

우사(牛舍)에서 전기배선의 종류와 길이에 따른 저항성 및 용량성 누전전류 분석

유상옥 · 김두현 · 김성철[†]

충북대학교 안전공학과

(2014. 4. 23. 접수 / 2014. 7. 14 수정 / 2014. 8. 10. 채택)

Analysis of Resistive and Capacitive Leakage Current according to Wiring Type and Length at Cattle Barn

Sang-Ok Yoo · Doo-Hyun Kim · Sung-Chul Kim[†]

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received April 23, 2014 / Revised July 4, 2014 / Accepted August 10, 2014)

Abstract : This paper is aimed to prevent danger of electrical fire at cattle barn to detect resistive and capacitive leakage current component for wiring type and length. In order to analysis for electric leakage component for cattle barn sizes and normal buildings, this paper was studied field state investigation which are at cattle barn companies(10 companies) in Cheong-won location and normal buildings at Nam-bu market in Jeon-ju location. Market to deduce the problems of electric leakage component is analyzed. The resistive and capacitive leakage current component for wiring type and length is analyzed at Beon-young cattle barn. Results show that electric leakage component suggested in this paper are valuable and usable to electrical fire in leakage current based on environment factor, which will prevent severe damage to human beings and properties and reduce the electrical fires in cattle barn. It is acceptable for electrical equipment use in an cattle barn.

Key Words : leakage component, resistive leakage current, capacitive leakage current, cattle barn, electrical fire

1. 서론

축사는 건축물 중 하나로 대부분의 건축골격이 철골로 이루어져 있으며, 축산을 위한 전기설비들이 다양하게 설치되어 있다. 축사에서 전기화재의 발생건수가 높은 이유는 일반 건축물과 다르게 가축을 위한 환풍기, 조명, 자동급수통, 먹이공급기, 할로겐램프 등의 다양한 전기설비들이 존재하기 때문이다. 이런 전기설비들은 축사에서 발생하는 다양한 분진 및 습기, 비나 눈 등에 노출되어 가혹한 환경을 형성한다. 특이한 점은 같은 종류의 전기설비 5~6개가 설치되어 하나의 그룹으로 이루어져 있으며, 겨울철에 누전으로 인한 화재가 많이 발생하고 있다^{1,4)}. 이런 누전으로 화재가 발생하는 이유는 축사의 전기설비는 상시 전원의 투입으로 겨울철에 누전으로 인하여 자동급수기의 급수배관이 동파되면 여기에 막대한 복구재정이 추가된다⁵⁾. 이를

방지하고자 누전차단기의 용량을 증설하는데, 이것으로 누전화재가 발생한다. 이러한 누전화재의 발생원인은 누전성분에 있다. 누전성분은 용량성 누전전류(I_{yc})와 저항성 누전전류(I_{yr})으로 나누어지는데 축사의 경우 전기배선이 인접해 있는 철골로 연합하여 이로 인한 용량성 누전전류가 증가한다^{6,7)}. 이렇게 증가한 용량성 누전전류는 벡터합으로 작동하는 현재의 누전차단기를 동작시키게 되어, 실제로 위험성이 존재하는 저항성 누전전류가 아님에도 불구하고 회로를 개방하게 된다⁸⁻¹⁰⁾. 이에 관리자는 차단기의 용량이 낮아 발생하는 것으로 판단하여 기본적인 대책은 강구하지 못하고 차단기 용량의 증설로 이어진다. 그러나 이런 차단기 용량 증설로 인하여 축사 전기설비에 위험한 저항성 누전전류가 지속되고 이로 인하여 누전화재가 발생되고 있다. 또한 이를 확인하지 못하고 소방방재청에서는 기본적인 소방시설을 정착하게 하였고 실제 화재

