

전격재해의 유형 및 대책에 관한 연구

권용준 · 손병창* · 이명희** · 신승현*†

한국산업안전공단 · *계명대학교 산업공학과 · **한국전력공사
(2000. 8. 7. 접수 / 2000. 12. 16. 채택)

A Study on Classification of Electric Shock Disasters and Countermeasures

Yong-Jin Kwon · Byung-Chang Son* · Myung-Hee Lee** · Sung-Heon Shin*†

Korea Occupational Safety & Health Agency · *Department of Industrial Engineering, Keimyung University
**Korea Electric Power corporation

(Received December 7, 2000 / Accepted December 16, 2000)

Abstract : In this modern age which electric energy is the fundamental source of energy in the industry, electric shock disasters are unavoidable. Although numerous efforts, time, and money have been invested to prevent such electric shock disasters, the number of electric shock disasters are on the increase. In this study, models for equivalent electric circuit are developed for the different types of electric shock which are classified into three groups. The objective of these models is to calculate the electric current flowing through the body at the time of the shock. Based on the analysis, countermeasures to prevent the shock are suggested. The data used in this study are based on 28 actual incidents which occurred in the Daegu area during January of 1995 through June of 1999. The results of this study can be used as a technical manual for workers treating electrical facilities.

Key Words : electric shock, ventricular fibrillation, schematic diagram, equipment circuit

1. 서 론

전기에너지는 인류의 문화와 문명의 유지를 위한 청정에너지원으로 점차 그 수요가 증가하고 있다. 최근 국내는 물론 국외 각국에서 환경에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이러한 국내·외의 흐름을 고려하면 화석연료에 비해 상대적으로 오염물질을 적게 유발하는 전기에너지는 이제 인류에게는 필수적인 에너지원이라고 할 수 있다.

장점들을 가지고 있음에도 불구하고 전기에너지는 취급시 작업자의 조그만 실수만 있어도 그 피해는 전기에너지를 사용하는 설비의 손상은 물론, 작업자 혹은 에너지원에 접촉한 피해자를 사망에 이르게도 한다. 전기에너지가 인체의 일부 또는 대부분에 전기가 흘러 충격을 받는 현상을 감전이

라고 하는데, 이는 아아크의 복사열에 의한 화상과 함께 인체가 전기에너지로부터 받을 수 있는 주된 피해 중의 하나이다.

노동부가 발표한 산업재해 공식통계를 보면 1999년 11월말 현재 산업현장에서 산업재해로 인하여 부상당하거나 사망한 근로자가 55,405명으로 재해율 0.74%를 기록하였으며, 이 중 사망자는 2,291명으로 사망만인율 3.08으로 나타나, 근로자 일만명당 약 3명이 사망하였다. 이중 전기로 인한 감전재해 사망자수는 93명으로 전체 사망자수의 4.6%를 차지하고 있다¹⁾. 이는 재해발생형태별 분류 20가지 중 개인질병 등 사업장내 재해가 아닌 4가지를 제외한 16가지 분류에서 볼 때 추락(325명), 협착(95명) 다음순으로 상당히 높은 점유율을 나타내고 있다.²⁾

전기에너지로 인한 감전재해는 발생원인에 따라 다섯가지 유형으로 나눌 수 있는데 첫째, 전위차가 있는 2개소의 전선로에 인체의 두부분이 각각

† To whom correspondence should be addressed.
shs219@kmucc.kmu.ac.kr

접촉되어 인체가 단락회로의 일부로 구성되는 경우. 둘째, 전선 등 충전부에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한 부분은 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 지락회로를 구성한 경우. 셋째, 누전상태에 있는 기기의 외함에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한 부분은 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 누전회로와 병렬로 회로를 구성하는 경우. 넷째, 전기쇼크를 인위적으로 인체에 가하는 경우. 다섯째, 전기의 유도현상에 의하여 인체에 유도전류가 통전되는 경우로 분류할 수 있다. 그러나 위의 넷째 및 다섯째 유형은 일반산업현장에서는 발생가능성이 매우 희박하므로 본 연구의 범위에서는 제외시키고자 한다.

본 연구에서는 감전재해가 발생한 상황을 파악할 수 있는 자료수집을 우선적으로 실시하여 각 유형별로 분석하였다. 이를 통하여 감전재해의 발생 원인을 파악하여 이에 따른 대책을 제시하여 동종 및 유사재해의 재발 방지에 기여하고자 한다.

