

Steiner Tree 이론을 이용한 우편물 교환센터의 최적 위치선정

(Optimal Location of Mail Distribution Center using Steiner Tree)

양성덕* · 유용규** · 이상중***

(Seong-Deog Yang · Woong-Gyu Lyu · Sang-Joong Lee)

요 약

국내 택배시장은 과거 몇 개의 업체에서 독점해왔으나 현재는 대기업들과 수많은 중소기업들이 참여하고 있어 경쟁이 심화되고 있다. 우편물의 신속한 배송과 운송비용의 최소화는 매우 중요하며 이를 위하여 운송거리의 최단 거리화가 우선 필요하다. 본 논문은 전국의 주요 도시에 배치된 우편집중국을 기하적으로 가장 짧게 연결하는 교환센터의 최적 위치를 찾는 방법을 제시한다. 송전계통의 routing, 배전선로망의 최적화 등에 이용되고 있는 Steiner Tree 이론을 최단거리 우편물 운송망 구축에 적용하였다. Steiner Tree 이론으로부터 선정된 위치에 교환센터를 설치할 경우, 운송비를 절감하여 경영수지를 개선할 뿐 아니라 신속한 배달을 최우선으로 하는 택배 시장에서 우위를 점할 수 있을 것으로 기대된다. Steiner Tree 이론은 차기 초고압 선로를 최단거리로 연결하는 전력소의 위치선정 등에도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

Faster, safer and cheaper mailing of the postal matter is essential for surviving in the competitive market of home-delivery service. In the past, the domestic delivery business has been run by only a few number of companies. But more and more number of companies including medium size ones are participating in the business, and the competition is getting severe. This paper proposes a method to select the optimal location of mail distribution centers that minimally connect the local mail centers of some major cities in Korea using the Steiner Tree theory, which is about connecting a finite number of points with a minimal length of paths and has been used in the distribution system optimization and optimal routing of the transmission lines of the electric power system. By using Steiner Tree theory in finding the best location of the postal delivery hub, we may expect the reduction of transportation cost and the increase of profit, resulting in acquiring the superior position in the competitive delivery business. It is expected that we may use the Steiner Tree theory in finding the best location of the electric power substation for the next higher EHV(extreme high voltage) transmission network.

Key Words : Steiner Tree, Postal Delivery Service, Mail Distribution Center, Minimal Path

* 주저자 : 고려대학교 수학과 부교수

** 주저자 : 지식경제부 우정사업본부 성남우편집중국장(기술서기관)

*** 교신저자 : 서울산업대학교 전기공학과 부교수

Tel : 02-970-6411, Fax : 02-978-2754, E-mail : sjlee@snut.kr

접수일자 : 2008년 7월 4일, 1차심사 : 2008년 7월 7일, 심사완료 : 2008년 7월 18일

1. 서 론

홈쇼핑, 전자상거래 등 온라인 거래가 급속히 활성화됨에 따라 택배 운송량 또한 팽창하고 있다. 운송업체는 글로벌화 되어 국내 업체뿐만 아니라 국외 업체까지 가세하여 치열한 경쟁을 하고 있다. 우정사업본부에서는 이러한 경쟁구도하에서의 우위 선점을 위하여 전국에 물류 전용센터를 지속적으로 구축할 예정이다. 우정사업에 있어서 최단 운송루트의 개발은 신속한 배달 및 운송비 절감과 직결되는 매우 중요한 요소이다[1]. 본 논문은 수도권과 영남권, 호남권, 영동권 등 4개 권역과 대전 교환센터를 기하적으로 가장 짧게 연결하는 새로운 교환센터의 최적 위치를 찾는 방법을 제시한다. 다수의 점들을 최단 거리로 잇는 Steiner Tree 이론을 여기에 적용하였으며, Steiner Tree 이론은 배전선로망의 최적화, 송전시스템의 routing 등에 이용된 바 있다[2-3]. Steiner Tree 로부터 선정된 위치에 교환센터를 설치할 경우 기하적으로 가장 짧은 경로를 확보함으로써, 신속한 배달을 최우선으로 하는 택배 시장에서 우위를 점하게 되고 운송비 절감과 매출액 증대를 통한 경영수지 개선이 가능할 것으로 기대된다.

