

옥내배선에서 과전류와 누전 신호의 상관관계 적용을 위한 지능형 기법 연구

김두현 · 김은진 · 김성철*

충북대학교 안전공학과

(2014. 12. 12. 접수 / 2015. 6. 10. 수정 / 2015. 6. 19. 채택)

A Study on Intelligent Technique for Correlation Application of Overcurrent and Leakage Current Signals in the Indoor Wiring

Doo-Hyun Kim · Eun-Jin Kim · Sung-Chul Kim*

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received December 12, 2014 / Revised June 10, 2015 / Accepted June 19, 2015)

Abstract : The purpose of this paper is to study the correlation application that electrical fire causes occurs for overcurrent and leakage current signals in the indoor wiring. In the order to purpose, the causes data of overcurrent, or leakage current of electrical fire are drawn out referring to past studies, consulting with experts and experimental data. The correlation application was then applied with fuzzy logic of intelligent technique. To check the reliability and performance of the correlation application, modified center of area(CoA) was adopted to calculate the possibility that electrical fire occurs, whose value was then compared to the results. The chance of electrical fire calculated is higher when two causes of fire are put into the CoA of the correlation application of this paper than that of when each cause is separately put into the CoA. The correlation application developed in this study enables better analysis on possible electrical fire due to overcurrent, or leakage current and provides managers with the possibility of electrical fire so that they can better manage at a time of overcurrent, or leakage current.

Key Words : overcurrent, leakage current, fuzzy logic, electrical fire, correlation application, indoor wiring

1. 서론

2012년 한국전기안전공사 전기화재통계자료에 따르면 전기설비 중 배선 및 배선기구에서 발생한 화재가 60.4 %로 가장 높게 나타났다. 이 중에 옥내배선(27.4 %), 전기기기용 전선/코드(19.0 %), 콘센트(14.0 %) 등의 순으로 발생되었다¹⁾. 옥내배선과 관련된 배선기구에서의 화재가 많이 발생하는 이유는 벽체나 배관에 고정형 배선보다는 사용자의 일시적인 사용을 위한 이동형 배선 및 기구에서 주로 발생되었다. 특히 연장코드(Extension cord)에서 많이 발생하는데 대부분이 부하용량을 고려하지 않고 전기 비전문가가 부적합한 전선을 사용하여 낮은 용량의 전류에서도 국부 발열 및 스파크를 일으켜 전기화재를 일으킨다. 전기화재를 일으키는 원인은 과부하 · 과전류, 접촉불량 · 반단선 및 누

전 등이 이에 해당된다²⁾. 과부하 · 과전류에 대하여 허용전류가 낮은 전선을 연장코드로 사용했을 경우, 정격전류 이하 또는 이상에서 접촉불량 · 반단선, 물리적 손상 등으로 인하여 국부적으로 높은 열이 발생되는 것은 많은 연구를 통하여 입증되었다³⁻⁶⁾. 또한 국내에서는 누전의 경우는 200 mA이하의 누설전류의 크기에 대한 열적 특성과 국외의 IEC 60364 및 BS 7671에서는 300 mA이상의 누전전류가 흐르면 화재위험성이 있다고 제시하였다. 전선의 피복 및 도체에 물리적 손상이 가해지면 과전류 및 절연열화로 인한 누전이 복합적으로 작용할 수 있다. 이런 경우에는 하나의 원인(과전류만)으로 인한 화재가능성보다 높은 화재가능성이 나타날 것이다. 그러나 과전류와 누전의 상관관계에 대한 구체적으로 제시한 연구는 없는 실정이다. 상관관계 규명을 위해서는 과전류 및 누전에 대한 실험테

* Corresponding Author : Sung-Chul Kim, Tel : +82-43-267-2463, E-mail : ksc3650@naver.com

