

The Effect on a Delivery Time Window Dispatching Policy for 3PL Distribution Center

Woon-Seek Lee* · Byung Soo Kim**†

*Division of Systems and Engineering Pukyong National University

**Department of Industrial and Management Engineering Incheon National University

제3자 물류센터 납품시간창 디스패칭 정책에 관한 효과

이운식* · 김병수**†

*부경대학교 시스템경영공학부

**인천대학교 산업경영공학과

This paper considers an inbound ordering and outbound dispatching problem for multi-products and multi-vehicles in a third-party distribution center. The demands are dynamic over a discrete and finite time horizon, and replenishing orders are shipped in various transportation modes and the freight cost is proportional to the number of vehicles used. Any mixture of products is loaded onto any type of vehicles. The objective of the study is to simultaneously determine the inbound lot-sizes, the outbound dispatching sizes, and the types and numbers of vehicles used to minimize total costs, which consist of inventory holding cost and freight cost. Delivery time window is one of the general dispatching policies between a third-party distribution center and customers in practice. In the policy, each demand of product for a customer must be delivered within the time window without penalty cost. We derive mixed integer programming models for the dispatching policy with delivery time windows and on-time delivery dispatching policy, respectively and analyze the effect on a dispatching policy with delivery time windows by comparing with on-time delivery dispatching policy using various computational experiments.

Keywords : Delivery Time Window, Dynamic Cemand, 3PL Distribution Center

1. 서론

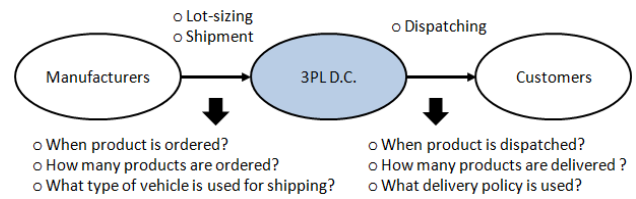
수출주도형 산업이 대부분인 한국경제는 물류가 경제 및 산업에 미치는 영향이 크다. 국토해양부 「국토해양통계연보, 2012」에 따르면 국내 철도의 수송량은 컨테이너 수송실적 증가에 따라 2005년을 기점으로 반등하여 2010년에는 전년대비 0.8% 증가했고 공로의 화물수송은 2002년까지 석탄을 제외한 모든 품목의 수송이 증가하여 지난

10년간 연평균 1.0% 증가하였으며 2010년에도 전년대비 2.0% 증가했다. 따라서, 국제·국내의 물류는 양적으로 증대되고 통합 물류관리의 중요성이 요구되고 있다. 기업 경쟁력은 생산 프로세스(생산 및 품질)의 혁신을 통한 원가절감과 품질향상 뿐만 아니라 생산된 제품이 고객에 인도되기까지의 물류 프로세스의 효율화를 통한 다양한 고객의 요구에 대한 신속한 대응에 좌우되므로 생산 및 물류의 전체 프로세스 관점에서의 최적화가 반드시 필요하다. 그러나, 대부분의 제조회사들이 생산프로세스뿐만 아니라 물류 프로세스까지의 전체 프로세스를 효율화할 수 있는 전문성을 확보하지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서 제품의 운송에 필요한 하역, 보관, 수·출입관세 등의

Received 2 January 2014; Finally Revised 21 February 2014;
Accepted 28 February 2014

