

제한된 조건하에서의 최적생산-분배결정 모델에 관한 연구

임석진^{1&2} • 김경섭¹ • 박면웅²

¹연세대학교 산업시스템공학과 / ²한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터

A study on optimization model for an industrial production-distribution problem with consideration of a restricted transportation time

Seokjin Lim^{1&2} • kyungsup Kim¹ • Myonwoong Park²

Abstract

Recently, a multi-facility, multi-product and multi-period industrial problem has been widely investigated in Supply Chain Management(SCM). One of the key issues in the current SCM research area involves reducing both production and distribution costs. We have developed an optimization model to tackle the above problems under the restricted conditions such as transportation time and a zero inventory. The model can be used to decide an appropriate factory and assign an optimal output the factory yields. This paper deals with the main idea of the proposed methodology in depth.

1. 서론

오늘날 시장환경이 글로벌화 되고 제품과 서비스에 관련된 소비자의 요구가 다양화되어짐에 따라 기업이 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해선 이러한 변화에 능동적으로 대처해야 하는

환경을 요구하고 있다. 시장의 확대와 생산성 향상 그리고 최상의 품질의 제품을 적시에 공급 받고자 하는 고객의 요구에 효과적으로 대처하기 위해 생산기술의 개발, 생산기지의 국외이전, 생산공장의 지방으로의 분산과 같은 생산/분배네트워크의 설계와 구축 그리고 이를 효율적으로 운용하기 위한 여러 방법들이 연구되고 있다.

기존의 연구들은 자재의 조달과 관리, 생산성을 높이기 위한 설비의 재배치, 작업할당방법, 효과적인 물류관리를 위한 물류네트워크의 구성 등 각 세부분야에 대해 효율성을 높이기 위한 연구가 별개로 진행되었다.

그러나 현재는 원재료부터 고객에 이르기까지의 전과정을 공급사슬 (Supply Chain)이라 하며, 각 부문들 사이의 물류, 정보, 자금의 흐름을 총체적으로 관리하여 공급사슬의 효율을 증가시키는 전략에 관한 연구가 진행되고 있다(Thomas and Griffin, 1996).

공급사슬관리(Supply Chain Management)에서는 원재료 구매에서부터 고객에게 분배하기까지의 모든 활동을 하나의 연속된 흐름과정으로 인식하고 있다. 따라서 효율적으로 운영되

고 있는 시스템인지를 평가하는 중요한 요소로 공급사슬관리에서는 제품을 생산하는데 소요되는 생산비용과 원재료와 제품을 보관하는데 소요되는 재고비용, 공급자에서 생산공장으로 또한, 생산공장에서 수요자에게 원재료나 제품을 운송하는데 소요되는 운송비용 등이 고려되고 이를 효과적으로 관리하기 위한 다양한 연구가 진행되었다.

본 연구는 지역적으로 분산되어 있는 factory에서 customer의 소요량에 따라 factory에서 customer까지의 수송시간의 제약, factory에서의 재고를 보유할 수 없다는 조건과 같은 제한조건이 있는 경우를 고려하여 제품을 생산할 factory를 선정하고 해당 제품에 대한 factory에서의 생산량을 결정하여 재고비용, 생산비용, 운송비용을 최소화 하기 위한 최적생산-분배모형을 제시한다.

2. 기존 연구 고찰

공급사슬관리도입 이전의 연구들은 재고관리, 생산계획 및 통제, 수송계획 등 각 활동에서의 최적화에 초점을 맞춰 연구되었다.

하지만 최근 공급사슬관리의 도입에 따라 원자재의 공급, 재고, 생산, 분배 등을 연속된 흐름으로 보고 상호연관성을 가진 통합된 분야로 인식하여 전체시스템에서의 효율성과 최적화를 위한 연구가 진행되고 있다.

Erenguc(1999)등은 supply chain분야에 있어서 통합화 된 production/distribution planning에 대한 연구들을 supplier stage, plant stage, distribution stage로 분류하여 소개하였다.

Chandra 와 Fisher(1994)는 single production facility, multi-product에서 고정비용, 재고비용, 운송비용을 최소화하기 위한 production scheduling과 vehicle routing문제를 연구를 수행

하였다.

Flipo와 Finke(2001) 등은 multi-facility, multi-product, multi-period인 production-distribution문제를 network flow problem로 modeling하여 연구를 수행하였다.

Bum(1985) 등은 simplified manufacturing system에서의 유지비용, 생산비용, 수송비용을 최소화하기 위한 완제품의 선적에 관한 연구를 수행하였다.

