

TRELSS를 이용한 한전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가 및 분석

한경남* 이종순* 김호표* 진동훈** 김건중***
 * 한전 계통계획실 ** 한전 전력연구원 *** 충남대학교

A Study on Probabilistic Reliability Evaluation of KEPCO System Using TRELSS

K.N.Han* J.S.Lee* H.P.Kim* D.H.Jeon** K.J.Kim***
 * KEPCO ** KEPRI *** Chungnam National Univ.

Abstract - 본 논문에서는 대규모 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가 프로그램인 TRELSS를 이용하여 우리나라 전력계통에의 적용가능성을 검증하고, 2006년~2013년 및 2017년 첨두부하 계통에 대한 공급신뢰도를 확률론적으로 평가·분석함으로써 미래의 선진국형 계획기법으로의 도약을 모색하고자 하였다. 분석결과, 시기적절한 계통보강으로 연차별 공급지장발생 확률(LOLP) 및 공급지장전력량(EUE)이 감소하는 경향을 보였으나, 효율적인 설비투자 및 계통계획의 일관성 유지로 공급신뢰도 지수의 연도별 편차는 상대적으로 크지 않았다. 향후 보다 정확한 공급신뢰도 평가지수를 확보하기 위하여 송전선로별 고장발생건수, 평균 고장지속 시간 등과 같은 상세 송전선로 고장발생확률 Data의 확보방안을 강구할 예정이며, 사용자 편의를 고려한 TRELSS 프로그램의 수정 및 보완도 지속적으로 추진할 예정이다.

TRELSS에서는 Data Validation, System Problem, Contingency Screening, Capability, Simulation 등 총 5가지의 Approach가 제공되는데 이를 통해서 Base 및 상정사고 Case에 대한 AC(Fast-Decoupled), DC 조류계산이 가능하며, 특히 상정사고 해석시에는 선로 과부하, 모선 고/저전압, 모선 전압변동, 조류계산의 발산, 계통분리, 부하차단 등의 System Failure를 고려하여 System Problem의 빈도, 지속시간, 가혹도를 의미하는 연간 또는 부하수준별, 지역별, 설비(모선,선로)별 신뢰도지수를 계산한다.

2.2 국내계통의 확률론적 신뢰도평가

2.2.1 시뮬레이션 조건

'05년도 전력수급기본계획과 장기 송변전설비계획을 반영한 2006년~2013년 및 2017년 우리나라의 첨두부하 계통을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 연도별 8760시간 최대부하는 '04년 실적으로부터 '05년도 전력수급기본계획상의 연도별 증가율만큼 할증 계산한 전력수요곡선(Load Duration Curve)을 사용하였다. 상정고장으로는 765kV 송전선로의 경우 1회선(N-1) 고장, 345kV 및 154kV 송전선로(가공)의 경우 2회선(N-2) 동시고장을 고려하였으며 발전기고장은 고려하지 않았다. System Problem(공급지장) 판정기준으로는 상정고장시 독립계통 발생여부,규정전압 유지범위(상한 및 하한) 위반여부, 과부하 발생여부 등을 고려하였다. 송전선로의 고장발생 적용조건으로 발생건수는 일괄적으로 2년 1회, 10년 1회, 고장시간은 일괄적으로 1시간, 0.5시간(30분), 0.16시간(10분)을 적용하였으며, 모든 고장은 좋지 않은 날씨상태에서 발생한 것으로 가정하였다. (표 1)은 검토 Case별 송전선로의 고장발생확률을 나타낸 것이다.