† Corresponding Author : bskim@incheon.ac.kr

물류 전문지식을 보유하고 다양한 운송 자원을 활용하여 규모의 경제를 실현할 수 있는 전문 물류대행회사의 필요성이 대두되었다. 제3자 물류(3PL : Third-Party Logistics) 회사는 하주기업이 고객서비스 향상 및 물류비 절감 등 물류활동을 효율화할 수 있도록 공급사슬 상의 기능 전체 혹은 일부를 대행·수행하는 전문 물류회사를 의미한다. 제3자 물류회사의 관점에서 물류의 흐름을 보면, 제조업체로부터 생산된 완제품은 저장과 분배를 위해 제3자 물류센터로 운송되며, 보관되고 있는 일부의 제품은 고객의 수요에 따라 제3자 물류센터로부터 고객에게 납품된다. 제3자 물류회사는 제조업체와 제3자 물류회사간의 전략적 계약 하에서 물품의 재고관리와 운송을 대행한다. 일반적인 제3자 물류회사는 대리점, 소매업체, 다양한 운송수단 등과 같은 하류(Downstream)의 공급사슬 요소들을 제조업체에게 제공한다. 따라서 제조업체는 제품의 생산에 핵심역량을 집중할 수 있고 제3자 물류회사는 고객에 대해 다양하고 매력적인 운송 및 납품 대안을 제시함으로써 물류비용의 절감과 질 높은 고객서비스를 제공하여 경쟁력을 강화할 수 있다. 대부분의 경우에, 제조업체로부터 제3자 물류센터로 또는 제3자 물류센터로부터 고객으로의 제품 운송은 컨테이너, 트럭, 선박, 비행기 등 여러 가지의 운송수단을 운용하게 된다. 다양한 적재용량을 갖는 운송수단의 조합은 수송비용과 제3자 물류센터에서의 공급비용과 재고비용에 영향을 미치게 되고, 물품의 보충을 위한 로트크기 결정(Lot-Sizing)문제와 각각의 고객들의 수요에 대응하기 위한 납품결정(Dispatching) 문제들을 야기한다. 따라서 제조업체와 제3자 물류센터 간 또는 제3자 물류센터와 고객간의 물류 최적화를 위해서는 a) 언제 공급할 것인지? b) 얼마만큼 공급할 것인지? c) 어떤 운송 수단을 사용할 것인지? 에 대한 공급계획들을 효과적으로 수립하여야 한다. 또한, 제3자 물류센터부터 고객에게 납품되는 제품들을 디스패칭 정책들을 고객에게 제시하여 납품회사(고객)의 운송수단의 일정에 맞게 a) 언제 납품할 것인지? b) 얼마만큼 납품할 것인지? 에 대한 납품계획을 효과적으로 수립하여야 한다. 현 문제는 제조회사로부터 제3자 물류센터로 입고되는 물품들의 관련비용 즉 운송비용과 재고비용의 최소화에 관심을 가지고 있으며 디스패칭에 관한 물품들의 관련비용은 납품되는 고객들이 물품운송을 관할하고 있다고 가정하므로 납품비용은 현 문제의 관련비용에서 제외한다. 따라서, 본 연구는 납품시간창과 같은 디스패칭 정책을 고려한 인바운드 물류관련비용을 최소화하는 의사결정을 수립하고자 한다. 본 연구에서 다루고자 하는 제3자 물류센터의 물류의 흐름 및 물류 프로세스에서 발생할 수 있는 의사결정 문제의 이슈들을 정리하면 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Logistics Flows and Decisions for 3PL Warehouse

제3자 물류센터로부터 고객에게 납품되는 제품들은 특정시간에 정량의 제품이 납기에 맞추어 배송되어야 한다. 하지만 다양한 디스패칭 정책을 이용하여 배송되는 경우도 있다. 일반적으로 제3자 물류센터에서 많이 쓰이는 배송정책은 납품시간창을 이용하는 경우인데 이는 고객과의 공급계약에 의해 특정한 벌과비용(Penalty Cost)없이 납품될 수 있는 납품허용기간을 배려 받을 수 있으며 이를 납품시간창(Delivery Time Window)이라 한다. 각각 제품 i 가 고객 j 로의 배송되는 납품시간창은 가장 이른 납품시간 E_{ij} 과 가장 늦은 납품시간 L_{ij} 으로 구성되는 시간구간으로 형성되며 제품은 이 구간 내에 고객에게 인도되어야 한다. 또한, 납품시간창 $[E_{ij}, L_{ij}]$ 내에서 고객 j 에게 인도되어야 할 제품 i 에 대한 총 디스패칭량 TD_{ij} 를 만족시키며 시간구간 내에 자유롭게 배송량이 형성된다. 본 논문에서는 제3자 물류창고 프로세스 전체의 관점에서 인바운드 운송비용과 재고비용을 포함하는 총비용을 최소화하고 납품시간창을 고려해서 다중제품-단종차량 그리고 다중제품-다중차량 두 가지 경우에 대해 로트크기와 디스패칭 스케줄을 동시에 결정할 수 있는 효과적인 운영전략을 제안하고자 한다. 또한, 각 문제에 대해 납품시간창을 고려한 정책과 납품시간창을 고려하지 않은 정시 납품정책을 위의 2가지 경우에 대해 상호 비교함으로써 납품시간창 디스패칭 정책이 미치는 영향을 분석한다.

2. 문헌연구

지금까지의 연구관련 국내·외 연구동향은 다음과 같다. 본 논문에서 다루고 있는 형태의 문제를 일반적으로 동적 로트크기결정 문제(Dynamic Lot Sizing Problem)라고 한다. 동적 수요를 만족시키는 단일제품에 대한 동적 로트크기결정 문제는 Wagner와 Whitin[10]에 의해 처음으로 연구되었다. 이러한 전통적인 동적 로트크기결정 문제에, 화물 컨테이너의 사용대수에 비례하는 화물운송비용을 포함할 경우, 이 문제는 다수의 고정비용을 갖는 문제로 확장된다[8]. 이것은 문제를 한층 복잡하게 만드는 요인으로 작용한다. Jaruphongsa et al.[4]은 제한된 물류센터

