Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 33, No. 6, pp. 22-27, December 2018
Copyright@2018 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803, eISSN 2383-9953) *All right reserved.*
https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2018.33.6.22

화재진압 시 발생하는 주수 기둥의 저항분석 방법 연구

정병선 · 김응식*† · 박종열**

인터지스(주) · *호서대학교 안전소방학부 · **호서대학교 안전환경기술융합 대학원

(2018. 10. 22. 접수 / 2018. 11. 8. 수정 / 2018. 11. 21. 채택)

A Study on the Method of Resistance Analysis of Water Stream During Fire Supperession

Byeong-Sun Jung · Eung-Sik Kim*† · Jong-Yeol Park**

Intergis Co. Ltd.

*Division of Safety and Fire Protection Engineering, Hoseo University

**Department of Convergence Technology for Safety and Environment Graduate School, Hoseo University

(Received October 22, 2018 / Revised November 8, 2018 / Accepted November 21, 2018)

Abstract : Fire fighters are exposed to the risk of many accidents during fire suppression, especially near the high voltage circuit. In order to prevent and analyze the electric shock accidents, measurement of water resistance is crucial. However, this has been one of the overlooked research areas and it has been very difficult to measure the mixed up resistance components separately. In this paper, we measured a total resistance of apparatus and regarded it as a serial resistance of contact resistance and length dependant resistance. Measuring the resistance by varying the length of water stream, the variable resistance and fixed contact resistance appear, which are used to calculate the both components of resistances. In addition, the resistance of fire hose can be calculated from the parallel circuit which is formed by grounding the fire hose with the resistance of water stream. Results show that we can successfully measure the resistance per unit length of water stream and fire hose, thereby proving that this method is a facile way to measure water and fire hose resistance. However, many experiments are still required to obtain the precise contact resistance of ground under various condition and the resistance between the human body and fire hose.

Key Words : water stream, fire hose, resistance, electrocution

1. 서 론

화재발생 시 일반적으로 소방호수를 이용한 주수 소화 방식을 사용하게 되며, 대부분 전기설비는 보호계전기에 의해 회로가 차단된다. 그러나 선로가 화재로 끊어졌어도 누전이나 단락 전류가 발생하지 않으면 차단기가 동작하지 않을 수 있으며 끊어진 1차측 선로는 활선 상태로 남아 있게 된다. 이런 경우 소화용수를 사용하여 진화 중인 소방관은 감전에 노출될 수 있다. 2015년 5월 28일 파주 가구공장 화재 현장에서 2명의 소방관이 주수 소화 중 끊어진 22.9[kV] 선로에 의해 감전 피해를 입는 사고가 발생하였다. 사고는 1차측 전로의 차단이 이루어지지 않은 상태에서 발생한 것으로 추정된다. 즉 전주의 배전선이 화염으로 인해 단선되었으나 누전, 단락 혹은 접지 전류가 발생하지 않아서 보호계전기가 작동하지 않거나, 접지전류가 발생하여도 계전기의 고장으로 선로가 활선상태를 유지한 것이다. 전신주 인근에서 직사 방수로 진압 중이던 소방관이 감전된 후 후방에서 분사 방수로 엄호 중이던 다른 소방관이 다시 감전되는 사고였다[1,2]. 이외에도 보폭전압에 의한 감전의 가능성도 존재하나 주수 중 감전사고가 일어나 물에 의한 도전로을 가정하였다. 주수 중 감전으로 공사상 처리된 경우는 우리나라에서 거의 보고되지 않고 있다. 해외에서도 감전 사례들이 전력선 인근의 화재진압이나 산불 화재진압 시 발생하였으나 주수 중 감전 사고인지는 불명확하다[3,4]. 그러나 문헌에는 주수에 의한 감전에 주의를 요한다고 경고하고 있다.[5] 소방관들의 안전사고는 항상 발생하고 있으며,

† Corresponding Author : Eung Sik Kim, Tel : +82-41-540-5722, E-mail : eskim@hoseo.edu
Division of Safety and Fire Protection Engineering, Hoseo University, 20 Hoseo-ro, 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam 31499, Korea

최근에는 전국적으로 300여명의 공상자와 10여명의 순직자가 발생하는 실정이다[6]. 한편으로는 현재 태양광 설비, 전기 자동차등의 사용증가로 전기설비 인근의 안전 소화방법의 중요성이 부각되고 있어 주수 기둥의 저항이나 이의 측정법들이 필요한 시점이다[7,8].

