

전원개발계획 공급신뢰도 기준 설정을 위한 LOLP 민감도 분석

정도영, °김광인, 이상철, 박종배

한국전력공사 전력경제처

A Study on the LOLP Sensitivity Analysis for Determination of Reliability Criteria in Generation Expansion Planning

Do Young Chung, Kwang In Kim, Sang chul Lee, Jong Bae Park
Korea Electric Power Corporation(KEPCO)

Abstract-The purpose of this paper is to determine the proper reliability criteria used in generation expansion planning of electric utilities.

In this paper, we tried to combine long-term generation expansion planning and short-term weekly maintenance scheduling program package. We set two scenarios in which the O&M technology of power plants will be improved or not in the future. We performed LOLP sensitivity analysis for each scenario to determine the optimum reliability criteria in the power system operation aspects.

1. 서론

전원개발계획이란 통상 10~20년의 계획 기간 동안에 예측된 수요를 일정한 신뢰도 수준으로 만족시키면서 최소의 비용이 소요되는 각 연도별 발전설비 형식, 대수, 용량 등을 결정하는 동태적 최적화 문제이다. 따라서, 전원개발계획의 결과가 연도별 최적 설비규모를 도출하기 위해서는 사전에 적정 신뢰도 기준이 결정되어야 한다.

전원개발계획에 사용되고 있는 신뢰도 지수로는 경정론적 지수로서 예비율법, 최대단위기법 등이 있고, 확률론적 지수로서 공급지장률(Loss of Load Probability: LOLP), 공급지장에너지화률을 등이 있으며, 기타 공급지장비용을 포함하여 사회경제적인 최적화 방법이 있다. 이 가운데, 우리나라를 포함한 화력발전 설비가 주종을 이루는 대부분의 국가에서는 확률론적인 지수 가운데 공급지장률(LOLP)을 사용하고 있다.

이러한 각 신뢰도 지수를 사용하여 최적 신뢰도 수준을 결정하는 방법으로서는 충공급비용과 충공급지장비용을 연도별로 도출하여 이들의 합이 최소가 되는 점에서 최적 설비규모, 즉 최적신뢰도 수준을 결정하거나, 각 전력회사마다 계통규모, 계통운용 및 계획 경험, 부하의 크기 및 특성 등 제반 자료를 기준으로 하여 전력회사의 설정에 맞는 신뢰도 기준을 결정하는 방법이 있다. 여기에서는 기본적으로 후자의 방법론에 초점을 두었고, 그 가운데에서도 문제 가 되고 있는 적정 계통운용 수준을 만족시키는 신뢰도 기준을 탐색하는 방법론을 제시하였다. 이를 위하여, 여기에서는 장기 전원개발계획 모형인 WASP(Wien Automatic System Planning Package)와 단기 계획예방정비 프로그램의 결합을 통하여 적정 신뢰도 수준을 탐색하였다.

2. 공급신뢰도 기준 결정을 위한 알고리즘

여기에서는 전력회사 측면, 특히 계통운용의 측면에서 최적 공급신뢰도 수준을 결정하는 데에 주안점을 두었다. 이를 위하여 WASP 모형을 이용하여 LOLP 값의 변화에 따른 연도별 최적설비증설계획안(전원개발계획안)을 도출한 다음, 이 안에 의하여 구성된 연도별 전력계통을 바탕으로 발전기 예방정비계획(보수계획) 프로그램을 수행하여 주별 공급예비율의 크기를 계산한다. 결국, 주이전 공급신뢰도 기준에 따른 주별 공급예비율이 도출되는데 이 값을 실제 계통운전에서 요구하는 최소 공급예비율과 비교하여 LOLP 기준의 적정성 여부 및 이의 변경 가능성성을 평가하여 전원개발계획 수립에 필요한 최적 신뢰도 기준을 결정하는 것이다. 이러한 적정 공급신뢰도 기준을 결정하기 위한 상세한 과정이 <그림 1>에 주어져 있다.

현재 우리나라의 계통규모에서 필요하다고 생각되는 최소 필요 공급예비율 수준은 (표 1)에 주어져 있다.