용량과 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정 문제를 다루었다. Hwang and Jaruphongsas[2]은 새로운 분해원리를 기초로 납품시간창을 고려한 동적 납품시간창을 동시에 고려한 동적 로트크기결정 문제에 대한 Polynomial Time 알고리즘을 제안하였고 다양한 확장문제들에 대해 연구하였다. Hwang[3]은 추후 조달이 허용되지 않을 경우에 대한 개선된 알고리즘을 제안하였다. 최근, Hwang and Jaruphongsas[1]은 주요수요에 대해서는 납품시간창을 허용하고 그 외의 수요에 대해서는 시간창을 허용하지 않는 동적 로트크기결정 문제를 다루었다. Lee[9]은 생산과 수송이 통합된 제3자 물류환경에서 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정 문제에 대한 알고리즘을 제안하였다. Kim and Lee[5]는 납품시간창을 허용하고 단일 운송차량을 고려하여 동적 로트크기결정 문제의 효율적인 해를 구하기 위한 유전알고리즘을 제시하였다. Kim and Lee[6]은 Kim and Lee[5]의 연구를 확장하여 다종의 차량을 고려한 동적 공급계획과 인바운드 디스패칭에 대해 지역해 탐색 방법을 포함하는 유전알고리즘을 제시하였다. Kim et al.[7]은 납품시간창을 고려한 동적 인바운드 주문과 아웃바운드 디스패칭 문제를 풀기 위한 유전 알고리즘을 제시하였다.

연구관련 국내·외 연구동향을 살펴 본 바로는 납품시간창을 고려한 기존연구들은 최근에 몇가지 제안되었지만 이와 함께 납품시간창 정책의 효과성에 대한 연구는 존재하지 않았다. 따라서, 본 연구는 Kim and Lee[5, 6]과 Kim et al.[7]의 연구를 현실적으로 확장하여 팔렛(Pallet) 사이즈를 고려한 다종제품-단종차량 그리고 다종제품-다종차량 두 가지 경우에 대해 로트크기와 디스패칭 스케줄을 동시에 결정할 수 있는 납품시간창 디스패칭 정책을 고려했을 경우와 고려하지 않을 경우의 최적화 모형들을 각각 개발하고 각각의 경우에 대해 납품시간창을 고려하지 않는 정시납품 정책을 이용하는 경우에 대한 모델과 비교하여 납품시간창을 고려한 운영정책의 효과성을 검증하고자 한다.

3. 문제정의 및 분류

본 연구에서는 제3자 물류센터부터 고객에게 인도되는 형태는 단일고객이 아닌 여러 수요지에 납품될 수 있는 복수고객으로 가정한다. 그리고 차량의 형태에 따라 다종제품-단종차량, 다종제품-다종차량에 대한 2가지 최적화 모형을 제시하고 각각의 모형에 대해 납품시간창 디스패칭 정책을 고려했을 경우와 고려하지 않는 정시납품 정책을 이용하는 경우를 각 모형에 반영하여 상호 비교한다. 본 논문에서 다루고자 하는 연구모형을 분류하

면 다음과 같다.

- (1) A Multi-item Multi-customer Single-vehicle Dynamic Lot-Sizing Problem(MIMCSV)
- (2) A Multi-item Multi-customer Single-vehicle Dynamic Lot-Sizing Problem with a Delivery Time Window Dispatching Policy(MIMCSV-TW)
- (3) A Multi-item Multi-customer Multi-vehicle Dynamic Lot-Sizing Problem(MIMCMV)
- (4) A Multi-item Multi-customer Single-vehicle Dynamic Lot-Sizing Problem with a Delivery Time Window Dispatching Policy(MIMCSV-TW)

(1), (2)은 단종차량에 대한 최적화 모형이고 (3), (4)은 다종차량일 경우의 최적화 모형이다. 각각 최적화 모형의 이름이 길기 때문에 약어를 만들어 언급한다.

첫째, MIMCSV 및 MIMCSV-TW의 공통적인 가설은 다음과 같다. 각 제품 i 는 하나의 고객에게만 납품하는 것이 아닌 여러 고객들에게 납품할 수 있는 경우를 고려한다. 수송방법은 단종차량을 이용하여 다종제품들을 수송한다. 운송비용은 사용되는 차량대수에 비례한다. 적재용량은 서로 동일하고 다종제품의 적재크기 또한 동일하나 제품의 크기는 서로 다르기 때문에 적재할 수 있는 다종제품의 개수는 서로 다를 수 있다. 각 제품의 초기 및 기말재고는 0으로 가정한다. 주어진 수요는 반드시 만족을 해야 하고, 추후 조달(backlogging)은 허용되지 않는다. 한편, MIMCSV 및 MIMCSV-TW의 차이점을 요약하면 다음과 같다. MIMCSV는 각 제품에 대한 수요는 동적으로 발생된다. 납품시간창 정책을 고려하지 않는다. MIMCSV-TW는 각 제품의 수요는 주어진 납품시간창 내에 전달되어야 한다. 유한계획기간 내에 각 제품에 대한 납품시간창은 단 한번 발생하고 여러 고객들에게 납품한다. 그리고 납품시간창 정책을 고려한다.

둘째, 최적화 모형 MIMCMV와 MIMCMV-TW의 공통적인 가설에서 추가된 차이점은 차량의 형태가 다르기 때문에 수송방법은 다종차량을 이용하여 다종제품들을 수송하고 다종차량의 적재용량은 서로 다르다. 운송비용은 차량의 종류별 사용대수에 비례한다.

4. 최적화 모형

본 절에서는 앞 절에서 소개한 문제의 수리적 모형을 개발한다. 본 연구에서 다른 문제는 Kim and Lee[5, 6]과 Kim et al.[7]의 문제와 유사성을 보이므로 관련 수리모형들을 근간으로 하여 인바운드 로트크기결정 및 아웃바

운드 디스패칭결정 문제에 대해 납품시간창 디스패칭 정책을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 최적화 모형을 제시한다.

