

시뮬레이션 분석을 통한 물류거점체계하의 수배송 최적화 연구

김영철* · 성행기* · 황대성* · 김정현* · 이해욱* · 강경식*

*명지대학교 산업경영공학과

Optimization for Transportation Routing on Logistics Network by Simulation Analysis

Young-Chul Kim* · Haeng-Ki Seong* · Dae-Sung Hwang* · Jung-Hyun Kim*

Hae-Uk Lee* · Kyung-Sik Kang*

*Department of Industrial Management Engineering, Myoungji University

Abstract

Logistics cost of domestic company has been improved continuously and annually, it is still higher than other main comparative countries. So, in this study, as optimizing the logistic network of distribution, it was trying to find methods decreasing logistics cost and storage cost, which occupies 86% of logistics cost of companies.

through the efficiency of transportation and delivery routing, it could be also possible to decrease the logistics cost. And, it is also checked to find the logistics cost could be decreased by 10% by optimizing the routes of transportation and delivery, improving the transportation mode, etc

Keywords : Simulation Method, Logistics network, Transportation cost, Optimization

1. 서론

다양한 상품이 넘쳐나고 있는 경쟁시장 환경에서 고객의 수요에 대응하여 필요한 시기에 필요한 양을 필요한 장소에 최소의 비용으로 상품을 전달하는 유통체계(Distribution System)는 거의 대부분의 기업에서 중요한 경쟁요소로 대두되고 있다. 즉 생산과 고객을 이

어주는 유통체계는 고객이 실감하는 고객접점으로서 서비스의 질을 좌우할 수 있을 뿐만 아니라 기업이 고객에게 공급할 수 있는 상품과 서비스의 범위를 제한할 수 있어서 중요한 경쟁요소로 부각되고 있으며 경영의 전략적 이슈로 간주하고 있다.

† 교신저자: 김영철, 경기도 용인시 처인구 남동 산38-2 명지대학교 제1공학관 산업경영공학과

M · P: 010-2741-2500, E-mail: iamkyc@empal.com

2012년 10월 20일 접수; 2012년 12월 5일 수정본 접수; 2012년 12월 12일 게재확정

이러한 유통체계는 물류 네트워크(Logistics Network)를 통하여 구현되는데, 물류네트워크는 통상 거점(Node)와 수배송(Mode)으로 구성되고, 거점과 수배송의 연결 형태에 따라 물류비용(거점구축 및 운영비, 수송비, 배송비, 재고비 등)과 고객 서비스(납기 충족율, 리드타임 등)가 결정되어 진다. 그러나 기업의 수배송 체계가 비교적 적은 비용으로 단기간내에 변경이 가능한데 반하여, 거점 체계(거점의 위치, 수, 규모, 역할)는 단기간내 변경하기가 어렵고 변경하는데 많은 투자가 수반될 뿐만 아니라 수배송 체계가 근원적으로 거점 체계에 의해 영향을 받게 되어 있어서 기업물류 전반에 지대한 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 공급망 사슬의 수평적 통합에 중점을 두고 제조기업(혹은 유통기업)의 공급처(제품이 생산되는 공장)에서 수요처(유통기업, 도매상, 소매점)까지 상품의 흐름(Distribution Network)에 대한 경쟁력을 향상하기 위하여 기존 물류거점 체계하에서 최적화된 수배송 루트를 설계(Transportation Routing Design)하는 것이 목적이다. 물류거점 체계하의 수배송 최적화를 통해 물류비 절감과 서비스 향상을 이룩하고 궁극적으로 기업의 경쟁력을 증대에 기여하고자 함이며, 수배송 체계 효율화를 위해 고민하는 많은 기업들에게 실무적으로 적용할 수 있도록 기업의 공급망 사슬중 제조-유통 부문에 초점을 둔 판매물류비의 절감을 위한 사례를 다루었다.