본 연구에서는 주수 소화시 발생하는 감전경로의 분석을 위한 주수기둥 및 소방호스의 단위 길이 당 저항 성분을 측정하는 방법론을 제시하였다. 이전의 연구는 주수기둥에 수학적 모델링을 사용하였으나 접촉저항의 해석에 미흡한 점과 실규모 회로가 아니라는 단점을 가지고 있다[7]. 이를 위하여 저항을 접촉 저항과 주수 저항으로 나누어서 데이터를 분석하여 단위길이 당 주수기둥의 저항과 호스 저항을 측정하였다.

2. 감전 회로 모델링

Fig. 1에서 바닥에 직사주수 중 감전을 당한 입은 소방대원이 누워있고, 오른쪽 소방대원은 분사주수 중 곧이어 감전을 당해 2명의 부상자가 발생했다.[1-2] 소방대원이 주수하는 방향으로 전신주가 보인다. Fig. 2는 감전경로를 모델링한 것으로 소방대원이 화재로 단선된 활선에 주수하는 상황을 모의한 회로도이다. 활선 전압은 22.9[kV]이고 직사/분사 주수저항, 활선과 주수간의 접촉저항, 관창과 인체의 접촉저항, 인체저항, 인체와 대지 접촉저항, 소방호스 저항, 소방호스와 대지와의 접촉저항 등이 감전 전류의 크기를 결정하는 요소들이다. 여기서 주수저항 및 소방호스저항은 길이에 따라 변하는 회로의 저항 성분이다.

Fig. 1. Electrocutions during fire suppression.

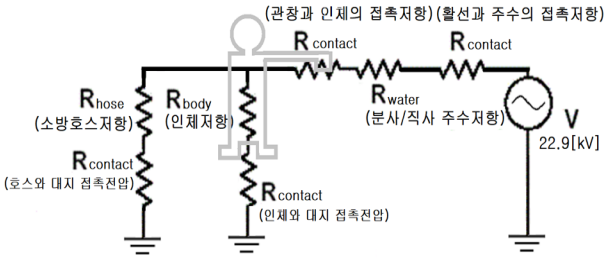

Fig. 2. Modeling of accident circuit.

3. 실험장치의 구성

3.1 주수 실험 장치도

각종 저항 성분의 측정을 위하여 Fig. 3과 같은 주수 장치를 제작하였다. 관창의 위치를 층에 따라 변화시켜 주수 기둥와 호스의 길이를 변화시킨다. 관창과 주수의 접촉저항, 접지전극과 주수의 접촉저항도 전류의 크기를 결정하는 요소이다. 관창을 조절하여 용수의 분출형태를 직사와 분사로 바꾸는 동시에 주수의 길이도 변화시켜 가며 주수 기둥의 저항과 접촉저항의 합을 측정하였다. 호스의 압력은 7 kg/cm^{2}으로 유지하였다. 고정틀은 부도체인 나무를 사용하여 가로, 세로를 1 m ×1 m 높이를 3 m로 제작하였다. 여기에 관창과 부착전극의 길이를 고려하면 실험한 주수의 길이는 각각 0.8, 1.8, 2.8 m이다. 유량은 밸브를 개방한 상태에서

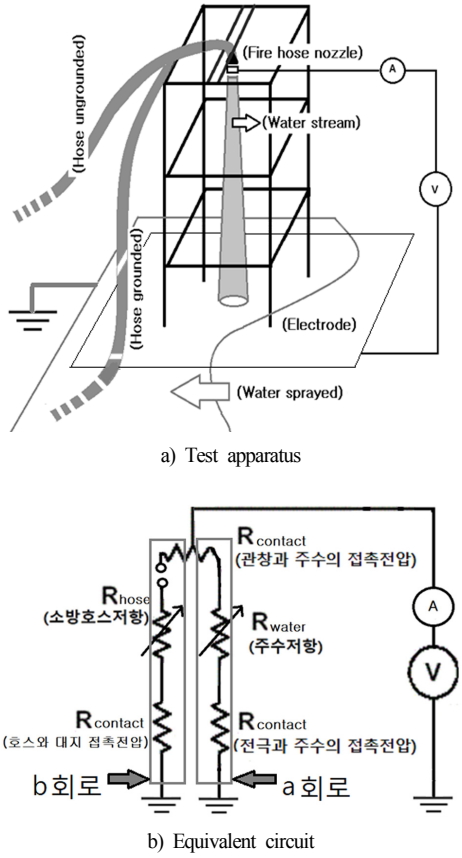

Fig. 3. Test apparatus and equivalent circuit.