MIMCSV와 MIMCSV-TW 최적화 모형들을 위한 모수 및 의사결정변수들에 대한 정의는 다음과 같다.

- T : 계획기간 크기
- t : 계획기간의 인덱스($t=1, 2, \dots, T$)
- L : 제품 종류
- i : 제품 종류의 인덱스($i=1, 2, \dots, L$)
- p_i : 한 개의 팔레트에 채울 수 있는 제품 i 의 최대 수
- r : 차량에 적재될 수 있는 최대 팔레트 수
- f_j : 3PL 물류센터부터 고객 j 에게 사용되는 차량의 해당 운송비용
- h_{it} : 기간 t 부터 $t+1$ 까지 제품 i 의 당위당 재고유지 비용
- d_{ijt} : 기간 t 에서의 제품 i 에 대한 고객 j 의 디스패칭 납품량
- x_{ijt} : 기간 t 에서 고객 j 로부터의 제품 i 에 대한 주문량
- I_{it} : 기간 t 에서의 제품 i 에 대한 기말재고량
- y_{jt} : 기간 t 에서 고객 j 로 운송되는 차량사용 대수
- g_{ijt} : 기간 t 에서 고객 j 로 납품되는 제품 i 에 대한 팔레트 수
- TD_{ij} : 제품 i 을 고객 j 로 납품되는 총 디스패칭의 합
- E_{ij} : 가장 이른 납품시간
- L_{ij} : 가장 늦은 납품시간

정의된 모수와 의사결정변수들을 이용하여 MIMCSV의 최적화 모형은 다음과 같이 제시된다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{t=1}^T \left(f_j \cdot y_{jt} + \sum_{i=1}^L h_{it} \cdot I_{it} \right) \\ \text{S.T.} \quad & I_{i0} = I_{iT} = 0 \quad \forall i, \quad (1) \\ & I_{it} = I_{it-1} + x_{ijt} - d_{ijt}, \quad \forall i, j, t, \quad (2) \\ & g_{ijt} \geq \frac{x_{ijt}}{p_i} \quad \forall i, j, t, \quad (3) \\ & y_{jt} \geq \sum_{i=1}^L \frac{g_{ijt}}{r}, \quad \forall j, t, \quad (4) \\ & y_{jt} \leq \sum_{i=1}^L \frac{g_{ijt}}{r} + 1 \quad \forall j, t, \quad (5) \\ & x_{ijt}, I_{it}, y_{jt}, g_{ijt}; \quad \text{nonnegative integer.} \quad \forall i, j, t, \quad (6) \end{aligned}$$

MIMCSV-TW의 최적화 모형은 MIMCSV 모형으로부터 납품시간창에 관한 제약식들을 추가한 모형이다. 기본적

인 MIMCSV-TW 목적식과 제약식(1)-(6) 이외에 추가되는 납품시간창에 관한 제약식들은 아래와 같다.

$$\sum_{i=E_{ij}}^{L_{ij}} d_{ijt} = TD_{ij}, \quad \forall i, j, \quad (7)$$

$$d_{ijt} \geq 0, \quad \forall i, j, t = E_{ij}, \dots, L_{ij}, \quad (8)$$

$$d_{ijt} = 0, \quad \forall i, j, t = 1, \dots, E_{ij}-1, \quad (9)$$

$$d_{ijt} = 0, \quad \forall i, j, t = L_{ij}+1, \dots, T, \quad (10)$$

제약식 (1) 초기 및 기말재고수량은 0이다. 식 (2) 제품 i 의 시점 t 에서의 재고량은 직전 시점 $t-1$ 일 때의 재고와 시점 t 일 때의 주문량의 합에 수요량을 차감한 값이다. 식 (3) 기간 t 에서 고객으로부터의 제품 i 에 대한 주문량을 제품 i 의 한 개의 팔레트에 채울 수 있는 양을 나눈 값은 기간 t 에서 제품 i 의 운송을 위해 필요한 팔레트 수보다 작거나 같아야 한다. 식 (4) 모든 제품 i 에 대해 기간 t 에서 운송에 필요한 팔레트 수를 차량에 적재할 수 있는 최대 팔레트 수로 나눈 값은 기간 t 에서 사용된 차량 수보다 작거나 같아야 한다. 식 (5) 각 제품 i 에 대해 기간 t 에서 운송에 필요한 팔레트 수를 차량에 적재할 수 있는 최대 팔레트 수로 나눈 값에서 1을 더한 값은 기간 t 에서 사용된 차량 수보다 크거나 같아야 한다. 식 (7) 납품시간창 $[E_{ij}, L_{ij}]$ 에서 복수 고객에게 인도되어야 할 각각의 제품 i 에 대한 총 디스패칭 합은 TD_{ij} 와 같다. 식 (8) 납품시간창 $[E_{ij}, L_{ij}]$ 에서 기간 t 에서 복수 고객에게 인도되는 제품 i 의 디스패칭 납품량은 0보다 크거나 같다. 식 (9) 가장 이른 납품시간 E_{ij} 보다 이전에 디스패칭되는 납품량은 0이다. 식 (10) 가장 늦은 납품시간 L_{ij} 이후에 디스패칭되는 납품량은 0이다.

