

발전설비계획과 계통계획의 연계에 대한 필요성 검토

신영균*, 노재형, 김발호
홍익대학교, 한국전력거래소

The Study on the Necessity for the Interconnection between Generation and Transmission Expansion Planning

Shin Y.G., Rho J.H**, Balho H. Kim
Hongik Univ. Korea Power Exchange**

Abstract - In a competitive environment of electric power industry, the level of uncertainty increase due to generation investment decisions creating new challenge to transmission system planner. The use of a locational signal and the provision of a indicative plan to control the generation investment reasonably is very important in the viewpoint of a regulator. The main target of this study is to emphasize on the necessity for considering simultaneously both generation and transmission expansion plan. This paper demonstrate the many case studies to make certain of the necessity for the interconnection between generation and transmission planning. In addition to, the planning in Korea power industry is considered.

2. 연계의 필요성 분석

경쟁적 전력시장의 구성에 따라 규제자의 입장에서 안정적 전력수급을 위한 계획목적은 변화되어야 한다. 궁극적으로는 사회효용의 극대화가 그 목적이 되어야 하나, 이러한 목적달성을 위한 세부목표를 확인할 필요가 있다. 향후, 구조개편에 따라 전력부문의 계획은 시장의 다양한 시장참여자의 몫이지만, 국가 전체적 측면에서의 원활한 전력수급을 위해서 현행 전력수급계획은 이들 시장참여자의 투자방안에 대한 가장 효과적인 유인책을 도출해야 하며, 그러기 위해서 무엇보다도 중요한 것은 투자유인기준을 작성하는 것이다. 각 발전사업자들의 입장에서 동일한 발전설비에 대해 건설비용을 낮추는 방법은 저렴한 입지를 선택하는 것이다. 그러나, 이는 국가적 계획차원에서 볼 때, 지역별 수급균형을 심화시켜, 계통운용의 효율성을 저하시키고, 손실을 증가시키는 등, 오히려 연간 계통운용비용을 상승시키는 결과를 초래할 수 있을 것이다.

1. 서 론

최근 전력산업에서 독점상태, 과도한 규제 등을 특징으로 하던 기존 개념은 경쟁도입과 규제의 완화 과정을 통해 새로운 개념으로 이해되고 있다. 이에 따라 전력산업의 기존 틀은 불가피하게 변화할 것이며, 시장경제의 논리에 따라 전력계통의 전반적인 운용 및 계획 체계는 시장기능에 의해 수립된다. 개별 경쟁적 발전사업자들은 자신의 수익을 극대화 하기 위해 발전판매량과 판매가격을 결정하고, 여전히 독점적 사업을 보장받는 송전회사는 경쟁적 시장거래가 가능하도록 충분한 송전용량을 확보하면서 국가의 규제하에 송전계통을 계획, 유지보수하며, 이에 대한 대가로 송전선 이용료를 지불받는다.[1]

이와는 반대로, 지역별 수급균형을 목표로 하여 계통운용의 효율성을 향상시키고, 이에 따라 계통확장을 최소화할 수 있는 방안을 생각해보자. 이는 전력조류 편중 혹은 계통혼잡을 해소하며, 전력거래의 유연성을 확보하는 등의 계통운용 효율성에 기여할 것이다. 그러나, 단순히 설비건설을 최소화해서는 경제적으로 계획차원의 비용최소화를 달성할 수 없다. 이를 달성하기 위해서는 각 발전사업자의 발전소 입지에 따른 건설비용 상승에 대한 반발을 억제할 수 있는 인센티브를 제공해야 하기 때문이다. 이와 같은 문제에 대해 최선의 대안으로 다음과 같은 두가지 사항을 생각할 수 있다.