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

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

가 발생하였음에도 불구하고 이를 경보하지 못하여 소방시설에 대한 신뢰도 또한 실추되어 왔다³⁾. 이는 축사 환경을 고려하여 적절한 방향을 제시하는 것이 바람직하다. 또한 그 위험성을 비교 분석하기 위하여 축사와 다른 건축물인 영업을 목적으로 하는 상가와 주택 등의 누전성분을 각각 도출하여 이를 비교하고 축사환경과 전기배선의 종류와 길이, 사용부하에 대한 누전성분의 변화를 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 실태조사에서 축사 및 일반 건축물의 누전성분을 분석하였고 이에 축사의 크기에 따라 용량성 누전전류가 증가한다는 것¹¹⁾을 바탕으로 충북지역의 변영축산농가의 시설에서 전기배선의 종류와 길이에 따른 저항성 및 용량성 누전전류의 성분비를 도출하기 위한 실험을 실시하고 분석하였다. 본 데이터는 전기재해 취약장소인 축사환경을 고려하여 누전성분 특성 데이터를 도출한 것으로 축사에서의 전기화재 기초자료 및 해당 장소에 대한 감지기 개발에 대한 기초 자료로 활용가능하다.

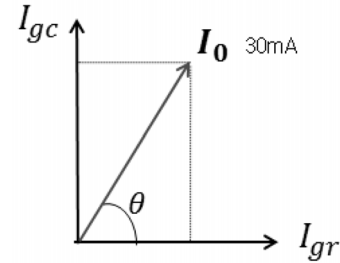
2. 축사와 일반 건축물의 누전성분 및 실태조사

2.1 축사 및 일반 건축물의 누전성분

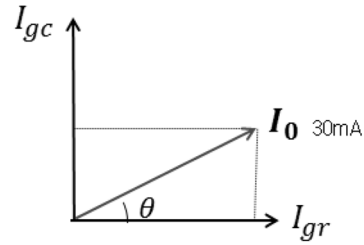
누전차단기는 합성 누전전류의 실효치(I_0)로써 저항성 누전전류 실효치(I_{gr})와 용량성 누전전류 실효치(I_{gc})와는 식 (1)과 같은 관계를 가진다.

$$I_0 = \sqrt{I_{gr}^2 + I_{gc}^2} \quad (1)$$

실제 감전이나 전기화재에 영향을 주는 유해성분은 저항성 누전전류에 의한 것인데 최신 디지털 장비 보급과 각종 환경적 요소에 의해서 용량성 누전전류가 증가하여 누전차단기가 동작하게 된다. 그러나 이러한 용량성 누전전류는 무효성분이라 열은 발생시키지 않아 화재로 직접 연결되지 않지만 누전차단기를 작동하게 한다. 상가와 아파트의 경우는 철골과 시멘트의 구조로 되어 있으며 전기배선공사는 별도의 배관에 전기배선을 설치하게 되어 있다. 그러나 축사는 외부에 배선이 노출되어 있는 구조이며 대부분 철골로만 구성되어 있고 전기배선의 경우는 철골에 임의 부착 및 외부 환경에 노출되어 있다. 이로 인하여 철골과 연결되어 있는 규모가 큰 축사에서는 철골에서 용량성 누전전류가 높게 나타난다. 저항성 누전전류는 겨울철, 특히 비와 눈이 오는 날에 높게 측정되었으며 이로 인하여 축산주는 빈번한 누전차단기의 작동으로 기존의 누전차단기 용량을 대용량으로 교체 또는 배선용차단기로 바



a) At cattle barn



b) Normal building

Fig. 1. Characteristic of leakage component at cattle barn and normal building.

꾸어 설치하게 되며 이로 인하여 누전화재가 빈번히 발생한다¹¹⁾. Fig. 1은 누전차단기의 합성 누전전류로 Fig. 1 a)는 축사에서의 용량성 누전전류가 높고 저항성 누전전류가 낮게 나타나며, Fig. 1 b)는 일반 건물에 대해서는 저항성 누전전류가 높게 나타나는 양상을 보였다.