표 1. 계통운용에 필요한 공급예비율

공급 예비율	대기 예비율	단기 수요예측 오차	2.0 %
		반전기 고장 소계	6.4 ~ 6.5 %
운전 예비율	주파수 조정	4.2 ~ 4.5 %	
		1.2 ~ 1.5 %	
계	순시 대비	5.4 ~ 6.0 %	
		13.8 ~ 14.5 %	

그러나 전력계통의 규모가 증대되는 수록 필요 최소공급예비율은 감소하는 경향이 있다. 이는 계통규모가 커질수록 최대단위기의 비중이 낮아져 이의 고장 영향이 줄어들며, 주파수 조정 등이 상대적으로 용이해지기 때문이다. 따라서 개통규모가 증대되는 미래에 요구되는 공급예비율 수준은 현재의 계통규모에서 요구되는 수준보다 낮아질 것이다. 본 연구는 장기 전원개발계획(10~20년)에서의 공급신뢰도 수준을 결정하는데 주안점을 두었다. 따라서 이에 필요한 최소공급예비율 수준은 현재의 수준보다 낮은 13%로 가정하였다.

주이전 공급신뢰도 기준(LOLP 값)에서 도출되는 모든 연도의 설비규모에 대하여 계획예방정비 프로그램을 수행하기는 힘들므로, 여기에서는 특정연도인 2006년도 설비에 대하여 계획예방정비계획(정기보수계획)을 실시하여 적정 공급신뢰도 수준을 결정하였다. 또한, 기술적 입력자료인 고장정지를 및 계획예방정비일수에 대하여 두 가지 시나리오를 설정하였다. 상세한 것은 사례연구에 주어져 있다.

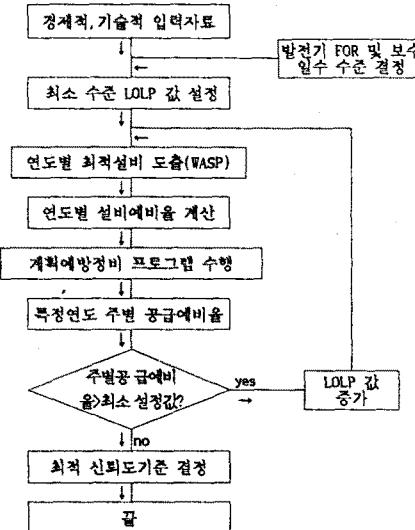


그림 1. 적정 LOLP 설정 알고리즘 흐름도

3. 사례연구

이 연구에서는 전력사업에 있어서 적정 공급신뢰도 기준을 결정하기 위하여, 전원개발계획 입력자료 가운데 발전기의 고장정지율(Forced Outage Rate; FOR) 및 계획예방정비일수를 두 경우로 가정하여 각 LOLP별로 연간 설비예비율 및 주변 공급예비율을 도출하였다. 첫번째는 발전설비의 고장정지율 및 계획예방정비일수를 현재의 수준으로 하였을 경우이며, 두번째로 향후 발전설비의 기술향상을 고려하는 경우이다.

사례연구를 위한 설비자료는 1992년 한전자료를 기준으로 하였으며, 전원개발계획 대상기간은 1994년부터 2006년 까지로 하였으며 전력수요 예측 값은 1991년 자료를 이용하였다. 또한, LOLP 기준의 적용 기간은 1997년 이후로 하였다.

3.1 입력자료

장기전력 수요예측값은 (표 2)에 주어져 있다. 기준발전설비 관련 자료는 (표 3)에, 후보 발전설비 관련 자료는 (표 4)에 각각 주어져 있다. 유연탄 설비의 용량 격상을 고려하기 위하여 700 MW, 900 MW도 미래의 후보설비로 고려하였다.