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

이터가 필요한데 과전류에 대한 데이터는 있으나 누전에 대한 화재가능성 데이터는 국제적으로 “300 mA 이상에서 화재위험성이 있다”라는 기준 데이터만 제시되어 있다. 또한 과전류와 누전의 데이터를 바탕으로 상관관계를 적용할 수 있는 기법에 대한 연구도 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 과전류(10~40 A)와 누설전류(100~1000 mA)에 대하여 전류값에 따른 각각의 열적특성을 실험을 실시하였다. 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 실험데이터와 기존의 논문, 기술지 및 전문가활용 등의 비교분석을 실시하였고 최종적으로 과전류 및 누전 데이터를 도출하였다. 또한 과전류와 누전 신호에 대한 상관관계를 적용하기 위하여 지능형 기법인 퍼지로지(Fuzzy Logic)를 이용하였다. 본 데이터는 과전류와 누전에 대한 전기화재예방장치의 기준값과 전기화재원인 조사 등의 기초자료로 활용가능하다.

2. 이론적 배경

2.1 과전류 및 누전 신호

Kim paper⁵⁾ 등이 과전류 상황에서 전류에 대한 반단선, 단락등과 같은 다양한 원인에 대한 전류크기에 따른 열적특성을 분석한 내용이 있다. 누전은 국내의 경우는 Choi paper⁷⁾ 등이 분전반에서 누전상황을 재현하여 개방 및 밀폐된 환경에서의 누전전류에 대한 열적특성을 도출한 데이터가 있다. 국외의 경우는 IEC 60364 및 BS 7671에서는 300 mA 이상에 누전전류가 흐르면 화재위험성이 있다고 제시하였다⁸⁻¹⁰⁾.

2.2 퍼지로지

과전류와 누전신호의 상관관계를 적용하기 위해서는 지능형 기법 중 퍼지로직을 이용하는 방법이 있다. 퍼지로직은 퍼지화(Fuzzification), 추론규칙(Inference Rules) 및 비퍼지화(Defuzzification)의 단계를 따른다. 퍼지화는 과전류와 누전에 대하여 언어적 입·출력변수를 선정해야하고 입력변수의 명확한 값(crisp value)을 퍼지집합으로 바꾸어주는 과정이며 전체집합에 따라 크기를 적절히 변환시키는 작업을 말한다. 일반적으로 퍼지 단일값(fuzzy singleton)이나 삼각 퍼지 멤버쉽함수를 사용하는데, 이는 명확한 값을 가지므로 입력 변수 값에 애매성을 도입하지 않는다는 장점이 있고 간단하면서도 합리적인 결과를 도출할 수 있다¹¹⁾.

비퍼지화는 언어적 출력변수의 멤버쉽함수를 명확한 값(crisp value)으로 변환시켜주는 과정이다. 비퍼지

화 방법은 Modified Center of Area(CoA), Center of Sums(CoS), Center of gravity(CoG) 등이 있으며, 이 중 무게중심법인 CoA가 가장 많이 사용되고 있다¹¹⁻¹²⁾. 본 연구에서도 CoA를 이용하였다. 전기화재가능성은 무게중심법으로는 출력 소속값과 해당하는 유일한 값(singleton value)을 곱하고 나서 소속값들의 총합으로 나누어주면 식 (1)과 같은 결과를 얻는다.

$$\text{전기화재가능성} = \frac{\sum_{l=1}^n w[l] \cdot y[l]}{\sum_{l=1}^n w[l]} \quad (1)$$

여기서 $w[l]$ 은 출력소속값, $y[l]$ 은 출력소속값에 해당하는 singleton 값으로 나타내었다. Fig. 1은 퍼지로직의 구조를 나타내었다.

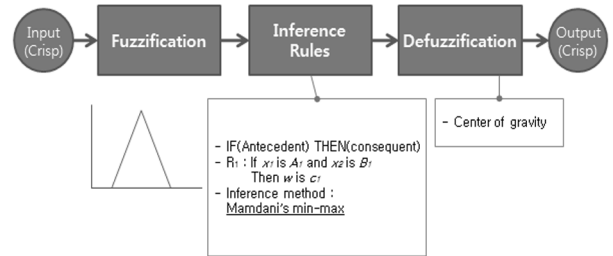


Fig. 1. Structure of fuzzy logic.

