

휴리스틱 탐색전략을 이용한 배전계통 계획의 최적경로탐색

최남진, 김병섭, 신종린 채명석
 건국대학교 군장대학

Optimal Routing for Distribution System Planning using heuristic strategy

Nam-jin Choi, Byung-Seop Kim, Joong-Rin Shin Myung-Suk Chae
 Dept. of Electric Eng. Konkuk Univ. Kunjang Collage
 Email : jrshin@kkucc.konkuk.ac.kr.

Abstract: This paper presents a heuristic algorithm based on branch exchange method to solve ORP (Optimal Routing Problem) for distribution system planning. The ORP is a complex task which is generally formulated as a combinatorial optimization problem with various constraints. The cost function of ORP is consisted of the investment cost and the system operation cost that is generally expressed with system power loss. This paper also adopt an specially designed selection method of maximum loss reduction loop and branch to reduce optimization time. The effectiveness of the proposed algorithm was shown with 32, 69 bus example system.

$$\begin{aligned}
 P_{i+1} &= P_i - r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{Li+1} \\
 Q_{i+1} &= Q_i - x_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{Li+1} \\
 V_{i+1}^2 &= V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (r_i^2 + x_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

일반적인 배전계통은 단일선로 보다는 지선(lateral)을 포함하고 있으며 그림 2와 같은 형태로 지선이 있는 배전계통을 표현할 수 있다.

1. 서론

배전계통 계획의 입안과정에는 배전계통을 운영 중에 발생할 수 있는 전압강하, 전력손실, 신뢰도문제 등에 관한 다각적인 검토 과정을 수반한다. 특히 배전계획에 관련된 여러 문제 중에서 최적경로문제(ORP)는 경제적인 면에서 가장 중요한 기능적 위치를 차지하기 때문에 수치기법[1~4]이나 인공지능기법[5] 등을 이용한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

본 논문에서는 경험적(heuristic)탐색기법의 일종인 선로교환 기법을 기반으로 ORP를 접근하였다. 계획문제의 특성상 실제적인 초기해의 선택이 어렵기 때문에, 입의 계통을 설정한 후 선로교환에 의해 최적해를 탐색하는 방법을 사용하였다. 본 ORP의 목적함수는 투자비용(Investment cost)과 계통운영비용(System operation cost), 즉 손실비용의 합으로 하였으며, 목적함수의 최적화는 투자비용 및 운영비용의 기준값을 정하여 그 기준값에 대한 상대적 가중 평균을 최소화하도록 알고리즘을 수행하였다. 특히 전체 비용 최소화 단계에서는 Baran[6] 등이 제시한 손실 감소식을 기반으로 저전압 및 고전압 측으로의 새로운 손실지표를 제안하였으며, 이를 이용하여 선로교환 시 양방향으로의 손실 변동에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있다. 또한 최대 손실감소수프 선정기법을 사용하여, 기존의 방법에 비하여 계산량을 감소시킴으로써 계산 시간을 단축하였고, 투자비용 최적화를 위하여 루프단위의 비교탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 비교적 대규모 모의 계통인 32, 69모선 배전계통에서 알고리즘의 효율성을 검증하였다.

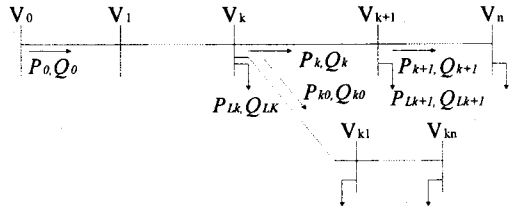


그림 2. 지선이 있는 배전계통

Fig. 2. Diagram of a radial network with laterals

그림에서 새로운 지선 k를 하나의 간선으로 취급하여, $V_0 = V_k$ 와 종단노드에서의 조건식 $P_{kn} = 0, Q_{kn} = 0$ 을 이용하여 단일선로에서의 조류계산 방정식을 지선을 포함한 경우로 확장할 수 있다. $X_i = [P_i, Q_i, V_i^2]^T$ 라고 한다면 조류계산 수식은 다음처럼 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_k &= \bar{P}_k(X_{k-1}) - P_{k0} \\
 Q_k &= \bar{Q}_k(X_{k-1}) - Q_{k0} \\
 |V_k| &= \bar{V}_k(X_{k-1})
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

