

지역적 정보 공유를 활용하는 멀티 에이전트 시스템 기반의 공급사슬 관리 아키텍처

안 형 준*, 박 성 주**

A Multi-agent Architecture for Coordination of Supply Chains with Local Information Sharing

Hyung Jun Ahn, Sung Joo Park

Multi-agent technology is being regarded as one of the promising technologies for today's supply chain management because of its desirable features such as autonomy, intelligence, and collaboration. This paper suggests a multi-agent system architecture with which companies can improve the efficiency of their supply chains by collaborative operation. Reflecting the practical difficulties of collaboration in complex supply chains, the architecture allows agent systems to share information with only neighboring companies for the coordinated operation. The suggested architecture is elaborated with a collaboration model based on Petri-net, conversation models for communication, and internal behavior models of each agent. A simulation experiment was performed for the evaluation of the suggested architecture. The result implies that when the estimation of market demand is higher than a certain level, the suggested architecture can be beneficial.

Keywords : Multi-agent Architecture, Supply Chains, Local Information Sharing

* KAIST 테크노경영대학원 대우교수(교신저자)

** KAIST 테크노경영대학원 교수

I. 서론

공급 사슬(supply chain)의 중요성은 시장이 세계화 되고 전자상거래가 널리 이용됨에 따라 계속 증대되고 있다[Ito, Abadi, 2002; Nissen, 2000]. 공급사슬은 원료나 부품의 공급자, 공장, 창고, 도매 및 소매 유통 회사 등으로 이루어진 네트워크로 이를 통해 제품이 생산, 조립 되어 최종 소비자에게 전달된다. 공급 사슬은 따라서 네트워크 내부의 회사들 간의 복잡한 물류와 정보 및 자본의 흐름을 포함하게 된다[Yuan et al., 2001]. 오늘날 공급 사슬 전체의 관점에서 효율을 높이는 것은 매우 중요한 이슈이다.

공급 사슬에서 기업들간의 협력을 위해서는 EDI나 ERP 등의 많은 기술들이 사용되어 왔으나 최근에는 멀티 에이전트 기술이 새로운 대안으로 많은 연구자들과 기업들의 관심의 대상이 되고 있다. 멀티 에이전트 기술은 분산 환경에서 자율적, 지능적 협동이 요구되는 시스템들에 매우 적합한 기술이며 따라서 공급 사슬 관리에 적용하기에 매우 적합한 기술이라고 볼 수 있다[Nissen, 2001; Swaminathan, 1997; Yuan et al., 2001; 이호창, 김민용, 2000].

공급 사슬에 대하여 많은 학자와 기업들이 관심을 갖고 있는 이슈 중의 하나는 공급 사슬 내부의 기업들간의 정보의 공유가 공급 사슬의 효율을 어떻게 증대시킬 수 있는지에 관한 것이다. 예를 들어 공급자가 구매자의 재고 정보를 활용함으로써 미래의 수요 예측을 더 정확히 할 수 있고 이를 통해 서비스율을 높일 수 있다는 연구들이 있었다[Yu et al., 2001; Lee et al., 2000]. 반면, 공급사슬에서 기업들간의 정보의 공유가 항상 가능한 것은 아니다[Verwijmeren et al., 1996; Boyson et al., 2003]. 공급사슬은 복잡하며 시간에 따라 변할 수 있다. 또한 기업들은 정보의 공유를 꺼릴 수도 있으며 서로 다른 기업들에서 사용되는 다른 형태의 정보시스템들로 인해 정보의 공유가 어려울 수도 있다. 특히 직접 거래를 하는 구매자-공급자 관계에서의 정

보 공유는 비교적 쉬운 반면 공급 사슬 내부에서 멀리 떨어져 위치하는 기업들 간의 정보 공유는 더욱 어렵다고 볼 수 있다.

본 연구의 목표는 이러한 현실적인 한계를 감안한 멀티 에이전트 기반의 협력적 공급 사슬 관리 시스템 아키텍처를 제시하고 이의 효율성을 시뮬레이션을 통해 분석해 보는 것이다. 본 연구에서 제시되는 아키텍처는 에이전트 시스템들이 인접한 구매자들 및 공급자들과의 협력을 통해 공급 사슬의 효율을 높일 수 있도록 설계되어졌다. 제시된 아키텍처에 의해 에이전트 시스템들은 지역적 정보 공유(local information sharing)만을 통해 공급 사슬의 구조를 파악하며 또한 인접한 구매자들의 재고 정보를 활용한다. 이렇게 공유된 정보를 통해 각 기업들은 미래의 수요를 예측하고 그를 바탕으로 생산 계획 및 주문 계획을 수립하게 된다.

본 연구에서는 그러한 멀티 에이전트 시스템 아키텍처를 제시하기 위해 개별 기업이 어떤 종류의 에이전트로 이루어졌는지를 제시하고 각 에이전트들 간의 협력을 조정하는 모형을 제시하며 또한 개별 에이전트들의 작업을 모형화 한다. 시뮬레이션 실험에서는 세 가지 다른 시나리오를 활용하여 에이전트들의 협력을 통한 공급 사슬의 구조 파악과 재고 정보의 활용이 어떤 결과를 가져오는지 분석한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 관련 연구를 검토한다. III장에서는 공급 사슬 관리를 위한 멀티 에이전트 시스템 구조가 제시된다. IV장에서는 시뮬레이션 및 그 결과를 소개한다. 마지막으로 V장에서 토론 및 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 공급 사슬에서의 정보 공유

공급 사슬에서 정보 공유에 관해서는 다양한

연구가 이루어져 왔다. 여러 연구들에서 다루는 공유 정보는 주로 재고, 구매자의 주문 전략, 시장의 수요 등이다. 기존의 연구들은 여러 가지 다른 상황에서 정보의 공유가 공급 사슬의 효율에 영향을 끼치는 정도를 해석적으로 또는 시뮬레이션을 통하여 보이는 데 초점을 맞추어 왔다.

많은 수의 연구들이 구매자의 재고 정보를 공급자가 공유함으로써 공급 사슬의 효율이 향상되는 지를 연구하였다. [Yu et al., 2001; Zhao et al., 2002; Lee et al., 2000] 등의 연구는 재고 정보의 공유가 효율 향상에 도움이 됨을 보였다. 그러나 반대로 재고 정보의 공유가 효율 향상에 도움이 되지 않는다는 연구들도 존재한다. Cachon과 Fisher[2000] 및 Raghunathan[2001] 등의 연구에서는 재고 정보를 공유하는 것 보다 물리적 물류를 더욱 원활하게 하게 하는 것, 그리고 주문 히스토리 정보를 지능적으로 사용하는 것이 더 효율적임을 보였다. 이러한 상반된 연구 결과는 정보 공유로 인한 혜택이 상황에 따라 다르고 사용 가능한 여러 정보를 효율적으로 사용하는 것이 중요함을 나타낸다고 볼 수 있다. 예를 들어 Zhao[2002] 등의 연구에서는 다양한 수요

패턴과 기업들의 처리 능력(capacity)에 따라 정보 공유의 효과가 다름을 보이고 있고 Lau et al.[2002]의 경우엔 정보 공유를 위한 공급 사슬 포탈 시스템에서 참여자들의 역할에 따라 정보 공유의 효과가 달라짐을 보이고 있다(<표 1>).

또한 정보 공유에는 현실적인 어려움들도 존재한다. 서로 다른 종류의 정보 시스템들을 활용하는 기업들이 정보를 쉽게 공유하는 것은 어려울 수 있으며 또 전략적인 이유로 정보의 공유를 꺼리는 기업들이 존재할 수 있다[Boyson et al., 2003]. Verwijmeren[1996]의 연구에서는 오히려 정보를 공유하는 것이 어떤 기업들에게는 손해가 될 수 있다는 점을 설명하고 있다. 특히 다양한 숫자의 기업들이 존재하고 시간에 따라 변할 수 있는 공급 사슬에서는 정보의 공유가 더욱 어렵다고 볼 수 있다.

<표 1>은 여러 정보 공유의 효과에 관한 연구들을 요약하여 보여주고 있다. <표 1>에 나타난 바와 같이 해석적 접근 방법을 사용한 많은 연구들은 간단한 공급 사슬 모형에서의 현상을 분석하고 있으며 따라서 이를 일반적인 복잡한 형태의 공급사슬에 바로 적용할 수 없다. 또한 모든 기업들간에 정보를 공유할 수 있다고 가정하는

<표 1> 공급 사슬에서 정보 공유의 효과

	정보 공유의 효과	논 문	공급 사슬 모형	공유 정보
I	<ul style="list-style-type: none"> • 재고 수준 혹은 서비스 레벨의 향상 • 채찍 효과의 감소 • 상황에 따라 다른 정도의 이익 	Lee[2000]	2단계, 1 retailer, 1 supplier	수요 정보
		Yu[2001]	2단계, 1 retailer, 1 manufacturer	수요 정보
		Zhao[2002]	2단계, N retailer, 1 suppliers	수요 및 주문 정보
		Gavirneni[2002]	2단계, 1 retailer, 1 supplier	재고 수준
		Chen[2000]	2단계, 1 retailer, 1 supplier	수요 정보
		Lau[2002]	3단계, 2 retailers, 2 distributors, and 1 manufacturer	수요 정보 및 재고 정보
		서용원 등[2000]	2단계, N retailer, 1 wholesaler	재고 정보
II	<ul style="list-style-type: none"> • 물리적 물류 향상에 비해 도움이 적음 • 주문 히스토리 사용과 같은 이득 	Cachon[2000]	2단계, N retailers, 1 supplier	재고 정보
		Raghunathan [2001]	2단계, 1 retailer, 1 supplier	수요 정보

것은 무리가 있으며 공유된 정보를 효과적으로 사용하는 것도 현실의 복잡한 공급사슬에서는 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 공급사슬 내부의 정보 공유를 지원하는 시스템은 이러한 한계를 감안하고 극복할 수 있는 형태를 가져야 한다.

