

공급사슬 모델링의 현황 및 분석에 관한 고찰

강경환 · 이병기 · 이영훈[†]

연세대학교 컴퓨터 과학 · 산업시스템공학과

A Review of Current Status and Analysis in Supply Chain Modeling

Kyung Hwan Kang · Byung Ki Lee · Young Hoon Lee

Department of Computer Science and Industrial System Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749

Supply chain management(SCM) has been recognized as a major strategy in today's market place. A growing number of researchers have begun to realize the strategic importance of model construction, planning, controlling and operation for SCM. Also various researches of supply chain model building are going on. In this paper, we synthesis key elements of supply chain model such as performance factors, decision variables and constraints. We have reviewed past and present supply chain models and then analyzed those in view of environment factors, operations, solution approaches.

Keywords: supply chain modeling, logistics, distribution, location/allocation

1. 서론

과거의 시장 환경에서는 기업 인지도, 고품질 저비용 제품, 유연성과 효율성을 가진 생산시스템 등이 주요 경쟁력이었으며, 이러한 요소들은 상호간 양자의 균형을 인정하였다(Erenguc *et al.*, 1999). 즉, 기업이 유연성과 고품질의 제품 생산에 전략을 집중한다면 비용은 부수적인 관심사항이었다. 왜냐하면 고품질의 제품을 신속히 받고자 하는 고객은 추가적인 비용을 지불하였기 때문이다. 유사하게 저비용이 가장 핵심적인 기업의 전략이라면 유연성, 고객만족은 부차적인 문제였다. 따라서, 기업은 여러 가지 경쟁요소 중 가장 결정적인 단일목적에 적합한 전략을 시행하였다. 품질개선을 위해서는 종합적 품질경영(Total Quality Management)을, 제조 측면에서의 유연성과 효율성을 위해서는 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)과 적기생산(Just In Time)전략 등이 사용되었다. 이러한 단일목적 전략은 전체 시스템 내에서의 불일치, 실현 불가능성, 지역최적화와 같은 부정적인 영향을 발생시킬 가능성이 내포되어 있었다.

오늘날의 시장환경에서 더 이상 품질, 비용, 유연성, 재고 등은 양자의 균형관계가 아니라 동시에 추구해야 하는 다목적

요구사항이 되었다. 즉, 저비용으로 고품질의 제품을 신속히 고객에게 제공하는 기업이 경쟁력을 가지게 되었으며, 또한 공급사슬 내의 복잡한 비즈니스 프로세스와 네트워크, 구성원 간의 관계를 효율적으로 종합, 조화시킬 수 있는 관리능력에 따라 기업의 성과가 좌우되게 되었다(Drucker, 1998; Lambert *et al.*, 1998).

이러한 배경에서 출발한 공급사슬관리는 최초에는 기업 내의 상호 다른 기능(구매, 제조, 분배, 판매 등)을 종합함으로써 발생하는 효율적인 물류관리라는 측면에서 접근되었으며(Oliver and Webber, 1982) 최근에는 물류 이외의 다른 비즈니스 프로세스(생산, 서비스, 정보, 구성원 간의 관계 등)의 종합이라는 측면에서 연구되고 있다. Cooper *et al.* (1997)은 공급사슬관리를 '고객과 제 3자에게 제품과 서비스, 정보를 제공하고 가치를 부여하는 원공급자로부터 최종 사용자까지의 핵심 비즈니스 프로세스의 종합'이라고 정의하고 있으며, Simchi-Levi *et al.* (2003)은 '고객 서비스 수준을 만족시키면서 시스템 전반적인 비용을 최소화할 수 있도록 제품이 적절한 수량으로 적절한 장소와 시간에 생산과 유통이 가능하게 하기 위하여 공급자, 제조업자, 창고 보관업자, 소매상들을 효율적으로 종합하는 데 이용되는 일련의 접근법'으로 정의하였다. 일반적으로

[†] 연락저자 : 이영훈 교수, 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 공과대학 컴퓨터과학 · 산업시스템공학과, Fax : 02-364-7808,

E-mail : youngh@yonsei.ac.kr

2004년 2월 접수; 2004년 5월 수정본 접수; 2004년 5월 게재 확정.

공급사슬 프로세스는 <Figure 1>과 같이 물류의 순방향흐름과 정보의 역방향흐름의 특징을 가지고 있으며 인바운드 물류와 아웃바운드 물류의 2가지 프로세스로 구성된다(Min and Zhou, 2002). 인바운드 물류는 자재취급, 관리와 같은 원자재와 부품의 획득과 저장, 생산에 관련된 프로세스인 반면(Johnson and Malucci, 1999), 아웃바운드 물류는 물적 분배와 같은 공급사슬 구성원에게 제품과 서비스를 제공하는 프로세스이다(Bowersox and Closs, 1996).

공급사슬 모델링의 궁극적 목적은 전체 최적화이지만, 공급사슬의 구성요소가 복잡하고, 광범위하며, 공급사슬 구성원 간의 상호 다른 이해관계를 가지고 있기 때문에 어떠한 모델도 현실적인 모든 양상을 포함시켜 전체 최적화를 달성하기는 어렵다. 만약 그러한 모델이 구축된다 하더라도 모델의 복잡성으로 인해 해법을 제시하기는 쉽지 않다. 따라서 모델 구축가는 공급사슬을 구성하고 있는 다양한 성과지표, 의사결정요소와 제약조건 중에서 어떤 요소를 도출하여 모델을 구축하고, 구축된 모델이 어떤 범주 내에 포함되는지를 분류 및 분석할 필요가 있으며, 해법 측면에서 어떠한 방법으로 접근한다는 복안이 수립되어야 현실양상을 고려한 전체 최적화를 달성할 수 있는 모델이 구축된다.

이어지는 2장에서 기존의 고찰 논문의 연구현황을, 3장에서는 성과지표, 의사결정요소와 제약조건 측면에서 분석하였으며, 4장에서는 공급사슬 모델의 분류를 환경요소적 측면, 운영적 측면에서 분류하였고, 5장에서는 현재까지 연구되었던 다양한 해법에 관한 내용을 포함시켰으며 6장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

2. 기존 고찰 논문 현황 및 분석

지금까지의 공급사슬 모델에 관한 연구는 주로 분할형태(생산 모델, 재고모델, 입지모델, 수송모델 등)와 이러한 분할형태의 모델을 동시에 고려한 혼합형태로 연구되어져 왔다. 물론 분할형태의 각 모델도 독자적인 연구분야로 광범위하게 연구되

고 있지만, 일반적으로 공급사슬 모델이라 함은 전체 최적화를 달성하기 위한 혼합모델을 의미하고 있으며 이에 대한 다양한 연구가 진행중이다. 이러한 공급사슬 모델 연구에 대해 다양한 시각에서 조망하고 분석한 고찰 논문의 현황은 다음과 같다.

Min and Zhou(2002)는 공급사슬 모델의 과거, 현재에 대한 주요 쟁점과 향후 공급사슬에 관한 연구방향을 제시하였다. 공급사슬의 형태를 파트너십의 형태, 구조적 차원, 프로세스의 특징적인 측면에서 분류하였고, 공급사슬의 핵심 포함요소로서 전체 공급사슬을 주도하는 공급사슬 드라이버, 현실적인 제약조건, 결정변수로 정의하였다. 또한 모델의 분류는 확정적 모델, 확률적 모델, 혼합모델, 정보기술 기반 모델로 분류하였다. 향후 연구방향으로는 다단계, 다목적, 다기간의 모델에 관한 연구로의 확장과 공급사슬 구성원 간의 갈등해소, 관계를 관리하기 위한 게임이론, 협상모델의 필요성을 제기하였으며, 최근의 정보기술의 발전을 반영한 정보기술 기반 모델 연구의 중요성을 제기하였다. 이 논문의 가장 큰 기여점은 기존 연구에서 간과 시 되어 왔던 정보기술 기반 모델에 관한 고찰과 공급사슬 내의 핵심 포함요소와 모델의 분류를 통해 모델 구축가에게 지침을 제시한 점이다.

Erenguc *et al.*(1999)은 운영적 측면에서 공급사슬 구성원을 공급자, 제조자, 분배자로 분류하여 각 구성원별로 추구하는 목적(수리적 모델)에 대한 고찰을 실시하였다. 공급자에게 가장 결정적인 쟁점은 획득 비용과 품질, 즉시적인 배송이며, 제조자는 재고비용과 생산비용, 분배자에게는 중앙 집중/분산 정책 결정, 입지/할당 결정, 재고유지 문제로 정의하였다. 이 논문은 구성원별로 제시된 수리적 모델을 통해 공급사슬에 대한 이해를 용이하게 하였으나, 전체 최적화를 위한 모델이 제시되지 않았으며, 향후 연구방향은 이에 대한 연구의 필요성과 재고의 소유에 대한 문제 구성원간의 정보 공유의 필요성에 대해 주장하였다.

Kim and Lee(2000)는 공급사슬에 관한 현황연구를 통해 공급사슬과 타기법(MRP, MRP II, ERP, CALS, BPR 등)과의 연관성을 설명하였으며, 모델의 분류를 확정적 모델, 확률적 모

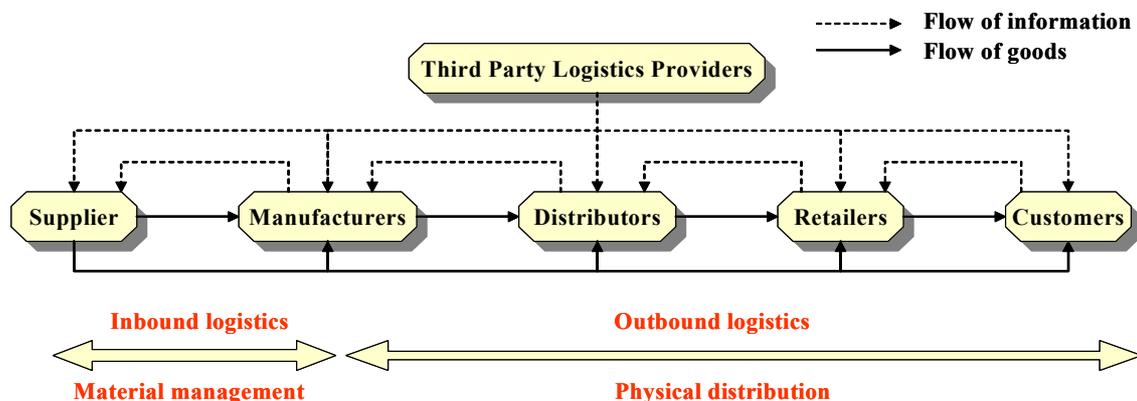


Figure 1. The Supply chain process(Min and Zhou, 2002).

델, 시뮬레이션 모델로 구분하였으며 해당 분야의 다양한 연구현황을 소개하였다. 향후 연구는 기존의 공급사슬을 합리적, 효과적으로 측정할 수 있는 성과 측정기법에 대한 연구와 공급자, 분배자, 생산자 모델을 종합시켜 전체 최적화를 달성할 수 있는 모델의 필요성을 제시하였으며, 한국적 상황에 적합한 공급사슬 계획 시스템과 시뮬레이터와 같은 물리적 도구 개발의 필요성을 제기하였다.

Goetschalckx *et al.*(2002)은 기존의 연구가 국가 내의 공급사슬관리 측면에서 집중되었던 점을 개선하여 국가 간 수요, 공급에서 발생할 수 있는 세금과 수송비와 관련된 연구를 실시하였다. 모델의 분류는 국제거래에 있어 이윤을 최대화할 수 있는 모델과 국가 내의 전술적 운용모델(생산-분배-할당)의 2가지로 분류하였다.

