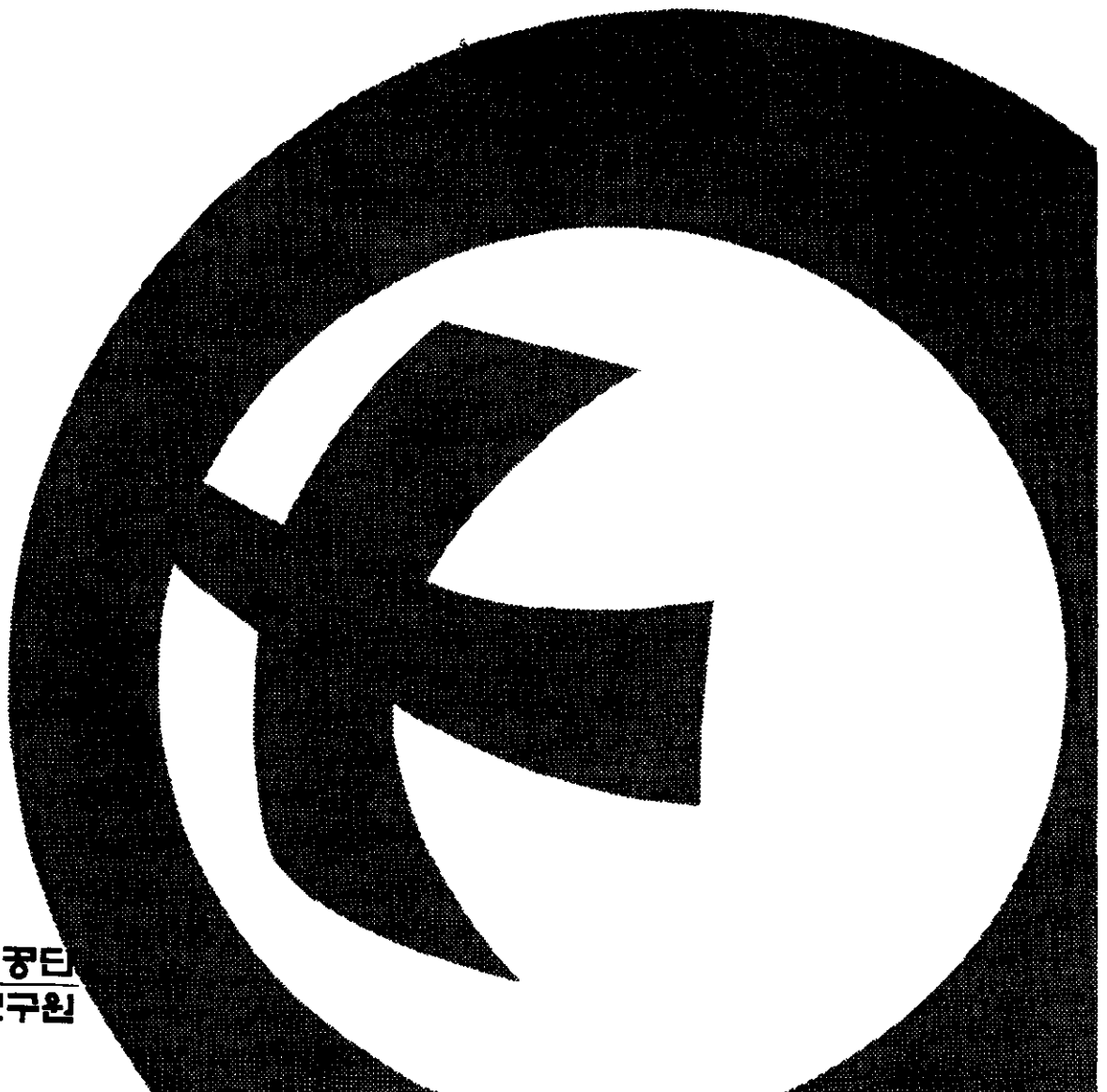


배전선로 작업안전을 위한 접지대책

Grounding Practices for Safety of Linemen in Distribution Line



한국산업안전공단
산업안전보건연구원



제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해 예방기술의 연구개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “배전선로의 작업안전을 위한 접지대책” 최종보고서로 제출합니다.

1999. 12. 31

주관연구부서 : 산업안전보건연구원 안전공학연구실
연구책임자 : 책임연구원 이 형수

요 약 문

1. 과제명: 배전선로 작업안전을 위한 접지 대책

2. 연구기간: 1999. 1. 1. ~ 1999. 12. 31

3. 연구자: 안전공학연구실 책임연구원 이 형수

4. 연구목적

본 연구의 목적은 우리 나라 배전선로의 전압인 22.9kV에서 작업을 할 때 최적 안전접지방법과 이에 대한 지침을 제시하는데 있다.

5. 연구내용

본 연구에서는 배전선로의 정전 및 활선작업에서 안전한 작업을 위하여 임시 접지를 시행할 때 안전접지에 대한 이론적 배경과 현장에서 이를 적용하기 위한 기술적 검토를 행하였으며, 그 주요내용은 다음과 같다.

■ 안전접지의 개념에 대한 기술과 안전접지를 시행하는 절차

- 인체의 감전특성과 위험성 고찰
- 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 최적 안전접지 방법의 제시

6. 활용계획

본 연구의 결과는 우리 나라 배전선로에서 안전한 작업을 하기 위하여 실시하는 안전접지에 대한 기본적인 절차와 가이드 라인으로 활용할 수 있다.

7. 연구개요

본 연구는 배전선로에서 활선 및 정전작업을 할 때 작업안전을 도모하기 위하여 시행하는 접지에 대한 기본적인 가이드를 제시하였다. 이는 우리나라의 일반적인 배전계통에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 기초한 것이다. 지금까지 배전작업에서 접지를 어떻게 하는 것이 안전하고 효과적인가에 대해서는 알려져 있는 반면 이러한 안전접지 방법을 시행할 때 어떤 방법이 가장 효과적인 것인가에 대한 구체적인 검토가 없었다. 따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 사항을 수행하였다. 첫째, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 배전선로의 작업구간에서 우발적인 선로의 충전으로 인하여 사고전류가 선로에 흐를 때 기존 시행되고 있는 안전접지(단락접지)의 방법이 가장

안전한지에 대하여 검토하였다. 이는 작업구간에 흐르는 고장전류의 분포와 작업자에게 걸리는 접촉전압과 보폭전압을 계산을 통하여 이루어졌다. 둘째, 배전선로 작업에서 감전되었을 때 인체의 감전 메커니즘과 특성을 검토하였다. 이를 통해 전주의 특성과 주상 작업자의 인체에 걸리는 전압의 안전한계치를 제시하였으며, 안전과 접지의 상관관계의 개념을 체계화하였다. 이를 토대로 배전선로의 안전접지와 실무적인 가이드라인을 제시하였다.

8. 중심어

안전접지(Safety Grounding), 임시접지(Temporary Grounding), 보호접지(Personal Protective Grounding), 전기안전, 등전위 본딩(Equipotential Bonding), 배전계통, 일점접지(Single-Point Grounding), 단락접지(Bracket Grounding), 전기위험 분석, 파라미터 해석, 컴퓨터 모델링, 작업구역 전압(Work Site Voltages)

여 백

목 차

제1장 서 론

1. 연구목적	1
2. 연구내용 및 범위	2
3. 기대효과 및 활용방안	2

제2장 배전선로 작업과 안전접지

1. 안전접지의 필요성	3
2. 안전접지	5
3. 각종접지 방법의 특성	9
4. 안전접지 가이드	11

제3장 인체의 감전 특성과 위험성

1. 인체 전류 한계치	18
2. 인체 저항과 접촉저항	19

제4장 배전선로 작업구간 사고시 고장전류 분포해석

1. 배전선로 모델	24
2. 인체통전 전류 및 고장 전류분포 계산결과	29
3. 지표면 전압	40

제5장 결 론

57

※ 참고문헌	58
--------------	----

제 1 장 서 론

1. 연구목적

가공 배전선로를 신설, 증설하거나 변경할 때 또는 선로의 유지보수나 고장 등으로 정전작업을 할 때 작업중에 우발적인 재충전이나 정전회로와 활선회로의 접촉, 수용가의 자가용 발전기에 의한 역송전 등으로 선로 작업자가 감전되는 사고를 방지하기 위한 조치로 임시적으로 안전접지를 하게 되어 있다. 우리나라에서는 수용가에 무정전 전력공급의 원칙을 유지하기 위하여 작업구간을 무정전 공법을 사용하도록 하고 있다. 이를 전력을 공급받는 수용가 측면에서는 무정전이라 할 수 있으나, 공급자 측면에서는 작업구간을 정전시켜 작업의 안전을 도모하고 있다. 이때 정전구간 선로의 양단에 접지를 하는데 이를 안전접지라 한다. 안전접지란 주상에서 단순히 모든 상도체와 중성선을 함께 묶어 본딩하거나, 전주의 기초 부근에 접지봉을 박아 이들 도체를 함께 연결하는 방식을 말하며, 일명 단락접지라 부른다. 접지방법에는 단일 전주나 작업구역에 접지를 하는 일점접지 방식과, 두 전주 사이나 작업구간 양단에 접지를 시행하는 이점접지 또는 브라켓 접지 방식 및 이를 혼합하여 시행하는 방식이 있다.

지금까지 배전선로 작업에서 안전접지를 말할 때 주로 정성적으로 그 필요성을 언급하였을 뿐 구체적으로 실제 작업에서 여러 접지방법에 따라 실제의 위험범위와 발생 가능한 전압에 대하여 정량적으로 제시하지는 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 배전선로(22.9kV) 정전작업에서 실시하고 있는 접지에

대한 일반적인 사항을 살펴보고 인체의 감전특성과 위험성에 대한 상관관계를 국제 기준을 통하여 고찰한다. 이어서, 배전선로 작업의 실제 상황을 모델링하고 시뮬레이션을 통해 고장전류의 분포 및 접촉전압과 보폭전압을 계산하여 최적접지 방법을 제시하며 작업자의 안전을 위한 가이드라인을 제시하였다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구는 배전선로 작업에서 위험전압 발생으로 인한 감전 위험을 방지하기 위하여 실시하고 있는 선로의 접지방법에 대한 최적방법을 제시하기 위한 연구로서 연구내용과 범위는 다음과 같다.

첫째, 배전선로 작업에서 위험전압의 발생원인 및 전주위의 작업과 지상작업으로 구분하여 위험전압이 발생할 수 있는 상황을 고찰하고 감전위험을 방지하기 위한 안전접지의 방법을 기술하였다. 둘째, 인체의 감전특성을 인체저항과 인체전류의 안전한계치를 국제기준을 통하여 상세하게 고찰하였다. 셋째, 배전선로 작업구역 내에서 선로에 우발적인 재충전 등이 발생하였을 때 선로 접지방법별로 고장전류 분포와 접촉전압 및 보폭전압을 계산하여 최적접지 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 위험전압 발생의 여러 원인 중에 다른 선로와의 유도전압에 의한 위험 해석은 하지 않았으며 추가적인 연구를 필요로 한다.

3. 기대효과 및 활용방안

배전선로 작업에서 실시하는 접지에 대하여 제시된 최적방법을 향후 안전지침으로 활용할 수 있다.

제 2 장 배전선로 작업과 안전 접지

1. 안전접지의 필요성

가. 작업구역(Work site) 전압원

배전선로에서 선로의 유지보수나 고장 등으로 정전작업을 할 때 작업구역에 순간적이든 지속적이든 간에 위험전압이 유기될 수 있는데, 이것은 계통이나 작업구역의 특성에 따라 달라진다. 위험 전압의 발생원은 다음과 같다.

- ① 선로의 우발적인 재충전(Re-energization)
- ② 정전회로와 활선회로간 접촉
- ③ 오조작 및 수용가측의 자가용 발전기 운전으로 인한 역송전
- ④ 정전회로와 부근을 병렬로 지나는 다른 송배전 선로와의 유도전압
- ⑤ 정전회로와 부근을 병렬로 지나는 다른 송배전 선로와의 정전유도
- ⑥ 대기의 전하로 인한 정전결합
- ⑦ 정전회로로서 동일 전주의 충전된 상도체를 지지하는 오손된 애자를 통해 흐르는 누설전류
- ⑧ 낙뢰

본 연구에서는 이들 중 가장 빈번하게 문제가 되는 세 범주(①~③)에 국한하

기로 한다. ①~③의 범주는 정전 배전선로에 직접 충전되는 것을 나타낸다. 정전회로에 병행하거나 근접한 송배전 선로와의 유도결합에 대한 사고사례가 다수 보고되고 있으나 별도의 연구가 필요하다.

선로의 정전유도 문제는 정전회로에 접지가 잘 되어 있는 경우 작업구역의 전압이 대단히 작아서 문제가 되지 않는다. 낙뢰의 경우는 낙뢰가 발생하고 있을 때는 일반적으로 작업을 하지 않기 때문에 이 역시 문제가 되지 않는다.

나. 작업구역 전압으로 인해 초래할 수 있는 결과

작업구역에 유도되는 위험전압은 다음과 같은 생리적인 결과를 초래한다.

- 전격(심실수축): 아주 짧은 순간의 고전압이라도 심장정지를 초래할 수 있다.
- 전격(호흡정지, 질식): 장시간의 저압 쇼크
- 심한 화상으로 인한 사망
- 쇼크로 인한 추락 등

다. 감전위험 노출 시나리오: 柱上작업과 지상작업

(1) 주상작업에서 위험전압이 걸릴 수 있는 경우

상도체, 중성선(있는 경우), 지선, 변압기 외함, 조가 케이블, 기타 전주위의 다른 도체들

(2) 지상작업에서 위험전압이 걸릴 수 있는 경우

- 임시접지로 이용되는 접지봉과 같은 주상도체에 연결된 금속구조물, 지선, 주상에서 인하되는 선, 활선작업차(Vehicles) 등
- 접지전극(접지봉, 전주 인하선, 대지와 접촉되고 있는 활선작업차 근처에 단 순히 서 있는 상태에서 두 발간

안전접지를 하지 않는 경우 위험수준은 무시할 수 있는 정도에서 대단히 높은 경우까지 시스템의 특성에 따라 변화한다.

2. 안전접지

가. 안전접지 목적

안전접지를 하는 목적은 위험수준을 최소화하는데 있으며 이는 다음과 같은 두 가지 기본수단으로 가능하다.

(1) 작업구역에서 전압을 감소시킨다.

배전선로 작업을 할 때 전압을 감소시키지 않아도 안전을 유지할 수 있는 경우도 있고, 표준 안전접지만으로는 작업구역 전압을 안전한 전압으로 감소시킬 수 없는 상황도 있다. 그러나, 이러한 허용수준을 초과하는 전압을 일으키는 상황은 아주 드물다.

(2) 고장전류의 귀로 임피던스를 저감시켜 고장을 신속하게 감지하여 동작하게 함으로서 쇼크 접촉 가능성과 강도를 최소화한다.

