

# 제천시역 전력부하변동에 따른 인체안전 판단 방법에 대한 연구

김상철<sup>†</sup> · 김두현<sup>\*</sup>

세명대학교 산업안전공학과 · <sup>\*</sup>충북대학교 안전공학과  
(2000. 10. 6. 접수 / 2000. 12. 14. 채택)

## A study for Decision Method of Human Body Safety according to Power Load Fluctuation of the Chechon Area

Sang-Chul Kim<sup>†</sup> · Doo-Hyun Kim<sup>\*</sup>

Department of Industrial Safety Engineering, Semyung University

<sup>\*</sup>Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received October 6, 2000 / Accepted December 14, 2000)

**Abstract :** This paper presents a study for decision method of human body safety according to power load fluctuation of the Chechon area. To cope with substantial electromagnetics analysis, the safety assessments were analyzed the double 154 [kV] T/L, 345 [kV] T/L, Chechon-Ichon, Chechon-Youngju, respectively. As the results of case study, in case of 345 [kV] T/L, the electric field value was 11.4927 [kV/m], magnetic field value was 0.4622 [G] at the point about 7 [m] away from the line in severest case. The results showed that the membership of a proposition fuzzy '11.4937 [kV/m] is hazardous' is 0.7063 for the severest case in case of 345 [kV] T/L. As the analytic results using the fuzzy qualifier term, the membership in case of very false is 0.0862 and fairly false is 0.5419, respectively.

**Key Words :** electromagnetic analysis, fuzzy qualifier term

### 1. 서 론

국내의 전력계통을 살펴보면 154 · 345 [kV] 초고압 송전선로가 전력전송의 근간을 이루고 있으며 이들 송전선로에서 발생되는 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>

전계가 인체에 미치는 영향이 있다는 주장은 다음과 같은 두가지 가정에 근거한다. 첫째, 신경계의 기능은 전기화학적 변화(이온의 이동 등)등에 지배되므로 전계는 신경계와 관계가 있을지도 모른다는 가정이며 둘째, 전계에 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 노출과 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 제천-이천간 154 [kV] T/L 2회선, 제천-영주간 345 [kV] T/L 2회선 고장시 발생하는 전류, 전압 변동에 따른 전자계값을 분석하였다. 또한 퍼지언어 변수를 이용하여 제천시역 부하변동에 따른 전자계 해석 및 인체 안전평가를 하고 안전기준을 제시하고자 하였다.

이를 위하여 실제계통을 대상으로 154 [kV]와 345 [kV] 송전선으로 구분하여 사례연구를 실시하였으며, 계통의 상태를 정상상태 및 고장상태로 분류하여 분석하였다.<sup>1)</sup> 특히 사례연구 송전선에 대하여

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
sckim@venus.semyung.ac.kr

는 제천-이천간, 제천-영주간 송전선로 구성요소를 실계통 데이터를 적용하여 결과 값을 도출하였으며, 또한 제천지역의 부하변동에 따른 변화추이를 적용하여 전자계 값을 분석하였다.

이러한 사례연구 결과를 토대로 인체안전 평가를 실시하고 안전기준치를 퍼지 언어변수를 이용하여 적합한 퍼지 변형자 함수를 생성하고 이 함수를 이용하여 퍼지 집합의 소속함수값을 구한 다음 소속함수에 의한 안전기준치를 설정하는 것이 적합한지에 대하여 퍼지 정성자 용어<sup>3)</sup>를 이용 분석하여 실질적으로 인간이 위험을 느끼는 기준치를 제시하였다.

## 2. 실 계통 전자계 해석

### 2.1. 345 [kV]

먼저 345 [kV]급 적용에 있어서는 제천 - 영주간 345 [kV] 2회선을 적용하였으며, 적용된 첩탑은 경간이 일정하지 않기 때문에 A형 표준형의 첩탑을 기준으로 하였다. 표준형의 첩탑경간은 350 [m]이며 최저높이는 일반평지 설계치인 18 [m]로 하였다. 또한 이 구간에 있어서 전자계 해석은 정상상태와 고장상태로 구분하여 실시하였다.

