 수도 있으나 경우에 따라서는 현실에 적합하지 않은 가정, 특수상황에만 적용될 수 있는 해법 등 비범용성의 제약을 안고 있으며, 더구나 범용성이 인정되는 경우라 할 지라도 물류의 전체적인 관점이 아닌 특정부분에서의 최적화를 지향하는 한계점을 지니고 있다. 물류시스템의 최적화가 전체적인 관점에서 일관성 있게 합리화되어야 하는 이유는 부분적인 최적화는 타 부분의 비합리성에 의해 그 효과가 제대로 나타나지 않을 경우도 있고, 경우에 따라서는 특정부분에 대한 근시안적인 최적화가 전체적 합리화 노력을 저해할 수도 있기 때문이다. 따라서 물류의사결정은 물류의 전체적 관점에서 체계적으로 이루어져야 합리적이라 하겠다.

우리는 논문의 서두에서 장기적이고 전략적인 의사결정부분인 시설계획에 대한 의사결정을 통하여 커다란 방향을 우선 설정하고, 이렇게 설정된 테두리내에서 재고와 운송정책을 결정하는 계층적 의사결정절차가 적합함을 언급한 바 있다. 예로서, Cohen and Lee [42]에서는 [그림 6]과 같은 절차도가 제시되어 있는데, 향후의 모형개발이나 의사결정절차는 이러한 개념에 따라 행해지는 것이 바람직하다고 판단된다.

앞서 살펴본 모형들이 주로 최적해의 도출에 주안점을 두고 있으나 이는 바람직한 모형의 발전방향이 되지 못한다. 왜냐하면 현실의 문제는 계량화 할 수 없는 요소를 많이 내포하고 있으며, 계량적인 요인들은 허다히 질적요인들과 상충관계에 서게 되기 때문이다. 그러므로 급격한 경쟁환경의 변화에 따라 전략 및 정책대안을 의사결정자의 필요에 따라 수시로 평가해 볼 수 있는 모형의 개발이 이루어져야 할 것이다.

그러면 앞에서 살펴본 이론 모형의 유용성은 어디에 있는가? 그것은 아래와 같이 두 가지로



[그림 6] 생산전략 수립·평가 모형

요약 될 수 있다.

첫째, 기본모형의 확장(일관물류체제로의 진전, 가정의 완화 등)을 통하여 보다 현실적인 모형의 수립을 가능하게 한다.

둘째, 일관모형을 이용한 정책 대안의 평가시에 는 흔히 계층적 의사결정 절차가 이용되는데 이 때 하부문제 또는 분할된 문제를 효율적으로 최적화 할 수 있다.

다음에서는 가중되는 경쟁상황하에서 기업경쟁 력을 확보. 유지하는 데에 현실적으로 보다 유용 할 수 있는 모형, 즉 물적흐름의 전체적 관점에서 물류체제에 대한 전략 및 정책대안을 평가할 수 있는 모형의 발전현황을 정리해 보고자 한다.

2.2 일관 물류의사결정모형의 현황

2.2.1 실용모형의 개발현황

산업계에서는 앞 장에서 소개된 이론모형들을 실용화하려는 노력이 이루어져 왔는데, 특히 최근 (1980년대 후반)까지는 물류체제의 일관적 합리 화 보다는 수송, 재고 등 기능별 합리화에 그 주 안점이 주어져 왔다. 여기서는 우선 이러한 기능 별 모형들의 발전현황을 살펴보기로 한다.

수송모형을 의사결정에 가장 적극적으로 활용 하고 있는 기업으로 American Airlines社를 들 수 있다. Abara [5]의 모형은 AA社의 항공 스케 줄 작성을 위해 개발된 것으로 수익 극대화, 비용 최소화, 항공기 이용을 최적화 등 다양한 목적 합

수를 취할 수 있으며 동 모형의 최적화에는 ILP가 쓰여지고 있다. 이 외에도 AA社가 사용중인 모형으로서 ASAS [192], Anbil [8]의 모형, Smith, Leimkuhler and Darrow [178]의 모형 등이 있다.

항공수송모형에서 우리가 간과할 수 없는 것으로서 Military Airlift Command(MAC)시스템 [97, 157]을 들 수 있다. 이는 미공군과 Oak Ridge 국립연구소가 공동 개발한 항공기 일정계획지원시스템으로서 평상시 및 전시에 물자와 인원의 최적수송을 도모함을 목적으로 하고 있다. 동 시스템은 수 많은 의사결정대안을 신속히 평가하며 사용자에게 의한 유연성 있는 통제가 가능하며, 1990~91년의 걸프전에서 미국의 승리에 큰 역할을 담당한 것으로 알려지고 있다.

이 외에도 수송전문회사의 모형으로서 Yellow Freight社에서 개발한 모형 [87]을 들 수 있는데, YF社는 동 모형에 의해 운송비용의 절감과 서비스의 향상을 汝속적으로 달성하고 있다.

제조업체의 수송합리화를 위한 모형으로서는 Kekre et al. [112], Geoffrion, Graves and Lee [79], van Vliet, Boender and Rinnooy Kan [191] 등의 모형을, 배송합리화를 위한 모형으로서 Fisher, Greenfield and Jaikumar [70] 등을 들 수 있다.

Kekre et al. [112]은 Heinz社와 Carnegie Mellon대학이 공동개발한 수송모형을 발표하였는데, 이 모형은 미국서부의 토마토 처리 공장으로부터 중서부의 완제품 공장까지 토마토 즙을 운송하는 데에 필요한 수송수단을 선택하고 그에 따른 비용(자가 차량구입을 위한 투자비용, 운임 등)을 추정하는 데에 큰 공헌을 하고 있는 것으로 알려져 있다.

Geoffrion, Graves and Lee [79]에 의해 발표된 모형은 앞 장에서 설명한 Geoffrion and

Graves [78]의 모형을 미국 중서부의 식품회사인 Hunts-Wesson社의 분배시스템 및 수송계획을 汝원하기 위해 실용화한 것이다. 그러나 동 모형은 그다지 자주 쓰이지 않는 것으로 알려지고 있다.

우리 나라에서도 수송합리화를 위한 모형개발 작업의 예를 찾아볼 수 있다. 李用雨 [3]가 발표한 바에 의하면 삼성전자는 국내 판매 종합물류시스템의 구축을 위해 전국 도로망을 Data Base화 하여 수송계획을 완전 자동화(시뮬레이션에 의해 차량별 적재량 및 수송노선을 최적화)하고자 노력하고 있다. 이의 일차적인 목적은 도서지방을 제외한 전국의 도로망을 컴퓨터에 입력시켜 신속하고 경쟁적인 수송계획을 수립하고 수송운임체계를 개선하는 데 있으며, 또한 이는 향후 종합물류정보시스템의 구축을 위한 기초 작업이기도 하다. 라연주, 송성현, 박순달 [1]은 복수차고, 복수차종, 복수공급처, 복수수요처라는 범용적 구조를 지닌 모업체의 배차계획 문제에 대해 전산화 된 효율적 해법을 개발하였는데, 동 해법은 공급처 및 수요처의 상하차 작업시간대, 창고별 동시 상하차 작업 능력, 운전기사의 식사시간 등 다양한 제약조건을 수용하므로 타업체에도 널리 적용될 수 있는 것으로 설명되고 있다.

이와 같이 운송모형은 여러 각도에서 실용화가 진전되었다고 볼 수 있다. 한편 재고 및 시설에 관한 모형은 단일기능의 합리화 보다는 재고-운송의 상충관계 또는 시설-재고-운송의 상충관계를 고려한 일관물류 모형화하는 경향을 보여왔다.

물론 재고기능의 합리화를 대상으로 하는 모형으로서 IBM社에서 개발하여 사용되고 있는 Cohen et al. [44]의 모형, Ciba-Geigy社의 국제 재고관리를 위해 사용되고 있는 Fincke and Vaessen [67]의 모형, Pfizer社의 모형 [116], 美

해군의 모형 [74] 등 다수가 身으나 모형의 발전 추세로 보아 다음에 설명하는 일관물류쪽으로 그 흐름이 이어질 것으로 보이며, 이는 바람직한 추세로 판단된다.

