

CBP 시장에서 OPF를 활용한 송전설비계획에 관한 연구

한석만, 김광모, 정구형, 김발호
홍익대학교

A study on the transmission planning using OPF in CBP markets

Seok-Man Han, Kwang-Mo Kim, Koo-Hyung Chung, Balho H. Kim
Hongik University

Abstract - This paper proposed the transmission planning mechanism in competitive power markets. This mechanism used Optimal Power Flow (OPF) to calculate operation cost and Contingency Constrained OPF (CC-OPF) to consider N-1 contingency outage. In addition, this algorithm deduced a yearly transmission planning using Dynamic Programming (DP).

1. 서론

송전설비계획은 전력시스템 설비계획의 중요한 부분 중 하나이다. 안전하고 경제적인 전력전송의 필요조건을 충족시키기 위해 대상기간 동안 부하의 성장과 전원개발계획에 따라 최적으로 계통을 구성하는 일이 송전설비계획이다. 과거 수직통합적 전력산업에서는 독점전력회사에 의해 높은 신뢰도 및 전력품질에 목표를 두고 송전설비를 계획하고 건설하였다.

하지만, 발전과 송전이 분리된 새로운 전력산업 환경 하에서는 송전회사가 새로운 발전기의 전력 수송을 가능하게 하고, 장기적으로 경쟁을 저해하지 않고, 신뢰도를 유지하며, 발전과 송전 투자를 고려하여 송전설비계획을 수립하여야 한다. 발전 및 수요의 불확실성으로 인해 송전설비계획에서 요구되는 장기간의 시물레이션은 복잡화되고 예측은 어려워지고 있으므로 송전설비계획을 객관적으로 결정할 수 있는 설비계획 매커니즘이 필요하다. 또한, 전력거래의 증가 및 원거리 전력수송이 확대됨에 따라 더 높은 용량의 송전선로가 요구되며 정확한 송전설비의 용량 분석은 송전설비계획에 있어 점차 중요도가 높아지고 있다.

우리나라의 CBP 전력시장에서는 계통계획과 계통운영의 주체가 구별되어 있어 전력시장의 효율성 제고를 위해 계통운영시의 경제성을 고려한 계통계획의 수립이 중요한 문제이다. 계통계획과 계통운영의 차이를 감소시키고 효율적인 계통운영을 도모하기 위해서는 송전용량 제약으로 인해 발생한 비용에 대한 정량화 및 예측이 필요하며 이를 고려한 계통계획 기술이 마련되어야 한다. 송전량 제약에 의한 제약비용의 계산은 계통의 제약조건과 수급조건, 그리고 계산방식 등에 따라 계산결과가 달라질 수 있으며 제약비용 자체만으로는 송전설비계획에 대한 경제성 평가로써 정확한 의미를 부여하기 어려우므로 송전설비 계획단계에서의 건설비용 및 운전비용 계산의 방법론을 객관적으로 정립하고 이를 이용하여 송전설비계획의 경제성 평가 기법을 개발하여 적용할 필요가 있다.

본 논문에서는 송전설비계획 수립에 활용할 수 있는 설비계획 매커니즘을 제안한다. 제안하는 방법은 운전비용을 정확하게 산출하기 위해 최적조류계산(OPF)을 이용하였으며, 상정사고를 고려하기 위해 선로민감도를 이용한 제약을 추가한 상정사고 고려 최적조류계산(CC-OPF)을 이용하였다. 또한, 건설비용을 함께 반영하기 위해 동적계획법(Dynamic Programming)을 이용하여 연간 설비계획도 함께 도출된다.