103.2 l/min로 고정시켜 실험에 임하였다. 사용된 소방용수의 전도도는 25 mS/m로 측정되었다. 전기전도도는 PL700AL (측정범위: 0~199.9 μS/㎝, 오차범위: ±2 %)을 이용하여 측정하였고 3회 이상 반복 측정하였다. 소화 용수의 분사 분출 시 에 물줄기의 유선이 끊어지지 않는 정도 분사하여 대부분의 물줄기가 대지 전극 내에 분사되도록 조정하였다.

3.2 측정용 전극

Fig. 4는 관창과 이에 설치된 전극의 모습이다. 본 실험에서는 저항측정을 위하여 관창에 측정용 전극의 고정을 위하여 고정틀을 3D 프린터로 제작하여 부착하였다. 측정용 전극은 길이 15 cm 높이 4 cm의 3개의 평판 구리 전극의 중앙을 겹쳐 끼움으로도 6각의 전극이 각각 60°의 각을 이루도록 제작하였다. 관창 자체를 전극으로 사용하기 위하여 표면의 산화막을 제거해야 하는데 이 작업을 내부에는 실시할 수가 없어 추가 전극을 부착하여 전압원을 연결하였으며, 대지의 철판 전극은 1.5 m×3 m의 크기로 접지된 상태로 대지 위에 설치하였다.

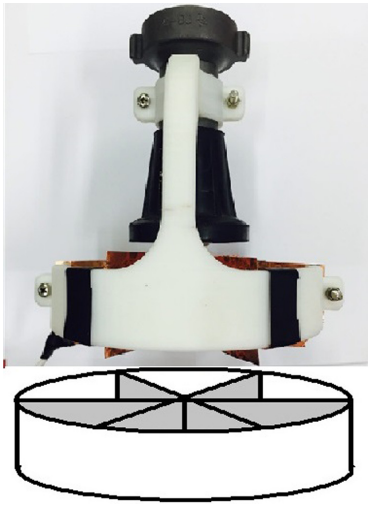

Fig. 4. Fire hose nozzle with electrode.

3.3 측정 장치

본 실험은 Fig. 3의 b)의 회로에서 전압을 인가하고 흐르는 전류를 측정하여 저항값을 구하는 것이다. 전원 전압으로 AC 0.06~1 kV 사이의 13개의 전압을 변화시키며 인가하며 전류를 측정하였다. 인가전압에 따른 저항값의 차이는 발생하지 않았다. 화재 현장에서의 전원 전압은 22.9 kV이지만, 실험에서는 사용 중인 설비에 전압을 인가하는 관계로 안전상 인가전압의 상한을 1 kV로 결정하였다. 전압원으로는 내전압 시험기인 KIKUSUI TOS9200를 사용하였으며 전류값도 시험기에서 통하여 얻게 된다. 본 기기는 전류의 상한치를 제한할 수 있어 안전한 실험을 위해 전류의 상한치를 10 mA로 설정하여 실험을 수행하였다.

4. 실험 및 결과

실험은 인가전압 13개, 주수높이 3개, 주수형태 2개, 소방호스의 접지 여부 등에 따라 각각을 실험조건으로 실시하였고 각 종류 별로 6회 정도의 반복실험을 실시하여 평균값을 구하였다. 실험은 약 10개월 정도에 걸쳐서 비가 오지 않는 주말을 택하여 진행하였다.

4.1 소방호스의 비접지 실험

Fig. 3의 a)에서 소방호스를 비접지상태로 실험하면 소방호스의 길이가 소화전까지 약 50 m 정도로 길어져 큰 값을 갖게된다. 이 경우 b)의 회로에서 소방호스 저항값이 커지게 되어 b회로 쪽은 개방으로 간주하게 되어 주수저항과 주수 접촉저항만이 있는 a회로만 존재하게 된다. 결과적으로 소방호스가 접지 되지 않은 경우 Fig. 3의 b)에서 소방호스 측의 저항은 개방된 상태로 간주한다. Table 1은 각각의 주수길이에서 직사/분사 주수의 경우 측정된 저항의 평균값이다.

