

송전망 고장확률(FOR) 크기에 따른 상정고장 적용 기준

*차승태, 김태균, 곽방명, 전동훈, 이재욱, **이백석, ***이승혁
*한전 전력연구원 **한국전력공사 ***한양대학교

A Study on Contingency Analysis Criteria based on Historical Transmission System's Outage Data

*S.T Cha, T.K Kim, B.M Kwak, D.H Jeon, J.W Lee, **B.S Lee, ***S.H Lee
*KEPRI, **KEPCO, ***Hanyang University

Abstract -This paper will produce a practical, accurate method for computing the equipment forced outages rate (FOR) based on 10 years of historical equipment outages data. Also, the location and weather conditions on outages are included. The computed FOR are ranked as 4 groups (presumably high, medium, low & very low) depending on the frequency (up to # times per year) and a consistent framework for transmission reliability performance table is developed based on these groupings. Our intent is to use this framework as guidelines for contingency analysis criteria in system planning / operation departments. The concepts are illustrated on the 2005 KEPCO power system.

기상실적 DB 등 크게 3개의 DB로 구성되었다. 한전계통의 송전망 고장확률(FOR) 산정에 사용될 DB 구축단계는 상이한 입력 데이터 형식과 이를 데이터베이스화하기 위한 분류단계 및 3개의 DB를 통합, 구축하는 것과 이를 활용하는 고장확률 산정 프로그램이 주요 특징이라 할 수 있다.

1. 서 론

2.1.1 고장실적 DB

고장실적 데이터베이스는 한전계통의 확률론적 분석 및 전력설비별 고장확률을 산정하는 핵심적인 역할을 하며, 약 570여개의 변전소를 대상으로 우리나라 계통의 과거 10년간 주요 고장실적 데이터로 분류하였다. 주요 데이터로 선로사고, 모선사고, 발전기사고 및 변압기 사고에 대한 정보를 저장하였다.

표 2.1 고장실적 DB 입력테이블

사건번호	42년										사건명	사건일	사건지	사건종류	사건원인	사건처리	사건비율	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	고장실적 DB	2005	서울	고압선	고압선	고압선	고압선	고압선
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	고장실적 DB	2005	서울	고압선	고압선	고압선	고압선	고압선
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	고장실적 DB	2005	서울	고압선	고압선	고압선	고압선	고압선

현재 우리나라 계통은 안전도 및 품질 기준에 따라 계획시에는 N-1 상정고장 기준을 적용하고 있으며, 계통 운영시에는 N-2 상정고장 기준을 적용하고 있다. 이는 계획/운영상의 발생 가능한 전력설비 혹은 기기고장 등의 불확실성을 고려하지 않은 것이다. 현재 시장운영규칙에서 계통운영 기준으로 정하고 있는 방법은 근거가 미흡하고, 송전망의 다양한 운영조건에 비해 지나치게 단순하여 적용하고 있어 전력시장 참여자간의 이해대립 요소가 되고 있다. 또한, 이와 같이 높은 신뢰도 기준 유지를 위한 전력설비 확충에 막대한 투자비가 소요된다. 최근 캐나다, 미국, 호주를 포함한 선진국의 경쟁적 전력 시장 환경에서는 전력계통 신뢰도에 대한 관심이 그 어느 때보다 높아지고 있다. 특히 불확실성을 고려하는 확률론적 기법 접목을 통한 신뢰도 평가 및 송전망 운영 합리화에 대한 주변의 요구가 증가하고 있는 실정이다.

2.1.2 설비이력 DB

설비이력 데이터베이스는 전력계통 조류계산 및 고장 해석 프로그램으로 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 PSS/E 프로그램을 기반으로 하여 구성하였다. 모든 설비들이 모선에 연계되어 관리되고 있으며, 따라서 모든 설비 데이터들은 모선에 연계되어 있는 설비로 간주하고 동일한 모선에 다수의 설비가 연계된 경우, 각각 일련번호를 부여하여 해당 설비가 구분되도록 저장하였다. 또한, 모선번호는 PSS/E 데이터 기준으로 하며, 본 데이터를 기준데이터로 하여 다른 곳에서 중복입력이 발생하지 않도록 구성하였다. 주요 데이터로 모선, 발전기, 변압기 및 선로에 대한 정보를 저장하였다.

