

최적 공급사슬 구성을 위한 에이전트 협상방법론 개발*

김현수
동아대학교 경영정보과학부
(hskim@dau.ac.kr)

조재형
부산외국어대학교 국제통상지역원
(chojh@pufs.ac.kr)

최형림
동아대학교 경영정보과학부
(hrchoi@dau.ac.kr)

홍순구
동아대학교 경영정보과학부
(shong@dau.ac.kr)

본 연구는 최적의 공급사슬을 구성하기 위해 다수의 주문을 다수의 참여자에게 할당하기 위한 방법으로 에이전트 협상을 이용하였다. 본 에이전트 협상은 투명한 정보공유를 바탕으로 참여자간의 전략적 협력관계를 형성하기 위한 조정 메커니즘을 제공하고 있으며, 모든 참여자(주문자, 제조자, 공급자)가 자신의 이득을 달성하고, 공급사슬 전체 관점에서 파레토 최적해가 달성됨을 보여주고 있다. SET모델기반의 스케줄링에서 지연생산비용과 조기생산비용이 발생되고, 경쟁적 관계에 놓인 다수의 참여자를 고려하였다. 이러한 동적공급사슬 환경에서 에이전트 협상의 결과가 파레토 최적해임을 증명하고, 성능을 검증하기 위해 수리적 모형을 수립하고, 휴리스틱 방법론과 비교하는 실험을 진행하였다.

논문접수일 : 2005년 11월

게재확정일 : 2006년 6월

교신저자 : 김현수

1. 서론

동적인 공급사슬 환경에서 발생하는 많은 문제 중 하나는 최적의 스케줄을 발견하여 이에 대한 공급사슬 구성원을 선정하는 문제이다. 이것은 공급사슬에 존재하는 다수의 주문을 다수의 구성원에게 할당하는 문제로 요약된다.

지금까지 최적의 공급사슬구성을 위한 문제는 작업의 순서과정을 결정하기 위한 스케줄링 연구가 주류를 이루었고, 특히 발견적 기법(Heuristics), 우선순위규칙(Dispatching Rule), 추계적 최

적화(Stochastic Optimization)를 이용한 연구가 집중적으로 이루어졌으며, 최근에는 에이전트를 이용한 연구도 활발히 진행되고 있는데, 이는 공급사슬의 할당문제를 협력적 관계로 해결하려는 것으로 단독으로 공급사슬을 계획하고 실행하는 것보다 더 높은 성과를 얻을 수 있다는 기업사례 및 연구결과가 증명되었기 때문이다(Baita et al., 2000; Baker, K. et al., 1990; Baker, B. et al., 1999; Choi et al., 1996; Fischer et al., 1996).

그러나 Simatupang et al.(2002)는 공급사슬 구성원의 국지적 관점(local perspective)과 기회주

* 본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-B00170).

의적 행위(opportunistic behavior)와 같은 경영적 타성(managerial inertia)으로 인해 최종 소비자에게 적절한 제품과 서비스가 제공되지 못하게 되며, 이는 공급사슬성가에 부정적인 영향을 준다고 보았다(Simatupang et al., 2002). 경영적 타성의 원인은 부적절한 성과측정(measures of performance), 진부한 정책(outdated policy), 정보 비대칭성(asymmetric information), 인센티브 불공정성(misalignment)을 들 수 있다. 특히 정보 비대칭성으로 인해 공급사슬상에서 부분 최적 의사결정과 기회주의적 행위가 발생한다. 부분 최적 의사결정(sub-optimal decision)은 공급사슬 구성원간의 다양한 상충적인(trade-off) 이해관계를 해결하기 위한 가시적(visibility)인 정보를 서로가 가지고 있지 않을 때 발생한다. 정보부족은 의사결정이 협소한 범위에서 이루어지게 하여 최종 소비자에게 적절한 제품과 서비스를 공급할 수 없게 한다. 또한 기회주의적 행위는 구성원에게 중요한 정보를 숨기는 불리한 선정(adverse selection)과 상대방에 대한 노력의 감소와 같은 도덕적 해이(moral hazard)가 공급사슬관계에서 나타난다. 이러한 행위로 인해 공급사슬 구성원은 미리 결정된 고객서비스 수준을 충족하기 위한 필요한 정보를 가질 수 없으며, 결국 공급사슬성가는 최적화되지 못한다.

그러므로 이러한 협력 시에 발생하는 문제점을 해결하기 위해서는 가시적이고 신뢰할 수 있는 정보공유가 필요하며, 이를 위한 시스템적 해결책이 제공되어야 한다. 또한 이러한 시스템적 접근은 협력 주체들간의 통제가 수반되어야 한다. 협력통제의 단위는 일반적으로 중앙집중식 통제(centralized control)와 비중앙집중식 통제(decentralized control)로 구분되는데, 중앙집중식 통제는 특정한 의사결정자가 전체 공급사슬의 모든 정보를 가지고 다른 협력업체간의 계약관계를 통해 협력을 조

정하게 된다. 이러한 방법은 전체 공급사슬의 이득을 가장 크게 증가시킬 수 있으나 현실적으로 모든 공급사슬의 정보를 보유하고 있는 하나의 의사결정자가 존재하는 것은 실현불가능하다. 반면 비중앙집중식 통제는 다수의 의사결정자가 서로 다른 목적을 가지고 있어, 의사결정자간에 충돌이 발생할 가능성이 높으며, 각 구성원의 독자적인 의사결정 대안들이 어떤 메커니즘에 의해 조정되지 않으면 공급체인의 최종 성과적도인 전체의 최적화(global optimization)가 아닌 부분 최적화(local optimization)만 추구할 수 있다(Bertsekas, 1981; Bowersox et al., 1996; Bylka, 2003; Jeong, 2003).

그러므로 이러한 비중앙집중식 통제의 한계를 해결하기 위한 방법으로 에이전트를 이용하게 되었다. 또한 기업내부와 기업외부의 환경이 동적으로 변화함으로 인해 각 구성원간의 조정에 어려움이 있으며, 이러한 동적변화에 대해 빠른 시간에 민첩하게 반응해야 하므로 에이전트의 활용이 더욱 크게 부각되었다.

에이전트 기반의 시스템은 분산된 에이전트의 국지적 목적을 달성하면서도 전체 최적화를 달성하기 위해 조정 메커니즘을 이용하며, 이러한 메커니즘으로 협상을 주로 이용하고 있다(Guan, 1995).

본 연구에서는 에이전트 협상을 이용하여 공급사슬 할당문제를 해결하기 위한 구체적인 방법을 제시한다. 특히 구성원간의 정보공유를 통해 각 구성원의 의사결정 시 내외부적인 다양한 요인을 고려할 수 있게 한다. 또한 협상을 통해 참여하는 모든 구성원에게 동시적인 혜택을 제공하고, 전체 공급사슬의 최적화를 달성할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 SET 모델기반에서의 동적공급사슬 구성 문제를 설명한다. 3절에서는 본 문제의 해결방법론으로 중앙

집중식 방법인 분지한계법을 응용한 휴리스틱 분지한계법을 제시한다. 4절에서는 동적공급사슬의 최적화를 위한 에이전트 협상방법론을 제시하며, 이를 위한 중개 에이전트의 구조, 협상 기본원리 및 프로토콜, 그리고 협상 알고리즘에 대해 설명한다. 5절에서는 본 에이전트 협상의 시나리오를 소개하고, 6절에서는 본 연구에서 제안한 에이전트 협상방법론의 최적화 여부 및 성능을 검증하기 위해 휴리스틱 분지한계법, 수리적모형과 비교한 실험을 진행한다. 마지막으로 결론에서는 본 연구의 기여점과 향후연구를 제시한다.

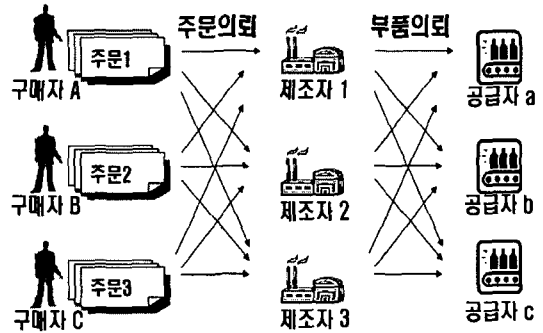
2. 문제정의

2.1 SET 모델 기반의 동적공급사슬 구성 문제

본 연구는 SET모델 기반의 동적 공급사슬 구성 문제(Dynamic Supply Chain Formation Problem based SET Model; DSCFP)이다. SET 모델(Single Machine Earliness/Tardiness Model)은 단일기계에서 조기생산비용과 지연생산비용을 고려한 스케줄링 모델을 말한다(Baker, 1990). 스케줄링 문제는 단일기계, 병렬기계, Flow Shop, Job Shop 등 다양하게 분류되고 있으나, 본 연구를 단일기계문제로 한정된 것은 공급사슬상에서 이루어지는 스케줄링 문제 중 납기일을 준수하지 못했을 때 발생하는 지연생산비용과 조기생산비용의 최소합을 달성하는데 SET모델이 가장 잘 알려진 문제이기 때문이다(Pinedo, 2001).

또한 본 연구에서 다루는 동적 공급사슬은 다수의 주문이 다수의 제조자에게 생산되어질 수 있는 환경으로, 기존의 주문이 취소되거나, 새로운 주문이 추가될 수도 있으며, 다수의 제조자는 가

격에 의한 경쟁적 관계에 놓여 있어 하나의 제조자에게 모든 주문이 집중되거나 또는 하나의 주문도 의뢰받지 못하는 공급사슬 환경을 말한다.



[그림 1] 공급사슬 구성 범위

특히 본 연구에서는 [그림 1]과 같이 다수의 구매자가 다수의 제조자에게 주문을 의뢰하게 되고, 다시 다수의 제조자는 주문생산을 위해 다수의 공급자에게 부품의뢰를 하게되는 3계층의 공급사슬을 연구범위로 설정하였다. 또한 본 연구에서는 주문-제조업체(Make-To-Order)의 경우로 주문의뢰 후 제조가 이루어지므로 제조자와 공급자는 재고를 보유하고 있지 않다.

결국 본 연구에서 다루고있는 최적 공급사슬 구성문제는 전체 공급사슬에 존재하는 n 개의 주문을 m 개의 제조자와 p 개의 공급자에게 어떻게 할당할 것인가의 문제로 요약된다. 그리고 본 구성의 결과가 전체공급사슬에서 최소의 비용으로 달성되어야 한다. 그러나 어떤 주문을 어떤 구성원에게 얼마만큼 할당할 것인가의 문제는 수시로 변화될 수 있다. 이러한 동적환경의 고려는 구성원의 실시간 스케줄링으로 반영된다.

지금까지 SET모델에서 고려된 연구들을 살펴보면, Kim et al.(1994)은 상이한 납기를 가지는 단일기계 문제에 대하여 최적해에 대한 특성들을

논의 하였고, 이를 해결하기 위해 발견적 기법 (heuristics algorithm)을 제시하였으며, Jorge et al.(2003) 또한 우열 규칙(dominance rule)을 이용한 휴리스틱 방법론의 응용을 보여 주었다. 또한, Lee et al.(1992)과 Choi et al.(1996)은 납기가 상이하고 도착시간이 동일할 때, 조기생산과 지연생산에 대한 비용이 일반적인 경우에 대하여 유전알고리즘(genetic algorithm)을 제시하였다. 그러나 기존의 연구들에서 다루어진 방법론들은 하나의 제조자가 다수의 협력업체를 선정하는 할당문제로, 하나의 의사결정자가 통합 스케줄링을 통해 하위 협력업체의 최적 공급사슬을 구성하는 정적인 공급사슬 구성문제였다. 그러나 앞서 제시한 바와 같이 할당을 결정하는 의사결정자가 다수 존재하고 하위의 협력업체들이 경쟁적 관계에 놓여 있을 때는 통합 스케줄링만으로 본 문제를 해결할 수 없다.

