

날씨효과를 고려한 한전계통의 각 송전선로별 고장확률 계산

김태균*, 차승태*, 광방명*, 김진오**, 이승혁*
 *한전전력공사 전력연구원 **한양대학교 전기공학과

FOR(Forced Outage Rate) Calculation with Weather Effects for KEPCO Systems

Tae-Kyun Kim*, Seung-Tae Cha*, Bang-Myung Kwak*, Jin-O Kim**, Seung-Hyuk Lee**
 *KEPRI **Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper presents a method of incorporating weather effects in KEPCO systems reliability evaluation. The effects of adverse weather on composite power system FOR(Forced Outage Rate) increase considerably as the proportion of outages in adverse weather increases. It is therefore important to establish suitable and practical procedures for collecting adverse weather data which can be utilized in realistic KEPCO systems reliability assessment. The modeling procedure proposed in this paper also provides a realistic FOR in KEPCO systems using real historical data.

날씨와 상관계수가 높은 강수량, 적설량 및 풍속에 대하여 기준을 설정하였다.

1. 서 론

날씨효과 계산 방법을 한전계통에 적용하는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 고장실적 데이터가 매우 적기 때문에 각 설비(특히, 송전선로)에 대해 기존의 방법을 이용하여 고장확률(FOR: Forced Outage Rate)을 계산하는 것은 기존의 방법으로는 매우 어렵다. 또한 기존의 신뢰도 평가에 관한 연구에서는 정상날씨(Normal Weather)와 가혹날씨(Adverse Weather)의 기준이 명확하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 새로운 계산 방법을 위해 날씨의 기준을 설정하고, 설정된 날씨기준을 고려한 고장률 및 고장확률 계산 기법을 제안한다. 기준정립을 위한 날씨 데이터는 기상청 데이터를 이용하였고, 국내 최초로 10년(1994~2004년)간 고장실적 DB 및 고장확률 산정을 위해 개발된 DB와 연동 프로그램인 ezCas(Easy Contingency Analysis System)를 이용하여 데이터 처리를 하였다.

한전계통 송전망의 날씨효과를 고려하기 위한 각 송전선로의 고장실적은 통계적으로 유의한 정도가 아니므로, 본 논문에서는 각 관리처별로 정상날씨와 가혹날씨에 대한 송전선로의 평균 고장률 및 수리율을 계산한다. 그 이유는 날씨효과를 고려한 각 관리처의 평균 고장률 계산은 많은 고장발생빈도로 인해 날씨효과를 고려하는 것을 가능하기 때문이다. 결국 계산된 각 관리처의 평균 고장률을 이용하여 정상날씨와 가혹날씨효과를 각 송전선로의 날씨효과를 고려하지 않은 고장률의 비율로써 적용시켜 계산하는 기법을 본 논문에서 제안하는 바이다.

2. 본 론

2.1 날씨 기준정립

날씨조건을 정상(Normal)날씨와 가혹(Adverse)날씨로 나누는 기준정립 방법은 참고문헌 [1,2]에서 제안한 방법을 이용하였다. 이 날씨 기준정립 방법은 기상요소 데이터를 기준으로 고장률 그래프를 두개의 직선으로 근사화하여 오차제곱을 구하고, 최소인 지점을 찾는 것이다. 따라서 임의의 어떤 지점의 제곱오차가 가장 적게 나온다면, 그 점을 기준으로 두 부분으로 나눌 수 있다. 또한,

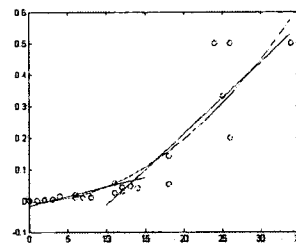


그림 1. 강수량과 고장률

표 1. 강수량에 따른 SSE

강수량[mm]	오차제곱합 (SSE)
5	0.1279
6	0.1194
7	0.1154
8	0.1118
9	0.1095
10	0.1078
11	0.1063
12	0.1061
13	0.1055
14	0.1077
15	0.1099

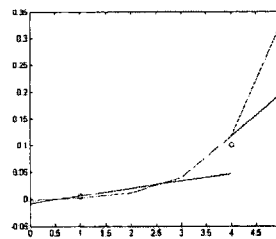


그림 2. 적설량과 고장률

표 2. 적설량에 따른 SSE

적설량[Cm]	오차제곱합 (SSE)
1	0.0470
2	0.0387
3	0.0295
4	0.0221
5	0.0469

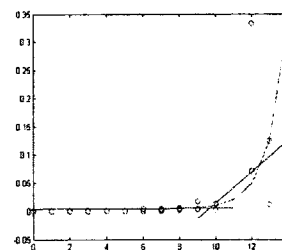


그림 3. 풍속과 고장률

표 3. 풍속에 따른 SSE

풍속[m/s]	오차제곱합 (SSE)
1	0.1007
2	0.0981
3	0.0952
4	0.0922
5	0.0892
6	0.0862
7	0.0834
8	0.0812
9	0.0796
10	0.0787
11	0.0800
12	0.1191

그림 1와 표 1에서 강수량에 따른 SSE는 점차 감소하다가 13[mm]를 기준으로 다시 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 13[mm]를 기준으로 그 이하를 정상날씨라고 하고 이상을 가혹날씨라고 정의할 수 있다. 또한, 그림 2, 3에서와 같이 적설량은 4[cm]를 기준으로 풍속에서는

10[m/s]를 기준으로 평상날씨와 가혹날씨를 분류할 수 있다.