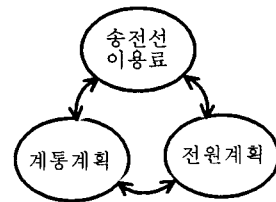
이러한 과도기적 사업환경에서 성공적인 전력계통운용을 위해서는 규제완화조건을 충분히 고려하여 발전사업자와 송전망 사업자 및 계통운영자 간의 긴밀한 협조가 요구된다. 특히, 이러한 협조체계의 수립은 발전사업자의 투자계획 및 송전계통계획에 더욱 절실하며, 이는 국가차원에서 정책상의 바람직한 발전설비 투자유인 및 합리적 송전망 확장계획 수립에 필수 불가결하다.

- 발전 및 계통계획부문을 동시에 고려한 지침이 될 수 있는 기존 계획 정의.
- 신규전원의 계통영향에 대해 발전사업자에게 명확하고 투명한 정보 제공.[2]

현 전력시장은 완전경쟁체제로의 이행을 목표로 하고 있다. 완전경쟁이 이루어지는 전력시장에서 중앙 집중적 계획이란 있을 수 없다. 즉, 경제학적 측면에서 시장내의 계획, 생산, 유지보수, 판매 등의 모든 사업은 전적으로 시장참여자에 의해 이루어지는 것이 가장 바람직하며, 여기서, 규제자의 개입이란 결국, 시장의 왜곡을 낳는다. 그러나 현 시점은 이러한 완전경쟁으로의 이행을 준비하는 과도기라 할 수 있다. 과도기는 보다 바람직한 전력시장의 창출을 위해, 보다 합리적인 경쟁을 모색하기 위한 준비단계로서, 시장의 왜곡을 최소화하는 범위 내에서 규제자의 개입을 인정해야 할 것이다.

물론, 위 두가지 방법 모두 개별 사업자들이 바람직한 대안을 도출한다는 보장은 없으나, 실행에 옮길수 있는 현실적 대안임에는 틀림이 없다. 최적의 발전 및 송전망 계획(설명, 현실적으로 불가능 할 지라도)과의 피리가 명확하게 전력요금의 상승을 초래한다면 이에 대한 책임은 누구에게 있는가?

본 연구에서는 변화된 전력산업 환경하에서 전력사업의 계획에 대한 역할을 재조명하고, 규제자입장에서 발전설비계획의 합리적 투자유인을 위한 계통계획과의 연계에 대한 필요성을 사례연구를 통해 구체적으로 재검토하여 계획수립시 보다 체계적인 기준을 마련하는데 도움을 주고자 한다.



(그림 1)

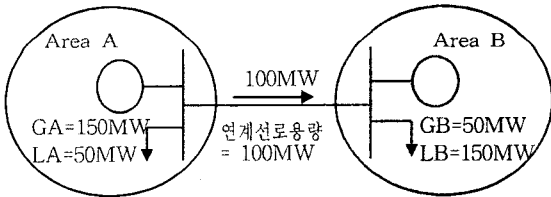
위 (그림 1)은 송전선 이용료와 계통계획 그리고 전 원계획간의 상관관계를 보인 것이다. 즉, 송전선 이용료의 결정은 발전설비계획 및 계통계획의 결과에 영향을 받으며, 마찬가지로 발전설비투자에 대한 의사결정은 계통확장계획과 송전선 이용료를 포함하는 전력거래의 영향을 받게 된다. [2,3]

즉, 발전설비계획의 바람직한 투자유인을 제어하기 위한 유일한 시그널은 송전선 이용료이며, 여기에는 지역적 시그널(locational signal)을 포함되어야 한다. 설령, 외부요인으로 인해 송전요금에 이러한 요소가 배제되었다 하더라도, 한계손실계수[4]와 같은 한계비용요소를 반영한 다른 방법으로 적용되어야 한다.

