

택배산업의 네트워크 최적화에 관한 연구

A Study on Network Optimization of Parcel Service Industry

조용훈 Jo Yonghun	서울시립대학교 교통공학과 석사과정(제1저자) Master Student, Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul(Primary Author) (yohan-yh@uos.ac.kr)
박동주 Park Dongjoo	서울시립대학교 교통공학과 교수 Prof., Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul (djpark@uos.ac.kr)
박형준 Park Hyeongjun	서울시립대학교 교통공학과 박사과정 Doctoral Student, Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul (ultra9@uos.ac.kr)
박찬익 Park Chanik	한진물류연구원 수석연구원 Assistant Principal Researcher, Hanjin Logistics Institute (ramchan@empal.com)
엄인섭 Um Insup	한진물류연구원 선임연구원 Senior Researcher, Hanjin Logistics Institute (isum@hanjin.co.kr)

목 차

- I. 서론
- II. 이론 및 기존 연구 고찰
 - 1. 택배산업의 특성
 - 2. 기존 연구 고찰
 - 3. 기존 연구와 차별성
- III. 수리적 모형 구축
 - 1. 수리적 모형 구축의 전제조건
 - 2. 문제의 정의
 - 3. 수리적 모형의 구축
- IV. 네트워크 최적화 결과 및 검증
 - 1. 기초자료 구축
 - 2. Heuristic 방법론 적용
 - 3. 네트워크 최적화 결과
 - 4. 네트워크 최적화 결과 검증
- V. 결론

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임
(NRF-2011-0016970).

I. 서론

1992년도 우리나라에 도입된 택배산업은 온라인 쇼핑, 홈쇼핑 등의 전자상거래가 활성화되면서 급속히 성장하였다. 최근 개인 대 개인(customer to customer) 간의 화물운송이 증가함에 따라 택배서비스(parcel service)에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

택배산업은 무수히 많은 출발지와 목적지가 존재하며, 시설규모와 운송수요에 따라 다양한 네트워크 구조를 가진다. 따라서 신속한 집 배송과 운영비 절감을 위하여 효율적인 허브 네트워크를 구축하는 것이 중요하다. 그러나 대부분의 기업들이 물류거점의 적정 수, 위치 및 규모, 네트워크 전략, 운송수단 배차 등에 대한 상세한 분석 없이 경험에 의해 의사결정을 하고 있다. 효율적인 허브 네트워크를 구축하기 위해서는 수많은 터미널, 영업소 및 제약사항 등을 고려해야 한다. 따라서 대규모 물류 네트워크 구축을 위한 수리적 모형 및 방법론에 대한 다양한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 시나리오 분석을 통하여 허브 터미널의 개수와 위치를 간접적으로 결정하고, 허브 터미널에 각 서브 터미널을 할당하는 허브 네트워크 설계 문제를 다루고자 한다. 본 연구의 목적은 택배산업의 수송특성과 수송규모의 경제 효과를 반영하여 효율적인 허브 네트워크 설계를 위한 수리적 모형을 구축하는 것이다.

2장에서는 본 연구를 수행하기 위해 기반이 되는 택배산업의 특성, 수리적 모형 및 허브 네트워크 설계 문제에 관한 기존 연구를 정리하고, 3장에서는 기존 연구를 토대로 허브 네트워크 설계 문제를 풀기 위한 전제조건 및 목적함수를 설정하여 수리적 모형을 구축한다. 4장에서는 3장에서 구축된 수리적 모형의 해를 찾기 위해 최적화 사용 패키지인 LINGO를 활용하고, NP-hard 문제를 해결하기 위한

Heuristic 방법론을 제시한다. 마지막으로 5장에서는 연구로부터 도출된 종합적인 결론과 본 연구의 한계점 및 향후 연구 과제를 제시한다.

II. 이론 및 기존 연구 고찰

1. 택배산업의 특성

1) 택배산업의 개요

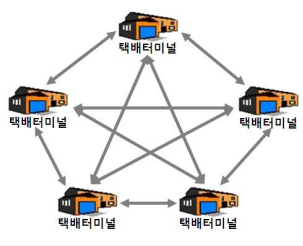
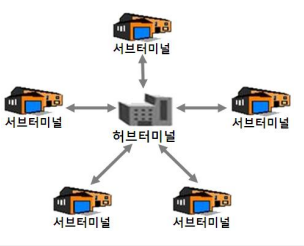
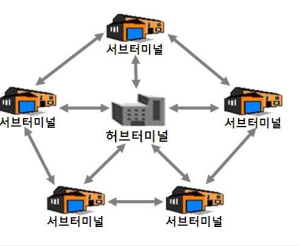
택배란 소형·소량의 운송물을 송하인의 주택, 사무실 또는 기타의 장소에서 수탁하여 수하인의 주택, 사무실 또는 기타의 장소까지 수송하여 인도하는 것을 말한다(택배 표준약관 제2조 제1항, 2007). 택배 화물은 가로, 세로 및 높이의 합이 160cm 이하(단, 최장변 100cm 이하)이며, 30kg 이하인 소형화물을 의미한다.

택배산업은 1989년 자동차운수사업법 개정을 통해 소회물 일관수송으로서 법제화가 이루어졌으나, 정부의 기업규제 완화의 일환으로서 1997년 법 개정이 이루어지면서 사실상 화물자동차 운송사업자라면 모두 별도의 허가 없이 영업할 수 있도록 하였다(박찬익, 2011).

택배산업의 특성은 택배서비스의 이용 측면과 운영 측면으로 구분할 수 있다. 이용 측면에서의 택배산업은 기본적으로 door to door service로서, 소형·소량의 화물을 대상으로 송하인이 지정한 장소에서 집하되어 수하인이 지정한 장소로 배송이 이루어진다.

운영측면에서 택배산업은 전국 어디에서나 집 배송이 이루어지는 전국 네트워크 물류서비스로서, 단 일품목에 대한 운송서비스가 대부분인 일반적인 물류서비스보다 다양한 화물이 혼재되어 운송된다. 또한 택배산업은 간선차량운행, 집하, 배송업무에 인력을 동원할 수밖에 없는 노동집약적 산업이다(강정훈, 2010).

표 1_ 택배네트워크 시스템 종류 및 장단점

구분	Point to Point	Hub and Spoke	절충형
운송 방식			
	<ul style="list-style-type: none"> • 거점에서 거점으로 직접운송 	<ul style="list-style-type: none"> • 허브 터미널로 집결 후 각 서브 터미널로 운송 	<ul style="list-style-type: none"> • Point to Point + Hub and Spoke
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 영업시간 확대 • 화물사고율 감소 • 작업원의 확보용이 • 운송시간 단축 • 성수기 물동량 분산 	<ul style="list-style-type: none"> • 물동량불균형 감소 • 터미널투자 감소 <ul style="list-style-type: none"> - 운영인력 감소 - 분류비용 감소 - 간선운송비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 물동량처리 가능 • 물동량변화 대응용이 • 목적지별 신속한 도착 • 선별적인 터미널투자 가능 (대도시 지역 중심)
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 터미널 투자 증가 <ul style="list-style-type: none"> - 터미널 부지 증가 - 운영인력 증가 - 분류비 증가 - 간선운송비용 증가 • 노무관리 효율성 감소 • 물동량 불균형 시 간선운행 효율성 감소(운행원가 증가) 	<ul style="list-style-type: none"> • 영업시간 단축 • 원거리지역 도착지연 • 대단위 규모시설 필요 • 성수기 분류지연으로 도착지연 	<ul style="list-style-type: none"> • P2P나 H&S의 단점 완전해소 불가능 <ul style="list-style-type: none"> - 분류비용 증가 - 화물사고율 증가 • 권역별 간선차량 증가 (간선운송비용 증가) • 소량 물동량의 경우 적용 불가능

2) 택배네트워크 시스템의 종류

택배화물은 무수히 많은 출발지와 목적지가 존재하기 때문에 전국 단위의 대규모 네트워크 구축이 필요하다. 또한 택배화물의 원활한 운송을 위해서는 물류거점마다 일정규모의 택배 터미널을 보유하고, 택배 터미널 내에는 화물분류기, 화물이동기구 및 상하차 작업에 필요한 많은 장비를 보유하고 있어야 한다(조경철, 2000).