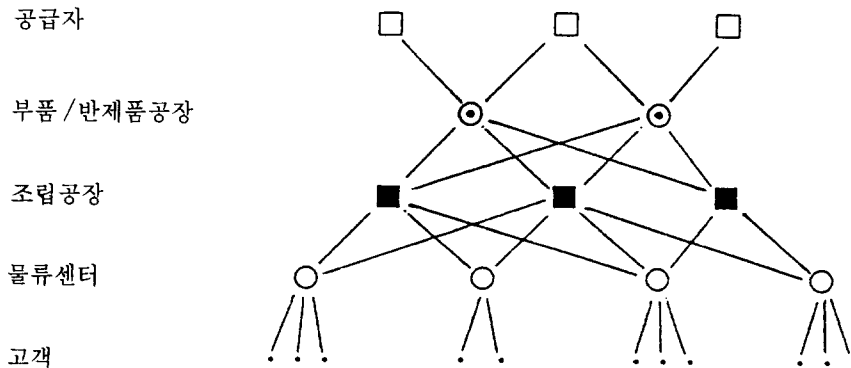
참고로 위 두 모형도 단순히 재고관리 만을 위한 것이라기 보다는 분배 시스템 전체의 합리화에 기여하는 것으로 볼 수 있다. Cohen et al. [44]의 모형은 IBM社의 미국내 부품재고 및 고객서비스 관리를 목적으로 개발된 모형으로서 매우 유연성 있는 계획 및 통제 시스템인데, 이를 이용하면 분배 네트워크 구조의 대안평가까지도 가능하게 된다. Ciba-Geigy에 의해 사용되고 있는 Fincke and Vaessen [67]의 모형은 국제 분배채널의 분석을 통하여 안전재고를 분배채널상의 어느 지점에다 두는 것이 분배비용을 최소화 할 것인가를 판단하게 해주는 외에, 이를 통하여 어느 분배시설에 자동화 투자를 하는 것이 가장 경제성이 있는가에 대한 판단도 가능하게 하고 있다.

2.2.2 일관 물류를 위한 모형의 개발현황

물적흐름의 전체적 관점에서 시스템을 일관적

으로 합리화하기 위한 시도는 Cohen, Lee and Moon [43] 에서 찾아볼 수 있다. 이 논문에서 제시된 PILOT (Production, Inbound, Location, Outbound, Transportation)모형은 원자재의 공급자-부품공장-조립공장-물류센터-고객으로 이어지는 물류시스템을 거시적인 측면에서 어떻게 합리화 할 것인가에 주안점을 두고 있다. PILOT모형의 구조는 [그림 7]에서 보는 바와 같다. 원자재의 반입비용, 공장 및 물류센터의 고정비용 및 변동비용, 공장간 이송비용, 그리고 물품이 공장-물류센터-고객으로 흘러가는데 드는 운송비용 등을 최소화하기 위한 시설입지 및 제품할당을 계획하는 것이 이 모형의 주목적이라 할 수 있다.

PILOT모형은 Booz, Allen & Hamilton社의 물류관련 경영자문에 널리 이용되고 있는데, 이 모형은 다양한 시설대안의 신속한 평가를 가능하게 하며, 원재료 반입, 생산 및 완제품 운송비용, 그리고 고정 및 변동비용간의 상충관계를 분석하는데 매우 유용한 것으로 평가되고 있다.



[그림 7] PILOT모형의 구조

그리고 이와 연관되어 재고 및 운송정책의 평가를 위해 SCOPE모형 [29]이 개발된 바 있다. 계층적 의사결정의 관점에서 볼 때 재고정책이나 운송정책은 시설계획보다는 하부적인 의사결정 영역이므로 SCOPE(Supply Chain OPERations Evaluator)모형에서는 PILOT모형에 의해 도출된 전략대안을 그 Input으로 사용한다. 즉 시설계획이 이루어졌다는 전제하에서 그러한 시설제약하에 적절한 재고 및 운송정책의 수립을 지원하는 것이 SCOPE의 주목적이 된다. PILOT에서 전략대안의 설정후에 이루어지는 대안별 평가작업은 주로 수리 계획법(LP, MIP 등)을 이용해서 행하고 있으며, SCOPE에서의 정책대안 평가는 시뮬레이션에 의해 이루어지고 있다.

최근에 와서는 일관물류 합리화에 대한 개념이 비교적 널리 확산되어 현실적으로 유용한 모형을 개발하고자 하는 노력이 가속화되기 시작되었다. Campbell [36], Carlisle et al. [37], Martin, Dent and Eckhart [132], Ploos van Amstel [151], Robinson, Gao and Muggenborg [160], Van Roy [190] 등은 이의 결과라 볼 수 있다.

Ploos van Amstal [151]은 공급자로부터의 재재반입, 생산 그리고 분배과정을 거쳐 물품이 고객에게 전달되는 전기간을 pipeline의 개념으로 인식하고, 이러한 pipeline에 의해 소요되는 leadtime의 중요성을 고찰하였다. Leadtime의 단축은 재고의 감축과 고객만족의 향상을 동시에 가져다 줄 수 있는 것이다.

Van Roy [190]는 공장, 정제소, 분배센터, 고객을 포괄하는 정유회사의 LPG공급체제 합리화 노력에 대한 연구결과를 발표하였다. 저자는 동문제를 수리계획 및 네트워크식 접근방법을 통하여 해결하려 하였는데, 모형의 주요 결정변수로서는 공장과 분배센터의 갯수, 생산수준, 분배센터와 공장의 재고수준, 각 단계별 수송량, 차량과

운전자의 수, 교대시간, 고객의 분배센터에의 할당 등이 있다.

Campbell [36]은 단일 공급처로부터 다수의 목적지까지 물품을 운반하는데 있어서 수송비용, 재고비용 및 터미널 비용 등을 고려하여 총비용을 최소화 하는 모형을 설정 하였다. 공급처로부터 터미널까지의 수송, 터미널로부터 고객까지의 배송 그리고 터미널 운용에 소요되는 총비용을 최소화 하기 위해 수송물량의 크기, 배송물량의 크기, 터미널의 수, 그리고 배송정류장수 등을 최적화 하는 것이 이 모형의 목표이다. 여기에서 행해지고 있는 수송비용, 재고비용 및 터미널 비용간의 상관관계에 대한 분석은 물류정책의 수립에 매우 유용한 것으로 생각 되어 진다. Robinson, Gao and Muggenborg [160]도 네트워크 기법을 이용하여 이와 유사한 기능을 수행하는 모형을 개발하여 실제 사용중에 있다.

Martin, Dent and Eckhart [132]는 4개의 공장, 200여개의 제품, 그리고 40여개의 수요지역(시장)의 구조를 지닌 판유리 제조업체인 Libbey-Owens-Ford社의 생산, 분배 및 재고관리를 지원하기 위한 대규모 선형계획 모형을 발표하였다. 동 모형은 시나리오 분석이 가능하며, 또한 공장별 연간 목표 생산량의 설정으로 연간예산 통제의 기준을 마련하는 부수적인 이점도 발생하게 하는 것으로 알려지고 있다.

Carlisle et al. [37]은 Marshalls社의 원자재공급자, 공장, 소매점으로 이어지는 물류시스템의 설계에 관한 의사결정을 지원하기 위한 모형을 마이크로 컴퓨터에 구축하였다. 동 모형은 3개의 하부모형으로 구성되어 있는데 이들은 각각 원자재 반입, 완제품 운송 그리고 물류센터 입지에 관한 분석을 지원하고 있다. 동 모형은 앞에서 제시한 계층적 의사결정구조를 지니기 보다는 기능별 의사결정 구조를 지니는 것으로 판단되어 진다.

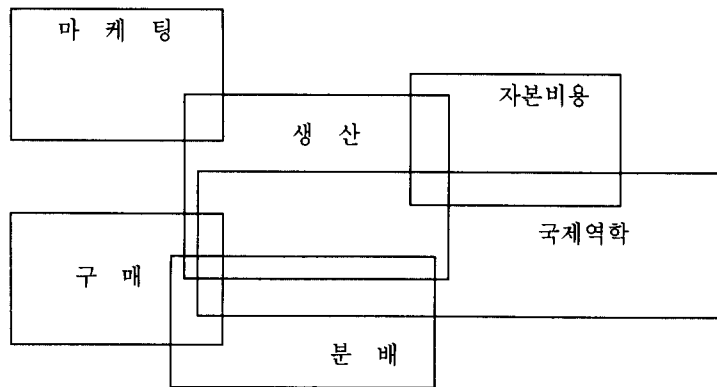
각 모형의 최적화를 위해서는 Kennington and Helgason [113]의 수송코드가 이용되고 있다.