Table 1. Average resistance according to length of water stream with hose ungrounded

Length of water stream [m]	Avg. resistance [kΩ] (Straight water stream)	Avg. resistance [kΩ] (Sprayed water stream)
0.8	264.85	351.89
1.8	434.92	478.14
2.8	619.65	613.96

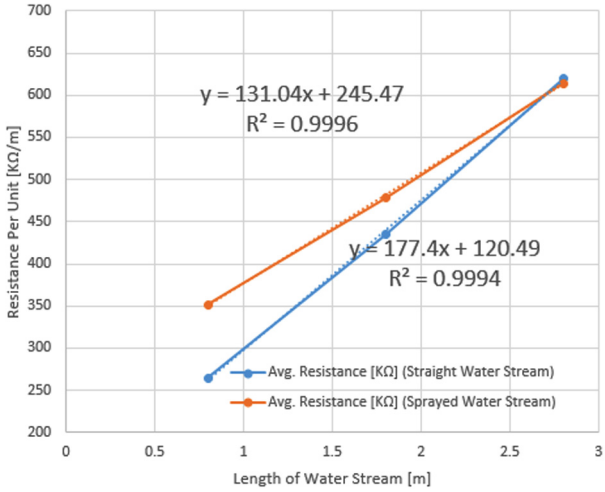

Fig. 5. Average resistance according to length of the stream.

Fig. 5는 Table 1에 나타난 길이별 저항 변화를 나타낸 그래프이다. 두 경우 모두 주수 길이에 따라 저항이 증가하는 추세를 보이고 있다.

4.2 소방호스의 비접지 실험결과 분석

얻어진 결과의 저항 평균은 Fig. 5와 같은 Y= A·X + B (Y: 저항값, X: 주수 길이)의 형태로 주어진다. 이 식은 종속변수와 독립변수의 선형상관 관계를 모델링 하는 회귀분석 기법을 사용하여 구하였고 본 논문에서는 엑셀의 선형 추세선 도구를 이용하였다. R^2은 결정계수로 종속변수과 독립변수 사이에 상관관계가 높을수록 1에 가까워진다. 식은 저항은 길이에 비례하는 성분 A·X와 접촉저항 성분 B로 나뉘게 된다. 따라서 기울기 A는 단위 길이 당 주수기둥의 저항값이며 절편인 B는 접촉저항 합으로 나타난다. 접촉저항은 부착전극과 주수 사이에서, 주수와 철판전극 사이에서 존재한다. 3.2절에서 관창의 부착전극의 경우 구리 평판의 개수와 높이를 늘려가며 전류을 측정하였으나 측정값의 차이가 없음을 확인하였다. 따라서 전체 저항값에 비하여 매우 작은 저항값을 갖고 있음을 알 수 있었다. 그래프의 절편은 주수 길이에 상관이 없는 접촉저항의 합을 대표하며 기울기는 단위 길이 당 저항값을 나타낸다. 이 그래프에서 직사 주수시의 단위길이당 저항은 177.40 ㎏/m이고 접촉저항의 합은 120.49 ㎏으로 구해진다. 직사 주수의 경우 주수기둥과 접지철판과의 접촉 면적은 차이가 없다고 가정하였고 이 경우 접촉저항은 변하지 않는다고 가정한다.

분사주수일 경우 주수기둥과 접지철판과의 접촉 면적이 주수기둥의 길이에 따라 증가하게 되어 접촉저항에 차이가 발생하고 이를 모델링에 고려하여야 한다. 따라서 접촉저항을 첫째 변하지 않는 상수, 둘째 접촉면의 반경에 반비례, 셋째 접촉면의 면적에 반비례한다는 세 가지 가설을 세워 각각의 경우 주수의 단위길이당 저항 및 접촉저항을 구하여 보았다. 이중 두 번째 경우인 접촉면의 반경에 반비례한다는 조건에서 단위길이 당 저항과 접촉저항의 합리적 해를 구할 수 있었다. 분사 주수의 경우 길이 당 저항은 197.2 kΩ이고 접촉저항의 합은 주수기둥의 길이가 0.8, 1.8, 2.8 m일 경우 각각 188.1, 125.4, 62.7 ㎏으로 계산되었다.

분사 주수의 경우 단위길이 당 저항이 직사보다 커짐을 알 수 있다. 분사의 경우는 통전되는 실효 단면적이 직사보다 작아지기 때문이라고 유추되며, 접촉 저항은 물기둥이 갈라져 접촉면적이 제일 넓은 2.8 m 높이에서 주수한 경우 가장 적은 접촉저항 값을 나타내고 있다.