통상적으로 물류거점의 수와 물류서비스의 수준(Lead Time)은 상호 부(trade off)의 관계에 있다. 즉, 물류거점이 증가할수록 물류비용은 증가하는 경향이 있으나 반면에 배송 리드타임 등의 물류서비스 질은 향상된다. 본 연구에서는 물류서비스의 질(결품율, 고객 배송요구시간, 1일 배송횟수, 배송 Lead time)과 물류 거점을 동일 수준으로 유지하는 한도내에서 수배송 체계(배송권역, 수배송 루트 조정, 차량 용량 조정 등)를 최적화함으로써 기업의 전체판매물류비(거점유지비, 거점운영비, 수송비, 배송비, 재고비용)의 절감을 꾀하고자 생활용품 제조기업(이하 Y사라 함)을 대상으로 절감 정도와 물류서비스 질의 향상 정도를 비교하였다.

2. 기존 연구 고찰

본 장에서는 기업물류비와 수배송에 직접적으로 영향을 미치는 거점체계의 기존 연구에 대해 살펴 본다. 최근 거점최적화에 대한 기업들의 요구가 증대되고 있는 것과 비례하여 최근에는 다양한 종류의 수리적 모델들이 연구되어 관심을 받고 있으며, 여러 모델들은

대략적으로 다음과 같이 크게 분류할 수 있다[Klose et al, 2005]. 이러한 구분 방법에 따라 수리적 모형에 적용하여야 할 고려사항이 달라지므로 자연스럽게 다양한 수리적 모형들이 제시되게 되었다.

(1) 거점후보지의 집합에 대한 형상이나 지형(Shape or Topography)관점에서 평면 모델(Models in the plane), 네트워크 로케이션 모델(Network location models), 이산 로케이션 혹은 대정수 모델(Discrete location or mixed-integer programming models)로 구분한다. 평면모델은 공간은 연속적이고 평면상의 모든 점을 거점 후보로 가정하며 거리는 계량적으로 측정가능하다는 전제하에, 네트워크 로케이션 모델은 거리는 그래프상의 최단경로로서 계산되며 후보지는 원호상(on arc)에 위치한다는 가정하에, 대정수 모델은 고려하고 있는 거점후보지를 대상으로 대정수계획법으로 분석하고 있다.

(2) 최적해(Objectives)에 따라 평균거리의 최소화(Minimize average distance)를 추구하는 합의 최소값(Minsum)과 최소치의 최대거리의 최소화(Minimize maximum distance)를 추구하는 최대값(Minmax)으로 구분할 수 있으며, 전자(Minsum)는 주로 이윤 극대화를 추구하는 개별기업의 최적화에 적용하는 반면 후자(Minmax)는 수혜자의 형평성을 고려하는 공공부문(예, 소방서, 경찰서, 공공의료시설 등의 위치 등)에서 주로 활용한다.

(3) 상품의 흐름에 단계성을 고려하여 한 단계의 유통체계만을 고려하는 단일 단계 모델(Single-stage models)와 다단계의 계층적 흐름을 고려한 다단계 모델(Multi-stage models)로 구분.

(4) 상품의 종류를 감안하여 상품들에 대한 수요, 용량 및 비용을 동종 상품으로 고려하는 단일 상품 모델(Single-product models)과 각각의 특성을 갖고 이를 반영하는 다상품 모델(Multi-product models)로 구분.

이외에도 거점과 수배송의 용량(Capacity)의 제약과 단일 조달 등의 고려여부, 수요가 공급거리에 반비례하여 공급거리가 멀어지면 수요가 줄어든다는 것 등과 같이 수요의 탄력성에 대한 고려 여부, 단일회계연도 또는 기획기간 전체의 기간 등과 같은 최적화 기간에 따른 정태적(Static) 혹은 동태적(Dynamic)의 구분, 적용할 데이터를 확실하게 파악하는 결정성 혹은 불확실성에 따른 확률성 등에 따른 구분, 공급처와 수요처를 각 쌍으로 분리하여 취급하는지 아니면 공급처와 수요처간 순회배송의 허용여부 등에 따른 구분 방법 등을 들 수 있다.

