

공급지장기대치에 의한 적정설비에비율 결정에 관한 연구

박정제\*, 오량\*, 최재석\*  
경상대학교\*

차준민\*\*  
대진대학교\*\*

윤용범\*\*\*  
한전 전력연구원\*\*\*

A Study on the Decision of Optimum Installed Reserve Rate by Loss of Load Expectation

Jeongje Park\*, Wu Liang\*, Jaeseok Choi\*  
Gyengsang National University\*

Junmin Cha\*\*  
Daejin University\*\*

Yongbum Yun\*\*\*  
KEPRI\*\*\*

**Abstract** - This paper proposes an alternative methodology for deciding an optimum deterministic reliability level (IRR; Installed Reserve Rate) by using probabilistic reliability criterion (LOLE; Loss of Load Expectation). Additionally, case studies using the proposed method induce the characteristics of relationship between the probabilistic reliability index (LOLE) and deterministic reliability index (IRR) for 2008 year in Korea power system. The case study presents a possibility that an optimum IRR level in Korea can be assessed using the proposed method. Korea power system has been using the LOLE criterion to determine the adequacy of installed capacity (ICAP) requirement. The criterion in Korea is that the loss of load expectation shall not exceed the available capacity more than five day in ten years (=0.5[days/year]). The probabilistic reliability evaluation and production cost simulation program which is called PRASim is used in order to evaluate the relationship and optimum IRR in this paper.

1. 서 론

적정수준의 예비력을 어느 정도로 결정해야 할 것인가는 전력사업을 계획하고 운영함에 있어서 아주 중요한 문제이다. 만약 우리가 미래를 완벽하게 예측할 수 있고 모든 발전기의 보수율 및 고장 정지율이 0이라고 가정 했을 때, 예비력은 필요치 않다. 이러한 관점으로 보면, 예비력이란 수요예측의 불확실성이나 발전기의 사고에 인하여 수요를 만족시키지 못하는 일이 발생하지 않도록 하기 위하여 최대수요를 초과하여 보유하고 있는 설비를 의미한다. 이외에도 초전도를 이용한 전력저장 및 고효율의 양수발전 등을 통한 전력저장도 현재로서는 무리가 있다. 그러므로 비첨두부하시간대에 잉여전력을 저장하였다가 첨두부하시간대에 사용하지 못하므로 예비력의 규모결정이 아주 중요하다[1].

최근 우리나라의 경우에 제3차 전력수급 기본계획에 의하면 2017년의 경우 설비에비율이 25%까지 상승할 것으로 예상된다. 하지만 이 설비에비율의 타당성을 뒷받침해줄 연구의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 우리나라에서와 같이 설비에비율과 연계한 용량요금제도를 채택하는 나라에서는 적정 설비에비율 수준은 매우 중요한 의미를 가지게 된다.

현재 우리나라가 1996년도부터 설정하여 사용하고 있는 전원개발계획을 위한 신뢰도기준인 LOLE=0.5[일/년]에 해당하는 설비에비율에 대한 재분석은 그 어느 때보다 중요하다고 판단된다[2,3]. 그러나 사실 적정 설비에비율의 정확한 값을 찾아내기는 어렵다. 그 이유들 중 하나는 전원개발계획시 채택하고 있는 신뢰도 기준은 확률론적 개념에서 추정된 것이며 CBP시장에 대한 설정 기준은 결정론적이기 때문이다[4,5]. 그러므로 이들의 상관성을 살펴보고 분석하는 것은 앞으로 중요한 것으로 사료되며 이번에는 기초연구로서 송전계통을 고려하지 않은 HLI (Hierarchical Level I)수준에서 둘의 상관성을 모의방법으로 살펴보기로 한다[6,7]. 이를 위해서는 빠르면서도 정확한 알고리즘에 기반을 둔 확률론적 신뢰도 지수 및 발전비 산정이 가능한 발전시물레이션을 필요로 한다[8-10]. 현재까지 계층수준(Hierarchical Level I; HLI)에서 개발된 방법은 45년 전부터 수많은 연구가 진행되었으며 Booth- Baleriaux법, 등가에너지합수법 및 Segmentation법 등과 같은 완전해석적 방법과 Cumulant법, MONA(Mixture of Normals Approximation)법과 같은 근사해석적방법으로 대별 될 수 있다[8,9].