<표 1> 최소비용 공급사슬 구성을 위한 구성원과 주문조합의 할당문제

주문조합 \ 구성원	{1}	{2}	{3}	{1,2}	{1,3}	{2,3}	{1,2,3}
A	80	60	50	150	160	150	220
B	30	90	20	130	60	140	200
C	80	40	40	140	130	100	210

예를 들어 <표 1>에서는 3개의 구성원과 3개의 주문이 주어진 상황에서 어떤 구성원에게 어떤 주문을 할당할 것인지를 결정하는 문제이다. 여기서 구성원은 제조자 또는 공급자이다. 위 표에서 주문 1과 3은 구성원 B에게 할당하고, 주문 2는 구성원 C에게 할당되었을 때 전체 공급사슬의 비용은 최소가 된다. 결국 본 문제는 다수의 주문이 하나의 구성원에게 할당될 수도 있고, 하나의 주문도 할당받지 못하는 구성원이 생길 수도 있는 할

당문제로, 주문의 수가 n 개이고 참여하는 구성원의 수가 m 개 일때, 가능한 모든 조합의 수는 $(m)^n$ 이 되며, 주문과 구성원의 수가 증가할수록 계산시간은 급증하게 된다. 그러므로 Fischer et al.(1996)은 이러한 할당문제가 NP-hard문제를 입증하였다(Bertsekas, 1988; Fischer et al., 1996; Russ et al., 1999). 또한 Garey et al.(1988)은 단일 기계에서 도착시간과 납기가 일반적인 경우에 지연작업의 수를 최소화 하는 문제가 NP-hard 문제를 역시 입증하였다(Garey et al., 1988).

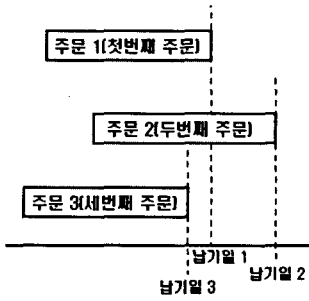
그러므로 주문의 조합에 따른 각 구성원의 비용을 모두 알아야 하는 상황이므로 이를 통합스케줄링만으로 해결하는 것은 다수의 구성원이 존재하고, 구성원간 경쟁적 관계를 고려할 때 현실적으로 해결 불가능하다. 결국 본 문제는 최소의 스케줄링 횟수, 즉 최소의 복잡도를 고려한 최적의 공급사슬을 어떻게 구성하는가가 중요하며, 특히 다수의 구매자가 경쟁관계에 놓인 다수의 제조자와 공급자를 선택해야 하는 다계층 공급사슬로 확대하여 고려하고자 한다.

2.2 스케줄링

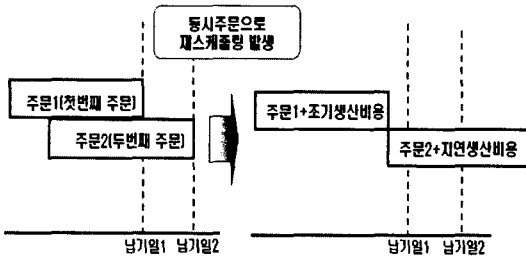
먼저 제조자는 다수의 구매자로부터 주문에 대한 견적을 받게되며, 제조자는 제조 스케줄링을 위해 다시 다수의 공급자에게 부품견적을 의뢰하게 된다. 이때 각 단계에서 발생하는 견적의뢰는 가주문(provisional order)의 상태이므로, 각각의 주문을 독립적으로 인식하여 처리한다. 이것은 먼저 들어온 주문을 E/T모형을 고려하여 [그림 2]와 같이 각 주문의 납기일에 맞추어 견적을 제시하게 된다.

이후 구매자는 다수의 제조자로부터 받은 제조비용 중 가장 저렴하게 제시된 제조자에게 주문을 재의뢰하게 된다. 또한 주문의뢰를 받은 제조자는

이미 가장 저렴한 공급비용의 공급자를 선정할 상태이므로 이들에게 부품 재의뢰를 하게된다. 이때 각 단계에서 발생하는 주문 재의뢰는 확정주문(definite order)의 상태이다.



[그림 2] 각 개별주문을 위한 스케줄링



가주문 시의 개별 스케줄링 확정주문 시의 동시 스케줄링

[그림 3] 동시주문을 고려한 SET모델에서의 순차적 스케줄링

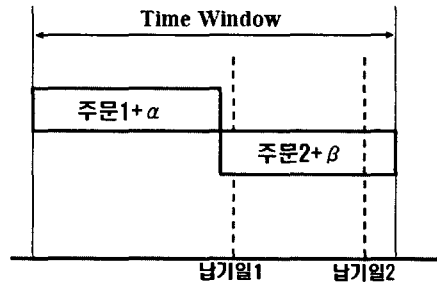
그러나 확정주문은 가주문 때와는 달리 하나의 제조자에게 다수의 구매자로부터 주문의뢰가 들어오거나, 하나의 공급자에게 다수의 제조자로부터 부품의뢰가 들어올 경우, 다수의 주문을 동시에 고려하여 재스케줄링하게 된다. 결국, 동시주문을 고려하여 재스케줄링 함으로써 조기생산과 지연생산이 발생되고, 이때 공급자와 제조자는 가주문 건적 시에 산출되었던 초기비용보다 상승하게 된다. 이러한 조기생산과 지연생산의 추가비용

은 납기와 작업 완료시점간의 편차만큼 증가하게 된다. [그림 3]에서는 확정주문이 하나의 제조자 또는 공급자에게 2개 이상이 발생됨으로써 동시 스케줄링으로 변화되는 과정을 살펴볼 수 있다.

이때 각 제조자간에 생산하는 제품 품질간에는 차이가 없으며 단지 CTP함수에 따라 생산비용의 차이만 있는 것으로 가정한다.

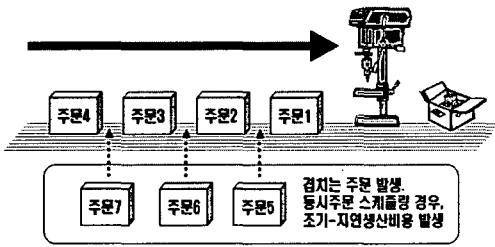
또한 각 구매자가 주문을 의뢰하는 시기가 하나의 Time Window에서 발생한다고 가정한다. 본 연구에서 Time Window란 모든 주문이 아직 구매자로부터 확정되지 않은 상태에서 1개 이상의 주문이 들어오는 기간(term)을 말한다.

α : 조기생산비용 β : 지연생산비용



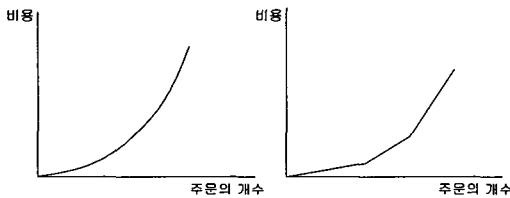
[그림 4] 제조자의 Time Window에 두 개 이상의 주문이 들어온 경우

예를들어 [그림 4]와 같이 하나의 제조자가 가지고 있는 Time Window에 2개 이상의 주문이 동시에 의뢰되는 경우, 모든 주문을 동시에 고려하여 스케줄링하게 된다. 이때 각 주문의 납기일이 여유가 있어 모든 주문을 납기일에 맞춰 순차적으로 스케줄링 한다면 개별주문과 같은 비용이 산출될 수 있으나, 본 연구에서는 [그림 5]와 같이 납기일이 비슷하거나 똑같은 다수의 주문이 하나의 Time Window에 들어옴으로써 다수의 겹치는 주문이 발생하게 된다.



[그림 5] 제조 스케줄링에서 동시주문으로 인한 겹치는 주문발생

이때 주문간 겹치는 부분은 앞서 SET모델에서 정의한 바와 같이 동시주문으로 인한 지연생산비용과 조기생산비용으로 인해 비용이 증가하게 된다. 이때 동시주문 스케줄링 시에 발생하는 비용의 증가는 일정한 규칙에 의해 이루어지게 되며, 이는 클릭(Clique)모형에 의해 설명되어지는데 (Duff et al., 1986), 동시주문 발생 수에 따른 비용의 증가율은 일정하며, 동시주문 발생수가 커질수록 동시주문 비용은 [그림 6]과 같이 볼록 증가 곡선(convex increasing function) 이 된다.

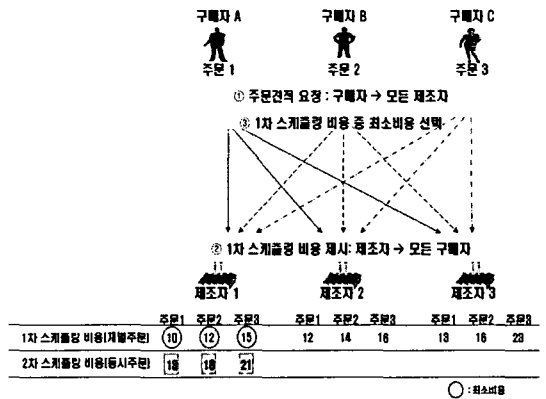


[그림 6] 주문의 개수에 따른 비용의 증가

또한 본 연구에서는 인접 주문간의 작업순서(sequence of adjacency job)가 스케줄링 비용에는 영향을 미치지 않는 것으로 가정한다(Peng et al., 1989). 이는 인접주문간의 작업순서가 변경되더라도 조기생산 및 지연생산비용은 동일하게 증가하는 것으로 가정한다.

본 연구의 문제를 명확히 이해하기 위해 간단

한 시나리오를 살펴보자. [그림 7]과 같이 공급사슬에 3개의 구매자와 3개의 제조자만 존재한다. 이때 각 구매자가 자신의 주문을 공급사슬에 존재하는 모든 제조자에게 가주문건적을 요청하였다. 주문건적을 받은 모든 제조자는 각자 스케줄링을 통해 3개의 주문에 대한 비용을 산출한다. 이때 제조자는 3개의 주문을 개별주문으로 인식하고 스케줄링하였다. 1차 스케줄링 비용이 각 구매자에게 전달되고, 각각의 구매자는 3개의 제조자 비용 중 최소비용을 선택하여 확정주문을 의뢰한다. 그러나 3개의 주문에 대한 최소비용이 모두 제조자 A가 되어 개별주문으로 스케줄링 되었던 주문이 동시주문 스케줄링으로 변경 됨으로써 모든 주문의 비용이 상승된다. 제조자 A의 2차 스케줄링 비용이 각 구매자에게 전달되고, 각 구매자는 1차 스케줄링 비용보다 상승되어 제조자의 재선택이 요구된다.