표 4. 평상날씨와 가혹날씨의 기준

기상요소	임의관리처에 적용된 SSI 기법
강수량(mm)	13
풍속(m/s)	10
기온 (°C)	32
적설량(Cm)	4

각 기상요소에 대한 날씨기준을 정리하면 표 4와 같다.

2.2 고장확률(FOR)을 계산하기 위한 확률 모형

전력계통 구성요소의 고장률은 이산적인 상태에서 연속적인 작용이나 큰 집합으로 설명 될 수 있게 제한한 연속적인 날씨의 연속적인 작용이다. IEEE 기준에는 그림 3.26과 같이 세 가지 등급(평상-Normal, 가혹-Adverse, 중요한 폭풍재난-Major Storm Disaster)으로 날씨 환경을 세분한다. 일반적으로 두 상태(평상, 가혹날씨)가 고려되고, 세 번째 상태인 주요한 폭풍재난은 주요 계통의 외란의 고려시를 대비해 따로 준비된다. 위의 IEEE 기준의 3가지 날씨기준에서 평상날씨(Normal Weather)와 가혹날씨(Adverse Weather) 두 가지 날씨 상태로 구분하는 것이 일반적이다.

그러나 이러한 날씨효과를 고려한 계산방법을 실제 한전계통에 적용하는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 각 송전선로의 고장실적이 거의 1건 혹은 2건 정도로 유의하지 않기 때문에 각 선로 하나하나에 대해 고장확률(FOR)을 계산하는 방법을 적용하는 것은 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 새로운 계산 기법을 제안한다.

[Step I] 각 관리처별 평상 및 가혹날씨 조건의 평균 고장률(λ) 계산

우선 각 관리처별로 평상날씨와 가혹날씨에 대한 송전선로의 평균 고장률(λ) 및 수리율(μ)을 계산한다. 이렇게 하는 이유는 날씨효과를 고려한 각 관리처의 평균 고장률 계산은 많은 건수로 인해 가능하기 때문이다. 이렇게 계산된 각 관리처의 평균 고장률을 이용하여 평상날씨와 가혹날씨효과를 각 송전선로에 대해 비율로써 적용시켜 계산하게 된다.

날씨효과를 고려한 각 관리처별 평균 고장률하기 위해서는 식 (1)을 이용하여 평상날씨조건과 가혹한 날씨 조건의 고장률을 계산하게 된다. 물론 수리율은 가혹한 날씨 조건일 때나 평상날씨 조건경우나 동일하다.

$$\lambda_A = \frac{\lambda \cdot F}{U} \quad (1)$$

$$\lambda_V = \frac{\lambda(1-F)}{1-U}$$

여기서, F : 전체 고장건수와 가혹날씨 조건하의 고장건수의 비

U : 각 설비가 전체 가동 시간 중 가혹한 날씨 조건에 해당하는 시간의 비율

λ : 각 설비의 고장률

λ_A : 가혹날씨 조건에서의 각 설비의 고장률

λ_V : 평상날씨 조건에서의 각 설비의 고장률

[Step II] 계산된 각 관리처 내의 속하는 각 송전선로의 날씨효과를 고려한 고장률 계산

위의 식 (1)을 이용하여 각 관리처의 평균 평상 및 평균 가혹날씨 조건의 고장률을 계산한 후 고장률의 비율을 이용한 식 (2)를 이용하여 각 송전선로의 날씨효과를 고려한 고장률을 계산한다.

$$\lambda_{i,A} = \lambda_i \cdot \frac{\lambda_{m,A}}{\lambda_m} \quad (3.7)$$

$$\lambda_{i,V} = \lambda_i \cdot \frac{\lambda_{m,V}}{\lambda_m}$$

여기서, $\lambda_{i,A}$: 임의의 m 관리처에 속해 있는 i 라는 선로의 가혹날씨 조건의 고장률

$\lambda_{i,V}$: 임의의 m 관리처에 속해 있는 i 라는 선로의 평상날씨 조건의 고장률

λ_i : 임의의 i 라는 선로의 날씨조건을 고려하지 않았을 경우의 고장률

λ_m : 날씨효과를 고려하지 않은 임의의 m 관리처에 속해 있는 선로의 평균 고장률

$\lambda_{m,A}, \lambda_{m,V}$: 각각 가혹 및 평상날씨 효과를 고려한 임의의 m 관리처에 속해 있는 선로의 평균 고장률

[Step III] 각 송전선로의 고장확률(FOR) 계산

식 (3)과 (4)를 이용하여 각 송전선로의 고장확률(FOR)을 계산한다.