2. 택배시장 및 우체국 운송망 현황

2.1 국내 택배운송시장의 팽창

우리나라는 인구증가와 산업의 발전에 따라 화물물동량이 매년 크게 증가하고 있다. 국민소득의 증가로 수요는 소비자들의 개성에 따라 다양해지고, 화물의 다품종화, 소량화 경향이 나타나고 있다. 2006년 택배운송 매출액은 2조원을 훨씬 상회하여 지난 2000년 6,000억원에 비하여 6년 사이에 3배 이상 증가 하였다. 매년 20~30%씩 성장하는 택배시장을 선점하기 위한 경쟁이 가열되고 있다. 현재 대형 택배업체로는 현대택배, 대한통운, 한진택배, CJ-GLS, 우체국 등이 있으며, 이들의 매출규모는 적게는 1,000억원에서 많게는 2,500억원에 이르고 있다. 이들의 택배시장 점유율은 60% 정도이며, 특히 우체국은 전국에 포진한 3,800여개의 우체국을 택배

망으로 활용, 시장을 적극 공략하고 있다[4].

2.2 대전교환센터 - 전국우편집중국 우편물 운송시스템

전국 주요도시에는 우편물을 1차로 수집 관리하는 우편집중국(예 : 표 1의 서울집, 광주집 등)이 있다. 표 1은 2006년 현재 전국 교환참가 집중국과 대전센터간의 거리 및 운행시간을 나타낸다.

표 1. 대전교환센터와 교환참가 집중국 선로현황
Table 1. Daejeon mail distribution center and local mail centers

청 별	교환 참가국명	편도거리 [km]	운행시간	개국일자
서울청	서울집	177.5	3:00	1990.07
	동서울집	189	3:00	1996.03
	수원집	143	2:30	1999.12
	부천집	198	3:00	2001.06
	고양집	210	3:00	2002.05
	성남집	158.2	2:30	2002.06
	안양집	166.2	3:00	2002.05
	의정부집	204.5	3:00	2002.06
서울국제	194.4	3:00	기존	
부산청	부산집	281.9	4:00	2000.11
	창원집	255.3	3:30	2002.07
	진주집	195	3:00	2002.06
	울산우	285.5	4:00	기존
	남울산우	285.5	4:00	기존
	부산국제	315	4:00	2005.04
전남청	광주집	147.6	2:00	1999.12
	순천집	189.1	3:30	2002.06
경북청	대구집	171	2:30	1999.12
	안동집	213.7	3:50	2002.10
전북청	전주집	46.1	0:50	2000.07
강원청	원주집	192	2:20	1999.12
	강릉집	313.5	4:20	2002.07
충청청	대전집	0.2	0:10	1999.12
	청주집	52.8	1:10	1999.12
	천안집	93.1	1:25	2002.09

그림 1은 대전교환센터를 Hub로 한 2006년 현재의 우편물 운송망도이다. 집중국운송 시스템은 대전 1개소를 Hub로 하는 Hub & Spokes System을 기본

Steiner Tree 이론을 이용한 우편물 교환센터의 최적 위치선정

으로 하고 Point & Point System을 절충한 방식을 채택하고 있다. 즉 집중국간 직발송이 가능한 것은 직발송하고 나머지 물량은 대전교환센터에서 교환하는 방식이다.

