

지중배전공사의 경제적 시공을 위한 관로배열 최적화 알고리즘

조성수*, 김재훈, 이원영, 한상옥
한전 전력연구원*, 충남대학교

An optimum algorithm for the economical construction of underground pipe-lines

Seong-Soo Cho*, Jae-Hoon Kim, Won-Young Lee, Sang-Ok Han
Korea Electric Power Research Institute*, ChungNam National University

Abstract - Despite high cost, the underground power distribution system has been preferred by utilities and customers due to its stability and good living environment. Utilities, however, are burdened with the cost of installation as the service region of underground power system is getting enlarged. In this paper, a design method is proposed in order to reduce the construction cost of underground distribution system. That is an optimum algorithm, which can increase the total number of pipes in a limited space compared with a conventional design method. As a result, the proposed design method can reduce efficiently the construction cost of underground distribution system.

1. 서 론

산업의 발달과 도시화의 촉진으로 사회전반에 걸쳐 전력의존도가 점점 높아지는 한편, 생활수준의 향상과 쾌적한 생활환경을 요구하는 사회적 욕구 또한 그 수준이 높아지고 있는 실정이다. 이러한 사회적 필요와 요구에 부응하기 위해 전력회사는 가공배전계통보다 전력공급 신뢰도가 높고 쾌적한 생활환경을 제공할 수 있는 지중배전계통을 확대 보급하고자 노력하고 있으나 지중배전계통의 건설비가 가공설비에 비해 5~7배의 비용이 추가로 들기 때문에 전면적인 확대 보급에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 전력회사는 대규모 신규택지 개발단지과 대도시를 중심으로 지중배전계통을 건설하고 있으며 지자체에서 건설비의 일부, 특히 도로복구비를 면제해주는 경우에 우선적으로 지중배전계통을 건설하고 있다. 지중배전계통의 혜택을 보다 많은 소비자들에게 제공하고 전력계통 자체의 전력공급 안정도를 높이기 위한 노력은 대도시 인구밀도가 높은 일본을 중심으로 지중배전계통의 건설비를 절감하고자하는 연구를 진행해 왔으며 그 주요 관심은 토목공사를 필요로 하는 부분에 집중되고 있다. 그 방법으로 천층매설 공법, 지중배전 기자재의 소형화, 표층매설 공법 등이 연구되어 왔다[1]. 국내의 경우 관로를 이용한 케이블 포설이 주를 이루고 있으므로 관로 공사비를 절감할 수 있는 한 방안으로 관로배열 최적화 알고리즘을 본 논문에서 제안하고자 한다. 관로배열 최적화[2]의 핵심 아이디어는 도로 굴착현장에서 토사의 무너짐을 방지하기 위해 구배굴착(일정한 경사를 두어 도로를 굴착하는 방법)을 시행하고 있는데 이러한 굴착공간에 최대한의 관로를 공사비가 가장 적게 드는 관로배열을 찾는 방법이다. 이것은 기존의 획일화된 관로설계법에서 탈피하여 현장여건에 적합하면서도 경제적인 관로배열을 설계할 수 있게 해줄 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 관로배열 설계

관로배열의 설계는 우선 몇 공의 관로를 매설할지가 결정된 상태에서 시작하게 된다. 실무에 있어서 관로공수를 결정하는 것 또한 향후 부하증가의 예측, 주변 변전소나 계통의 신증설 계획 등을 고려해야 하는 기술적이고 어려운 업무이긴 하나 본 논문에서는 논의로 하고 이미 결정된 관로수를 가지고 공사비가 적게 드는 굴착단면을 찾아보았다.

2.1.1 기존의 설계방법 검토

이미 정해진 관로의 숫자에 따라 표 1과 같은 유형별 코드를 참조하여 관로의 배열을 우선 결정한다.

표1. 관로유형 코드 및 관로배열

코드	관로배열	코드	관로배열	코드	관로배열	코드	관로배열
1단 1	0	1단 2	00	1단 3	000	1단 4	0000
2단 1	0	2단 2	00	2단 3	000	2단 4	0000
	0		00		000		0000
3단 1	0	3단 2	00	3단 3	000	3단 4	0000
	0		00		000		0000
	0		00		000		0000
4단 1	0	4단 2	00	4단 3	000	4단 4	0000
	0		00		000		0000
	0		00		000		0000
	0		00		000		0000
A3	0	A4	0	A5	00	A6	00
	00		000		000		0000
A7	0	A8	00	A9	0	B0	00
	000		000		0000		0000
	000		000		0000		0000
B1	000	B2	00	B3	0	B4	00
	0000		00000		00000		0000
	0000		00000		0000		0000
	0000		00000		0000		0000