#### 2.1.1. 정상상태

제천 - 영주간 정상상태하에서의 전압 · 전류 변동률은 표 1과 같으며 1999년도 월별 변동값 중 최고값을 기준으로 분석하였다. 이러한 이유는 가장 큰 값으로 분석결과가 나오면 그 이하에 대한 추정치를 대략적으로 구할 수 있기 때문이다.

### 2.1.2. 고장상태

‘제영 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압 · 전류 변동값을 분석해보면 다음과 같다. 전압의 경우에 있어서는 변동값이 최저 338 [kV]에서 최고 362 [kV]까지 변화하고 있으며, 전류값은 최저 845.3 [A]에서 최고 1649.5 [A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다.

본 연구에 있어서는 전자계가 인체에 미치는 영향을 조사하기 때문에 전압 · 전류변동치가 가장 큰 값을 가지고 분석하였다.

## 2.2. 제천 - 이천간 154 [Kv] 2회선

154 [kV]급 적용에 있어서는 제천 - 이천간 154 [kV] 2회선을 적용하였으며, 적용된 첩탑은 구간별로 차이가 많이 나기 때문에 표준형의 첩탑을 설정하였으며 A형 타입의 첩탑을 기준으로 하였다. 표준형의 첩탑구간은 300 [m]이며 최저높이는 일반평지 설계치인 16 [m]로 하였다. 또한 이 구간에 있어서 전자계 해석은 정상상태와 고장상태로 구분하여 실시하였다.

### 2.2.1. 정상상태

제천-이천간 월별 변동값은 표 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 159.1 [kV]에서 최고 160 [kV]까지 변화하고 있으며, 전류값은

Table 1. The fluctuation of value according to month on Chechon-Youngju [345kV]

구분 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전압 [kV]	351.4	352.25	352.8	362	355.5	356.3	338	354.9	355.7	357.6	354.9	354.9
전류 [A]	936.5	983.4	1014.6	845.3	1169.3	1215.3	1649.5	1138.7	1178.4	1291.6	1138.7	1138.7

Table 2. The fluctuation of value according to month on chechon-ichon [154 kV]

구분 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
전압 [kV]	159.5	159.3	159.5	160	159.5	159.3	159.2	159.2	159.1	159.2	159	159.2
전류 [A]	167.9	170.3	170.5	159.5	167.6	171	181.3	190	198.8	184	212	198.7

최저 159.5 [A]에서 최고 198.8 [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. 퍼지언어변수에서 정의된 것과 같이 very hazardous라고 하면 기존의 hazardous의 개념을 수정하여 새로운 의미를 나타낸다. 마찬가지로 우리가 그동안 많이 사용하던 의미인 true라는 용어에도 퍼지 정성자를 이용하여 의미를 변화시킬 수 있다. 본 연구에서는 퍼지 변형자를 적용할 때 퍼지 정성자를 붙여 소속함수의 값을 정의하고자 하였다.<sup>3)</sup>

##### 3.1.1. 전계 안전평가

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

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

변수 \ 전계값	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
hazardous	.0000	.0045	.0082	.0148	.0266	.0474	.0832	.1419	.2315	.3543	.5000
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	21 이상
hazardous	.6457	.7685	.8581	.9168	.9526	.9734	.9852	.9918	.9955	1.0	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

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	.0072
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	12 이상
hazardous	.0210	.0595	.1571	.3543	.6177	.8264	.9334	.9763	1.0	1.0	1.0
very hazardous	.0004	.0035	.0247	.1256	.3816	.6829	.8712	.9532	1.0	1.0	1.0

#### 3.1.2. 자계안전평가

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

#### 3.1.3. 퍼지정성자

그러나 소속함수의 퍼지 집합에서 제시한 이 값은 퍼지 정성자 용어인 fairly, very 등에 의해서 true의 정도가 달라지게 된다. 다음에 제시된 표 5는 True에 정성자가 붙어 "전계·자계값 is hazardous is very false"라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 나타내고 있다.