Williams(1981)는 combined assembly-arborescence network를 이용하여 기간에 대한 평균재고유지비용과 평균고정비용의 합을 최소화하기 위해 batch size를 결정하는 joint production/distribution scheduling에서의 heuristic 알고리즘을 개발하였다.

Klingman(1988) 등은 화학공장을 대상으로 multiple time period, multiple commodity에 기초한 수학적 모형을 이용한 최적화문제를 연구를 수행하였다.

Cohen(1988)등은 multi stage production/distribution system에서 stochastic demand에 관한 연구를 수행하였다.

Zuo(1991)등은 large scale agricultural production and distribution system에서 production plant에 product를 할당하는 heuristic모델에 대한 연구를 수행하였다.

Lee와 Billington(1993)은 인접 시설간에 자재 흐름을 관리하는 heuristic 알고리즘을 개발하는 연구를 하였다.

본 연구에서는 multi-facility, multi-product 그리고 multi-period인 생산-분배모델에 대해 운송시간의 제한, factory에서의 재고를 보유할 수 없다는 것과 같은 제한조건이 있는 상황에서의 재고비용, 생산비용, 운송비용을 최소화 하는 수학적 모형을 개발에 대한 연구를 수행한다.

3. 최적생산분배결정 모형

3.1 연구대상

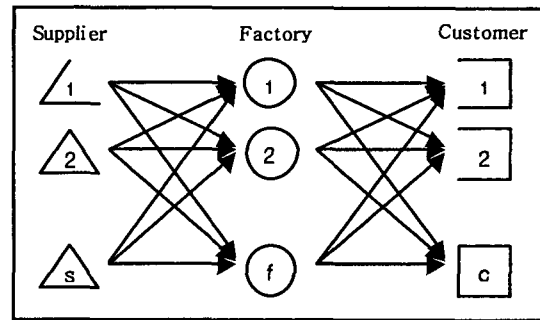
본 연구의 대상으로 하고 있는 생산-분배모형은 제품생산을 위해 4가지의 원재료가 필요하고 원재료 각각은 각기 다른 supplier에서 공급 받고 있다. 생산에 필요한 원재료는 해당공장이 위치한 지역에서 supplier를 선정하여 공급 받는다. Factory에서 생산하는 제품으로는 6종이 있다 Supplier에서 factory로 또한 factory에서 customer로의 운반용량은 제한이 없다.

제품의 특성상 factory는 대부분의 대도시를 거점으로 건립되어 위치하고 있으며 해당지역의 supplier에서 공급 받은 원재료를 factory에서 혼합하여 반제품의 형태로 운반수단을 통해 customer로의 수송되어 customer에서 경화되어 완제품이 된다. 다음은 본 연구에서 고려하여 할 주요 특징에 대하여 설명한다.

< 연구대상의 특징 >

1. Factory에서의 생산량은 customer의 소요량에 의해 결정된다.
2. Supplier는 공급능력에 제약이 없다.
3. Factory에서는 생산능력의 제약이 있다.
4. Factory에서는 제품의 재고를 보유할 수 없다.
5. Factory에서 원재료는 1일분만 저장한다.
6. Factory에서 customer까지의 수송시간의 제약이 있다.
7. 제품은 기존에 건립된 factory의 생산능력을 초과할 경우 factory의 신규 건립이나 해당지역 하청업체를 통해 제품을 생산할 수 있다.

[그림 1]은 본 연구대상의 supplier, factory, customer 사이의 관계를 표현한 것이다.



[그림 1] 연구대상의 관계

3.2 연구방법

본 연구는 대상시스템의 특징으로 인해 고려해야 하는 제약조건을 적용하여 공급사슬 관리에서의 재고비용, 생산비용, 수송비용을 최소화 하는 최적생산-분배방법을 결정하는 하기 위한 수학적 모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 수학적모형에서의 최적 생산-분배방법을 결정하기 위한 결정요소는 다음과 같다.

1. Customer에서의 소요량을 바탕으로 제품에 따른 해당지역 supplier에서의 원자재 공급량 결정
2. 제품에 따른 해당지역의 각 factory에서의 생산능력을 고려한 factory의 결정
3. 해당지역 각 factory에 제품별 생산량할당

3.3 수학적 모형

수학적 모형은 효과적인 비용분석을 위해 전체공급사슬을 supplier stage, factory stage, customer stage로 구분하여 수립하였다. 다음은 개발된 수학적 모형을 위한 notation의 소개와 각 stage별로 수립한 목적식과 제약식에 대해 소개한다.

