「한국 시스템다이내믹스 연구」 제13권 제1호(2012. 4) : 81-112

공급능력제약이 존재하는 분권화된 공급체인의 조정메커니즘

Coordination Mechanisms for Decentralized Supply Chain in a Capacitated Distribution Network

박정훈* 최동현** 김성태***
Park, Jeonghoon* · Choi, Donghyun** · Kim, Sung Tae***

Abstract

This study investigate the impact of supply chain contracts on supply chain performance. This study employed Price adjustment contract(PAC) and Quantity adjustment contract(QAC) as two main types of a vertical coordination mechanism. We simulate different types of coordination mechanisms with various degrees of demand uncertainties and several capacity tightness scenarios. This study shows that PAC and QAC significantly enhance the supply chain profits and fill rates suggesting that supply chain performance can be improved by implementing a proper coordination mechanism depends on the level of a capacity tightness and demand uncertainty.

Keywords: 공급체인관리, 분권화된 공급체인, 공급체인계약, 조정메커니즘
(SCM, Decentralized Supply Chain, Coordination Mechanism, Simulation)

* 삼성전자 로지텍 과장 (제1저자, jeonghoon.park@gmail.com)
** 네브라스카 주립대학교 경영학과 박사수료 (공동저자, dhchoi@huskers.unl.edu)
*** 솔브릿지 국제경영대학 조교수 (교신저자, stkim1@solbridge.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

공급체인관리는 부분최적화의 한계를 극복하고 고객에게 가치를 제공하기 위해 전체 공급체인의 모든 구성원들의 협력을 통해 (Harland, 1996; Hinkkanen et al., 1997) 물자흐름을 원활히 하는데 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 정보의 통합적 관리를 추구한다. 그러나 정보흐름의 통합적 관리는 강력한 기업이 존재하는 중앙 집권화된(centralized) 공급체인하에서 가용한 전략접근으로 현실에 존재하는 많은 수의 분권화된(decentralized) 공급체인에는 적용하기 힘들다는 한계점을 가진다(Giannoccaro & Pontrandolfo, 2003). 분권화된 공급체인에서 전체최적화를 저해하는 주요인은 개별 이익극대화 목적의 일방적 위험이전행위로 볼 수 있으며, 위험의 합리적인 공유를 레버리지로 하는 조정메커니즘은 공급체인의 성과를 향상시킬 수 있다(Eda, 2004). 이러한 조정메커니즘으로 대표적인 것이 공급체인계약(supply chain contract)이며, 구매자의 반품을 허용하는 반품정책(return policy) 및 판매기간 중 주문량의 조정을 허용하는 수량유연계약(quantity flexibility)등이 여기에 포함된다(김태현 외, 2008).

공급체인계약에 관한 기존연구들은 주로 단일공급자-단일구매자로 이루어진 2단계 공급체인상에서의 단일기간에 대한 수리적 최적화에 집중되어 있다(Tsay et al., 1999; Wang, 2002). Tsay et al.(1999), Agrawal & Seshadri(2000), Cachon(2003)은 공급체인계약에 관한 기존연구들의 한계를 지적하며 공급 및 수요불확실성과 복수구성원을 고려하는 등 좀 더 현실적인 상황을 가정한 연구가 필요함을 제안하고 있다. 따라서 본 연구는 좀 더 현실적인 상황 하에서 분권화된 공급체인의 조정메커니즘으로 공급체인계약의 유효성을 검증하기 위하여 공급 및 수요측면의 불확실성이 존재하는 단일공급자-복수구매자로 구성된 공급체인을 연구대상으로 하였다.

본 연구를 통하여 해결하고자 하는 연구문제는 다음과 같다. 첫째, 공급체인 조정메커니즘을 통하여 분권화된 공급체인의 성과를 향상시킬 수 있는가? 둘째, 조정메커니즘의 유형별로 성과에 미치는 영향에 차이가 존재하는가? 셋째, 조정메커니즘의 효과는 수요 및 공급 불확실성(공급자의 공급능력제약에 따른 할당 발생 및 수요 변동성의 증감)에 영향을 받는가? 넷째, 공급체인이 처한 환경상황별로 더욱 효과적인 조정메커니즘이 존재하는가?

상기의 목적을 달성하기 위하여 기존 연구들에 대한 고찰과 전문가 인터뷰를 토대로 시뮬레이션 모형을 구축하였으며, 시뮬레이션 시행을 통하여 수집된 표본에 대하여 MANOVA(다변량 분산분석)를 이용하여 분석하였다. 본 연구는 기존연구들과는 달리 현실의 복잡도가 반영된 상황 하에서 조정메커니즘이 지니는 가치를 분석함으로써 학문적으로는 기존연구들에서 다루지 못하였던 변수들에 대한 심도 깊은 설명과 더 나아가 향후 관련

분야의 연구주제가 확장되는데 기여할 것으로 기대되며, 실무적으로는 공급체인에 속한 각 기업들이 처한 공급체인 환경에 적합한 조정메커니즘을 선택하는데 도움을 주어 성과를 극대화하는데 기여할 것으로 기대된다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 공급체인 조정 메커니즘

조정메커니즘은 의사결정권의 소유에 관한 문제로서 공급체인에서의 조정메커니즘은 전체 공급체인 상에서 체인의 운영에 관한 의사결정이 상・하류의 방향으로 얼마나 협력적으로 이루어지는가에 관한 문제로 볼 수 있다. 이는 공급체인상의 정보의 공유정도와도 밀접한 관련을 가지는데, Federgruen(1993)에 따르면 공급체인의 조정메커니즘을 크게 집중화된 조정메커니즘과 분권화된 조정메커니즘으로 구분할 수 있는데, 집중화된 조정메커니즘은 협력적인 의사결정 및 높은 수준의 정보공유가 가능한 상황에 해당되며, 분권화된 조정메커니즘은 구성권간의 독립적인 의사결정이 이루어지며 정보공유의 수준이 낮은 경우에 해당된다. 공급체인은 각기 다른 프로세스와 활동들을 가진 조직들로 구성된 시스템으로 초점기업이 강력한 권력을 소유하고 나머지 공급체인을 통제할 수 있는 위계 구조를 가진 경우라면 구성원간의 정보통합이나 생산계획의 공유 등을 기반으로 하는 CPFR(Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)이나 VMI(Vendor Managed Inventory)등의 조정메커니즘이 공급체인 조정을 위한 대안이 될 수 있다. 그러나 공급체인의 구조가 위계가 아닌 네트워크의 형태를 가진다면 분권화된 구조 하에서의 수직적인 조정메커니즘으로써 공급체인계약이 사용될 수 있는 것이다(Tsay, 1999).

Tsay(1999)는 공급체인계약을 통하여 공급자와 구매자들을 단일 개체처럼 조정할 수 있으며 이를 통하여 집중화된 공급체인 구조에서와 같은 정도의 이익을 창출할 수 있다고 제안한다. 공급체인 계약은 체인 내 구성원간의 거래에 대한 공식원칙들을 다루며, 계약수량 및 납품기일과 같은 기본 계약조건들 외에도 구성원들이 공급체인의 성과를 향상시키도록 유인하기 위해 다양한 종류의 인센티브를 이용하기도 한다. 인센티브는 채널의 각기 다양한 지점에서 발생하는 이익 및 위험을 공급체인 구성원들이 공유하도록 만드는 역할을 하는데(Ilaria & Pierpaolo, 2004) 이러한 역할이 자기중심적인 의사결정을 극복하도록 도와주는 기재로 작용되는 것이다. 인센티브를 이용한 공급체인 계약은 분권화된 통제구조가 가지는 단점을 공급체인계약이라는 조정메커니즘으로 보완해줄 수 있게 해주며, 특정 구성원

이 상대적으로 높게 부담하고 있는 위험을 공급체인 상에 골고루 분산시켜주는 역할을 한다(Tsay et al., 1999). 기존연구들에서 제시된 주요한 공급체인계약 유형들은 이해관계자들의 갈등을 조정하기 위한 작용점을 무엇으로 하는가를 기준하여 다음의 [표1]과 같이 분류될 수 있다(Wang, 2002).

상기에 제시된 주요 계약유형들 간의 대표적인 차이점은 다음과 같이 설명될 수 있다. 첫째, 반품정책과 바이백(buyback)계약은 타 계약유형들과는 달리 단일기간을 대상으로 하는 계약유형이다. 즉 시즌 중에는 계약수량의 조정이 불가능하다는 것이다. 반면, 수량유연성 계약과 백업계약에서는 계약량의 조정이 가능하다. 둘째, 반품정책과 바이백계약은 1회의 물자이동과 1기의 기간 후에 미판매재고에 대한 반품의 문제를 다루며 특히 바이백계약은 환매가격의 설정과 관련된 것으로 결국 최초 공급되는 도매가격의 설정과 밀접한 관련을 가진다. 반면 수량유연성계약과 백업계약은 1기의 판매기간을 나누어서 중간에 수량의 조정을 실시할 수 있는 기회를 부여한 것이며 2회의 물자이동과 두 번의 기간을 고려한다. 이상의 차이점을 다시 정리하면, 각 계약유형들이 주요 의사결정의 기준으로 하는 변수들이 공급가격인 유형과 공급수량인 유형의 2가지 집단으로 구분할 수 있다. Liu et al.(2005)의 연구에서도 다양한 공급체인계약의 유형들을 2가지로 구분하고 있는데, 그들은 반품정책, 바이백계약, 수량할인, 가격보호계약 등을 가격계약(pricing contract)으로, 최소구매량계약, 수량유연계약, 백업계약 등을 주문량계약(order quantity contract)으로 분류하고 있다.

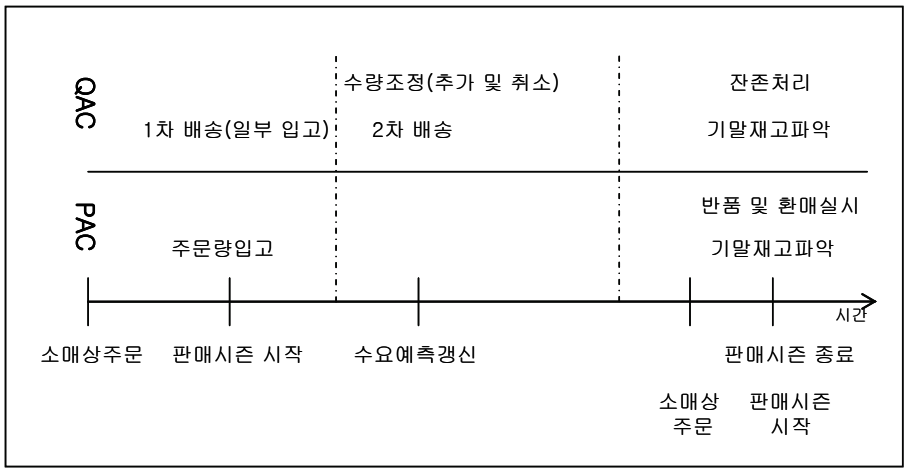
본 연구에서는 기존 연구에 대한 검토와 Liu et al.(2005)의 연구내용을 바탕으로 공급체인계약의 유형을 PAC(가격조정계약: Price Adjustment Contract)과 QAC(수량조정계약: Quantity Adjustment Contract)로 구분하여 모형화하고 각 계약유형의 효과성을 분석하였다.

