

## 기상상태를 고려한 고장확률과 리스크 기반의 안정도 평가에 관한 연구

이덕완\*, 최홍석\*\*, 한상욱\*, 이병준\*  
고려대학교\*, 한국 전력거래소\*\*

### A Study on risk-based stability considering weather condition

Deokwan Lee\*, Hongseok Choi\*\*, Sangwook Han\*, Byongjun Lee\*,  
Korea University\*, Korea Power Exchange\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 지역별로 다르게 나타날 수 있는 기상상태별 사고확률을 고려한 선로사고에 따른 전압안정도의 위반정도를 시험계통을 통해 계산해보고 그 결과를 전통적으로 사용되어져 오던 결정론적 방법과 비교해 봄을 통해 고장확률을 고려한 확률론적 안정도 평가의 영향을 살펴보고자 한다.

#### 1. 서 론

차츰 경제의 규모가 커지고 전력계통의 크기 또한 그에 맞게 커져가고 복잡해져 가면서 부하가 집중되어있는 부하중심지와 전원간의 송전문제가 계통운영에 있어서 가장 중요시 되고 있다. 국내의 경우에 수도권 최대전력은 전국의 39%이고 그에 반해 발전력은 전국의 21%에 불과하기 때문에 이런 수요와 공급의 불균형을 해결하기 위한 비수도권에서 수도권으로의 장거리 송전이 불가피한 상황이며 이러한 장거리 송전선로의 사고는 계통의 불안정의 가장 큰 요인이 된다. 현재 용통전력의 한계량의 설정은 수도권으로 전력을 전송하는 6개 북상선로에서의 F-V해석을 통해 결정되어진다. 그렇기 때문에 사고의 영향이 가장 심각한 선로를 기준으로 해서 송전량을 결정하고 그에 따라 계통을 운영하게 된다. 하지만 송전선로의 고장 확률이 선로의 용량과 기상 조건 등 여러 가지 조건에 따라 달라지기 때문에 경제적인 면이나 계통 운영의 효율성을 고려해보았을 때 사고의 영향이 가장 심각한 선로를 기준으로만 계통을 운영하는 것은 비효율적인 운영이 될 수 있다.

본 논문에서는 PSS/E에서 제공하는 sample case 계통을 이용하여 전통적으로 사용하고 있는 결정론적인 전압안정도 한계량 결정방법과 선로의 기상조건별 사고확률을 고려한 확률론적 전압안정도 한계량 결정 방법을 비교하고 그에 따른 용통한계 결정 선로의 선정에 대한 영향을 살펴보고자 한다..

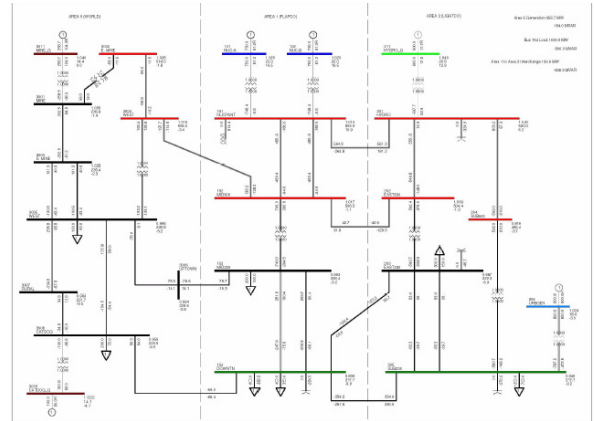
#### 2. 본 론

##### 2.1 결정론적 평가

전력계통의 안전도를 평가하기 위해 이미 많은 나라에서는 전통적으로 N-1혹은 N-2사고를 기준으로 한 결정론적인 평가방법을 사용해오았으며 우리나라 역시 6개 북상선로를 대상으로 각 선로의 사고가 발생했을 때의 F-V커브를 통해 각각의 용통전력 여유분(Margin)을 보고 그 양이 가장 작은 사고를 가장 심각한 사고로 보는 결정론적 평가방법을 이용하여 전압안정도를 평가를 하고 있다. 본 논문에서는 PSS/E에서 주어진 sample case계통을 이용하여 모의해보았다.