$$FOR_{iA} = \frac{\lambda_{iA}}{\lambda_{iA} + \mu} \quad (3)$$

$$FOR_{iV} = \frac{\lambda_{iV}}{\lambda_{iV} + \mu} \quad (4)$$

여기서, FOR_{iA} : 임의의 i 라는 선로의 고장확률(FOR)

FOR_{iV} : 임의의 i 라는 선로의 고장확률(FOR)

μ : 수리율

위에서 언급한 날씨효과를 고려한 송전선로의 고장확률 계산을 위한 확률모형을 이용하여 다음 절에서는 실제 우리나라의 날씨데이터와 한전계통 송전선로의 고장실적 데이터를 이용하여 사례연구를 해보았다.

2.3 날씨효과를 고려한 한전계통 송전선로의 고장확률(FOR)

표 5에는 정상(Normal)상태와 가혹(Adverse)한 날씨상태에서의 관리처별 평균 고장률을 보기 쉽게 정리하였다.

표 5에서 주목할 점은 날씨효과를 고려하지 않았을 경우의 고장률 순위는 C, NS, J, B, SW, S, D, K, T 전력관리처 순이었지만, 가혹날씨 조건일 경우에는 여름철 태풍의 영향을 많이 받는, 즉 날씨영향을 많이 받는 C 및 B 전력관리처의 고장률이 크게 나타났다. 또한 송전선로가 산악 지형을 많이 통과하는 J 전력관리처는 날씨영향에 상관없이 늘 높은 고장률을 유지하는 것을 알 수 있다.

표 6과 7은 식 (1)~(3)을 이용하여 날씨효과를 고려한 한전계통 송전선로의 고장확률(FOR) 계산의 일례로 S 관리처에 속해 있는 송전선로의 고장확률(FOR)을 보여준다.

표 5. 날씨효과를 고려한 관리처별 송전선로 평균 고장률

	평균 고장률	고정률(Normal)	고정률(Adverse)
A 관리처	0.006896557	0.006662613	0.023163039
B 관리처	0.025000028	0.024034873	0.097236206
C 관리처	0.012903233	0.012219383	0.052778148
D 관리처	0.006467714	0.005316029	0.066460029
E 관리처	0.018182104	0.016434624	0.098382823
F 관리처	0.005042112	0.004800736	0.009209529
G 관리처	0.004166685	0.003866929	0.015069427
H 관리처	0.016163027	0.010316825	0.290934486
I 관리처	0.11901582	0.004042601	0.425368659

표 6. 날씨효과를 고려한 A 관리처 내 송전선로 고장확률

No	From Bus	To Bus	line	FOR(Average)	FOR(Adverse)	FOR(Normal)
1	1410	1470	은평#1	0.0000001903	0.0000021475	0.0000011030
2	1520	1525	노원#1	0.0000005708	0.0000064411	0.0000033053
3	1540	1570	쌍도	0.0000007614	0.0000085925	0.0000044133
4	1545	1590	동두천#1	0.0000005708	0.0000064411	0.0000033053
5	1825	1945	분선#1	0.0000026632	0.0000300537	0.0000156371

표 7. 날씨효과를 고려한 G 관리처 내 송전선로 고장확률

No	From Bus	To Bus	line	FOR(Average)	FOR(Adverse)	FOR(Normal)
1	10165	10180	거제#1	0.0107304030	0.3350446845	0.0000010503
2	10170	10180	거제#2	0.0107304030	0.3350446845	0.0000010503
3	10385	10395	남해#2	0.0000190263	0.0008830531	0.0000000318
4	10710	10720	신원	0.0107153733	0.3347291015	0.0000010528
5	10710	10745	서미산#2	0.0080833333	0.2746005595	0.0000007291
6	10710	10765	미산#1	0.0080833333	0.2746005595	0.0000007291
7	10710	10765	미산#2	0.0080833333	0.2746005595	0.0000007291
8	10840	10880	함월	0.0107123288	0.3346651393	0.0000010525
9	10880	10890	함양#1	0.0107123288	0.3346651393	0.0000010525
10	10880	10890	함양#2	0.0107123288	0.3346651393	0.0000010525
11	10150	10700	삼천포#1	0.0000009509	0.0000441704	0.0000000221
12	10150	10800	함해#1	0.0025146495	0.1048299516	0.0000002441

그림 4와 5는 각각 S와 C 관리처의 가혹 및 정상날씨의 고장률을 나타내었다.

