

송전망 설비의 경제성 평가 프로그램 개발

이상호, 이정호, 오탁규*, 이종순, 한경남**
 한국전기연구원*, 한국전력공사**

A Program Development for Evaluating Additional Transmission Lines

Sang-Ho Lee, Jeong-Ho Lee, Tae-Gyoo Oh*, Jong-Soon Lee, Kyung-Nam Han**
 KERI*, KEPCO**

Abstract - 독점 체제에서의 송전망 설비 투자는 주로 신뢰도 확보와 최소 건설비용을 바탕으로 하였다면 전력 시장 체제에서의 송전망 설비 투자는 신뢰도와 설비 투자로 인한 경제적 이득의 조화에 바탕을 두고 이루어져야 한다. 설비 투자의 경제적 이득을 환산하기 위해서는 설비 투자의 여러 대안에 대해 가장 경제적인 대안을 선정할 수 있는 자동화된 프로그램을 필요로 한다. 이를 위해 여러 설비 투자 대안들에 대해 주어진 검토 시간대에 걸쳐 신뢰도를 유지하며 부하를 공급하기 위한 경제적 발전력 배분을 구현한 프로그램을 개발하였으며 그 효용성을 사례 연구를 통해 검증하였다.

영역에 세부 데이터를 나타내도록 하였으며 화면 아래쪽의 Simulation Process View 영역에 결과 확인 및 오류 체크 등 모든 동작에 대한 report 기능을 하도록 하였다. 각 데이터들은 화면 상에서 수정, 저장이 가능하도록 하였다.

1. 서 론

우리나라의 전력계통은 경인지역에 40% 이상의 수요가 집중되어 있는 반면 발전설비는 비경인지역에 대부분이 위치하므로 송전용량 제약으로 인한 계통의 혼잡이 시장참여자에게 중요한 문제이며, 현재 송전혼잡으로 인해 발생하는 혼잡비용이 연간 1조원을 초과하고 향후 더욱 증가할 것으로 예상되므로 이에 대한 합리적 평가 및 방안이 마련되어야 한다. 송전망 제약에 의한 혼잡비용의 계산은 계통의 제약조건과 수급조건, 그리고 계산방식 등에 따라 계산결과가 달라질 수 있으며 송전망 계획단계에서의 혼잡비용 계산의 방법론을 객관적으로 정립하고 이를 이용하여 송전설비계획의 경제성 평가 기법을 개발하여 적용할 필요가 있다.

합리적인 송전망의 경제성 평가를 위해 미국 GE사는 multiarea production simulation model을 포함하는 경쟁적 전력시장에서의 계통계획 프로그램을 15년간에 걸쳐 개발하였고 ABB사는 혼잡분석, 혼잡해소, 신뢰성평가, 송전설비계획 및 경제성평가 기능 등을 수행할 수 있는 송전분석 프로그램 (GridView)을 개발하여 송전분야의 시장시뮬레이션 및 경제성 평가에 적용하고 있다. 최근 California System Operator (CAISO)에서는 향후 건설 예정인 송전망 설비들의 경제성을 평가하기 위한 방안으로 TEAM (Transmission Economic Assessment Methodology)을 추진하여 생산자 및 소비자 등이 송전망 설비의 건설로 어떠한 이득을 기대할 수 있는지를 분석하였다.

TEAM에서는 사회적 잉여를 소비자, 생산자, 혼잡 잉여의 합으로써 정의하고 송전망 설비의 효용성을 검증하기 위해서는 설비 건설로 인한 사회적 잉여의 변동분을 계산하도록 제안하고 있다. 여기에서 난점은 소비자 잉여를 계산하기 위한 소비자 효용곡선을 구하기 힘들다는 점이고 이에 대한 해결책으로써 소비자가 가격에 비탄력적인 특성을 보인다고 가정할 경우 사회적 잉여의 변동분은 전체 생산비의 변동분으로써 표현가능하다고 제시하고 있다.