수리적 모델이 복잡성으로 인해 알고리즘의 개발 및 조정 노력과 더불어 상당한 가정과 제약을 수용하여야 하

고 특정 시간에 초점을 맞춘 확정 속성치(Deterministic data)를 기반으로 한 모델로써 다양한 변수를 손쉽게 반영하기 어려운 단점이 있는데 반하여, 통합 혹은 단독형으로 제공되고 있는 공급사슬경영용 솔루션을 활용한 시물레이션 방법론은 고객 수요의 변화, 여러 불확실성을 감안한 다양한 형태의 자료를 거의 실시간으로 반영하여 의사결정에 반영할 수 있다는 측면에서 추계적(Stochastic) 모델이라고 할 수 있다. 따라서 매우 복잡하고 방대한 모형을 비교적 손쉽게 적용할 수 있다는 장점외에도 미래의 수요변화, 운송비나 임금의 상승, 지가의 변동 등을 감안한 다양한 변수들의 불확실성과 정책의 변화(What-if)을 반영해 봄으로써 여러 대안을 비교분석해 볼 수 있다는 장점이 있어서 많은 IT업체들이 여러 종류의 솔루션을 공급하고 있다.

Maruta et al.(1999)은 공급사슬상의 제반 시물레이션에 필요한 기능들 및 툴(Tool)과 더불어 공급사슬 모델링과 시물레이션 하는 방법을 제시하였고, Takakuwa(2000)는 시물레이션을 통한 물류거점내의 활동들에 대해서 모델링하였다. 국내에서는 정성재 등(2005)이 시물레이션을 활용하여 페인트사를 기존의 배송체계를 유지하면서 공장 이전과 신규 물류창고의 규모를 산정함으로써 동사가 향후 최적의 물류네트워크를 구축하기 위한 가이드라인을 제시하였다.

3. Y사의 물류체계

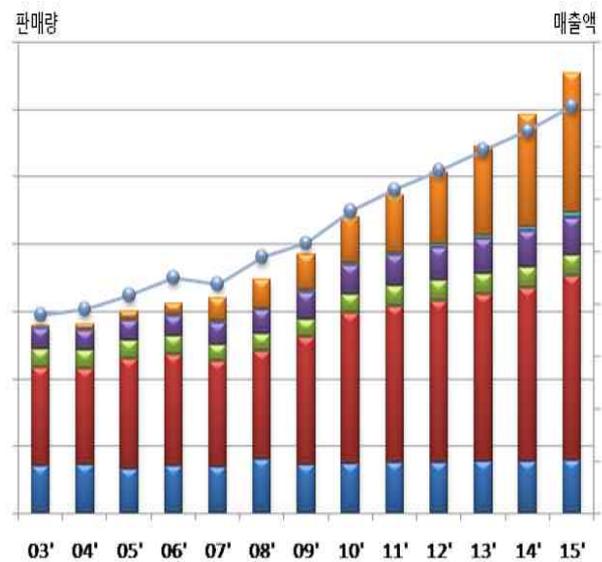
3.1 상품군 및 물동량 현황

Y사는 글로벌 생활용품 제조회사로 A, B, C, D, E의 5개 제품군을 생산하고 있으며, 파렛트당 평균단가는 300만원미만인데 반하여 상품묶음당 부피가 0.05m³로 비교적 저단가 고부피의 상품을 생산하고 있다. 제 1공장에서는 A, B, C 상품군을 주로 생산하고 제 2공장에서는 B와 D제품군을, 제 3공장에서는 A와 C 제품군 외에 수출상품을 생산하고, E 제품군은 소량으로 수입하여 유통하고 있다.

