

분권화된 다중 프로젝트 관리를 위한 시장 기반 모델링

이용한
동국대학교 정보산업대학 산업시스템 공학부

Market-based Modeling of Decentralized Multiple Project Management

Lee, Yong-Han
Dongguk University
E-mail : yonghan@dgu.edu

요 약

Due to the widespread availability of the internet, large-scale and dynamic distributed projects in industry are becoming popular. We present a distributed, collaborative, and adaptive control approach for decentralized multiple projects, which is one of representative project environments in modern e-enterprises. In this paper we deal with short term scheduling and rescheduling of resources, which are shared by multiple projects. We in specific, address the dynamic nature of the situation. We model this as a dynamic economy, where the multiple local markets are established and cleared over time trading resource time slots (goods). Local markets are modeled using a combinatorial auction mechanism. Due to the dynamic and distributed nature of economy, through our approach we can achieve higher levels of flexibility, scalability and adaptability.

1. 서론

오늘날의 산업에 있어서 다중 프로젝트 (Multi-project) 환경은 매우 보편적이라고 할 수 있다. 일반적으로 프로젝트라고 하면 일상적인 비즈니스 프로세스와 비교하여, 장기간에 걸쳐서 수행되며, 상호 연계된 다양한 단위 과업 (Task) 들로 구성된다. 프로젝트의 또 다른 특성은 미리 계획된 주요 일정 (milestones) 들을 가지며, 독점 또는 공유되는 주어진

자원 범위 내에서 목표를 성취해야 한다는 점이다. 빠르게 성장하고 있는 인터넷 기술과 세계화의 결과로 오늘날의 다중 프로젝트 환경은 점점 더 지리적으로, 전산적으로, 그리고 조직적으로 분산화/분권화되어 가고 있다. 특히, 조직적인 관점에서 분권화된 프로젝트 그룹간에 존재하는 이기성 (Self-Interestedness)은 다중 프로젝트 관리에 있어서 간과할 수 없는 중요한 변수라고 할 수 있다. 이러한 분산 및 분권화된 환경

에서 여러 개의 프로젝트들을 동시에 진행해야 하는 기업에 있어서 자원의 효과적인 배분과 일정계획 수립은 중요하고도 어려운 문제라고 할 수 있다. 본 논문에서는, 이러한 분권화된 다중-프로젝트 (Decentralized Multiple Project, 이하에서 DMP로 약칭)의 동적인 자원분배를 효과적으로 통합하고 자동화하기 위한 정보시스템 및 통제 메커니즘(Control Mechanism)에 대하여 논의코자 한다.

프로젝트의 자원배분 및 일정계획 수립은 두 단계로 이루어진다. 초기의 프로젝트 계획(Planning)과 진행과정에서의 일정조정(Adaptive Rescheduling)이 그것들이다. 초기의 계획은 프로젝트 진행과정에서 발생하는 여러 가지 피할 수 없는 변동의 결과로 인해 계획대로 성취되는 경우가 매우 드물다. 따라서 단기간에 걸친 자원의 재일정계획 (Rescheduling)은 초기 계획 수립만큼이나 중요성을 가진다. Petrie [1]에 따르면, 분산된 프로젝트 환경에서 매일매일 당사자들간의 직접교섭(Face-to-face)에 의한 조정업무가 전체 관리적 업무의 대부분을 차지한다고 보고한 바 있다. 본 연구는 이러한 배경하에서 분권화된 다중 프로젝트 환경하에서의 적응적 단기 재일정계획 (Adaptive Short-term Rescheduling, 이하에서 “자원통제”로 약칭) 문제를 분권적 특성과 동적인 특성에 초점을 맞추어서 접근하였다. 이를 위하여, 다중 에이전트 시스템 (Multiagent System: 이하 MAS로 약칭) 기반의 정보시스템 모델과 시장기반 통제 메커니즘 (Market-based Control Mechanism)이 제안되었는데, 이 두 접근방식의 적합성에 대한 논의는 [2]에서 찾아볼 수 있다.