Thomas and Griffin(1996)은 공급사슬관리를 운영적/전략적 측면에서 분류를 하였다. 운영적 측면에서 구매-공급, 생산-분배, 재고-분배의 3가지 형태로 분류하여 각각의 모델을 소개하였으며, 전략적 측면에서는 공장과 분배센터의 개폐 여부, 생산설비에 대한 장비의 할당 여부, 입지문제 등으로 구분하여 관련된 연구를 분석하였다.

Vidal and Goetschalckx(1997)는 생산-분배 모델에 대한 고찰을 통해 생산-분배 모델의 수리적 모형에 포함된 다양한 요소(확률적 특징, 단계의 수, 비용, 능력, 수요 등)와 해법의 특징을 정리하였다. 기존 연구의 문제점으로 고객서비스 수준과 조달기간이 일정한 확정적 모델 연구에 집중되었던 점과 현실적이지 못한 제약조건 등을 제시하였다. 이 논문의 가장 큰 기여점은 각종 논문에 제시된 모델을 분석하여 간과되기 쉬운 현실적인 요소를 고려할 수 있도록 정리한 점이다.

Maloni and Benton(1997)은 공급사슬 구성원 간의 파트너십에 관한 고찰을 실시하였다. 공급사슬 내의 구성원 간에는 갈등요소가 존재하며, 효과적인 파트너십 개선을 통해 가격, 수량할인, 품질 등의 불확실성의 제거가 가능함과 동시에 규모의 경제, 프로세스 종합 등으로 비용절감이 가능함을 제기했다. 성공적인 파트너십을 위한 핵심절차로서, 최초 전략분석 단계에서는 사회적/업무적/구조적 장벽요인에 대한 분석이 이루어져야 하며, 공급자 평가/선별 단계에서는 종합비용과 수익, 재정적 안정, 파트너의 능력, 위치, 경영능력이 고려되어야

하며, 문서화/인지 과정을 통해 파트너십을 설립하고, 유지단계를 통해 지속적인 신뢰와 유연성, 갈등에 대한 사항이 관리되어야 된다고 분석하였다. 이 논문은 비즈니스의 핵심인 공급사슬 구성원 간의 파트너십에 관한 개념적/분석적 접근을 시도한 점이 큰 기여점이라 할 수 있다.

이와 같이 기존의 고찰논문들은 다양한 시각에서 공급사슬을 이해하고 분석을 실시하였으나, 대부분 거시적/전략적/개념적 차원에서의 접근이 많았다. 즉, 실제 모델 구축과정에서 고려해야 하는 성과지표와 의사결정요소, 제약조건, 다양한 환경적 요소 등에 대한 미시적/전술적/정량적 차원에서의 고찰이 다소 간과되었다. 또한 복잡한 공급사슬 모델을 풀 수 있는 해법이 다양한 방법으로 시도되고 있으나, 이에 대한 해법적 차원에서의 접근이 미흡하였다. 따라서 본 논문에서는 이러한 시각에서 공급사슬 모델을 분석하였다.

3. 성과지표, 의사결정요소와 제약조건

3.1 성과지표

공급사슬 모델의 성과지표는 모델 구축 시 우선적으로 고려되어야 할 사항으로서, 모델 구축가는 어떠한 성과지표를 통해 공급사슬의 효율성, 실현성을 판단할 것인가를 고려해야 한다. 공급사슬 모델의 성과지표는 계량화된 목적함수로 표현되어 공급사슬 모델을 주도하는 요소가 된다. 기존의 공급사슬 모델을 분석해 보면 <Table 1>과 같이 일반적으로 비용, 시간, 수익, 서비스의 4가지 성과지표가 도출된다.

공급사슬의 분할된 형태의 모델(생산, 재고, 수송, 입지 모델 등)의 경우는 <Table 1>에서 제시된 다양한 형태의 성과지표를 사용하고 있으나, 최근의 연구추세와 같이 혼합형태(생산-분배, 재고-분배, 입지-할당-경로 모델 등)의 모델에서는 대부분 비용을 성과지표로서 사용하고 있으며 시간 수익/효율성, 서비스의 경우는 제약조건으로 설정하는 경우가 대부분이다. 이러한 이유는 각기 상이한 성과지표 단위로 인한 모델 구축 및 해법의 어려움에 크게 기인하였으며, 일반적으로 비용요소가 공통적으로 도출되며, 가장 결정적인 쟁점사항이 되기 때

Table 1. The performance criteria of supply chain

Performance criteria	Cost	Time	Profit/Utilization	Service
Element	<ul style="list-style-type: none"> · Production cost · Inventory cost · Transportation cost · Operating cost · Ordering cost · Facility setup cost and others 	<ul style="list-style-type: none"> · Lead time · Transit time · Order/dispatching cycle time · Production time · Transportation time · Processing time and others 	<ul style="list-style-type: none"> · Cube utilization · Productivity · Inventory turns · Return on investment and others 	<ul style="list-style-type: none"> · Order fill rate · Order accuracy rate · On time delivery · Quick delivery · Accurate delivery and others
Ob. function	<ul style="list-style-type: none"> · Min. cost 	<ul style="list-style-type: none"> · Min. time 	<ul style="list-style-type: none"> · Max. profit/utilization 	<ul style="list-style-type: none"> · Max. service

문이다.

3.2 의사결정요소

목적함수가 3.1절에서와 같이 도출된 이후에는 공급사슬 모델에서 의사결정을 해야 할 요소가 무엇인지를 고려해야 한다. 공급사슬 모델링은 ‘무엇을, 언제, 어떻게’라는 문제에 대한 의사결정을 하기 위한 것으로, 일반적으로 기간, 예산 등의 기준으로 전략적, 전술적, 운영적 차원에서의 의사결정 분야로 나눌 수 있다(Chopra and Meindl, 2001; Steven, 1989). 전략적 차원에서 의사결정을 해야 하는 문제는 입자할당, 수요계획, 분배경로계획, 전략적 제휴, 신제품 개발, 외주, 공급자 선별, 정보기술 선별, 가격, 네트워크 구축 등이 해당된다. 전술적 차원에서 의사결정을 해야 하는 문제는 재고관리 생산/분배 조화, 주문의 합병(order consolidation), 원자재 취급, 장비선별, 설비 배치 등에 관한 사항이다. 운영적 측면에서 의사결정을 해야 하는 문제는 차량경로/일정계획, 작업그룹 일정계획, 기록, 포장 등에 관한 사항이다. 물론 실제 문제의 대부분은 위와 같이 명확하지 않고 중첩되는 경우가 많다. Min and Zhou(2002)은 의사결정변수로서 아래의 요소를 대표적인 공급사슬 모델의 의사결정요소로 제시하였다.

- 입지 : 어디에 공장, 창고, 분배센터, 합병점을 정할 것인가?
- 할당 : 어떤 공장, 창고, 분배센터가 어떤 고객을 서비스할 것인가?
- 네트워크 구조 : 중앙집중화 혹은 분산화할 것인가?
- 설비와 장비의 수 : 공장, 창고, 분배센터와 장비는 얼마나 필요한가?
- 단계의 수 : 얼마나 많은 단계가 필요한가?
- 서비스 순서 : 배송, 수거의 순서는 어떻게 할 것인가?
- 용적 : 공장, 창고, 분배센터에서 선적, 보관, 생산하는 양은 얼마인가?

- 재고수준 : 공장, 창고, 분배센터에서 유지할 재고의 양은 얼마인가?
- 작업자의 수 : 얼마나 많은 작업자들이 필요한가?
- 외주의 범위 : 공급자, 정보기술 제공업자, 제 3자 류업자는 어느 정도로 활용할 것인가?

전략적/전술적/운영적 차원에서의 의사결정요소와 Min and Zhou(2002)이 제시한 의사결정요소를 종합해 보면 <Table 2>와 같이 크게 재고 의사결정, 수송 의사결정, 입지 의사결정의 3가지 분야로 요약될 수 있다. 이와 같이 재고, 수송, 입지 의사결정으로 분류했을 경우의 장점은 각 의사결정 국면별로 누락 요소를 방지할 수 있고, 중점적으로 추진해야 할 공급사슬 관리 정책(재고 우선, 수송 우선, 입지 우선 등)을 판단할 수 있다. 또한 이 3가지 분야는 전혀 새로운 분야가 아니라 기존에 연구되어 왔던 분야로서 모델 구축, 해법 측면 등에서 접근이 용이하다.

3.2.1 재고 의사결정

재고 의사결정에서 결정해야 할 요소는 재고 정책수립 생산/분배의 조화, 주문의 합병, 원자재 취급, 주문점, 안전재고의 수준, 재고 통제방법, 주문시기결정, 주문량 결정 등이다.

이러한 의사결정에 미치는 영향요소로는 수요, 미납주문, 조달기간, 가격할인 등의 다양한 요소가 있다. 기존 연구의 경우, 재고문제에 대한 접근은 이러한 영향요소들이 확정적인가 확률적인가 라는 측면에서 볼 수 있고, 두 번째는 단일단계문제인가, 다단계문제인가라는 측면에서 접근할 수 있으며 마지막으로 위의 2가지 분류의 혼합된 형태의 문제로 나누어 볼 수 있다. Guide Jr and Srivastava(1997)는 재고문제를 단일단계와 다단계 문제로 구분류를 하였고, 단일단계 문제를 수요의 확실성에 따라 확정적 모델, 확률적 모델로 구분하여 관련 논문을 소개하였다. Minner(2003)는 단일단계 문제를 조달기간의 확실성에 의한 확정적 모델, 확률적 모델로 구분하였으며, 다

Table 2. The classification of decision elements

Decision element	Inventory decision	Transportation decision	Location decision
Strategic/tactical/ operational element	<ul style="list-style-type: none"> • Inventory control policy • Coordination of production and distribution • Consolidation point • Raw material control • Order point • Safety stock • Inventory control method • Order quantity and others 	<ul style="list-style-type: none"> • Transportation network structuring • The third party logistics providers • Extent of outsourcing • Vehicle routing/scheduling • Transportation resource • Depot location • No. of vehicle • Vehicle type and others 	<ul style="list-style-type: none"> • Facility location • Facility lay-out • Equipment selection/allocation • Workforce scheduling • Service region • Facility size and others
Element of Min and Zhou (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • No. of stage • Volume • Inventory level 	<ul style="list-style-type: none"> • Network structuring • Service sequence • Extent of outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> • Location • Allocation • No. of facility and equipment • Workforce size

단계 문제는 재고의 흐름이 각 단계에서 이루어지는 경우와 단일단계 문제의 특성을 가지고 있는 2가지 형태로 분류하였으며, 재고의 흐름이 고객의 요구나 정부의 규제 등으로 역으로 흐르는 역재고에 관한 관련 연구현황을 제시하였다.

