

# 제천지역 전압변동에 따른 전자계에 대한 퍼지척도 가능성 평가

김 상 철

세명대학교 안전공학과  
(2005. 2. 3. 접수 / 2005. 5. 10. 채택)

## Assessment of Fuzzy Measure Possibility for the Electromagnetic Field according to Voltage Fluctuation of the Jechon Area

Sang Chul Kim

Department of Safety Engineering, Semyung University  
(Received February 3, 2005 / Accepted May 10, 2005)

**Abstract** : This paper presents assessment of fuzzy measure possibility for the electromagnetic field according to voltage fluctuation of the Jechon Area. To cope with substantial electromagnetic analysis, the safety assessment were analyzed the double 154kV T/L, 345kV T/L, Jechon-Ichon, Jechon-Youngju, respectively. As the results of case study, in case of 345kV T/L, the electric field value was 11.4927kV/m, magnetic field value was 0.4622G at the point about 7m away from the line in severest case. In assessment of fuzzy measure possibility for the electromagnetic field, this paper use probability of fuzzy and measure of fuzziness technique.

**Key Words** : electromagnetic field, fuzzy measure possibility, probability, fuzziness

### 1. 서 론

국내의 전력계통을 살펴보면 154·345[kV] 초고압 송전선로가 전력전송의 근간을 이루고 있으며 이들 송전선로에서 발생하는 전자계(Electromagnetic Field)에 실제로 많은 사람들이 노출되어 있는 실정이다. 특히 초고압 송전선로 주위에 거주하거나 작업하는 사람들의 건강에 미치는 영향은 현대 산업사회가 미치는 주요 영향 중에서 가장 관심있는 대상이라 할 수 있다<sup>1)</sup>.

전자계가 인체에 미치는 영향이 있다는 주장은 다음과 같은 두가지 가정에 근거한다. 첫째, 신경계의 기능은 전기화학적 변화(이온의 이동 등)등에 지배되므로 전자계는 신경계와 관계가 있을지도 모른다는 가정이며 둘째, 전자계에 의하여 스트레스 응답 및 심장 혈관기능 변화, 혈관 화학 변화 등 일반적인 생리학적 변화가 있을지도 모른다는 가정이다. 이러한 가정은 첫째, 인체에 영향을 주는 메커니즘이 상당히 복잡하고 둘째, 전자계에의 노

출과 그 영향과의 관계가 노출량과 같은 한 개의 변수에 의해서만 결정되는 것이 아니고 여러 가지의 매개변수(심장, 뇌, 신경, 세포 등)와 관련되어 있기 때문이라고 할 수 있다<sup>2)</sup>.

따라서 본 연구에 있어서는 이와 같이 복잡한 인체 메커니즘에 대한 올바른 안전성 평가 및 안전기준을 제시하기 위하여 제천지역을 선택하였으며, 제천-이천간 154kV T/L 2회선, 제천-영주간 345kV T/L 2회선을 대상으로 하였다. 그리고 이 구간에 대한 분석은 각 계통간 고장시 발생하는 전류, 전압 변동값에 따른 전자계값을 분석하여 실질적인 평가를 하고자 하였다.

실계통을 대상으로 154[kV]와 345[kV] 송전선으로 구분하여 사례연구를 실시하고 계통의 상태를 정상상태 및 고장상태로 분류하여 분석하였다<sup>1)</sup>. 특히 사례연구 송전선에 대하여는 제천-이천간, 제천-영주간 송전선로 구성요소를 실질적인 데이터를 적용하여 전자계 값을 최종적으로 도출하였다.

이러한 사례연구 결과를 토대로 인체안전 평가를 실시하고 안전기준치를 퍼지 언어변수를 이용

하여 적합한 퍼지 변형자 함수를 생성하고 이 함수를 이용하여 퍼지 집합의 소속함수값을 구한 다음 퍼지사건 집합에 따른 퍼지확률 및 퍼지척도를 적용하여  $\alpha$ -수준의 사건확률을 구하고 이값에 대한 퍼지정도의 척도를 이용하여 인체위험 가능성 평가를 하였다.

## 2. 실 계통 전자계 해석

### 2.1. 제천-영주간 345[kV] 2회선

먼저 345[kV]급 적용에 있어서는 제천 - 영주간 345[kV] 2회선을 적용하였으며, 적용된 철탑은 구간별로 차이가 많이 나기 때문에 A형 표준형의 철탑을 기준으로 하였다. 표준형의 철탑구간은 350[m]이며 최저높이는 일반평지 설계치인 18[m]로 하였다. 또한 이 구간에 있어서 전자계 해석은 정상상태와 고장상태로 구분하여 실시하였다<sup>1)</sup>.