4.3 소방호스의 접지 실험

앞절과는 반대로 Fig. 3의 a)에서 소방호스를 대지에 늘어뜨려 접지상태로 실험하면 Fig. 3의 b)에서 a회로와 b회로가 연결된 병렬회로가 구성되고 이 회로에서 등가 병렬저항 값을 구한다. 구해진 병렬저항값에서 앞절에서 구한 a회로의 저항값 Y를 대입하여 역산으로 b회로의 저항값을 구할 수 있게 된다. 호스 접지 실험을 통해서 얻을 수 있는 값은 소방호스의 저항과 이에 연결된 접촉저항의 합이다. 대지는 분출된 소방용수로 젖은 상태를 유지한다. Table 2는 주수기둥과 소방호스의 평균 병렬저항 측정값을 정리한 것이다. 주수기둥과 소방호스의 길이 조건도 Table 2에 표기하였다. Table 1의 값들과 비교하면 소방호스의 병렬연결에 의하여 저항값들이 감소한 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Parallel resistance value according to length of water stream with hose grounded

Length of water stream / fire hose length [m]	Avg. parallel resistance [kΩ] (Straight water stream)	Avg. parallel resistance [kΩ] (Sprayed water stream)
0.8/1.8	135.42	126.76
1.8/2.8	189.22	168.07
2.8/3.8	245.38	217.10

4.4 소방호스의 접지 실험 결과 분석

Table 1에서 직사주수의 경우 Fig. 3의 a) 회로에서 주수의 길이 0.8 m일 때 측정한 저항 264.85 ㎏에 병렬로 Fig. 3의 b) 회로의 소방호스 1.8 m의 저항 $R_{1.8}$와 호스-대지 간 접촉저항 R_c가 추가된 회로를 구성한다.

이 경우 병렬저항 값은 Table 2의 135.42 ㎏로 측정되므로 Fig. 3의 b) 회로에서 식(1)과 같은 병렬식이 성립한다. 같은 방법으로 직사주수에서 길이 1.8, 2.8 m일 경우 식(2)와 (3)이 성립한다. 분사주수의 경우 동일한 방식으로 Table 2의 측정값에서 다시 3개의 식이 성립된다. 이와 같이 총 6개의 식에서 Table 3과 같은 6개의 값이 구하여진다.

$$\frac{(R_{1.8}+R_c)\times 264.85}{R_{1,8}+R_c+264.85}=135.42 \quad (1)$$

$$\frac{(R_{2.8}+R_c)\times 434.92}{R_{2.8}+R_c+434.92}=189.22 \quad (2)$$

$$\frac{(R_{3.8}+R_c)\times 619.65}{R_{3.8}+R_c+619.65}=245.38 \quad (3)$$

Table 3. Resistance of grounded fire hose according to length

Resistance of grounded fire hose	Resistance [kΩ] (Straight water stream)	Resistance [kΩ] (Sprayed water stream)
R1.8 + Rc	277.11	198.13
R2.8 + Rc	334.94	259.17
R3.8 + Rc	406.26	335.85

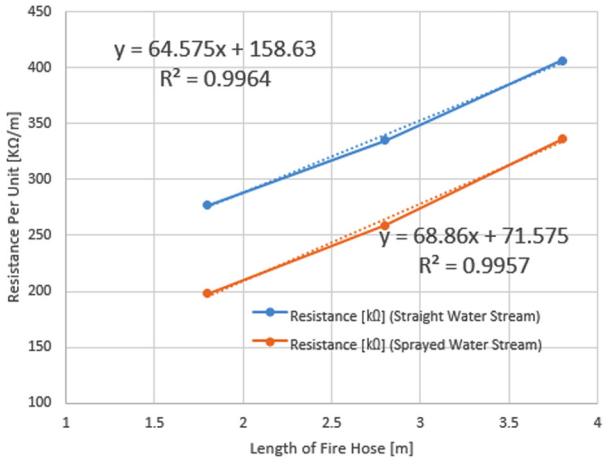

Fig. 6. Resistance of fire hose according to length.