일반 물류합리화를 달성하기 위해 개발된 매우 포괄적이고 실용적인 모형으로서 GM의 PLANETS [34]를 들 수 있다.

PLANETS는 Production Location Analysis NETwork System을 줄인 말인데 동 시스템은 GM의 복잡한 경영의사결정을 계량적인 측면에서 지원하기 위해 개발된 것으로 이미 1974년에 그 초기 모형이 사용되어진 바 있다. 그로부터 지속적인 발전을 거듭하여 지금은 동 시스템을 EDS가 관리하고 있을 정도로 대규모의 시스템으로 발전되었다. PLANETS는 컴퓨터나 수리모형에 관한 사전지식이 없는 사용자도 의사결정시 충분히 활용할 수 있게 만들어진 일종의 시나리오 분석틀이라 할 수 있다.

이 분석틀에 의해 지원될 수 있는 의사결정 변

수로는 ① 어떤 제품을 언제, 어디서, 어떻게 만들 것인가 ② 목표시장을 어디에 둘 것인가 ③ 어떤 자원을 사용할 것인가 ④ 어떻게 운송할 것인가 등과 같은 일종의 일반 물류의사결정문제 외에 ⑤ 자금사용계획까지도 포함되어 있다. 이것은 GM의 생산 및 판매처가 전세계에 걸쳐있기 때문에 생산, 판매 시설의 입지, 운용 그리고 제품의 운송정책, 재고정책 뿐 아니라 외환관리까지도 기업의 자금사정에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다. [그림 8]에 나타나는 구도와 같이 PLANETS는 의사결정자가 원하는 대로 전략 또는 정책 대안과 시나리오를 설정하면 시스템 전체적인 관점에서 그것을 평가하여 준다. PLANETS의 개념은 자동차 산업에서 뿐만 아니라 타산업에서도 광범위하게 적용될 수 있으리라 여겨진다. PLANETS에서는 수리계획기법인 MIP가 정책 대안의 평가를 위해 주로 사용되고 있다.



[그림 8] PLANETS의 구도

GM社가 사용하고 있는 또 하나의 모형으로서 TRANSPART 모형[28]을 들 수 있는데, 이는 동사가 자재, 부품 등을 최적비용으로 미국전역에 걸친 공장들에 운송하기 위한 의사결정을 지원하기 위한 것이다. 동 모형은 재고비용과 수송비용

의 상충관계를 고려하고 있으며 현재 미국내 40개 이상의 GM공장들에 의해 유용하게 쓰여지고 있다.

위 모형들의 일반적 특징은 그 관심이 최적해

를 찾기 위한 최신기법의 적용보다는 비교적 잘 알려진 기법 (예 : LP, 수송기법, 네트워크 기법, ROVER기법 등)을 이용한 대안의 분석에 주어졌다는 점이다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 현실 모형의 유용성은 문제의 효율적 최적화 보다는 모형의 기능과 유용성이 경영의사결정자에게 적절히 이해될 수 있는가 및 대안분석절차가 경영의사결정의 절차와 관행에 얼마나 부합되는가에 따라 인정받을 수 있다는 것을 실증해 주는 것이다. 그러나 아직 극히 일부의 모형을 제외하고는 일관 물류합리화 및 계층적 의사결정절차에 충실히 부합하고 있는 경우가 거의 없다고 할 수 있다.

국내에서는 이재규 제위 [4]에 의해 (주)유공의 제품수요예측에서부터 원유구입 및 제품생산의 전과정을 지원하기 위한 전문가시스템이 개발된 바 있다. 예상수요 및 기술적 제약하에서 원유구입비, 운송비, 재고비 및 생산비를 최소화 시키는 원유도입일정 및 공장가동일정이 동 모형에 의해 수립되어 질 수 있는데, 이는 정유산업에서의 일관 물류합리화를 위한 성공적 노력의 결과라고 볼 수 있다. 그러나 동 모형이 타산업에서 사용될 수 있는 범용성에는 한계가 있다.

3. 물류의사결정 지원모형의 GAP과 연구의 방향

3.1 理想과 現像과의 괴리

이상으로 살펴본 물류의사결정모형은 대체로 현실을 과다하게 단순화한 문제를 효율적으로 최적화 하는 데에 치중하였거나, 아니면 전체 시스템이 아닌 부분적 합리화를 도모하기 위한 지원 기능을 수행하는 한계점을 지니고 있다. 문제의 효율적 최적화를 지향하는 수많은 이론적인 모형

들은 본 논문의 1장에서 개괄적으로 살펴본 바 있으며, 현실의 복잡성을 그 구조에 반영하기는 하였으나 그 대상이 부분적 합리화에 그친 의사결정지원 시스템들은 본 논문의 [2.2.1]에서 역시 살펴본 바 있다. 물류시스템을 일관적으로 평가할 수 있는 모형은 '80년대 초반까지는 거의 찾아볼 수 없으며 극히 최근에 와서 PILOT [2, 43] -SCOPE [29], PLANETS [34] 등에 의해 이의 시도가 이루어지고 있다. 현재로서는 다음절에서 설명하게 될 서비스 수준과 비용, 수익과의 연관성 분석기능, 경영의사결정절차와 합치되는 물류의사결정 지원시스템의 구조설정, 그리고 기업국제화에 따른 국제물류요인의 모형화 등 해결해야 할 과제가 산적해 있다 할 것이다.

국내의 경우에는 물류의사결정과 관련한 모형의 개발이 더욱 미진하여, 일부 제조업체들이 수배송의 합리화를 위해 개발한 모형, 소수의 창고기기 메이커들이 개발한 창고배치 지원모형, 공장내 생산계획을 위한 모형 등 물류체제의 부분적 합리화를 위한 모형들 외에 일관 물류합리화를 위한 체계적 모형개발은 찾아보기 힘든 형편이다.

3.2 바람직한 모형개발 연구방향

3.2.1 총체적 연구방향에 대한 제언

지금까지의 물류모형 연구 결과에 근거하여 이들 모형을 크게 다음과 같이 3가지로 구분해 볼 수 있겠다.

- (1) 최적화 모형...최적해 도출이 가능하나 모형이 복잡한 현실을 제대로 반영하지 못함.
- (2) 휴리스틱 모형... 복잡한 현실을 어느 정도 모형화 하는 노력이 가미 되기는 하나 역시 불확실성 등을 모형화 하지는 못함.
- (3) 시뮬레이션 모형...복잡한 현실구조와 불확

실성을 모두 모형화 함.

현실적용에 있어서는 휴리스틱 모형과 시뮬레이션 모형이 보다 유용하다고 볼 수 있는데, 각기의 유용성과 특징을 정리해 보면 다음과 같다.

휴리스틱 모형은 대안별 시나리오 분석 (불확실성을 몇 개의 미래 시나리오로 설정하여 각 시나리오를 가정한 결과예측)에 보다 적합하며 전략평가 (복수공장입지, 공장별 생산할당, 유통구조, 시설간 물동량 결정 등)에 주로 이용함이 바람직하다. 그리고 시뮬레이션 모형은 세부적 정책평가(단일시설의 규모결정, 재고관리, 수배송관

리, 생산공정 관리, 재고정책과 고객서비스의 관계분석 등)에 보다 적합하다.

Bowersox and Closs [30]는 위의 세가지 모형 가운데 최적화 모형은 전략대안의 도출에, 휴리스틱과 시뮬레이션 모형은 갖가지의 가정하에 전략대안을 비교 평가하는 데에 각기의 유용성이 있음을 강조하였다.

이상의 3가지 모형들의 유용성과 특성을 물류의사결정의 절차와 관련하여 도시해 보면 <표 2>와 같다.