**<표 1> 각 선로별 용통전력 여유분**

Case	선로 모선번호	용통전력량 (MW)	용통전력 감소량(MW)
pre-cont	-	2205.2	-
1	152 - 3004	1788.5	416.7
2	153 - 3006	2162.5	42.7
3	154 - 3008	1810.8	394.4
4	151 - 201	1561.1	644.1
5	152 - 202	2103.6	101.6
6	154 - 203	2179.9	25.3
7	154 - 205	2177.7	27.5



**<그림 1> PSS/E 6기 23모선 계통도**

주어진 3개의 Area를 연결하는 7개의 선로의 상정사고시 그 7개 선로의 조류량이 얼마나 변화하는지를 관찰하였다. 주어진 세 개의 지역 가운데 1번지역의 발전기들이 원자력 발전기로서 가장 단가가 낮은 발전을 하기 때문에 그 발전량을 늘리고 나머지 두 지역의 발전량을 감소시켜 보았으며 위와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 결정론적인 방법으로 보았을 때 용통전력량이 가장 많이 줄어든 4번 Case의 경우가 가장 심각한 상정사고로 선정될 수 있다.

##### 2.2 확률론적 평가

###### 2.2.1 전력계통에서의 리스크

전력계통에 있어서의 리스크(risk)는 이벤트 혹은 사고 등으로 발생한 물리적인 영향과 사회적, 혹은 간접적인 효과로 인한 영향(Impact과 그러한 이벤트 혹은 사고가 발생할 경우의 수 즉 확률(Probability)의 조합으로 정의할 수 있다. IEEE Standard에서는 이러한 리스크를 “정상인 아닌 이벤트와 고장의 확률과 시스템의 구성요소, 운영자, 사용자 혹은 환경에 대한 사고의 결과의 조합”이라고 정의하고 있다. 이벤트 혹은 이러한 리스크를 통해서 결정론적인 방법에 비해서 각각의 이벤트 혹은 사고에 대해 더욱 다양한 조건의 확률을 반영할 수 있게 된다. 위의 리스크에 대한 정의를 바탕으로 리스크를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m R_{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (Im_{ij} \times P_{ij})$$

i : i번째 이벤트 혹은 고장 (i=1,2,3,...)  
j : 사고의 유형 (ex : 1-저전압, 2-전압안정도, 3-과전류..등)

위에서 본 것과 같이 리스크는 i라는 사고의 j의 영향이 발생시의 그 확률과 영향의 조합의 합으로 나타낼 수가 있다.

###### 2.2.2 기상조건에 따른 사고 확률

각 사고의 확률을 정하는데 있어 본 논문에서는 사고선로의 지역에 따른 확률의 차이를 반영하고자 한다. 각각의 지역마다 그 지역의 지형과 기후의 특성상 같은 조건에서도 다른 사고확률을 가지게 될 수 있다. 기상조건에 따른 사고확률을 반영한다면 각 지역의 기상 상태에 따라 계통운영 계획시 한계량을 결정하는데 영향을 줄 수 있게 된다. 위에서 말한 바와 같이 확률을 구하기 위해서는 고장통계 Data에서 각

지역별 이벤트 혹은 사고의 수를 판단하는데 있어 각 사고 선로별 공장에 따른 지역의 비율을 반영해야 한다. 기상상태를 고려한 사고확률을 조건부 확률로 나타내면 다음과 같다.

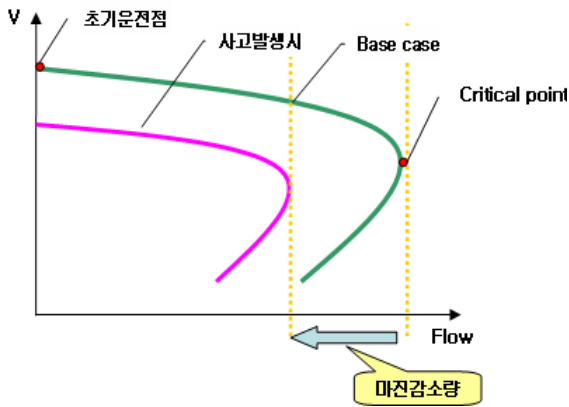
$$P_{weather} = P_{E_i} \times P(weather | E_i)$$

$P_{E_i}$  : i의 이벤트 혹은 사고가 일어날 확률  
 $P(weather|E_i)$  : i의 이벤트 혹은 사고중 각 날씨의 확률

위의 식을 통해 각 지역별 각 날씨에 따른 선로의 사고확률을 추출해 낼 수 있게 되며 이를 통해 각 지역별 날씨의 변화에 따른 선로사고의 확률 또한 변화하게 된다.

### 2.2.3 전압안정도의 영향(Impact)

위에서 언급한 바와 같이 각 사고에 따라 발생하는 물리적인 영향, 그로 인해 발생하는 경제적인 파급효과, 사회적인 영향, 환경에 미치는 영향 등 모든 영향들을 그 사고에 따른 Impact로 정의할 수 있고 그 각각의 영향에 확률을 조합한 것들의 합을 리스크로 정의할 수 있다. 여기서는 전통적인 결정론적 평가방법에서 바라보는 용통전력 여유분에 대한 사고의 영향을 반영하고 위의 표 1에서 보여지는 용통전력 여유분의 사고 이전 값으로부터의 감소량을 상정고장에 따른 전압안정도의 영향(Impact)으로 정한다.