2. 가상시장 (Virtual Economy) 모형

DMP 환경에서의 의사결정자들과 비공개 정보 보유자 (Private Information Holder)들은 여러 가지 종류의 소프트웨어 에이전트 (Software Agent)들로 구체화되며, 이들 에이전트들의 조직은 가상의 시장 (Market 또는 Economy)을 형성한다. Corkill과

Lander[3]는, 보다 지속적이고 규모가 큰 에이전트 기반 시스템의 경우에 단순한 (Flat) 연합구조(Federated Architecture) 보다는 좀 더 개별 에이전트의 역할이 특화되고 조직적 구조를 가질 필요가 많다고 지적한 바 있다. 이들의 논리에 따르면, DMP 자원통제 시스템의 경우에 공고한 에이전트 조직구조 (Organizational Structure)가 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템에서는, DMP 환경을 모형화하는 가상의 시장에서 시장 메커니즘 (즉 동적으로 시장을 설립하고 사고 파는 과정을 통해서 정리 (Clear)해나가는 메커니즘)을 기반으로 에이전트들간에서 상호작용을 하게 된다.

2.1. 시장기반 통제 메커니즘

다중 에이전트의 조직을 설계하는데 있어서 무엇이 에이전트로 모형화 되어야 하는가의 문제 (Agent Encapsulation Decision)는 가장 기본적인 물음이라고 할 수 있다. 여기에는 크게, 기능중심 접근 방식과 실체/실물 중심의 접근 방식이 있을 수 있다[4]. 단순 거래(Transaction) 위주의 정보시스템에 비하여 보다 실체적인 개체들과 의사결정자들을 모형화해야 하는 DMP 자원통제 시스템의 경우에는 두 번째 접근 방법이 보다 자연스럽다. 이에 따라, 저자는 다음과 같은 다섯 가지의 주요 에이전트 클래스를 정의하였다.

- **Project Manager (PM)**는 단위 프로젝트의 성공적인 완수(특히 일정과 관련하여)를 책임지며, 이를 위해 개별 Task Agent (TA)들을 조정(Coordinate)한다.
- **Task Agent (TA)**는 개별 과업을 책임지며, 이를 위해서 가상의 자원 시간-슬롯 시장(Resource Time-Slot Market)에서 구매자의 역할을 담당한다.
- **Resource Manager (RM)**은 하나의 자원 집합을 모니터링하고 조정한다. 이는 자원을 가지고 있는 실제 부서의 조직과 연관되어 정의된다.

- **Resource Agent (RA)**는 개별 자원을 책임진다. 하나의 RA는 자원 시간-슬롯 시장에서 판매자로서 TA들과 상호작용을 한다.
- **Coordinator Agent (CO)**는, 가상시장을 형성하는 다수의 자원 시간-슬롯 시장들을 관리, 조정하는 역할을 한다.

아래의 그림 1은 이들 에이전트들에 의해서 구성된 MAS 조직의 한 예를 보여준다.

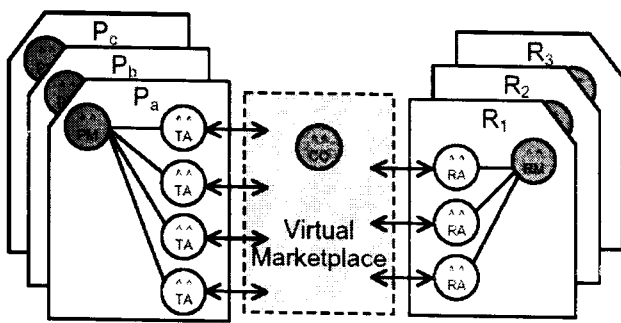


그림 1. DMP 자원통제를 위한 MAS 조직의 예

2.2. DMP 경제 (DMP Economy) - 솔루션 모델

DMP 통제 환경은, 자원의 시간-슬롯¹ (Time Slots)들을 에이전트들이 서로 사고 파는 가상의 시장으로 모형화하였다. “DMP 경제”로 부르는 전체적인 DMP 자원통제 모형은 보다 작은 지역시장 (Local Market)들이 내부에서 동적으로 생성되고 정리 (Clear)되는 과정을 반복한다는 의미에서 동적 시장 (Dynamic Economy)이라고 할 수 있다. 이렇게 DMP 경제는 주어진 시간 t 에서 정의되는 일시경제 (Temporary Economy)들의 연속으로 볼 수 있으며, 하나의 일시경제는 내부적으로 다수의 지역시장들의 생성 및 정리과정을 포함하게 되어, 전체적으로 계층화된 시장 구조를 형성하다. 개별적인 지역시장은 개별 자원의 시간-슬롯을 재분배하는 역할을 담당하기 때문에, 하나의 RA와 다수의 경쟁적인 TA들로 구성

¹ 시간을 일정간격으로 분할하여 이산화된(Discrete) 개체.