3곳에 제조공장과는 별도로 각 권역별로 13개 물류거점을 운영중이다. 꾸준히 성장하는 매출에 힘입어 물동량은 지속적으로 증가세에 있으며, 최근 5년간의 물동량과 매출액의 증가가 물동량의 증가추세보다 더 가파른 것을 알 수 있는데, 이는 고가품위주의 고부가가치 상품의 출시에 기인한 것으로 여겨진다. 또한 국내 시장의 포화와 글로벌 대비 국내의 높은 생산성에 힘입어 동북아의 제조거점으로 수출에 주력하고 있어 전체 출하량중 수출비중의 꾸준한 증가에 대응하기 위한

물류체계의 변화를 요구받고 있다.

이러한 수출비중의 증가 등을 고려하여 중장기 관점의 새로운 물류거점체계를 설계하기 위해 목표시점인 2015년의 전체 물동량을 [그림 1]와 같이 추정한다. 설계년도 대비 목표연도인 2015년의 전체 물동량은 앞서 살펴 본 과거 5년간의 물동량 증가추이와 경영계획을 반영하여 추정한 결과, 수출을 포함해 설계년도의 2배 수준으로 급증하였고, 따라서 기존의 물류거점 용량이 부족할 것을 알 수 있었고 급증하는 물동량에 대응하기 위한 물류 용량의 확충과 수출에 대응할 수 있는 물류운영체계의 변신이 시급하였다.

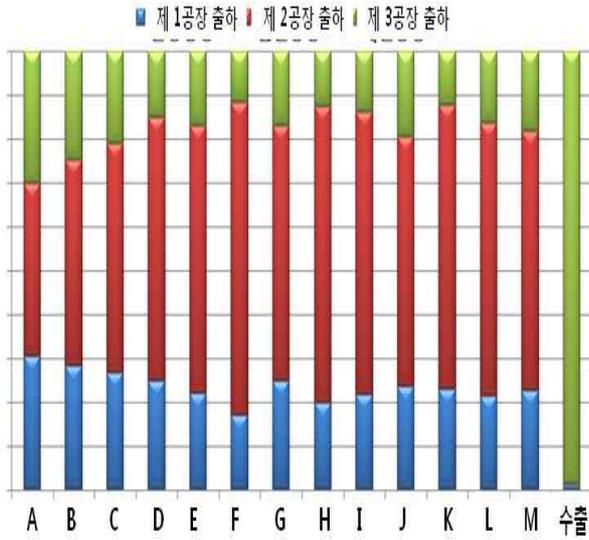


[그림 1] 목표연도의 물동량 예측

국내의 3개 공장은 각기 지역별 특성과 생산설비의 차이로 인해 주력으로 생산하는 제품군이 서로 달랐으며(일부 제품군은 중첩 생산), 가장 먼저 가동을 시작한 제1공장의 생산량이 기업전체 물량의 22.5%, 가장 최근에 가동을 시작한 제2공장은

국내의 모든 물류거점은 3개의 생산공장에서 제품을 공급받아(수송) 고객에게 전달(배송)하고 있으며, 각 물류거점은 배송권역내 수요의 특성에 따라 각 공장으로부터 공급받는 제품의 물량이 차이가 있다. [그림 2]는 각 생산거점(제1 공장, 제2 공장, 제3 공장)에서 국내 13개 물류거점(A~M)으로의 수출 물동량을 분석한 것으로 각 거점의 입장에서 공장별로 공급받는 물동량의 비중을 표시한 것이다.