본 논문에서는 시장의 요구와 계통 신뢰도 유지의 두 가지 측면을 모두 만족시킬 수 있는 명확하고 합리적인 상정고장 적용 기준(경쟁시장 논리에 따른 신규 전력설비 투자 및 경제성 제고) 설정에 관한 것으로서, 우리나라 계통의 주요 고장실적 데이터, 송전설비의 노후도 및 각종 자원 등의 현황 데이터 및 날씨효과, 계절, 지역, 계통연계 등을 모두 고려하여 주요 설비별 고장 확률지수(probability index)를 산정, 고장확률(FOR) 크기에 따른 한전계통의 송전망 상정고장 적용 기준 방안이 제시 될 것이다.

표 2.2 설비이력DB 테이블(모선)

모선번호	모선명	모선종류	모선용량	모선길이	모선단면	모선재료	모선연계	모선위치	모선상태	모선비율	모선처리
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

2. 본 론

2.1 설비고장 DB 구축 및 고장확률 산정 프로그램

본 논문에서는 우리나라 570여개 변전소를 대상으로 수집된 과거 10년간의 고장실적 DB(선로 사고, 모선 사고, 발전기 사고 등), 송전설비의 노후도 및 각종 자원 등의 설비이력 DB 및 전국 76개 관측소로부터 취득된

2.1.3 기상실적 DB

본 논문에서 구축한 기상실적 데이터베이스는 날씨데이터(지점번호, 기온, 강수량, 신적설, 풍속, 상대습도, 전운량 등), 뇌전데이터(월평균 뇌전횟수) 및 기상위치 데

이터(전국 76개 관측소 데이터 및 경도/위도 좌표) 등 3개의 부분으로 구성하였다. 기상청 관측소에서 취득되는 기상실적 데이터는 지역별로 상세하고 세분화되어 있으며, 년, 월, 일, 주, 시간대별로 관측되어 전력설비별 고장확률 산정을 위해서는 필수적이다.

표 2.3 기상실적 DB 테이블

2.1.4 고장확률 산정 프로그램

고장확률 산정 프로그램의 입력은 각 설비의 설비데이터, 기상데이터 그리고 전력계통의 각 고장실적 데이터이며, 출력은 사용자의 편의를 고려하여 각 전력설비별 고장확률(FOR)을 계산하여 출력하고, 각 설비가 해당되는 관리처의 평균 고장확률, 용량별 평균 고장확률, 날씨효과를 고려한 송전선로의 1회선 및 2회선 고장확률/지형을 구분한 평균 고장확률 및 상기사항을 복합적으로 분석할 수 있는 2단계 분류별 평균 고장확률 등을 계산할 수 있도록 설계, 개발하였다. 또한, 해석결과를 그래프로 표현하는 기능도 포함한다.

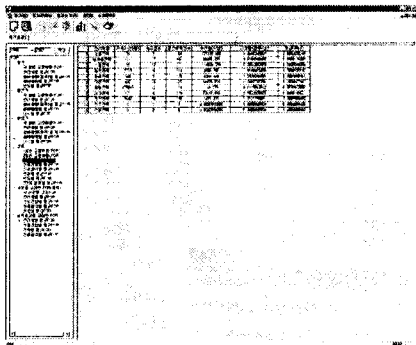


그림 2.1 관리처별 평균 고장확률(송전선)

2.2 고장확률 산정 프로그램 이용한 확률론적 분석

한전계통의 전력설비 고장확률 산정을 위해 기 구축한 국내 고장실적 데이터베이스를 활용하여 각 전력 설비별 모델식을 설정하고 고장확률(Forced Outage Rate)을 계산하였다. 계산결과 한전계통의 발전기 평균 고장확률은 0.008367(%) 0.52308(%), 송전선로는 154kV의 경우 0.0104496(%) 및 345kV의 경우 0.0015085(%), 변압기의 평균 고장확률은 0.00463(%) 및 전체 모선의 평균 고장확률은 0.0000659(%)임을 확인하였다.

표 2.4 선로전압별 평균 고장확률

Level	Average (Average)	Average (Draw)	FOR (%)
154 (kV)	0.017057714	163.2111331	0.0104496
345 (kV)	0.001797022	1841.993774	0.0015085

2.3 날씨효과를 고려한 한전계통의 고장확률 분석

송전선로에 영향을 미치는 날씨기준을 설정하기 위하여 설비고장 DB에 구축된 기상실적 DB의 각 기상요소(풍속, 전운량, 습도, 강수량, 기온, 적설량 등)의 관측값

을 이용, 고장확률과 이들 관측값의 상관관계 분석한 후 평상날씨와 가혹날씨를 구분하였다. 날씨효과를 고려하지 않은 경우의 고장이력에 대한 순위는 창원, 남서울, 제천, 부산, 수원, 서울, 대전, 광주, 대구전력관리처 순이지만, 가혹 날씨 조건일 경우에는 창원, 부산전력관리처의 고장률이 크게 나타남을 확인하였다.