고장전류가 흐르는 경로를 낮은 임피던스로 유지하려면 상도체를 중성선에

연결하거나 대지에 접지봉을 박아 접속하면 된다. 그러나, 작업장소가 전원과 멀리 떨어져 있으면 선로의 길이가 길기 때문에 임피던스를 낮게 유지하기가 어렵거나 작업현장에서 설치하기 어려운 접지를 해야하는 경우가 있다. 이런 경우 선로의 신속한 차단에 중점을 두기보다는 사고로 인하여 선로에 직접충전이 장시간 지속되는 것을 염두에 두고 설계를 해야 한다.

허용 위험수준은 안전접지 절차를 정하는 사람이 상황에 따라 결정해야 하는 문제이다. 어떤 시스템은 보호하기가 훨씬 쉬운 경우도 있으며, 어떤 경우는 안전기준을 충족시키기 위해 안전접지와 본딩을 한 후에도 활선작업 절차를 마련해야 하는 경우도 있다.

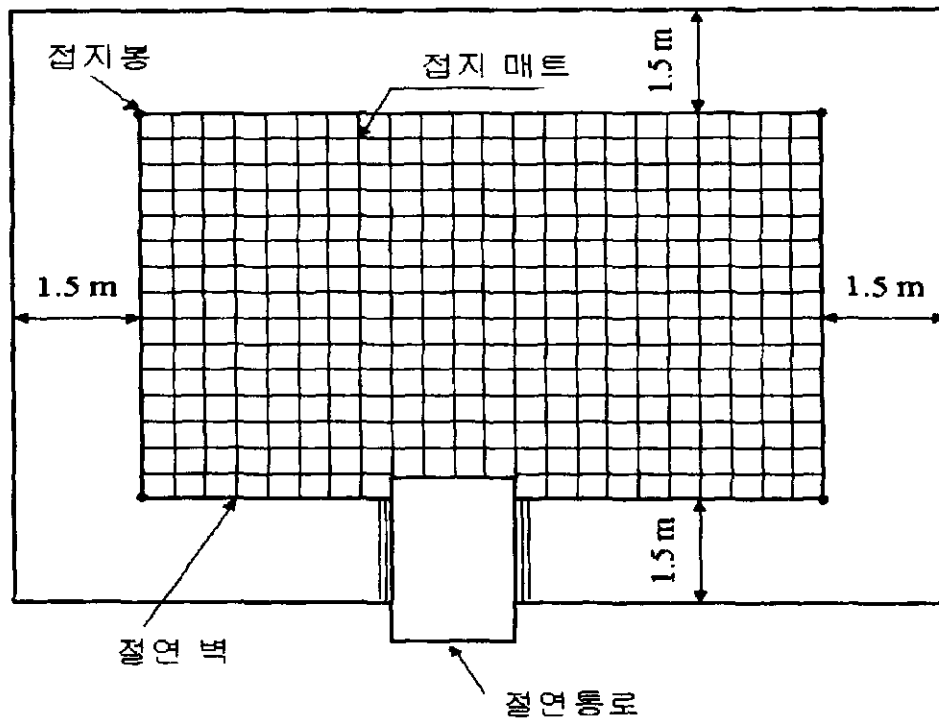
나. 안전접지 기본사항

안전을 확보하려면 다음과 같은 안전접지의 기본대책이 필요하다.

- 선로작업자가 선로에 접촉되어 걸리는 전압을 최소화하려면 적합한 리드선이나 클램프로 주상의 모든 도체를 함께 묶어서 저임피던스가 되게 한다. 여기에는 전주에 병가되어 있는 통신케이블 시스, 변압기의 중성 접지선 및 支線(guy wire)도 포함된다. 전주는 주변 환경 즉, 젖어 있는 상태거나 건조한 상태에 따라 저항이 가변적이고 저항률이 일정하지 않은 불완전도체로 생각할 수 있으므로, 상도체와 전주의 발판볼트 및 전주를 함께 묶어주는데 이를 등전위본딩이라 한다.
- 상도체를 임시접지에 연결하거나 고장을 신속하게 감지할 수 있는 계통의 중성선 접지에 연결한다.

이외에도 안전을 유지하기 위한 조치로는 다음을 들 수 있다.

- 허용전압에 견딜 수 있는 절연고무장갑이나 절연고무장화를 착용한다.
- 전격에 의해 추락하지 않도록 안전대를 착용한다.



[그림 2-1] 안전구역과 접지매트

- 상도체나 중성선에 연결되어 있는 임시접지 또는 전주의 계통접지 주변에 [그림 2-1]과 같이 안전구역을 설정하고 접지매트를 사용하여 지상의 작업자가 우발적으로 주변의 금속 구조물에 접촉될 때 접촉전압으로 인한 위험을 방지하도록 한다.

다. 안전접지 종류

(1) 일점접지

이것은 단일전주에서 작업을 할 때 중성선과 지선 등을 포함한 모든 도체를 함께 본딩해서 접지하는 것이다. 이때 전주의 발판볼트와 연결하는 등전위 본

덩은 이 용어의 의미에 포함되지 않는다.

(2) 브라켓 접지

한국전력에서 사용하는 “단락접지”라는 용어와 같은 의미로서 작업구역 양단의 두 지점에서 접지하는 것을 말한다. 접지가 된 두 지점 사이에서 작업을 하면 “안전”한 것으로 생각하지만 이에 대해서는 지금까지 논란이 많이 있으며, 어떤 경우는 일점접지에 비교할 때 위험수준을 상당히 증가시킨다는 연구결과가 있다.

(3) 등전위 본딩

전주의 도체와 전주간에 걸리는 접촉전압을 낮추기 위해 전주의 도체와 선로 작업자의 발판볼트를 본딩하는 것을 말한다. 이렇게 하면 작업자-전주 접촉저항, 발판볼트와 전주와의 접촉저항 등에 따라 사고로 인체에 흐르는 전류를 영에서 상당한 정도까지 감소시킬 수 있게 된다.

(4) 안전접지

안전접지란 작업구역에 있는 임시 접지봉이나 전주의 중성점 접지와 같은 전극을 의미한다. 정전된 배전선로가 중성점 접지계통인 경우 이 자체가 좋은 접지를 구성하기 때문에 임시접지를 통한 접지의 효과는 미미하다.

(5) 미접지

어떠한 형태의 접지나 본딩을 하지 않는 경우이다. 중성선이 없는 저압 단상 배전계통인 경우 전주의 습도 여부에 따라 접지를 하지 않아도 된다.

3. 각종 접지방법의 특성

가. 안전기준

어떤 특정형태의 작업지점에 대한 안전 분석은 통상 다음의 절차에 따른다.

① 작업지점의 예상 GRP과 도체간 접촉전압을 충전형태에 따라 4장에서 기술한 방법으로 구한다.

② 다음으로 지표면에서 작업지점 GPR의 함수인 접촉·보폭전압을 4장에서와 같이 구한다.

③ 위의 계산결과를 토대로 안전기준을 설정한다.

따라서, 다음과 같은 작업지점 전압의 각각에 대해 최대 허용치를 정하는 안전기준이 있다.

- 주상에서 도체-전주-인체 접촉에 대한 작업지점 GPR. 이 안전기준은 기본적으로 다음과 같은 요인들의 함수관계이다.

- 콘크리트주의 저항으로 주로 전주 표면의 습도 등에 따라 달라진다.

- 통전시간

허용 작업구역 GPR은 고장이 신속하게 제거된 充電源일 경우 그렇지 않은 경우보다 증가될 수 있다. 전자의 경우, 안전기준은 심실세동을 일으키지 않는 인체 최대허용전류와 관계가 있다.(통전시간 0.5초 이상일 때 100mA). 후자의 경우, 감전자가 접촉된 도체로부터 이탈할 수 있거나 최소한 호흡을 할 수 있는(10mA) 최대전류가 안전기준이 된다.

- 등전위 본딩 실시

등전위 본딩을 하면 최대 허용GPR이 높아지지만 반드시 효과적인 것은 아니

다.

- 주상에서 도체간 접촉전압
 - 통전시간
 - 고무장갑 또는 절연화의 전기저항 (접촉점에 따라 다르다.)
- 지표면에서 접촉(도체-대지간), 보폭전압
 - 통전시간
 - 고무장갑 또는 절연화의 전기저항
- 대지고유저항: 대지고유저항이 높으면 접촉전압과 보폭전압이 높아진다. 예를 들어, 대지고유저항이 $1000\Omega\cdot m$ 인 경우 접촉전압은 인체저항을 1500Ω 으로 가정하였을 때 대단히 낮은 대지고유저항에 비해 2배정도 상승하며, 보폭전압은 5배정도 상승한다.

지표면에서 접촉·보폭전압은 작업구역 GPR에 따라 직접적으로 비례한다. 모든 안전기준은 전압에 노출되는 시간의 함수이다.

직접 충전은 일반적으로 지속시간이 단시간인 상태를 고려하기 때문에 정상적인 부하의 인접한 충전회로와 결합하여 발생하는 유도성 전자계에서 발생하는 전압보다 상당히 높은 작업구역 GPR을 허용하고 있다. 반면에 접지귀로가 높은 임피던스이거나 전원단으로부터 상당히 먼 거리에 있기 때문에 고장복구가 신속히 이루어지지 않는 경우에는 직접충전으로 인한 고장지속시간이 긴 경우의 기준을 적용하여야 한다. 따라서, 충전의 형태나 고장이 신속히 복구되는지의 여부가 상당히 중요한 요소가 된다.

나. 우발적 직접충전에서 접지방법의 비교

우발적 직접충전이 발생하면 배전선로의 어느 구간이든 작업구역 GPR과 비슷한 수준의 GPR이 관측된다. 이때 일점접지를 하든 브라켓 접지만 하든지 거

의 관계가 없다. 반면에 전원단에 가장 가까운 브라켓을 전원단으로 바짝 이동시키면 브라켓이 접지 스위치의 역할을 하여 특히 전원 임피던스가 적당히 높은 경우 작업구역 GPR을 상당히 감소시킬 수 있다.

브라켓 간격이 200m 정도의 좁은 간격이고 그 사이에 일점접지를 하였으며 브라켓 사이에 충전 전원이 없고 접지임피던스가 낮을 때 주상 도체간의 접촉전압도 위의 경우와 유사하다. 반면에 브라켓의 간격이 넓으면 브라켓 간의 접촉전압도 일점접지의 경우보다 크게 된다. 그 이유는 브라켓 사이에 접지된 중성선의 전위가 크게 낮아지기 때문이다. 그러나, 브라켓이 일점접지와 결합되어 있는 경우는 일점접지의 작업구역(브라켓 사이)의 접촉전압은 일점접지만으로 된 경우보다 쉽게 낮출 수 있다.

4. 안전접지 가이드

여기서는 접지를 통해 작업을 안전하게 할 수 있는 사항에 대하여 논하기로 한다.

가. 주상작업에서 고려사항

모든 작업구역에서 주상의 모든 선들을 가능한 짧게 하여 함께 묶어주는 것이 바람직하다. 여기에는 중성선, 상도체, 변압기 접지선, 조가선, 대지와 절연되지 않은 지선 등이 포함된다. 이렇게 하여 주상 도체간의 발생할 수 있는 전위차를 최소화할 수 있다. 접촉저항을 최소화하기 위해 도체를 클램프에 설치하기 전에 깨끗이 닦아준다.

작업위치와 전원간 또는 도체간의 전위차를 최소화하려면 가능한 작업지점에서 가장 가까운 곳에 본딩을 한다. 본딩지점에서 전원측으로 거리가 멀수록 도

체간의 전위차는 급격히 증가한다.

다음과 같은 경우에는 주상의 모든 도체를 상호 연결하는 것이 불필요한 경우이다.

- 활선상태의 도체가 있는 경우에는 작업중에 활선도체와 적당한 이격거리를 유지해야 한다.

- 3상 정전회로에서 작업중인 상에서만 안전접지를 실시하여 설치나 제거가 용이하도록 한다. 그러나, 3상을 함께 연결하면 고장전류가 신속하게 흘러 차단기 동작을 빨리 할 수 있다. 또, 3상 우발적 직접충전에 의한 도체-주상간 및 지표면 전압을 최소화할 수 있으며, 작업자가 다른 두 상과의 접촉으로 인하여 감전되는 것을 방지할 수 있다.

- 일점접지 대신에 브라켓 접지를 하면 인접한 활선선로와의 유도전압이 크게 발생하지 않으며 정전선로 전구간을 보호할 수 있다. 브라켓 사이에 정전선로에 다른 선로가 떨어져서 생기는 것과 같은 직접충전이 발생하지 않고 주상도체의 어떤 도체와도 접지되지 않기 때문이다. 만약 이런 조건이 충족되지 않으면 도체간의 과도한 접촉전압을 줄이기 위해 작업구역에 있는 모든 주상도체를 상호 본딩하는 것이 바람직하다. 이때 접지된 변압기 외함이나 지선에 위험전압이 발생할 수 있으므로 작업구역의 모든 도체는 본딩하는 것이 좋다.

중성점 다중접지인 경우에는 임시접지의 접지저항이 중성선의 등가 접지저항보다 상당히 높을 가능성이 높기 때문에 임시 접지전극을 설치할 필요가 없다. 그러나, 중성선이 없는 경우에는 임시접지를 설치하여 주상의 도체들을 이에 접속하여 고장전류를 흘림으로서 고장을 신속하게 감지하여 차단할 수 있도록 한다. 임시접지를 한 후 접지저항을 측정하여야 한다. 이때 토양의 건조상태에 따라 단시간 유도전류를 증가시킬 수 있으므로 인접한 선로와 전자유도 결합이 발생할 가능성이 있는지를 검토하여야 한다.

목표 접지저항의 충족여부를 대략적으로 추정하려면 다음 조건이 충족되어야 한다. 즉, 배전선로의 상도체 단위길이당 임피던스는 $1 \text{ km}/\Omega$ 이하이고 전원 임피던스 $Z = \text{대지전압}/1\text{선 지락전류}$ 이면 접지저항을 충족하는 것으로 볼 수 있다. 작업구역에서 고장전류는 대략적으로 다음과 같다.

고장전류 = 대지전압 / (전원임피던스 + 상도체 임피던스 + 접지저항 + 전원 접지저항)

나. 지표면에서 안전

지상에서 주상 도체와 연결되어 있거나 접지전극에 연결된 도전체와 접촉하는 작업자는 작업구역 GPR의 50% 정도의 GPR이 인가될 가능성이 있다. 이때 작업구역 GPR은 정전선로의 우발적 충전에 의한 선간전압의 %로 나타낸다. 여기에는 임시 접지봉, 작업차, 리더선 등이 포함된다. 따라서, 이들 도체는 모두 환선으로 간주하여 취급하여 고무장갑, 절연화 등을 착용하고 작업하도록 한다. 또, 이들 도체와 본딩된 도전성 매트를 설치하고 이 매트위에서 작업하며 이때 도전성 공구 등을 매트 밖에서 안으로 건네주지 말아야 하며 절연매트를 사용하여 도전성 매트를 출입하도록 한다.

