

전선의 최단거리 루트 선정을 통한 공사비용 절감 방안

(Cost Reduction through Shortest Path Connection of Electric Power Line)

이상중* · 윤준영**

(Sang-Joong Lee · Jun-Young Yoon)

Abstract

The shorter the electric power line is, the less its cost becomes. In this paper, the Steiner tree is applied to find the shortest path of the electric power line to obtain resultant cost reduction. Up to 18.3[%] of length reduction can be expected compared to conventional method when the lines are connected through the Steiner points, which also can result in appreciable cost reduction.

Key Words : Steiner Tree, Steiner Point, Electric Power Line, Cost Reduction

1. 서 론

새로운 송배전망의 구축, 플랜트 건설, 건물의 신축, 전력설비의 교체 등 전선로 포설이 수반되는 공사는 수없이 많다. 전선로 포설공사는 경우에 따라 차이는 있으나 상당한 비용과 공사기간을 필요로 한다. 신기술, 신소재, 신공법 개발을 통한 원가절감과 공기단축을 항상 필요로 한다. 전선로는 그 경로가 짧을수록 배관배선에 대한 공사비용을 저감할 수 있다. 다수의 점을 연결하여 최단거리의 경로를 찾는 Steiner 이론은 반도체 회로의 구성, 우편물 교환센터의 최적 위치 선정 등에 활용되어 왔다[1-3].

본 논문은 전선로의 포설거리를 최소화함으로써 전선비용을 절감하는 방안을 제시하였다. Steiner tree

이론을 적용할 경우 전선로의 연결 경로가 단축되는 정도와 이로부터 기대되는 전선비용의 절감액을 모의 계산하여 보았다. 이 모의계산에서는 Steiner tree를 이용하면 기존의 접속방법에 비해 전선로의 포설거리는 18.3[%] 정도까지 짧아질 수 있고, 이에 따른 비용 절감을 기대할 수 있음을 확인하였다.

2. Steiner Tree를 이용한 전선로 포설

2.1 Steiner Tree

Steiner Tree 이론은 유한개의 점을 연결하는 최소 길이의 경로를 찾는 이론으로서 스위스의 수학자 Steiner(1796-1863)에 의해 증명되었다. 세 점을 연결할 경우 Steiner point라 불리는 한 개의 점을 추가하고 여기에 연결되는 세 가지(branch)가 만드는 각도가 각각 120[°]가 될 경우 세 점을 연결하는 경로(path)가 최소가 된다는 이론이다. 그림 1의 S가 Steiner point

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 교수

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 산업대학원

Tel : 02-970-6411, Fax : 02-978-2754

E-mail : 85sjlee@snut.ac.kr

접수일자 : 2010년 11월 11일

1차심사 : 2010년 11월 13일

심사완료 : 2011년 3월 15일

이며 선분 AS, OS, BS가 만드는 각도가 각각 120°]가 될 경우 AS+OS+BS의 길이는 최소가 된다.

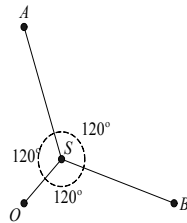


그림 1. Steiner point를 이용한 세 점의 최단거리
Fig. 1. Shortest path of three points via Steiner point

2.2 Steiner Tree를 이용한 전선로 연결

Case 1. 직사각형 네 꼭짓점의 최단거리 연결-1

그림 2와 같이 직사각형을 이루는 네 점 L₁, L₂, L₃, L₄를 가정하자. 네 점을 모두 연결하고자 할 경우, L₁→L₂→L₃→L₄의 세 직선으로 연결하는 것이 일반적인 방법이다.

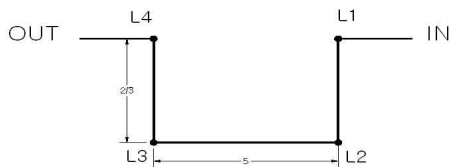


그림 2. 네 꼭짓점의 연결
Fig. 2. Connection of four vertices

계산의 편의상 직사각형의 가로(L₂→L₃)를 5, 세로(L₁→L₂)를 2√3으로 가정하고 L₁→L₂→L₃→L₄ 경로(path)의 길이를 계산하면 :

$$L_1L_2 + L_2L_3 + L_3L_4 = 2\sqrt{3} + 5 + 2\sqrt{3} = 11.928 \quad (1)$$

이 된다. 그러나 그림 3과 같이 두 개의 Steiner point를 이용하면 더 짧은 경로(path)를 얻을 수 있다. 그림 3의 점 S₁은 ΔL₁OL₂의 Steiner point이며, 점 S₂는 ΔL₃OL₄의 Steiner point이다. 단, O는 직사각형 L₁L₂L₃L₄의 두 대각선이 교차하는 중점이다.