<표 2> 의사결정절차와 모형의 이용

의사결정절차:	전략대안의 도출	>	전략대안의 평가	>	정책대안의 세부평가	>	종합 평가	
의사결정내용:	물류시설의 입지, 규모등 전략대안 선정		선정된 전략 대안 및 정책을 시나리오에 따라 평가		확률을 도입한 시뮬레이션으로 정책대안의 세부적 평가		양적 (수익, 비용)	질적 (서비스, 품질 등)

유용한 모형 : 최적화 모형
 모형의 특성 : 현실 단순화

휴리스틱 모형
 복잡하 현실구조를 반영

시뮬레이션 모형
 불확실성까지도 모형화

기존 모형 특히 최적화 및 휴리스틱 모형에 있어서 최적화 또는 대안평가의 기준은 주로 비용에 치중되어 왔다. 그러나 시장경쟁에서 고객만족의 중요성이 강조되고 있는 요즘, 대안평가의 기준을 비용에만 두는 것은 부적절하므로 물류의사결정을 위한 모형화에는 비용과 서비스의 상충관계를 분석하는 기능이 요구되고 있다. 이러한 요청에 부합하여 Ballou [16], Perreault and Russ [150] 등은 전략대안의 평가에 서비스 기준을 도입하고 있는데, 그 기준으로는 대개 물류시설과 고객과의 거리 또는 운송소요시간이 사용되고 있다. 이들 연구에서 행해진 전략대안의 평가에는 주로 휴리스틱 모형이 쓰여지고 있으므로

정확한 서비스 분석이 이루어지고 있다고 볼 수는 없다. 비용과 서비스의 상충관계를 본격적으로 분석하기 위하여는 시뮬레이션이 가장 효과적이라 볼 수 있는데 이러한 분석은 정책대안의 세부평가단계에서 이루어지는 것이 보통이며, 이는 물류의사결정절차상 합당한 것으로 볼 수 있다. 이러한 모형의 예로서는 SCOPE모형 [29], Cohen et al. [44] Seguin [169], Cooper [47] 등을 들 수 있다.

더구나 기업의 국제화 추세에 따라 지역시장별 서비스요구 수준과 서비스가 판매에 미치는 효과가 크게 달라질 수 있으므로 지역시장별로 비용, 서비스 그리고 판매수익간의 관계를 분석해 볼

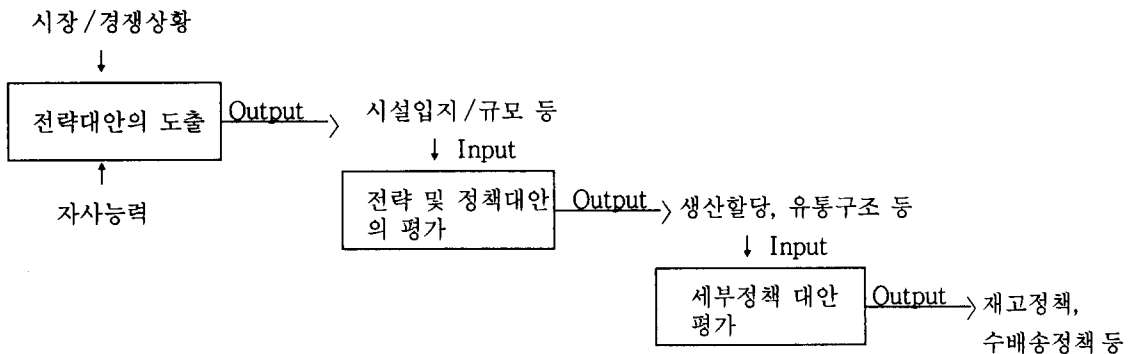
필요성이 증대된다. 이러한 관점에서 볼 때 물류 전략 및 정책대안의 평가기준은 비용과 서비스로부터 이익(판매수익-비용)으로 옮겨져야 할 것이다. 물론 이 경우의 이익은 단기적 이익만이 아닌 서비스 수준의 변화에 따른 장기적 판매이익의 추정에 기초한 장기적 추정이익을 포함하여야 할 것이다. Moon [137]은 공급자, 생산시설 그리고 시장으로 구성되는 물류시스템계획 모형에서 가용 자원과 최종서비스 수준을 감안한 이익극대화를 목표식으로 설정하였다. 그러나 이 최적화 모형은 서비스와 수익 또는 비용간의 상충관계를 분석하는 기능을 포함하고 있지는 않다. 위의 상충관계를 제대로 분석하기 위하여는 우선 서비스가 판매에 미치는 영향을 구조적으로 이해하고(이에 대하여는 Ballou [15]참조), 그 다음 이러한 관계를 모형화하여 서비스, 비용, 수익간의 상관관계를 모의실험을 통하여 파악하는 것이 필요하다.

이상의 논지를 요약하자면 다음과 같다.

첫째, 물류의사결정모형은 크게 최적화 모형, 휴리스틱 모형 그리고 시뮬레이션 모형으로 나누어 질 수 있는데 이들 모형 중 어느 것이 적합한가는 의사결정절차(전략대안의 도출, 전략대안의 평가, 전략대안의 세부평가 등)에 따라 달라질 수 있으므로, 의사결정의 상황에 맞게 모형을 선택적으로 활용함이 필요하다.

그리고 물류의사결정은 일관적으로 이루어져야 하므로, 이를 돕기 위한 모형도 일관적으로 수립되어야 한다. 그런데 <표 2>에서 보는 바와 같이 물류의사결정은 계층적으로 이루어져야 하며 각 단계에서 유용한 모형의 종류가 틀리므로, 일관모형이 되기 위해서는 성격이 다른 모형간의 결합이 요구된다. 즉 [그림 9]에서와 같이 모형간의 Input과 Output이 연쇄성을 지니는 구조를 지향하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

둘째, 비용위주의 전략 또는 정책대안의 평가기준을 탈피하여 서비스와 비용, 수익간의 상충관계를 분석할 수 있는 모형의 개발이 필요하다.



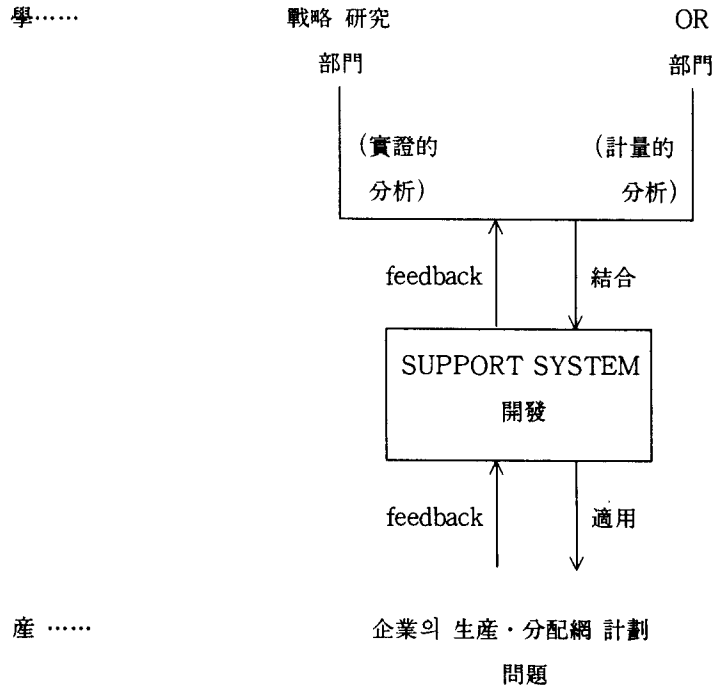
[그림 9] 계층적 의사결정과 모형의 연결

3.2.2 국내 물류모형 연구방향에 대한 제언

앞에서 살펴본 바와 같이 국내의 물류모형은 소수의 운송관련 모형을 제외하고는 그 개발과 활용이 매우 미진한 상태에 있다. 특히 Supply Chain전체의 합리화를 위한 일관 물류모형의 개발노력은 시장개방에 따른 국내시장에서의 치열

한 경쟁, 그리고 기업국제화에 따른 해외물류의 폭증에도 불구하고 거의 찾아보기 힘들 정도이다.

