

## 국내의 저압지중함의 감전사고 및 점검결과 분석

김한상\*, 방선배, 김종민, 한운기  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

### The analysis of checking results and electric shock accident happens at domestic and foreign low-voltage handhole

Han-Sang Kim, Sun-Bae Bang, Chong-Min Kim, Woon-Ki Han  
Electrical Safety Research Institute, KESCO

**Abstract** - The increased use of underground power distribution as opposed to overhead lines contributes to the aesthetics of the downtown areas. But there is an inherent risk of accidental electrocution should there be damage to the insulation of the cable because of heavy rain. Should a pedestrian make contact with this cable indirectly, via a man hole cover, electrocution could result.

In this paper, we analyse electrical shock accident and checking results in this low-voltage handhole.

## 1. 서 론

지역개발에 따른 도시화, 도시미관개선을 위해 가공배전선이 지중배전방식으로 전환되고 있으며 특히 지방자치체가 시행된 이후에는 경쟁적으로 전력설비 지중화사업이 활발히 추진되고 있다. 저압수용가에 전기를 공급하는 지중배전선로에는 저압지중함이 설치되며 지중함의 내부에는 그림1과 같이 지중전선의 접속 및 분기를 위한 전선 접속부가 있다.

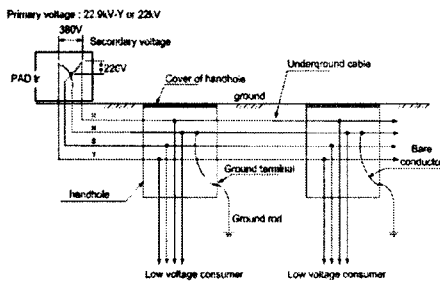


그림 1 국내 저압지중함의 계통도

지중함의 뚜껑은 금속제로 되어 있으며 사람의 통행이 빈번한 인도나 보도 상에 설치되므로 지중함 내부의 전기설비 결함에 의한 누전이 발생할 경우 불특정 다수에 대한 감전사고의 위험이 있다.

지구온난화에 따른 기상이변으로 도심에서의 국지적인 폭우 등에 의한 침수해가 빈발하고 있으며 실제로 수년 전 저압지중함의 누전으로 인한 감전사고가 국내외적으로 발생하였다.

본 논문에서는 저압지중함에서 발생한 국내의 감전사고 사례의 원인과 점검결과를 분석하였다.

## 2. 저압지중함의 감전사고사례

### 2.1 국내

지난 2005년 6월에 집중호우시 지중 저압접속함 뚜껑을 밟고 지나던 행인이 감전되는 사고가 부산과 인천지

역에서 발생하였으며 인명피해는 사망자 2명, 부상자 2명이었다.

### 2.1.1 부산지역 감전사고

부산의 경우 피해자는 당일 내린 비로 침수된 00구 00동 00앞 노상을 지나던 중 쓰러졌으며 차를 타고 가던 목격자가 일으켜 세우려고 팔을 잡아 당겼으나 전기가 통하여 119에 신고를 하여 00구 00동 소재 00병원 응급실로 후송하였으나 사망한 사고이다.

#### ㉑ 사고당시환경조건

부산의 경우 사고당일 많은 양의 비가 내렸으며 사고지점은 인도 폭이 160mm 매우 좁은 상태에서 배수구, 지중 전선로 접속함(맨홀), 가로등이 밀집되어 있으며, 비가 올 경우 우수가 골목길을 따라 흘러 내려 사고지점 주변이 일시 침수되는 상태였다.

