

신뢰도 지수를 고려한 계통의 Neural-Tabu 알고리즘을 이용한 최적 전송 경로 결정

*신 동준, 정 현수, 김 진오
한양대학교 전기공학과

Neural-Tabu algorithm in optimal routing considering reliability indices

*Dong Joon Shin, Hyun Soo Jung, Jin O Kim
Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper describes the optimal reconfiguration of distribution network. The optimal routing of distribution network should provide electricity to customers with quality, and this paper shows that optimal routing of distribution network can be obtained by Neural-Tabu algorithm while keeping constraints such as line power capacity, voltage drop and reliability indices. The Neural-Tabu algorithm is a Tabu algorithm combined with Neural network to find neighborhood solutions. This paper shows that not only the loss cost but also the reliability cost should be considered in distribution network reconfiguration to achieve the optimal routing.

되는 방사상 배전망으로써, 부하말단에 부하점 W 를 추가하였을 때 전송 손실의 변화량은 다음과 같이 평가할 수 있다[2].

기존 선로의 전압 $V = \{V_A, V_K, V_M, V_T\}$ 과 전력 $S = \{S_k, S_m, S_t\}$ 은 이미 알고있는 값이며 여기에 평균부하 $S_w = P_w + jQ_w$ 인 부하점 W 를 추가하면 전압과 전력 손실량이 변화하게 된다. 부하 S_w 에 의한 새로운 전력손실 ΔPL_w 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta PL_w = \sum_i \{ R_i [(2P_i P_w + P_w^2) + (2Q_i Q_w + Q_w^2) / V_i^2] + R_w [P_w^2 + Q_w^2] / V_T^2 \} \quad (1)$$

여기서 W 는 기존 선로에 추가되는 부하점, w 는 부하점 W 를 기존 선로에 이어주는 선로, T 는 가지 선로 w 의 송전점, i 는 추가되는 부하점 W 에 이르면서 지나가는 각각의 선로구간, V_i 는 선로구간 i 의 수전단 전압이다.

식 (1)에서 볼 수 있듯이, 전력 전송 손실은 추가되는 부하점 W 을 연결하는 추가 선로 w 에서 뿐만 아니라, 부하점 W 에 이르는 기존 경로를 포함한 모든 경로에서 발생한다. 손실비용(Loss Cost: LC)을 연간비용으로 나타내면, 식 (1)로부터 식 (2)와 같이 된다.

$$LC = k_e \cdot \Delta PL_w \quad (2)$$

여기서 k_e 는 연간 단위전력당 전력 생산 비용 (\$/kw/year)이다.

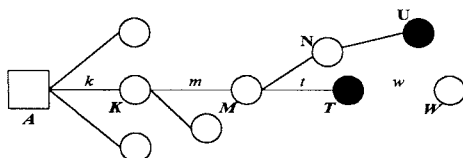
1. 서 론

발전, 송전 부분의 신뢰도 향상을 위한 지속적인 연구의 결과 발전, 송전 부분의 신뢰도는 크게 향상되어 부하의 전력 공급 중단 원인의 가장 큰 부분은 배전계통에서 차지하게 되었다[1]. 또한 사회 전반적인 전산화와 산업의 고도화에 따라 소비자가 요구하는 전력 공급의 신뢰도는 높아지고 있다. 계통의 선로 결정 시 기존의 손실 비용만을 고려하여 선로를 결정하는 최소 전송 손실 방식은 차단 시간과 이에 따라 결정되는 차단 비용에 의한 손실을 고려하지 않기 때문에 경우에 따라 최적의 선로를 제공하지 못 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 전송 손실만을 고려한 선로 결정에서 고려하지 않은 고객의 유형과 수용가의 수, 그리고 차단 비용을 함께 고려하여야 운용 비용을 최소화시킬 수 있는 선로를 결정할 수 있음을 보였다.

2. 본 론

2.1 손실 비용(Loss Cost)

전송선로에 새로운 부하점이 추가될 경우의 전송 손실 변화량을 평가하였다.



