

수량유연성계약이 육군 의약품 재고에 미치는 영향에 관한 시물레이션 연구

(The Effect of Quantity Flexibility Contract on the Military Medicine Inventory Using Dynamic Simulation)

최 영 수(Young-Su Choi), 문 성 압(Seoung-Am Moon), 김 동 진(Dong-Jin Kim)

초 록

본 연구에서는 공급계약(supply contract)방식의 전환을 통해 군재고의 효율적인 관리를 달성하고자 한다. 이를 위해 현 육군공급계약 시스템과 수량유연성계약 시스템을 시물레이션 모델링하고, 4가지 불확실한 수요패턴에 대한 육군 의약품의 재고수준과 재고비용에 미치는 영향을 동적으로 연구한다. 다양한 수요패턴에 대해 수량유연성계약이 군재고 수준과 재고비용을 감소시키는 것을 시물레이션을 통하여 입증함으로써 군의 공급계약방식의 새로운 변화를 제안한다. 시물레이션을 통한 검증작업을 군 재고 시스템을 중심으로 하였으나, 본 연구 과정은 일반 기업 등에서도 충분히 활용가치가 있을 것으로 예상된다.

Abstract

This study simulated the effect of the quantity flexibility contract(QFC) on the Korean military inventory system. The results shows that the QFC make the inventory system more efficient. For validity of this study, we assume the basic four demand patterns(increase, decrease, high variation and long seasonality) which are the exogenous variables of these simulation systems. We measured the difference of the traditional military inventory system's and new QFC system's performances. Under the all demand patterns, QFC models have little inventory than the traditional systems. We suggest, therefore, the military change the supply contract into QFC for decrease inventory and expect the results of this study applied to the company level.

KeyWords: 공급계약(Supply Contract), 수량유연성계약(Quantity flexibility Contract), 시스템다이 나믹스(System Dynamics)

1. 서론

공급체인 의사결정은 단일 기업수준 내에서의 의사결정과는 달리 공급체인 구성원 각각의 의사결정의 주체가 되며, 각 의사결정은 상호간에 충돌을 야기할 수 있다. 만약 이러한 공급체인 내에서 정보흐름이 통합되고, 상호간의 의견조율과 협력이 발생하여 단일화되고 집중화된 의사결정(중앙 집중화된 통제구조)이 가능하다면, 공급체인 전체의 기대수익과 효율성은 증대될 것이다(Tsay et al. 1999).

그러나 집중화된 의사결정은 이상적인 모습이며, 이러한 상황이 발생하기 위해서는 공급체인 내에 상당한 계약적 권력을 소유한 단일의 의사결정자가 존재해야 한다. 그리고 의사결정자는 공급체인 전체의 모든 정보에 접근할 수 있어야 한다. 그러나 현실적으로 이러한 조건을 충족시키는 것은 어렵다. 즉, 공급체인의 의사결정은 분권화된 구조로 가정하는 것이 더욱 적합하다. 이러한 분권화된 구조에서는 각 구성원들이 각기 다른 목적을 추구하는 의사결정을 추구하게 되므로 이들 간에는 잠재적인 갈등이 존재한다. 이러한 갈등을 조정하기 위해서는 개별적인 의사결정 주체들이 전체 공급체인 차원에서 조정(coordination)을 추구하도록 만들어야 하는데, 바로 이를 위한 대안으로서의 조정메커니즘이 공급계약(supply contract)이다.

본 연구에서는 의약품 공급계약을 중심으로 현 육군공급계약 시스템을 분석하고 새로운 계약방식인 수량유연성계약(Quantity Flexibility Contract)을 시뮬레이션 프로그램인 벤심을 통해 모델링한 후, 재고에 미치는 성과에 대해 연구한다. 모델은 공급계약의 의사결정과정에서 발생하는 주요 변수의 인과관계와 피드백에 의한 영향에 중점 두고 모델링하며, 더 나아가서 수요를 4가지의 형태로 구분하여 각 수요의 패턴에서 수량유연성계약이 재고에 미치는 영향을 분석한다.

2. 이론적 배경

2.1 불확실성 대비 공급체인 조정

공급체인 참여자들은 기본적으로 자신의 이익을 극대화하기 위해 노력한다(Simchi Levi et al., 2005, Cachon et al., 2006). 공급체인 참여자들이 직면한 문제는 여전히 수요의 불확실성이라고 할 수 있다. 얼마나 팔릴 것인지 알 수 없기 때문에 얼마나 구매할 것인지 알기 어렵다. 수요에 대한 평균을 구한다고 하더라도 평균수요만큼을 주문한다면 이익을 극대화시킬 수 없다. 한계이익(marginal revenue)과 한계비용(marginal cost)에 따라 결정해야 한다(Cachon et al., 2006). 예를 들어 설명한다. 만약 내일 100개가 팔릴 것이라 예상된다. 그런데 한 개를 팔았을 때의 이익이 10원(예를 들어 90원에 사와서 100원에 판다면)이고, 못 팔고 남았을 때 처분비용이 20원(70원을 받고 처분할 수 있음)이라고 하자. 이 소매상에게 있어 99개와 101개의 의미는 다르다. 둘 다 평균으로부터 1만큼 떨어져 있지만(수요가 정규분포라고 한다면 수요가 99개일 확률과 101개일 확률이 동일하지만), 99개일 때와 101개일 때의 수익-비용은 달라진다. 100개를 예상하였는데 99개의 수요가 발생하였을 때에는 99개에 대해서는 마진을 얻고 1개에 대해서는 비용이 발생한다. 수요가 101개일 때에는 100개에 대해서는 마진을 확보하고 1개에 대해서는 기회비용(보다 많이 구매하였으면 팔 수 있었는데 못 팔게 된 것)이 발생한다. 하지만 한계수익(기회비용)이 한계비용보다 작으므로 이 소매상은 예상수요보다 작은 값에서 구매량을 결정하려 할 것이다.

공급체인은 이러한 참여자들의 연속으로 이루어져 있다. 모든 공급체인 참여자가 하나로 뭉쳐 있을 경우에 비하여 나누어짐으로써 마진도 나누어지게 되고, 이로 인해 공급체인 참여자가 보다 적게 구매하려는 경향을 많이 띄게 된다. 이를 이

중마진의 문제라고 한다. 이러한 이중마진의 문제 때문에 공급체인 참여자들은 보다 높은 고객 서비스율을 포기하는 현상이 발생하게 된다. 이중마진의 문제를 해결하기 위해 여러 가지 대안들이 등장하고 있으며 대표적인 것이 공급계약이라고 할 수 있다.

지금까지 논의되고 있는 공급계약에는 다음의 <표 1>과 같은 것들이 있다. 구매자가 보다 많은 양을 구매하도록 유도하는 push 유형을 들 수 있고, 불확실성에 대한 위험 공유형태인 pull 유형을 들 수도 있다. 그리고 가격을 중심의 공급계약과 수량 중심의 공급계약으로 구분하기도 한다. 공급자와 구매자가 처한 상황에 따라 각기 다른 형태의 공급계약이 적용되고 있다.

2.2 수량유연성 계약

이러한 공급계약 가운데 본 연구에서는 수량유연성 계약을 주제로 선정하였다. 수량유연성계약은 가격 변수를 사용하지 않고, 수요 불확실성에 대비한 양 위주의 의사결정이 주를 이루므로 비교적 단순한 형태의 계약이라는 점이 특성이라고 할 수 있다. 수량유연성계약은 주로 두 번에 걸쳐서 주문 조정이 이루어지는 산업에서 많이 활용되고 있다. 하루 판매량을 하루 전에 예측 구매하여 판매하는 경우는 시간이 촉박하여 단발성의 사결정이 주류를 이루기 때문에 잘 적용하기 어렵기 때문에(하루에 2-3번 운송 가능한 경우에는 물론 적용가능함), 주로 봄, 여름, 가을, 겨울 등의 계절성 있는 제품에 많이 활용되고 있다. 실제로 가전제품, 컴퓨터 등의 전자산업과 숙녀복, 신사복 등 의류산업에서 많이 활용되고 있다.