2. 본론

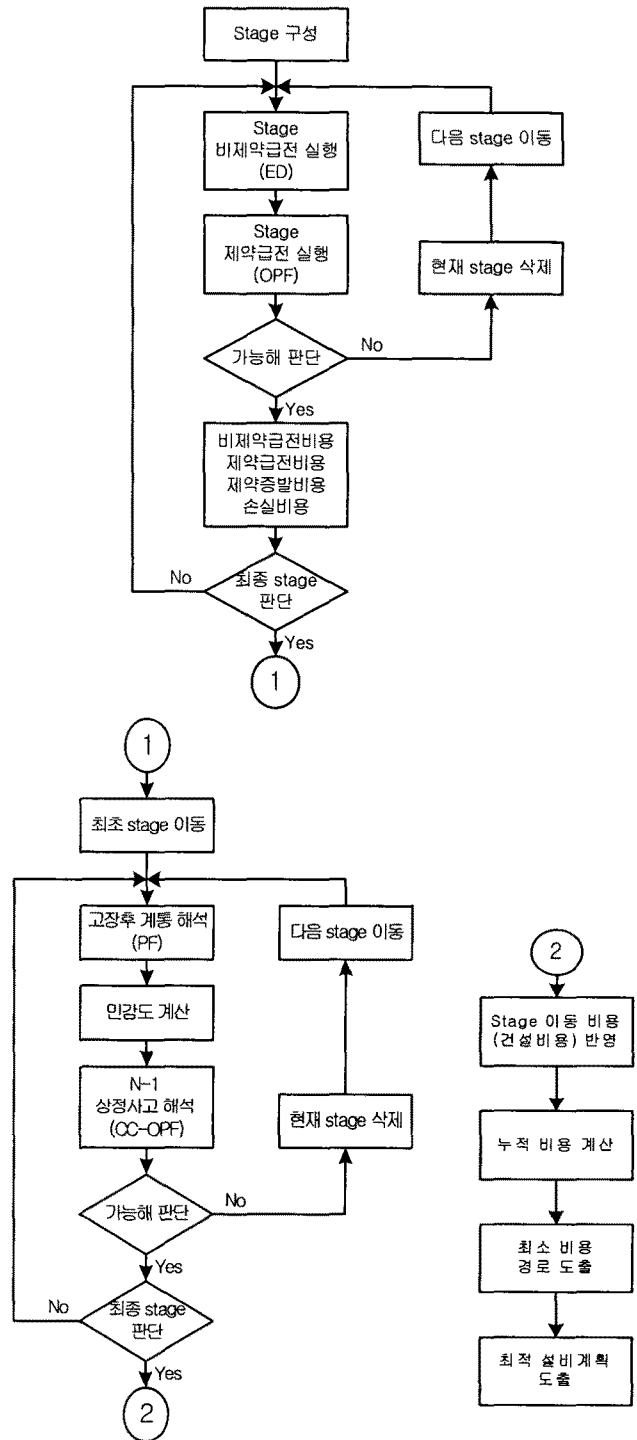
2.1 OPF를 활용한 송전설비계획 매커니즘

본 논문에서 제안하는 매커니즘은 크게 3부분으로 이루어져 있다.

첫 번째 부분은 모든 가능성 있는 대안들에 대해서 최적조류계산을 이용하여 운전비용을 계산하는 부분이다. 이 부분에서는 제약비용을 계산하기 위해 비제약급전과 제약급전을 함께 실행한다.

두 번째 부분은 고장해석을 통해 상정사고시에도 계통이 안전하게 운전되는지를 확인하는 부분이다. 이 부분에서는 고장 이후의 계통 상태를 파악하기 위해 전력조류계산을 이용하며, 이 결과로써 선로의 민감도를 계산하여 CC-OPF의 제약조건을 완성하게 된다.

세 번째 부분은 운전비용과 건설비용이 최소가 되도록 연간계획을 확정하는 부분이다. 본 논문에서는 stage 비용과 이동비용을 누적시켜 최소비용을 도출하는 동적계획법을 사용하였다.



〈그림 1〉 OPF를 활용한 송전설비계획 매커니즘

2.2 사례연구

본 논문의 사례연구에서는 제산의 편의상 다음과 같이 가정하였다.