다음으로 MIMCSV와 MIMCSV-TW 최적화 모형들을 위한 모수 및 의사결정변수들의 정의는 앞의 MIMCSV와 MIMCSV-TW 최적화 모형들을 위한 모수 및 의사결정변수들에 대한 정의 이외에 다중차량과 관련된 모수 및 의사결정변수가 추가되며 그 정의는 다음과 같다.

- r_n : 차량형태 n 에 적재될 수 있는 최대 팔레트 수
- f_{jn} : 3PL 물류센터부터 고객 j 에게 운송되는 차량형태 n 의 운송비용
- x_{ijt} : 기간 t 에서 고객 j 로부터의 제품 i 에 대한 주문량
- y_{jnt} : 기간 t 에서 고객 j 로 운송되는 차량형태 n 의 사용 대수

MIMCMV의 최적화 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\text{Minimize} \quad & \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^J f_{jn} \cdot y_{jnt} + \sum_{i=1}^L h_{it} \cdot I_{it} \right) \\
\text{S.T.} \quad & I_{i0} = I_{iT} = 0, \quad \forall i, \quad (11) \\
& I_{it} = I_{it-1} + x_{ijt} - d_{ijt}, \quad \forall i, j, t, \quad (12) \\
& g_{ijt} \geq \frac{x_{ijt}}{p_i}, \quad \forall i, j, t, \quad (13) \\
& y_{jnt} \geq \sum_{i=1}^L \frac{g_{ijt}}{r_n}, \quad \forall j, t, \quad (14) \\
& y_{jnt} \leq \sum_{i=1}^L \frac{g_{ijt}}{r_n} + 1 \quad \forall j, t, \quad (15) \\
& x_{ijt}, I_{it}, y_{jnt}, g_{ijt} \\
& \text{nonnegative integer.} \quad \forall i, j, t, \quad (16)
\end{aligned}$$

제약식 (15)와 식 (16)은 기간 t 에서 최대로 보낼 수 있는 팔레트 수(g_{it})는 기간 t 에서 제품 i 의 운송에 필요한 팔레트 총 수($r_n \cdot y_{nt}$)보다 크거나 같다. MIMCMV-TW의 최적화 모형은 MIMCMV에서 납품시간차를 고려한 제약식을 추가한 모형이고 그 제약식은 다음과 같다.

$$\sum_{i=E_{ij}}^{L_{ij}} d_{ijt} = TD_{ij}, \quad \forall i, j, \quad (17)$$

$$d_{ijt} \geq 0, \quad \forall i, j, t = E_{ij}, \dots, L_{ij}, \quad (18)$$

$$d_{ijt} = 0, \quad \forall i, j, t = 1 \dots E_{ij} - 1, \quad (19)$$

$$d_{ijt} = 0, \quad \forall i, j, t = L_{ij} + 1, \dots, T, \quad (20)$$

5. 컴퓨터 실험조건

5.1 MIMCSV 및 MIMCSV-TW 실험조건

본 연구에서 제시한 MIMCSV와 MIMCSV-TW 두 모형의 성능을 평가하기 위해서 다음과 같은 실험조건을 설계하여 시뮬레이션 분석을 한다.

- (1) 계획기간 크기(T)는 6, 8, 10, 12, 15, 제품 종류(L)는 2, 3, 4, 5로 분류하고, 고객 수(J)는 2, 3, 4로 나눈다. 그리고 각 수요에 대한 납품시간차 크기(TW)는 계획기간(T)의 30%, 50%, 70%로 분류한다.
- (2) 수요 i 는 정규분포 $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 를 따르며, 평균 μ_i 는 균등분포 $U(100, 300)$ 에 의해 발생되고, 표준편차 σ_i 는 μ_i 와 $\mu_i/5$ 중에 임의의 한 개의 값으로 랜덤(Random)하게 발생시킨다.
- (3) 한 팔레트 안에 들어갈 제품의 최대 수(p_i)는 균등분포

$U(10, 50)$ 에 의해 발생된다.

- (4) 제품에 대한 재고유지비용(h_{it})은 제품크기(p_i)에 10을 나눈 정수값이다.
- (5) 차량에 들어갈 최대 팔레트 수(r)는 10으로 고정한다.
- (6) 운송비용(f)은 300으로 한다.
- (7) 계획기간 크기(5가지), 제품종류(4가지), 고객수(3가지), 납품시간차 크기(3가지)에 대해 총 180가지(= $5 \times 4 \times 3 \times 3$)의 실험 조합들에 대해 각각 3개의 샘플 데이터 (Instance)를 생성하고 CPLEX 12.5를 이용하여 2시간 동안의 실험시간으로 10번의 반복 실험을 통해 구해진 최적해 혹은 최선해를 평균값을 상호 비교·분석한다.