[그림 7] 동적공급사슬 시나리오

2.3 목적함수 정의

본 문제는 구매자의 주문을 생산하기 위해 공급사슬 2계층에서 발생하는 제조자의 제조비용과 공급자의 공급비용을 전체 공급사슬 관점에서 최소화하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해

본 문제의 목적함수 및 제약조건, 그리고 각 변수의 정의는 다음과 같다.

본 목적함수는 제조자의 제조비용과 공급자의 공급비용을 조기생산비용과 지연생산비용을 고려하여 합을 최소화한 것이다.

$$\text{Min} \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^{n_j} (mc_{ijk}^s + fc_{ijk}^s + tard_j^s \times T_{ijk}^s + earl_j^s \times T_{ijk}^s) x_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s (mc_{ij}^m + fc_{ij}^m + tard_j^m \times T_{ij}^m + earl_j^m \times T_{ij}^m) y_{ij} \quad (1)$$

$$s.t \quad \sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, \forall j$$

$$\sum_{i=1}^s x_{ikj} = 1, \forall k, \forall j$$

$$x_{ikj} = 0 \text{ or } 1, y_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

x_{ikj} : 주문 j의 부품 k를 공급자 i가 생산하면 1, 아니면 0

y_{ij} : 주문 j를 제조자 i가 생산하면 1, 아니면 0

m : 제조자의 수

s : 공급자의 수

n : 주문의 수

n_j : 주문 j의 부품 수

mc_{ijk}^s : 공급자 i가 주문 j의 부품 k를 생산하는 비용

fc_{ijk}^s : 공급자 i가 주문j의 부품 k를 생산하기 위한 고정 비용

$tard_j^s$: 주문 j에 대한 공급자의 지연생산비용

$earl_j^s$: 주문 j에 대한 공급자의 조기생산비용

T_{ijk}^s : 공급자 i에서 주문 j의 부품 k에 대한 납기일과 작업일과의 시간 차이

mc_{ij}^m : 제조자 i가 주문 j를 생산하는 비용

fc_{ij}^m : 제조자 i가 주문 j를 생산하기 위한 고정 비용

$tard_j^m$: 주문 j에 대한 제조자의 지연생산비용

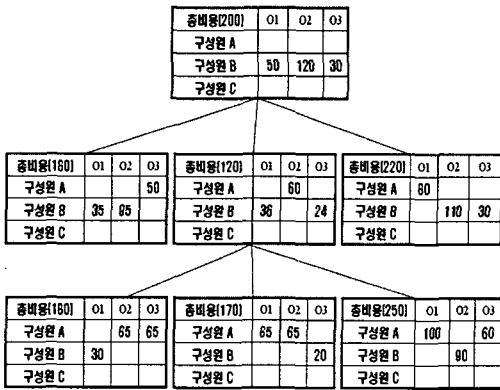
$earl_j^m$: 주문 j에 대한 제조자의 조기생산비용

3. DSCFP를 위한 휴리스틱 분지한계법

공급사슬 할당 문제의 최적해를 구하는 방법 중 하나로 분지한계법(Branch & Bound)을 살펴볼 수 있다. 분지한계법으로 본 문제를 해결할 경우, 앞서 문제정의에서 서술한 바와 같이 공급사슬 환경이 동적이며 경쟁적 관계에 있으므로, 하나의 구성원(제조자 또는 공급자)이 모든 주문을 처리하는 경우와 다른 구성원과 함께 주문을 나누어 처리하는 경우로 나뉘어진다. 즉, 구성원간 주문의 수를 어떻게 배분하느냐가 중요하다(Pei, 1999).

기존의 분지한계법에서는 지금까지의 모든 경로를 다 기억해서 가장 최소의 경로로만 계속 분지하고 그 최소값이 한계로 설정되어 그 이상의 값이 나오면 분지를 하지 않는다. 그러나 본 문제에서는 일반적인 스케줄링에서의 분지한계법과는 달리 하위의 분지가 상위의 한계값보다 크다고 할지라도 다시 2단계 하위의 분지에서 최소값이 도출될 수 있으므로 결국 완전검색이 이루어져야 한다. <표 1>과 같은 문제가 주어질 때, 구성원과 주문의 조합을 고려하여 발생하는 스케줄링 횟수는 총 21회가 이루어져야 한다. 결국 분지한계법은 모든 비용을 안다고 가정함으로써 각 분지별로 각 비용 테이블을 나타낼 수 있다. [그림 8]은 <표 1>을 나타낸 구성원-주문조합별 분지 테이블을 나타낸 경우이다.

그러나 분지한계법은 문제의 규모가 n이 될 때, 계산시간이 (m)ⁿ으로 급증하며, 공급사슬을 누군가 중앙에서 통제할 수 있다는 가정에 기초하므로 다자간 동등거래를 추구하는 공급사슬 관리에는 부적합하다.



[그림 8] 하나의 구성원에 동시주문이 발생되었을 때 분지 테이블의 예

그러므로 기존의 분지한계법으로는 본 연구의 문제를 해결하는데 한계가 있으므로, 분지한계법을 응용한 새로운 휴리스틱 분지한계법을 제안하였다. 본 휴리스틱 분지한계법은 기존의 분지한계법이 완전검색을 해야하는 알고리즘의 한계를 극복하기 위해 다음과 같은 규칙을 우선으로 한다.

규칙 1: 전체 동시주문의 비용보다는 최적해가 최소한 같거나 적을 것이다. 그러므로 첫 번째 분지에서 각 제조자의 모든 주문의 동시주문 비용 중 가장 적은 값을 가진 제조자가 첫 번째 한계값이 된다.

규칙 2: 한계값으로 도출된 분지의 조합이 최적해와 같거나 가장 유사할 것이다. 그러므로 하위 분지는 상위 분지에서 결정된 한계값을 기본적으로 상속받아 분지한다.

본 규칙은 완전검색 알고리즘 보다는 효율적이어야 하며, 주문의 조합을 고려할 때, 상위에서 결정된 주문의 조합을 하위분지에서 상속받되, 상위에서 제거된 주문들은 다른 제조자의 주문과 조합

함으로써 하나의 제조자에서 동시주문이 더 이상 발생되지 않을때 까지 분지한다. 즉 각 제조자의 모든 주문에 대한 동시주문을 고려하여 첫 번째 분지가 시작되지만, 하나의 제조자가 1개만의 주문을 스케줄링할때까지 분지를 진행함으로써 기존의 분지한계법이 가지고 있는 문제점을 해결할 수 있다.

최적의 공급사슬을 구성하기 위한 휴리스틱 분지한계법의 알고리즘은 다음과 같다.

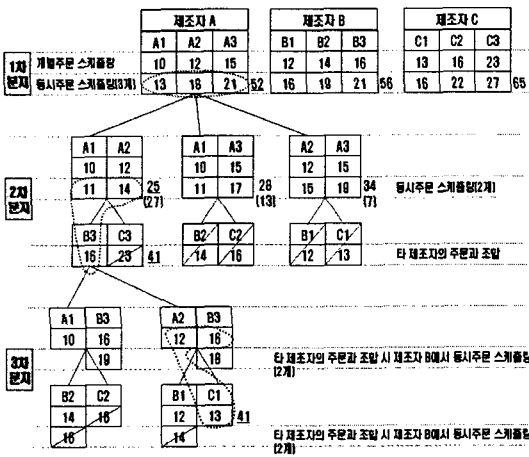
Step 1: 각각의 제조자에게 n 개의 주문이 들어올 때 모든 주문 집합을 O 라 하고, O 의 동시주문값을 구한 후, 이 중 최소값을 가진 제조자를 M , 나머지 제조자는 L 이라고 한다. M 에서 분지(Branch)를 시작한다.

Step 2: 1차 분지에서는 M 의 O 에서 i 번째에 있는 $n-1$ 개의 모든 가능한 동시주문 조합을 구하고, i 번째가 빠진 주문은 L 의 i 번째 주문과 조합하여 합계를 구한다. 하나의 분지에서 구해진 합계 중 최소값이 되는 주문조합을 T 라 하고, T 에서 다음 분지를 시작하고 나머지 조합은 제거(Bound)된다.

Step 3: 다음 분지에서는 T 의 O 에서 임의의 i, j 번째 있는 $n-2$ 개 만큼의 모든 가능한 동시주문 조합을 구하고, i 와 j 번째가 빠진 주문은 L 의 i 와 j 번째 주문과 조합하여 합계를 구한 후 최소값을 구하고, 나머지는 제거된다.

Step 4: M 의 O 가 한개의 주문이 남을때까지 분지를 실시한다.

Step 5: 모든 분지에서 제거되지 않은 T 가 최적구성이 되며 이때 합계가 최적해(최소값)로 결정된다.



[그림 9] 휴리스틱 분지한계법의 시나리오

[그림 9]는 휴리스틱 분지한계법 알고리즘의 간단한 예이다. 앞서 [그림 7]과 같이 3개의 제조자와 3개의 주문이 있다고 가정한다. 먼저 각 제조자가 3개의 동시주문이 발생할 경우, 제조자 A의 동시주문이 52로써 다른 제조자보다 낮으므로, 규칙 1에 의해 제조자 A에서 1차 분지가 발생한다. 1차 분지에서 한계값은 52가 되므로 2차 분지에서는 이보다 적은 값이 도출되어야 한다. 규칙 2에 따라 2차 분지에서는 제조자 A의 2개 주문에 대한 조합이 이루어지고, 이때 1개의 빠진 주문은 타 제조자의 주문과 조합한다. 2차 분지에서는 A1-A2-B3의 주문조합이 41로써 가장 적은 한계값으로 도출되고, 2차 분지의 다른 주문조합은 모두 제거된다(A1-A3-B2와 C2의 조합, A2-A3-B1과 C1의 조합 제거). 다음으로 A1-A2-B3에서 3차 분지가 발생한다. 3차 분지에서도 역시 규칙 2에 의해 A1과 A2의 주문조합이 하나의 개별주문으로 나누어지고, B3와 각각 주문조합이 이루어졌다. 그리고 하나가 빠진 주문은 타제조자의 주문과 조합되어 진다. 이때 제조자 B에서 2개의 동시주문이 발생되므로 주문조합에서 비용이 증가한

다(A1-B3-B2에서는 10+16+14가 아닌 10+19+16이 되어 2차 분지 한계값 41을 초과되어 제거). 3차 분지에서는 A2-B3-C1의 주문조합이 41로써 3차 분지한계값이 된다. 그러므로 본 예서는 41이 가장 최소의 주문조합 값이 되며, 이때 주문조합은 A1-A2-B3와 A2-B3-C1 두 개가 발생한다.

