

■ 論 文 ■

재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 운영특성 연구

Impacts of Delivery Vehicle Routing on Different Inventory Strategies and Network Configurations

원 민 수

(한양대학교 교통시스템공학과 석사)

강 경 우

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 선행 연구 검토
- III. 분석방법
 - 1. 기본가정
 - 2. 재고모형
- 3. 네트워크 구성
- IV. 분석결과
 - 1. 재고전략에 따른 주문량의 특성
 - 2. 재고전략에 따른 차량운행 특성
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 공급체인관리, 배송차량경로 시뮬레이션, 경제적 주문량 재고전략, 주기적 주문량 재고전략, 허브 앤 스포크 네트워크
 Supply Chain Management, Delivery Vehicle Routing, Economic Order Quantity, Periodic Order Quantity, Hub-and-Spoke Network

요 약

최근 유류비와 도로혼잡의 증가, 환경오염에 대한 높은 관심으로 인하여 공급체인에서 수송부분에 대한 다양한 이슈가 제시되고 있다. 특히, 공급자와 소매상에 유리한 전략들이 운송회사 입장에서도 반드시 유리하지 않다는 이슈가 제시되면서 다양한 연구가 시도되기 시작하였다. 그러므로 본 연구에서는 전통적인 공급체인분석 관점에서 벗어나 운송회사 입장에서 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 공급체인의 운영특성을 파악하고, 그에 따른 운송회사의 운영환경을 해석하고자 한다.

분석방법은 가상의 공급체인을 구성하고, 각 네트워크(분산형, 집중형)구성에서 EOQ재고전략(Economic Order Quantity)과 POQ재고전략(Periodic Order Quantity)에 따른 배송차량의 운영특성(배송차량의 적재율, 소요대수, 운행시간 등)을 TranCAD프로그램을 이용하여 분석하였다.

분석결과, 재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 바뀌면 운송회사가 보유해야 하는 배송차량과 운전자의 수를 줄일 수 있었으며, 차량 운행시간이 감소하였다. 또한 네트워크 구성이 분산형에서 집중형으로 변경되면 차량 적재율이 향상되고 차량 운행시간이 감소하였다.

즉, 운송회사 입장에서는 분산형 네트워크에서 EOQ 재고전략을 이용하는 것보다는 집중형 네트워크를 구성하고 POQ 재고전략을 이용하는 것이 유리하다는 사실을 확인할 수 있었으며, 이러한 효과는 월 1,300만원의 고정비와 월 260만원의 변동비 절감효과를 가져왔다.

Recently, interest in supply chain management is rising along with the increasing oil prices and traffic congestion. In particular, people started studying the issue, but realized that advantageous strategies for suppliers and retailers are not always advantageous to a carrier. Therefore, in this study the authors set up a simulation scenario to understand delivery vehicle routing problems under various inventory policies, namely Economic Order Quantity (EOQ) and Periodic Order Quantity (POQ) and network configurations.

First, the authors made a virtual supply chain. Then they analyzed characteristics of delivery vehicle routing under various inventory policies (EOQ and POQ) and network configurations.

As a result, the POQ inventory policy decreases the number of vehicles, the number of drivers, and the service time of vehicles. Also, the centralized network increases the load factor of vehicles and decreases the service time of vehicles.

In other words, the centralized network and the POQ inventory policy are better for the carrier. These results show a savings of 15,556,806 won (\$13,389.10) in a month: a reduction of 17%.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

공급체인관리(Supply Chain Management)는 크게 재고관리(Inventory)와 수송(Transportation)으로 나눌 수 있다.

이러한 공급체인관리의 전통적인 이슈는 정보전달 및 수요예측 부족으로 인한 주문량의 왜곡(채찍효과: Bullwhip Effect)과 과도한 재고 보유로 인한 재고유지비용의 증가를 해결하기 위하여 재고관리 관점에서 각 단계의 재고 보유량을 줄이고 정보공유 및 네트워크통합을 통한 각 단계의 주문 변동성을 감소시키는 것이었다.

그러나 유통비와 도로혼잡의 증가, 특히 화물차량의 CO2 배출 및 도심지 화물차량 운행에 따른 혼잡 및 사고의 증가 등 수송이 공급체인 당사자뿐만 아니라 사회 전체 입장에서도 매우 중요한 역할을 한다는 인식이 커지면서 수송에 대한 관심이 점점 커지고 있다.

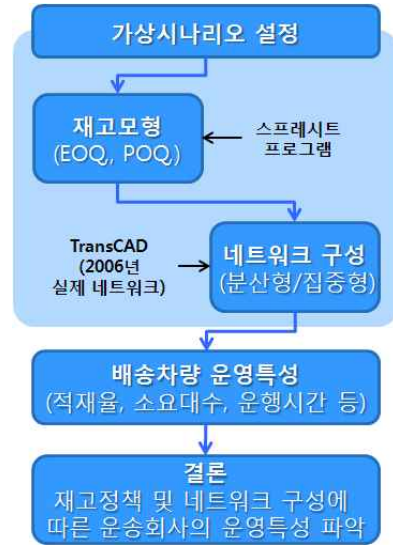
특히, 공급자와 소매상에 유리한 재고관리전략들이 운송회사 입장에서도 반드시 유리하지 않다는 이슈가 제시되면서 다양한 연구가 시도되고 있다. 즉, 기존의 공급체인관리가 공급체인 각 단계의 공급자와 소매상의 입장을 고려할 뿐, 수송을 담당하는 운송회사의 입장을 충분히 고려하고 있지 못하기 때문에 공급자와 소매상에게 유리한 전략들이 운송회사 입장에서는 오히려 불리한 조건이 될 수 있다는 것이다.

그러므로 본 연구에서는 전통적인 공급체인분석 관점에서 벗어나 수송의 관점에서 공급체인을 재해석 하고자 한다. 즉, 새로운 관점에서 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 공급체인의 운영특성을 파악하고, 그에 따른 운송회사의 운영환경을 해석 하고자 하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 운영특성을 파악하여 공급체인관리를 수송의 관점에서 새롭게 바라볼 수 있는 기회를 제공할 것이다.

재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 운영특성을 파악하기 위하여 500개의 소매상과 2가지 제품을 취급하는 공급자를 가상으로 설정하고, 공급체인 구성을 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 각 단계의 주문량 및 차량적재율, 차량소요대수, 차량운행시간 등을 분



<그림 1> 연구 절차

<표 1> 분석 대안

허브의 수	경제적 주문량(EOQ) 재고전략	주기적 주문량(POQ) 재고전략			
분산형	대안 1	대안 2			
집중형	1	대안 3			
	2	대안 5			
	3	대안 7			
	4	대안 9			
		대안 4	대안 6	대안 8	대안 10

석하여 운송회사의 운영특성을 파악하였다.

재고전략은 경제적 주문량(EOQ: Economic Order Quantity) 재고전략과 주기적 주문량(POQ: Periodic Order Quantity) 재고전략으로 정의하였으며, 네트워크 구성은 공급자에서 각 소매상으로 직접 배송하는 분산형 네트워크와 Hub-and-Spoke을 이용한 집중형 네트워크로 구성하였다. 또한 집중형 네트워크에서는 허브의 수를 1~4개로 다양하게 구성하였다.

마지막으로 이렇게 구성된 가상 시나리오를 바탕으로 재고전략 시뮬레이션과 네트워크 시뮬레이션을 실시하였으며, 여기서 도출된 배송차량의 차량적재율, 차량소요대수, 차량운행시간 등을 이용하여 운송회사의 운영특성을 분석하였다.

II. 선행 연구 검토

기존 연구를 살펴보면, 지금까지의 공급체인 이슈는 재고관리 관점에서 각 단계의 재고 보유량을 줄이고 정

보공유 및 네트워크통합을 통한 각 단계의 주문 변동성을 감소시키는데 초점을 맞추고 있다.

심규택, 박영병(2007)은 다단계 공급사슬에서 재고 전략(정량발주, 정기발주, 절충모형)에 따른 채찍효과를 시뮬레이션 분석하였다. 분석결과, 정량발주모형과 정기발주모형이 절충모형에 큰 채찍효과가 발생하였다. 또한 정량발주모형에서는 주문비용과 재고유지비용에 의해 채찍효과가 증감함을 보였고, 정기발주모형에서는 주문간격에 의해 채찍효과가 증감함을 보였으며, 절충모형에서는 리드타임과 수요예측구간에 의해 채찍효과가 증감함을 보였다.

박국흠, 김기범, 정봉주(2003)은 SCM에서의 파트너십이 공급사슬에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 하위단계에서부터 짧은 리드타임의 분포가 주문량과 재고량의 상대적인 안정성으로 채찍효과와 감소와 비용의 절감이 있었다는 결과를 도출하였다.

홍성철, 박영병(2006)은 재고문제에 차량경로 문제를 포함하여 SCM의 총비용이 최소화되는 해를 찾았다. 총비용은 공급자 주문비, 공급자재고유지비, 소매점재고유지비, 차량고정비, 차량변동비, 품질비로 정의하였다. 실제 사례를 해결하기 위하여 휴리스틱 해법을 이용하였다. 분석결과, 휴리스틱을 이용한 결과가 실제 최적해와 3.82%의 오차밖에 발생시키지 않았다.