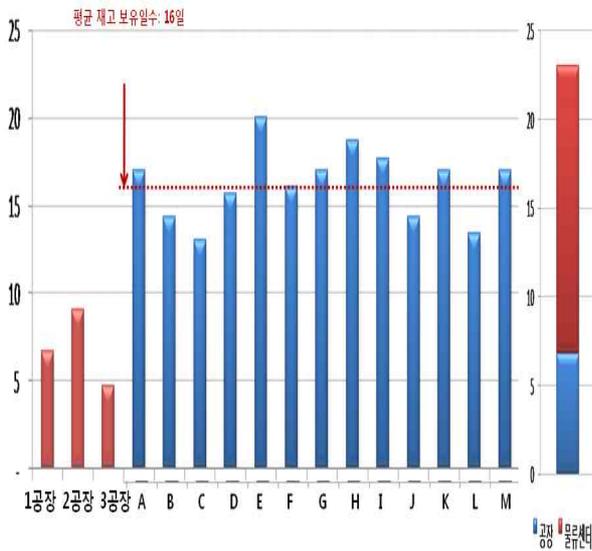
전체 생산량이 많은 제2공장의 생산품이 각 거점별로 가장 많이 공급되고 있으며, 수출은 전량 신공장인 제3공장의 생산품에서 이루어진다.



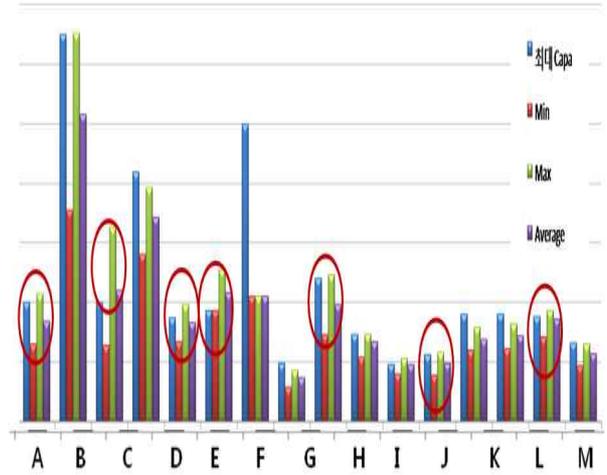
[그림 2] 각 물류거점별 공장별 상품공급 비율

3.2 재고 및 수배송 현황

[그림 3]에서 볼 수 있듯이 전국 13개 물류거점의 평균 16일분의 재고를 보유하고, 3개 공장의 재고보유량은 평균 7일로써, 기업전체로는 23일분의 재고를 보유하고 있다. 이로 인해 공장과 물류거점의 2단계 재고보유로 재고감축에 한계가 있으며, 지역 물류거점의 경우 담당 배송권역의 특정 상품군에 대한 수요가 침체될 경우 장기 재고화 가능성도 내재하고 있다. 따라서 현재와 같은 분산거점체계로는 재고 감축에 한계가 있기 때문에 통합재고관리를 위한 거점체계의 설계가 절실하였다.



[그림 3] 거점별 평균재고 보유량



[그림 4] 거점별 보관 Capacity

생산거점의 출하창고 Capa. 부족으로 인하여 각 지역물류거점으로 밀어내기식 적송으로 인해 [그림 4]와 같이 대부분의 물류거점이 보관 가능 Capa에 도달하고 있고, 몇몇 거점은 이미 한계를 초과하고 있어 향후 물동량 증가에 대비한 거점별 적정 Capa. 산정도 중요한 이슈로 부각되고 있다.

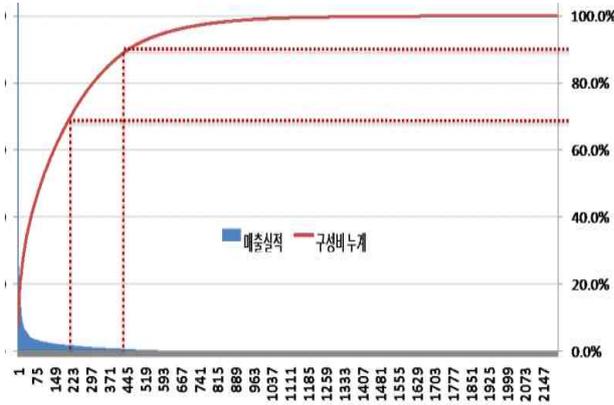
생산거점에서 각 물류거점에서의 적송은 40ft 컨테이너와 11ton 및 8ton 차량 96대, 배송은 15ton 차량 152대가 사용되며, 각 물류거점에서는 전국의 6,000여 개 거래처로 배송이 이루어지는데, 전국 81개 배송권역 중 지방 배송권역은 관할구역이 명확한데 반하여, 수도권은 유통채널별로 배송이 이루어지고 있어서 배송권이 중첩되는 경우가 많고, 배송차량당 2.27회/일의 평균 배송회전수를 유지한다.

