

신뢰도기반 가격산정모델 시스템 구축

이천호, 한석만, 김종혁, 정구형, 김발호
홍익대학교

Reliability Pricing Model system construction

Cheon-ho Lee, Seok-man Han, Jong-hyuk Kim Koo-hyung Chung, 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 constructed, 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. 전통적 규제 독점체제에서의 발전 및 송배전 용량 확보방안은 정확한 수요예측과 이에 따른 건설계획에 따라 설비를 건설하는 것으로 충분하였다. 그러나 발전경쟁체제를 갖추며 발전설비는 개별 발전사업자가 주체가 되어 건설해야 하기 때문에 전력수요를 예측하여 높은 공급신뢰도를 유지하는 일을 책임질 주체가 없어지게 되었다.

이유를 추구하는 개별발전사는 이익을 확보하는 것에만 관심이 있을 뿐 장·단기적으로 전체계통의 공급신뢰도에는 전혀 관심이 없다. 오히려 공급신뢰도가 붕괴되는 사태가 발생하면 공급부족 사태로 내몰린 시장에서 전력가격이 폭등할 것이므로 이러한 사태가 발생하기를 기대하는 유인이 존재한다. 이에 따라 시장참여자의 자발적인 전원구성의 다원화 및 적정 예비력을 확보를 위한 시장신호 생성의 필요성이 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 시장효율성을 보장함과 동시에 공급신뢰도에 대한 기여정도에 따른 인센티브 제공을 위해 제안된 RPM (Reliability Pricing Model)을 연구·분석하여 신뢰도기반 가격산정모델 시스템을 구축하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구방법 및 정식화

신뢰도 기반 가격산정모델의 각 단계는 경제급전과, 최적조류계산 (Optimal Power flow)에 의해 계산된다. 본 장에서는 단계별 정식화 과정에 대해서 기술하고 이를 바탕으로 신뢰도 기반 가격산정모델의 알고리즘에 대해 설명하고자 한다.

2.1.1 신뢰도 기반 가격산정 모델

본 모델은 목적함수는 용량확보비용 최소화이다. 이 모델의 제약조건은 모선별 수급균형방정식, 발전기 용량제약, 선로용량제약 뿐만 아니라 신뢰도(발전기 운전특성별 확보용량제약)제약이 추가된다.

이 모델은 크게 4개의 단계로 구분할 수 있다. 1단계는 용량이 충분한지를 검토하는 단계로 비제약 경제급전 모형이다. 2단계는 선로용량제약을 추가하여 각 모선과 선로의 경제적 가치를 산출하는 단계이다. 3단계는 신뢰도 제약을 추가하여 각 운전특성의 가치를 산출하는 단계이다. 4단계는 2단계에서 계산된 지역별 가치와 3단계에서 계산된 운전특성별 가치를 합산하여 최종적인 발전기의 가치를 산출하고 소비자의 지불비용을 계산하는 단계이다.

2.1.2 신뢰도 기반 가격산정 모델 정식화

각 단계별로 같은 목적함수를 가지고 제약조건을 달리하면서 각 선로와 신뢰도의 경제적 가치를 계산한다. 목적함수와 전체 제약조건은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} f_{im} \quad (1)$$

$$f_{im} = C_m \times P_{imt}$$

$$\text{s.t } P_{imt} \leq G_m^{\max} \quad \forall m \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} P_{imt} = \sum_{i \in I} PL_i \quad (3)$$

$$\sum_{m \in M} P_{imt} + TP_{ij} = PL_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{m \in M} P_{imt} \geq \text{Reliability}_t \quad \forall t \quad (5)$$

$$PF_{ij} \leq TL_k \quad \forall k \quad (7)$$

단, i, j : 모선 지수

t : 운전특성 지수

m : 발전설비 지수

k : 연계선로 지수

C_m : 설비 m 의 입찰단가

G_m^{\max} : 설비 m 의 설비용량

Reliability_t : 운전특성 t 의 필요요구량

PL_i : 모선 i 의 부하

PF_{ij} : 연계선로 ij 를 통한 모선간 거래량

TL_k : 선로 k 의 연계선로 용량

식 (1)의 목적함수는 계통전체의 용량확보비용을 최소화하는 것이다. 용량비용은 (발전기별 입찰단가) × (발전용량)으로 정의한다.

식 (2)의 제약조건은 발전기 출력제약을 나타내며, 식 (3)은 전력수급방정식을 나타내고, 식 (4)는 지역별 전력수급방정식을 나타낸다.

식 (5)와 신뢰도 제약조건으로서 부하추종발전기, 공급예비력발전기의 제약조건을 나타낸다.

식 (6)은 연계선로용량제약조건을 나타낸다.

2.1.2.1 1단계 비제약 경제급전모형

본 단계에 사용하는 제약조건 (2)와 (3)을 이용하여 비제약 청산가격과 발전출력을 계산한다.

2.1.2.2 2단계 최적조류계산

2단계에서는 (2), (4), (7) 제약조건을 이용하여 발전출력과 모선별 가격, 선로의 잠재가격을 계산한다. 선로의 잠재가격은 선로의 양끝 모선 가격의 차이이다.