Tsay(1999)의 수량유연성 계약에서 제조업자는 소매상이 주문한 초기 주문량을 발주하고, 공급유연성을 감안하여 일정 양만큼의 차후 공급을 보장하는 최대생산량을 약속한다. 동시에 소매상은 차후 최소발주량을 보장하는 최소구매량을 약속

<표 1> 대표적 공급계약 내용 및 대표 연구자

계약 유형	계약 내용	대표적 연구자	특징
반품정책 (Return policy)	판매자의 미판매재고에 대하여 최초 도매가격으로 환불을 허용하지만 반품수량을 제한하는 방식	Pasternack (1985)	환불 가격 조정
바이백계약 (Buyback)	반품정책중의 하나로서 구매자의 미판매재고 전량에 대해 반품을 허용하지만 환불은 최초 도매가격의 일부로 제한하는 방식		
수량 유연성계약 (QFC)	계약초기에 구매자는 기준예측치(주문후생산을 가정)의 일정비율이상을 구매할 것을 약정하고 공급자는 기준예측치의 일정비율이상을 최초 도매가격에 공급할 것을 약정하며 초기 수요를 관찰한 후 상하의 범위내에서 구매자가 실구매수량을 조정할 수 있는 방식	Tsay et al., (1999)	시즌중에 계약 수량 조정
백업계약 (Backup)	계약량의 일부비율을 제외한 수량을 초기 선적하고 구매자가 초기의 실수요를 관찰한 이후에 공급자가 보유하고 있는 계약량의 일부범위내에서 실구매량을 조정하도록 허용하나 미구매분량에 대해서는 페널티비용이 부과되는 방식	Eppen & Iyer (1997)	
가격보호 계약 (Price protection)	시장에서의 소비자가격이 하락하였을 경우에 구매자의 미판매재고 전량에 대한 환불보증을 공급자가 제공하는 방식	Lee et al. (2000)	

한다. 계약 이후 단기간의 수요를 관측한 후에 소매상은 최소구매량약정량과 공급자 최대생산량약정량 사이에서 최초의 도매가로 자유롭게 구매 가능하도록 하는 계약방식이다.

Wang 과 Tsao(2006)는 Tsay의 연구 이후 계약량이 조정되는 상하방향에 따라 상향조정(upward adjustment), 하향조정(downward adjustment), 양방조정(bidirectional adjustment)의 3가지 형태로 구분하여 제시하였다. 구매자가 초기 계약량을 차후에 수정함에 있어서 수량을 추가할 수 있으면 상향조정으로, 감소시킬 수 있으면 하향조정으로, 그리고 추가와 감소 모두 가능하면 양방조정으로 구분을 하였다.

본 연구는 주문량의 조정이 상하 가능한 양방 조정의 수량유연성계약을 대상으로 한다. 이에 대한 주요 연구로는 Milner와 Rosenblatt(2002)의 양방향 조정을 허용하는 2기간 계약모형연구를 들 수 있다. 이 계약에서 구매자는 계획기간의 시작시점에서 두 번째 기간에 대한 발주를 미리 수행한다. 그리고 초기수요를 관찰한 후에 구매자는 두 번째 발주량을 추가하거나 감소할 수 있는데 이러한 조정을 위해서는 별도의 패널티 비용이 부과되는 방식이다. 그러나 본 연구에서는 수량의 변동에 대한 가격의 조정은 발생하지 않으며 패널티 비용은 없는 것으로 가정한다.

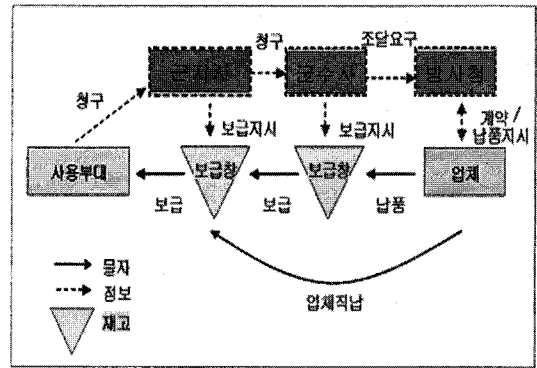
2.3 육군 공급계약의 특성

수량유연성 계약을 적용하여 그 효과가 어떻게 나타날 것인지 시뮬레이션해보기 위해 육군의 의약품의 공급체인을 대상으로 삼았다. 육군 의약품의 공급체인은 다음과 같은 특성으로 인해 수량유연성 계약을 적용하기에 이상적이라 판단하였다.

첫째, 연 단위로 제품 구매계약이 이루어진다. 국방예산제도의 특성상 연간 사용량을 예측하여 이를 바탕으로 특정 업체와 공급계약을 체결한다. 그리고 당해 연도에 통상 1회에서 4회에 걸쳐 분리 배송된다. 주로 이동평균법을 사용하여 3-5년 동안의 연간 수요량을 바탕으로 전체 수량을 결정하게 되며, 통상 이러한 결정이 10월 이전에 이루어지므로, 해당 년도에 이르러 실제 수요와 예측 수요 간에 차이가 발생할 확률이 높다.

둘째, 의약품의 경우 특정업체에 의해 미리 생산되어야 하는 경우가 많다. 즉 생산에서의 리드타임이 존재한다. 의약품은 필요하다고 해서 빠르게 생산되거나, 아무 업체로부터 공급받을 수 있는 편의성 제품이 아니다.

셋째, 의약품을 공급하는 의약제조업체에게 있어서도 공급계약방식을 달리함으로써 자신의 이



<그림 1> 군공급체인에서의 재고관리 프로세스 예시

※ 자료 : 문성암 외 2명, 군 물류체계 개선 방안, 정책연구보고서, 2004.

익을 보다 향상시킬 수 있는, 즉 공급기업도 공급계약을 잘 체결할 이유가 있다.

대한민국 육군의 경우 공급계약에 대한 전문화된 조직이 아니다. 군수품 관리에서의 기본적인 목적 자체가 전투를 효과적으로 수행하기 위해 지원이라는 개념으로 운영되고 있어, 재고고갈에 대한 위험에 대해 매우 민감하게 반응할 수밖에 없다. 이러한 특성으로 통상적으로 예측량보다 많이 구매하여 비축해놓고 사용하는 경향이 있다. 하지만 간과해서는 안 되는 것이 군에서는 전쟁 대비물자나 불확실성에 대비한 물자를 별도로 관리하고 있다는 점이다. 따라서 이중 삼중으로 완충재고를 가지게 된다.

전형적인 군공급체인은 계획 및 지침이 하달되는 지휘계통과 필요한 물자를 청구 보급하는 지원계통으로 이원화된 구조로 편성되어 있다. 공급계약이 발생하는 군공급체인의 구조를 살펴보면 편성부대/전투부대⇔사단보수대대⇔군지사보급대대⇔군수사보급창⇔납품업체의 단계구조를 갖는다. 이러한 일반적인 군공급체인의 구조는 다음 <그림 2-1>와 같다.

3. 시뮬레이션 모델링

3.1 연구절차 및 연구대상

본 연구에서는 육군의 계약 당사자들이 계약 내용을 어떻게 이행할 것인지를 논리적으로 표현하고 이를 복수 시준에 걸쳐 어떠한 결과를 초래하는 지 살펴보려 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 다양한 접근이 시도되었다. 우선 계약 내용에 따라 계약 행위자들이 어떻게 행위를 할 것인지에 대해서는 행위자들과의 인터뷰를 1차로 실시하였다. 동시에 육군의 규정을 활용하였다. 육군의 규정이 모든 행위를 설명하지 못하였기 때문에 인터뷰를 2-3차에 걸쳐서 수행하게 되었다.

