

퍼지이론을 이용한 3상 2회선 불평형 송전선로에서의 전자계에 대한 인체 위험 가능성평가

김상철[†] · 김두현^{*}

세명대학교 안전공학과 · *충북대학교 안전공학과
(2005. 4. 26. 접수 / 2006. 3. 10. 채택)

Assessment of Possibility on the Human Risk for the Electromagnetic Field of Unbalanced Two Coupled Three-phase Transmission Line Using Fuzzy Theory

Sang-Chul Kim[†] · Doo-Hyun Kim^{*}

Department of Safety Engineering, Semyung University

*Department of Safety Engineering, Chungbuk University

(Received April 26, 2005 / Accepted March 10, 2006)

Abstract : This paper presents assessment of possibility on the human risk for the electromagnetic field of unbalanced two coupled three-phase transmission line using fuzzy theory. Three phase load flow program was developed which employed a Newton-Raphson method as a tool to analyze system unbalanced. This research presents a method of handling two coupled three phase transmission system unbalance analysis and unbalanced power demand as a function of voltages.

As the results of case study, in case of 345[kV] T/L, the electric field intensity was 10.9540[kV/m], magnetic field intensity was 0.2567[G] in severest case. The results showed that the membership of a proposition fuzzy '10.9540 [kV/m] is hazardous' is 0.6349. As the analytic results using the fuzzy qualifier term, the membership in case of very false is 0.1379 and fairly false is 0.6124, respectively. In assessment of fuzzy measure possibility for the electromagnetic field, this paper used probability of fuzzy and measure of fuzziness technique.

Key Words : human risk, fuzzy qualifier term, fuzzy measure possibility, fuzziness technique

1. 서 론

시스템의 불평형 운영과 송전선로의 고장시에는 선로의 전압 전류도 평상시 평형계통보다 크게 되어 안전사고의 발생확률도 높으므로 비정상시의 전자계를 파악하고 인체에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

각 상별 부하의 불평형상태 뿐만 아니라 2회선 송전계통에서 고장회선을 제거한 1회선으로 송전하는 비정상 선로 불평형 계통에서의 전압·전류는 3상조류계산으로 파악할 수 있다^{1,2)}. 본 연구에서

2회선 선로로 구성된 불평형 계통의 3상조류계산은 Y_{Bus} 행렬에 의한 뉴턴-랩슨법을 적용하여 해석하였다^{3,4)}.

불평형 3상 조류계산법에서는 경제적인 기억용량과 계산을 단축하기 위하여 Sparsity 기법과 삼각 인수화기법을 적용하였으며 24모선 불평형 3상 전력계통에 적용하여 그 효용성을 입증하였다. 인체 위험 가능성 평가에서는 불평형 정도가 심각한 경우에 대하여 3상조류계산의 시뮬레이션에 의하여 구한 최대 전압, 전류값으로부터 전자계값을 도출하였으며, 이에 대한 안전기준치를 퍼지 언어변수를 이용하여 적합한 퍼지 변형자 함수를 생성하고 이 함수를 이용하여 퍼지 집합의 소속함수값을 구한 다음 소속함수에 의한 안전기준치를 설정하는

[†] To whom correspondence should be addressed.
sckim@semyung.ac.kr

것이 적합한지에 대하여 퍼지 정성자 용어를 이용하여 분석하였다.

이 안전기준치가 적합한 것인가에 대한 검증을 하기위해 사례연구를 통하여 도출된 전자계값을 하나의 퍼지사건이라 정하고 퍼지확률에 따른 α -수준 사건을 구하였다. 이러한 방법으로 얻어진 α -수준 사건의 불확실성도를 측정하기 위하여 퍼지정도의 척도를 이용하여 정규화된 척도를 구하였으며, 실질적인 인체위험 가능성 평가를 제시하고자 하였다⁵⁾.