이러한 이유로 임시접지가 필요한 경우는 작업자가 작업하고 있는 지점에서 수 미터 떨어진 곳에 설치한다.

상황에 따라 목주에 습기가 많은 경우 목주의 접지저항이 대단히 낮아 도체로 취급될 수 있으므로 주의해야 한다.

위험 접촉전압이 접지봉이나 전주의 접지와 같은 전극 주변에 있는 기기나 장비가 전극에서 멀리 떨어진 작업지점과 연결되어 있는 경우 위험전압이 발생할 수 있다. 기기나 장비가 자체 접지전극에 연결되어 있다면 접지전극의 전위가 절리게 된다. 이 전위와 기기 주변의 접지전위간에 전위차는 주변의 상

황에 따라 달라진다. 어떤 지점에서는 이 값이 가장 크게 나타날 수 있으므로 주의하여야 한다.

다. 기기접지

가공 도체나 리더선과 접촉할 수 있는 기기는 충전된 구조물로 취급하여야 한다. 도체나 케이블, 접지 등과 상당히 떨어져 있는 기기는 이웃한 고압 충전 회로와의 정전결합으로 인한 유도전압을 방지하기 위하여 독립 접지를 시행하도록 한다.

라. 기타 안전조치

대부분의 배전선로 작업은 위와 같은 조치를 취하면 안전한 상태가 된다. 그러나, 전원단 근처에서 고장전류가 크거나 전주의 저항이 낮으면 다음과 같은 추가적인 조치가 필요하다.

- 절연장갑, 절연화 착용
- 브라켓 추가, 일점접지와 병행하여 브라켓 접지를 시행하면 브라켓 사이에 있는 일점접지 지점에서 주상의 도체간 접촉전압을 현저히 감소시킬 수 있다. 반면에 이로 인하여 인접한 선로로부터 발생하는 유도결합을 증가시킬 수 도 있다.
- 중성선이 있는 전원단 가까이에 있는 브라켓은 우발적인 재충전의 경우에 작업구역 전압을 현저히 감소시킨다. 반면에 중성선이 없는 경우 변전소나 변전소와 연결된 선로에서 발생할 수 있는 고장에 대해 변전소의 GPR이 작업구역에 전이되어 위험을 증가시킬 수 있다.
- 전원 근처의 브라켓은 우발적인 충전이 발생할 때 고장을 감지하는데 이용

할 수 있다. 이 때 전원과 작업구역의 거리로 인하여 배전선로의 임피던스가 큰 경우이다.

- 주상에서 등전위 본딩을 하면 도체-주상간 접촉에 대한 작업구역 GPR의 안전계값을 증가시킬 수 있다. 그러나, 등전위 본딩에 대한 실제 특성을 예측하는 것이 대단히 어려우며, 많은 경우에 효과가 거의 없다.

마. 접지시행과 철거

접지를 시행하기 전에 충전선로에 접지가 되지 않도록 점검하여야 한다. 인접한 충전선로와 정전 또는 유도결합으로 높은 전압이 유기되지 않도록 주의하여야 한다. 활선선로와 정전선로의 근접범위가 작업구역에서 수 km 떨어져 있더라도 마찬가지이다.

승주할 때 특히 전주가 젖어 있고 인접회로로부터 유도의 우려가 있는 회로상 또는 충전회로에 절연이 불량한 애자로 인해 인체에 위험전류가 흐를 우려가 있는 경우-는 특별히 조심해야 한다.

본딩이나 접지를 할 때 먼저 중성선이나 접지선에 접속하고 그 다음 도체에 접속한다. 철거할 때는 역순으로 취급한다.

클램프를 설치할 때는 접속이 헐렁하거나 오손되어 있거나 녹이 슬었는지를 검사한다. 이런 경우 높은 전류가 흐르면 접속부에서 열이 발생하거나 접촉부가 증가하여 서로 연결되는 도체간에 예상보다 높은 전압이 발생하게 되어 위험하게 된다. 리더선은 이탈되지 않도록 견고하게 접속한다. 접지를 철거할 때는 아크 발생의 우려가 있으므로 이를 차단할 수 있는 이동용 공구를 사용한다.

바. 기타 고려사항

인접한 충전회로의 스위치를 조작할 때는 정전회로에 고압과도상태를 초래할 수 있으므로 주의하여야 한다.

제 3 장 인체의 감전특성과 위험성

배전선로 정전작업을 할 때 접지되어 있는 선로가 우발적으로 재충전되면 작업구역에서 위험전압이 발생된다. 이 때 작업자에 대한 전기적 위험은 전위차가 있는 도체를 접촉하여 생기며 위험의 정도는 작업자의 몸에 흐를 수 있는 전류에 따라 다르게 된다. 이 값은 겨우 느낄 수 있는 정도에서 치명적인 정도까지 이르며 이 범위 내에서 허용할 수 있는 인체전류의 범위(threshold)가 정의된다. 지상이나 전주에서 작업자의 인체에 흐르는 전류를 구하려면 인체의 등가회로 저항을 구해야 한다. 여기서는 안전전류의 범위와 회로저항에 대하여 기술하고자 한다.

위험은 발생 확률과 위험 강도의 함수로 표현된다. 접지도체 주변의 작업에 개재된 위험은 작업구역 주변의 전압으로 인한 위험도와 인체가 접촉될 때에 회로가 재충전될 확률의 함수로 나타낼 수 있는데, 그 확률은 재충전 모드간에 각기 다르다. 각 모드는 통제 가능한 것과 예측 불가능한 요소를 가지고 있다.

- 접지를 시행하더라도 회로에 충전 확률이 있는 경우 전압 감지와 이격거리 유지 등으로 이를 최소화할 수 있으나, 인간과오가 발생할 수 있다.
- 우발적 전원 투입을 방지하기 위해 개폐장치에 시건장치와 통전금지 표찰을 부착한다. 그러나, 위에서와 같은 다단계 조치를 취하더라도 과오는 발생할 수 있다.

1. 인체전류 한계치

<표 2.1>은 미국전기전자학회(IEEE)에서 조사한 인체전류의 한계치를 나타내고 있다.

<표 2.1> 인체의 전류한계치

전류(mA) (50%의 사람)		
상 태	남자	여자
접촉 감지	0.36	0.24
깜짝 놀람	3.2	2.2
이탈한계	16.0	10.5
호흡 정지	23.0	15.0

남자가 여자에 비해 전류가 큰 이유는 남자가 평균적으로 인체면적이 크기 때문이다. 이탈한계치는 감전된 도체에서 더 이상 손을 뗄 수 없는 호흡 정지 전류에 근접한 값으로 전류가 수분간 지속되면 치명적이 된다.

<표 2.1>의 값을 보면 심실세동과 인체내부기관 및 피부 조직에 중대한 손상을 가져올 위험이 있는데, 심실세동은 통전전류의 크기와 통전시간에 따라 달라진다. IEC Pub. 479-1에서는 통전전류와 통전시간에 대한 영향 범위를 나타내고 있다. 예를 들어 심실세동은 약 3초 동안 50mA, 0.5초 동안 100mA에서 일어난다. 통상적으로 “위험이 없는 전류”의 가장 낮은 값은 10초 동안 10mA의 전류이며 이 값 이하에서는 깜짝 놀랄 정도의 반응을 나타내나 승주 작업자는 추락방지용 안전대를 사용하기 때문에 별로 문제가 되지 않는다.

이런 분석을 전제로 할 때 위험전류의 한계치는 10mA로 하면 된다. 접지된 선

로의 재충전 위험이 적으므로 접지를 시행하는 번거러움 때문에 한계치를 보다 높게 하려고 하는 반면에 충전시간에 대해서는 고려를 하지 않는다. 선로가 전원에서 재충전되면 회로차단기가 신속하게 작동되겠지만, 유도전압이 발생하거나 다른 선로와 접촉되는 경우는 선로의 재충전은 장시간 지속될 것이고 이때 10mA는 너무 높은 값이 된다. 따라서, 접지를 계획할 때에 다른 선로로부터 재충전될 확률을 고려하여야 한다.

2. 인체저항과 접촉저항

작업자에게 걸리는 저항은 인체저항과 옷 및 신발저항을 합한 것이다.

가. 인체저항

인체저항은 인체의 내부저항과 접촉점의 피부저항의 합이다. 손-손 및 손-발의 내부저항은 약 750Ω 으로 정하고 있으며, 인가전압과 커패시턴스에 따라 변하는 피부 임피던스를 더한다. 커패시턴스는 짧은 시간인 경우 대단히 중요한 요인이나 여기서는 고려하지 않는다. IEC 479-1에 따르면, 건조한 상태의 25V 전압에서 인체 임피던스는 3250Ω (50%의 사람)이다. 이 경우 인체 전류는 7.7mA가 되며, 이 값이 인체의 안전한계 전류치가 된다. 따라서, 3250Ω 은 건조한 상태에서 적합한 인체 임피던스이다.

피부가 젖어있는 상태에서는 저항은 약 2700Ω 으로 낮아지며, 인체가 3%의 염화칼슘 용액에 젖어 있다면 인체 임피던스는 1500Ω 으로 낮아진다.

나. 장갑 저항

대부분의 배전선로 작업에서 작업자는 절연용 고무장갑을 착용하고 작업을

하는데, 이것의 저항은 건조상태에 따라 변한다. 염분이 함유된 장갑의 저항은 $1\Omega\cdot m$ 이하이나 건조한 상태에서는 $106\Omega\cdot m$ 이상, 젖은 장갑은 $100\Omega\cdot m$ 정도이다.

이 값을 이용하여 장갑을 착용한 상태의 접촉저항 범위를 추정할 수 있다. 손가락이 완전히 도체를 감싸쥐고 있고 평균 남자의 손 폭이 $89mm$ 라면 접촉면적은 $50cm^2$ 가량 된다. 가죽장갑의 두께가 $3mm$ 라면 장갑의 최소저항은 염분이 함유된 경우 1Ω , 젖은 상태인 경우 100Ω , 건조한 경우는 $100k\Omega$ 이다. 도체를 쥐고 있는 상태가 아니라 단순히 접촉된 경우라면 접촉저항은 이 보다 더 크게 될 것이다.

다. 신발 저항

작업자가 전주에 승주해 있을 때 자세는 J자 형태의 금속막대로 표현할 수 있다. 따라서, 전기적 접촉은 발바닥과 안전벨트를 통해 다리에서 이루어진다.

대부분의 선로 작업자는 가죽으로 된 절연화 보다는 합성고무 절연화를 착용한다. 캐나다의 Hydro Quebec사의 실험에 의하면 절연화의 저항은 $300 k\Omega$ 정도인 것으로 측정되었다. 극단적으로 가정하여 작업자의 피부와 작업복 및 장갑과 신발저항은 소금물에 완전히 젖어 있다면 장갑과 신발저항은 인체저항에 비해 아주 작다고 할 수 있다. 이런 경우 인체저항은 약 1600Ω 정도로 낮아진다.

라. 지상작업자의 신발저항

보호접지가 시행된 작업구역 주변의 접촉전압과 보폭전압을 고려할 때 지상 작업자의 전체저항은 선로작업자와는 다르다. 먼저 지상작업자의 장갑과 신발

은 보다 습기가 많고 더럽혀져 있으므로 젖은 상태의 값을 사용하는 것이 적
합하다. 또, 대지와의 접촉은 대부분 신발바닥을 통해 이루어지며, 건조상태에
서 신발저항은 300 k Ω 정도이다. 그러나, 작업구역의 대지는 젖어 있는 상태가
 많으며 신발저항은 밑창에 진흙이 묻어 있는 상태를 통하게 된다. 따라서, 저
항은 도전성 신발의 저항과 유사한 상태가 되는데, 실험결과에 의하면 이러한
상태의 저항은 150 Ω 정도이고 악조건에서는 100 Ω 정도가 된다.

마. 전체저항

위와 같은 사항을 정리하면 작업자를 통과하는 전체저항은 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 작업자의 전체저항

	염분에 젖은 상태	젖은 상태	건조상태
몸	1500 Ω	2700 Ω	3250 Ω
장갑	1 Ω	100 Ω	>100 k Ω
신발	100 Ω	1000 Ω	>100 k Ω
전체	1601 Ω	3800 Ω	>200 k Ω

바. 전압의 안전기준

전기 위험을 분석할 때 보다 정확한 접지저항을 구하는 것이 어렵기 때문에
전압의 안전한계를 정하는 것이 보다 합리적이라 할 수 있다. 외국의 일부 전
력회사에서는 기준전압으로 작업자가 절연 고무장갑을 착용한 상태에서 250~
350V(상전압 144~202V) 이하로 규정하고 있다. 이를 GPR 기준으로 환산하면
150~200V 정도가 된다.

따라서, 접지된 회로에 우발적으로 충전이 되어 발생할 수 있는 최대 전압으로 안전전압의 기준치로 200V(상대지 전압)를 적용하면 된다.

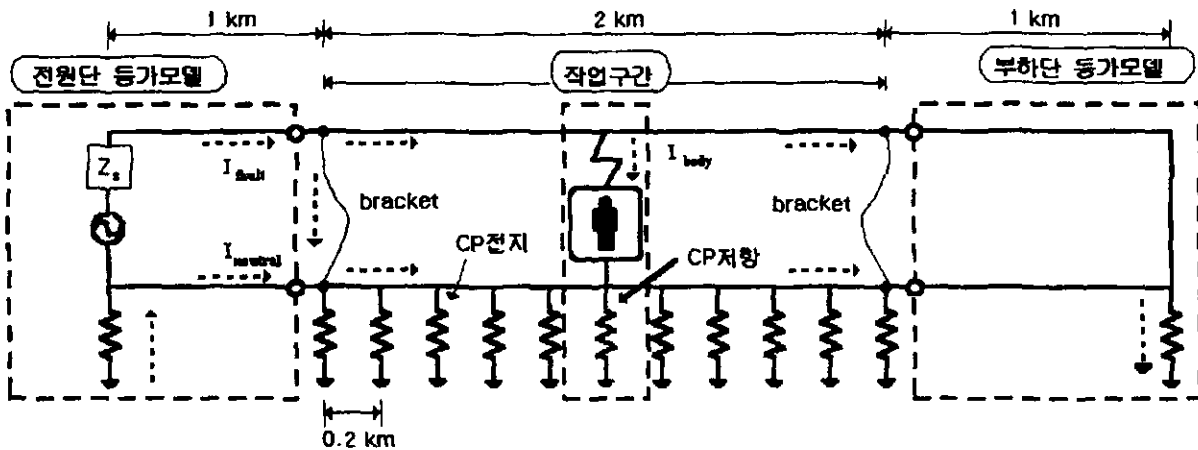
제 4 장 배전선로 작업구간 사고시 고장전류 분포해석

배전선로 정전 작업구간 내에서 도체가 충전되는 사고가 발생했을 때, 계통의 고장전류 분포 및 인체를 흐르는 전류를 평가하기 위하여, 접지/전자계해석용 소프트웨어인 CDEGS[1]를 사용하여, 배전계통을 간단히 모델링하고 해석하였다. 캐나다의 SES社에 의해 개발한 CDEGS는 토양구조 해석모델인 RESAP, 지중 및 가공의 충전도체에 의한 전자계 계산모델인 MALT / MALZ / HIFREQ, 선로정수 계산모델인 TRALIN, 회로해석모델인 FCDIST / SPLITS 및 고속 푸리에 변환 모델인 FFTSES의 8개 계산모델로 이루어져 있다.

