

경로탐색알고리즘에 의한 배전망의 방사혼합형 선로의 최량배치방법

박위성, 박경일, 곽남일

선행연구[1-3]에서는 배전선로의 최량배치문제풀이에 수리계획법을, 송배전망체계의 최량화방법에 투자와 경영비용최소화에 의한 개미무리알고리즘을 적용하였다. 그리고 선행연구[4-7]에서는 배전망의 최량계획작성을 위한 다목적모호모형풀이에 다목적금지탐색알고리즘을 리용하였고 모의소둔법에 의한 최량배전선로배치방법에 대하여서도 서술하였다. 이러한 방법들의 부족점은 방사형경로들을 우연적으로 선택하기때문에 대역적최량풀이를 담보할수 없다는것이다.

본문에서는 경로탐색알고리즘을 리용한 배전망의 방사혼합형선로의 최량배치방법에 대하여 서술하였다.

1. 배전망에서 선로의 최량배치모형

배전망에서 선로의 최량배치를 위한 이론적전제는 다음과 같다.

- ① 배전망에서 매개 변전소를 중심으로 하는 전력공급구역이 이미 결정되어있다.
- ② 이 전력공급구역안에서 변전소는 해당 부하들과만 연결된다.

배전망에서 선로의 최량배치를 위한 목적함수는 다음과 같다.

$$C = C_f + C_l \Rightarrow \min \quad (1)$$

여기서 C 는 배전망건설총비용, C_f 는 전력손실비용, C_l 은 선로투자비용인데 다음과 같다.

$$C_f = \sum_{i=1}^n f(S_i) \frac{r_0(1+r_0)^{m_s}}{(1+r_0)^{m_s}-1} + \mu \frac{r_0(1+r_0)^{m_s}}{(1+r_0)^{m_s}-1} \sum_{i=1}^n \sum_{k \in J_i} l_{ik} \quad (2)$$

$$C_l = \frac{\alpha\beta\delta T}{(u_{\text{평}} \cos \varphi)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{k \in J_i} P_{ik}^2 l_{ik} \quad (3)$$

여기서 $f(S_i)$ 는 i 변전소의 용량에 따르는 투자비용, n 은 변전소의 개수, r_0 은 투자효과결수, m_s 는 변전소의 년감가상각률, μ 는 선로의 단위길이당 투자비용, J_i 는 i 변전소에 연결된 부하들의 모임, l_{ik} 는 i 변전소와 k 부하를 연결하는 선로의 길이, α 는 단위길이당 선로저항, β 는 변압기의 부하률에 관계되는 손실결수(부하률 γ 에 의하여 $\beta = 0.15\gamma + 0.85\gamma^2$), δ 는 단위전력손실비, T 는 년간 선로의 전력손실시간(8 760h), $u_{\text{평}}$ 은 변전소의 2차모선평균전압, $\cos \varphi$ 는 배전선의 시단평균력률, P_{ik} 는 i 변전소와 k 부하를 연결하는 선로에 흐르는 유효전력이다.

제한조건은 다음과 같다.

$$\sum_{k \in J_i} P_{ik} \leq S_i \cos \varphi \quad (4)$$

여기서 S_i 는 i 변전소의 용량이다.

배전망에서 방사형혼합선로의 최량방안은 먼저 경로탐색알고리즘에 의하여 가능한 모든 경로를 찾아내고 다음으로 부하흐름계산법을 리용하여 얻을수 있다.

우선 경로탐색알고리즘을 보자.

경로탐색알고리즘은 다음과 같다.

걸음 1 변전소를 첫번째 마디점으로 하고 변전소와 직접 연결된 부하마디점들을 탐색하여 연결행렬 P 를 만든다.

걸음 2 행렬 P 의 마지막마디점에 대하여 연결상태를 검사하고 연결이 없으면 걸음 5로 간다. 연결이 있으면 새로운 연결에 기초하여 행렬을 갱신한다.

걸음 3 갱신된 마디점의 연결을 행렬 P 의 새 행에 추가한다.

걸음 4 마지막마디점이 다른 연결을 가지지 않을 때까지 걸음 2, 3을 반복순환한다.

걸음 5 모든 마디점(두번째부터 n 번째 마디점까지)들에 대하여 가능한 경로들을 개별적으로 분리한다. 즉 P_2, P_3, \dots, P_n 을 생성한다. 행렬들의 행은 전압이 걸린 마디점에 대한 경로를 표시한다.

다음으로 부하흐름계산법에 대하여 보자.

부하흐름계산법은 매개 선로에서 총비용을 계산하고 최량경로를 선택하는 방법이다. 매개 방사형경로에서 정방향(또는 역방향)부하흐름을 리용하여 전력손실을 계산하고 선로들과 변전소의 고정투자비를 추가한다. 개별적인 부하지점들에 전력을 공급하기 위한 방사형경로들가운데서 최소비용경로가 곧 최량경로로 된다.

부하흐름계산알고리즘은 다음과 같다.

매개 부하마디점들에 대하여 가능한 연결행렬을 P_1, P_2, \dots, P_{n-1} 로 표시하고 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ 은 모선전압, $I_1, I_2, I_3, \dots, I_p$ 는 선로전류, $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ 은 부하전력, n 은 모선의 개수, p 는 선로의 개수라고 하자. 이때 개별적인 부하마디점들에 대하여 매 경로에서의 전력손실을 계산하기 위하여 정방향 및 역방향부하흐름계산법을 리용한다.