본 연구에서는 계산속도 및 정확도면에서 우수하며 수력발전기 및 양수발전기를 고려할 수 있는 고속 Hartley 변환방법을 기반으로 확률론적 발전시물레이션 프로그램(PRASim : Probabilistic Reliability and Production Cost Simulation)을 개발하였다. 그리고 이를 이용하여 우리나라 2008년도 계통을 대상으로 발전모의운전을 통하여 확률론적 신뢰도 지수(LOLE)를 만족하는 적정 설비에비율을 찾고자 하였다..

2. 신뢰도 지수

2.1 결정론적 신뢰도 지수에 의한 적정 공급신뢰도 수준 결정

전원개발계획에 사용되고 있는 결정론적 신뢰도 지수로는 설비에비율, 설비에비율, 최대단위기법, 건기법 등이 있다.

- 1) 설비에비율 [MW] = 설비용량 - 최대수요
- 2) 설비에비율 [%] =  $\frac{\text{설비용량} - \text{최대수요}}{\text{최대수요}} \times 100 = \frac{\text{설비에비율}}{\text{최대수요}} \times 100$
- 3) 최대단위기법 (Largest Unit Method) : 설비용량에서 최대수요를 뺀 값 (즉, 설비에비율)과 그 계통에서 가장 큰 발전기의 용량과 비교하여, 설비에비율을 최대단위기의 용량보다도 크게 하는 방법을 말한다.
- 4) 건기법 (Dry Year Method) : 수력이 주종을 이루는 계통에서 예비력 결정에 이용되는 방법으로서, 비가 많이 내리지 않는 해에도 원활한 전력수급을 할 수 있도록 예비력을 보유하도록 하는 방법이다.

설비에비율은 최대수요와 설비용량의 관계만을 고려하므로 이해하기가 매우 쉽다. 하지만 부하 형태의 차이나, 발전기의 구성 조합, 계통 규모의 성장 등, 계통의 여러 가지 복잡한 상황을 반영할 수 없는 단점이 있다[1].

2.2 확률론적 신뢰도 지수에 의한 적정 공급신뢰도 수준 결정

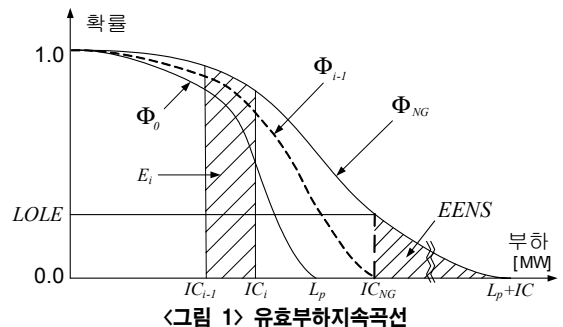
결정론적인 신뢰도 지수들이 가지고 있는 문제점을 극복하기 위하여 확률론적인 신뢰도 지수들이 컴퓨터의 발달과 더불어 지속적으로 개선되어 오고 있다. 특히, 이 중에서도 공급지장발생 기대치(LOLE)는 우리나라뿐만 아니라 현재 전 세계 전력회사에서 가장 광범위하게 사용되고 있다. 이는 유효부하시속곡선 (ELDC : Effective Load Duration Curve)을 이용하여 구할 수 있다.

i 번째 발전기까지 상승적분된 유효부하시속곡선(ELDC)의 확률분포 함수  $\Phi_i(x_e)$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\Phi_i(x_e) = \Phi_{i-1}(x_e) \otimes f_{oi}(x_{oi}) = \int \Phi_{i-1}(x_e - x_{oi}) f_{oi}(x_{oi}) dx_{oi} \quad (1)$$

단,  $f_{oi}(x_{oi})$  : i 번째 발전기의 사고확률 확률밀도함수  
 $x_e$  : 유효부하 확률변수  
 $x_{oi}$  : i 번째의 발전기에 의한 확률적 사고부하의 확률변수

그림 3은 i 번째 발전기가 고려된 유효부하시속곡선의 모습을 보인 것이다.