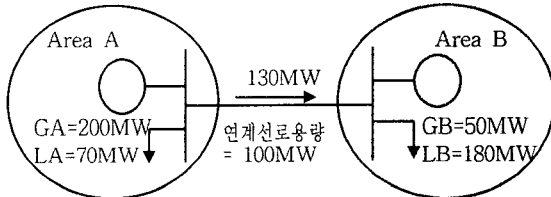
궁극적으로, 발전설비계획과 송전망 계획은 통합적으로 구성되는 것이 바람직하다. 즉, 계통과 공급측 대안, 수요측 대안의 통합적인 분석을 통해서만 전력시스템 전체의 가장 효율적인 대안을 얻을 수 있으며, 개별 계획, 즉 개별적인 발전설비계획과 계통계획은 계통계획이 전체수요예측 및 발전설비계획의 대안에 종속됨으로써 가장 효과적이며 체계적인 방법이라고 말할 수 없다.

3. 간단한 정태적 모의

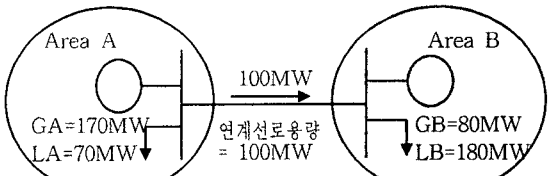
다음은 값싼 발전집중지역 A, 부하밀집지역 B, 그리고 이 두지역을 연결하는 100MW용량의 연계선로로 구성된 간단한 계통이다. (그림 2)의 경우를 기준으로 전체부하가 지역적으로 A지역 20MW, B지역 30MW씩 증가하였다고 가정한다.



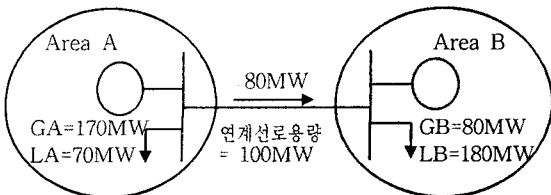
(그림 2) BaseCase



(그림 3) 지역 A에 50MW 추가발전설비확보



(그림 4) 지역 A와 B에 각각 20, 30MW 추가발전설비확보



(그림 5) 지역 B에 50MW 추가발전설비확보

(그림 3)은 증가된 수요 50MW에 대응하여 지역 A에 50MW 추가발전설비를 확보하는 대안으로 이 경우, 연계선로의 혼잡발생으로 인해 30MW의 추가 송전설비가 필요하다. (그림 4)는 지역적 수요상승을 고려하여 추가 발전설비를 건설한 경우로서 연계선로 조류는 Base Case와 동일하며 계통운영상 변화는 크게 발생하지 않는다. 마지막으로, (그림 5)는 지역 B에 추가발전설비를 확보하는 경우로서 연계선로조류는 80MW로 이전보다 선로이용률은 감소한다.

이 때, 지역 A와 지역 B의 발전용량당 건설비를 각각 120, 180(만원)으로 가정하고 송전선로 건설비를 용량당 70(만원)으로 가정하였다. (표 1)에서와 같이 6가지 대안 중 최적의 대안은 지역 A와 B에 각각 20, 30MW의 발전설비를 건설하고 추가송전설비는 건설하지 않는 것으로 나타났다. 물론 이러한 결과는 계통운영에 필요한 예비력, 전압, 건설시간 등과 같은 수많은 제약을 무시하고 정태적 관점에서 평가된 것이나, 이로부터 발전설비계획과 계통계획의 통합적 수립에 대한 필요성을 충분히 확인할 수 있다.

(표 1) 부하데이터(10% 부하상승, MW)

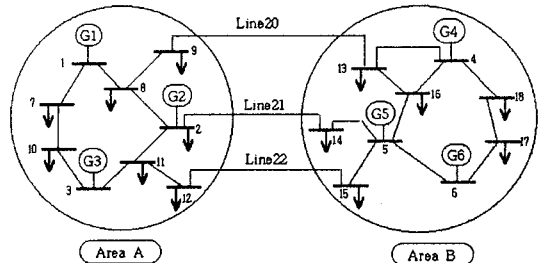
대안	A지역추가 건설용량 (MW)	건설비	B지역추가 건설용량 (MW)	건설비	확보 용량	선로용량 추가건설 (MW)	건설비	Total
1	50	6000	0	0	50	30	2100	8100
2	40	4800	10	1800	50	20	1400	8000
3	30	3600	20	3600	50	10	700	7900
4	20	2400	30	5400	50	0	0	7800
5	10	1200	40	7200	50	-10	0	8400
6	0	0	50	9000	50	-20	0	9000