2. 공급체인 계약과 성과간의 관계

환매가격과 반품허용비율의 조정을 공급자의 의사결정변수로 다루는 PAC에 관한 기존 연구들은 최적의사결정변수의 조건에서는 차이를 보이지만 PAC의 사용이 공급체인구성원 및 시스템, 재고수준, 충족률 등의 성과를 향상시킨다는 결과들을 제시하고 있다. Pasternack(1985)은 공급가격과 소비자가격이 고정된 뉴스벤더모형 가정하의 바이백계약에 관한 연구에서 전부반품부분환매(full return partial credit)조건의 계약이 이용되는 경우 시스템의 이익이 향상된다고 주장하였다.

〈표 1〉 계약유형의 요약(김태현 외, 2007b)

계약 유형	주요 연구	주요 연구	특징
반품정책	구매자의 미판매재고에 대하여 최초 도매가격으로 환불을 허용하지만 반품수량을 제한	Pasternack (1985)	환불가격 조정
바이백계약	반품정책중의 하나로서 구매자의 미판매재고 전량에 대해 반품을 허용하지만 환불은 최초 도매가격의 일부로 제한	Tsay (1999)	
수량유연성 계약	계약초기에 구매자는 주문량의 일정비율이상을 구매할 것을 약정하고 공급자는 주문량의 일정비율이상을 최초 공급가격에 제공할 것을 약정하며 초기 수요를 관찰한 후 상하의 범위 내에서 구매자가 실구매 수량을 조정가능	Tsay (1999)	시즌 중 계약 수량 조정
백업계약	수량유연성 계약과 유사하지만 추가주문이 불가능하며, 계약량의 일부범위 내에서 실구매량을 조정하도록 허용하나 미구매 분량에 대해서는 페널티비용 부과	Eppen&Iyer (1997)	



[그림 1] 판매시즌의 진행 및 계약유형별 주요 사건의 발생과정

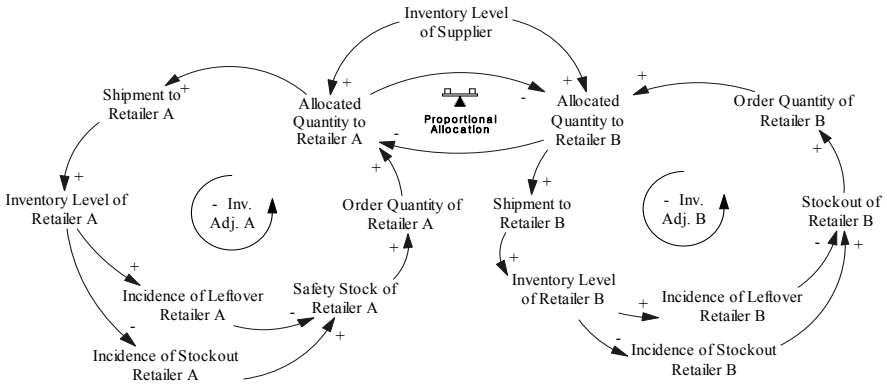
Kandel(1996)은 Pasternack(1985)의 연구를 확장하여 가격에 민감한 수요함수를 가정하여 연구하였으며, 구매자의 재판매가격을 공급자가 설정하는 경우에는 전부반품전부환매(full return full credit)조건에서 시스템이 가장 효율적이라는 결론을 제시한다. 또 다른 대안으로 공급자가 한계생산비용과 공급가격을 동일하게 설정하는 방식도 효율을 향상시킬 수 있다고 주장하고 있다. 그러나 이러한 경우에 전자는 공급자의 이익증가를 후자는 구매자의 이익증가를 가져온다. 즉 창출된 추가 이익에 대한 구성원간의 합리적인 배분이 뒷받침되어

야 상호이익을 제공하는 조정메커니즘의 역할을 할 수 있다. Cachon & Lariviere(2000)는 이러한 점에 착안하여 최적의 이익분배 방식에 관한 수학적 연구를 통하여 수익공유 메커니즘을 제안하였다. 김태현 외(2007b)은 반품정책에 관한 시뮬레이션 연구를 통하여 공급자의 반품허용은 공급체인의 재무적 성과뿐만 아니라 최종 고객에 대한 충족률도 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

이상의 논의들은 공급체인계약을 통하여 공급체인성과를 기대할 수 있다는 공통점을 가진다. 그러나 연구결과는 다양하고 제한적인 가정 하에서 이루어진 것이며, 성과변수가 주로 비용이나 수익 등 재무적 지표에 한정되어 있고 특정한 계약조건하에서 뒷받침되는 결과들이다. 본 연구의 대상이 되는 공급체인은 복수구매자가 존재하며 공급제약이 발생 가능한 상황으로 이전의 연구들과는 다른 결과를 보일수도 있다. 그러나 기존의 연구들을 종합해보면 공급체인계약이라는 수직적 조정메커니즘의 이용이 공급체인의 성과에 긍정적인 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다.

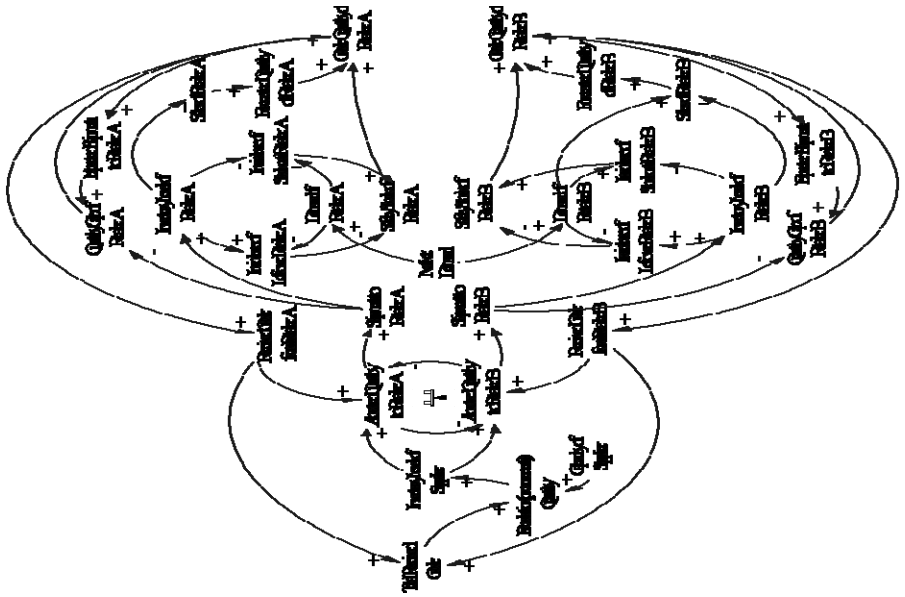
3. 공급능력 제약의 고려

본 연구의 대상이 되는 공급체인 구조인 단일공급자-복수구매자 구조의 공급체인은 공급체인의 하류에서 주로 관찰되는 형태(Lambert et al., 1998)로서 구조의 특성상 공급불확실성이 높기 때문에 할당 및 할당의 회피를 위한 할당게임이 발생가능하다는 특징을 가진다(Cachon & Lariviere, 2000). 할당게임은 공급능력에 제약이 존재하는 독점적 공급자 구조에서 공급량 부족에 따른 판매기회상실을 회피하기 위하여 구매자가 사전적으로 행하는 전략적 주문행위를 의미한다(Lee et al., 1997). 공급부족 상황이 발생할 경우에 구매자는 보다 많은 양을 공급받기 위하여 감추어진 행동을 할 수 있으며, 공급자는 구매자의 주문이 거짓임을 알고도 공급하는 경우가 발생한다(Cachon et al., 1999). 이러한 행동은 시간 경과에 따라 수요신호 왜곡을 심화시켜 채찍효과를 발생시키는 원인이 되기도 한다. 본 연구와 같이 공급능력의 제약을 고려하는 상황 하에서는 이러한 할당게임이 가지는 동적 특성이 조정메커니즘의 작용에 중요한 영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 시뮬레이션 모형에 정확하게 반영하기 위하여 [그림 2]와 같은 시스템 다이내믹스 기반의 인과관계도를 작성하여 모델링에 반영하였다.



[그림 2] 할당게임 및 각 구매자의 재고조정에 대한 인과관계도

먼저, 구매자 A와 구매자 B는 재고 확보를 위하여 경쟁적 노력을 기울이는 독립적 주체들로서 각각 유사한 자기 재고조정루프를 가진다. 각각의 재고조정루프의 작동에 따른 주문량의 변화는 할당에 영향을 미친다. 할당은 한정된 공급량을 복수의 구매자가 비례할당 받는 것으로 수평저울의 움직임과 같은 논리로 작동된다.



[그림 3] 단일공급자-복수구매자 공급체인구조에서의 할당게임의 작동 과정

할당에 의한 배송이 이루어지면 구매자의 재고수준은 증가하거나 감소하게 되고, 기대한 수량만큼의 확보가 되는가의 여부에 따라서 실제 수요를 대응함에 있어서 재고의 과부족이

발생가능하다. 재고의 과부족을 경험한 구매자는 다음 기에 동일한 손실이 발생하는 것을 방지하기 위하여 해당 기에 과부족량을 안전재고량에 반영하고 이는 다시 구매자의 발주량에 영향을 미치게 된다. 특히 지나친 과다주문으로 인하여 재고과다가 높은 수준으로 발생하면 주문량을 감소시킴으로써 이러한 손실을 방지하려는 노력도 이루어진다. 즉 할당게임에 의한 과다주문의 결과로 지나치게 많은 기말재고를 가지게 되면 이를 조정하기 위한 주문 감소 목적의 루프(Inventory Level of Retailer A -> Incidence of Leftover Retailer A -> Safety Stock of Retailer A -> Order Quantity of Retailer A)가 작동하며, 이러한 결과 수요량이 비정상적으로 지속적인 급격증가를 보이지 않는 한 어느 한 구매자가 모든 할당량을 가져가게 되는 사건은 발생하지 않을 것이다. 이상의 할당발생 관련 의사결정과정을 반영한 단일공급자-복수구매자 구조를 가진 공급체인전체에 대한 인과관계도는 다음의 [그림 3]과 같다. 인과관계도상의 주요 의사결정 루프는 공급자의 주문충족루프, 구매자의 주문 및 과다재고조정루프이며 각 루프에 대한 설명은 다음과 같다.

공급자의 주문충족 루프 (공급자의 주문 수취 및 공급 프로세스) : 구매자의 주문이 발생하면 공급자는 생산(또는 조달)[1]을 통하여 재고를 확보하며 확보된 재고는 각 공급자의 주문량만큼 배송된다. 단, 공급량이 주문량보다 작은 경우에는 할당이 발생하게 된다. 본 연구에서 공급자의 할당은 비례할당에 의해서 이루어지면 상대적으로 많은 양의 발주를 했던 구매자 쪽에 더욱 많은 양이 배분되게 된다. 이러한 할당규칙에 의해서 각 구매자로의 할당이 발생된다. 구매자의 판매시즌이 종료되면 각 구매자는 다시 발주를 하게 된다. 이러한 순환적 과정이 반복적으로 발생되면서 주문-공급이 이루어진다. 한 쪽 구매자에 대한 인과관계는 다음과 같다.

구매자 주문 루프 (구매자가 안전재고와 수요예측량을 고려하여 발주하는 프로세스에 대한 균형루프) : 구매자의 재고관리 모형은 단일기간재고모형을 가정하며 정해진 시즌을 위한 주문을 수행하고 보유재고는 시즌이 종료되면 더 이상 판매되지 않는 것을 가정한다. 그러나 단일기간재고모형에서의 주문량 의사결정은 과거의 동질적인 제품의 수요가 가지는 분포를 참고하는데 이는 과거의 재고과부족의 경험이 분포의 형태로서 차기의 의사결정에 영향을 미치는 것을 의미한다.