그러므로 우선순위에 의해  $i$  번째 발전기부터 NG 발전기까지 상승적 분하여 구한 유효부하확률분포함수  $\Phi_{NG}(x)$ 를 이용하여 신뢰도 지수 LOLE를 식 (2)와 같이 정식화 할 수 있다.

$$LOLE = \Phi_{NG}(x)|_{x=IC} = f(\Phi_o, C_i, FOR_i) \quad (2)$$

이렇게 구해진 LOLE는 신뢰도 기준으로서, 발전기의 갯수, 용량, 계통의 크기, 미래의 불확실성 등을 고려하여 얼마만큼의 설비가 필요한가를 계산해 보는 것으로서 수요증가에 따라 확률적으로 필요한 적정 설비예비력을 산출할 수 있다.

### 3. PRASim

고속 Hartley 변환을 이용한 발전량 및 신뢰도 지수를 계산 하는 PRASim의 상세한 수학적 모델 및 알고리즘은 이미 소개된 바 있으므로 여기서는 생략하기로 한다.[8]

### 4. 사례연구

본 연구에서는 LOLE와 설비예비율의 상관관계성을 알아보기 위해 제 3차 전력수급기본계획에서 2008년도와 2010년도에 대한 자료를 참고로 하였다. 표 1은 2008년도 발전계통의 자료이며 표 2처럼 수력발전기 및 양수발전기는 각각 한 대의 등가발전기로 설정하였다. 표 3은 2008년도와 2010년도의 계통 규모를 나타내고 있다.

〈표 1〉 2008년도 발전계통

형태	발전기 갯수	용량 [MW]
원자력	20	17,716
등유	25	4,799
가스	64	20,163
석탄	44	20,465
합계	153	63,143

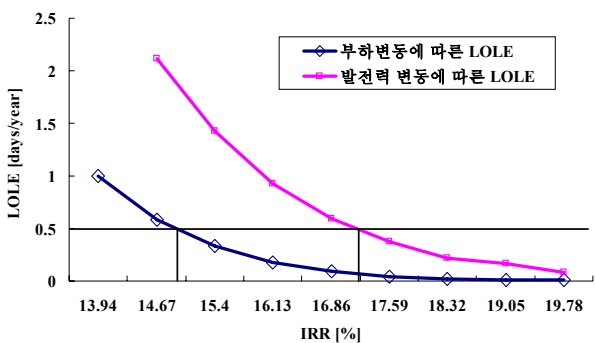
〈표 2〉 수력 및 양수 발전기

형태	용량 [MW]	사고확률	연간 이용율 [%]	종합효율 [%]	상부 저수지 용량 [MWh]
Hydro	1,516	0.04297	20		
P-G	3,900			70	12,000

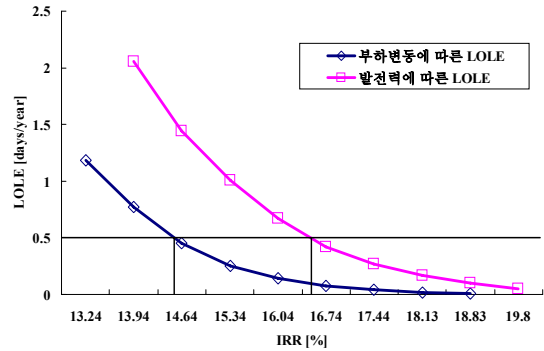
〈표 3〉 2008년도와 2010년도 계통규모

년도	설비용량 [MW]	최대부하 [MW]	발전기 갯수
2008	68,559	61,380	153
2010	71,459	71,459	157

설비예비율과 LOLE간의 상관관계성을 찾기 위해서 각각의 함수들이 공통적으로 가지고 있는 변수인 부하와 발전력을 변화시키면서 이 둘의 상관관계곡선을 작성하였다. 그림 2는 2008년도의 상관관계곡선을 보인 것이며, 그림 3은 2010년도의 상관관계곡선을 보인 것이다. 표 4는 이 상관곡선을 이용하여 선정된 각각의 적정 설비예비율을 나타낸 것이다. 표 4의 결과 값을 통해 계통의 크기가 커지면 적정 설비예비율은 감소함을 추정할 수 있다.