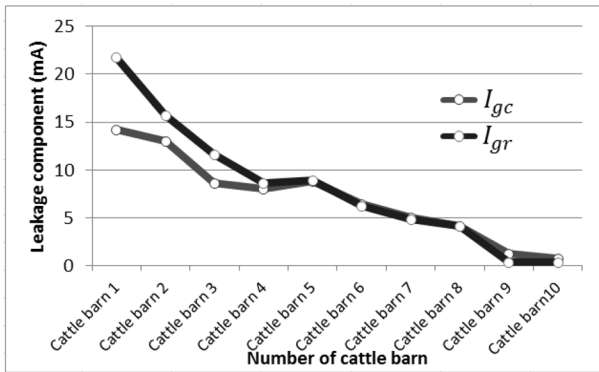
2.2 축사와 일반상가 및 주택의 누전성분비 실태조사

축사에서의 전기 위험성에 대한 누전성분의 특징을 분석하기 위하여 우사 10개소와 상가 및 주택 10개소를 선정하여 누전성분비를 측정하였다. 축사의 경우, 전기배선의 대부분이 외부에 노출되어 있고 자동급수통과 같은 상시 전원을 인가해야 하는 부하가 연결되어 있어 다른 계절에 비해 겨울철에 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 가장 높아 겨울철에 대한 데이터를 비교 분석하였다. Fig. 2는 축사부하를 On 상태에서 12월(Fig. 2 a), 1월(Fig. 2 b) 및 2월(Fig. 2 c)에 대한 저항성 및 용량성 누전전류를 분석하였다. Fig. 2 a)에서 축사 1(cattle barn 1)의 경우 가장 규모가 큰 축사로 겨울철에 저항성 누전전류의 평균은 21.8 mA, 용량성 누전전류의 평균은 14 mA로 매우 높게 나타났다. 저항성 누전전류의 경우 전기적 배선과 연결된 다양한 부하들이 연합하여 고장 전류가 발생한 것으로 판단되며, 용량성 누전전류의 경우는 큰 규모로 인하여 철골 구조가 크고 그로 인한 전기배선의 설치 길이가 증가하여 철골과 전기배선 사이에 구조적으로 발생한 충전용량이 증가한 것으로 판단된다. 축사 2(cattle barn 2)는 3,510 m²의 규모의 축사로

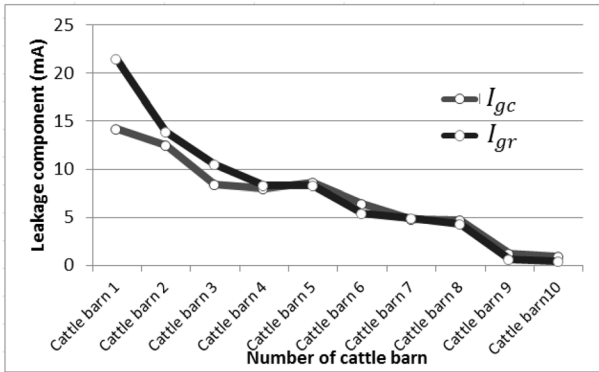
축사 1과 비교했을 때 490 m²만큼 작고 철골과 인접하여 발생한 용량성 누전전류의 경우 평균적으로 12 mA로 나타났다. 축사 3(cattle barn 3)과 축사 4(cattle barn 4)의 경우 그 규모가 다소 비슷하나 축사 5(cattle barn 5)의 경우는 축사 3과 축사 4의 절반의 규모인데 반하여 용량성 누전전류의 분포도가 매우 높게 나타남을 확인하였다. 축사 5에서 이렇게 높은 용량성 누전전류를 보인 것은 축사 3과 축사 4는 CV 전선(Cross-linked polyethylene and vinyl chloride insulated wire)¹²⁾을 사용한 반면 축사 5는

HIV전선(Heat resistance in-door poly vinyl chloride insulated wire)¹²⁾을 사용하여 절연관에 넣지 않고 외부에 노출되어 철골 구조물의 직접적인 영향으로 인하여 용량성 누전전류가 높게 나타났다. 축사 9(cattle barn 9)와 축사 10(cattle barn 10)의 경우 축사 규모 100 m² 이하의 경우는 저항성과 용량성 누전전류가 거의 나타나지 않음을 확인하였다.