이가는, 김대기(2002)은 공급체인에서 발생하는 채찍효과와 각 원인들을 밝히고, 공급체인의 두가지 형태(집중형/분산형)에 따라 채찍효과가 어떻게 발생하는지 연구하였다. 분석결과, 분산형에서는 곱셈의 형태로 채찍효과가 증가하지만, 집중형에서는 덧셈의 형태로 증가하여 덜 민감한 것으로 판단하였다.

Michael A. Houghton(2009)에서는 운송업자 입장에서 채찍효과를 측정하였다. 분석결과, 수요의 계절적 변동은 운송회사의 운영상의 불안정성을 유발하고 심함 채찍효과를 유발하였다. 또한 POQ재고전략일 때 보다 Silver-Meal 휴리스틱 재고전략일 때, 운송회사의 채찍효과가 크게 증가하였다.

Richard Metters(1996)는 계절적 변동과 수요변동(수요예측오류)에 의하여 채찍효과가 발생한다고 했다. 또한 이러한 계절적변동과 수요변동은 강도가 강하면 강할수록 채찍효과는 커지고, 많은 비용을 발생시킨다고 하였다. 분석결과, 계절적변동과 수요예측오류를 제거하여 채찍효과를 줄이면 10~30%의 비용절감효과를 가져

온다고 분석되었다.

S. M. Disney, A. T. Potter, B. M. Gardner(2003)은 세 가지 시나리오(traditional, internal consolidation and VMI)에 따라 어떻게 비용절감이 되는지 연구하였다. 분석결과 VMI를 실시했을 때, 수송비용이 절감한다는 결론을 얻을 수 있었다. 특히, 장·단기 모두에서 VMI를 실시하면 수송비용을 줄일 수 있었다.

S. M. Disney, D. R. Towill(2003)도 VMI에 의한 채찍효과와 재고량의 증가를 증명하였다. 전통적인 방식과 VMI를 비교하여 VMI실행 시 채찍효과와 재고량이 감소하는 것을 확인하였다.

Eric Sucky(2008)에서는 그동안 채찍효과가 너무 과장되게 측정되었다는 문제를 지적하였다. 분석결과, 네트워크 구조가 간단하고 Risk Pooling시스템을 갖추고 있으면, 채찍효과가 그동안 과도하게 측정되어왔음을 지적하고 있다.

Ertunga C. Özalkan, Metin Çakanyıldırım(2007)은 채찍효과를 유발하는 여러 요인들 중 가격변동에 대하여 초점을 맞춰 연구하였다. 해당 연구에서는 수매가격이 변동함에 따라 채찍효과가 어떻게 변화하는지 측정하였다. 분석결과, 수매가격이 변동하게 되면 소매상의 가격변동성이 올라가게 되고, 가격의 채찍효과가 증가하게 된다고 증명하였다.

기존 연구를 살펴보면, 공급체인관리에서 재고관리와 함께 수송이 매우 중요한 역할을 차지함에도 불구하고 이에 대한 연구가 매우 부족하였다. 그러므로 본 연구에서는 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 운영특성을 파악하여 공급체인관리를 수송의 관점에서 새롭게 바라볼 수 있는 기회를 제공할 것이다.

III. 기본가정 및 시나리오 구성

1. 공급자와 제품의 구성

공급체인에는 1개의 공급자가 존재하며 전국 500개의 소매상을 통해서 2가지 종류의 제품을 제공한다. 제품 1은 인천항을 통하여 수입되며, 소매상에서 계절과 요일에 상관없이 꾸준히 판매되는 제품이다. 반면에 제품 2는 부산항을 통해서 수입되며, 비교적 큰 계절변동성을 가진다. 각 제품의 수요 특성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 각 제품의 수요 특성

제품의 종류	제품 1	제품 2
평균수요	5	5
수요의 표준편차	1	4 (계절변동성 포함)
계절 변동성	없음	있음

2. 계절변동성

제품 2의 계절변동성은 <표 3>과 같이 Michael A. Haughton(2009)을 참고하였다. 주로 주말이 다가오는 금요일과 토요일에 판매량이 증가하며(단, 일요일은 영업을 하지 않음) 한 달 중에는 둘째 주와 마지막 주에 판매량이 증가한다. 또한 1년을 기준으로 보면 판매량은 6월과 12월에 급증한다.

각 계절 변동계수는 1을 기준으로 정의 되어 각 날의 판매량에 계절변동성을 곱해줘도 평균 판매량은 변하지 않는다.

<표 3> 수요의 계절 변동계수¹⁾

일	수요	계절 변동계수	주	수요	계절 변동계수	달	수요	계절 변동계수
월	0.75	1주	0.80	1월	0.36			
화	0.75	2주	1.20	2월	0.48			
수	0.90	3주	0.60	3월	0.48			
목	0.75	4주	1.40	4월	0.60			
금	1.35			5월	0.84			
토	1.50			6월	1.32			
				7월	1.08			
				8월	0.84			
				9월	1.44			
				10월	0.60			
				11월	1.56			
				12월	2.40			

3. 소매상의 구성

소매상은 전국에 걸쳐 500개가 영업 중이며, 주변 소매상의 수요에 독립적이다. 모두 비슷한 판매량을 가지지만, 지역에 따라 다소 차이가 존재하며 이러한 차이는 표준편차 0.5이다.

500개의 소매상은 실제 소비자 수요를 반영할 수 있도록 국내 500개 정도의 점포를 가지고 있는 H도시락 업체의 실제 위치를 활용하였다. 즉, 실제 H도시락 점포의 위치가 해당 지역의 소비자 수요를 반영한다고 가정한 것이다.

4. 재고전략의 구성

각 소매상은 2가지 재고전략을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 재고전략을 EOQ 재고전략과 POQ 재고전략으로 정의하였으며, 분석대안에 따라 각 소매상에 동일 적용 하였다.

각 제품에 대한 재고유지비용(h)은 100원이며, 주문비용은 주문량에 상관없이 매 주문마다 36,000원이 발생한다고 가정하였다. 이러한 주문은 주문 후 1일이 지나면 받아 볼 수 있으며(Lead time=1), 재고량은 수요의 서비스 수준을 95%(z=1.96) 만족 시킨다. 그러므로 이러한 정보를 바탕으로 경제적주문량(EOQ)과 적정주문주기(POQ)를 산정하면 <표 4>와 같다.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2A \times D}{h}} = \sqrt{\frac{2 \times 36,000 \times 5}{100}} = 60$$

$$POQ = \frac{EOQ}{D} = \frac{60}{5} = 12$$

- 단, EOQ : 경제적주문량
- POQ : 적정주문주기
- A : 주문비용 (원/회)
- h : 재고유지비용 (원/일 · 개)
- D : 평균수요 (개/일)

제품 1과 2의 경제적주문량(EOQ)은 60개이며, POQ 재고전략을 위한 적정주문주기는 12일이다.

EOQ 재고전략에서 각 소매상은 리드타임(1일) 동안 소비자 서비스수준(95%)을 만족시킬 수 있는 재고량이 재주문점 아래로 내려가면 경제적주문량만큼 일정한 양을 주문하게 된다. 반면에 POQ 재고전략에서는 다음 주문주기(12일) 동안 소비자 서비스수준(95%)을 만족시킬 수 있도록 현재 보유재고량과 목표재고량을 고려하여 주문량을 결정하게 된다. 즉, EOQ 재고전략에서는 주문량이 고정되어 있기 때문에 재주문점을 기준으로 주문시점을 결정하는 것이며, POQ 재고전략에서는 주문시점이 고정되어 있기 때문에 목표재고량을 기준으로 주문량을 결정하는 것이다.

<표 4> 주문비용 및 재고유지비용

재고유지비용	100원	평균수요	5개
주문비용	36,000원	리드타임	1일

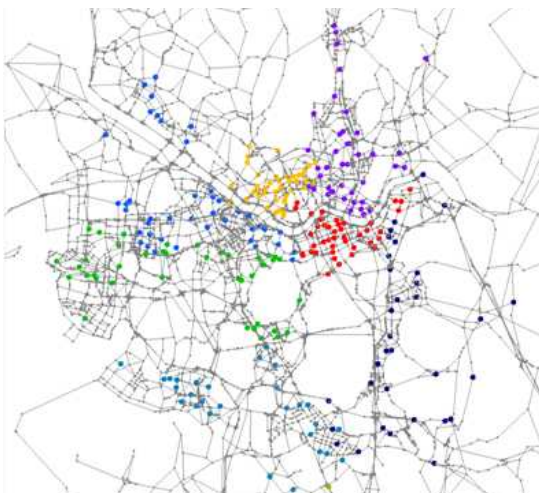
1) 출처: Michael A. Haughton(2009), "Distortional Bullwhip Effect on carriers", Transportation Research Part E 45.