즉 구매자는 당기 판매에서 발생된 재고과부족을 고려하여 이를 안전재고의 개념으로서 총 주문량에 반영하게 된다. 따라서 인과관계도에서 각 구매자의 재고과부족 발생은 안전

1) 공급자의 생산(조달)은 공급능력에 의하여 최대량이 제약될 수 있으며, 수요가 지속적으로 증가하는 제품의 경우에는 작업시간의 연장 및 생산설비의 확장 등이 일반적으로 고려된다. 본 연구에서 공급자의 생산능력 확장은 연구범위에 포함되지 않으며 따라서 공급능력은 일정한 수준의 제약을 가지는 것으로 본다.

재고수량에 영향을 미치며 결국 주문량에 영향을 주게 된다.

구매자의 수요예측은 판매량을 근거로 하여 이동평균법에 의하여 도출된다. 발주된 주문은 상기의 주문충족 루프를 따라 충족되어진다. 그리고 할당이 발생하는 경우에는 예정된 배송량 보다 적은 양이 배송될 수 있다. 구매자는 할당에 의해 발생한 상대적 배송량 손실을 만회하기 위하여 다음기의 주문량에 당기 미배송량을 반영한다

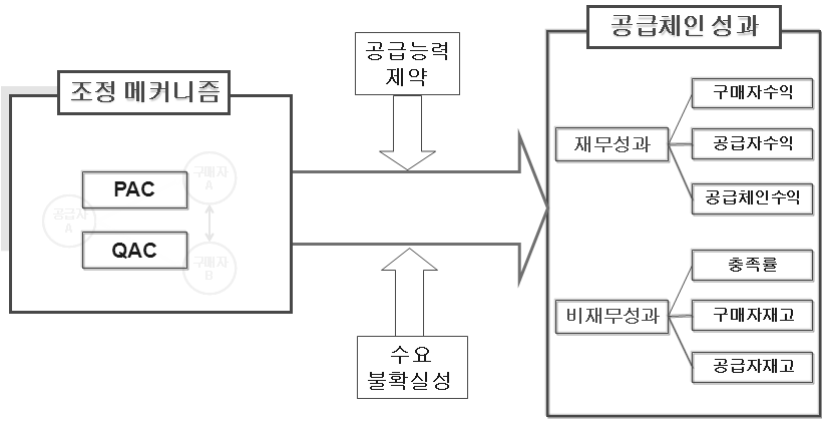
구매자 과다재고 조정루프 (구매자가 과다재고경험에 의하여 주문량을 감소시키는 균형루프) : 예로, 구매자 B에 과다재고가 발생하면 다음 기 주문량을 감소시키게 되며 결과적으로 구매자 B에 대한 배송량의 감소로 인하여 과다재고의 발생을 감소시키게 되는 루프가 작동되게 된다.

Ⅲ. 연구방법

1. 연구의 프레임워크

이상의 논의를 바탕으로 [그림 4]와 같은 연구 프레임워크를 작성하였다. 본 연구는 조정 메커니즘인 PAC와 QAC과 공급체인의 성과에 영향을 미치는 영향을 알아보는 것을 주목적으로 한다. 그 후 공급 제약 능력과 수요의 불확실성이라는 조정 변수가 이 관계에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 통해 그 상황에 따른 올바른 조정 메커니즘을 제시하고자 한다. 기존의 연구들에 따르면 조정 PAC와 QAC는 그 상황에 따라 성과에 다른 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 연구 상황에 적합한 공급체인 구조 가정 하에서 대표적인 두 가지 조정메커니즘인 PAC와 QAC가 적용된 모형을 개발하고 각 모형의 성과를 조정메커니즘이 이용되지 않는 기본모형과 비교하여 성과의 증감정도를 분석하였다. 또한 각 조정메커니즘간의 효과성에 대한 비교를 위하여 수요 및 공급측면의 불확실성이 고려된 연구 모형들을 포함하였으며, 연구 설정에 의하여 정의된 시나리오별로 성과에 대한 비교분석도 수행하였다.

시뮬레이션 결과의 분석은 본 장에서 도출된 연구 프레임워크를 기준으로 조정메커니즘의 주효과와 공급능력제약 및 수요불확실성과의 상호작용이 공급체인성과들에 영향을 검증하기 위하여 MANOVA (다변량분산분석)을 이용하였다. 공급체인구조의 특성으로써 공급능력제약의 존재 및 부족분 발생의 정도를 공급 측의 불확실성 요인으로, 수요변동성 개념으로 수요불확실성의 정도는 수요측의 불확실성 요인으로 반영하였다.



[그림 4] 연구의 프레임워크

2. 실험요인 및 실험설정

다음의 [표 2]와 같이 실험요인은 조정메커니즘, 공급능력제약, 수요불확실성의 3가지 요인으로 구성되며, 각 요인별로 3가지의 처치 수준을 설정하였다. 조정메커니즘은 기본모형을 포함하여 3가지 처치수준을 가지며, 공급능력제약은 제약 여부 및 제약 존재시 공급부족의 정도에 따라서 3가지의 처치수준을 가진다. 수요불확실성은 이를 반영하는 수요표준편차의 크기(평균의 10%, 50%, 100%)에 따라 3가지로 구분하였다.

또한 위와 같은 실험요인별로 집단을 구분하여 표집을 실시하기 위하여 실험요인의 조합으로 구성된 총 27개(3×3×3)의 연구시나리오를 다음의 [표 3]과 같이 구성하였다.

〈표 2〉 실험요인 및 처치수준 요약

실험요인	처치수준
조정메커니즘	기본모형, PAC, QAC
공급능력제약	없음, 있음(5%), 있음(20%, 상시할당)
수요불확실성	낮음(μ×0.1), 중간(μ×0.5), 높음(μ×1.0)

3. 성과변수 구성 및 측정

본 연구에서는 공급체인 전체 시스템의 재무성과로서 공급체인 이익을 핵심적인 성과변수로 하였다. 그러나 Cachon & Lariviere(2000)의 연구에서도 지적되었듯이, 조정메커니즘의 이용은 전체이익을 향상시킬 수 있지만 어느 한 구성원에게는 손실을 발생시킬 수도 있다. 그렇기 때문에 구성원들의 개별적인 이익에 대한 고려가 반드시 필요하며, 공급자 및 구매자의 이익을 성과변수에 포함시켰다. 공급체인 이익은 공급자와 구매자들의 이익의 합계이며, 각 구성원의 이익은 매출에서 재고비용 및 관리비용 그리고 잔존가치 등이 가감된 순익을 기준으로 한다(Liu et al., 2006).

다음으로, 비재무성과면에서는 공급체인의 고객 충족률과 재고수준(공급자 및 구매자 각각의 평균재고수준)을 성과변수로 설정하였다. 고객서비스수준의 성과로서 충족률은 제품 가용성에 대한 중요한 측정치로서 가용재고범위 내에서 고객주문이 충족되는 비율로 정의된다(Chan& Chan, 2006; Cachon & Terwiesch, 2006). 충족률의 향상은 매출증가로 이어져 공급체인의 이익에 포함된다고 볼 수 있으나, 낮은 충족률은 높은 결품률을 의미하기 때문에 충족률은 판매기회상실에 대한 비용을 반영해 줄 수 있다는 차이점을 지닌다(Cachon & Terwiesch, 2006). 판매기회상실은 기회비용으로써 정확히 비용으로 측정되기 힘들기 때문에 비용적인 효과와는 별도로 측정되는 것이 합리적이다. 또한 본 연구에서의 충족률은 공급체인관점에서의 충족률로서 복수구매자의 개별충족률들의 평균으로 계산된다(Zhang & Dilts, 2004). 재고수준에 따른 비용의 발생은 이익에 포함되어 계산되지만, 재고비용의 수준에 따라서 이익에 미치는 영향에 차이가 존재하기 때문에 재고성과를 별도로 분리하여 시스템의 운영효율성 차원에서 측정하는 것이 필요하다. 재고수준은 공급자와 구매자의 평균재고수준으로 측정하였으며, 구매자의 재고수준은 복수구매자의 평균재고수준으로 측정하였다.

Ⅳ. 시뮬레이션 모형

본 연구에서는 판매기간 및 공급에 관한 의사결정이 일정기간 동안 반복적으로 발생하는 다기간 의사결정의 성과를 분석하는 것을 목적으로 한다. 또한, 연구에서 고려하는 공급체인의 의사결정변수들 간에는 시간적 선후관계 및 인과관계가 다수 존재하며 이는 다시 복합적 상호작용을 통하여 시스템에 동적특성을 발생시킨다. 따라서 본 연구에서는 연속기간에 대한 동적특성을 반영하기 적합한 방법으로 시스템다이내믹스 시뮬레이션을 이용하

였다.

〈표 3〉 연구 시나리오

시나리오	주요인	통제 요인		실험 설정 수	반복 횟수
	조정메커니즘	공급부족분비율	수요불확실성		
1	BASE	없음(할당 없음)	낮음	3×3	2,700 (100×27)
2			중간		
3			높음		
4		5%(할당발생)	낮음		
5			중간		
6			높음		
7		20%(항상 할당)	낮음		
8			중간		
9			높음		
10	PAC	없음(할당 없음)	낮음	3×3	
11			중간		
12			높음		
13		5%(할당발생)	낮음		
14			중간		
15			높음		
16		20%(항상 할당)	낮음		
17			중간		
18			높음		
19	QAC	없음(할당 없음)	낮음	3×3	
20			중간		
21			높음		
22		5%(할당발생)	낮음		
23			중간		
24			높음		
25		20%(항상 할당)	낮음		
26			중간		
27			높음		

모형의 물리적 흐름구조 및 의사결정 구조는 Forrester(1961) 및 Sterman(2001)이 제시한 생산 및 물류흐름의 기본모형을 기반으로 모형화 하였으며, 조정메커니즘에 대한 모형화는 공급체인계약에 관한 시뮬레이션 연구인 김태현 외(2007a, 2007b, 2008)의 연구 및 박정훈과 김선민(2008)의 연구를 기반으로 모델링하였다. 시뮬레이션 소프트웨어로는 Ventana Systems사의 Vensim 5.6 DSS를 이용하였으며, 구체적인 시뮬레이션 모형의 수식은 부록에서 제시하였다.

1. 연구의 주요가정

본 연구에서는 분권화된 공급체인의 상황을 보다 정확하게 반영하기 위하여, 기존 연구들에서 이용되었던 가정들을 바탕으로 실무자 및 관련분야 전문가들에 대한 인터뷰 내용을 참고하여 다음과 같이 연구가정을 설정하였다. 첫째, 가격변화에 종속적인 수요변화 효과를 통제함으로써 조정메커니즘으로 작용하는 의사결정변수의 순수한 효과만을 분석하기 위하여 공급가격 및 소비자가격은 고정된 것으로 가정한다. 둘째, 시장 수요의 불확실성을 반영하기 위하여 수요는 확률밀도함수를 따르며 정규분포하는 것으로 가정한다. 셋째, 분권화된 공급체인구조를 가지는 제품들은 수명주기가 매우 짧은 계절성 제품(Wang, 2002)들로서 본 연구에서도 특정 판매시즌에 대한 공급자의 생산기회는 단 1회만 존재하는 것으로 가정한다(Cachon, 2004). 넷째, 분권화된 공급체인은 거래기반 관계구조를 가지는 구성원들로 구성되는 경우가 많기 때문에 공급자와 구매자간에 정보비대칭이 존재하는 것으로 가정한다(Chan & Chan, 2006), 다섯째, 분권화된 지배구조하의 구성원들은 각자 자신의 위험을 최소화하고 이익을 최대화하기 위한 행동을 할 것이다. 따라서 공급체인 구성원은 자신의 이익만을 최대화하기 위한 의사결정을 수행하는 것으로 가정한다. 마지막으로, 각 구매자의 시장수요는 독립적이며, 상호수요분포간의 상관은 존재하지 않는 것으로 가정한다(Cachon, 2003).