5.2 MIMCMV 및 MIMCMV-TW 실험조건

본 연구에서 제시한 MIMCMV와 MIMCMV-TW 두 모형의 성능을 평가하기 위해서 다음과 같은 실험조건을 설계하여 시뮬레이션 분석을 한다.

- (1) 계획기간 크기 (T)는 6, 7, 8, 9, 10, 제품종류(L)은 2, 3, 4, 5로 분류하고, 고객 수(J)는 2, 3, 4로 나눈다. 각 수요에 대한 납품시간차 크기(TW)는 계획기간(T)의 30%, 50%, 70%로 분류한다.
- (2) 수요 i 는 정규분포 $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 를 따르며, 평균 μ_i 는 균등분포 $U(100, 300)$ 에 의해 발생되고, 표준편차 σ_i 는 μ_i 와 $\mu_i/5$ 중에 임의의 한 개의 값으로 랜덤(Random)하게 발생시킨다.
- (3) 한 팔레트 안에 들어갈 제품의 최대 수(p_i)는 균등분포 $U(10, 50)$ 에 의해 발생된다
- (4) 제품에 대한 재고유지비용(h_{it})은 제품크기(p_i)에 10을 나눈 정수값이다.
- (5) 한 차량에 들어갈 최대 팔레트 수(r_n)는 차량의 종류(N)에 따라 다음과 같이 정한다.
 - a) $N = 2 : 10, 20$
 - b) $N = 3 : 10, 20, 30$
 - c) $N = 4 : 10, 20, 30, 40$
- (6) 운송비용함수(f_{jn})은 적재용량(r_n)에 따라 다음과 같이 3가지 경우로 한다.
 - a) Uniform : $f_{jn} = 30 \times r_n$
 - b) Increasing : $f_{jn} = 30 \times [r_n + 0.10 \times r_n \times (n-1)]$
 - c) Decreasing : $f_{jn} = 30 \times [r_n - 0.10 \times r_n \times (n-1)]$
- (7) 계획기간 크기(5가지), 제품종류(4가지), 고객수(3가지), 납품시간차 크기(3가지), 차량종류(3가지), 운송비용함수 종류(3가지)에 대해 총 1,620가지(= $5 \times 4 \times 3 \times 3 \times 3$)

의 실험 조합들에 대해 각각 3개의 데이터(Instance)를 생성하고 두 가지 최적화 모형에 대해 CPLEX 12.5를 이용하여 2시간 동안의 실험시간으로 10번의 반복 실험을 통해 구해진 최적해 혹은 최선해를 평균값을 상호 비교·분석한다.

6. 실험 결과

목적함수값의 비교는 다음의 기준(GAP)을 이용하여 비교한다.

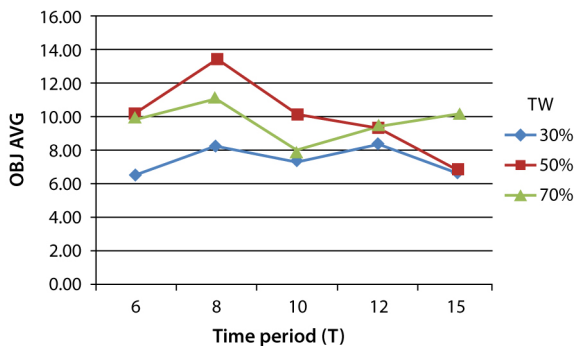
$$GAP = \frac{z - z_{TW}}{z_{TW}} \times 100$$

여기서, z_{tw} = 납품시간창 정책을 고려한 목적함수 값, z = 납품시간창 정책을 고려하지 않은 목적함수 값임.

6.1 MIMCSV 및 MIMCSV-TW 비교

본 절에서는 단종의 차량이 존재할 경우, 납품시간창 디스패칭 정책의 효과를 검증하고자 한다 결론적으로 납품시간창 디스패칭 정책을 고려했을 때 비용절감 효과가 큰 것을 알 수 있었다. 다음은 납품시간창의 허용기간의 변화에 따른 여러 요인들에 대한 비용절감 효과를 분석한 결과이다.

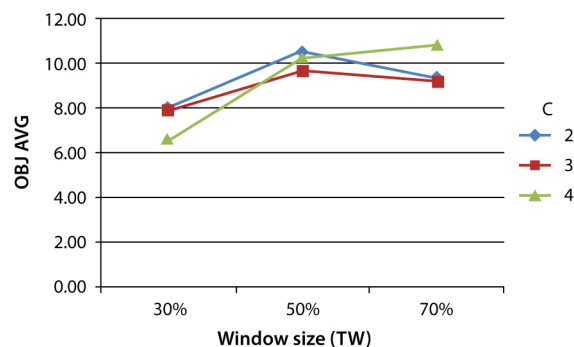
<Figure 2>는 계획기간 크기(T)와 납품시간창 크기(TW)의 변화에 따른 납품시간창 디스패칭 정책의 비용절감 효과를 나타낸다. 그래프로부터 TW 의 범위 30%일 때 총비용 절감효과는 가장 적음을 알 수 있다. 그리고 TW 의 범위가 50%일 때 비용절감 효과는 평균적으로 크나 그 절감효과는 TW 의 범위가 70%일 때 다시 떨어짐을 알 수 있다. 그 이유는 TW 가 작을 경우 효율적인 배송단위