2.2 공급 사슬 관리와 에이전트 기술

공급 사슬 관리를 위한 정보 시스템은 일반적인 정보 시스템과 다른 몇 가지 특성이 요구된다. 첫째, 공급 사슬 내부의 기업들 간의 분산된 협력을 지원할 수 있어야 한다. 둘째, 공급 사슬 내부의 여러 기업들 간의 생산 및 물류 활동은 어느 한 기업이나 조직에 의해 중앙 집중식으로 관리될 수 없으며 각 기업들 간의 자율적인 조정이 필요하다. 셋째, 공급 사슬 내부에 존재하는 다양한 스케줄링 및 계획 수립, 변화 대응 등을 위해 지능적인 정보 시스템이 필요하다. 이러한 세 가지 특성, 즉 분산 협력(distributed collaboration), 자율적 협력(autonomous collaboration), 지능성(intelligence) 들로 인해 멀티 에이전트 기술은 공급 사슬 관리를 위한 매우 적합한 기술로 평가 받고 있다[Barbuceanu et al., 1997; Nissen, 2001; Swaminathan, 1997; Yuan 등, 2001; 이호창, 김민용, 2000].

공급 사슬 관리를 위한 에이전트 기술의 적용 연구는 크게 세 가지 정도로 분류해 볼 수 있다. 첫째, 에이전트를 통한 공급 사슬 기업들의 조정에 관한 연구가 있다. 이러한 연구에서는 여러 형태의 기업들과 기업의 기능들을 에이전트로 모형화 하고 그들 간의 상호작용을 모형화 한다[Fox et al., 2000; Reis et al., 2001; Verdicchio, Colombetti, 2002]. 둘째, 에이전트를 이용한 시뮬레이션 연구가 있다. 이러한 연구들에서는 주로 시뮬레이션을 위하여 에이전트 기반의 공급 사슬 모형을 구축하며 여러 가지 변화 하에서 공급 사슬의 효율성을 검증해 본다[Fox et al., 2000; Min, Bjornsson, 2000; Swaminathan, 1997].

셋째, 에이전트들을 통한 유연한 공급 사슬의 구성에 관한 연구들이 있다. 이러한 연구들은 에이전트 시스템들이 가상 공급 사슬(Virtual Supply Chain) 과 같은 유연한 네트워크를 구성하는 데 어떻게 사용될 수 있는지를 보여준다[Chen et al., 1999; Walsh, Wellman, 1999].

위와 같은 다양한 연구들은 에이전트 기술이 공급 사슬에 잘 적용될 수 있음을 보여주었고 특히 에이전트들을 모형화 하는데 중요한 지식을 제공해 주고 있다. 그러나 복잡한 공급 사슬 구조에서 제한된 커뮤니케이션을 통해 공급 사슬의 효율을 높이기 위하여서는 기존의 연구들을 확장하고 발전시켜야 한다.

III. MADC(A Multi-agent System for Distributed Coordination of Supply Chains)

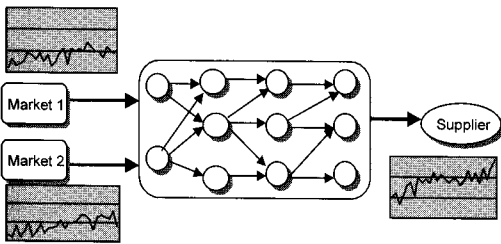
3.1 MADC 아키텍처의 개요

본 연구에서 초점을 맞추고 있는 문제점들은 다음과 같이 요약되어질 수 있다.

- A. 공급사슬의 복잡성: 공급 사슬은 복잡하며 시간에 따라 변할 수 있고 따라서 시장의 수요가 공급 사슬을 통하여 특정 기업에 전달되는 방식을 예측하기 어렵다.
- B. 전체적인 정보 공유 및 중앙 집중식 관리의 어려움: 인접한 기업들 간에는 전자 상거래가 많이 도입되어지고 있으므로 정보의 공유도 그만큼 용이하나 전체 기업들 간의 정보 공유는 쉽지 않다. 특히 공급 사슬에 참여하는 여러 기업들은 독립된 개체들이므로 특정한 기업이나 조직의 중앙 통제식 관리는 현실적이지 않다.

<그림 1>은 문제 A를 도식화하여 나타내 준

다. 앞서 언급된 많은 연구들에서는 주로 2단계나 3단계의 직렬 형태로 이루어진 간단한 공급사슬을 다루었지만 실제 현실의 공급 사슬은 더욱 복잡한 네트워크의 형태를 갖게 되며 또한 많은 경우에 두개 이상의 다른 시장에 물건을 공급하게 된다. 예를 들어, 한국의 LCD 패널 제조업체는 한국 내수 시장 뿐 아니라 동남아나 미국 등의 다른 시장에도 물건을 공급하게 된다. 이러한 복잡성은 또한 공급사슬이 시간에 따라 변할 수 있다는 사실에 의해 더욱 증폭된다. 더욱이 널리 알려진 채찍 효과(bullwhip effect)에 의해 시장의 수요는 개별 기업들을 거치면서 부정확한 예측과 계획에 의해 왜곡되어 재고 비용을 증가시키고 서비스율을 떨어뜨린다[Berry, Naim, 1996; Dejonckheere et al, 2002]. 채찍 효과는 공급 사슬 내부에서 시장과 멀리 떨어진 기업 일수록 생산량이나 재고량의 변동 폭이 커지게 되는 현상을 일컫는다.



<그림 1> 시장의 수요와 공급 사슬 내의 기업의 수요

문제 B 또한 앞서 관련연구에서 언급되었던 것처럼 현실적으로 많은 문제를 발생시킨다. 공급 사슬 내부에서 인접한 기업들은 이미 협력 관계를 갖고 있게 되고 전자상거래 시스템을 통해 정보공유를 더욱 쉽게 할 수 있는 반면 공급 사슬에서 멀리 떨어져 있는 기업들은 밀접한 계약이나 협력 관계를 갖고 있지 못하므로 정보 공유에 현실적인 어려움을 갖게 된다. 더욱이 몇몇 연구들에서 제시하고 있는 중앙 집중식 계획이나 통제도 많은 수의 기업들간의 계약과 협력

이 필요하며 따라서 공급사슬이 복잡할수록, 또한 시간에 따라 변화할수록 더욱 어렵게 된다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 MADC는 다음과 같은 목표들을 가지고 설계되었다.

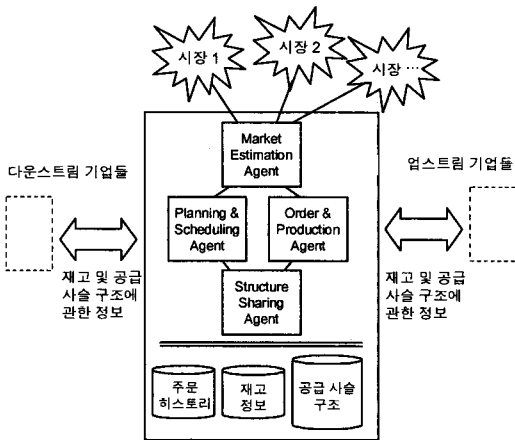
- (1) 지역적 협력을 통한 공급 사슬 구조의 파악: 중앙 제어 역할을 하는 조직이나 에이전트가 존재한다고 가정하기 어려운 점, 그리고 모든 기업들과의 정보 공유가 어려운 현실적인 한계를 감안하여 인접한 기업들과의 지역적 협력을 통해 공급 사슬 구조를 파악함.
- (2) 공급 사슬 구조 및 시장 수요 예측을 통하여 개별 기업에서 특정 시점의 수요 예측: 공급 사슬 구조를 파악함으로써 시장의 수요가 자신의 기업에 어떤 식으로 나타나게 될 지 예측함. 이때, 공급 사슬 내부의 개별 기업에서의 수요에 대한 예측 및 정보 공유는 어려운 반면 시장의 수요는 관측이 더 쉽다는 점을 활용함.
- (3) 인접한 구매자 기업들의 재고 정보 활용: 인접한 기업들간의 정보 공유는 비교적 쉽다는 가정 하에 각 공급자가 인접한 구매자들의 재고 정보를 활용하여 생산 및 주문 계획을 세움.

<그림 2>는 MADC의 아키텍처를 보여준다. MADC에는 네 가지 종류의 에이전트들이 있다. 다음은 각각에 대한 간략한 설명이다. 각각 네 종류의 에이전트는 기업 내부에서 그리고 동시에 기업 외부와 협력하게 된다.

- OPA(Order & Production Agent): 주문과 생산을 처리한다. 주문 계획과 생산 계획에 따라 발주 및 생산(혹은 포장, 가공)을 처리한다. 또한 구매자로부터 주문을 받는다.
- PSA(Planning & Scheduling Agent): 공유된 정보와 시장에 대한 수요 예측을 바탕으로 생산 및 주문 계획을 수립한다.

- MEA(Market Estimation Agent): 시장 수요를 관측하고 시장 수요를 예측해 낸다.
- SSA(Structure Sharing Agent): 지역적 협력을 통해 공급 사슬의 구조를 파악해 낸다.

이러한 에이전트들은 따라서 주문 히스토리 와 재고 정보, 공급 사슬 구조에 대한 DB를 구축하게 되며 직접 거래하는 구매자 회사들(Downstream companies), 그리고 공급자 회사들(Upstream companies)과 협력하게 된다. 이때 기업들간에 공유되는 정보는 재고 정보, 공급 사슬의 구조에 관한 정보이다.