인터뷰 결과들을 바탕으로 의사결정 과정을 다 시준 모형으로 만들기 위해 가장 적합한 것이 시스템 다이나믹스였다. 취급하는 변수의 수가 많고 복수 시준에 걸쳐서 시스템에 대한 의사결정이 이루어지기 때문이다.

시물레이션 모델의 대상, 즉 연구의 대상은 그 효과를 직접적으로 관찰할 수 있는 2단계 공급체인으로 한정하였다. 전체 공급체인에 대해 모델링하고 분석하는 것도 의미가 있으나, 다른 효과에 대한 통제가 어렵다는 점 등으로 2단계 공급체인에 국한하였다. 여기서 2단계 공급체인은 방위산업체와 육군(군수사 ; 중앙의 제품 공급자로 일종의 물류센터 개념임)이지만 구매자와 공급자, 제조업자와 유통업체로 해석해도 되겠다.

설정된 시물레이션 모델에 대해서는 현장 인터뷰를 재설시하여 현장에서의 타당성을 확보하는 과정을 거쳤다. 그리고 현장에서의 시간에 따른 실제 자료와의 비교검토를 실시하였다. 그리고 이러한 타당성 검토를 바탕으로 일부 모델을 보다 현실적으로 수정하는 절차를 가졌다.

육군 규정과 인터뷰 등에 의해 밝혀진 육군에서의 공급계약에서의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 첫째 연간사용량 계약을 실시하고 있다. 다음 일 년 동안 사용될 양을 지난 5년간의 데이터를 활용하여 예측하여 계약하고 있다. 이 계약량에는

또한 3개월치의 안전재고를 포함하고 있으며 여기에 잔존재고를 차감하여 주문량 결정이 이루어진다. 체결된 계약량은 크게 본조계약량과 국채계약량으로 나뉘는데 이는 자금 성격상의 차이이다. 전체 필요량을 자금 사정에 따라 본조계약량과 국채계약량으로 일정 비율로 조정하여 활용된다. 배송 시기는 계약 내용에 따라 한번에 배송될 수도 있고, 점진적으로 배송될 수도 있다. 이외의 구체적인 상황은 모델 부분의 수식을 통해 다루어질 것이다.

이에 반해 수량유연계약 모델링은 기존 논의를 바탕으로 이루어졌다. 자세한 관계식 등은 시물레이션 모델 부분을 참조하기 바란다. 본 연구에서는 육군의 의약품 관리 모델에 대해 현행 시스템과 대안적 시스템(수량유연계약)에 대해 모델링을 실시하고 동일한 수요패턴에 대해 어떻게 달리 반응하는지를 살펴보고자 하였다. 수량유연계약에 의한 새로운 시스템이라는 것이 기본 작동 원리가 다르기는 하지만 기본적으로 수요를 예측하고, 체결된 양에 대한 일정 시간 후에 배송되는 것 등에 대한 물리적인 차이는 없는 것으로 하였다. 즉 현행 시스템 상에서 계약 체결만 달리한다면 추가비용 없이도 바로 실행할 수 있도록 하였다.

성과측정에서는 재고량과 재고비용을 사용하였다. 월 단위로 36개월에 대해 실시하였고 총 1,000회씩 시물레이션 실행 후 분석하였다. 분석 결과에 대해서는 통계적 유의미성을 판단하기 위해 z 테스트 등을 실시하였다.

3.2 시물레이션 모델

3.2.1 수요패턴에 대한 모델링

본 연구 목적을 달성하기 위해 시물레이션 모델링을 하였으며, 그 주요 변수에 대한 내용을 기술한다. 먼저 본 연구에서 주요 불확실성의 근원으로 여기는 변수인 수요에 대해 살펴본다. 수요는

<표 2> 수요별 의약품의 구분

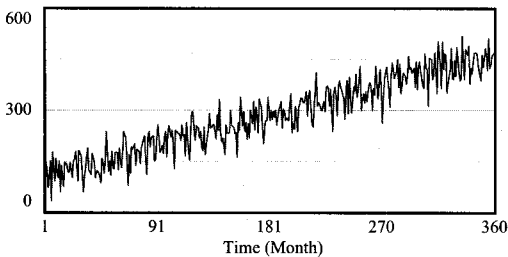
구분	수요 증가추세	수요 감소추세	수요 불규칙	수요 경기변동
종류	신개발항생제 등	위세척제, 과거의 두통약 등	만성 피부염증치료제 등	유행성 질병 치료제 등
특징	아전 수요자 및 군의관들의 요구에 의해 수요가 증가하는 품목	신약대체 또는 수요자의 기피로 인한 수요감소 품목	지속적으로 사용되나 불규칙하게 사용되는 품목	일정 주기로 순환하면서 수요가 변하는 품목

통제불가능하고, 특정 시스템의 외부에서 영향을 미치므로 외생변수라고 한다. 본 연구에서는 보다 일반론적인 접근을 위해 수요패턴을 특정 4가지 형태로 구분하고, 이러한 특정 수요에 따라 현행 시스템과 새로운 시스템을 비교분석하게 된다.

수요는 시계열 특성을 보인다고 가정하고, 추세 변동, 계절변동, 경기변동, 불규칙변동 등으로 구분하였다. 여기서는 계절변동이 경기변동과 유사하다고 판단하여 계절변동은 포함시키지 않았다. 참고로 다음의 <표 2>은 육군(2006년)의 2007년 의약품에 대한 구분 기준을 나타내고 있다.

시뮬레이션 모델링의 소프트웨어를 통해 도출된 수요의 패턴은 다음과 같다. 항상 동일한 값을 가지는 것은 아니며 난수에 따라 상이하게 나타난다.

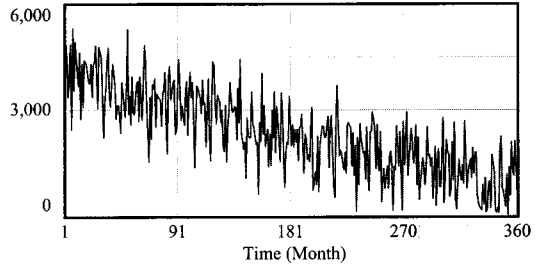
Graph for 실제수요



실제수요 : 23

<증가추세가 있는 수요>

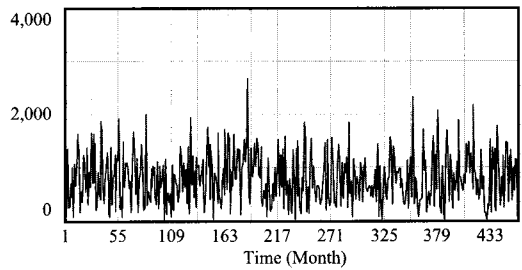
Graph for 실제수요



실제수요 : z(9)감소

<감소추세가 있는 수요>

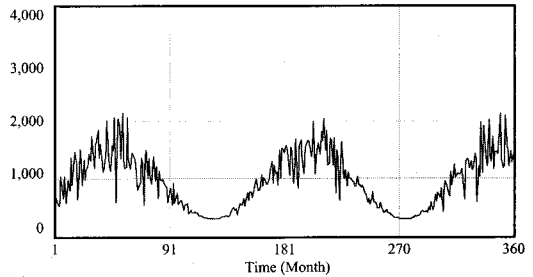
Graph for 실제수요



실제수요 : 수요패턴(불규칙)