1. 서 론

독점체제에서 경쟁체제로의 전력산업 구조개편으로 국가적인 효율 증대와 소비자의 편의 증대를 기대할 수 있으나, 대규모 전력계통을 계획, 운영함에 있어서 불확실성이 증가하고, 다수의 시장참여자간의 복잡한 이해관계에 따라 분쟁발생 가능성도 증가하고 있으며, 특히 시장 논리에 따른 신규 전력설비 투자로 대규모 정전과 같은 국가적인 재난이 발생할 가능성이 증가하고 있다. 실제 세계적으로 발생한 일련의 대정전사고 이후 송전망 확충계획을 위한 확률론적인 신뢰도평가 및 이의 활용이 그 어느 때보다 중요시되고 있다.

우리나라도 현재의 결정론적 계통해석 및 계획기법으로는 적극적인 투자 효율성 판정 및 객관적인 공급신뢰도 지수산정이 곤란한 실정이며, 또한, 다양한 요구조건의 경쟁적 전력시장 논리에 능동적으로 대처하고 향후 국내 전력수요의 포화시기에 대비하기 위해서는 새로운 계획기법의 도입 및 활용이 절실히 요구되고 있다.

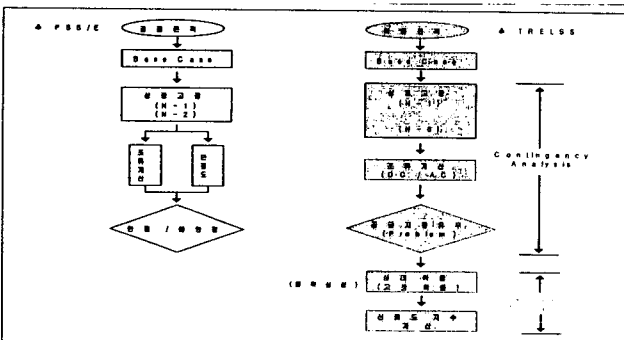
본 논문에서는 한전이 계통 계획업무에 확률론적 기법을 적용하기 위해 도입, 운용을 검토중에 있는 확률론적 공급신뢰도 평가 S/W인 TRELSS(Transmission Reliability Evaluation Large Scale System)를 사용하여 우리나라 전력계통에의 적용 가능성을 검토하고, 2006년~2013년 및 2017년 첨두부하 계통에 대한 공급신뢰도를 확률론적으로 평가·분석함으로써 미래의 선진국형 계획기법으로의 도약을 모색하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 TRELSS

TRELSS(Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems)는 확률론적 신뢰도 평가프로그램으로 대규모 복합(발전&송전) 계통을 대상으로 PCG, Common Mode, Must-Run 및 Independent 상정사고 해석을 수행하여(필요시 System Problem 해소를 위한 Remedial Action을 수행) 다양한 형태의 신뢰도지수(연간, 부하수준별)를 계산하고, 사용자가 요구하는 수준에 맞는 상세한 결과보고서를 출력한다.

TRELSS는 13,000 모선, 26,000 선로, 9750 발전기, 5200 변압기 등 대규모 전력계통을 사실적으로 모델링할 수 있으며, 년단위로 최대 10개의 Base Case, 발전기와 선로로 조합된 6개의 Independent 상정사고(N-6), 1,000,000 Case의 상정사고 해석을 통해 송전계통의 신뢰도를 평가한다.



<표 1> 검토 Case별 송전선로 고장발생확률

Case	구분	고장발생 확률		날씨 조건		유지보수 확률	
		건/년	시간/건	건/년	시간/건	확률	시간/건
1		0.1	1.00	0.1	1.00	0	0
2		0.1	1.00	0.1	1.00	0.000114	1
3		0.1	0.50	0.1	0.50	0	0
4		0.1	0.50	0.1	0.50	0.000114	1
5		0.1	0.16	0.1	0.16	0	0
6		0.1	0.16	0.1	0.16	0.000114	1
7		0.5	1.00	0.5	1.00	0	0
8		0.5	1.00	0.5	1.00	0.000114	1
9		0.5	0.50	0.5	0.50	0	0
10		0.5	0.50	0.5	0.50	0.000114	1
11		0.5	0.16	0.5	0.16	0	0
12		0.5	0.16	0.5	0.16	0.000114	1