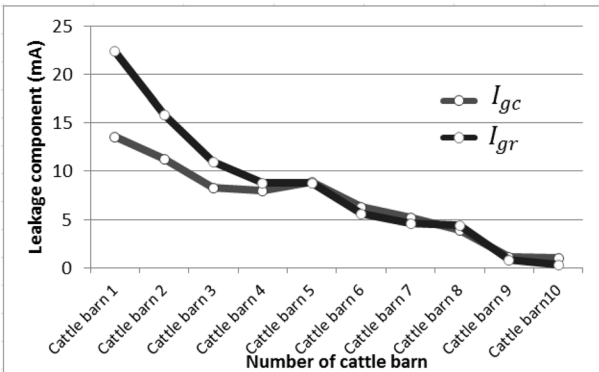
Fig. 3의 상가 및 아파트에 대한 저항성과 용량성 누전전류를 나타낸 것으로, 저항성 누전전류가 조금 높



a) December

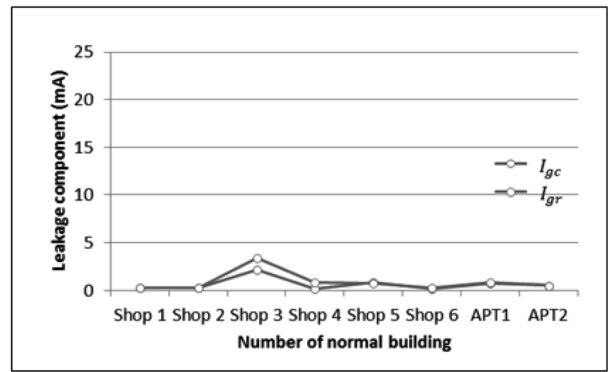


b) January

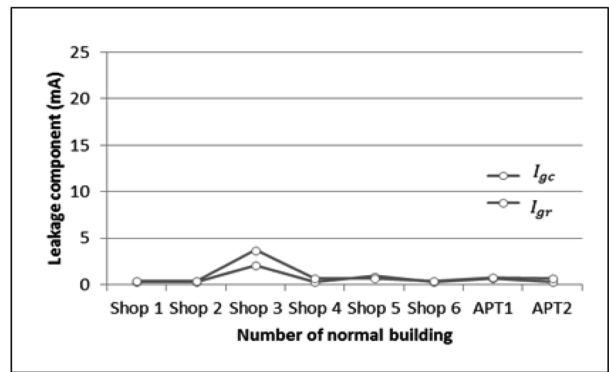


c) February

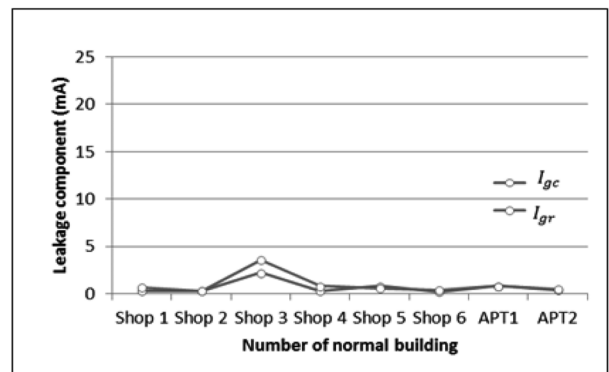
Fig. 2. Characteristic of leakage component for on the switch on loads at cattle barn 1~cattle barn 10.



a) December



b) January



c) February

Fig. 3. Characteristic of leakage component for on the switch on loads at shops and apartment.

게 나타났다. 이는 축사와 다르게 상가와 아파트의 전기설비가 실내에 주로 설치되어 있어서 용량성 누전전류의 노출이 낮은 것으로 판단된다. 축사는 일반 건축물과 다른 용량성 누전전류가 높게 포함되어 있어 누전차단기의 잦은 트립이 발생됨이 확인되었다. Fig. 3은 상가 및 아파트에 대하여 12월(Fig. 3 a), 1월(Fig. 3 b) 및 2월(Fig. 3 c)에 대한 저항성 및 용량성 누전전류를 나타내었다. 전반적으로 7개소에서는 비슷한 값을 보였으나 Shop 3에서는 다른 개소보다는 높은 값을 보였으나 이는 축사 8보다 낮은 누전전류값을 나타내었다. 특히 Shop 3는 다른 개소와는 달리 용량이 큰 식기세척기로 인하여 해당 개소에서 누전이 다소 높게 나타남을 확인하였다.