3. 과전류 및 누전 실험장치 및 방법

이동형 전기배선인 VCTFK 전선(300/300 V PVC Insulated Flexible Codes, 0.75 mm²×2C)¹³⁾을 바탕으로 과전류 및 누전에 대한 각각의 실험장치와 실험방법을 제시하였다.

3.1 실험장치

과전류 및 누전에 대한 전류값별 열적 특성 데이터를 도출하기 위하여 각각의 실험장치를 구성하였다. 과전류 실험장치는 상용전원 220 V로 하였고, 전류값을 10~40 A까지 발생시키기 위하여 AC LOAD BANK (1~40 A)를 연결하여 최종 전류인 40 A를 인가하도록 하였다. 사용된 배선용차단기는 LS 산전의 30 A용량의 누전차단기를 설치하였다. 누전 실험장치는 사용전압은 220 V로 하였고, 0~1,000 mA를 발생시킬 수 있는 제작형 누전 발생장치를 이용하였다. 누전 지점에는 목탄 분진을 이용하여 누전으로 인한 전기설비 및 누전점의 탄화현상을 재현하였다. 누전개소에 극단적인 환

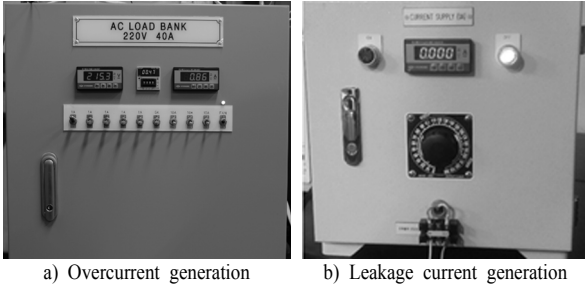
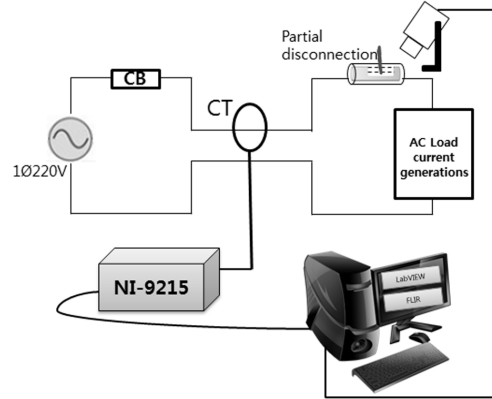


Fig. 2. AC load current generations for overcurrent and leakage current.

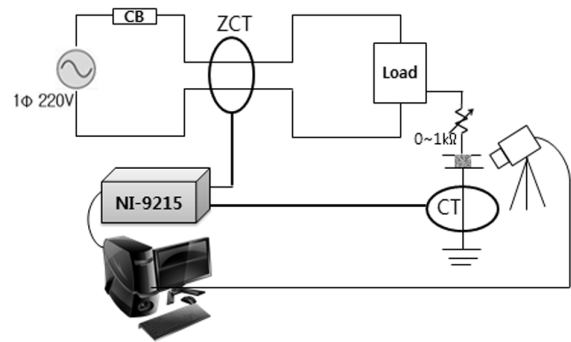
경을 조성하기 위하여 3,000 rpm 진동장치를 이용하여 아크가 발생하도록 하였다. 전류값은 NI-DAQ(data acquisition)와 클램프형의 전류프로브(HIOKI 3288)를 이용하였다. 전류발생장치의 전류값의 신뢰도를 위하여 HIOKI 3288을 개별적으로 설치하여 2중으로 전류값을 측정하였다. 온도값은 -40~1,000℃까지 온도 분석이 가능하고 동영상과 실시간저장이 가능한 열화상카메라(FLIR 4 series)를 이용하였다. 또한 열화상을 실시간 저장이 가능한 FLIR 소프트웨어를 이용하여 실시간으로 저장가능하도록 구성하였다. 또한 온도값의 객관성을 위하여 HIOKI사의 열화상카메라를 이용하여 1분간격으로 측정하여 FLIR 열화상카메라에서 저장되는 데이터의 값을 상시 관찰하였다. 과전류 및 누전에 사용된 옥내배선에서 이동형 전선으로 주로 사용되고 있는 VCTFK 전선을 이용하였다. Fig. 2 a)는 과전류 및 Fig. 2 b)는 누전전류 발생장치를 나타내었다.