<그림 2> MADC의 에이전트 아키텍처

3.2 에이전트들의 모델링

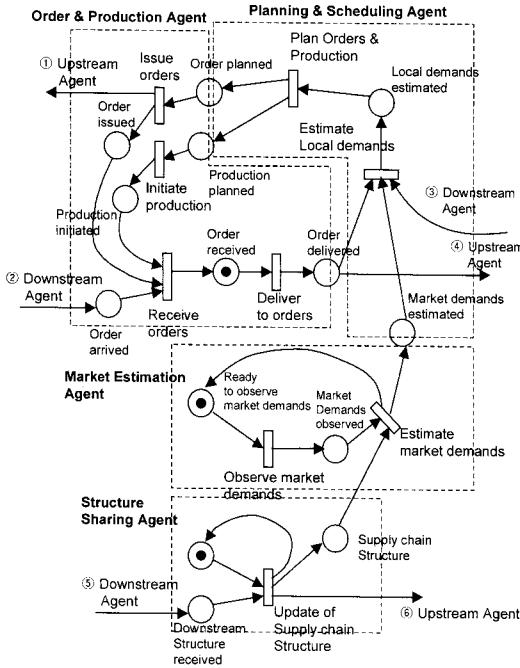
MADC에서는 기업 내부의 에이전트들 간의 협력과 또 서로 다른 기업에 존재하는 에이전트들간의 협력이 동시에 존재하게 된다. 따라서, 각 에이전트들이 어떤 지점에서 조화롭게 협력(coordination)해야 하는지 명세하는 것이 중요하다. Petri-Net은 여러 시스템들의 동시성을 고려한 협력을 명세하는 데 널리 쓰이며 따라서 에이전트 시스템들 간의 협력을 표현하는 데도 매우 적합한 도구이다[Kwon and Lee, 2001].

<그림 3>은 Petri-Net을 통해 MADC의 네 종류의 에이전트들이 기업 내부에서 그리고 기업 외부와 어떻게 협력적으로 일 들을 수행해 나가는지 나타낸다. <그림 3>에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

- OPA: OPA는 PSA에서 만들어진 주문 계획과 생산 계획에 따라 주문 및 생산을 시작한다. 따라서 PSA와는 두 지점(Order Planned, Production Planned)에서 각각 생산 계획과 주문 계획을 전달 받기 위한 협력을 수행한다. 또한 구매자의 OPA로부터 주문을 받게되고(② Order arrived) 공급자의 OPA에게 주문을 내게 된다(① Issue orders). 주문을 처리한 이후에는 공급자의 PSA에게 재고 정보를 보내게 된다(④ Order delivered).
- PSA: PSA는 생산과 주문 계획을 수립한다. 수립된 생산 및 주문 계획은 OPA에게 전달 된다(Order planned, Production planned). 또한 구매자의 재고 정보를 활용하기 위하여 구매자의 OPA와 협력하게 되며(③ Estimate local demands) MEA로부터 시장의 수요 예측치를 넘겨받아 활용하게 된다(Market demands estimated).
- MEA: MEA는 두 가지 정보로부터 자신의 기업에 발생할 지역적 수요(local demand)를 예측한다. 첫째는 시장에서 직접 관측한 수요이며(Observe market demands) 둘째는 공급 사슬의 구조이다. 공급 사슬의 구조는 SSA와의 협력을 통해 획득하게 된다(Estimate market demands).
- SSA: SSA는 구매자측으로부터 다운스트림(downstream) 쪽(시장에 가까운 쪽)의 공급 사슬 구조를 넘겨받게 되며(⑤ Downstream structure received) 업스트림(upstream) 쪽(시장에서 먼 쪽)으로는 자신을 포함한 공급 사슬 구조를 넘겨주게 된다(⑥ Update of supply chain structure). 이렇게 구해진 공급 사슬 구

조는 MEA에게 넘겨져서 관측된 시장 수요가 자신의 기업에 어떻게 나타나게 될지를 예측하는데 사용된다(공급사슬 구조 탐색은 뒷부분에서 더 자세히 설명된다).

나리오에 따라 다름). 이후에 생산을 시작 시키며, 그 다음 각각의 구매자에 대해 Request 프로토콜을 이용하여 주문을 받고 배송을 해 준다. 대화 모형에 관해서는 본 논문의 뒤 부분에서 더 자세히 살펴보도록 한다.



<그림 3> 네 가지 에이전트들간의 협력 조정

다음으로, 개별 에이전트들이 어떤 방식으로 작업을 수행하는지를 정의해야 한다. 본 논문에서는 의사 코드(pseudo code)를 활용하여 개별 에이전트들이 단위 작업들을 수행하는 방식을 표현하였다. <그림 4>은 OPA의 작업 수행을 의사 코드로 나타낸 것이다. 각 에이전트들은 각각의 고유한 작업을 수행함과 동시에 다른 에이전트와 협력하는 지점에서는 서로 대화를 하게 된다. OPA의 경우엔 우선 PSA와 Query 프로토콜을 이용한 대화를 통해 주문 계획과 생산 계획을 넘겨 받는다. 그 후에 인접한 공급자들 각각에게 Request 프로토콜을 이용하여 주문을 내고 Query 프로토콜을 이용하여 자신의 재고 정보를 공유해 준다(재고 정보의 공유는 시물레이션 시

OBJECT OPA

```

WHILE (true) // Infinite loop
  orderPlan = performConversation (PSA, Query,
    "orderPlan");
  productionPlan = performConversation (PSA,
    Query, "productionPlan");
  FOR EACH s IN the set of direct suppliers
    // Issue orders to suppliers' OPAs
    performConversation (s.OPA, Request, "order");
    // Share inventory level
    performConversation (s.PSA, Query, "inventoryLevel");
  END FOR
  initiateProduction (productionPlan);
  FOR EACH b IN the set of direct buyers
    // Handling incoming orders
    incomingOrder = performConversation (b.OPA,
      Request, "order");
    deliverToOrder (incomingOrder);
  END FOR
END WHILE
END OBJECT
    
```

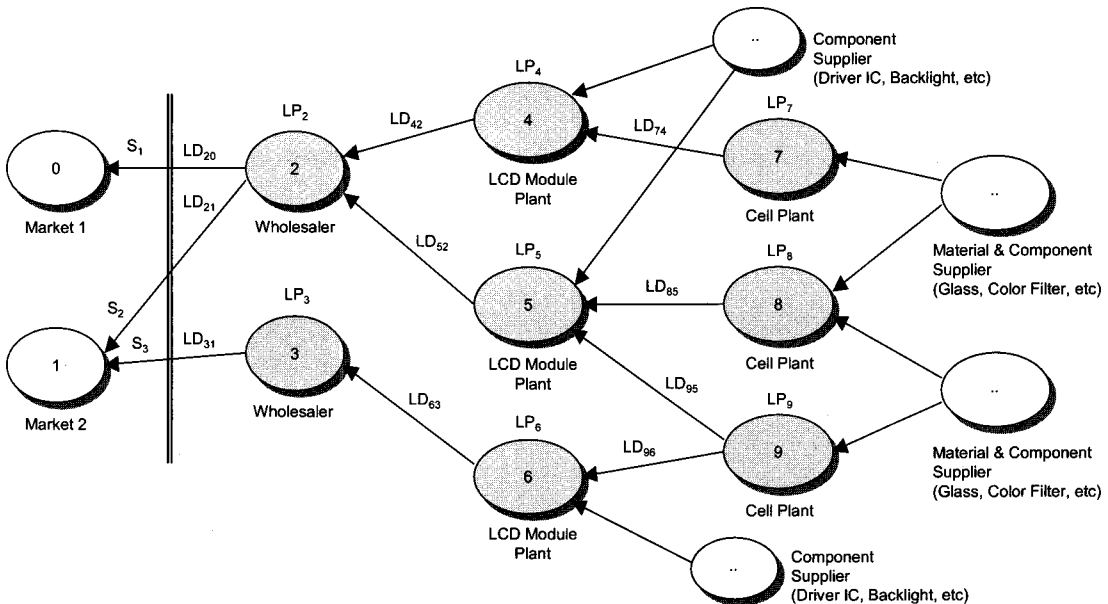
<그림 4> OPA 수행의 의사 코드

3.3 공급 사슬 구조 모형

<그림 5>는 본 논문에서 예제로 사용되는 국내 A 기업의 TFT LCD 모듈 생산을 위한 공급사슬의 모형이다. TFT LCD 모듈은 핸드폰이나 PDA(Personal Digital Assistant)와 같은 모바일 장치들의 디스플레이를 위해 널리 사용된다. 이 공급 사슬 모형에는 두 개의 독립적인 시장이 존재한다. LCD 모듈 제품은 먼저 유리 재료와 컬러 필터 등의 재료로부터 LCD cell을 생산하고 이를 구동을 위한 전자 부품인 Driver IC 및 광원을 제공해 주는 백라이트(Backlight) 부품 등

과 조립하여 생산 되어진다. 이러한 LCD 모듈은 도매자들을 통하여 시장 1과 시장 2에 공급된다. 자재와 부품은 충분히 공급되어진다고 가정하고 회색으로 표시된 중간 공장 노드들과 도매자 노드들을 대상으로 MADC의 효율성을 분석할 것이다. 본 논문에서는 다음과 같은 추가적인 가정 하에 공급 사슬 모형을 설계하였다.

- 재고와 서비스 수준을 위주로 성능을 평가하며 주문 비용과 배송 비용은 고려하지 않는다. 이때, 서비스 수준은 전체 주문 받은 양 중에 실제 배송된 양의 비율이다.
- 각 노드들의 생산량 한계는 고려하지 않는다.
- 이월주문(backorder)은 고려하지 않는다. 대신, 초과된 주문은 서비스율의 감소에 반영된다.
- 산출품 재고와 자재 재고는 별도로 관리된다.