본 논문의 계통손실은 저항에 의해 발생하는 유효전력손실을 고려하였으며 계통의 상태값이 결정되면 다음과 같은 손실방정식으로 전체선로의 유효전력손실을 계산할 수 있다.

$$P_{loss} = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}
 \tag{3}$$

2 조류계산과 손실방정식

본 논문에서는 방사상 배전계통에 적합하며, 계산효율이 우수한 Distflow조류계산[7] 알고리즘을 사용하였다.

그림 1은 방사상으로 구성된 단일선로의 배전계통을 나타내며, 선로조류(P_i) 및 부하(P_{Li})는 각각 정인퍼텐스와 정전력 부하로 표현하였다. 배전계통의 유효 및 무효전력조류는 계통의 전력손실을 포함하게 되며, 그림에서의 반복적인 순환식은 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

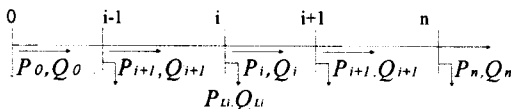


그림 1. 방사상 계통의 단일선로 계통도
 Fig. 1. One line diagram of a radial network

3. ORP 문제의 정식화

본 논문에서는 배전계획을 위한 최적경로선정 문제를 고려함에 있어서 단일단계 모델(single-period model)의 시스템 급전선 모델(system feeders model)로 한정하여 알고리즘을 제안하였다. 시스템 급전선 모델의 목적함수는 부하의 수요예측점과 공급변전소의 계통이 구성된 상태에서 최소의 비용으로 부하수요량을 충족시키기 위하여 변전소와 부하예측지점을 연계하는 최적의 전력 전송경로를 결정하는 것이다. 본 논문에서는 배전계통 최적경로 선정을 목적으로 하고 있으므로 계통운영비용(SOC: System Operation Cost)과 투자비용(IVC: Investment Cost)이 고려된 전체비용 최소화 형태로 다음처럼 표현할 수 있다.

3.1 전체 비용 최소화를 위한 목적함수

$$\min f_{cost}(Y, U) = \alpha \cdot SOC(Y) + \beta \cdot IVC(U) \quad (4)$$

여기서,

$Y = [P, Q, V, \Delta IOL]^T$: 계통운용비용 변수벡터
 $U = [\Delta IVC]^T$: 급전선 손실 투자비용 변수벡터
 P, Q, V : 계통의 유효·무효전력 및 모선전압 벡터
 ΔIOL : 연계선로 교환에 따른 선로 손실의 변화량 벡터
 ΔIVC : 연계선로 교환에 따른 투자비용의 변화량 벡터
 $SOC(\cdot)$: 계통운용비용에 따른 유효전력 손실비용
 $IVC(\cdot)$: 급전선 손실에 따른 투자비용
 α, β : $SOC(\cdot), IVC(\cdot)$ 에 대한 활성화 계수

3.2 등호 및 부등호 제약조건

- K.C.L 제약조건을 위한 전력평형방정식

$$\begin{aligned} P_k &= \bar{P}_k(X_{k-1}) - P_{k0} \\ Q_k &= \bar{Q}_k(X_{k-1}) - Q_{k0} \\ |V_k| &= \bar{V}_k(X_{k-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

- 방사상(Radiality)구성에 관한 제약조건

$$\sum_{i=1}^{TN} \sum_{j=1}^{TN} Y_{ij} = TN - 1 \quad (6)$$

- 변전소와 급전선 용량 제약조건

$$0 \leq X_{ij} \leq U_F \quad (7)$$

$$0 \leq S_i \leq U_S \quad (8)$$

여기서,

D_i : 부하노드 i의 수요 부하량
 S_i : 변전소에서 i노드로 전달되는 전력 조류량
 X_{ij} : 노드 i에서 j로 흐르는 전력 조류량
 Y_{ij} : 경로 설치여부 행렬 (설치: 1, 비설치: 0)
 TN : (변전소 수 + 부하노드 수)의 전체 개수
 U_F : 급전선의 용량한계
 U_S : 변전소의 용량한계

3.3 계통운용비용 최적화 알고리즘

본 절에서는 ORP문제의 전체비용 최적화를 위한 계통운용비용 최적화 알고리즘에 대하여 설명한다. 본 알고리즘에서는 계통의 운용시에 발생하는 선로손실을 최소화하기 위하여 선로교환(branch exchange : BE)기법을 기반으로 하는 다양한 휴리스틱 전략을 도입하였다.