이러한 내용을 바탕으로 EOQ 재고전략의 재주문점과 POQ 재고전략의 목표재고량을 산정하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{제품 1의 재주문점} &= L \times AVG_1 + z \times STD_1 \times \sqrt{L} \\ &= 1 \times 5 + 1.96 \times 1 \times \sqrt{1} \approx 7 \\ \text{제품 2의 재주문점} &= L \times AVG_2 + z \times STD_2 \times \sqrt{L} \\ &= 1 \times 5 + 1.96 \times 4 \times \sqrt{1} \approx 13 \\ \text{제품 1의 목표재고량} &= (r + L) \times AVG_1 + z \times STD_1 \times \sqrt{r + L} \\ &= 13 \times 5 + 1.96 \times 1 \times \sqrt{13} \approx 73 \\ \text{제품 2의 목표재고량} &= (r + L) \times AVG_2 + z \times STD_2 \times \sqrt{r + L} \\ &= 13 \times 5 + 1.96 \times 4 \times \sqrt{13} \approx 94 \end{aligned}$$

- 단, AVG_i : 제품 i의 평균수요
- STD_i : 제품 i의 수요 표준편차
- L : 배송 리드타임
- r : 주문주기
- POQ : 적정주문주기
- z : 95% 소비자 서비스수준에 대한 안전계수

특히, POQ 재고전략에서는 각 소매상이 주문을 할 수 있는 날이 정해져 있으며, 해당 주문 날짜 이외에는 주문을 할 수 없다. 그러므로 이러한 주문주기(12일)를 이용하여 500개의 소매상을 <그림 2>와 같이 약 41~42개의 그룹으로 구성하였으며(41×4+42×8=500), 효율적인 차량 경로계획을 위하여 소매상들을 공간적으로 집합화 되도록 각 소매상의 주문시기를 결정하였다.



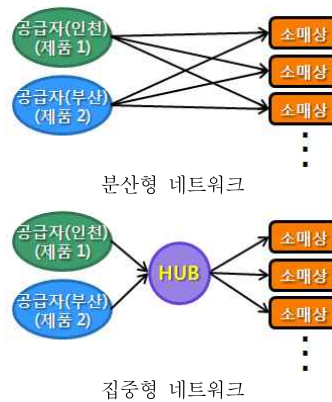
<그림 2> POQ 재고전략에서 주문주기가 일치하는 소매상 그룹의 예시(수도권)

5. 네트워크의 구성

공급체인의 네트워크 구성은 <그림 3>과 같이 크게 2가지로 가정하였다. 분산형 네트워크에서는 각 항구로 제품이 수입되면 각 날의 주문량에 따라 항구에서 소매상으로 직접 배송된다.

Hub-and Spoke 시스템인 집중형 네트워크에서는 각 항구로 수입된 제품이 공급체인의 허브역할을 하는 물류센터로 모이게 되며, 이렇게 모인 각 제품은 주문이 들어온 소매상으로 배송차량에 혼적되어 배송된다. 또한 이러한 집중형 네트워크는 허브의 수를 1~4개로 다양하게 구성하여 분석하였다.

마지막으로 각 허브의 위치는 실제 H택배회사의 물류센터 위치를 기준으로 정의하였다. 즉, 실제 H택배회사의 물류센터가 다양하고 복잡한 허브의 입지요건을 반영하고 있다고 가정한 것이다.²⁾



<그림 3> 네트워크의 구성

6. 배송차량의 구성

각 단계의 주문량은 7,740,000cm³용량의 2.5톤 냉동트럭을 이용하여 배송하게 된다. 제품 1과 2의 크기는 12,900 cm³로 동일하며 냉동트럭 한 대에 제품 600개를 실을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{2.5톤 트럭의 용량} &= 430 \times 100 \times 180 = 7,740,000 \text{cm}^3 \\ \text{박스 1개의 크기} &= 20 \times 30 \times 21.5 = 12,900 \text{cm}^3 \\ \text{차량의 용량} &= 7,740,000 \div 12,900 = 600 \text{개} \end{aligned}$$

2) 실제로 TransCAD를 이용한 입지결정(Location problem) 시뮬레이션에서도 실제 H택배회사의 물류센터 위치와 비슷한 결과가 도출됨.

배송차량은 아침6~저녁6시까지 12시간 운행된다. 모든 배송차량은 최종적으로 출발지로 다시 돌아오게 되며, 배송량과 경로에 상관없이 모두 1회만 운행된다. 즉, 배송이 끝난 후에는 다시 출발지로 돌아오지만 다시 물건을 싣고 배송을 하지 않는 것으로 가정하였다. 왜냐하면 공장과 허브는 수시로 발생하는 선적작업을 처리하는 것보다 정해진 시간(예를 들어 오전시간)에 집중적으로 선적작업을 실시하여 운영효율을 높이는 것이 유리하기 때문이다.

배송차량은 인접 소매상을 이동하며 해당 주문량을 하역한다. 하역시간은 주문량에 상관없이 60분으로 가정하였으며, 허브 간 통행은 없는 것으로 가정하였다.

IV. 분석방법

1. 재고전략 시뮬레이션

재고전략에 따른 각 소매상의 일일 주문량을 결정하기 위하여 가상시나리오를 바탕으로 스프레시트 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

각 소매상은 서비스 수준 95%를 만족시키기 위하여 안전재고량을 보유하고, 각 주문은 주문시점을 기준으로 1일 후에 받을 수 있다. 통상적으로 재고조사는 영업이 끝난 다음에 실시하며, 주문량은 다음날 판매에 바로 반영될 수 있도록 하였다.

각 소매상의 평균 수요는 공간적 및 시간적 변동성과 계절변동성을 적용하여 500개의 소매상에 무작위로 배정하였으며, 일요일을 제외한 1년 288일을 6년 동안 시뮬레이션 하였다. 하지만 이러한 시뮬레이션 결과는 각 소매상의 초기배정 재고량에 의하여 초기효과가 나타나게 되므로, 이러한 초기효과를 제거하기 위하여 6년의 시뮬레이션 결과 중 1~4년의 자료를 제거하고, 그 중 수요가 가장 많이 발생하는 5년 12월의 자료를 이용하여 분석하였다. 왜냐하면 본 연구의 목적이 운송회사의



<그림 4> 재고전략 시뮬레이션 알고리즘

운영환경을 파악하는 것이며, 운송회사는 단기간 내에 자본과 노동을 쉽게 투입/철수 할 수 없기 때문에 소비자의 서비스 수준을 만족시키기 위해서는 주문량이 많은 날을 기준으로 운영규모를 결정해야하기 때문이다. 그러므로 재고전략 시뮬레이션의 결과 중 수요가 가장 많이 발생하는 12월의 자료를 이용하여 네트워크 시뮬레이션을 실시하고 운송회사의 운영환경을 분석하였다.

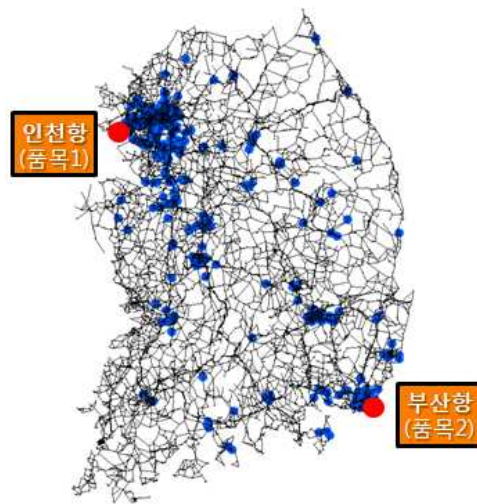
2. 네트워크 시뮬레이션

공급체인의 네트워크는 한국교통연구원에서 만든 2006년 전국권 네트워크를 이용하여 구축하였다. 각 도로의 혼잡을 고려하기 위하여 2006년의 O/D자료를 이용하여 통행배정(Traffic assignment)을 실시한 후 배송차량경로계획 시뮬레이션을 실시하였다.

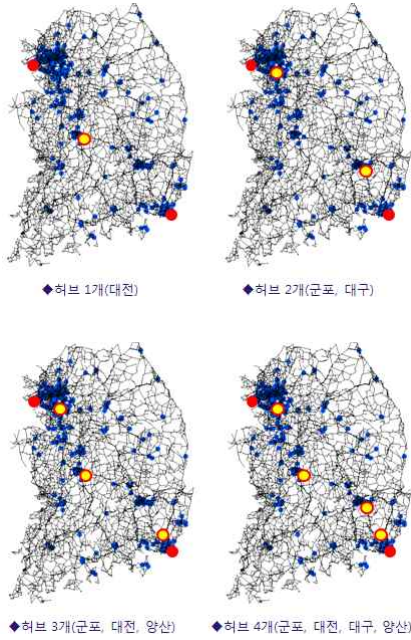
500여개의 소매상 위치는 <그림 5>와 같이 구글 맵스와 네트워크 분석프로그램인 TransCAD를 연결하여 구글 맵스에서 실제 H도시락 업체의 위치를 파악하고 TransCAD에서 그에 해당하는 노드(node)에 소매상을 정의하는 방식으로 이루어졌다.

집중형 네트워크에서 허브의 위치는 <그림 6>과 같이 실제 H택배회사의 물류센터 위치를 이용하여 1~4개로 다양하게 구성하였다.

배송차량은 차량의 용량과 서비스 시간에 따라 인접 소매상을 돌며 주문량을 하역하고, 모든 배송이 끝나면 다시 출발지로 돌아오게 된다.