Fig. 6은 Table 3에서 얻어진 소방호스의 저항과 소방호스의 대지간 접촉전압을 Y= A·X + B (Y: 저항값, X: 호스 길이)의 형태로 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 Fig. 5와 같이 길이에 비례하는 성분 A·X와 접촉저항 성분 B로 나누어 해석하여 소방호스의 단위 길이당 저항과 접촉저항 성분을 구하고 이를 Table 4에 정리하였다. 분사주수와 직사주수의 경우 호스의 단위길이당 저항은 64.58과 68.86 kΩ/m이며 평균값 67.72 kΩ/m를 대표값으로 사용하면 최대 6%의 오차 내에서 일치하고 있었다.

Table 4. Resistance of fire hose per unit length and contact resistance

	Straight water stream	Sprayed water stream	Average
Resistance of fire hose per unit length	64.58[kΩ/m]	68.86[kΩ/m]	67.72 [kΩ/m]
Contact resistance	158.63[kΩ]	71.58 [kΩ]	

4.5 결과 비교

Table 5는 최종 결과 주수형태에 따른 저항값와 호스의 단위길이 당 저항값을 정리한 것이다. 비접지 실험으로 구한 직사 주수시의 단위길이 당 저항은 177.40 kΩ/m이고 분사 주수의 경우 197.2 kΩ/m로 계산되어 분사주수의 경우 물의 분산으로 단위길이 당 저항이 늘어남을 확인하였다, 비접지 실험 때 구한 측정 저항은

Table 5. resistances of water stream and fire hose per unit length

	Straight water stream [kΩ/m]	Sprayed water stream [kΩ/m]	Fire hose [kΩ/m]
Resistance per unit length	177.40	197.2	67.72

Table 1에 나타낸 것과 같이 265~625 kΩ의 분포를 갖지만, 접지실험의 경우 저항이 135~245 kΩ로 줄어들어 병렬회로의 구성을 확인할 수 있었다. 접지 병렬회로에서 호스의 단위길이 당 저항은 67.72 kΩ/m로 주어진다. Table 5에서 소방호스는 관내로 물이 흐르므로 주수 기둥보다 약 1/3 정도의 저항성분을 갖는 것으로 측정되었다.

5. 고 찰

실험설계 시 주수저항이나 소방호스의 저항을 실험실에서 측정하려 하였지만, 예비 실험단계에서 실제 현장과 유사한 환경을 만드는 것이 매우 어렵고 또한 측정한 값이 현장에서도 그대로 적용된다는 보장이 없어 야외실험을 결정하였고 많은 시행착오를 거쳤다. 가장 어려운 부분은 접촉저항에 관한 해석이었는데 실험 데이터에서 가변저항과 고정저항을 분리함으로 해결하였다. 하지만 개개의 접촉저항을 구하지 못하고 합을 구하게 되는 단점이 존재한다. 실제 시험조건으로 관창의 종류(형태, 재질, 이력, 직사/분사에 따라 형태가 변함), 물의 종류(수돗물, 지하수, 빗물), 바닥의 조건(토양, 시멘트, 전극의 유무), 표면의 상태(바닥의 젖은 상태) 등 여러 요소들이 복합적으로 작용하고 있어, 정확한 실험을 하려면 수많은 조건이 변수로 주어져야 한다. 그 외에 실제 소방관이 주수 시 관창, 호스 및 인체가 물로 연결되는 복잡한 구조이고, 관창의 재질과 이력 그리고 소방관의 장갑의 젖은 정도에 따라 접촉저항이 달라질 것으로 예상된다. 하지만 이것들을 모두 모의하여 측정하는 것은 실제로 어려운 일이라 사료된다. 따라서 본 논문에서는 가변하는 접촉저항의 크기와 주수와 소방호스의 저항을 측정하는 방법론 제시를 목적으로 하였으며 조건 몇 개를 고정시킨 후 실험하였다. 고려해야 할 다른 하나의 감전의 형태는 주수기둥을 경유하는 플라쉬 오버에 의한 감전이 있을 수 있다[9].