3.2 실험방법

과전류 실험방법은 VCTFK전선에 대해 정상상태와 반단선 상태(도체 50가닥 중 15가닥(1/3)을 인위적으로 절단한 상태, 접·단(接·斷)상태는 제외)로 구분하였고 전선의 길이는 1 m로 하여 고정하였으며, 고정된 상태에서 중앙지점에 0.01 m길이의 반단선 상태를 만들었다. 입력전류는 10~40 A까지 2 A씩 단계별로 증가시켜 측정하였다. 각각의 전류값에 대하여 포화온도가 나타나는 시점에서 최종 온도값을 결정하였다. 실험횟수는 전류당 5회로 하였고 평균값으로 제시하였다. 누전 실험방법에는 100 ~ 1,000 mA의 값에 대하여 100 mA 간격으로 하였다. 누전실험의 경우 전류값이 낮아 고정되었을 경우 온도의 변화를 측정할 수 없기에 누전점에 진동장치를 이용하여 아크를 발생시켰고 아크 발생시의 최고 온도를 측정하였다. 누전에 대하여 5회 실험을 통하여 평균값을 제시하였다. Fig. 3의 a)와 b)는 과전류의 실험장치와 누전의 실험장치를 각각 나타내었다.



a) overcurrent(partial disconnection)



b) leakage current

Fig. 3. Experimental setups for overcurrent and leakage current.

4. 결과 및 분석

4.1 과전류 신호 분석

10~40 A에 대한 과전류에 대하여 VCTFK 전선의 정상상태와 1/3의 반단선상태에서 열적 특성을 분석하였다. VCTFK 전선의 허용온도인 60℃를 초과하는 전류값을 도출하였다. 정상상태의 경우에는 19 A, 반단선상태의 경우에는 16 A에서 허용온도를 초과하였다. 한국전기안전공사의 전기안전가이드 북에 의하면 전기배선(IV 전선)에서 60℃이상¹⁴⁾에 대하여 이상신호로 규정하고 있다. Fig. 4는 VCTFK 전선에 대하여 전류값에 대하여 정상상태와 반단선상태의 열적 특성을 나타내었다.

4.2 누전 신호 분석

100 ~ 1,000 mA구간에서 500 mA이상부터 VCTFK 전선의 허용전류를 초과하였다. IEC 60364에서 300 mA이상에서 누전화재 가능성 값을 제시하였다⁸⁻⁹⁾. 본 실험에서 300 mA에서는 54℃로 나타났으며 허용온도와는 6℃의 차를 보였다. Fig. 6은 VCTFK 전선에 대하여 누

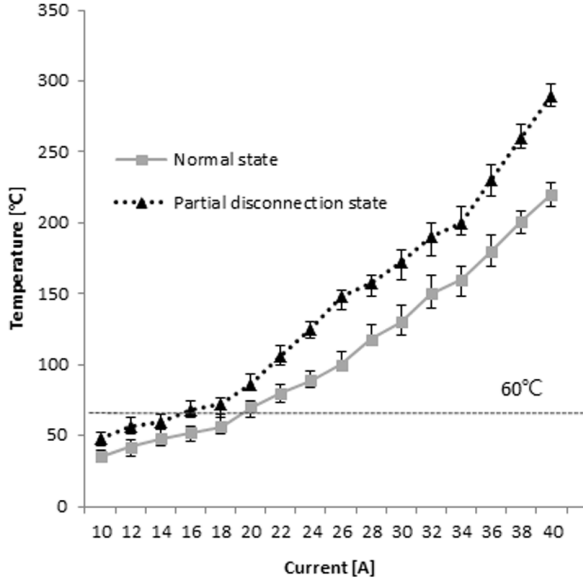


Fig. 4. Thermal characteristic analysis at normal and partial disconnection state according to current value of VCTFK wiring.

