

# 택배 네트워크 설계를 위한 최적화 / 시뮬레이션 반복기법 : 화물터미널 용량과 수주마감시간 결정

고창성<sup>†</sup> · 이희정

경성대학교 산업공학과

## A Recursive Optimization / Simulation Procedure for Express Courier Service Network Design : Determination of Terminal Capacity and Cut-off Time

Chang Seong Ko · Hee Jeong Lee

Department of Industrial Engineering, Kyung Sung University, Busan 608-736

While demands for express couriers service are rapidly increasing due to recent progress of electronic commerce, express courier service companies are struggling to take a larger market share through ongoing improvement in their service processes. Cut-off time is the time limit that all orders delivered before the limit are guaranteed for the delivery within the very next day. Extending cut-off time for express service centers can provide the express company with increase of total sales, but it may also cause increasing the possibility not to satisfy customer needs due to work delay in the consolidation terminal.

We develop a design model for express courier service network based on a recursive optimization/simulation procedure. With the optimization model, we seek key design parameters such as the cut-off time for express service centers and the capacity of the consolidation terminal maximizing total sales profit while satisfying the desired level of performances. With the simulation model, we consider the dynamic nature of the network and obtain relationships between the design parameters and the performance measures with the multiple linear regression. The validity of the model is examined with an example.

**Keywords:** Express Courier Service Network, Cut-off Time, Capacity, Consolidation Terminal, Recursive Optimization/Simulation Procedure

### 1. 서론

긴급 우편 또는 소포 등의 특송 정도에서 최근 상거래의 변화 즉 전자상거래, TV 홈쇼핑, 통신판매의 활성화, 고객의 소화물 Door-to-Door 서비스 요청 급등으로 인해 택배 분야는 엄청난 매출 신장이 기대되는 분야이다. 국내의 경우도 택배시장의

증가세를 반영하듯 대형업체를 비롯하여 중소규모의 택배업체가 난립하고 있는 실정이며, 기존의 국내업체와 비교할 때 한 차원 높은 고객서비스를 제공하고 있는 해외의 전문택배업체도 기존의 국제 택배만의 서비스에서 국내 택배 진출도 고려하고 있는 실정이다. 따라서, 국내 택배업체가 선진 해외업체를 포함한 타 경쟁업체들과의 치열한 생존경쟁에서 살아남

이 논문은 2005년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2005-202-D00561).

<sup>†</sup> 연락저자 : 고창성, 608-736 부산시 남구 대연동 110-1, 경성대학교 산업공학과, Tel : 051-620-4724, Fax : 051-621-2454,

E-mail : csko@ks.ac.kr

2006년 11월 접수; 2007년 01월 수정본 접수; 2007년 02월 게재 확정.

기 위해서는 보다 효율적인 물류시스템 운영 및 고객서비스의 강화 전략이 강구되어야 할 것이다.

택배사업의 생산성과 서비스 향상은 화물터미널 운영방법과 밀접하게 연관되어 있다. 대부분의 택배업체에서는 수주마감시간(cut-off time) 동안 수주한 화물을 화물터미널로 일괄 운송하여 프로세스를 수행하는 것이 일반적이기 때문에, 영업소의 수주와 화물터미널의 운영은 밀접한 관련성을 가질 수밖에 없다. 여기서, 수주마감시간과 영업마감시간(closing time)은 구분되어야 한다. 영업소의 영업마감시간과 수주마감시간은 같은 경우도 있지만 상이한 경우가 많이 발생한다 즉, 수주마감시간은 익일 배송이 가능한 시간을 지칭하며 영업마감시간은 익일 배송 화물이 아니더라도 수주를 하기 위해 영업할 때의 마감시간을 말한다. 이 경우의 화물은 일반적으로 다음날 화물터미널로 이송되는데, 이로 인해 고객들이 타 택배업체로 거래처를 바꾸게 되는 상황이 발생할 가능성이 크기 때문에 가능한 수주마감시간을 증가시키기를 원한다 만일, 수주마감시간을 증가시키게 되면 매출액 증가를 기대할 수 있지만, 반대로 화물터미널의 작업 지연을 유발할 가능성이 있어 정식 고객서비스 제공에 어려움을 겪을 수 있다.

화물터미널의 경우는 초기 시설 구축비에 많은 비용을 투자해야 되는데, 실제 터미널의 가용성을 살펴보면 일부 시간에 만 집중적으로 화물이 도착하여 운영되기 때문에 가동율이 떨어지는 화물터미널의 초기 작업시간에 화물 도착을 고려한 수주마감시간 조정이 전체 매출액 증진에 효과가 있을 것이다. 또한, 계속적으로 화물터미널의 수주량이 증가할 경우 용량 증가에 따른 추가 비용은 발생하지만 이를 상쇄할 매출이익이 발생할 경우 충분히 화물터미널의 용량 증가를 하나의 전략으로 입안할 수 있을 것이다.