3.3.1 선로교환에 의한 손실 변화식

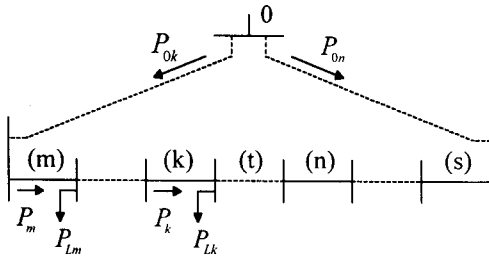


그림 3. 연계선로 t에 관한 단일 루프계통

Fig 3. The loop associated with tie-line t

방사상 단일 계통이 그림 3에서와 같이 연계선로 t에 의해서 루프를 형성한다고 할 때, 연계 개폐기(tie-switch)에서 전압강하가 큰 쪽을 저전압측 L, 전압강하가 낮은 쪽을 고전압측 R이

라 하면 루프는 연계선로(tie-branch) t에 노드 0에서 L까지의 저전압부와 노드 0에서 R까지의 고전압부의 두 부분으로 구분된다. 본 논문에서는 그림 3에서 t와 m 사이의 선로 교환에 따른 손실변화 가능성을 추정하기 위하여 참고문헌 [6]에서 제시된 손실감소 추정식을 도입하였다. 이에 대한 상세한 유도과정의 언급은 생략하였다. 아래에서 $r_L P_L, r_R P_R$ 는 루프의 L과 R측에서의 r과 P의 곱을 나타낸다.

$$\Delta LP_{lm} = 2AP_m + 2BQ_m - (P_m^2 + Q_m^2)r_{loop} \quad (9)$$

여기서,

$$A = \sum r_L P_L - \sum r_R P_R, B = \sum r_L Q_L - \sum r_R Q_R, C = r_{loop}$$

3.3.2 최대 손실감소 루프의 결정

BE 기법에서 최적해 탐색기법의 최대 쟁점은 모든 선로 교환을 고려하지 않으면서 효과적인 탐색 능력을 부여하는 것이다. Baran[6] 등이 사용한 단계적인 루프선택 방법은 모든 개별 루프에서 모두 선로교환을 고려해야 하기 때문에 계산시간 면에서 비효율적이다. 본 논문에서는 최대손실 감소식을 사용하여 최대손실 감소 루프를 결정하도록 하였다. 최대손실 감소식은 앞서 손실 추정식 (9)에서 2차함수의 최적조건 $\partial \Delta LP_{lm} / \partial P_m, \partial \Delta LP_{lm} / \partial Q_m$ 에 따라 다음처럼 결정되며 상세한 유도과정은 생략하였다.

$$\Delta LP_{lm, loop} = [A^2 + B^2] / C \quad (10)$$

3.3.3 표준 선로의 도입

일반적으로 선로교환은 저전압측(Low voltage side)에서 손실감소가 발생한다고 알려져 있다[8]. 본 논문에서는 루프의 저전압측에서 연계선로에 인접한 첫 번째 선로를 표준 선로라 정의하고, 연계선로와 표준선로와의 교환에 의해 발생하는 손실을 표준손실이라고 정의한다. 이 표준손실은 식 (9)의 ΔLP_{lm} 에 의해 결정되며 ΔLP_{lk} 로 표현한다. 식 (9)를 변형하여 표준 전력 조류 (P_k, Q_k)에 의한 계측을 원의 방정식으로 표현할 수 있으며, 이를 손실원(loss circle)이라 하고 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta LP_{lk} = \frac{A^2 + B^2}{C} - C \left(P_k - \frac{A}{C} \right)^2 + \left(Q_k - \frac{B}{C} \right)^2 \quad (11)$$

식 (11)에서 원의 반지름은 $\sqrt{(A^2 + B^2)/C^2 - \Delta LP_{lk}/C}$ 이며, 선로교환 t-k에 따른 ΔLP_{lk} 의 변화방향은 다음 3가지 형태의 손실변화 정보를 얻게 된다.

