

공급사슬경영에서 생산 및 운송 파트너 선정에 관한 연구
A Study on the Selection of Production and Transportation Partners
in Supply Chain Management

고창성*·노재정**·최진수*

* 경성대학교 산업공학과

** 정보통신대학원 대학교 경영학부

Abstract

The selection of the optimal partners in supply chain management is one of the most critical success factors. In the past, partners for outsourcing production were selected repeatedly within a closed group of candidates due to the limited information and location of partners. But, the wide use of internet and the development of electronic commerce make it possible that the partners capable of providing the optimal services are selected regardless of their location or nationality. And the concept of partners was limited to the provider of production resources. In the supply chain management, the concept should be extended to the provider of transportation and warehouse due to the high portion of transportation cost among the total production cost. Therefore, in this study, we propose an analytical approach to the selection of production and transportation partners in supply chain management. For this purpose a mathematical model is developed, and then a heuristic algorithm based on tabu search is presented since the model belongs to the NP hard problem.

1. 서론

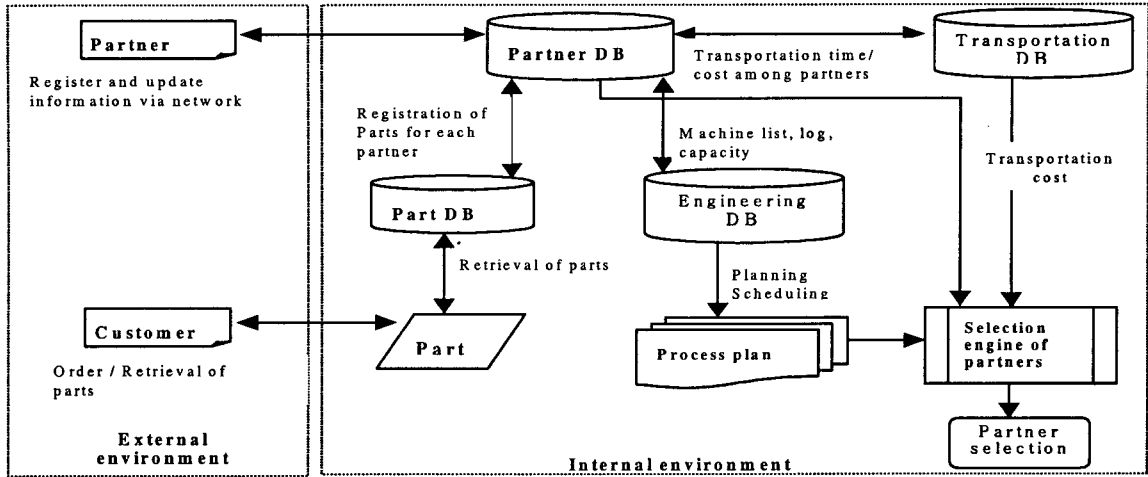
1990년 중반부터 BPR (Business Process Reengineering)의 추진 수단으로 ERP (Enterprise Resource Planning)가 등장하여 기업정보시스템 인

프라로서 경영 효율화 및 국제간 복수거점 업무를 통합 수행할 수 있는 수단으로 인정되어 많은 기업이 고가의 비용을 부담하며 ERP를 도입하였다. 그러나, 생산성 및 고객만족 극대화를 실현하기 위해서는 고객위주의 비즈니스 프로세스 통합이 절대적으로 요구되는 상황에서 획일적으로 ERP로 통합하는 것은 여전히 많은 문제점을 남겨두게 되는 것이다. 비즈니스 프로세서 통합의 목적은 기업의 틀을 뛰어 넘어 고객과 파트너 (공급자, 공급자의 공급자, ...)까지도 자사를 중심으로 통합하여야 하는 것이다. 이에 최종 소비자인 고객을 위한 가치를 생산하는 통합된 프로세서로 등장한 것이 공급사슬경영 (Supply Chain Management: SCM)이다 [1, 2].

본 연구에서는 SCM에서 자사-파트너를 연결하는 Supply Chain에서 최적 파트너를 선정하는 시스템의 검색 엔진을 개발하는 것이다.