HIFREQ는 충전된 도체의 전자계응답을 주파수영역에서 해석하는 컴퓨터 코드로서, 적분형태의 맥스웰방정식 해를 모멘트법(Method of Moment)에 의하여 계산하며, 모델링 대상은 가는 선(Thin wire)으로 재구성된다. 모델링 대상이 되는 계통의 회로정수를 구하고, 그에 따른 회로모델을 구성하여 해를 구하는 방법과는 달리, HIFREQ는 최소한의 가정을 전제한 맥스웰방정식의 해를 구하기 때문에 단 한번의 시뮬레이션만으로도 유도결합(Inductive coupling), 정전결합(Capacitive coupling) 및 회로모델 시뮬레이션에서는 고려할 수 없는 토양과 같은 손실매질에서의 도전결합(Conductive coupling)의 영향까지 동시에 모두 고려할 수 있다는 장점이 있다. 여기서는 근접한 중성선 접지(이하 CP접지라 함) 사이의 도전결합 및 상도체와 중성선간 유도결합의 영향을 고려하기 위하여 HIFREQ를 이용하여 작업구간을 비교적 상세하게 모델링하고, 관심대상이 아닌 전원단과 부하단은 도전결합의 영향을 배제하도록 작업구간으로부터 먼 거리에 전압원과 전원임피던스 및 접지된 부하임피던스로만 간략히

모델링하였다. 본 보고서에서는 안전측면에서 보다 직접적인 기준이 되는 인체를 흐르는 전류의 관점에서 사고영향을 평가하였기 때문에 위험전압 측면에서 검토할 때에는 정확한 고려가 어려운 문제들-예를 들어 인체로부터 계통을 바라보았을 때의 테브난 임피던스의 영향이나 CP접지간 도전결합(Conductive coupling)의 영향 등이 모두 고려되었다.

1. 배전선로 모델

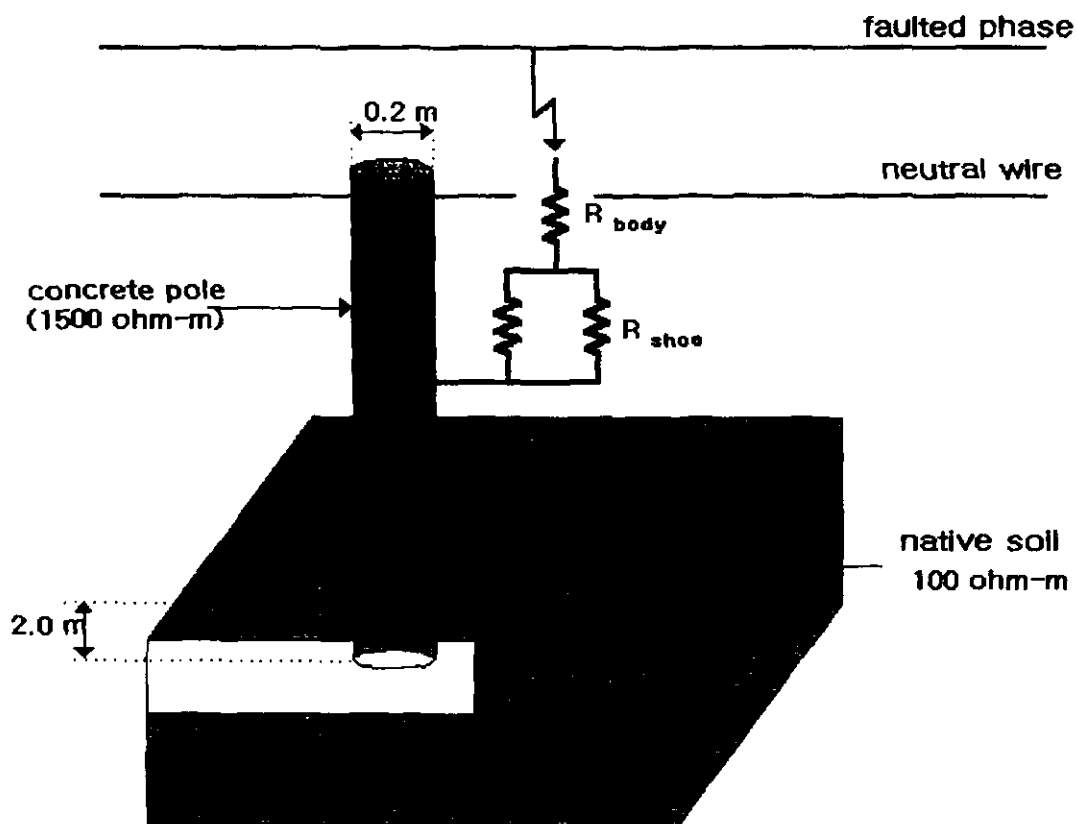


[그림 3-1] 회로모델

[그림 3-1]은 정전작업중 사고상황의 회로모델이다. 전원단은 등가의 전압원과 전원임피던스로 구성되어 있으며, 전원단 접지저항은 작업구간의 CP접지저항에 비하여 작은 값을 갖도록 하였다. 부하단의 등가모델은 고장전류에 비하여 부하전류가 작으므로, 부하단의 접지저항만을 고려하여 모델링하였다. 전원단/부하단과 작업구간의 CP접지와와의 도전결합의 영향을 제거하기 위하여 전원과 부하(접지)단은 작업구간으로부터 1 km 떨어진 곳에 위치하도록 하였다.

가. 작업구간내 인체와 CP모델

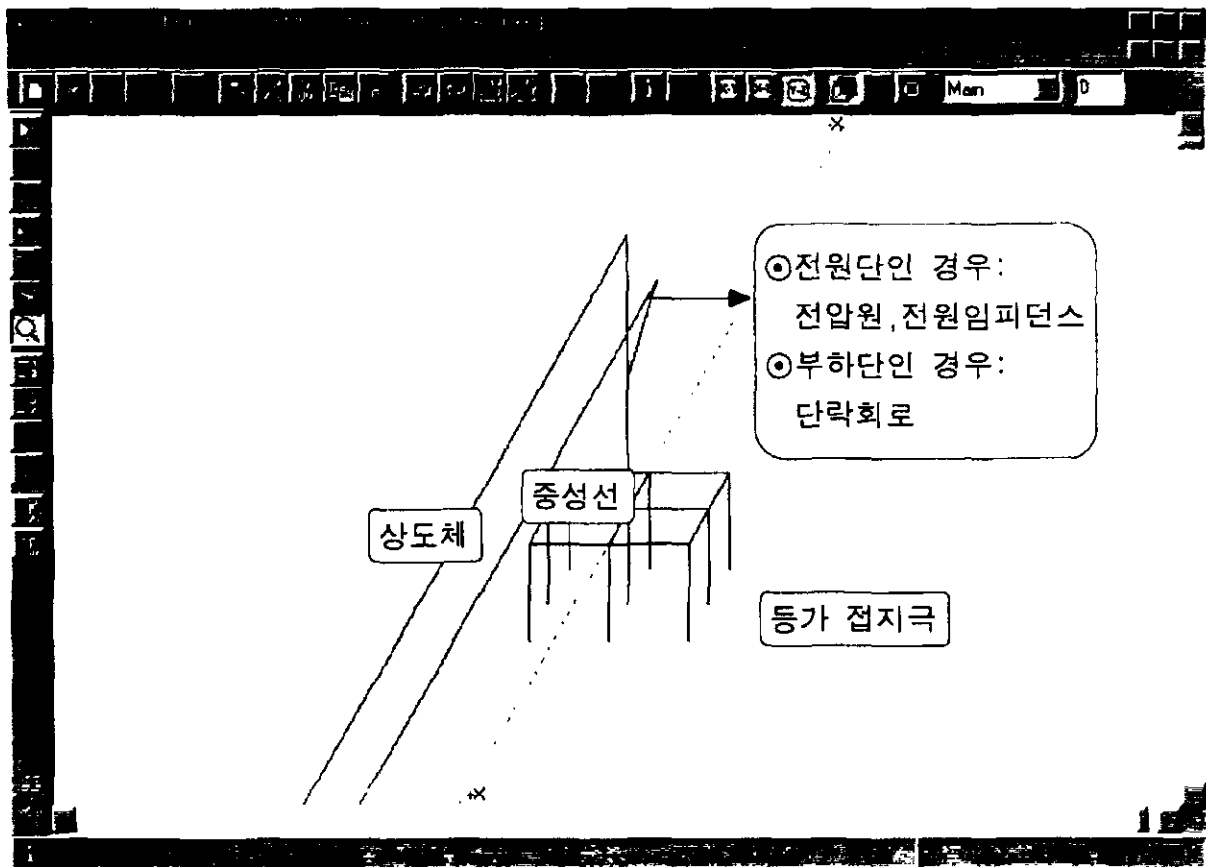
그림 3-2는 작업구간에서 작업중인 작업자와 CP의 HIFREQ 모델을 보인 것이다. 토양은 저항을 100 ohm-m, 비유전율 36.0 및 비투자율이 1.0 인 균일 매질로 가정하였다. CP는 이러한 균일매질에 약 2m 깊이에 묻혀있으며, 상도체는 6.45 m, 중성선은 5m 높이에 설치되어 있다고 가정하였다. 인체저항은 1000 ohm, 신발저항은 4000 ohm을 가정하였고 사고시 상도체와 인체간 단락 회로를 형성함으로써 감전사고를 모델링하였다.



[그림 3-2] 콘크리트 전신주와 사고상황 모델

나. 전원단/부하단 모델

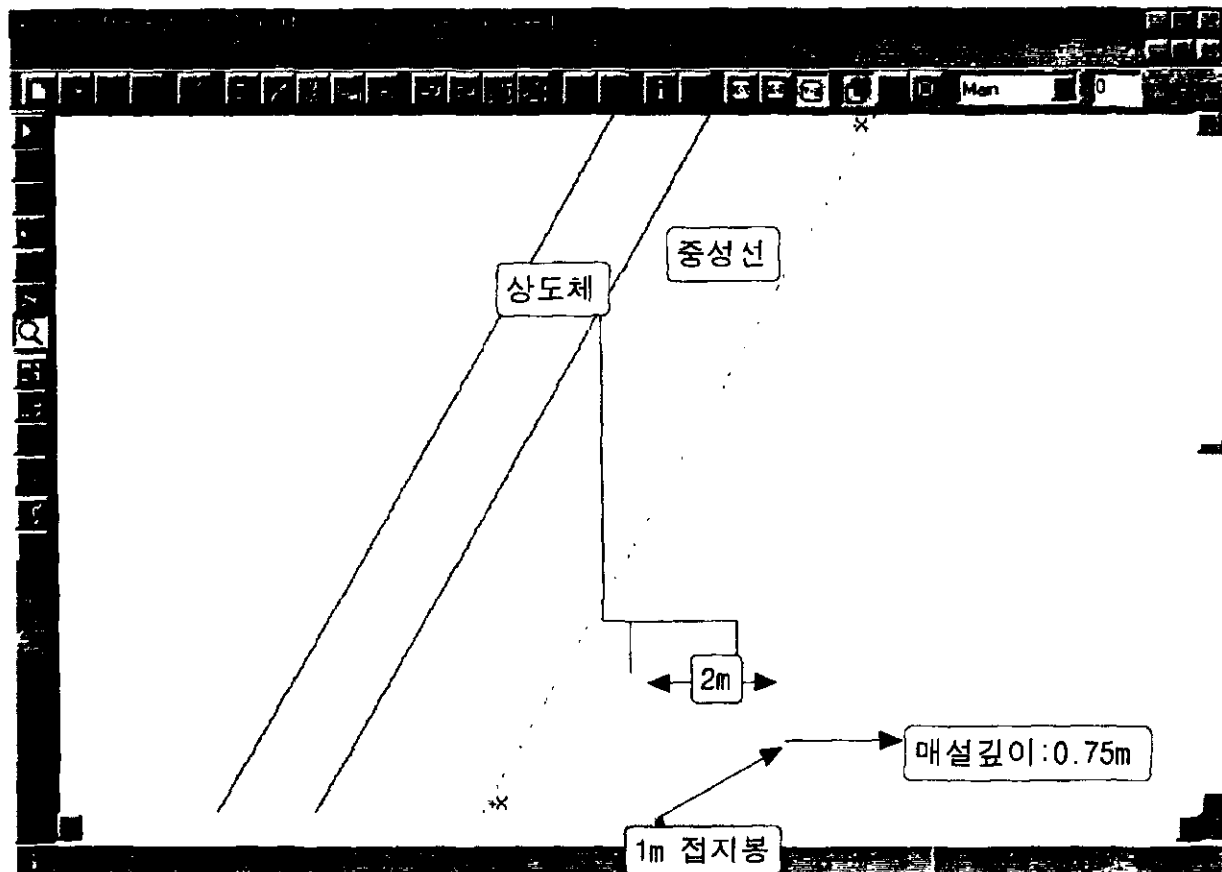
전원단은 13.22 kV의 전압원과 중성선과 상도체 사이에 1 또는 10 ohm의 전원임피던스가 직렬로 연결되어 있고, 등가의 접지극이 중성선과 연결되어 있는 것으로 모델링하였다. 부하단인 경우에는 전압원과 전원임피던스가 없고, 상도체와 중성선은 도체로 단락되어 있다. 그림 3은 SESCAD로 설계된 HIFREQ 모델을 보인 것이다.