택배네트워크 시스템에는 Point to Point 시스템, Hub and Spoke 시스템 및 절충형 시스템(Point to Point + Hub and Spoke)이 있다. Point to Point 시스템은 허브 터미널과 서브 터미널의 구분 없이 거점(택배 터미널)에서 거점(택배 터미널)으로 택배화물

을 직접 운송하는 형태로서, 택배 터미널에 집하되는 물동량이 충분할 경우 유리하지만, 물동량이 적은 경우 여러 택배 터미널을 경유하여 택배화물을 운송하여야 한다.

Hub and Spoke 시스템은 각 출발지 터미널에서 집하한 택배화물을 허브 터미널에 집결시킨 후 목적지별로 분류하여 도착지 터미널로 운송하는 형태로, 허브 터미널에서 중계-분류하는 시간이 소요되기 때문에 빠른 운송수단을 이용하거나 각 택배 터미널 간 거리가 비교적 단거리일 경우에 유리하다. 그러나 운송수단의 적재용량보다 물동량이 적을 경우 운송비 절감 및 운행효율화를 기대할 수 없다.

절충형 시스템은 Point to Point 시스템과 Hub and Spoke 시스템의 장점을 살려 택배 터미널 간 물동량

이 많은 경우에는 직접 운송하고, 물동량이 적거나 출발지 터미널과 도착지 터미널 간의 물동량이 불균형할 경우에는 허브 터미널로 중계하여 운송하는 형태로서 물동량 변화에 대한 대응이 용이하다. 하지만 두 가지 시스템의 단점을 완전히 해소할 수 없다.

네트워크 시스템은 시설규모와 운송수요를 고려하여 결정해야 한다. 물동량이 적은 사업 초기에는 Hub and Spoke 시스템이 적합하지만 사업의 규모가 커져 영업소가 세분화되면 절충형 시스템으로 전환하고, Point to Point 시스템의 경우도 필요에 따라 지역별 허브 터미널을 운영하는 것이 필요하다.

2. 기존 연구 고찰

허브 네트워크 최적화에 관한 연구는 다기준점 네트워크의 운영비용을 최소화하는 허브 터미널의 최적 입지(location)와 비허브 노드의 허브 노드 할당(allocation) 및 기준점별 최적 운송경로배정(assignment)을 결정하는 네트워크 설계문제이다. 대부분의 기존 연구들은 목적함수를 단순한 형태로 구성하고 근사 해를 도출하였으며(김동규 외, 2006), 대규모 물류 네트워크 문제에 대한 연구들은 시나리오 기반의 시뮬레이션 방법론을 이용하였다(이재구, 2011).

국내 허브 네트워크 설계에 관한 연구는 <표 2>와 같다. 윤문길(2000)은 단일연결계약하의 설비입지선정과 네트워크 설계 문제를 동시에 해결하기 위해 허브 노드와 링크상의 용량제약을 고려하지 않는 문제를 다루었다. 추창엽(2001)은 운송비용과 운송거리 최적화를 통해 최적 물류 네트워크 구축방향을 제시하였다. 정기호·고창성(2002)은 영업소들 간의 운송 물동량을 간선운송 물동량과 연계운송 물동량

표 2_ 국내 허브 네트워크 설계에 관한 연구

기존연구	할당정책	목적함수	용량제약	할인율	할인된 링크
윤문길(2000)	SA	T, H, L	N	N	-
추창엽(2001)	MA	T	HC, LC	N	-
정기호·고창성(2002)	SA	T	HC	N	-
정승주(2003)	MS	T, F	LC	N	-
김동규 외(2006)	SA	T, H, L, I, D	HC, LC	V	모든 링크
김동규 외(2009)	SA	T, H, L, I, D	HC, LC	V	모든 링크
진현웅(2010)	MA, MS	T, H	N	N	-
안영효 외(2010)	MA	T	HC	N	-
조한내(2010)	MA, MS	T	N	N	-

MA: 다중할당 SA: 단일할당 MS: 혼합전략
 F: 서비스빈도 H: 허브건설비용 L: 링크건설비용
 I: 재고비용 D: 처리비용 HC: 허브 용량제약
 LC: 링크용량제약 V: 가변할인율 T: 운송비용
 N: 미고려

으로 구분하여 택배 운송 네트워크를 설계하기 위한 수리적 모형을 구축하고 국내 택배업체를 대상으로 모형을 적용하였다. 정승주(2003)는 철도서비스 네트워크 디자인모형을 기초로 하여 대규모 네트워크를 효율적으로 해결할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 개발하고 그 유용성을 평가하였다. 김동규 외(2006)는 허브 네트워크에서 나타나는 운송규모의 경제효과를 분석하고, 운송특성들을 반영할 수 있는 허브 네트워크 설계모형을 개발하였다. 김동규 외(2009)는 다양한 비용요소와 제약조건들을 바탕으로 허브 터미널의 입지를 선정하고 비허브 노드들을 허브 터미널에 할당하는 최적화 모형을 개발하였다. 진현웅(2010)은 예산제약조건을 고려한 대규모 Hub and Spoke 네트워크 설계 문제를 해결하기 위하여 쌍대

문제 기반의 발견적 기법을 제안하였다. 안영호 외(2010)는 기업에서 광범위하게 활용할 수 있도록 다양한 변수를 고려하는 모형을 구축하여 물류체계의 개선방안과 중장기 물류체계 수립방법을 제시하였다. 조한내(2010)는 네트워크 모형을 활용한 최적화 기법을 통하여 물류거점의 경쟁관계를 고려한 화물터미널 물동량을 추정하였다.

국외 허브 네트워크 설계에 관한 연구는 <표 3>과 같다. O'elly(1987)는 최초로 허브입지모형을 이차정수계획모형으로 구축하였으며, 허브 간 비용할인 인자를 포함함으로써 허브 간 운송비용 절감효과를 반영하였다. Aykin and Brown(1992)은 새로운 시설의 입지에 따른 location-allocation 문제를 해결하기 위하여 다양한 알고리즘을 제시하였다.

Campbell(1994)은 네 가지의 허브입지모형(p -hub median problem, uncapacitated hub location problem, p -hub center problem, hub covering problem)을 해결하기 위한 정수계획모형을 개발하였다. Campbell(1996)은 단일할당과 다중할당의 허브입지 문제의 차이점을 강조하고, 단일할당문제를 해결하기 위한 새로운 휴리스틱 방법론을 제시하였으며 다중할당 허브입지 문제에서는 운송비용을 최소화되도록 하였다. Ernst and Krishnamoorthy(1996)는 선형계획법에 근거한 분기한정법(branch-and-bound)을 해결하기 위해 Simulated Annealing(SA)의 상한선(upper bound)를 이용하여 새로운 SA 알고리즘을 개발하고 효과를 분석하였다.