전통적인 생산시스템에서는 자사에서 처리하고자 하는 공정을 고가의 기계를 구입하였으나, 시장 변화에 따라 그 기계의 가동률이 현저히 떨어져 결국은 재무 구조를 악화시키는 주요 요인으로 작용하고 있다. SCM에서는 각 공정을 당할 기계들을 보유한 업체를 적절히 선정하여 제품 생산을 함으로써 자사와 파트너간의 공동 발전을 도모할 수 있다. 즉, SCM에서는 자사는 부가가치가 높고 기술 집약적인 제품개발 및 공정계획 수립만을 전문적으로 취급하는 엔지니어링 역할만 담당하며, 실제 제품 가공은 여유 생산 능력을 갖춘 제조업체가 담당하며 또한 Supply Chain 상의 운송은 공차 운행 부담을 해결하게 되는 운송업체가 처리하게 한다[4, 6]. 이 때, 파트너로 선정될 대상 업체들은 인터넷 환경에서 언제든지 자사와 정보 공유가 가능하고, 최적의 Supply Chain이 형성된다

([그림1]참조).



[그림 1] SCM에서 파트너 선정 개념도.

본 연구에서는 SCM에서 자사-파트너를 연결하는 Supply Chain에서 최적 파트너를 선정하는 시스템의 탐색 엔진을 개발하는 것이다. 엔진의 주요 로직은 생산하고자 하는 제품 또는 부품이 복수의 대체공정계획 (Alternative Procee Plan)을 가질 때[4, 5, 7, 8, 9], 제품 또는 부품 가공에 필요한 가공비용과 운송비용의 합이 최소가 되도록 적정 공정계획을 선정하고, 선정된 공정계획에 따라 해당 기계를 보유하고 있는 제조업체 파트너 및 공차 운행 부담을 적정 비용으로 해결하는 운송업체 파트너를 선정하는 것이다.

본 연구에서는 Combinatorial 문제에서 최적해 또는 근사최적해를 도출하는데 성공적 결과를 보여 주는 Tabu Search[3, 4, 5]에 기초한 알고리즘을 개발한다.

2. 수리적 모형

본 연구에서는 인터넷을 이용하여 각 지역에 산재되어 있는 고객과 기계를 보유하고 있는 제조업체 및 부품 이송을 담당하는 운송업체를 중개하고 이러한 공급자를 최적으로 선정하는 엔진을 개발한다. 이를 위해, 이 장에서는 부품이 복수의 대체공정계획을 가질 때 부품가공에 필요한 가공비용과 운송비용의 합이 최소가 되도록 부품의 공정 및 운송계획을 결정하고, 선정된 계획에 따라 선택된 기계를 소유하고 있는 공급업체와 운송업체를 선정하는 수리적 모형을 구축하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 다음과 같은 가정 하에 수행된다.

- (1) 각 부품에 대한 주요정보 즉, 수요, 공정특성, 크기 등을 알고 있다.
- (2) 기계당 가용 능력을 알고 있다.

- (3) 각 공정계획에 대해서 특정 기계에서 가공되는 부품의 가공시간 및 비용에 대해 알고 있다.
- (4) 운송업체별 기계간의 운송비용을 알고 있다.
- (5) 각 부품에 대한 수요는 납기일까지 평균화된다.
- (6) 대상 제조업체는 품질 수준, 기술 능력 등의 기본 요건은 만족한다.

또한, 본 연구에서 활용되는 주요 기호 및 변수는 다음과 같다.