- if $\Delta LP_{lk} = 0$, 손실 부동, 원의 궤적상에 위치
- if $\Delta LP_{lk} > 0$, 손실감소, 원의 내부에 위치.
- if $\Delta LP_{lk} < 0$, 손실증가, 원의 외부에 위치.

3.3.4 손실지표를 이용한 최적 선로교환의 결정

본 논문에서는 최대의 손실감소 루프를 선정한 후에, 해당 루프 내에서 최대 손실감소의 선로교환 후보를 결정하기 위하여 새로운 손실지표(Index Of Loss)를 제안하였다. 제안된 손실지표는 손실량을 무시하고 유도된 기존의 손실변화 추정식 (9)에 비하여 교환된 후보선로에 대해 정밀한 손실변화 정보를 줄 수 있다. 제안된 손실지표의 설명을 위하여 앞서 도식된 그림 3에서 저전압측과 고전압측의 구분을 단지 L(left)측과 R(right)측의 방향성 구분으로 대치한다. 그림에서 선로교환 t-k로 인하여 L측에서는 손실감소가 일어나며, R측에서는 선로조류의 증가로 손실증가가 발생하게 된다. 제안된 손실지표는 조류계산 수식 (1)의 선로조류와 저항과의 비례관계를 기반으로 유도되었다. 아래에서 $P_{i, loss}, Q_{i, loss}$ 는 선로교환 이전의 선로 i의 유효·무효전력 손실이고, $\Delta P_{i, loss}, \Delta Q_{i, loss}$ 는 선로 교환 이후 선로 i의 손실변화량을 나타낸다. 본 논문에서는 상세한 유도과정은 생략하였다.

$$\Delta IOL = \Delta P_{loss} + \Delta Q_{loss} \quad (12)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \Delta P_{loss} &= \sum_{i \in L} \Delta P_{i, loss} + \sum_{i \in R} \Delta P_{i, loss} + r_i P_{Lk}^2 \\ &= \sum_{i \in L} \left\{ P_{i, loss} \left[\frac{(P_i - P_k)^2}{P_i^2} - 1 \right] \right\} \\ &+ \sum_{i \in R} \left\{ P_{i, loss} \left[\frac{(P_i + P_{Lk} + r_i P_{Lk}^2)^2}{P_i^2} - 1 \right] \right\} + r_i P_{Lk}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{loss} &= \sum_{i \in L} \Delta Q_{i, loss} + \sum_{i \in R} \Delta Q_{i, loss} + r_i Q_{Lk}^2 \\ &= \sum_{i \in L} \left\{ Q_{i, loss} \left[\frac{(Q_i - Q_k)^2}{Q_i^2} - 1 \right] \right\} \\ &+ \sum_{i \in R} \left\{ Q_{i, loss} \left[\frac{(Q_i + Q_{Lk} + r_i Q_{Lk}^2)^2}{Q_i^2} - 1 \right] \right\} + r_i Q_{Lk}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

앞서 설명된 다양한 휴리스틱 전략을 기반으로 계통운용비용 최적화 알고리즘은 다음의 순서로 진행된다.

- 단계 1 : 임의의 방사상 계통 구성
- 단계 2 : Distflow 조류계산 수행
- 단계 3 : 표준손실 ΔLP_{ik} 계산
- 단계 4 : 양의 ΔLP_{ik} 의 유무 점검
 - a. 양의 ΔLP_{ik} 가 존재하면 단계 5로 진행.
 - b. 양의 ΔLP_{ik} 가 존재하지 않으면 종료.
- 단계 5 : 양의 ΔLP_{ik} 인 루프에서 $\Delta LP_{im, loop}$ 계산
- 단계 6 : 최대 $\Delta LP_{im, loop}$ 를 최대 손실감소 루프로 선정
- 단계 7 : 선정 루프에서 ΔIOL 을 계산하여 최대손실 감소 선로를 결정
- 단계 9 : 제약조건을 만족하는 최적의 선로 교환을 실행한 후 단계 2로 진행.