<그림 5> H도시락 업체를 이용한 소매상 정의



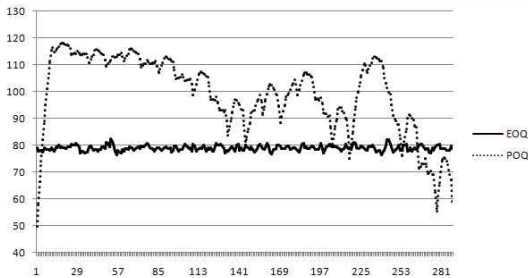
<그림 6> H택배회사를 이용한 허브 정의

이렇게 통행배정과 각 소매상 및 허브의 위치를 정의하고, 재고전략 시뮬레이션에서 도출된 각 날의 주문량을 이용하여 배송차량 경로계획문제를 시뮬레이션 하였다. 분석 프로그램은 TransCAD를 이용하였으며, 배송차량의 적재율, 차량소요대수, 차량운행시간 등을 파악할 수 있었다.

V. 분석결과

1. 재고보유량 및 주문량의 특성

각 재고전략에 따른 소매상의 재고보유량을 살펴보면 <그림 7>, <표 5>와 같다.



<그림 7> 재고전략에 따른 소매상의 재고보유량

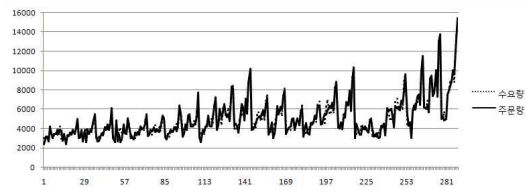
<표 5>의 분석결과를 보면, EOQ 재고전략보다 POQ 재고전략일 때 소매상은 더 많은 재고량을 가지고 있게 된다. 또한 POQ 재고전략에서는 이러한 재고보유량이 소매상의 수요에 따라 심하게 변동되는 것을 확인할 수 있다.

왜냐하면 EOQ 재고전략에서는 소매상의 재고가 재주문점으로 내려가게 되면 언제든지 주문을 할 수 있고, 1일 만에 쉽게 재고를 보충할 수 있기 때문에 변동하는 수요에 안정적으로 대응할 수 있는 것이다. 반면에 POQ 재고전략에서는 각 소매상이 주문을 할 수 있는 날이 정해져 있고, 이러한 주문주기가 EOQ 재고전략보다 12일로 길기 때문에 소비자의 서비스 수준을 만족시키기 위해서는 EOQ 재고전략일 때 보다 더욱 많은 재고량을 보유하고 있어야 한다. 또한 POQ 재고전략에서는 리드타임이 길기 때문에 소비자의 수요 변동이 고스란히 소매상의 재고보유량에 반영되게 된다. 즉, 재고보유량의 변동성이 수요의 변동성만큼 커지게 되는 것이다.

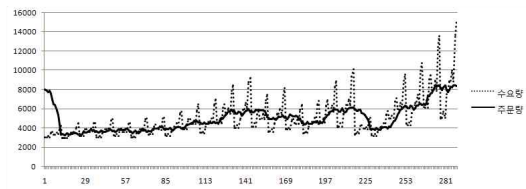
서론에서 언급하였듯이, 공급체인의 전통적인 이슈는 이러한 소매상의 재고보유량과 변동성을 줄이는 것이었다. 하지만 이러한 전략이 운송회사입장에서는 항상 유리한 조건을 제공하지는 않는다. 운송회사 입장에서는 안정적인 주문량을 통한 운영의 안정화가 유리한 조건이다. 그러므로 운송회사 입장에서 이러한 재고전략의 효과를 분석하기 위해서는 주문량의 변동성을 살펴볼 필요가 있다.

<표 5> 재고전략에 따른 소매상의 재고보유량

	EOQ 재고전략	POQ 재고전략
평균 재고보유량(개) (95% 신뢰구간)	78.98 (78.87~79.09)	99.16 (97.52~100.81)



<그림 8> EOQ 재고전략의 수요량과 주문량



<그림 9> POQ 재고전략의 수요량과 주문량

<그림 8>와 <그림 9>의 결과를 살펴보면, EOQ 재고 전략보다 POQ 재고전략에서 매우 안정적인 주문량을 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 운송회사 입장에서 POQ 재고전략이 유리하다는 사실을 알 수 있다.

재고전략에 따라 이렇게 주문량의 분산이 차이를 보이는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

먼저, POQ 재고전략인 경우에는 소매상이 각자의 주문시기를 가지고 있기 때문에 수요량에 큰 변동이 발생하더라도 같은 시기에 주문량이 일시적으로 몰리는 것을 방지할 수 있다. 즉, 일정 시점에서의 갑작스러운 수요의 증가를 여러 시점으로 분산시킴으로써, 주문량의 변동성을 안정시킬 수 있는 것이다.

반면에 EOQ 재고전략인 경우에는 각 소매상이 소비자 수요에 따라 언제나 주문을 할 수 있기 때문에 수요의 변동성이 주문량에 즉시 반영된다. 특히, 수요가 전국적으로 동시에 증가하게 되면 모든 소매상들은 이러한 수요에 동시에 반응하게 되고, 이러한 수요의 일시적인 증가는 고스란히 주문량의 폭증으로 이어지게 되는 것이다.

정리하면, EOQ 재고전략은 소매상의 재고보유량을 감소시키고 안정적으로 유지시켜 소매상 입장에서 유리하지만 수요의 변동성을 고스란히 주문량에 반영시켜 운송회사 입장에서 불리하다는 사실을 알 수 있다. 반면에 POQ 재고전략은 소매상의 재고보유량과 변동성을 증가시키지만 주문량을 안정적으로 유지하여 운송회사 입장에서 유리한 운영환경을 제공한다는 사실을 알 수 있다.

2. 배송차량 운영 특성

1) 평균 차량적재율

재고전략 및 네트워크 구성에 따라 배송차량이 어떻게 운영되는지를 파악하기 위하여 배송차량의 평균 적재율을 살펴보았다. 평균 적재율이란 차량 용량대비 선적되는 제품의 수로 정의할 수 있다.

이러한 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 평균 적재율을 살펴보면 <표 6>과 같다.

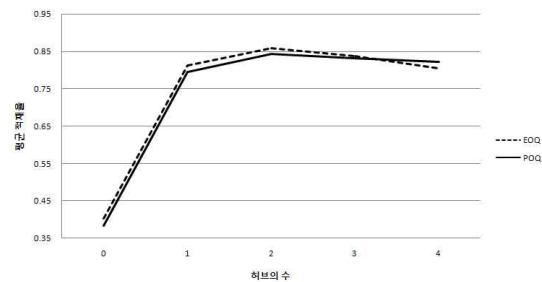
<표 6>의 배송차량의 평균 적재율을 살펴보면, 재고모형에 따른 차량의 평균 적재율에는 큰 차이가 없다. 실제로 t-검정을 통한 통계적 분석을 보아도 차이가 없다는 것을 확인할 수 있다.

하지만 평균 적재율은 네트워크 구성에 따라 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 특히 <그림 10>을 보면 분산형 네트워크와 집중형 네트워크 간에 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

즉, 배송차량의 평균 적재율은 네트워크 구성이 분산형에서 집중형을 개선되면 크게 향상되는 것을 나타낸다. 이러한 이유는 네트워크 구성이 집중형으로 변경되면, 허브를 통하여 서로 다른 제품이 혼적되고, 공장-허브간 대량수송이 이루어지기 때문이다.

<표 6> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 평균 차량적재율

허브의 수 (네트워크 구성)	재고전략		t-value ³⁾ (유의수준)	
	EOQ	POQ		
0 (분산형)	0.40	0.38	-0.575 (0.571)	
1 (집중형)	0.81	0.79	0.668 (0.511)	
2 (집중형)	0.86	0.84	0.394 (0.697)	
3 (집중형)	0.84	0.83	-0.337 (0.739)	
4 (집중형)	0.80	0.82	-0.254 (0.818)	
F-value (유의수준)	허브의 수 ⁴⁾ 0~4개	576.430 (0.000)	186.181 (0.000)	
	허브의 수 ⁵⁾ 1~4	8.561 (0.000)	5.052 (0.003)	



<그림 10> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 평균 차량적재율

3) 동일한 네트워크 구성에서 재고전략(EOQ, POQ)에 따른 평균차이를 검정하기 위하여 t-검정을 실시함

$$H_0 = \overline{X_{EOQ}} = \overline{X_{POQ}} \quad H_1 = \overline{X_{EOQ}} \neq \overline{X_{POQ}}$$

4) 동일한 재고전략에서 허브의 수(0~4개)에 따른 평균차이를 검정하기 위하여 F-검정을 실시함

$$H_0 = \overline{X_{H=0}} = \overline{X_{H=1}} = \overline{X_{H=2}} = \overline{X_{H=3}} = \overline{X_{H=4}} \quad H_1 = \overline{X_{H=0}} \neq \overline{X_{H=1}} \neq \overline{X_{H=2}} \neq \overline{X_{H=3}} \neq \overline{X_{H=4}}$$

5) 동일한 재고전략에서 허브의 수(1~4개)에 따른 평균차이를 검정하기 위하여 F-검정을 실시함

$$H_0 = \overline{X_{H=1}} = \overline{X_{H=2}} = \overline{X_{H=3}} = \overline{X_{H=4}} \quad H_1 = \overline{X_{H=1}} \neq \overline{X_{H=2}} \neq \overline{X_{H=3}} \neq \overline{X_{H=4}}$$

실제로 <표 7>를 살펴보면, 집중형 네트워크인 경우에는 항구-허브간 배송이 배송경로가 단순하고 대량 배송이 이루어지기 때문에 배송차량이 거의 만차 수준에 이르는 것을 확인 할 수 있다. 또한 허브-소매상간 배송도 두 가지 제품이 혼적되기 때문에 상대적으로 적재율이 높은 것을 확인 할 수 있다. 즉, 집중형 네트워크를 이용하면 공장-허브, 허브-소매상 간의 적재율이 향상되어 전체적인 적재율이 증가한다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 네트워크 구성이 분산형에서 집중형(허브 1개)으로 바뀌면 평균 적재율이 크게 향상되지만, 허브의 개수가 늘어난다고 해서 더 그 효과가 커지지는 않는다.