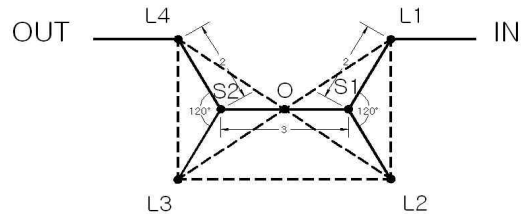


그림 3. Steiner point를 활용한 네 꼭짓점의 연결
Fig. 3. Connection of four vertices via Steiner points

Steiner Point S₁ 및 S₂로 연결된 새로운 경로(path)의 길이는 :

$$L_1S_1 + L_2S_1 + S_1S_2 + S_2L_3 + S_2L_4 = 2 + 2 + 3 + 2 + 2 = 11 \quad (2)$$

이 된다. 두 개의 Steiner point를 통하여 연결되는 그림 3의 경로(path)가 네 점을 세 직선으로 연결하는 그림 2의 경로(path)보다 0.928(7.8%) 짧음을 알 수 있다[3-4].

Case 2. 직사각형 네 꼭짓점의 최단거리 연결-2

그림 4와 같이 세로가 긴 직사각형을 이루는 네 점 L₁, L₂, L₃, L₄를 가정하자. 네 점을 모두 연결하고자 할 경우, L₁→L₄, L₁→L₂, L₄→L₃의 세 직선으로 연결하는 것도 일반적으로 통용되는 한 방법이다.

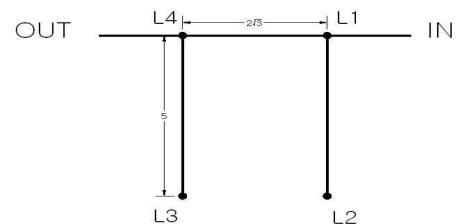


그림 4. 네 꼭짓점의 연결(2)
Fig. 4. Connection of four vertices(2)

계산의 편의상 직사각형의 가로(L₁→L₄)를 2√3, 세로(L₁→L₂)를 5로 가정하고 L₂→L₁→L₄→L₃ 경로(path)의 길이를 계산하면 :

$$L_1L_2 + L_1L_4 + L_4L_3 = 5 + 2\sqrt{3} + 5 = 13.464 \quad (3)$$

전선의 최단거리 루트 선정을 통한 공사비용 절감 방안

가 된다. 그러나 그림 5와 같이 두 개의 Steiner point를 이용하면 더 짧은 경로(path)를 얻을 수 있다. 그림 5의 점 S_1 은 ΔL_1OL_4 의 Steiner point이며, 점 S_2 는 ΔL_3OL_2 의 Steiner point이다.

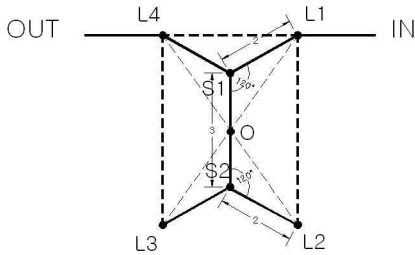


그림 5. Steiner point를 활용한 네 점의 연결(2)
Fig. 5. Connection of four vertices via Steiner points(2)

Steiner Point S_1 및 S_2 로 연결된 새로운 경로(path)의 길이는 :

$$L_1S_1 + L_4S_1 + S_1S_2 + S_2L_2 + S_2L_3 = 2 + 2 + 3 + 2 + 2 = 11 \quad (4)$$

이 된다. 두 개의 Steiner point를 통하여 연결되는 그림 5의 경로(path)가 네 점을 세 직선으로 연결하는 그림 4의 경로(path)보다 2.464(18.3[%]) 더 짧음을 알 수 있다[4].

Case 3. 세 꼭짓점의 최단거리 연결-1

그림 6과 같이 정삼각형을 이루는 세 점 L_1, L_2, L_3 를 가정하자. 세 점을 모두 연결하고자 할 경우, $L_1 \rightarrow L_2, L_1 \rightarrow L_3$ 의 두 개의 직선이면 간단히 연결된다.

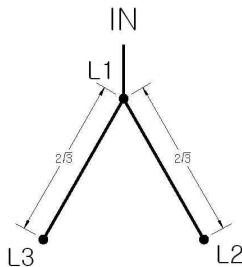


그림 6. 세 꼭짓점의 연결
Fig. 6. Connection of three vertices

계산의 편의상 선분 L_1L_2 및 L_1L_3 의 길이를 $2\sqrt{3}$ 로 가정하고 $L_2 \rightarrow L_1 \rightarrow L_3$ 경로(path)의 길이를 계산하면 :

$$L_1L_2 + L_1L_3 = 2\sqrt{3} + 2\sqrt{3} = 6.928 \quad (5)$$

이 된다.