[그림3-3] 전원단/부하단의 HIFREQ 모델

다. CP접지모델

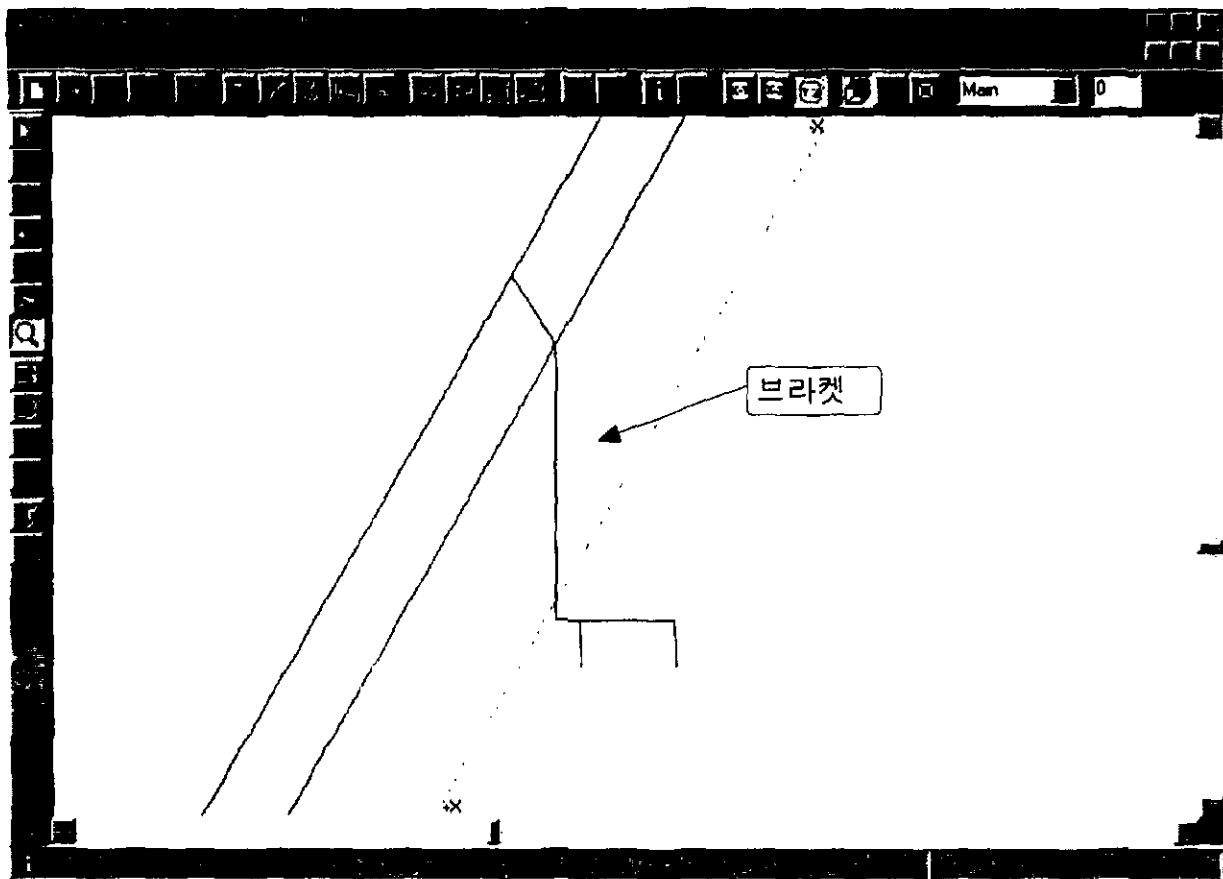
본 모의에서는 CP의 접지만을 모의하므로 CP접지는 200m마다 중성선이 접지되어 있는 것으로 가정하였다. 접지극은 한전의 배전설계기준에 근거하여 매설깊이 0.75m에 1m 접지봉이 매설되어있고, 2m 떨어진 곳에 접지봉 하나가 병렬로 매설되어 있다고 가정하였다([그림 3-4] 참조).



[그림 3-4] CP의 HIFREQ 모델

라. 상도체와 중성선간 브라켓모델

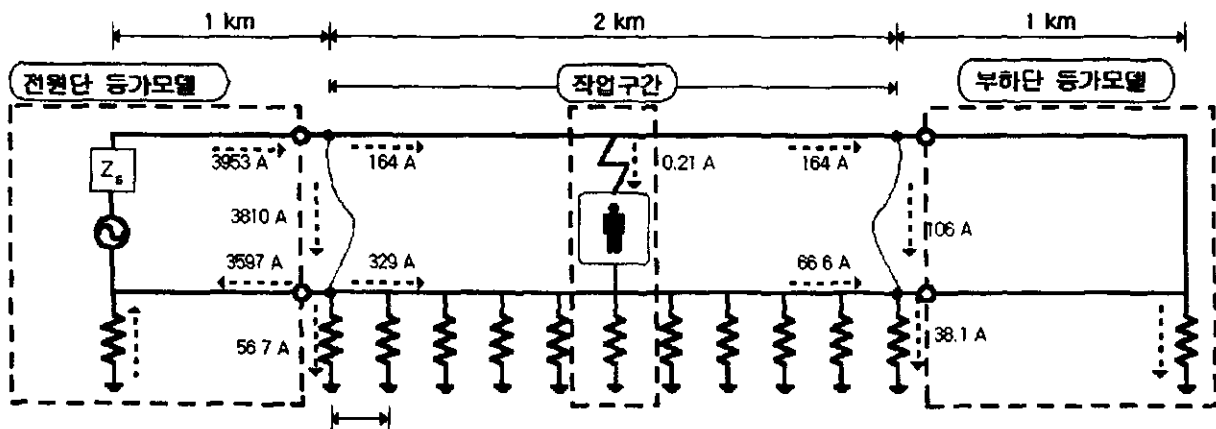
[그림 3-5]는 상도체와 중성선간 브라켓모델을 보인 것이다. 브라켓은 CP접지와 연결되어 있다. 브라켓은 정전작업도중 의도적이지 않은 상도체의 충전시 상도체를 통해 작업구간으로 흐르는 전류를 차단하여 중성선과 대지로 고장전류를 귀환시킴으로써 작업구간에서 상도체를 접촉하고 있는 작업자를 보호하는 역할을 한다.



[그림 3-5] 상도체와 중성선간 브라켓 모델

2. 인체통전전류 및 고장전류분포 계산결과

[그림 3-5]는 작업구간을 중심으로 1km거리에 상도체와 중성선 및 접지극간 연결시킨 경우에 전류분포 계산결과를 간략히 보인 것이다. 이 때 전원단 임피던스는 유도성 리액턴스로 1 ohm의 크기를 갖으며, 전압크기는 상간전압 22.9 kV을 중성선간 전압으로 환산한 13.22 kV이다. 대지저항율은 100 ohm-m를 가정하였다. 화살표의 방향과 그 옆에 보인 값은 전류크기와 방향을 나타낸 것이다. 대부분의 고장전류는 전원단쪽에 가까이 설치된 브라켓을 통해 전원단으로 되돌아가며 나머지 고장전류는 작업구간의 CP접지와 부하단 접지를 통해 전원단으로 귀환하는 것을 볼 수 있다.



[그림 3-6] 시나리오2 ($\rho=100 \text{ ohm-m}$, $z_{\text{source}}=1 \text{ ohm}$)에서 전류분포

<표 3-1> 고장상황 시나리오

No.	사고 상황
시나리오 1	작업구간 양단 미접지 + 작업중인 전주 접지되지 않음
시나리오 2	작업구간을 중심으로 2km구간 양단에 접지
시나리오 3	작업구간을 중심으로 1.2km구간 양단에 접지
시나리오 4	작업구간을 중심으로 0.4km구간 양단에 접지
시나리오 5	작업구간 접지(상도체-중성선-CP접지)하고, 양단접지는 없음
시나리오 6	시나리오1 + 작업중인 전주 접지 되어 있음
시나리오 7	시나리오2 + 작업구간에서 접지(상도체-중성선-CP접지)됨.

<표 3-2> 시나리오별 고장전류분포 계산결과 요약(100 ohm-m)

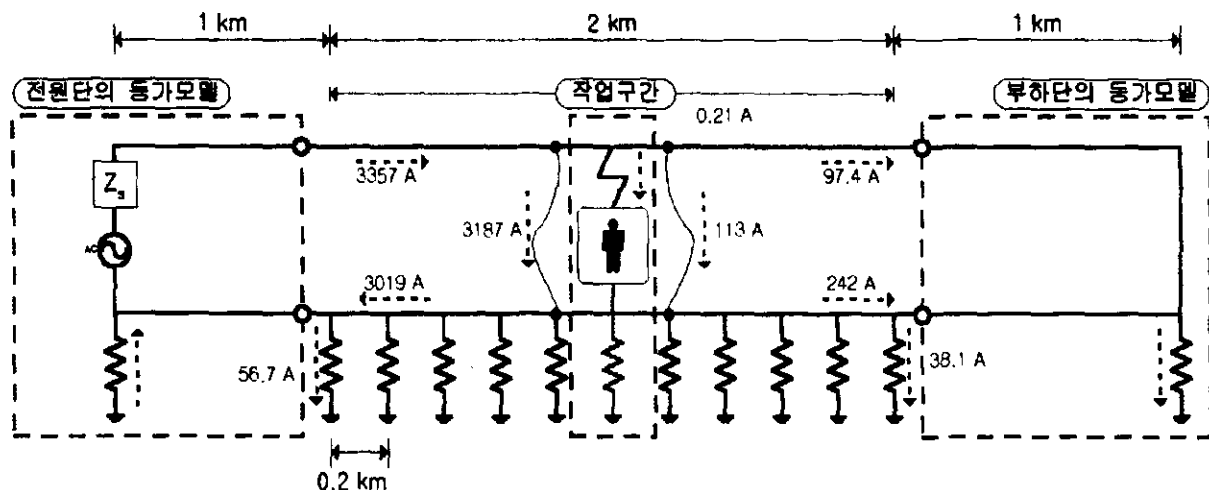
전원 임피던스	시나리오	인체통전 전류[A]	전원단 전류분포		
			중성선전류[A]	고장전류[A]	접지전류[A]
1 ohm	1	1.13	1579.24	1891.91	390.53
	2	0.21	3597.44	3953.28	125.06
	3	0.23	3264.99	3630.24	127.42
	4	0.25	2986.73	3357.17	541.33
	5	0.17	2860.57	3239.45	548.30
	6	1.13	1579.24	1891.91	390.46
	7	0.13	3593.00	3956.00	543.00
10 ohm	1	0.50	692.70	829.93	171.39
	2	0.06	976.24	1072.70	33.94
	3	0.07	942.43	1047.87	36.78
	4	0.08	911.12	1024.02	165.13
	5	0.05	894.40	1013.11	171.48
	6	0.50	692.80	829.93	171.33
	7	0.04	975.00	1073.00	147.00

<표 3-3> 시나리오별 고장전류분포 계산결과 요약(1000 ohm-m)

전원 임피던스	시나리오	인체통전 전류[A]	전원단 전류분포		
			중성선전류[A]	고장전류[A]	접지전류[A]
1 ohm	1	1.10	1737.26	1750.00	57.37
	2	0.22	3806.48	3821.24	16.54
	3	0.24	3474.92	3490.07	16.92
	4	0.26	3197.35	3212.73	72.97
	5	0.18	3075.01	3090.60	74.04
	6	1.11	1737.26	1750.00	57.28
	7	0.14	3806.00	3821.00	72.20
10 ohm	1	0.50	794.35	800.42	26.24
	2	0.06	1058.06	1062.45	4.60
	3	0.07	1031.08	1035.55	5.02
	4	0.08	1004.09	1009.64	22.93
	5	0.06	991.99	997.09	23.88
	6	0.51	794.35	800.42	26.20
	7	0.04	1058.00	1062.00	20.10

<표 3-2>와 <표3-3>을 볼 때, 인체를 흐르는 전류를 최소화하는 시나리오는 7번임을 볼 수 있다. 전원임피던스와 저항율이 동일하고 브라켓사이의 거리만 달리한 시나리오 2, 3, 4를 비교해볼 때, 브라켓간 거리가 가장 넓은(2km) 시나리오 2가 가장 인체전류가 작음을 볼 수 있다. 이는 브라켓이 고장전류를 상당부분을 차단하고 나머지 전류는 중성선과 CP접지 또는 부하단의 접지를 통해 전원단으로 귀환하게 되므로, 브라켓이 전원단에 가장 가까이 위치한 시나리오 2가 가장 안전한 것이다.

[그림 3-7]은 브라켓사이의 거리가 시나리오 2의 2km에서 400m로 좁아졌을 때의 전류분포를 계산한 결과이다. 전원단 모델은 시나리오2와 동일하다. 시나리오 2와 비교해 볼 때, 고장전류의 크기가 약 600 A정도 감소되었는데, 이는 고장전류를 전원단으로 되돌려주는 통로가 되는 브라켓이 전원단으로부터 더 멀어졌기 때문에 전원쪽에서 본 시스템 임피던스가 더 증가하였기 때문이다. 주목할 것은 인체를 흐르는 전류가 0.25 A로 시나리오2보다 오히려 증가하였는데, 이 또한 브라켓을 통한 고장전류의 차단이 사람이 작업중인 작업구간 가까이에서 이루어지기 때문으로 생각된다.



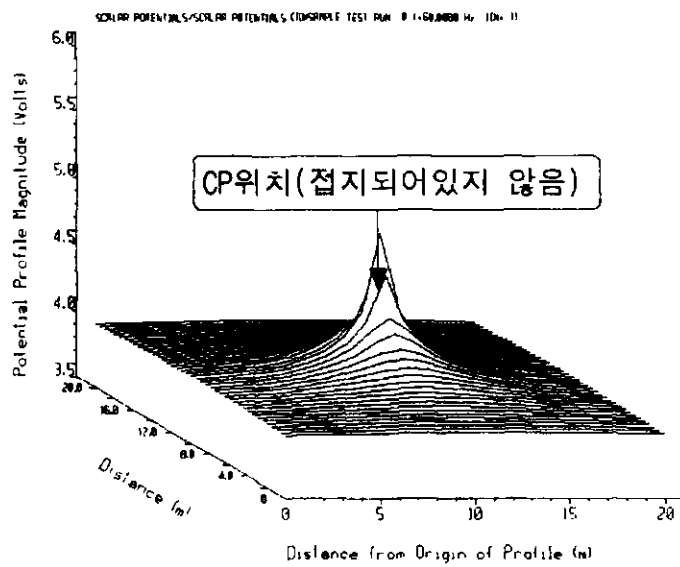
[그림 3-7] 시나리오4 ($\rho = 100 \text{ ohm-m}$, $z_{\text{source}} = 1 \text{ ohm}$)에서 전류분포

[그림 3-8]은 시나리오2(작업구간을 중심으로 양쪽 1km거리에서 양단접지하고, 작업자가 작업중인 CP는 접지되어 있지 않을 경우)에서 CP주변의 지표면 전위분포 계산결과이다. CP주변에 접지극이 없으므로 접지전류나 지표면전위분포는 거의 상승하지 않는다.