〈그림 1〉 용통전력 여유분의 감소

### 2.2.4 Case study

각 지역별 사고 확률을 구하는데 있어서 현실적인 수치를 대입하기 위해서 한국전력거래소의 “보호장치 고장통계”와 “전기고장통계”를 분석하여 우리나라 계통의 송전선로 고장률을 산출하였다.

〈표 2〉 국내 송전선로 고장확률

Voltage	Frequency (per100km.a)	MeanDuration (hr)	Unavailability (%)
154kV	0.30527375	89.4445645	0.311702
345kV	0.17036475	128.752865	0.250399
765kV	0.070934	0.1833333	0.000891

기상분포 확률에 대한 통계의 경우 765kV선로는 사고 수가 너무 적어서 확률을 일반화 할 수 없었다.

〈표 3〉 선로고장별 기상분포 확률(%)

Voltage	맑음	흐림	비	눈
154kV	11.4683	4.7619	71.5476	12.2222
345kV	17.4812	5.2632	71.9925	5.2632

산출된 결과를 바탕으로 지역별로 다른 기상상태를 가정하고 그 지역에 따른 기상별 사고확률이 다르다고 가정했을 경우 리스크를 다음과 같이 계산해 보았다.

$$R = Im_i \times P(E_i) \times P(weather | E_i)$$

각 지역을 연결하는 선로의 사고확률의 경우에는 선로별 공장에 따른 지역의 비율을 반영하여 계산하여야 하지만 모의하고 있는 계통의 경우 그에 맞는 데이터가 없기 때문에 각각의 선로가 50%의 비율로 연결되

어 있다고 가정하였다.

〈표 4〉 기상별 선로의 리스크

Case	선로 모션번호	Risk			
		case1 (맑음)	case2 (비)	case3 (눈)	기상조건 미고려
1	152 - 3004	0.1345	0.8221	0.0463	0.0104
2	153 - 3006	0.0112	0.1034	0.0138	0.0013
3	154 - 3008	0.1036	0.9553	0.1275	0.0123
4	151 - 201	0.2804	1.1547	0.0934	0.0161
5	152 - 202	0.0442	0.1821	0.0147	0.0025
6	154 - 203	0.0089	0.0556	0.0106	0.0008
7	154 - 205	0.0097	0.0605	0.0115	0.0009

위의 모의 결과에서 지역별 기상상태에 따라서 각각의 선로의 고장확률이 달라지게 되고 그에 따라 각 사고의 리스크의 크기 또한 순서가 바뀌게 되어지는 것을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 각각 지역별로 기상상태에 따른 고장확률이 다르다는 조건 하에서 선로의 고장확률을 고려함을 통해 이전의 결정론적인 평가 방법으로 결정되었던 사고가 아닌 다른 사고가 안정도를 저하시키는 가장 심각한 사고가 될 수 있음을 볼 수 있었다. 위에서 살펴본 지역의 기상상태에 따라 변하는 선로의 고장확률 이외에도 다른 여러 가지 상황에 따른 확률들을 고려함에 따라 실제 그 상황마다 다른 선로의 심각한 정도를 파악할 수 있을 것이고 다양한 조건의 반영을 통해 계통을 운영하는데 있어서 더 안정적일 수 있을 것이다. 하지만 확률론적인 평가방법을 위해서는 먼저 신뢰할 수 있는 확률의 데이터가 먼저 있어야 하는 조건이 필수적이다. 따라서 먼저 확률론적인 고려 요소들을 선정한 다음에 그에 맞는 데이터를 얻기 위한 체계적인 통계 시스템들이 우선시 되어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Per Anders Akersten "Risk assessment methods" workshop II, PMAPS2006, Stockholm, Sweden- June 11-15, 2006
- [2] IEEE Dictionary The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms, Seventh Edition risk (1) ~ (5)
- [3] James D. McCalley, Vijay Vittal, Sr. Baj L. Agrawal, "A Risk-based security index for determining operating limits in stability-limited electric power electric power systems." IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, NO. 3, August 1997 page 1210~1219
- [4] C. N. Ning, C. A. Hsieh, T. Y. Hsiao, and C. N. Lu, "Two application examples of probabilistic risk assessment in power system operations" PMAPS2006, Stockholm, Sweden- June 11-15, 2006