## 4. 사례 연구 및 고찰

### 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 실계통을 이용하여 계통의 상태를 크게 정상상태<sup>5~8)</sup>와 고장상태<sup>9~12)</sup>로 분류하였다. 이 외에도 부하변동 등 인체 안전에 영향을 줄

Table 5. Truth table of the membership function according to fuzzy qualifier

소속함수	용어	0.0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
true		.0	.05	.1	.15	.2	.25	.3	.35	.4	.45	.5
very true		.0	.0025	.01	.0225	.04	.0625	.09	.1225	.16	.2025	.25
fairly true		.0	.2236	.3162	.3873	.4472	.5	.5477	.5916	.6325	.6708	.7071
false		1.0	.95	.9	.85	.8	.75	.7	.65	.6	.55	.5
very false		1.0	.9025	.81	.7225	.64	.5625	.49	.4225	.36	.3025	.25
fairly false		1.0	.9747	.9487	.9219	.8944	.8660	.8367	.8062	.7746	.7416	.7071
소속함수	용어	.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0	
true		.55	.6	.65	.7	.75	.8	.85	.9	.95	1.0	
very true		.3025	.36	.4225	.49	.5625	.64	.7225	.81	.9025	1.0	
fairly true		.7416	.7746	.8062	.8367	.8660	.8944	.9219	.9487	.9746	1.0	
false		.45	.4	.35	.3	.25	.2	.15	.1	.05	0.0	
very false		.2025	.16	.1225	.9	.0625	.4	.0225	.1	.0025	0.0	
fairly false		.6708	.6325	.5916	.5477	.5	.4472	.3873	.3162	.2236	0.0	

수 있는 여러 가지 변수를 고려하여 전자계해석을 수행하였다. 해석결과시 얻어진 전계, 자계의 최고 값을 근거로 퍼지 언어변수 이론을 도입하여 인체 안전평가를 하였다.

## 4.2. 대상계통 및 입력자료

### 4.2.1. 345 [kV]

사례 연구 대상으로는 그림 1과 같이 실계통을 선정하였으며 사례 연구시 적용된 345 [kV] 송전철탄

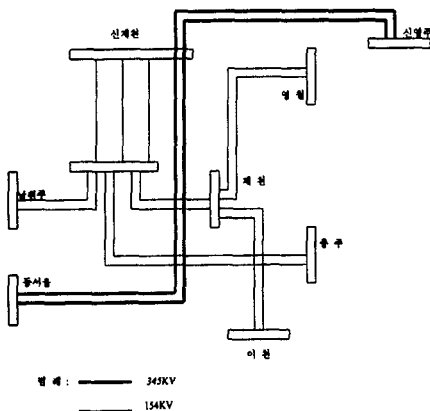


Fig. 1. Schematic diagram of SinChechon power system

DIMEN	A[mm]
A	13400
B	13400
C	16600
D	14600
E	1600
F	2800
a	2000
b	0
c	2000
d	6300
e	2300
f	5400

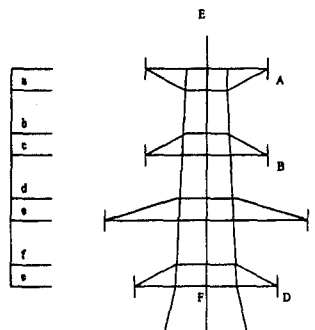


Fig. 2. 345 [kV] transmission line model

탑의 모델은 그림 2에 제시한 바와 같다. 송전선 한 상(相)당 4개의 복도체 방식으로 구성되어 있고 높이는 일반평지 설계치인 18 [m]이다. 이 외에 전자계 해석 프로그램 수행시 적용한 철탄구성 인자들의 상세한 값은 표 6에 제시되어 있다.