된다. 모든 지역시장들이 정리되어, 어떤 에이전트도 자신이 가지고 있는 것들을 거래 (Trade)하기를 원치 않게 되었을 때, 우리는 이들 지역시장들로 구성된 일시경제가 비로소 정리되었다고 하고, 이때 DMP 경제는 평형상태 (Equilibrium)가 되었다고 정의한다. 심각한 변동사항의 발생으로 인해 다시 일시경제의 생성이 요구되기까지 DMP 경제는 평형상태로 유지된다.

3. 시장기반 통제 메커니즘

주어진 통제창² (Control Window) 내에서 DMP 자원의 일정계획을 다시 수립하는 데는 두 가지 종류의 제약조건 - 선후관계상의 제약 (Precedence Constraints)과 자원상의 제약 (Resource Constraints) - 이 만족되어야 한다. 저자는 “선후관계 비용 타토니모” (Precedence Cost Tâtonnement: 이하 P-TATO로 약칭)라고 하는, 시장기반의 메커니즘을 설계하였다. P-TATO는 자원상의 제약을 분산된 지역시장을 통해서 최적화 방식으로 풀고, 타토니모³ (Tâtonnement) 방식의 반복적 절차를 통해서 선후관계의 충돌이 없는 해답을 찾아나간다. 다음은 P-TATO의 대략적인 절차이며, 세부사항은 [2]에서 자세히 논의하였다.

- **(Detect Changes)** 시간에 따라서 움직이는 통제창은 새로운 과제들과 이들에게 할당된 자원에 초점을 바꾸어간다. 이때, 새롭게 발생하는 변동사항들 (예를 들어, 특정 기계의 고장으로 인한 기존 일정의 차질)이 RA 등에 의해서 인지된다.
- **(Initialize Temporary Economy)** 새로이 인지된 변동사항은 해당 RM에게 보고되고, RM은 다른 RM들에게 상황을 전달함으로써, 일시경제를 발의한다. 각 RM들은 통제창에 걸쳐서 배분되어 있는 자원들의 해당 RA들의 정보를 CO에게 전

² 필요한 경우에 자원의 재분배가 이루어지는 시간의 범위

³ General Equilibrium을 찾기 위한 반복적인 탐색 알고리즘. 자세한 내용은 미시경제 문헌 참조.

달한다.

- **(Request for Bids)** CO는 각 RA들에게 지역시장을 개설토록 요청하고, 이러한 메시지를 받은 개별 RA들은 입찰요청 (Request for Bid)을 관련 TA들에게 발송한다.
- **(Bid for Resources)** 각 TA들은 자원 시간-슬롯 번들 (Time-Slot Bundle⁴)에 대한 입찰 (Bid)을 생성하여 RA에게 발송한다. 자원 시간-슬롯 번들에 대한 각 과업의 효용 (Utility) 가치는 다음 3.1절에서 언급할 “예상 지연 비용” (Estimated Deviation Cost)과 “총 선후관계 비용” (Aggregate Precedence Cost)을 결합하여 계산한다.
- **(Calculate Optimal Local Allocations)** 각 RA는 제출된 입찰정보들을 이용하여, 이 조합경매 (Combinatorial Auction)의 낙찰 (Winning Bids)을 계산한다. 이때의 낙찰결과에 근거한 자원배분은 총효용 (Aggregate Utility)를 최대화한다. RA는 이에 따른 새로운 과업 일정을 입찰자(TA)들에게 알린다.
- **(Update Precedence Cost Vector)** 각 TA는 선후관계를 위배한 시간-슬롯들에 대해서, 벌점을 부과함으로써 선후관계 비용 벡터(3.1절에서 설명)를 갱신한다.
- **(Check Clearing Condition)** 만약 선후관계 비용 변동치의 합이 주어진 허용오차 범위에 들면, 현재의 일정계획은 선후관계를 만족한다고 판단할 수 있으며, 각 지역시장에 대한 정리 (Clearing) 결정을 내린다. 만약 정리 조건이 만족되지 않는 경우에, RA들은 다시 입찰요청을 TA들에게 보내고 위의 단계들을 반복한다.
- **(Clear Local Markets)** 위에서 지역시장 정리 조건이 만족된 경우에, CO는 각 지역시장에 정리 (즉, 관련 시간-슬롯들을 모두 주어진 낙찰결과에