2. 인체안전기준치

2.1. 전계

전체집합 U 내에 정의된 퍼지집합에 T(x)내의 용어를 대응시켜 나온 퍼지집합의 소속함수 $\mu_{\text{hazardous}}(u)$ 를 인체안전평가의 기준에 적합하도록 새로운 소속함수를 식 (1)과 같이 만들었다. 여기서 u는 전계값을 나타내는데 일반적으로 전계값이 20[kV/m]를 넘어서면 인체에 아주 위험한 것으로 판단하였다⁶⁾.

$$\mu_{\text{hazardous}}(u) = 1 \quad u \in [20, \infty] \quad (1)$$

$$\alpha_1 \left[1 + \tanh\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_3}{\alpha_4}\right) \right] \quad u \in [0, 20]$$

위 식에서 $\alpha_1, \dots, \alpha_4$ 는 퍼지 집합의 소속함수를 결정하는 인자다.

2.2. 자계

ELF 자계의 안전기준치는 앞서 기술한 ELF 전계의 경우와 같으며 T(x)내의 용어를 대응시켜 나온 퍼지 집합의 소속함수 $\mu_{\text{hazardous}}(u)$ 는 인체 안전평가의 기준에 적합하도록 식 (2)와 같이 새로운 소속함수로 만들었다. 여기서 u 값은 자계값의 범위를 나타내는데 일반적으로 자계값이 10[G]를 넘어서면 인체에 아주 위험하다는 판단에 따라 아래와 같은 범위를 적용하였다.

$$\mu_{\text{hazardous}}(u) = 1 \quad u \in [10, \infty] \quad (2)$$

$$\beta_1 \left[1 + \tanh\left(\frac{\beta_2 - \beta_3}{\beta_4}\right) \right] \quad u \in [0, 10]$$

여기서 β_1, \dots, β_4 는 전계의 경우와 마찬가지로 의미로 설정하였는데 자계값이 10[G] 이상을 최고 기준치로 정하였다. 이런 인체안전기준치를 적용하게

Table 1. IRPA/INIRC guidelines 50/60Hz exposure limits(1990)

Exposure characteristics	Electric Field Strength[kV/m]	Magnetic flux density	
		[mT]	[G]
Occupational Whole working day Shot term(2h/day) for limbs	10	0.5	5
	30	5.0	50
	-	25.0	250
General Public Up to 24h/day Few hours per day	5	0.1	1.0
	10	1.0	10.0

된 것은 1990년 IRPA/INIRC에서 1~300Hz의 ELF 전자계에 노출된 동물들의 영향에 관한 조사 결과를 토대로 50~60Hz 전·자계에 대하여는 아래와 같은 지침안을 제시하였으므로 본 논문에 있어서는 이 지침을 적용하였다⁷⁾.

3. 사례연구

본 논문에서 제시한 2회선 불평형 송전선로의 3상 조류계산 및 퍼지언어변수를 이용한 인체안전평가방법의 효용성 및 적용가능성을 검증하기 위하여 24모선 345[kV]모델 계통을 이용하였다⁸⁾.

이 계통을 이용하여 개발한 프로그램으로 2회선 송전선로의 불평형 상태를 고려하여 모선의 전압 및 선로에 흐르는 전류값을 계산하였으며, 불평형계통에 있어서의 전자계 해석을 실시하였다.

3.1. 3상 전력조류계산

2회선 모델 계통에서 선로평형, 불평형 및 부하평형·불평형에 따라 4가지 경우로 나누어 3상전력 조류계산한 결과 모선전압, 영상분(m_0);역상분(m_2) 불평형률, 선로전류(I_{L1-9}) 및 전력조류(S_{1-9})를 Table 2에 나타내었다. 관심 선로는 흐르는 전류가 가장 많은 17번 모선에서 9번 모선의 선로를 택하였다⁸⁾.

[case 1]

선로정수 뿐만 아니라 부하도 A,B,C 상에 균등하게 분포된 평형상태로서 영상분 및 역상분 불평형률이 모두 0이다. 17번 모선전압의 크기는 각 상 모두 351.21[kV]이고 위상각은 각 상별로 120°의 차를 보이고 있다. 선로를 통하여 흐르는 전류와 유효·무효전력도 각 상별 모두 동일하게 각각 2304.878[A], 463.309[MW], 61.521[MVar]로 나타났다.