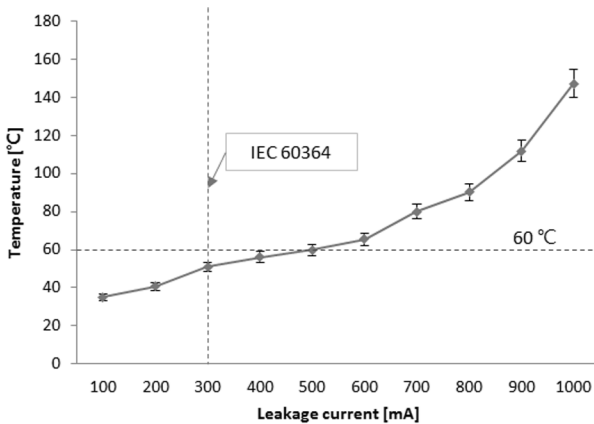


Fig. 5. Comparison for Thermal analysis according to leakage current value of VCTFK wiring.

설전류값에 대한 열적 특성을 나타내었다.

4.3 퍼지로지 적용

퍼지로지의 적용은 입력변수와 출력변수로 구분된다. 입력변수는 과전류(A)와 누전(mA)에 대하여 각각의 입력신호로 표현하였고, 출력변수는 화재가능성값으로 나타내었다.

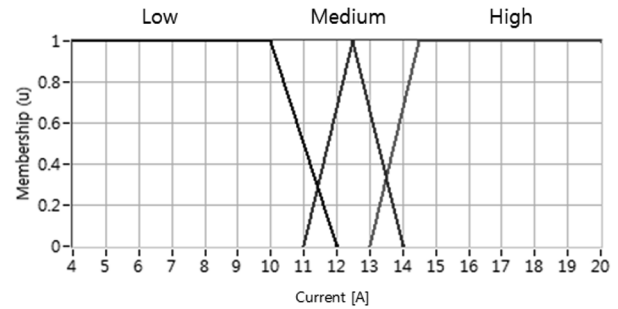
입력신호에서 과전류의 언어변수는 Low, Medium, High로 나타내었다. 실험에서는 VCTFK 전선의 허용온도(60°C)에서 가장 열악한 환경인 반단선값을 선택하였다. 반단선의 경우 16 A에서 허용온도를 초과하여 이를 High의 Singleton으로 하였으며, 이는 전문가활용

Table 1. Expert's judgment and temperature values for linguistic variables of overcurrent [A]

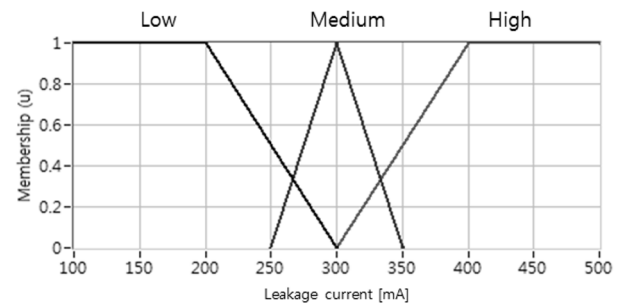
Linguistic variable	Expert's judgment [A]	Temperature value [°C]
Low	10~12	46~55
Medium	11~14	53~58
High	13~16	55~60

Table 2. Expert's judgment and temperature values for linguistic variable of leakage current [mA]

Linguistic variable	Expert's judgment [mA]	Temperature value [°C]
Low	200~300	42~54
Medium	250~350	48~57
High	300~400	54~59



a) Input variable membership function of overcurrent [A]



b) Input variable membership function of leakage current [mA]

Fig. 6. Input variable membership function of overcurrent and leakage current.