#### 2.1.1. 정상상태

제천 - 영주간 정상상태하에서의 전압·전류변동률은 Table 1과 같으며 2003년도 월별 변동값 중 최고값을 기준으로 분석하였다. 이러한 이유는 최대값으로 분석결과가 나오면 그 이하에 대한 안전도에 관한 값을 대략적으로 구할 수 있기 때문이다.

#### 2.1.2. 고장상태

‘제천-영주 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값을 분석해보면 다음과 같다. 전압의 경우에 있어서는 변동값이 최저 338.5[kV]에서 최고 362.5[kV]까지 변화하고 있으며, 전류값은 최저 846.3[A]에서 최고 1650.5[A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다.

### 2.2. 제천 - 이천간 154[kV] 2회선

154[kV]급 적용에 있어서는 제천 - 이천간 154[kV] 2회선을 적용하였으며, 적용된 철탑은 구간별로 차이가 많이 나기 때문에 표준형의 철탑을 설정하였으며 A형 타입의 철탑을 기준으로 하였다. 표준형의 철탑구간은 300[m]이며 최저높이는 일반 평지 설계치인 16[m]로 하였다<sup>1)</sup>.

#### 2.2.1. 정상상태

제천-이천간 월별 변동값은 Table 2와 같으며 분석에 있어서는 345[kV]와 동일하게 수행하였다.

#### 2.2.2. 고장상태

‘제천-이천 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값을 분석해보면 다음과 같다. 전압의 경우에 있어서는 변동값이 최저 159.6[kV]에서 최고 160.5[kV]까지 변화하고 있으며, 전류값은 최저 159.5[A]에서 최고 199.3[A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다.

## 3. 퍼지정성자를 이용한 안전평가

### 3.1. 퍼지 정성자(Fuzzy qualifier)

quite, very, mostly 등의 퍼지 정성자는 주어진 술어의 의미를 정성적으로 변형시켜 준다. 예를 들면 very hazardous라고 하면 기존의 hazardous의 개념을 수정하여 새로운 의미를 나타낸다. 마찬가지로 우리가 그동안 많이 사용하던 의미인 true라는 용어에도 퍼지 정성자를 이용하여 의미를 변화시킬수 있다. 본 연구에서는 퍼지 정성자를 붙여 소속함수의 값을 정의하고자 하였다<sup>3,4)</sup>.

Table 1. The fluctuation of value according to month on Jechon-Youngju

단위: kV

구분 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전압	351.9	352.8	353.3	362.5	356.1	356.8	338.5	355.4	356.2	358.1	355.4	355.4
전류	937.5	984.4	1015.6	846.3	1170	1216.3	1650.5	1139.7	1179.4	1292.6	1139.7	1139.7

Table 2. The fluctuation of value according to month on Jechon-Ichon

단위: A

구분 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전압	160.0	159.8	160.0	160.5	159.5	159.8	159.7	159.7	159.6	159.7	159.5	159.7
전류	168.4	170.8	171.0	159.5	168.1	172	181.8	190	199.3	184	212	198.7

Table 3. The membership function of fuzzy set for electric field value

단위 : %

변수	전계값	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	hazardous		.0000	.0045	.0082	.0148	.0266	.0474	.0832	.1419	.2315	.3543
very hazardous		.0000	.0000	.0001	.0002	.0007	.0022	.0069	.0201	.0536	.1256	.2500
변수	전계값	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21이상
	hazardous		.6457	.7685	.8581	.9168	.9526	.9734	.9852	.9918	.9955	1.0
very hazardous		.4169	.5906	.7364	.8406	.9074	.9475	.9707	.9837	.9910	1.0	1.0

Table 4. The membership function of fuzzy set for magnetic field value

단위 : %

용어	자계값	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	hazardous		0.0	.0028	.0031	.0034	.0038	.0042	.0047	.0052	.0058	.0065
very hazardous		0.0	.000008	.000009	.000012	.000015	.000018	.000022	.000028	.000034	.000042	.000053
용어	자계값	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12이상
	hazardous		.0210	.0595	.1571	.3543	.6177	.8264	.9334	.9763	1.0	1.0
very hazardous		.0004	.0035	.0247	.1256	.3816	.6829	.8712	.9532	1.0	1.0	1.0

3.1.1. 전계 안전평가

언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 집합이 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 Table 3과 같다. Table 3은 전계 값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 퍼지 언어변수 hazardous와 very hazardous로 구분하여 작성한 것이다<sup>4)</sup>.