〈그림 2〉 2008년도 LOLE와 IRR과의 상관관계 곡선



〈그림 3〉 2010년도 LOLE와 IRR과의 상관관계 곡선

〈표 4〉 LOLE와 IRR과의 관계 곡선을 이용하여 선정된 적정 IRR

년도	LOLE [days/year]	부하변동에 의한 적정 IRR	발전력변동에 의한 적정 IRR
2008	0.5	14.9	17.2
2010	0.5	14.5	16.5

### 5. 결과

본 연구에서는 수학적 해석방법으로는 찾기 어려운 확률론적인 신뢰도 지수중 하나인 LOLE와 결정론적 지수중의 하나인 설비예비율간의 상관관계곡선을 작성하고, 이 곡선을 통하여 신뢰도 기준을 만족하는 적정(최소) 설비예비율이 결정 가능함을 보였다. 이번 연구에서 제시하는 적정 설비예비율 결정하는 방법 및 그 값은 하나의 순수 학술적인 연구 제안이며 차후에 보다 상세한 입력자료 및 모델을 사용하여 실제 활용 가능한 적정 설비예비율의 결정에 크게 기여할 것으로 기대된다. 이러한 결과들은 전력수급계획시 설비용량의 부족이나 과잉투자를 방지하는 역할을 할 것으로 기대된다. 본 연구에서 도출 가능함을 보인 부하변동에 따른 적정 설비예비율과 발전력 변동에 따른 적정 설비예비율의 범위는 보다 합리적인 발전용량 가격선정에 기여 할 것으로 기대된다.

### [참고 문헌]

- [1] 한국전력공사, “예비력 이야기”, 전력경제처 투자분석부, 1997, 4.
- [2] 한국전력공사, “공급능력 및 LOLP를 고려한 발전설비 적정수준에 관한 연구” 최종보고서, 한국전력공사 전원계획처, 1995년 4월.
- [3] 한국전력공사, “한국의 적정 LOLP 수준 결정에 대한 연구” 최종보고서, 한국전력공사, 1999년 7월.
- [4] Benjamin F. Hobbs, Ming-Che Hu, Javier G. Iñón, Steven E. Stoft, and Murty P. Bhavaraju, “A Dynamic Analysis of a Demand Curve-Based Capacity Market Proposal: The PJM Reliability Pricing Model” IEEE Tran. on PS, Vol. 22, No. 1, Feb, 2007, pp.3-14.
- [5] Murty P. Bhavaraju, Benjamin Hobbs, and Ming-Che Hu, “PJM Reliability Pricing Model- A Summary and Dynamic Analysis” IEEE GM2007, Tampa, FL USA, June, 2007.
- [6] PJM. “Generation Adequacy Analysis: Technical Methods”, White Paper of Capacity Adequacy Planning Department PJM Interconnection, L.L.C. October 2003.
- [7] PJM, “2007 PJM Reserve Requirement Study” Annual Report of Reserve Requirement Assumptions Working Group (RRAWG) Planning Committee (PC), August 15, 2007.
- [8] 최재석, “확률론적 발전시뮬레이션을 위한 효율적인 알고리즘”, 고려대학교 공학박사학위 논문 1990, 7.
- [9] 송길영, 최재석, 김용하, “고속 Hartley 변환을 이용한 확률론적 발전시뮬레이션에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, 39-42-2, pp.341-348, 1990년4월.
- [10] KEPCO, “A Study on the Analysis for Generation Planning using MINI” KEPCO Reports, 1988.
- [12] 김홍식, 문승필, 최재석, 노대식, 차준민; “각 부하 지점별 확률론적 발전비용 산정을 위한 수치해석적 방법의 개발”, 대한전기학회 논문지, 2001년 6월, Vol. 50A, No. 9, pp. 431-439.
- [13] Jaeseok Choi, Timothy Mount, Robert Thomas and Roy Billinton, “Probabilistic Reliability Criterion for Planning Transmission System Expansions” IEE G,T&D, Vol.153, No.6, pp.719-727, November, 2006.