(10명)에서 6명이상이 이 값을 선택하였다. Medium은 11~14 A, Low는 10~12 A로 하였다. Fig. 6 a)는 과전류의 퍼지 멤버쉽함수를 Table 1은 전문가활용에서 제시한 전류값과 해당 전류값에 대한 온도값을 나타내었다. 누전의 언어변수는 Low, Medium, High로 하였고, 실험에서는 500 mA에서 전선의 허용온도를 초과하였으며, IEC 60364에서의 300 mA이상의 값을 나타내었다. 누전화재의 경우는 누설전류가 지속되어 전기설비 구조체를 탄화하는 것으로 실험에서 400 mA 최고 59°C

로 전선의 허용온도에 근접한 값을 보였다. 전문가의 의견에서 7명이 High의 Singleton은 400 mA로 하였다. Fig. 6 b)는 누전의 퍼지 멤버쉽함수를 나타내었다. Table 2는 누설전류에 대한 전문가들이 제시한 누전전류값과 누전전류값에 대한 실험에서 나타난 온도값을 제시하였다.

출력변수는 전기 화재 가능성(Electrical Fire Possibility (F · P)으로, 언어변수는 Ignore, Concern, Caution, Danger 및 Alarm 5개로 구분하여 나타내었다. Ignore의 Singleton은 15이하이며 최소값은 25로 하였고, Concern의 Singleton은 35이며 범위는 20~50, Caution의 Singleton은 55이며 범위는 40~70, Danger의 Singleton은 75이며 범위는 60~90, Alarm의 Singleton은 95이며 최소값은 80으로 하였다.

과전류 및 누전의 퍼지규칙은 과전류와 누전의 언어변수를 통하여 매트릭스로 작성하였다. 본 규칙은 실험, 기술지등 전문가의 의견을 모두 취합하여 구성하였다. Fig. 8은 과전류 및 누전에 대한 퍼지 추론 규칙을 나타내었다.

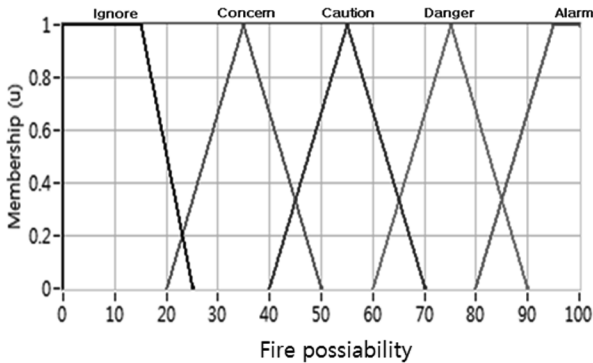


Fig. 7. Output variable membership function of fire possibility.

Leakage	High	Caution	Danger	Alarm
	Medium	Concern	Caution	Danger
	Low	Ignore	Concern	Danger
		Low	Medium	High
		Overcurrent		

Fig. 8. Fuzzy inference rules for overcurrent [A] and leakage current [mA].

5. 상관성 분석

과전류만 또는 누전만을 입력변수로 하여 전기화재 가능성을 각각 도출하였고, 상관관계를 적용한 과전류와 누전이 동시에 입력되었을 때의 전기화재가능성을 분석하였다. 과전류만을 가정했을 때, High인 15 A의 전류가 흐를 경우, 추론 규칙은 IF Overcurrent [A] is High AND Leakage [mA] is Low, THEN Fire possibility is Danger로 결정되며, 전기화재가능성은 식 (1)에 의해 75의 무게중심값이 출력되었다. 누설전류값 400 mA를 입력(High) 입력했을 때, 추론 규칙은 IF Overcurrent [A] is Low AND Leakage [mA] is High, THEN Fire possibility is Caution로 전기화재가능성은 55로 나타났다. 과전류 (15 A)와 누전(400 mA) 입력값을 동시에 입력했을 경우, 추론규칙은 IF Overcurrent [A] is High, AND Leakage [mA] is High THEN Fire possibility is Alarm의 규칙이 만들어지며, 식 (1)에 의하여 전기화재가능성은 91.74의 무게중심값을 가진다. 현재의 설비들은 과전류만 또는 누전만 입력되어 이를 감지하고 판단하는 설비로, 두 신호가 동시에 들어왔을 때의 화재가능성을 판단하기에는 무리가 있다. 지능형 기법인 퍼지로지식을 적용할 경우 과전류와 누전신호의 상관관계를 적용함으로써 보다 높은 판단력이 나타났다.