$i = 1, 2, \dots, m$ 기계

$j = 1, 2, \dots, n$ 부품

$p = 1, 2, \dots, p_j$ 부품 j 의 가능한 공정계획

$k = 1, 2, \dots, K(j, p)$ 즉 부품 j 가 공정계획 p 를 선택했을 때의 해당공정

$(k) =$ 공정을 순서화 시킨 것으로 k 번째의 가공작업을 나타냄

$q = 1, \dots, Q$ 운송업체

$(j, p) =$ 부품 j 가 공정 계획 p 에서 생산될 수 있는 조합

$d_j =$ 부품 j 의 일간 수요

$oc_{i(k)}(j, p) =$ (j, p) 에서 k 번째 공정의 가공비용

$pt_{i(k)}(j, p) =$ (j, p) 에서 k 번째 공정의 가공시간

$cu_j =$ 부품 j 의 단위 부피

$V =$ 컨테이너의 부피

$N_j =$ 부품 j 가 적재된 컨테이너의 수, $\left[\sum_j cu_j \right]$

$\cdot d_j/V$

$c_1 =$ 가공비용 할인율

$c_2 =$ 가공비용 벌칙율

$e_1 =$ 기계 i 의 가용능력 적정 계수

$e_2 =$ 기계 i 의 가용능력 한계 계수

$Y_{i(k)}(j, p)$ $\begin{cases} 1 & \text{조합}(j, p)\text{에서 } k\text{번째 공정이} \\ & \text{기계 } i\text{로 이루어 질 때} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
 Z_{jp} $\begin{cases} 1 & \text{부품 } j\text{가 공정계획 } p\text{로 생산} \\ & \text{될 때} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
 X_q $\begin{cases} 1 & \text{운송업체 } q\text{가 부품 운송을 담} \\ & \text{당하면} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
 $a_{i(k)}$ $\begin{cases} 1 & \text{기계 } i\text{에서 } k\text{번째 공정이 이} \\ & \text{루어 질 때} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
 $b_{(k)}(j, p)$ $\begin{cases} 1 & (j, p)\text{에서 } k\text{번째 공정이 이루} \\ & \text{어 질 때} \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
 $tc_q(i_1, i_2) =$ 운송업체 q 가 운송할 경우의 기계 i_1 에서 기계 i_2 까지의 컨테이너 단위 운송비용
 $rt_i =$ 기계 i 의 총 작업요구시간
 $at_i =$ 기계 i 의 가용능력
 $s =$ 부품 가공을 위한 원자재 공급지역을 나타내는 출발점
 $t =$ 가공작업이 완료된 부품이 납품되는 종착점

이상의 정의된 기호와 변수를 활용하여 총비용을 최소화시키는 수학적 모형은 다음과 같다. 여기서 $Y_{i(k)}(j, p)$, Z_{jp} 가 결정변수가 되며, $a_{i(k)}$, $b_{(k)}(j, p)$ 는 모형 정식화에서 계수값을 나타낸다.

Minimize

$$Z = \sum_{i,j,p,k} d_j \cdot Y_{i(k)}(j,p) \cdot oc_{i(k)}(j,p) \quad (1)$$

$$+ \sum_{i,j,p,s,q} tc_q(s,i) \cdot X_q \cdot Y_{i(1)}(j,p) \cdot N_j \quad (2)$$

$$+ \sum_{i_1, i_2, j, p, q} \sum_{k=1}^{K(j,p)-1} tc_q(i_1, i_2) \cdot X_q \cdot Y_{i_1(k)}(j,p) \cdot Y_{i_2(k+1)}(j,p) \cdot N_j \quad (3)$$

$$+ \sum_{i,j,p,t,q} tc_q(i,t) \cdot X_q \cdot Y_{i(K(j,p))}(j,p) \cdot N_j \quad (4)$$

where

$$oc_{i(k)} = \begin{cases} c_{i(k)} : rt_i < e_1 \cdot at_i \\ c_1 \cdot oc_{i(k)} : e_1 \cdot at_i \leq rt_i < at_i \\ c_2 \cdot oc_{i(k)} : at_i \leq rt_i < e_2 \cdot at_i \\ M \cdot oc_{i(k)} : e_2 \cdot at_i \leq rt_i \quad i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (5)$$

where

$$rt_i = \sum_{j,p,k} d_j \cdot Y_{i(k)}(j, p) \cdot pt_{i(k)}(j, p)$$

subject to

$$\sum_p Z_{jp} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{i(k)} Y_{i(k)}(j,p) = b_{(k)}(j,p) Z_{jp} \quad (7)$$

$$\sum_q X_q = 1 \quad \begin{cases} (k) = 1, 2, \dots, K(j, p), \\ j = 1, 2, \dots, n, \\ p = 1, 2, \dots, p_j \end{cases} \quad (8)$$

$$Z_{jp} = (0, 1) \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, n, \\ p = 1, 2, \dots, p_j \end{cases}$$

$$Y_{i(k)}(j, p) = (0, 1) \quad \begin{cases} (k) = 1, 2, \dots, K(j, p), \\ j = 1, 2, \dots, n, \\ p = 1, 2, \dots, p_j, \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