표 3_ 국외 허브 네트워크 설계에 관한 연구

논문명	할당 정책	목적 함수	용량 제약	할인율	할인된 링크
O'elly(1987)	S	T	N	C	허브 간
Klincicz(1991)	S	T	N	C	허브 간
Aykin and Brown (1992)	S	T	N	C	허브 간
Campbell(1994)	M/S	T(H, L)	N	C	허브 간
Skorin-Kapov and Skorin-Kapov (1994)	S	T	N	C	허브 간
Aykin(1994)	M	T, H	HC	C	모든 링크
Aykin(1995)	M/S	T, H	N	C	모든 링크
Campbell(1996)	M/S	T	N	C	허브 간
Ernst and Krishnamoorthy (1996)	S	T	N	C	허브 간
Klincicz(1996)	M	T, H	N	C	허브 간
Skorin-Kapov et al.(1996)	M	T	N	C	허브 간
Sohn and Park (1997)	M/S	T	N	N	-
Abdinnour-Helm and Venkataramanan (1998)	S	T, H	N	C	허브 간
Ernst and Krishnamoorthy (1998)	M	T	N	C	허브 간
O'Kelly and Bryan (1998)	M	T	N	V	허브 간
Horner and O'Kelly (2001)	S	T	N	V	모든 링크
Klincicz(2002)	M	T	N	V	허브 간
Racunica and Wynter(2005)	M	T, H	N	V	허브 간 허브-중점
Chang(2007)	M	T	N	V	모든 링크
Kim et al.(2007)	S	T, H, L, I, D	HC, LC	V	모든 링크

M: 다중할당 S: 단일할당 T: 운송비용
H: 허브건설비용 L: 링크건설비용 I: 재고비용
D: 처리비용 C: 상수할인율 V: 가변할인율
N: 미고려 HC: 허브 용량제약 LC: 링크 용량제약

출처: 김동규 외. 2009. 단일할당 복합운송 허브 네트워크 설계 모형 개발. 대한교통학회지 제27권 제1호. p132.

Skorin-Kapov et al.(1996)은 다중할당과 단일할당 p -hub median problem을 풀기 위하여 새로운 혼합 0/1 선형계획모형을 구축하였다.

O'Kelly and Bryan(1998)은 허브 간 링크에서 발생하는 규모의 경제를 반영하기 위하여 비선형 오목함수를 이용하여 FLOWOC 모형을 개발하였다. Klincsic(2002)는 O'Kelly and Bryan(1998)의 FLOWOC 모형을 대규모 문제에 적용할 수 있도록 Tabu search와 Greedy Random Adaptive Search Procedures(GRASP)를 기반으로 한 휴리스틱한 탐색방법을 적용하였다.

Racunica and Wynter(2005)는 화물철도에서 Hub and Spoke 네트워크의 복합운송을 고려하기 위하여 최적화모형을 개발하고, 규모의 경제를 반영하기 위하여 운송량 지수함수를 구축하였다. Chang(2008)은 운송수단, 운송시간 및 규모의 경제를 포함하는 수리적 모형을 개발하였고 운송구조에 따른 다양한 비용절감효과를 반영하였다.

3. 기존 연구와 차별성

본 연구와 기존연구의 차별성을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 운송비용뿐만 아니라 분류환적 비용(분류비용, 상·하차비용 등)을 고려할 수 있는 수리적 모형을 구축하였다. 둘째, 허브 간 링크에서 발생하는 비용절감 효과를 반영하기 위하여 비용할인 인자(α)를 적용하였다. 비용할인 인자는 변수의 개수와 제약식의 수를 줄여 현실적인 해를 도출하기 위하여 가변할인을 대신 상수할인을 적용하였다. 셋째, 택배산업의 특성을 분석하여 택배 터미널을 허브 터미널과 서브 터미널로 구분하고, 허브 터미널 관할권역의 발생량과 도착량을 고려하기 위하여 가상의 서브

터미널을 허브 터미널에 할당하였다.

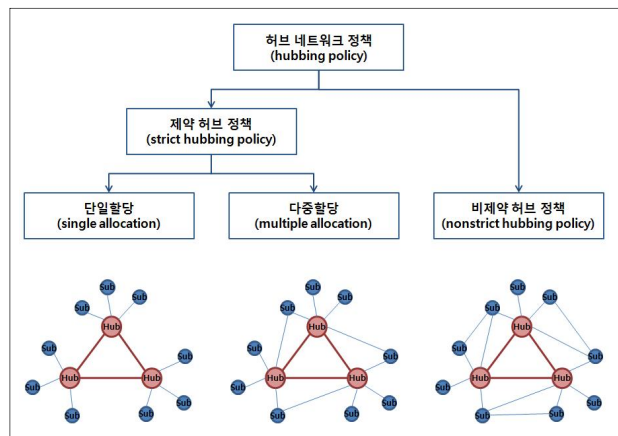
III. 수리적 모형 구축

1. 수리적 모형 구축의 전제조건

최적의 허브 입지와 비허브 노드의 할당, 그리고 운송 경로를 결정하는 허브 네트워크 설계 문제는 허브 네트워크 정책에 따라 서로 다른 모형식 구조를 가진다(Aykin, 1995). 허브 네트워크 정책은 기점 노드와 종점 노드 간 직결 서비스를 허용하는 비제한 허브 정책(nonstrict hubbing policy)과 모든 노드가 허브에 연결되어야 하는 제약 허브 정책(strict hubbing policy)으로 구분된다. 각 비허브 노드가 단지 하나의 허브에만 연결되는 경우를 단일할당(single allocation)이라 하며, 각 노드가 2개 이상의 허브에 연결될 수 있는 경우를 다중할당(multiple allocation)이라 한다(김동규 외, 2006).

허브 네트워크 정책 중 단일할당은 모형식의 구조가 간단하면서도 허브 네트워크의 기본적인 운송 특

그림 1_ 허브 네트워크 정책 개요



출처: 김동규 외, 2006. 수송 규모의 경제 효과를 고려한 단일할당 허브 네트워크 설계 모형의 개발. 대한토목논문집 제26권 제6호. p919.

성을 포함하고 있기 때문에 많은 선행연구에서 분석 대상이 되었다. 각 비허브 노드에서 발생한 물동량이 하나의 허브 노드로 운송되기 때문에 다중할당에 비하여 특정한 허브 노드 및 허브 간 링크로 물동량이 집중될 수 있으며 운송 규모의 경제 효과와 운송 시스템의 추가적인 비용요소 및 용량 제약 조건이 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 허브 네트워크 설계 모형을 단일할당으로 가정한다.

단일할당 네트워크에서는 1개 이상의 무수히 많은 허브를 경유할 수 있다. 그러나 택배네트워크에서는 3개 이상의 허브 터미널을 경유하지 않기 때문에 본 연구에서는 2개 이하의 허브 터미널을 경유하는 택배서비스를 분석 대상으로 한다.

Hub and Spoke 택배네트워크에서 발생하는 운송 수요는 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 허브 터미널 간 대형화물자동차에 의해 운송되는 간선운송이다. 둘째는 허브 터미널과 서브 터미널 간 중형화물자동차에 의해 운송되는 지선운송이다. 셋째는 서브 터미널에서 각 송화인·수화인 간 소형화물자동차에 의해 운송되는 집 배송이다.

서브 터미널 간 운송수요는 권역 내 운송수요와 권역 외 운송수요로 구분할 수 있다. 권역 내 운송수요는 허브 터미널의 권역 내에 속한 서브 터미널 간의 운송수요이고, 권역 외 운송수요는 서로 다른 허브 터미널의 권역에 속한 서브 터미널 간의 운송수요다.

본 연구에서는 여러 목적지를 경유하는 집 배송을 제외한 간선운송과 지선운송을 분석 대상으로 한다. H사의 경우 간선운송과 지선운송에서 각각 트레일러와 11톤 화물자동차를 이용하지만 11톤 화물자동차가 트레일러보다 비중이 높고 비용 원단위도 큰 차이가 없어 간선운송과 지선운송의 운송수단을 11톤 화물자동차로 가정한다.

2. 문제의 정의

본 연구에서 다루고자 하는 문제는 시나리오 분석을 통하여 각 서브 터미널의 물동량을 처리할 p 개 허브 터미널 입지를 간접적으로 선정한다. 그리고 각 허브 터미널이 하루에 처리 가능한 처리용량제약을 만족하면서 운송비용과 분류환적비용이 최소가 되도록 n 개의 서브 터미널을 p 개 허브 터미널에 할당하는 것이다. 허브 터미널의 후보지, 각 허브 터미널의 일일 처리용량 제약, 서브 터미널의 개수 및 각 허브 터미널과 서브 터미널의 물동량 자료는 H사의 실제 데이터를 이용하였다.