이러한 이유는 다음과 같이 설명 할 수 있다.

집중형 네트워크에서 적재율이 향상되는 이유는 혼적과 항구-허브간 대량배송 때문이다. 여기서 항구-허브간 배송의 적재율이 높은 이유는 배송경로가 단순하고 수송량이 많기 때문인데 허브가 늘어나게 되면 오히려 배송경로가 복잡해지고 각 허브에 대한 수송량이 감소하여 적재율이 낮아지게 되는 것이다. 그러므로 허브의 개수가 늘어나게 되면 혼적에 의한 적재율 향상에는 변화가 없지만 공장-허브간 대량수송에 대한 효과가 오히려 감소하기 때문에 전체적인 적재율도 크게 향상되지 않는 것이다.

즉, 이러한 이유 때문에 분산형 네트워크에서 집중형(허브 1개) 네트워크로 변화하는 것은 배송차량의 평균 적재율을 향상시키는데 큰 도움이 되지만, 허브의 개수를 증가시킨다고 해서 그 효과가 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다.

<표 7> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 각 단계별 평균 차량적재율

허브의 수 (네트워크 구성)	EOQ			POQ		
	공장-소매	공장-허브	허브-소매	공장-소매	공장-허브	허브-소매
0 (분산형)	0.40			0.40	0.38	0.38
1 (집중형)		0.94	0.71	0.81		0.92 0.70 0.79
2 (집중형)		0.89	0.83	0.86		0.89 0.80 0.84
3 (집중형)		0.85	0.83	0.84		0.86 0.80 0.83
4 (집중형)		0.80	0.81	0.80		0.84 0.80 0.82

2) 평균 차량소요대수

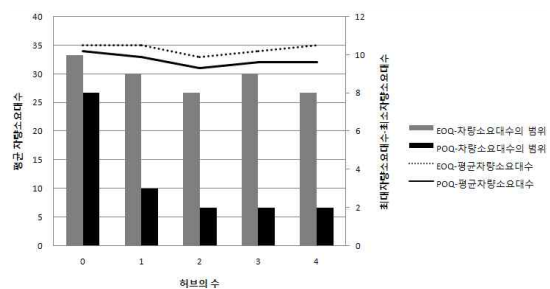
운송회사 입장에서는 배송차량의 적재율을 향상시키는 것도 중요하지만, 궁극적으로는 몇 대의 배송차량과 몇 명의 운전자가 얼마만큼의 시간동안 운영되어야 하는가가 더 중요할 것이다. 그러므로 재고전략 및 네트워크 구성에 따라 몇 대의 배송차량이 필요하고, 이러한 배송차량의 운행거리가 얼마인가 하는 것은 운송회사 입장에서 매우 중요한 문제이다.

먼저 재고전략과 네트워크 구성에 따른 배송차량의 평균 소요대수를 살펴보면 <표 8>, <그림 11>과 같다.

<표 8>, <그림 11>의 배송차량의 평균 소요대수를 살펴보면, 재고전략에 따른 평균 소요대수에는 큰 차이가 없다. 실제로 t-검정을 통한 통계적 분석을 보아도 차이가 없다는 것을 확인할 수 있다. 또한 네트워크 구성에 따른 평균 차량소요대수도 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

<표 8> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 평균 차량소요대수 (단위:대)

허브의 수 (네트워크 구성)	재고전략		t-value (유의수준)
	EOQ (95% 신뢰구간)	POQ (95% 신뢰구간)	
0 (분산형)	35 (30~40)	34 (31~38)	0.321 (0.751)
1 (집중형)	35 (30~39)	33 (32~34)	0.904 (0.375)
2 (집중형)	33 (29~37)	31 (30~32)	0.910 (0.372)
3 (집중형)	34 (30~38)	32 (30~33)	1.084 (0.290)
4 (집중형)	35 (31~39)	32 (31~33)	1.599 (0.123)
F-value (유의수준)	허브의 수 0~4개	0.191 (0.943)	1.284 (0.280)
	허브의 수 1~4	0.229 (0.876)	1.772 (0.158)



<그림 11> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 평균 차량소요대수

하지만 운송회사는 매일 발생하는 주문량에 대응하여 배송차량과 운전자를 쉽게 투입/철수시키기 어렵기 때문에 차량 소요대수의 변동성과 서비스 수준을 만족시키기 위해서는 최대 차량소요대수를 기준으로 배송차량과 운전자를 항시 보유해야 한다. 그러므로 운송회사 입장에서는 평균 차량소요대수보다 차량 소요대수의 분산이 더욱 중요한 문제이다.

95%수준에서 평균 차량소요대수의 신뢰구간을 <표 8>에서 살펴보면, 재고전략에 따라 최대 차량요구대수가 다른 것을 확인할 수 있다. 특히 재고전략이 POQ 재고전략이고, 네트워크 구성이 집중형일 때 차량소요대수의 분산이 줄어들어 최대 차량요구대수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

이러한 결과는 운송회사 입장에서 다음과 같은 의미를 내포하고 있다. 재고전략이 EOQ 재고전략이고 네트워크 구성이 분산형인 경우에는 배송차량을 40대 정도 보유하고 있어야 일정한 서비스 수준을 만족시킬 수 있다. 하지만 이러한 환경에서는 주문량이 작을 때에는 보유하고 있는 배송차량의 30대만 운영하고 10대는 대기해야 하는 경우가 빈번하게 발생하기 때문에 운송회사 입장에서는 비용율이 발생하게 될 것이다. 반면에 재고전략이 POQ 재고전략이고 네트워크 구성이 집중형(허브 1개)인 경우에는 최대 차량소요대수가 34대로 앞에서 설명한 경우보다 더 적은 배송차량을 보유하고 있어도 일정한 서비스 수준을 만족시킬 수 있다. 또한, 주문량이 작은 경우에도 32대를 운영하고 2대만 대기하기 때문에 운송회사 입장에서는 보다 유리한 운영환경이 제공될 것이다.

재고전략에 따라 이러한 차이가 발생하는 이유는 “1. 재고보유량 및 주문량의 특성”의 결과에서도 살펴보았듯이 POQ 재고전략이 EOQ 재고전략에 비하여 주문량이 안정적으로 유지되기 때문이다. 결국, 차량소요대수는 그 날에 발생한 주문량과 밀접한 관계가 있기 때문에 주문량이 안정적으로 유지되는 것은 운송회사 입장에서도 배송차량을 운행하는데 안정적인 것이다.

이러한 효과를 실제 금액으로 환산해 보면 다음과 같다. 운송회사가 보유해야 하는 최대 차량소요대수와 운전자수는 운송회사의 고정투입요소로 볼 수 있다. 그러므로 이러한 운송회사의 고정비는 <표 9>, <표 10>, <표 11>을 이용하여 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{운송회사의 고정비} \\ &= [\text{차량구입비용(원/월·대)} \times \text{최대 차량요구대수(대)}] \\ &+ [\text{운전자임금(원/월·명)} \times \text{고용 운전자수(명)}] \end{aligned}$$

<표 9> 소형트럭의 감가상각비 원단위 산출결과⁶⁾

구분	차량구입비(원)	평균폐차기간(년)	총주행거리(km)	감가상각비 원단위(원/km)
소형트럭	14,237,986	6.5	149,825.78	95.03

<표 10> 트럭 운전자의 업무통행 시간가치(2003년 기준)⁷⁾

구분	트럭 운전자
1인당 월평균 급여액(원/월)	1,982,537
근로시간(시간/월)	220.8
시간당 임금(원/인·시간)	8,979
임금에 대한 오버헤드 비율(%)	30.0%
시간가치(원/인·시간)	11,670

<표 11> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 고정비 절감효과

재고모형	EOQ	POQ	고정비용절감 효과
네트워크 구성	분산형	집중형(허브 1개)	
고정비(원/월)	86,603,000	73,612,550	-12,990,450 (-15%)

<표 9>와 <표 10>을 통하여 운전자 임금은 1,982,537(원/월)로 정의 하였다. 또한 차량구입비는 순수 구입비 14,237,986(원/대)에서 일반적인 사용기간 78개월을 고려하여 182,538(원/월·대)로 정의 하였다. 이러한 기준으로 재고전략이 EOQ 재고전략이고 네트워크 구성이 분산형인 경우와 재고전략이 POQ 재고전략이고 네트워크 구성이 집중형(허브 1개)인 경우를 비교해 보면 <표 11>과 같다.

결국, POQ 재고전략과 허브가 1개인 집중형 네트워크를 이용한다면, EOQ 재고전략과 허브가 없는 분산형 네트워크 구조인 경우보다 운송회사는 한 달에 약 1,300만원의 고정비를 절감할 수 있을 것이다.