3.4 투자비용 최적화 알고리즘

본 절은 전체비용 최소화화의 구성요소 중 신규 급전선 신설을 위한 투자비용 최소화 단계이며, 제안된 알고리즘은 개별 최소화 알고리즘과 전체비용 최소화 알고리즘에 효율적으로 적용할 수 있다. 본 단계에서 사용되는 목적함수는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있으며 제약조건은 앞선 언급된 방사상 배전계통의 등호 및 부등호 제약조건을 고려하였다.

$$\min 0.5 \sum_i \sum_j IVC_{ij} Y_{ij} \quad (15)$$

여기서,

IVC_{ij} : 급전선 신설에 따른 투자비용 계수행렬

아래에서 IVC_i^{\max} , $IVC_i^{\max-1}$ 은 각각 i번째 루프에서 최대 투자비용을 갖는 선로의 투자비용계수와 차순위 선로의 투자비용계수를 의미하며, $\max\{IVC_i^{\max}\}$ 는 IVC_i^{\max} 중에서 최대값의 크기를 나타낸다.

- 단계 1 : 각 루프에서 IVC_i^{\max} 인 후보선로 선정.
- 단계 2 : 선택선로 개방에 따른 방사상 제약조건 검사.
- 단계 3 : 제약조건을 위반하는 루프의 존재여부 점검
 - a. 제약조건을 위반하는 루프 i는 $IVC_i^{\max-1}$ 인 선로를 후보선로로 결정하고 단계 2로 진행.
 - b. 제약조건을 모두 만족하면 다음 단계로 진행.
- 단계 4 : 전체계통에서 $\max\{IVC_i^{\max}\}$ 인 선로 결정.
 - a. 결정된 $\max\{IVC_i^{\max}\}$ 값이 두 개 이상의 루프에서 중복되면, 루프들 중에서, $IVC_i^{\max-1}$ 값이 최소인 루프를 선택하고 단계 5로 진행.
- 단계 5 : 이전 단계에서 선택된 루프 i에서 IVC_i^{\max} 인 선로를 신설하지 않으며, 이후 고려대상에서 제외.
- 단계 6 : 모든 루프가 방사상 구조이던 목적함수 식(4)를 계산하여 종료하고, 그렇지 않으면 단계 1로 이동한다.

3.5 전체비용 최소화 알고리즘

ORP문제를 위하여 제안된 전체비용 최적화 알고리즘은 앞서 언급된 개별 최적화 알고리즘(SOC, IVC)의 수행을 통하여 개별 최적값을 설정한 후에 전체비용 최적화 알고리즘을 수행하도록 하였다. 전체비용 최적화의 진행은 제시한 흐름도와 같다. 전체 알고리즘에서 $\forall \Delta LP_{ik} > 0$ 인 루프는 IVC와 SOC의 감소가 예상되고, $\forall \Delta LP_{ik} < 0$ 인 루프는 SOC의 감소가능성은 없는 반면, IVC의 감소가능성이 존재할 수 있다. 그러므로 ΔLP_{ik} 의 부호에 따라 $\Delta LP_{im, loop}$ 가 최소인 루프를 선택하는 알고리즘을 흐름도와 같이 제안하였다.