(단위: 만원)

즉, 계통상황에 따라 발전설비건설에 따른 비용은 차이가 발생할 수 있으므로, 발전설비계획과 계통계획의 통합적 수립은 상당한 비용절감을 유도할 수 있을 뿐만 아니라 계통운영의 효율성 및 설비에비력 확보면에서 더욱 중요하다.

4. 사례연구

이와 같은 내용을 보다 구체적으로 살펴보기 위해 다음과 같은 2지역(A,B) 18모선 계통을 대상으로 사례연구(그림 6)를 수행하였다.(계통데이터참조(5))



(그림 6) 사례연구 계통

(표 2)에서 보는 바와 같이 전체수요예측의 결과로 10%의 수요성장을 가정하고, 전체 설비에비율(%)을 현 수준 그대로 유지하고자 한다. 따라서, 이에 대응하는 발전기 1기를 추가 건설하려고 한다. 이 때, 추가발전기(G7)를 Area A(7,8,11번 모선)와 Area B(15,16,18번 모선)에 건설하는 경우 각각에 대해 부하가 많은 Area B의 발전기 G4, G5, G6중 1기 탈락

(상정사고)시 계통혼잡 발생여부에 따른 운전비용의 차이를 비교한다. 더불어 계통계약(여기서는 단순히 연계선로 20, 21, 22에 대해서만 열용량 계약을 고려, 타선로는 무시)에 따른 계통운전상태를 평가한다.

(표 2) 부하데이터(10% 부하상승, MW)

		BaseCase	10%상승
Area A	BUS02	110	121
	BUS07	110	121
	BUS08	110	121
	BUS09	110	121
	BUS10	110	121
	BUS11	110	121
	BUS12	110	121
	Total(A)	770	847
Area B	BUS13	220	242
	BUS14	130	143
	BUS15	220	242
	BUS16	220	242
	BUS17	220	242
	BUS18	220	242
	Total(B)	1230	1353
	A+B	TOTAL	2000

(표 3) 지역별 발전기건설에 따른 OPF 수행결과

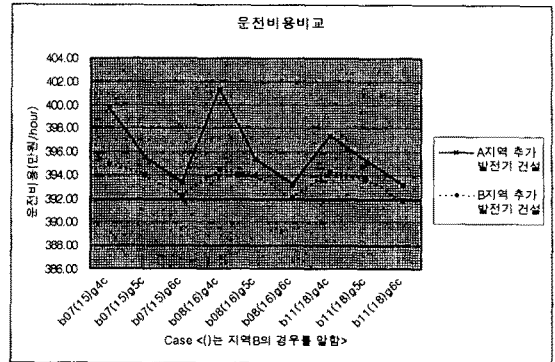
Case명	GC	FG	G_A	G_B	T_l	C	CB	
A지역에 발전기를 건설하는 경우	b07g4c	7	4	1625	600	767	399.70	Line20
	b07g5c	7	5	1714	504	862	395.49	Line21
	b07g6c	7	6	1692	525	841	393.43	없음
	b08g4c	8	4	1633	600	771	401.35	Line20
	b08g5c	8	5	1703	514	852	395.35	Line21
	b08g6c	8	6	1658	558	807	393.28	Line20
	b11g4c	11	4	1644	574	792	397.37	Line20
	b11g5c	11	5	1712	505	862	395.27	Line21
b11g6c	11	6	1693	524	842	393.19	없음	
B지역에 발전기를 건설하는 경우	b15g4c	15	4	1470	744	620	395.00	없음
	b15g5c	15	5	1470	744	620	394.10	없음
	b15g6c	15	6	1439	773	589	392.32	없음
	b16g4c	16	4	1470	742	620	394.51	없음
	b16g5c	16	5	1470	742	620	394.03	없음
	b16g6c	16	6	1446	765	596	392.15	없음
	b18g4c	18	4	1470	741	620	394.33	없음
	b18g5c	18	5	1470	740	620	393.71	없음
b18g6c	18	6	1444	765	594	391.86	없음	