4. 에이전트 협상

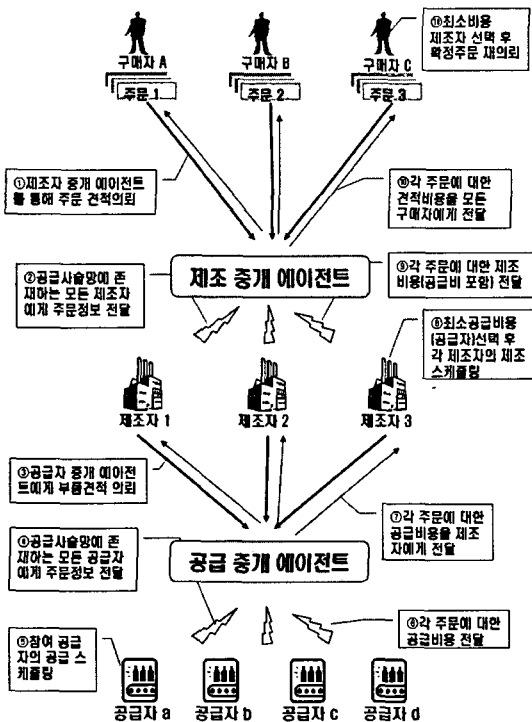
4.1 에이전트 협상 구조

공급사슬에서 필요한 에이전트 기능은 먼저 주문 및 부품의뢰에 대한 중개역할이다. [그림 10]과 같이 구매자는 자신의 주문에 대한 견적비용을 제조 중개 에이전트(Manufacture Mediator Agent)에게 의뢰하게 된다. 제조 중개 에이전트는 이를 공급사슬에 존재하는 모든 제조자에게 전달한다. 주문의뢰에 응하고자 하는 제조자는 제조 스케줄링을 위해 부품견적을 다시 공급 중개 에이전트(Supply Mediator Agent)에게 의뢰한다. 공급 중개 에이전트는 공급사슬에 존재하는 모든 공급자에게 주문정보를 전달하며, 참여 공급자는 공급 스케줄링을 통해 부품에 대한 공급비용을 공급 중개 에이전트에게 재전송한다. 공급 중개 에이전트는 이를 다시 부품견적을 의뢰한 각 제조자에게 재전송한다. 부품견적비용을 받은 제조자는 다수의 공급자 중 가장 최소의 공급비용을 선택한 후 제조 스케줄링을 하게 된다. 이때 각 제조자간에는 비용에 대한 경쟁관계에 있고, 주문의 가견적 상태이므로 가장 저렴한 공급자를 선정함으로써 자신의 제조비용을 낮추려고 한다. 제조자는 각 주문에 대한 제조비용을 제조 중개 에이전트에게 재전송하며, 이를 제조 중개 에이전트가 다시 각 구

매자에게 전달하게 된다. 마지막으로 구매자는 제시된 제조비용 중 가장 저렴하게 제시한 제조자를 선정하게 되며, 본 제조자에게 확정주문을 의뢰하게 된다.

이때 제조 중개 에이전트는 구매자와 제조자간의 주문의뢰와 견적비용에 대한 상호통신을 담당하며, 공급 중개 에이전트는 제조자와 공급자간 부품견적의뢰와 공급비용에 대한 상호통신을 담당한다.

이때 각 구매자로부터 확정주문으로 선택된 제조자 중 2개 이상의 주문이 집중되고, 납기일이 겹칠 경우, 가주문 시의 개별 스케줄링 비용이 동시 주문 스케줄링으로 변화되며, 이는 곧 비용증가가 발생된다. 그러므로 다음 단계인 에이전트 협상으로 진행된다.

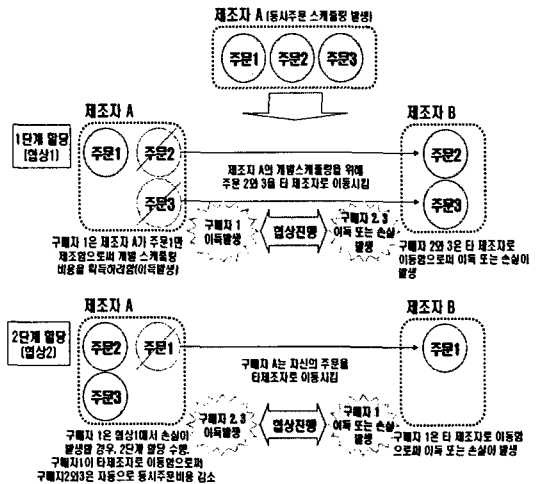


[그림 10] 중개 에이전트의 주문-제조 과정

4.2 에이전트 협상 기본원리

본 에이전트 협상의 기본원리는 할당(assignment)에 있다. 즉 공급사슬의 모든 주문을 어떤 제조자(공급자)에게 할당할 것인가를 에이전트 협상으로 해결한다. 이는 다시말해 협상의 발생원인이 갑작스런 주문의 집중으로 인한 비용 증가가 원인인므로, 집중된 주문을 다시 배분하는 것이다. 동시주문의 발생수를 최대한 적게 한다면, 이로 인해 발생하는 지연생산비용과 조기생산비용의 증가 또한 낮아질 것이다.

이러한 할당의 해법은 이미 문제정의에서도 제시했지만 전통적 방법에 의해서도 수행될 수 있다. 그러나 본 연구에서 이러한 할당 해법을 에이전트 협상으로 진행하는 것은 한번에 수행되는 할당 해법이 아닌 지속적으로 수행되기 때문이며, 동적 공급사슬 할당문제를 해결하기 위해 스케줄링이 계속해서 발생하기 때문이다.



[그림 11] 에이전트 협상의 기본원리

[그림 11]은 에이전트 협상의 기본원리를 설명하고 있다. 만약 모든 구매자가 제조자 A에게 확

정주문이 집중된 상황에서, 구매자는 제조자를 재 선정하게 된다. 결국 집중된 주문을 타제조자에게 어떻게 할당할 것인가를 결정해야 한다. 이때 할당을 결정하는 메카니즘이 에이전트 협상이 된다. 또한 협상이 진행되는 과정에서 발생하는 이득과 손실은 각 제조자의 스케줄링 결과에서 도출된다.

에이전트 협상의 경우, 크게 2단계 할당이 이루어진다. 1단계 할당은 제조자 A에게 확정주문을 의뢰한 구매자 중 하나가 제조자 A에게 개별 스케줄링을 한다면 가장 큰 이득을 얻을 수 있으므로, 제조자 A에게 확정주문을 낸 다른 구매자에게 타 제조자로 이동할 것을 요구한다. 이때 구매자가 이동하는 타 제조자 선정은 개별주문비용이 두 번째로 낮은 차선택이 된다. 다른 구매자가 이 요구에 응할 경우, 구매자 1은 이득을 발생시킬 수 있다. 그러나 차선택으로 이동하게 되는 다른 구매자는 이득이 발생할 수도 있으나, 손실이 발생할 경우도 있다. 이는 다수의 주문이 이동하고자 하는 차선택이 동일하거나, 또는 이미 차선택에 다른 확정주문이 존재할 수도 있으므로 동시주문이 재발생할 수도 있기 때문이다. 만약 이득이 발생할 경우, 협상은 쉽게 성공할 수 있을 것이나, 손실이 발생할 경우, 협상과정을 통해 이에 대한 보상이 이루어져야 한다. 만약 협상결과에서 어느 한쪽이라도 손실이 발생할 경우, 2단계 할당으로 전개된다. 2단계 할당에서는 구매자 1이 스스로 차선택으로 이동함으로써 이득을 얻으려는 할당이다. 구매자 1이 차선택으로 이동할 경우, 제조자 A에 남겨진 구매자 2와 3은 자동적으로 동시주문 비용이 감소되어 이득이 발생할 것이다. 물론 얼마만큼의 이득이 발생할 지는 제조자 A의 재 스케줄링 결과를 통해 판단된다. 그러나 구매자 1이 차선택으로 이동할 경우, 오히려 손실이 발생할 경우도 있다. 이것은 1단계 할당과 같이 이미 다

른 확정주문이 존재할 수 있기 때문이다. 결국 에이전트 협상은 2단계 할당에 의해 진행되며, 협상의 성공여부는 스케줄링 결과에 의해 좌우된다. 이러한 에이전트 협상은 제조자가 공급자를 재선정하기 위한 할당 메카니즘에서도 그대로 적용된다. 이때 구매자간 협상과 제조자간 협상은 독립적이므로 구매자간 협상에서 어떠한 제조자가 재선정되더라도, 공급자 선정의 결과는 동일하다.

앞서 제기된 에이전트 협상을 수리적 모형으로 수립하였다. 본 수리적 모형은 주문 p 가 제조자 j 에게 공급되었을 때의 비용과 주문의 납기일이 겹쳐 동시주문 E 가 발생되었을 때 추가되는 비용의 합을 최소화하기 위한 식이다. 제약조건인 (C1)에서 주문 $p \in M$ 는 반드시 한 명의 제조자에게는 할당되어야 함을 나타내고 있으며, 제약조건 (C2)와 (C3)은 주문 $p \in M$, $q \in M(p \neq q)$ 일때)가 동일한 제조자 $j \in N$ 를 통해 공급되면 $x_p^j = 1$, $x_q^j = 1$, $z_{pq}^j = 1$ 이 되어야 함으로써 제약조건 (2)와 (3)이 서로의 보완역할을 할 수 있도록 정의하였다. DSCPF의 수리적모형에 대한 목적함수, 제약조건 및 변수정의는 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_{p \in M} \sum_{j \in N} c_p^j x_p^j + \sum_{j \in N} \sum_{e \in E} o_e^j z_e^j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_p^j = 1 \quad \text{for } p \in M \quad (C1)$$

$$z_e^j \leq x_p^j, z_e^j \leq x_q^j \quad \text{for } e = (p, q) \in E \quad (C2)$$

$$z_e^j \geq x_p^j + x_q^j - 1 \quad \text{for } e = (p, q) \in E \quad (C3)$$

$$x_p^j \in \{0, 1\} \quad \text{for } p \in M, j \in N \quad (C4)$$

$$z_e^j \in \{0, 1\} \quad \text{for } j \in N, e = (p, q) \in E \quad (C5)$$

주문의 집합: $M = \{1, 2, \dots, m\}$

제조자의 집합: $N = \{1, 2, \dots, n\}$

c_p^j : 주문 $p \in M$ 을 제조자 $j \in N$ 가 공급할 수 있는

최소비용

E : 주문 $p \in M, q \in M, p \neq q$ 의 납기가 겹치는 주문들의 집합

α_{pq}^j : $(p, q) \in E$ 가 동시에 제조자 $j \in N$ 을 통해 공급될 때 추가되는 비용

x_p^j : 주문 $p \in M$ 을 제조자 $j \in N$ 가 처리하면 1, 아니면 0

z_{pq}^j : 주문 $p \in M, q \in M, p \neq q$ 가 동시에 제조자 $j \in N$ 를 통해 공급되면 1, 아니면 0

4.3 에이전트 협상 프로토콜

본 에이전트 협상에서는 모든 협상참여자(구성원)가 이득을 발생시키기 위해서 이득 범위 안에서 손실을 보상할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안한 할당 메커니즘을 통해 어떠한 협상참여자가 얼마만큼의 이득과 손실이 발생했는지가 명확하므로, 협상의 결과가 성공적으로 도출될 수 있다. 자율적 조정과 협력을 보장하기 위해 신뢰할 수 있는 자원할당기법과 중개 에이전트를 기반으로 하므로 모든 협상 참여자는 자신의 이득을 얻으면서도 전체 관점 또한 파레토 최적해가 된다. 이전의 다른 협상시스템에서 협상라운드 진행됨에 따라 offer와 counter-offer에 의한 가격 조정이 중심이었다면, 본 에이전트 협상은 이득범위를 넘지않는 선에서 손실을 보상하는 자동 협상에 중점을 두고 있다. 이러한 자동협상으로 인해 각 협상참여자는 최소한 손실을 보지 않게 되며 이로 인해 협상이 비록 실패하더라도 이는 현재의 자원할당이 파레토 최적해임을 보여주게된다. 이는 기존의 에이전트 협상시스템 결과가 최적해임을 보장하지 못한 한계를 극복하게 해준다. 결국 본 에이전트 협상시스템은 공급사슬의 최적할당을 위한 메커니즘으로 제공된다.