표 1에서 결정된 배열의 관로를 매설하기 위해서는 설계기준에 적합한 굴착공간을 갖도록 굴착단면을 설계해야 한다. 관로의 굴착단면은 '굴착깊이 계산+굴착저폭 계산+도로 굴착폭 계산'의 과정으로 결정되는데 상세한 계산법은 다음과 같다.(그림 1 참조)

- (a) 굴착깊이 계산 = 설계기준상 관로매설 깊이+관로 직경+굴착저면 간격(50mm)
- (b) 굴착저폭 계산 = 설계기준상 좌우 여유폭+관직경
- (c) 도로굴착폭 계산 = 굴착저폭+굴착구배(0.1)×2×(굴착깊이-포장층 깊이)

(a)와 (b)계산과정에서 관로가 2개 이상이면 관사이 간격 100mm가 추가된다. 이미 표 1에서 보았듯이 최하단의 관로 수가 가장 크므로 최하단의 관로수를 기준으로 굴착저폭을 결정하면 된다. 왜냐하면 상단의 관로 수는

최하단의 관로 수보다 적거나 같고 상단으로 갈수록 굴착공간이 넓어지기 때문이다.

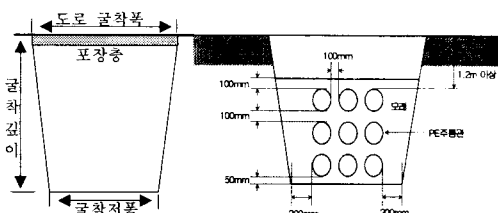


그림 1. 굴착단면도와 관로 표준단면 설계도

기존 관로설계법으로 직경 175mm 파형관(주름관) 8공을 설계한 관로단면도의 예와 소요되는 공사비를 그림 2와 표 2에 각각 나타내었다.

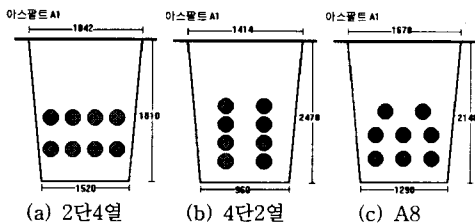


그림 2. 직경 175mm 파형관 8공의 관로배열에 따른 굴착단면의 비교

표 2. 관로배열에 따른 공사비 비교

비교 조건	관로 배열	총공사비	굴착 공사비	되메우기 공사비	포장파괴 공사비	복구 공사비
도로 복구 공사 포함	2단4열	2,546,268	744,073	501,275	81,553	1,219,367
	4단2열	2,330,276	740,796	590,837	62,603	936,040
	A8	2,445,521	750,977	563,125	70,927	1,060,492
도로 복구 공사 제외	2단4열	1,326,901	744,073	501,275	81,553	0
	4단2열	1,394,237	740,796	590,837	62,603	0
	A8	1,385,029	750,977	563,125	70,927	0

도로복구 공사여부에 따라 공사비가 최소가 되는 관로 배열이 서로 다를 수 있다. 이것은 복구공사비가 관로공사비의 약 50%를 점유하고 있어 굴착깊이가 좀 깊어지더라도 굴착폭이 작은 단면이 공사비 측면에서 유리하기 때문이다. 현재 시공기간을 단축하기 위해 주로 사용되는 조립식 맨홀은 3단3열을 기준으로 되어있기 때문에 굴착깊이를 추가시키는 4단배열은 적용에 어려움이 많으므로 앞으로 검토조건에서 제외시키고 상대적으로 적용가능성이 높은 4열 포설조건을 포함시켜 최대 관로 배열을 3단4열 조건에서 검토하였다. 이러한 최대 관로 배열조건과 일반적인 공사조건인 도로복구비를 포함한 상태에서는 A8 형태의 관로배열이 기존 관로배열 설계법에서는 가장 경제적인을 알 수 있다.

2.1.2 관로굴착단면의 새로운 설계법

관로를 매설하기 위해서는 관로를 매설할 공간이 필요하며 도로굴착 공사를 통해 그 공간을 확보하게 된다. 이때 토사의 무너짐을 방지하기 위해 일정한 경사를 두고 도로를 굴착한다. 이러한 경사 때문에 그림 2와 같은 역사다리꼴 형태의 굴착단면이 설계된다. 역사다리꼴 형태의 굴착단면에는 하단의 관로보다 상단의 관로수가 많을 때 굴착공간의 낭비없이 더 많은 관로를 매설할 수

있게 된다. 즉, 동일한 관로수에서는 더 작은 굴착공간만으로도 충분하므로 굴착 및 복구와 관련된 공사비를 절감할 수 있게 된다. 상단의 관로수가 더 많은 경우를 포함하려면 기존의 굴착단면 설계방법 중에서 (b) 굴착저폭의 계산부분을 일반화 시켜야 한다. 따라서 그림 3과 같은 새로운 굴착저폭 계산법을 제안하고자 한다.