본 연구에서도 위와 유사한 방식으로 송전망 설비의 경제성 평가 기법을 국내 CBP 시장에 반영하기 위한 소프트웨어를 개발하고 있으며 위에서 제시한 방법과 같이 현 CBP 시장 체제에서는 소비자가 가격에 비탄력적이라고 할 수 있으므로 송전망 설비의 건설에 따른 전체 생산비의 변동분으로써 경제성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 프로그램 구성 및 개요

본 프로그램은 주어진 송전계약 하에서 발전비용 최소화를 목적으로 발전기들의 최적 배분을 수행하는 것을 기본 모듈로 하여 송전망 추가 건설 시 가장 생산비가 최소로 되는 대안을 찾는 것을 목적으로 한다. 최적화 과정의 신뢰도를 확보하기 위해 상용화된 최적화 Solver인 MOSEK를 사용하여 결과를 도출하도록 하였다.

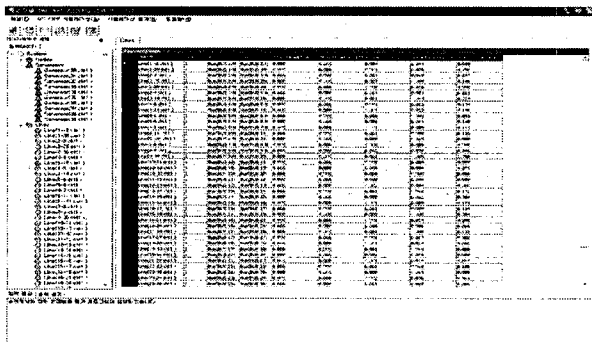
2.1.1 입력파일 구성

입력은 세 가지의 입력 파일로 구성된다. 먼저 송전망의 정보를 얻기 위한 데이터로써 PSS/E ver.30의 raw 파일을 입력받도록 하였으며, 모선별 부하값 및 발전기 비용 데이터는 csv 파일 형태로 입력받도록 하였다. 부하 데이터는 기간별, 모선별로 부하값을 지정할 수 있도록 하였으며 발전기 비용 데이터는 출력에 대한 2차함수 형태로 입력하도록 하였고 표 1에 한 예를 나타내었다.

입력받은 데이터는 자체 구성된 DB에 저장되며 아래와 같이 화면의 좌측에 Data Tree View를 구성하고 각 요소를 선택하면 우측의 Data Grid

<표 1> 발전기 비용 데이터 테이블

Bus	Name	Max	Min	연료비	종류	a	b	c
30	Bus#1	300	20	23.644	중유	0.000002	2.003722	87.476361
31	Bus#2	1000	20	30.598	LNG	0.000035	2.075882	96.548705
32	Bus#3	700	20	23.644	중유	0.000022	2.01	86
33	Bus#4	700	20	23.644	중유	0.000002	2.1	88
34	Bus#5	600	20	30.598	LNG	0.000003	3.15	101.5
35	Bus#6	750	20	23.644	중유	0.000028	2.9	68
36	Bus#7	600	20	30.598	LNG	0.000032	2.5	105.4
37	Bus#8	600	20	30.598	LNG	0.000004	2.4	108.7
38	Bus#9	900	20	23.644	중유	0.000018	2.1	78
39	Bus#10	1000	20	23.644	중유	0.000019	1.8	70



<그림 1> 프로그램 화면 구성

2.1.2 최적화 문제 구성

입력 파일로부터 송전망 제약을 고려한 발전기들의 최적 배분을 수행하기 위해 다음과 같은 발전기들의 비용최소화를 목적함수로 하고 각 모선에서의 전력방정식, 발전기의 최대/최소, 선로 제약 등을 제약식으로 하는 최적화 문제를 구성한다.

$$\min \sum_i C_i(G_i)$$

$$\sum_j flow_{ij} + Load_i - G_i = 0$$

$$G_{i,min} \leq G_i \leq G_{i,max}$$

$$-flow_{max} \leq \left(flow_{ij} = \frac{\theta_j - \theta_i}{x_{ij}} \right) \leq flow_{max}$$