<그림 5> LCD 모듈의 공급 사슬

3.4 공급 사슬 구조의 공유

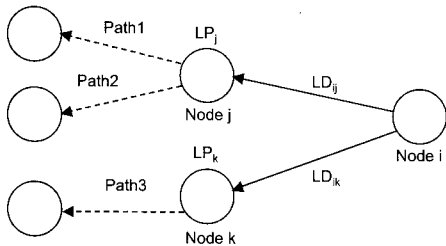
MADC에서 서로 다른 기업의 에이전트들간 공유되는 정보에는 두 가지가 있다. 첫째는 재고에 관한 정보이고 둘째는 공급사슬 구조에 관한 정보이다. 이 중에서 재고 정보의 공유는 비교적 간단하고 의미하는 바가 명확하다. 여기에서는 따라서 공급사슬 구조의 공유에 대해 더 자세히 살펴본다.

우리는 앞서 자신의 기업에 전달되는 시장의 수요들을 예측하기 위해 공급사슬의 구조를 파

악하고 있는 것은 중요하지만 복잡하거나 변화할 수 있는 공급 사슬에서 개별 기업이 다른 기업들과 정보 공유를 통하여 공급사슬 구조를 파악하는 일은 힘들다는 사실을 살펴보았다. 따라서, MADC에서는 이러한 현실적 한계를 감안하여 인접한 기업들간에 지역적 정보 공유를 통해서 공급사슬의 구조를 파악하려고 한다. 이때 공급 사슬 네트워크의 전체 형태를 파악하는 것은 불필요하다. MADC는 공급 사슬 구조를 통해 최종 시장들의 수요가 개별 기업에 전달되는 형태를 파악하려 하므로 이때 필요한 정보는 시장

수요 예측에 필요한 정보들로 국한되기 때문이다. 따라서, 본 논문의 '공급 사슬 구조'가 의미하는 바를 명확히 하면 다음과 같다.

- 해당 기업에서 시장까지의 경로의 파악: 각 기업에서 생산되는 제품들은 여러 구매자들로 이루어진 경로를 통해 시장까지 전달된다.
- 각 경로별 리드타임의 파악: 각 경로는 각기 다른 리드타임을 갖게 된다. 즉, 같은 기업의 제품이 최종적으로 같은 시장에 공급되더라도 어떠한 경로를 통해 공급되었는지에 따라 리드타임이 다를 수 있다. 거꾸로, 리드타임이 다르기 때문에 최종 시장의 수요가 자신의 기업에 전달하는 시점도 각 경로별로 다르게 된다.
- 각 경로별 시장 점유율 파악: 각 경로는 각기 다른 시장 점유율을 갖는다. 본 연구에서는 시장 수요 뿐 아니라 시장 점유율도 관측 가능하다고 가정한다. 시장 점유율 역시 수요 예측에 있어 필수적이다.



```

...
FOR EACH b IN in the set of direct buyers
  buyerMarketPath=performConversation (b.SSA, Query, "marketPath");
  updateMarketPath(buyerMarketPath, b. leadtimeProductionProcessing,
    b. leadtimeDelivery);
END FOR
...

```

<그림 6> 에이전트들 간의 공급 사슬 구조의 공유

이를 위한 에이전트 시스템들간의 의사 소통 및 공급 사슬 구조를 파악해 내는 알고리즘이 <그림 6>에 나타나 있다. <그림 6>의 알고리즘은 SSA 수행 코드의 일부이다. 이 알고리즘에

따라, 각 기업의 SSA는 자신의 인접한 구매자들의 SSA와 대화하여 각 SSA의 경로에 해당 구매자의 생산 혹은 처리 리드타임을 더하고 또 자신으로부터 해당 구매자까지의 배송 리드타임을 더하여 자신의 기업으로부터 각 시장까지의 경로를 계산하게 된다. 그림에서 노드 i는 노드 j와 노드 k의 경로를 합한 개수 만큼의 시장 경로를 갖게 된다. 또한 각각의 경로에는 이전 노드의 생산 및 처리 리드타임(LP_j, LP_k)과 자신의 기업의 배송 리드타임(LD_{ij}, LD_{ik})이 더해지게 된다.

<표 2>는 이러한 방식을 적용하였을 때 <그림 5>의 LCD 모듈 공급 사슬 모형에서 노드 별로 시장 경로를 계산해 낸 결과를 보여준다. 이 값들은 뒷부분에 소개되는 시장 수요의 예측에 사용된다. 이때 노드 3과 같은 경우는 시장 경로가 하나 존재하지만 노드 9와 같은 경우는 시장 경로가 셋이 존재함을 알 수 있다. 따라서 노드 9에 도착하는 최종 시장의 수요는 세 가지 경로의 리드타임과 시장 점유율을 고려해서 계산된다.

이와 같은 방식은 다음과 같은 이점들을 갖는다. 첫째, 복잡한 방식을 통해 많은 수의 기업들과 정보 공유를 통하거나 혹은 까다로운 중앙 집중적인 정보 통합에 의하지 않고 인접한 기업들과만의 정보 공유를 통해 시장 경로들을 파악함으로써 이를 더욱 정확한 수요 예측에 활용할 수 있다. 이는 시장의 수요가 결국 시장 경로를 거치며 경로 상의 기업들의 생산 및 운송 리드타임 등의 변수에 의해 변형되어 각 개별 노드에 나타나기 때문이다. 둘째, 개별 기업은 자신의 기업의 특정한 정보를 노출시키지 않아도 된다. 각 기업은 자신의 노드들까지 존재하는 합산된 형태의 시장 경로들만을 제공하게 되므로 자신의 기업의 특정한 정보를 제공하지는 않는다. 셋째, 공급 사슬이 변화하는 경우(예를 들어, 새로운 시장의 생성, 새로운 구매자나 공급자의 등장 혹은 퇴장 등) 이와 같은 방식을 통하여 지속적으로 시장 경로를 갱신 시킬 수 있다.

<표 2> 공급 사슬 구조를 활용한 시장 경로의 파악

노드(i)	경로 번호(p)	시장 번호(m)	경로의 노드들	총 리드타임(LM _{pi})	시장 점유율(S _{pm})
2	1	0	0-2	LD ₂₀	S ₁
	2	1	1-2	LD ₂₁	S ₂
3	1	1	1-3	LD ₃₁	S ₃
4	1	0	0-2-4	LD ₂₀ + LP ₂ + LD ₄₂	S ₁
	2	1	1-2-4	LD ₂₁ + LP ₂ + LD ₄₂	S ₂
5	1	0	0-2-5	LD ₂₀ + LP ₂ + LD ₅₂	S ₁
	2	1	1-2-5	LD ₂₁ + LP ₂ + LD ₅₂	S ₂
6	1	1	1-3-6	LD ₃₁ + LP ₃ + LD ₆₃	S ₃
7	1	0	0-2-4-7	LD ₂₀ + LP ₂ + LD ₄₂ + LP ₄ + LD ₇₄	S ₁
	2	1	1-2-4-7	LD ₂₁ + LP ₂ + LD ₄₂ + LP ₄ + LD ₇₄	S ₂
8	1	0	0-2-5-8	LD ₂₀ + LP ₂ + LD ₅₂ + LP ₅ + LD ₈₅	S ₁
	2	1	1-2-5-8	LD ₂₁ + LP ₂ + LD ₅₂ + LP ₅ + LD ₈₅	S ₂
9	1	0	0-2-5-9	LD ₂₀ + LP ₂ + LD ₅₂ + LP ₅ + LD ₉₅	S ₁
	2	1	1-2-5-9	LD ₂₁ + LP ₂ + LD ₅₂ + LP ₅ + LD ₉₅	S ₂
	3	1	1-3-6-9	LD ₃₁ + LP ₃ + LD ₆₃ + LP ₆ + LD ₉₆	S ₃

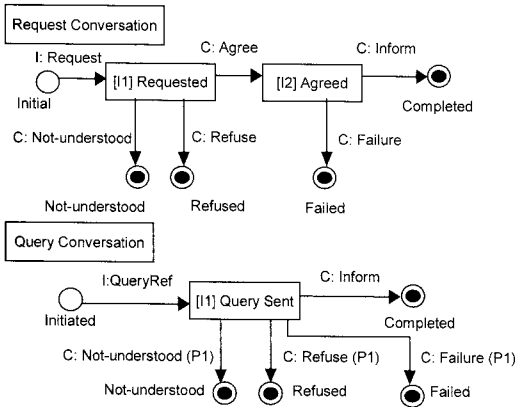
3.5 에이전트간의 대화 모형

앞서 3.2에서는 MADC의 네 종류의 에이전트들의 협력 조정 모델과 개별 에이전트들의 수행 모델을 살펴 보았다. 그러나 에이전트들이 서로 협력을 하는 지점에는 에이전트들간의 의사소통이 필요하게 된다. 에이전트들간의 의사소통은 보통 여러 단계의 메시지의 교환으로 이루어지기 때문에 이를 흔히 대화(conversation)라고 일컫는다[Greaves et al., 1999]. 에이

전트간의 대화는 미리 정해진 프로토콜을 따르게 되며, MADC에서는 FIPA(The Foundation of Intelligent Physical Agents)의 Query 프로토콜과 Request 프로토콜을 활용하였다(FIPA 00025, 2000). <그림 7>은 이 두 개의 프로토콜을 State-Transition 다이어그램 형태로 보여준다. <표 3>은 MADC의 에이전트들 사이에 존재하는 대화의 종류, 프로토콜 타입, 대화의 참여자, 그리고 대화를 통해 교환되는 정보들을 나열한 것이다.

