

전력시장에서 장기적 용량확보 메커니즘에 관한 연구

이 승 현 정 구 형 한 석 만 김 발 호
홍익대학교

A study on long-term capacity procurement mechanism in electricity markets

Seung-hyun Lee, Koo-hyung Chung, Seok-man Han, Balho Kim,
Hongik University

Abstract - The procurement of generation and transmission/Distribution capacity in vertically-integrated electric industry is sufficient by facility construction in suitable time. However, the introduction of competitive electricity market increase the efficiency of availability for facilities and fuels. As a result, long-term capacity procurement is required for stable demand-supply balance since it is expected to maintain their generation capacity at a minimum for profit maximization. In this paper, a new long-term capacity procurement mechanism is proposed, which is able to assure supplemental contribution in competitive electricity market.

1. 서 론

전기 에너지는 비저장성, 필수적 공공재의 특징 및 공급중단으로 인한 사회적 영향을 고려할 경우 높은 공급 신뢰도가 요구된다. 장기적 관점에서, 높은 신뢰도를 충족시키기 위해 자발적인 수요측 반응 제도를 활성화함으로써 정전에 대한 충분한 완충요소를 구축할 수 있으나 많은 시간이 소요된다. 또한 최근 들어 신규 설비 투자계획이 감소하는 추세를 보이면서 지역간 수급 불균형 문제와 관련한 수도권 수급(지역별 차등), 전원 Mix, 적정 예비력과 관련한 설비 과소/과잉 논란 등이 수급계획 관련 현안으로 부각되고 있다. 전원 구성의 다원화 및 기저설비 확충을 위한 장기투자 신호 생성의 필요성이 부각되고 있다.

따라서, 지역적 가치를 반영하고 계통운영 신뢰도 향상 및 연료원 다원화에 대한 시장신호를 생성하여 장기적 설비 적정성 확보와 미래의 투자신호 생성을 위한 장기 전력수급의 안정성확보 시장 메커니즘이 요구되고 있다.

본 연구에서는 시장효율성을 보장함과 동시에 전력수급의 가장 효과적인 대안으로 평가받고 있는 용량시장 메커니즘인 RPM(Reliability Pricing Model)을 연구·분석하여 경쟁적 전력시장이 공급기도를 보장할 수 있도록 하는 용량확보 메커니즘에 관하여 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구방법 및 정식화

최적조류계산(Optimal Power flow)은 기술적, 물리적, 환경적 제약조건하에서의 경제급전을 의미한다. 본 장에서는 운전신뢰도제약조건을 고려할 경우의 OPF의 정식화 과정에 대해 기술한다..

2.1.1 일반적인 OPF

일반적인 OPF는 전력생산비용을 목적함수로 하고 제약조건은 등식제약과 부등식제약으로 구성되며 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & f(x) & (1) \\ \text{s.t. } & g(x) = 0 & (2) \\ & h(x) \leq 0 & (3) \end{aligned}$$

등식제약조건은 조류계산식에 의해 주어지며 부등식제약조건은 연계선로 송전용량, 발전기 출력제약과 같은 운전조건이 포함된다.

2.1.2 운전신뢰도 제약조건을 고려한 OPF

운전 신뢰도 제약조건을 고려한 OPF는 부등식제약조건에 운전신뢰도제약조건이 포함된다. 이 제약조건은 부하중용제약조건과 공급예비력제약조건으로 나눌 수 있으며, 계통에 투입되어 가동중인 설비를 부하중용발전설비로, 계통에 투입되지 않은 설비를 공급예비력 발전설비로 정의한다. 운전 신뢰도 제약조건을 고려한 OPF의 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} f_{im} \quad \forall m \in M_i \quad (4)$$

$$f_{im} = C_{im} \times P_{im}$$

$$\text{s.t. } P_{im} \leq G_{im}^{\max} \quad \forall m \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} P_{im} + TP_{ij} = PL_i \quad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} P_{il} \geq LF_{req} \quad \forall i, m \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} P_{is} \geq SR_{req} \quad \forall i, m \quad (8)$$

$$TP_{ij} \leq TL_t \quad \forall t \quad (9)$$

- 단, M_i : 지역 i 에 있는 발전기 집합
- i, j : 지역 지수
- l : 부하중용 발전기 대수
- s : 공급 예비력 발전기 대수
- m : 발전설비 대수
- t : 연계선로 지수
- C_{im} : 지역 i의 설비 m의 입찰단가
- G_{im} : 지역 i의 설비 m의 설비용량
- LF_{req} : 부하중용발전기의 필요요구량
- SR_{req} : 공급예비력발전기의 필요요구량
- PL_i : 지역 i의 부하
- TP_{ij} : 연계선로 ij를 통한 지역간 거래량
- TL_t : 선로 t의 연계선로 용량

식 (4)의 목적함수는 계통전체의 용량비용을 최소화하는 것이다. 용량비용은 (발전기별 입찰단가) × (발전용량)으로 정의한다.