표 2.5 평상날씨와 가혹날씨의 기준

날씨요소	SSE 기번
강수량	12[mm]
풍속	10[m/s]
기온	32[°C]
적설량	4[cm]

표 2.6 날씨효과를 고려한 관리처별 평균 고장확률

관리처	FOR	평상 FOR	가혹 FOR
서울	0.006896557	0.006662613	0.023163039
남서울	0.025000028	0.024034873	0.097236206
수원	0.012903233	0.012219383	0.052778148
대전	0.006467714	0.005316029	0.066460029
제천	0.018182104	0.016434624	0.098382823
광주	0.005042112	0.004800736	0.009209529
대구	0.004166685	0.003866929	0.015069427
부산	0.016163027	0.010316825	0.290934486
창원	0.11901582	0.004042601	0.425368659

2.4 송전망 고장확률크기에 따른 상정고장 적용기준

캐나다 IMO 지역의 APL(Alberta Power Ltd.) 전력회사에서 사용한 접근방법(FOR 크기에 따른 분류, 4등급)을 기반으로 한전계통의 고장실적 및 송전선로의 고장확률(FOR)을 이용하여 계산한 결과, 캐나다의 경우와 유사한 고장확률(FOR) 크기에 따른 4가지 상정고장 등급으로 분류(High, Medium, Low & Very Low)가 가능하였다.



그림 2.2 고장확률 크기에 따른 4개 등급(캐나다)

한전계통에도 캐나다 APL에서 사용한 접근방법을 기반으로 한전계통의 고장실적에 적용하여 그룹화한 결과, 한전계통에서는 아래의 그림2.3과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 표 2.7 ~ 표2.8과 같이 상위 2개 등급으로 된 선로만 상정고장 적용 방안 제시하였다.

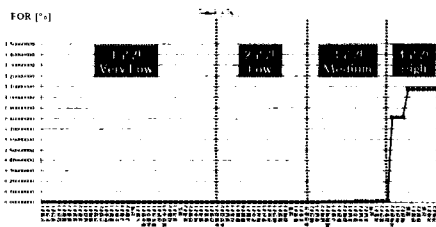


그림 2.3 한전계통의 송전선 고장확률 이용한 1회선 고장의 그룹화

표 2.7 1회선 고장확률 크기에 의한 분류

Ranking	FOR(%)
High	8.0E-01 ~ 1.07
Medium	1.1E-03 ~ 9.1E-03
Low	1.1E-04 ~ 7.4E-04
Very Low	1.9E-05 ~ 9.5E-05

표 2.8 2회선 고장확률 크기에 의한 분류

Ranking	FOR(%)
High	1.7E-02 ~ 8.2E-01
Medium	1.3E-04 ~ 5.4E-03
Low	1.9E-05 ~ 9.5E-05
Very Low	0.0E-09 이하

2.4 상정고장 적용 기준에 따른 혼잡비용 분석

2005년 부하계통을 대상으로 선로의 1회선과 2회선 고장을 적용하여, 안정운영 계통을 유지하기 위한 발전비용 산출, 계통 운영/계획에 적용 가능한 신규로 제시된 기준을 이용하여 각 부하별/수요시간대 별로 나누고, 2005년도 부하계통을 기준으로 계절(춘/하/추/동계)과 부하대/수요시간대별 운전시간을 고려하여 주요 6개 복상선로(765kV 선로 2개소와 345kV 4개소)의 상정고장을 적용한 결과, 1루트 1회선 상정고장 적용시(7조 4천억), 2회선(약 9조원) 대비, 약 1조 6천억원 정도의 혼잡비용 저감 효과를 확인하였다.