3.3.1 Notation

Indices

i : product

s : supplier

f : factory

c : customer

Parameters

h_s : supplier s 에서 제품 i 의 단위당
재고유지비용

I'_s : time t 에 suppliers 에서 제품 i 의 재고량

S_s : supplier s 에서의 고정비

P'_s : time t 에 suppliers 에서 제품 i 의 생산량

CP_s : supplier s 에서 제품 i 의 단위당 생산비

t'_{sf} : time t 에 제품 i 를 supplier s 에서
factory f 로의 운송량

t_i : 제품 i 에 대해 factory f 에서 재고량

S_f : factory f 에서 고정비

γ_f : factory f 에서 물동량비

v_i : 제품 i 의 용량

d_c : 제품 i 에 대해 customer c 의 요구량

k_f : factory f 의 저장능력

g'_c : time t 에 제품 i 를 factory f 에서
customer c 로의 운송량

CT_{if} : supplier s 에서 factory f 로의 단위당
운송비

CT_{fc} : factory f 에서 customer c 로의 단위당
운송비

Z_s : 이진변수 $\{0, 1\}$
supplier s 있으면 1, 아니면 0

Z_f : 이진변수 $\{0, 1\}$
factory f 있으면 1, 아니면 0

y_c : 이진변수 $\{0, 1\}$

customer c 가 factory f 에서
제품을 받으면 1, 아니면 0

Y : y_c 가 1인 값들의 집합

C : factory f 에서 customer c 까지
운반할수 있는 최장거리

d_{fc} : factory f 에서 customer c 까지의 거리

3.3.2 Supplier Stage

$$\text{Min } Z = \sum_s \sum_i \sum_t h_s I'_s + \sum_s S_s Z_s + \sum_s \sum_i \sum_t CP_s P'_s$$

$$\text{s.t. } I'_s + P'_s - \sum_f t'_{sf} = I'_s \quad \forall i, \forall s, \forall t \quad \dots (1)$$

$$Z_s \in \{0, 1\} \quad \forall s \quad \dots (2)$$

$$I_{is}, P_{is} \geq 0 \quad \forall i, \forall s \quad \dots (3)$$

Supplier stage에서의 목적함수는 원재료와 관련된 재고비, 생산비 그리고 고정비의 합을 최소화하는 것이다. 제약식 (1)은 time t 에 supplier s 에서의 제품 i 재고량과 관계된 식이다. 즉, 전일재고, 금일 생산량, 금일 운송량과 현재재고량의 관계를 나타내는 식이다. 제약식 (2)는 이진변수로 제품에 따른 원재료를 공급하는 supplier가 할당되었는지를 보여준다. 제약식 (3)은 재고량과 생산량은 비음조건을 만족해야 한다는 것을 보여준다.

3.3.2 Factory Stage

$$\text{Min } Z = \sum_f \left[S_f Z_f + \gamma_f \sum_i \sum_c d'_{ic} y_c \right]$$

$$\text{s.t. } \sum_i \sum_c g'_{ic} \times v_i \leq k_f \quad \forall f, \forall t \quad \dots (4)$$

$$\sum_i \sum_c t'_{if} \times v_i \leq k_f \quad \forall f, \forall t \quad \dots (5)$$

$$\sum_f g'_{ifc} = d_{ic} \quad \forall i, \forall c \quad \dots (6)$$

$$y_c \in \{0, 1\} \quad \forall f, \forall c \quad \dots (7)$$

$$Z_f \in \{0, 1\} \quad \forall f \quad \dots (8)$$

$$g'_{ic} \geq 0 \quad \forall f, \forall c \quad \dots (9)$$

$$y_c \times d'_{ic} \leq C \quad (y_c \in Y) \quad \dots (10)$$

Factory stage의 목적함수는 Factory에서 생산과 관련된 발생하는 고정비와 물동량비의 합을 최소화하는 것이다. 즉 공장과 관련된 설립비용, 유지비용 등과 하청업체로부터 제품을 공급 받을 경우 발생하는 비용 등을 고려한 식이다.

제약식 (4)는 factory에서 customer로의 제품 운송이 factory의 저장능력이내 이어야 한다는 조건이다. 제약식 (5)는 supplier에서 factory로의 원자재 운송량이 factory의 저장능력이내 이어야 한다는 조건이다. 제약식 (6)은 customer의 제품에 대한 소요량이 해당지역의 각 factory에서의 운송량의 합과 같아야 한다는 조건이다. 제약식 (7)은 이진변수로 customer가 어떤 factory에서 제품을 할당 받는지를 보여준다. 제약식 (8)은 이진변수로 제품을 생산할 factory가 할당되었는지를 보여준다. 제약식 (9)는 factory에서 customer로의 운송량이 비음조건을 만족해야 한다는 것을 보여준다. 제약식 (10)은 factory에서 customer로의 운송거리가 최장운송거리 C 이내이어야 한다는 조건이다.