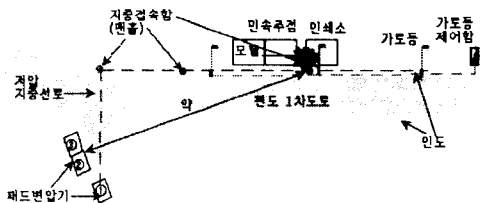


그림 2 현장주변 평면도

사고지점 주변은 그림 2와 같이 건축물로는 00인쇄소와 △△주점, 모텔이 좌, 우로 있으며 도로 양쪽으로 상가 등이 밀집되어 있으며 사고지점 부근의 전기시설물로는 저압의 지중 전선로 접속함(가로 62mm×세로 72mm×깊이 36mm)과 가로등이 사고지점에 있으며 이들 지중 전선로 접속함과 가로등의 전원을 공급하는 설비는 북쪽방향 약 40m 거리에 가로등 제어함이 남쪽방향 약 100m 거리에 패드마운트변압기가 있었다.

그림 2의 ㉑번 패드변압기(3φ 300KVA)는 '94년 12월에 00전설에서 ㉒번과 ㉓번 패드변압기(3φ 200KVA, 3φ 300KVA)는 98년 8월에 △△전설에서 시공한 것으로 사고 접속점으로부터 분기된 간선(CV 1C 200mm × 3 Line, CV 1C 100mm × 1 Line)의 제작년도가 94년임을 감안하면 사고현장을 지나는 저압지중전선로는 그림2의 ㉑번 패드변압기에서 검정색 점선으로 이어진 것으로 사료된다.

#### ㉒ 분석결과

사고 발생 직후 저압 지중 접속함 내 전선의 절연불량개소는 고무테이프 및 비닐절연테이프로 테이핑이 처리되었으며(그림 3), 접속함 뚜껑에 나타난 검은 부분은 사고 당시 지락된 점으로 추정된다(그림 4).



그림 3 사고직후 테이핑처리

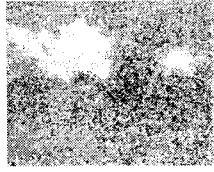


그림 4 접속함 뚜껑의 자흔

결론적으로, 전선의 경년변화(분기전선 '94년제작), 절연 열화 등에 따른 절연파괴로 지중 전선로 접속함 내에서 누전된 상태에서 빗물에 의한 침수로 지락점 주변에 전위차가 발생되었으며 이곳을 지나던 행인의 양발을 통하여 보폭전압이 인가되어 사망에 이르게 된 것으로 추정되나 정확한 누설전류의 크기와 누설경로는 확인되지 않았다.

### 2.1.2 인천지역 감전사고

#### ㉑ 사고당시 환경조건

인천지역의 감전사고는 2005년 6월 26일에 폭우가 내리는 경사진 이면도로에서 발생하였으며 설치된 지중함의 뚜껑 위를 밟던 행인이 감전되어 사망한 사고이다.(그림 5)



(a) 사고발생장소



(b) 사고발생 지중함

그림 5 사고장소 및 지중함

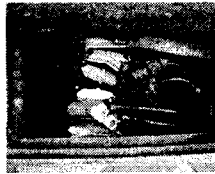
#### ㉒ 사고분석 결과

사고는 지중함 내의 지중전선의 테이핑 접속부의 전선피복손상으로 인해 충전부가 노출되었으며, 또한 노출된 충전부분은 금속제의 지중함 뚜껑표면에 접촉된 상태에서 일시적인 폭우에 의한 침수상태에서 보폭전압에 의해 감전된 것으로 분석된다.

그림 6은 사고당시의 테이핑접속부, 사고 이후 보완된 전선접속부분을 개수한 것을 나타낸 것이다.



(a) 사고당시 테이핑접속



(b) 보완된 전선접속부

그림 6 사고 전후의 전선접속부

## 2.2 국외

미국에서는 1999년에 동물(말)의 감전사고, 2004년에는 뉴욕, 라스베이거스, 보스턴에서 감전에 의한 인명피해사고, 2005년에는 보스턴에서 동물(개)의 감전사고가 발생함으로써 국내보다 더 많은 감전사고사례가 있었다.