이 방법을 세 점 L_1, L_2, L_3 를 최단거리로 연결하는 방법으로 생각하는 경우가 많다. 그러나 그림 7과 같이 Steiner Point S_1 을 이용하면, 더 짧은 경로(path)를 얻을 수 있다.

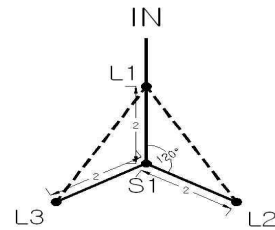


그림 7. Steiner point의 활용한 세 꼭짓점의 연결
Fig. 7. Connection of three vertices via Steiner point

그림 7의 점 S_1 은 $\Delta L_1L_2L_3$ 의 Steiner point이다. Steiner Point S_1 으로 연결된 새로운 경로(path)의 길이는 :

$$L_1S_1 + S_1L_2 + S_1L_3 = 2 + 2 + 2 = 6 \quad (6)$$

이 된다. Steiner point를 통하여 연결되는 그림 7의 경로(path)가 세 점을 두 직선으로 연결하는 그림 6의 경로(path)보다 0.928(13.4[%]) 짧음을 알 수 있다[5].

Case 4. 세 꼭짓점의 최단거리 연결-2

그림 8과 같이 직각 이등변삼각형을 이루는 세 점 L_1, L_2, L_3 를 가정하자. 세 점을 모두 연결하고자 할 경우, $L_1 \rightarrow L_2, L_1 \rightarrow L_3$ 의 두 개의 직선으로 간단히 연결할 수 있다.

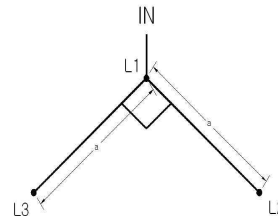


그림 8. 세 꼭짓점의 연결(2)
Fig. 8. Connection of three vertices(2)

선분 L_1L_2 및 L_1L_3 의 길이를 a 로 가정하고 $L_2 \rightarrow L_1 \rightarrow L_3$ 경로(path)의 길이를 계산하면 :

$$L_1L_2 + L_1L_3 = a + a = 2a \quad (7)$$

가 된다. 그러나 그림 9와 같이 Steiner Point S_1 을 이용하면, 더 짧은 경로(path)를 얻을 수 있다.

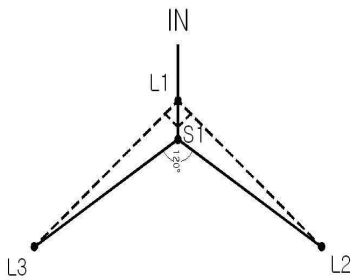


그림 9. Steiner point의 활용한 세 꼭짓점의 연결(2)
Fig. 9. Connection of three vertices via Steiner point(2)

그림 9의 점 S_1 은 $\Delta L_1L_2L_3$ 의 Steiner point이다. Steiner Point S_1 으로 연결된 새로운 경로(path)의 길이는 :

$$L_1S_1 + S_1L_2 + S_1L_3 = 0.299a + 0.831a + 0.831a = 1.931a \quad (8)$$

이 된다. Steiner point를 통하여 연결되는 그림 9의 경로(path)가 세 점을 두 직선으로 연결하는 그림 8의 경로(path)보다 0.069a(3.5[%]) 짧음을 알 수 있다[5-6].

3. Steiner Tree를 이용한 전선비용의 계산

전선로 공사의 경우, 선로망의 경로(path)가 짧아지면 케이블 등 전선자체의 소요비용은 그만큼 줄어든다. 전선로 포설 공사를 수반한 전기공사의 한 예를 들어 최단거리 선로망 구축에 따른 케이블 비용의 절감효과를 분석해 보았다. 경기 북부의 H 택지개발지구 전기공사의 경우 직접공사비 구성은 표 1과 같다.

표 1. H 택지개발지구 전기공사 직접공사비 구성
Table 1. Electrical installation cost of H Site

비 목	단위	수량	금액	구성비
재료비	식	1	828,253,017	91.09[%]
노무비	식	1	79,058,673	8.69[%]
경비	식	1	1,569,067	0.17[%]
운반비	식	1	405,000	0.05[%]
계			909,285,757	100[%]

Remark : 관급재료비 중, 케이블은 물가자료/물가정보 기준, 가스개폐기 및 변압기는 한전 납품단가 기준으로 계산

표 2는 재료비 내역이며, 재료비 중 케이블이 차지하는 비중은 94.84[%]이다[7].