<Figure 2> Effect on Time Window by Changing Time Period(T) and Window Size(TW)

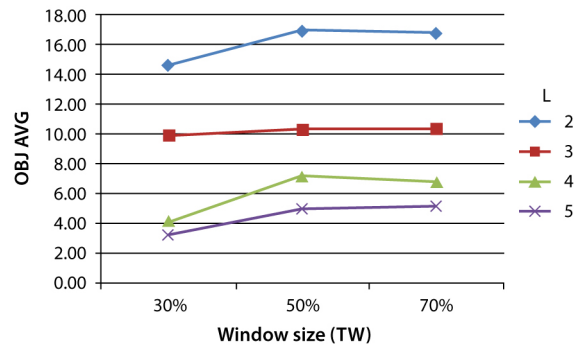
로의 취합에 대한 효과를 보지 못하게 되고 TW 가 너무 큰 경우에도 다양한 고객의 수요를 만족시키는 배송단위의 취합이 어려워지기 때문이다. 그리고, T 의 크기와 TW 의 크기간의 상관관계는 현재의 그래프에서는 상관관계를 보이지 않음을 알 수 있다.

한편, <Figure 3>의 그래프로부터 고객 수(J)와 TW 의 변화에 따른 비용절감 효과를 살펴보면, TW 의 범위가 30%일 때 고객의 수가 4일 때 비용절감 효과는 가장 적게 나타났다. TW 범위가 증가하고 J 가 증가할수록 미세하지만 비용절감 효과는 평균적으로 증가함을 알 수 있다.



<Figure 3> Effect on Time Window by Changing Number of Customers(J) and Window Size(TW)

L 과 TW 의 변화에 따른 비용절감 효과를 나타내면 <Figure 4>와 같다. L 이 감소할수록 TW 의 범위가 증가할수록 총비용의 감소효과는 크다. 또한, 그래프에서 볼 수 있듯이 L 이 감소할수록 비용감소 효과의 GAP 차이가 뚜렷이 증가한다. 하지만 L 이 증가할수록 TW 의 범위가 감소할수록 총비용의 감소효과는 적다. 이러한 결과를 보이는 이유는 L 이 증가하게 되면 물품취합을 통한 유닛로드(Unit-load)화를 이루기 어려워진다. 따라서, 상대적으로 납품시간창 배송정책의 취합의 효과를 상대적으로 획득하기 어려워지게 됨을 유추할 수 있다.

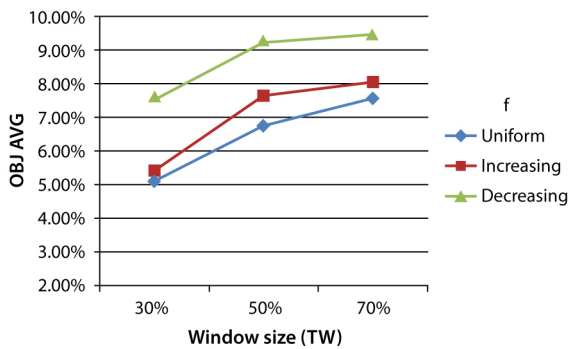


<Figure 4> Effect on Time Window by Changing Number of Products(L) and Window Size(TW)

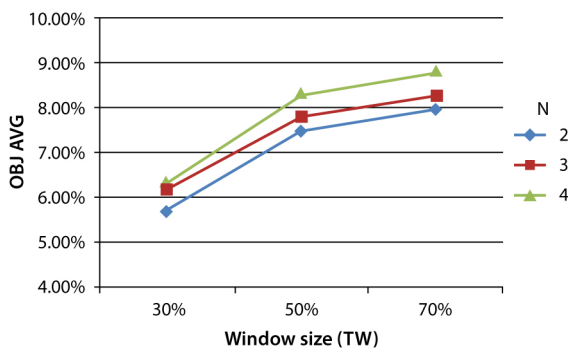
6.2 MIMCMV 및 MIMCMV-TW 비교

본 절에서는 다종의 차량이 존재할 경우, 납품시간창 디스패칭 정책의 효과를 검증하고자 한다. 결론적으로 납품시간창 디스패칭 정책을 고려했을 때 비용절감 효과가 큰 것을 알 수 있었다. 다음은 납품시간창의 허용기간의 변화에 따른 여러 요인들에 대한 비용절감 효과를 분석한 결과이다.

<Figure 5>는 운송비용(f)과 TW 의 변화에 따른 납품시간창 디스패칭 정책의 비용절감 효과를 나타낸다. 단종차량과 달리 운송적재량에 따라 단위당 운송비용이 작아지는 감소(Decreasing)하는 경우가 나머지 2가지 경우에 비해 평균적으로 비용절감효과를 보인다. 또한, TW 의 범위가 커짐에 따라 비용절감 효과가 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인은 적재용량이 큰 트럭을 이용할수록 상대적으로 납품시간창을 이용한 디스패칭 정책으로 인한 물품 취합가능성이 커지고 이로 인한 비용절감 및 운송비용의 가격할인을 동시에 획득할 수 있기 때문이다.