<표 3> 각 에이전트들간의 대화의 종류 및 교환되는 정보

대 화 명	프로토콜	참 여 자	교환되는 정보
Query Order Plan	Query	OPA → PSA	orderPlan
Query Production Plan	Query	OPA → PSA	productionPlan
Share Inventory Level	Query	[U] PSA → [D] OPA	inventoryLevel
Issue Order Request	Request	[D] OPA → [U] OPA	order
Query Market Demands	Query	PSA → MEA	marketDemands
Query Paths to Markets	Query	MEA → SSA	marketPath
Share Supply Chain Structure	Query	[U] SSA → [D] SSA	marketPath



<그림 7> FIPA의 Request 프로토콜과 Query 프로토콜

다음은 에이전트들이 사용하는 프로토콜에서 메시지의 예들이다. 각 메시지들 역시 FIPA의 표준 메시지 포맷을 따르고 있고 메시지의 내용 부분(content)도 FIPA의 세만틱 랭귀지(Semantic Language)를 사용하여 표현하였다. 다음 query-Ref 형식의 메시지는 공급자의 SSA가 구매자들의 SSA에게 공급 사슬 구조의 탐색을 위해 보내는 메시지이다. 이때 공급자의 SSA는 구매자가 가진 모든 시장 경로 정보를 요청하게 된다.

```
(queryRef
  : sender cell_plant_08
  : receiver LCD_module_plant_05
  : content
    ( (all ?x (pathToMarket ?x))
  : ontology MADC_SCM
  : protocol FIPA_REQUEST
  : language FIPA_SEMANTIC_LANGUAGE
)
```

위의 메시지에 대한 응답으로 구매자의 SSA는 공급자에게 자신이 가지고 있는 공급 사슬 구조에 대한 정보를 넘겨주게 된다. 이때에는 inform 형식의 메시지가 사용된다. 이때 5번 노드의 LCD 모듈 공장에 존재하는 두 개의 시장 경로에 대해 각각 총 리드타임, 시장 점유율, 그리고

최종 시장의 ID가 전달되는 것을 볼 수 있다.

```
(inform
  : sender LCD_module_plant_05
  : receiver cell_plant_08
  : content ( (= (all ?x (pathToMarket ?x) )
    (set (pathToMarket :totalLeadTime 8
      : marketShare: 40 :endMarket market00)
    (pathToMarket :totalLeadTime 10
      : marketShare: 80 :endMarket market01 ) ) ) )
  : ontology MADC_SCM
  : protocol FIPA_REQUEST
  : language FIPA_SEMANTIC_LANGUAGE
)
```

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

4.1 시뮬레이션 시나리오별 생산 및 주문 계획

본 연구에서는 제시된 아키텍처의 효과를 검증해 보기 위하여 프로토타입 시스템을 이용하여 세 가지 다른 시나리오 하에서 예제의 LCD 공급 사슬 모형을 시뮬레이션 하였다. 세 가지 시나리오는 각각 다음과 같다.

- (1) MADC-VOI(Visibility of Inventory): MADC를 활용하며 인접한 구매자의 재고 정보를 활용함. 이 경우에는 MADC를 활용하여 공급 사슬의 구조를 파악하고 이를 이용하여 시장 수요가 자신의 기업에 전달되는 형태를 예측한다. 동시에, 인접한 구매자들의 재고를 활용하여 구매자들이 충분한 재고를 갖고 있을 때는 생산량을 감소시키게 된다.
- (2) MADC-NVOI(Non-visibility of Inventory): MADC를 활용하며 재고 정보를 활용하지 않음. 이 경우는 구매자들의 재고 정보를 활용하지 않는다는 측면에서 첫 번째 시나리오

와 동일하다.

- (3) NC(No Coordination): MADC를 사용하지 않음. 이 경우에는 개별 기업들이 주문 히스토리에 기반 하여 각자 수요를 예측하며 그에 따라 생산 및 주문 계획을 하게 된다. 이때 재고 정보는 공유되지 않는다.

시나리오 (1)과 (2)에서는 각 기업들이 최종 시장의 수요를 관측할 수 있고 또 자신들의 시장 경로에 해당되는 시장 점유율도 관측할 수

있다고 가정하였다. 따라서, 이 두 시나리오에서는 시장의 수요를 미리 정해진 오차 범위 내에서 예측하도록 하고 이를 활용하여 주문 및 생산 계획을 수립한다.

<표 4>는 본 논문의 공급 사슬 모형의 설명에 사용되는 기호들을 요약해서 나타내고 있다. 이 기호들은 생산 계획, 주문 계획, 수요 예측 등의 수식을 표현하는데 이용된다. 실제 시뮬레이션을 위해 사용된 설정 값과 시뮬레이션 결과 값은 부록에 첨부되어 있다.

<표 4> 공급사슬 구조 모형

기 호	설 명
N_i	공급 사슬 내부의 i 번째 node
I_i^t	산출품의 재고 수준
I_{jt}^t	i 가 유지하고 있는 j 로부터 공급된 원료 및 부품 재고
LD_{ij}	i 로부터 j 까지의 운송 리드타임
LP_i	i 의 생산(혹은 가공 및 처리) 리드타임
O_{ij}^t	t 시점에 i 에서 j 로의 주문량
P_i^t	t 시점에 i 에서의 생산량
D_m^t	m 번째 시장에서 t 시점의 수요
T_{ij}^t	t 시점에 i 에서 j 로 실제로 배달된 상품의 양
LM_{pi}	p 경로를 통해 i 에서 m 시장까지 물건이 공급되는데 걸리는 총 리드타임
S_{pi}	i 의 p 경로에 포함되는 최종 공급자(소매 혹은 도매)의 시장 점유율
DE_{ij}^t	t 시점에 j 에서 i 로 전달되는 수요에 대한 예측치
$D'_p{}^t$	경로 p 에 해당하는 시장의 시각 t 의 수요에 대한 추정치
PM_i	i 에서 시장들로 연결되는 경로의 집합. PM_i 의 각 경로는 다음과 같이 정의된다. $p = \langle m, l, BP \rangle$, m 은 시장, l 은 총 리드타임, BP 는 이 경로에 포함돼 있는 인접한 구매자
B_i	i 의 인접한 구매자들의 집합
SP_i	i 의 인접한 공급자들의 집합
T_{ij}^t	i 에서 j 로 t 시점에 운송이 시작된 상품들의 양(In-transit inventory)

4.1.1 MADC에서 수요 예측

수요 예측은 PSA에서 시장 수요와 <표 2>에 나온 것과 같은 시장 경로를 활용하여 이루어진다. t 시점에서 노드 j 에서 i 로 들어 오는 수요

에 대한 예측치 DE_{ij}^t 는 다음과 같이 계산되어진다. 즉, 수요 예측치는 각 시장 경로별로 경로의 총 리드타임 후의 해당 시장의 수요 예측치에 해당 경로의 시장 점유율을 곱해서 이를 합산한 값이다.

$$DE_{ij}^t = \sum_{p \in PM_i} S_{pi} D_p^{LM_{pi}} \quad (1)$$

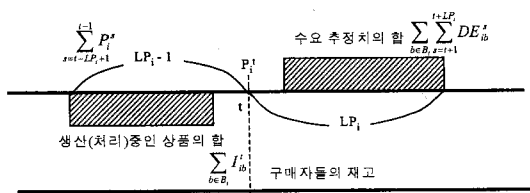
$$MI_{\min} = \min \{ I_{ki}^t \mid k \in SP_i \} \quad (4)$$

4.1.2 생산 계획

생산 계획은 앞서 제시된 수요 예측에 기반을 두고 계산되어 진다. 이때 생산 계획은 복잡한 공급 사슬 모형에서 일반적인 상황에서의 최적해를 구하기 어려우나 본 논문의 공급 사슬 모형의 가정 하에서 각각의 개별 에이전트가 동일한 방식의 계획을 사용한다고 할 때 다음과 같은 식에 의해 계산되어질 수 있다.

$$\text{생산량} = [(t+1) \text{ 시점 부터 } LP_i \text{ 기간 동안의 수요 추정치}] - \text{구매자들의 재고} - \text{현재 생산중인 양(In-process goods)}$$

이 식은 <그림 8>에 도식화 되어 있다. 이때 시나리오 2나 3에서와 같이 구매자들의 재고정보를 활용하지 않을 경우엔 식 (3)이 사용된다. MI_{\max} 는 부품 및 재료 재고에 의한 한계치로 보유하고 있는 부품 및 재료의 양보다 더 많은 양을 생산할 수 없음을 의미한다.



<그림 8> 생산 계획

$$\min \left\{ \sum_{b \in B_i} \sum_{s=t+1}^{t+LP_i} DE_{ib}^s - \sum_{b \in B_i} I_{ib}^t - \sum_{s=t-LP_i+1}^{t-1} P_i^s, MI_{\min} \right\} \quad (2)$$

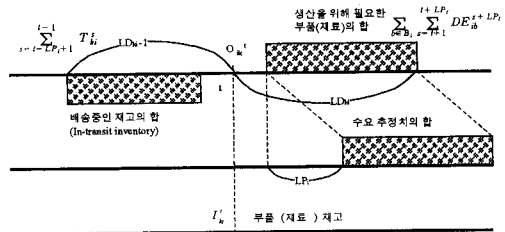
$$\min \left\{ \sum_{b \in B_i} \sum_{s=t+1}^{t+LP_i} DE_{ib}^s - \sum_{s=t-LP_i+1}^{t-1} P_i^s, MI_{\min} \right\} \quad (3)$$

4.1.3 주문 계획

주문 계획도 생산 계획과 마찬가지로 일반적인 상황에서의 최적해를 구하기 어려우므로 본 논문의 공급사슬 모형의 가정 하에서 다음과 같이 계산된다.

$$\text{주문량} = [(t+1) \text{ 시점 부터 } LD_i \text{ 기간 동안의 수요 추정치}] - \text{구매자들의 재고} - \text{현재 배송중인 양(In-transit inventory)}$$

이 식은 <그림 9>에 도식화 되어 있다. 주문 계획은 공급자마다 주문량이 다르므로 주문자별로 따로 계산되어진다. t 시점에서의 주문 계획은 세가지지를 고려해 결정된다. 첫째, 이미 주문되어 배송중인 재고(in-transit inventory)를 고려한다. 둘째, 배송 리드타임 동안의 예상되는 수요를 고려한다. 그림에 나온 것처럼 생산 리드타임인 LP_i 후부터 주문자의 리드타임 동안의 수요를 고려한다. 셋째, 현재의 잔여 부품 재고를 고려한다. 이렇게 하여 지금 시점의 주문량과 현재 보유하고 있는 부품 재고, 그리고 이미 주문되어 배송 중인 양을 합해서 배송 리드타임 동안의 수요를 맞추는 것이 주문 계획이 된다. <그림 9>에 의한 계산결과가 식 (5)에 나와 있다.