□ : 변전소 변압기 ○ : 부하점 ● : 부하말단
그림 1. 배전계통 모델

그림 1의 배전계통 모델은 하나의 변전소 A 에서 가지 선로 k, m, t, w 를 통하여, 수전점 K, M, T, W 로 연결

2.2 신뢰도 비용(Reliability Cost)

수용가는 전력 전송 경로의 고장율(λ)과 고장시간(d)에 따라 생산 차질 및 원료 손실을 포함하는 비용 손실을 입게되며 이러한 비용 손실이 신뢰도 비용(Reliability Cost: RC)이다. 이러한 신뢰도 비용을 평가하기 위하여 전력 전송 경로의 고장율(λ)과 고장시간(d)을 평가하였다. 또한, 수용가의 유형과 고장시간에 따른 고객 손실 함수(Customer Damage Function)는 참고문헌 [3]의 고객 손실 함수를 사용하였으며 각각의 차단시간과 이에 따른 수용가 유형별 손실 비용은 아래의 그림(2)에 나타내었다.

따라서, 신뢰도 비용은 식 (3)과 같이 부하 요구량(L_i [kw]), 경로의 사고율(λ_i [f/year]), 고객 손실 함수($c_i(d_i)$ [\$/kw])의 곱으로 나타낸다

$$RC = \sum_{i=1}^N L_i \cdot \lambda_i \cdot c_i(d_i) \quad (3)$$

여기서 d_i 는 고장시간(hours)이고 N_L 은 공급 부하점의 수이다.

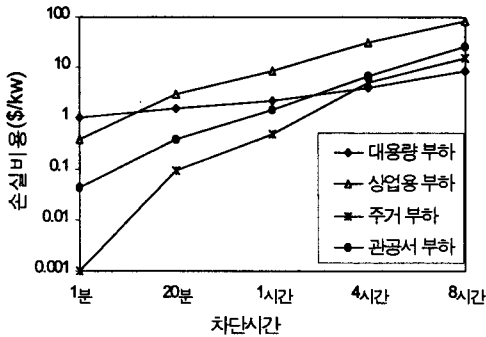


그림 2. 수용가 유형별 고객손실합수(\$/kw)

이와 같이 전체 운용 비용은 식 (2)와 (3)에서 보인 손실 비용과 신뢰도 비용의 합으로 표현될 수 있다. 전체 운용 비용을 줄이기 위해서는 손실 비용과 신뢰도 비용 모두를 고려하여야 하며 최적 전력 전송 경로의 결정은 이러한 전체 운용 비용의 최소화로 결정 할 수 있다.

2. 3 제한조건

전력을 전송할 때에 만족시켜야 하는 제한조건으로 선로 용량 제한과 전압 강하 제한 조건이 있다. 기존 선로에 추가된 새로운 부하에 따라 기존 선로의 전력 조류에 변화가 생기며 이에 따라 각 부하점의 변화된 전압 강하와 전류는 각각의 제한 조건을 만족하지 않을 수 있다.

또한, 수용가가 기대하는 전력의 품질에 대한 요구가 높아짐에 따라 신뢰도에 대한 요구도 높아지고 있다. 배전계통 신뢰도 산정시 기본적으로 가장 많이 쓰이는 지수는 사고율(λ)과 고장시간(d)이다. 그러나, 이러한 지수들은 단순한 통계적 결과로 수용가의 수나 부하량 등을 고려하지 않아 계통 전체의 신뢰도를 표현하지 못하는 결점이 있으므로, 참고 문헌 [3]에 나타난 전력 회사에서 가장 많이 쓰이는 전체 시스템 신뢰도 지수의 조사 결과에 따라 본 논문에서도 계통 평균 정전 지수(SAIFI), 계통 평균 정전 지속 지수(SAIDI), 수요자 평균 정전 지속 지수(CAIDI), 평균 서비tm 가능 지수(ASAI)의 4가지 계통 전체 시스템 신뢰도 지수 제한조건을 고려하였다.