3) 평균 차량운행시간

최근 유류비 증가에 따라 앞에서 살펴보았던 평균 차량소요대수와 함께 평균 차량운행시간도 운송회사가 큰

6) 한국개발연구원(2004), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)”, 한국개발연구원

관심을 가지고 있는 부분이다.

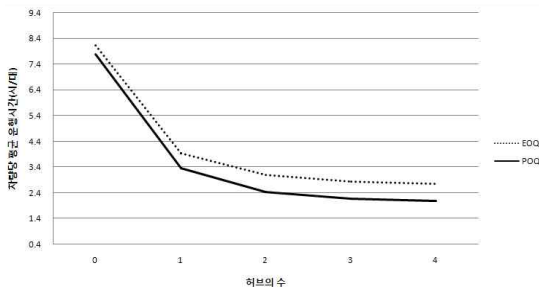
그러므로 재고전략과 네트워크 구성에 따른 배송차량의 평균 운행시간을 살펴보면 <표 12>, <그림 12>와 같다.

<표 12>의 배송차량의 평균 운행시간을 살펴보면, 네트워크 구성이 분산형에서 집중형으로 변하고, 허브의 개수가 늘어날수록 평균 운행시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 변하게 되면 운행시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 <표 12>의 t-검정결과와 분산분석결과를 통해서 확인할 수 있다.

먼저 집중형 네트워크에서 차량운행시간이 감소하는 주된 이유는 허브를 이용하여 서로 다른 제품을 혼적할 수 있기 때문이다. 서로 다른 제품을 혼적하면 적재율이 향상되고 배송차량은 여러 곳의 소매상에 보다 많은 물

<표 12> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 차량 운행시간 (시간/일)

허브의 수 (네트워크 구성)	재고전략		t-value (유의수준)
	EOQ	POQ	
0 (분산형)	8.1	7.7	0.719 (0.479)
1 (집중형)	3.9	3.3	3.872 (0.001)
2 (집중형)	3.0	2.4	3.802 (0.001)
3 (집중형)	2.8	2.1	4.275 (0.000)
4 (집중형)	2.7	2.0	5.071 (0.000)
F-value (유의수준)	허브의 수 0~4개	53.842 (0.000)	67.083 (0.000)
	허브의 수 1~4	9.060 (0.000)	42.789 (0.000)



<그림 12> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 차량 운행시간

건을 배송할 수 있게 된다. 즉, 1회 출발로 보다 많은 소매상을 서비스 할 수 있다는 것은 출발지에서 첫 소매상으로 가는 출발통행과 모든 배송을 끝내고 출발지로 돌아오는 귀로통행시간이 감소한다는 것으로 전체적인 차량운행시간이 감소하는 것이다.

두 번째로, 제품을 혼적하면 주문주기가 일치하는 소매상은 한 번만 방문하면 되기 때문에 방문횟수가 줄어들어 선적 및 하역 시간이 단축된다. 특히, POQ 재고전략에서는 제품 1과 2의 주문주기를 일치시키는 것이 용이하기 때문에 차량 운행시간이 더욱 크게 줄어들게 된다. 즉, EOQ 재고전략에서는 각 제품 대한 수요와 주문시기가 서로 독립적이기 때문에 주문주기를 일치시키는 것이 쉽지 않다. 반면에 POQ 재고전략에서는 주문주기가 고정되어 있기 때문에 제품 1과 2의 주문주기를 쉽게 일치시킬 수 있다. 이렇게 주문시기가 일치하게 되면, 각 소매상의 방문횟수가 줄어들고 선적 및 하역의 시간을 크게 줄일 수 있기 때문에 전체적인 운행시간을 줄일 수 있는 것이다.

이러한 효과를 <표 13>, <표 14>, <표 15>를 이용하여 실제 금액으로 환산해 보면 다음과 같다.

운송회사의 배송차량이 운행함으로써 발생하는 비용은 운송회사의 변동비로 생각할 수 있다. 그러므로 운송회사의 변동비를 정의하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{운송회사의 변동비} \\ &= [\text{차량운행비용(원/시)} + \text{통행시간비용(원/시)} \\ &\quad + \text{환경오염비용(원/시)}] \times \text{배송차량운행시간(시/월)} \end{aligned}$$

<표 13> 소형트럭 속도별 차량운행비용(2003년 기준가격)⁸⁾ (단위: 원)

차종	속도 (km/시)	유류비	엔진 오일비	타이어 비	유지 관리비	감가 상각비	합계
소형 트럭	80	59.22	3.73	5.33	1.83	77.14	147.26

<표 14> 소형트럭의 속도별 대기오염 비용(2000년 기준)⁹⁾ (단위: 원)

차종	속도 (km/시)	CO	NOx	HC	PM	CO2	합계
소형 트럭	80	3.91	4.69	0.56	3.13	6.68	18.98

8) 한국개발연구원(2004), “도로-철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정-보완 연구(제4판)”, 한국개발연구원
9) 한국개발연구원(2004), “도로-철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정-보완 연구(제4판)”, 한국개발연구원

<표 15> 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 변동비 절감효과

재고모형	EOQ	POQ	변동비용절감 효과
네트워크 구성	분산형	집중형 (허브 1개)	
변동비 (원/월)	4,330,726.56	1,764,370.08	-2,566,356.48 (-59%)

<표 13>와 <표 14>을 통하여 배송차량은 평균적으로 경제적 속도(80km/시)로 운행한다고 가정하고, 차량운행비용을 147.26(원/km)로 정의 하였다. 또한 트럭운전자의 시간가치는 8,879(원/시)이며, 대기오염은 18.98(원/km)로 정의하였다. 이러한 기준으로 재고전략이 EOQ 재고전략이고 네트워크 구성이 분산형인 경우와 재고전략이 POQ 재고전략이고 네트워크 구성이 집중형(허브 1개)인 경우를 비교해 보면 <표 15>와 같다.

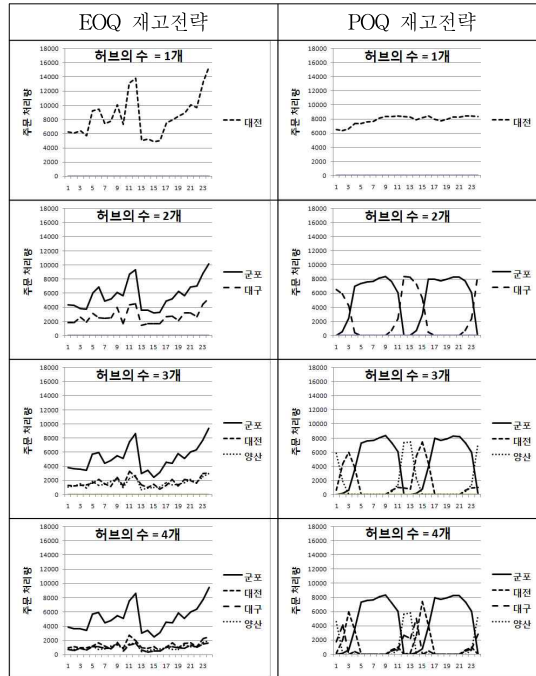
결국, 주위진 시나리오에서 POQ 재고전략과 허브가 1개인 집중형 네트워크를 이용한다면, EOQ 재고전략과 허브가 없는 분산형 네트워크 구조인 경우보다 운송회사는 한 달에 약 256만원의 변동비를 절감할 수 있을 것이다.

2. 허브(Hub)의 주문처리량

지금까지 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 배송차량의 운행특성을 통하여 운송회사 입장의 운영특성을 살펴 보았다.

재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 변하게 되면 차량소요대수의 분산이 감소하여 최대 차량요구대수가 감소되고, 평균 차량운행시간이 절감되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 네트워크 구성이 분산형에서 집중형으로 변경되면 차량 적재율이 향상되고, 평균 차량운행시간이 감소한다는 사실도 확인할 수 있었다.

그러나 허브의 개수가 많아지면 차량 당 평균 운행시간이 감소하기는 하지만 이러한 효과는 허브가 하나도 존재하지 않는 분산형 네트워크에서 집중형(허브 1개) 네트워크로 변하는 경우보다는 그 효과가 미비하다는 사실에 주목할 필요가 있다. 즉, 허브가 하나도 없는 분산형에서 허브(허브 1개)가 존재하는 집중형으로 변화되면서 발생하는 효과는 매우 큰 의미가 있지만, 집중형 네트워크 구성 속에서 허브의 개수가 늘어나는 것은 상대적으로 큰 의미를 가지고 있지 않다는 것이다. 그러므로 많은 비용을 투자하여 허브의 개수를 늘리는 것에 대한



<그림 13>재고전략 및 허브 수에 따른 각 허브의 주문 처리량

고찰이 필요하며, 허브의 개수 증가에 따른 각 허브의 운영 상태를 파악해 보는 것도 큰 의미가 있을 것이다.

집중형 네트워크에서 각 허브는 보유하고 있는 재고량도 중요하지만, 허브가 얼마큼 꾸준히 운영되는가도 중요한 요소일 것이다. 그러므로 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 각 허브의 주문 처리량을 파악하여 각 허브가 얼마나 꾸준히 운영되는가를 파악해 보았다.

각 재고전략과 네트워크 구성에 따른 각 허브의 주문 처리량을 살펴보면 <그림 13>과 같다.