3.2.2 수송 의사결정

수송 의사결정에서는 수송 네트워크 구축, 제 3자 물류 등 외부범위 설정, 차량경로/일정계획, 수송수단의 선택, 차고지 위치, 차량 수 결정, 차량 종류 결정, 네트워크 구조, 서비스 순서 등이 결정되어야 한다. 수송수단의 선택 시 고려요소는 속도, 비용, 신뢰성, 가용성, 장비의 적합성, 서비스 가용성, 안전성, 화물 추적, 문제해결 지원 등이며 의사결정에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 비용, 속도, 신뢰성으로 분석하였다(Ballou, 1999)

대부분의 수송 의사결정에 관한 연구는 차량경로일정에 관한 문제로서 다양한 형태의 연구가 진행되어 왔다. 차량경로 문제의 표준형태는 Danzig and Ramser(1959)에 의해 최초로 제안되었으며, 최근 연구추세는 고객의 서비스 수준향상과 실제 현실적 고려요소의 적용차원에서 다양한 형태로 변화되고 있으며 다음과 같은 몇 가지 형태로 접근되어 왔다. 첫 번째는 VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Window)로서, 고객의 서비스 요구 하한시간과 상한시간이 있는 문제로서 Malandraki and Dial(1996)은 시간제한이 존재하는 외판원문제를 동적 계획법에 의한 해법제시를 하였고, Homberger and Gehring(1998)은 진화 알고리즘을, Taillard *et al.*(1995)은 확률적 다양성과 강화법을 활용한 지역탐색 알고리즘을, Taillard *et al.*(1996), Liu and Shen(1998), Berger and Barkaoui(2003)은 메타휴리스틱을 이용한 접근을 시도하였으며, Braysy *et al.*(2003)은 multi-start 지역탐색 알고리즘을 제시하였다. 두 번째는 복수의 차고지를 가지는 MDVRP(Multi Depot Vehicle Routing Problem)로서, Fagerholt(1999)는 선박문제에 적용하였으며, 해법으로는 1, 2단계에서 모든 실행 가능한 해를 찾고, 3단계에서 집합분할 문제를 적용하여 해법을 제시하였다. 이밖에도 Laporte(1989), Renaud *et al.*(1996), Salhi and Sari(1997), Wu *et al.*(2002)이 복수차고지를 가지는 차량경로 문제에 대한 다양한 해법을 제시하였다. 세 번째는 차량의 종류가 다른 HVRP(Heterogenous Vehicle Routing Problem)으로서, Salhi and Rand(1993)는 초기해를 구한 후 축소, 재할당, 조합, 공유, 이완 방법 등을 활용한 경로개선을 통해 해를 구했으며, Taillard(1996)은 column generation과 집합분할을 이용한 방법을, Ochi(1998)은 병렬유전 알고리즘을, Gendreau *et al.*(1999)은 타부서치를 이용한 방법을 제시하였다. 네 번째는 배송과 수거가 이루어지는 PDP(Pick-up and Delivery Problem)로서, Mosheiov(1998)가 경로분할을 통한 해법을 제시하였다. 기타 형태의 문제로서는 서비스 상한요구 시간만 존재하는 Time deadline 문제, 기간이 포함되어 재고비용이 발생하는 차량일정 문제 등이 제기되었다. 이와 아울러 표준형태의 차량경로 문제의 해

를 개선하는 연구는 Osman(1993), Brandao(2003), Barbarosoglu and Ozgur(1999), Baker and Ayechev(2003)에 의해 추진되어 왔다.

3.2.3 입지 의사결정

입지 의사결정에서는 설비의 입지선정, 설비배치, 소요장비의 선별/할당, 작업그룹 일정계획, 서비스 지역결정, 설비의 크기결정 등이 결정되어야 한다. 기존의 입지의사결정 문제는 최대지역 커버 문제(Maximal Covering Location Problem)와 고정비를 가지는 설비 입지선정 문제(Fixed Charge Facility Location Problem)이다(Hong, 2003).

최대지역 커버 문제는 수요지점과 설비 사이의 거리로 정의된 서비스 수준을 최대화할 수 있는 입지를 선정하는 문제로서, 설비가 커버하는 수요의 합을 최대화하면서 주어진 개수의 설비를 세울 위치를 선정하는 문제이다. 즉, 서비스 수준이 높아지기 위해서는 수요지점으로부터 설비위치까지의 거리가 일정거리 이내에 많이 있을수록 좋다. Church and Reville(1974)이 최초로 수학적 모델을 제시하였으며, Shilling *et al.*(1980)은 소방서의 위치선정 문제를 Revell *et al.*(1976)은 앰불런스의 위치선정 문제를 Daskin(1995)과 Mirchandani and Francis(1990)은 최대지역 커버 문제에 대한 응용분야와 해법에 관한 소개를 하였다. 반면, 고정비를 가지는 설비 입지선정 문제는 입지마다 설비를 세우는 데 필요한 일정한 고정비가 존재하는 상황에서 최소비용으로 모든 수요를 만족시킬 수 있는 위치를 찾는 문제이다. 여기에서 비용은 설비를 세우는 데 필요한 고정비와 거리에 비례하는 변동비를 합한 비용이다. Mirzain(1985)은 통신 네트워크의 설계에 적용하였으며, Nozick and Trunquist(1988)은 분배센터의 위치선정 문제에, Parker and Radin(1988)과 Held *et al.*(1974)은 라그랑지안 기법을 적용한 해법을 제시하였다. 최대지역 커버 문제는 서비스 수준의 최대화가 목적인 반면, 고정비를 가지는 설비 입지선정 문제는 비용 최소화가 목적이므로 2가지의 목적함수는 양자균형 관계가 발생하게 된다. 이러한 관점에서 서비스 수준과 비용의 2가지 목적함수를 동시에 고려하는 모델에 대한 연구가 이루어졌으며, Goicoechea *et al.*(1982)은 비용과 서비스 수준의 적절한 양자균형 관계를 계산하고자 하였으며, Nozick(2001)은 미리 정해 놓은 서비스 수준을 만족하는 범위 내에서 최소의 비용으로 수요를 충족시킬 수 있는 모형을 개발하고 해법을 제시했다.

3.3 제약조건

Min and Zhou(2002)은 공급사슬 내에서의 다양한 제약들이 있으며, 기업은 실행 간에 있어서 대안 선정 시 이러한 제약조건들을 고려한 의사결정이 이루어져야 한다고 했으며, 대표적인 제약조건으로는 능력, 서비스 응답성, 수요의 범위를 언급하였다. 능력이라 함은 재정적 생산적, 공급적, 기술적 능력을

말하며, 이러한 능력이 재고와 생산, 작업, 자본투자, 외주, 정보기술 적용 등에 관한 결정에 영향을 미친다. 또한 대부분의 수학적 모델에서 적용하고 있는 저장장소의 공간 가용차량의 수, 차량 적재용량, 물류흐름의 능력 등이 포함된다. 공급사슬 모델링의 궁극적인 목적 중의 하나인 고객 서비스 수준 향상이라는 차원에서 서비스 응답성 제약조건은 필수적인 제약조건이다. 전형적인 예는 배송시간 제약, 생산 납기일, 미납주문의 최대유지시간, 차량의 운행시간, 고객의 주문량 만족 등이다. 수요의 범위는 균형등식(balance equations)을 의미한다. 즉, 선행 단계에서의 물류의 흐름과 후행 단계에서의 물류의 흐름이 실행 가능해야 함을 의미한다.

이러한 제약조건들의 수학적 모델에서의 적용은 여러 가지 형태로 표현이 가능하며, Lee and Lee(2002)는 아래와 같이 제약조건들을 표현하였다. 이 모델은 다기간, 단일제품, 다단계 모델로서 전체 최적화를 위해 모든 단계에서의 주문비용, 재고비용, 수송비용을 최소화하는 목적함수를 가진 모델이다

<기호>

공장 : j , 창고 : k , 분배센터 : l , 고객 : m , 기간 : t , M : 큰 수,

$$IW_{k,t-1} + \sum_j QW_{j,k,t} - IW_{k,t} = \sum_l QD_{k,l,t+LD} \quad \forall k, t \quad (1)$$

$$ID_{l,t-1} + \sum_k QD_{k,l,t} - ID_{l,t} = \sum_m QC_{l,m,t+LC} \quad \forall l, t \quad (2)$$

$$\sum_k QW_{j,k,t+LW} \leq CF_{j,t} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$\sum_j QW_{j,k,t} + IW_{k,t} \leq CW_{k,t} \quad \forall k, t \quad (4)$$

$$\sum_l QD_{kl,t+LD} + IW_{k,t} \leq CW_{k,t} \quad \forall k, t \quad (5)$$

$$\sum_k QD_{kl,t} + ID_{l,t} \leq CD_{l,t} \quad \forall l, t \quad (6)$$

$$\sum_l QC_{l,m,t} = ORDER_{m,t} \quad \forall m, t \quad (7)$$

$$\sum_j QW_{j,k,t} \leq M \times X_{k,t} \quad \forall k, t \quad (8)$$

$$\sum_k QD_{k,l,t} \leq M \times Y_{l,t} \quad \forall l, t \quad (9)$$

$$QW_{j,k,t} \leq CRW_{j,k,t} \quad \forall j, k, t \quad (10)$$

$$QD_{k,l,t} \leq CRD_{k,l,t} \quad \forall k, l, t \quad (11)$$

$$QC_{l,m,t} \leq CRC_{l,m,t} \quad \forall l, m, , t \quad (12)$$

제약조건 (1), (2)는 각각의 창고와 분배센터로 유입되는 이송량과 재고량에 관련된 균형등식이다. (3), (4), (5), (6)은 공장 과 창고, 분배센터의 보유능력을 나타내며, (7)은 모든 고객의 수요가 충족되어야 함을 의미한다. (8), (9)는 주문비용은 주문이 있을 경우에만 발생되며, (10), (11), (12)는 이송능력에 관련된 제약조건이다.

4. 모델의 분류

모델 분류의 필요성은 모델 구축가에 의해 구축되는 모델이 어느 형태에 속하고, 구축된 모델에서 누락된 요소가 없는지, 현실적인 접근이 가능한지를 판단할 수 있는 것으로서, 공급사슬 모델의 분류는 2장에서와 같이 다양한 형태로 분류가 가능하며 주로 확정적, 확률적, 혼합, 정보기술 기반 모델로 분류가 진행되어 왔다. 확정적, 확률적 모델로의 분류는 Beamon (1998), Bradley *et al.*(1997), Hiller and Lieberman(2001)에 의해 연구되었고, 시뮬레이션, 혼합 모델로의 분류는 Budnick *et al.*(1988), Silver(1981), Zipkin(2000)에 의해서, 확정적, 확률적, 혼합, 정보기술 기반 모델의 분류는 Min and Zhou(2002)에 의해 제시되었다. 또한 운영적 형태에 의해서는 Thomas and Griffin(1996)에 의해 구매-공급, 생산-분배, 재고-분배 모델로 구분되었으며, 입지-경로 문제의 상관관계와 알고리즘적 접근에 의한 분류는 Min *et al.*(1998)에 의해 진행되었다. 본 논문에서는 모델을 구성하고 있는 대표적인 요소인 시간의 개념, 제

Table 3. Variable definition

Stage	Factory	→	Warehouse	→	Distribution center	→	Customer
Order or not		$X_{k,t}$		$Y_{k,t}$			
Inventory			$IW_{k,t}$		$ID_{l,t}$		
Lead time		LW		LD		LC	
Transportation quantity		$QW_{j,k,t}$		$QD_{k,l,t}$		$QC_{l,m,t}$	
Capacity	$CF_{j,t}$		$CW_{k,t}$		$CD_{l,t}$		
Link capacity		$CRW_{j,k,t}$		$CRD_{k,l,t}$		$CRC_{l,m,t}$	
Demand							$ORDER_{m,t}$

품의 수, 단계의 수에 의한 환경요소적 측면에서의 분류와 운영적 측면에서의 분류형태를 <Figure 2>와 같이 제시한다.

4.1 환경요소적 측면에서의 분류

환경요소라 함은 공급사슬 모델링에 있어 커버되는 범위를 나타내는 요소를 의미한다. 즉, 모델링에 포함된 시간개념과 제품의 종류, 단계의 수, 비용구조, 각 단계의 설비 수 등을 의미한다. 기존 논문을 분석한 결과 모델링에 있어 주로 다루어져 왔던 문제는 기간, 제품, 단계로서 본 논문에서는 크게 3가지의 환경요소를 선정하였다.