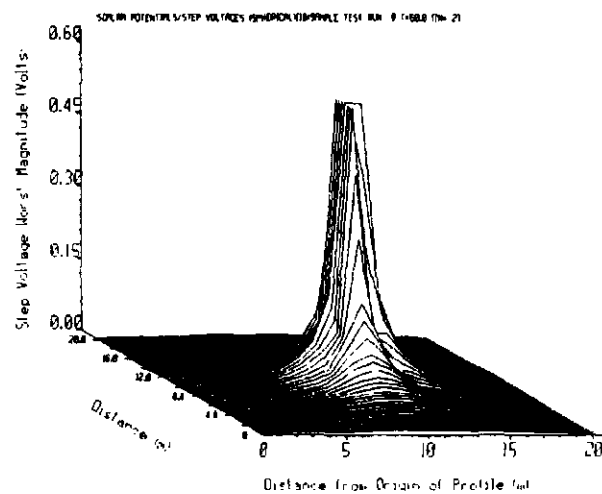
따라서 작업자기 작업중인 CP주변의 보폭전압([그림 3-9])과 접촉전압([그림

3-10))은 매우 낮다. 반면 브라켓이 설치되어 있는 CP는 접지되어 있으므로, 접지극 주변의 지표면전위가 상승하고([그림 3-11]), 보폭전압은 약 60 V([그림 3-12]), 접촉전압은 약 150 V정도([그림 3-13]) 나타난다. 반면 작업자가 작업중인 CP를 접지하였을 때(시나리오 7)는 접지도체를 통하여 전류가 누설되므로 CP주변의 지표면전위가 상승하고([그림3-14]), CP주변의 보폭전압도 약 60V 정도([그림 3-15]) 나타나며, 접촉전압은 약 150 V 정도 나타난다([그림 3-16]). 브라켓이 설치된 CP(접지됨) 주변의 지표면전위분포나 보폭전압 분포는 브라켓 사이의 거리에 따라 별 차이가 없음을 볼 수 있다([그림 3-17, 18, 19]).

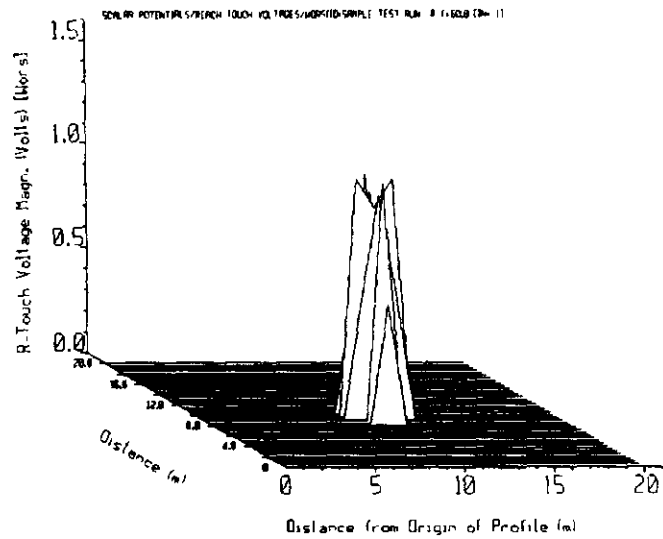
위 결과로 볼 때 CP위에서 작업하는 작업자의 안전관점에서는 시나리오7이 가장 안전하며, 작업자가 작업하는 CP주변에서 접촉, 보폭전압을 고려하면 시나리오 2가 더 안전하다고 볼 수 있다. 그러나, 보폭전압은 고장전류가 수 kA가 되어도 수 수십V에 지나지 않으며, 인체전류가 심장을 통과하지 않으므로 안전측면에서 큰 문제가 되지 않으며 접촉전압 또한 시나리오 7에서 상도체와 중성선을 연결하고, CP가 접지되어있다고 할 때, 접지선을 사람이 접촉할 확률이 거의 없으므로 시나리오 7이 가장 안전한 것으로 생각된다.



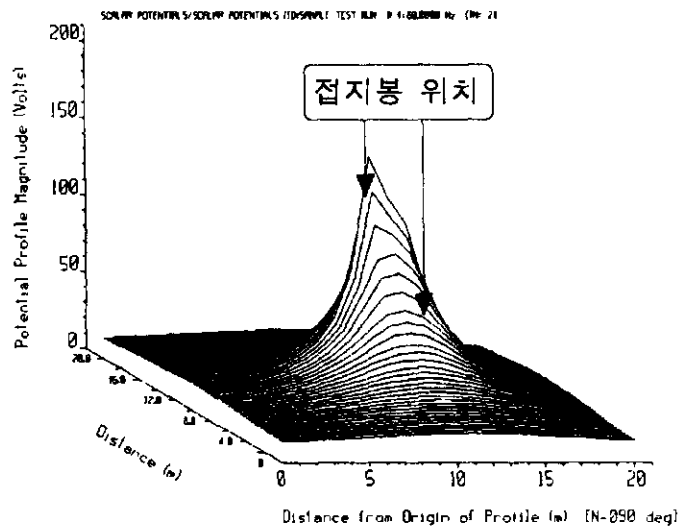
[그림 3-8] 시나리오2에서 작업자가 작업중인 CP주변의 지표면 전위분포 ($Z_{source}=10\ \text{ohm}$)



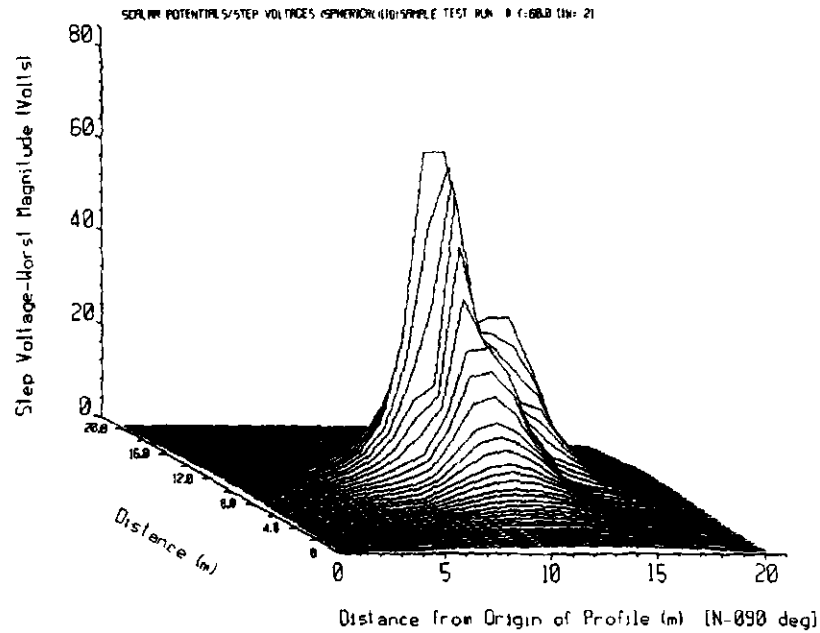
[그림 3-9] 시나리오2에서 작업자가 작업중인 CP주변의 보폭전압 분포($Z_{source}=10\ \text{ohm}$)



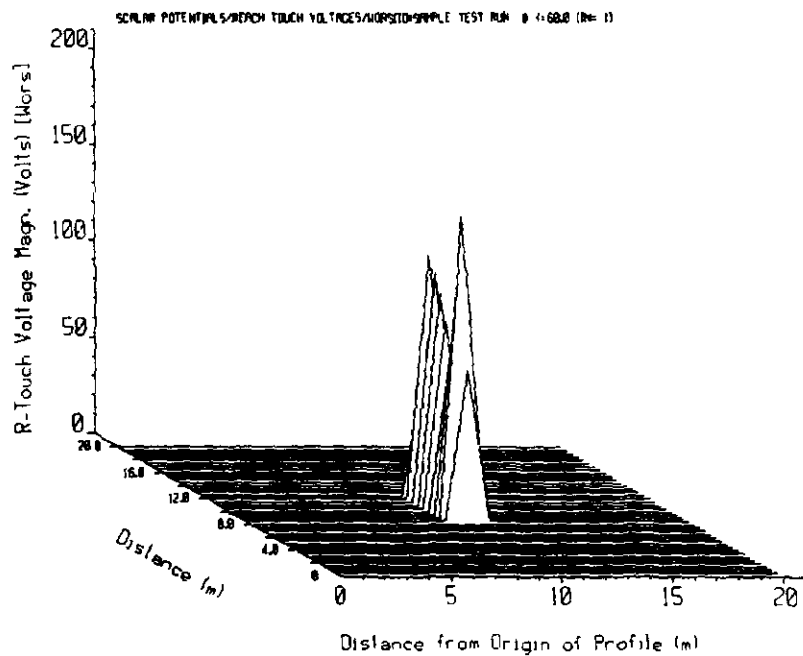
[그림 3-10] 시나리오2에서 작업자가 작업중인 CP주변의 접촉전압



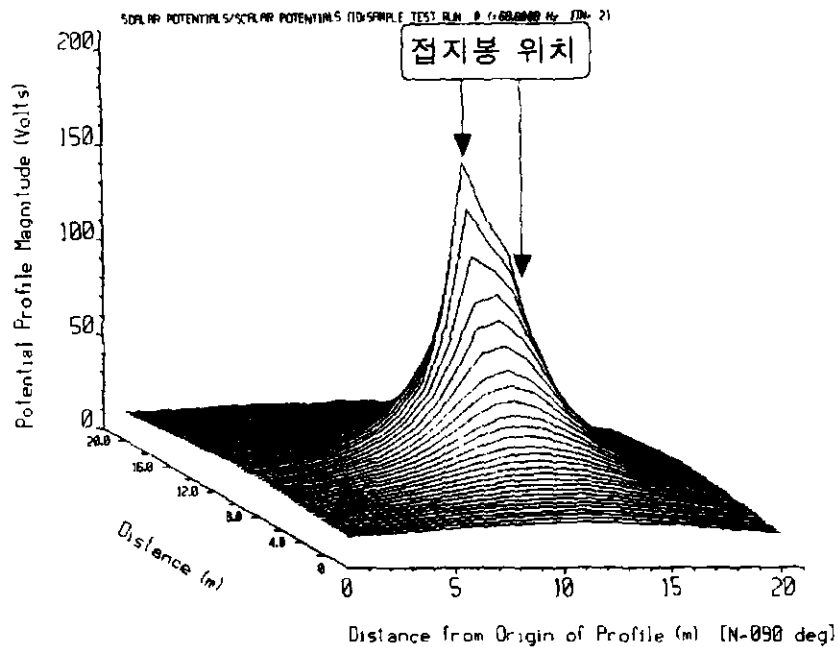
[그림 3-11] 시나리오2에서 브라켓이 설치된 CP주변의 지표면전위분포($Z_{source}=10\ \text{ohm}$)



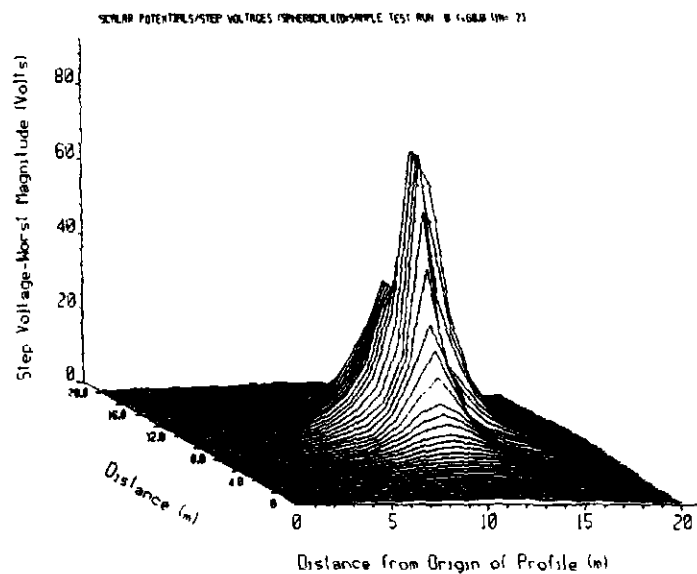
[그림 3-12] 시나리오2에서 브라켓이 설치된 CP주변의 보폭전압
(Zsource=10 ohm)



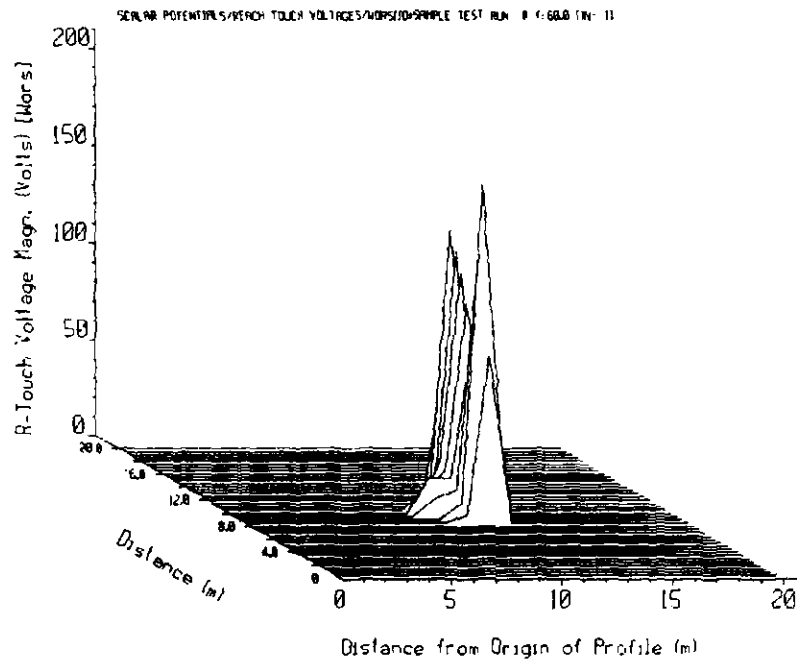
[그림 3-13] 시나리오2에서 브라켓이 설치된 CP주변의 접촉전압
(Zsource=10 ohm)



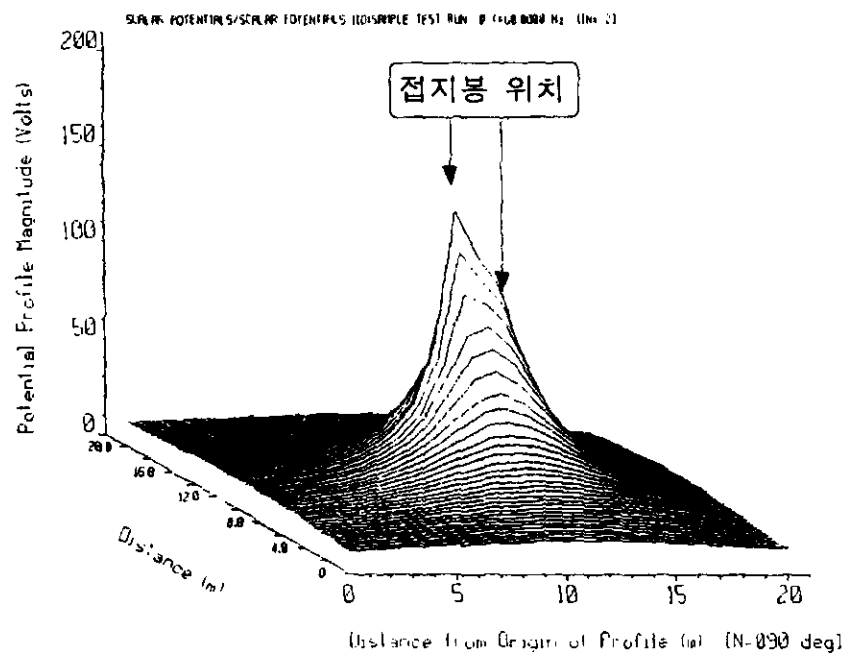
[그림 3-14] 시나리오7에서 작업자가 작업중인 CP주변의
지표면전위분포($Z_{source}=10\text{ ohm}$)