택배에 관한 연구는 타 연구 분야에 비교하여 많지 않으나 화물 집하 이슈와 관련해서는 많은 연구가 있었다. Powell (1986)은 미국 LTL 운송회사의 운송 네트워크 설계를 위한 수리적 접근방법을 제시하였으며, Hall(1987)은 운송비용 단축과 재고유지비용의 증대라는 집하의 trade-off 문제에 대한 개념 기초를 마련하였으며, Leung *et al.*(1990)은 지점 대 지점간의 운송문제를 순환경로로 해결하는 수리적 모형과 해법을 제시하였다. Min(1996)은 세 단계의 순서적 휴리스틱을 통해 화물터미널을 포함한 입지선정경로계획(location-routing) 문제를 해결하였다. 국내에서 수행된 연구로는 Kim *et al.*(2000)의 연구를 들 수 있다. 그들은 택배의 효율적 간선수송을 위해 순환경로, 단일 화물집중센터, 중계지점 활용 등의 세 가지 대안을 제시하고 실제 업체의 자료를 이용하여 대안들을 비교 평가하였다. Chung and Ko(2002)는 간선운송과 연계운송 비용의 합을 최소화 하는 화물터미널의 개수와 위치가 지정되어 있는 상황에서 전국의 영업소를 각 터미널에 할당하는 연구를 수행한 바 있다. 최근 Ko *et al.*(2003)은 화물터미널의 용량을 고정시킨 상황에서 각 영업소의 수주마감시간을 결정한 연구를 수행하였는데, 기본적으로 본 연구 수행의 기초 개념을 제공한

연구로 볼 수 있다. Ko and Min(2006)은 이전 연구를 확장시켜 화물터미널 용량 고정 제약을 완화시켜 결정변수로 하여 수주 마감시간과 터미널 용량을 동시에 결정할 수 있게 하였다 그러나, 이상의 두 연구는 각 영업소에서 발생하는 화물량과 터미널까지의 운송시간 등을 확정적인 값으로 하여 최적화 모형을 구축하고 이를 유전 알고리즘으로 해를 도출하였다. 그러나, 영업소의 화물량과 터미널까지의 운송시간은 당일의 사정에 따라 다양한 값을 갖게 되는 추계적 변수로 볼 수 있기 때문에 이를 고려한 최종 의사결정 과정이 요구된다 따라서, 이와 같은 문제들을 해결하기 위해 본 연구에서는 최적화시물레이션 반복기법을 적용하여 수주마감시간과 터미널 용량을 결정하였다.

최적화/시물레이션 반복기법은 최적화 기법이 갖는 시스템의 동적 특성을 파악하지 못하는 단점과 시물레이션 기법이 최적 해 도출에 대한 보장이 없는 단점을 보완하기 위해 제안된 설계기법이다. 이에 대한 선행 연구들에 대해 살펴보면 의료 시스템, 운송시스템 설계에 각각 활용한 Nolan and Sovereign (1972)과 Carlson *et al.*(1979)의 연구를 필두로 자동차고시시스템 설계에 Rosenbaltt *et al.*(1993), Hwang and Choi(2003) 등의 연구를 들 수 있으며 최근 Ko *et al.*(2006)의 물류-역물류 통합시스템 설계에도 이 기법을 적용시켰다. 택배 네트워크 설계 문제에 적용한 연구로서는 Cheung *et al.*(2001)이 홍콩 DHL의 서비스 네트워크 설계 사례 연구를 발표하였다. 이 연구에서는 서비스 영역과 서비스 신뢰성이라는 두 가지의 서비스 성능척도를 고려하여 네트워크 설계 문제를 다루었다.

## 2. 모형의 구축

### 2.1 최적화 모형

택배업체의 매출 이익을 극대화하는 영업소별 수주마감시간 결정과 화물터미널 용량 결정을 위한 수리적 모형을 구축하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 가정을 한다

- ① 터미널 운영시간은 고정되어 있다. 택배업체마다 시간의 차이는 있지만 일반적으로 오후 6시에서 7시경에 작업을 시작하며, 오후 12시에서 새벽 2시경에 작업이 마감된다.
- ② 각 영업소의 현 수주마감시간에서의 평균 수집 물량을 알고 있으며, 또한 각 영업소의 수주마감시간이 연장되면 평균물량의 일정 비율로 추가 수주가 가능하며, 이에 따른 물량 증가는 택배업체의 매출액 증대로 환산된다 반대로, 일부 영업소의 수주마감시간의 단축은 매출액 감소로 환산된다. 이때, 물량 증감에 따른 매출액 증감은 개당 금액에 비례하여 발생하는 것으로 가정한다.
- ③ 수주마감시간은 30분 단위로 연장하거나 단축하는데, 그 범위는 1시간 30분 단축부터 2시간 연장까지로 한다.
- ④ 영업소를 출발하여 화물터미널에 도착할 때까지 소요되는

이동시간은 출발시간대에 관계없이 일정하다

- ⑤ 영업소에서 화물터미널로 운반할 수 있는 화물의 양에 대한 제약은 없다. 즉 1대의 차량으로 처리하는 것으로 가정한다.
- ⑥ 영업소에서 화물 수주가 끝난 후 전산입력 및 연계차량에 화물을 상차하는데 소요되는 시간은 화물량에 비례하는 것으로 가정한다.

아울러, 모형 구축에 사용되는 주요 기호를 다음과 같이 정의한다.