축사와 일반상가의 비교에서 외부환경적 요소의 영향을 많이 받는 축사의 부하들은 저항성 누전전류를 높게 하고, 전기배선은 용량성 누전전류를 높게 하는 특징을 보였다. 특히 축사 규모가 크다는 것은 철골 구조가 크다는 것과 사용된 전기 배선의 길이가 길다는 것으로 이것은 용량성 누전전류에 변수임을 확인하였다. 일반 빌딩의 경우 저항성 누전전류가 높게 나타났고 저항성 누전전류의 변화는 전기배선보다는 사용부하에 의한 것으로 확인되었다.

3. 축사 배선의 종류 및 길이에 따른 누전성분 실험 및 분석

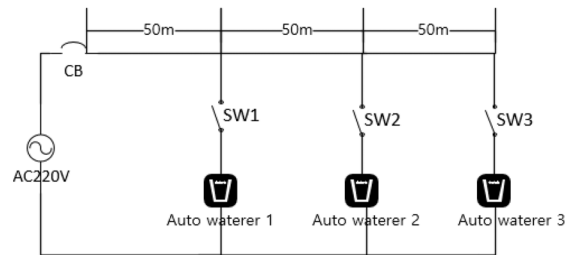
3.1 누전성분 실험

실태조사에서 용량성 누전전류는 전기배선의 종류와 길이, 사용부하에 영향을 받는 것으로 확인되었다. 이에 가장 많이 사용되는 전기배선으로 HIV(1.5 mm²), EV (polyethylene and vinyl chloride insulated wire, 2.0 mm²)¹²⁾ 및 CV(2.0 mm²) 등 3종류를 선택했다. 각각의 길이에 대하여 50 m, 100 m, 150 m의 길이를 구성하였는데 이것은 차단기로부터 자동급수기 1(Auto waterer 1)이 50 m에 설치되어 있고, 자동급수기 2가 100 m에 자동급수기 3이 150 m에 각각 설치되어 있어 해당 자동급수기의 설치거리와 동등하다. 사용된 자동 급수기는 모두 660 W의 용량을 가지고 있다. 실험장소는 청원지역의 변영농가(우사)에 설치하였다. 누전전류 성분 분석을 측정하기 위하여 (주)재신정보(JS-0901HC, I_{gr} 0~1,000 mA)의 I_{gr} 누전 분석기를 통하여 측정하였다¹³⁾. I_{gr} 누전 분석기는 단상 (1ø2w 110 V~240 V)에서 I_0 는 0 ~ 300 mA, I_{gr} 은 0 ~ 300 mA의 범위 내에서 측정 가능하다. 또한 그 값을 파형 및 수치로 모니터할 수 있어 측정이 간편하다. 본 연구에서는 수치화된 값을 기록하였다. 실험방법은 크게 2가지로

Case 1과 Case 2로 구분하였다. Case 1의 경우는 50 m(Table 1 a) 1_1)에서 자동급수기 1을 100 m(Table 1 a) 1_2)에서는 자동급수기 1과 2를 150 m(Table 1 a) 1_3)에서는 자동급수기 1, 2와 3을 On하여 측정하였다. Case 2의 경우는 50 m(Table 1 b) 2_1)에서 자동급수기 1만 On하고 100 m(Table 1 b) 2_2)에서는 자동급수기 2만을 On하고 150 m(Table 1 b) 2_3)에서는 자동급수기 3만을 On하여 측정하였다. Case 1의 경우는 부하와 전기배선 간의 누전전류의 특징을 Case 2는 전기배선 길이에 대한 누전전류의 특징을 분석하기 위하여 구분하였다. Fig. 4 a)는 누전성분을 측정하기 위한 장치를 나타내었고, Fig. 4 b)는 전기배선과 자동급수기에 대한 실험 도면이다. Fig. 4 c)는 실제 축사에서 누전성분을 측정하는 사진을 나타내었다. Table 1은 실험방법을 나타낸 것으로 Table 1 a)는 Case 1의 방법, Table 1 b)는 Case 2의 방법이다.



a) Instrument for analysis on leakage component



b) Schematic diagram of auto waterer and wiring



c) Measuring at panel

Fig. 4. Experiment instrument and setups of leakage component for wiring length at the cattle barn.