2. 연구방법

인체는 피부로 덮여 있으며 내부조직은 혈액과 임파선으로 충만되어 있다. 내부조직의 전기저항은 낮은 반면, 피부표면을 덮고 있는 각질층은 전기저항이 크다. 그러므로 전기에 접촉한 경우의 인체의 전기적 조건은 그 부위 피부의 건습도와 두께에 좌우된다. 피부는 건조할 때 20,000Ω ~ 100,000Ω 습할 때 1,000Ω 정도의 저항을 가지고 있으며, 두 팔과 두 다리 사이의 전기저항은 습도의 정도에 따라 크게 다르고 그 측정치도 수백에서 수만 오옴의 범위이다.^{8~10)}

전압이 낮은 범위에서는 피부의 건습에 의한 저항의 차이가 크지만, 전압이 높은 범위에서는 피부저항이 절연파괴의 상태가 되므로 위험성은 더 커질 수밖에 없다. 감전에 의한 인체의 상해정도는 인체를 흐르게 되는 전류의 크기에 따라 최소감지전류, 고통한계전류(이탈전류, 가수전류), 불수전류(마비한계전류), 심실세동전류(치사전류), 안전전류로 구분한다. 이 중 안전전류는 이탈전류의 범위 내이며, 그 이상의 전류는 모두 위험전류이다. 그러나 이탈전류라 하더라도 손을 땔 수 없는 상태가 오래 지속되면 호흡곤란이나 의식불명 상태로 진행될 수 있다. 그 원인은 인체에 대한 영향이 전류

×시간, 즉 인체로의 통전에너지의 크기에 비례하기 때문이다.

감전시 인체는 전류에 의한 전기쇼크와 인체세포의 파괴에 의하여 가벼운 전격부터 중상, 사망에 이르는 상태를 초래하게 되는데, 특히 위험한 심실세동(Ventricular Fibrillation)은 그 전류의 범위를 중시하여야 한다.

심실세동이란, 손에서 손, 손에서 발 등으로 피부에서 인체내부를 통해 전류가 흘렀을 경우에, 일정 이상의 전류크기에서는 전류의 영향으로 심장의 규칙적인 동작이 문란하게 되기 때문에 심근이 미세한 진동을 일으켜 수축이 정지하는 현상을 말하는데, 심실세동이 야기되면 전신에 있는 세포로의 규칙적인 혈액순환이 정지되기 때문에 수분 이내에 뇌세포를 비롯한 각 조직의 세포가 마비된다.

앞서 기술한 바와 같이 심실세동은 전격재해의 주된 사망 원인이며 이를 방지할 수 있는 대책의 마련이 요구된다.

본 연구에서는 먼저 전격재해가 어떠한 경로를 통하여 발생되는지를 파악하여 이에 대한 적절한 대책을 마련하기 위하여 1995년 1월 1일에서 1999년 6월 30일까지 대구지역에서 발생한 전격사망재해 28건을 수집하였다. 수집된 자료를 다음의 근거에 의해 유형별로 분류하였으며, 각 유형에 해당되는 개략도를 추정하여 도시하였다.

- Case I : 전위차가 있는 2개소의 전선로에 인체의 두부분이 각각 접촉되어 인체가 단락회로의 일부로 구성되는 경우
- Case II : 전선 등 충전부에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한 부분은 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 지락회로를 구성한 경우
- Case III : 누전상태에 있는 기기의 외함에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한 부분은 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 누전회로와 병렬로 회로를 구성하는 경우

추정된 개략도를 기초로 각 유형의 전기적 등가회로도를 작성하여 감전시 차단이 가능한 전격인자들을 추출하였다. 이를 통하여 세가지 유형 각각에 대해 전격재해를 방지할 수 있는 적절한 대책을 제시하고자 한다.

Table 1. Occurrences of Electrical shock disasters in the Daegu area(Jan.1996~ June.1999)