<불규칙성 수요>

Graph for 실제수요



실제수요 : 수요패턴(경기변동)

<경기변동이 있는 수요>

<그림 2> 수요패턴 4가지

증가추세 및 감소추세의 수요는 월 평균 1개씩 증가 또는 감소하는 것으로 가정하였다. 그 기율이 제품에 따라 달라질 것이나 여기서는 편의상 1/월로 하였다. 경기변동은 장기간을 주기로 하여 증가 및 감소의 순환과정이 반복되는 변동

을 말한다. 이들 수요패턴을 위한 관계식은 다음과 같다.

$$\text{추세변동(증가)} : \text{월평균 수요} = \text{최초월평균수요} + \text{RAMP}(1.2, 1, 0) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{추세변동(감소)} : \text{월평균 수요} = \text{최초월평균수요} + \text{RAMP}(-1, 0, 1000) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{불규칙 변동} : \text{월평균 수요} = \text{RANDOM NORMAL}(50, 100, \text{최초월평균수요}, 50, 1) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{경기변동} : \text{월평균 수요} = \text{최초월평균수요}/2 + (\text{SIN}((\text{Time} - 100)/8) / (300 / (2 * 2 * 3.1416))) + 1 * \text{RANDOM NORMAL}(100, 1000, \text{최초월평균수요}, \text{월수요표준편차}, 0) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 RAMP함수는 전기에 비해 일정값만큼 증가시키는 함수를 뜻한다. 식에서 RAMP(1, 2, 3)이라고 한다면 매 단위시간마다 1씩 증가시키며, 시작 시간은 2 단위시간이며, 시작할 때의 값은 3부터임을 의미한다. 경기변동 패턴에서 SIN함수는 흔히 알고 있는 Sin 함수와 동일하다.

3.2.2 현행 육군 공급계약 행위에 대한 모델링

대조구라고 할 수 있는 육군의 현행 공급계약 행위에 대해 살펴본다. 이러한 행위들을 되도록 모델에 반영하고자 하였다. 육군 의약품의 공급체인은 제조업체, 군수사, 예하부대로 크게 구성된다. 육군에서는 군수사의 품종 담당관이 예하부대에서 청구(요구)한 수요를 취합, 예측한다. 안전재고 등을 고려하여 적정 구매량을 결정한다. 결정된 구매량은 방위사업청의 품종계약 담당자가 선정한 공급자를 통해 계약 배송된다. 이러한 행위들은 1년 주기로 발생한다.

군수사에서 소요를 판단하는 기준, 즉 다음 해의 주문량을 결정하는 기준은 <식 5>와 같이, 다음 해의 수요를 예측하고 부족재고를 회피하기

위해 안전재고를 더한 다음 현재고와 수입예정량을 제외하는 방식으로 결정된다.

$$\text{총소요(주문량)} = \text{예측수요} + \text{안전재고} - (\text{현재고} + \text{수입예정}) \dots\dots\dots (5)$$

육군에서는 최소자승법, 이동평균법 등을 수요 예측에 사용하고 있다. 의약품의 경우 최소자승법이 많이 사용되고 있어 최소 자승법을 모델링 하였다. 다음 해의 예측 수요는 지난 5년간의 수요를 바탕으로 하는데, 5년간의 평균수요에 의해 <식 6>의 a가 결정되고, b는 다음의 <식 7>에 의해 계산된다.

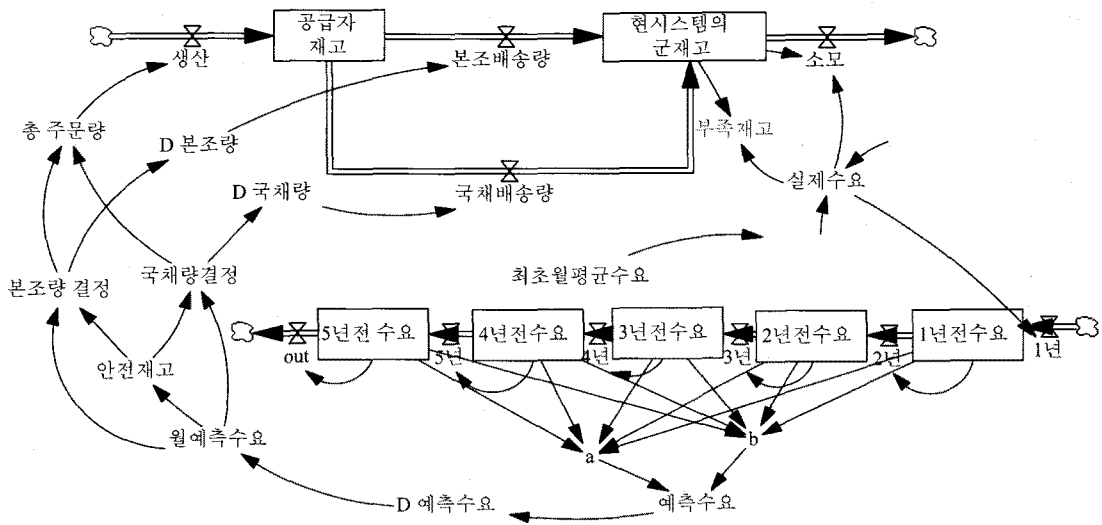
다음 해의 예측수요는 지난 5년간의 수요를 바탕으로 해서 5년간의 평균수요에 의해 a가 결정되고, 5년간의 수요에 가중치가 곱해진 값의 합을 각 수요의 제곱의 합으로 나누어준 값으로 결정된다. 예측수요는 기본공식에 의해 a와 b에 3을 곱해준 합으로 결정되며 <식 8>과 같이 표현된다.

$$a = (\text{"1년전수요"} + \text{"2년전수요"} + \text{"3년전수요"} + \text{"4년전수요"} + \text{"5년전수요"}) / 5 \dots\dots\dots (6)$$

$$b = ((-2) * \text{"1년전수요"} + (-1) * \text{"2년전수요"} + (0) * \text{"3년전수요"} + (1) * \text{"4년전수요"} + (2) * \text{"5년전수요"}) / (\text{"1년전수요"}^2 + \text{"2년전수요"}^2 + \text{"3년전수요"}^2 + \text{"4년전수요"}^2 + \text{"5년전수요"}^2) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{예측수요} = \text{IF THEN ELSE}(\text{MODULO}(\text{Time}, 12) = 0, a + (b * 3), 0) \dots\dots\dots (8)$$

최소자승법에 의해 예측된 수요를 바탕으로 월 예측수요가 구해진다. 이는 국채량과 본조량에 영향을 미친다. 각각의 본조량과 국채량에는 안전재고가 포함되어 있다. 본조량 및 국채량 결정에 관한 식은 (9), (10)에 나타나 있다. 본조량과 국채량은 육군에서 필요한 양을 조달받는 회계상의 명칭 차이로, 2번에 나누어서 공급받는 것으로 이해할 수 있다. 현행 육군의 시스템을 살펴보면, 본조



<그림 3> 육군공급계약 모델

량의 경우 리드타임이 3개월(즉 계약 체결월에서 배송월까지의 시간)인데 비해, 국채량의 경우 계약 6개월 후에 배송된다.

현 시스템의 군재고는 계약월에 결정되어 배송된 본조량과 국채량의 합에서 실제 군에서 소모하게 된 양을 제외한 양이 된다.

본조량 결정=IF THEN ELSE(MODULO(Time, 12)=계약월, MAX((월예측수요*12)+안전재고+월예측수요*(계약기간-계약월)-현시스템의 군재고-수입예정,0),0) (9)

국채량 결정= IF THEN ELSE(MODULO(Time, 12)=계약월, MAX(월예측수요*12+안전재고+월예측수요*(계약기간-계약월+계약기간/2)-현시스템의 군재고-수입예정, 0),0)..... (10)

3.2.3 수량유연성계약 행위에 대한 모델링

수량유연성계약 모델은 2기간 모델로 전통적인 뉴스벤더모델이 1기간 모델인 것과 구별된다. 용어의 혼동을 피하기 위해 시즌, 기간을 구별할 필요가 있다. 예를 들어 여름용 제품이 있다고 하자.