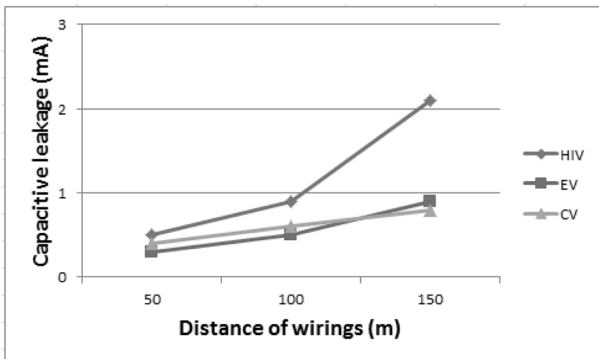
Table 1. Experiment methods for switch on/off of auto waterer and wiring length until CB(circuit breaker).

a) Case 1				
No.	Length until CB (m)	Switch on/off for case 1		
		1_1	1_2	1_3
auto waterer 1	50	on	on	on
auto waterer 2	100	off	on	on
auto waterer 3	150	off	off	on

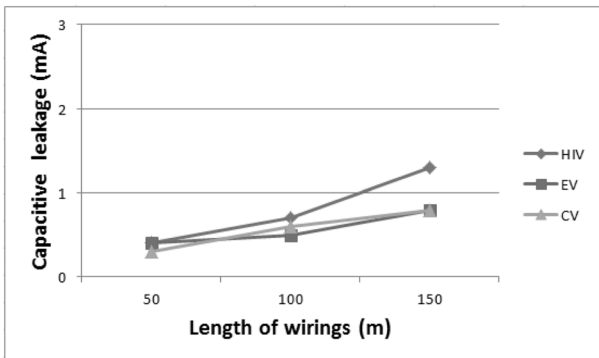
b) Case 2				
No.	Length until CB (m)	Switch on/off for case 2		
		2_1	2_2	2_3
auto waterer 1	50	on	off	off
auto waterer 2	100	off	on	off
auto waterer 3	150	off	off	on

3.2 누전성분 분석

Fig. 5는 전기배선의 종류와 길이에 따른 용량성 누전전류를 Fig. 6은 저항성 누전전류를 나타내었다. Fig. 5 a)는 Case 1의 경우로 HIV 전기배선의 용량성 누전

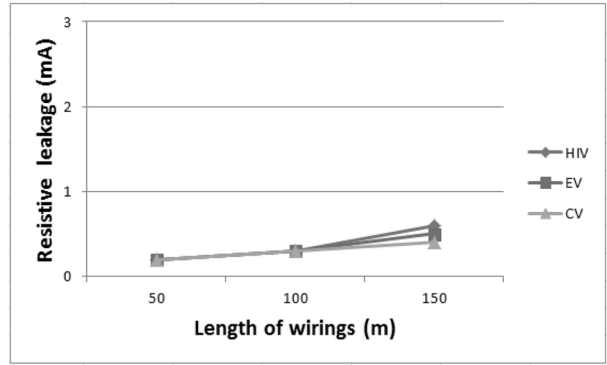


a) Case 1

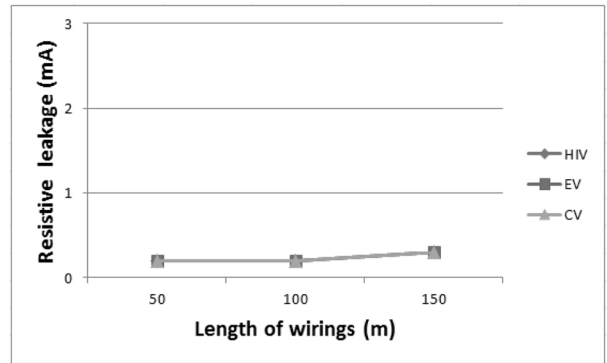


b) Case 2

Fig. 5. Characteristic of capacitive leakage current component for case 1 and case 2.



a) Case 1



b) Case 2

Fig. 6. Characteristic of resistive leakage current component for case 1 and case 2.