3.1.2. 자계 안전평가

언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 집합이 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 Table 4와 같다<sup>4)</sup>.

4. 퍼지확률 및 퍼지척도

4.1. 퍼지확률(Fuzzy probability)

제천-영주간 345[kV], 제천-이천간 154[kV]에서 구한 최대 전압·전류데이터를 이용하여 전자계값을 구한 후 이것에 대한 소속함수를 hazardous라 정하고 이 사건을 퍼지사건이라고 정의하면 이때 이 퍼지사건은 표본공간내에 식 (1)과 같이 주어진다.

$$hazardous = \{(x, \mu_{hazardous}(x) \mid x \in S\} \quad (1)$$

여기서, x : electric field- value

이 사건 hazardous의  $\alpha$ -수준사건은 식 (2)와 같이 보통집합으로 나타낼 수 있다.

$$hazardous_{\alpha} = \{x \mid \mu_{hazardous}(x) \geq \alpha\} \quad (2)$$

이때 hazardous <sub>$\alpha$</sub> 는 '상호배타적이고 hazardous <sub>$\alpha$</sub> 의 확률은 각 사건의 확률을 합한 것이다. 이럴 경우  $\alpha$ -수준사건의 확률은 '퍼지사건 hazardous의 확률이 P(hazardous <sub>$\alpha$</sub> )일 가능성이  $\alpha$ 이다'로 나타낼 수 있다.  $\alpha$ 의 변화에 따라서 퍼지사건의 확률 P(hazardous)는 여러 경우가 생기게 되며 식 (3)과 같이 표현된다<sup>5)</sup>.

$$P(hazardous) = \{(P(hazardous_{\alpha}), \alpha) \mid \alpha \in [0, 1]\} \quad (3)$$

식 (3)의  $\alpha$ -수준사건들의 확률은 식 (4)와 같이 된다.

$$P(\mu_{hazardous} \alpha_i) = \sum_{i=1}^n P_n(\text{Electric field value}) \quad (4)$$

4.2. 퍼지정도의 척도(Measure of fuzziness)

퍼지집합으로 나타난 불확실성의 정도를 퍼지정도라 하고 이 퍼지정도를 측정하는 함수를 퍼지정도 척도라 한다. 가능성 척도로 가장 많이 이용되

고 있는 Shannon 엔트로피는 모든 원소의 확률합도 1이 되어야 하는 제약이 있으므로 본 논문에서는 이런 제약이 불필요한 피지침합을 이용하였으며, 피지침합  $\mu_A$ 의 피지침도를 측정할 수 있는 척도  $f(\text{hazardous})$ 를 식 (5)와 같이 정리하였다.

$$f(\text{hazardous}) = \sum_{x \in X} -[\mu_{\text{hazardous}}(x) \log_2 \mu_{\text{hazardous}}(x) + 1 - \mu_{\text{hazardous}}(x)] \log_2 \{1 - \mu_{\text{hazardous}}(x)\} \quad (5)$$

## 4. 사례 연구

### 4.1. 개요

사례연구는 345[kV]와 154[kV] 송전선을 대상으로 하였으며, 대상 계통으로는 제천-영주간 345[kV] 2회선과 제천-이천간 154[kV] 2회선계통을 선정하고, 이러한 실제계를 이용하여 계통의 상태를 크게 정상상태<sup>6-9)</sup>와 고장상태<sup>10-13)</sup>로 분류하여 전자계해석을 수행하였다. 해석결과서 얻어진 전계, 자계의 최종값을 근거로 피지침도의 척도 이론을 도입하여 인체 위험 가능성평가를 하였다.

### 4.2. 사례 연구 결과

#### 4.2.1. 정상상태

345[kV] 3상 2회선, 916[A]인 송전선 및 154[kV] 3상 2회선, 143[A]인 송전선을 대상으로 수행하였다. 전계 및 자계에 대한 계산은 일반적인 전자계 해석 방법을 이용하였다. 사례 연구 결과 345[kV]는 철탁으로부터 7[m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.2629[G], 7[m] 지점에서 전계의 최대값은 11.1349[kV/m]를 나타내었다. 154[kV]는 철탁으로부터 2[m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.0341[G], 4[m] 지점에서 전계의 최대값은 2.5948[kV/m]를 나타내었다.

#### 4.2.2. 고장상태

계통선로를 345[kV] 3상 2회선, 154[kV] 3상 2회선으로 구분하여 사례 연구를 실시하였고 두 경우 모두 정상배열을 이용하였다. 먼저 345[kV] 3상 2회선, 916[A]인 송전선을 대상으로 연구하였다. 제천-영주간 345[kV] 2회선에 대하여 ‘제영 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값을 분석해보면 전압의 경우 최저값이 338.5[kV], 최고값이 362.5[kV]까지 변화하고 있었으며, 전류값은

최저 846.3[A]에서 최고 1650.5[A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다.