연번	감전형태	감전전압	재해자의 직종	재해발생장소	재해발생 기인물	재해 발생월	업종	사망원인
1	CASE III (a)	220V	일반근로자	습윤한 장소	고정식 설비	4월	제조	심실세동
2	CASE II (b)	380V	일반근로자	건조한 장소	고정식 설비	5월	제조	심실세동
3	CASE II (b)	220V	일반근로자	건조한 장소	고정식 설비	8월	제조	심실세동
4	CASE II (a)	154KV	일반근로자	건조한 장소	특고압 선로	9월	전기·통신업	추락
5	CASE II (b)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	11월	전기·통신업	화상
6	CASE II (b)	380V	일반근로자	건조한 장소	고정식 설비	7월	제조	심실세동
7	CASE II (a)	380V	전기설비	건조한 장소	고정식 설비	4월	제조	추락
8	CASE III (b)	220V	일반근로자	습윤한 장소	고정식 설비	7월	제조	심실세동
9	CASE I	3.3KV	전기설비	건조한 장소	배전반	7월	제조	화상
10	CASE III (a)	220V	일반근로자	습윤한 장소	이동식 설비	3월	제조	심실세동
11	CASE II (b)	380V	일반근로자	건조한 장소	고정식 설비	5월	제조	심실세동
12	CASE III (b)	220V	일반근로자	건조한 장소	저압선로	8월	서비스	추락
13	CASE III (a)	220V	일반근로자	습윤한 장소	이동식 설비	10월	제조	심실세동
14	CASE II (a)	22.9KV	일반근로자	건조한 장소	배전반	4월	서비스	화상
15	CASE III (b)	220V	일반근로자	습윤한 장소	이동식 설비	6월	제조	심실세동
16	CASE II (b)	380V	전기설비	건조한 장소	저압선로	8월	건설	심실세동
17	CASE II (b)	65V	용접공	철골위	이동식 설비	8월	건설	심실세동
18	CASE II (b)	380V	전기설비	건조한 장소	고정식 설비	9월	건설	심실세동
19	CASE II (a)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	5월	건설	심실세동
20	CASE II (a)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	3월	건설	심실세동
21	CASE III (b)	380V	일반근로자	습윤한 장소	이동식 설비	8월	전기·통신·가스업	심실세동
22	CASE II (a)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	12월	전기·통신업	심실세동
23	CASE II (a)	154KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	3월	전기·통신업	심실세동
24	CASE II (b)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	11월	전기·통신업	화상
25	CASE III (a)	220V	일반근로자	습윤한 장소	이동식 설비	7월	건설	심실세동
26	CASE III (b)	220V	일반근로자	건조한 장소	이동식 설비	7월	건설	심실세동
27	CASE II (b)	22.9KV	전기설비	건조한 장소	특고압 선로	7월	전기·통신	심실세동
28	CASE II (b)	440V	전기설비	철골위	저압선로	8월	전기·통신	심실세동

3. 연구결과

3.1. 감전유형의 전기적 등가회로의 작성

3.1.1 Case I의 경우

전위차가 있는 2개소의 전선로에 인체의 두부분이 각각 접촉되어 인체가 단락회로의 일부로 구성되는 경우이다. 개략도는 Fig. 1과 같고, 전기적 등가회로는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

이때 인체에 흐르는 통전전류 I 는 식(1)과 같고 전류의 크기를 결정하는 주요 factor는 손의 접촉 저항이 된다. 즉, 손에 당해전로의 전압에 견딜 수 있는 절연장갑을 착용한 상태로 접촉하였다면 R_{h-a} ,

AC 3상 380V

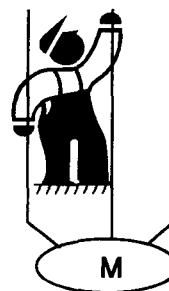
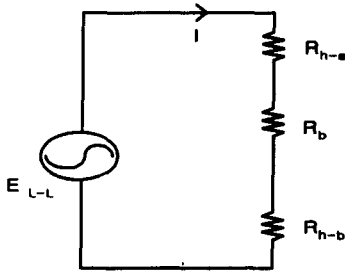


Fig. 1. Schematic diagram for Case I

R_{h-b} 가 수십 MΩ 이상이 되어 I는 거의 0에 가깝게 되겠지만 맨손으로 특히, 습윤한 상태로 접촉하였다



R_{h-a} : 한손의 접촉저항
 R_b : 인체저항
 R_{h-b} : 다른 한손의 접촉저항
 E_{L-L} : 선간전압

Fig. 2. Equivalent circuit for Case I

면 R_{h-a} , R_{h-b} 가 거의 0이 되어, E_{L-L} 을 380V로 가정하고 인체저항 R_b 를 500Ω으로 가정할 경우, I는 760mA가 되어 1초동안 접촉되었다 하더라도 실신 및 심실세동으로 사망할 가능성이 높다.

$$I = \frac{E_{L-L}}{R_{h-a} + R_b + R_{h-b}} \quad (1)$$

3.1.2. Case II의 경우

전선 등 충전부에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한 부분은 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 지락회로를 구성한 경우이다. 이는 인체가 대지에 접촉한 경우와 금속체에 접촉한 경우의 전류값이 다른데, 인체가 대지에 접촉한 경우 개략도는 Fig. 3과 같고, 회로도는 Fig. 4와 같다.

인체에 흐르는 통전전류 I는 식(2)와 같고 전류의 크기를 결정하는 주요 factor는 손의 접촉저항과 발부위의 대지간 저항이 된다. 즉, 손에 당해전로의 전압에 견딜 수 있는 절연장갑을 착용한 상태로 접촉하였다면 R_h 가 수십 MΩ 이상이 되어 I는 거의 0에 가깝게 되고, 반대로 손은 맨손 상태이나 발에 충분한

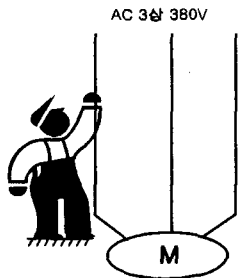
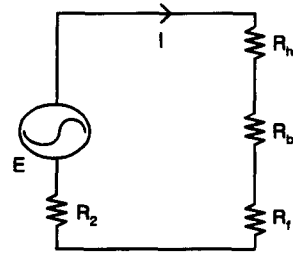


