

발전설비계획과 계통계획을 연계한 통합설비계획에 관한 연구

한 석 만, 정 구 형, 김 발 호
홍익대학교

Integrated power system planning considering generation & network planning

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

Abstract - The introduction of competition in the electricity market requires a new paradigm in the capacity planning. This paper presents a methodology on a generation expansion planning incorporating the transmission expansion planning in the government view point. The proposed idea is exercised on a case study.

행 계통계획은 경쟁적 전력시장의 시장참여자에게 정확한 경제적 효과를 제공하지 못해 투자유인을 저해할 수 있다.

본 논문에서는 경쟁시장에서 시장참여자에게 정확한 경제적 시그널을 제공하도록 발전설비계획과 계통계획을 동시에 고려하는 방안을 제시하였다.

1. 서 론

2. 통합설비계획

전력산업 구조개편으로 시장경제의 논리에 따라 전력계통의 전반적인 운용 및 계획 체계는 시장기능에 의해 수립된다. 개별 발전사업자들은 자신의 수익을 극대화하기 위해 발전량과 판매가격을 결정하고, 송전사업자는 경쟁적 시장거래가 가능하도록 충분한 송전용량을 확보하면서 국가의 규제 하에 송전계통을 계획, 유지보수하며, 이에 대한 대가로 송전선 이용료를 지불 받는다. 경제학적 측면에서 시장내의 계획, 생산, 유지보수, 판매 등의 모든 사업은 전적으로 시장참여자에 의해 이루어지는 것이 가장 바람직하다.

2.1 통합설비계획 방법론

수학적 측면에서의 설비계획은 발전소와 송전선로의 입지를 결정하는 문제이다. 이러한 입지문제를 수학적으로 정식화하기 위해서는 정수계획법과 같은 수리모형이 필요하며 문제의 복잡화, 대형화로 해를 구하기가 쉽지 않다. 또한 입지문제에 수학적으로 정확한 해가 도출되더라도 정책적으로 결정되는 사항으로 공학적인 접근방법이 요구된다.

하지만, 전력사업의 운영을 위해서는 수많은 발전소와 변전소, 그리고 전국 각지를 연결하는 송배전선로 등 방대한 규모의 설비가 필요하다. 이러한 전력설비, 특히 발전설비 부문은 설비의 규모가 대단히 클 뿐만 아니라, 고도의 정밀성, 내구성, 신뢰성이 요구되는 대단히 고가의 설비로서 막대한 투자비가 필요하다. 또한, 건설에 있어서도 보통 수년 또는 10년 이상의 장기간이 소요된다. 또한, 전원구성의 형태에 따라 발전소 건설, 운영에 따른 여러 가지 파급효과가 발생하고, 국가적인 장기 에너지 수급 및 가격체계에 커다란 영향을 미친다.

본 논문에서는 여러 가지 입지대안 중 비용이 가장 작은 대안이 선택되도록 정식화하였다. 특히, 송전선로의 경우에는 OMW 용량을 가진 가상선로가 이미 존재한다고 가정하고 그 선로의 용량을 결정하는 문제로 정식화하였다. 가령 이 가상선로에 흐르는 조류량이 거의 없다면 선로 건설유인이 없다고 판단할 수 있다.

2.2 수학적 정식화

$$\text{Minimize } GOC + TOC + GCC + TCC \quad (식1)$$

$pg_{i,g,t}, \theta_{i,t}, PG_{i,g}^{new}, PF_l^{new}$

s.t.

$$\sum_g pg_{i,g,t}^{old} + \sum_g pg_{i,g,t}^{new} - \sum_j pf_{i,j,t} = Load_{i,t}, \quad \forall i,t \quad (식2)$$

$$pf_{i,j,t} = \frac{\theta_{i,t} - \theta_{j,t}}{X_{i,j}}, \quad \forall i,j,t \quad (식3)$$

$$|pf_{i,j,t}| = PF_{i,t}^{obs}, \quad \forall i,j,l,t \quad (식4)$$

$$0 \leq pg_{i,g,t}^{old} \leq PG_{i,g}^{old}, \quad \forall i,g,t \quad (식5)$$

$$0 \leq pg_{i,g,t}^{new} \leq PG_{i,g}^{new}, \quad \forall i,g,t \quad (식6)$$

$$PF_{l,t}^{obs} \leq PF_l^{old} + PF_l^{new}, \quad \forall l,t \quad (식7)$$

$$pg_{i,g,t}, \theta_{i,t}, PG_{i,g}^{new}, PF_l^{new} \geq 0$$

따라서, 전력사업에 경쟁이 도입되더라도 국가적 차원의 원활한 전력수급과 시장참여자의 투자유인을 제공하는 설비계획 가이드라인이 필요하며, 이러한 가이드라인을 제시하는 계통계획이 매우 중요하다.