사례 연구 결과 345[kV]는 철탁으로부터 7[m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.4622[G], 7[m] 지점에서 전계의 최대값은 11.4937[kV/m]를 나타내었다.

또한 제천-이천간 154[kV] 2회선에 대하여 ‘제천-이천 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값은 전압의 경우 최저값이 159.6[kV]이고, 최고값이 160.5[kV]이다. 전류의 경우는 최저값이 159.5[A]이고, 최고값이 199.3[A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다.

사례 연구 결과 154[kV]는 철탁으로부터 2[m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.0396[G], 4[m] 지점에서 전계의 최대값은 2.6046[kV/m]를 나타내었다. 이 결과는 전계 및 자계의 경우 154[kV]에 있어서는 정상상태와 고장상태가 거의 변화하지 않음을 보여주고 있다. 아마 이것은 전압의 변동이 거의 없고 전류의 변화도 크게 나타나지 않기 때문인 것으로 사료된다.

Table 5. The result of electromagnetic value

철탁으로부터 거리[m]	전계값 [kV/m]	자계값 [G]	철탁으로부터 거리 [m]	전계값 [kV/m]	자계값 [G]
0	2.9936	.2187	31	.6881	.0425
1	3.5027	.2191	32	.6651	.0404
2	4.7244	.2228	33	.6426	.0384
3	6.2312	.2297	34	.6207	.0367
4	7.7833	.3386	35	.5994	.0351
5	9.2075	.3480	36	.5787	.0336
6	10.8359	.4550	37	.5587	.0323
7	11.4937	.4622	38	.5394	.0310
8	11.3524	.4512	39	.5207	.0299
9	9.9376	.3386	40	.5027	.0288
10	8.5678	.3212	41	.4853	.0279
11	6.9588	.3016	42	.4686	.0270
12	5.7511	.2919	43	.4526	.0261
13	4.4517	.2733	44	.4372	.0254
14	3.3594	.2564	45	.4224	.0246
15	2.7891	.1913	46	.4082	.0240
16	2.2687	.1880	47	.3946	.0233
17	1.7819	.1762	48	.3815	.0228
18	1.5241	.1659	49	.3690	.0222
19	1.3243	.1469	50	.3571	.0217
20	1.1959	.1289	51	.3456	.0212
21	1.1084	.1018	52	.3346	.0208
22	.9565	.0956	53	.3241	.0203
23	.9102	.0801	54	.3140	.0199
24	.8731	.0752	55	.3003	.0195
25	.8414	.0608	56	.2950	.0192
26	.8128	.0569	57	.2861	.0188
27	.7861	.0534	58	.2776	.0185
28	.7606	.0502	59	.2695	.0182
29	.7358	.0474	60	.2616	.0179
30	.7117	.0448			

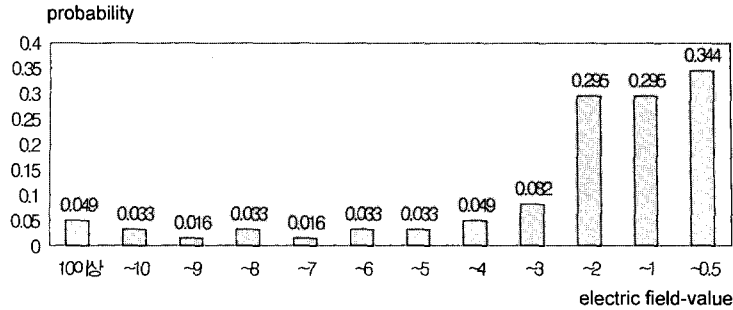


Fig. 1. The sample of electric field value

### 4.3. 인체위험 가능성 평가

인체 위험 가능성평가는 최대값으로 나타난 345 [kV] 고장상태의 전자계값을 가지고 분석하고자 하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

또한 Table 5를 이용하여 퍼지확률을 구하기 위한 표본공간을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

퍼지사건은 위에서 제시한 전계값 퍼지소속함수의 변수인 hazardous의 값을 본 논문의 퍼지사건으로 할 경우 이것을 집합으로 나타내면 다음과 같다.

$$\mu_{hazardous} = \{(10,0.5) (9,0.3543) (8,0.2315) (7,0.1419) (6,0.0832) (5,0.0474) (4,0.0266) (3,0.0148) (2,0.0082) (1,0.0045) (0,0.000)\}$$