Fig. 3. Schematic diagram for Case II (grounded feet)



R_h : 손의 접촉저항
 R_b : 인체저항
 R_f : 발의 대지접촉 저항
 R_2 : 전원변압기의 중성점 접지저항

Fig. 4. Equivalent circuit for Case II (grounded feet)

한 절연강도의 신발을 착용하고 있더라도 R_f 가 수십 MΩ 이상이 되어 I는 거의 0에 가깝게 된다.

$$I = \frac{E}{R_h + R_b + R_f + R_2} \quad (2)$$

그러나 습윤한 상태의 손 및 발 상태라면 R_h 및 R_f 가 거의 0이 되어, E를 220V로 가정하고 인체저항 R_b 를 500Ω, 전원변압기의 중성점 접지저항을 10Ω으로 가정할 경우, I는 431mA가 되어 1초동안 접촉되었다 하더라도 실신 및 심실세동이 발생할 수 있다.

인체가 금속체에 접촉한 경우의 개략도는 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있으며, 이때 전기적 등가회로는 Fig. 6과 같다. 인체에 흐르는 통전전류 I는 식(3)과 같고 전류의 크기를 결정하는 주요 factor는 양손의 접촉저항이 된다. 즉, 손에 충분한 절연강도를 가진 절연장갑을 착용한 상태로 접촉하였다면 R_{h-a} , R_{h-b} 가 수십 MΩ 이상이 되어 I는 거의 0에 가깝게 되겠지만 맨손으로 특히, 습윤한 상태로 접촉한다면 R_{h-a} , R_{h-b} 가 거의 0이 되어, E를 220V로 가정하고 인체저항 R_b 를 500Ω, 금속체의 접지저항 R_3 를 100Ω, 전원변압기의 중성점 접지저항 R_2 를 10Ω으로 가정할 경우, I는 360mA가 되어 1초동안 접촉되었다 하더라도 실신 및 심실세동으로 거의 사망에 이르게 된다.

$$I = \frac{E}{R_{h-a} + R_b + R_{h-b} + R_3 + R_2} \quad (3)$$

3.1.3 Case III의 경우

누전상태에 있는 기기의 외함에 인체의 한 부분이 접촉되고 다른 한부분은 대지 또는 접지가 양호

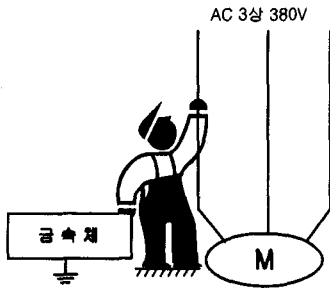
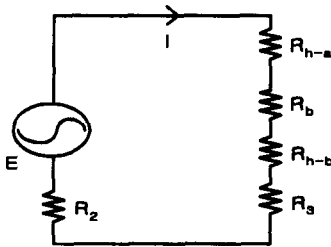


Fig. 5. Schematic diagram for Case II (hand touching metal)



- E : 대지간 전압
- R₃ : 금속체의 접지저항
- R_{h-a} : 한손의 접촉저항
- R_{h-b} : 다른 한손의 접촉저항
- R₂ : 전원변압기의 중성점 접지저항

Fig. 6. Equivalent circuit for Case II (hand touching metal)

한 금속체에 접촉하여 인체가 누전회로와 병렬로 회로구성을 하는 경우이다.

발이 대지와 접촉한 경우의 개략도는 Fig. 7과 같고, 회로도도 Fig. 8과 같다. 이와 같은 경우는 전기작업에 의한 것이라기 보다는 전기설비 취급자가 절연장갑등의 보호구 착용없이 누전설비에 접촉하는 경우라고 볼 수 있다.

이 경우에 인체가 대지에 접촉한 경우 통전전류 I는 식(4)와 같고 전류의 크기를 결정하는 주요 factor는 누전설비의 접지저항과 손의 접촉저항 및 발부위의 대지간 저항이 된다. 즉, 누전설비의 접지저항과 전원변압기의 중성점 접지저항 비에 의하여 인체에 부가되는 전압이 결정되고 손과 발부위의 저항값이 인체에 흐르는 전류값을 결정하게 되는 것이다. 이때 인체에 걸리는 전압의 크기는 식(5)와 같고 누전설비의 접지저항값이 낮을수록 그 전압의 크기는 작게 된다.

$$I = \frac{E_1}{R_h + R_b + R_f} \quad (4)$$

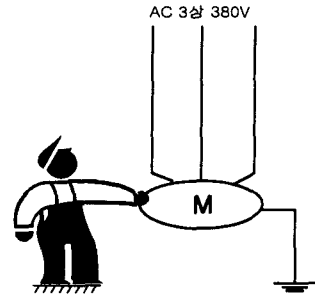
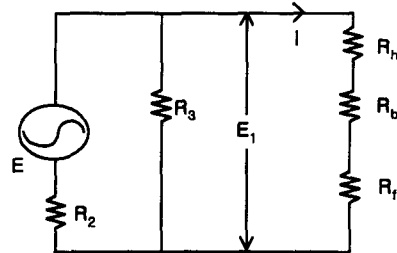