### 4.2.2. 154 [kV]

154 [kV] 송전선에 대한 사례 연구시에도 345 [kV]에서 이용한 실계통을 그대로 이용하였다. 그림 3은 154 [kV] 송전철탄의 모델을 나타낸 것이며 154 [kV] 송전선에 대한 전자계 해석 프로그램 수

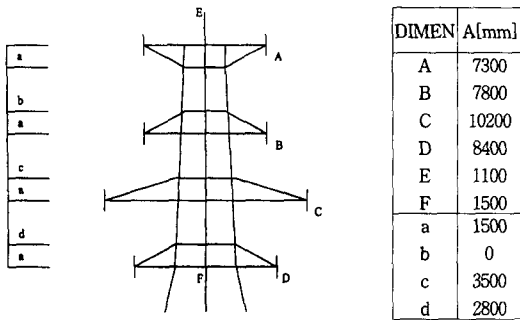


Fig. 3. 154 [kV] transmission line model

Table 6. Parameters of 345/154 [kV] line configuration

parameter	345 kV / 2회선	154 kV / 2회선
공칭전압	345 kV	154 kV
공칭선로전류	916 A	143 A
도체수	4	2
소도체 반지름	1.283 cm	0.973 cm
도체간의 거리	40 cm	40 cm
선간 거리	7.3 m	4.2 m
	8.3 m	5.1 m
	6.7 m	3.9 m
송전선 높이	18 m	16 m
	25.7 m	19.3 m
	34.3 m	24.3 m

시 적용한 철탑 구성 인자들은 표 6과 같다.

### 4.3. 사례 연구 결과

ELF 전자계 해석에 대한 시스템의 효용성을 보이기 위하여 계통의 정상상태와 고장상태 등 여러 가지 경우에 대한 사례 연구가 수행되었는데 그 중에서 대표적인 사례 연구결과를 제시하면 다음과 같다.

#### 4.3.1. 정상상태

##### (1) 345 [kV]

345 [kV] 3상 2회선, 916[A]인 송전선을 대상으로 연구하였다. 전계 및 자계에 대한 계산은 표 6의 데이터를 이용하여 수행하였다.

전계 및 자계해석은 일반적인 전자계해석 방법을 이용하였다. 철탑으로부터 60 [m] 떨어진 지점까지 1 [m] 간격으로 분할해서 결과치를 산출하였는데 이 결과를 나타낸 그래프가 각각 그림 4, 5이다. 그래프에서 X축은 송전선(Transmission Line : TL)

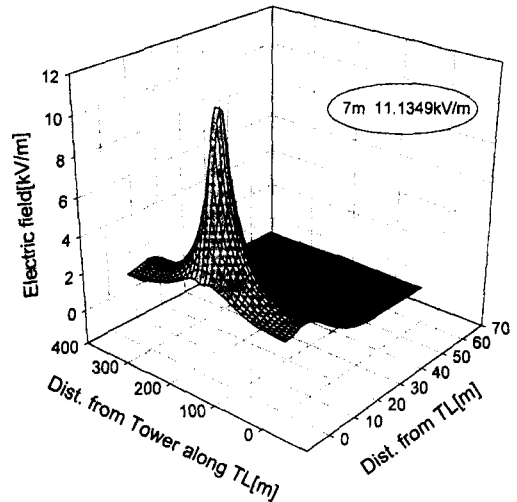


Fig. 4. Electric field intensity at ground level under the 345 [kV] transmission line

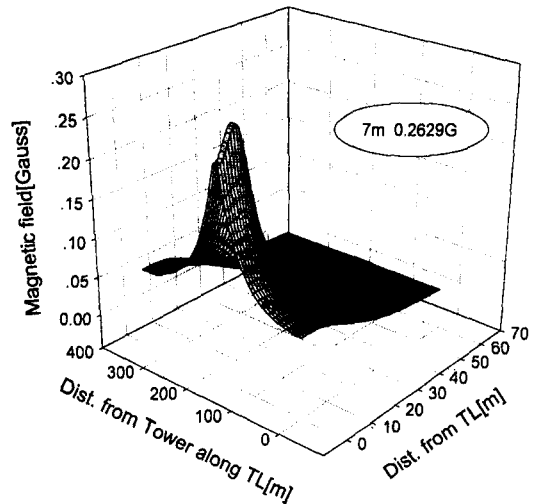


Fig. 5. Magnetic field intensity at ground level under the 345 [kV] transmission line

으로부터 수직방향으로의 거리를 나타내며, Y축은 철탑으로부터 송전선이 진행하는 방향의 거리를 나타낸다.