[그림 3-15] 시나리오7에서 작업자가 작업중인 CP주변의 보폭전압
($Z_{source}=10\text{ ohm}$)



[그림 3-16] 시나리오7에서 작업자가 작업중인 CP주변의 접촉전압 ($Z_{source}=10\ \text{ohm}$)



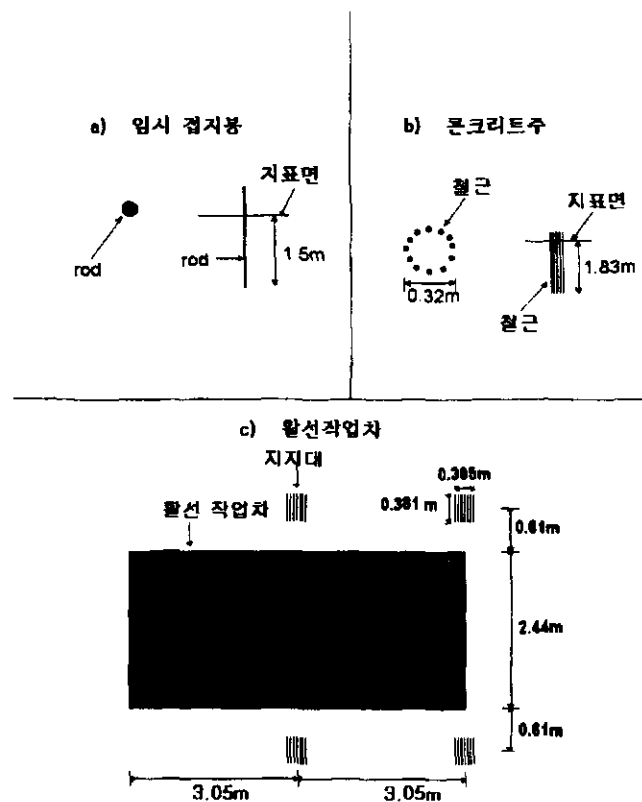
[그림 3-17] 시나리오7에서 브라켓이 설치된 CP주변의 지표면전위분포($Z_{source}=10\ \text{ohm}$)

내용누락

내용누락

<표 3.1> 토양구조 모델

토양구조	표토층 대지고유저항(Ω -m)	심층 대지고유저항(Ω -m)	표토층 두께(m)
A	1000	100	1.0
B	1000	100	2.0
C	1000	100	3.0
D	100	1000	1.0
E	100	1000	2.0
F	100	1000	3.0
G	100	100	균질



[그림 3-20] 전극 모델

여기서, 접촉전압과 보폭전압은 전극 GPR (작업구역 최대 GPR)의 %로 나타내기 때문에 대지고유저항의 절대값은 별로 중요한 것이 아니다. 토양지층과 지층의 두께가 접촉 및 보폭전압에 영향을 미치게 된다. 예를 들면, 100 Ω -m의 토양에서 얻은 값은 1000 Ω -m 토양에서도 같은 결과를 얻을 수 있다. 또, 위에서와 같이 2층구조의 토양에 대해 동일한 상수로 곱하면 전극 GPR의 %로 표시한 접촉전압과 보폭전압은 그 값이 변하지 않게 된다.

따라서, 여기에서 선택한 토양모델은 광범위한 토양구조를 나타내며, 상층과 하층의 대지고유저항 비는 0.1에서 10.0 사이가 된다. 표토층의 두께는 전극이 상층과 하층에 걸치게 되는 정도를 나타내는 것이다.

나. 결과 고찰

[그림 3-21]에서 [그림 3-26]은 각각 활선작업차와, 콘크리트주의 지표면 전위 분포, 콘크리트주 및 활선작업차의 토양모델별 보폭전압, 콘크리트주와 활선작업차의 토양모델별 접촉전압의 분포를 나타내고 있다.

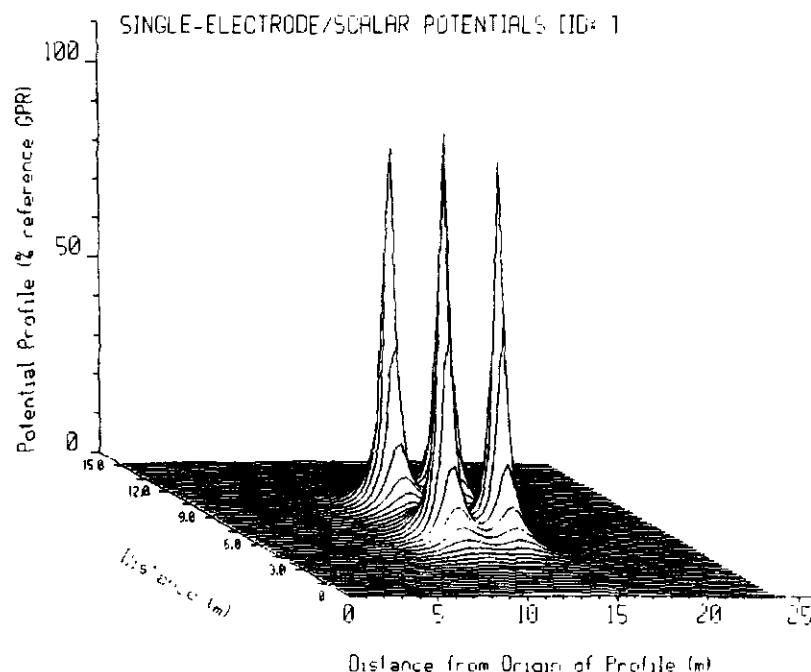
대지 지표면 전위는 20m×20m 면적의 중앙에 전극이 놓이는 것으로 하여, 21가지 경우(전극 3× 토양구조 7)를 모의하였다.

표토층의 대지고유저항이 높고 심층의 대지고유저항이 낮은 토양에서는 충전된 도체(받침대나 콘크리트주)부근에서 멀어질수록 지표면전위가 급격히 감소한다. 이는 누설전류가 대지고유저항이 낮은 심층으로 많이 흘러 들어가지만, 표토층의 대지고유저항이 크기 때문에 표토층을 흐르는 누설전류에 의한 전압강하가 크기 때문이다. 반대로 표토층 대지고유저항이 낮은 토양에서는 누설전류가 대지고유저항이 낮은 표토층으로 많이 흐르게 되지만, 토양의 대지고유저항이 심층에 비하여 상대적으로 작기 때문에 표토층을 흐르는 누설전류에 의

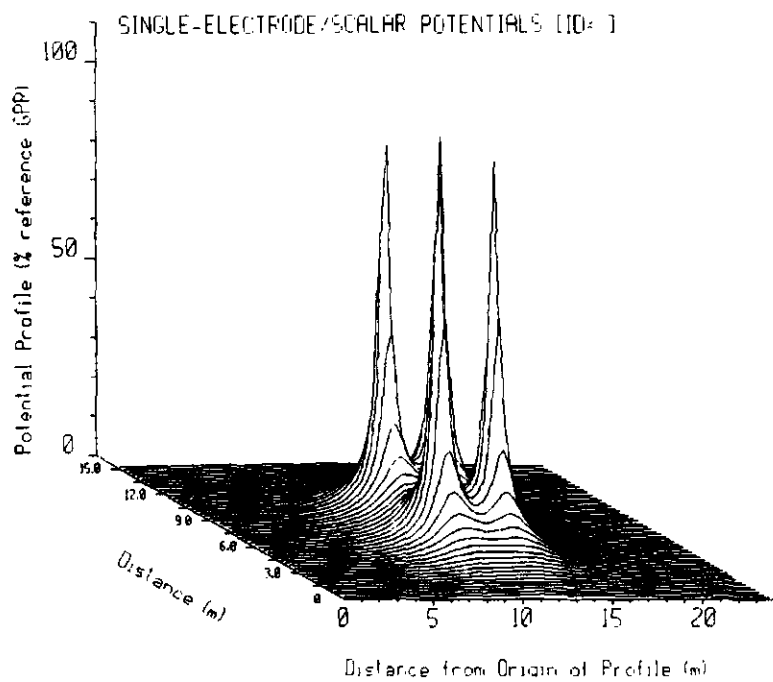
한 전압강하는 작아지고 따라서 전위경도가 완만해지는 것을 볼 수 있다.

[그림 3-23]에서 보는 바와 같이 지표면전위경도가 작을 때, 즉 지표면전위가 완만히 변하는 토양(=표토층 대지고유저항이 낮은 토양)에서는 양발사이 1m간 전위차가 작아지므로 %GPR의 보폭전압이 상대적으로 작아진다. 단, 그림 3은 %GPR을 그린 것이므로, 토양모델이 달라도 접지저항, 즉 GPR이 같은 경우는 절대적인 비교가 되지만 대개는 심층대지고유저항이 높은 토양에 묻힌 접지극이 심층대지고유저항이 낮은 토양에 묻힌 접지극보다 접지저항이 높고 따라서 GPR도 높기 때문에 보폭전압의 절대값으로 비교했을 때, 지표면전위가 완만히 변하는 토양에서 보폭전압은 %GPR로 나타낸 보폭전압보다 상대적으로 더 작아질 것이다.

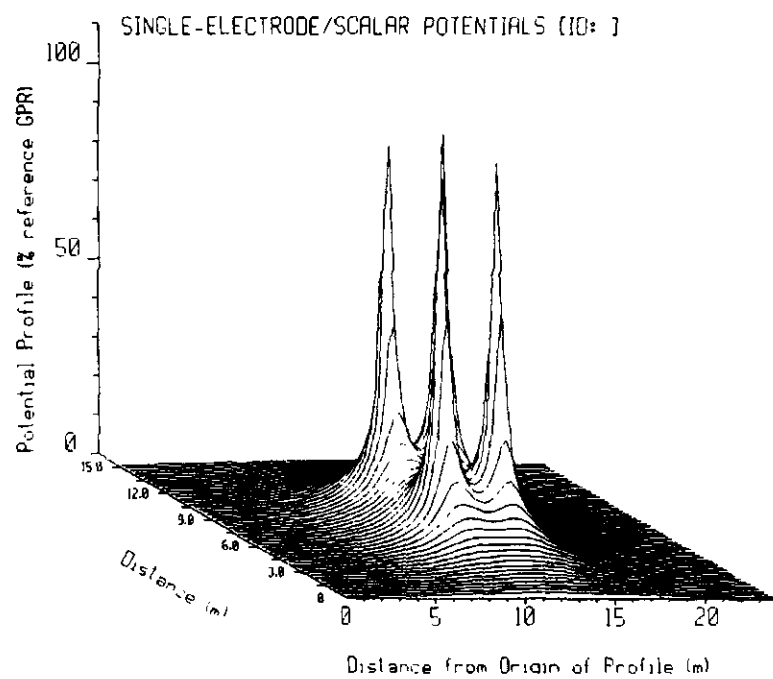
그러나, [그림 3-24]에서 보면, 표토층 대지고유저항이 높은 토양의 접촉전압의 %GPR이 다른 토양에 비해 더 작은 것처럼 보이지만, 실제 GPR 값이 다른 토양에 비해 더 크므로(심층대지고유저항이 커서 접지저항이 더 커지므로), 접촉전압이 어느 쪽이 더 낮다고 직접 비교는 되지 않는다.