4.4 협상요소 및 알고리즘 정의

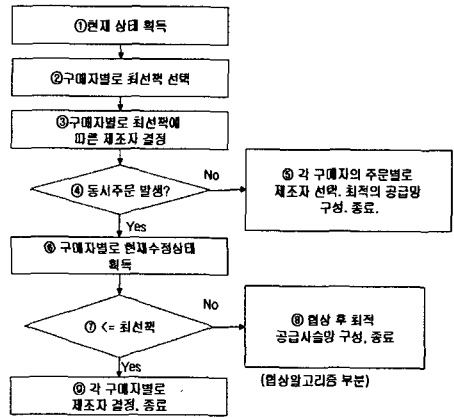
본 에이전트 협상은 중개 에이전트간의 협상을 전제로 하고 있다. 협상참여자는 다만 중개 에이전트가 비용을 의뢰하였을 경우 그에 대한 대답을 하는 기능만을 제공한다. 협상참여자는 협상을 통해 전략적 협력관계를 형성하여, 서로가 손실을 보지 않고, 이득을 얻을 수 있도록 협상을 하게되며, 이를 통해 최선의 협상참여자를 선택하고 최적의 공급사슬을 구성하게된다. 본 에이전트 협상을 위한 협상요소 정의와 알고리즘 흐름도는 다음과 같다.

• 협상요소의 정의

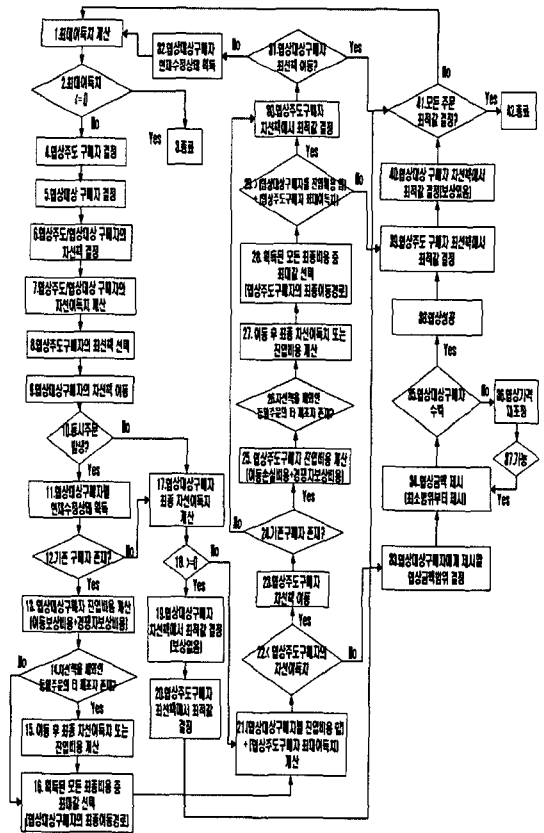
- 현재상태: 각 주문에 참여하는 제조자(공급자)의 첫 번째 스케줄링에 의해 산출된 견적비용을 말한다.
- 최선책: 최선책 발견은 제조자(공급자)가 제시한 현재상태견적비용 중 가장 최소의 값을 말한다.
- 동시주문: 2개 이상의 주문이 하나의 제조자(공급자)에서 확정주문이 발생하면 이를 동시주문이라고 하고, 이때 제조자(공급자)는 모든 주문을 동시에 고려하여 재 스케줄링하게 된다.
- 현재수정상태: 제조자(공급자)가 동시주문으로 인해 재스케줄링 한 새로운 견적값을 말한다.
- 최대이득치 및 협상주도자, 협상대상자 결정: 현재수정상태와 최선책의 차액을 최대이득치라고 하며 이때 가장 큰 값을 가지는 협상참여자가 협상주도자가 된다. 이외의 협상참여자가 협상대상자가 된다.
- 차선책 및 차선이득치: 차선책은 현재수정상태에서 최선책을 제외하고 이동할 수 있는 제조자(공급자) 중 최소 비용을 말한다. 차선이득치는 현재수정상태에서 차선책의 차액을 말한다.

- 경쟁자 보상비용: 협상주도자 및 협상대상자가 차선책 이동 시 이동하고자 하는 협상참여자에 이미 다른 확정주문이 존재하고 있으면 기존 확정주문과의 동시주문이 발생하여 현재 수정상태 획득이 발생한다. 이때 기존 확정주문의 현재수정상태 획득으로 인해 증가하는 비용을 경쟁자 보상비용이라고 한다.
- 이동보상비용: 이동보상비용은 협상주도자의 의뢰에 의해 협상대상자가 동일주문의 타 협상참여자로 최종적으로 이동 시에 발생하는 비용으로 현재수정상태에서 최종 이동비용을 차액한 값이다.
- 이동손실비용: 이동손실비용은 협상주도자가 동일주문의 타 협상참여자로 이동 시 기존 확정주문 존재로 인해 동시주문이 발생되고 최종적으로 이동 시에 발생하는 비용으로 현재수정상태에서 최종 이동경로비용을 차액한 값이다.
- 진입비용: 경쟁자 보상비용과 이동보상(손실)비용의 합이다.
- 협상주도자의 협상금액: 협상주도자가 협상대상자에게 이동할 것을 의뢰할 때 이동보상비용이 발생하면 협상주도자는 최대(차선)이득치내에서 보상하게 되며, 이를 협상금액이라 한다.
- 최종이득치 및 라인이득치: 최종이득치는 협상으로 인한 각 주문의 이동 후 현재수정상태와 이동 후의 비용을 차액한 값을 말하며 라인이득치는 같은 라인에서 모든 주문의 최종이득치 합계이다.

다음으로 에이전트 협상의 전체 흐름도는 [그림 12]에서 살펴볼 수 있으며, 전체 알고리즘 중 협상참여자간의 본격적인 협상을 통해 전체 공급사슬의 최적구성을 이루는 알고리즘은 [그림 13]에서 흐름도로 표현하였다.



[그림 12] 주문-제조생산 방식에서 주문의뢰에 대한 협상참여자 선정 알고리즘



[그림 13] 최적공급사슬 할당을 위한 에이전트 협상 알고리즘

5. 시나리오

본 에이전트 협상을 간단한 시나리오를 통해 살펴보도록 하자([그림 14] 참조). 구매자 A, B, C는 각각 한개의 주문을 제조 중개 에이전트에게 주문전적을 의뢰하였다. 제조 중개 에이전트는 주문에 대한 견적의뢰를 공급사슬에 존재하는 모든 제조자에게 전달하였고, 이 중 제조자 1, 2, 3이 주문전적의뢰에 응하였다. 그리고 제조자 1, 2, 3은 공급 중개 에이전트를 통해 공급자의 부품전적의뢰를 하였다. 역시 3개의 공급자가 이에 응하였고, 공급스케줄링 비용은 공급자 a, b, c 테이블 1번 라인과 같다. 공급 중개 에이전트를 통해 부품전적비용을 받은 모든 제조자는 이 중 가장 저렴한 공급비용을 선택하였고, 그 결과는 주문 1과 2는 공급자 a, 주문 3은 공급자 b가 선정된다. 이를 바탕으로 각각의 제조자는 제조 스케줄링을 하게 되고, 각 제조자의 제조 스케줄링 결과는 제조자 1, 2, 3 테이블의 1번 라인과 같다. 이 결과는 제조 중개 에이전트를 통해 각 구매자에게 전달된다. 각각의 구매자는 이 중 가장 저렴한 제조비용을 선택하는데, 구매자 A, B, C 모두 제조자 1을 선정하고, 확정주문을 의뢰한다. 결국 제조자 1은 3개의 동시주문이 발생되어 재스케줄링을 하게되었고, 그 결과는 제조자 1 테이블의 2번 라인이 된다. 구매자는 제조자 1의 재스케줄링 결과를 통보 받고, 견적의뢰 시보다 비용이 증가하였으므로, 협상에 들어가게 된다.

먼저 협상주도자는 구매자 B가 되며(비용의 증가가 가장 크므로), 구매자 A와 C는 협상대상자가 된다. 협상주도자는 자신이 제조자 1의 개별 스케줄링 비용을 획득하기 위해 협상대상자들에게 차선택으로 이동해 줄 것을 의뢰한다(첫번째 이동 알고리즘). 협상대상자들은 차선택인 제조자 2의

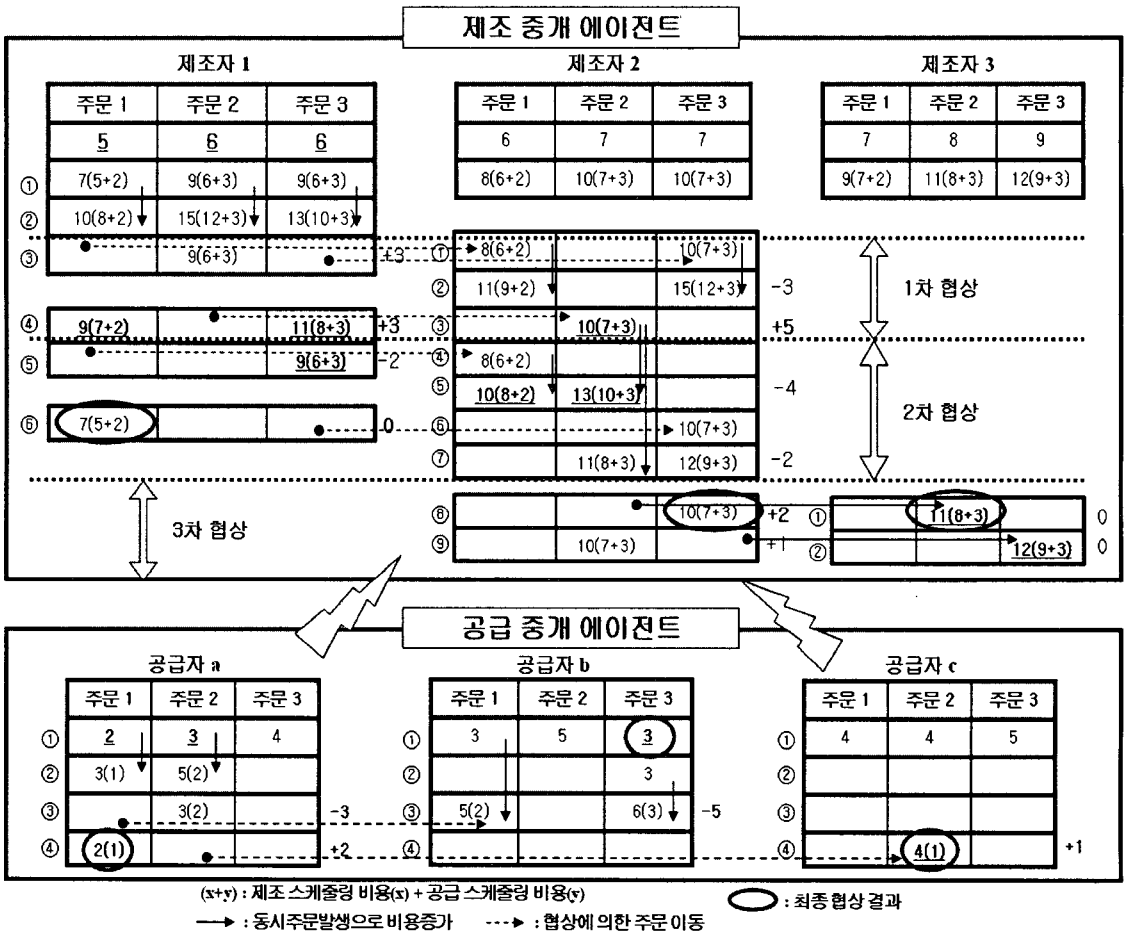
개별 스케줄링 비용이 더 저렴하므로 이동하게 되나, 협상대상자들의 차선택이 같으므로 제조자 2의 재스케줄링이 발생된다(제조자 2 테이블의 2번 라인). 이로 인해 협상대상자들은 -3의 손실을 오히려 입게되므로, 협상주도자에게 3이상의 보상을 요구하게 되고, 협상주도자의 이득은 6에서 3이하로 감소하게 된다(제조자 1 테이블의 3번 라인). 그러므로 협상주도자는 자신이 차선택인 제조자 2로 이동하게 되고 5의 이득을 얻게된다(제조자 2 테이블의 3번 라인). 그리고 최선택에 남겨진 협상대상자들은 자동적으로 3의 이득을 얻게된다(제조자 1 테이블의 4번 라인으로 제조자 1의 재스케줄링 결과임). 여기까지가 1차 협상이다.