사례 연구 결과 345 [kV] 송전선에서 송전선의 높이가 지면으로부터 18 [m]일 경우, 철탑으로부터 7 [m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.2629 [G], 7 [m] 지점에서 전계의 최대값은 11.1349 [kV/m]를 나타내었다.

그러나 이러한 수치들이 인체에 결정적으로 유해한 것은 아니다. 전계강도가 3 [kV/m]일 경우 인

체가 전류의 흐름을 가볍게 인지할 수 있으며 유도 전류를 확실히 느낄 수 있는 전기장도는 6 [kV/m] 이상이라는 일본의 전자계 규제안<sup>1)</sup>을 감안할 때, 인체 안전에 영향을 주는 변수인 송전선로의 철탑 높이가 선정시 이에 대한 충분한 고려를 하여야 할 것으로 판단된다. 또한 자계값에 관하여는 미국 생물학 연구소 보고<sup>2)</sup>에 의하면 140 [mG]에 이르기까지 인체에 해롭지 않다고 하나 사례 연구 결과에 의하면 철탑으로부터 7 [m] 떨어진 지점에서의 최대 자계값은 약 263 [mG]나 된다.

(2) 154 [kV]

154 [kV] 3상 2회선, 143 [A]인 송전선을 대상으로 연구하였다. 전기 및 자계에 대한 계산은 표 6의 데이터를 이용하여 수행하였다. 전기 및 자계 해석은 일반적인 전자계해석 방법을 이용하였다. 철탑으로부터 60 [m] 떨어진 지점까지 1 [m] 간격으로 분할해서 결과치를 산출하였다. 사례 연구 결과 154 [kV] 송전선에서 송전선의 높이가 지면으로부터 16 [m]일 경우, 철탑으로부터 2 [m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.0341 [G], 4 [m] 지점에서 전기계의 최대값은 2.5948 [kV/m]를 나타내었다.

4.3.3. 고장상태

계통선로를 345 [kV] 3상 2회선, 154 [kV] 3상 2회선으로 구분하여 사례 연구를 실시하였고 두 경우 모두 정상배열을 이용하였다.

(1) 345 [kV]

345 [kV] 3상 2회선, 916[A]인 송전선을 대상으로 연구하였다. 전기 및 자계에 대한 계산은 표 6의 데이터를 이용하여 수행하였다. 제천-영주간 345 [kV] 2회선에 대하여 ‘제영 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값을 분석해보면 전압의 경우 최저값이 338 [kV], 최고값이 362 [kV]까지 변화하고 있었으며, 전류값은 최저 845.3 [A]에서 최고 1649.5 [A]로 전압값보다 변동폭이 크게 나타나고 있다. 본 연구에 있어서는 전압·전류변동치가 가장 큰 값을 가지고 분석한 결과가 그림 6, 7이다. 또한 고장시 전기 및 자계해석은 정상상태에서 행한 프로그램을 이용하여 분석하였다.

사례 연구 결과 345 [kV] 송전선에서 송전선의 높이가 지면으로부터 18 [m]일 경우, 철탑으로부터 7 [m] 떨어진 지점에서 자계의 최대값은 0.4622 [G],

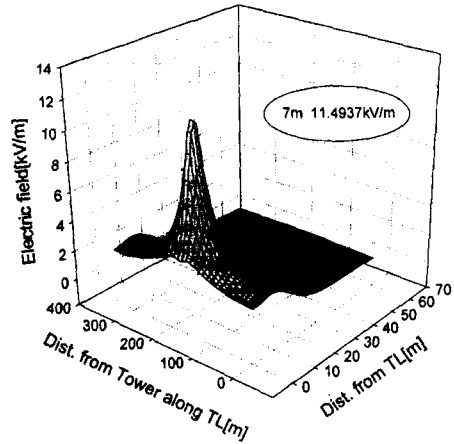


Fig. 6. Electric field intensity at ground level under the 345 [kV] transmission line