### 2.2.1 뉴욕

#### ㉑ 동물 감전사고사례

1999년 1월, 뉴욕 59번가에서 누전으로 인해 지중함의 뚜껑이 110V로 충전된 상태에서 지나가던 말이 접촉하여 보폭전압에 의해 즉사한 사고가 발생하였다. 말과 같이 앞발과 뒷발의 폭이 큰 동물의 경우 양발 간에 걸리는 전위차는 인체일 때보다 훨씬 클 수 있으며 또한, 양발 간에는 항시 심실세동전류와 밀접한 관련이 있는 심장을 통하여 누전전류가 흐르게 되는 특징이 있다.

2005년에는 보스턴에서 3마리의 개가 누전되는 지중함의

뚜껑에 접촉되어 죽는 사고가 있었다. 보스턴 지역은 노후된 지중설비가 많았으며 사고 직후 보스턴에서는 지중함에 대한 점검을 실시한 결과 66개소에서 누전이 되는 것을 발견하였으며 즉시 수리를 하고 추가적인 안전조치로 금속의 지중함뚜껑을 FRP로 된 재질로 교체를 하였다.

#### ㉒ 인명피해사례

사고는 2004년 2월 6일에 뉴욕의 변화한 맨해튼가에서 애완용 개를 데리고 산보를 하던 여성이 도로의 누전되어 충전상태의 맨홀 뚜껑을 밟는 순간 감전되어 사망한 사고이다. 사고 직후 New York Times가 자체적으로 뉴욕 시내 맨홀 110개소에 대해서 누전전압을 측정하고 그 결과를 홈페이지에 공개를 하였다. 그림 7은 측정결과 나타난 누전전압의 분포로서 25V 이상은 55.4%이었으며, 100V 이상인 경우도 9%로 나타났다.

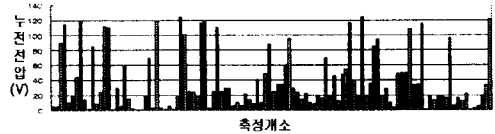


그림 7 측정개소별 누전전압의 분포

사고당시 맨해튼지역은 많은 눈이 도로에 쌓인 상태였으며 제설작업용 염화칼슘이 맨홀 위에도 뿌려져 있었다. 물보다 도전율이 훨씬 높은 염화칼슘이 지중함의 뚜껑에 뿌려진 환경조건은 누전전압에 의한 감전위험성이 높아진 것으로 분석된다. 그림 8은 사고가 난 맨홀의 뚜껑으로 염화칼슘에 의해 주변에 눈이 녹아있는 상태를 나타내고 있다.

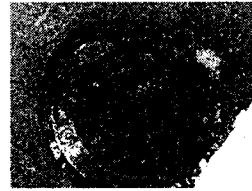


그림 8 사고발생 지중함의 뚜껑

### 2.2.2 보스턴

2003년 7월 17일 오후 8시경 오하이오주의 갈리오시 PEPCO Ⅱ 야구장에서 8살짜리 소녀가 지중함의 뚜껑에 감전되어 사망하는 사고가 발생하였으며 사고 직후 고장분석협회가 조사를 실시하였으며 다음과 같은 원인으로 감전사고가 난 것으로 분석하였다.(그림 9, 10)

- 지중전선의 접속부의 절연이 파괴되어 277V가 지중함의 금속뚜껑에 흐름
- 전류의 경로는 인접한 금속울타리를 통하여 흐름
- 지중함의 뚜껑은 접지나 본딩되지 않았으며 보호장치가 트립되지 않았으며 금속의 뚜껑이 충전된 상태였음
- 피해자의 전류통과경로는 오른발에서 왼손이며, 그 중거리 오른발의 명백한 화상, 왼손의 손등에 나타난 화상흔적, 접속부가 지중함의 뚜껑에 접촉된 것이다.