- $j$  : 영업소 번호,  $j=1, 2, \dots, n$
- $X_j$  : 수주마감시간 증감분을 의미하며, 감소의 경우는 -1.5, -1, -0.5 시간의 세 가지와 증가의 경우는 0.5, 1, 1.5, 2 시간의 네 가지만을 고려한다. 모형에서는  $X_j$ 가 -3, -2, ..., 3, 4의 8가지 값을 갖게 되는데 각각 1.5시간 감소, 1시간 감소, ..., 1.5시간 증가, 2시간 증가를 의미한다
- $Y$  : 화물터미널의 용량 증가율을 의미하며 0%, 10%, 20%, ..., 70% 증가의 여덟 가지를 고려한다. 모형에서는  $Y$ 가 각각 0, 1, 2, ..., 7의 8가지 값을 갖는다.
- $f_j$  : 영업소  $j$ 의 현재 마감시간을 기준으로 한 평균 물량
- $F_j$  : 영업소  $j$ 의 마감시간을  $X_j$  만큼 변동시켰을 때의 물량  $F_j = f_j(1 + a_j \cdot X_j/2b_j)$

여기서,  $a_j$  는 단위시간당 영업소 물량 변화율로서 영업소 특성에 따라 각각 다른 값을 갖는다. 본 논문에서는 영업소 특성에 따라 A, B, C 로 분류할 때 각각 1, 1.5와 2의 세 종류 값을 갖는다. 또한  $b_j$ 는 영업소  $j$ 의 현재 일별 운영시간이다

- $\alpha$  : 단위 물량 증가에 따른 수익률
- $\beta$  : 화물터미널 용량 10% 증가시키는데 소요되는 비용
- $T_{AT_j}$  : 영업소  $j$  연계차량의 터미널 도착시간
- $T_{ST_j}$  : 영업소  $j$  연계차량이 화물터미널에서 하차작업을 시작하는 시간
- $T_{FT_j}$  : 영업소  $j$  연계차량이 화물터미널에서 하차작업을 완료하는 시간
- $ST$  : 화물터미널의 작업 시작 시간
- $L$  : 화물터미널 총작업시간
- $FT$  : 화물터미널 작업 완료 시간 ( $FT = ST + L$ )
- $PCA$  : 화물터미널 현재 시간당 처리용량

본 연구에서 다루는 모형은 택배업체의 매출이익 최대화를 위해 영업소별 수주마감시간과 화물터미널 용량을 결정하기 위한 정수계획모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } Z &= \alpha \sum_{j=1}^n (F_j - f_j) - \beta Y \\ &= \alpha \sum_{j=1}^n a_j \cdot f_j \cdot X_j / 2b_j - \beta Y \end{aligned} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^n f_j(1 + a_j \cdot X_j / 2b_j) \leq L \cdot PCA \cdot (1 + Y/10) \quad (2)$$

$$T_{ST_j} \geq ST \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$T_{FT_j} \leq FT \quad \text{for } j=1, \dots, n \quad (4)$$

$$X_j = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$Y = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \quad (6)$$

식 (1)은 목적함수로 매출이익을 최대화 하는 것으로 첫 번째 항은 추가 물량 증가에 따른 매출액 증가분을 나타내며 두 번째 항은 화물터미널 용량 증가에 따른 추가비용을 나타낸다. 제약조건으로는 식 (2)는 총 화물 수주량은 화물터미널 용량을 넘지 못한다는 것을 나타낸다. 이 식에서 좌변은 수주마감시간의 변동에 따른 영업소 화물수주량을 나타내며 우변은 증가된 화물터미널 처리 용량을 나타내고 있다. 식 (3)과 식 (4)는 모든 영업소의 화물터미널에서의 화물 처리는 화물터미널의 지정된 작업시간 내에서 처리된다는 것을 의미한다

상기 모형은 단순한 정수계획 모형으로 표현되어 있으나 화물터미널에서의 하차 작업이 FIFO와 단일 기계 스케줄링 문제에 의해 정의가 되기 때문에 실제로는 단순한 정수계획법 해법으로 해결하는 것은 불가능하다. 즉,  $T_{AT_j}$ 는 결정변수  $X_j$ 와 연계하여 나타낼 수 있으나, 반면에 터미널에서의 작업이 FIFO에 의해 수행되기 때문에  $T_{ST_j}$  값이 결정된 후 이의 크기에 따라 순차적으로  $T_{ST_j}$ 가 결정된다. 따라서, 모형에서 터미널에서의 작업 시작시간  $T_{ST_j}$ 와 작업 종료시간  $T_{FT_j}$ 을  $T_{AT_j}$ 와 결정변수  $X_j$ 와 연계하여 나타낼 수가 없다.

따라서, 본 연구에서는 상기 모형을 풀기 위해 유전 알고리즘에 기초한 알고리즘을 활용하여 해를 도출한다(Ko and Min, 2006).

### 2.2 시뮬레이션 모형

최적화 모형에서 도출한 수주마감시간 증감분과 화물터미널 용량 증가분을 통해 터미널과 영업소간의 네트워크를 설계했을 때, 실제 이를 현장에 적용했을 때의 타당성을 살펴보기 위하여 본 연구에서는 두 개의 평가척도를 선정하였다. 첫 번째 평가척도는 AWT(Average Waiting Time: 평균 대기시간)로서 영업소의 연계차량이 터미널에 도착하여 하차작업을 시작할 때까지 기다리는 시간의 전체 평균값을 나타내며, 두 번째 평가척도 ALT(Average Lateness Time: 평균 지연시간)은 터미널의 작업 완료시간이 계획된 시간보다 지연되었을 때 이들 시간의 평균값을 나타낸다. 평가척도 AWT와 ALT값은 시뮬레이션 결과를 통해 계산되었으며, 시뮬레이션 프로그램은 C++을 이용하여 개발하였다. 시뮬레이션 모형에 대한 과정과 운영 상황은 다음과 같다.

- ① 화물터미널 내에서의 영업소별 화물 처리 순서는 터미널

도착시간을 기준으로 FIFO 원칙에 따라 한 대씩 순차적으로 처리된다.