본 논문에서는 그림 3, 5, 7, 9의 기법을 전 공사구간에 적용할 수 있다고 가정하고 이 경우의 비용 절감효과를 개략 계산하여 보았다. Steiner tree를 이용하여 전선로 경로(path)를 구성할 경우, 직각이등변 삼각형과 정삼각형의 경우 각각 3.5~13.4[%], 직사각형의 경우 7.8~18.3[%] 정도의 길이가 단축됨에 따라, 이를 H 개발택지구 전선로 포설공사에 적용할 경우, 표 3과 같은 비용절감 효과를 예상할 수 있다.

표 2. H 택지개발지구 전기공사 재료비 구성
Table 2. Material cost of electrical installation in H Site

비 목	단위	수량	금액	구성비
케이블	식	1	785,494,442	94.84[%]
가스개폐기	식	1	21,280,000	2.57[%]
변압기	식	1	17,000,000	2.05[%]
기 타	식	1	4,073,575	0.54[%]
계			828,253,017	100[%]

표 3에 나타난 바와 같이 Steiner tree를 이용하여 전선로의 경로(path)를 최소화함으로써, 약 2.92~15.81[%]의 직접공사비 절감효과가 있음을 알 수 있다.

최단거리 선로망 구축을 통해 관로관, 터파기 비용 등 부대공사 비용 감소도 기대할 수 있다.

표 3. H 택지개발지구의 Steiner tree 적용 효과
Table 3. Result of Steiner tree application to H Site

꼭짓점 기준	길이 단축효과	케이블 절감비용	공사비 대비 절감효과
3 (정삼각형)	13.4[%]	105,256,255	11.58[%]
3 (직각삼각형)	3.5[%]	27,099,558	2.92[%]
4 (가로로 긴 경우)	7.8[%]	61,268,567	6.74[%]
4 (세로로 긴 경우)	18.3[%]	143,745,483	15.81[%]

4. 결 론

Steiner Tree 이론은 세 점을 연결할 경우 Steiner point라 불리는 한 개의 점을 추가하고 여기에 연결되는 세 가지(branch)가 만드는 각도가 각각 120[°]가 될 경우 세 점을 연결하는 경로(path)가 가장 짧아진다는 이론이다. 본 논문에서는 전선로 포설공사에 Steiner Tree 이론을 적용하였다. 모의 계산 결과 전선로의 길이가 18.3[%] 정도까지 단축될 수 있고 이에 따라 케이블 등 전선로 자재비용도 크게 절감됨을 확인하였다. 실제 전선로 포설공사에 있어 여러 가지 제약 조건으로 인해 Steiner Tree 이론을 적용한다는 것이 쉽지 않다는 한계점은 있지만, 전선로의 길이를 최소화하는 수학적 최단거리를 찾을 수 있다는 것만으로도 큰 의미가 있다. Steiner Tree 이론은 공간사용에 대한 제약이 덜한 저압 배전선로, 옥내배선, 배전반 결선 등에 유용하게 적용이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] G. Grewal, T. Wilson, M.Xu, 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.

[2] S. Lee, "Minimal Path Connection of Superconducting Power Cable using Steiner Tree", ASC-2010 Applied Superconductivity Conference, 4LPJ-07, Aug 1-6. 2010, Washington DC, USA.

[3] 양성덕, 유용규, 이상중, "Steiner Tree 이론을 이용한 우편물 교환센터의 최적 위치선정"(Optimal Location of Mail Distribution Center using Steiner Tree), Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.9, pp.82~87, Sep 2008.

[4] 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.

[5] Th. W. Ruijgrok, "The exact solution of a three-body problem", European Journal of Physics, Vol.5, pp.21-24, 1984.

[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] (주)양지종합건설, "H 택지개발지구내 지장이전 유관공사 중 배전간선 설치공사 내역서", 한국통신구리지사(발주자)/한라건설(주)(원사업자) 계약내역서, 2007.10.

◇ 저자소개 ◇



이상중 (李尙中)

1955년생. 부산공업고등전문학교 전기과 5년 졸업. 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1988년 GE PSEC 수료. 충남대학교 대학원 졸업(박사). 1995년 한국전력공사 전력연구원 부장. 1996년 한국전력공사 보령화력본부 부장. 1998년~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 교수.



윤준영 (尹俊漢)

1977년 10월 21일생. 1996년 광명북고등학교 졸업. 2003년 국민대학교 경영학부(경영학 전공) 졸업. 2011년 서울과학기술대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002~2007년 유진투자증권(전 서울증권). 2007년~현재 (주)양지종합건설 관리부 이사.