(GC : 발전기 추가모선, FG : 사고모선)

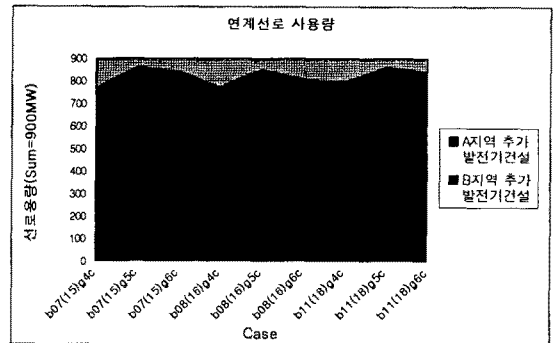
(Case명 APPENDIX 참조)

위 (표 3)은 A지역에 발전기를 추가 건설하는 경우와 B지역에 발전기를 추가 건설하는 경우 각각에 대해 OPF수행 결과, A지역, B지역의 발전량(G_A , G_B)과 연계선로(Line 19, 20, 21) 조류량(T_l) 및 선로 열용량 제약조건 구속여부(CB), 그리고 그에 따른 운전비용을 나타낸 것이다. 발전량이 많은 A지역에 발전기를 건설하는 경우, 제약조건 구속으로 인해 B지역에 발전기를 추가 건설하는 경우에 비해 대체적으로 높은 운전비용(C)을 필요로 했다.(그림 7) 특히, 연계선로 조류량을 볼 때, A지역 건설의 경우, B지역 건설의 경우보다 전체연계선로용량 (900MW=300MW(Line20)+350MW(Line21)+250MW(Line22))에 근접함을 확인할 수 있다.(그림 8) 이러한 상황은 A지역 건설시 B경우보다 계통운영상 신뢰도를 떨어뜨리며, 거래비용을 증가시킬 수 있다. (여기서는 지역별 발전설비계획에 대한 건설비 등은 고려하지 않음) 즉, 계통계약으로 인해 B지역 발전기 사고시 A지역의 저렴한 발전기가 가동하지 못하고 B지역의 비싼 발전기가 가동됨으로써 운전비용의 상승을 초래했을 뿐만 아니라, A지역에 267MW 발전기를 추가 건설하였음에도 불구하고, 계통계약(열용

량, 전압 등)으로 설비에비율을 제대로 활용하지 못하는 결과를 가져온다는 것이다. 바꾸어 말하면, B지역 발전기 건설계획은 계통운영 및 전력거래의 효율성을 증가시킬 수 있는 대안이라 할 수 있다.

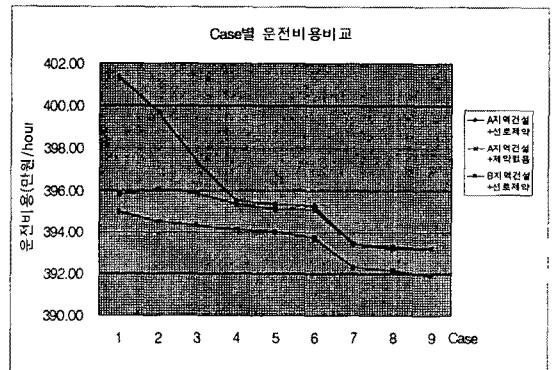


(그림 7) 신규발전기 건설지역에 따른 운전비용비교



(그림 8) 연계선로 사용량 비교

추가적으로 A지역 발전기 건설시 1기 발전기 탈락의 결과로 계통 송전선로 혼잡으로 인한 비용상승 영향 및 혼잡이 해소될 경우(계통계약 완화) 그리고 B지역 건설의 경우를 비교분석을 수행하였으며(그림 9), 자세한 결과는 지면상 생략한다.