2.4.1 상정고장 적용 선로

- 765kV 송전선로
 - 신서산 - 신안성간 765kV 선로
 - 신가평 - 신태백간 765kV 선로
- 345kV 송전선로
 - 청 양 - 서서울간 345kV 선로
 - 청 윈 - 신진천간 345kV 선로
 - 신제천 - 동서울간 345kV 선로
 - 아 산 - 화 성간 345kV 선로

표 2.9 상정고장 적용기준에 따른 혼잡비용

수요 (%)	부하별운전비 (백만원/계절)			
	춘계	하계	추계	동계
100	23h	29,788		56,242
	19h			64,624
95	23h	44,501	81,131	44,401
	19h	52,547	86,677	51,969
90	23h	214,074	439,629	210,882
	19h	235,588	521,075	252,306
85	23h	483,689	426,225	479,577
	19h	557,050	544,980	644,469
80	23h	304,688	250,463	264,735
	19h	372,963	307,414	412,978
75	23h	225,378	172,480	251,088
	19h	257,362	249,831	321,240
70	23h	121,991	215,883	123,183
	19h	164,979	241,992	170,249
65 이하	23h	81,987	111,819	78,319
	19h	110,234	141,659	116,528
계	23h	1,736,279	1,791,903	1,715,962
	19h	2,043,094	2,127,396	2,286,366
	총계	3,066,814	3,355,492	3,934,496

3. 결 론

본 논문은 한전의 설비고장 DB를 이용하여 송전선로 별 고장확률(FOR)을 산정, 그 크기에 따라 4가지 등급으로 분류(High, Medium, Low & Very Low) 방법을 제안하였다. 기존의 결정론적인 방법을 이용한 상정고장 검토 기준은 단지 N-1이나 N-2의 고장에 대한 물리적인 효과만을 고려하였지만, 확률론적 접근 방법을 도입하면서 고장확률 크기에 따라 상정고장 적용 기준을 달리 적용, 확률론적 접근을 통한 경제성을 고려한 전력계통 운영이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 날씨의 영향을 고려하지 않은 경우보다 계통에서 발생 가능한 불확실성을 반영한 상정고장 적용 기준 방안은 계통 상황 및 운영 조건에 따른 명확한 상정고장 적용 기준이 될 수 있을 것이다. 다시 말해, 고장확률을 고려한 상정고장 적용 기준을 실용화 할 경우 고장확률이 낮은 선로에 대해 상정고장 기준을 완화하여 운영한다면 송전선 혼잡을 완화하여 전력거래를 더욱 원활하게 할 수 있는 길을 열어 줄 것이며, 반면 고장확률이 높은 선로의 경우 선로 설비 및 송전선로 확장 투자계획을 세워 대규모 고장 발생을 미연에 방지하고, 전력산업 구조개편 등 주변여건 변화에 대응한 합리적 적용 기준 정립으로 관련 이해 당사자간 분쟁을 최소화 할 수 있을 것이다. 또한, 본 논문에서 제시한 합리적 송전망 상정고장 적용기준을 설정할 경우 계통의 혼잡비용의 최소화를 도모할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부지원 전력산업기술개발사업에 의한 지원으로 연구된 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] 차승태, 전동훈, 김태근, 전명렬, 추진부, 김진오, 이승혁, "한전계통의 송전망 고장확률 산정을 위한 상정고장 DB 관리시스템(ezCas) 개발", 2004년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2004년 7월14일-16일, 부산해운대
- [2] C.W. Williams and Jr. PE CPQ, "Weather Normalization of Power System Reliability Indices", *IEEE*, 2003.
- [3] 전력연구원, 한양대학교 "전력계통 운영시 상정고장 기준 적용에 관한 연구", 최종보고서 2005. 05.
- [4] 배현웅, "통계학의 기초와 활용기법", 교우사, 2002
- [5] M.J. Crowder, A.C. Kimber, R.L. Smith and T.J. Sweeting, "Statistical Analysis of Reliability Data", *Chapman & Hall*, 1991.
- [6] M. E. Beehler, "Reliability centered maintenance for transmission systems", *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol.12, No. 12, April 1997
- [7] Wenyuan Li, "Incorporating aging failures in power system reliability evaluation", *IEEE Transaction on Power System*, vol.17, pp.918-923, August. 2002
- [8] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability evaluating of engineering system", *Plenum Press*, 1992
- [9] M. J. Crowder, A. C. Kimber, R. L. Smith and T. J. Sweeting, "Statistical analysis of reliability data", *Chapman and Hall*, 1991
- [10] 한국전력공사, 기초전력공학공동연구소 "송전선 혼잡처리 비용 및 송전선 이용료 설정에 관한 연구", 최종보고서 2000. 02.
- [11] 한국전력공사, 한국전기연구원 "전력계통계획 수립기준에 관한 연구", 최종보고서 2001. 08.