- ② 개별 영업소 수집 물량과 터미널까지의 이동시간은 일양분포를 하고 있으며, 또한 분포의 하한, 상한의 값을 알고 있다
- ③ 화물터미널에 도착한 차량이 터미널 작업시작 이전에 도착했을 경우, 터미널 작업 개시까지 터미널에서 대기한다

시뮬레이션 모형에 대한 주요 입력자료는 최적화 모형의 주요 입력자료와 모형의 결과로 얻은 수주마감시간 증감분과 화물터미널 용량 증가분을 반영한 네트워크 자료가 된다 또한, 시뮬레이션 수행 결과를 이용한 다중 선형 회귀분석을 활용하여 두 개의 평가척도의 값을 추정한다

### 3. 해법 절차

일련의 시뮬레이션을 반복 수행함으로써 수주마감시간 증감분  $X_j$ 와 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 의 설계 모수와 평가척도 AWT와 ALT간의 연관성을 나타내는 함수를 추정할 수 있다. 그러면, 추정된 함수를 최적화 모형의 제약조건으로 추가한다. 제약조건이 추가된 최적화 모형의 해를 새로이 도출하고, 이 결과를 시뮬레이션 모형을 통해 평가척도값을 추정하여 적합성을 검증한다. 만일 척도값이 지정수준을 만족할 경우 반복절차는 종료되며, 그렇지 못할 경우 계속적으로 반복 수행된다. 구체적인 수행절차는 다음과 같다.

**Step 1 :** 영업소와 터미널의 주요 입력자료를 최적화 모형에 대입하여 유전 알고리즘을 통해 최대 이익을 주는 설계 모수값을 구한다. 다음으로 최적화 모형의 결과를 활용하여 시뮬레이션을 수행한다. 만일 시뮬레이션 결과로 생성된 두 개의 평가척도 값이 지정수준을 만족하면 종료하며, 계속 진행한다.

**Step 2 :** 수주마감시간 증감분  $X_j$ 와 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 를 인자로 평가척도 AWT와 ALT를 측정치로 하는 실험계획(Experimental Design)을 세운다. 인자인  $X_j$ 의 수가 많기 때문에 실험 회수를 최소화 하면서도 효율적 분석이 가능한 방법을 사용하였는데 구체적인 절차는 아래와 같다.

1. 다구치 방법을 활용하여 인자 중 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 를 제외하고 수주마감시간 증감분  $X_j$ 만을 대상으로 실험계획안을 수립한다. 이 경우 최소한의 실험회수로  $X_j$  중 평가척도에 영향을 주는 요소를 찾을 수 있다.
2. 1에서 평가척도에 영향을 주는  $X_j$ 와  $Y$  각각에 대해 주위의 값 2개의 수준을 정의하여 실험계획을 수립한다.

**Step 3 :** Step 2의 실험계획에 의해 정해진 각 수준에 대해 시뮬레이션을 수행한다.

**Step 4 :** 다중 선형 회귀분석을 시뮬레이션 결과에 적용하여 수주마감시간 증감분  $X_j$ 와 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 의 설계 모수와 평가척도 AWT와 ALT간의 선형회귀식을 찾는다.

**Step 5 :** Step 2에서 얻어진 AWT와 ALT의 회귀식이 지정수준을 만족해야 한다는 두 개의 제약조건을 만들어 이를 최적화 모형에 추가한다(반복상황에서 이 제약조건은 계속 갱신된다).

**Step 6 :** Step 3에서 얻어진 두 개의 제약조건을 추가한 최적화 모형의 해를 도출한다.

**Step 7 :** Step 4의 결과를 활용하여 시뮬레이션을 수행한다. 만일, 만족시키지 못하면 Step 2로 가서 절차를 계속한다.

<Figure 1>은 이상의 최적화시뮬레이션 반복기법의 전 과정을 도식화하여 나타내고 있다.

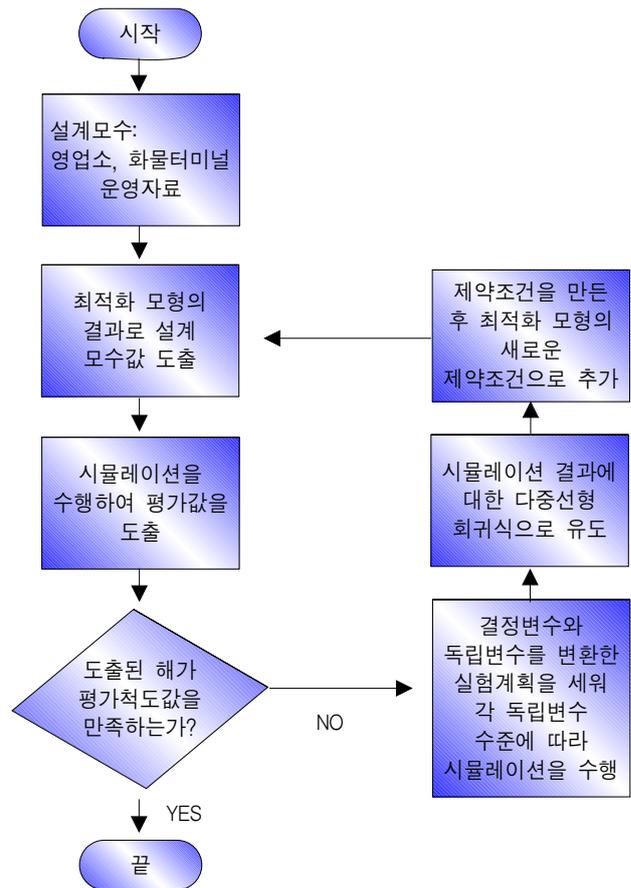


Figure 1. Recursive Optimization/Simulation Procedure

### 4. 예제 수행

개발된 탐색적 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 국내 A 택배회사의 실제 운영 자료를 기초하여 축소된 예제 문제를 생

성시켜 알고리즘을 적용하였다.