3. 수리적 모형의 구축

Definition	
C^{TC}	운송비용
C^{DT}	분류환적비용
N	서브 터미널들의 집합, $N = \{i, j, i, j \in 1, 2, 3, \dots, n\}$
K	허브 터미널들의 집합, $K = \{k, l, k, l \in 1, 2, 3, \dots, m\}$

수리적 모형을 구축하기 위하여 다음과 같은 변수

Parameters	
α	허브 터미널 간 운송비용 할인율
v_q	운송수단의 적재용량(박스/대)
Q_k	허브 터미널 k 의 처리용량(박스/일)
uc_f^{TC}	단위당 고정운송비용(원/대)
uc_v^{TC}	단위당 변동운송비용(원/대·km)
Index variables	
i, j	서브 터미널의 index
k, l	허브 터미널의 index
r_{ji}	서브 터미널 j 에서 서브 터미널 i 까지 물동량(박스)
d_{ik}	서브 터미널 i 에서 허브 터미널 k 까지 운송거리(km)
d_{kl}	허브 터미널 k 에서 허브 터미널 l 까지 운송거리(km)

및 파라미터들을 정의한다.

$$\text{minimize } C^{TC} + C^{DT} \quad \text{<식 1>}$$

<식 13>

$$C^{TC} = \sum_{i \in N} \sum_{\substack{k \in K \\ i \neq k}} (uc_f^{TC} + uc_v^{TC} \cdot d_{ik}) \cdot \left(\frac{\sum_{j \in N} r_{ij}}{v_q} \right) + \left(\frac{\sum_{j \in N} r_{ji}}{v_q} \right) \cdot x_{ik} \\ + \sum_{\substack{k \in K \\ l \in K \\ k \neq l}} \alpha \cdot \left\{ (uc_f^{TC} + uc_v^{TC} \cdot d_{kl}) \cdot \left(\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij} \cdot x_{ik} \cdot x_{jl}}{v_q} \right) \right\} \quad \text{<식 2>}$$

$$x_{ik}, x_{jl}, y_{ijkl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, l, k \neq l$$

<식 14>

$$C^{DT} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} uc^{DT} \cdot r_{ij} \cdot x_{ik} \\ + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} \sum_{\substack{l \in K \\ k \neq l}} uc^{DT} \cdot r_{ij} \cdot x_{ik} \cdot x_{jl} \quad \text{<식 3>}$$

$$\text{subject to } \sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad \text{<식 4>}$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij} \cdot x_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad \text{<식 5>}$$

5>

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ji} \cdot x_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad \text{<식 6>}$$

6>

$$x_{ik}, x_{jl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, l \quad k \neq l \quad \text{<식 7>}$$

$$C^{TC} = \sum_{i \in N} \sum_{\substack{k \in K \\ i \neq k}} (uc_f^{TC} + uc_v^{TC} \cdot d_{ik}) \cdot \left(\frac{\sum_{j \in N} r_{ij}}{v_q} \right) + \left(\frac{\sum_{j \in N} r_{ji}}{v_q} \right) \cdot x_{ik} \\ + \sum_{\substack{k \in K \\ l \in K \\ k \neq l}} \alpha \cdot \left\{ (uc_f^{TC} + uc_v^{TC} \cdot d_{kl}) \cdot \left(\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij} \cdot y_{ijkl}}{v_q} \right) \right\} \quad \text{<식 8>}$$

$$C^{DT} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} uc^{DT} \cdot r_{ij} \cdot x_{ik} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{\substack{k \in K \\ l \in K \\ k \neq l}} uc^{DT} \cdot r_{ij} \cdot y_{ijkl} \quad \text{<식 9>}$$

$$\text{subject to } \sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad \text{<식 10>}$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ij} \cdot x_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad \text{<식 11>}$$

12>

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} r_{ji} \cdot x_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad \text{<식 12>}$$

$$x_{ik} + x_{jl} \leq y_{ijkl} + 1 \quad \forall i, j, k, l, k \neq l$$

정의한 변수와 파라미터들을 이용하여 문제에 대한 수리적 모형을 작성하면 다음과 같다. 수리적 모형은 정기호·고창성(2002) 연구에서 개발한 모형을 개량한 것이다.

여기서 목적함수식 <식 1>은 운송비용(C^{TC})과 분류환적비용(C^{DT})을 최소화하는 것으로서, 운송비용 <식 2>와 분류환적비용 <식 3>은 각각 두 가지 요소로 구분할 수 있다. 운송비용의 첫 번째 요소는 서브 터미널과 허브 터미널 간의 지선운송으로 소요되는 운송비용이고, 두 번째 요소는 허브 터미널과 허브 터미널 간의 간선운송으로 소요되는 운송비용을 나타낸 것이다. 분류환적비용의 첫 번째 요소는 서브 터미널과 허브 터미널 간의 지선운송되는 물동량에 대한 분류환적비용이고, 두 번째 요소는 허브 터미널과 허브 터미널 간의 간선 운송되는 물동량에 대한 분류환적비용으로 서브 터미널 i, j 가 어느 허브 터미널 k, l 에 할당되는가에 따라 달라진다.

제약조건식 <식 4>는 모든 서브 터미널이 반드시 하나의 허브 터미널에 할당되는 것이고 <식 5>는 서브 터미널의 발생량에 대한 허브 터미널의 1일 처리용량제약을 나타낸다. <식 6>는 서브 터미널의 도착량에 대한 허브 터미널의 1일 처리용량제약을 나타내며 마지막 <식 7>은 이진변수(0 또는 1)로 표현되는 결정변수를 의미한다. 앞에서 제시한 수리적 모형에는 목적함수식이 이진변수의 곱으로 된 비선형 형태로 되어 있다. Sofianopoulou(1992)에서와 같이 본 연구에서도 새로운 변수 y_{ijkl} 을 도입함으로써 수리적 모형을 선형형태로 변형하였다. 즉 목적함수식에서 $y_{ijkl} = x_{ik} \cdot x_{jl}$ 로 치환하되, $x_{ik} = 1, x_{jl} = 1$ 일 경우

에만 $y_{ijkl} = 1$ 이 될 수 있도록 <식 13>을 추가로 반영하였다 (정기호·고창성, 2002).

위의 식을 2개 이하의 허브 터미널을 경유하는 택배서비스에 적용하면, 1개의 허브 터미널을 경유할 경우 허브 터미널 k 와 허브 터미널 l 이 같아 지기 때문에 간선운송으로 인해 발생하는 운송비용과 분류환적 비용은 제외되어 서브 터미널 i 와 허브 터미널 k 간의 지선운송으로 인해 발생하는 운송비용(왕복)과 분류환적 비용만 계산된다. 2개의 허브 터미널을 경유하는 경우 서브 터미널 i 와 허브 터미널 k 간의 지선운송으로 인해 발생하는 운송비용(왕복)과 분류환적 비용에 간선운송으로 인해 발생하는 운송비용과 분류환적비용이 같이 계산된다.