Table 2. The results of 3 phase power flow for 2 circuits T/L

구분	CASE	1		2		3		4	
		V θ		V θ		V θ		V θ	
V _{L17} [KV]	A	351.210	24.8°	351.210	24.9°	350.520	24.9°	351.211	25.2°
	B	351.210	-95.2°	351.555	-95.2°	351.555	-95.2°	352.935	-95.3°
	C	351.210	144.8°	350.520	144.7°	350.950	144.7°	349.795	144.4°
M0 M2		0.0		0.040		0.026		0.209	
		0.0		0.149		0.190		0.724	
I _{L17-9}	A	2304.878		2289.669		2126.295		2084.680	
	B	2304.878		2301.336		2268.903		2245.342	
	C	2304.878		2319.722		2289.796		2362.090	
S ₁₇₋₉ P+jQ[MW]	A	463.309+j61.521		460.487+j59.311		426.164+j59.638		419.14+j54.952	
	B	463.309+j61.521		463.294+j59.538		458.147+j46.728		455.411+j44.075	
	C	463.309+j61.521		465.095+j63.895		458.437+j71.454		470.005+j81.701	

- ※ CASE 1 : 2회선 선로평형, 부하평형
- CASE 2 : 2회선 선로불평형, 부하불평형 (1모선 : 230, 240, 280[MW])
- CASE 3 : 2회선 선로불평형, 부하평형, 5-9 선로 1회선 개방
- CASE 4 : 2회선 선로불평형, 부하불평형 (1모선 : 230, 240, 280[MW]), 5-9 선로 1회선 개방

[CASE 2,3]

CASE 2는 그 선로의 불충분한 연가로 선로와 1번 모선의 부하가 A, B, C 상 별로 230, 240, 280[MW] 으로 불평형인 경우로서 전압의 영상분 및 역상분 불평형률이 0.04[%] 및 0.149[%]로 나타났으며 선로에 흐르는 전류도 A, B, C상 별로 2289.669, 23014.336, 2319.722[MW]로서 최대 편차가 30.053[A]로 나타났습니다.

CASE 3은 선로 불평형, 부하는 평형상태이고 선로 5-9의 2회선중 1회선이 개방된 상태로 조류계산한 결과 영상분 및 역상분 불평형률이 각각 0.026[%], 0.19[%]로서 CASE 1,2에 비하여 크게 차이가 나지 않았다.

[CASE 4]

CASE 4는 선로불평형, 부하불평형 및 선로 5-9의 2회선중 1회선이 개방된 상태의 조류계산 결과로 CASE 1, 2, 3보다 전압의 불평형률 특히, 역상분 불평형률이 0.724[%]로 심각하게 나타났습니다. 또한 17-9번 선로의 각 상별 전류가 각각 2084.680, 2245.342, 2362.09[A]로서 최대 편차가 227.41[A]로 불평형 정도가 심각하였다.

3.2. 전자계값

Table 2에서 주어진 case 4의 최대 전압·전류데이터를 이용하여 전자계값을 Table 3과 같이 도출하였다. 이 전자계 값은 정전계적인 해석방법을 적용하여 분석하였으며, 철탑과 철탑사이의 이도를 고려하여 가장 낮은 송전선의 높이를 기준으로 전선을 가로 질러 미터당 전자계 값을 계산한 것이다.

Table 3. The result of electromagnetic value

철탑으로 부터 거리[m]	전계값 [kV/m]	자계값 [G]	철탑으로 부터 거리[m]	전계값 [kV/m]	자계값 [G]
0	2.8936	.2187	31	.6781	.0325
1	3.5027	.2191	32	.6551	.0304
2	4.6244	.2228	33	.6326	.0284
3	6.0312	.2297	34	.6107	.0267
4	7.5833	.2386	35	.5894	.0251
5	9.1075	.2480	36	.5687	.0236
6	10.3359	.2550	37	.5487	.0223
7	10.9540	.2567	38	.5294	.0210
8	10.7654	.2512	39	.5107	.0199
9	9.8376	.2386	40	.4927	.0188
10	8.4578	.2212	41	.4753	.0179
11	6.9497	.2016	42	.4586	.0170
12	5.5411	.1819	43	.4426	.0161
13	4.3417	.1633	44	.4272	.0154
14	3.3794	.1464	45	.4124	.0146
15	2.6391	.1313	46	.3982	.0140
16	2.0887	.1180	47	.3846	.0133
17	1.6919	.1062	48	.3715	.0128
18	1.4141	.0959	49	.3590	.0122
19	1.2243	.0869	50	.3471	.0117
20	1.0959	.0789	51	.3356	.0112
21	1.0084	.0718	52	.3246	.0108
22	.9465	.0656	53	.3141	.0103
23	.9002	.0601	54	.3040	.0099
24	.8631	.0552	55	.2943	.0095
25	.8314	.0508	56	.2850	.0092
26	.8028	.0469	57	.2761	.0088
27	.7761	.0434	58	.2676	.0085
28	.7506	.0402	59	.2595	.0082
29	.7258	.0374	60	.2516	.0079
30	.7017	.0348			