우리의 학계와 산업계는 본 논문의 [3.2.1]에 제시되고 있는 바람직한 연구방향에 따라 [그림 10]과 같은 협력체제를 적극적으로 조성하고, 지속적으로 현실에 맞는 모형을 개발하고자 하는 노력을 기울여야 할 것이다.



[그림 10] 産學研究체제의 방향

참 고 문 헌

1. 라연주, 송성현, 박순달(1992). 제품수송을 위한 일일 배차계획 시스템의 개발. [전산활용연구], 5(1), 27-48.
2. 文相源(1992). 생산·분배시설의 구축 및 운용 계획 지원 시스템의 실예. [物流學會誌], 2, 1-14.
3. 李用雨(1991). 전국 도로망의 NETWORK모형화. [物流學會誌], 1, 127-137.
4. 이재규, 김민용, 송용욱, 윤한성 (1992). UNIK-유공: 정유산업 일정계획 전문가 시스템. [經營科學], 9(2), 121-142.
5. Abara, J. (1989). Applying Integer Linear Programming to the Fleet Assignment

- Problem. *Interfaces*, 19(4), 20–28.
6. Akinc, U. (1985) Multi-Activity Facility Design and Location Problems, *Management Science*, 31, 275–283.
 7. Akinc, U. , and B. M. Khumawala (1977). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem. *Management Science*, 23, 585–594.
 8. Anbil, R. et al. (1991) Recent Advances in Crew-Pairing Optimization at American Airlines, *Interfaces*, 21(1), 62–74.
 9. Archibald, B. C. (1981). Continuous review (s,S) policies with lost sales. *Management Sci.* 27, 1171–1177.
 10. Archibald, B. C. , and E. A. Silver (1987). (s,S) policies under continuous review and discrete compound Poisson demand. *Management Sci.* 24, 899–909.
 11. Atkins, R. J. , and R. H. Shriver (1968). New Approach to Facilities Location. *Harvard Business Review*, May–June, 70–79.
 12. Axs ter, S. (1990). Simple solution procedures for a class of two-echelon inventory problems. *Oper. Res.* 38, 64–69.
 13. Axsäter, S. (1991). Evaluation of (R,Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand, Working Paper, Luleå University of Technology, Sweden.
 14. Baker, K. R. , P. R. Dixon, M. J. Magazine and E. A. Silver (1978). Algorithm for the dynamic lot-size problems with time varying production capacity constraints. *Management Sci.* 16, 1710–1720.
 15. Ballou, R. H. (1985). *Business Logistics Management*, 2nd Ed. , Chapter 3. , Prentice–Hall, Inc.
 16. Ballou, R. H. (1985). *Business Logistics Management, 2nd Ed.* , Chapter 10, Prentice–Hall Inc.
 17. Ballou, R. H. , and D. W. DeHayes, Jr. (1967). Transport Selection by Interfirm Analysis. *Transportation and Distribution Management.* 34–37.
 18. Barachet, L. L. (1957). Graphic Solution of the Traveling–Salesman Problem. *Oper. Res.* 5, 841–845.
 19. Barbosa, L. C. , and M. Friedman (1978). Deterministic inventory lot size models–A general root law. *Management Sci.* 24, 819–826.
 20. Bartholdi, J. J (1983). A Minimal Technology Routing system for Meals on Wheels. *Interfaces*, 13(3), 1–8.
 21. Baumol, W. J. , and H. D. Vinod (1970). An Inventory Theoretic Model of Freight Transport Demand. *Management Sci.* 16, 413–421.
 22. Baumol, W. J. , and P. Wolfe (1958). A Warehouse Location Problem. *Operations Research* 6, 643–666.
 23. Bellman, R. E. , I. Glicksberg and O. Gross (1955). On the optimal inventory equation. *Management Sci.* 2, 83–104.
 24. Benders, J. F. (1962). Partitioning Procedures for Solving Mixed–Variables Programming Problems. *Numerische Mathematik*, 4, 238–252.
 25. Bitran, G. R. , and A. C. Hax (1977). On

- the design of hierarchical production planning systems. *Decision Sci.* 8, 28-55.
26. Bitran, G. R. , E. A. Haas, and A. C. Hax (1981). Hierarchical production planning : A single stage system. *Oper. Res.* 29, 717-743.
 27. Bitran, G. R. , E. A. Haas, and A. C. Hax (1982). Hierarchical production planning : A two stage system. *Oper. Res.* 30, 232-251.
 28. Blumenfeld, D. E. et al. (1987). Reducing Logistics Costs at General Motors. *Interfaces*, 17(1), 26-47.
 29. Booz, Allen & Hamilton Co. (1986). *Supply Chain Operations Evaluator : Interpretation of Model.*
 30. Bowersox, D. J. , and D. J. Closs (1989). Simulation in Logisitcs : A Review of Practice and A Look to the Future. *Journal of Bus. Logist.* , 10, 133-148.
 31. Bowman, E. H. (1956). Production scheduling by the transportation method of linear programming. *Oper. Res.* 4, 100-103.
 32. Bowman, E. H. (1963). Consistency and optimality in managerial decision making. *Management Sci.* 9, 319-321.
 33. Bradley, S. P. , A. C. Hax, and T. L. Magnanti (1977). Large Scale Systems. *Applied Mathematical Programming.* Addison-Wesley Puglishing Co. Chapter 12.
 34. Breitman, R. L. , and J. M. Lucas (1987). PLANETS : A Modeling System for Business Planning. *Interfaces*, 17, 94-106.
 35. Cabot, A. V. , and S. S. Erenguc (1984). Some Branch and Bound Procedures for Fixed-Cost Transportation Problems. *Naval Research Logistics Quarterly*, 31, 145-154.
 36. Campbell, J. F. (1990). Designing Logistics Systems by Analyzing Transportation, Inventory and Terminal Cost Tradeoffs. *Journal of Business Logistics*, 11(1), 159-179.
 37. Carlisle, D. P. et al. (1987). A Turnkey, Microcomputer-Based Logistics Planning System. *Interfaces*, 17(4), 16-26.
 38. Chung, C. H. , and L. J. Krajewski (1984). Planning horizons for master production scheduling. *J. Oper. Management*, 4(4), 389-406.
 39. Clark, A. and H. Scarf(1960). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management Sci.* 6, 475-490.
 40. Clarke, G. , and J. W. Wright (1963). Scheduling of Vehicles form a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Oper. Res.* 11, 568-581.
 41. Cohen, M. A. (1977). Joint pricing and ordering policy for exponentially decaying inventory with known demand. *Naval. Res. Logist. Quart.* 24, 257-268.
 42. Cohen, M. A. and H. L. Lee (1985). Manufacturing Strategy : Concepts and Methods. in : P. R. Kleindorfer (ed.), *The Management of Productivity and Technology in Manufacturing.*
 43. Cohen, M. A. , H. L. Lee, and S. Moon (1987). An Integrated Model for Manu-

- facturing and Distribution Systems Design. Working Paper #87-07-03, Department of Decision Sciences, Wharton School, U. of Pennsylvania.
44. Cohen, M. A. , et al. (1990). Optimizer : IBM's Multi-Echelon Inventory System for Managing Service Logistics. *Interfaces*, 20(1), 65-82.
 45. Cohen, M. A. and S. Moon (1991). An Integrated Plant Loading Model with Economies of Scale and Scope. *European Journal of Operational Research*, 50, 266-279.
 46. Constable, G. K. and D. C. Whybark (1987). The Interaction of Transportation and Inventory Decisions. *Decision Sciences*, 9(4), 688-699.
 47. Cooper, M. C. (1983). Freight Consolidation and Warehouse Location Strategies in Physical Distribution Systems. *J. of Bus. Logist.* , 4(2), 53-74.
 48. Cornuejols, G. , M. L. Fisher, and G. L. Nemhauser (1977). Location of Bank Accounts to Optimize Float : An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, 23, 789-810.
 49. Crowder, H. , and M. Padberg (1980). Solving Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems to Optimality. *Management Sci.* 26, 495-509.
 50. Dantzig, G. B. , and D. R. Fulkerson (1959). Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule. *Naval. Res. Logist. Quart.* 1, 217-222.
 51. Davis, P. S. , and T. L. Ray (1969). A Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Facilities Location Problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 16, 331-334.
 52. DeBodt, M. A and S. C. Graves(1985). Continuous review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand. *Management Sci*, 31, 1286-1295.
 53. DeMatteis, J. J. (1968). An economic lot sizing technique : The part-period algorithms. *IBM Syst.J.* 7, 30-38.
 54. Dixon, P. S. , and E. A. Silver (1981). A heuristic solution procedure for the multi-item, single-level, limited capacity, lot sizing problem. *J. Oper. Management*, 2, 23-39.
 55. Doll, L. L. (1957). Quick and Dirty Vehicle Routing Procedure. *Interfaces*, 10, 84-85.
 56. Dreyfus, S. E. (1969). An Appraisal of some Shortest-Path Algorithms. *Operations Research*, 17, 395-412.
 57. Efroymson, M. A. , and T. L. Ray (1966). Branch and Bound Algorithm for Plant Location. *Operations Research*, 14, 361-368.
 58. Ellwein, L. B. , and P. Gray (1971). Solving Fixed Charge Location-Allocation Problems with Capacity and Configuration Constraints. *AIIE Trans*, 3, 290-297.
 59. Elson, D. G. (1972). Site Location via Mixed-Integer Programming. *Operational Research Quarterly*, 23, 31-43.