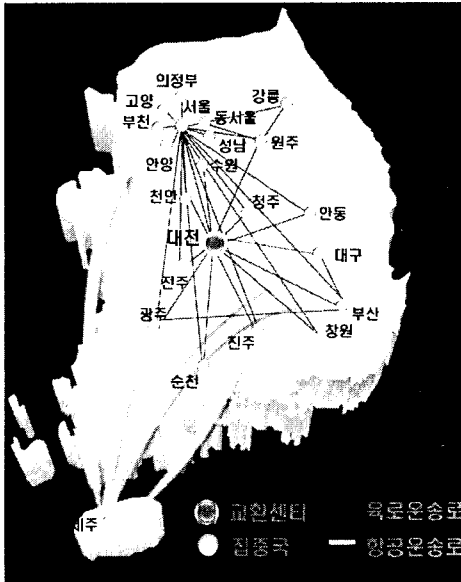


그림 1. 집중국 운송망도
Fig. 1. Transportation map of local mail centers

2.3 새로운 교환센터의 필요성과 기하적 최적위치 선정

표 1에서 보듯이 대전교환센터까지의 거리와 시간을 분석해 보면,

- 거리는 최장 315[km](부산국제집)와 최단 46 [km](전주집)로서 차이가 269[km]이고,
- 시간은 최장 4:20(강릉집)과 최단 50분(전주 집)으로 3:30의 차이를 보인다.

1개 Hub 국(局: 대전교환센터)으로 전국의 물량을 처리함에 따라, 물량이 폭증하는 명절의 경우 차량소통이 매우 혼잡해진다. 또한, 원활한 교환이 이루어지기 위해서는 도착시간이 비슷해야 하는데 최종차량이 도착해야만 교환이 마무리 되므로 먼저 도착한 차량은 많은 시간을 대기해야 한다. 결국 전체 물량의 처리시간이 크게 지연된다. 운송거리도 길어

져 운송비가 더욱 커진다.

이의 해결책으로서 중간지점에 제2, 제3의 교환센터를 증설하는 방안을 생각해 볼 수 있으며 이를 통하여 운송거리 및 대기시간의 단축을 기대할 수 있다. 우정사업본부 또한 경쟁 우위 선점을 위하여 전국에 물류 전용센터를 지속적으로 구축할 예정이다 [1-4].

표 2는 전국을 크게 4개 권역으로 나누어 살펴 본 경우 각 권역과 대전센터 간의 2006년도 운송현황이다[4].

표 2. 2006년 대전센터와 권역별 운송현황
Table 2. Transportation in 2006 among Daejeon mail distribution center and major local regions

권역별	운송차량 수 (비율[%])	운송거리 ([km])	운송비 단가(원)	운송비총계 (비율[%])
수도권	34,516 (33.8)	182	260,914	9,005 (31.2)
영동권	17,231 (16.8)	252	303,560	5,230 (18.1)
영남권	31,841 (31.2)	269	314,687	10,019 (34.8)
호남권	18,629 (18.2)	168	245,531	4,574 (15.9)
계	102,217	871		28,828

비고 : 1. 운송 차량 수는 각 지역별 총 차량수
2. 운송거리는 각 지역별 평균 운송거리
3. 운송비 단가는 8t 차량 기준

여기서

- 수도권-영동권 및 대전 교환센터를 연결하는 새로운 교환센터 1과
- 영남권-호남권 및 대전 교환센터를 연결하는 새로운 교환센터 2

를 신설한다고 가정하고, 이들을 기하적으로 가장 짧게 연결하는 이론적 위치를 찾아보자. 다수의 점들을 최단거리로 잇는 수학적 이론에는 Steiner Tree 이론이 있다[5-8]. 다음 장에 Steiner Tree 이론에 대한 개요를 설명하였다.

3. Steiner Tree 이론의 개요

3.1 Steiner Tree

Steiner Tree 이론은 수학자 Steiner(1796~1863)에 의해 제시된, 주어진 유한 개의 점을 연결하는 최소 길이의 경로를 찾는 이론이며, 일반적으로 Steiner points라고 하는 유한 개의 점을 더 첨가하고 한 점에 모이는 세 경로 사이의 각도가 120°가 되어야 한다는 것이 알려져 있다.

다음은 세 점 O, A, B 를 연결하는 최단 경로를 나타낸 그림인데 하나의 Steiner point S 를 첨가하면 가장 짧은 경로를 만들어낼 수 있다.