현재의 계통계획은 발전설비계획시안을 바탕으로 계통구성 방안을 검토하는 데 목적이 있다. 전력수요 및 전원개발계획을 기준으로 계통구성 방안을 수립하고, 계통분석용 전산모형을 운용해 기술적 타당성을 검토한다. 그 이후 송배전 설비계획이 만들어지면 이를 이행하는데 소요되는 투자재원, 입지 등 사업추진 여건을 검토하고 최종적으로 장기 송배전 설비계획이 확정된다.

다시 말해, 현행 계통계획은 발전설비계획 확정 이후, 결정된 사안을 바탕으로 수행된다. 즉, 계통의 확장 및 이후의 계통운영은 발전소 건설 입지에 직접적인 영향을 받음에도 불구하고, 전원입지의 유연성 결여로 인해 상호 연계를 통한 협조 체계가 미흡한 실정이다. 또한, 현

여기서,

$$GOC : \text{발전설비 운전비용} = \sum_i \sum_g \sum_t p g_{i,g,t}^{old} \cdot KOG_{i,g}^{old} + \sum_i \sum_g \sum_t p g_{i,g,t}^{new} \cdot KOG_{i,g}^{new}$$

$$TOC : \text{송전설비 운영비용} = \sum_i \sum_j PF_{i,j}^{obs} \cdot KOT$$

$$GCC : \text{발전설비 건설비용} = \sum_i \sum_g PG_{i,g}^{new} \cdot KCG_{i,g}$$

$$TCC : \text{송전설비 건설비용} = \sum_i PF_i^{new} \cdot KCT_i$$

KOG : 발전기 출력단가

KOT : 송전설비 운영비용 계수

KCG : 발전설비 건설단가

KCT : 송전설비 건설단가

$p g_{i,g,t}^{old}$: 기존 발전기 출력량

$p g_{i,g,t}^{new}$: 신규 발전기 출력량

$PG_{i,g}^{old}$: 기존 발전기 용량

$PG_{i,g}^{new}$: 신규 발전기 용량

$pf_{i,j,t}$: 선로 조류량

$PF_{i,j}^{obs}$: 선로 조류량의 절대값

PF_i^{new} : 신규 송전설비 용량

$Load_{i,t}$: 목표년도의 부하

$\theta_{i,t}$: 모선 위상각

$X_{i,j}$: 선로 리액턴스

(식1)의 목적함수는 크게 발전설비 운전비, 송전설비 운전비, 발전설비 건설비, 송전설비 건설비로 구성되어 있다. 발전설비 운전비는 기존 설비운전비와 신규설비 운전비로 구성된다. 송전설비 운전비는 송전선로의 조류량에 비례한다. 하지만, 선로조류는 정방향, 역방향의 있기 때문에 절대값에 비례하도록 정식화하였다(식4). 발전설비 건설비는 신규 발전기 출력량 중 가장 큰 값에 비례한다. 송전설비 건설비도 발전설비 건설비와 유사하게 신규 선로의 조류량 중 가장 큰 값에 비례한다.

(식2)의 제약식은 각 모선별, 시간별 전력수급방정식이다. 선로조류는 직류조류계산을 이용하였기 때문에 (식3)이 성립한다. (식5,6,7)의 제약식은 각각 발전기 출력제약과 선로 용량제약이다.

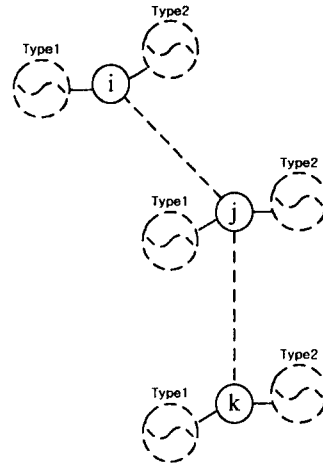
3. 사례연구

3.1 가정

본 논문에서는 문제의 간략화를 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 목표년도의 부하를 현재 설비로는 감당할 수 없어 발전/송전계통의 증설이 필요하다.
- 송전선로와 발전설비의 입지는 이미 결정되어 있다.
- 신규 발전설비의 용량 및 송전설비의 용량은 미지수이다.
- 신규 발전설비는 모선별로 2가지 종류의 발전기를 건설할 수 있다.
- 모든 회계가치는 현재가치로 환산된 값이다.
- 목표년도는 3주기로 구분된다.