먼저 목적함수를 살펴보면, (1)은 부품가공에 소요되는 비용을 나타내며, (2)는 출발점에서 첫 번째 가공작업을 담당하는 기계까지의 운송비용을 나타내고, (3)은 기계간 운송비용을 나타내며, 또한 (4)는 최종공정을 마친 부품을 납품하기 위해 소요되는 비용을 나타낸다. 따라서 운송비용은 (2), (3), (4)의 합으로 표현할 수 있다.

본 연구에서는 보다 실제적인 생산 환경을 반영하기 위해 가공비용을 (5)과 같이 정의하였다. 예를 들면 $c_1 = 0.9$, $c_2 = 1.5$, $e_1 = 0.8$, $e_2 = 2.0$ 이라고 가정하면 다음과 같이 설명 될 수 있다.

기계 i 의 총 작업요구 시간이 기계능력의 80% 일 때는 기계 가공비용($oc_{i(k)}$)을 그대로 적용하고 80% 이상 100%미만일 때는 10%의 할인을 적용한다. 100%이상 200%이하 일 때는 야근 등으로 인한 추가 비용이 들것을 예상하고 50%의 벌금을 적용한 것이다. 200%를 초과할 때는 야근 등으로도 운영이 불가능하기 때문에 기계가공비용에 큰 수 M 을 곱하여 해의 대상에서 탈락시킨다. 다음으로 제약조건에 대해 살펴보면 (6)는 각 부품은 하나의 공정계획만 선택된다는 것을 설명하며, (7)은 각 부품과 복수의 대체공정계획의 관계를 나타낸다. 마지막으로 (8)은 부품 운송을 위해서 하나의 운송업체만 선택된다는 것을 나타낸다.

상기 모형에서 목적함수는 총비용을 최소화하는 것으로, 여기서 총비용은 부품가공에 소요되는 가공비용과 운송비용의 합으로 구성된다. 이때, 제시된 모형은 Logendran와 2인[4]의 연구에서 알 수 있듯이 NP-hard에 속하는 문제이다. 따라서, 간단한 문제의 경우에는 수리적으로 최적해를 도출하는 것이 가능하나 문제 크기가 조금만 커져도 해 도출

에 많은 어려움이 있기 때문에 현실적인 문제를 해결하기 위해서는 문제의 특성을 고려한 탐색적 알고리즘이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 Combinatorial 문제에서 최적해 또는 근사최적해를 도출하는데 성공적 결과를 보여준 Tabu Search에 기초한 4가지 탐색적 알고리즘을 개발한다.

3. Tabu Search에 기초한 탐색적 알고리즘

전장에서 구축된 수리적 모형에서 최적 또는 근사최적해를 도출하기 위해 탐색적 알고리즘을 개발한다. 본 연구에서 개발된 알고리즘에 대해 일반적으로 설명하면 각 부품에 대한 가능 공정계획 조합들 중에서 임의로 한 조합을 선정하고 이 조합에 대해 가공비용 및 운송비용의 합으로 표시되는 총비용이 최소가 되는 공정계획 및 생산 및 운송 협력업체를 선정한다. 이때 조합 생성을 위해 활용될 주 논리는 Logendran의 2인의 연구[5]에서 사용된 Tabu Search에 기초하였다.