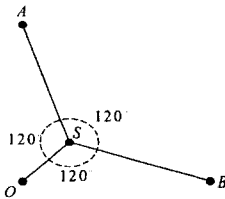


그림 2. Steiner point
Fig. 2. Steiner point

3.2 Steiner Tree ■ 이용한 직사각형 네 꼭지점의 최단거리 연결

직사각형의 네 꼭지점을 모두 연결하는 가장 짧은 route는 대각선이며 대각선의 교차점(중심점)이 네 꼭지점을 가장 짧게 연결하는 점이라는 것이 일반적인 상식이다. 그러나, 이는 사실이 아니다. 다음의 예로부터 알 수 있는 바와 같이 두 개의 Steiner point

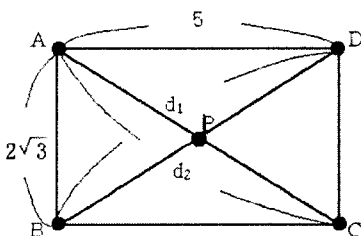


그림 3. 직사각형과 대각선
Fig. 3. A rectangle and its diagonals

를 이용하면 더욱 짧은 route를 얻을 수 있다. 정사각형의 경우도 마찬가지이다. 그림 3은 직사각형이며 선분 AC, BD 는 대각선이다. 계산의 편의상 가로를 5, 세로를 $2\sqrt{3}$ 으로 가정하였다.

중심점 P 에서 점 A, B, C, D 를 연결하는 선분 PA, PB, PC, PD 의 길이의 합은

$$2 \times \sqrt{5^2 + (2\sqrt{3})^2} = 12.165 \quad (1)$$

이 된다. 그림 4의 S_1 점은 A, B, P 점의 Steiner point, S_2 점은 C, D, P 점의 Steiner point이다.

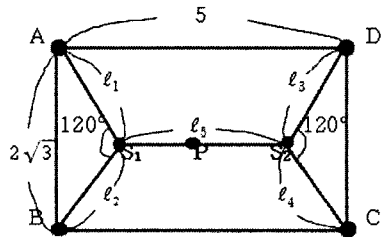


그림 4. 직사각형의 두 Steiner point
Fig. 4. Two Steiner points of a rectangle

네 점 A, B, C, D 와 S_1, S_2 점을 연결하는 선분 $AS_1, BS_1, S_1S_2, CS_2, DS_2$ 의 길이의 합은

$$2 + 2 + 3 + 2 + 2 = 11 \quad (2)$$

이 된다. 두 개의 Steiner point를 통하여 연결되는 route가 두 대각선의 길이 보다 더 짧음을 알 수 있다[6-9].

4. Steiner Tree 이론을 이용한 우편물 교환센터의 최적 위치선정

그림 9와 같이, 수도권(서울-하남)과 영동권(강릉), 영남권(부산)과 호남권(광주) 등 4개 주요 권역과 대전교환센터를 가상하고, 수도권-영동권 및 대전 교환센터를 기하적으로 가장 짧게 연결하는 새로운 교환센터 S_1 과, 영남권-호남권 및 대전 교환센터를 기하적으로 가장 짧게 연결하는 새로운 교환센터 S_2 를 Steiner Tree를 이용하여 찾아보자.

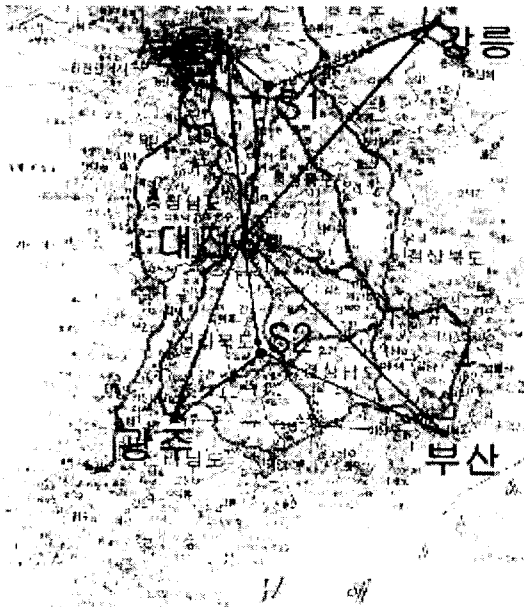


그림 5. 수도권-영동권-호남권-영남권 4개 권역과 대전교환센터의 연결
Fig. 5. Connection among Daejeon mail distribution center and major local regions