- 단일기간 모델인가(기간에 관계없는 모델), 다기간 모델인가
- 단일제품 모델인가, 다제품 모델인가
- 단일단계(2단계) 모델인가, 다단계 모델인가

4.1.1 단일기간 모델

Clarisse and Finke(2001)는 생산라인에서의 생산비용과 셋업비용, 단계 간 물량의 이송에 의해 발생하는 수송비용을 동시에 최소화할 수 있는 단일기간, 다제품, 다단계의 종합적 생산-분배 모델을 제시했으며, 모델에서 발생하는 비용구조는 <Figure 3>과 같이 정의하였다.

<기호>

m : 생산라인, i : 제품, w : 보관창고, c : 고객, s : 생산순서

$P_{i,m}$: 생산량, $t_{i,m,w}$, $q_{w,c}$: 이송량

$Y_{m,s}$: 생산순서(m 라인에서 s 순서가 선정되면 1, 그렇지 않으면 0)

$S(m)$: 라인 m 에서 가용한 생산순서의 집합

목적함수는 식 (13)과 같이 정의하였으며, 목적함수와 같이 단일기간이므로 재고비용이 발생하지 않는 모델이다. 다기간이 됨으로써 발생하는 재고비용은 4.1.2절에서 소개한다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_m (\sum_i CP_{i,m} \times P_{i,m} + \sum_{s \in S(m)} CC_{s,m} \times Y_{m,s}) \quad (13) \\ + \sum_w (\sum_{m,i} CT_{m,w} \times t_{i,m,w} + \sum_c CT_{w,c} \times q_{w,c}) \end{aligned}$$

이외에 Jayaraman and Ross(2003)는 다제품, 다단계에서 발생하는 생산, 물류, 분배, 수송문제의 설계를 위해 계획단계에서는 전략적 측면에서의 최적 분배센터를 선정하고 실행단계에서는 운영적 측면에서의 이송되는 각 제품의 양을 결정하는 문제를 제시하였다. Syarif *et al.*(2002)은 단일제품, 다단계, 다수의 공급자, 공장, 분배센터, 고객이 존재하는 문제에서 발생하는 생산비와 수송비, 공장과 분배센터의 입지여부에 의해 발생하는 고정운영비를 최소화하는 모델을 제시하였다.

Nozick and Turnquist(2001)는 고정비를 가지는 설비입지 모델의 일환으로 최대지역 커버와 비용 사이의 양자의 균형관계를 고려한 문제를 제시하였는데, 이는 서비스 향상과 비용 최소화를 위한 다목적 모델이다.

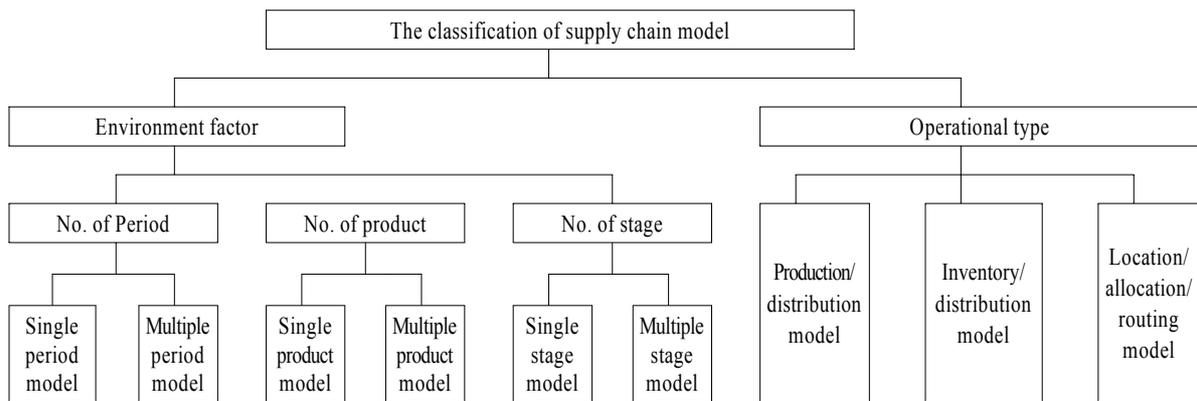


Figure 2. The classification of supply chain model.

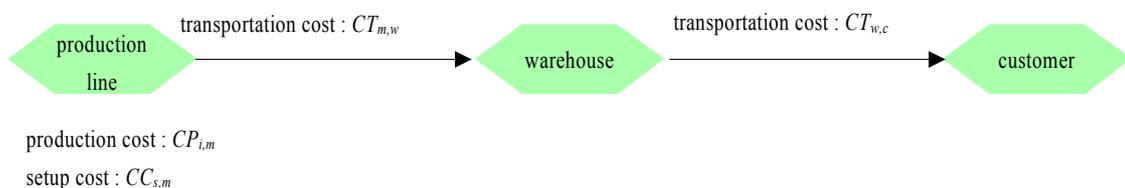


Figure 3. Cost structure of single period model(Clarisse and Finke, 2001).

4.1.2 다기간 모델

단일기간에서 다기간으로 환경요소가 변화하게 되면, 제약 조건이 수정됨과 동시에 재고유지비용이 추가되는 것이 일반적인 현상이다. Clarisse and Finke(2001)는 식 (13)과 동시에 다기간에서의 모델도 제시하였다. <Figure 4>은 다기간 모델의 비용구조로서 기존의 생산라인에서의 생산비용과 셋업비용, 단계간 물량의 이송에 의해 발생하는 수송비용 이외에 보관창고에서 발생하는 재고유지비용을 포함시켰다

<기호>

t : 기간, $s^t_{w,i}$: 재고량, V_i : 부피

목적함수는 식(14)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{m,t} (\sum_i CP^t_{i,m} \times P^t_{i,m} + \sum_{s \in S(m)} CC^t_{s,m} \times Y^t_{m,s}) \quad (14) \\ + \sum_{w,i} (\sum_m CT^t_{m,w} \times t^t_{i,m,w} + \sum_c CT^t_{w,c} \times q^t_{w,c}) \\ + CS^t_w \times S^t_{w,i} \times V_i \end{aligned}$$

Kim and Kim(1999)는 다기간, 단일제품, 2단계 차량일정 문제를 제시하였다. <Figure 5>와 같이 창고로부터 소매상까지는 수량기반의 수송비용과 거리기반의 수송비용(셋업비용)이 발생하며, 소매상에서는 재고비용이 발생한다 재고비용과 수

송비용을 최소화하기 위해 창고의 각 차량이 소매상을 방문하는 일정을 수립하는 문제이다

<기호>

j : 소매상, t : 기간, k : 차량, $C^Q_{j,t}$: 수량기반 수송비용: $C^D_{j,t}$: 거리기반 수송비용
 $I_{j,t}$: 재고량, $X_{j,t}$: 이송량, $Y_{k,j,t}$: 차량 k 가 소매상 j 에게 t 시점에 서비스하면 1, 그렇지 않으면 0

목적함수는 식(15)와 같다.

$$\text{Min } \sum_{j,t} h_{j,t} \times I_{j,t} + \sum_{j,t} C^Q_{j,t} \times X_{j,t} + \sum_{k,j,t} C^D_{j,t} \times Y_{k,j,t} \quad (15)$$

이외에도 Arntzen *et al.*(1995)은 다기간, 다제품 환경에 있어 생산, 재고, 선적비용을 최소화할 수 있는 모델을 제시했으며, Yokoyama(2002)는 다기간, 단일제품, 2단계 모델에서 수송비용과 재고비용, 부재고비용을 최소화하는 모델을 제시했고, 최적의 재고목표와 수송량을 결정하기 위해 무작위 지역탐색 방법과 유전 알고리즘을 활용하였다

4.1.3 단일제품 모델

Lee and Lee(2002)는 다기간, 단일제품, 다단계 상황에서 주문비용과, 재고비용, 수송비용을 최소화하는 모델을 제시하였

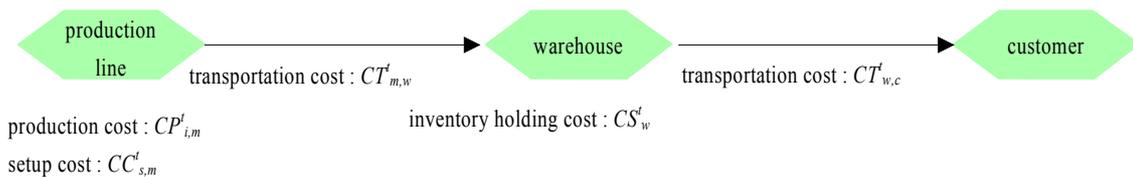


Figure 4. Cost structure multiple period model(Clarrise and Finke, 2001).

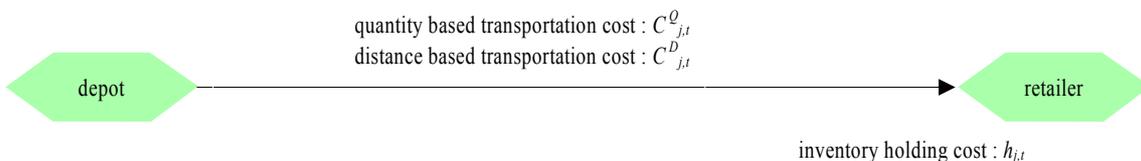


Figure 5. Cost structure of multiple period model(Kim and Kim, 1999).

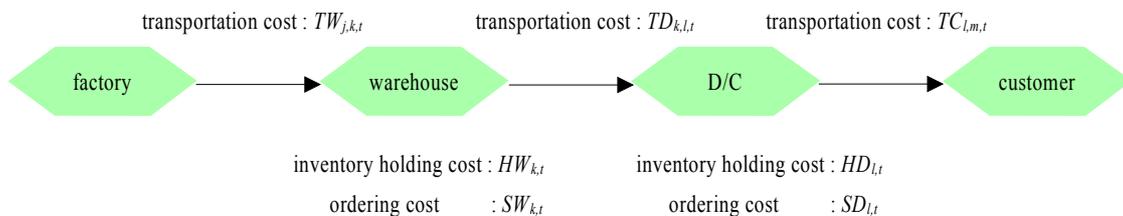


Figure 6. Cost structure of single product model(Lee and Lee, 2002).

다. 발생하는 비용구조는 <Figure 6>과 같이 창고와 분배센터에서는 주문비용 및 재고비용이 발생하고, 각 구성원 간에는 제품의 이송에 따른 수송비용이 발생한다.

<기호>

3.1절 참조

목적함수는 식(16)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \sum_{k,t} (SW_{k,t} \times X_{k,t} + HW_{k,t} \times IW_{k,t}) & \quad (16) \\
 + \sum_{l,t} (SD_{l,t} \times Y_{l,t} + HD_{l,t} \times ID_{l,t}) \\
 + \sum_{j,k,t} QW_{j,k,t} \times TW_{j,k,t} + \sum_{k,l,t} QD_{k,l,t} \times TD_{k,l,t} \\
 + \sum_{l,m,t} QC_{l,m,t} \times TC_{l,m,t}
 \end{aligned}$$

단일제품 모델은 대부분 차량경로 문제에서 많이 적용되고 있다. Danzig and Ramser(1959)에 의해 제시된 표준형태의 차량경로 문제는 단일기간, 단일제품, 2단계 상황에서 수송비용을 최소화하는 모델로 볼 수 있다. Hwang(2000)은 배송 및 수거가 가능한 차량경로 문제에서 4단계의 배정 알고리즘을 통한 해를 제시하였으며, Ross(2000)는 다수의 분배센터와 다수의 고객, 다수의 차량이 존재하는 상황에서 거리당 수송비와 창고의 운영비, 차량유지비를 최소화하는 단일제품 모델을 제시하고, 어떤 분배센터를 운영하여 어떤 차량이 어떤 고객에게 서비스하는가를 구하는 해를 구하기 위한 2단계 발견적 해법을 제시하였다.