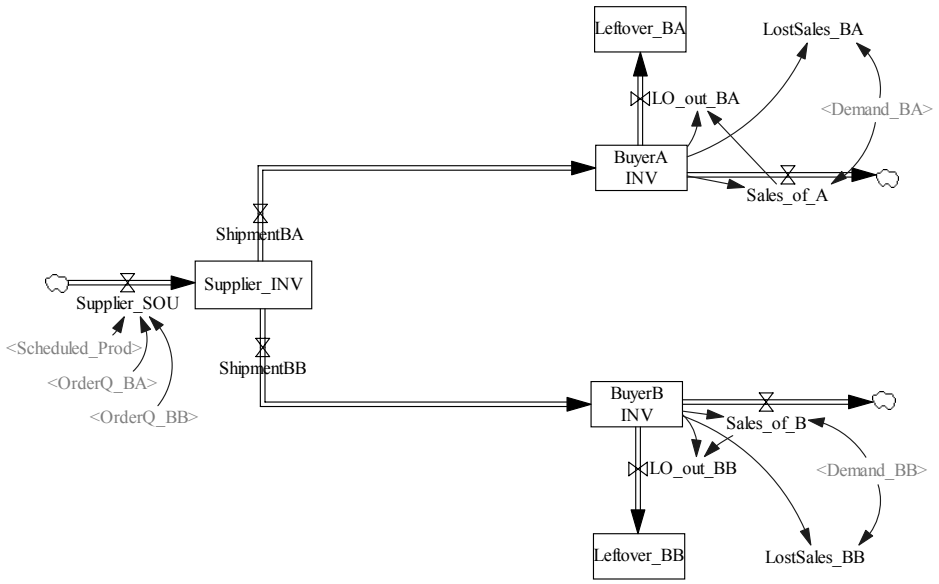
2. 시뮬레이션 모형

분권화된 공급체인의 기본모형 및 PAC가 적용된 모형은 김태현 외(2008)의 연구를 기반으로 모델링하였으며, QAC가 적용된 모형을 추가적으로 개발하였다. 시뮬레이션 모형의 기본적 작동과정은 다음과 같다.

[그림 5]는 공급체인 하류의 전형적인 구조로서 단일 공급자와 복수구매자에 대한 물리적 흐름을 모형화한 것이며, 주문 및 배송은 단일기간재고모형에 기반을 둔 것이다. 즉 구매자는 판매시즌의 수요에 대응하기 위하여 시즌의 시작 전에 발주를 하며, 공급자는 주문량에 대하여 시즌시작 전에 생산을 완료하여 구매자에게 배송을 실시한다. 소비자의 수요가 발생하면 판매가 이루어지며 수요가 구매자 재고량보다 많으면 재고부족이, 구매자 재고량보다 적으면 재고과다가 발생한다.

공급체인 시스템의 기본적 운영절차로서 구매자의 주문 및 공급자의 배송은 단일기간재고모형에 기반을 둔다. 즉 구매자는 판매시즌 수요에 대응하기 위하여 시즌 시작 전에 발주를 하며, 공급자는 주문량에 대하여 시즌시작 전에 생산을 완료하여 구매자에게 배송을

실시한다. 판매시즌 중에는 수요변동에 따라 재고과부족이 발생할 수 있다. 이와 같은 기본모형(base model)에 PAC가 적용되면 시즌이 종료된 후, 구매자의 잔여재고의 일정비율이 공급자에게 반품이 가능해지며 공급자는 반품에 따른 환불 및 재고처분등의 활동을 수행한다. 조정메커니즘으로 QAC를 이용하는 경우에는 최초 배송시에 주문량의 일부에 대한 배송만 이루어지며, 예측갱신시점에서 잔여배송량을 대상으로 기 주문량 일부에 대한 취소 및 추가적인 구매수량이 포함된 수량에 대한 2차 배송이 이루어진다. 따라서 2차 배송에 대한 물리적인 흐름이 고려되며, 수량조정상한에 대응하기 위한 공급자의 추가생산 및 보존재고수량(1차 배송후의 잔여분)에 대한 공급자의 재고유지비용 발생에 대한 정보 및 자금의 흐름이 기본모형에 추가적으로 고려된다.



[그림 5] 공급체인 기본모형 : 물리적 흐름

3. 모형의 타당성 평가

시뮬레이션 모형의 타당성 평가를 위하여 시스템 다이내믹스 모형에 대한 전형적인 타당성 평가방법인 균형상태 확인, 극한조건 평가 및 주요 상수값에 대한 민감도 분석(Sterman, 2001)을 실시하였다. 첫째, 균형상태 확인을 위하여 정규분포를 따르는 고객의 수요함수 평균값을 시뮬레이션 기간 중에 3배로 증가시키고 다시 원래 값으로 돌아오게 조작하였으며, 수요에 종속적인 저량 변수인 공급자 재고 및 구매자 재고 수준은 수요의 일

시적 변동이후 일정한 값으로 회귀하는 균형 상태를 보이는 것을 확인하였다. 둘째, 극한조건 평가를 위하여 수요량을 극단적으로 변화시켰을 때에도 시뮬레이션 모형이 안정적으로 작동하는지를 검증하였다. 수요함수 평균치의 기본 설정 값을 기준으로 각각 0%, 50%, 100%, 200%, 300%씩 증감시켜 모형을 작동시킨 결과, 관련 변수들이 정상적 수치범위내에서 안정적으로 변화하는 모습을 확인하였다. 마지막으로 연구의 중요 상수값으로이동평균기간과 가격요소들에 대한 다변량 민감도분석을 수행하여 각 상수값의 변화에 따른 주요 성과변수 값의 변화범위를 분석하였으며, 분석결과 상수값 변화에 따른 모형의 행태가 현실에 위배되지 않음을 확인하였다.

Ⅴ. 연구 결과

시뮬레이션은 주(weeks) 시간단위이며 1년을 1시즌으로 가정하여 총 50시즌을 진행[2]하였다. MANOVA에 적합한 표본추출을 위하여 Bienstock(1996)이 제시한 γ(상대적 정확도 지표)값[3]을 이용하여 각 시나리오별로 100회씩의 반복시행을 실시하여 총 2,700개의 표본을 추출하였다.

MANOVA를 적용 타당성을 검증하기 위하여, Bartlett의 구형성 검증을 실시하였으며, Bartlett의 검정통계량은 249438.911, 유의확률은 $p<0.01$으로 종속변수의 상관계수 행렬이 단위행렬이 아니며, 따라서 종속변수들 간의 상관이 통계적으로 유의미하여 MANOVA 적용이 타당한 것으로 확인되었다.

다음으로 다변량 분석표를 보면 성과변수들은 조정메커니즘에 따라 Wilks' 람다값이 .000로서 유의수준 $p<0.001$에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다 [표 4 참조]. 조정메커니즘과 공급부족분의 상호작용 및 조정메커니즘과 수요불확실성의 상호작용도 각각 Wilks' 람다값이 각각 0.000과 0.804로 유의수준 $p<0.001$에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 공급자 재고수준의 단변량 F값은 0.71($p>0.05$)로 조정메커니즘과 수요불확실성의 상호작용에 의한 차이는 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 또한 조정메커니즘과 공급부족분 및 수요불확실성의 상호작용은 Wilks' 람다값이 0.948로 성과변수들의 평균차이에 통계적으로 유의미한 영향을 주지만 충족률에 대해서만 단변량 F값이 2.58($p<0.05$)유의한 것으로 나타났다.

---

2) 실제 시뮬레이션에서는 워밍업기간으로 156주(3시즌)를 별도로 포함하였음.

3) $\gamma = \dfrac{\text{신뢰구간}}{2} / \overline{X},\ \gamma = p < 0.05$

따라서 연구결과의 분석을 조정메커니즘의 주효과 및 공급부족분 정도와 수요불확실성과의 상호작용효과에 대하여 구체적인 성과변수별로 실시하였으며, 3가지 요인의 상호작용효과는 충족률 성과에 한정해서 분석하였다.

1. 조정메커니즘의 영향

조정메커니즘이 성과의 차이에 미치는 영향에 대한 사후검정 결과는 [표 5]와 같으며, 추정된 주변평균의 그래프는 [그림 6], [그림 7]과 같다. 먼저, 재무성과에 대한 분석으로 공급자 이익은 기본모형에서 가장 높게 나타났으며, 구매자 이익은 QAC에서 가장 높게 나타났다. 공급체인관점에서의 이익은 PAC가 이용되는 경우에 가장 높게 나타났다. 사후검정 결과를 분석하면, 공급자 이익에서는 PAC와 QAC가 이용되는 경우가 기본모형보다 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 구매자 이익에서는 QAC>PAC>기본모형 순으로 이익에 유의한 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 공급체인이익에서는 PAC>QAC>기본모형 순으로 기여도가 높은 것으로 나타났으며, PAC와 QAC 간의 차이는 유의미하지 않지만 각 조정메커니즘에서의 공급체인이익과 기본모형과의 차이는 유의미한 것으로 검증되었다. 따라서 PAC와 QAC이용은 공급체인의 이익을 향상시킨다는 결론을 내릴 수 있다.

다음으로 비재무성과에 대한 분석결과, 충족률은 PAC 이용 시에 가장 높게 나타났으며, 구매자 재고수준은 QAC 이용 시에 가장 낮게 발생되었다. 그러나 공급자 재고수준은 PAC와 QAC 이용 시에 오히려 높아지는 것으로 나타났다. 사후검정 결과를 분석하면, 충족률 면에서는 PAC>QAC>기본모형 순으로 높게 나타났다. 구매자 재고수준은 QAC 이용 시에 낮고 PAC 이용 시에는 증가되는 모습을 보이며, 공급자 재고수준은 QAC>PAC>기본모형 순으로 높게 나타났다. 요약하면, 반품허용 및 수량조정의 인센티브를 제공하는 공급자측은 재고부담증가, 구매자측은 인센티브를 활용함에 따른 충족률 증가 및 QAC 이용하의 구매자재고수준 감소를 얻게 되는 것으로 해석된다.