4.1 Steiner point 와 연결점들의 거리

서울, 강릉, 대전을 꼭지점으로 하는 삼각형과 대전, 광주, 부산을 꼭지점으로 하는 삼각형에 Steiner Tree 이론을 적용하여 최단거리 경로를 작도한 결과 아래 두개의 Steiner point를 찾았다.

Steiner point S_1 :

경기 이천시 부발읍~경기도 여주군 능서면 경계

Steiner point S_2 :

전북 장수군 반암면~전라북도 함양군 백전면 경계

순쉬운 거리 비교를 위해 Steiner point 와 그림 4의 각 점들과의 거리 [cm]를 자로 측정하여 비교한 결과는 아래와 같다.

Steiner point 와 연결점들의 거리

s_1 : 경기도 하남시~경기도 이천시 : 1.65

s_2 : 강원도 강릉시~경기도 이천시 : 5.5

s_3 : 대전광역시~경기도 이천시 : 4.45

s_4 : 대전광역시~전라북도 장수군 : 3.5

s_5 : 부산광역시~전라북도 장수군 : 6.15

s_6 : 광주광역시~전라북도 장수군 : 3.35

따라서 Steiner point 와 연결점들의 거리의 합은

$$L_s = \sum_{i=1}^6 s_i = 24.6[\text{cm}] \quad (3)$$

가 된다.

4.2 4개 권역과 기존 대전연결센터와의 연결거리

4개 주요 권역과 기존 대전연결센터와의 연결거리 [cm]의 측정결과는 아래와 같다.

ℓ_1 : 경기도 하남시~대전광역시 : 5.5

ℓ_2 : 강원도 강릉시~대전광역시 : 8.8

ℓ_3 : 광주광역시~대전광역시 : 5.9

ℓ_4 : 부산광역시~대전광역시 : 8.5

따라서 4개 주요 권역과 기존 대전연결센터와의 연결거리의 합은 :

$$L_l = \sum_{i=1}^4 \ell_i = 28.7[\text{cm}] \quad (4)$$

가 된다.

4.3 Steiner point 로 단축되는 거리

4개 주요 권역과 기존 대전연결센터와의 연결거리의 합 L_l 과 Steiner point 와 연결점들의 거리의 합 L_s 와의 차이 [cm]는

$$L_l - L_s = 28.7 - 24.6 = 4.1 \quad (5)$$

이 된다. 즉 Steiner point 에 의한 연결거리가 기존의 대전을 중심으로 하는 운송망에 비해 약 14.3[%] 정도 짧아진다. 지도의 축척을 감안한 실제 단축거리는 약 11.85[km]이다. 즉, Steiner Tree 이론을 이

용하여 새로운 연결센터의 위치를 선정할 경우, 운송거리가 기존의 운송망에 비해 약 11.85[km]가 단축되며 그만큼 배달이 신속해지고 운송비가 절감될 수 있음을 의미한다. 이렇게 찾아진 Steiner point는 현실적으로 실현이 불가능할 지라도 수학적으로 최단거리를 제시하는 그 자체만으로도 의미가 있다

5. 결 론

본 논문은 수도권, 영동권, 영남권, 호남권 등, 4개 권역과 대전교환센터를 기하적으로 가장 짧게 연결하는 두 개의 새로운 교환센터의 최적 위치를 찾는 방법을 제시한다. 송전계통의 routing, 배전선로망의 최적화 등에 이용되고 있는 Steiner Tree 이론을 최단거리 우편물 운송망 구축에 적용하였다. Steiner Tree로부터 선정된 위치에 교환센터를 설치할 경우, 기존의 대전연결센터를 Hub로 하는 체제에 비하여 약 11.85[km]의 운송거리가 단축될 수 있음을 확인하였다. Steiner Tree 로부터 선정된 위치에 교환센터를 설치할 경우, 신속한 배달을 최우선으로 하는 택배 시장에서 우위를 점하게 되고 운송비 절감과 매출액 증대를 통한 경영수지 개선이 가능할 것으로 기대된다. 향후,