2007년 3월부터 8월이 이 제품의 시즌에 해당된다. 여기서 다루는 기간은 시즌보다 작은 개념으로 3월부터 5월 사이를 1기간, 6월부터 8월까지를 2기간으로 구분할 수 있다. 수량유연성계약 하에서는 1기간의 필요량은 과거의 시즌 판매량을 바탕으로 구해지지만, 2기간의 필요량은 1기간의 판매량을 바탕으로 산출된다는 점이 다르다 할 수 있다. 1차주문량은 수요처가 필요로 하는 시기에 도착하도록 하기 위하여 배송 리드타임을 고려하여 시즌이 시작하기 이전에 결정된다.

$$1차주문량(Q1) = 월예측수요 \times (Period1 + 리드타임) + (\sigma \times \sqrt{Period1 + 리드타임} \times 서비스율(z)) \dots\dots\dots (11)$$

<식 11>는 1차주문량결정 과정을 나타내고 있다. 1기간의 시작시점에 도착한 1차배송량은 1기간에 대한 수요뿐만 아니라 2차배송량이 도착하는 리드타임 동안의 수요도 동시에 고려한 주문량이어야 한다. 그리고 1기간과 2차배송량이 도착하는 리드타임동안의 안전재고를 수요의 표준편차를 고려하여 안전재고로 설정하여 주문량에 반영한다.

2차주문량의 결정은 1기간의 수요를 바탕으로 한다. 1차주문량이 예측수요는 5년동안의 수요를 바탕으로 수요예측을 하는 반면 2차 주문량은 최근 1기간에 발생한 수요의 추세를 직접적으로 반영함으로써 수요예측력을 높이게 된다.

$$2차주문량 = 월예측수요(1기간의 수요이동평균) \times (Period2) + (\sigma \times \sqrt{Period2} \times 서비스율(z)) - 현재\ 군재고 \dots\dots\dots (12)$$

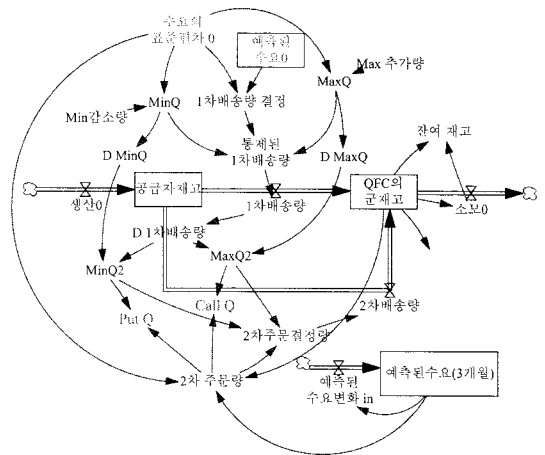
<식 10>에서 보듯이 2차주문량은 1차주문량에 설정된 리드타임기간 동안의 수요와 2차주문량이 도착하는 기간 동안의 주문량이 중복되므로 현재 재고를 제외한 양을 주문하게 된다. 2차주문량에 대한 모델은 <그림 4>와 같다. <그림 4>에서 볼 수 있듯이 1차주문량을 결정함과 동시에 수량유연성계약은 최대생산약정량(MAXQ)과 최소구매약정량(MINQ)을 결정한다. <식 11>에서 보듯이 MAXQ양은 시즌기간에 대해 결정된 주문량에 시즌전체에 대한 안전 재고를 더한 양이며 MINQ양은 주문결정량에 표준편차에 대한 안전재고를 뺀 양이다. 이때 구매자는 전 시즌의 과다재고와 부족재고 경험을 각각 최대생산약정량(MAXQ), 최소구매약정량(MINQ)양에 반영하여 과거의 재고 불일치 경험을 반영하여 재고불일치 가능성을 줄이고자 한다.

$$MAXQ = 주문결정량 + (\sigma \times \sqrt{계약기간 + 리드타임}) \times 서비스율(z) + Max\ 추가량 \dots\dots\dots (13)$$

$$MINQ = 주문결정량 - (\sigma \times \sqrt{계약기간 + 리드타임}) \times 서비스율(z) - MIN\ 감소량 \dots\dots\dots (14)$$

$$MAX\ 추가량 = 부족재고가 발생했을 경우 다음기간 MAX Q추가량 \dots\dots\dots (15)$$

$$MIN\ 감소량 = 과다재고가 발생했을 경우 다음기간 MINQ 감소량 \dots\dots\dots (16)$$



<그림 4> 2차주문량 결정모델

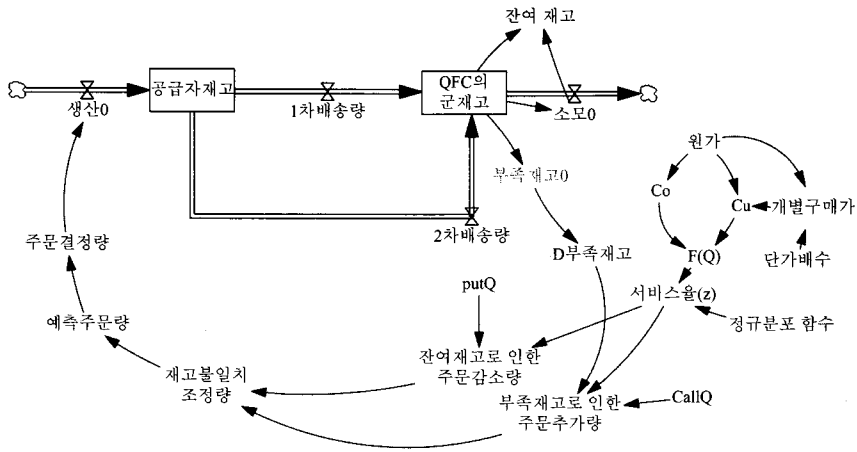
한편 수량유연성계약 프로세스의 많은 계약조건들은 서비스율(z)에 의해 영향을 받는다. 서비스율(z)는 <식 17>과 같이 부족재고비용(Cu)와 과다재고비용(Co)에 의해서 결정된다(Cachon and Terwiesch, 2006).

$$서비스율(z) : \Phi(z) = F(Q) \cdot F(Q) = Cu / (Co + Cu) \dots\dots\dots (17)$$

부족재고비용과 과다재고비용에 의해 결정된 임계치(F(Q))를 정규함수분포 테이블에 대입하여 결정된 서비스율(z)은 이익의 극대화를 꾀할 수 있는 재고수준을 결정한다. 본 연구에서는 균의 부족재고에 대한 회피 성향을 반영하여 서비스율을 0.93(Cu:Co=1:5.5)으로 가정한다.

서비스율(z)은 벤치의 Lookup 함수를 이용하여 Critical ratio를 X축으로, 서비스율(z)을 Y축으로 모델링하였다. 재고불일치 조정량은 <그림 5>과 같이 부족재고량과 과다재고량에 의해서 결정된다.