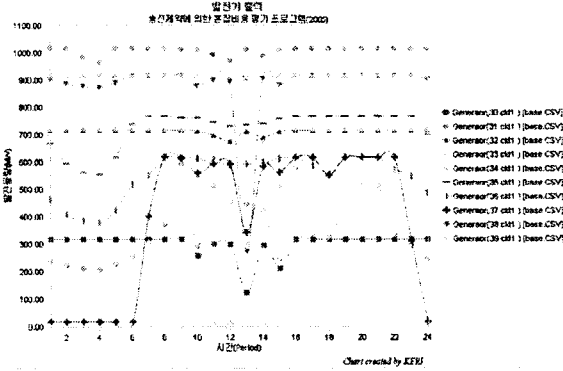
단, C_i 는 i 발전기의 비용함수, G_i 는 i 발전기의 출력, θ 는 각 모선의 위상각, x_{ij} 는 각 선로의 임피던스, $flow_{ij}$ 는 i 모선에서 j 모선으로 흐르는 조류량이다.

발전기 비용함수는 일반적으로 2차 함수로 주어지지만 본 프로그램에는 최적화 문제 해의 신뢰성과 빠른 계산 속도를 구현하기 위해 발전기 비용함수를 10구간의 부분 선형함수로 선형화하였으며 선로방정식도 선형화를 위해 직류조류계산 방식을 채용하였다.

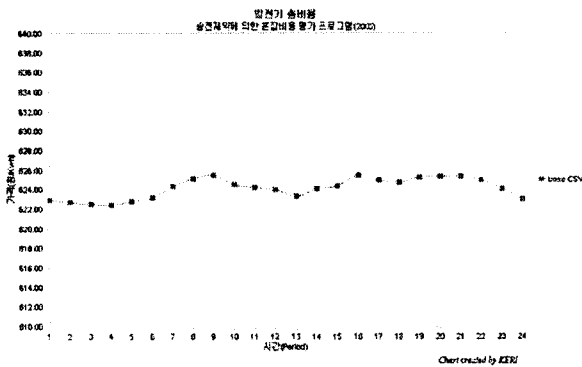
2.1.3 발전비용 최적화 결과 출력

발전비용 최적화를 통해 최적의 발전기들의 출력이 결정되면 시간 구간에 따라 발전기들의 출력을 테이블 및 그래프 형태로 볼 수 있도록 하였으

며 그림 2는 각 발전기들의 시간 구간별 출력을 나타내고 그림 3은 시간 구간별 총 생산 비용을 나타내고 있다.



〈그림 2〉 시간 구간별 발전기들의 출력



〈그림 3〉 시간 구간별 발전기들의 총 생산 비용

2.2 사례 연구

본 프로그램의 효용성을 검증하기 위하여 New England 39모선 계통을 사용하여 여러 가지 송전망 건설 대안에 대해 발전기별 출력 패턴의 변화와 생산비용 개선 효과에 대한 결과를 도출하였다.

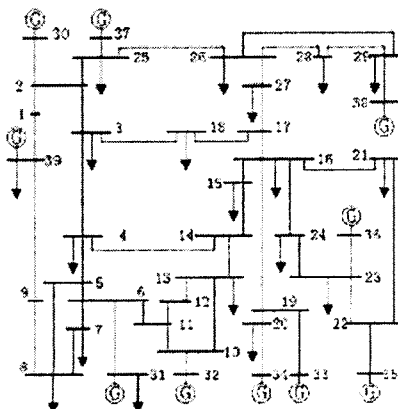
base case에서 다음과 같은 송전망 설비 대안이 있다고 가정할 때 송전망 혼합 개선에 의한 총 생산 비용 개선 효과에 대해 검토하였다.

- scenario 1 : 모선 1 ~ 모선 12에 1회선 추가
- scenario 2 : 모선 16 ~ 모선 17에 1회선 추가
- scenario 3 : 모선 16 ~ 모선 19에 1회선 추가