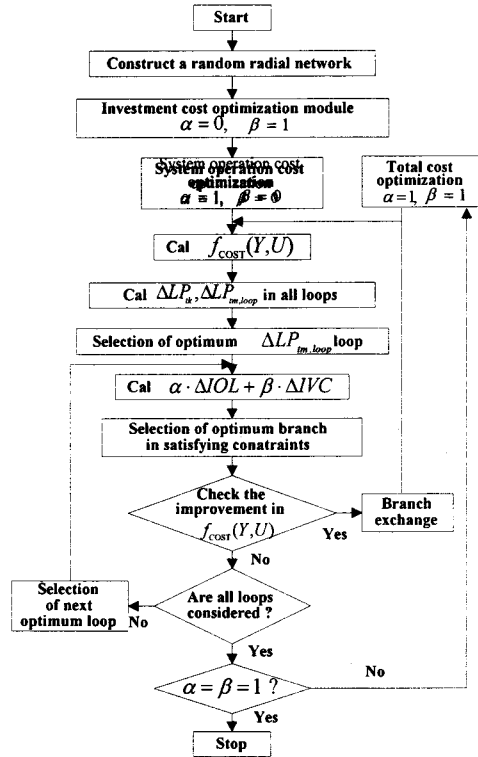


그림 4. ORP를 위하여 제안된 흐름도
Fig. 4. A proposed flowchart for ORP

4. 사례연구

제안한 알고리즘을 비교적 대규모 계통인 32, 69모선의 배전 계통 예제모델[6,7]에 적용하여 그 효율성을 확인하였다. 계획문제의 특성상 모든 선로를 설치가능경로(right of way)로 규정하여 본 알고리즘을 적용하였으며, 계통의 기준 전압은 12.66[kV]로 설정하였다. 급전선 신설비용은 선로의 임피던스와 비례한다고 가정하였다. 제안한 알고리즘의 수행은 MMX 166MHz IBM-PC에 의해 수행되었다.

제안한 알고리즘의 적용을 위한 32, 69모선 예제모델의 초기 구성은 그림 5, 6과 같다. 전체 부하의 예상 전력 요구량은 32모선은 3715[kW], 2300[kVAR]이고, 69모선은 3802.19[kW], 2694.6[kVAR]이다.

표 1은 개별 최적화 알고리즘인 SOC, IVC의 최종결과와 전체비용 최적화 결과를 비교하기 위하여 나타낸 것이다. 표 2는 ORP 최종결과이며, 탐색 단계 별로 선정된 루프와 개폐되는 선로, 각각의 비용과 소요 시간 등을 나타내었고, SOC와 IVC의 개별 최적화 결과를 기준값으로 하였다. 표 3은 Baran 등이 제안한 손실 변동식 (9)와 본 논문에서 제안한 손실 지표 ΔIOL 을 동일한 SOC 최적화 알고리즘에 적용하여 최적해 탐색성을 비교한 것이다. 탐색 성능의 비교를 위하여 저전압 측(L-side)으로의 선로교환만을 고려한 단방향과 저전압과 고전압 측(R-side)으로의 선로교환을 모두 고려한 양방향의 두 가

지 경우로 구분하여 수행하였다.

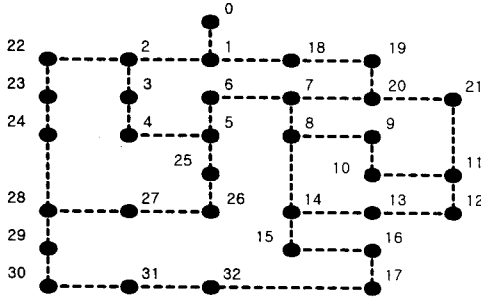


그림 5. 32 모선 계통의 초기 구성 상태
Fig. 5. Initial configuration of 32 bus system

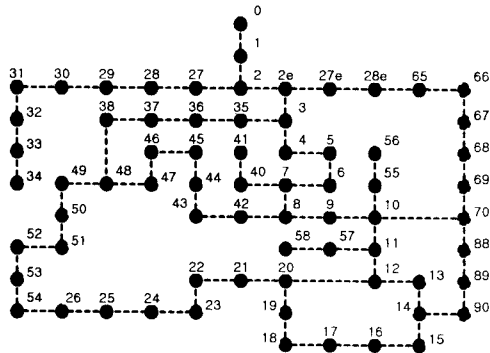


그림 6. 69 모선 예제 모델의 초기 구성 상태
Fig. 6. Initial configuration of 69 bus model

표 1. 개별 최적화 알고리즘의 결과

Table 1. Result of an individual case

		투자비용 최적화	계통운용비용 최적화	전체비용 최적화
32 모선	Open branch	16,27,33,34,35	7,8,14,32,37	9,28,32,33,34
	투자비용	25.4899	33.3795	30.7492
	전력손실[kW]	178.770	139.549	148.161
69 모선	Open branch	15,41,57,72,73	15,59,62,70,71	13,14,57,64,70
	투자비용	25.7296	30.9302	28.5178
	전력손실[kW]	464.489	99.619	100.976