화물터미널에서는 19:00에 작업이 시작하며, 화물 처리능력은 시간당 10,000개(개당 0.006분)를 처리할 수 있는 것으로 가정하였다. 또한,  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 비율은 1:300으로 하였는데, 이는 단위물량 증가에 따른 수익률  $\alpha$ 와 화물터미널의 용량 증가에 소요되는 초기 투자비용 및 일간운영비를 나타내는  $\beta$ 를 내용년수 동안 시간적 가치를 고려하여 비교해야 하기 때문에 예측보다는  $\beta$ 의 값이 작게 나온다. 또한, 대상 업체는 현재 화물터미널에서의 작업 지연으로 말미암아 간선차량 출발시간이 지연되어 결국 고객에 대한 화물 배달 서비스율이 떨어지고

있다. 이를 개선하기 위해 작업 완료시간을 24:00에 맞추는 것을 고려하고 있어, 이에 대해 최적화/시뮬레이션 반복기법을 적용하였다.

<Table 1>은 A 택배회사의 영업소와 화물터미널에 대한 자료로서 현재 모든 영업소는 오전8시에 업무를 시작하여 오후 6시에 수주시간을 마감하는 것으로 가정하였다. 아울러, Ko and Min(2006)이 제시했던 알고리즘의 수행 결과인 수주마감 시간 증감분  $X_j$ 와 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 의 값이 나와 있다. 아울러,  $X_j$  값에 따른 30개 영업소의 터미널 도착시간과 작업 완료시간을 보여주고 있다.

**Table 1.** The GA Test Results by 24 : 00 Closing Time(Ko and Min, 2006)

(1) Service Center	(2) f	(3) Type	Test Results (FT = 24 : 00)				
			(4) X	(5) F	(6) T_AT	(7) T_ST	(8) T_FT
1	350	B	4	455	20:57	20:57	20:59
2	700	B	4	910	21:09	21:14	21:18
3	800	B	3	980	21:07	21:07	21:10
4	1100	B	2	1265	20:53	20:53	20:57
5	1050	A	2	1155	21:09	21:18	21:22
6	2500	C	2	3000	21:30	21:31	21:43
7	1100	C	4	1540	22:39	22:39	22:45
8	1500	C	3	1950	22:07	22:07	22:15
9	1900	C	4	2660	22:44	22:45	22:55
10	1000	B	1	1075	21:08	21:10	21:14
11	900	C	2	1080	21:44	21:52	21:56
12	750	A	1	787.5	21:18	21:22	21:25
13	650	C	2	780	21:55	21:56	21:59
14	950	B	2	1092.5	21:56	21:59	22:03
15	1550	A	1	1627.5	21:24	21:25	21:31
16	1250	B	4	1625	23:04	23:05	23:11
17	900	B	2	1035	22:03	22:03	22:07
18	1250	C	4	1750	23:14	23:22	23:28
19	850	C	2	1020	22:13	22:18	22:22
20	2750	B	2	3162.5	22:18	22:22	22:34
21	1000	B	2	1150	22:29	22:34	22:38
22	2250	B	3	2756.25	23:10	23:11	23:22
23	650	A	0	650	21:38	21:50	21:52
24	2300	C	2	2760	22:52	22:55	23:05
25	2200	B	3	2695	23:35	23:50	24:00
26	550	A	-1	522.5	21:31	21:43	21:44
27	1550	A	-1	1472.5	21:35	21:44	21:50
28	900	A	0	900	22:12	22:15	22:18
29	2300	C	2	2760	23:27	23:28	23:38
30	2500	C	2	3000	23:35	23:38	23:50
Total	40000			47616.25	(Y = 6; 60% increase)		

이들의 결과를 현장 적용성을 검증하기 위하여 시뮬레이션 모형을 만들고 이를 수행하였다. 영업소의 변동된 일별 물량  $F_j$  와 이동시간  $TR_j$  가 일양분포를 따르는 것으로 했으며, 상한과 하한은 각각 최적화 모형에서의 사용되었던 값의  $\pm 20\%$  를 사용하였다. 평가척도 AWT와 ALT의 만족 여부를 결정하는 지정수준은 각각 0.03시간, 0.03시간으로 정하였다. 30일 동안 시뮬레이션을 수행한 결과는 AWT = 0.0022시간과 ALT = 0.0450시간이 되어 AWT는 만족하나 ALT는 만족하지 못하였다.

수주마감시간 증감분  $X_j$ 와 화물터미널 용량 증가분  $Y$ 의 결정변수와 AWT와 ALT의 평가척도 간의 관계식을 도출하기 위해 우선적으로 <Table 2>와 같이 실험계획을 수립하고 각각에 대해 시뮬레이션을 수행하여 AWT와 ALT를 계산하였다. <Table 2>에서는  $X_j$  만을 대상으로 하여 이들 중 AWT와 ALT

에 영향을 주는 인자를 찾아내기 위한 것이다. 30개의  $X_j$  가 존재하지만 다구치 실험계획에 의거하여 실험은 32회 만을 수행하였으며, 실험 결과들을 Minitab을 이용한 다구치 실험 분석 중 신호 대 잡음비의 주 효과 플롯에 의거하여 분석한 결과 AWT에는  $X_{25}, X_{29}, X_{30}$  그리고 ALT에는  $X_{29}, X_{30}$  이 영향을 주는 인자로 선택되어, 최종적으로  $X_{25}, X_{29}, X_{30}$  와  $Y$  를 주요 인자로 선정하여 이들과 AWT와 ALT의 관계식을 구하기 위한 실험계획을 수립하였다. <Table 3>은 <Table 2>의 결과 분석을 통해 획득한  $X_{25}, X_{29}, X_{30}$  와 추가적으로  $Y$  에 대해 2개의 수준을 정해 AWT와 ALT를 측정하기 위한 실험계획과 각각에 대한 시뮬레이션 결과 값을 보여주고 있다. 이들 결과를 회귀분석을 통해 분석한 결과 AWT와 인자  $X_{25}, X_{29}, X_{30}$  와  $Y$  의 선형식에서는  $X_{25}$  가  $p\text{-value} = 0.2163$ 으로 큰 값이 나와 최종적으로 탈락되었다.