3.3.3 Customer Stage

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j \sum_f \sum_c CT_{ij} \times t'_{ij} + \sum_i \sum_j \sum_f \sum_c CT_{jk} \times g'_{jk}$$

$$s.t \sum_i t'_{ij} - \sum_c g'_{jk} = 0 \quad \forall i, \forall j \quad \dots (11)$$

Customer stage의 목적함수는 supplier에서 factory로의 운송비와 factory에서 customer로의 운송비의 합을 최소화하는 것이다. 제약식 (11)은 time $t-1$ 에 supplier에서 factory로 들어온 양과 time t 에 factory에서 customer로 나가는 양이 같다는 조건이다.

각 stage별로 수립된 제약식과 목적식을 통합하여 풀면 전체 공급사슬에서의 재고비용, 생산비용, 유지비용을 최소화할 수 있는 최적생

산-분배모형이 된다.

4. 결론 및 향후연구과제

시장경쟁이 치열해짐에 따라 시장의 확대, 제품과 서비스와 관련된 고객의 요구에 효과적으로 대처하기 위해 생산기술의 개발, 생산기지의 국외이전, 생산공장의 지방으로의 분산과 같은 생산-분배네트워크의 설계와 구축 그리고 이를 효율적으로 운용하기 위한 여러 방법이 연구되고 있다. 최근 원재료부터 고객에 이르기까지의 전과정을 공급사슬 (Supply Chain)이라 하며, 각 부문들 사이의 물류, 정보, 자금의 흐름을 총체적으로 관리하여 공급사슬의 효율을 증가시키는 전략에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 다품종의 제품이 factory에서 customer로의 수송시간의 제약과 factory에서의 제품에 대한 재고를 보유할 수 없다는 제약과 같은 제한조건이 있는 경우에서의 최적생산-분배결정에 관한 연구이다. 최적생산-분배방법 결정을 위해 customer의 소요량에 따른 factory의 선정과 제품에 따른 factory에서의 생산량 할당하는 수학적모형의 개발하였다.

효과적인 비용분석을 위해 전체공급사슬을 supplier stage, factory stage, customer stage로 구분하여 목적식과 제약식을 수립하였고 이를 통합하여 풀면 전체공급사슬에서의 재고비용, 생산비용, 운송비용을 최소화할 수 있는 모형이 된다.

본 연구는 최적생산-분배결정을 위한 수학적 모형만 제시하였는데 향후 본 연구에서 제안한 수학적 모형의 타당성의 평가를 위한 실제데이터를 CPLEX와 같은 상업적인 검증도구를 이용하여 실험을 수행하고 이를 바탕으로 실제현장에 적용할 예정이다. 본 연구를

바탕으로 공급사슬관리에서 제한조건과 같은 특수한 상황이 존재하는 경우에 최적공급-분배모형개발을 위한 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- Burns, L., Hall, W., Blumenfeld, D and Dazango, C.(1985), Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs. *Operations Research*, 33(3), 469-490.
- Chandra, P. and Fisher, M.(1994), Coordination of production and distribution planning, *European Journal of Operational Research*, 72, 503-517.
- Cohen, M. and Lee, H.(1988), Strategic analysis of integrated production-distribution systems: models and methods. *Operations Research*, 36, 216-228.
- Erenguc, S, S., Simpson, N. and Vakharia, A, J.(1999), Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review, *European Journal Of Operational Research*, 115, 219-236.
- Flipo, C-D., Finke, G(2001), An integrated model for an industrial production-distribution problem, *IIE Transactions*, 33, 705-715.
- Klingman, D., More, J. and Phillips, N. (1988), A logistics planning system at W. R Grace. *Operations Research*, 36, 811-822.
- Lee, H. L., Billington, C.(1993), Material management in decentralized supply Chains, *Operations Research*, 41(5), 835-847.
- Thomas, Griffin.(1996), Coordinated Supply Chain Management, *European Journal of Operational Research*, 94, 1-15.
- Williams, j.(1981), Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and

distribution in multi-echelon structures : theory and empirical comparisons. *Management Science*, 27, 336-351.

Zou, M., Kuo, W. and McOrberts, K.(1991), Application of mathematical programming to a large-scale agricultural production and distribution system. *Journal of the Operational Research Society*, 42(8), 639-648.