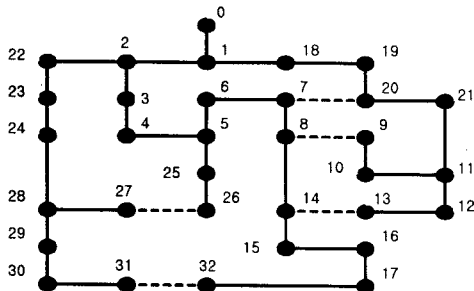


그림 7. 32 모선 계통의 최적 구성
Fig. 7. Optimal configuration of 32 bus system

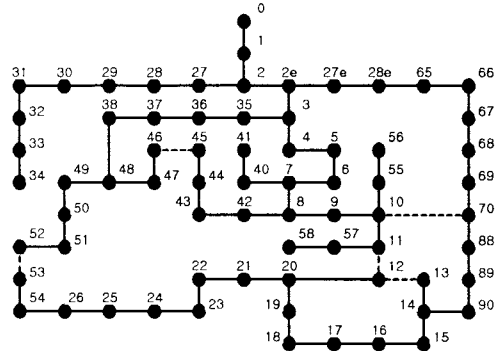


그림 8. 69 모선 계통의 최적 구성
Fig. 8 Optimal configuration of 69 bus system

표 2. ORP 결과

Table 2. Result of ORP

ORP result							
모선	탐색 단계	최대 손실 감소 루프	BR-EX		SOC	IVC	Total cost
			close	open			
32 모선	Open branch of initial state				18, 5, 9, 14, 28		
	1	-	-	-	868.322	33.0910	7.5205
	2	Loop 2	5	37	387.846	33.4658	4.0922
	3	Loop 1	18	5	386.182	32.6106	4.0467
	4	Loop 5	28	31	282.989	33.2004	3.3303
	5	Loop 1	5	33	161.826	31.4539	2.3916
	6	Loop 2	37	27	148.161	30.7492	2.2680
Open branch of final state				33, 27, 9, 14, 31			
소요 시간				1.98 [s]			
69 모선	Open branch of initial state				6, 73, 25, 13, 17		
	1	-	-	-	375.049	28.3770	4.8677
	2	Loop 1	6	70	208.297	28.0806	3.1823
	3	Loop 2	73	57	127.805	29.2320	2.4190
	4	Loop 5	17	15	126.520	28.5118	2.3781
	5	Loop 3	25	64	101.102	28.5030	2.1227
	6	Loop 5	15	14	100.976	28.5178	2.1219
Open branch of final state				70, 57, 64, 13, 14			
소요 시간				2.42 [s]			

표 3. 제안된 손실지표의 성능 비교

Table 3. Comparison between proposed method and conventional method

	참고문헌 [6]	제안된 손실지표
L-side	82 [%]	91 [%]
R-side	-	91 [%]

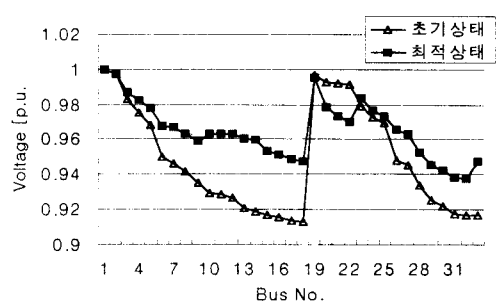


그림 9. 32 모선 계통의 전압 분포
Fig. 9. Voltage distribution of 32 bus system

그림 7과 8은 ORP 문제의 수행에 의해 최종적으로 선정된 계통의 구조를 나타내며, 그림 9과 10은 계통손실 최소화 문제와의 비교를 위하여 도시한 것이며, 기존의 계통운용문제의 최적값을 탐색하였다.