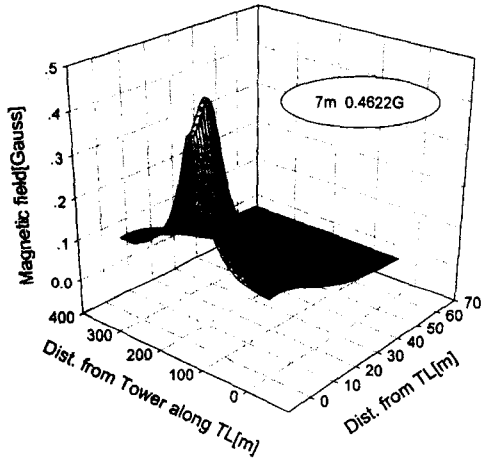


Fig. 7. Magnetic field intensity at ground level under the 345 [kV] transmission line

7 [m] 지점에서 전기계의 최대값은 11.4937 [kV/m]를 나타내었다.

그러나 여기서 특이한 점은 전기계의 값은 변화가 거의 없으나 자계의 경우에 있어서는 약 두배의 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 이 값 역시 인체에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

(2) 154 [kV]

제천-이천간 154 [kV] 2회선에 대하여 ‘제천-이천 T/L 2회선 정지’ 고장이 일어난 경우 전압·전류 변동값은 전압의 경우 최저값이 159.1 [kV]이고, 최고값이 160 [kV]이다. 전류의 경우는 최저 값이 159.5 [A]이고, 최고값이 198.8 [A]로 전압값보다 변

동폭이 크게 나타나고 있다.

154 [kV] 고장상태에 있어서도 전계 및 자계에 대한 계산은 표 6의 데이터를 이용하여 수행하였으며 전계 및 자계해석은 345 [kV]와 동일하게 수행하였다.

사례 연구 결과 154 [kV] 송전선에서 송전선의 높이가 지면으로부터 16 [m]일 경우, 첩탑으로부터 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.

#### 4.3.3. 부하변동에 따른 전자계해석

표 7에서 나타난 수치는 한달 평균치를 나타내는 것이다. 실제로는 부하의 변동은 하루에도 그 변화량이 심하다고 할 수 있으나, 본 연구에 있어서는 하루의 변화량을 고려하지 않았다. 그 이유는 월별 평균치로 전자계를 해석해도 하루변화량으로 전자계를 해석한 것과 별 차이가 나타나지 않기 때문이다.

먼저 345 [kV]의 부하변동을 보면 4월에 530 [MW]로 최저치를 나타내고 있으며, 7월에 960 [MW]로 최고치를 나타내고 있다. 4월의 부하평균치를 가지고 전자계를 해석하면 전압은 362 [kV]이고 전류는 1014.6 [A]로 나타난다. 전계최고치는 7 [m] 지점에서 11.4937 [kV/m], 자계최고치는 7 [m] 지점에서 0.2366 [G]를 나타내고 있다. 9월의 경우에 있어서는 전압은 355.7 [kV]이고 전류는 1178.4 [A]로 나타난다. 전계최고치는 7 [m] 지점에서 11.2937 [kV/m], 자계최고치는 7 [m] 지점에서 0.3302 [G]를 나타내고 있다. 4월과 9월에 나타난 전계와 자계값을 비교해보면 0.2 [kV/m], 0.0936 [G]의 차이가 나고 있다.

또한 154 [kV]의 부하변동을 보면 4월에 44.2 [MW]로 최저치를 나타내고 있으며, 11월에 58.5 [MW]로 최고치를 나타내고 있다. 4월의 부하평균치를 가

지고 전자계를 해석하면 전압은 160 [kV]이고 전류는 159.5 [A]로 나타난다. 전계최고치는 4 [m] 지점에서 2.6046 [kV/m], 자계최고치는 2 [m] 지점에서 0.316 [G]를 나타내고 있다. 11월의 경우에 있어서는 전압은 159 [kV]이고 전류는 212 [A]로 나타난다. 전계최고치는 4 [m] 지점에서 2.5883 [kV/m], 자계최고치는 2 [m] 지점에서 0.424 [G]를 나타내고 있다. 4월과 11월에 나타난 전계와 자계값을 비교해보면 0.016 [kV/m], 1.108 [G]의 차이가 나고 있다.