따라 처분)를 요청하고, RA들과 TA들은 이에 따라 일정계획을 갱신하며, DMP 경제는 평형상태로 복귀한다.

3.1. 효용함수 (Utility Function)

주어진 통제창 $h=[t+1, t+n]$ 내에서 어떤 TA (M_i)의 입찰(X_i)은 시간-슬롯 번들과 이의 효용(Utility) 값 쌍들의 집합으로 정의된다. 즉, 시간-슬롯 번들 $B_{j,k}$ ⁵에 대한 효용을 $u_i(B_{j,k})$ 라고 하고, 과업 i 의 수행시간을 δ_i 라고 할 때, 입찰 X_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$X_i = \{(B_{j,k}, u_i(B_{j,k})) : t+1 \leq j \leq k = j+\delta_i - 1 \leq t+n\} \quad (1)$$

RA들은 입찰과정을 통해서 수집된 X_i 들을 이용하여 지역시장에서 최적의 자원분배를 시도하게 된다. 각 TA들은 이러한 입찰을 생성하기 위해서 내부적인 계산과정을 수행하게 되는데, $u_i(B_{j,k})$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$u_i(B_{j,k}) = v_i(B_{j,k}) - c_i(B_{j,k}) \quad (2)$$

첫 항 $v_i(B_{j,k})$ 는 $B_{j,k}$ 에 대한 M_i 의 실제적인 효용 평가로서 다음 단락에서 설명될 예상 지연 비용($\hat{\theta}$)에 대한 감소함수로 정의된다. 두 번째 항 $c_i(B_{j,k})$ 은 총 선후관계 비용 (Aggregate Precedence Cost)이다. $c_i(B_{j,k})$ 값이 크면 클수록, 인접 과업들과의 선후관계 충돌로 인해 $B_{j,k}$ 의 효용가치가 덜하다는 의미를 가진다.

어떤 프로젝트의 지연비용 (Deviation cost function) $\theta(t)$ 은, 해당 프로젝트의 지연 (보다 일반적으로는 지연뿐 아니라 조기완료에 따른 비용도 포함)에 따른 비용함수이다. 이러한 프로젝트 차원의 비용함수는 과업 단위로 투영될 필요가 있는데, 이를 위해서 각 TA들은 인접 과업을 담당하는 TA들과의 정보 교환을 통해서 해당 과업의 “예상 지연 비용 함수”

⁴ 서로 인접한 자원 시간-슬롯들의 집합

⁵ 시간-슬롯 j 부터 k 까지의 연속된 시간-슬롯의 집합

$\hat{\theta}_i(t)$ 를 계산해야 한다. 인접 TA들간의 지협적 정보 교환으로부터 $\hat{\theta}_i(t)$ 를 계산해나가는 알고리즘은 [2] 에 자세히 설명되어 있다.

과업 i 의 “선후관계 비용 벡터” $c_i = (c_i^1, \dots, c_i^l, \dots, c_i^n)^T$ 는 크기 n 의 통제창 내에서 정의된다. 벡터의 각 요소 c_i^l 는 통제창의 해당 시간-슬롯 l 에서 선행하는 과업과의 중복배분 또는 미배분으로 인해서 발생하는 비용으로 정의될 수 있다. c_i 는 새로운 지역 최적배분 (Local Optimal Allocation)을 기반으로 매 반복 (Iteration) 마다 갱신된다. 개별 비용 c_i^l 의 주어진 시간-슬롯 번들에 걸친 합계는 “총 선후관계 비용” (Aggregate Precedence Cost) 이라고 부르며, $c_i(B_{j,k})$ 로 표시한다. 즉, 시간-슬롯 번들 $B_{j,k}$ 에 대한 총 선후관계 비용은 다음과 같이 정의된다.