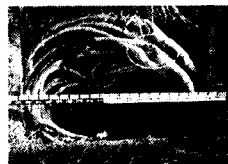


그림 9 충전부가 노출된 접속부

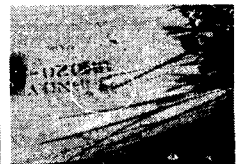


그림 10 뚜껑에 나타난 인체흔적

### 2.3 감전사고사례의 비교분석

국내의 지중함의 감전사고분석결과 다양한 환경조건에서 발생하였다. 즉, 계절별로는 여름철뿐만 아니라 동절기에도 발생하였으며, 기후조건으로는 하절기는 물론 적설상태에서도 발생하였으며, 감전경로의 경우 보폭전압(발-발) 및 접촉전압(손-발)에 의해서도 감전사고는 발생하였음을 알 수 있었다. 이를 요약하면 표1과 같다.

표 1 국내의 감전사고사례의 비교

구분	국내	국외
감전경로	보폭전압	보폭전압, 손-발
환경조건	하절기도로침수	동절기적설(염화칼슘)
인체저항	인체의 일부가 침수(취약)	습기, 물기상태
지중함	금속재질인뚜껑	금속재질인뚜껑
사고원인	지중전선의노출충전부가 지중함의뚜껑에접촉	지중전선의노출충전부가 지중함의뚜껑에접촉

### 3. 저압지중함의 점검결과

국내의 지중함의 감전사고 이후 지중함을 관할하는 기관에서는 설비의 결함을 파악하고 문제점을 개선하기 위해 지중함의 점검을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

#### 3.1 국내

국내의 경우 2005년 발생한 감전사고 이후 저압접속함 점검의 신뢰성과 객관성을 확보하기 위해 공공기관에서 전국의 저압지중함에 대해 점검을 실시하였다. 점검시의 항목은 저압접속함에 대해서는 내부침수 여부, 케이블 오물부착 여부, 접속함 파손 여부, 절연고무판 설치 유무를 점검하며, 지중함 내의 저압케이블에 대해서는 케이블과 대지간 전압(V)과 접속개소 누설 전류(A)를 측정하였다.

#### 3.1.1 점검현황

지중함의 파손이나 침수여부 등과 같은 육안에 의한 상태를 확인하는 것 이외에 지중함의 누전여부를 확인하기 위하여 케이블의 접속부와 지중함의 금속함체간의 누전전압과 누설전류를 측정하였다. 누전전압은 25V를 측정값의 기준으로 하고 있는데 이는 저압전로지락보호지침에서의 제2종절촉상태의 기준값을 근거로 하고 있으며 인체가 젖어 있는 상태 또는 금속체의 전기기계장치나 구조물에 인체의 일부가 상시 접촉하고 있는 상태를 의미한다. 그림 11은 점검에 활용된 계측기와 실제 측정사례이다.



그림 11 실제 누전전압 및 전류측정 사례

#### 3.1.2 점검결과

전국에 설치된 약 15천개소의 저압 지중함 중 29.5%인 4598개소에서 표 2와 같은 유형별 점검결과가 파악되었으며 유형별 분포는 그림 12와 같다.

표 2 저압 지중함의 점검결과

계	대지전압	접속함 침수	케이블 오물부착	접속함 파손	절연고무판 미설치
4,598	845	1,882	853	213	805



그림 12 점검결과 유형별 분포

### 3.2 미국

미국은 전기사업자가 하나인 국내와 달리 전력시장이 자유화되어 주, 카운티, 시별로 수많은 전력회사가 별도로 운영이 된다. 2004년 뉴욕의 감전사고를 계기로 뉴욕주의 전기사업자를 감독하는 기관인 뉴욕주공익위원회(New York State Public Service Commission)에서는 전기사업자로 하여금 지중전기설비를 포함한 전기사업자 설비의 누전전압 점검결과를 보고토록 지시를 하였으며 뉴욕에 있는 전력회사는 2005년도에 지중배전설비에 대한 누전전압을 측정하였다.

#### 3.2.1 누전전압의 측정

지중함의 누전전압을 측정하기 위하여 전력회사는 다양한 계측기를 활용하였다.