식 (5)의 제약조건은 발전기 출력제약을 나타내며, 식 (6)은 각 지역별 전력수급방정식을 나타낸다.

식 (7)과 식 (8)은 운전신뢰도 제약조건으로써 식 (7)은 부하중용발전기 제약조건을 나타내며, 식 (8)은 공급예비력발전기 제약조건을 나타낸다.

식 (9)은 연계선로용량제약조건을 나타낸다. 위 문제에서 출력은 각 발전기의 발전량과 송전제약으로 인한 잠재가격 그리고 부하중용제약과 공급예비력제약으로 인한 잠재가격을 의미한다.

2.1.3 시장청산규칙

시장청산규칙은 송전제약과 부하중용제약 및 공급예비력제약으로 인해 발생하는 비용을 이용하여 지역별 최종부하가격을 도출하게 된다. 시장청산규칙의 정식화는 다음과 같다.

$$LF_m = (LF_{req} \times LF_s) / \sum PL_i \quad (10)$$

$$SR_m = (SR_{req} \times SR_s) / \sum PL_i \quad (11)$$

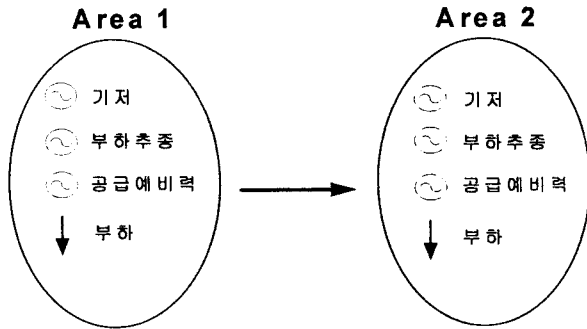
$$TL_m = (TC_{i,j} \times TL_s) / PL_k \quad (12)$$

$$LP_f = LP_p + LF_m + SR_m + TL_m \quad (13)$$

- 단, s : 잠재가격
- m : metric (지수)
- req : 필요요구량
- LF_m : 부하중용발전기 지수
- LF_{req} : 부하중용발전기의 필요요구량
- LF_s : 부하중용발전기의 잠재가격
- SR_m : 공급예비력발전기 지수
- SR_{req} : 공급예비력발전기의 필요요구량
- SR_s : 공급예비력발전기의 잠재가격
- TC_{ij} : 연계선로 ij 간의 선로용량
- TL_s : 송전제약의 잠재가격
- PL_i : 지역 i의 부하
- PL_k : 공급받는 지역k의 부하
- LP_f : 최종 부하가격
- LP_p : 최초 부하가격

2.2 사례연구

다음에 보는 2지역 계통에서 운전신뢰도계약조건을 고려한 OPF를 수행하며 이 두 조건을 가지고 어떻게 지역별 부하가격을 계산하여 시장청산을 하는지에 대해 기술한다.



〈그림 1〉 2지역 사례 시스템

2.2.1 운전신뢰도계약과 지역별 데이터

운전신뢰도계약은 <표 1>과 같으며, 시스템 전체에 대해 발전량의 50%를 부하추종발전기 필요요구량으로 하였으며, 발전량의 5%를 공급예비력발전기 필요요구량으로 설정하였다. 운전신뢰도계약조건은 <표 1>과 같으며, 지역별 발전기 및 연계선로의 데이터는 <표 2>과 같다.

〈표 1〉 운전신뢰도계약조건

운전신뢰도계약조건	
부하추종발전기 필요요구량	35,000 MW
공급예비력발전기 필요요구량	4,000 MW

〈표 2〉 지역별 발전기 및 연계선로 데이터

계통	발전기	MW	가격	특성	Load (MW)
Area 1	A	20,000	\$20	기저	35,000
	C	33,000	\$25	부하추종	
	D	3,000	\$30	공급예비력	
Area 2	B	20,000	\$35	기저	40,000
	E	10,000	\$40	부하추종	
	F	40,000	\$50	공급예비력	
연계선로계통	연계계통		연계선로의 수	연계선로용량 (MW)	
Area 1	Area 2		1	10,000	