다음은 측정된 저항값으로 서두에 소개된 사고사례에 적용하여 소방대원을 통해 흘렸을 전류의 크기를 유추해 보았다. 이것은 실제 회로에 적용하기에는 많은 부분이 검증되어야 하나 여기서는 전류의 크기를 계산으로 예측해 보는 정도로 사용하였다. 첫째로 소

방호스의 비접지, 주수의 길이 3 m, 소방관의 인체저항을 1 kΩ로 소방장갑, 장화 등의 다른 저항 성분을 각각 2 kΩ로 가정한다[10]. Fig. 2에서 전체 저항은 5 (인체저항과 보호구 저항의 합) + 197.2(분사시 주수 단위길이 당 저항)×3 + 62.7(분사 시 접촉저항)= 659.3 kΩ로 주어지고, 활선전압을 22.9 kV로 하면 인체 통전전류는 34.73 mA로 주어진다. 여기서 인체 저항과 보호구 저항의 합을 20 kΩ로 가정하면 전류는 33.91 mA로 줄어드나 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 다른 저항이 너무 크기 때문이다. 둘째로 첫째 조건에 추가로 소방호스가 접지되었고 지면으로부터 2 m정도의 길이를 가지고 있다고 가정한다. 소방호스는 2 × 67.72 = 135.44 kΩ의 저항값을 갖고 접촉저항은 71.58 kΩ이 된다. 이 경우 병렬회로의 해석에서 인체 통전전류는 27.01 mA로 줄어든다.

6. 결 론

본 연구에서는 실규모 주수 장치를 만들어서 내전압 시험장치를 이용하여 주수 물기둥과 소방호스의 저항을 측정였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 간단한 장치의 구성과 측정된 저항을 가변성분과 접촉저항 성분으로 나누고 이를 분리 해석함으로 주수 기둥과 소방호스의 저항을 측정하는 효과적인 방법을 제시하였다.

2) 소방호스를 병렬로 연결하여 얻어진 총 저항에서 이미 주어진 주수의 저항을 이용하여 역산으로 소방호스의 저항을 구할 수 있었다.

3) 직사주수 시 물기둥의 단위길이 당 저항은 177.40 kΩ/m이고 분사주수 시 단위길이 당 저항은 197.2 kΩ/m로 측정되었다.

4) 소방호스의 단위길이 당 저항은 67.72 kΩ/m로 구하여졌다.

5) 소방호스의 연결은 병렬회로를 구성하여 인체 통전전류를 다소 감소시키는 결과가 나온다.

6) 실험은 관창의 종류, 물의 종류, 바닥의 조건, 바닥 표면의 상태 등 여러 요소들이 복합적으로 작용하고 있기 때문에 각 경우에 정확한 값을 얻기 위해서는 수많은 실험이 필요할 것으로 사료 된다.

예방대책으로 전기설비에 주수할 경우 한전, 전기관리자에 연락하여 계전기가 작동하여 전원의 공급이 끊겼는지를 확인해야 하고, 공급 여부가 불분명할 때에는 충전부에 대한 주수를 금해야 한다.

※본 논문은 호서대학교 안전환경기술융합대학원 정병선의 석사 논문 “주수소화 시 발생하는 저항 특성에 관한 연구”에 기초하여 작성되었습니다.

References

1) The Kyunghyang Shinmun “Pajoo Furniture Factory Fire, 1 Missing 3 Wounded”, 2015. 05. 28.
2) https://www.youtube.com/watch?v=xozVqUg_2b8&t=3s, “Fire Fighter Bearing Their Own Treatment”, SBS8 News, 2015. 10. 04.
3) “Volunteer Fire Fighter is Electrocuted while Fighting a Grass Fire-California”, Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH), No. 99F-26, 1999a.
4) “Downed Power Line Claims the Life of One Volunteer Fire Fighter and Critically Injures Two Fellow Fire Fighter-Missouri”, Cincinnati,OH: U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS(NIOSH), No. 99F-37, 1999b.
5) Doug Leihbacher, “Electrical Safety on the Fireground”, Fire Engineering Magazine, Vol. 159, Issue 6, 2006.
6) Y. J. Lee, S. H. Hyun, J. M. Cha, Y. S. Song, H. S. Kim and Y. S. Ahn, “A Study on the Safety Accident of Firefighters”, Proceedings of 2010 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 126-132, 2010.
7) J. S. Kim and S. P. Kwon, “A Study on the Risk of Electric Shock from the Sprayed Water for Fire Suppression of the PV Installed Building”, Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 47-51, 2014.
8) R. T. Long Jr, A. F. Blum, T. J. Bress and B. R. T. Cotts, “Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”, Fire Protection Research Foundation 2013.
9) “Firefighter Electrocuted in Kentucky Ice Bucket Challenge Accident has Died”, The Washington Post, 22. 09. 2014.
10) Mohamed EL-harkawi, “Electrical Safety Practice and Standard”, CRC Press, pp. 106-107, 2013.