(그림 9) Case별 운전비용비교

최종적으로, 건설비를 고려하지 않고, 실제 계통운영 측면에서의 운전비만을 고려할 때, B지역에 발전설비를 건설하는 것이 가장 바람직한 대안으로 분석되었다.

5. 국내 전력수급계획 검토

현재의 국내 전력수급계획에 따르면 계통계획은 발전

설비계획 시안을 바탕으로 계통구성 방안을 검토하는 데 목적이 있다. 전력수요 및 전원개발계획을 기준으로 계통구성 방안을 수립하고, 계통분석용 전산모형을 운용해 기술적 타당성을 검토한다. 송배전 설비 건설계획이 만들어지면 이를 이행하는데 소요되는 투자재원, 입지 등 사업추진 여건을 검토하고 최종적으로 장기 송변전 설비 계획이 확정된다. [6.7]

계통계획은 전력수급계획이 수립된 후 연도별 발전소 준공일정에 맞추어 기본계획을 수립할 때 발전소 입지 선정되므로 전원개발계획과 동시에 수립하는 데 어려움이 있다. 현재 방법은 장기전력수급계획이 수립되면 연도별 발전소 건설계획에 따라 개략적으로 입지를 선정한 후 송변전설 계획을 수립하고 있다.

다시 말해, 현행 계통계획은 발전설비계획 확정 이후, 결정된 시안을 바탕으로 수행된다. 즉, 계통의 확장 및 이후의 계통운영은 발전소 건설 입지에 직접적인 영향을 받음에도 불구하고, 전원입지의 유연성 결여로 인해 상호 연계를 통한 협조체계가 너무나도 미흡한 실정이다. 현행 계통계획은 향후, 경쟁적 전력시장의 발전사업자에 대한 경제적 측면을 제대로 반영할 수 없을 뿐만 아니라, 지역간 송전능력(TTC 및 ATC), 송전혼잡, 계통의 조류편중 문제 등에 대한 직접적인 고려가 어려울 것으로 보인다.

향후, 국내의 전력수급계획은 발전설비계획에 대한 바람직한 투자유인을 위해 명확하고 투명한 지침계획을 제시하여야 하며, 지역적 시그널(locational signal)을 확보할 수 있는 방안이 적극적으로 모색되어야 한다. 더불어, 발전소 입지변경 유동성을 확보하기 위한 구체적인 논의가 이루어져야 할 것이다.

6. 결론 및 향후연구과제

발전설비계획과 계통계획과의 연계라 함은 결국, 발전소 입지의 재조정 문제로서 접근할 수 있다. 일반적으로 계통운영상의 송전망 건설에 대한 결정은 계통혼잡으로 인한 재급전비용과 송전설비확장비용과의 비교를 통해 이루어질 수 있다. 그러나 계획상에서 향후 건설될 발전소의 입지 변경이 용이하다면, 혼잡을 해소하기 위한 방법으로 앞의 두 가지 대안 외에 발전소 입지재조정 대안을 추가로 갖게 된다. 여기서, 발전소 입지재조정 비용이란, 기존 발전소입지를 포기하고 신규입지를 매입하여 발생하는 재정적 손실 및 발전사업자의 입지변경 유인에 필요한 인센티브를 포함할 것이다. 결국, 계획입안자는 향후 계통운영시의 혼잡해소 및 전력거래의 유연성 확보를 위한 대안으로 앞에서 설명한 세 가지 대안의 종합적인 비교를 통해 의사결정을 하여야 한다. 향후, 발생할 다양한 전력거래 상황에서 발전소 입지 재조정은 계통운영의 효율성 및 거래비용절감 등을 모색할 수 있는 지극히 효율적인 대안임에 틀림이 없다. 당면과제로서는 다음과 같은 사항들을 지적할 수 있다.