다음으로 2차 협상에서는 최선택에 남겨진 협상대상자들 중에서 다시 구매자 C가 협상주도자로 선정되고, 구매자 A에게 차선택으로 이동해 줄 것을 요청한다. 협상대상자는 차선택인 제조자 2로 이동하나, 1차 협상결과에서 이미 구매자 B가 존재하고 있으므로, 다시 제조자 2의 재스케줄링이 발생되고, 이로 인해 구매자 A는 -1, 구매자 B는 -3의 손실이 발생되어 총 4만큼의 보상비용을 협상주도자에게 요구한다(제조자 2 테이블의 5번 라인). 협상주도자는 이로 인해 자신의 이득이 2에서 오히려 -2만큼의 손실이 발생하게 된다(제조자 1 테이블 5번 라인). 다시 협상주도자는 자신이 차선택인 제조자 2로 이동하게 되고, 역시 구매자 B와 동시주문으로 인해 재스케줄링이 발생되어 -2만큼의 손실이 발생되나, 최선택에 남겨진 협상대상자의 이득이 2로 증가되어, 보상금액으로 1을 요구하게 된다(제조자 2 테이블의 7번 라인과 제조자 1 테이블의 6번 라인). 협상대상자는 1을 보상하더라도, 자신은 1만큼의 이득이 발생하므로 협상은 성공하게 될 것이고, 협상주도자는 -2의 손실에서 -1로 손실이 감소하게 된다. 여기서 에

이전트 협상 알고리즘은 협상에서 발생하는 모든 이득과 손실을 합하여 0이상의 결과가 나오게 되면, 협상이 성공하는 것으로 보았다. 이러한 이유는 협상의 결과에서 동시주문이 여전히 존재하고 있으며, 이동되지 않은 제조자가 존재하기 때문이다. 여기까지가 2차 협상의 결과이다.

마지막으로 3차 협상에서는 차선택에 남겨진 구매자 B와 C 중에서 다시 협상주도자를 결정하게 되고(구매자 C가 다시 협상주도자가 됨), 협상대상자인 구매자 B가 차선택인 제조자 3으로

이동하게 된다(제조자 3 테이블의 1번 라인). 이때 협상대상자의 이득과 손실은 없으나, 협상주도자가 2의 이득을 얻게 되므로, 협상을 통해 1만큼의 보상을 제시하게 된다(제조자 2 테이블의 8번 라인). 다음으로 협상주도자가 차선택인 제조자 3으로 이동할 경우, 역시 이득과 손실은 없으나 협상대상자의 이득이 1로 증가된다(제조자 2 테이블의 9번 라인). 그러나 첫 번째 이동의 이득보다 낮으므로, 3차 협상의 결과는 첫 번째 이동으로 결정된다.



[그림 14] 최적공급사슬 할당을 위한 에이전트 협상 시나리오

이러한 구매자간의 에이전트 협상결과를 요약하면 다음과 같다. 구매자 A(주문1)는 제조자 1, 구매자 B(주문2)는 제조자 3, 그리고 구매자 C(주문3)는 제조자 2를 재선정한다. 그 결과 제조비용의 총합은 28이 되며, 협상전의 총 제조비용보다 10만큼 감소하게 된다. 감소된 10의 비용은 협상에서 각 구매자가 취득하는 이득이 된다.

그리고 재선정된 각각의 제조자는 공급자에게 확정주문을 의뢰하게 된다. 그러나 제조자가 스케줄링할 때, 각각의 공급자가 제시한 비용 중 최소의 공급비용을 고려하였으나, 확정주문시에는 공급자의 동시주문으로 인한 재스케줄링으로 비용이 증가될 가능성이 매우 높다. 본 시나리오에서도 공급자 a에게 주문 1과 주문 2가 동시주문되어 재스케줄링됨으로써 비용이 3만큼 증가되었음을 알 수 있다(공급자 a 테이블 2번 라인). 그러므로 제조자간의 에이전트 협상이 이루어지며, 협상의 진행은 구매자간 협상과 동일하다. 제조자간 협상결과, 주문 1은 공급자 a, 주문 2는 공급자 c, 주문 3은 공급자 b에게 재할당된다. 이로인해 주문 1과 주문 3은 최초 견적 스케줄링(1차 스케줄링)결과와 동일하나, 주문 2의 경우 1이 증가되었다. 결국 제조자 3은 제조비용이 최종적으로 11에서 12로 증가되었으나, 공급자 a에게 주문하는 것보다 1만큼의 비용이 감소한 것이고, 협상을 통해 재선정된 공급자가 최적의 구성이므로 불가피한 상황이 된다. 그리고 제조자 3과 공급자 c의 경우는 주문이 하나도 없는 상황에서 확정주문을 받게 되었고, 구매자 C의 경우에도 이미 2만큼의 이득이 발생한 상황이므로 증가된 1의 공급비용은 구매자, 제조자, 공급자가 서로 감수할 수 있는 손실이 된다.

결국 에이전트 협상을 통해 제조자와 공급자의 최적 구성을 달성하게 되고, 전체 공급사슬비용 또한 최소의 비용을 달성하게 된다.

6. 실험

6.1 최적화 실험

본 에이전트 협상이 공급사슬의 최적 할당을 이루어 전체비용의 최소화를 달성할 수 있는지를 먼저 실험하기 위해 최적화 실험을 진행하였다. 본 협상 알고리즘은 프로그램 언어인 C++를 이용하여 구현하였으며, 본 에이전트 협상의 최적화 여부를 확인하기 위해 휴리스틱 분지한계법과 4.2절에서 제시한 수리적 모형의 결과값을 비교하였다. 휴리스틱 분지한계법 또한 C++를 이용하여 구현하였으며, 수리적 모형은 CPLEX 6.0를 통해 실행하였다.

동시주문과 같은 스케줄링 결과는 본 알고리즘에서 난수를 발생시켜 진행하였다. 난수발생의 조건은 개별주문보다는 크며, 동시주문 발생개수에 따라 난수비용이 조절된다. 이때 난수발생의 범위는 수평적 관계에 놓인 구성원(제조자, 공급자) 간에는 독립적으로 이루어진다.

최적화 실험의 데이터 구성과 실험 진행은 다음과 같다. 공급사슬에는 4개의 주문이 있고, 제조자와 공급자는 3개로 구성하여 최소한 1개 이상의 동시주문이 발생하도록 하였다. 최적화 실험은 다음과 같이 3가지 시나리오를 바탕으로 진행하였다.

- 시나리오 1: 제조자 동시주문 2개, 공급자 동시주문 3개
- 시나리오 2: 제조자 동시주문 2개, 공급자 동시주문 2개
- 시나리오 3: 제조자 동시주문 3개, 공급자 동시주문 2개

먼저 이해를 돕기위해 시나리오 1의 실험진행은 [그림 15]와 같다.

- ① 구매자 에이전트1, 2, 3, 4는 각각 하나의 주문에 대한 견적을 모든 제조자에게 요청한다.
- ② 주문견적을 받은 모든 제조자는 공급사슬의 모든 공급자에게 부품견적을 의뢰한다.
- ③ 모든 제조자는 주문에 대한 스케줄링을 통해 제조비용을 산출한다.
- ④ 공급자는 주문의 부품에 대한 스케줄링을 통해 공급비용을 산출한다.
- ⑤ 공급자는 산출된 공급비용을 모든 제조자에게 제시한다.
- ⑥ 제조자는 공급비용 중 가장 최소의 비용을 선택한다.
- ⑦ 제조자는 최소의 공급비용과 각자의 제조비용을 더한다.
- ⑧ 제조자는 ⑦에서 도출된 비용을 모든 구매자에게 제시한다.
- ⑨ 모든 구매자는 각 주문에 대한 최소의 제조비용을 선택한 후, 최소 제조비용의 제조자에게 확정주문을 의뢰한다.
- ⑩ 확정주문을 받은 제조자는 재스케줄링을 하게 된다. 이때 확정주문을 받은 제조자는 최소공

급비용을 제시한 공급자에게도 확정주문을 의뢰한다.

- ⑪ 확정주문을 받은 공급자는 부품에 대한 재스케줄링을 하게 된다.
- ⑫ 확정주문을 받은 공급자는 재스케줄링을 통한 공급비용 결과를 제조자에게 제시한다.
- ⑬ 제조자는 공급자의 재스케줄링 결과와 자신의 재스케줄링 제조비용을 더한다.
- ⑭ 확정주문을 받은 제조자는 ⑬에서 도출된 비용을 모든 구매자에게 제시한다.
- ⑮ 모든 구매자 중 1차 견적의뢰 시 보다 2차 견적비용이 증가된 구매자가 있을 경우, 구매자 간 협상이 발생하며, 이후 제조자간 협상도 발생한다(⑮-1).

최적화 실험은 시나리오1과 같이 진행되며, 시나리오 2와 3도 동일하다.

세가지 시나리오에 대한 제조자와 공급자의 각 주문에 대한 비용은 <표 2>, <표 3>과 같이 구성하였는데, 초기 입력데이터는 각 주문에 대한 제조자와 공급자의 개별주문비용이다.