☞ 날씨조건 : 좋지 않은 날씨에서의 고장발생 확률
 유지보수 확률 : 송전선로 2회선 동시 휴전작업을 고려하되 부하절체 한 영시(0시간)와 정전 수반(1시간) 2가지로 분류

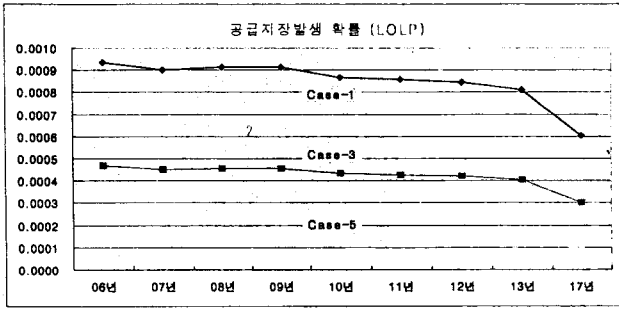
2.2.2 연도별 확률론적 신뢰도 평가결과

1) 공급지장발생확률(LOLP)

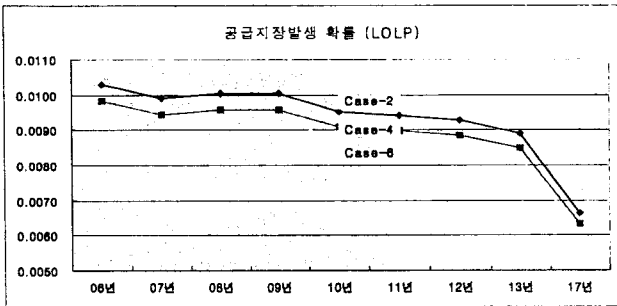
Case	구분	연도별 LOLP									
		'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'17	
1		0.00094	0.00090	0.00091	0.00091	0.00087	0.00086	0.00084	0.00081	0.00061	
2		0.01028	0.00991	0.01003	0.01003	0.00953	0.00941	0.00928	0.00890	0.00665	
3		0.00047	0.00045	0.00046	0.00046	0.00043	0.00043	0.00042	0.00041	0.00030	
4		0.00882	0.00946	0.00958	0.00958	0.00910	0.00898	0.00886	0.00850	0.00634	
5		0.00015	0.00014	0.00015	0.00015	0.00014	0.00014	0.00014	0.00013	0.00010	
6		0.00950	0.00915	0.00927	0.00927	0.00890	0.00868	0.00857	0.00822	0.00614	
7		0.00468	0.00451	0.00457	0.00457	0.00434	0.00428	0.00424	0.00405	0.00303	
8		0.01403	0.01352	0.01369	0.01369	0.01300	0.01283	0.01266	0.01215	0.00907	
9		0.00234	0.00225	0.00228	0.00228	0.00217	0.00214	0.00211	0.00203	0.00151	
10		0.01169	0.01126	0.01140	0.01140	0.01083	0.01069	0.01055	0.01012	0.00755	
11		0.00075	0.00072	0.00073	0.00073	0.00069	0.00068	0.00068	0.00065	0.00048	
12		0.01010	0.00973	0.00985	0.00985	0.00936	0.00923	0.00911	0.00874	0.00653	

☞ 연도별 LOLP에 8760시간을 곱하여 연간 정전시간을 산출

- 공급지장발생 확률 변동 추이 (Case1 / Case3 / Case5)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 없음 (부하 절체 등으로 사전 조치)



- 공급지장발생 확률 변동 추이 (Case2 / Case4 / Case6)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 1시간 (부하절체 불고려)