〈표 4〉 다변량 분석표

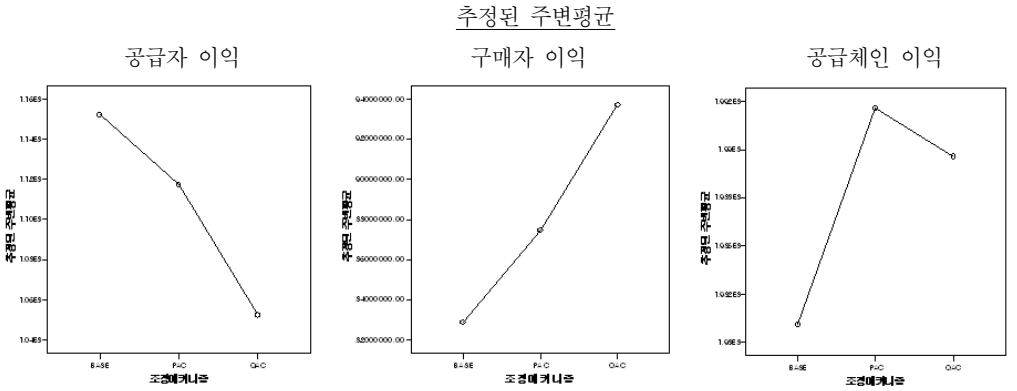
변량원	종속변수	Wilks' λ	자승합	자유도	평균제곱	F
조정 메커니즘	공급자이익	0.000***	4.57E+16	2	2.29E+16	1682.29***
	공급체인이익		5.29E+16	2	2.65E+16	1497.72**
	구매자이익		6.2E+14	2	3.1E+14	5.84***
	충족률		0.256601	2	0.1283	381.49***
	공급자재고수준		2.82E+09	2	1.41E+09	235798.48***
	구매자재고수준		28371790	2	14185895	12984.95***
조정메커니즘 *공급부족분	공급자이익	0.000***	1.81E+17	6	3.01E+16	2216.81***
	공급체인이익		7.91E+16	6	1.32E+16	746.46***
	구매자이익		4.14E+17	6	6.9E+16	1299.46***
	충족률		8.440827	6	1.406805	4182.97***
	공급자재고수준		1.06E+09	6	1.77E+08	29516.50***
	구매자재고수준		89063700	6	14843950	13587.30***
조정메커니즘 *수요불확실성	공급자이익	0.804***	7.14E+14	6	1.19E+14	8.76***
	공급체인이익		1.72E+15	6	2.86E+14	16.20***
	구매자이익		4.53E+15	6	7.56E+14	14.23***
	충족률		0.087257	6	0.014543	43.24***
	공급자재고수준		25352.96	6	4225.493	0.71
	구매자재고수준		26681.17	6	4446.861	4.07***
조정메커니즘 *공급부족분 *수요불확실성	공급자이익	0.948***	1.74E+14	12	1.45E+13	1.06
	공급체인이익		3.07E+14	12	2.56E+13	1.45
	구매자이익		4.13E+14	12	3.44E+13	0.65
	충족률		0.010405	12	0.000867	2.58**
	공급자재고수준		9005.136	12	750.428	0.13
	구매자재고수준		16320.08	12	1360.007	1.24

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

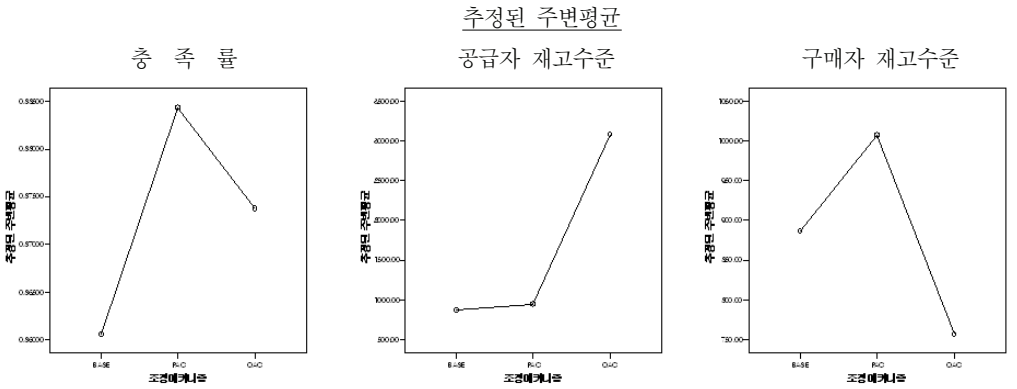
〈표 5〉 조정메커니즘간의 성과차이에 대한 사후검정

종속변수	조정메커니즘	기본모형과의 차이	표준오차
공급자이익	PAC	3455415*	173814
	QAC	9930240*	173814
구매자이익	PAC	-4577426*	198144.2
	QAC	-1.1E+07*	198144.2
공급체인이익	PAC	-1118408*	343538.2
	QAC	-868971*	343538.2
충족률	PAC	-0.02383*	0.000865
	QAC	-0.0132*	0.000865
공급자재고수준	PAC	-66.9389*	3.647286
	QAC	-2201.83*	3.647286
구매자재고수준	PAC	-120.372*	1.558124
	QAC	130.6519*	1.558124

사후검정 :Tukey, *. p<0.05



[그림 6] 조정메커니즘에 따른 재무성과비교



[그림 7] 조정메커니즘에 따른 비재무성과 비교

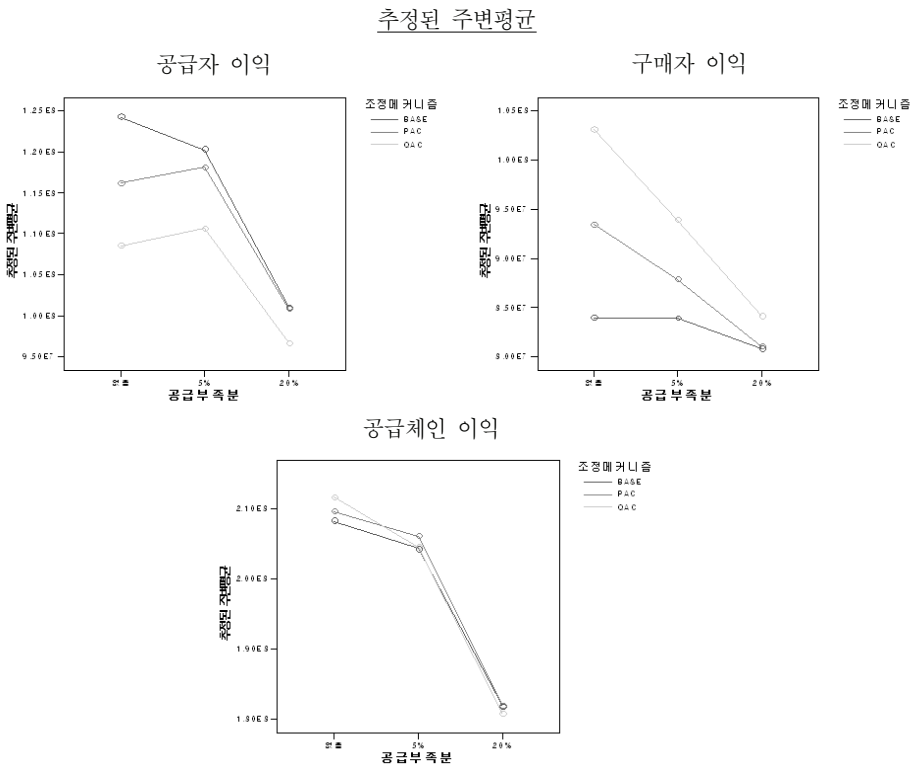
이상의 분석결과를 종합하면, 구매자 입장에서는 조정메커니즘을 이용함으로써 높은 이익을 기대할 수 있으며 PAC를 이용하여 높은 충족률, QAC를 이용하여 낮은 재고수준을 달성할 수 있다. 또한, 공급체인관점에서는 두 가지 조정메커니즘 모두 효과적인 대안으로 상정되며 PAC를 이용하여 높은 충족률의 달성을 기대할 수 있다. 그러나 조정메커니즘의 이용은 당사자 간의 상호이익증가를 목표로 하는 것으로 어느 한 쪽의 이익증가만이 발생된다면 조정메커니즘으로의 의미를 상실하게 된다. 이러한 결과는 Cachon & Lariviere(2001)의 주장과도 일치하는 것인데, 그들은 수직적 조정메커니즘 자체로는 분권화된 공급체인의 성과향상이 불가능하다는 결론을 내리면서 조정 당사자의 어느 한 방향으로만 발생되는 추가적인 이익에 대한 구성원간의 재분배 기재가 필요함을 역설하였다. 따라서 조정메커니즘의 현실적인 적용을 위해서는 이익의 합리적인 분배 방식에 대한 고려가 반드시 이루어져

야 할 것이다.

2. 조정메커니즘과 공급능력제약의 상호작용 영향

조정메커니즘과 공급능력제약의 상호작용은 모든 성과지표들의 평균차이에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. [그림 8]에서 보는 바와 같이, PAC와 QAC가 이용되는 경우, 공급능력제약에 따라 할당이 발생 가능한 조건(공급부족분: 5%)에서는 구매자 이익이 상대적으로 감소하는 모습을 볼 수 있으며, 상시할당이 발생되는 상황(공급부족분: 20%)에서는 조정메커니즘 적용시의 성과가 기본모형과 유사한 수준으로 저하됨을 보인다. 이는 공급부족이 현저하게 발생되는 상황에서는 조정메커니즘의 효과성이 제약되고 있는 것으로 볼 수 있다.

이는 할당발생에 추종되는 할당게임에 의한 영향으로 해석된다. 공급이 부족한 경우에 공급자는 복수의 구매자에 대하여 각자의 과거주문실적에 근거하여 비례할당을 실시한다. 따라서 구매자는 상대적 부족분을 회피하기 위하여 주문실적을 관리할 수밖에 없다. PAC 이용 시 구매자는 판매시즌이 종료된 후에 잔존하는 기말재고에 대하여 주어진 반품범위 내에서 반품을 실시할 수 있다. 그러나 할당이 예측되는 경우에 구매자는 기말재고가 발생하더라도 반품을 실시하지 않으려 할 것이다. 결국 구매자는 할당이 발생하지 않는 경우에 비하여 기말재고에 대한 처분손실을 높게 부담하게 되어 이익이 하락되는 것으로 판단된다. 이에 반하여 공급자는 반품에 따른 환매손실이 감소하게 되어 비용감소에 따른 이익향상이 발생하는 것으로 해석된다. QAC 이용 시에도 공급자 및 구매자 이익패턴의 변화가 PAC와 유사한 모습을 보이고 있다. QAC에서 보이는 이러한 패턴은 할당에 따른 주문량 증가의 효과로 해석된다. 할당이 발생한 다음 기에서의 주문량증가 및 할당이 발생되지 않는 시기에서의 2차 주문량의 증가가 서로 합산되어 PAC에서의 초기주문량 증가 효과와 비슷한 효과를 나타내는 것으로 판단된다.