60. Eppen, G. , and H. Schrage (1981). Centralized ordering policies in a multiwarehouse system with leadtimes and random demand, in :L. Schwarz (ed.), *Multi-Level Production/Inventory Control System:Theory and Practice*, North-Holland, Amsterdam, 51-69.
61. Erlenkotter, D. A (1978). Dual-Based Procedure for Uncapacitated Facility Location. *Operations Research*, 26, 992-1009.
62. Federgruen, A. , and P. Zipkin (1984). Approximation of dynamic, Multi-location production and inventory problems. *Management Sci.* 30, 69-84.
63. Federgruen, A. , and P. Zipkin (1984). Computational issues in an infinite-horizon, multilocation inventory model. *Oper. Res.* 32, 818-836.
64. Federgruen, A. , and P. Zipkin (1984). Allocation policies and cost approximation inventory systems. *Naval Res. Logist. Quart.* 31, 97-131.
65. Feeney, G. J. , and C. C. Sherbrooke (1966). The (S-1,S) inventory policy under compound Poisson demand. *Management Sci.* 12, 391-411.
66. Ferguson, W. (1980). A New Method for Routing Salespersons. *Industrial Marketing Management*, 9(2), 171-178.
67. Fincke, U. , and W. Vaessen (1988). Reducing Distribution Costs in a Two-Level Inventory System at Ciba-Geigy. *Interfaces.* 18(6), 92-104.
68. Fine, C. H. , and E. L. Porteus (1989). Dynamic process improvement. *Oper. Res.* 37(4), 580-591.
69. Fisher, M. L. (1984). An Application Oriented User's Guide to Lagrangian Relaxation. Working Paper #84-04-03, Department of Decision Sciences, Wharton School, U. of Pennsylvania.
70. Fisher, M. L. , A. Greenfield, and R. Jaikumar (1982). VERGIN : A Decision Support System for Vehicle Scheduling, Working Paper HBS 86-62, Division Research, Harvard Business School, January.
71. Fisher, M. L. , A. Greenfield, R. Jaikumar, and J. T. Lester III, (1982). A Computerized Vehicle Scheduling Application. *Interfaces*, 12(4), 42-52.
72. Fisk, J. C. , and D. P. Ballou (1982). Production lot sizing under a learning effect. *IIE Trans.* 14, 257-264.
73. Galvao, R. D. (1980). Dual-Bounded Algorithm for the p-Median Problem. *Operations Research*, 28, 1112-1121.
74. Gardner, E. S. (1987). A top-down approach to modelling US Navy inventories. *Interfaces*, 17(4), 1-7.
75. Geoffrion, A. M. (1970). Elements of Large-Scale Mathematical Programming : Part I and II. *Management Science*, 16, 652-684.
76. Geoffrion, A. M. (1974). Lagrangian Relaxation for Integer Programming. *Mathematical Programming Study 2.*
77. Geoffrion, A. M. (1976). Better Distribution Planning with Computer Models. *Harvard Business Review*, July-August,

- 92-104.
78. Geoffrion, A. M. , and G. W. Graves (1974). Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition. *Management Science*, 20, 822-844.
 79. Geoffrion, A. M. , G. W. Graves, and S. Lee (1978). Strategic Distribution System Planning : A Status Report, in : A. C. Hax (ed.), *Studies in Operations Management*, North Holland.
 80. Geoffrion, A. M. and R. E. Marsten (1972). Integer Programming : A Framework and State-of-the-Art Survey. *Management Science*, 18, 465-491.
 81. Geoffrion, A. M. and R. McBride (1978). Lagrangian Relaxation Applied to Capacitated Facility Location Problems. *AIIE Trans.* 10, 40-47.
 82. Ghare, P. M. and G. F. Schrader (1963). A model for an exponential decaying inventory. *J. Indust. Engrg.* 14, 238-243.
 83. Gillett, B. E. and L. R. Miller (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problems. *Oper. Res.* 22, 340-349.
 84. Glover, et al (1978). Generalized Networks : A Fundamental Computer-Based Planning Tool. *Management Science*, 24, 1209-1220.
 85. Glover, et al (1979). An Integrated Production, Distribution, and Inventory Planning System. *Interfaces*, 9, 21-35.
 86. Golden, B. , L. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart (1980). Approximate Traveling Salesman Algorithms. *Oper. Res.* 28, 694-711.
 87. Graham, B. , J. Braklow and W. B. Powell (1991). Ongoing Network Optimization : Yellow Freight Coordinates Operations to Improve Service and Reduce Costs. *Franz Edelman Video Library*, TIMS.
 88. Graves, S. C. (1985). A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment. *Management Sci.* 31, 1247-1256.
 89. Gross, D. , and C. M. Harris (1971). On one-for-one ordering inventory policies with state development leadtimes. *Oper. Res.* 19, 753-760.
 90. Gross, D. , and C. M. Harris (1973). Continuous review (s,S) inventory policies with state development leadtimes. *Management Sci.* 19, 567-574.
 91. Gross, D. , R. Soland and C. Pinkus. (1981). Designing a multi-product, multi-echelon inventory system, in : L. Schwarz (ed.), *Multi-Level Production/Inventory Control Systems: Theory and Practice*, North-Holland, Amsterdam, 11-49.
 92. Guignard, M. , and K. Spielberg (1979). Direct Dual Method for the Mixed Plant Location Problem. *Mathematical Programming*, 17, 198-228.
 93. Hadley, G. , and T. M. Whitin (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
 94. Hax, A. C. , and D. Candea (1984). *Production and Inventory Management*.

- Prentice Hall.
95. Hax, A. C. , and H. C. Meal (1975). Hierarchical integration of planning and scheduling in : M. A. Geisler (ed.), *Studies in Management Sciences, Vol. 1: Logistics, Elsevier*, New York.
 96. Hill, A. V. , and D. C. Whybark (1976). Comparing Exact Solution Procedures for the Multi-Vehicle Routing Problems. *Logistics and Transportation Review*, 12(2), 145-152.
 97. Hilliard, M. R. et al. (1991). Scheduling the Operation Desert Shield Airlift : An Advanced Automated Scheduling Support System, *Franz Edelman Video Library*, TIMS.
 98. Hillier, F. S. , and G. T. Lieberman (1987). *Introduction to Operations Research*, 4th edition, Holden Day, Oakland, CA.
 99. Hoang, H. H. (1982). Topological Optimization of Networks : A Nonlinear Mixed Integer Model Employing Generalized Benders Decomposition. *IEEE Trans. AC-27*, 164-169.
 100. Holt, C. C. , F. Modigliani, J. F. Muth and H. A. Simoi (1960). *Planning Production, Inventories and Work Force*. Prentice-hall, Englewood Cliffs, NJ.
 101. Hosni, Y. A. , and A. Alsebaise (1987). Capacity planning in a job-shop environment. *Comput. Ind. Eng.* 13, 96-99.
 102. Jackson, P. (1988). Stork allocation in a two-echelon distribution system or 'What to do until your ship comes in'. *Management Sci.* 34, 880-895.
 103. Jesse, R. R. , A. Mitra and J. F. Cox (1983). EOQ formal : Is it valid under inflationary conditions? *Decision Sciences* 14, 370-374.
 104. Johnson, E. L. , M. M. Kostreva, and U. H. Suhl (1985). Solving 0-1 Integer Programming Problems Arising from Large Scale Planning Models. *Operations Research*, 33, 803-819.
 105. Kanet, J. J. , and A. Miles (1985). Economic order quantities and inflation. *Internat. J. Production Res.* 23, 597-608.
 106. Karg, R. L. and G. L. Thompson (1964). A Heuristic Approach to Solving Traveling Salesman Problems. *Management Sci.* , 10, 225-248.
 107. Karlin, S. , and H. E. Scarf (1958). Optimal inventory policy for the Arrow Harris Marschak dynamic model with a time lag, in : Arrow, Karlin and Scarf (eds.), *Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production*. Stanford University Press, Stanford, CA, Chapter 10.
 108. Karmarkar, U. S. (1981). The multiperiod, multilocation inventory problems. *Oper. Res.* 29, 231-258.
 109. Karmarkar, U. , and N. Patel (1975). The one-period, N-location distribution problem. *Naval. Res. Logist. Quart.* 29, 215-228.
 110. Karni, R. (1981). Maximum Part Period