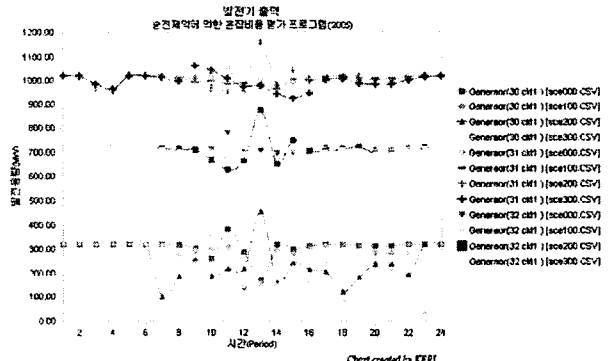
〈표 2〉 각 대안별 총 생산 비용 비교

	총 비용
base case	14,978.501
scenario 1	14,976.065
scenario 2	14,962.905
scenario 3	14,963.934

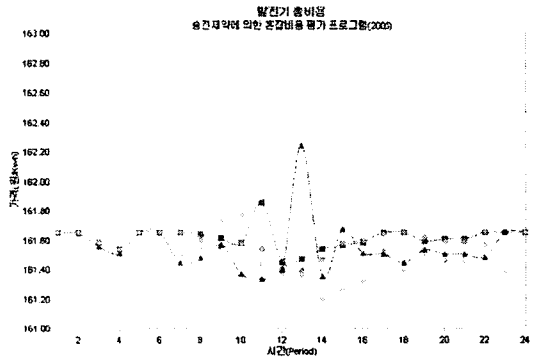
표 2에서 같이 총 비용 개선 효과만으로 본다면 scenario 3이 가장 효과적이지만 최종적으로는 각 송전선 건설을 위한 투자비를 고려하여 가장 투자 대비 효율이 좋은 대안을 선택하여야 할 것이다.



〈그림 4〉 New England 39 모선 계통



〈그림 5〉 각 대안별 발전기들의 출력 패턴



〈그림 6〉 각 대안별 총 생산 비용의 변화

그림 5와 그림 6에 각각 송전망 추가 건설 대안에 따른 발전기들의 출력 변화와 총 생산 비용의 변화를 나타내었다. 사용자의 편의를 위해 결과 원하는 시나리오 및 발전기들을 모두 또는 일부만 선택할 수도 있도록 구현하여 송전망 건설에 따라 주어진 부하 패턴에 대해 특정 발전기들이 어떠한 영향을 받는 지와 그에 따라 증감되는 생산비용의 차이를 쉽게 식별할 수 있도록 하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 송전망 계획의 경제성 평가를 위해 목적함수로서 설비 투자에 의한 총 생산 비용의 최소화를 선정하고 빠른 계산 속도를 위해 발전기 비용 함수 및 모선 제약식을 선형화하여 결과를 도출하였다. 또한, 모의 결과를 사용자가 쉽게 알아볼 수 있도록 다양한 선택 옵션을 제공하여 데이터 테이블 및 그래프 형태로 나타낼 수 있도록 프로그램하였으며 모의 계통을 통해 송전망 투자 대안들에 대한 경제성 비교를 용이하게 할 수 있음을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] "전력계통계획 수립기준에 관한 연구", 한국전력공사, 2001. 8.
- [2] "송전선 혼합처리 비용 및 송전선 이용료 설정에 관한 연구", 한국전력공사, 2000. 2.
- [3] "계통계획 절차서", 한국전력공사, 2004. 5.
- [4] "전력계통 운영 장기 발전방향", 한국전력거래소, 2004. 8.
- [5] "Transmission Economic Assessment Methodology", California ISO, June 2004.
- [6] P.E.Berry, R.M. Dunnnett, "Contingency constrained economic dispatch algorithm for transmission planning", IEE Proceedings C, Vol. 136, pp.238-244, July 1989
- [7] G.G.Gorenstein, M.V.F.Pereira, "Power system expansion planning under uncertainty", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.8, pp.129-136, Feb. 1993
- [8] G.B.Shrestha and P.A.J.Fonseka, "Congestion-driven transmission expansion in competitive power markets", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.19, pp.165-1665, Aug. 2004
- [9] R.Baldick and E.Kahn, "Transmission planning issues in a competitive economic environment", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.8, pp.1497-1503, Nov. 1993
- [10] S.N.Siddiqi and M.L.Baughman, "Value-based transmission planning and the effects of network models", Dept. of Electrical and Computer Engineering, The Univ. of Texas at Austin, Nov. 1995
- [11] <http://www.mosek.com>