2. 4 Neural-Tabu Algorithm

신경망 모델 중 홉필드 모델은 빠른 수렴속도와 안정된 수렴을 보인다[5]. 하지만 기본적으로 gradient decent 방식을 사용하는 홉필드 모델은 gradient decent 방식의 특성인 초기치에 민감하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에는 전역적 탐색 특성을 가지고 있는 Tabu 탐색 알고리즘을 신경망의 초기치를 선정하는 알고리즘으로 사용하였으며, 이 알고리즘의 효율성은 사례연구를 통해 나타내었다. Tabu 탐색 알고리즘은 메모리를 효율적으로 사용하는 탐색 알고리즘으로 초기해에서 이웃해를 탐색해가며 결과를 Tabu List라 불리는 메모리에 기억시키거나 제거해 가며 전역 탐색을 수행한다[6]. Elite Solution이 발견되면 이러한 해 주위를 중점적으로 탐색 할 수 있으며, 탐색의 결과에 따라 Diversity를 조절할 수 있는 특성을 가지고 있다. Neural-Tabu 알고리즘의 결과와 신경망 단독 사용시의 결과는 사례연구에 나타내었다. 그림(3)은 Tabu 탐색 알고리즘의 순서도이다.

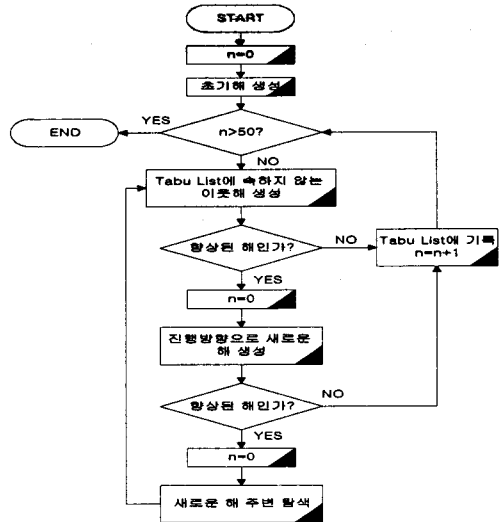


그림 3. Tabu 탐색 알고리즘

3. 사례연구

신뢰도 비용과 손실 비용을 동시에 고려한 전체 운용 비용 최소화 알고리즘을 22개의 부하점을 가진 계통을 사용하여 검증하였다. 모델 선로의 임피던스와 전압강하 신뢰도 지수 제한 조건은 표[1]에 나타나 있다.

표 1. 선로 임피던스와 계통 제한 조건

임피던스 [ohms/km]	최대 허용 전류 [A]	전압 강하 제한 조건[%]	
0.391	194	5	
SAIFI _{max}	SAIDI _{max}	CAIDI _{max}	ASAI _{min}
0.6	4.0	20	0.999

모델 계통의 사고율(λ)과 고장시간(U)등의 신뢰도 데이터는 참고 문헌[4]에서 인용하였다. 그림 [4]는 모델 계통의 구성도이다.

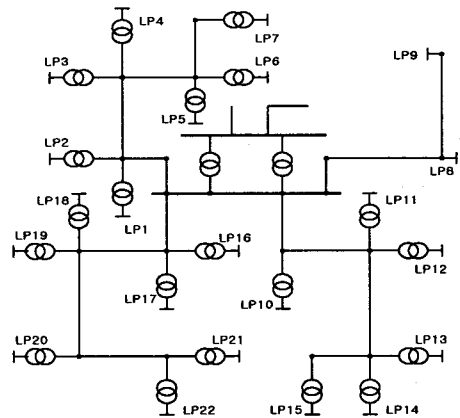


그림 4. 계통 구성도

모델 계통에 5개의 부하점을 추가하고 12개의 가능 선로를 설정하여 손실 최소화 알고리즘과 전체 비용 최소화 알고리즘을 각각 적용하였다.

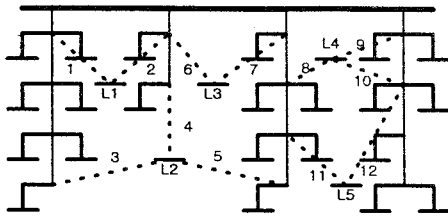


그림 5. 추가 부하점과 가능선로

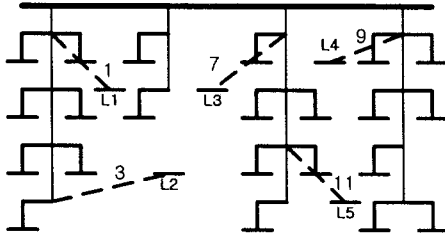


그림 6. 손실 최소화 알고리즘의 결과

그림 (6)은 손실 최소화 알고리즘의 결과 선로이며 그림 (7)은 전체 비용 최소화 알고리즘의 결과 선로이다.