##### 가) 검전기

저압검전기는 검전기의 끝에서 발생하는 전압으로 동작하며 미리 설정된 전압과 동등 이상으로 검전기의 끝에서 전압이 감지되면 검전기는 시각적인 표시를 나타낸다. 검전기의 적절한 동작을 위하여 기준시험장치를 먼저 사용하여야 하며, 기준검증시험장치는 검전기의 설정 전압보다 약간 높은 시험전압을 발생시켜 충전된 표면에 검전기를 접촉하여 정상동작여부를 확인한다(그림 13).



그림 13 누전검출용 검전기

##### 나) 분로저항을 적용한 전압계

검전기로 1차측정시 전압이 검출되면, 분로저항과 조합된 전압계로 측정하며 분로저항의 내부저항은 인체가 최악의 상태를 가정한 500Ω이다.

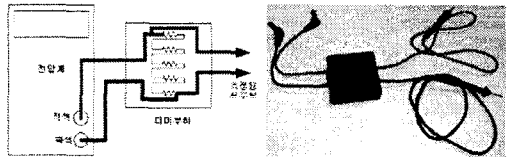


그림 14 누전측정용 분로저항

##### 다) 이동식 누전전압 감지장치

누전전압에서 발생하는 전자기장을 감지하는 시스템이다. 장착된 차량이 시속 24km 이하의 속도로 지중함의 뚜껑 위를 통과하게 되며, 만약에 누전전압이 감지될 경우는 정보가 울리고 컴퓨터의 화면에 누전된 물체를 표시한다.

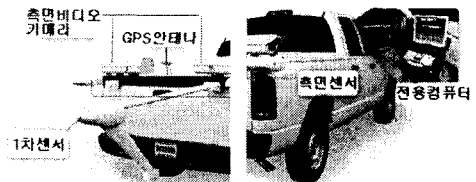


그림 15 이동식 누전전압 감지시스템

### 3.2.2 점검결과

가) 내셔널그리드 전력회사  
내셔널그리드사가 관할하는 지중설비는 패드마운트변압기, 맨홀, 핸드홀을 포함해서 109783개로 구성되어있다. 2005년도에 109783개소에 대한 누전전압점검을 실시한 결과 0.017%인 19개소에서 누전전압이 측정되었으며 그 결과는 표 3과 같다.

표 3 지중설비의 누전전압별 분포

계	1.0~4.4V	4.5~7.9V	8.0~24.9V	25~99V	100V 이상
19	17	0	1	1	0
0.017%	0.015%	0	0.0009%	0.0009%	0

그 중 핸드홀에서 측정된 누전전압개소는 3개소이며 표 4와 같다.

표 4 핸드홀의 누전전압별 분포

계	1.0~4.4V	4.5~7.9V	8.0~24.9V	25~99V	100V 이상
3	1	0	1	1	0

### 나) 콘에디슨 전력회사

콘에디슨전력회사가 관할하는 273980개의 지중배전설비에 대한 누전전압 측정결과 1.16%인 32개소에서 누전전압이 측정되었으며 누전전압별 분포는 표5와 같다. 다만, 지중배전설비별로는 분류되어 있지 않아 누전되는 핸드홀의 개수는 파악할 수 없다.

표 5 지중배전설비의 누전전압별 분포

계	0~8V	9~20V	21~50V	51V 이상
32	20	8	2	2

### 다) 허드슨 전력회사

허드슨 전력회사는 뉴욕주 북부지방인 중부허드슨밸리 지역에 전기를 공급하고 있으며 지역 내는 아직도 20만개가 넘는 목주에 의한 가공배전방식으로 전력을 공급하고 있다. 지역 내의 지중배전용 맨홀과 핸드홀은 1317개소이며 4.5V를 넘는 누전전압이 발생한 사례는 없는 것으로 파악되었다.

### 라) 로체스터 전력회사

로체스터 전력회사는 뉴욕주의 북부지방에 약 30만호의 수용가에 전기를 공급하고 있다. 2005년도에 44473개의 지중배전설비에 대해 누전전압을 측정 한 결과 0.002%인 2개소에서 누전전압이 발생하였으며 레벨등급에 의한 누전개소의 분포는 표 6과 같다.