#### 4.4. 인체안전평가

본 연구에서는 사례 연구를 통하여 나타난 전자계해석 결과를 이용하여 인체 안전을 평가하기 위한 방법으로 퍼지 정성자를 이용해서 안전기준치를 제시하였다.

##### 4.4.1. ELF 전계의 평가

###### (1) 345 [kV]

**case 1 :** "11.4937 [kV/m] is hazardous"

위와 같은 명제가 있고 언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 표 3과 같다. 표 3은 전계 값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 퍼지 언어변수 hazardous와 very hazardous로 구분하여 작성한 것이다.

**case 2 :** "11.4937 [kV/m] is hazardous is very false"

위와 같은 명제가 있고 언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 집합이 very false라는 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합 F'의 소속함수는 표 3에 나타난 바와 같이 "11.4937 [kV/m] is hazardous"의 진리 값은  $\mu_{\text{hazardous}}(11.4937) = 0.7063$ 가 된다.

그러나 소속함수의 퍼지 집합에서 제시한 이 값은 퍼지 정성자 용어인 fairly, very 등에 의해서 true의 정도가 달라지게 된다. 다음에 제시된 표 6은 true에 정성자가 붙어 "11.4937 [kV/m] is hazardous is very false"라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 나타내고 있다.

Table 7. The value of load fluctuation

단위 ; MW, 1999년도

구분 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
154kV	46.4	47.0	47.1	44.2	46.3	47.2	50.0	52.4	54.8	50.8	58.5	54.8
345kV	570	600	620	530	720	750	960	700	726	800	700	700

표 4에서 알 수 있는 바와 같이  $\mu_{\text{hazardous}}(11.4937) = 0.7063$ 을 나타내며 ‘매우 위험하다’는 진리치  $\mu_{\text{very hazardous}}(11.4937)$ 는 0.4988을 나타낸다. 또한 명제에 제시된 ‘very false’ 값으로는 0.0862의 진리치를 나타내며, ‘fairly false’ 값으로는 0.5419를 나타낸다. 따라서 전자계해석 사례연구시 가장 높은 값으로 나타난 11.4937 [kV/m]에 대한 위험도가 다소 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 WHO나 각국에서 제시한 안전기준치가 20 [kV/m] 이상에서 일반인의 접근을 제한하는 위험한 값으로 설정하였기 때문에 본 인체안전평가에 있어서도 이를 적용한 결과 상대적으로 위험도가 높게 나타나고 있으나 크게 문제될 만큼의 수치는 아닌 것으로 사료된다.

(2) 154 [kV]

154 [kV] 송전선의 계통에 고장이 발생시, 전계값이 최고치인 2.6046 [kV/m]에 대하여도 345 [kV] 송전선의 계통에 고장이 발생한 경우의 case 1에서와 같은 명제를 이용해서 사례연구를 실시하였다. 그 결과 진리 값은  $\mu_{\text{hazardous}}(2.6046) = 0.0122$ 이고,  $\mu_{\text{very hazardous}}(2.6046) = 0.000148$ 을 나타내었다. 이 값에 퍼지 정성자를 이용하여 case 2와 같은 명제에 대한 경우 명제에 제시된 ‘very false’ 값은 0.9757의 진리치를 나타내었으며 ‘fairly false’ 값은 0.9938을 나타내었다. 따라서 154 [kV] 송전선에 대한 전자계해석 사례 연구에서 가장 높은 값으로 나타난 2.6046 [kV/m]에 대하여는 위험도가 345 [kV] 송전선의 경우보다 더 낮게 나타났다.