IV. 네트워크 최적화 결과 및 검증

1. 기초자료 구축

본 연구의 기초자료는 국내 주요 택배업체인 H사의 내부자료를 이용하였다. O/D는 2013년 택배 터미널간 기종점 자료를 활용하였으며, 2013년 O/D는 1993년에서 2010년까지 물동량과 GDP를 이용하여 구축하였다. 운송거리는 택배 터미널 위치자료를 이용하여 Web map상의 최적거리로 적용하였다. 허브 터미널의 1일 처리용량은 각 허브 터미널의 설계용량에 분석범위의 서브 터미널 물동량 비율을 적용하고, 운송수단의 적재용량은 11톤 화물자동차의 적재용량인 1,000박스/대를 적용

표 4_본 연구의 기초자료

구분	내용
O/D 자료	• 2013년 택배 터미널 간 기종점 자료
운송거리	• 택배 터미널 위치를 이용한 Web map상의 최적거리
허브 터미널 1일 처리용량	• 각 허브 터미널의 설계용량
운송수단 적재용량	• 1,000박스/대
비용 원단위*	• 운송비용 - 기본비용: 105,500원 - 거리비용: 500원/km • 분류환적비용: 1,000원/박스

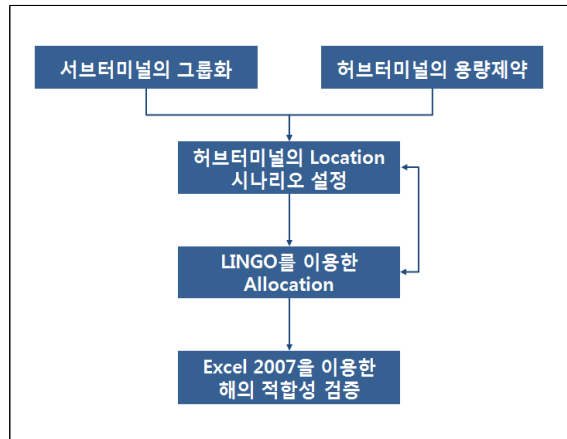
주: *은 업계 평균으로 가정함
출처: H사연구원, 2011. H사 내부자료.

하였다. 비용 원단위는 실제 네트워크에서 소요되는 각각의 비용을 이용하여 산출하였다. 허브 간 링크에서 발생하는 비용절감 효과를 반영하기 위한 비용할인 인자(α)는 O'Kelly(1987)의 연구에서 도출한 0.8을 적용하였다.

2. Heuristic 방법론 적용

Heuristic 방법론은 효율적이고 실용적인 기법으로서 좋은 해를 구하고자 하는 최적화 문제의 여러 분야에서 적용 가능한 효과적인 방법이다(박순달 외, 2003). 본 연구의 목적함수는 선형모형이지만 허브

그림 2_Heuristic 방법론



터미널 및 서버 터미널의 개수에 따라 변수 및 제약 조건이 급격하게 증가하여 최적 해를 도출하는 것이 현실적으로 어렵다. 따라서 서버 터미널을 그룹화 하여 네트워크를 단순화시키고 분석하고 서버 터미널의 규모에 따라 허브 터미널의 일일 처리용량을 제약하여 간접적으로 허브 터미널의 Location 시나리오 설정한다. 이후 LINGO를 이용하여 서버 터미널을 허브 터미널에 할당시키고 Excel 2007을 이용하여 그룹화 전과 후의 적합성을 검증하는 Heuristic 방법론을 적용함으로써 최적화 문제를 해결하고자 하였다.

1) 서버 터미널의 그룹화

표 5_수도권 네트워크 최적화 시 서버 터미널 그룹화

그룹	그룹화된 서버 터미널	해당 행정구역
SUB 1	강서, 영등포, 부천, 부평	서울: 강서구, 구로구 인천: 부평구
SUB 2	도봉, 동대문, 성동, 종로, 중랑, 성북	서울: 도봉구, 동대문구, 중랑구
SUB 3	용산, 중구	서울: 마포구
SUB 4	송파, 강남, 역삼, 성남, 서초	서울: 송파구 경기: 성남시, 과천시
SUB 5	인천	인천: 중구
SUB 6	일산, 은평, 마포	경기: 고양시
SUB 7	오포	경기: 광주시
SUB 8	김포	경기: 김포시
SUB 9	남양주	경기: 남양주시
SUB 10	양주, 포천, 노원	경기: 양주시, 의정부시, 포천시
SUB 11	기흥, 수지, 동탄	경기: 용인시
SUB 12	파주	경기: 파주시
SUB 13	화성	경기: 화성시

표 6_전국 네트워크 최적화 시 서버 터미널 그룹화

그룹	그룹화된 서버 터미널	해당 행정구역
SUB 1	강서, 영등포, 부천, 부평, 중구, 용산, 일산, 은평, 마포, 인천	서울: 강서구, 구로구, 마포구 인천: 부평구, 중구 경기: 고양시
SUB 2	도봉, 중랑, 성북, 동대문, 성동, 종로, 남양주	서울: 도봉구, 중랑구, 동대문구 경기: 남양주시
SUB 3	송파, 강남, 역삼, 서초, 오포	서울: 송파구 경기: 과천시, 광주시, 성남시
SUB 4	양주, 포천, 노원	경기: 양주시, 의정부시, 포천시
SUB 5	기흥, 수지, 동탄	경기: 용인시
SUB 6	김포, 파주	경기: 김포시, 파주시
SUB 7	화성	경기: 안산시, 화성시
SUB 8	여주, 이천, 강릉, 속초, 동해, 춘천	경기: 여주시, 이천시 강원: 강릉시, 속초시, 동해시, 춘천시
SUB 9	평택, 안성, 당진, 서산, 예산, 천안, 아산	경기: 평택시, 안성시 충북: 서산시, 천안시, 당진군, 예산군
SUB 10	청주, 충주	충북: 청주시, 충주시
SUB 11	광양, 목포, 보성, 순천, 여수, 해남	전남: 광양시, 목포시, 순천시, 여수시, 보성군, 해남군
SUB 12	군산, 남원, 익산, 전주, 정읍	전북: 군산시, 남원시, 익산시, 전주시, 정읍시
SUB 13	남부산, 서부산, 동부산, 울산, 김해, 거제, 거창, 밀양, 진주, 창원, 마산, 통영	부산: 동구, 사상구, 연제구 울산: 남구 경남: 김해시, 거제시, 밀양시, 사천시, 창원시, 통영시, 거창군
SUB 14	북대구, 서대구, 경산, 경주, 구미, 김천, 상주, 안동, 울진, 영주, 청도, 포항	대구: 북구, 서구 경북: 경산시, 경주시, 구미시, 김천시, 상주시, 안동시, 영주시, 포항시, 영덕군, 청도군

수도권 네트워크 최적화 시 서울특별시, 인천광역시 및 경기도에 위치한 서브 터미널 간 최적운송거리가 15km 이내인 서브 터미널을 13개의 그룹으로 그룹화하였다. 전국 네트워크 최적화 시 수도권의 서브 터미널 간 최적운송거리가 25km 이내인 서브 터미널을 7개의 그룹으로 분류하고 지방은 행정구역(도 단위)으로 7개의 그룹으로 분류하여 총 14개의 그룹으로 그룹화하였다. 그룹화 이후에 운송거리는 그룹화된 서브 터미널과 허브 터미널 간 평균운송거리를 적용하였다.

2) 허브 터미널의 용량제약

각 허브 터미널의 1일 처리용량은 전국의 물동량에 대한 처리용량으로 수도권의 물동량에 대한 허브 터미널의 1일 처리용량을 정확히 알 수 없기 때문에 수도권 네트워크 최적화 시 총 물동량에 대한 수도권 물동량 비율(27.8%)을 적용하여 허브 터미널의 1일 처리용량을 제약하였다. 그러나 수정한 허브 터미널의 처리용량이 수도권의 2013년 서브 터미널 물동량(13만 6,552 박스)에 비해 부족하기 때문에 장지동 허브 터미널(2013년 준공예정)을 추가하였다. 추가된 장지동 허브 터미널의 처리용량은 6만 5천 박스로 가정하였다.

전국 네트워크 최적화 시 전국의 물동량에 대한 2013년 서브 터미널 물동량 비율(65.6%)을 적용하여 허브 터미널의 처리용량을 제약하였다. 수도권 네트워크 최적화와 마찬가지로 장지동 허브 터미널(2013년 준공예정)을 추가하였다. 추가된 장지동 허브 터미널의 처리용량은 14만 8,200박스로 가정하였다.