전류는 CV 전기배선과 EV 전기배선에 비해 높은 누전성분을 보였고 CV 전기배선과 EV 전기배선은 비슷한 값을 보였다. 또한 150 m에서 모든 전기배선의 용량성 누전전류가 높게 나타났다. Fig. 5 b)는 Case 2의 경우로 HIV 전기배선에서 길이에 따른 변화를 보였으나 나머지 전기배선은 큰 차이를 보이지 않았다. 용량성 누전전류의 크기는 배선의 길이와 부하의 사용에 여부가 중요 변수임이 확인되었다. Fig. 6 a)의 Case 1에서는 길이가 증가함에 따라 저항성 누전전류는 미소(微小)한 변화를 보였고, Fig. 6 b)의 경우는 변화가 나타나지 않았다. 측사는 철골구조에 연결된 전기배선의 종류와 길이 그리고 부하의 작동여부가 중요한 변수로 확인되었다.

4. 결론

본 논문은 청원 지역 규모별 우사 10개소와 규모가 다른 일반건물(상가 및 아파트) 8개소에 대하여 용량성 누전전류와 저항성 누전전류에 대한 실태조사를 실시하였고, 용량성 누전전류가 전기배선에서 종류와 길이에 영향을 받는 것으로 판단되어, 실제 측사에서 3종류

의 전기배선을 선정하여 길이와 부하에 대하여 Case 1 과 Case 2에 따른 실험을 실시하여 이를 분석하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 축사의 경우는 축사 규모와 사용된 전기배선에 높은 상관관계가 있었으며, 특히 CV 전기배선을 사용한 축사의 경우에는 용량성 누전전류와 저항성 누전전류가 낮게 나온 반면, HIV 전기배선을 사용한 축사에서는 용량성 누전전류가 저항성 누전전류보다 높게 나타났다. 일반건축물의 경우는 저항성 누전전류가 높았고 전기배선보다는 사용부하에 따라 전체의 누전성분값을 결정하였다.

2) 축사의 경우 전기배선의 종류와 길이, 사용부하에 따라 용량성 누전전류의 변화를 가져왔고 이로 인하여 누전차단기보다는 배선용차단기를 선호하는 경향이 높았다.

감사의 글: This paper was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program, (Project No.: 2012020730) funded by the Ministry of Knowledge Economy(MKE, Korea).

References

- 1) D. H. KIM, S. C. KIM, S. O. YOO, S. R. KIM and Y. B. KIM “A Study on Leakage Current Detecting System for Automatic Waterer using Livestock Barn”, pp. 34-40, Korea Society of Safety, Vol.26, No.4, 2011.
- 2) Nongmin Newspaper, “In Winter, Barn Fire, be Careful”, 2009.
- 3) Yonhap News, “General Fire Alarm Systems Installed in Housing Caused the Problem”, 2009.

- 4) National Institute of Animal Science All Rights Reserved (Livestock alert), <http://www.nias.go.kr>, 2012.
- 5) Korea Electrical Safety Corporation, “Barn Fire Hazard Electrical Equipment Survey Report”, pp. 1-3, 2005.
- 6) Rural Development Administration, “Barn Fire Prevention Glucose Summer”, <http://www.rda.go.kr>, 2010.
- 7) Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs and National Agricultural Cooperative Federation, “Standard Housing Design 2008”, pp. 3-4, 2008.
- 8) C. S. CHOI, “Analysis of the Principle and Operation Characteristics of an (Igc-Free ELB) Operated by an Active Component”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No.4, pp. 456-461, 2010.
- 9) M. I. CHOI, J. G. YU, J. C. JEON and S. M. BAE, “Development of Guard Lamp Remote Inspeccion System Using Resistive Leakage Current Detecting”, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No.10, pp. 81-89, 2009.
- 10) N. G. JOO, T. W. KIM and Y. B. LIM, “A Development of Resistive Leakage Current detecting circuit with Voltage Phase Comparison”, Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 172-173, 2009.
- 11) S. C. KIM and D. H. KIM, “Analysis of Characteristic for Electric Leakage Component at Stable Size”, Journal of the Korea Society of Safety, Vol. 27, No. 6, pp.54-58, 2012.
- 12) KESCO, “Hand Book for Electrical Safety Management”, pp.103-109, 2013.
- 13) JAESHIN Company, <http://www.jsdata.co.kr/>, 2014.