<그림 13>의 결과를 살펴보면, 허브가 1개이고 EOQ 재고전략인 경우에는 주문량처리량의 변동성이 소매상의 수요 변동성만큼 크지만, POQ 재고전략에서는 주문 처리량이 매우 안정적인 것을 볼 수 있다. 하지만 허브의 개수가 2개 이상이 되면 각 재고전략에 따른 각 허브의 주문 처리량이 급격하게 달라지는 것을 확인할 수 있다.

EOQ 재고전략인 경우에는 허브의 숫자가 증가하여도 각 허브의 주문처리량 변동성은 크게 변하지 않는다. 단지 수요량이 많은 수도권의 허브에 주문량이 상대적으로 많아지는 하지만 주문 처리량의 분산은 비교적 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

하지만 POQ 재고전략에서는 허브가 1개인 경우에는 주문 처리량이 매우 안정적이지만 허브가 2개 이상이 되

면 주문 처리량의 변동성이 매우 커지는 것을 확인 할 수 있다. 심지어 허브의 개수가 3개 이상이 되는 곳에서는 한 달 중 주문량을 처리하는 날보다 처리하지 않는 날이 더 많은 허브가 발생하기도 한다. 즉, POQ 재고전략에서 허브의 수가 많아지면 모든 허브가 고르게 운영되기 보다는 특정 허브로 주문량이 몰리게 되는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다.

EOQ 재고전략에서는 각 소매상이 언제든 주문을 할 수 있기 때문에 주문량이 항상 전국적으로 고르게 발생하게 된다. 그러므로 각 허브는 인접한 소매상에서 꾸준히 주문이 올라오게 되고 비교적 꾸준히 운영될 수 있는 것이다. 하지만 POQ 재고전략에서는 주문주기가 같은 소매상들이 공간적으로 그룹화되어 있기 때문에 각 날에 해당되는 주문주기의 소매상 그룹은 인접한 허브에만 주문을 집중시키게 되고, 주문주기의 소매상 그룹과 멀리 위치하고 있는 허브에는 전혀 주문량이 들어오지 않는 것이다. 즉, 각 허브의 주문 처리량의 변동성이 매우 커지는 것이다.

이러한 주문 처리량의 변동성이 큰 경우에는 허브 운영 측면에서 어려운 운영환경이 될 수 있다. 왜냐하면 주문 처리량이 많은 경우에는 많은 인력과 설비가 투입되지만, 주문 처리량이 거의 없는 날에는 이러한 인력과 설비를 활용할 수 없기 때문이다. 즉, 자본(설비)과 노동력을 운용하는데 있어 어려움에 직면할 것이다.

정리하자면, POQ 재고전략과 집중형 네트워크가 일반적으로 운송업자에게 유리한 환경을 제공하며, 허브 개수의 증가도 미비하게나마 최대 차량요구대수와 차량 운행시간 절감의 효과를 가지고 있다. 하지만, 허브의 수와 POQ 재고전략의 주문주기를 고려하지 못한다면 허브의 입장에서는 매우 불리한 운영환경이 된다는 것을 알 수 있다. 즉, 허브 개수 증가에 대한 운송회사의 개선효과는 미비하지만, 그로 인해 발생하는 허브 운영의 어려움은 매우 커진다는 것이다.

그러므로 이러한 문제점을 줄이기 위해서는 POQ 재고전략과 소매상 그룹의 공간적 배치를 고려하여 허브가 운영되어야 할 것이다.

VI. 결론 및 향후 연구 과제

1. 결론

기존의 공급체인에 대한 연구는 대부분 재고관리 관

점에서 각 단계의 재고 보유량을 줄이고 정보공유 및 네트워크 통합을 통한 각 단계의 주문 변동성을 감소시키는 것이 대부분이었다.

하지만 최근 유통비와 도로혼잡의 증가, 환경오염에 대한 관심이 높아지면서 수송에 대한 관심이 높아지기 시작하였으며, 공급자와 소매상에 유리한 전략들이 운송회사 입장에서도 반드시 유리하지 않다는 이슈가 제시되면서 다양한 연구가 시도되기 시작하였다.

그러므로 본 연구에서는 전통적인 공급체인분석 관점에서 벗어나 운송회사 입장에서 재고전략 및 네트워크 구성에 따른 공급체인의 운영특성을 파악하고, 그에 따른 운송회사의 운영환경을 해석하고자 하였다.

본 연구에서는 500개의 소매상과 2가지 종류의 제품을 취급하는 공급자를 이용하여 가상시나리오를 설정하였다. 소매상의 재고전략은 EOQ 재고전략과 POQ 재고전략으로 정의하였으며, 네트워크 구성은 각 공급지에서 소매상으로 제품을 직접 전달하는 분산형 네트워크와 각 공급지의 서로 다른 제품을 허브를 이용하여 전달하는 집중형 네트워크로 정의하였다. 또한 집중형 네트워크에서는 허브의 개수를 1~4개로 정의하고 각 경우에 따라 서로 다르게 분석하였다.

이렇게 구성된 가상시나리오를 바탕으로 EOQ 재고전략 및 POQ 재고전략과 분산형 및 집중형, 그리고 집중형에서 허브의 개수에 따라 배송차량이 어떻게 운영되는지 분석하기 위하여 재고 시뮬레이션과 네트워크 시뮬레이션을 실시하였으며, 여기서 도출된 배송차량의 적재율, 차량소요대수, 차량운행시간 등을 이용하여 운송회사 입장에서의 운영환경을 해석하였다.

분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 변경되면 운송회사가 보유해야 하는 배송차량과 운전자의 수를 줄일 수 있다. POQ 재고전략에서는 소매상이 보유해야 하는 재고량이 증가하게 되지만, 주문량의 변동성은 안정적으로 유지되기 때문에 배송차량 소요대수에 대한 변동성도 안정적으로 유지된다. 운송회사는 각 주문량에 대한 배송차량과 운전자를 운영하는데 있어 배송차량과 운전자를 추가적으로 쉽게 투입/철수 할 수 없기 때문에 일정한 서비스 수준을 만족시키기 위해서는 주문량이 많은 경우를 기준으로 배송차량과 운전자를 보유하고 있어야 한다.

그러므로 재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 변경되면 배송차량 소요대수의 분산을 안정적으

로 유지할 수 있고, 운송회사가 일정한 서비스 수준을 만족시키기 위해 가지고 있어야 하는 배송차량과 운전자의 수도 감소하는 것이다.

둘째, 재고전략이 EOQ 재고전략에서 POQ 재고전략으로 변경되면 평균 차량운행시간이 절감된다. EOQ 재고전략에서는 소매상이 원하는 시기에 주문을 실시할 수 있기 때문에 매일 발생하는 주문이 전국적으로 고르게 분포하게 된다. 하지만 POQ 재고전략에서는 각 소매상이 주문을 할 수 있는 시기가 정해져 있고, 이러한 주문주기가 일치하는 소매상들이 공간적으로 인접하게 그룹화 되어 있기 때문에 효율적인 차량경로계획을 통하여 차량 운행시간을 감소시킬 수 있다. 즉, POQ 재고전략에서는 배송차량이 첫 소매상의 배송을 끝낸 후에 다음 대상 소매상이 매우 인접한 지역에 존재하기 때문에 쉽게 다음 배송지로 이동할 수 있는 것이다.

셋째, 네트워크 구성이 분산형에서 집중형으로 변경되면 배송차량의 적재율이 향상되게 된다. 분산형 네트워크는 각 제품이 수입되는 인천항과 부산항에서 각 소매상으로 직접 배송되지만, 집중형 네트워크에서는 허브를 이용하여 각 소매상으로 배송하게 된다. 허브에서는 각 제품을 서로 혼적하여 배송할 수 있기 때문에 배송차량의 적재율이 향상되게 된다. 또한, 공장-허브간 배송에 있어서도 경로가 단순하고 배송이 대량으로 이루어지기 때문에 배송차량은 거의 만차 수준으로 운영될 수 있다. 결국, 이러한 허브의 혼적과 공장-허브간 대량배송으로 인하여 전체적인 적재율이 향상되는 것이다.

넷째, 네트워크 구성이 분산형에서 집중형으로 변경되면 배송차량의 평균 운행시간이 감소하게 된다. 네트워크 구성이 집중형을 변경되면 공장-허브간 대량배송과 허브에서의 혼적으로 인하여 적재율이 향상되게 된다. 적재율이 향상되면 배송차량은 한 번 출발하여 더 많은 소매상을 순회하고 돌아올 수 있기 때문에 출발통행과 귀로통행 시간이 단축되어 차량운행시간이 감소하는 것이다. 또한 제품을 혼적하면 주문주기가 일치하는 소매상은 한 번만 방문하면 되기 때문에 방문횟수가 줄어들어 선적 및 하역의 시간을 절약할 수 있다. 특히, POQ 재고전략에서는 이러한 주문주기를 일치시키는 것이 용이하기 때문에 차량 운행시간이 더욱 크게 줄어들게 된다.

마지막으로, 허브의 수가 늘어나면 평균 운행시간이 다소 감소하기는 하나, POQ 재고전략에서는 소매상 그룹에서 발생한 주문이 인접 허브로 몰리는 현상 때문에 오히려 허브의 운영을 비효율적으로 만든다는 사실도 확

<표 16> 재고전략 및 네트워크 개선에 따른 총 효과

	차량 소요대수	차량 운행시간	차량 적재율
재고전략 EOQ→POQ	감소	감소	
네트워크 구성 분산형→집중형		감소	감소
운송회사의 고정비 절감효과(원)	-12,990,450 (-15%)		
운송회사의 변동비 절감효과(원)	-2,566,356 (-59%)		
운송회사의 총 비용절감효과(원)	-15,556,806 (-17%)		

인할 수 있었다.