표 7_ 수도권 네트워크 용량제약

(단위: 박스)

허브 터미널	처리용량	수도권 처리용량
남서울	140,000	40,180
군포	82,000	22,960
분당	50,000	14,350
안산	30,000	8,610
하남	30,000	8,610
장지동	-	65,000

표 8_ 전국 네트워크 용량제약

(단위: 박스)

허브 터미널		처리용량	수도권 처리용량
수도권	남서울	140,000	91,700
	군포	82,000	53,710
	분당	50,000	32,750
	안산	30,000	19,650
	하남	30,000	19,650
	장지동	-	148,200
	지방권	대전	190,000
양산		60,000	39,300
대구		60,000	39,300
광주		40,000	26,200
원주		30,000	19,650

3) 허브 터미널의 Location 시나리오 설정

본 연구에서는 수도권 6개 허브 터미널의 처리용량을 고려하여 허브 터미널 개수에 따라 처리용량이 초과되지 않는 범위 내에서 시나리오를 설정하였다. 반면 전국 네트워크 최적화 시나리오는 고려해야 하는 경우의 수가 많고, 전국 물동량 중 수도권을 기중점으로 하는 물동량 비율이 높기 때문에 수도권 네트워크 최적화 시나리오와 동일하게 설정하였다.

3. 네트워크 최적화 결과

표 9_ 수도권 네트워크 최적화 시나리오 설정

허브 터미널	폐쇄 허브 터미널	처리용량 (박스)	시나리오
4개	남서울, 군포, 분당, 안산	하남	용량초과
	남서울, 군포, 안산, 하남	분당	용량초과
	남서울, 군포, 안산, 장지동	분당, 하남	1
	남서울, 군포, 분당, 하남	안산	용량초과
	남서울, 군포, 분당, 장지동	안산, 하남	142,490
	남서울, 군포, 하남, 장지동	분당, 안산	136,750
	남서울, 분당, 안산, 하남	군포	71,750
	남서울, 분당, 안산, 장지동	군포, 하남	128,140
	남서울, 안산, 하남, 장지동	군포, 분당	122,400
	남서울, 분당, 하남, 장지동	군포, 안산	128,140
	군포, 분당, 안산, 하남	남서울	54,530
	군포, 분당, 안산, 장지동	남서울, 하남	110,920
	군포, 안산, 하남, 장지동	남서울, 분당	105,180
	군포, 분당, 하남, 장지동	남서울, 안산	110,920
분당, 안산, 하남, 장지동	남서울, 군포	96,570	
5개	남서울, 군포, 분당, 안산, 하남	-	94,710
	남서울, 군포, 분당, 안산, 장지동	하남	151,100
	남서울, 군포, 안산, 하남, 장지동	분당	145,360
	남서울, 군포, 분당, 하남, 장지동	안산	151,100
	남서울, 분당, 안산, 하남, 장지동	군포	136,750
	군포, 분당, 안산, 하남, 장지동	남서울	119,530
6개	남서울, 군포, 분당, 안산, 하남, 장지동	-	159,710

표 10_ 전국 네트워크 최적화 시나리오 설정

허브 터미널	폐쇄 허브 터미널	처리용량 (박스)	시나리오
9개	남서울, 군포, 안산, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	분당, 하남	562,160
	남서울, 군포, 분당, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	안산, 하남	575,260
	남서울, 군포, 하남, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	분당, 안산	562,160
10개	남서울, 군포, 분당, 안산, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	하남	594,910
	남서울, 군포, 안산, 하남, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	분당	581,810
	남서울, 군포, 분당, 하남, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	안산	594,910
	남서울, 분당, 안산, 하남, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	군포	560,850
11개	남서울, 군포, 분당, 안산, 하남, 장지동, 대전, 양산, 대구, 광주, 원주	-	614,560

본 연구에서는 허브 네트워크 설계 문제를 해결하기 위한 수리적 모형을 구축하고, 서브 터미널을 그룹화하여 네트워크를 단순화하는 Heuristic 방법론과 H사의 실제 데이터를 이용하여 모형의 해를 도출하였다. 물동량 비율에 따라 허브 터미널의 용량을 제약함으로써 시나리오를 설정하여 수도권과 전국의 네트워크를 분석하였다.

각 시나리오에 대한 수도권과 전국의 네트워크 최적화 결과는 네 가지 대안으로 구분할 수 있다. 첫 번째 대안은 분당 허브 터미널과 하남 허브 터

표 11_ 네트워크 최적화 대안 구분

구분	해당 시나리오	폐쇄 허브 터미널
대안1	시나리오 1	분당, 하남
	시나리오 5	
대안2	시나리오 2	안산, 하남
	시나리오 4	
	시나리오 8	
대안3	시나리오 3	분당, 안산
	시나리오 6	
대안4	시나리오 7	군포

표 12_ 수도권 네트워크 최적화 결과

대안	허브 터미널	할당된 서브 터미널	운영비(원/일)
1	남서울	SUB1, SUB5, SUB7, SUB11, SUB13	250,894,300
	군포	SUB6	
	안산	SUB8	
	장지동	SUB2, SUB3, SUB4, SUB9, SUB10, SUB12	
2	남서울	SUB1, SUB5, SUB8, SUB11, SUB13	248,536,700
	군포	SUB6	
	분당	SUB7	
	장지동	SUB2, SUB3, SUB4, SUB9, SUB10, SUB12	
3	남서울	SUB1, SUB5, SUB11	253,951,100
	군포	SUB6	
	하남	SUB7, SUB8, SUB13	
	장지동	SUB2, SUB3, SUB4, SUB9, SUB10, SUB12	
4	남서울	SUB1, SUB5, SUB8	250,120,700
	분당	SUB3, SUB7, SUB13	
	안산	SUB12	
	하남	SUB9	
	장지동	SUB2, SUB4, SUB6, SUB10, SUB11	

미널을 폐쇄하는 경우로 시나리오 1과 시나리오 5
가 해당한다. 두 번째 대안은 안산 허브 터미널과

표 13_ 전국 네트워크 최적화 결과

대안	허브 터미널	할당된 서브 터미널	운영비(원/일)
1	남서울	SUB3, SUB5, SUB7	776,607,400
	군포	SUB2	
	안산	SUB6	
	장지동	SUB1, SUB4	
	대전	SUB9, SUB10	
	양산	SUB13	
	대구	SUB14	
	광주	SUB11, SUB12	
	원주	SUB8	
2	남서울	SUB3, SUB4, SUB6	773,018,900
	군포	SUB2	
	분당	SUB7	
	장지동	SUB1, SUB5	
	대전	SUB9, SUB10	
	양산	SUB13	
	대구	SUB14	
3	남서울	SUB3, SUB5	777,194,700
	군포	SUB2	
	하남	SUB6, SUB7	
	장지동	SUB1, SUB4	
	대전	SUB9, SUB10	
4	남서울	SUB2, SUB4	776,443,000
	분당	SUB3	
	안산	SUB6	
	하남	SUB7	
	장지동	SUB1, SUB5	
	대전	SUB9, SUB10	
	양산	SUB13	
4	대구	SUB14	
	광주	SUB11, SUB12	
	원주	SUB8	

하남 허브 터미널을 폐쇄하는 경우로 시나리오 2, 시나리오 4 및 시나리오 8이 해당한다. 세 번째 대안은 분당 허브 터미널과 안산 허브 터미널을 폐쇄하는 경우로 시나리오 3과 시나리오 6이 해당한다. 네 번째 대안은 군포 허브 터미널이 폐쇄하는 경우로 시나리오 7이 해당한다. 운영비 분석결과, 대안 2, 대안 4, 대안 1, 대안 3 순으로 운영비가 적게 산출되었다.

시나리오 분석 결과, 분당, 하남 및 안산 허브 터미널은 운영상의 비효율이 존재하는 것으로 나타났다.

그 이유는, 분당 허브 터미널과 하남 허브 터미널의 경우, 주변에 대규모 허브 터미널(장지동 허브 터미널)이 위치해 있기 때문이다. 또한 안산 허브 터미널의 경우, 다른 허브 터미널에 비해 서브 터미널과의 운송거리가 길기 때문이다. 군포 허브 터미널의 경우, 자체의 비효율보다는 군포 허브 터미널의 폐쇄로 인한 주변 물동량 분산효과가 영향을 주는 것으로 판단된다.