$$c_i(B_{j,k}) = \sum_{l=j}^k c_i^l \quad (3)$$

선후관계 비용은 선후관계 제약조건과 상충되는 자원배분을 피하게 해준다. 자원에 대해 직접적으로 가격을 부과하는 방식에 비해서, 선후관계 비용을 조절해가는 접근방법은, 선후관계 충돌을 개선하는데 있어서 뚜렷한 방향성을 가진다는 장점을 가진다. 표준 타토니모 형태의 메커니즘들은, 자원의 가격조정을 위해서 활용되어 왔으나, 이러한 방법론들은 목적함수 개선 방향성의 부재와 이로 인한 순환성 반복 (Cycling) 및 낮은 수준의 수렴성 (Convergence) 등과 같은 중요한 결함이 지적되어 왔다. 선후관계 비용의 조절을 위해서 P-TATO 메커니즘은 두 개의 매개변수 \bar{c}_l 와 \bar{c}_D 를 사용하는데, 이는 각각 과부하 (Overloaded) 슬롯에 대한 단위 비용증가량과 미할당 (Under-loaded) 슬롯에 대한 단위 비용감소량을 의미한다.

3.2. 지역시장 평가 메커니즘

P-TATO 메커니즘을 통해서 지역시장들에서 거래되는 자원 시간-슬롯들은, 매 반복마다 처분 (Clear)

되기 보다는 평가 (Evaluate) 된다. 즉, 각 RA들은 입찰과정을 통해서 시간-슬롯 번들들을 평가하지만, 실제적인 처분은 앞서 설명한 지역시장 정리조건이 만족되었을 때에 비로소 처분되게 된다. 이러한 지역시장 평가 메커니즘은, 시간-슬롯들 간에 상보성 (Complementarity)을 허용하는 경매방식 즉 조합경매 (Combinatorial Auction) 메커니즘으로 공식화될 수 있다.

이 메커니즘에서는 개별 시간-슬롯이 아닌 인접한 시간-슬롯들의 집합(즉, 번들 $B_{i,j}$)에 대한 입찰을 허용한다. 이때 낙찰 (Winning Bids)은 봉인입찰경매 (Sealed Bid Auction) 메커니즘에 의해서 결정된다. B 를 모든 가능한 번들의 집합, 즉 $B = \{B_{i,j} : 1 \leq i \leq j \leq n\}$ 이라고 하자. 이 경매의 낙찰 번들은 서로 분리 (disjoin) 되어야 한다. 왜냐하면 어떠한 시간-슬롯도 중복 배분될 수 없기 때문이다. 하나의 “배분” (Allocation)은 모든 $B, B' \in S$ 에 대해서 $B \cap B' = \emptyset$ 를 만족하는 어떤 집합 $S \subset B$ 라고 할 수 있다. $u_i(B)$ 를 TA_i 에 의해서 제출된 입찰이라고 하고, $w(B) = \max_i \{u_i(B) : TA_i \text{ bids for } B\}$ 로 정의할 때, 해당 RA의 목표는 최적 배분 S^* 를 다음과 같이 구하는 것이다.

$$S^* = \arg \max_S \sum_{B \in S} w(B) \quad (4)$$

하나의 지역시장이, 하나의 RA와 TA들의 집합 ($M = \{M_i\}$), 그리고 통제창 $h = [1, n]$ 으로 정의되었다고 하자. RA가 입찰요청 메시지를 모든 $M_i \in M$ 에게 보내서 지역시장을 형성했다고 하면, 위의 표현들을 이용해서 해당 경매 메커니즘은 다음과 같이 정리될 수 있다.

1] 각 에이전트 $M_i \in M$ 는 입찰을 생성한다.

$$X_i = \{(B_{j,k}, u_i(B_{j,k})) : 1 \leq j \leq k \leq n\}$$

2] 해당 RA는 최적배분을 계산한다.

$$S^* = \arg \max \{W(S; X) : B \cap B' = \emptyset; \text{ for every } B, B' \in S\} \quad (5)$$

$$S \subset B$$

3] RA 낙찰정보를 M_i 들에게 전달한다.