표 2. 장기전력수요(최대전력) 전망

연도	최대수요(MW)	연도	최대수요(MW)
1994	23,471	2001	36,450
1995	25,383	2002	38,149
1996	27,257	2003	39,974
1997	29,056	2004	41,824
1998	30,873	2005	43,728
1999	32,601	2006	45,699
2000	34,483	-	-

표 3. 기준 발전설비 데이터

구 분	발전설비 특성 향상 전		발전설비 특성 향상 후	
	F.O.R (%)	계획예방 정비일수	F.O.R (%)	계획예방 정비일수
기 준 설 비	원자력 PWR	8.8	63	8.5
	원자력 PHWR	5.0	40	4.7
	유연탄	8.2	45	4.5
	무연탄	8.5	34	4.9
	석유	8.3	38	7.5
	LNG 복합	7.1	39	5.5

표 4. 후보발전소 데이터

구 분	설비 용량 (MW)	발전설비 특성 향상 전		발전설비 특성 향상 후	
		F.O.R (%)	보수 일수	F.O.R (%)	보수 일수
후 보 설 비	원자력 PWR	1,000	9.0	65	8.1
	원자력 PHWR	700	7.0	40	6.3
	유연탄-500	500	9.0	47	8.0
	유연탄-700	700	9.5	50	8.0
	유연탄-900	900	11.0	52	9.7
	LNG 복합	400	10.0	52	8.8

3.2 발전설비 특성 향상 전의 LOLP 민감도 분석

각 발전설비의 고장정지율 및 계획예방 정비일수가 현재의 수준인 때를 기준으로 LOLP 민감도 분석을 실시하였다. LOLP 수준별 연간 설비예비율 및 주별 공급예비력을 구한 다음, 계통운용 축면에서 필요한 최소의 LOLP 값을 신뢰도 기준으로 결정하였다.

현재 한국의 공급신뢰도 기준인 LOLP 0.7일/년에 대응하는 연도별('94~'06) 설비예비율은 (표 5)에서와 같이 평균 23.5% 정도이다. 또한, 외국의 대규모 Power Pool에서 소요 설비예비율로 하고 있는 20%를 상회하는 LOLP 범위는 0.1~2.0일/년 정도로 나타났다.

표 5. LOLP에 따른 설비예비율 변화

신뢰도 기준 (LOLP 일/년)	평균 설비 예비율(%)	최대 설비 예비율(%)	최소 설비 예비율(%)
0.1	28.3	30.5	27.1
0.5	24.6	26.5	23.3
0.7	23.5	25.3	22.4
1.0	22.9	25.3	21.7
1.5	21.9	24.0	20.6
2.0	20.9	22.7	19.6
3.0	19.6	21.5	18.5
4.0	19.1	21.5	17.8

특정연도인 2006년에 있어서 각 신뢰도 기준에 대응되는 주별 공급예비율은 (표 7)에 주어져 있다. 현재 공급신뢰도 기준인 LOLP 0.7일/년일 때의 최소 공급예비율은 14%로 나타났으며, 이 논문에서 가정한 13%를 만족하는 신뢰도 범위는 LOLP 0.1~2.0일/년 정도로 나타났다.

표 6. 2006년의 주별 공급에비율

신뢰도 기준 (LOLP 일/년)	최대 공급 에비율(%)	최소 공급 에비율(%)	평균 공급 에비율(%)
0.1	35	18	22.9
0.5	26	14	19.4
0.7	25	14	18.5
1.0	26	13	18.6
1.5	28	12	17.4
2.0	28	13	17.5
3.0	25	12	16.3
4.0	21	10	15.2

3.3 발전설비 특성 향상 후의 LOLP 민감도 분석

이 시나리오는 미래의 정비(보수)기준 및 발전설비 관련 기술의 향상을 전제로 한 것이다. 이에 따라 각 발전설비의 고장정지율 및 계획예방 정비일수가 현재 보다 일정 수준 향상되었을 때를 기준으로 LOLP 민감도 분석을 실시하였다. LOLP 수준별 연간 설비에비율 및 주별 공급에비율을 구하여 동일한 방법으로 계통운용 측면에서 필요한 최소의 LOLP 수준을 신뢰도 기준으로 결정하였다.

현재의 공급신뢰도 기준인 LOLP 0.7일/년에 대응하는 연도별 설비에비율은 평균 20.8% 정도이다. 또한, 외국의 대규모 Power Pool에서 소요 설비에비율로 하고 있는 20%를 상회하는 LOLP 범위는 0.1~1.0일/년 정도로 나타났다.