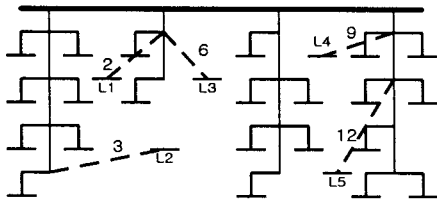


그림 7. 전체 비용최소화 알고리즘의 결과

각 알고리즘 결과 경로의 운용 비용과 제한 조건 결과를 표 (2)에 나타내었다.

표 2. 결과 선로 비교

	손실최소화 경로	전체비용최소화 경로
손실 비용 (\$/year)	76638	87900
전체운용비용 (\$/year)	128220	115279
SAIFI	0.247	0.246
SAIDI	3.712	3.695
CAIDI	14.925	15.059
ASAI	0.99957	0.99957
전압강하 (<5%)	3.8	4.1
최대전류 (<198A)	142.7	130.12

표 (2)에서 볼 수 있듯이 손실비용의 손실최소화 경로가 작게 나타나지만 전체 운용 비용은 전체손실 최소화 알고리즘이 작게 나타나 연간 \$12941의 이익을 손실비용 최소화경로에 비해 얻을 수 있는걸 알 수 있다. 또한 두 경로 모두 각 제한 조건을 모두 만족시키고 있다.

그림 8은 Neural-Tabu 알고리즘의 수렴 곡선이며 그림 9는 신경망만 단독사용하여 300회 반복수행시킨 결과이다. 300회 반복시행 후 최저비용은 \$116382로 Neural-Tabu 알고리즘에 비해 좋지 않은 결과를 보였다.

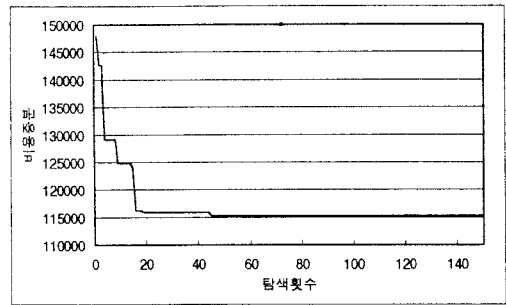


그림 8 Neural-Tabu 탐색결과

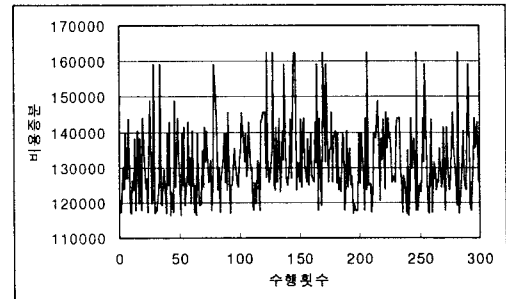


그림 9 신경망 반복수행 결과

3. 결 론

운용비용을 최소화하는 최적의 선로를 구성하기 위해서는 기존의 손실비용뿐만 아니라 신뢰도 비용까지를 고려한 전체 운용비용 최소화 알고리즘이 운용비용을 최소화할 수 있음을 보였다. 또한 전역 탐색능력이 우수한 Tabu 알고리즘과 빠른 수렴속도를 갖는 신경망의 결합이 우수한 수렴성을 갖게됨을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. Billinton, Satish Johnavithula, "A Test System for Teaching Overall Power System Reliability Assessment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp.1670-1676, November 1996
- [2] V. Glamocanin, "Optimal Loss Reduction of Distribution Network", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 3, pp774-782, August 1990
- [3] R. Billinton, Peng Wang, "Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 4, pp1245-1250, November 1998
- [4] R. N. Allan, R. Billinton, "A Reliability Test System for Educational Purposes - Basic Distribution System Data and Results", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 2, pp.813-820, May 1991
- [5] Cichocki Unbehauen, "Neural Networks for Optimization and Signal Processing", WILEY, Aug 1995
- [6] Fred Glover, Manuel Laguna, "Tabu Search", Univ of Colorado at Boulder, 1997