<그림 5>에서 보는 바와 같이 “부족재고0”나 과다재고(부족재고0의 마이너스 값)의 경우 서비스율과 함께 “재고불일치 조정량”으로 연결된다. “재고불일치조정량”은 다시 “주문결정량”으로 연결되어 재고를 조정하게 된다. <그림 5>에서



<그림 5> 재고불일치에 대한 주문조정과정

“CallQ”와 “putQ”가 등장하는데, “CallQ”는 주문량의 한도에 의해 주문할 수 없는 양을 말하며, “putQ”는 최소주문량에 의해 역지로 주문해야 하는 양을 말한다. 수량유연계약에서 최초 계약하기를 (80, 100, 120)이었다고 하자. 즉 1기간과 2기간 주문량 합이 최소 80이상이어야 하고, 최대 120을 넘을 수 없는 100을 기본 계약량으로 책정함을 의미한다. 여기서 “CallQ”는 1기간 수요량이 많아 2기간에서의 수요량이 높아졌지만 애초 계약량이 최고 120에 막혀 있어 더 필요하지만 주문할 수 없는 양을 말한다. 반대로 2기간 주문시 필요량이 떨어져 주문량을 낮추고 싶은데 최소 주문량 때문에 역지로 주문해야 하는 양을 말한다. 따라서 <그림 6>에서 재고불일치량을 조정할 때에는 “CallQ”와 “putQ”에 의해 영향받는다. 본 연구에서는 <식 18>에서 <식 23>과 같이 가정하여 “재고불일치 조정량”을 산정하였다.

$$\text{주문결정량} = \text{예측된 수요} \times (\text{계약기간} + \text{리드타임}) + \text{재고불일치 조정량} \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{재고불일치 조정량} = \text{부족재고로 인한 주문추가량} - \text{과다재고로 인한 주문 감소량} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{부족재고로 인한 주문 추가량} = \text{부족재고} \times 2 \text{ (if Call Q > 0)} \dots\dots\dots (20)$$

$$\begin{aligned} &\text{부족재고} \times \text{서비스율}(z) \text{ (if Call Q} \leq 0) \dots\dots (21) \\ &\text{과다재고로 인한 주문 감소량} = \text{과다재고} \text{ (if Call Q > 0)} \dots\dots\dots (22) \\ &\text{과다재고} \times \text{서비스율}(z) \text{ (if Call Q} \leq 0) \dots\dots (23) \end{aligned}$$

<식 24>와 <식 25> 같이 PutQ와 CallQ양은 2차배송량 결정시 MAXQ, MinQ 값에 의해 조정된 양을 말한다. 즉 2기간 수량유연성계약모델의 경우 양방향 조정이 허용되는 경우 양방향 모두에서 미리 선정된 양의 경우 제한받는 양이 발생한다.

Wang과 Tsao(2006)는 이러한 조정된 양이 발생하는 경우를 Call option과 Put option으로 정의하여 확장된 수량유연성계약 모델을 제시한다. 옵션은 CallQ에 대해서는 원래의 도매가 보다 비싼 도매가를 약정하고, PutQ에 대해서는 패널티비용을 약정한다.

본 연구에서는 Wang과 Tsao(2006)의 패널티비용에 대한 연구는 제외하고, CallQ와 PutQ가 균의 재고불일치 조정량과 MAXQ, MINQ값에 미치는 영향을 중점을 둔다. <식 3-26>과 <식 3-27>은 MAXQ와 CallQ, MINQ와 PutQ의 관계를 보여주고 있다.

$$\text{CallQ} = \text{2차주문량} - \text{MaxQ2} \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{PutQ} = \text{MinQ2} - \text{2차주문량} \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{MAXQ2} = \text{MaxQ} - \text{1차배송량} \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{MINQ2} = \text{MinQ} - \text{1차배송량 (if 1차배송량} < \text{MinQ)} \dots\dots\dots (27)$$

수량유연성계약을 구성하는 주요변수와 의사결정과정을 살펴보았다. 인과관계로 이루어진 각 변수들은 상호 영향을 주고받으며 모델에서 <그림 6>과 같이 다중루프를 형성한다.

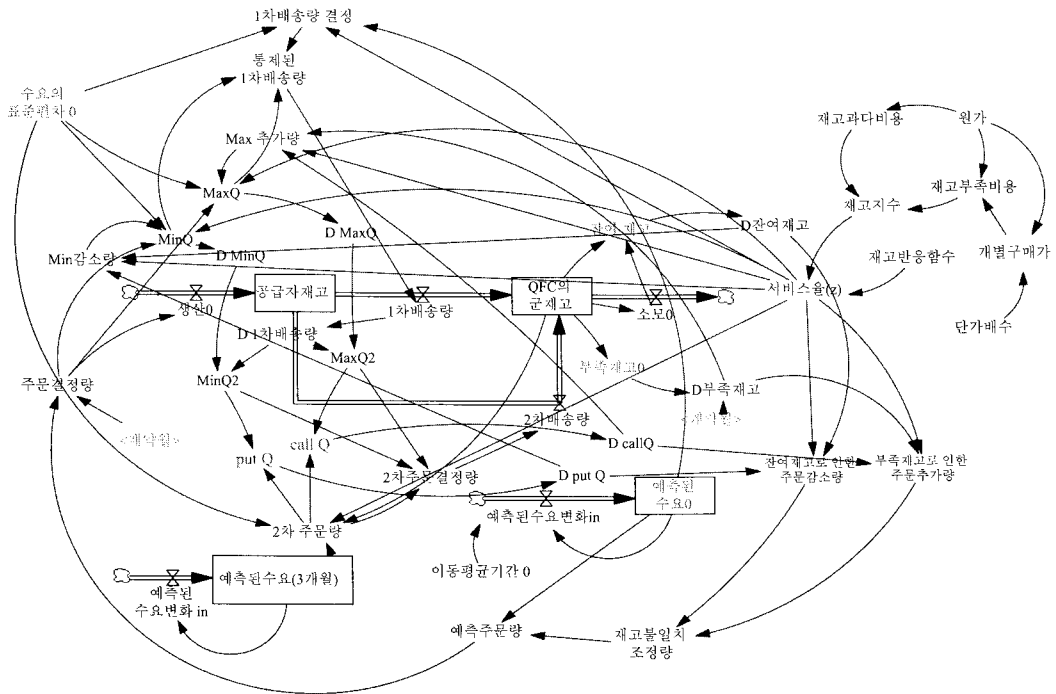
3.2.4 타당성 평가

본 연구 모델의 타당성 평가를 위해 균재고에 대한 유입과 유출의 균형 상태 유지 여부 평가, 단위 일치성 평가(units check), 극한조건 평가 등을 실시하였다. 각종 수ypo 패턴들에 대해 각 모델들은 모두 일정시간 이후 균형을 이루고 있어 균

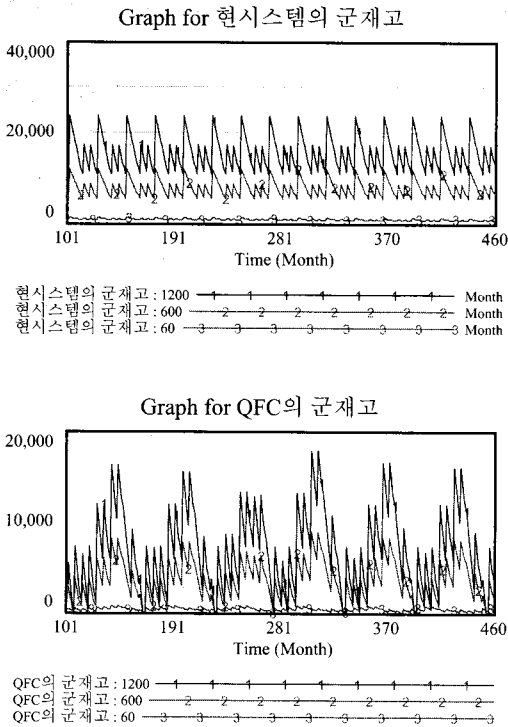
형상태유지여부에 대한 평가 부분에서는 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

극한조건 평가는 시스템에 영향을 미치는 변수가 극단적으로 변화 할 때 모형이 정상작동하면 타당성이 있다고 할 수 있다. 이를 위해, 수요의 발생값을 극단적으로 변화시켰을 때에도 공급계약모형이 안정적으로 작동하는지를 검증하였다. 극한조건 평가 결과 타당성이 있는 것으로 평가되었다(Sterman, 2001). 모델 수식의 단위 일치성 테스트는 벤심 프로그램에 있는 Units checks 기능을 통해 확인할 수 있다. 모델에서 Units checks한 결과 모델 수식의 단위가 일치하였다.