또한 식 (4)를 이용하여 퍼지사건  $\mu_{hazardous}$ 의 확률  $P(\mu_{hazardous})$ 가  $P(\mu_{hazardous} \alpha)$ 가 될 가능성은  $\alpha$ 가 된다. 즉 퍼지사건  $\mu_{hazardous}$ 의 퍼지확률은 다음과 같다.

$$P(\mu_{hazardous} \alpha) = \{(1,0.5) (0.934,1) (0.639,2) (0.344,3) (0.262,4) (0.213,5) (0.180,6) (0.147,7) (0.131,8) (0.098,9) (0.082,10) (0.049,11)\}$$

따라서 측정된 전계값의 최대치인 11.4937 [kV/m]는 퍼지언어변수를 이용하여 표현할 경우 다소 위험한 수준 이지만 발생될 가능성은 4.9%로 아주 낮은 가능성을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

또한 퍼지정도의 척도를 구하기 위하여 식 (5)를 이용하여 앞서 구한 퍼지확률값을 적용시키면 아래와 같다.

$$f(hazardous) = -[(1 \log_2 1 + 0) + (0 \log_2 0) + (0.934 \log_2 0.934) + (0.066 \log_2 0.066) + \dots + (0.049 \log_2 0.049) + (0.951 \log_2 0.951)] = 6.777$$

이 값을 이용하여 정규화된 척도를 구하면

$$\hat{f}(hazardous) = f(hazardous) / |X| = \frac{6.777}{12} = 0.564$$

로 나타낸다.

### 5. 결론

사례연구를 통하여 제시된 전계값에 대한 퍼지확률 및 퍼지척도를 이용한 해석결과 및 인체위험 가능성 평가의 타당성과 효용성을 검토하였다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고장상태의 경우 345[kV] 송전선의 전계강도값 11.4937[kV/m]에 대하여 퍼지확률 및 퍼지척도 방법을 적용한 결과 4.9%의 가능성을 나타내고 있다.
- 2) 퍼지정도의 척도를 구하기 위하여 퍼지확률값을 적용시킨 결과 6.777로 나타났으며 이 값을 이용하여 정규화 된 척도를 구하면 0.564로 나타났다.
- 3) 이 값이 의미하는 것은 정규화된 척도가 1일 때 가장 불확실성이 높으므로 0.564의 값은 불확실성이 낮으며 앞서 제시한 대로 위험하지 않을 가능성이 크다는 것을 의미한다.

### 참고문헌

- 1) 김상철, “계통상태를 고려한 ELF 전자계해석 및 인체안전평가”, 박사학위논문, 충북대학교, 1995.
- 2) D.W. Zipse, “Health Effects of Extremely Low - Frequency (50 and 60-Hz) Electric and Magnetic Fields,” IEEE Trans. Indus. App., Vol. 29, No. 2, MARCH/APRIL, 1993.

- 3) H.J. Zimmermann, 1991, "Fuzzy Set theory and Its Application", Kluwer Academic Publishers.
- 4) 김상철 외 2, "계통상태를 고려한 ELF 전자계의 인체안전평가를 위한 피지언어변수 접근법", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 70~79, 1997.
- 5) Klir, G. J., and Folger, T. A., "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", Prentice Hall: New Jersey, 1988.
- 6) T. M. McCauley et al., "EHV and UHV electrostatic effect: Simplified design calculations and preventive measures," IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-94, No. 6, Nov./Dec. 1975.
- 7) T. M. McCauley, "EHV and UHV Electrostatic Effect : Simplified Design Calculations and Preventive Measures", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-93, No. 5, Sept. 1974.
- 8) Kun-Mu Chen et al., "Quantification of interaction between ELF-LF electric fields and human bodies", IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-33, No. 8, Aug. 1986.
- 9) R. G. Olsen et al., "On the Exact, Carson and Image Theories for Wires at or Above the Earth's Interface", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-102, No. 45, April. 1983.
- 10) G. D. Irisarri, A. M. Sasson, "An automatic contingency selection method for on-line security analysis", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-100, April, 1981.
- 11) T. A. Mikolinnas, B. F. Wollenberg, "An advanced contingency selection algorithm", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-100, No. 2, February, 1981.
- 12) K. T. Khu, M. G. Lauly, D. W. Bowen, "A fast linearization method to evaluate the effect of circuit contingencies upon system load bus voltage", IEEE Trans. on Vol. PAS-101, No. 10, October, 1982.
- 13) F. Albuyeh, A. Bose, B. Heath, "Reactive power consideration in automatic contingency selection", IEEE Trans. on Vol. PAS-103, January, 1984.