Fig. 7. Schematic diagram for Case III (grounded feet)



- E : 대지간 전압
- R_h : 손의 접촉저항
- R_b : 인체저항
- R_f : 발 부위의 대지간 저항
- R₃ : 누전설비의 접지저항
- R₂ : 전원변압기의 중성점 접지저항

Fig. 8. Equivalent circuit for Case III (grounded feet)

$$E_1 = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \cdot E \quad (5)$$

일반적으로 R₂는 최대 10Ω 이하이고 저압설비인 경우 R₃는 최대 100Ω이 되므로 E₁은 0.9E가 되어 전원 대지간 전압의 90%가 인체에 걸리게 된다. 따라서, 손의 접촉저항 R_h와 발의 대지간 저항 R_f가 거의 0가 되는 습윤한 장소에서 누전설비에 접촉될 경우 인체에 흐르는 전류 I는 E₁/R_b가 되어, E를 220V, R_b를 500Ω으로 가정하고 E₁을 0.9E로 보면 396mA가 되고 1초동안만 접촉되었다 하더라도 위험하다.

인체가 금속체에 접촉한 경우의 개략도와 회로도도 Fig. 9, Fig. 10과 같다. 이때 통전전류 I는 식(6)과 같고 전류의 크기를 결정하는 주요 factor는 누전설비의 접지저항과 양손의 접촉저항이 된다.

$$I = \frac{E_1}{R_{h-a} + R_b + R_{h-b} + R_{3-b}} \quad (6)$$

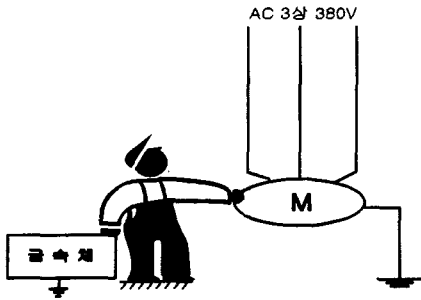
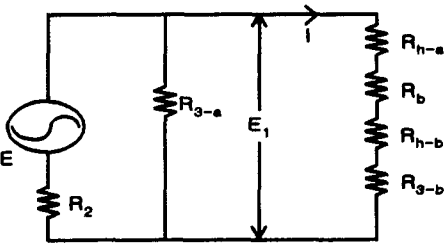


Fig. 9. Schematic diagram for Case III (hand touching metal)



- E : 대지간 전압
- R₂ : 전원설비변압기의 중성점 접지저항
- R_b : 인체저항
- R_{n-a} : 한손의 접촉저항
- R_{3-a} : 누전설비의 접지저항
- R_{3-b} : 금속체의 접지저항

Fig. 10. Equivalent circuit for Case III (hand touching metal)

즉, 누전설비의 접지저항과 전원변압기의 중성점 접지저항비에 의하여 인체에 걸리는 전압이 결정되고 손의 접촉저항 및 금속체의 접지저항값이 인체에 흐르는 전류값을 결정하게 되는 것이다.

이때 인체에 걸리는 전압의 크기는 식(7)과 같고 누전설비의 접지저항값이 낮을수록 그 전압의 크기는 작게 된다.

$$E_1 = \frac{R_{3-a}}{R_{3-a} + R_2} \cdot E \quad (7)$$

식(7)에서 E₁은 인체가 대지에 접촉한 경우와 같이 일반적으로 0.9E가 되어 전원대지간 전압의 90%가 인체에 걸리게 된다. 따라서, 맨손으로 습윤한 장소에서 누전설비와 인접한 금속체에 접촉한 경우 인체에 흐르는 전류 I는 E₁/(R_b+R_{3-b})가 되어, E를 220V, R_b를 500Ω, R_{3-b}를 100Ω으로 가정하고 E₁을 0.9E라 한다면 전류는 330mA가 되고 1초동안 접촉되었다 하더라도 실신 및 심실세동이 발생한다.

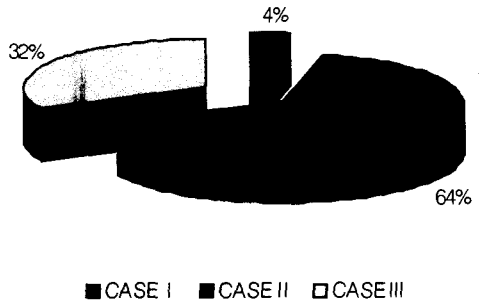


Fig. 11. Percentage of electric shock disasters types

3.2. 대책

분석대상이 된 사망자의 감전 유형별 발생현황은 Fig. 11과 같다.