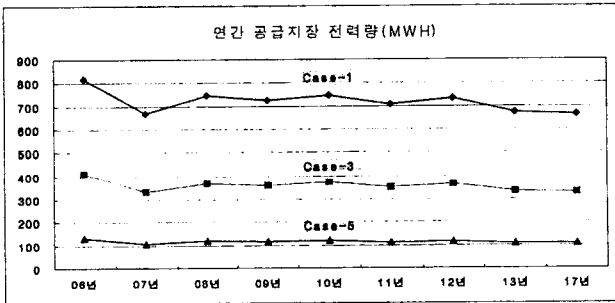


2) 공급지장 전력량(EUE, MWH)

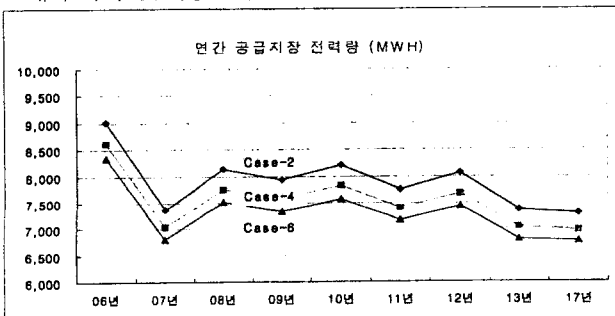
구분	연도별 EUE(MWH)										
Case	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'17		
1	820	670	745	723	746	706	733	671	664		
2	9,019	7,370	8,130	7,943	8,203	7,759	8,055	7,376	7,296		
3	410	335	370	361	373	353	366	335	332		
4	8,608	7,034	7,760	7,582	7,829	7,405	7,688	7,041	6,964		
5	131	107	118	115	119	112	117	107	106		
6	8,329	6,806	7,508	7,336	7,575	7,165	7,439	6,812	6,769		
7	4,104	3,354	3,700	3,615	3,733	3,531	3,666	3,357	3,320		
8	12,302	10,053	11,090	10,836	11,189	10,583	10,988	10,062	9,953		
9	2,052	1,677	1,850	1,807	1,866	1,765	1,833	1,678	1,660		
10	10,250	8,376	9,240	9,028	9,322	8,818	9,155	8,383	8,293		
11	656	536	592	578	597	564	586	537	531		
12	8,854	7,235	7,982	7,799	8,053	7,617	7,908	7,242	7,164		

☞ EUE는 연간 총전력량과 관련이 있어 연도별 비교는 의미가 없음.

- 공급지장 전력량 변동 추이 (Case1 / Case3 / Case5)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 없음 (부하 절체 등으로 사전 조치)



- 공급지장 전력량 변동 추이 (Case2 / Case4 / Case6)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 1시간 (부하 절체 불고려)