- Step 1. 각 부품에 대한 공정계획별 가공비용을 올림차순으로 정렬한다.
- Step 2. 각 부품에 대해 최소 가공비용을 갖고 첫 번째 운송업체를 대상으로 하는 공정 및 운송계획을 초기해로 선정한다.
- Step 3. 대상 부품의 가공비용을 계산하고 또한 생산에 투입될 기계간의 부품 수송에 소요되는 운송비용을 계산한 후 이 두 가지 비용을 합하여 총비용으로 한다.
- Step 4. 초기해를 CL (Candidate List)에 등록한다. 이 때 CL은 장차 변동될 부품별 공정계획 조합을 형성한다. 그리고 이 때의 총비용을 AL(Aspiration Level)로 둔다. AL은 현재까지의 최소비용을 의미한다.
- Step 5. 각 부품에 대한 공정 및 운송계획을 하나씩 변동시킨 후 각 공정 및 운송계획조합에 대응되는 총비용을 Step 3에서와 같은 방법으로 계산한 후 최소의 비용을 갖는 공정 및 운송계획조합을 찾는다. 이때 찾은 공정 및 운송계획조합이 AL보다 작으면 '*'를 할당하고 CL에 등록하며 AL을 이 비용으로 개정한다. 만일 최소비용을 갖는 공정 및 운송계획조합이 복수 존재하면 모두 선택한다. 그리고, 이 때의 공정 및 운송계획조합의 변동된 부품위치에 '_'를 표시하여 Tabu로 등록한다. Tabu는 다음의 탐색과정에서 이 경우를 고려하지 말라는 의미가 된다.
- Step 6. 탐색과정 중 얻어진 최소 비용의 공정 및 운송계획조합이 AL보다 큰 값을 갖는 경우 새로이 AL을 이 값으로 교체하고 아울러 직전의 공정계획 조합은 '**'를 부여하여 부분최적해로서 IL(Index List)에 등록한다.
- Step 7. 지정된 횟수만큼 탐색한 후 IL에 등록된 부분최적해 중 최소값을 갖는 공정계획조합을 찾는다.

4. 알고리즘 평가를 위한 예제 수행

전장에서 개발한 탐색적 알고리즘들의 수행 과정 및 성능 평가를 위해 복수 공정계획을 갖는 셀형 제조시스템의 설계에 관한 Rajamani 의 2인[8],

Logendran 의 2인[5], Ko and Kim[4]의 연구에서 도입한 문제를 대상으로 예제를 수행한다. 대상 예제에서는 4가지 부품, 3가지 기계, 3가지 공정 (4P*3M*3O)의 경우를 고려한다.

5. 결론

본 연구에서는 SCM에서 자사-파트너를 연결하는 Supply Chain에서 최적 파트너를 선정하는 시스템의 탐색 엔진을 개발하였다. 엔진의 주요 로직은 생산하고자 하는 제품 또는 부품이 복수의 대체공정계획을 가질 때, 제품 또는 부품 가공에 필요한 가공비용과 운송비용의 합이 최소가 되도록 최적의 공정 및 운송계획을 선정하고, 선정된 공정 및 운송계획에 따라 해당 기계를 보유하고 있는 제조업체 파트너 및 공차 운행 부담을 적정 비용으로 해결하는 운송업체 파트너를 선정하는 것이다.

참고문헌

1. 이영해, 정찬석, "SCM의 현황 및 발전 방향," IE 매거진, 34-40, 2000.
2. Chopra, S. and Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation, Prentice Hall, 2001.
3. Glover, F., 1990, Tabu search: Tutorial. *Interfaces*, 20, 74-94.
4. Ko, C.S. and Kim, T., "External partner selection using tabu search heuristics in a distributed manufacturing," *International Journal of Production Research(Revised)*
5. Logendran, R., Ramakrishna, P. and Srikantharajah, C. 1994, Tabu search-based heuristics for cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans. *International Journal of Production Research*, 32, 273-297.
6. Mills, S. F. and Tanik, M. M., 2000, Resource-focused process engineering for the distributed enterprise. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 13, 187-203.
7. Ming, X. G. and Mak, K. L., 2000, A Hybrid Hopfield network-genetic algorithm approach to optimal process plan selection. *International Journal of Production Research*, 38, 1823-1839.
8. Rajamani, D., Singh, N., and Aneja, Y. P., 1990, "Integrated design of cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans," *International Journal of Production Research*, 28, 8(1990), 1541-1554.
9. Srivastava, B. and Chen, W. H., 1993, Part type selection problem in flexible manufacturing systems: tabu search algorithms. *Annals of Operations Research*, 41, 279-297.