모델은 현실을 그대로 반영하고자 하는 목적이 아니다. 다양한 수요 형태가 공급계약의 성과에 미치는 영향의 동적 분석을 중점적으로 실시하고자 많은 부분을 가정 사항에서 단순화하였다. 그럼에도 불구하고 여러 가지 테스트 기법을 통하여 타당성을 검토한 결과 유용한 모델임을 알 수 있다.



<그림 6> 수량유연성계약 모델

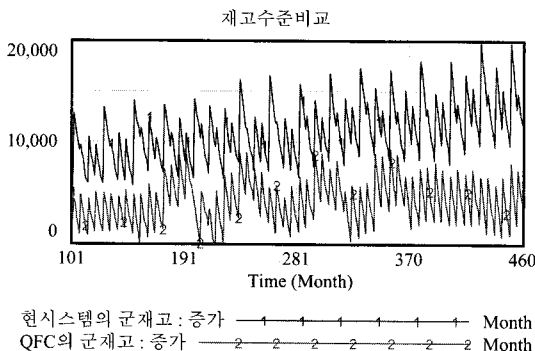


<그림 7> 극한조건 평가결과

4. 성과측정 및 결과분석

육군의 기존 재고 모델과 수량유연성계약 적용 모델간의 성과차이를 분석하기 위해 외생변수인 수요를 4가지로 구분하여 결과를 분석하였다.

수요가 증가추세인 경우 현 계약 시스템에 비해 수량유연성계약시스템은 낮은 재고수준을 보



<그림 8> 수요가 증가추세인 경우 성과비교

인다. <그림 8>은 특정 난수에 대한 두 시스템의 재고값을 보여주는데 현격한 차이를 보이고 있다.

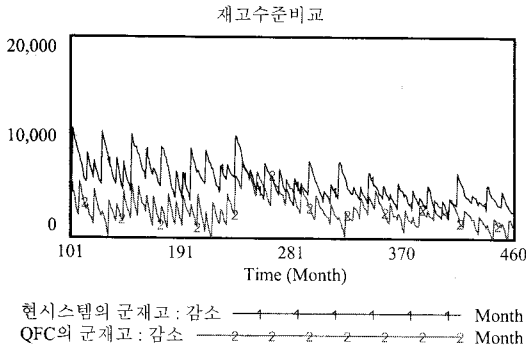
수요가 증가하는 1000개의 수요표본을 추출하기 위해 시물레이션을 1000번(Seed 1~1000) 실행하였다. 균의 재고유지비용은 정확히 산출하기 어려우므로 원가의 10%, 50%, 100%로 변할 경우에 대해서 시물레이션하였다. 그 결과 수량유연성계약에서 평균재고, 평균비용 모두 약 61~62% 가량 감소하였다. 이 수치들은 유의수준 0.05에서 z-test분석결과 두 모델의 평균재고와 평균비용의 차이가 유의하였다. 따라서 현 시스템보다 수량유연성계약의 시스템이 재고수준과 재고비용을 감소시키는 것을 알 수 있다.

<그림 9>는 수요가 감소추세인 경우 특정 난수에 대해서 시물레이션 한 결과이다. 수요가 증가하는 추세와 마찬가지로 수량유연성계약시스템

<표 3> 증가추세 수요의 성과치 z-test

과다 재고 비용	구분	평균재고			평균비용		
		평균	표준 편차	Z-test	평균	표준 편차	Z-test
원가의 10%	기존 계약	9495	1831	3896.1 (유의함)	1132	2.08	22418.9 (유의함)
	수량 유연성 계약	3716	369.1		4.35	0.45	
	성과	61% 절감			62% 절감		
원가의 50%	기존 계약	9495	1831	3974.6 (유의함)	47.1	7.5	305.2 (유의함)
	수량 유연성 계약	3627	348.7		17.94	1.63	
	성과	62% 절감			62% 절감		
원가의 100%	기존 계약	9495	1831	3970.0 (유의함)	91.8	16.2	407.5 (유의함)
	수량 유연성 계약	3639	344.8		35.1	3.16	
	성과	62% 절감			62% 절감		

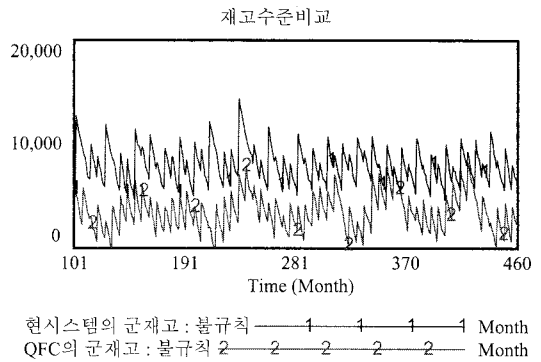
* 유의수준 0.05에서 z-test값이 1.96이상인 경우 유의함



<그림 9> 수요가 감소추세인 경우 성과비교

이 현 공급계약시스템의 군재고보다 낮은 재고수준을 유지하는 것을 볼 수 있다.

수요가 감소추세를 가질 때 재고유지비용을 원가의 10%, 50%, 100%에 대해서 시뮬레이션 한 결과 수량유연성계약에서 평균재고, 평균비용 모두 약 55~ 62% 가량 감소하였다.



<그림 10> 수요가 불규칙한 경우 성과비교

<그림 10>는 수요가 불규칙한 경우에 대해서 시뮬레이션 한 결과이다. 수요가 증가 또는 감소하는 추세와 마찬가지로 수량유연성계약 시스템에서는 낮은 재고수준을 유지하고 있다.

<표 5> 불규칙수요의 성과치 z-test

<표 4> 감소추세 수요의 성과치 z-test

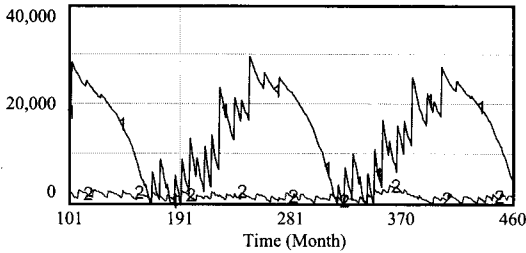
과다 재고 비용	구분	평균재고			평균비용		
		평균	표준 편차	Z-test	평균	표준 편차	Z-test
원가의 10%	기존 계약	8014	1840	3020.7 (유의함)	9.73	2.8	105.7 (유의함)
	수량 유연성 계약	3614	281.8		3.73	0.42	
	성과	55% 절감		62% 절감			
원가의 50%	기존 계약	8014	1840	3162.4 (유의함)	39.9	8.8	231.1 (유의함)
	수량 유연성 계약	3316	367		16	1.9	
	성과	59% 절감		60% 절감			
원가의 100%	기존 계약	8014	1840	3088.1 (유의함)	77.7	17.41	310.1 (유의함)
	수량 유연성 계약	3467	328.1		33.25	3.14	
	성과	57% 절감		57% 절감			