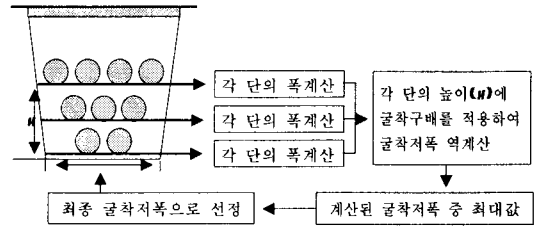


그림 3. 새로운 굴착저폭 계산법

새로운 관로배열에 의한 효과를 알아보기 위해 기존 설계법에서 가장 경제성이 있었던 A8 형태의 관로를 그림 4 (b)와 같이 변경하여 보았다. 같은 3단배열이기 때문에 굴착깊이는 변화가 없었으나 굴착폭은 약 5%정도 감소하는 효과를 보여주었다.

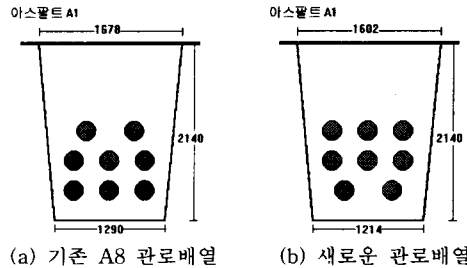


그림 4. 기존의 A8 형태의 관로배열과 새로운 설계법에 의한 관로배열의 굴착단면 비교

2.2 관로배열 최적화 알고리즘

기존의 관로설계법에 상단의 관로수가 많은 경우를 추가하여 경제성을 평가해야 할 필요성을 이미 살펴보았다. 또한 관로배열 방법도 모든 경우의 수를 포함해야 하고 각각의 경우에 대해 굴착단면을 설계하고 공사비 산정을 위한 굴착토사량, 되메우기 토사량, 포장파괴량, 복구공사비 등을 계산해야만 한다. 이러한 일을 수작업으로 하기에는 너무나 많은 계산과 시간을 필요로 한다. 따라서 앞 절에서 살펴본 새로운 관로배열 설계법을 포함하여 경제적 시공을 위한 관로배열 최적화 알고리즘을 도출하여 프로그램을 개발하고자 하였다. 개략적인 알고리즘의 순서도를 그림 5에 나타내었다. 불필요한 계산량을 줄이고 현장여건에 적합한 결과를 얻기 위해 해석조건으로 단과 열에 가능한 최대관로 수와 포장복구 공사 여부를 입력토록 하였다. 이것은 실제 가능하지 않은 경우의 수를 제외시킬 수 있다. 예를 들면, 1열로 8공을 매설하고자 하는 경우(8단1열과 1단8열) 등을 들 수 있다. 포장복구여부는 경제성 평가에서 결과를 달리 할 수 있는 중요한 조건임을 표 2에서 확인하였으므로 해석조건으로 선정하였다. 해석을 위해 입력되는 초기데이터는 설계하고자 하는 관로 수와 관로규격, 포장종류별 매설 길이뿐이다. 이러한 초기 데이터를 가지고 해석조건에서 선정된 단과 열의 최대관로 수가 초과되지 않는 모든 경우의 관로배열을 생성하여 배열변수에 저장하여 둔다. 생성된 모든 관로배열에 대해 굴착단면을 계산하고 굴착단면 데이터를 기준으로 공사비 산정을 위한 토공수량을 산출한다. 산출된 토공수량에 공사비 데이터를 링크시켜

총공사비를 산출하고 총공사비가 적은 순서대로 정렬하여 설계자에게 제시함으로써 경제적 시공을 위한 관로배열 최적화과정이 종료된다.

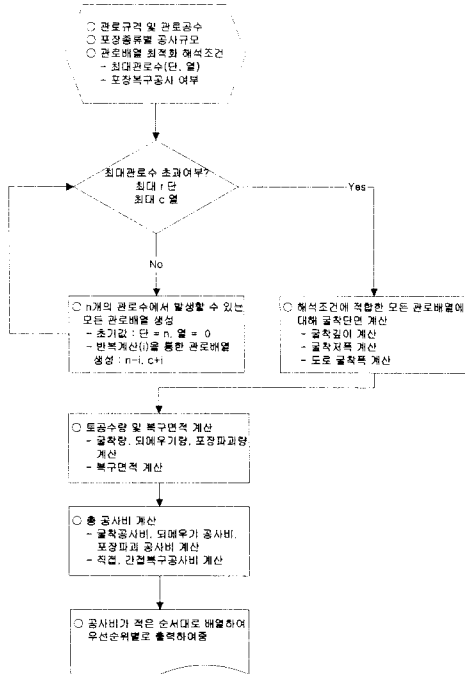


그림 5. 관로배열 최적화 알고리즘

관로배열 최적화 설계법을 이용한 해석결과와의 경제성을 평가하기 위해 동일규격의 관로를 시공하는 경우와 서로 다른 규격의 관로를 혼재해서 시공하는 경우로 나누어 평가하여 보았다. 관로공수는 상대적으로 효과가 컸던 7공을 선택하였으며 해석조건은 도로복구공수가 수반되고 최대관로 수는 3단4열이다. 해석결과는 다음과 같다.