- 할인율의 영향은 무시한다.
- 평가요소는 운전비용/제약증발비용/건설비용이다.
(제약증발비용 = 제약급전비용 - 비제약급전비용)
- 평가요소는 모두 계산하지만, 이용하는 요소는 운전비용과 건설비용이다.
- 연도별/모선별 부하자료와 발전설비계획은 주어진 자료이다.
- 민감도는 선로간 민감도만을 대상으로 하며, 관심선로인 3개의 선로에 대해서만 민감도를 적용한다.

$$D_{ik} = \frac{\Delta f_i}{f_{k0}}$$

D_{ik} : 선로 k의 고장이 선로 l에 미치는 민감도

Δf_i : 선로 k의 고장 전후, 선로 l 조류량의 변화

f_{k0} : 선로 k의 고장전 조류량

- CC-OPF에 추가되는 제약식은 다음과 같다.

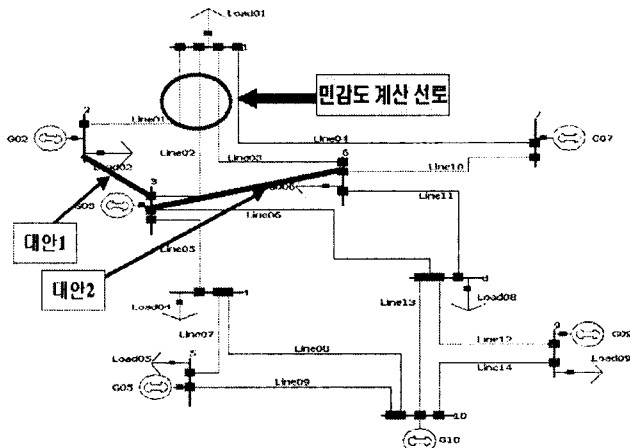
$$f_i^{new} = f_{i0} + \Delta f_i = f_{i0} + D_{ik} \cdot f_{k0} \leq Cap_i$$

- 송전설비계획 대안은 2가지이며, 총 대상 기간은 3년이다.
- 대안별 구분은 2자리 2진변수로 구분한다.

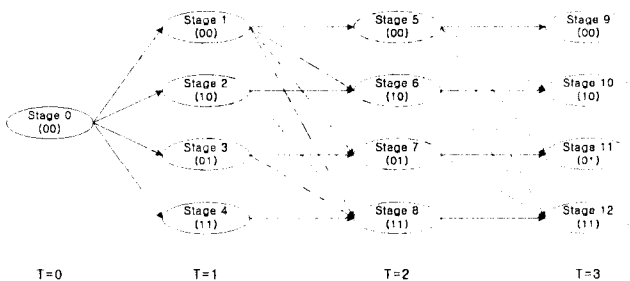
X1 X2

- (00): 모두 건설하지 않을 경우
- (10): X1 대안만 건설할 경우
- (01): X2 대안만 건설할 경우
- (11): X1, X2 모두 건설할 경우

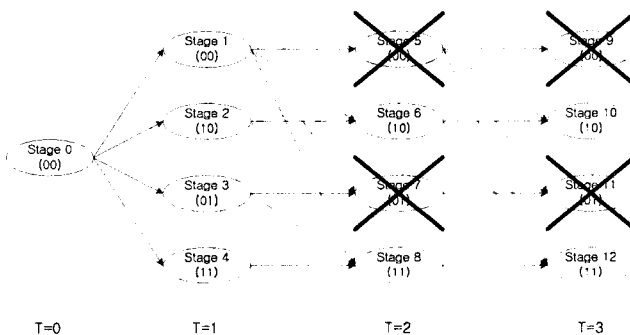
- 설비의 폐쇄는 고려하지 않는다.