걸음 1 $i=2, n$ 일 때 망의 모든 마디점들에 대한 평균전압을 $U_i=1.0$, 변전소($i=1$)에 대하여 U_1 은 변전소에 걸린 전압으로 할당한다.

걸음 2 반복회수 $k=0$ 으로 초기화하고 $k=k+1$ 로 설정한다.

걸음 3 마디점별로 전류량을 계산한다.

$$J_i^{(k)} = \frac{S_i}{U_i^{(k-1)}} \quad (5)$$

마지막마디점으로부터 시작하여 변전소방향으로 이동하면서 가지전류를 계산한다.

걸음 4 변전소로부터 시작하여 마지막부하마디점으로 이동하면서 마디점에서의 전압을 계산한다.

$$U_i^{(k)} = U_j^{(k)} - Z_j I_j^{(k)} \quad (6)$$

여기서 Z_j 는 i 번째와 j 번째 마디점을 연결하는 선로 j 의 완전저항이다. 이것을 정방향부하흐름계산법이라고 하는데 키르히호프의 법칙을 적용한것이다.

걸음 5 모선전압에서의 최대불일치를 계산한다.

$$\Delta U_{\max} = \max \{|U_i^{(k)} - U_i^{(k-1)}|\} \quad (7)$$

$\Delta U_{\max} \leq \varepsilon$ 이면 선로전류와 손실전력을 계산하고 끝내며 $\Delta U_{\max} > \varepsilon$ 이면 걸음 2부터 걸음 5까지 반복한다.

2. S도시에서 배전망선로의 최량배치

S도시의 배전망배치실태를 분석한 결과 이 도시의 배전망은 현재 6개의 변전소와 427개의 부하대상으로 구성되어있고 변전소들의 총변전능력은 48 450kVA, 변전소의 평균 모선전압은 11kV이다.

배전망에서 부하대상의 전력수요를 만족시키면서 부하률이 최대가 되도록 하기 위하여 변전소별전력공급구역을 재구성하였다.(표)

표. 변전소별전력공급구역을 재구성한 결과

변전소명	변전소용량/kVA	공급반경/m	부하무게/%	송전전력/kW	수전전력/kW
1변전소	4 250	3 249.74	79.647	3 408.0	3 385
2변전소	10 795	3 268.88	79.759	9 152.9	8 610
3변전소	11 220	4 676.13	79.857	9 214.7	8 960
4변전소	5 610	4 671.96	79.697	4 504.4	4 471
5변전소	8 075	2 800.10	79.814	7 188.6	6 445
6변전소	8 500	4 694.40	79.588	6 978.7	6 765

이러한 재구성결과에 기초하여 경로탐색알고리즘과 부하흐름계산법을 적용함으로써 S도시에서 배전망선로의 최량방안을 얻어냈다.

이것을 현존선로의 배치와 비교한 결과는 다음과 같다.

6변전소로부터 주간선로가 3개일 때 현존선로배치와 비교해보면 도중손실률은 19.23%에서 3%로, 손실전력은 1 355.2kW에서 209.8kW로서 1 145.4kW 절약되었다.

마찬가지로 3변전소로부터 주간선로가 3개일 때 도중손실률은 23.87%에서 6.62%로, 손실전력은 2 199.4kW에서 634.29kW로서 1 565.2kW 절약되었다.

또한 4변전소로부터 주간선로가 4개일 때 도중손실률은 13.15%에서 9.38%로, 손실전력은 592.3kW에서 463.1kW로서 129.2kW 절약되었고 5변전소로부터 주간선로가 3개일 때 도중손실률은 18.29%에서 3.08%로, 손실전력은 1 314.8kW에서 204.7kW로서 1 110.1kW 절약되었다.

한편 4변전소에서 주간선로가 3개일 때 현존선로배치와 비교해보면 도중손실률은 24.85%에서 6.62%로, 손실전력은 2 274.5kW에서 804.9kW로서 1 469.6kW, 1변전소로부터 주간선로가 3개일 때 도중손실률은 19.11%에서 18.82%로, 손실전력은 800.5kW에서 641.4kW로서 159.1kW 절약되었다.

이로부터 S도시배전망의 평균도중손실률은 7.9%로서 기준값에 도달하였으며 전력은 5 578.6kW만큼 절약되었다.

맺 는 말

현존선로와 비교한 결과에서 보는바와 같이 배전망에서 방사혼합형선로를 실현하면 전력의 도중손실을 줄이고 더 많은 전력을 수요자들에게 보내줄수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 지구환경과학 및 지질학, 65, 1, 23, 주체108(2019).
- [2] A. Gonzalez et al.; Int. J. of Elec. Pow. Ener. Sys., 45, 1, 86, 2012.
- [3] J. Shu et al.; IEEE Trans. Pow. Sys., 27, 1, 381, 2012.
- [4] S. Ganguly et al.; Int. J. of Elec. Pow. Ener. Sys., 46, 1, 65, 2013.
- [5] J. E. Mendoza et al.; Elec. Pow. Sys. Res., 91, 1, 52, 2012.
- [6] T. H. Chen; Int. J. of Elec. Pow. Ener. Sys., 46, 1, 413, 2013.
- [7] W. Yao et al.; IEEE Trans. Pow. Sys., 29, 4, 1811, 2014.

주체110(2021)년 1월 5일 원고접수

The Optimal Arrangement of the Mixed Radial Line on the Electric Distribution System Using the Path Search Algorithm

Pak Wi Song, Pak Kyong Il and Kwak Nam Il

In this paper, we have described the optimal arrangement method of mixed radial line on the electric distribution system using the path search algorithm.

Keywords: electric distribution system, path search algorithm