4.4.2. ELF 자계의 평가

(1) 345 [kV]

ELF 자계에 대한 안전기준치는 앞에서 예를 든 ELF 전계의 경우와 같다. 이것은 식 2를 이용하여 소속함수의 퍼지 집합을 구한 것이다.

case 1 : “0.4622 [G] is hazardous”

위와 같은 명제가 있다면 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 표 4와 같이 된다. 표 4는 퍼지 언어변수 ‘hazardous’와 ‘very hazardous’로 구분하여 자계값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 작성한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 “0.4622 [G] is hazardous”라는 명제를 만족시키는 퍼지 집합의 값은 ‘hazardous’ 값이 약 0.0040이며, ‘very hazardous’ 값은 약

0.000016이 된다. 이 값은 사례 연구를 수행하고 있는 송전선의 자계가 인체의 영향 유무에 아주 미세하게 작용하고 있다는 것을 의미하는 것이다.

case 2 : “0.4622 [G] is hazardous is very false”

‘very false’라는 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합 F의 소속함수는 표 4에 나타난 바와 같이 “0.4622 [G] is hazardous”의 진리값은  $\mu_{\text{hazardous}}(0.4622) = 0.004$ 가 된다. 소속함수의 퍼지 집합에서 제시된 이 값은 표 4를 이용하여 “0.4622 [G] is hazardous is very false”라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 얻을 수 있다.

표 4에 제시된 바와 같이 자계값 0.4622 [G]는 ‘hazardous’ 진리치가 0.004이며 ‘very hazardous’ 진리치는 0.000016이 된다. 이러한 진리치를 이용하여 명제에 제시된 ‘very false’ 값을 구하면 0.992이 되며 ‘fairly false’ 값은 0.996이 되어 거의 1에 가까운 수치를 나타낸다. 이것은 자계해석 사례연구시 가장 높은 값으로 나타난 0.4622 [G]에 비하여는 인체에 미치는 위험도가 거의 없다는 것을 말해 주는 것이다.

5. 결 론

사례연구를 통하여 본 연구에서 제안한 해석결과와 인체안전평가의 타당성과 효용성을 검토하였으며, 본 연구에 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 고장상태의 경우 345 [kV] 송전선의 전계강도 값 11.4937 [kV/m]에 대하여 퍼지 언어변수를 이용하여 분석한 결과 ‘위험하다’는 소속함수 값이 0.7063으로 나타났고 이 값에 대한 ‘very false’ 값은 0.0862, ‘fairly false’ 값은 0.5419로 나타나 전반적으로 위험도가 다소 높다는 사실을 알 수 있다.

2) 154 [kV] 송전선의 경우에는 전계강도값 2.6046 [kV/m]에 대하여 위험 퍼지 집합의 소속함수가 0.0122로 나타났고 이 값에 대한 ‘very false’ 값은 0.9757, ‘fairly false’ 값은 0.9938로 나타나 154 [kV] 송전선의 경우보다 더 안전하다는 것을 알 수 있다.

3) 자계의 경우 가장 높은 0.4622 [G]일 때, 위험 퍼지 집합의 소속함수가 0.004로 나타났고 이 값에 대한 ‘very false’ 값은 0.992, ‘fairly false’ 값은 0.996으로 나타나 인체에 미치는 위험도가 거의 없다는 것을 알 수 있다.



감사의 글 : 이 논문은 1999학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 따라 수행된 연구임.

### 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) 김상철외2, "계통상태를 고려한 ELF 전자계의 인체안전평가를 위한 퍼지언어변수 접근법", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 70~79, 1997.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) R. G. Olsen et al, "On the Exact, Carson and Image Theoried for Wires at or Above the Earth's Interface", IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. Pas-102, No. 45, April. 1983.
- 9) 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.
- 10) T. A. Mikolinnas, B. F. Wollenberg, "An advanced contingency selection algorithm", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, No. 2, February, 1981.
- 11) 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.
- 12) F. Albuyeh, A. Bose, B. Heath, "Reactive power consideration in automatic contingency selection", IEEE Trans. on vol. PAS-103, January, 1984.