Table 2. Taguchi Experimental Design and Simulation Results

Experiment No.	Service Center																														AWT	ALT
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	3	3	2	1	1	1	3	2	3	0	1	0	1	1	0	3	1	3	1	1	1	2	-1	1	2	-2	-2	-1	1	1	0.00222717	0
2	3	3	2	1	1	1	3	2	3	0	1	0	1	1	0	5	3	5	3	3	3	4	1	3	4	0	0	1	3	3	0.00137026	0.295628
3	3	3	2	1	1	1	3	4	5	2	3	2	3	3	2	3	1	3	1	1	1	2	-1	3	4	0	0	1	3	3	0.00094639	0.297002
4	3	3	2	1	1	1	3	4	5	2	3	2	3	3	2	5	3	5	3	3	3	4	1	1	2	-2	-2	-1	1	1	0.00269918	0.00144997
5	3	3	2	3	3	3	5	2	3	0	1	2	3	3	2	3	1	3	1	3	3	4	1	1	2	-2	-2	1	3	3	0.00093932	0.27304
6	3	3	2	3	3	3	5	2	3	0	1	2	3	3	2	5	3	5	3	1	1	2	-1	3	4	0	0	-1	1	1	0.00121965	0.0618938
7	3	3	2	3	3	3	5	4	5	2	3	0	1	1	0	3	1	3	1	3	3	4	1	3	4	0	0	-1	1	1	0.00249174	0.0640979
8	3	3	2	3	3	3	5	4	5	2	3	0	1	1	0	5	3	5	3	1	1	2	-1	1	2	-2	-2	1	3	3	0.00080681	0.27767
9	3	5	4	1	1	3	5	2	3	2	3	0	1	3	2	3	1	5	3	1	1	3	1	2	0	0	-1	1	3	0.00107291	0.205481	
10	3	5	4	1	1	3	5	2	3	2	3	0	1	3	2	5	3	3	1	3	3	2	-1	3	4	-2	-2	1	3	1	0.00083529	0.164771
11	3	5	4	1	1	3	5	4	5	0	1	2	3	1	0	3	1	5	3	1	1	4	1	3	4	-2	-2	1	3	1	0.0012329	0.168254
12	3	5	4	1	1	3	5	4	5	0	1	2	3	1	0	5	3	3	1	3	3	2	-1	1	2	0	0	-1	1	3	0.00139864	0.205481
13	3	5	4	3	3	1	3	2	3	2	3	2	3	1	0	3	1	5	3	3	3	2	-1	1	2	0	0	1	3	1	0.00140205	0.112592
14	3	5	4	3	3	1	3	2	3	2	3	2	3	1	0	5	3	3	1	1	1	4	1	3	4	-2	-2	-1	1	3	0.00120358	0.240422
15	3	5	4	3	3	1	3	4	5	0	1	0	1	3	2	3	1	5	3	3	3	2	-1	3	4	-2	-2	-1	1	3	0.00109955	0.234605
16	3	5	4	3	3	1	3	4	5	0	1	0	1	3	2	5	3	3	1	1	1	4	1	1	2	0	0	1	3	1	0.00074412	0.114894
17	5	3	4	1	3	1	5	2	5	0	3	0	3	1	2	3	3	3	3	1	3	2	1	1	4	-2	0	-1	3	1	0.000889	0.163904
18	5	3	4	1	3	1	5	2	5	0	3	0	3	1	2	5	1	5	1	3	1	4	-1	3	2	0	-2	1	1	3	0.00140013	0.210356
19	5	3	4	1	3	1	5	4	3	2	1	2	1	3	0	3	3	3	3	1	3	2	1	3	2	0	-2	1	1	3	0.00154931	0.205481
20	5	3	4	1	3	1	5	4	3	2	1	2	1	3	0	5	1	5	1	3	1	4	-1	1	4	-2	0	-1	3	1	0.00137853	0.173211
21	5	3	4	3	1	3	3	2	5	0	3	2	1	3	0	3	3	3	3	3	1	4	-1	1	4	-2	0	1	1	3	0.00149472	0.240422
22	5	3	4	3	1	3	3	2	5	0	3	2	1	3	0	5	1	5	1	1	3	2	1	3	2	0	-2	-1	3	1	0.00088967	0.112592
23	5	3	4	3	1	3	3	4	3	2	1	0	3	1	2	3	3	3	3	3	1	4	-1	3	2	0	-2	-1	3	1	0.00095205	0.114894
24	5	3	4	3	1	3	3	4	3	2	1	0	3	1	2	5	1	5	1	1	3	2	1	1	4	-2	0	1	1	3	0.00084346	0.234605
25	5	5	2	1	3	3	3	2	5	2	1	0	3	3	0	3	3	5	1	1	3	4	-1	1	4	0	-2	-1	3	3	0.00127743	0.293741
26	5	5	2	1	3	3	3	2	5	2	1	0	3	3	0	5	1	3	3	3	1	2	1	3	2	-2	0	1	1	1	0.002348	0
27	5	5	2	1	3	3	3	4	3	0	3	2	1	1	2	3	3	5	1	1	3	4	-1	3	2	-2	0	1	1	1	0.00172528	0.00144997
28	5	5	2	1	3	3	3	4	3	0	3	2	1	1	2	5	1	3	3	3	1	2	1	1	4	0	-2	-1	3	3	0.00080156	0.297002
29	5	5	2	3	1	1	5	2	5	2	1	2	1	1	2	3	3	5	1	3	1	2	1	1	4	0	-2	1	1	1	0.00204999	0.0610271
30	5	5	2	3	1	1	5	2	5	2	1	2	1	1	2	5	1	3	3	1	3	4	-1	3	2	-2	0	-1	3	3	0.00080587	0.27304
31	5	5	2	3	1	1	5	4	3	0	3	0	3	3	0	3	3	5	1	3	1	2	1	3	2	-2	0	-1	3	3	0.00122835	0.27767
32	5	5	2	3	1	1	5	4	3	0	3	0	3	3	0	5	1	3	3	1	3	4	-1	1	4	0	-2	1	1	1	0.00207595	0.0671666