2.1.2.3 3단계 신뢰도를 고려한 최적조류계산

3단계에서는 (2), (4), (5), (7) 제약조건을 이용하여 최종발전출력과 신뢰도별 잠재가격을 계산한다. 신뢰도별 잠재가격은 신뢰도 제약으로 각 모선에서 추가로 운전하게 된 발전기의 입찰가격과 2단계의 모선가격에 차증 가장 가격이다.

2.1.2.4 4단계 발전기 정산

4단계에서는 앞에서 구한 최종발전출력과 선로의 잠재가격, 신뢰도별 잠재가격을 이용하여 발전기 정산한다. 발전기 정산규칙은 송전제약과 부하추종제약 및 공급예비력제약으로 인해 발생하는 비용을 이용하여 최종발전사 수익을 도출하게 된다. 최종발전기 정산가격은 다음과 같다.

$$FCP_{imb} = PB + TL_i \quad \forall m \quad (8)$$

$$FCP_{iml} = PB + TL_i + LF \quad \forall m$$

$$FCP_{ims} = PB + TL_i + SR \quad \forall m$$

단, FCP_{imb} : m 기저발전기의 최종청산가격

FCP_{iml} : m 부하추종발전기의 최종청산가격

FCP_{ims} : m 공급에비력발전기의 최종청산가격

TL_i : 모선i의 송전계약가격

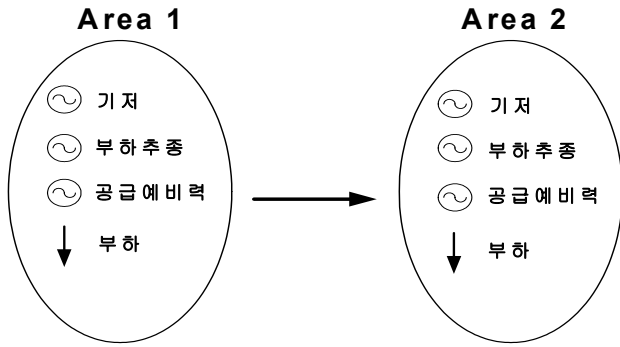
LF : 부하추종특성의 신뢰도계약가격

SR : 공급에비력특성의 신뢰도계약가격

PB : 2단계에서 구한 모선가격 중 최대값

2.2 사례연구

다음에 보는 2지역 계통에서 운전신뢰도계약조건을 고려한 OPF를 수행하며 이 두 조건을 가지고 어떻게 지역별 부하가격을 계산하여 시장 청산을 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 공급에비력발전기 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
공급에비력발전기 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	공급에비력	
Area 2	B	20,000	\$35	기저	40,000
	E	10,000	\$40	부하추종	
	F	40,000	\$50	공급에비력	
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	26000	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> 발전기 청산가격 절차

구성요소			수급균형	송전계약	LF계약	SR계약	
Shadow price			\$40.00	-\$10.00	\$0.00	\$10.00	
발전기	지역	운전특성					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	\$0.00	\$0.00	\$30.00
D	1	SR	\$40.00	-\$10.00	\$0.00	\$10.00	\$40.00
E	2	LF	\$40.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$40.00
F	2	SR	\$40.00	-\$10.00	\$0.00	\$10.00	\$50.00

<표 3>는 신뢰도계약인 부하추종계약과 공급에비력계약으로 인하여 어떻게 발전량과 청산가격이 변화하는지를 보여주는 과정이다. <표 4>는 신뢰도계약을 고려한 OPF를 수행한 결과를 가지고 각 발전기별로 별도의 추가요금(지역적 신호)을 부여하여 최종청산가격을 구하는 과정이다.

<표 5> 발전기 정산

발전기	발전용량(MW)	가격	수익
A	16,000	\$30.00	\$480,000
B	20,000	\$40.00	\$800,000
C	26,000	\$30.00	\$780,000
D	3,000	\$40.00	\$120,000
E	9,000	\$40.00	\$360,000
F	1,000	\$50.00	\$ 50,000

<표 5>는 <표 4>에서 구한 발전기 최종청산가격을 이용하여 발전기의 수익을 정산한 결과이다.

3. 결 론

본 논문에서는 공급신뢰도에 대한 기여정도에 따른 인센티브 제공하기 위해 발전기 정산규칙 및 송전계약과 신뢰도계약조건을 이용하여 다양한 가격신호를 생성하는 신뢰도기반 가격산정모델의 시스템을 구축하였다.

이는 발전사의 정산만을 수행하였기 때문에 향후 RPM의 시장청산규칙과 맞물려 시장을 청산하도록 모형의 개선이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 교육인적자원부에서 시행하는 BK21(2차) 사업(과제명: 신 에너지원 개발 및 전력시스템 연계기술 연구팀)의 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 논문지A 53권, 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, Wenyan Li, Reliability assessment of electric power systems using monte carlo methods, PLENUM PRESS · New York and Lodon, 1994