<그림 9> 주문 계획

$$\sum_{b \in B_i} \sum_{s=t+1}^{t+LD_{ki}} DE_{ib}^{s+LP_i} - I_{ki}^t - \sum_{s=t-LD_{ki}+1}^{t-1} T_{ki}^s \quad (5)$$

4.1.4 시나리오 3에서의 수요 예측

시나리오 3의 경우에는 MADC를 사용하지 않으며 각 기업들이 독자적으로 자신의 기업들의 제품에 대한 미래 수요를 예측한다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 경향성(trend)이 있는 시장 수요 패턴을 사용하였고 따라서 시나리오 3의 경우의 예측을 위해서는 Double Exponential Smoothing(DES) 방식을 사용하였다(NIST/SEMATECH, 2000). DES의 경우 파라미터인 α 와 γ 에 따라 과거의 경향에 현재의 데이터를 반영하는 비율이 조정되게 된다. 본 연구의 실험에서는 탐색적인 방법을 통해 가장 좋은 결과를 내는 0.20과 0.15를 각각의 파라미터로 사용하였다. DES에서는 매 시점 식 (6)과 식 (7)을 통해 S_t 와 b_t 를 갱신한다. S_t 와 b_t 를 활용하여 현재로부터 m 시점 후의 수요를 예측할 때는 식 (8)이 사용된다.

$$S_t = \alpha O_{bt}^t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (6)$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} \quad (7)$$

$$DE_{ib}^{t+m} = S_t + mb_t \quad (8)$$

4.1.5 성능 척도

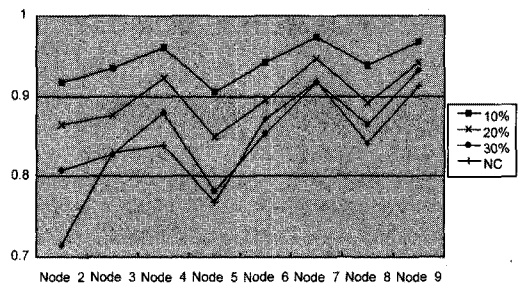
성능을 평가하기 위한 척도로는 노드별 정규화된 재고수준과 서비스율을 사용하였다. 서비스율은 각 노드가 받은 주문 중에 실제 상품이 배달된 주문의 비율을 나타낸다. 정규화 된 재고 수준은 각 노드별 재고 수준을 최종 시장 상품 한 단위 당 필요한 양으로 나눈 뒤 다시 해당 기업의 시장 경로들이 가진 시장 점유율의 합으로 나눈 것으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_i / N_{ui}}{\sum_{p \in PM_i} S_{pi}}, \text{ 이때 } N_{ui} \text{는 최종 시장의 상품 1 단위 생산을 위한 } i \text{ 기업 상품의 필요량} \quad (9)$$

MADC의 효과를 분석할 때는 예측정확도에 따른 효과를 분석하였다. 예측정확도 MADC 환경에서 각 기업이 시장의 수요를 얼마나 정확히 예측할 수 있는지를 나타낸다. 예를 들어, 10%의 예측정확도는 각 기업이 시장의 수요를 10% 이내의 오차에서 예측할 수 있음을 의미한다. 구체적으로 시뮬레이션에서는 4.1에서 설명된 바와 같이 시장에서 생성되는 수요에 대해 주어진 예측정확도 범위 내에서 유니폼 확률분포에 기반 하여 가상 수요 예측치를 만들어 내어 사용하였다.

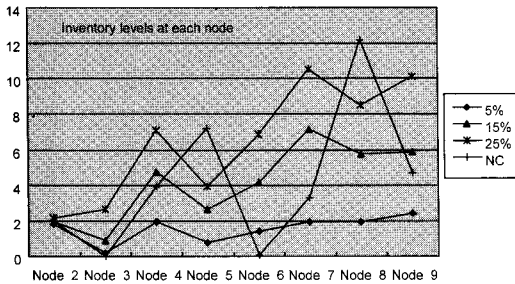
4.2 MADC 활용의 효과

우선 MADC를 활용한 경우와 반대로 각 노드에서 주문 히스토리를 사용하여 개별적으로 생산량 및 주문량을 계획한 경우를 비교해 보았다. <그림 10>은 각 노드에서 서비스율을 비교하고 있다. 이 그림은 MADC(시나리오 1)를 사용하고 예측정확도가 각각 10%, 20%, 30% 이내일 때의 서비스율과 시나리오 3(NC: no coordination)의 서비스율을 비교하여 보여주고 있다. 결과적으로 이 그래프는 MADC는 시장 관측 에이전트(MEA)가 시장의 수요를 정확히 예측할수록 의미가 있으며 시장의 수요에 대한 예측이 어느 수준 이하로 떨어질 경우 시나리오 3의 경우보다 더 좋지 않은 결과를 낼 수도 있음을 보여주고 있다.

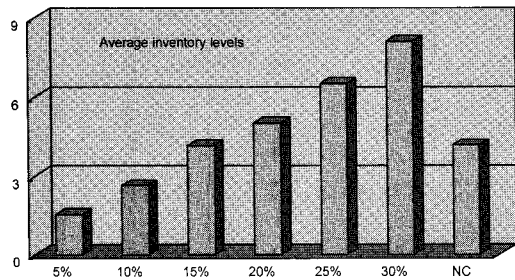


<그림 10> MADC의 효과 - 서비스율(X축 - 각 노드, Y축 - 서비스율)

<그림 11>는 예측정확도가 각각 10%, 20%, 30% 이내인 MADC를 사용할 때와 시나리오 3의 경우 각 노드에서 정규화된 재고의 차이를 보여주고 있다. 시나리오 NC를 사용할 경우 6번 노드와 3번 노드에서 심각한 물량 부족으로 재고가 매우 낮음을 알 수 있다. 전체 노드들의 재고 값들을 평균하여 여러 가지 예측정확도에서의 MADC와 비교해 보면 <그림 12>과 같다. 이때 예측정확도가 약 15%일 경우에 MADC와 NC의 재고 수준이 유사해 짐을 볼 수 있다. 결과적으로 역시 재고의 수준과 서비스율의 별칭 값을 동시에 고려하여야 MADC의 활용이 이익을 줄 수 있는 수준의 예측정확도가 어디까지 인지를 알 수 있겠으나, 전반적으로 시장에 대한 예측정확도가 높은 경우에 MADC의 활용이 도움이 된다고 결론을 내릴 수 있다.



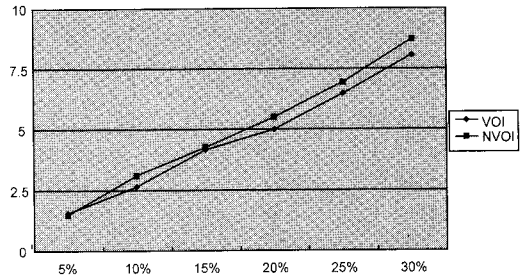
<그림 11> MADC의 효과 - 재고 수준(X축 - 각 노드, Y축 정규화된 재고)



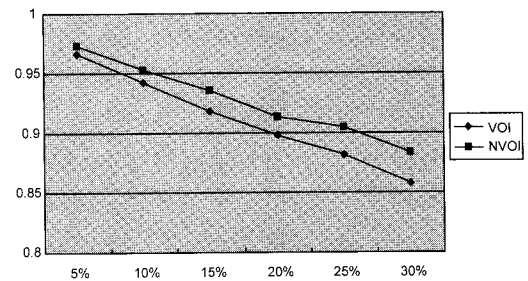
<그림 12> MADC의 효과 - 평균 재고 수준 (X축 - 예측 정확도 별 시나리오 및 NC 시나리오, Y축 - 정규화된 전체 노드 평균 재고)

4.3 재고 정보 활용의 효과

<그림 13>과 <그림 14>는 MADC를 사용할 때 인접한 구매자들의 재고 정보를 활용하는 것이 도움을 주는지를 나타내고 있다. 결과는 재고 정보를 활용할 경우 서비스율은 올라가고 재고의 수준은 내려가는 것으로 나타났다. 또한 두 가지의 척도에서 모두 예측정확도가 부정확 할수록 값들의 격차가 커지는 것을 나타내고 있다. 이는 재고 정보를 활용할 경우 구매자의 재고가 충분한 경우에 생산량을 줄이게 되는데 이때 시장에 대한 예측이 불확실한 경우에는 더 큰 폭으로 서비스 수준을 떨어뜨릴 수 있기 때문이다. 이 결과는 MADC를 활용할 때에 재고 수준 및 서비스율에 대해 각각 가중치를 어떻게 정하느냐에 따라 주어진 수요예측 방법과 생산 및 주



<그림 13> 예측정확도 별 재고 수준의 차이 (X축 - 예측 정확도, Y축 - 정규화된 전체 노드 평균 재고)