Table 4. 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	21이상
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 5. 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	12이상
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

Table 6. Truth table of the membership function according to fuzzy qualifier

용어 \ 소속함수	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
용어 \ 소속함수	.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	.09	.0625	.04	.0225	.01	.0025	0.0	
fairly false	.6708	.6325	.5916	.5477	.5	.4472	.3873	.3162	.2236	0.0	

4. 퍼지정성자를 이용한 안전평가

정성자를 붙여 소속함수의 값을 정의하고자 하였다⁹⁾.

4.1. 퍼지 정성자(Fuzzy qualifier)

quite, very, mostly 등의 퍼지 정성자는 주어진 술어의 의미를 정성적으로 변형시켜 준다. 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 앞서 정의한 퍼지 변형자를 적용할 때 퍼지 정

4.1.1. 전계 안전평가

언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 집합이 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 식 (1)에 의해 구하였다. Table 4는 전계값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 퍼지 언어변수 hazardous와 very hazardous로 구분하여 작성한 것이다. 전계값의 단위는 [kV/m]이며 변수에 쓰여진 값은 확률을 수치로 환산하여 작성하였다.

4.1.2. 자계안전평가

언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 집합이 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 식 (2)에 의해 구하였으며 Table 5와 같다. 자계값의 단위는 [G]이며 변수 값은 전계의 경우와 같다.

4.1.3. 퍼지정성자

Table 4와 Table 5에 의해 소속함수의 퍼지 집합에서 제시된 이 값은 퍼지 정성자 용어인 fairly, very 등에 의해서 true의 정도가 달라지게 된다. 다음에 제시된 Table 6은 true에 정성자가 붙어 “전계·자계값 is hazardous is very false”라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 나타내고 있다.

4.2. 인체안전평가

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

4.2.1. 전계의 평가

case 1 : “10.9540[kV/m] is hazardous”

위와 같은 명제가 있고 언어변수 hazardous에 해당하는 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 Table 4와 같다. Table 4는 전계 값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 퍼지 언어변수 hazardous와 very hazardous로 구분하여 작성한 것이다.

case 2 : “10.9540[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 F의 소속함수는 Table 4에 나타난 바와 같이 “10.9540[kV/m] is hazardous”의 진리 값은 $\mu_{\text{hazardous}}(10.9540) = 0.6349$ 가 된다.

그러나 소속함수의 퍼지 집합에서 제시한 이 값은 퍼지 정성자 용어인 fairly, very 등에 의해서 true의 정도가 달라지게 된다. 다음에 제시된 Table 6은 true에 정성자가 붙어 “10.9540[kV/m] is hazardous is very false”라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 나타내고 있다.

Table 4에서 알 수 있는 바와 같이 ‘매우 위험하다’는 진리치 $\mu_{\text{very hazardous}}(10.9540)$ 는 0.4030을 나타낸다.

또한 명제에 제시된 ‘very false’ 값으로는 0.1379의 진리치를 나타내며, ‘fairly false’ 값으로는 0.6124를 나타낸다. 따라서 전자계해석 사례연구시 가장 높은 값으로 나타난 10.9540[kV/m]에 대한 위험도가 약간 높다는 것을 알 수 있다.