감전유형별 사망자수를 보면, Case II가 전체 28명 중 18명으로 64.3%를 점유하고 있으며, Case II 중에서도 발이 아닌 다른 부분이 대지 또는 인근의 양호한 접지체에 접촉한 경우가 더 높은 점유율을 나타내었는데 이는 습윤한 장소가 아닌 경우에는 신발의 절연저항으로 인해 인체로의 통전전류가 많이 제한되기 때문에 충전부에 인체의 한 부분에 접촉하였다도 사망에 이르지 않을 가능성이 있기 때문으로 이해할 수 있다.

일반적으로 누전상태의 기기외함에 접촉하여 사망하는 경우, 즉 Case III가 상당히 많을 것으로 생각하였으나 9건으로 전체의 32.1%로 Case II보다 낮은 점유율을 보인 것은 특이한 사항이며, Case III에서도 Case II에서와 마찬가지로 발이 아닌 인체의 다른 부분이 대지 또는 인근의 양호한 접지체에 접촉한 경우가 더 높은 점유율을 나타내었다.

Case I의 경우는 전체의 3.6%인 1건이 발생하였는데 이 경우는 3.3KV의 전로를 220V 전로로 착각하여 만능회로 시험기로 전압을 측정하려다가 발생한 재해로 거의 발생가능성이 없는 경우이다.

3.2.1. Case I의 대책

전위차가 있는 2개소의 전선로에 인체의 두부분이 각각 접촉되어 인체가 단락회로의 일부로 구성된 경우로서 근로자가 부주의 또는 무지로 인해 충전선로에 양손을 접촉할 때의 유형이므로 발생가능성이 희박하며 감전재해 분석에서도 28건 중 1건이 이 경우에 해당되었다.

Case I의 발생유형은 전기설비원의 부주의한 설비점검 및 수리에 의한 경우가 대부분이므로 근원

적인 대책을 수립하기 어려우며 이에 대한 대책으로는 소극적인 방법이 되겠으나 전기설비원에 대한 전기에 대한 지식교육 실시 및 전기설비 특히, 배전반 및 부스바 등에 당해설비에 공급되는 전압을 표시하는 명판과 표지판 등의 철저한 설치를 제시할 수 있겠다.

3.2.2. Case II의 대책

전선 등 충전부에 인체의 한 부분이 접촉되고 발 또는 인체의 다른 부분이 대지 또는 접지가 양호한 금속체에 접촉하여 인체가 지락회로를 구성한 경우이다. 특고압 전로 및 저압전로의 활선작업시 또는 전기설비의 점검. 수리시 충전부에 접촉되는 경우가 대부분인 것으로 조사되었으며, 28건 중 18건이 해당되었다. 일반적으로 근로자의 인체 또는 금속체의 공구, 재료 등의 도전체가 충전전로에 접촉하거나 접근함으로써 인해 감전재해가 발생할 위험이 있을 때에는 당해전로를 정전시키는 것이 최우선의 안전대책⁷⁾으로 제시되나, 최근의 작업양상은 양질의 전력 공급을 위한 무정전 상태로 작업을 수행하고 있어, 정전작업이외의 대책이 마련되어야 한다.

이에 대한 대책으로는 전기설비원에 대한 대책과 일반근로자에 대한 대책을 생각할 수 있다. 전기설비원을 위한 대책으로는 1) 활선작업시 작업자의 저항값을 가능한 높게 하는 절연장비의 사용 2) 전기기계기구등의 충전부 방호 3) 교류아크용접기의 자동전격방지기의 설치를 제시하며 4) 점검 및 수리시 절차화된 절차서를 사용토록 함으로써 작업시 예상하지 못한 위험부분으로의 접근 차단을 제시할 수 있으며, 일반근로자에 대한 대책으로 1) 근로자의 작업반경을 고려한 작업장 설계와 설비의 배치를 통하여 충전부로의 접근을 최소화하여야 하며 2) 불완전한 감전요소들에 통제를 가할 수 있는 Lock system의 도입이 필요하다.

활선작업시 대책은 전기설비원 또는 건설현장의 특고압 전로 주변근로자들의 안전대책으로 작업자의 저항값을 가능한 높게 하여야 한다. 이를 위해서는 절연보호구의 착용이 반드시 선행되어야 하며, 또한 특별고압을 취급하는 경우 접근한계거리를 유지하도록 하여야 한다. 예외적으로 22.9KV 선로의 경우 충전전로에 절연용 방호구를 설치하고 절연용 보호구를 착용한 상태에서 활선용 작업기구를 사용할 경우 접근한계거리내에서라도 작업을 수행할 수 있으나 이 경우 주변의 완금, 가공지선, 인접선로 등에 근로자의 인체 등이 접근하지

않도록 조치를 하여야 한다.