2.2.2 OPF 결과

〈표 3〉 각 발전기별 발전기 출력 및 청산 가격

Gen	Location	Attribute	Mw Offered	Offer Price	Area 1 Cleared MW	Area 2 Cleared MW	LF Cleared MW	SR Cleared MW	Cleared Price
A	Area 1	Base	20000	\$20	16000	0	0	0	\$30
B	Area 2	Base	20000	\$25	0	20000	0	0	\$40
C	Area 1	LF	33000	\$30	25000	0	26000	0	\$40
D	Area 1	SR	3000	\$35	3000	0	0	3000	\$40
E	Area 2	LF	10000	\$40	0	9000	9000	0	\$50
F	Area 2	SR	4000	\$50	0	1000	0	1000	\$50
		Total			45000	30000	35000	4000	

〈표 4〉 시장 청산 가격 절차

구성요소		수급균형	송전계약	LF계약	SR 계약		
Shadow Price		\$40.00	-\$10.00	\$10.00	\$10.00		
Gen	Area	Attribute				Price	
A	1	Base	\$40.00	-\$10.00	\$0.00	\$0.00	\$30.00
B	2	Base	\$40.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$40.00
C	1	LF	\$40.00	-\$10.00	\$10.00	\$0.00	\$40.00
D	1	SR	\$40.00	-\$10.00	\$0.00	\$10.00	\$40.00
E	2	LF	\$40.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$50.00
F	2	SR	\$40.00	\$0.00	\$0.00	\$10.00	\$50.00

<표 3>는 운전신뢰도계약인 부하추종계약과 공급예비력계약으로 인하여 어떻게 발전량과 청산가격이 변화하는지를 보여주는 과정이다. <표 4>는 운전신뢰도계약을 고려한 OPF를 수행한 결과를 가지고 각 발전기별로 별도의 추가요금(지역적 신호)을 부여하여 최종 청산가격을 구하는 과정이다.

2.2.3 시장청산규칙 결과

〈표 5〉 지역별 부하 가격 계산

	최초부하가격	송전계약조정	LF계약조정	SR계약조정	최종부하가격
Area 1	\$30.00	\$0.0	\$4.6667	\$0.5333	\$35.2
Area 2	\$40.00	-\$2.5	\$4.6667	\$0.5333	\$42.7

〈표 6〉 일일 시장 청산

Gen	MW	Price	Revenue	Load	MW	Price	Payments
A	16,000	\$30	\$480,000	Area 1	35,000	\$35.2	\$1,232,000
B	20,000	\$40	\$800,000	Area 2	40,000	\$42.7	\$1,708,000
C	26,000	\$40	\$1,040,000				
D	3,000	\$40	\$120,000				
E	9,000	\$50	\$450,000				
F	1,000	\$50	\$50,000				
Total			\$2,940,000	Total			\$2,940,000

<표 5>는 시장청산규칙을 통하여 최초의 부하가격으로부터 최종부하가격을 계산하는 과정이다. <표 6>은 <표 4>의 청산가격과 <표 5>의 지역별 부하가격을 가지고 일일 시장 청산 규칙을 통하여 각 발전사업자의 수익과 부하가 지불하는 가격을 청산한 결과이다. 총 비용측면에서 발전지역과 부하지역에 부과/지불하는 금액이 같게 될 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 시장청산규칙 및 송전계약과 운전신뢰도계약조건을 이용하여 별도의 추가요금(지역적 신호)으로 부과하는 발전기별 청산가격과 각 지역별 부하가격은 지역적 특성과 계통신뢰도를 반영하여 설비 투자신호를 제공하는 새로운 설비 적정성 확보방안에 대해 제안하였다.

이는 발전기 계통운영 신뢰도 측면의 기여도에 따라 발전설비에 대한 용량가치를 차등적으로 보상하는 방안을 마련하는 반면, 계통운영신뢰도 기여도에 따른 시장가치를 정량적으로 계량하고 있지 못하기 때문에, 향후 이를 다른 보상이 될 수 있는 신뢰도 지수개발 및 운전신뢰도계약조건적 적정률에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 예상된다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] Roy Billinton, Ronald N Allan, Reliability Evaluation of Power Systems, PLENUM PRESS, New York and London, 1984
- [2] 기초전력공학공동연구소, "송전계통망의 신뢰도 평가 프로그램 개발에 관한 기술개발" 산업자원부, 2002
- [3] 최재석, 강성록, TrungTinh Tran, 김호용, 김슬기, "계통계획 수립용 공급지장비의 추정방법 및 이의 응용에 관한 연구" 대한전기학회 논문지 A 53 권, 03호, 2004
- [4] 김발호, "최적조류계산의 이론과 응용", 홍익대학교, 2001
- [5] Daniel Kirschen, Goran Strbac, Fundamentals of power system economics, John Wiley & Sons, Ltd, 2004
- [6] Ronald L.Rardin, Optimization in operations research, Prentice-Hall International, Inc, 1998
- [7] Roy Billinton, Wenyuan Li, Reliability assessment of electric power systems using monte carlo methods, PLENUM PRESS · New York and London, 1994