4. 네트워크 최적화 결과 검증

표 14_ 수도권 네트워크 최적화 결과 적합성 검증

(단위: 원/일, %)

구분			LINGO	EXCEL 2007		오차 (A - B)	절대오차*
				13개 서브 터미널(A)	32개 서브 터미널(B)		
대안1	운송	지선	-	33,210,066	33,280,187	-70,121	0.211
		간선		7,210,242	7,210,347	-105	0.001
	환적	지선		136,551,000	136,551,000	0	0.000
		간선		73,923,000	73,924,000	-1,000	0.001
	총 비용			250,894,300	250,894,308	250,965,534	-71,226
대안2	운송	지선	-	32,836,987	32,908,333	-71,346	0.217
		간선		7,009,698	7,009,597	101	0.001
	환적	지선		136,551,000	136,551,000	0	0.000
		간선		72,139,000	72,138,000	1,000	0.001
	총 비용			248,536,700	248,536,686	248,606,930	-70,245
대안3	운송	지선	-	33,219,250	33,289,334	-70,084	0.211
		간선		7,459,892	7,459,782	110	0.001
	환적	지선		136,551,000	136,551,000	0	0.000
		간선		76,721,000	76,720,000	1,000	0.001
	총 비용			253,951,100	253,951,142	254,020,116	-68,975
대안4	운송	지선	-	32,975,453	33,046,652	-71,199	0.215
		간선		7,106,288	7,106,605	-317	0.004
	환적	지선		136,551,000	136,551,000	0	0.000
		간선		73,488,000	73,492,000	-4,000	0.005
	총 비용			250,120,700	250,120,742	250,196,257	-75,515

*: 절대오차 = $\left| \frac{A-B}{B} \right| \times 100\%$

표 15_ 전국 네트워크 최적화 결과 적합성 검증

(단위: 원/일, %)

구분			LINGO	EXCEL 2007		오차 (A - B)	절대오차*
				14개 서브 터미널(A)	32개 서브 터미널(B)		
대안1	운송	지선	-	96,544,152	94,623,365	1,920,786	2.030
		간선		45,216,218	45,216,218	0	0.000
	환적	지선		357,709,000	357,709,000	0	0.000
		간선		277,138,000	277,138,000	0	0.000
	총 비용			776,607,400	776,607,370	774,686,584	1,920,787
대안2	운송	지선	-	96,190,041	94,268,182	1,921,860	2.039
		간선		44,878,816	44,878,816	0	0.000
	환적	지선		357,709,000	357,709,000	0	0.000
		간선		274,241,000	274,241,000	0	0.000
	총 비용			773,018,900	773,018,857	771,096,998	1,921,860
대안3	운송	지선	-	96,688,118	94,759,877	1,928,241	2.035
		간선		45,139,627	45,139,627	0	0.000
	환적	지선		357,709,000	357,709,000	0	0.000
		간선		277,658,000	277,658,000	0	0.000
	총 비용			777,194,700	777,194,745	775,266,504	1,928,241
대안4	운송	지선	-	96,479,786	94,667,080	1,812,705	1.915
		간선		45,206,234	45,206,234	0	0.000
	환적	지선		357,709,000	357,709,000	0	0.000
		간선		277,048,000	277,048,000	0	0.000
	총 비용			776,443,000	776,443,020	774,630,315	1,812,705

*: 절대오차 = $\left| \frac{A-B}{B} \right| \times 100\%$

EXCEL 2007을 이용해서 Heuristic 방법론을 적용하여 LINGO에서 도출된 결과 값의 적합성을 검증하였다. 운영비를 각 항목별로 분석해 보면, 분류환적 비용이 운송비용보다 비중이 높아 서브 터미널의 할당이 운송비용보다 분류환적 비용에 더 탄력적인 것으로 나타났다. 이는 수리적 모형에서 운송비용은 차량대수로 환산되어 계산되지만 분류환적비용은 물동량으로 계산되기 때문이다.

시나리오별 그룹화 전과 후의 운영비 차이는 대부분 지선 운송비용에서 발생하였다. 이는 Heuristic 방법론의 서브 터미널을 그룹화하는 과정에서 각 서브 터미널과 허브 터미널의 운송거리를 평균운송거리로 적용하였기 때문이다. 반면 분류환적 비용은 그룹화 전과 후의 물동량이 같기 때문에 그룹화 전과 후가 동일하게 산출되었다. 그룹화의 규모가 작은 수도권의 경우, 운영비가 과소추정 되었고, 규모가 큰 전국의 경우에는 운영비가 과대추정되는 경향이

나타났다.

V. 결론

본 연구는 허브 네트워크 설계 문제를 해결하기 위한 수리적 모형을 구축하였다. 물동량에 따라 허브 터미널의 용량을 제약하여 시나리오를 설정함으로써 간접적으로 허브 터미널 입지문제를 고려하고, 최적화 사용패키지인 LINGO와 서브 터미널을 그룹화하여 네트워크를 단순화하는 Heuristic 방법론을 적용하여 서브 터미널의 할당문제를 해결하였다.

구축된 수리적 모형은 운송비용 외에 분류환적비용과 Hub and Spoke 네트워크의 허브 간 링크에 발생하는 비용절감 효과를 반영하기 위하여 비용할인인자(α)를 포함하였으며, 모형의 적용과정에서 허브 터미널 관할권역의 발생량과 도착량을 고려하였다. EXCEL 2007을 이용하여 LINGO에서 도출된 결과 값과 Heuristic 방법론의 적합성을 검증하였다. 네트워크 최적화 결과, 서브 터미널의 할당은 운송비용보다 분류환적비용에 더 탄력적이고 허브 터미널에 가까울수록 입지에 영향을 받고, 멀수록 허브 터미널의 잔여처리용량에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 서브 터미널의 그룹화 과정에서 서브 터미널과 허브 터미널의 평균 운송 거리를 적용하여 지선 운송비용에서 오차가 발생하였다. 그룹화의 규모가 작을수록 운영비가 과소 추정되었고, 그룹화의 규모가 커질수록 과대추정되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 허브 네트워크 설계 모형을 단일할당으로 가정하고 운송수단도 단일수단으로 고려하여 서브 터미널 간 직접운송, 미편제 서브 터미널 등 서브 터미널의 운송특성을 고려하지 못하였고, 수도권과 전국의 서브 터미널의 물동량에 대한 각 허브 터미널의 일일 처리용량 제약 시 총 물동량에 대한

수도권과 전국의 서브 터미널의 비율을 적용하여 용량제약에 대한 한계점을 갖는다. 향후에는 다양한 운송특성과 운송수단을 고려할 수 있는 수리적 모형에 관한 연구와 물동량변화에 따른 허브 터미널의 일일 처리용량에 대한 민감도 분석과 같은 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서는 EXCEL 2007을 이용하여 LINGO에서 도출된 결과 값과 Heuristic 방법론의 적합성을 검증하였지만, 다른 Heuristic 알고리즘(유전알고리즘, Tabu search 등)을 적용하여 도출된 해에 대한 정확성 검증이 필요하다.