〈그림 2〉 사례연구 시스템

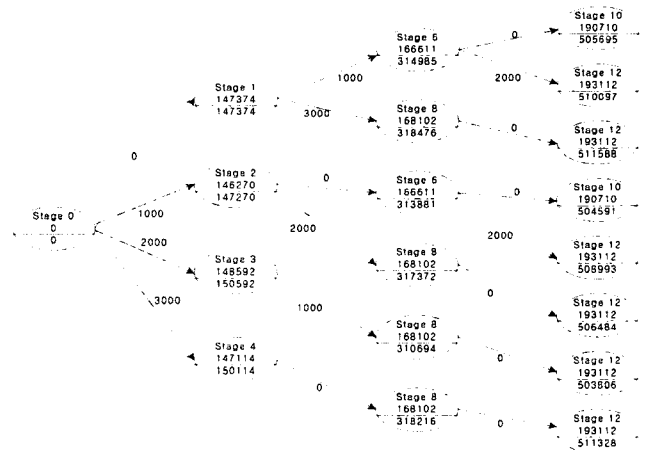


〈그림 3〉 대안 선택으로 취할 수 있는 모든 상태(stage)



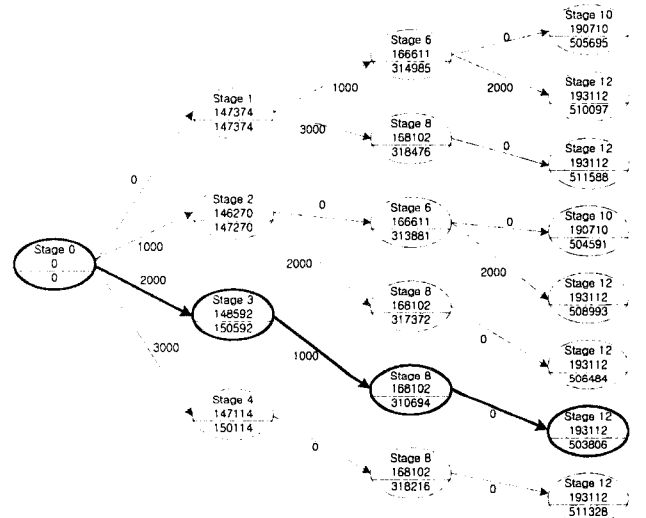
〈그림 4〉 CC-OPF 실행 후 가능한 상태

(그림3)은 첫 번째 단계를 마쳤을 경우, 각 상태를 나타낸 그림이며, (그림4)는 두 번째 단계를 실행했을 경우의 결과이다.



〈그림 5〉 가능한 상태에서의 운전비용과 건설비용

(그림5)는 (그림4)의 가능한 상태를 tree 구조로 나타내고, 운전비용과 건설비용, 누적비용을 나타낸 그림이다.



〈그림 6〉 연도별 최적 송전설비계획

(그림6)은 최종 누적비용이 가장 작은 stage 경로를 나타낸 그림이다. 첫 번째 연도에는 대안2를 건설하고, 두 번째 연도에는 대안1을 건설하는 것이 건설비용과 운전비용이 가장 작은 최적 설비계획이다.

3. 결 론

본 논문에서는 여러 가지 최적화 기법을 적용한 송전설비 계획 메커니즘을 제안하였다. 과거의 신뢰도 및 전력품질 우선의 계획수립 대신에 경제성을 평가하는 내용들로 구성하였다. 하지만, 여러 가지 평가요소 중 건설비용, 운전비용만을 이용하였다. 향후 다른 평가요소들을 반영하는 방법에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 또한, 단계별 신속 정확한 알고리즘의 개발도 연구되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업 (과제번호: R-2004-0-145)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 김종만 외 "경쟁적 전력시장에서 혼잡을 고려한 송전설비 계획 기준설정에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 54A권 7호, pp.358-365, 2005
- [2] 김발호 외, "발전소 건설계획과 계통계획과의 연계방안 검토", 연구보고서, 한국전력거래소, 수급계획처, 2001
- [3] X. Wang & J. R. McDonald, "Modern Power System Planning", McGraw-Hill Book Company, pp.375-454, 1994
- [4] Daniel Kirschen & Goran Strbac, "Fundamentals of Power System Economics", John Wiley & Sons, Ltd, pp.227-264, 2004