- Gain (MPG) - A lot sizing production for unconstrained and constrained requirements planning systems. *Prod. Invent. Management* 22, 91-98.
111. Kaufman, L. , M. V. Eede, and P. Hansen (1977). A Plant and Warehouse Location Problem. *Operational Research Quarterly*, 28, 547-554.
112. Kekre, S. , et al. (1990). A Logistics Analysis at Heinz. *Interfaces*. 20(5), 1-13.
113. Kennington, J. L. and R. V. Helgason (1980). *Algorithms for Network Programming*. John Wiley & Sons, New York.
114. Khumawala, B. M. (1972). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem. *Management Science*, 18, B718-731.
115. Klein, R. (1990). Multilocation inventory systems with transshipments in response to stockouts, Ph. D. dissertation, Columbia University, New York.
116. Kleutghen, P. P. , and J. C. McGee (1985). Development and implementation of an integrated inventory management program at Pfizer Pharmaceuticals. *Interfaces*, 15(1), 69-87.
117. Klingman, D. , P. H. Randolph, and S. W. Fuller (1976). A Cotton Ginning Problem. *Operations Research*, 24, 700-717.
118. Kuehn, A. A. , and M. J. Hamburger (1963). A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, 9, 643-666.
119. Ladany, S. , and A. Sternlieb (1974). The interaction of economic ordering quantities and marketing policies. *AIEE Trans.* 6, 35-40.
120. Lasdon, L. S. (1970). *Optimization Theory for Large Systems*. McMillan, New York.
121. LeBlanc, L. J. (1975). An Algorithm for the Discrete Network Design Problem. *Transportation Science*, 9, 283-287.
122. Lee, H. L. (1987). A multi-echelon inventory model for repairable items with emergency lateral transshipments. *Management Sci.* 33, 1302-1316.
123. Lee, H. L. , and K. Moinzadeh (1987). Two-parameter approximations for multi-echelon repairable inventory models with batch ordering policy. *IIE Trans.* 19, 140-149.
124. Lee, H. L. , and K. Moinzadeh (1987). Operating characteristics of a two-echelon inventory system for repairable and consumable items under batch ordering and shipment policy. *Naval Res. Logist. Quart.* 34, 356-380.
125. Lee, T. S. , E. Adam Jr and R. Ebert (1987). An evaluation of forecast error in master production scheduling for material requirements planning systems. *Decision Sci.* 18(2), 292-307.
126. Lin, S. , and B. Kernighan (1973). An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problems. *Oper. Res.* 21, 498-516.

127. Luss, H. (1982). Operations Research and Capacity Expansion Problems : A Survey. *Operations Research*, 30, 907-947.
128. Magnanti, T. L. , and R. T. Wong (1981). Accelerating Benders Decomposition : Algorithmic Enhancement and Model Selection Criteria. *Operations Research*, 29, 464-484.
129. Manne, A. (1964). Plant Location under Economies of Scale-Decentralization and Computation. *Management Science*, 11, 233-235.
130. Marsten, R. E. (1981). The Design of the XMP Linear Programming Library. *ACM Trans. on Mathematical Software*, 7, 481-497.
131. Marsten, R. E. , and S. Singhal (1983). *SMIP 83*, Department of Management Information Systems, U. of Arizona.
132. Martin, C. H. , D. C. Dent and J. C. Eckhart (1993). Integrated Production, Distribution and Inventory Planning at Libbey-Owens-Ford. *Interfaces*, 23(3), 68-78.
133. McClain, J. O, L. J. Thomas and J. B. Mazzola (1992). *Operations Management : Production of Goods and Services*, 3rd edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
134. Meal, H. L. , and D. C. Whybark (1987). Material requirements planning in hierarchical planning systems. *Internat. J. Prod. Oper. Management* 25(7), 947-956.
135. Moinzadeh, K. , and H. L. Lee (1986). Batch size and stocking levels in multi-echelon repairable system. *Management Sci.* 32, 1567-1581.
136. Moon, S. (1989). Application of Generalized Benders Decomposition to a Nonlinear Distribution System Design Problem. *Naval Research Logistics*, 36, 283-295.
137. Moon, S. (1989). A Profit-maximizing Plant-loading Model with Demand Fill-rate Constraints. *J. Opl. Res. Soc.* , 40, 1019-1027.
138. Moore, J. (1980). A Computer Modeling Approach to Manufacturing and Distribution Strategy. *Interfaces*, 10, 16-21.
139. Morton, T. E. (1969). Bounds on the solution of the lagged optimal inventory equation with no demand backlogging and proportional costs. *SIAM Rev.* 11, 527-566.
140. Muckstadt, J. A. (1973). A model for a multi-item, multi-echelon, multi-indenture inventory system. *Management Sci.* 20, 472-481.
141. Muckstadt, J. A. (1979). A three-echelon, multi-item, model for recoverable items. *Naval Res. Logist. Quart.* 26, 199-277.
142. Murtagh, B. A. , and M. A. Saunders (1977). MINOS User's Guide, Technical Report 77-9, Systems Optimization Laboratory. Department of Operations Research, Stanford U.
143. Murtagh, B. A. , and M. A. Saunders (1978). Large Scale Linearly Constrained

- Optimization. *Mathematical Programming*, 14, 41–72.
144. Muth, E. J. , and K. Spremann (1983). Learning effects in economic lot sizing. *Management Sci.* 29, 264–269.
145. Nahmias, S. (1976). On the equivalence of three approximate continuous review inventory models. *Naval. Res. Logist. Quart.* 23, 31–36.
146. Nahmias, S. (1989). *Production and Operations Analysis*, Richard D. Irwin, Homewood, IL.
147. Nauss, R. M. (1978). An Improved Algorithm for the Capacitated Facility Location Problem. *J. of Oper. Res. Soc.* 29, 1195–1201.
148. Neebe, A. W. and B. M. Khumawala (1981) Multi-commodity Location Problem. *J. of Oper. Res. Soc.* 32, 143–149.
149. Padberg, M. W. , T. J. Van Roy, and L. A. Wolsey (1985). Valid Linear Inequalities for Fixed Charge Problems. *Operations Research*, 33, 842–861.
150. Perreault, W. D. and F. A. Russ (1977). Improving Physical Distribution Decisions with Trade-off Analysis. *Int'l J. of Physical Dist.* , 7, 117–127.
151. Ploos van Amstel, M. J. (1990). Managing The Pipeline Effectively. *Journal of Bus. Logistics*. 11(2), 1–25.
152. Pollack, M. and W. Weibenson (1960). Solution of the Shortest-Route Problem—A Review. *Operations Research*, 1, 224–230.
153. Porteus, E. (1985). Investing in reduced setup in the EOQ model. *Management Sci.* 31(8), 998–1010.
154. Porteus, E. L. (1985). On the optimality of generalized (s,S) policies. *Management Sci.* 31, 134–152.
155. Porteus, E. L. (1985). Numerical comparisons of inventory policies for periodic review systems. *Oper. Res. Lett.* 3, 293–300.
156. Porteus, E. L. (1986). Optimal lot sizing, Process quality improvement and setup cost reduction. *Oper. Res.* 34, 137–144.
157. Roppopr, H. K. et al. (1992). A Planning Heuristic for Military Airlift. *Interfaces*. 22(3), 73–87.
158. Resh, M. , M. Friedman and L. C. Barbosa (1976). On a general solution of the deterministic lot size problem with time-proportional demand. *Oper. Res.* 24, 718–725.
159. Richards, F. R. (1975). Comments on the distribution of inventory position in a continuous-review (s,S) inventory system. *Oper. Res.* 23, 366–371.
160. Robinson, Jr. , E. P. , L. Gao and S. D. Muggenborg (1993). Designing an Integrated Distribution System at DowBrands, Inc. *Interfaces*, 23(3), 107–117.
161. Rosenblatt, M. J. , and H. L. Lee (1985). Improving profitability with quantity discounts under fixed demands. *IIE Trans.* 17, 388–395.
162. Rosenblatt, M. J. , and H. L. Lee (1986). Economic production cycles with