매출액대비 판매물류비는 약 4.3%이고, 전체 물류비 중 수송 및 배송의 운송비가 72%를 차지하며, 운송비 중 수송과 배송비는 30%, 70%이다. 주문접수에서 납품에 이르는 납기는 전체 주문의 95%가 24시간내에 납품이 완료되고 있다.

4. 수배송 최적화

4.1 시나리오 분석 기준 설정

Y사의 배송집중도를 분석한 결과, 국내 전체 고객수는 6,200여개이나, 이 중 상위 453개 거래처가 전체 매출의 95%를, 상위 1,000개의 거래처가 전체 매출의 99%를 차지하고 있어[그림 5], 시뮬레이션의 자료입력과 분석시간의 단축을 위해 실제 시뮬레이션에서는 상위 1,000개의 배송지만을 대상으로 고려하여 분석하였다.



[그림 5] 배송 집중도 분석

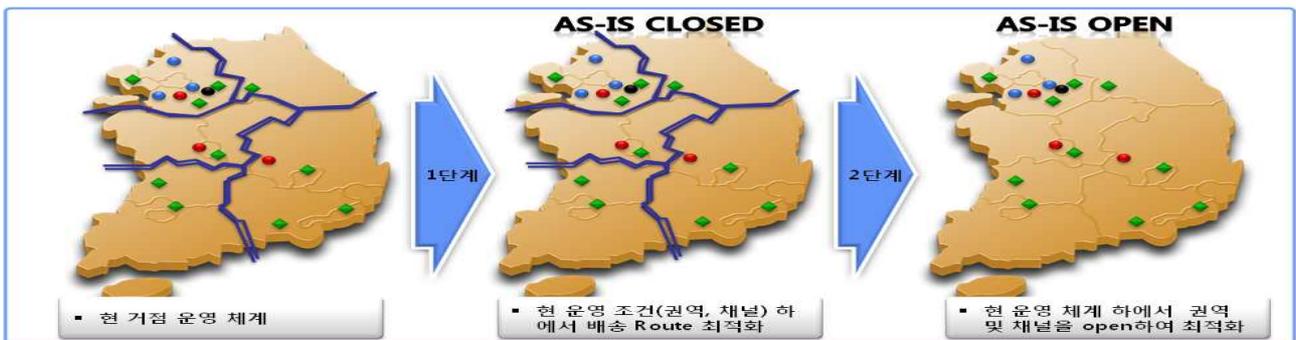
각 시나리오의 시뮬레이션 결과에 대하여 서비스, 경제성 및 실행여건의 3가지 측면에서 평가하여 최적의 대안 선정하였다. 먼저 서비스 측면은 주문충족율을 기준으로 하였으며 주문후 24시간내에 100% 배송이 가능한 거점체계를 기본 전제로 하였다. 또한 경제성 측면은 변동비 항목으로 적송비(공장에서 물류거점으로 운송비), 직송비(공장에서 대형고객으로의 직접 운송), 배송비(물류거점에서 고객으로의 운송)와 하역비(작업자 인건비)를 산정하였고 고정비로써는 물류거점의 관리자 인건비, 일반관리비, 창고 임차료, 사무용품비, 통행료를 계상하였다. 실행여건은 정성적 판단으로 개선

의 시급성(현행 물류체계의 주요 이슈 해결 정도 및 적합성)과 거점의 부지확보 가능성(혹은 임차 가능성)을 기준으로 하였다.