표7. LOLP 수준에 따른 설비에비율 변화

신뢰도 기준 (LOLP 일/년)	평균 설비 에비율(%)	최대 설비 에비율(%)	최소 설비 에비율(%)
0.1	25.3	27.8	24.0
0.5	21.8	24.0	20.5
0.7	20.8	22.7	19.6
1.0	19.9	21.5	19.0
1.5	19.2	21.5	17.8
2.0	18.6	20.2	17.3
3.0	17.4	18.9	16.2
4.0	16.8	18.9	15.1

발전설비 특성 향상 후 시나리오의 각 신뢰도 기준에 대응되는 주별 공급에비율을 살펴보면, 현재 공급신뢰도 기준인 LOLP 0.7일/년일 때의 최소 공급에비율은 13%로 나타났으며, 이 논문에서 가정한 13%를 만족하는 신뢰도 범위는 LOLP 0.1~1.0일/년 정도로 나타났다.

표 8. 2006년의 주별 공급에비율

신뢰도 기준 (LOLP 일/년)	최대 공급 에비율(%)	최소 공급 에비율(%)	평균 공급 에비율(%)
0.1	37	14	21.4
0.5	25	13	18.0
0.7	24	13	17.6
1.0	28	13	17.2
1.5	26	12	16.4
2.0	26	12	16.3
3.0	22	10	14.7
4.0	24	10	14.6

5. 결론

이 논문은 현재 우리나라의 전원설비 규모를 기준으로 하여 적정 공급신뢰도 수준을 검토한 것이다. 여기서 두 가지 시나리오, 즉 발전설비 특성 향상 전 시나리오와 발전설비 특성향상 후의 시나리오,를 설정하여 전력계통 운

용측면에서 적정 신뢰도 기준을 결정하였다. 이 결과 발전설비 특성 향상 전 시나리오의 경우 적정 LOLP의 범위가 0.1~2.0일/년으로 나타났으며, 발전설비 특성 향상 후 시나리오의 경우는 0.1~1.0일/년으로 나타났다. 따라서, 현재의 공급신뢰도 수준인 LOLP 0.7일/년을 약간 완화하어도 전력계통 운용 측면에서는 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

이 논문은 전력계통 운용의 측면에서 적정 공급신뢰도 수준을 검토하였지만, 향후 사회경제적인 관점에서 최적 공급신뢰도 수준을 결정하는 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 한국전력공사, 전력경제연구실 : "적정 예비력 결정 이론에 관한 연구", (1986. 2)
2. 한국전력공사, 전력경제연구실 : "최적투자와 신뢰도", (1988. 11)
3. 한국전력공사, 전력경제연구실 : "발전계통 연차 보수 계획 수립에 관한 연구", (1989. 12)
4. 한국전력공사, 전력경제처 : "전원개발계획에 있어서 공급신뢰도 기준설정에 관한 연구", (1993. 9)
5. R. T. Jenkins and D. S. Joy, "Wien Automatic System Planning Package(WASP) - An Electric Utility Optimal Generation Expansion Planning Computer Code", ORNL-4945, Oak Ridge National Laboratory, July, (1974)
6. L. Wang : "The effects of Uncertainties in Forced Outage Rates and Load Forecast on the Loss of Load Probability(LOLP)", IEEE Trans. Vol. PAS-96, No. 6, Nov/Dec, (1977)
7. PTI : "Review of TVA Capacity Planning Criteria and Methods", PTI Report R#17-79, August, (1979)
8. M. Munasinghe and M. Gellerson : "Economic Criteria for Optimizing Power System Reliability Levels", The Bell Journal of Economics, Vol. 10, (1979)
9. Zia A. Yamayee : "Maintenance Scheduling: Description, Literature Survey and Interface with Overall Operation Planning", IEEE Trans. Vol. PAS-100, No. 8, Aug, (1982)
10. IAEA : "Expansion Planning for Electrical Generating Systems - A Guidebook", Technical Reports Series No. 241, (1984)
11. Michael S. Mirsky : "Survey of Generation Capacity Planning Practices Used by Electric Utilities", System Planning Division, Ontario Hydro, November (1990)
12. C. O. Riordan et. al., : "Review of Generation Adequacy Standards - Draft 1", CIGRE Report No. 37-91(IE)04(E), October, (1991)