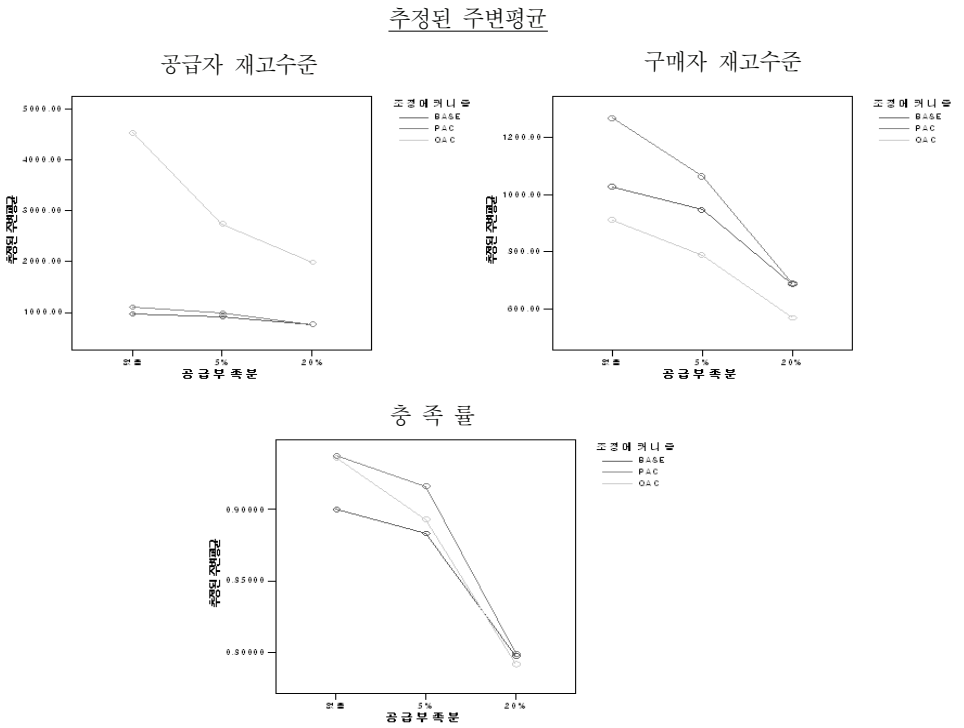
[그림 8] 조정메커니즘과 공급능력제약의 상호작용에 따른 재무성과 비교

공급체인 이익을 보면 공급능력 제약정도가 높은 경우에는 PAC의 효과성이 소멸되며, QAC의 경우에는 이익이 다소 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 QAC 이용 시 할당발생에 따라 구매자 이익의 감소 폭이 크기 때문으로 판단되며, 이는 할당 발생 시 주문량 추가기회는 제한되고 주문취소기회는 유지되기 때문으로 해석된다. 할당이 발생되지 않는 경우, 즉 공급자의 공급능력에 제약이 없는 경우에는 조정메커니즘 이용 시 성과가 향상되지만 공급능력제약에 따라 할당이 발생 가능한 상황(공급부족분:5%)하에서는 PAC 이용 시에 한해 기본모형보다 약 1%정도 높은 이익을 발생시키고 있다.

비재무성과에 대한 상호작용의 영향은 다음과 같이 해석될 수 있다. 공급능력제약이 증가함에 따라 전반적인 충족률이 저하되는 모습을 보이며, 공급부족분(5%) 상황에서 PAC가 이용되는 경우 QAC 이용 시 보다 상대적으로 낮은 감소추세를 보이고 있다. 이는 PAC이용의 경우 초기주문량증가유인에 따라 QAC가 이용되는 경우보다 평균적으로 높은 수준의 재고를 유지하기 때문으로 해석된다. 그러나 이러한 충족률 면에서의 높은 성과는 [그림 9]에서 보는바와 같이 구매자 재고수준이 높게 유지되기에 가능한 것으로 볼 수 있다. 즉

PAC 이용 시의 충족률 향상을 긍정적인 측면으로만 볼 수는 없다는 것이다. 재고유지에 수반되는 노력과 비용이 높게 발생하는 제품을 취급하는 공급체인이라면 이러한 관계를 잘 파악하여 조정메커니즘의 적용여부를 결정하여야 할 것이다. 반대로 QAC 이용 시에는 충족률이 기본모형보다 약간 높으면서도 구매자의 재고수준은 더욱 낮게 유지되고 있다. 구매자 입장에서 본다면 상대적으로 낮은 수준의 재고를 유지하면서 기본 모형보다 높은 이익을 기대할 수 있을 것이다.

공급자 재고수준면에서는 QAC 이용 시 더욱 높은 재고수준을 보여주고 있으며, 공급능력제약이 존재하는 경우에는 QAC 이용 시에만 공급자재고가 저하되는 모습을 보인다. 이는 QAC 이용 시 공급자가 배송량의 일정 분을 예측갱신시점(2차 배송시점)까지 보존하고 있기 때문에 공급부족이 발생하면 보존량도 감소하며, 또한 생산량 자체가 감소한 영향으로 해석된다.

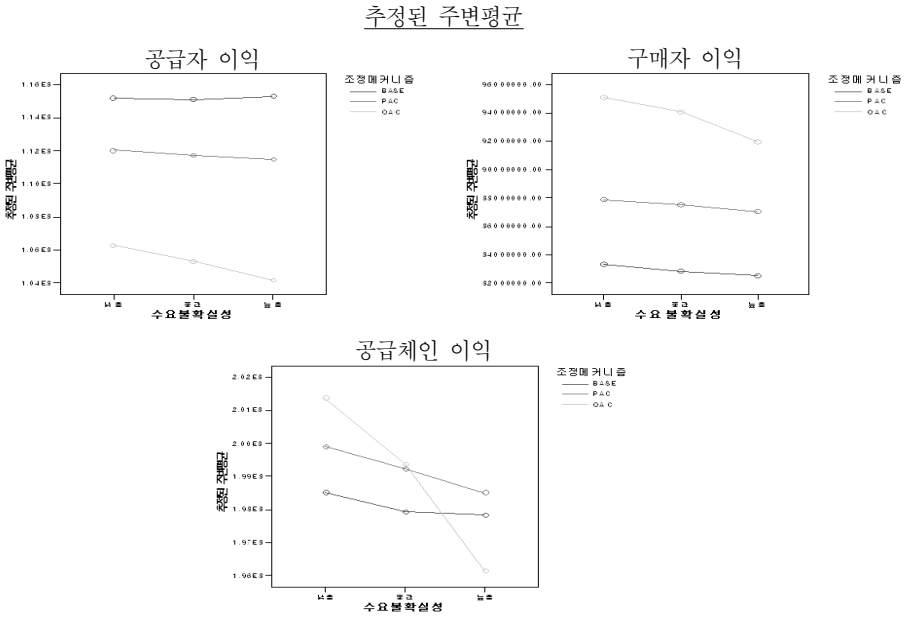


[그림 9] 조정메커니즘과 공급능력제약의 상호작용에 따른 비재무성과 비교

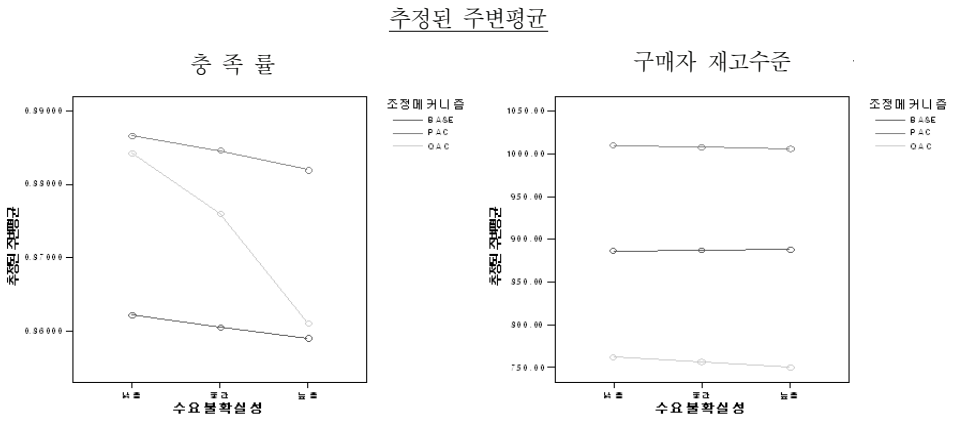
3. 조정메커니즘과 수요불확실성간의 상호작용 영향

먼저, 공급자 및 구매자 이익의 전반적인 모습을 보면 [그림 10]와 [그림 11]에 나타난 결과와 같이, 기본모형과 PAC의 경우보다 QAC 이용 시 상대적으로 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 그리고 QAC 이용 시는 수요불확실성 증가에 따라 공급자 및 구매자 양측의 이익이 감소되는 것으로 나타났다.

QAC는 시즌중에 주문량의 상·하 방향 조정을 허용하기 때문에 구매자는 시즌초기의 실제수요를 관찰한 후에, 수요신호를 바탕으로 잔여기간에 대한 주문조정을 실시한다. 본 연구에서는 수요불확실성을 수요변동성의 개념으로 정의하고 있으며, 수요변동성은 단기성 제품이 가지는 수명주기 내에서 수요변동정도를 의미한다. 그러므로 수요불확실성의 증가는 구매자의 시즌초기 수요 예측 값과 잔여기간에 대한 실제 수요 간의 오차를 크게 발생시킬 것이다. 따라서 수요변동이 크지 않은 경우에 구매자는 시즌전체에 대한 충족률을 향상시키며 이에 따른 매출의 증가 및 재고비용의 감소 이점을 가지게 되는 것으로 판단된다.



[그림 10] 조정메커니즘과 수요불확실성의 상호작용에 따른 재무성과 비교



[그림 11] 조정메커니즘과 수요불확실성의 상호작용에 따른 비재무성과 비교

4. 조정메커니즘, 공급능력제약 및 수요불확실성의 상호작용 영향

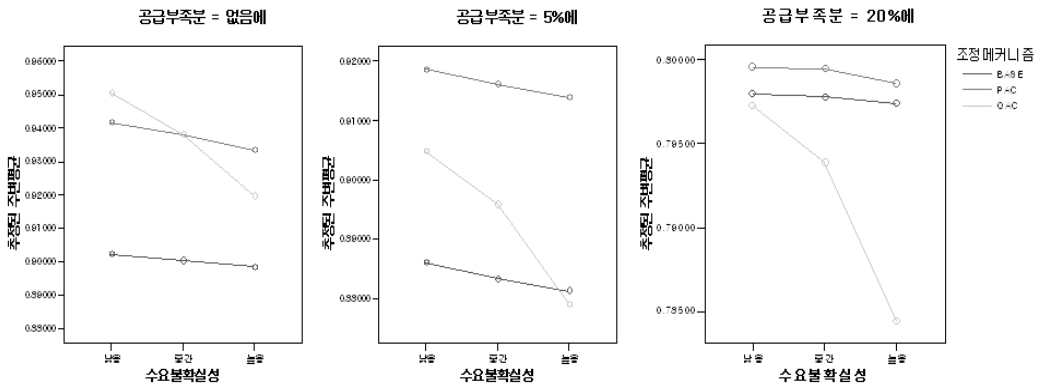
조정메커니즘과 공급능력제약 및 수요불확실성의 상호작용은 충족률 성과에만 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. QAC 이용 시의 충족률은 공급능력제약이 존재함에 따라 할당이 발생 가능한 상황 하에서는 수요불확실성이 높은 경우에 기본모형보다 낮은 성과를 보이며, 높은 수준의 공급능력제약이 존재하여 상시 할당이 발생하는 상황에서는 모든 수요상황에서 가장 낮은 성과를 보이고 있다.

이는 수요변동에 기인한 충족률 저하와 더불어 공급이 부족한 경우에 주문추가는 제한되지만 주문취소가 허용됨에 따라 팔림세를 근거로 주문취소를 한 후에 재고부족이 발생되는 경우가 많기 때문으로 해석된다.

공급능력제약이 없는 상황에 한하여 수요불확실성이 낮은 경우에 QAC 이용이, 수요불확실성이 높은 경우에는 PAC이용이 공급체인 이익향상에 더욱 크게 기여하고 있다 [그림 12]. 공급능력제약 및 수요불확실성이 증가됨에 따라 QAC 이용 시의 충족률은 기본모형보다 낮은 수준으로 저하되는 모습을 보인다. 반면 PAC 이용 시의 충족률은 공급능력제약 및 수요불확실성의 증가에도 기본모형보다 높은 성과를 보여주고 있다. 이는 수요 및 공급 측면의 불확실성을 고려한 상황에서의 조정메커니즘 적용의사결정에 대한 중요한 기준점이라는 시사점을 가진다.