<Figure 5> Effect on Time Window by Changing Freight Costs(f) and Window Size(TW)



<Figure 6> Effect on Time Window by Changing Number of Vehicle Types(N) and Window Size(TW)

<Figure 6>는 차량 종류(N)과 TW 의 변화에 따른 납품시간창 디스패칭 정책의 비용절감 효과를 나타낸다. 그 래프로부터 N 과 TW 가 증가할수록 비용절감 효과는 큼

을 알 수 있다. 비용감소 효과의 GAP 역시 N 과 TW 가 증가할수록 점진적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인은 차량의 종류가 다양할수록 제품 주문량에 따라 차량을 선택 할 수 있는 폭이 넓어지기 때문에 다종차량일 때 납품시간창 디스패칭 정책의 비용절감 효과는 점진적으로 증가하는 결과를 낳게 된다.

7. 결 론

본 논문에서는 제품종류, 차량종류, 납품시간창 크기, 그리고 운송비용함수 종류를 고려한 납품시간창 디스패칭 정책 및 정시납품 정책 하의 최적화 모형들을 개발하였다. 제시된 최적화 모형들을 이용하여 다양한 실험데이터 상황 하에 상호 비교함으로써 납품시간창 디스패칭 정책의 효과성을 입증하였다. 본 논문의 실험의 결과값에 대한 분석을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 납품시간창 크기(TW)가 중간크기(실험에서는 30%, 50%, 70% 중 50%에 해당)에서 평균적으로 비용절감 효과 크음을 알 수 있다.
- (2) 제품종류(L)가 감소할수록 납품시간창 크기(TW)가 증가할수록 비용절감 효과는 크다.
- (3) 고객수(J)가 증가할수록 납품시간창 크기(TW)가 증가할수록 비용절감 효과는 크다.
- (4) 차량종류(N)가 증가할수록 납품시간창 크기(TW)가 증가할수록 비용절감 효과는 크다.
- (5) 운송비용함수(f)는 운송적재량에 따라 단위당 운송비용이 작아지는 감소(Decreasing)하는 경우가 비용절감 효과가 크고 납품시간창 크기(TW)도 증가할수록 효과가 크다.
- (6) 차량종류(N)가 증가할수록 제품 주문량에 따라 차량을 선택 할 수 있는 폭이 넓어지기 때문에 다종차량일 때 납품시간창 디스패칭 정책의 비용절감 효과는 점진적으로 커지게 된다.

본 논문의 한계점은 문제의 규모가 커질수록 최적해의 산출이 과도한 컴퓨터 계산시간의 소모 및 계산처리 메모리 요구로 CPLEX를 통한 최적해 탐색이 불가능하였다. 따라서, 향후 연구과제는 규모가 큰 문제들의 분석을 위한 효과적인 휴리스틱 알고리즘의 개발이 요구된다.

Acknowledgement

이 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음(No. 20130819).

References

- [1] Hwang, H.C. and Jaruphongsa, W., Dynamic Lot-sizing Model for Major and Minor Demands. *European Journal of Operational Research*, 2008, Vol. 184, p 711-724.
- [2] Hwang, H.C. and Jaruphongsa, W., Dynamic Lot-sizing Model with Demand Time Windows and Speculative Cost Structure. *Operations Research Letters*, 2006, Vol. 34, p 251-256.
- [3] Hwang, H.C., An Efficient Procedure for Dynamic Lot-sizing Model with Demand Time Windows. *Journal of Global Optimization*, 2007, Vol. 37, p 11-26.
- [4] Jaruphongsa, W., Cetinkaya, S., and Lee, C.H., Warehouse Space Capacity and Delivery Time Window Considerations in Dynamic Lot-sizing for a Simple Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 2004, Vol. 92, p 169-180.
- [5] Kim, B.S. and Lee, W.S., A Genetic Algorithm for a Dynamic Lot-Sizing Problem with Delivery Time Windows. *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, 2010, Vol. 21, No. 4, p 383-398.
- [6] Kim, B.S. and Lee, W.S., An Adaptive Genetic Algorithm for a Dynamic Lot-sizing and Dispatching Problem with Multiple Vehicle Types and Delivery Time Windows. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2011, Vol. 37, No. 4, p 331-341.
- [7] Kim, B.S., Lee, W.S., and Koh, S.G., A genetic algorithm for dynamic inbound ordering and outbound dispatching problem with delivery time windows, J. of the United Kingdom. *Engineering Optimization*, 2012, Vol. 44, No. 7, p 859-874.
- [8] Kim, D-H., A generalized Inventory Model for a Multi-Item and its Raw Materials. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 4, p 83-97.
- [9] Lee, W.S., A Dynamic Ordering, Shipping, and Outbound Dispatching Problem with Delivery Time Windows. *Korea Management Engineer Society*, 2010, Vol. 15, No. 3, p 15-23.
- [10] Wagner, H.M. and Whitin, T.M., Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*, 1958, Vol. 5, p 89-96.