여기서 등식 (5)는, “복지함수” (Welfare Function) $W(S; X)$ 를 도입함으로써 등식 (4)를 일반화하였다. 개별 효용에 대해 증가하는 복지함수를 정의할 경우에는 복지 최적화 분배 (Welfare Maximizing Allocation) S^* 는 파레토 효율성 (Pareto Efficiency)도 달성하게 된다[5]. 일반적인 조합경매의 경우에 최적 낙찰을 결정하는 문제는 NP-Complete으로 알려져 있다[6]. 이를 효과적으로 풀기 위한 여러 가지 발견적 방법들이 문헌에 소개된 바 있다. 저자는 DP (Dynamic Programming)을 기반으로 하는 효과적인 발견적 방법을 개발하여 적용하였다[2].

이상에서 설명된 절차에 따라서 하나의 TA로부터 생성되는 입찰 프로파일⁶ (Bid Profile)은, 다음 그림 2의 예에서 보듯이 매 반복 (Iteration) 마다 동적으로 변화하게 된다. 그림의 예에서는 10번의 반복 후에 DMP 경제가 평형상태로 돌아갔음을 알 수 있다.

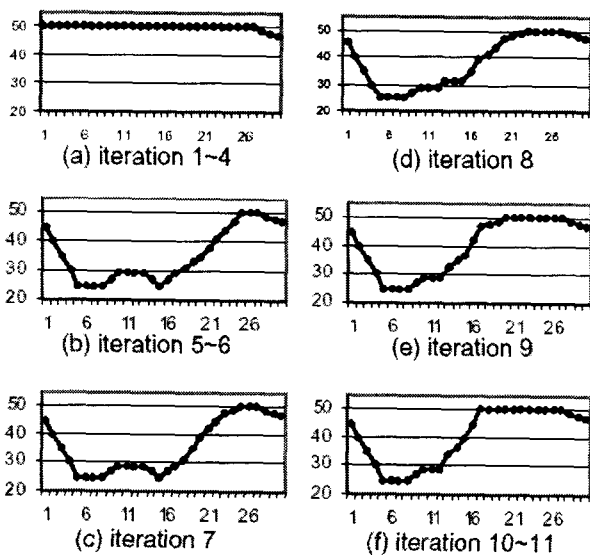


그림 2. 한 TA의 입찰 프로파일 (Bid Profile)의 동적인 변화 예

⁶ 입찰정보를 그래프로 표현했을 때, 가로축은 각번들의 시작 슬롯을 표시하고, 세로축은 이에 해당하는 효용함수 값을 표시한다.

4. 시스템 구현 및 모의실험

에이전트 연구 문헌들을 통해서 현재까지 매우 다양한 에이전트 모델들이 소개되었고 구현되었다. 하지만, 어떠한 모델도 모든 경우에 적합할 수 없다. 대신 서로 다른 문제 영역에 서로 다른 에이전트 모델들이 적합하게 적용될 수 있다. 본 연구를 통해서 개발된 DMP 에이전트의 모델은 Behaviour-Oriented, State-Based, 그리고 Message-Driven으로 요약된다. 에이전트 통신 및 관리 모델은 FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)의 에이전트 통신 및 관리 명세[7]를 따라서 설계되었으며, JADE (Java Agent Development Framework)[8]을 이용하여 구현되었다. 구현에 대한 자세한 설명은 지면 제약상 생략한다.