즉, 공급 및 수요불확실성이 높은 경우에 QAC 사용은 충족률을 악화시키며 따라서 QAC는 수요・공급 불확실성이 낮은 안정적인 환경 하에서 충족률 향상을 위한 효과적인 대안이 될 것으로 판단된다. 또한, 수요불확실성이 높고 공급능력제약이 존재하는 경우에

는 PAC이용이 충족률 향상에 기여할 것으로 판단된다.



[그림 12] 조정메커니즘과 공급능력제약 및 수요불확실성의 상호작용에 따른 충족률 비교

Ⅵ. 결 론

1. 요약 및 시사점

본 연구에서는 분권화된 공급체인에 대한 대표적 조정메커니즘으로 PAC와 QAC가 적용되는 분권화된 공급체인에 대한 시뮬레이션 모형의 개발 및 연구문제에 대한 분석을 수행하였다. 공급체인 구성원 및 전체 공급체인의 성과에 대한 각 조정메커니즘의 영향정도 및 공급과 수요 측면의 불확실성이 조정메커니즘의 작용에 미치는 영향정도를 분석하였다. 초점기업에 의한 공급체인의 통합적 관리에 대한 현실적인 제약 및 거래기반적 관계와 같은 구성원간의 관계특성으로 인하여 분권화된 공급체인에는 별도의 조정메커니즘을 통한 관리가 필요하다. 분권화된 공급체인에서는 구성원간 갈등 및 목표상충의 주원인인 위험의 합리적인 공유를 통하여 성과를 향상시킬 수 있다(Tsay, 1999; Cachon, 2003). 분권화된 공급체인에서 적용 가능한 조정메커니즘은 공급자와 구매자간의 이해와 갈등을 조정하는 기재로서 공급체인계약(Supply Chain Contracts)이 고려될 수 있다(Tsay, 1999). 기존의 연구들은 단일공급자-단일구매자 상황에서 단일기간에 대한 수리적 모형에 대한 연구들이 대부분이며, 이러한 연구들은 현실의 복잡성에 대한 고려가 불충분하다는 제한점을 가지고 있다. Cachon(2003)과 Agrawal and Seshadri(2000)는 기존 연구들에 대한 검토를 통하여, 현실을 좀 더 잘 반영할 수 있는 연구로서 수요 및 공급의 불확실성을 고려하고 구조면에서도 다

양한 네트워크 구조에 대한 연구필요성을 제기하고 있다.

본 연구는 이러한 필요성에 대한 인식을 토대로 수요 및 공급측면의 불확실성을 고려가능하면서도 현실적으로 공급체인의 하류에서 관찰되는 구조이며, 분석의 복잡도가 지나치게 높지 않은 1:2 구조를 연구대상으로 선정하였으며, 분권화된 공급체인에 대한 대표적 조정메커니즘으로서 PAC와 QAC가 적용되는 분권화된 공급체인에 대한 시뮬레이션 모형의 개발 및 연구문제에 대한 분석을 수행하였다. 공급체인 구성원 및 전체 공급체인의 성과에 대한 각 조정메커니즘의 영향정도 및 공급·수요 측면의 불확실성이 조정메커니즘의 작용에 미치는 부차적 영향정도를 분석하기 위하여 실험설계를 바탕으로 연구시나리오를 구성하고 27개의 시나리오 별로 100회씩 총 2,700회의 시뮬레이션을 수행하여 표본을 추출하였다. 공급체인 성과변수들간의 상관관계를 고려하여 다변량분산분석을 이용하여 조정메커니즘의 주효과 및 공급능력제약, 수요불확실성과의 상호작용 효과를 분석하였다. 본 논문의 연구결과 및 시사점은 다음과 같이 종합할 수 있다.

첫째, 단일구매자-복수구매자로 이루어진 분권화된 공급체인에서 조정메커니즘으로 PAC와 QAC의 이용은 공급체인의 성과향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공급체인 이익 면에서는 QAC와 PAC가 유사한 수준의 이익향상을, 충족률 면에서는 PAC가 조금 더 높은 수준의 충족률을 발생시키는 것으로 나타났다. 반품허용 인센티브의 제공을 레버리지로 하는 PAC의 이용은 주문량의 증가를 유인하여 판매기회상실을 감소시키며, QAC의 이용은 시즌 중 주문량의 수정을 통하여 판매 기회상실 및 구매자 재고수준을 감소시키는 것으로 나타났다. QAC의 이용 시에는 시즌 중 주문량의 하향조정이 가능하기 때문에 PAC이용보다 상대적으로 낮은 수준의 구매자 재고를 유지하면서도 상당한 수준의 충족률 증가를 발생시켰다. 그러나 인센티브 제공으로 인하여 공급자의 이익감소 및 재고수준 증가가 발생되기 때문에 구매자의 이익향상분에 대하여 공급자와 합리적으로 배분할 수 있는 방법이 뒷받침되어야 공급체인시스템 관점에서의 진정한 이익 향상을 달성할 수 있을 것이다.

둘째, 공급자의 공급능력이 제약되는 경우 및 공급량의 과소예측으로 인하여 당기 공급량이 부족한 경우에는 할당이 발생된다. 이러한 현상은 할당게임(shortage game)을 발생시키기 때문에 공급체인의 성과를 저하시키는 채찍효과(bullwhip effect)의 원인으로도 알려져 있다. 통합적인 공급체인 조정메커니즘으로써 구성원간의 판매자료 공유 등이 이러한 문제의 해결책으로 제시되고 있으나 분권화된 공급체인에서는 정보공유와 같은 통합적 조정이 적용되기 힘들기 때문에 할당발생은 더욱 심각한 문제로 인식되고 있다(Cachon & Lariviere, 1997). 본 연구의 분석 결과, 조정메커니즘과 공급능력제약의 상호작용은 공급체인성과에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며 이는 공급체인성과의 향상을 위해서는 공급능력

제약 상황에 따라 다른 조정메커니즘이 사용되어야 한다는 점을 시사한다. 공급체인 이익 면에서 보면, 공급능력제약이 존재하지 않는 경우에는 조정메커니즘의 이용이 공급체인이익 및 충족률 향상에 효과적이나 공급능력제약의 존재에 따라 할당이 발생 가능한 경우에는 QAC 적용 시 성과에 미치는 긍정적 영향정도가 저하되는 것이 관찰되었다. 그리고 공급부족이 높은 수준으로 존재하여 상시 할당이 발생되는 경우에는 모든 조정메커니즘의 작용이 제한되며, 공급체인 성과 면에서도 기본모형과 유사한 수준의 성과만을 나타내고 있다. 중요한 점은 공급능력제약이 존재함에 따라 할당이 발생 가능한 상황에서는 공급자의 이익이 증가하고 구매자의 이익은 감소하는 모습을 보인다는 것이다. 즉 공급능력제약이 존재하지 않는 경우와는 달리 이익증가의 효과가 구성원간에 역전되는 현상이 발생된다. 이는 위에서 논의한 바와 같이 이익을 합리적으로 배분하는 기재가 필요함을 시사하고 있다. 결론적으로 공급능력제약이 존재함에 따라 할당이 발생 가능한 상황 하에서도 조정메커니즘은 공급체인성과에 유의한 기여를 할 수 있기 때문에 공급불확실성이 낮은 수준으로 존재하는 환경 하에서도 조정메커니즘은 분권화된 공급체인에 매우 유효한 전략대안으로 사용될 수 있을 것을 생각된다. 단, 공급능력제약이 높은 수준으로 존재하여 할당이 상시 발생하는 상황에서는 조정메커니즘의 효과성을 기대하기 힘든 것으로 나타났다. 이러한 경우에는 구성원간의 조정행위보다는 공급원의 변경 및 공급능력 확장 등의 의사결정이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 수요불확실성의 증가는 QAC의 공급체인 성과향상에 부정적 영향을 주며 공급불확실성이 증가함에 따라 이러한 영향은 더욱 심화되는 것으로 나타났다. 반면, PAC는 수요불확실성에 대한 영향을 상대적으로 덜 받는 것으로 나타났다. 따라서 공급체인 이익 및 충족률 면에서 수요 및 공급의 불확실성이 낮은 경우에는 QAC 이용이 효과적이며, 높은 경우에는 PAC이용이 효과적 대안으로 제안될 수 있다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 기능적 제품의 경우에는 QAC를 이용하는 것이 충족률 향상에 유효한 대안으로, 혁신적 제품의 경우에는 PAC를 이용하는 것이 유효한 대안이 될 것으로 생각된다.

이상의 연구결과 단일공급자-복수구매자 구조를 가진 분권화된 공급체인에서 조정메커니즘의 사용은 전반적인 공급체인 성과 향상을 발생시키며, 공급체인이 처한 환경을 고려하여 상대적으로 유효한 조정메커니즘을 적용함으로써 공급체인관점에서 더욱 높은 성과를 기대할 수 있다고 결론 내릴 수 있다.

2. 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구는 공급 및 수요 측의 불확실성을 고려하였다는 점과 복수구성원 단계가 포함된

네트워크 구조를 고려했다는 점에서 기존연구들과 가장 큰 차별성을 지닌다. 그러나 분권화된 공급체인에 관한 초기단계의 연구로서 복잡도 있는 구조 및 불확실성의 반영을 위하여 많은 가정 하에 이루어진 점과 현실 적용사례들의 부족으로 실제자료를 이용하지 못하였다는 점에서 연구결과 적용의 일반화가 제한적이라는 주요 한계점을 지닌다. 본 연구가 지니는 구체적인 연구한계 및 그에 따른 향후 연구방향은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 단일공급자-복수구매자 구조만을 대상으로 하였다. 그러나 현실의 공급체인은 1:1 구조에서 다수간의 연결구조에 이르기까지 다양한 네트워크 형태가 복합적인 모양으로 구성되어 있다. 네트워크 구조는 공급체인의 관계특성 및 불확실성에 직간접적인 영향을 주는 중요한 요인으로 분권화된 공급체인의 성과향상을 위한 전략대안으로 조정메커니즘의 효과성에 대한 깊은 이해를 위해서는 더욱 다양한 네트워크 구조를 대상으로 한 연구가 필요하다.

둘째, 판매시즌내의 수요형태를 평준(level)형태로 가정한 부분과 복수구매자의 수요에 대한 동질성의 가정 등으로 인하여 현실의 기업들이 가지는 불확실성에 대한 세밀한 연구가정이 이루어지지 못하였다는 한계점을 지니고 있다. 향후 연구에서는 제품특성별로 상이하게 나타나는 다양한 수요형태들에 대한 고려 및 수요크기 및 분포에 대한 다양한 비대칭적 연구 설정 하에서 조정메커니즘의 영향에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

셋째, 현실의 공급체인에서는 공급체인의 운영 및 성과에 영향을 미치는 구성원간의 관계 및 권력 등을 포함하여 많은 영향요인들이 존재하고 있다. 본 연구에서는 연구의 복잡성을 통제하고 조정메커니즘이 성과에 미치는 작용점의 순수한 효과를 분석하기 위하여 이와 같은 요인들에 대한 고려를 배제하였으며, 그 결과 현실의 공급체인 상황을 충분히 고려하지 못하고 있다는 한계점을 가진다. 구성원간의 관계 및 권력 등은 조정메커니즘의 적용 자체를 불가하게 하거나 촉진시킬 수도 있는 요인들로서 향후 연구에서는 이러한 요인들이 조정 메커니즘의 적용 및 효과성에 미치는 영향에 대한 분석이 이어져야 할 것으로 판단된다.