**Table 3.** Experimental Design by  $X_{25}$ ,  $X_{29}$  and  $X_{30}$  and Simulation Results

Experiment No.	Service Center																														Y	AWT	ALT
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
1	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	1	1	5	0.00431042	0
2	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	1	3	5	0.00231722	0.210091
3	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	3	1	5	0.00133547	0.116187
4	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	3	3	5	0.00120054	0.284048
5	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	1	1	5	0.0027534	0.0635911
6	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	1	3	5	0.00140495	0.240923
7	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	3	1	5	0.00144505	0.170216
8	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	3	3	5	0.00125141	0.304902
9	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	1	1	7	0.00264093	0
10	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	1	3	7	0.0010982	0.201414
11	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	3	1	7	0.00057372	0.1009975
12	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	2	-1	-1	0	3	3	7	0.0005062	0.272042
13	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	1	1	7	0.00152862	0.0589275
14	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	1	3	7	0.00077728	0.22903
15	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	3	1	7	0.00088577	0.159275
16	4	4	3	2	2	2	4	3	4	1	2	1	2	2	1	4	2	4	2	2	2	3	0	2	4	-1	-1	0	3	3	7	0.0008054	0.290031

**Table 4.** Results of Recursive Optimization/Simulation Procedure

(1) Service Center	(2) f	(3) Type	Test Results (FT = 24:00)				
			(4) X	(5) F	(6) T_AT	(7) T_ST	(8) T_FT
1	350	B	4	455	20:57	20:57	20:59
2	700	B	4	910	21:09	21:12	21:16
3	800	B	4	1040	21:39	21:48	21:52
4	1100	B	2	1265	20:53	20:53	20:57
5	1050	A	2	1155	21:09	21:16	21:20
6	2500	C	2	3000	21:30	21:30	21:42
7	1100	C	4	1540	22:39	22:47	22:52
8	1500	C	3	1950	22:07	22:09	22:16
9	1900	C	4	2660	22:44	22:56	23:06
10	1000	B	1	1075	21:08	21:08	21:12
11	900	C	2	1080	21:44	21:52	21:56
12	750	A	1	787.5	21:18	21:20	21:23
13	650	C	2	780	21:55	21:56	21:59
14	950	B	2	1092.5	21:56	21:59	22:03
15	1550	A	1	1627.5	21:24	21:24	21:30
16	1250	B	4	1625	23:04	23:26	23:33
17	900	B	1	967.5	21:31	21:42	21:45
18	1250	C	4	1750	23:14	23:43	23:49
19	850	C	2	1020	22:13	22:16	22:20
20	2750	B	2	3162.5	22:18	22:20	22:32
21	1000	B	1	1075	21:56	22:03	22:07
22	2250	B	3	2756.25	23:10	23:33	23:43
23	650	A	0	650	21:38	21:45	21:48
24	2300	C	2	2760	22:52	23:06	23:16
25	2200	B	3	2695	23:35	23:49	24:00
26	550	A	0	550	22:03	22:07	22:09
27	1550	A	1	1627.5	22:38	22:40	22:47
28	900	A	1	945	22:43	22:52	22:56
29	2300	C	0	2300	22:21	22:32	22:40
30	2500	C	1	2750	23:02	23:16	23:26
Total	40000				47051.25 (Y= 6; 60% increase)		

<Table 3>의 시뮬레이션을 수행한 결과를 통해 도출한 AWT와 ALT에 대한 다중 선형식은 다음과 같다

$$AWT = -0.0006X_{29} - 0.0004X_{30} - 0.0005Y + 0.0061$$

(상관계수 = 0.8352) (7)

$$ALT = 0.0434X_{29} + 0.0852X_{30} - 0.0049Y - 0.0589$$

(상관계수 = 0.9684) (8)