표 4는 SOC 최적화 단계의 결과를 다른 연구들의 결과와 비교한 것으로 제안한 알고리즘이 SOC 단일비용의 최적화에도 유용하게 적용될 수 있음을 시사한다.

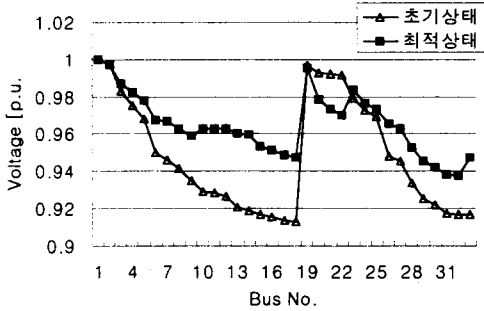


그림 9. 32 모선 계통의 전압 분포
Fig. 9. Voltage distribution of 32 bus system

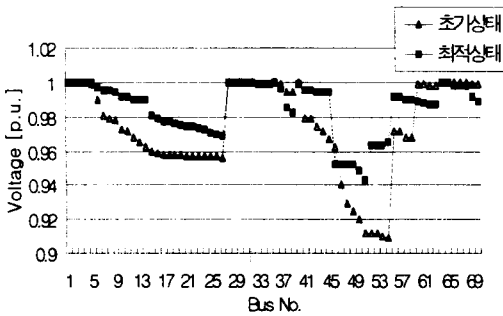


그림 10. 69 모선 계통의 전압 분포
Fig. 10. Voltage distribution of 69 bus system

표 4. 다른 연구 결과와의 비교

Table 4. Comparison with other studies

	32 모선		69 모선	
	전력손실 [kW]	Open branch	전력손실 [kW]	Open branch
[5]	139.548	7.9.14.32.37	-	-
[14]	139.548	7.9.14.32.37	99.619	15.59.62.70.71
제안한방법	139.548	7.9.14.32.37	99.619	15.59.62.70.71

5. 결론

본 논문에서는 경험적 탐색 알고리즘의 한 방법인 선로교환기법을 배전계통의 ORP 문제에 적용하였다. 기존의 선로교환기법에서 나타나는 시간적 단점과 지역적 수렴특성을 보완하기 위하여 다양한 최적화 전략을 제안하였다. 특히 ORP문제의 선로교환기법의 적용에 있어 양방향의 손실추정이 가능한 새로운 손실지표를 제안하였으며, 사례연구를 통하여 효율성을 입증하였다. 또한 투자비용 최적화를 위해 루프단위의 비교탐색 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘을 32, 69 모선 예제모델 계통에 적용하여 그 결과를 기존 연구들과의 비교를 통해 그 효율성을 확인하였고, 비교적 우수하고 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 제안된 방법의 전체비용 최적화 탐색의 전역적 특성을 향상시킬 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] Turan Gonen, Ignacio J. Ramirez-Rosado, "Optimal Multi-Stage Planning of Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 2, April, 1987
- [2] Adams R. N., Laughton M. A. "Optimal Planning of Networks using Mixed-integer Programming.", Proc. IEE, Vol. 121, No. 2, 1973
- [3] Aoki. K., Nara k., Satoh T, Kitakawa M and Yamanaka K., "New Approximate Optimization Method for Distribution System Planning." IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 1, 1990
- [4] Satish Jonnavithula, Roy Billinton, "Minimum Cost Analysis of Feeder Routing in Distribution System Planning", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 4, October, 1996
- [5] 최남진, 김병섭, 채명석, 신중린, "배전계통계획의 최소비용 경로탐색을 위한 신경회로망의 구현", 1999년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 232-235, 1999. 11
- [6] Mesut E. Baran, Felix F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April
- [7] Mesut E. Baran, Felix F. Wu, "Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, January, 1989
- [8] Sivanlar, J. J. Grainger, H. Yin and S. S. H. Lee, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction.", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July, 1988