마지막으로, 다양한 조정메커니즘의 동시적용 상황에 대한 고려가 이루어지지 못하였다. 다수의 구매자가 존재하는 상황에서 공급자는 각 구매자와 상이한 유형의 공급체인계약을 이용할 수 있으며, 공급능력이 제약되는 상황에서 구매자들은 리스크풀링(risk pooling)과 같은 위험회피 전략을 이용할 수도 있다. 향후 연구에서는 좀 더 현실적인 연구와 분석을 위하여 이와 같은 다중적인 계약유형 및 조정메커니즘들이 존재하는 경우에 대한 산업사례 조사연구 및 조정메커니즘들 간의 상호작용에 대한 논의가 필요할 것이다.

【참고문헌】

김태현・문성암・김영대・박정훈. (2007a). “백업계약에 대한 동적모형연구”, 『한국생산관리학회지』, 제18권 1호: 47-74.

김태현・박정훈・최동현・김인후. (2007b). “공급체인에서의 반품계약에 대한 시스템다이내믹스 접근”, 『한국시스템다이내믹스 연구』, 제8권 1호: 173-186.

김태현・박정훈・정현목. (2008). “공급능력제약이 존재하는 2단계 공급체인에서 반품정책의 효과성에 대한 동적 시뮬레이션”. 『한국시스템다이내믹스 연구』. 제9권 2호: 5-25.

박정훈・김선민. (2008). “시스템 다이내믹스 모형을 통한 공급능력 확장과 반품정책에 대한 연구”, 『로지스틱스연구』, 제16권 1호: 1-21.

Agrawal, V., S. Seshadri. (2000). “Risk intermediation in supply chains”. *IIE Transactions*, Vol.32: 819-831.

Bienstock, C. C. (1996). Sample size determination in logistics simulations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 26, No.2: 43-50.

Cachon, G. (2003). Supply Chain Coordination with Contracts. in Graves, S. C., A. G. De Kok and A. G. De Kok (eds), Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation. New York: Elsevier Publishing Company.

Cachon, G. (2004). “Push, pull, and advance-purchase discount contracts. *Management Science*, Vol. 50: 222-238.

Cachon, G., C. Terwiesch. (2006). Matching Supply With Demand: An Introduction to Operations Managment. New York: McGraw-Hill/Irwin.

Cachon, G., M. A. Lariviere. (1999). “Capacity choice and allocation: strategic behavior and supply chain performance”. *Management Science*, Vol. 45: 1091-1108.

Cachon, G., M. A. Lariviere. (2000). “Supply chain coordination with revenue sharing contracts: strength and limitations”. Working Paper. The Wharton School of Business, University of Pennsylvania.

Cachon, G., M. A. Lariviere. (2001). “Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain”. *Management Science,* Vol. 45: 935-953.

Chan, F. T. S., H. K. Chan. (2006). “A simulation study with quantity flexibility in a supply chain subjected to uncertainties”. *International Journal of Computer Integrated*

Manufacturing, Vol. 19: 148-160.

Kemahlioglu-Ziya, E. (2004). "Formal methods of value sharing in supply chains". Ph.D. dissertation. School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.

Eppen, G. D., A. V. Iyer. (1997). "Backup agreements in fashion buying-the value of upstream flexibility". *Management Scienc*e, Vol.43, No.11: 1469-1487.

Federgruen, A. (1993). Centralized Planning Models for Multi-echelon Inventory Systems Under Uncertainty. in GRAVES, S. C. (ed), Handbooks in OR and MS, Logistics of Production and Inventory. Vol.4, Amsterdam, North Holland.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics.* The MIT Sloan Press. Cambridge Massachusetts.

Giannoccaro, I., P. Pontrandolfo, (2003). "The organizational perspective in supply chain management: an empirical analysis in southern italy". *International Journal of Logistics*, Vol. 6, No.3: 107-123.

Harland, C. M. (1996). "Supply chain management: Relationships, chains, networks". *British Journal of Management*, Vol.7: 63-80.

Hinkkanen, A., Kalakota, K., Porama, S., Jan, S., B. W. Andrew. (1997). Distributed Decision Support Systems for Real Time Supply Chain Management. in Kalkota, R., and Whinston, A. B. (eds), Readings in Electronic Commerce. Boston: Addison-Wesley.

Huang G. Q., Lau, S. K., K. L. Mak. (2003). "The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature". *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No.7: 1483-1517.

Giannoccaro, I, P. Pontrandolfo. (2004). "Supply chain coordination by revenue sharing contracts". *International Journal of Production Economics*, Vol. 89: 131-139.

Kandel, E. (1996). "The right to return". *Journal of Law and Economics,* Vol. 39: 329-356.

Lambert, D. M, Stock, J. R., L. M. Elram. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Irwin/McGraw-Hill. Boston Massachusetts.

Lee, H., Padmanabhan, V., S. Whang. (1997). "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect". *Management Science*, Vol. 43, No. 4: 546-558.

Liu, B., Liu, S., J. Chen. (2005). "Mean-variance analysis for supply chain coordination with the combined contract". *Proceedings 2005: IEEE.* pp.650~655.

Pasternack, B. A. (1985). "Optimal pricing and returns policies for perishable commodities". *Marketing Science,* Vol.4: 166-176.

Sterman, J. D. (2001). *Business Dynamics: system thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill. Boston Massachusetts.

Tsay, A. A. (1999). "The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives". *Management Science,* Vol. 45, No.10: 1339-1358.

Tsay, A. A., Nahmias, S., N. Agrawal. (1999). Modeling Supply Chain Contracts: A Review. in Tayur, S., Ganeshan, R., and Magazine, M. (eds), Quantitative Models for Supply Chain Management. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Wang, C. X. (2002). "A general framework of supply chain contract models". *Supply Chain Management*, Vol. 7, No.5: 302-310.

Zhang, Y., D. M. Dilts. (2004). "System dynamics of supply chain network organization Structure". *Information Systems and e-Business Management*, Vol.2, No.2-3: 187-206.

【부록】 시뮬레이션 모형의 주요 수식

1.공급체인	1.1. 수요	Demand = RANDOM_NORMAL(Min, Max, Mean, STDEV, Seed) Mean = 1,000 Min = MAX(0, Mean-STDEV) Max = Mean+STDEV STDEV = Mean*0.5(또는 0.1, 1)
	1.2. 배송	Shipment = MIN(Supplier_INV, MIN(AlloQ, OrderQ))
	1.3. 구매자	Buyer_INV = INTEGRAL(ShipmentB-LO_out_B-Sales), to=Mean*SeasonPeriod Sales = MIN(Demand, Retailer_INV)
	1.4. 공급자	Supplier_SOU = MIN(Scheduled_Prod, OrderQofBA+OrderQofBA) Scheduled_Prod = INTEGRAL((OrderQ-Forecasted_Prod)/MovingAveragePeriod), to=Mean*SeasonPeriod*2 MovingAveragePeriod = 3(seasons) Supplier_INV = INTEGRAL(Supplier_SOU-ShipmentB-LO_out_S), to=0
2. 예측 및 주문량 결정		OrderQ = Forecasted_Quantity_B + OrderQadj_B + USadj_B Forecasted_Quantity= INTEGRAL((ActualSeasonDemand-Forecasted_Quantity) /MovingAveragePeriod)), to=Mean*SeasonPeriod ActualSeasonDemand = INTEGRAL(WeeklyDemandIn), to=0 OrderQadj = STDEV*Z Z = NSINV_table(CriticalRatio) CriticalRatio = UnderageCost/(UnderageCost+OverageCost) OverageCost = Wholesale_Price-Salvage_cost_Buyer UnderageCost = Retail_Price_RA-Wholesale_Price
3.할당	3.1. 할당 메커니즘	AlloQ_BA= Base_AlloQ_BA+TE_AlloQ_BA Base_AlloQ_BA = Supplier_INV*Base_AlloQ_pct*(OrderQ_BA/OrderQ_BA+OrderQ_BB) TE_AlloQ_BA = Supplier_INV*(1-Base_AlloQ_pct)*(PastSales_to_A/(PastSales_to_A +PastSales_to_B))
	3.2. 미충족 배송	USR(Unsatisfied_Ratio_B) = 1-(ShipmentB/OrderedQofB) USadj_B = (Forecasted_QuantityB/(1-USR))-Forecasted_QuantityB
4.조정 메커니즘	4.1. PAC	OrderQ(PAC) = (Forecasted_Quantity+OrderQadj_RA+USadj) /(1-Return_Ratio) ReturnIn = MIN(OrderQ*ReturnRatio, Buyer_INV-Sales) Buyer_INV= INTEGRAL(Shipment-Sales-LO_out-ReturnIn), to=Mean*SeasonPeriod

	4.2. QAC	Supplier_SOU = MIN(Scheduled_Prod, OrderQ_Total*(1+QF_Upperbound)) Shipment(QAC) = 1stShipmentPct*(MIN(AlloQ, OrderQ)) *Call(주문추가)* 2ndShipment = (1-1stShipmentPct)×(MIN(AlloQ, OrderQ))+2ndOrder_Call 2ndOrder_Call = MIN(OrderAdjustment, (OrderQ×(1+QF_Upperbound)) -MIN(AlloQ, OrderQ)) *Put(주문취소)* 2ndShipment = (1-1stShipmentPct)×(MIN(AlloQ, OrderQ)+ 2ndOrder_Put) 2ndOrder_Put = MAX(OrderAdjustment, -OrderQ× QF_Lowerbound) OrderAdjustment = RestSeasonDemand-Buyer_INV RestSeasonDemand = ForecastedWeeklyDemand*(SeasonPeriod -ForecastUpdatePeriod) ForecastedWeeklyDemand = INTEGRAL(ChangeinWeeklyDemand), to=Mean ChangeinWeeklyDemand = (Demand-ForecastedWeeklyDemand)/ForecastUpdatePeriod ForecastUpdatePeriod = 2(weeks) Supplier_INV (QAC)= INTEGRAL(Supplier_SOU-Shipment-2ndShipment-LO_out_S), to=0
5. 성과지표	5.1. 구매자 이익	Profit_B = INTEGRAL(Sales_B-Cost_B+Salvage_B+Buyback_B), to=0 Sales_B = Retail_Price_B*Sales_of_B Cost_B = Wholesale_Price*(ShipmentB+2ndShipmentB) Salvage_B = Salvage_cost_Retailer*LO_out_B Buyback_B = Wholesale_Price*ReturnIn_B
	5.2. 공급자 이익	Profit_S = INTEGRAL(Sales_S-Cost_S+Salvage_S), to=0 Sales_S = Wholesale_Price * (ShipmentBA + ShipmentBB + 2ndShipmentBA + 2ndShipmentBB) Cost_S = (Supplier_SOU*Proc_cost_Supplier)+BuybackLoss_S BuybackLoss_S = Wholesale_Price*(ReturnIn_BA+ReturnIn_BB) Salvage_S= Salvage_cost_Supplier*(LO_out_S+ReturnIn_BA+ReturnIn_BB)
	5.3. 공급 체인 이익	Profit_SC = INTEGRAL(Profit_BA_In+Profit_BB_In+Profit_S_In), to=0