4.1.4 다제품 모델

Jayaraman and Pirkul(2001)은 다제품, 다단계 상황에서 공장과 분배센터의 단위비용과 운영비용, 원자재 공급자로부터 고객까지의 제품이송에 따른 수송비용을 최소화하는 모델을 제시하였다.

<기호>

v : 원자재 공급자, k : 공장, j : 창고, i : 고객, l : 제품, r : 원자재
 $t_{v,k,r}$, $C_{i,j,k,l}$: 수송비용, g_k , o_j : 운영에 따른 고정비용,

$v_{l,k}$: 단위생산비용, v_j : 단위처리비용

$b_{v,k,r}$, $q_{i,j,k,l}$: 각 구성원 간의 이송량, $x_{l,k}$: 생산량, $a_{i,l}$: 고객주문량

p_k , z_j : open하면 1, 그렇지 않으면 0

$y_{i,j}$: 창고 i 가 고객 j 를 서비스하면 1, 그렇지 않으면 0

목적함수는 식(17)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \sum_{v,k,r} t_{v,k,r} b_{v,k,r} + \sum_k g_k p_k + \sum_{l,k} v_{l,k} x_{l,k} & \quad (17) \\
 + \sum_j o_j z_j + \sum_{i,j,l} v_j a_{i,l} y_{i,j} \\
 + \sum_{i,j,k,l} C_{i,j,k,l} q_{i,j,k,l}
 \end{aligned}$$

Choi et al.(2000)은 다기간, 다단계 상황에서 재고비용과 생산비용, 수송비용과 셋업비용을 최소화하는 모델을 제시하였으며, Barbarosoglu and Ozgur(1999)는 다기간, 2단계 상황에서 공장에서 발생하는 고정/변동 생산비, 재고비, 고정/변동 수송비와 함께 창고에서 발생하는 재고비용과 고정/변동 수송비를 최소화하는 모델을 제시하였다. Barbarosoglu and Ozgur(1997)는 1개의 공장에서 다수의 제품을 다수의 분배창고에 이송하는 2단계 문제에 대한 모델을 제시하고 라그랑지안 이완방법을 통해 해를 구하였다. Chandra and Fisher(1994)는 1개의 생산설비에서 다제품을 생산하여 이송하는 2단계 문제에서 생산 스케줄링과 차량의 경로를 결정하는 모델을 제시하였으며, 발생하는 비용은 셋업비용과 재고비용, 수송비용이다.

4.1.5 단일단계 모델

2장에서 밝혔듯이 Erenguc et al.(1999)은 공급사슬을 공급자, 제조공장, 분배자로 분류하여 각 구성원별로 추구하는 목적을 수리적 모델로 표현하였다. 즉, 단일단계 모델을 제시하고 향후 연구방향에서는 단일단계 모델을 종합한 다단계 모델이 필요함을 제기하였다. 제조공장 입장에서의 모델은 다기간, 다제품 모델로서 아래와 같이 표현된다.

<기호>

p : 제품, t : 기간

$h_{p,t}$: 재고비용, $s_{p,t}$: 셋업비용, $I_{p,t}$: 재고량

$z_{p,t}$: 공장에서 셋업하면 1, 그렇지 않으면 0

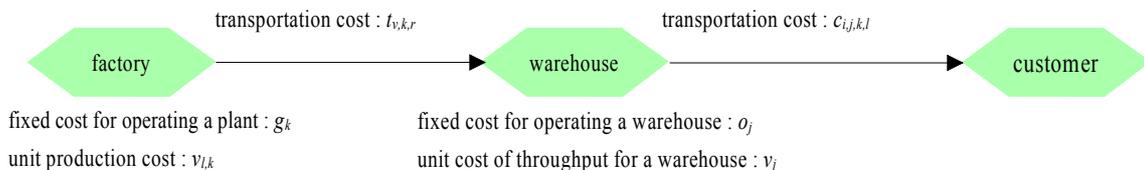


Figure 7. Cost structure of multiple product model(Jayaraman and Pirkul, 2001).

$$\text{Min} \sum_{p,t} h_{p,t} \times I_{p,t} + \sum_{p,t} S_{p,t} \times Z_{p,t} \quad (18)$$

분배센터는 어떤 분배센터를 운영하고, 어떤 분배센터가 어떤 고객을 서비스하며, 재고의 양을 얼마로 유지하느냐가 핵심적인 문제로서, Geoffrion and Graves(1974)는 분배센터에서 발생하는 수송비용, 운영에 따른 고정비/변동비를 최소화하기 위한 모델을 제시하였으며, Ko *et al.*(2000)은 다기간, 다제품의 상황에서 생산설비의 주요관심사인 생산비용과 재고비용, 셋업비용과 설비간(분산제조 시스템)의 수송비용을 최소화할 수 있는 분산제조 시스템에 대한 모델링을 제시하였고, 전략적, 기술적, 운영적 차원에서의 해법을 제시하였다.

4.1.6 다단계 모델

다단계 모델은 앞에서 사례로 소개한 Clarisse and Finke(2001), Lee and Lee(2002), Jayaraman and Pirkul(2001) 등이 제시한 모델로 설명될 수 있다. 또한 Cohen and Lee(1988)는 확률적 수요가 발생하는 생산분배 시스템에 대한 문제에 대해 각 단계에서 서브모델을 정의하고 조정정책을 사용하는 해법을 제시하였으며, Vergara *et al.*(2002)은 다단계의 각 공급자들이 다제품을 생산하기 위한 효율적 자재흐름관리를 위해 수송비용, 셋업비용, 재고비용을 최소화하는 문제를 제시하였다. Talluri and Baker(2002)는 다단계, 단일제품 문제에 대한 효과적인 공급사슬 설계에 대한 다단계해법을 제시하였다. 1단계에서 각 구성원들의 업무형태 분석, 데이터 수집, 평가 등을 실시하고, 2단계에서 효율성, 능력, 입지 등의 제약조건을 가진 정수계획법 문제를 적용하여 3단계에서 최적 물동량을 식별하는 방법을 제시하였다.

4.2 운영적 측면에서의 분류

공급사슬을 운영적 측면에서 분류하면 첫째, 생산설비에서 제품을 생산하여 중간 분배자 및 고객에게 분배를 하는 문제인 생산-분배 모델이 있으며 둘째, 생산설비로부터 이송받은 제품에 대한 재고관리와 하위 분배자 및 고객에게 분배를 하는 재고-분배 모델이 존재하고, 마지막으로 어떤 생산설비, 분배센터를 운영하고, 어떤 생산설비, 분배센터가 어떤 고객을 어떠한 경로에 의해 서비스해야 하는지를 결정하는 입지할당-경로 모델로 구분하였다.

4.2.1 생산-분배 모델

Williams(1981)는 생산-분배 모델에서 최적의 배치 사이츠를 결정하는 모델을 제시하였으며, 앞의 4.1절에서 소개되었듯이 Clarisse and Finke(2001)는 생산 및 분배 비용을 동시에 고려한 최적화 모형을 제시하였으며, 정수결정변수를 최소화함으로써 해를 구하는 계산시간을 단축시키는 데 기여하였다. Klingman *et al.*(1988)은 다제품, 다기간 문제에 있어 화학제품 제조회사인 W.R.Grace의 실제 사례를 적용하였으며, 일반적

네트워크 문제와 선형계획법의 2가지 요소로 분리(NET/LP)하여 해를 구함으로써 계산시간을 단축하였다.

Jayaraman and Pirkul(2001)은 4.1절에서 소개했듯이 기존의 생산-분배 모델에 설비의 입지-할당 문제를 동시에 고려하고, 원자재 공급자까지 공급사슬에 포함시킨 모델을 제시하였으며, 라그랑지안 이완을 이용해 해를 구하였다. Barbarosoglu and Ozgur(1999)는 2단계 문제에서 전체 최적화를 위한 중앙집중계획을 수립하였으며, 분권화된 생산/분배 시스템은 시스템의 불일치와 실행 불가능성을 초래할 수 있다고 지적하였으며 생산-분배의 하위문제로 구분한 라그랑지안 이완방법을 활용하여 해를 구하였다.

4.2.2 재고-분배 모델

Yokoyama(2002)는 재고비용, 부재고비용과 수송비용이 동시에 고려되는 2단계 문제에 대해 재고의 목표와 수송정책을 결정하기 위해 무작위 지역탐색방법과 유전 알고리즘을 적용하였다.

Diks and Kok(1999)는 다단계 재고 시스템을 대상으로 재고비용과 부재고비용 최소화를 위한 모델을 제시하였으며 다단계 재고 시스템을 분할하여 최적 재고보충정책과 분배량을 결정하는 알고리즘을 제시하였다.

Andersson and Marklund(2000)는 2단계 분배 시스템을 대상으로 분산화된 재고정책 수립에 관한 연구를 수행하였다. 전체 시스템을 단일단계로 분할한 후 재주문점과 주문량을 결정하고 다시 종합하는 해법을 이용하였다.

Qu *et al.*(1999)은 재고관리와 수·배송 문제가 조합된 문제에 대해 수정된 정기주문 재고관리 정책과 외판원 문제로 구분하여 종합된 의사결정을 제시하는 발견적 해법을 제시하였다. Erenguc *et al.*(1999)은 다단계 공급사슬의 재고관리와 관련되어 재고비용과 주문비용을 최소화하는 수리모형을 제시하였다.

4.2.3 입지-할당-경로 모델

설비의 입지문제, 구성원 간의 할당문제, 차량의 수·배송 문제는 그간 별개로 이루어진 연구가 많았으며 이러한 독립적인 사안으로서의 접근은 전체 최적화를 달성하기 어려웠다. 최근에는 입지-할당-경로 문제가 동시에 고려된 형태의 연구가 광범위하게 진행되고 있다.

Min *et al.*(1998)은 입지-경로 문제에 대한 고찰을 통해 입지-경로 문제의 분류 및 향후 연구 방향에 대해 제시하였다. Laporte(1992)는 해법적 접근을 시도하였는데, 최적화 알고리즘으로 직접 트리탐색, 분지 한계법, 동적 계획법, 정수 계획법, 비선형 계획법으로 분류를 하였고, 대부분의 문제에서는 계산의 복잡성으로 인해 발견적 해법이 많이 사용됨을 언급하였다.