3.2 입력데이터



[그림1] 사례연구 계통도

- 목표년도의 부하데이터[MW]

주기	1	2	3
모선 i	770	935	847
모선 j	1,210	1,463	1,342
모선 k	1,650	2,222	1,705

- 기존 발전설비

구분	발전기 종류	용량 (MW)	발전단가 (원/MW)
모선 i	type1	700	8
	type2	265	16
모선 j	type1	200	12
	type2	1,020	16
모선 k	type1	465	20
	type2	1,550	18

- 신규 발전설비

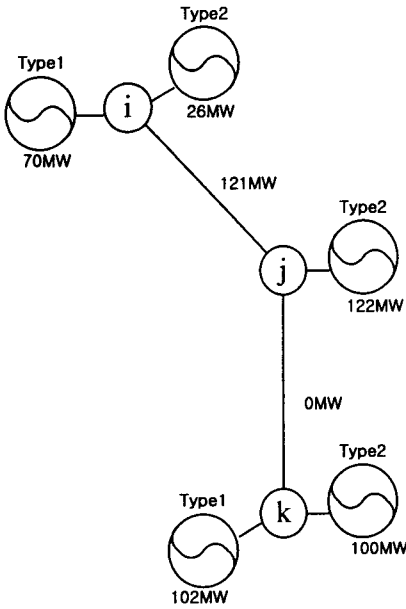
구분	발전기 종류	건설단가 (원/MW)	발전단가 (원/MW)
모선 i	type1	30	8
	type2	10	16
모선 j	type1	40	12
	type2	22	16
모선 k	type1	32	20
	type2	36	18

- 송전설비 데이터

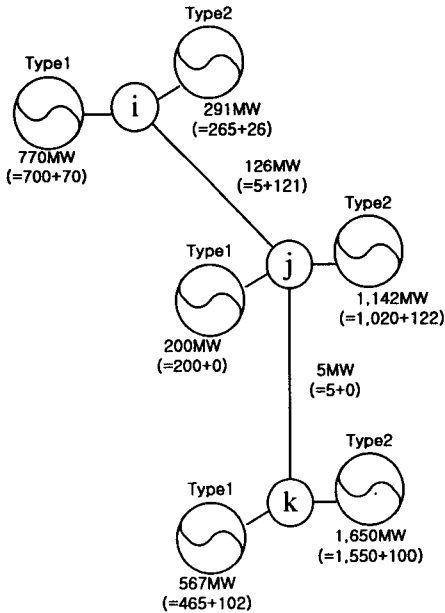
구분	기존 설비용량 (MW)	건설비 (원/MW)	리액턴스
선로 i-j	5	6	0.1
선로 j-k	5	10	0.1

- 송전설비 운영비용 계수 : 5.8원/MW

3.3 사례연구 결과



[그림2] 증설될 설비용량



[그림3] 최종설비용량(=기존설비용량+신규설비용량)

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 발전설비계획과 송전설비계획을 동시에 고려하는 방법을 제안하였다. 이로써 경쟁시장의 시장참여자에게 정확한 투지유인을 제공할 수 있으며, 국가적 차원에서 목표년도의 비용을 최소화하는 가이드라인을 제공할 수 있는 설비계획을 수립할 수 있다.

하지만, 본 논문에서는 할인율에 의한 영향을 반영하지 못했으며, 발전기의 대수가 아닌 용량이 결과로 도출된다. 또한, 송전설비의 리액턴스는 건설용량 및 거리에 따라 달라짐에도 불구하고 이를 고려하지 않았고, 신뢰도를 고려하지 못했다. 이와 같은 것을 고려해야만 전력수급계획에 활용될 수 있으리라 판단된다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] 전력경제(전력설비 투자이론), 한국전력공사 전력경제연구실, 1996
- [2] 발전계통 공급신뢰도, 한국전력공사 전력경제 연구실, 1989
- [3] 장기전력수급계획 수립 절차 및 방법, 한국전력공사 전원계획처, 1999
- [4] Modern Power System Planning, X.Wang & J.R.McDonald, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1994
- [5] Fundamentals of Power System Economics, Daniel Kirschen & Goran Strbac, John Wiley & Sons, Ltd, 2004
- [6] Least-Cost Electric Utility Planning, Harry G.Stoll, John Wiley & Sons, Ltd, 1989
- [7] Optimization in Operations Research, Ronald L.Rardin, Prentice-Hall International, Inc., 1998
- [8] The question of generation adequacy in liberalized electricity markets, de Vries L.J. & Hakvoort R.A., Proceedings of the 26th IAEE Annual Conference, June 2003
- [9] Global Transmission Expansion: Recipes for Success, Woolf F, Pennwell, Tulsa, 2003
- [10] National Transmission Grid Study, U.S.Department of Energy, 2002
- [11] Survey on the Status of Integrated Resource Planning, EPRI, 1995