※ 유의수준 0.05에서 z-test값이 1.96이상인 경우 유의함

과다 재고 비용	구분	평균재고			평균비용		
		평균	표준 편차	Z-test	평균	표준 편차	Z-test
원가의 10%	기존 계약	8719	1615	310.1 (유의함)	10.5	2.4	128.3 (유의함)
	수량 유연성 계약	3532	270		3.96	0.2	
	성과	59% 절감		62% 절감			
원가의 50%	기존 계약	8719	1615	3755.2 (유의함)	43.3	7.3	280.9 (유의함)
	수량 유연성 계약	3557	274.6		17.4	1.2	
	성과	59% 절감		60% 절감			
원가의 100%	기존 계약	8719	1615	3736.6 (유의함)	84.5	14.7	382.8 (유의함)
	수량 유연성 계약	3580	276.5		34.3	2.5	
	성과	59% 절감		59% 절감			

※ 유의수준 0.05에서 z-test값이 1.96이상인 경우 유의함

재고수준비교



현시스템의 군재고: 경기변동 — 1 1 1 1 Month
 QFC의 군재고: 경기변동 — 2 2 2 2 Month

<그림 11> 수요가 경기변동이 있는 경우 성과비교

<표 5>에서 보듯이 수요가 불확실한 형태를 가질 때 재고유지비용을 원가의 10%, 50%, 100%에 대해서 시뮬레이션 했다. 그 결과 수량유연성 계약에서 평균재고, 평균비용 모두 약 59~62% 가량 감소하는 성과를 관측할 수 있었다.

<그림 11>는 수요가 경기변동이 있는 경우에 대해서 시뮬레이션 한 결과이다. 앞의 세가지 패턴의 수요와 마찬가지로 현계약 시스템에 비해서 낮은 재고수준을 유지하고 있다.

<표 6>에서 보듯이 수요가 경기변동의 추세를 가질 때 재고유지비용을 원가의 10%, 50%, 100%에 대해서 시뮬레이션 했다. 그 결과 수량유연성 계약에서 평균재고, 평균비용 모두 약 55~71% 가량 감소하였다.

각 4가지 수요패턴에 대해 각 1000번씩 시뮬레이션을 하였다. 앞에서 나온 바와 같이 수량유연성 계약을 체결할 경우 기존 계약방식에 비하여 현격한 재고감소를 이룰 수 있다는 것을 육군의 의약품 재고관리 분야에서 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 일 년에 한번 수량을 결정하여 두 번 배송받는 육군의 의약품 공급체인을 대상으로 수량유연성 계약을 응용할 경우 어느 정도의 재고성과를 얻을 수 있는지 시뮬레이션하였다. 연구결

과 다양한 수요패턴에 대해 수량유연성계약은 재고수준과 재고비용의 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 연구의 보편성을 위해 다양한 수요패턴을 적용하였는데, 모든 수요패턴에 대해 수량유연성 계약이 우수한 것으로 분석되었다. 특히 수요가 경기변동이 있는 경우 가장 큰 재고수준과 재고비용의 감소를 가져오는 것을 관찰할 수 있었다.

본 연구는 육군공급계약방식에 대한 새로운 대안을 구체적으로 제시하고 있다. 이를 통해 군의 부족재고위험에 대한 회피성향과 같은 특수성으로 인해 허용되어 온 과다재고의 비효율성을 개선할 수 있는 방안을 구체적으로 제시하고 있다. 그리고 Vensim 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 공급계약에 관한 동적연구를 최초로 시도함으로써 기존연구의 단기간 모델에서 수치적인 최적화의 방법을 통해 전체공급체인의 최적화에 초점

<표 6> 경기변동수요의 성과치 z-test

과다 재고 비용	구분	평균재고			평균비용		
		평균	표준 편차	Z-test	평균	표준 편차	Z-test
원가의 10%	기존 계약	12290	3288	2955.0 (유의함)	17.8	2.9	185.8 (유의함)
	수량 유연성 계약	5558	1902		5.2	1.7	
	성과	55% 절감			71% 절감		
원가의 50%	기존 계약	12290	3288	3042.7 (유의함)	64.2	12.84	262.6 (유의함)
	수량 유연성 계약	5228	2099		24.6	9.9	
	성과	57% 절감			62% 절감		
원가의 100%	기존 계약	12290	3288	3089.3 (유의함)	122.1	28.1	337.2 (유의함)
	수량 유연성 계약	5049	2206		47.6	20.7	
	성과	59% 절감			61% 절감		

* 유의수준 0.05에서 z-test값이 1.96이상인 경우 유의함

을 맞춘 것에 비해 다가간의 재고관리를 중점으로 수량유연성계약의 주요 변수들이 성과에 미치는 영향을 동적(Dynamic)으로 분석하였다는 점에서 본 연구의 의의를 들 수 있다.

그러나 공급자의 수익과 재고수준과 같은 공급자의 성과를 고려하지 않았다. 그리고 2기간으로 나누어진 수요를 충족시키기 위한 공급자의 생산 능력을 고려하지 않았다. 또한 모델에서 하류제대의 수를 1개로 제한하였으며, 공급자와 구매자 사이에 발생하는 힘의 불균형이 계약에 미치는 영향을 배제하는 한계를 가진다.

향후 연구에는 이러한 제한사항들을 보완하여 군의 계약담당자들이 실무에서 의사결정을 지원할 수 있는 도구로 활용할 수 있도록 연구가 보완되어야 하겠다.

참고문헌

- [1] 문성암 외 2명, “군 물류체계 개선 방안”, 정책연구 보고서, 2004.
- [2] Cachon and terwiesch, Matching Supply with Demand : McGraw-Hill, 2006.
- [3] Eppen, G.D. and A.V. Iyer, “Backup Agreements in Fashion Buying-The Value of Upstream Flexibility.” Management Science 43 (11), pp.1469-1487, 1997.
- [4] Lee, Hau L., and V. Padmanabhan, T.A. Taylor and S. Whang, “Price protection in the personal computer industry”, Management Science, Vol. 46, pp.467-482, 2000.
- [5] Milner, J.M., Rosenblatt, M.J., “Flexible supply contracts for short life-cycle goods: The buyer’s perspective.” Naval Research Logistics 49, 2002.
- [6] Pasternack, B.A., “Optimal Pricing and Returns Policies for Perishable Commodities”, Marketing Science, Vol.4, pp.166-176, 1985.
- [7] Stermann, J.D., Business Dynamics: system thinking and modeling for a complex world. : McGraw-Hill, 2001.
- [8] Tsay, A.A., S. Nahmias and N. Agrawal, Modeling Supply Chain Contracts: A Review, in Tayur, S., Ganeshan, R. and Magazine, M. (eds), Quantitative Models for Supply Chain Management, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, pp.299-336, 1999.
- [9] Wang, Q., Tsao, Debi., “Supply contract with bidirectional options: The buyer’s perspective”, International Journal of Production economics 101, 2006.

|| 저자 소개 ||

문 성 압 (E-mail : samoon@kndu.ac.kr)

- 1991 연세대학교 경영대학 졸업(학사)
- 1994 연세대학교 경영대학원 졸업(석사)
- 1999 연세대학교 경영대학원 졸업(박사)
- 현재 국립 국방대학교 국방관리학처 부교수
- 관심분야 공급체인관리, 생산운영관리, 시스템 다이내믹스.

김 동 진 (E-mail : ssskdj@yahoo.com)

- 1987 뉴욕주립대학교 졸업(학사)
- 1991 뉴욕주립대학교 대학원 졸업(석사)
- 1995 뉴욕주립대학교 대학원 졸업(박사)
- 현재 부산대학교 국제전문대학원에 조교수
- 관심분야 대기행렬모형, 물류관리, 재고관리.

최 영 수 (E-mail : legendys@hanmail.net)

- 2002 육군사관학교 졸업(학사)
- 2007 국방대학교 졸업(석사)
- 관심분야 공급체인관리, 공급계약, 시스템 다이내믹스