6. Conclusion

본 연구는 실험을 통하여 과전류와 누전에 대한 열적데이터를 도출하였으며, 도출된 데이터를 전문가활용을 통하여 한번 더 검증하고 이를 기능형 기법인 퍼지로지식을 적용하였다. 최종적으로 원인간의 상관관계 분석을 실시하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 과전류 신호는 KESCO의 전기배선의 이상온도(60°C)를 기준으로 하였고, 정상상태는 19 A, 반단선상태는 16 A에서 허용온도를 초과하였다. 전기배선의 최악의 상태인 반단선상태의 16 A를 바탕으로 Low, Medium, High의 각각의 언어변수값을 도출하였다.
- 2) 누전신호의 High는 400 mA기준(60°C)으로 하였고, 이를 바탕으로 Low, Medium, High의 각각의 언어변수값을 적용하였다.
- 3) 과전류와 누전을 각각 판단하는 기존의 시스템보다 과전류와 누전신호의 상관관계가 적용된 시스템이 보다 높은 무게중심값이 나타났다. 본 데이터는 추가적인 실험 및 연구를 통하여 과전류 및 누전 각각의 언어변수값의 보정과 수정에 대한 업데이트가 필요하다.

감사의 글 : 본 연구는 두산연강재단 환경학술연구 지원사업에 의해 이루어진 것임.

References

- 1) H.S. Shin, H.Y. Kim, J.S. Choi, J.M. Lim, M.S. Kim and H.S. Kim, "A Statistical Analysis on the KOREA Electrical Fire Accidents in 2012 ", Proceedings of Fall Conference of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 31-33, 2013.
- 2) National Energy Management Agency, 2012.
- 3) S.H. Lee and H.S. Oh, "A Study on the Electrical Fire Analysis in Overcurrent of Low Voltage Wiring", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 18, No. 3, pp. 142-148, 2004.
- 4) J.J. Lee, C.W. Lee and D.M. Choi, "A Phenomenological Studies on Ignition Characteristics of Wires by Local Impact, Over Loading and Overcurrent", Korean Safety Management and Science, Vol. 12, No 4, pp. 53-60, 2010.
- 5) D. H. Kim, S. C. Kim, J.H. Lee and D.K. Kang, "Development of Thermal Precursor DB for Partial Disconnection and Poor Contact on Electrical Wire", Journal of The Korean Society of Safety, Vol. 24, No. 2, pp. 30-36, 2009.
- 6) D. H. Kim, S. C. Kim, H.D. Gu, S.H. Song and Y.B. Kim, "Analysis of Correlation of Current and Thermal by Overcurrent on Electric Wire", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 23, No. 4, pp. 47-52, 2008.
- 7) C. S. Ho, "Analysis of Thermal Characteristics by Leakage Current", Master's Thesis, Chungbuk University, pp. 52-53, 2010.
- 8) "Electrical Installation Guide according to IEC", The Korea Electric Association, pp. 193-195, pp. 216, pp. 237, 2008.
- 9) BS, "BS 7671", pp. 59, pp. 68, 2008.
- 10) D.W. Kim, Y.B. Lim, S.I. Lee, J.H. Kim and D.C. Kang, "Prevention Techniques of Electrical Fire and Electrical Shock Caused by Leakage Current", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, No. 6, pp. 82-87, 2013.
- 11) S. H. Hong and D. H. Kim, "The Development of Fire Detection System using Fuzzy Logic and Multivariate Singnature", Journal of The Korean Society of Safety, Vol. 19, No 1, pp. 46-55, 2004.
- 12) PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual, National Instruments, June, 2009.
- 13) KESCO, "Hand Book for Electrical Safety Management", pp.103-109, 2006.
- 14) KESCO, "Hand Book for Electrical Safety Management", pp.152, 2014.