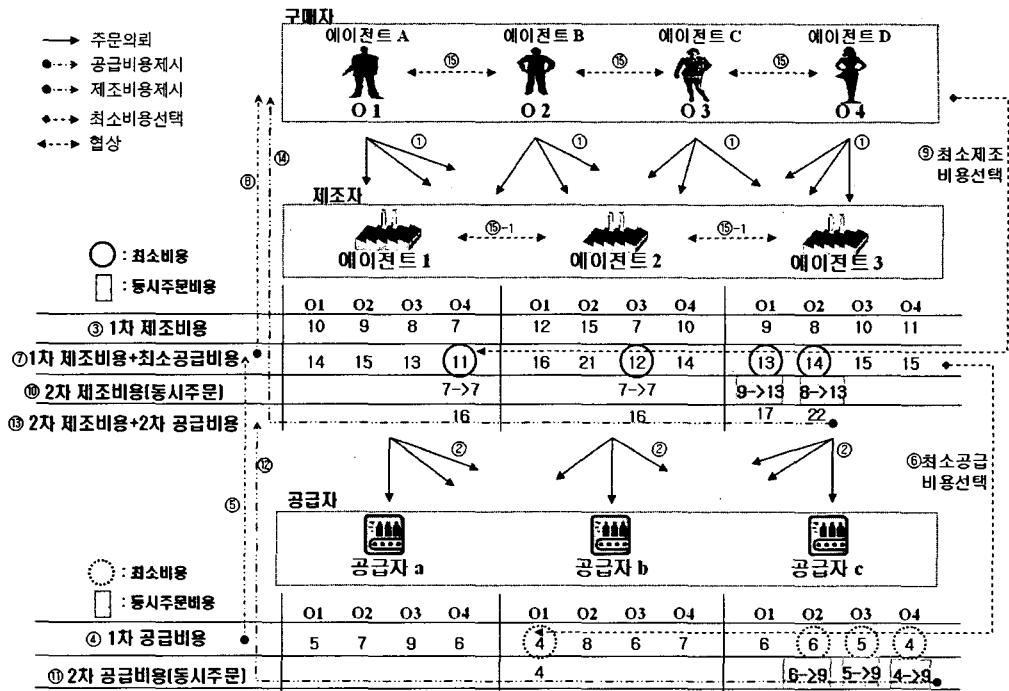
<표 2> 제조자 스케줄링 비용

제조비용		제조자 1				제조자 2				제조자 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오1	입력데이터1	10	9	8	<u>7</u>	12	15	<u>7</u>	10	<u>9</u>	<u>8</u>	10	11
시나리오2	입력데이터2	15	19	25	<u>16</u>	<u>14</u>	22	<u>17</u>	20	17	<u>18</u>	19	23
시나리오3	입력데이터3	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	19	14	16	18	<u>16</u>	13	15	17	20

* O : order(주문)

<표 3> 공급자 스케줄링 비용

공급비용		공급자 1				공급자 2				공급자 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오1	입력데이터1	5	7	9	6	<u>4</u>	8	6	7	6	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>4</u>
시나리오2	입력데이터2	7	<u>5</u>	6	<u>3</u>	<u>4</u>	6	7	4	5	7	<u>5</u>	5
시나리오3	입력데이터3	6	<u>5</u>	<u>4</u>	4	7	6	8	<u>3</u>	<u>4</u>	7	7	6



[그림 15] 시나리오 1의 진행과정

<표 4>는 구매자로부터 가주문에 대한 견적의뢰 비용이다. 이때에는 제조자가 이미 <표 3>의 공급 비용 중 주문별 최소비용을 선택하여 각자의 제조

비용과 합한 비용으로 구성된다. 이렇게 제시된 비용 중 각 주문별 최소비용이 구매자로부터 선택 되어 확정주문이 발생한다(<표 4>의 밑줄부분).

<표 4> 가주문 시의 제조비와 공급비의 합

가주문: 제조비+최소 공급비		제조사 1				제조사 2				제조사 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오 1	제조비+공급비	14	15	13	<u>11</u>	16	21	<u>12</u>	14	<u>13</u>	<u>14</u>	15	15
시나리오 2	제조비+공급비	19	24	30	<u>19</u>	<u>18</u>	27	<u>22</u>	23	21	<u>23</u>	24	26
시나리오 3	제조비+공급비	<u>16</u>	<u>19</u>	<u>19</u>	22	18	21	22	<u>19</u>	17	20	21	23

<표 5> 확정주문 시의 제조비와 공급비의 합

확정주문: 제조비+공급비		제조사 1				제조사 2				제조사 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오 1	제조비+공급비				16			16		17	22		
시나리오 2	제조비+공급비				23	22		27			27		
시나리오 3	제조비+공급비	24	28	29					19				

그러나 확정주문이 발생함으로써 <표 5>와 같이 동시주문이 발생하는데, 이는 <표 2>의 제조자 비용과 <표 3>의 공급자 비용에서 동시주문이 발생하기 때문이다. 이로 인해 <표 4>의 가주문보다 비용이 상승되었음을 알 수 있다.

이로인해 본 에이전트 협상을 이용하여 최적해를 구한 결과가 <표 6>에서 <표 8>까지이다. <표 6>은 먼저 구매자간 협상을 통해 재선택된 제조자와 제조비용이고, <표 7>은 구매

자 협상에서 결정된 제조자간 협상을 통해 재선택된 공급자와 공급비용의 결과이다. 마지막으로 <표 8>에서는 <표 6>과 <표 7>의 비용을 합한 결과로 협상을 통해 도출된 총공급사슬비용이 된다. [그림 16]에서는 이러한 3가지의 시나리오 결과를 종합한 것으로, 협상 전 비용보다 협상을 진행함으로써 총 공급사슬 비용이 모든 시나리오에서 낮아졌음을 확인할 수 있다.

<표 6> 구매자 협상 후 제조자의 확정주문 재할당 및 비용

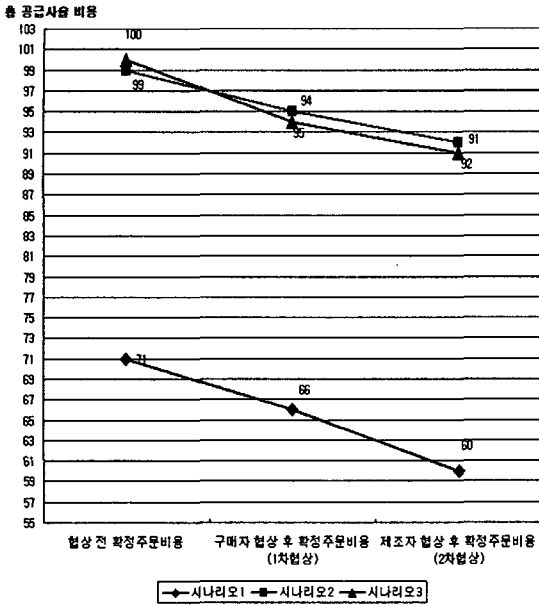
제조비용		제조자 1				제조자 2				제조자 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오1	입력데이터1	10	9	8	<u>7</u>	12	15	<u>7</u>	10	<u>9</u>	<u>8</u>	10	11
협상 후 비용			12		9			7		9			
시나리오2	입력데이터2	15	19	25	<u>16</u>	<u>14</u>	22	<u>17</u>	20	17	<u>18</u>	19	23
협상 후 비용					16	17		18			18		
시나리오3	입력데이터3	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	19	14	16	18	<u>16</u>	13	15	17	20
협상 후 비용				15		18			20		15		

<표 7> 제조자 협상 후 공급자의 확정주문 재할당 및 비용

공급비용		공급자1				공급자 2				공급자 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오1	입력데이터1	5	7	9	6	<u>4</u>	8	6	7	6	<u>6</u>	5	<u>4</u>
협상 후 비용			7			4						7	5
시나리오2	입력데이터2	7	<u>5</u>	6	<u>3</u>	<u>4</u>	6	7	4	5	7	<u>5</u>	5
협상 후 비용			7	7		4							5
시나리오3	입력데이터3	6	<u>5</u>	<u>4</u>	4	7	6	8	<u>3</u>	<u>4</u>	7	7	6
협상 후 비용			5					9	5	4			

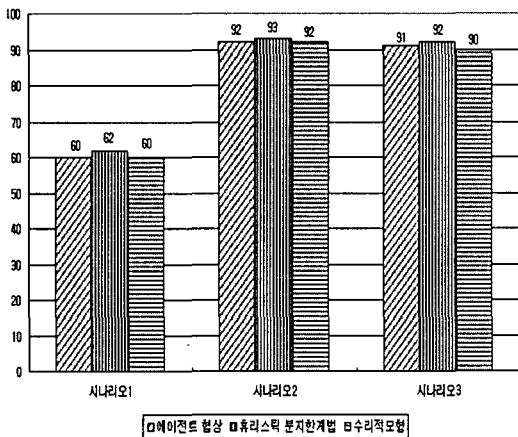
<표 8> 협상을 통한 최종 확정주문과 협상 후 이득

확정주문: 제조비+공급비		제조자 1				제조자 2				제조자 3			
		O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4	O1	O2	O3	O4
시나리오1	제조비+공급비		19		14			14		13			
	협상 후 이득		+3		+2			+2		+4			
시나리오2	제조비+공급비				21	21		25			25		
	협상 후 이득				+2	+1		+2			+2		
시나리오3	제조비+공급비			24		22			25		20		
	협상 후 이득			+5(-2)		+2			-6(0)		+8(-2)		



[그림 16] 협상전후의 공급사슬 비용변화

또한 본 실험의 결과를 수리적 모형과 휴리스틱 분지한계법과 비교하였다. 수리적 모형과 휴리스틱 분지한계법의 난수발생비용은 에이전트 협상과 동일하게 발생하도록 조정하였다.



[그림 17] 에이전트 협상과 전통적 방법론과의 비교

[그림 17]에서는 3개의 시나리오에 대한 에이전트 협상과 휴리스틱 분지한계법, 그리고 수리적 모형의 결과를 비교한 결과이다. 3가지의 시나리오 결과는 큰 차이는 없었으며, 시나리오 1과 2에서는 에이전트 협상과 수리적 모형이 동일한 결과 값을 도출하였고, 휴리스틱 분지한계법만이 2와 3 정도 높은 값이 도출되었다. 시나리오 3에서는 에이전트 협상과 휴리스틱 분지한계법이 수리적 모형에 비해 각각 1과 2 정도로 높은 값이 도출되었다.

그러나 휴리스틱 분지한계법, 수리적 모형과는 달리 에이전트 협상은 협상과정에서 발생하는 이득과 손실을 실시간으로 계산할 수 있으므로, 이에 따라 협상참여자의 전략적 협력관계를 이룰 수 있다. <표 8>에서는 에이전트 협상을 통해 구성원의 이득과 손실을 살펴볼 수 있다. 모든 시나리오에서 구매자, 제조자, 공급자는 협상을 통해 이득을 얻는다. 다만 시나리오 3에서 제조자2와 구매자 2가 각각 -4와 -2의 손실(전체손실-6)을 얻게되지만, 제조자2의 경우 주문1을 통해 얻는 +2의 이득으로 손실이 -2로 감소하고 이또한 제조자1에게서 +2만큼의 보상비용을 받게 된다. 이는 구매자 2도 구매자 1과 3으로부터 보상비용을 받아 손실을 보지않는다.

6.2 성능 실험

앞절에서는 협상 알고리즘의 최적화 여부를 확인하였고 다음으로 협상알고리즘의 수행성능을 살펴보기 위해 입력 데이터를 확대하고, 1·2차 실험을 진행하였다.