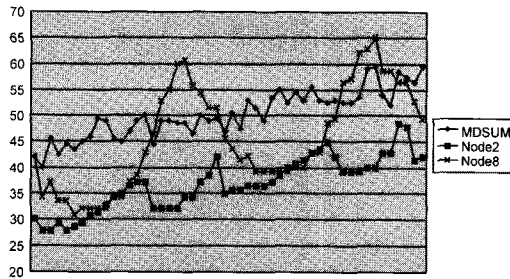


<그림 14> 예측정확도 별 서비스 수준의 차이 (X축 - 예측 정확도, Y축 - 전체 노드 평균 서비스율)

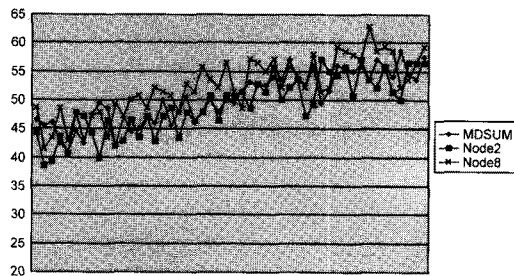
문 계획이 효과적일 수도 있고 그렇지 않을 수도 있음을 의미한다. 이 실험 결과는 간단한 공급 사슬에서 재고 정보의 활용이 추가적인 이득을 주지 않을 수도 있음을 해석적으로 연구한 결과들과 일치한다[Cachon, Fisher, 2000; Raghunathan, 2001].

4.4 MADC에 의한 채찍 효과의 감소

<그림 15>은 시나리오 3의 경우 채찍 효과를 보여준다. 시장 수요의 합계 (MDSUM)가 완만하게 증가하는 반면 2번 노드와 8번 노드에서의 생산량은 상하로 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 특히 시장에서 먼 8번 노드의 경우에 생산량의 변화가 더 극심함을 알 수 있다. 이때 2번 노드의 변화의 수준이 시장 수요의 합계보다 낮은



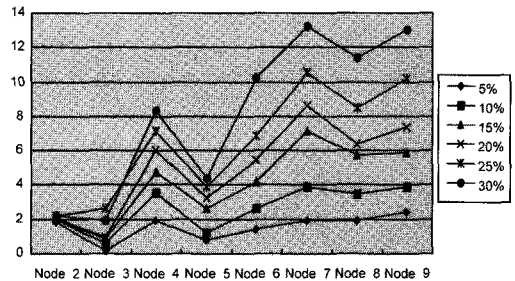
<그림 15> 시나리오 3의 채찍 효과(X축 - 시물레이션 시간 t, Y축 - 시장 수요 합계(MDSUM)와 각 노드의 생산량)



<그림 16> MADC 활용 시 채찍 효과의 감소 (X축 - 시물레이션 시간 t, Y축 - 시장 수요 합계(MDSUM)와 각 노드의 생산량)

것은 채찍효과로 인해 공급자들로부터 충분한 물량을 공급 받지 못함으로써 평균 생산량이 시장 수요보다 낮기 때문이다. 2번 노드에서는 생산량 부족으로 인해 시장 수요보다 낮은 수준에서 변화가 있음을 알 수 있다. 반면 <그림 16>은 MADC를 사용하였을 경우 채찍효과가 경감됨을 보여주고 있다. <그림 16>에서는 시장의 수요와 2번 노드의 생산량, 8번 노드의 생산량의 변화의 폭이 큰 차이를 보이지 않는다.

이러한 채찍 효과의 감소는 시장 수요에 대한 예측이 정확해 질수록 더 뚜렷해짐을 보였다. <그림 17>은 각 노드에서의 정규화된 재고를 사용하여 MADC를 사용할 경우에 예측정확도가 높아짐에 따라 채찍효과가 감소함을 보여주고 있다.



<그림 17> MADC에서 예측정확도 별 채찍 효과의 감소(X축 - 각 노드, Y축 - 예측 정확도 별 정규화된 재고 수준)

V. 토론 및 결론

세계화와 전자 상거래의 발달로 인해 공급 사슬의 관리는 더욱 더 중요해 지고 있다. 그러나 공급 사슬은 복잡하며 시간에 따라 변할 수 있고 공급 사슬 내부의 기업들이 정보를 공유하는 것은 쉽지 않다. 본 논문에서는 기업들이 지역적 정보 공유를 통해 공급 사슬의 효율을 높일 수 있도록 멀티 에이전트 시스템 아키텍처를 제시하고 이의 타당성을 검증하기 위해 시물레이션을 수행하였다. 제시된 아키텍처는 에이전트 시

시스템들의 협력 조정 모델, 개별 에이전트의 수행 모델, 에이전트간의 대화 모델 등으로 이루어져 있다. 시뮬레이션 결과는 최종 시장의 수요에 대한 예측이 정확할수록 제시된 아키텍처의 효율이 높아짐을 보여주고 있으며, 반면 시장의 수요에 대한 예측이 어느 수준 이하로 떨어질 때에는 그러한 접근방법이 효과가 없을 수 있음을 보여주고 있다. 또한 제시된 아키텍처 하에서 인접한 구매자의 재고 정보를 공유하는 것은 효율성에서 큰 차이를 보여주지 못하였다. 본 연구의 학문적 기여는 다음과 같이 정리될 수 있다.

- (1) 중앙 제어 조직이나 에이전트를 가정하고 있지 않으며, 지역적 정보 공유를 통해 공급사슬 구조를 공유 및 활용하는 멀티 에이전트 시스템 아키텍처 제시
- (2) 제시된 아키텍처의 효율성을 프로토타입 시뮬레이션을 통해 검증

이러한 접근 방식은 다음과 같은 장점을 갖는다. 첫째, 2장에서 소개된 바와 같이 에이전트 기술이 가진 다양한 장점들을 활용하므로 공급사슬 관리에 매우 적합한 아키텍처를 갖는다. 둘째, 기업들간의 정보 공유가 현실적으로 어렵다는 한계를 감안하여 인접한 기업들간의 지역적인 정보 공유만을 통해 공급사슬이 관리되도록 하였다. 또한 복잡한 공급사슬일수록 비현실적인 중앙 집중식 계획에 의존하지 않으며 개별 에이전트가 지역적으로 획득하는 정보를 기반으로 생산 및 주문 계획을 수립하도록 설계되었다. 셋째, 제시된 아키텍처는 최종 시장에 대한 예측의 정확성에 대해서만 의존적이며 따라서 최종 시장의 수요의 확률분포에 대한 가정을 하지 않

는다. 넷째, 본 연구에서 제시된 아키텍처는 에이전트들이 공급사슬의 구조를 계속 갱신할 수 있으므로 시간에 따라 변화하는 공급사슬에 대해서도 적용될 수 있다. 시간에 따라 변화하는 공급사슬에 관한 분석은 추후 연구 주제의 하나로 계획하고 있다.

여러 가지 장점에도 불구하고 제시된 아키텍처는 몇 가지 한계를 갖는다. 첫째, 본 연구는 일반적인 공급사슬 환경에 최적의 해를 제시하고 있진 않다. 특히 간단한 구조의 공급사슬에서는 멀티 에이전트 구조를 활용할 유인이 줄어들게 되며 더욱이 정보 공유의 효과 또한 해석적으로 분석되어질 수도 있으므로 제시된 아키텍처가 적합하지 않을 수 있다. 둘째, 본 연구에서는 최종 시장의 수요 및 개별 시장 경로에서의 시장 점유율을 파악할 수 있다고 가정하였으므로 이에 부합하지 못하는 경우에는 적용될 수 없다. 그러나 많은 시장 조사 기관에서 시장 수요와 시장 점유율 등의 보고서를 제공하고 있으며 특히 RFID(Radio Frequency IDentification) 등의 기술이 발전함에 따라 최종 수요의 관찰이 더욱 용이해 지고 있는 점은 이러한 접근 방법을 더욱 유효하게 만들 것으로 보인다. 셋째, 인접한 기업의 에이전트들 간에는 항상 정보 공유가 가능하다는 점을 가정하였다. 이러한 가정이 공급사슬의 일부나 전체에서 성립하지 않는 경우에는 제시된 아키텍처의 효율이 떨어질 수 있다.

추후 연구 과제로는 더욱 다양한 형태의 수요 패턴에 대한 시뮬레이션 연구, 주문 비용 및 운송 비용까지 포함한 시뮬레이션, 변화하는 구조를 갖는 공급사슬을 대상으로 하는 시뮬레이션 연구 등을 고려하고 있다.

〈참 고 문 헌〉

[1] 서용원, 정성원, 함주호, "2계층 분배형 공급사슬에서 실시간 공유 재고 정보의 가치에 관한 연구," *산업공학*, Vol. 13, No. 3,

2000, pp. 444-454.