4.2.2. 자계의 평가

ELF 자계에 대한 안전기준치는 앞에서 예를 든 ELF 전계의 경우와 같다. 이것은 Table 4를 이용하여 소속함수의 퍼지 집합을 구한 것이다.

case 1 : “0.2567[G] is hazardous”

위와 같은 명제가 있다면 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합의 소속함수는 Table 5와 같이 된다. 표 5는 퍼지 언어변수 ‘hazardous’와 ‘very hazardous’로 구분하여 자계값에 따른 소속함수의 퍼지 집합을 작성한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 “0.2567[G] is hazardous”라는 명제를 만족시키는 퍼지 집합의 값은 ‘hazardous’ 값이 약 0.0033이며, ‘very hazardous’ 값은 약 0.00011이 되므로 사례 연구를 수행하고있는 송전선의 자계가 인체의 영향 유무에 아무런 영향을 미치지 않는다는 것을 의미하는 것이다.

case 2 : “0.2567[G] is hazardous is very false”

‘very false’라는 퍼지 진리값에 의하여 새로 만들어지는 퍼지 집합 F의 소속함수는 Table 5에 나타난 바와 같이 “0.2567[G] is hazardous”의 진리값은 $\mu_{\text{hazardous}}(0.2567) = 0.0033$ 이 된다. 소속함수의 퍼지 집합에서 제시된 이 값은 Table 6을 이용하여 “0.2567[G] is hazardous is very false”라는 명제에 부합되는 소속함수의 진리치를 얻을 수 있다.

이러한 진리치를 이용하여 명제에 제시된 ‘very false’ 값을 구하면 0.993이 되며 ‘fairly false’ 값은 0.997이 되어 거의 1에 가까운 수치를 나타낸다. 이것은 인체에 미치는 위험도가 거의 없다는 것을 말해 주는 것이다.

5. 퍼지확률 및 퍼지척도

5.1. 퍼지확률(Fuzzy probability)

불평형정도가 심각한 경우에 대하여 3상 조류계산에서 구한 최대 전압·전류데이터를 이용하여 Table 3을 구하였다. 여기서 구한 전자계 값을 이용

Table 7. Probability for the electric field value

electric field value	~0.5	~1	~2	~3	~4	~5	~6	~7	~8	~9	~10	10이상
probability	0.344	0.295	0.295	0.082	0.049	0.033	0.033	0.016	0.033	0.016	0.033	0.049

하여 소속함수를 hazardous 라 정하고 이 사건을 퍼지사건이라고 정의하면 이때 이 퍼지사건은 표본공간내에 식 (3)과 같이 주어진다.^{5,9)}

$$hazardous = \{(x, \mu_{hazardous}(x) \mid x \in S\} \quad (3)$$

여기서

χ : electric field- value

이 사건 hazardous의 α -수준사건은 식 (4)와 같이 보통집합으로 나타낼 수 있다.

$$hazardous_\alpha = \{(x \mid \mu_{hazardous}(x) \geq \alpha\} \quad (4)$$

이때 $hazardous_\alpha$ 는 ‘상호배타적이고 $hazardous_\alpha$ 의 확률은 각 사건의 확률을 합한 것이다. 이럴 경우 α -수준사건의 확률은 ‘퍼지사건 $hazardous$ 의 확률이 $P(hazardous_\alpha)$ 일 가능성이 α 이다’로 나타낼 수 있다. α 의 변화에 따라서 퍼지사건의 확률 $P(hazardous)$ 는 여러 경우가 생기게 되며 식 (5)과 같이 표현된다.⁹⁾

$$P(hazardous) = \{(P(hazardous_\alpha), \alpha) \mid \alpha \in [0, 1]\} \quad (5)$$

식 (5)의 α -수준사건들의 확률은 식 (6)과 같이 된다.

$$P(\mu_{hazardous} \alpha_i) = \sum_{i=1}^n P_n(\text{Electric field value}) \quad (6)$$

5.2. 퍼지정도의 척도(Measure of fuzziness)

퍼지집합으로 나타난 불확실성의 정도를 퍼지정도라 하고 이 퍼지정도를 측정하는 함수를 퍼지정도 척도라 한다. 가능성 척도로 가장 많이 이용되고 있는 Shannon 엔트로피는 모든 원소의 확률합도 1이 되어야 하는 제약이 있으므로 본 논문에서는 이런 제약이 불필요한 퍼지집합을 이용하였으며, 퍼지집합 μ_A 의 퍼지정도를 측정할 수 있는 척도 $f(hazardous)$ 를 식 (7)과 같이 정리하였다.

$$f(hazardous) = \sum_{x \in X} -[\mu_{hazardous}(x) \log_2 \mu_{hazardous}(x) + \{1 - \mu_{hazardous}(x)\} \log_2 \{1 - \mu_{hazardous}(x)\}] \quad (7)$$

5.3. 인체위험 가능성 평가

Table 3을 이용하여 퍼지확률을 구하기 위한 표본공간을 나타낸 것이 Table 7이다.