종합적으로 정리하자면, 운송회사 입장에서는 일정한 서비스 수준을 만족시키기 위한 배송차량과 운전자의 수를 줄이고, 배송차량의 평균 운행시간을 감소시킴으로써 운영의 효율을 도모할 수 있다. 그러기 위해서는 분산형 네트워크에서 EOQ 재고전략을 이용하는 것보다는 집중형 네트워크를 구성하고 POQ 재고전략을 이용하는 것이 유리하다는 사실을 확인 할 수 있었다.

이러한 효과는 <표 16>과 같이 운송회사가 월 1,300만원(-15%)의 고정비와 월 260만원(-59%)의 변동비를 절감하는 것에 해당한다.

2. 한계점 및 향후 연구 과제

본 연구는 수송의 관점에서 재고전략과 네트워크 구성에 따른 운송회사의 운영환경을 파악하고자 하였다. 하지만 본 연구가 실체가 아닌 가상의 공급체인을 이용하여 분석을 실시하였기 때문에 다음과 같은 몇 가지 한계점을 지니고 있다.

첫째, 가상의 공급체인을 이용하였기 때문에 연구의 결과를 일반화하기 어렵다. 본 연구는 자료수집의 한계로 인하여 가상의 공급체인을 이용하여 분석을 하였다. 소매상의 위치, 허브의 위치, 네트워크의 속성, 차량의 용량 등 다양한 가정을 현실을 바탕으로 타당성 있게 구성하기 위하여 많은 노력을 하였지만 결국은 실체가 아닌 가상의 공급체인을 이용하였기 때문에 연구의 결과를 일반화하기에는 많은 무리가 따른다. 즉, 연구의 결과를 일반화하기 어렵다. 결국, 이러한 한계점을 극복하기 위해서는 실제의 공급체인을 대상으로 분석이 실시되어야 할 것이다.

둘째, 실제로 공급체인은 재고전략 및 네트워크 구성을 변경하기 어렵다. 본 연구에서는 공급체인 내에서 재고전략과 네트워크 구성을 바꿔가며 분석을 실시하였다. 하지만 실제 공급체인에서는 이러한 재고전략과 네트워크 구성을 변경하기 쉽지 않다. 재고전략의 경우에는 주로 제품의 무게, 부피, 유통기한 등 제품의 특성에 따라 재고전략을 결정하며 이렇게 결정된 재고전략은 다시 바꾸기 쉽지 않을 것이다. 또한 네트워크 구성의 경우에도 허브를 건설하는 건설비 이외에도 다양한 초기 계획비용이 필요하며, 제품의 종류에 따라 집중형 네트워크 구성이 불가능 할 수도 있기 때문에 변경하는 것이 쉽지 않을 것이다. 하지만 본 연구의 목적이 재고전략과 네트워크 구성에 따른 운송회사의 운영환경의 변화를 파악하는 것이기 때문에 제품의 종류에 상관없이 재고전략과 네트워크 구성을 쉽게 변경할 수 있는 것으로 가정하였다.

셋째, 본 연구에서는 집중형 네트워크 구성을 위한 허브 건설의 경제성을 판단하기 어렵다. 본 연구에서 집중형 네트워크 구성과 POQ재고전략으로 인한 고정비와 변동비의 절감효과를 1,555만원으로 산정하였다. 하지만 이러한 고정비와 변동비는 가상 시나리오 분석의 한계로 인하여 차량구입비, 운전자 임금, 차량운행비용, 통행시간비용 등 매우 한정적으로 정의하였다. 그러므로 경제성 분석을 위한 다양한 편익항목과 비용항목이 누락되었으므로 허브 건설의 경제성을 분석하기에는 큰 무리가 있다.

마지막으로 본 논문은 이러한 많은 한계점에도 불구하고, 수송이라는 새로운 관점에서 공급체인을 분석하고 해석하였다는 것에 그 의미가 있다고 할 수 있다. 또한 운송회사 입장에서 실시된 다양한 시뮬레이션 기법과 분석절차를 이용하여, 향후 급변하는 공급체인 환경에 대응하기 위한 운송회사의 전략수립 과정에서 활용될 수 있을 것이다.

향후 연구 과제로써, 스포크(Spoke)간 직송서비스를 허용하는 혼합전략 네트워크 구성, 배송차량의 1일 2회 운행, 휴리스틱 재고전략 등 다양한 시나리오를 적용하여 분석이 가능할 것이다. 또한 가상 시나리오에서 벗어나 실제 기업의 공급체인을 적용하여 분석한다면 더 많은 시사점을 제공할 것이다.

알림 : 본 논문은 한양대학교 대학원 교통공학과 석사학위 논문(2010.02)의 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. David Simchi Levi(2003), “물류 및 공급체인 관리”, 교보문고, 역자 김태현 외.
2. Eric Sucky(2008), “The bullwhip effect in supply chains—An overestimated problem”, International Journal of Production Economics, Volume 118, Issue 1, March 2009.
3. Ertunga C. Özelkan, Metin Çakanyıldırım(2007), “Reverse bullwhip effect in pricing”, European Journal of Operational Research, Volume 192, Issue 1, 1 January 2009.
4. Michael A. Houghton(2009), “Distortional Bullwhip Effect on carriers”, Transportation Research Part E 45.
5. Richard Metters(1996), “Quantifying the bullwhip effect in supply chains”, European Journal of Operational Research, Volume 173, Issue 2, 1 September 2006.
6. S. M. Disney, A. T. Potter, B. M. Gardner(2003), “The impact of vendor managed inventory on transport operations”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 39, Issue 5, September 2003.
7. S. M. Disney, D. R. Towill(2003), “The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains”, International Journal of Production Economics, Volume 85, Issue 2, 11 August 2003.
8. 김대기, 조한홍(2002), “국내 완성차 물류 네트워크 합리화 방안 연구”, 유통연구 제7권 제1호.
9. 네이버 백과사전, “http://100.naver.com/100.nhn?docid=750514”, 2009.11.3.
10. 박국흠, 김기범, 정봉주(2003), “정보공유와 리드타임 분포를 바탕으로 한 파트너쉽이 공급사슬 성능에 미치는 영향에 관한 연구”, 연세대학교 산업시스템공학과.
11. 박용화·김성영·김중엽(2006), “허브공항의 환승연계성 분석연구(인천국제공항을 대상으로)”, 대한교통학회지, 제24권 제6호, 대한교통학회, pp.75~85.
12. 신경석(2006), “진화알고리즘을 이용한 hub-and-spoke 수송네트워크 설계”, 전남대학교 대학원 박사학

- 위 논문
13. 심규탁·박양병(2007), “다단계 공급사슬에서 재고정책 변화에 따른 채찍효과의 시뮬레이션 분석”, 대한산업공학회 2007 추계학술대회 논문집.
 14. 위키백과사전, “<http://ko.wikipedia.org/wiki/SCM>”, 2009.11.3.
 15. 이가은·김대기(2002), “공급체인관리 시뮬레이션 모델을 통한 채찍효과 감소 방안 연구”, 고려대학교 석사학위 논문.
 16. 이병섭(2008), “물류창고의 유형별 경제성 비교에 관한 연구”, 명지대학교 대학원 산업공학과 박사학위 논문.
 17. 이빛커뮤니티(주) 웹사이트, “<http://www.any-erp.co.kr/business/anyscm.htm>”, 2009.11.3.
 18. 정승주(2004), “철도화물서비스를 위한 Hub-and-spoke 운송전략의 적용과 평가(유럽사례를 중심으로)”, 한국철도학회 논문집, 제7권 제3호, 한국철도학회.
 19. 테크노경영연구정보센터 용어사전, “http://www.cimerr.net/2008/dictionary/dic_mean.html?DICID=12283”, 2009.11.3.
 20. 테크노경영연구정보센터 용어사전, “http://www.cimerr.net/2008/dictionary/dic_mean.html?DICID=12282”, 2009.11.3.
 21. 한국개발연구원(2004), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)”, 한국개발연구원.
 22. 한동철(2002), “공급사슬관리”, 시그마인사이트컴.
 23. 한밭대학교 강진규 OR INTERNET CLASS, “<http://secom.hanbat.ac.kr/or/chapter6/right04.html>”, 6장 재고관리모형, 2009.11.3.
 24. 한영철(1998), “우리나라 소화물일관수송의 효율적 물류네트워크 구축방향에 관한 연구(A사의 사례를 중심으로)”, 연세대학교 경영대학원 경영학과 석사학위 논문.
 25. 홍성철, 박양병(2006), “차량경로 결정을 포함한 공급자주도 재고관리 문제를 위한 해법개발”, 대한산공학회 2006 추계학술대회 논문집, 대한산공학회.

✉ 주 작 성 자 : 원민수

✉ 교 신 저 자 : 원민수

✉ 논문투고일 : 2009. 9. 21

✉ 논문심사일 : 2009. 12. 3 (1차)

2010. 6. 28 (2차)

2010. 8. 23 (3차)

✉ 심사판정일 : 2010. 8. 23

✉ 반론접수기한 : 2011. 2. 28

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필