4.2 현행거점 기준 수배송 최적화

[그림 6]과 같이 1단계로 현행 거점체계(13개 지역 물류거점을 그대로 유지)하에서 현재와 동일한 배송권역과 유통채널을 유지하는 기준으로 수배송을 최적화(As-Is Closed) 하였고, 2단계는 물류거점별 배송권역과 유통채널을 현행대로 유지하고 않고 임의로 변경하여 최적화(As-Is Open)하였다.

수송 라우팅의 최적화 결과는 각 수송 루트의 이미지와 더불어 [그림 7]에 도식화 하였다. 공장에서 물류거점으로의 수송(적송)은 8ton, 11ton 및 40ft 컨테이너를 활용하여 적송하는데, 현행의 물류거점 체계하에서 차량을 대형화하여 각 거점별 순회를 허용하여 적송할 경우, 기존의 수송비보다 약 8%의 수송비를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 그러나 공장에서 할인점 등과 같은 대형 고객의 유통회사 물류거점으로 수송(직송)은 기존 수송체계에서는 극히 제한된 고객에 대해서만 운영하고 있어서 직송을 활성화 할 경우와 직접 비교할 수 없었다.



[그림 6] As-Is 수배송 최적화 방법



[그림 7] 적송 최적화 결과



[그림 8] 배송 최적화 결과



[그림 9] 수배송 최적화의 효과

배송 라우팅의 최적화 결과는 각 배송 루트의 이미지와 더불어 [그림 8]에 도식화 하였다. 물류거점에서 고객으로의 배송은 1ton, 2.5ton 및 5ton 차량을 활용하여 배송하는데, 현행의 배송권역과 유통채널을 유지하면서 배송루트를 최적화(As-Is Closed)할 경우에는 기존 배송비보다 약 19%의 배송비를 절감할 수 있었고, 현행의 배송권역과 유통채널을 무시하고 임의로 배송루트를 최적화(As-Is Open)할 경우에는 기존 배송비보다 약 24%의 배송비를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

종합적으로 현행거점체계를 유지하면서 수송(적송)과 배송의 루트 최적화를 통해서 수송비의 8%, 배송비의 24% 및 하역비(작업자의 인건비, 즉 하역작업시간)의 6% 절감이 가능한 것으로 분석되었고 이를 Y사의 전체 판매물류비 관점에서는 [그림 9]와 같이 약 10%의 절감이 가능한 것으로 분석되었다.

5. 결론

국내기업물류비의 80% 이상을 차지하고 있는 보관비와 운송비에 지대한 결정요인인 물류거점체계의 중요성에 대해 살펴보고 현행 거점체계하에서도 수배송 루트의 최적화를 통해서 약 10%의 물류비 절감이 가능함

을 Y사의 시뮬레이션사례를 통해서 확인할 수 있었다. 수배송 루트를 최적화하기 위해서는 공장에서 물류거점으로의 수송(적송) 차량을 대형화하여 순회 수송하는 방안을 마련하는 것이 필요하며, 배송의 경우 기존의 물류거점별 배송권역을 조정하고 순회배송을 더 활성화할 필요가 있었다. 이것은 기존의 물류 서비스 질(사내에 재고를 보유하고 있는 경우 고객의 주문후 24시간내 배송완료율 100% 기준, 비교 : 현재는 95%)을 유지하면서 이룩할 수 있는 절감효과라는 측면에서 그 가치가 더욱 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이론적 고찰에 국한하였지만, 더욱 적극적인 물류비 절감(거점운영비, 수배송비 등)과 재고 절감을 위해서는 전국에 산재해 있는 물류거점의 위치와 수를 재설계하는 거점체계의 최적화가 필요하다.