또한, AWT와 ALT가 각각 0.03 이하이어야 한다는 식 즉,  $AWT \leq 0.03$ 과  $ALT \leq 0.03$ 의 두 개의 제약조건을 만들어 이를 최적화 모형에 추가하고 이전 과정을 반복 수행하였다. 수행 결과는 첫 반복 단계에서  $AWT \leq 0.03$ 과  $ALT \leq 0.03$ 의 두 개식을 최적화 모형에 추가한 후 결과가 <Table 4>에 나와 있으며, 이를 시뮬레이션을 통해 평가하였을 때  $AWT = 0.027$ 시간,  $ALT = 0.019$ 시간을 얻어 두 개의 평가척도값을 만족한 최종해를 보여주고 있다. 이 표에서 음영 부분은 두 개의 제약조건을 추가하여 얻어진 해를 <Table 1>과 비교하였을 때  $X_j$ 의 값이 변한 것만 보여주고 있다. 이 때 총 물량은 47,051.25로서 현재보다 물량이 17.6% 증가되었으며, 반면 추가적으로 60%의 화물터미널 용량 증가를 위한 투자를 요구하게 된다 <Table 1>의 결과와 비교하면 565개의 물량 감소를 보이고 있으나 시뮬레이션을 통해 AWT와 ALT를 만족하고 있어 <Table 4>의 결과를 바로 현장에 적용할 수 있다.

## 5. 결론

택배시장 규모가 급속도로 신장됨에 따라 국내외 택배업체의 경쟁이 날로 치열해지고 있다. 이에, 국내 택배업체가 선진 해외업체를 포함한 타 경쟁업체들과의 치열한 생존경쟁에서 살아남기 위한 전략의 일환으로 본 논문에서는 화물터미널의 용량과 영업소의 주주마감시간을 조정함으로써 택배업체의 매출액을 증대시키는 접근 방법이 필요하며, 또한 이의 결과를 현장에 바로 적용할 수 있어야 한다는 목표 하에 최적화시뮬레이션 반복기법을 적용한 화물터미널의 용량과 영업소의 주주마감시간을 결정하는 방법론을 제시하였다. 이 기법을 적용함으로써 최적화 기법만을 적용시켰을 시 발생할 수 있는 시스템 운용상의 문제점을 사전에 예측하고 시스템의 동적 특성을 파악하면서 또한 이를 고려한 최적해를 도출할 수 있는 장점을 갖게 된다. 아울러, 본 연구와 같이 결정변수가 많은 경우에도 다구치 실험계획을 활용하여 단계적으로 시스템에 가장 의미 있는 변수만을 선정하여 최적화시뮬레이션 반복기법을 적용하는 절차도 소개하였다.

이상의 접근 방법을 통해, 택배 매출 이익 증대 외에 터미널에서의 작업스케줄을 예측할 수 있게 되어 최대한 영업소 연계차량의 대기시간을 단축시킴으로써 차량 운행기사의 작업 만족도를 최대한 높일 수 있는 부가 이익도 기대할 수 있을 것

이다. 추후 본 연구의 실제 적용 가능성을 검증하기 위해서는 축소된 예제 문제보다는 택배업체의 실제 사례에 대해 본 연구의 접근 방법을 적용하는 것이 필요하다. 또한, 대부분의 택배업체에서 복수의 택배 터미널을 활용하고 있으며 이들이 유기적으로 연계되어 운영되고 있는 상황에서 영업소의 주주마감시간과 복수의 택배 터미널 용량을 결정하는 연구를 본 연구 결과를 활용하여 수행하는 것을 추후 연구과제로 제안한다.

## 참고문헌

- Carlson, R. C., Hershey J. C., and Kropp D. H. (1979), Use of optimization and simulation models to analyze outpatient health care settings, *Decision Science* **10**, 412-433.
- Chung K. H. and Ko, C. S. (2002), Allocation problem in door to door delivery service network, *Proceeding of 2002 KIIIE/KORMS Spring Joint Conference*.
- Cheung W., Leung L. C., and Wong, Y. M. (2001), Strategic service network design for DHL Hong Kong, *Interfaces* **31**(4), 1-14.
- Hall, R. W. (1987), Consolidation strategy : inventory, vehicles and terminals, *Journal of Business Logistics* **8**(2), 57-73.
- Hwang, H. and Choi, D. W. (2003), Economic design of multi-carousel system based on a recursive optimization/simulation procedure, *International Journal of Industrial Engineering* **10**(4), 449-454.
- Kim, W. J., Lim, S. M., and Park, S. D. (2000), Truck scheduling for linehaul operations with small amount of shipment, *Interfaces* **13**(3), 471-478.
- Ko, C. S. and Min, H. (2006), The determination of terminal capacity and cut-off for express courier services, *Korean Journal of Logistics* **14**(1), 43-58.
- Ko, C. S., Moon, D. H., Ko, H. J., and Lee, H. J. (2003), Determination of cut-off time for express service centers according to operational characteristics of consolidation terminal, *IE Interfaces* **16** (Special Edition), 99-104.
- Ko, H. J., Ko, C. S., and Kim, T. (2006), A hybrid optimization/simulation approach for a distribution network design of 3PLs, *Computers and Industrial Engineering* **50**, 440-449.
- Leung, L., Magnanti, T., and Singhal, V. (1990), Routing in point-to-point delivery systems: formulations and solution heuristics, *Transportation Science* **24**(4), 245-260.
- Min, H. (1996), Consolidation terminal location-allocation and consolidated routing problems, *Journal of Business Logistics* **17**(2), 235-263.
- Nolan, R. L. and Sovereign, M. G. (1972), A recursive optimization and simulation approach to analysis with an application to transportation systems, *Management Science* **18**, 676-690.
- Powell, W. (1986), A Local improvement heuristic for the design of less-than-truckload motor carrier networks, *Transportation Science* **20**(4), 246-257.
- Rosenblatt, M. J., Roll, Y. and Zyser, V. (1993), A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems, *IIE Transactions* **25**(1), 40-50.