퍼지사건은 Table 4에서 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 (6)을 이용하여 퍼지사건 $\mu_{hazardous}$ 의 확률 $P(\mu_{hazardous})$ 가 $P(\mu_{hazardous}\alpha)$ 가 될 가능성은 α 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 10.9540[kV/m]는 퍼지언어변수를 이용하여 표현할 경우 다소 위험한 수준이지만 발생할 가능성은 4.9%로 아주 낮은 가능성을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

또한 퍼지정도의 척도를 구하기 위하여 식 (7)을 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 나타난다.

따라서 퍼지정성자를 이용한 인체안전평가에서 나타난 결과를 가지고 퍼지확률 및 퍼지척도를 이용하여 검증한 결과 타당성이 입증되었으며, 인간이 실질적으로 느끼는 값에 보다 더 근접하게 평가할 수 있는 방법을 제시하였다.

6. 결 론

사례연구를 통하여 제시된 전자계값에 대하여 퍼지정성자를 이용한 인체안전평가를 실시하였으며, 전자계값에 대한 퍼지확률 및 퍼지척도를 이용한 해석결과 및 인체위험 가능성 평가의 타당성과 효용성을 검토하였다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 전계강도값 10.9540[kV/m]에 대하여 퍼지 언어변수를 이용하여 분석한 결과 ‘위험하다’는 소속함수 값이 0.6349로 나타났고 이 값에 대한 ‘very false’ 값은 0.1379, ‘fairly false’ 값은 0.6124로 나타나 전반적으로 위험도가 다소 높다는 사실을 알 수 있었다.

2) 자계의 경우 가장 높은 0.2567[G]일 때, 위험 퍼지 집합의 소속함수가 0.0033으로 나타났고 이 값에 대한 ‘very false’ 값은 0.993, ‘fairly false’ 값은 0.997으로 나타나 인체에 미치는 위험도가 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

3) 퍼지정도의 척도를 구하기 위하여 퍼지확률 값을 적용시킨 결과 6.777로 나타났으며 이 값을 이용하여 정규화 된 척도를 구하면 0.564로 나타났

다. 이 값이 의미하는 것은 정규화된 척도가 1일 때 가장 불확실성이 높으므로 0.564의 값은 불확실성이 낮으며 앞서 제시한 가능성이 크다는 것을 의미한다.

참고문헌

- 1) 송현선, “3상 조류계산에 의한 대규모 배전계통의 불평형상태 평가”, 한국조명·전기설비학회지, 제13권, 제1호, pp. 86~93, 1999.
- 2) J. Arrillaga and c. p. Arnold, “Computer Modellind of Electrical power systems”, John Wiley son, 1983.
- 3) R. G. Wasiey and M. A. Shlash, “Newton Raphson Algorithm for 3-phase Load Flow”, proc. IEE, Vol. 121, No. 7, pp. 630~638, July, 1974.
- 4) Fan Zhang, Carol s. Cheng, “A Modified Newton Method for Radial Distribution System Power Flow Analysis”, IEEE Trans. on power systems, Vol. 12, No. 1, pp. 389~397, February, 1997.
- 5) 이광형 외 1, “퍼지이론 및 응용 I”, 홍릉과학출판사, 1992.
- 6) Klir, G. J., and Folger, T. A., “Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information”, Prentice Hall: New Jersey, 1988.
- 7) WHO, “Environmental Health Criteria 35”, 1984.
- 8) 김상철 외 2, “계통상태를 고려한 ELF 전자계의 인체안전평가를 위한 퍼지언어 변수 접근법”, 한국산업안전학회지, 제12권, 제2호, pp. 70~79, 1997.
- 9) 김상철 외 2, “불평형계통에서의 전자계에 대한 인체안전평가”, 한국산업안전학회지, 제14권, 제3호, pp. 54~62, 1999.