6. 참고 문헌

[1] Yang-Ja Jang, Seong-Yong Jang, Byung-Mann Chang, Jinwoo Park(2002), "A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network", Computer & Industrial Engineering 43, pp.263-281.
 [2] Sun Huijin, Gao Ziyou, Wu Jianjun(2008), "A

bi-level programming model and solution algorithm for the location of logistics distribution centers”, Applied Mathematical Modeling 32, pp.610-616.

[3] Clarisse Dhaenens-Flipo, Gerd Finke(2001), “An integrated models for an industrial production-distribution problem”, IIE Transaction 33, p.705-715.

[4] Andreas Klose, Andreas Drexl(2005), “Facility location models for distribution system design”, European Journal of Operational Research 162, pp.4-29.

[5] Young hae Lee, Sook Han Kim(2002), “Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints”, Computer & Industrial Engineering 43, pp.169-190.

[6] Daniela Ambrosino, Maria Grazia Scutella(2005), “Distribution network design : new problems and related models”, European Journal of Operational Research 165, pp.610-624.

[7] Tetsuya Maruta, Yoshitomo Ikkai, Norihisa Komoda(1999), “Simulation Tool of Supply Chain Model with Various Structure and Decision Making Processes”, IEEE, pp.1443-1449.

[8] Soemon Takakuwa, Hiroki Takizawa, Kumiko Ito, Shinichiro Hiraoka(2000), “Simulation and Analysis of Non-automated Distribution Warehouses”, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, pp.1177-1184.

[8] 정석재, 이재준, 김경섭(2005), “물류 네트워크 구축을 위한 이비 및 규모 선정을 위한 시뮬레이션 분석”, 한국시뮬레이션학회 논문지 제14권 제3호, pp.67-77.

저 자 소 개

김 영 철



전남대학교 화학공학과 학사, 석사 취득, 한국과학기술원(KAIST) 산업공학과 석사 취득, 명지대학교 대학원 산업경영공학과 박사과정 중. 현재 KB엔지니어링 근무, 관심분야는 SCM, 물류, M&A, 유통산업 등

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산38-2 명지대학교 제1공학관 산업경영공학과 생산관리연구실

성 행 기



세종대학교 식품공학과 학사 취득, 명지대학교 산업대학원 산업시스템 경영학과 석사취득, 명지대학교 대학원 산업경영공학과 박사과정 중, 포장기술사 현재 엔피씨(주) 근무 관심분야는 환경포장, 녹색물류, SCM, Pool System 등.

주소 : 경기도 군포시 이당로 129

황 대 성



서경대학교 물류학과 석사학위 취득, 명지대학교 대학원산업경영공학과 박사과정, 의류회사 세계물산(주)9년 근무, 수도권 의류 배송업체 탐코리아 공동창업하여 11년째 운영 중 관심분야 : RFID, 백화점의류 물류공동화 등

주소: 서울시구로구동178-1 다청림아파트 106동603호

김 정 현



서경대학교 물류대학원 석사학위 취득, 현재 명지대학교 산업경영공학과 박사과정. 관심분야 : 물류시스템(WMS, TMS, OMS 등) 구축 및 설계, 물류관련 기준정보(MDM), RFID 및 Mobile 시스템 등

주소: 경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교

이해욱



현재 육군본부에 재직하고 있으며, 명지대학교 대학원에서 산업경영공학 박사과정 중. 관심분야로 군수물류 절차 간소화 방안 연구, 군 시설이 인근 주민과 지자체에 미치는 양면영향 관계개선 연구, 민·관·군 상생방안 등을 연구 하고 있다.

주소 : 경기 고양시 덕양구 화정2동 별빛아파트 918/606

강경식



인하대학교 산업공학과에서 학사·석사·박사와 연세대학교·경희대학교에서 경영학 석사·박사 취득. North Dakota State Univ.에서 Post -Doc과 Adjunct Professor 역임. 현재 명지대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중. 주요 관심분야는 생산관리,

물류관리, 안전경영 등이다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-1 명지대학교 산업경영공학과