먼저 1차 성능실험에서는 <표 9>와 같이 주문 개수와 구성원 수를 동일하게 설정하였으며, 각 시나리오별로 20회씩 알고리즘을 수행하였다. 그리고 각 알고리즘간 수행 시간을 측정하여 20회의

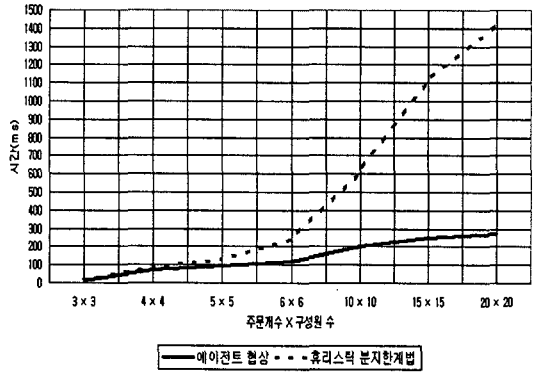
평균값을 도출하였다. 1차 성능실험에서 주문개수와 구성원 수를 동일하게 설정한 이유는 2차 성능 실험에서 주문개수와 구성원 수가 다를 경우와 알고리즘 성능상에 차이가 있는지를 비교하기 위해서이다. 두가지 알고리즘에 대한 20회의 실험결과를 평균화하여 수행시간(단위: ms)을 측정한 결과가 <표 9>와 같다.

<표 9> 주문개수 및 구성원 수에 따른 알고리즘 수행시간 측정결과(1차실험)

주문개수 × 구성원수	에이전트 협상	휴리스틱 분지한계법
3 × 3	10 ms	19 ms
4 × 4	73 ms	90 ms
5 × 5	97 ms	131 ms
6 × 6	121 ms	242 ms
10 × 10	201 ms	612 ms
15 × 15	248 ms	1121 ms
20 × 20	272 ms	1422 ms

<표 9>의 결과에서도 볼 수 있듯이 주문개수와 구성원 수가 증가할수록 휴리스틱 분지한계법보다 에이전트 협상이 더욱 빠른 수행시간을 보였다. 이를 통해 주문개수와 구성원 수가 커질수록 에이전트 협상 성능이 더욱 뛰어남을 알 수 있다.

앞선 실험결과를 바탕으로 각 구성원 및 주문별 평균 수행시간의 측정결과를 그래프로 표현하였다. [그림 18]과 같이 주문개수 및 구성원 수가 5 그리고 15이상일 경우 본 연구에서 제안한 에이전트 협상의 최적해 도출 수행시간은 10ms에서 272ms로 대략 27배 증가한 반면, 휴리스틱 분지한계법의 최적해 도출 수행시간은 19ms에서 1422ms로 약 74배로 급격히 증가한 것을 확인할 수 있다.



[그림 18] 최적해 도출시간 성능 측정 실험 어플리케이션의 실행화면

다음으로 2차 성능실험에서는 <표 10>과 같이 주문개수와 구성원 수에 따라 유형 A, B, C로 분류하였는데, 이는 주문개수가 구성원 수와 크거나 같을 경우, 또는 작을 경우에 따라 성능의 차이가 있는지를 테스트하기 위해서이다. 각각의 유형은 20회씩 협상 알고리즘을 수행하였으며 협상전후의 비용을 통해 차액을 구하고, 협상수행 횟수와 수행속도를 측정하였다. <표 10>의 실험결과값은 평균값으로 도출되었다.

<표 10> 협상알고리즘 2차 수행성능 결과

유형	주문개수 × 구성원수	협상 전 비용	협상 후 비용	협상 전후 차액	협상수행 횟수(회)	수행 속도 (ms)
A	10×5	768	738.5	29.5	6.8	156
B	10×10	1536	1515	21.4	7.6	253
C	10×15	2584.5	2565	20.5	7.9	301

<표 10>의 결과에서 볼 수 있듯이 유형 A, B, C 모두 협상전후 차액이 양으로 증가되어 협상 알고리즘을 통해 전체 공급사슬비용을 절감할 수 있음을 다시 한번 확인할 수 있었다.

또한 유형에 따라 협상 전후의 비용 차이, 협상 수행 횟수(협상 라운드 횟수), 협상수행속도가 달라졌음을 확인할 수 있다. 주문 수가 구성원 수보다 클수록 협상진행 횟수 및 수행속도에서 편차가 더욱 커졌다. 이러한 이유는 각 유형별 최악 경우의 복잡도(worst-case complexity)를 살펴보면 알 수 있다. 먼저 동시주문이 하나의 구성원에게만 발생된 후, 모든 구성원에게 주문이 골고루 할당되는 경우를 최악 경우의 복잡도라고 가정하면, 유형 A는 10개의 구성원이 1개의 주문을 할당받고, 1개의 주문도 할당받지 못하는 5개의 구성원이 발생하는 경우이고, 유형 B는 구성원과 주문 수가 같아 하나의 구성원에 1개의 주문이 할당되며, 마지막으로 유형 C는 구성원 수보다 주문 수가 많으므로 5개의 구성원은 1개의 주문이 할당되고, 다른 5개의 구성원은 2개의 주문이 할당된다. 그러므로 주문수가 구성원 수보다 클수록 동시주문 발생횟수 및 동시주문 개수가 더욱 많아져 수행성능에 영향을 미치게 된다.

7. 결론

공급사슬의 전략적 수준에서 정보공유는 개별적인 구성원들이 경쟁우위와 시스템적 공급사슬에 대한 상호 이해를 가능하게 하며, 이는 협력의 출발점이 된다.

본 연구는 동적 공급사슬환경에서 투명하고 신뢰성 있는 정보공유가 가능하도록 에이전트 협상을 제공함으로써 공급사슬에 존재하는 다수의 주문에 대한 구성원간의 최적 조합과 할당을 선정할 수 있다. 특히 경쟁적 관계에 놓인 다수의 구성원이 협상에 참여함으로써 이득을 증가시킬 뿐 아니라 전체 공급사슬도 최소의 비용을 달성할 수 있

다. 결국 본 에이전트 협상을 통해 전략적 협력관계를 유도할 수 있음을 보여주었다. 이는 공급사슬이 동적으로 거래상대가 변화할 때마다 변경되는 주문비용을 협상을 통해 반영할 수 있음은 물론, 협상 시에 발생하는 이득과 손실을 계산하여, 모든 구성원이 만족할 수 있는 최소비용이라는 목적을 달성할 수 있기 때문이다. 각 개별 구성원의 스케줄링과 비용산정을 위해 SET 모델을 기반으로 제조비용, 공급비용과 함께 조기생산비용과 지연생산비용을 모두 고려하였다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제시한 에이전트 협상 방법론을 보다 다양한 영역에 적용할 예정이다.

참고문헌

- [1] Baita, F., R. Pesenti, W. Ukovich and D. Favaretto, "A comparison of different solution approaches to the vehicle scheduling problem in a practical case", *Computers and Operations Research*, Vol.27(2000), 1249-1269.
- [2] Baker, K. R. and G. D. Scudder, "Sequencing with earliness and tardiness penalties: A review", *Operations Research Society of America*, Vol.38, No.1(1990), 22-27.
- [3] Baker, B. M. and J. Sheasby, "Extensions to the generalized assignment heuristic for vehicle routing", *European Journal of Operational Research*, Vol.119(1999), 147-157.
- [4] Bertsekas, P. D., "A New Algorithm for the Assignment Problem", *Mathematical Programming*, Vol.21(1981), 152-171.

- [5] Bertsekas, P. D., "The Auction Algorithm : A Distributed Relaxation Method for the Assignment Problem", *Annals of Operations Research*, Vol.14(1988), 105-123.
- [6] Bowersox, D. J. and D. J. Closs, *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*, The McGraw-Hill Companies, 1996.
- [7] Bylka, S., "Competitive and cooperative policies for the vendor-buyer system", *International Journal of Production Economics*, (2003), 533-544.
- [8] Choi, T. Y. and J. L. Hartley, "Exploration of Supplier Selection Practices across the Supply Chain", *Journal of Operations Management*, Vol.14, No.4(1996), 333-343.
- [9] Duff, I. S., A. M. Erisman, and J. K. Reis, *Direct Methods for Sparse Matrices*, Clarendon Press, 1986.
- [10] Fischer, K., P. Jorg, and M. Pischel, "Cooperative Transportation Scheduling: an Application Domain for DAI", *Journal of Applied Artificial Intelligence, Special Issue on Intelligent Agents*, Vol.10, No.1 (1996), 1-31.
- [11] Garey, M. R., R. E. Tarjan, and G. T. Wilfong, "One processor scheduling with symmetric earliness and tardiness penalties", *Mathematics of Operational Research*, 13(1988), 330-348.
- [12] Guan, Z., "Application of Decentralized Cooperative Problem Solving in Dynamic Flexible Scheduling", *Proc. SPIE*, Vol. 2620, SPIE, Bellingham, Wash., Aug, (1995), 179-183.
- [13] Gupta, Y. P., M. C. Gupta, and A. Kumar, "Minimizing Flow Time Variance in a Single Machine System Using Genetic Algorithms", *European Journal of Operational Research*, Vol.70(1993), 289-303.
- [14] Jeong, K. C., "Multi-Criteria Decision Making Based Logistics Brokerage Agents", *IE Interfaces*, 16(2003), 473-484.
- [15] Jorge, M. S. and A. F. S. Rui, "Heuristics for The Early/Tardy Scheduling Problem with Release Dates", *Faculdade de Economia*, Portugal, (2003), 1-16.
- [16] Kim, Y. D. and C. A. Yano, "Minimizing Mean Tardiness and Earliness in Single-Machine Scheduling Problems with Unequal Due Dates", *Naval Res.Logistics*, Vol.41(1994), 913-933.
- [17] Lee, H. L. and Billington, "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities", *Sloan Management Review*, Spring(1992), 65-75.
- [18] Russ, C. and G. Vierke, "The Matrix Auction: A Mechanism for the Market-Based Coordination of Enterprise Networks," *German Research Center for Artificial Intelligence*, Research Report RR-99-04, 1999.
- [19] Pei, C. C., "A Branch and Bound Approach for Single Machine Scheduling with Earliness and Tardiness Penalties", *Computers & Mathematics with Application*, Vol.37(1999), 133-144.
- [20] Peng, S. O. and E. M. Thomas, "The Single Machine Early/Tardy Problem", *Management Science*, Vol.35, No.2(1989), 177-191.
- [21] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2001.

[22] Simatupang, T. M. and R. Sridharan, "The Collaborative Supply Chain," *The Inter-*

national Journal of Logistics Management, Vol.13, No.1(2002), 15-30.

Abstract

Optimal Supply Chain Formation using Agent Negotiation in SET Model based Make-To-Order

Hyun Soo Kim* · Jae Hyung Cho** · Hyung Rim Choi* · Soon Goo Hong*

In an effort to composite an optimal supply chain, this study has introduced an agent-based negotiation as a method to assign a lot of orders to a large number of participants. As a resources allocation mechanism to form a strategic cooperation based on information sharing between supply chain members(buyers, manufacturers, suppliers), this agent negotiation provides coordination functions allowing all participants to make a profit, and accomplishing Pareto optimum solution from the viewpoint of a whole supply chain. A SET model-based scheduling takes into consideration both earliness production cost and tardiness production cost, along with a competitive relationship between multiple participants. This study has tried to prove that the result of an agent-based negotiation is a Pareto optimal solution under the dynamic supply chain environment, establishing the mathematical formulation for a performance test, and making a comparison with the heuristic Branch & Bound method.

Key words : Agent Negotiation, Allocation Problem, Dynamic Supply Chain

* Division of MIS, Dong-A University

**School of International Business and Area Studies, Busan University of Foreign Studies