표 6 레벨등급별 누전전압 분포

등급	누전개소	감지율
Level I	2	0.002%
Level II	0	0
Level III	81	0.18%
감지되지 않음	43,058	96.82%
접근할 수 없음	1,332	3%

레벨은 I~III의 3등급이며 등급에 따른 누전전압의 범위는 표 7과 같다. Level I는 8V 이상으로 누전전압이 측정되면 중대히 심각한 것으로 간주한다. 만약에 이러한 8V 이상으로 측정되는 설비가 사람이 접촉할 우려가 있는 경우에는 방호조치를 하여야 하며 누전발생장소를 안전하게 조치를 취하고 45일 이내에 수리를 한다. Level II의 범위로 측정되면 신속한 조치가 필요하다. 만약에 이러한 전압범위로 측정되면 감독자는 수리를 직접 할 것인지 방호조치가 필요한지 아닌지를 결정하여야 하며 Level III는 특별한 조치를 필요로 하지 않는다.

표 7 레벨등급에 따른 요구사항

전압등급	전압(V)	요구사항
Level I	$8.0 \leq x$	중대
Level II	$4.5 \leq x < 8$	신속
Level III	$0.0 \leq x < 4.5$	필요 없음

### 3.3 점검현황의 분석

감전사고 이후 시행된 국내의 저압지중함의 점검결과 점검대상에 있어서 국내는 저압지중함만을 대상으로 하여 다양한 전기적 결함요인을 모두 점검하였다. 미국은 저압지중함뿐만 아니라 옥외의 전반적인 공공전기시설을 포함하였으나 점검항목의 경우 누전전압만을 측정하였다. 특히, 누전전압측정에 있어서 국내는 인체가 대부분 겪은 상태에서 인체저항을 1000Ω으로 가정 한 25V를 점검기준으로 하였으나 미국은 누전전압측정범위를 4V, 8V, 25V 등 여러 단계로 구분하였는데 내부저항이 500Ω인 분포장치를 이용한 점으로 비추어 인체가 최악인 상태를 가정하여 누전점검을 한 것으로 분석된다. 결론적으로 국내의 25V와 미국의 8V는 각각 누설전류가 25mA, 16mA로서 약간의 차이는 있으나 불수전류의 범위에 해당한다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 도로나 인도에 설치된 저압 지중접속함에 대하여 국내와 미국에서 발생한 감전사고사례를 살펴보고 감전사고 이후 설비결함을 파악하고 안전성을 확보하기 위해 실시한 점검결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) 국내의 경우 지중함의 감전사고는 지중전선의 접속부의 절연파괴로 누전된 상태에서 하절기에 도로가 침수되어 지나던 행인이 감전되어 발생한 것으로 나타났다.
- 2) 미국에서 발생한 감전사고는 전선 접속부의 절연파괴의 원인은 동일하나 감전사고시의 환경조건의 경우 침수 시가 아닌 건전상태, 동절기의 빙설상태에서 발생한 것으로 나타났다.

감전사고는 대부분 사고당시의 환경조건이 그대로 유지되기 어렵기 때문에 사고의 원인을 분석하는데 중요한 요소인 누설전류나 전압의 크기를 알 수 없어 부득이 추정할 수밖에 없는 경우가 많다.

항후 본 논문에서의 사고사례분석 및 점검결과를 활용하여 지중함의 침수시 누전상태를 모의한 실험을 실시하여 인체에 미치는 전격저해의 영향을 평가할 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김한상, "국내저압지중함의 현상실태조사", 대한전기학회 하계학술대회는논문집, 2006
- [2] Nationalgrid, 2005 ANNUAL REPORT
- [3] con Edison, 2005 Stray Voltage Detection and Electric Facility Inspection Report
- [4] Rochester Gas and Electric Corporation, Report on the Stray Voltage Tests and Inspections for the 12-month period ending on November 30, 2005
- [5] Central Hudson Gas and Electric Corporation, Report on the Stray Voltage Tests and Inspections for the 12-month period ending on November 30, 2005