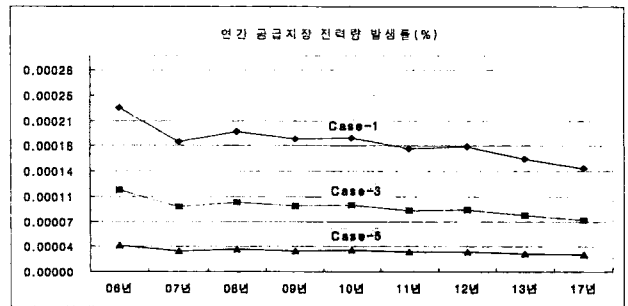


3) 연도별 공급지장 전력량 발생률

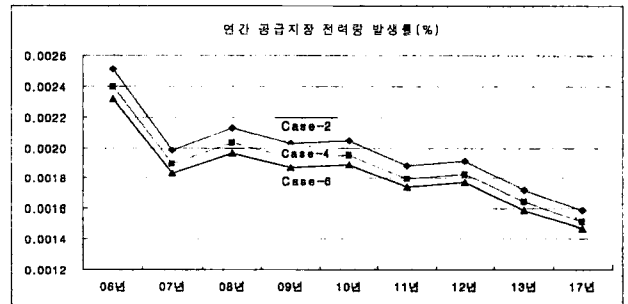
구분	연도별 발생률(%)										
Case	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'17		
1	0.000228	0.000181	0.000195	0.000185	0.000186	0.000172	0.000174	0.000157	0.000144		
2	0.002512	0.001987	0.002130	0.002029	0.002047	0.001885	0.001917	0.001724	0.001588		
3	0.000114	0.000090	0.000097	0.000092	0.000093	0.000086	0.000087	0.000078	0.000072		
4	0.002398	0.001897	0.002033	0.001937	0.001953	0.001799	0.001829	0.001645	0.001515		
5	0.000036	0.000029	0.000031	0.000029	0.000030	0.000027	0.000028	0.000025	0.000023		
6	0.002320	0.001835	0.001967	0.001874	0.001890	0.001741	0.001770	0.001592	0.001473		
7	0.001143	0.000904	0.000969	0.000923	0.000931	0.000858	0.000872	0.000785	0.000722		
8	0.003427	0.002710	0.002905	0.002768	0.002792	0.002571	0.002615	0.002351	0.002166		
9	0.000572	0.000452	0.000485	0.000462	0.000466	0.000429	0.000436	0.000392	0.000361		
10	0.002855	0.002258	0.002420	0.002306	0.002326	0.002142	0.002178	0.001959	0.001805		
11	0.000183	0.000145	0.000155	0.000148	0.000149	0.000137	0.000139	0.000125	0.000116		
12	0.002466	0.001951	0.002091	0.001992	0.002009	0.001851	0.001882	0.001692	0.001569		

☞ 연도별 발생률(%) : (연간 공급지장 전력량) / (연간 총 전력량)

- 공급지장 전력량 발생률 추이 (Case1 / Case3 / Case5)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 없음 (부하절체 등으로 사전조치)



- 공급지장 전력량 발생률 추이 (Case2 / Case4 / Case6)
 - 송전선로 고장발생 : 10년 1회, 1시간 / 30분 / 10분
 - 유지보수시 공급지장 : 1시간 (부하절체 불고려)



본 사례연구 결과는 송전선로의 고장발생확률을 임의로 가정하였기 때문에 신뢰도평가 결과값 자체는 큰 의미가 없다.

3. 결 론

확률론적 신뢰도평가 S/W인 TRELSS를 이용하여 우리나라 전력계통의 확률론적 공급신뢰도를 평가하고, 그 결과를 분석하였다.

- 장기적으로 신뢰도 평가지수(LOLPEUE)가 감소하였는데, 이는 시기적절한 계통보강으로 공급신뢰도가 지속적으로 향상되는 것을 의미한다. 예) 765kV 신안성~신가평 T/L, 345kV 신포천~신덕은 T/L 준공으로 '07년 공급신뢰도 급격한 향상
- 2017년을 제외하고는 공급신뢰도 평가지수가 연도별로 큰 편차가 없는 것으로 나타났는데, 이는 효율적인 설비투자 및 계통계획의 일관성 유지를 의미한다.
- 신뢰도 평가지수는 송전선로의 고장지속시간 및 유지보수시의 정전시간 등에 큰 영향을 받는다. 고장발생 시간이 증가할 경우, 공급신뢰도 평가지수가 크게 악화되었으며, 특히 유지보수를 위한 휴전작업시 정전이 수반되는 경우 공급신뢰도 평가지수가 크게 상승(악화)하였다.

향후 제3차 전력수급기본계획 및 장기 송전선설비계획('06년) 수립후, 우리나라 전력계통에 대한 확률론적 공급신뢰도를 재평가할 예정이며, 특히 정확한 공급신뢰도 평가지수를 얻기 위해 송전선로별 고장 발생건수, 평균 고장지속시간과 같은 송전선로 고장 데이터의 확보방안을 강구할 예정이다.

[참고 문헌]

- 한전 전력연구원, "대규모 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가 및 활용방안 연구", 연구보고서, 2006