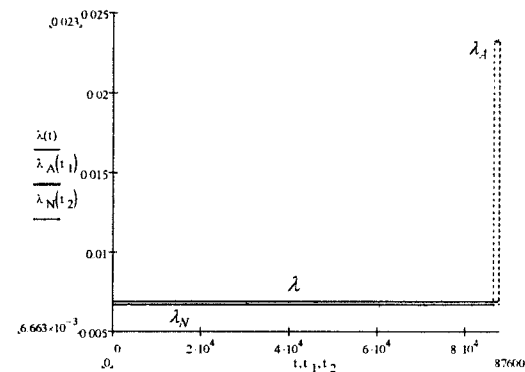


그림 4. 날씨효과를 고려한 S 관리처 송전선로 평균고장률

그림 4와 5에서 가혹날씨 조건에서의 고장률(λ_A)은 높은 값을 갖는 반면 지속시간이 매우 짧음을 알 수 있다. 그러나 정상날씨 조건에서의 고장률(λ_N)은 낮은 고장률 값과 매우 긴 지속시간을 갖고 있기 때문에 가혹날씨에서의 고장률과 정상날씨에서의 고장률의 평균인 날씨효과를 고려하지 않은 고장률(λ)은 정상날씨 조건하의 고장률 부근의 값을 갖게 된다.

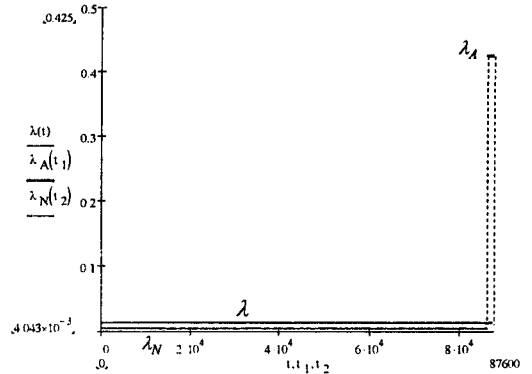


그림 5. 날씨효과를 고려한 T 관리처 송전선로 평균고장률

3. 결 론

전력계통망은 다양하게 변화하는 날씨상태에 노출된다. 날씨 그 자체는 어떠한 문제를 발생시키지는 않으나 송전선로 같은 외부로 노출된 설비의 고장률은 날씨의 함수로 표현된다는 것을 우리는 경험적으로 알고 있다. 일부 날씨 조건에서 계통 구성요소의 고장률은 확장한 정상날씨 조건에서 보다 수십 배 커질 수 있다. 이러한 이유로 송전망 신뢰도 평가시에 날씨효과를 고려하지 않아 나타날 수 있는 상황은 전력계통에 악영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 논문에서는 날씨효과를 고려한 송전선로의 고장확률(FOR)을 계산할 경우 날씨데이터를 이용한 정상날씨 조건과 가혹날씨 조건을 분류하는 기준을 제시하고, 실제 고장실적 데이터가 통계적으로 유의하지 않은 경우에 정립된 날씨 기준을 이용할 수 있는 계산방법을 제안하였다. 또한 한전계통 송전망의 실제 고장실적 데이터와 우리나라의 실 기상데이터를 이용하여 각 관리처 팔할 내 송전선로의 고장확률을 평가하였다.

앞으로 본 논문에서 제안한 방법과 계산결과는 우리나라 전력계통 운영 및 계획 측면에서 기준으로 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 전력연구원의 연구지원(기금-119J03PJ03)에 의해 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 이승혁, 신동석, 김진오, 추진부, 전동훈, "송전선로 고장실적과 날씨의 통계분석을 통한 날씨기준 정립", 대한전기학회 추계학술대회, 2004. 11.
- [2] 신동석, 이승혁, 김진오, 김규호, 추진부, 전동훈, "송전선로 고장실적과 날씨의 통계적 상관관계 분석", 대한전기학회 하계학술대회, 2004. 7.
- [3] J. McDaniel, C. Williams and A. Vestal, "Lightning and Distribution Reliability-A Comparison of Three Utilities", *IEEE*, 2003.
- [4] C.W. Williams and Jr. PE CPQ, "Weather Normalization of Power System Reliability Indices", *IEEE*, 2003.
- [5] 배현웅, "통계학의 기초와 활용기법", 교우사, 2002
- [6] M.J. Crowder, A.C. Kimber, R.L. Smith and T.J. Sweeting, "Statistical Analysis of Reliability Data", *Chapman & Hall*, 1991.
- [7] Gujarati, Damodar N, "Basic econometrics", *McGraw-Hill*, 2003.
- [8] Beals, Ralph E., "Statistics for Economists", *Rand McNally*, 1972.