전기기계기구 등의 충전부 방호는 작업 또는 통행 등으로 인하여 전기기계기구 또는 전로 등의 충전부에 접촉 또는 접근을 방지하기 위하여 반드시 필요한 조치이다. 충전부는 노출되지 않도록 폐쇄형 외함구조를 원칙으로 하나, 부득이한 경우 방호망 또는 절연덮개를 설치하여 접근을 차단하여야 한다.

고소작업 또는 습윤한 장소 및 철골작업장에서 교류아크용접기를 사용하는 경우에는 2차측 무부하 전압으로도 감전으로 인한 심실세동 또는 고소에서의 추락으로 인한 사망재해를 유발시킬 수 있으므로 무부하의 2차측 전압을 접촉안전전압으로 볼 수 있는 25V 이하로 저감시키는 자동전격방지기를 설치하여 사용하여야겠으며, 자동전격방지기의 선정시에는 작업성을 고려하여 지동시간이 짧은 제품을 선정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

작업절차서의 사용은 작업자들의 작업오류를 방지할 수 있다는 장점이 있으며, 특히 절차화된 방법으로 작업을 수행함으로써 설비의 필요한 곳만 접근할 수 있어, 위험이 잠재되어 있는 타부분으로의 접근을 차단할 수 있는 것으로 판단된다.

Case II의 재해는 주된 원인이 설비와의 접촉이다. Table 1에서 보는바와 같이 전기설비원이 아닌 일반근로자들도 이 유형의 재해에 다수 노출되어 있다. 그러나 이들에 대한 대책은 거의 마련되지 않고 있는 것이 현실이다. 일반 근로자들의 작업 특성상 특정 작업만을 수행하는 것이 아니라, 여러 종류의 작업들을 필요에 따라 수행하므로 전문 작업자들을 위한 대책을 이들에게 적용하기에는 다소의 어려움이 따른다. 그러므로 작업자의 보호구 착용보다 우선적으로 전기설비의 충전부에 절연용 방호구의 설치가 중요하며, 또한 일반 근로자의 작업성격을 고려하여, 가능한 이들의 작업반경내에 전기설비가 설치되지 않도록 하는 작업장의 설계가 필요하다.

3.2.3. Case III의 대책

인체가 누전회로와 병렬회로를 구성하는 경우로써 28건 중 9건이 해당되었다. 이에 대한 대책으로 1) 누전차단기의 설치 2) 누전차단기의 정격전류값을 고려한 배선용 차단기의 설치 3) 접지를 생각할 수 있다. 또한 조사결과 Case III로 인한 재해의 9건 모두가 전기에 대한 전문적인 지식이 부족한 일반근로자인 이유로 일반근로자들이 전기설비에 접촉할 가능성을 최소화하는 방법으로 1) 설

비에 대한 절연 방호구의 설치 2) 일반 근로자의 작업반경을 고려한 작업장 설계를 제시한다.

전기로 인한 감전재해를 방지하기 위해서는 그에너지원인 전원을 차단하는 것이 가장 바람직하므로 설비에 누전이 발생하는 경우에는 즉시 전원개폐기가 차단되도록 하여야 한다. 그러나 설비 사용장소의 감전위험성 정도 및 운영시 정전의 허용여부 등으로 인하여 모든 전로에 누전차단기를 채용하지 못하고 있는 것이 현실이다. 누전차단기의 설치가 Case III 유형의 재해를 감소할 수 있는 가장 우선적 대책임을 고려한다면, 운영시 정전이 되어서는 안되는 상황인 경우 무정전장치의 도입을 통해서라도 누전차단기의 사용을 확대해 나가는 것이 바람직하다고 생각된다⁴⁾.

누전차단기 설치 기준에 있어서도 산업안전보건법과 전기설비기술기준에서의 적용기준이 다소 다르나 근로자의 안전을 위해서는 더 엄격한 기준인 전기설비기술기준을 따르는 것이 바람직할 것으로 본다. 한 예로 실제 사업장에서 전격사망재해가 발생하였음에도 불구하고 산업안전보건법상으로는 범위반 사항이 없었던 경우도 있었다.

배선용 차단기의 설치에 있어서 주의하여야 할 사항은, 접지가 양호한 설비라도 누전이 발생하는 경우 당해전로에 설치된 배선용 차단기의 정격전류(트립전류)가 너무 높게 선정되어 있어 상당히 큰 지락전류가 흐르고 있음에도 불구하고 배선용 차단기가 트립되지 않는 경우가 많다. 그러므로 누전설비로 인한 감전재해를 방지하기 위해서는 전원개폐기의 정격전류가 부하전류와 누전시 발생하는 누전전류의 합이 하가 되도록 하여야 할 것이다.