■ 기술적 문제

- 계통과 발전(DSM포함)을 함께 고려한 통합적인 신뢰도 기준 부재.
- 이론적 정립의 어려움, 즉 의사결정에 대한 관점의 차이로 완벽한 최적화는 불가능하며 차선의 체계적인 방법론을 마련해야 함.
- 명확한 송전혼잡 재급전 알고리즘 및 비용산정방법 개발의 필요성
- 분석 도구 개발의 어려움.

■ 제도적 문제

- 전력수급계획 역할과 범위에 대한 명확한 규정필요.
- 발전계획과 계통계획 주체가 명확히 분리되어 협조가 반드시 필요함.
- 현재 전력수급계획 수립 과정에 계통을 고려하는 부

분이 있으나 주어진 발전설비계획에 대한 기술적 타당성만이 분석 대상이며 경제적인 부분에 대한 고려는 없음.

- 현 전력수급계획 조직 내 계통계획 전문가 부재.

더불어, 국내 전력수급계획의 특성상 규제자의 역할이 상당히 중요하며, 사회효용 극대화를 위한 각 발전사업자의 설비계획유도가 가장 큰 문제로 대두될 것이다. 이에 대한 해결책으로 시장예곡을 저해하지 않으면서, 설비건설유도, 전원구성 및 환경문제를 위한 적정 페널티 비용 및 보조금의 책정, 인허가를 통한 규제 관련 연구가 선행되어야 할 것이다.

(참고 문헌)

- [1] Marija Ilic, Francisco Galiana, Lester Fink, "Power Systems Restructuring : Engineering and Economics", Kluwer Academic Publisher, 1998
- [2] J.W.Marangon Lima, E.J de Oliveira, "The Long-Term Impact of Transmission Pricing", IEEE Transaction on Power Systems, Vol 13, No.4, November 1998
- [3] Dariush Shirohamadi, Chifong L.Thomas, "Valuation of the Trnsmisssion Impact in a Resource Bidding Process", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.6, No.1, 1991
- [4] "Treatment of Loss Factors in the National Electricity Market", NEMMCO, November 1999.
- [5] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control", John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [6] 이창호, 김창수, 권영한 외. 전력산업 구조개편후의 장기전력수급계획 수립 -추진방안 재정립 연구, 한국전력공사 전력거래처, 2000. 3.
- [7] 발전설비계획 실무소위원회 회의자료, 한국전력거래소 수급계획처

APPENDIX : 사례연구 "36"CASE

Case명	지역 A			지역 B			
	건설 모션	사고 모션	계약 고려	건설 모션	사고 모션	계약 여부	
b07g4c	7	4	○	b15g4c	15	4	○
b07g5c	7	5	○	b15g5c	15	5	○
b07g6c	7	6	○	b15g6c	15	6	○
b08g4c	8	4	○	b16g4c	16	4	○
b08g5c	8	5	○	b16g5c	16	5	○
b08g6c	8	6	○	b16g6c	16	6	○
b11g4c	11	4	○	b18g4c	18	4	○
b11g5c	11	5	○	b18g5c	18	5	○
b11g6c	11	6	○	b18g6c	18	6	○
b07g4	7	4	×	b15g4	15	4	×
b07g5	7	5	×	b15g5	15	5	×
b07g6	7	6	×	b15g6	15	6	×
b08g4	8	4	×	b16g4	16	4	×
b08g5	8	5	×	b16g5	16	5	×
b11g6	8	6	×	b16g6	16	6	×
b11g4	11	4	×	b18g4	18	4	×
b11g5	11	5	×	b18g5	18	5	×
b11g6	11	6	×	b18g6	18	6	×

※ 본 연구는 기초전력공학 공동연구소의 지원으로 수행되었음.