참고문헌 •••••

- 강정훈. 2010. “택배 물류서비스 향상방안에 관한 연구: D사 택배서비스 사례 중심으로”. 명지대학교 석사학위 논문.
- 김동규·박창호·이진수. 2006. “수송 규모의 경제 효과를 고려한 단일할당 허브네트워크 설계 모형의 개발”. 대한토목학회 논문집 제26권 제6D호. pp917-926.
- 김동규·강성철·박창호·고승영. 2009. “단일할당 복합운송 허브 네트워크 설계 모형 개발”. 대한교통학회지 제27권 제1호 pp129-141.
- 김민규. 2010. 택배의 정석. 서울 : 올댓컨텐츠.
- 김태현·서창석·권오경·이철웅·김준석·박영재·박찬익. 2007. 전략적 물류경영. 서울 : 도서출판 범한.
- 박순달·김우제·안재근·박찬규. 2003. 컴퓨터 사례를 활용한 사례중심의 경영과학. 서울 : 교우사.
- 박찬익. 2011. 택배산업. 서울 : 물류신문사.
- 심진범. 2011. “RFID와 다중목적경로탐색방법을 활용한 택배차량용 내비게이션 시스템에 관한 연구”. 명지대학교 박사학위 논문.
- 안영효·오승철·김정혁. 2010. “물류 네트워크 설계 방법 및 적용 사례에 대한 연구”. PORSI 경영연구 제10권 제1호. pp61-87.
- 윤문길. 2000. “단일연결 제약하의 설비입지를 고려한 망설계 문제의 쌍대기반 해법”. 한국경영학회지 제25권 제1호 pp67-84.
- 이재규. 2011. “대규모 물류서비스 네트워크 디자인에 관한 연구

- : A사 사례를 중심으로”. 인천대학교 석사학위 논문.
- 정기호·고창성. 2002. “택배 운송 네트워크 설계를 위한 할당 문제”. 대한산업공학회. 한국경영과학회 제9권 제2호. pp987-993.
- 정기호·백천현. 2001. 엑셀을 활용한 경영과학. 서울 : 학현사.
- 정승주. 2003. “철도화물운송을 위한 Hub-and-spokes 서비스네트워크 디자인모형의 개발”. 대한교통학회. 제20권 제6호. pp75-93.
- 조경철. 2000. 실무중심 택배의 이해와 운영. 서울 : 물류신문사.
- 조한내. 2010. “최적화 기법을 이용한 화물터미널 이용 물동량 추정”. 인하대학교 석사학위 논문.
- 주운기·최성훈·정근재·이근철. 2007. LINGO 최적화 모형(제1권 경영과학 입문). 서울 : 교우사.
- 진현웅. 2010. “허브-스포크 네트워크 설계를 위한 쌍대기반 해법의 개발에 대한 연구”. 대한경영학회지 제23권 제1호. pp527-544.
- 추창업. 2001. “택배서비스의 물류네트워크 구축방향에 관한 연구”. 유통경영학회지 제4호 제1권. pp147-168.
- Abdinnour-Helm, S. and Venkataramanan, M. A. 1998. “Solution Approach to Hub Location Problem”. *Annals of Operations Research* vol.78. Dordrecht : Springer Netherlands. pp31-50.
- Aykin, T. 1994. “Lagrangian Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub and Spoke Network Design Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.79, no.3. pp501-523.
- _____. 1995. “Networking Polices for Hubandspoke Systems with Application to the Air Transportation System”. *Transportation Science* vol.29, no.3. Hanover : Informs USA. pp201-221.
- Aykin, T. and G. F. Brown, 1992. “Interacting New Facilities and Location-Allocation Problems”. *Transportation Science* vol.26, no.3. Hanover : Informs USA. pp212-222.
- Chang, T. S. 2008. “Best Routes Selection in International Intermodal Networks”. *Computers and Operations Research* vol.35, issue.9. pp2877-2891.
- Campbell, J. F. 1994. “Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.72, issue.2. pp387-405.
- _____. 1996. “Hub Location and P-Hub Median Problem”. *Operations Research* vol.44, no 6. pp923-935.
- Ernt, A. T. and Krishnamoorthy, M. 1996. “Efficient Algorithms for the Uncapacitated Single Allocation P-Hub Median Problem”. *Location Science* vol.4, issue.3. pp139-154.
- _____. 1998. “Exact and Heuristic Algorithms for the Uncapacitated Multiple Allocation P-Hub Median Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.104, issue.1. pp100-112.
- Horner, M. W. and O’Kelly. M. E. 2001. “Embedding Economies of Sale Concepts for Hub Network Design”. *Journal of Transport Geography* vol.9, issue.4. pp255-265.
- Kim, D. K., Park, C. H. and Kim, T. J. 2007. “Single Allocation Hub Network Design Model with Consolidated Traffic Flow”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* vol. 2008/2007. pp51-59.
- Klincewicz, J. G. 1991. “Heuristics for the P-Hub Location Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.53, issue.1. pp25-37.
- _____. 1996. “A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem”. *Location Science* vol.4, issue.3. pp173-184.
- _____. 2002. “Enumeration and Search Proceedues for a Hub Location Problem”. *Annals of Operations Research* vol.110, no.1-4. pp107-122.
- O’Kelly, M. E. 1987. “A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities”. *European Journal of Operational Research* vol.32, issue.3. pp393-404.
- O’Kelly, M. E. and Bryan. D. L. 1998. “Hub Location with Flow Economies of Scale”. *Transportation Research Part B: Methodological* vol.32, issue.8. pp605-616.
- Racunica, I. and Wynter. L. 2005. “Optimal Location of Intermodal Freight Hubs”. *Transportation Research Part B: Methodological* vol. 39, issue. 5. pp453-477.
- Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J. 1994. “On Tabu Search for the Location of Interactinf Hub Facilities”. *European Journal of Operational Research* vol.73, issue.3. pp502-509.
- Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. and O’Kelly. M. E. 1996. “Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated P-Hub Median Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.94, issue.3. pp582-593.
- Sofianopoulou, S. 1992. “The Process Allocation problem”. *The Journal of the Operational Research Society* vol.43, no.5. pp401-413.
- Sohn, J. and Park, S. 1997. “A Linear Program for the Two-Hub Location Problem”. *European Journal of Operational Research* vol.100, issue.3. pp617-622.

- 논문 접수일: 2011.12. 7
- 심사 시작일: 2012.1. 4
- 심사 완료일: 2012. 1. 16

A Study on Network Optimization of Parcel Service Industry

Keywords: Hub Network Design Model, Mathematical Model, Heuristic Method

Recently, an explosive growth in electronic commerce, telemarketing, and TV home shopping industries has brought an increase of consumer's need of direct shipment of purchased goods by parcel service. Although there exist a countless number of different starting points and destinations in the parcel service, to build an efficient hub network is important in aspects of not only speedy pickup and delivery but also operational cost. However, most of all companies made decision on the optimum number of distribution centers, their locations and sizes, and network strategy without any detailed analysis procedures. They made decisions by using traditional experiences.

The purposes of this study are to build a mathematical model that could reflect the characteristics of cargo transportation and transportation economies of scale and to apply the model to the domestic express parcel service industry. It is assumed that parcel delivery service used less than two hub terminals as its analysis target and the hub network designed to make a single allocation. In addition, this study applied the model to the LINGO, an optimization package, after using the Heuristic method, which is to simplify a network by grouping into sub-terminals.

택배산업의 네트워크 최적화에 관한 연구

주제어: 허브 네트워크 설계 문제, 수리적 모형, Heuristic 방법론

최근 들어 온라인 쇼핑, 홈쇼핑 등 전자상거래의 발달로 수송 물동량이 급격히 증대되어, 이로 인한 택배산업이 활성화되고 있다. 택배산업은 무수히 많은 출발지와 목적지가 존재하며, 시설규모와 운송수요에 따라 다양한 네트워크를 구조를 가진다. 따라서 신속한 집배송과 운영비 절감을 위하여 효율적인 허브 네트워크를 구축하는 것이 중요하다. 그러나 대부분의 기업들이 물류거점의 적정 수, 위치 및 규모, 네트워크 전략, 운송수단 배차 등에 대한 상세한 분석 없이 경험에 의해 의사결정을 하고 있다. 효율적인 허브 네트워크를 구축하기 위해서는 수많은 터미널, 영업소 및 제약사항 등을 고려해야 한다. 따라서 대규모 물류 네트워크 구축을 위한 모델링 기법 및 방법론에 대한 다양한 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 택배산업의 수송특성과 수송규모의 경제 효과를 반영하여 효율적인 허브 네트워크 설계를 위한 수리적 모형을 구축하는 것이다. 본 연구에서는 시나리오 분석을 통하여 허브 터미널의 개수와 위치를 간접적으로 결정하고, 허브 터미널에 각 서브 터미널을 할당하는 허브 네트워크 설계 문제를 다루고자 한다.