주로 사용되는 발견적 해법으로는 선 입지-할당/후 경로구성, 선 경로구성/후 입지-할당, 절약/삽입, 경로개선 및 교환방

Table 4. The classification of the existing papers dealing with supply chain

Author	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
Year	2002	2001	2001	2001	1999	1999	2002	2003	2002	2000
Cost structure										
production cost		○	○	○		○			○	
setup cost		○	○						○	
inventory holding cost	○		○	○	○	○	○			
inventory shortage cost							○			
warehouse operating cost				○				○		○
ordering cost	○									
transportation cost	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
facility setup cost				○				○	○	
Constraint										
balance	○	○	○		○	○	○	○	○	
production capacity		○	○	○		○				
holding capacity	○		○	○				○	○	
transportation capacity	○									○
No. of vehicle/vehicle capacity					○					○
demand satisfaction	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
time	○		○		○					
generation of production/ordering cost	○					○		○		
No. of factory, warehouse				○				○	○	
supply capacity of raw material				○					○	
raw material demand				○						
1:1 allocation/permitting one visit				○	○					
Decision variable										
Float variable										
transportation quantity	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
inventory	○		○		○	○	○			
backorder							○			
production quantity		○	○	○		○			○	
Integer variable										
order or not	○									
facility setup or not				○				○	○	○
1:1 allocation				○	○			○		
vehicle/customer allocation					○					○
production sequence		○	○							
transport or not(fixed cost)						○				
produce or not(fixed cost)						○			○	
Classification of environment factor										
No. of product										
single product	○				○		○		○	○
multiple product		○	○	○		○		○		
No. of stage										
single stage					○	○	○			○
multiple stage	○	○	○	○				○	○	
No. of period										
single period		○		○				○	○	○
multiple period	○		○		○	○	○			
Classification of operational type										
production-distribution		○	○	○		○			○	
inventory-distribution	○				○		○			
location-allocation-routing								○	○	○
Solution approach										
Exact algorithm										
solving MIP (by commercial tools)		○	○							
Heuristic										
relaxation				○		○				
metaheuristics							○	○	○	○
decomposition	○				○					

[1] Lee and Lee(2002); [2],[3] Clarisse D.F. and Finke.G.(2001); [4] Jayaraman, V. and Pirkul.H.(2001); [5] Kim, J. and Kim, Y.(1999); [6] Barbarosoglu G. and Ozgur, D.(1999); [7] Yokoyama, M.(2002); [8] Jayaraman, V. and Ross, A.(2003); [9] Syarif, A., Yun, Y.. and Gen, M(2002); [10] Ross. A.D.(2000).

법으로 분류하였다. Averbakh and Berman(1994)은 시간제약이 없는 입지-경로 문제에 대해 동적 계획법을 활용한 최적화 알고리즘을 제시하였다. Min(1996)은 입지-할당-경로 문제에 대한 최적화 수리모형을 제시하고 선 입지후 할당방법의 발견적 해법을 제시하였으며, 실제 데이터를 활용하였다.

5. 해법적 접근

공급사슬 모델의 해법은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 최적해를 보장해 주는 최적화 알고리즘과 최적해를 보장해 주지는 못하지만 짧은 계산시간에 좋은 해를 제공해 주는 발견적 기법으로 구분할 수 있다. 최적화 알고리즘은 분지한계법, 혼합정수계획법, 동적 계획법, 비선형 계획법 등의 방법이 있으며, 발견적 기법으로는 메타휴리스틱, 이완, 분할, 실행규칙 등의 방법이 있다.

5.1 최적화 알고리즘

공급사슬 모델의 분할형태(생산, 재고, 입지, 수송 등)의 모델에서는 다양한 형태의 최적화 알고리즘이 사용되었으나 혼합형태(생산-분배, 재고-분배, 입지-할당-경로 등) 문제의 대부분은 그 복잡도가 높고 고려요소, 제약조건이 많아 최적화 알고리즘보다는 발견적 기법을 적용한 해법이 주로 연구되었다. 최적화 알고리즘을 활용하여 해를 제공한 연구사례는 드물었으나, Clarisse and Finke(1999)는 4.1.1절과 4.1.2절에서 제시된 단일/다기간, 다제품, 다단계의 종합적 생산-분배 모델에서 혼합정수계획법으로 수리모형을 구축한 후 상업용 도구인 CPLEX를 이용하여 해를 제시하였다. 대부분의 공급사슬 모델이 혼합정수계획법의 수리모형을 제시하고 있지만 그 복잡도로 인해 계산시간이 오래 걸린다는 문제점이 있었으나 이 논문에서는 비교적 적은 정수변수를 모델에 포함시켰기 때문에 계산시간이 짧다는 장점이 있다. 실험은 생산라인의 수를 12개, 16개, 제품의 수를 6개, 8개, 창고의 수를 10개~50개, 고객의 수를 100개~300개, 기간의 수를 6기간~12기간의 예제에 대해 시행하였으며, 실험의 가장 큰 규모인 16개 생산라인, 8개 제품, 50개 창고, 300개 고객, 12 기간의 문제에서 계산시간이 평균 1392초(최소 : 484초, 최대 : 4577초)로 비교적 짧은 시간에 최적해를 제공하였다. Desaulniers *et al.*(1998)은 시간제한이 있는 다창고 차량일정 문제(Multi-Depot Vehicle Scheduling Problem with Time Window)에 대한 최적해법을 제시하였다. 먼저 하한을 구하기 위해 분지한계탐색 간 가지의 매 노드에서 column generation 기법을 이용하여 부분제를 생성하고 이를 다시 취합하여 계산한다. 최적화 알고리즘은 하한을 구하는 개념과 더불어 best-fit procedure를 이용하여 구하게 된다. 아울러 발견적 기법을 제공하였는데, 발견적 기법은 역추적(backtracking)없이 depth-first 탐색을 하여 해를 제공한

다. 이렇게 제시된 알고리즘은 버스일정 문제와 화물수송일정 문제에 대해 실험을 하였다. 최적해 실험은 창고의 수를 2개~5개, 방문지역의 수를 100개~300개까지 변화시켜가며 실행하였으며, HP 9000/735 워크스테이션에서 1시간 이내에 최적해를 제시하였다.

Diks and Kok(1998)은 트리 구조를 갖는 다단계 재고 시스템을 대상으로 비용함수의 분석을 통해 각 설비의 최적 할당과 재고보충 정책을 이론적으로 규명하고 이를 바탕으로 다단계 시스템을 각 1단계의 시스템으로 분할하여 순차적으로 최적의 정책을 결정하는 해법을 제시하였다. 그러나 이론적으로 최적의 재고보충 정책을 보장하지만 그 해를 도출하기에는 많은 시간이 소요된다.

이 외에도 발견적 기법의 해를 평가하기 위해 제시된 혼합정수계획법의 수리모형의 최적해나 하한을 구하기 위해 상업용 도구를 사용한 사례는 많았으며, 이 경우는 작은 규모의 문제는 혼합정수계획법에 의해 최적해를 구하고, 큰 규모의 문제에 대해서는 선형계획법 이완을 통해 하한을 제공하였다(Lee and Lee, 2002; Kim and Kim, 1999).

5.2 발견적 기법(Heuristic)

발견적 기법의 첫 번째 예는 메타휴리스틱이다. Vergara *et al.*(2002)은 효율적인 자재의 흐름관리가 공급사슬에서의 주요한 성공요인이라 여기고 여러 공급자로 이루어진 다단계 공급사슬에서 전체 비용(수송, 셋업, 재고비용)을 최소화하기 위한 문제를 다루었다. 각 공급자로부터 발생하는 총합된 비용을 감소시키는 해를 찾기 위하여 진화 알고리즘을 사용하였다. 동기화된 배송 사이클타임을 통한 수송비용, 주문비용과 재고비용의 총합을 최소화하는 해를 찾기 위하여 공급순서를 해로 표현하고, 이를 교차하여 해를 개선하였고, 다양한 예제에 대한 실험을 하였다. Khouja *et al.*(1998)은 NP hard 재고문제 로 알려진 경제적 로트 크기 일정계획 문제(ELSP; Economic Lot Size Scheduling Problem)에 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 적용하여 해를 구하였다. 기본시간단위(Basic Period) 방법이 적용된 ELSP 수리모형을 이용하여 유전 알고리즘을 적용함으로써 기존의 동적 계획법을 이용한 방법보다 개선된 성능을 보였다. Moon *et al.*(2002)은 기본시간단위 방법의 문제점을 개선하여 Time-Varying Lot Size Approach와 유전 알고리즘을 혼합하는 전략을 사용함으로써 Khouja *et al.*(1998)이 제시한 해보다 우수한 해를 제시하였다. Ross(2000)는 다수의 분배센터와 다수의 고객, 다수의 차량이 존재하는 상황에서 창고의 운영비, 차량유지비를 최소화하는 단일제품 모델을 제시하고 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 2단계 발견적 기법을 제시하였다. Jayaraman and Ross(2003)는 Ross(2000)의 문제를 확장하고, 해법을 개선한 PLOT(Production, Logistics, Outbound, Transportation) 설계 시스템을 제안하였다. 이는 여러 제품을 생산하는 하나의 중앙 공장과 다수의 분배센터, 소매상으로 이루어

어진 공급사슬을 전략적 모형과 운영적 모형으로 구분하여 수리모형화하였으며 시뮬레이티드 어닐링을 이용하여 실험 데이터를 통해 그 해법의 유용함을 보였다. Syarif *et al.*(2002)은 Jayaraman and Ross(2003)가 다룬 공급사슬의 네트워크 설정 문제에 대하여 유전 알고리즘을 이용한 해법을 제시하였다. 복잡한 공급사슬의 해를 유전 알고리즘의 염색체로 표현하고 생성하는 것이 어렵기 때문에, 이를 극복하기 위한 염색체의 실현 가능성을 조사하는 방법을 적용하였고, 비교적 작은 크기의 예제에 대하여 실험을 하였다. Lee, *et al.*(2003)은 다단계, 다기간의 공급사슬 네트워크에 대하여 수송, 재고, 주문비용의 총합을 최소화하는 수리모형을 제시하고, 각 네트워크의 흐름을 해로 표현하는 타부서치를 이용한 해법을 제안하였다. 물류의 실현 가능성을 위해 폐쇄경로를 따르는 이웃해를 생성하고 이를 개선하였다. 제시된 타부서치 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Lee and Lee(2002)의 발견적 기법을 초기해로 하여 몇 가지 예제에 대하여 실험하였다.

두 번째는 이완을 이용한 방법으로서, 이완을 단독으로 사용하기 보다는 주로 분할방법과 동시에 사용된 연구가 많았다. Jayaraman and Pirkul(2001)은 4.1.4절에서 제시된 모델에 대해 계산의 복잡성과 많은 수의 변수 및 제약조건들로 인해 혼합정수계획법을 활용한 최적해를 찾기는 바람직하지 않음을 지적하고, 문제의 구조를 효과적으로 활용한 이완기법을 제시하였다.

하한을 찾기 위해 원문제의 제약조건을 이완시켜 라그랑지안 계수가 포함된 문제로 변형한 후, 3개의 부문제로 분할하여 각 부문제를 풀고 라그랑지안 계수값을 결정해 주는 절차를 적용하였으며, 상한과 실현 가능한 해를 찾기 위해 하한을 구하는 개념과 아울러 3단계(고객-창고 할당, 생산문제 해결, 다제품 분배문제 해결) 해법을 제시하였다. Barbarosoglu and Ozgur(1999)는 다기간, 2단계 상황에서 공장에서 발생하는 고정/변동 생산비, 재고비, 고정/변동 수송비와 함께 창고에서 발생하는 재고비용과 고정/변동 수송비를 최소화하는 모델을 제시하고, 해법으로서 제약조건을 이완시켜 생산 부모모델과 분배 부모모델로 분할한 해법을 제시하였다. Vidal and Goetschalckx(2001)는 공급사슬에서 물류에 초점을 두어 수송비와 세금을 최소화하기 위한 수리모형을 제시하였다. 현실적으로 국제 물류비용에서 많은 비중을 차지하는 세금과 수송비를 고려하고 이 모형에 대하여 이완을 통한 연속적 선형계획법을 사용한 발견적 기법을 제시하였다. 발견적 기법은 두 가지 방법으로 이완된 모형의 해가 수렴조건을 만족하는 해를 찾도록 연속적으로 선형계획법 모형을 풀게 된다.

Hong(2003)은 설비입지 문제로서 총 비용 제한하에서의 최대 지역을 커버하기 위한 문제를 수리 모형화 하였다. 라그랑지안 이완법과 subgradient optimization 기법을 활용한 알고리즘을 제시하고, 총 비용이 이완된 문제의 한시적 비가능성(infeasibility)을 허용하는 cutting algorithm을 통하여 최적해에 근사한 해를 구하였다. Lee *et al.*(2002)는 설비입지 문제로서

주어진 용량 제한하에서 모든 고객의 수요를 만족시키기 위한 최소의 설비용량을 결정하여 세워지는 설비의 고정비를 감소하기 위해 각 설비의 거리에 따른 서비스 제공률을 고려한 총설비의 용량을 최소화하는 문제를 수리화하고, 하한을 위한 라그랑지안 이완법과 상한을 위한 교환 알고리즘을 이용하는 해법을 제시하였다.