- imperfect production processes. *IIE Trans.* 18, 48-55.
163. S , G. (1969). Branch and Bound and Approximate Solutions to the Capacitated Plant Location Problem. *Operations Research*, 17, 1005-1016.
164. Sahin, I. (1979). On the stationary analysis of continuous review (s,S) inventory systems with constant lead times. *Oper. Res.* 27, 717-729.
165. Scarf, H. E. (1960). The optimality of (s,S) policies in the dynamic inventory problems, in : K. A. Arrow, S. Karlin and P. Suppes (eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press, Stanford, CA.
166. Schmitt, T. , W. Berry and T. Vollmann (1984). An analysis of capacity planning procedures for a material requirements planning systems. *Decision Sci.* 15, 522-541
167. Schwarz, L. B. , B. L. Deuermeyer and R. D. Badinelli (1985). Fill-rate optimization in a one-warehouse N-identical retailer distribution system. *Management Sci.* 31, 488-498.
168. Schwarz, L. B. , and R. E. Johnson (1987). An appraisal of the empirical performance of the linear decision rule for aggregate planning. *Management Sci.* 33, 844-848.
169. Seguin, V. C. (1976). Using the Computer to Site Inventory Locations. *Handling and Shipping*, October, 69-72.
170. Sherali, H. D. , and W. P. Adams (1984). A Decomposition Algorithm for a Discrete Location-Allocation Problem. *Operations Research*, 32, 878-900.
171. Sherbrooke, C. C. (1968). METRIC : A mult-echelon technique for multi-indenture, multi-echelon availability models. *Oper. Res.* 34, 311-319.
172. Silver, E. A. (1976). Establishing the order quantity when the amount received is uncertain. *INFOR* 14, 32-39.
173. Silver, E. A. , and H. C. Meal (1973). A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. *Prod. Invent. Management* 14, 64-74.
174. Silver, E. A. , and R. Peterson (1985). *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, 2nd edition, Wiley, New York.
175. Simon, R. M. (1971). Stationary properties of a two-echelon inventory model for low demand items. *Oper. Res.* 19, 761-777.
176. Sivazlian, B. D. (1974). A continuous-review (s,S) inventory system with arbitrary interarrival distribution between unit demand. *Oper. Res.* 22, 65-71.
177. Smith, S. A. (1977). Optimal inventories for an (S-1,S) system with no backorders. *Management Sci.* 23, 522-528.
178. Smith, B. C. , J. F. Leimkuhler and R. M. Darrow (1991). Maximizing Revenues

- through Optimum Control of the Amount of Product Offered at Various Prices : Yield Management at American Airlines. *Franz Edelman Video Library*, TIMS.
179. Smunt, T. L. , and T. E. Morton (1985). The effect of learning on optimal lot sizes : Further developments on the single product case. *IIE Trans.* 17, 33-37.
180. Soland, R. M. (1974). Optimal Facility Location with Concave Costs. *Operations Research*, 22, 373-382.
181. Sox, C. R. , J. O. McClain and L. J. Thomas (1992). Jellybeans : Storing capacity to satisfy demands within a specified leadtime, Working Paper, JGSM, Cornell University.
182. Spielberg, K. (1969). Algorithms for the Simple Plant Location Problem with Some Side Conditions. *Operations Research*, 17, 85-111.
183. Sridharan, S. , W. Berry and V. Udayabhanu (1988). Measuring master production schedule stability under rolling planning horizons. *Decision Sci.* 19(1), 147-166.
184. Stock, J. R. , and B. L. LaLonde (1977). The Transportation Mode Decision Revisited. *Transportation Journal*, 51-57.
185. Svoronos, A. , and P. Zipkin (1988). Estimating the performance of multi-level inventory systems. *Oper. Res.* 36, 57-72.
186. Taylor, S. G. , and C. E. Bradley (1985). Optimal ordering-policies for announced price increases. *Oper. Res.* 33, 312-325.
187. Tcha, D. , and B. Lee (1984). A Branch-and-Bound Algorithm for the Multi-Level Uncapacitated Facility Location Problem. *EJOR*, 18, 35-43.
188. Thomas, L. J. , and E. N. Weiss (1986). Incorporating marketing and capacity planning and detailed production scheduling, in : B. Lev(ed.), *TIMS Studies in the Management Science: Production Management: Methods and Applications*, North Holland, Amsterdam, 207-230.
189. Van Roy, T. J. (1986). A Cross Decomposition Algorithm for Capacitated Facility Location. *Operations Research*, 34, 145-163.
190. Van Roy, T. J. (1989). Multi-level Production and Distribution planning with transportation fleet optimization. *Management Science*, 35(12), 1443-1453.
191. van Vliet, A. , C. G. E. Boender and A. H. G. Rinnooy Kan (1992). Interactive Optimization of Bulk Sugar Deliveries. *Interfaces*, 22(3), 4-14.
192. Vasquez-Marquez, A. (1991). American Airlines Arrival Slot Allocation System (ASAS). *Interfaces*, 21(1), 42-61.
193. Veinott, A. F. (1964). Production planning with convex costs : A parametric study. *Management Sci.* 10, 441-460.
194. Wagner, H. M. , and T. M. Whitin (1958). A dynamic version of the economic lot size model. *Management Sci.* 5, 89-96.
195. Warszawski, A. (1973). Multi-dimensional

- Location Problems. *Operational Research Quarterly*, 24, 165-179.
196. Waston-Gandy, C. D. T. , and L. R. Foulds (1981). The Vehicle Scheduling Problem : A Survey. *NOZR*, 9(2), 73-92.
197. Wilson, G. L. (1956). *Traffic Management*. Engewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall. 187-188.
198. Yano, C. A. (1985). New algorithms for (Q,r) systems with complete backordering using a full-rate criterion. *Naval. Res. Logist. Quart.* 32, 675-688.
199. Zangwill, W. I. (1966). A deterministic multi-period production scheduling model with backlogging. *Management Sci.* 13, 105-119.
200. Zangwill, W. I. (1966). A determinsitic multi-product multi-facility production and inventory model. *Oper. Res.* 14, 486-507.
201. ZangWill, W. I. (1987). Eliminating inventory in a series facility production system. *Management Sci.* 33(9), 1150-1164.
202. ZangWill, W. I. (1987). From EOQ towards ZI. *Management Sci.* 33(10), 1109-1223.
203. Zheng, Y. S. , and A. Federgruen. (1991). Finding opitmal (s,S) policies is about as simple as evaluating a single policy. *Oper. Res.* 39, 654-655.
204. Zipkin, P. (1982). Exact and approximate cost functions for product aggregates. *Management Sci.* 28, 1002-1012.
205. Zipkin, P. (1984). On the imbalance of inventories in multi-echelon systems. *Math. Oper. Res.* 9, 402.
206. Zipkin, P. (1986). Stochastic leadtimes in continuous-time inventory models. *Naval Res. Logist. Quart.* 33, 763-774.
207. Zipkin, P. (1986). Inventory service-level measures : Convexity and approximation. *Management Sci.* 32, 975-981.