제안된 시장 메커니즘은 다양한 모의실험을 통해서 검증하였는데, 필요한 DMP 사례들을 생성하기 위해서 범용 프로젝트 사례 생성 프로그램인 ProGen[9]을 활용하였다. 자세한 모의실험 설정 및 세부실험 결과들은 [2]를 참조하기 바라며, 주요 모의실험 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 지역시장 평가 메커니즘은 높은 수준의 계산 효율성과 최적해에 근사한 해답품질을 보여주었다.
- 일시경제 수준에서는 평균적인 계산시간이, 중앙집중식 IP 모델을 LINDO Solver로 풀었을 때와 비교해서 약 12%밖에 소요되지 않았으며, 역시 최적해에 근사한 해답품질을 보여주었다.
- DMP 환경의 크기가 전체적인 성능에 미치는 영향은 완만한 선형관계를 나타냄으로써, 제안된 방법론이 실제 크기의 문제에도 적용될 수 있음을 보여주었다.
- 수렴 패턴과 같은 동적인 움직임과 계산성능 등이 프로젝트 네트워크의 복잡도에 대해서 유의한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 초기 상태에 무관하게, 일시경제의 결과로 생성되는 일정계획은 주어진 프로젝트 중요도 분포

를 명확하게 반영함으로써, 제안된 메커니즘이 제대로 작동함을 보여주었다. (그림 3 참조)

- 높은 수준의 수렴 비율과 100%의 가능해 (Feasible Solution) 가득성을 보여주었다.

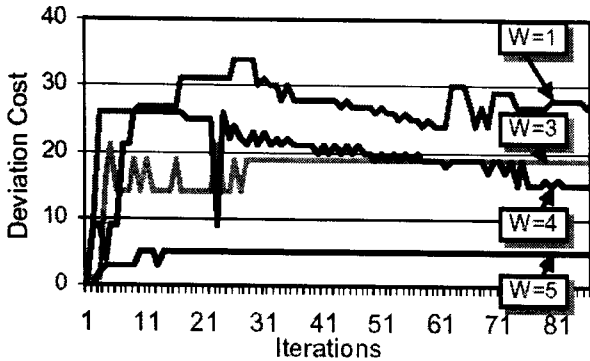


그림 3. 편차 비용의 동적인 움직임 (W는 각 프로젝트의 중요도를 정의하는 값)

5. 결론

분권화된 다중 프로젝트 (DMP) 환경에서 효과적인 자원통제는, 매일매일의 직접교섭에 의한 자원 재일정계획에 심각한 수준의 관리자 공수가 소요되고 있다는 점에서, 매우 중요한 문제이다. 또한, 운용 수준의 직접교섭은 기업차원의 프로젝트 별 중요도에 따른 최적 자원통제와도 명확하게 연계되기가 어렵다. 이러한 문제점은 동적이고, 분산화되어 있으며, 서로 긴밀히 연관되어 있는 DMP 환경의 특성에 근거한다. 본 연구에서 저자는 이러한 DMP 자원통제의 문제점들을 극복하기 위한 MAS 기반의 정보시스템 기반구조와 시장 기반의 통제 메커니즘을 개발하였으며, 모의실험에 의한 분석을 통해서 계산의 효율성 및 솔루션의 품질을 검증하였다.

[참고문헌]

[1] C. Petrie (1998) "Process Coordination," URL: <http://cdr.stanford.edu/ProcessLink/papres/white-dpm.html>.

[2] Y.-H. Lee, S.R.T. Kumara, and K. Chatterjee (2003) "Multiagent based Dynamic Resource Scheduling for Distributed Multiple Projects Using a Market Mechanism," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol 14, No. 5 (to appear).

[3] D. Corkill and S. Lander (1998) "Diversity in Agent Organization," Working Paper, Blackboard Technology.

[4] W. Shen and D. Norris (1999) "Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: State-of-the-art Survey," *International Journal of Knowledge and Information Systems*, Vol. 1, pp129-256.

[5] H. Varian (1984) *Microeconomic Analysis*, W. W. Norton and Company, New York, NY.

[6] S. de. Vries and R. Vohra (2000) "Combinatorial Auctions: a Brief Survey," Working Paper, Department of Managerial Economics and Decision Science, Northwestern University.

[7] FIPA (1998) FIPA 97 Specification, Version 2.0, Part 2, Agent Communication Language, Foundation for Intelligent Physical Agents.

[8] F. Belifemine, A. Poggi, and G. Rimanssa (1999) "JADE - a FIPA-Compliant Agent Framework," Internal Technical Report, CSELT S.p.A.

[9] R. Kloisch, A. Sprecher, and A. Drexel (1992) "Characterization and Generalization of a General Class of Resource-Constrained Project Scheduling Problems," Research Report No. 301, Institut für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Germany.