세 번째는 부문제로의 분할방법으로서 Kim and Kim(1999)은 4.1.3절에서 제시된 모델에 대해 2단계 분할해법을 제시하였다. 첫 번째 단계에서는 각 소매상별로 k 개의 좋은 해를 생성하고, 두 번째 단계에서 전체 소매상을 고려하여 가용차량 수 제약조건식을 만족하면서 각 소매상별로 1개의 차량일정을 선정하는 방법을 제시하였다.

Lee and Lee(2002)는 다단계, 다기간의 공급사슬에서 공장에서 창고, 분배센터를 거쳐 고객까지의 주문비용과 재고비용, 수송비용을 최소화하기 위한 분배관리 모형을 제시하였다. 이 모형은 혼합정수계획법으로 수리화되었기 때문에 적절한 시간에 해를 구하기 위하여 각 기간에 따라 최소비용흐름 문제로 분할하고 비용감소 절차를 통해 해를 계산하는 분할기법을 이용한 발견적 기법을 제시하였다.

Qu, *et al.*(1999)은 분배 시스템에서 재고관리와 수송계획의 중요성을 강조하고 이 두 요소를 종합한 모형을 제시하였다. 재고모형은 정기주문 정책을 그리고 수송계획은 외판원 문제에 기반을 두어 분할하는 해법을 제안하였다. 각 제품에 대한 부분 재고모형으로 보충시점을 동기화하고, 같은 재고 보충시점을 갖는 제품들에 대한 차량경로 문제를 구함으로써 전체 재고-수송 계획을 제공하는 분할을 이용한 발견적 기법을 이용하였다. 그리고 이러한 분할기법과 하한을 비교하여 성능을 평가하였다.

네 번째는 실행규칙에 따른 해법으로서 Simpson and Erenguc(1998)은 다단계 생산 시스템에서 재고비용과 주문비용을 최소화하기 위한 수리모형과, 각 제품의 기간별 비용감소비율을 이용한 해법을 제시하였다. 이 발견적 기법은 각 제품별 기간에 따른 평가지수에 따라 높은 값부터 계획을 확정하고, 이를 반복적으로 모든 주문할당 계획이 완료될 때까지 시행하는 절차로 이루어져 있다. 따라서 이 해법(Non-sequential Incremental Part Period Algorithm; NIPPA)은 실행규칙과 이웃해 탐색방법을 혼합한 방법으로 좋은 성능을 보이는 것으로 평가되었다. Simpson and Erenguc(2001)은 공급사슬의 생산-분배 네트워크에서 주문취합(order picking) 기능을 모델화하여, 중앙집중형 분배 시스템에서의 그 영향을 알아보려 하였다. 다양한 주문들은 또한 다양한 제품들로 구성되고 중앙의 주문취합소에서 그 주문들을 취합하여 생산자로 주문하고 재고를 보유하게 된다. 이러한 주문취합 기능을 평가하기 위한 해법으로 Simpson and Erenguc(1998)이 제시한 NIPPA 발견적 기법을 이용하여 평가하였고, 다양한 제품을 생산하는 분배 시스템에서의 재고비용을 최소화하기 위한 중앙집중형 주문취합 기능의 역할 증대를 기대하였다.

6. 결론 및 향후 연구방향

공급사슬 관리는 오늘날의 시장환경에서 핵심적인 경쟁전략으로 부각되고 있으며, 다양한 형태의 공급사슬 모델링이 연구 및 적용되고 있다. 이러한 공급사슬 모델링은 독립적인 형태로서는 전체 최적화를 달성하기 어려우며 최근의 연구추세도 공급사슬의 다양한 기능(생산, 분배, 입지, 수송 등)을 종합한 모델링에 관한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문은 다양하게 연구가 진행되고 있는 공급사슬 모델에 대하여 성능지표, 의사결정요소, 제약조건 등에 따른 모델의 구성요소를 분석하였다. 또한, 공급사슬을 환경요소적, 운영형태적 차원에서 분류하여 기존의 연구현황을 제시하였다. 이러한 분석을 통하여, 공급사슬과 그 모델에 따른 특성 및 고려요소 등을 정리, 제시하고자 하였다. 그리고 공급사슬 모델링 측면뿐만 아니라, 그 문제의 해법적인 특성에 따라 기존의 연구들을 분류하였다. 공급사슬의 전체 최적화를 위한 모델링과 현실적인 요소를 반영하기 위한 모델링은 그 복잡성을 증가시키기 때문에 해법에 관한 연구도 중요하다. 모델링의 특성상 최적화 기법을 이용한 해법은 제기되기 어렵기 때문에 발견적 기법 위주의 해법, 특히 완화기법과 메타휴리스틱, 분할해법에 대한 연구가 많이 진행될 것이다. 메타휴리스틱의 경우, 모델에 적합한 해의 표현방법과 효과적인 이웃해의 생성방법에 대한 연구가 진행되어야 한다. 또한 공급사슬의 단계적 또는 시간적으로 분할 가능한 특성을 이용하여 전체 문제를 부문제로 분

할함으로써 각 분할된 문제의 최적해를 구하고 이를 적절히 종합하는 분할기법이 많이 연구되고 있다.

최근의 연구추세는 다기간, 다품목, 다단계 문제로 확장되고 있는데, 이러한 추세는 현실적인 요구사항과 더불어 전체 공급사슬 내의 기능을 최적화하기 위한 노력으로 보인다. 향후 공급사슬 모델링 또한 전체 최적화를 달성하기 위해 이러한 방향으로 접근하는 것이 바람직하다. 또한 생산, 재고, 수송, 입지문제를 별개로 구분하는 형태보다는 조합된 형태의 모델에 관한 접근이 필요하다.

이는 최근 경영환경의 변화로 기존의 분리된 공급사슬에서 업무기능을 통합하는 단계를 거쳐 공급자, 분배자, 고객의 연계와 협업하는 과정을 통해 실시간으로 의사결정이 이루어지고, 빠른 시간 내에 고객에 대응하는 동시성의 비즈니스 전략이 필요해졌기 때문이다. 대부분의 기존 연구는 주로 비용 최소화나 서비스 최대화 등 단일목적함수에 대한 접근이 이루어져 왔으나, 상호 양자의 균형이 발생하는 다목적함수에 관한 연구도 필요하다고 판단된다. 공급사슬 내의 업무 프로세스는 각 구성원(공급자, 생산자, 분배자, 고객 등)에 의해 판단/계획/실행되기 때문에 각 구성원의 효율적인 파트너십과 정보공유는 상호 의사결정 행위를 조화시키고 전체 공급 사슬을 원활히 유지하는 데 핵심적인 역할을 한다. 따라서 이에 대한 연구도 지속적으로 되어야 할 것이다. 아울러 기업환경이 주기적 변화에서 상시적 변화로, 전략의 구현이 이산적 실행에서 연속적 실행으로 바뀌어 가고 있으며 수요, 공급 등이 예측 불가

Table 5. The solution approach of the existing papers dealing with supply chain

		Production-distribution model	Inventory-distribution model	Location-allocation -routing model
Exact algorithm	Branch and bound			• Desaulniers <i>et al.</i> (1998)
	Dynamic/non-linear programming			
	Mixed integer programming	• Clarisse and Finke (1999)		
	etc.		• Diks and Kok(1998)	
Heuristic	Metaheuristic	• Vergara <i>et al.</i> (2002)	• Khouja <i>et al.</i> (1998) • Lee, <i>et al.</i> (2003)	• Ross(2000) • Jayaraman and Ross (2003) • Syarif <i>et al.</i> (2002)
	Relaxation	• Jayaraman and Pirkul (2001) • Barbarosoglu and Ozgur (1999)	• Vidal and Goetschalckx (2001)	• Hong <i>et al.</i> (2003) • Lee <i>et al.</i> (2004)
	Decomposition		• Lee and Lee(2002) • Qu <i>et al.</i> (1999) • Kim and Kim(1999)	
	Dispatching rule	• Simpson and Erenguc (1998) • Simpson and Erenguc (2001)		

능한 시장으로 전개되고 있다. 따라서 기업은 최신의 유효적절한 정보를 사용하여 기업의 핵심가치를 창출하는 업무영역에 대해 실무 수행자에서 관리자까지 내포하고 있는 업무지연요소를 제거함으로써 경쟁력을 극대화하기 위한 기업의 업무구조를 가져야 한다. 이러한 개념의 실시간기업(Real Time Enterprise) 개념을 포함한 공급사슬 모델에 관한 연구가 필요하며, 이를 통해 기업 내외부를 포함하는 전체적인 관점에서 업무지연요소를 최소화하고 의사결정의 속도를 높여 경쟁력을 극대화할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- Andersson, J. and Marklund, J.(2000), Decentralized inventory control in a two-level distribution system, *European Journal of Operational Research*, **127**, 483-506.
- Arntzen, B.C., Brown, G.G., Harrison, T.P. and Trafton, L.L.(1995), Global supply chain management at Digital Equipment Corporation, *Interfaces* **25**(1), 69-93.
- Averbakh, I. and Berman, O.(1994), Routing and location-routing p-delivery men problems on a path, *Transportation Science*, **28**(2), 162-166.
- Ballou, R.H.(1999), Business Logistics Management.
- Baker, B.M. and Ayechev, M.A.(2003), A genetic algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **30**, 787-800.
- Barbarosoglu, G. and Ozgur, D.(1997), A Lagrangean relaxation approach to an integrated production and 2-echelon distribution system, in *International Conference on Industrial Engineering and Production Management(IEPM'97)*, FUCAM, Lyon, France, **1**, 480-496.
- Barbarosoglu, G. and Ozgur, D.(1999), A tabu search algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **26**, 255-270.
- Barbarosoglu, G. and Ozgur, D.(1999), Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution systems, *European Journal of Operational Research*, **118**, 464-484.
- Beamon, B.M.(1998), Supply chain design and analysis : Models and methods, *International Journal of Production Economics*, **55**, 281-294.
- Berger, J. and Barkaoui, M.(2003), A parallel hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows, Article in press, *Computers & Operations Research*.
- Bowersox, D.J. and Closs, D.J.(1996), *Logistical management : The integrated supply chain process*, New York, NY, McGraw-Hill.
- Bradley, S.P., Hax, A.C. and Magnanti, T.L.(1997), *Applied mathematical programming*, Reading, MA : Addison-wesley.
- Brandao, J.(2003), A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, In press, corrected proof, available online 12, August.
- Braysy, O., Hasle, G. and Dullaert, G.(2003), A multi-start local search algorithm for the vehicle routing problem with time windows, Article in press, *European Journal of Operational Research*.
- Budnick, F.S., Mcleavey, D. and Mojena, R.(1988), *Principles of operations research for management*, Homewood, IL : Irwin.
- Chandra, P. and Fisher, M.(1994), Coordination of production and distribution planning, *European Journal of Operational Research*, **72**, 503-517.
- Choi, G. H., Lee, H. J. and Kwak, H. M.(2000), Integrated supply chain optimization models, *IE Interfaces*, Vol. 13, No. 3, 320-327.
- Chopra, S. and Meindl, P.(2001), *Supply chain management : Strategy, planning and operation*, Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall.
- Church, R.L. and Reville, C.S.(1974), The maximal covering location problem, *Papers for the Regional Science Association*, **32**, 101-118.
- Clarisse D.F. and Finke, G.(2001), An integrated model for an industrial production-distribution problem, *IIE Transactions*, **33**, 705-715.
- Cohen, M. and Lee, H.(1988), Strategic analysis of integrated production-distribution systems : models and methods, *Operations Research*, **36**, 216-228.
- Cooper, M.C., Lambert, D.M. and Pagh, J.D.(1997), Supply chain management: More than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*, **8**(1), 1-13.
- Danzig, G.B. and Ramser, J.H.(1959), The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, **6**(1), 80-91.
- Daskin, M.(1995), *Network and Discrete Location models, Algorithms and Applications*, Wiley, New York.
- Desaulniers, G., Lavigne, J. and Soumis, F.(1998), Multi-depot vehicle scheduling problem with time windows and waiting costs, *European Journal of Operational Research*, **111**, 479-494.
- Diks, E.B. and Kok, A.G.(1998), Optimal control of a divergent multi-echelon inventory system, *European Journal of Operational Research*, **111**, 75-97.
- Diks, E.B. and Kok, A.G.(1999), Computational results for the central of a divergent N-echelon inventory system, *International Journal of Production Economics*, **59**, 327-336.
- Drucker, P.F.(1998), Management's new paradigms, *Forbes*, October, 152-177.
- Erenguc, S.S., Simpson, N.C. and Vakharia, A.J.(1999), Integrated production/distribution planning in supply chain : An invited review, *European Journal of Operational Research*, **115**, 219-236.
- Fagerholt, K.(1999), Optimal fleet design in a ship routing problem, *International Transactions In Operational Research*, **6**, 453-464.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi C. and Taillard, E.D.(1999), A tabu search heuristics for the heterogeneous fleet vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **26**, 1153-1173.
- Geoffrion, A.M. and Graves, G.W.(1974), Multi-commodity distribution system design by Benders' decomposition, *Management Science*, **20**(5), 822-844.
- Goetschalckx, M., Vidal, C.J. and Dogan, K.(2002), Modeling and design of global logistics systems : A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*, **143**, 1-18.
- Goicoechea, A., Hansen, D. and Duckstein, L.(1982), *Multi-objective decision analysis with engineering and business applications*, Wiley, New York.
- Guide Jr, V.D.R., Srivastava, R.(1997), Repairable inventory theory : Models and applications, *European Journal of Operational Research*, **102**, 1-20.
- Held, M., Wolfe, P. and Crowder, H.(1974), Validation of subgra-