2.2.1 동일규격의 관로 해석결과

직경 175mm 파형관 7공을 아스팔트 도로에서 100m 매설하는 공사조건으로 경제성을 평가하여 보았다. 그림 6에서 ①, ②, ③의 관로배열은 새로 제안된 관로배열로서 기존 설계법인 ④, ⑤에 비해 공사비가 적음을 알 수 있다.

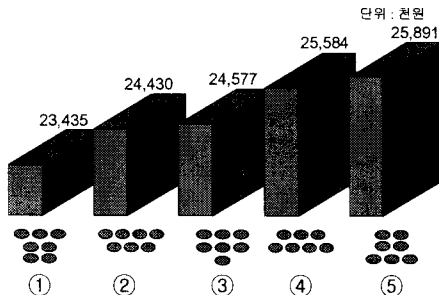


그림 6. 직경 175mm 파형관 7공을 아스팔트 도로 100m 구간에 포설할 경우의 관로배열별 공사비 비교

이 해석결과에 추가적으로 고려될 수 있는 점은 설계자가 현장여건이 깊고 좁게 굴착하기에 적합한가 아니면 넓고 얇게 굴착하는 것이 적합한가를 결정하는 것이다. 이 관점에서 ①이나 ②를 선택할 수 있으며 ③나 ⑤는 이러

한 조건에서도 불리한 경우임을 알 수 있다. ①과 ②의 공사비를 비교해 보면 새로 제안된 관로배열이 약 10%정도의 공사비를 절감할 수 있다.

2.2.2 서로 다른 규격의 관로 해석결과

서로 다른 규격의 관로를 시공하는 경우도 많으므로 100mm 파형관 4공과 175mm 파형관 3공을 아스팔트 도로에서 100m 매설하는 시공조건으로 해석하였다(그림 7. 참조). 최적화 관로배열로 제시된 ①과 기존 관로설계법의 유형인 ⑧을 비교해보면, 공사비가 약 23%정도 절감됨을 알 수 있다. 그림 7에서 ①과 ⑧의 굴착단면도를 보면 두 경우 모두 굴착깊이가 2m 미만이기 때문에 좌우의 굴착여유폭이 동일하다. 따라서 ①의 공사비 절감효과가 극대화 되었다.

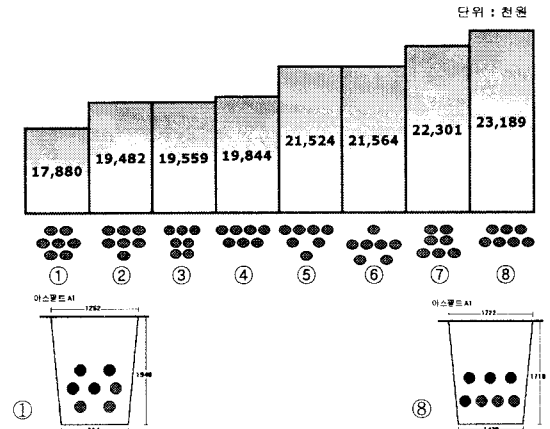


그림 7. 직경 100mm 4공과 직경 175mm 파형관 3공을 아스팔트 도로 100m 구간에 포설할 경우의 관로배열별 공사비 비교

3. 결 론

새로이 제안된 설계법을 이용하여 관로배열 최적화 알고리즘을 도출하고 공사비 절감효과를 추정하여 보았다. 관로배열에 따라 다르겠지만 7공의 관로를 매설할 경우 약 10~23%의 공사비 절감효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 제안된 관로배열 최적화 알고리즘은 공사비 절감효과는 물론 설계자로 하여금 관로배열 설계의 경제적 타당성에 대한 검증을 병행할 수 있게 해 주는 이점도 있다.

추가적으로 연구되어야 할 부분은 새로이 제안된 관로배열에 대해 허용전류 검토, 구조적 안전성 검토 등이며, 이에 대한 연구와 더불어 설계의 편의성을 증진시키기 위해 응용프로그램의 개발이 필수적이다. 향후 이러한 분야에 대해서 논의할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 電中研レビュー, “新しい地中配電技術-建設コストの低減を旨して-”, No.26 1990.11
- [2] 김상준 외, “지중배전공사의 경제적 시공을 위한 신기술개발”, 최종보고서, p.105, 2002