[2] 이호창, 김민용, "국제적 공급사슬 관리를 위한 웹기반 에이전트모형 설계," *경영정보*

- 학연구, 제10권 제2호, 2000, pp. 24-49.
- [3] Barbuceanu, M., Teigen, R. and Fox, M.S., "Agent Based Design and Simulation of Supply Chain Systems," *Proceedings of the 6th Workshop on Enabling Technologies Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET- ICE '97)*, June 1997, pp. 18-20.
- [4] Berry, D. and Naim., M.M., "Quantifying the relative improvements of redesign strategies in a P.C. supply chain," *International Journal of Production Economics*, Vol. 46-47, 1996, pp. 181-196.
- [5] Boyson, S., Corsi, T. and Verbraeck, A., "The e-supply chain portal: a core business model," *Transportation Research Part E*, Vol. 39, 2003, pp. 175-192.
- [6] Cachon, G.P. and Fisher, M., "Supply Chain Inventory Management and the Value of Information Sharing," *Management Science*, Vol. 46, No. 8, 2000, pp. 1032-1048.
- [7] Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simchi-Levi, D., "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting Lead Times, and Information," *Management Science*, Vol. 46, No. 3, 2000, pp. 436-443.
- [8] Chen, Y., Peng, Y., Labrou, Y., Cost, S., Chu, B., Yao, J., Sun, R. and Willhelm, B., "A negotiation-based Multi-agent system for supply chain management," *Working Notes of the gents '99 Workshop on Agents for Electronic Commerce and Managing the Internet-Enabled Supply Chain.*, Seattle, WA, April 1999, pp. 15-20.
- [9] FIPA00025, "FIPA Interaction Protocol Library Specification," *Foundation for Intelligent Physical Agents*, 2000, <http://www.fipa.org/specs/fipa00025/>.
- [10] Fox, M.S., Barbuceanu, M. and Teigen, R., "Agent-Oriented Supply-Chain Management," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 12, No. 2/3, 2000, pp. 165-188.
- [11] Gavirneni, S., Kapuscinski, R. and Tayur, S., "Value of Information in Capacitated Supply Chains," *Management Science*, Vol. 45, No. 1, 1999, pp. 16-24.
- [12] Ito, T. and Abadi, S., "Agent-based material handling and inventory planning in warehouse," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 13, 2002, pp. 201-201.
- [13] Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R. and Towill, D.R., "Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach," *European Journal of Operational Research*, 2002.
- [14] Lau, J.S.K., Huang, G.Q. and Mak, K.L., "Web-based simulation portal for investigating impacts of sharing production information on supply chain dynamics from the perspective of inventory allocation," *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 5, 2002, pp. 345-358.
- [15] Lee, H.L., So, K.C. and Tang, C.S., "The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain," *Management Science*, Vol. 46, No. 5, 2000, pp. 626-643.
- [16] Mark Greaves, Heather Holmback, and Jeffrey Bradshaw, "What is a conversation policy?," *In Working Notes of the Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies*, Seattle, Washington, May 1999
- [17] Min, J.U. and Bjornsson, H., "Agent Based Supply Chain Management Automation," *The Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*

- (ICCCBE-VIII), 2000.
- [18] Nissen, M.E., "Agent-Based Supply Chain Integration," *Information Technology & Management*, Vol. 2, 2001, pp. 289-312.
- [19] Nissen, M.E., "Agent-based Supply Chain Disintermediation versus Re-intermediation: Economic and Technological Perspectives," *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance, & Management*, Vol. 9, 2000, pp. 237-256.
- [20] NIST/SEMATECH., "E-Handbook of Statistical Methods," <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.
- [21] Kwon O.B. and Lee, J.J., "A multi-agent intelligent system for efficient ERP maintenance," *Expert Systems with Applications*, Vol. 21, Issue 4, 2000 pp. 191-202.
- [22] Raghunathan, S., "Information Sharing in a Supply Chain: A Note on its Value when Demand is Nonstationary," *Management Science*, Vol. 47, No. 4, 2001, pp. 605-610.
- [23] Reis, J., Mamede, N. and O'Neill, H., "Locally perceiving hard global constraints in multi-agent scheduling," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 12, 2001, pp. 223-236.
- [24] Simatupang, T.M., Wright, A.C. and Sridharan, R., "The knowledge of coordination for supply chain integration," *Business Process Management*, Vol. 8, No. 3, 2002, pp. 289-308.
- [25] Swaminathan, J.M., "Modeling supply chain dynamics: A Multiagent Approach," *Decision Sciences*, Vol. 29, No. 3, 1997, pp. 607-632.
- [26] Verdicchio, M. and Colombetti, M., "Commitments for Agent-Based Supply Chain Management," *ACM SIGecom Exchanges*, Vol. 3, No. 1, 2002, pp. 13-23.
- [27] Verwijmeren, M., Vlist, P. and Donselaar, K., "Networkd inventory management information systems: materializing supply chain management," *Int'l Journal of Physical Distribution & Logistics*, Vol. 26, No. 6, 1996, pp. 16-31.
- [28] Walsh, W.E. and Wellman, M.P., "Modeling Supply Chain Formation in Multi-agent Systems," *Proceedings of the Agent Mediated Electronic Commerce Workshop (IJCAI-99)*, 1999, pp. 94-101.
- [29] Yu, Z., Yan, H. and Cheng, T.C.E., "Benefits of information sharing with supply chain partnerships," *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 101, No. 3, 2001, pp. 114-119.
- [30] Yuan, Y., Liang, T.P. and Zhang, J.J., "Using Agent Technology to Support Supply Chain Management: Potentials and Challenges," *Michael G. DeGroote School of Business Working Paper Series No. 453*, 2001, <http://merc.mcmaster.ca/workingpapers.html>.
- [31] Zhao, X., Xie, J. and Zhang, W.J., "The impact of information sharing and ordering co-ordination on supply chain performance," *Supply Chain Management: An international journal*, Vol. 7, No. 1, 2002, pp. 24-40.

〈부록 1〉 시뮬레이션 설정 및 결과

<표 5> 각 노드별 리드타임 설정

Node	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
운송 리드타임	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2
생산 리드타임	1	2	2	1	2	3	1	2	2	1	2	1

<표 6> 시장 점유율 설정

	Node 2 (Wholesaler)	Node 3 (Wholesaler)
Market 1	100%	-
Market 2	40%	60%

<표 7> 시나리오 1, 2, 3에서 예측정확도 별 서비스율 수준

Node	MADC-VOI (시나리오 1)						MADC-NVOI (시나리오 2)						NC (시나리오 3)
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
예측 정확도													-
Node 2	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.95	0.93	0.91	0.88	0.87	0.84	0.71
Node 3	0.96	0.93	0.92	0.88	0.88	0.83	0.97	0.94	0.92	0.89	0.88	0.85	0.83
Node 4	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.98	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.84
Node 5	0.95	0.91	0.86	0.85	0.82	0.78	0.96	0.92	0.91	0.87	0.87	0.83	0.77
Node 6	0.97	0.94	0.92	0.90	0.89	0.85	0.97	0.95	0.93	0.90	0.90	0.88	0.87
Node 7	0.98	0.97	0.95	0.95	0.93	0.92	0.99	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.92
Node 8	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.86	0.98	0.97	0.95	0.92	0.91	0.90	0.84
Node 9	0.98	0.97	0.96	0.94	0.94	0.93	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.91

<표 8> 시나리오 1, 2, 3에서 예측정확도 별 재고 수준

Node	MADC-VOI (시나리오 1)						MADC-NVOI (시나리오 2)						NC (시나리오 3)
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
예측 정확도													-
Node 2	257	280	274	286	303	302	247	279	272	289	314	343	277
Node 3	9	36	53	57	159	113	14	35	56	62	114	143	1
Node 4	267	499	668	837	996	1171	265	468	600	778	946	1442	553
Node 5	106	166	366	460	548	612	124	275	401	553	660	880	1005
Node 6	85	155	249	325	410	615	68	208	305	398	515	751	2
Node 7	270	544	998	1204	1476	1855	213	537	784	1079	1423	1556	463
Node 8	271	487	805	889	1192	1590	298	744	974	1194	1441	1875	1703
Node 9	477	783	1176	1473	2032	2596	479	880	1293	1686	2185	2270	940

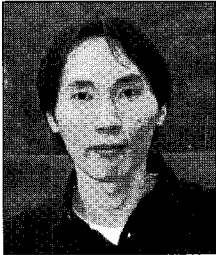
<표 9> 생산량 측면에서의 채찍 효과(시장 수요, Node 2, Node 5, Node 8)

	Node	MADC-VOI	NC
Average	Market 1, 2	50.3	50.29
	Node2	49.02857	36.82857
	Node5	50.97143	41.04286
	Node8	52.38571	45.67143
Standard deviation	Market 1, 2	4.602572	4.713301
	Node2	5.066735	5.24327
	Node5	5.008863	7.32879
	Node8	5.023083	9.920981

<표 10> 시나리오 1에서 재고 측면에서 예측정확도에 따른 채찍 효과의 변화

예측 정확도	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Node 2	1.84	2.00	1.96	2.04	2.16	2.16
Node 3	0.15	0.60	0.88	0.95	2.65	1.88
Node 4	1.91	3.56	4.77	5.98	7.11	8.36
Node 5	0.76	1.19	2.61	3.29	3.91	4.37
Node 6	1.42	2.58	4.15	5.42	6.83	10.25
Node 7	1.93	3.89	7.13	8.60	10.54	13.25
Node 8	1.94	3.48	5.75	6.35	8.51	11.36
Node 9	2.39	3.92	5.88	7.37	10.16	12.98

◆ 저자소개 ◆



안형준 (Ahn, Hyung Jun)

KAIST 테크노경영대학원에서 MIS 및 e-비즈니스 분야의 석사 및 박사 학위를 마치고 2004년 현재 KAIST에서 대우교수로 출강하고 있다. 주요 관심 분야는 멀티 에이전트 시스템, 지능 정보 시스템, 가상 조직 및 협력 지원 시스템 등이다.



박성주 (Park, Sung Joo)

KAIST 테크노경영대학원의 교수 및 대학원장으로 재직중이다. 서울대와 KAIST에서 산업공학 분야의 학사 및 석사 학위를 취득하였고 미시간 주립 대학에서 Systems Science 분야의 박사학위를 취득하였다. 박사 학위 취득 후 KIST의 소프트웨어 개발 센터에서 연구원으로 재직하였으며 1980년부터 KAIST에 재직해 오고 있다. 주요 관심연구분야는 지능 정보 시스템 및 에이전트 기술을 활용한 경영 의사결정 지원이다.

◆ 이 논문은 2004년 2월 12일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2004년 9월 22일 게재확정되었습니다.