- cient optimization, *Mathematical Programming*, **6**, 62-88.
- Hiller, F.S. and Lieberman, G.J.(2001), Introduction to operations research, (7th edition), *New York, NY : McGraw-Hill*.
- Hombberger, J. and Gehring, H.(1998), Two evolutionary metaheuristics for the vehicle routing problem with time window, *INFOR*, **37**(3).
- Hong, S. H.(2003), The maximal covering location problem with cost restrictions, M. S. Thesis, Yonsei University.
- Hwang, H. S.(2000), A vehicle pick up and delivery scheduling with advance requests in a 2-echelon supply-chain system, *IE Interfaces*, **13**(3), 462-470.
- Jayaraman, V. and Ross, A.(2003), A simulated annealing methodology to distribution network design management, *European Journal of Operational Research*, **144**, 629-645.
- Jayaraman, V. and Pirkul, H.(2001), Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodity, *European Journal of Operational Research*, **133**, 394-408.
- Johnson, G.A., and Malucci, L.(1999), Shift to supply chain reflects more strategic approach, *APICS-The Performance Advantage*, October, 28-31.
- Khouja, M., Michalewicz, Z. and Wilmot, M.(1998), The use of genetic algorithms to solve the economic lot size scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, **110**, 509-524.
- Kim, J. and Kim, Y.(1999), A decomposition approach to a multi-period vehicle scheduling problem, *The International Journal of Management Science*, **27**, 421-430.
- Kim, S. H. and Lee, Y. H.(2000), Current status and future research directions in supply chain management, *IE Interfaces*, **13**(3), 288-295.
- Klingman, D., Mote, J. and Phillips, N.(1988), A logistics planning system at W.R.Grace, *Operations Research*, **36**, 811-822.
- Ko, D. S., Yang, Y. C., Jang, Y. J. and Park, J. W.(2000), A study on integrated production planning of distributed manufacturing systems on supply chain, *IE Interfaces*, **13**(3), 378-387.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C. and Pagh, J.D.(1998), Supply chain management : Implementation issues and research opportunities, *The International Journal of Logistics Management*, **9**(2), 1-19.
- Laporte, G.(1989), Integer programming formulations for the multi-depot vehicle routing problem : Comments on a paper by Kulkarni and Bhave, *European Journal of Operational Research*.
- Laporte, G.(1992), The vehicle routing problem : An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, **59**, 345-358.
- Lee, B.K., Lee, J.Y. and Lee, Y.H.(2003), Distribution planning in the multi-level supply chain network using tabu search, *The Fifth Metaheuristics International Conference*, Kyoto, Japan, August 2528, 2003.
- Lee, K. J., Lee, B. K. and Lee, Y. H.(2002), Facility location problem under capacity constraint defined by service level, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, **3**(2), 43-50.
- Lee, B. K. and Lee, Y. H.(2002), Heuristic method to minimize logistic cost in supply chain, *Proceeding of the 2002 spring congress of Korean Society of Supply Chain Management*
- Liu, F. and Shen, S.(1998), A route-neighbourhood based metaheuristic for vehicle routing problem with time windows, *Working paper, National Chiao University, Hsinchu, Taiwan*.
- Malandraki, C. and Dial, R.B.(1996), A restricted dynamic programming heuristic algorithm for the time dependent traveling salesman problem, *European Journal of Operational Research*, **90**, 45-55.
- Maloni, M.J. and Benton, W.C.(1997), Supply chain partnership : Opportunities for operations research, *European Journal of Operational Research*, **101**, 419-429.
- Min, H.(1996), Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problem, *Journal of Business Logistics*, **17**(2), 235-236.
- Min, H. and Zhou, G.(2002), Supply chain modeling : past, present and future, *Computers & Industrial Engineering*, **43**, 231-249.
- Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R.(1998), Combined location-routing problems : A synthesis and future research directions, *European Journal of Operational Research*, **108**, 1-15.
- Minner, S.(2003), Multi-supplier inventory models in supply chain management : A review, *International Journal of Production Economics*, **81-82**, 265-279.
- Mirchandani, P.B. and Francis, R.L.(1990), Discrete Location Theory, *Wiley, New York*.
- Mirzain, A.(1985), Lagrangean relaxation for the star-star concentrator location problem : approximation algorithm and bounds, *Networks*, **15**, 1-20.
- Moon, I., Silver, E. and Choi, S.(2002), "Hybrid Genetic Algorithm for the Economic Lot-Scheduling Problem. *International Journal of Production Research*, **40**(4), 809-824.
- Mosheiov, G.(1998), Vehicle Routing with Pick-up and Delivery : Four-partitioning Heuristics, *Computers Industrial Engineering*, **34**(3), 669-684.
- Nozick, L.K. and Trunquist, M.A.(1988), Integrating inventory impacts into a fixed charge model for locating distribution center, *Transportation Research Part E 31E*(3), 173-186.
- Nozick, L.K.(2001), The fixed facility location problem with coverage restrictions, *Transportation Research Part E 37*, 281-296.
- Nozick, L.K. and Trunquist, M.A.(2001), Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers, *European Journal of Operational Research*, **129**, 362-371.
- Ochi, L.S.(1998), A parallel evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with heterogeneous fleet, *FGCS*, **14**, 285-292.
- Oliver, P. and Webber, M.(1982), Supply chain management : logistics catches up with strategy. In : Christopher, M.(Ed.), *Logistics : The Strategic Issues*, London, 63-75.
- Osman, I.H.(1993), Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithm for the vehicle routing problem, *Annals of operations*.
- Parker, R.G. and Radin, R.L.(1988), *Discrete Optimization* Academic Press, New York.
- Qu, W.W., Bookbinder, J.H. and Iyogun, P.(1999), An integrated inventory-transportation system with modified periodic policy for multiple products, *European Journal of Operational Research*, **115**, 254-269.
- Renaud, J., Laporte, G. and Boctor, F.F.(1996), A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **23**(3), 229-235.
- Revell, C., Church, R. and Schilling, D.(1976), Application of the location set covering problem, *Geographical Analysis*, **8**, 65-76.
- Ross, A.D.(2000), A two-phased approach to the supply network reconfiguration problem, *European Journal of Operational Research*, **122**, 18-30.
- Salhi, S. and Sari, M.(1997), A multi-level composite heuristic for the multi-depot vehicle fleet mix problem, *European Journal of*

- Operational Research*.
- Salhi, S. and Rand, G.K.(1993), Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem, *European Journal of Operational Research*, **66**, 313-330.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E.(2003), Designing and managing the supply chain : concepts, strategy, and case study, *McGraw-Hill Higher Education*.
- Simpson, N.C. and Erenguc, S.S.(1998), Improved heuristic methods for multiple stage production planning, *Computers & Operations Research*, **25**, 611-623
- Simpson, N.C. and Erenguc, S.S.(2001), Modeling the order picking function in supply chain systems: formulation, experimentation, and insights, *IIE Transactions*, **33**, 119-130
- Stevens, G.C.(1989), Integrating the supply chain, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, **19**, 3-8.
- Syarif, A., Yun, Y. and Gen, M.(2002), Study on multi-stage logistic chain network : a spanning tree-based genetic algorithm approach, *Computers & Industrial Engineering*, **43**, 299-314.
- Shilling, D.A., Revell C., Cohen, J. and Elzinga, D.J.(1980), Some models for fire protection locational decisions, *European Journal of Operational Research*, **5**, 1-7.
- Silver, E.D.(1981), Operations research in inventory management : A review and critique, *Operations Research*, **29**, 628-645.
- Taillard, E., Badeu, P., Gendreau, M., Guertin, F. and Potvien, J.Y. (1996), A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows, *Technical report CRT-95-96*, Centre de recherche sur les transports, Universite de Montreal, Montreal.
- Taillard, E.D.(1996), A heuristic column generation method for heterogeneous fleet, *CRT*, 03.
- Taillard, E., Rochat and Yves.(1995), Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing, *Journal of heuristics*, **1**, 147-167.
- Talluri, S. and Baker, R.C.(2002), A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design, *European Journal of Operational Research*, **141**, 544-558.
- Thomas, D.J. and Griffin, P.M.(1996), Coordinated supply chain management, *European Journal of Operational Research*, **94**, 1-15.
- Vidal, C.J. and Goetschalckx, M.(1997), Strategic production-distribution models : A critical review with emphasis on global supply chain models, *European Journal of Operational Research*, **98**, 1-18.
- Vidal, C.J. and Goetschalckx, M.(2001), A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation, *European Journal of Operational Research*, **129**, 134-158.
- Vergara, F.E., Khouja, M. and Michalewicz, Z.(2002), An evolutionary algorithm for optimizing material flow in supply chains, *Computers & Industrial Engineering*, **43**, 407-421.
- Wu, T., Low, C. and Bai, J.(2002), Heuristic solutions to multi-depot location-routing problem, *Computers & Operations Research*, **29**, 1393-1415.
- Williams, J.(1981), Heuristics techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures : theory and empirical comparisons, *Management Science*, **27**, 336-351.
- Yokoyama, M.(2002), Integrated optimization of inventory-distribution systems by random local search and a genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, **42**, 175-188.
- Zipkin, P.H.(2000), Foundations of inventory management, New York, NY : McGraw-Hill.