- 이론적 최적위치에 현실적 제약조건을 고려하는 문제,
- 교환센터와 집중국의 숫자가 지속적으로 더 늘어날 경우 이 문제를 해결하기 위한 일반적인 알고리즘의 개발,
- 각 운송도로(branch) 에 가중치(weight)가 주어지는 경우

등에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다. Steiner Tree 이론은 전력계통의 전선로를 최단거리로 연결하는 차기초고압 변전소의 위치선정 등 다양한 분야에 적용될 수 있는 매우 유용한 tool로 사료된다.

References

[1] 로지스틱스21 편집부, "화물운송론 2007", 한국물류정보, pp. 21-441.
 [2] C. Coulston, R. Weissbach, "Routing Transmission Lines via Steiner Trees" IEEE Power Engineering Society General Meeting, Volume 3, pp 1576-1579, July 2003.

[3] Gang Duan, Yixing Yu, "Power distribution system optimization by an algorithm for capacitated Steiner Tree problems with complex-flows and arbitrary cost functions." 中國科技論文在線http://www.paper.edu.cn, pp 183-186, 2005. 3.
 [4] 정보통신정책연구원, "우정동향 주간브리프 종합본(2006. 5-2006.12)", pp. 3-5, 14-17, 103, 311-314, 2007. 1.
 [5] 유용규, 이상중, "Steiner Tree 이론을 이용한 최적 우편물 운송망 구축"(Design of Minimal Postal Transportation Path using Steiner Tree), 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, 대구 인터볼고 호텔, pp 183-186, May 2007.
 [6] Derek R. Dreyer, Michael L. Overton, "Two Heuristics for the Euclidean Steiner Tree Problem", Journal of Global Optimization, Vol. 13, No 1, Springer, Netherlands, 1998.
 [7] Th. W. Ruijgrok, "The exact solution of a three-body problem", European Journal of Physics, Vol.5, pp.21-24, 1984.
 [8] D. Z. Du, F. K. Hwang, G. D. Song, G. Y. Ting, "Steiner Minimal Trees on Sets of Four Points", Discrete Computational Geometry, Vol.2, pp.401-414, Springer-Verlag, New York, 1987.
 [9] G. Grewal, T. Wilson, MXu, and D. Banerji, "Shrubbery," A New Algorithm for Quickly Growing Highly-Quality Steiner Tree", Proceedings of 17th International Conference on VLSI Design(VLSI'04), IEEE Computer Society, pp 1576-1579, 2004.

◆ 저자소개 ◆

양성덕 (梁盛德)

1968년 1월 4일생. 1990년 한국과학기술원 졸업. 1991년 Brown University 졸업(석사). 1997년 Brown University 졸업(박사). 1997~2000년 Indiana University 방문 조교수. 2000~2001년 Brown University 방문 조교수. 2001~현재 고려대학교 수학과 부교수. 미분기하 전공.

유용규 (柳雄圭)

1955년 3월 27일생. 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 서울산업대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년 체신부 경북전신전화건설국 발령. 1987년 체신부조달사무소 전기과장. 2005년 정보통신부 창원우편집중국장(기술서기관). 2007년 5월 1일~현재 지식경제부 우정사업본부 성남우편집중국장(기술서기관).

이상중 (李尙中)

1955년생. 부산공업고등전문학교 전기과 5년 졸업. 성균관대학교 전기공학과 졸업. 충남대학교대학원(박사). 1987~1988년 GE Power System Engineering Course (PSEC) 수료. 1976년 한국전력 입사. 1995년 한국전력공사 전력연구원 전력연구실 부장. 수화력발전연구실 발전전기 팀장. 1996년 한국전력공사 보령화력본부 부장. 1998년~현재 서울산업대학교 전기공학과 부교수.