전기를 사용하는 설비를 접지하는 것은 누전시 인체에 걸리는 전압의 저감과 지락사고 전류를 크게 하여 전원개폐기의 작동을 신속히 하고자 하는 것이 큰 목적이라고 할 수 있다. 이 두가지 목적을 달성하기 위해서는 접지저항값을 낮게 하는 것이 최선의 방법이다. 특히 인체에 걸리는 전압의 저감을 위해서는 당해전로의 전원변압기 중성점 접지저항값과 같게 하는 수준이 아니면 전원전압의 50% 이상이 인체에 걸리게 되므로 전격재해를 피할 수 없다. 그러므로 접지저항값이 최대한 낮게 접지공사를 실시하고 접지선, 단자부분 등은 충분한 통전능력을 갖게 하여 전원개폐기의 차단을 유도하는 것이 바람직하며 접지만으로 인체의 감전을 방지하겠다는 생각은 옳지 않다고 생각된다³⁾.

또한 중요한 사항으로 Case II와 같이 인체의 한 부분이 누전설비의 외함에 접촉되고 다른 한 부분이 접지가 양호한 인접 금속체에 접촉되어 감전재해를 유발하는 경우가 많으므로 주변의 금속체와는 등전위접지(본딩)를 실시, 누전설비와의 전위차가 발생하지 않도록 하여 신발을 신고 있는 발부위가 통전경로를 이루게 함으로써 신발의 절연저항값에 의해 인체로의 통전전류를 제한하는 것 또한 대책이 될 수 있을 것이다.

Case III의 재해에서 일반근로자들을 보호하기 위해서는 Case II의 대책과 마찬가지로 정기적인 안전교육의 시행이 요구되며, 설비에 접촉하더라도 감전사고로 이어지지 않기 위해서는 설비측에 절연방호구를 반드시 설치하여야 한다. 또한 작업장의 설계단계에서부터 일반근로자들의 작업반경을 고려한 설비배치가 시행될 경우, 누전상태의 기계에 접촉될 가능성은 줄어들 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 감전으로 인한 28건의 사망사고의 발생유형별로 구분하여 전기적 등가회로를 만들었고, 각 유형(case)별로 감전재해사례를 분석하여 그 대책을 제시하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 산업현장에서의 전격재해는 근로자의 과오에 의한 충전부 직접접촉의 경우와 전기설비의 절연관리 소홀에 의한 누전설비에 접촉한 경우로 구분할 수 있다. 인체로의 통전경로를 기준으로 보면 3가지 유형, 세부적으로는 5가지 유형으로 나눌 수 있다.

2) 전격재해의 분석결과 누전설비에 의한 전격재해보다 충전부의 직접접촉에 의한 감전 재해가 많이 발생되고 있음을 알 수 있었다. 그 원인은 무정전, 즉 활선작업으로 인한 것으로 나타났다.

3) 신체의 발이 대지를 접촉하고 있는 상태보다 발 이외의 부분이 대지 또는 인근의 양호한 접지체에 접촉하여 발생한 전격재해가 많았다. 이는 습윤한 장소가 아닌 경우 신발의 절연저항만으로도 충분히 인체로의 통전전류를 제한할 수 있다고 판단되나 발이 아닌 다른 신체 부분의 저항값을 높이기 위한 절연보호구의 착용이 요구된다.

4) 분석대상이 된 28명의 전격재해 사망자 중 21명이 심실세동에 의한 것으로 나타났다. 이는 인체

로의 통전전류가 심장에 이상박동을 유발한 것이 그 원인이며, 전원개폐기를 감전방지용 고감도형 누전차단기로 설치할 경우 심실세동에 의한 전격재해의 발생을 줄일 수 있을 것이다.

금번 연구에서 이용한 data는 대구·경북지방에서 발생한 감전사망사고에 관한 것이다. 28건이 이용되었는데 data수가 다소 적은 느낌이다. 사망사고인 만큼 쉽게 다량의 data를 구할 수가 없었으나, 앞으로 계속 data를 수집하여 통계적 분석과 인간공학적 대책을 강구하려고 한다.

참고문헌

- 1) 한국산업안전공단, “1999년도 산업재해 원인 분석”, 2000.
- 2) 한국산업안전공단 대구지도원, “감전재해 예방대책”, 1999.
- 3) 대한전기협회 출판부, “감전재해와 방지대책”, 1987.
- 4) 이경식의 3인, “전기관계법규집”, 도서출판 기다리, 1994.
- 5) 손병태, “전기이론”, 세진사, 1994.
- 6) 도서출판노문사, “산업안전보건관리수첩”, 1997.
- 7) J. David E, “Basic electric circuit analysis”, prenticehall, 1995.
- 8) Adams, J. Maxwell, “Electrical safety : a guide to the causes and prevention of electrical hazards“, The Institution of Electrical Engineers, 1994.
- 9) Cooper, W. Fordham, “Electrical safety engineering“, Butterworth Heinemann , 1993.
- 10) Asfahl, C. Ray, “Industrial safety and health management“, Prentice Hall, 1990.