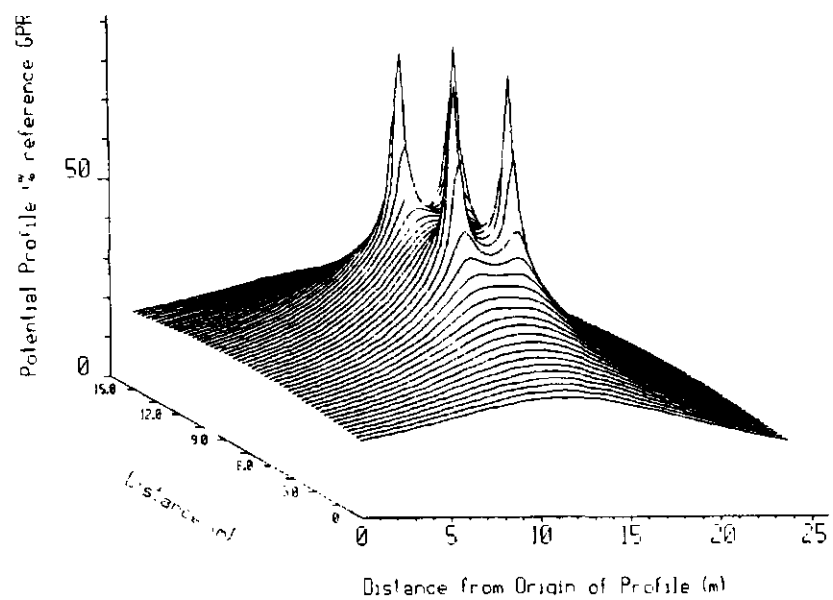
(a) Soil-A



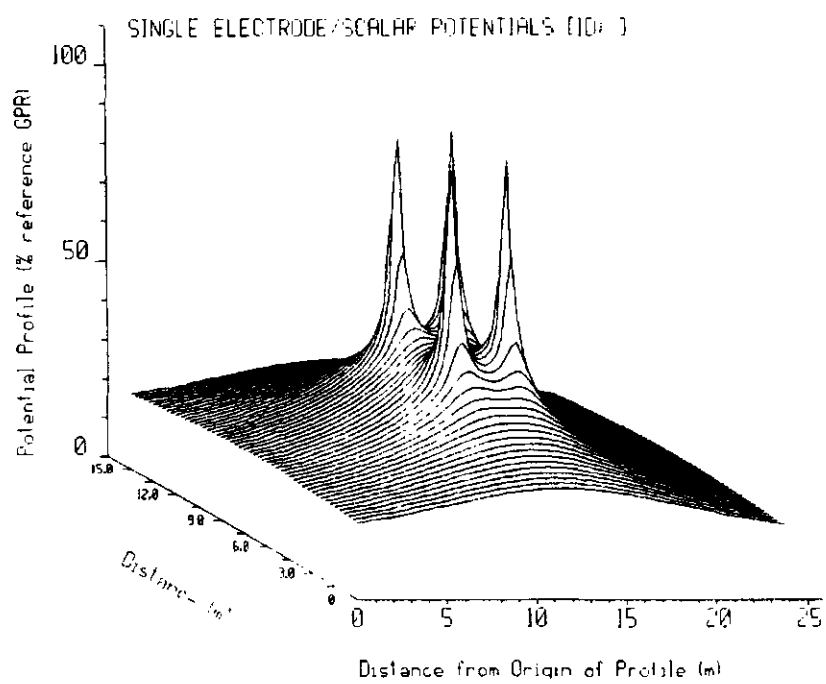
(b) Soil-B



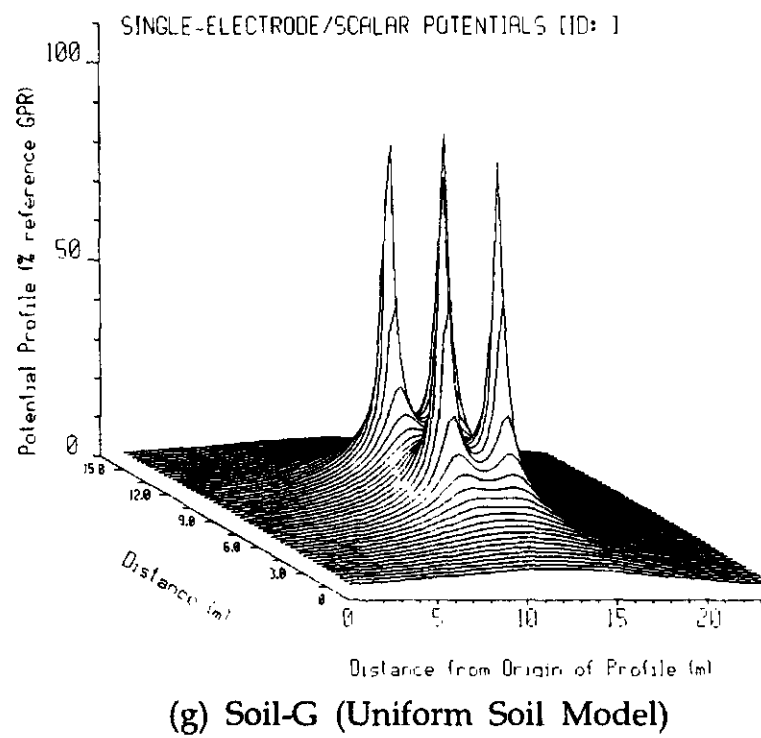
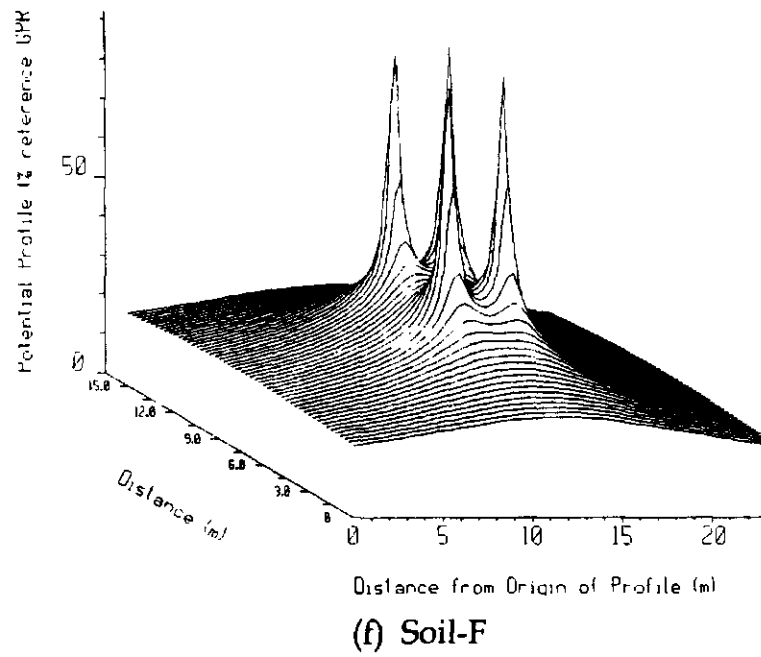
(c) Soil-C



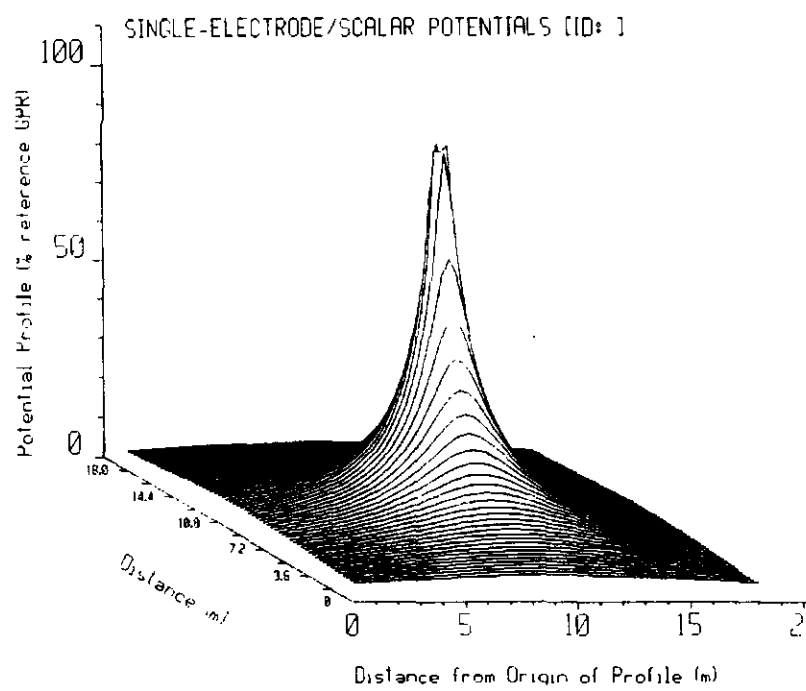
(d) Soil-D



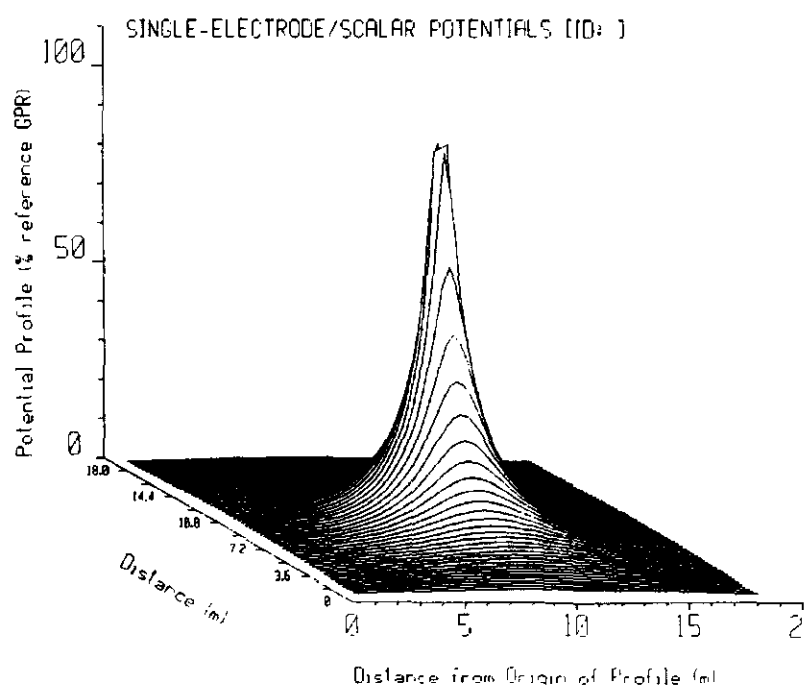
(e) Soil-E



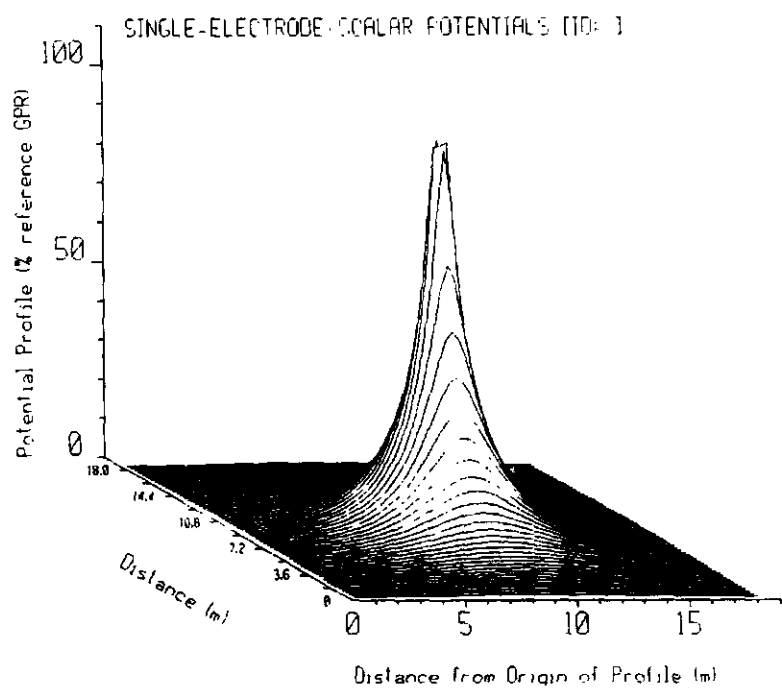
[그림 3-21] 작업차량 주변의 지표면 전위분포



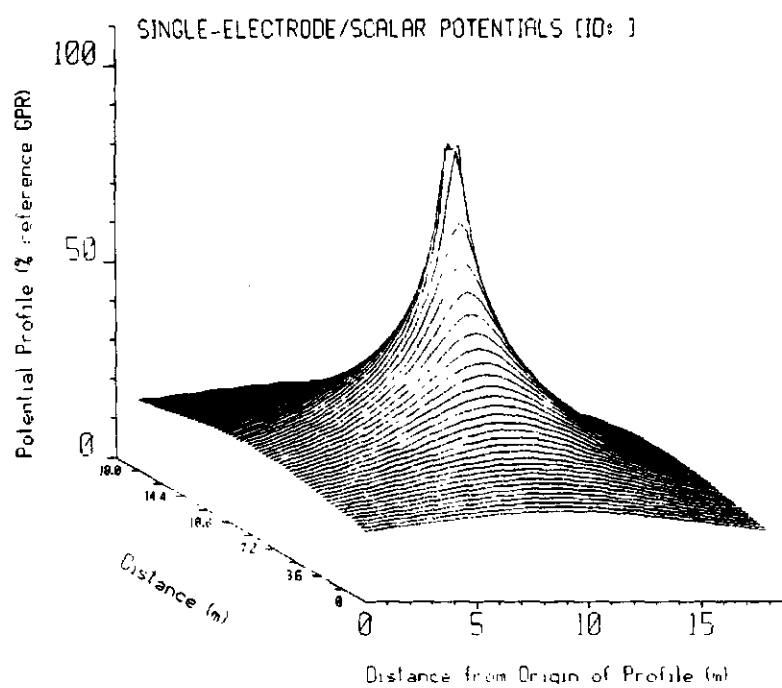
(a) Soil-A



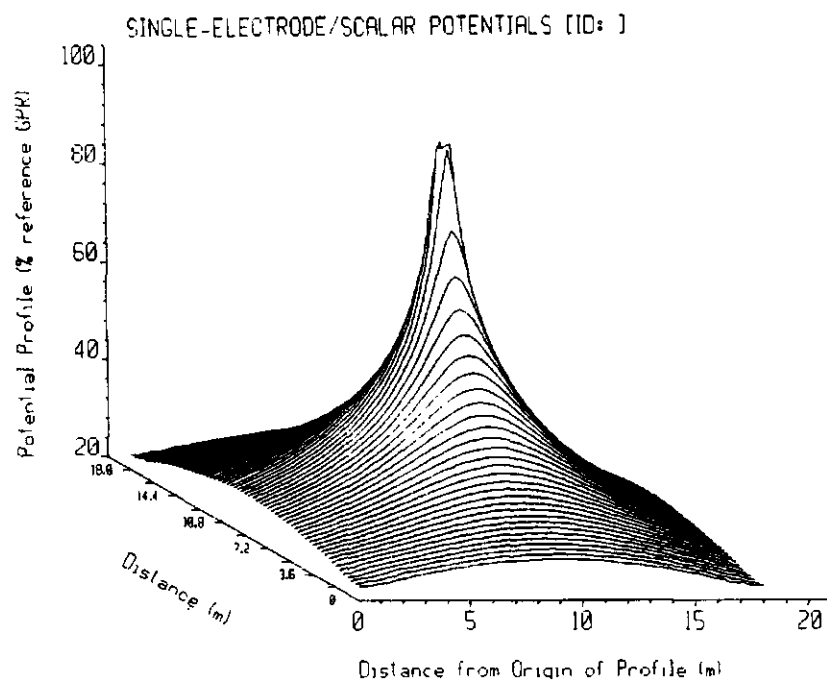
(b) Soil-B



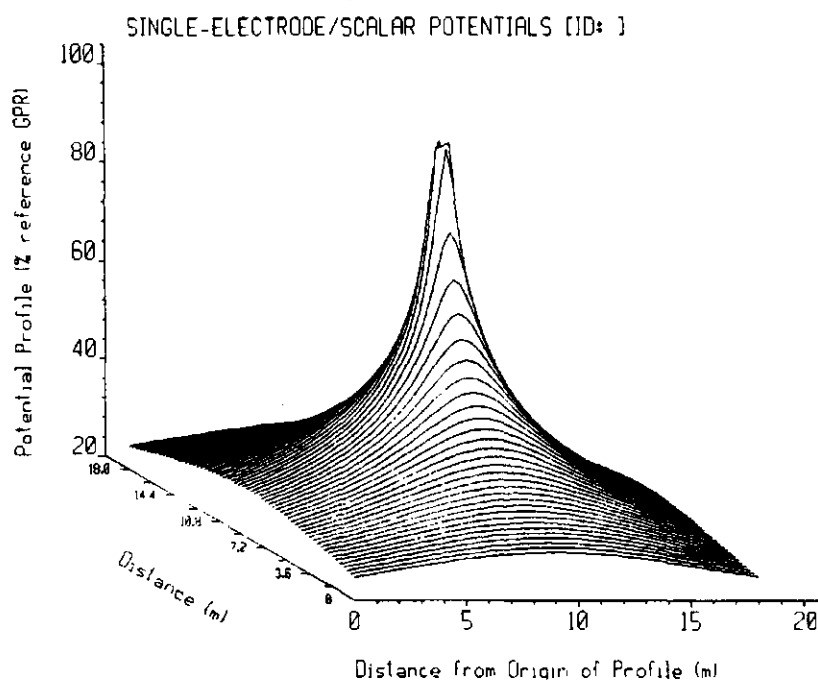
(c) Soil-C



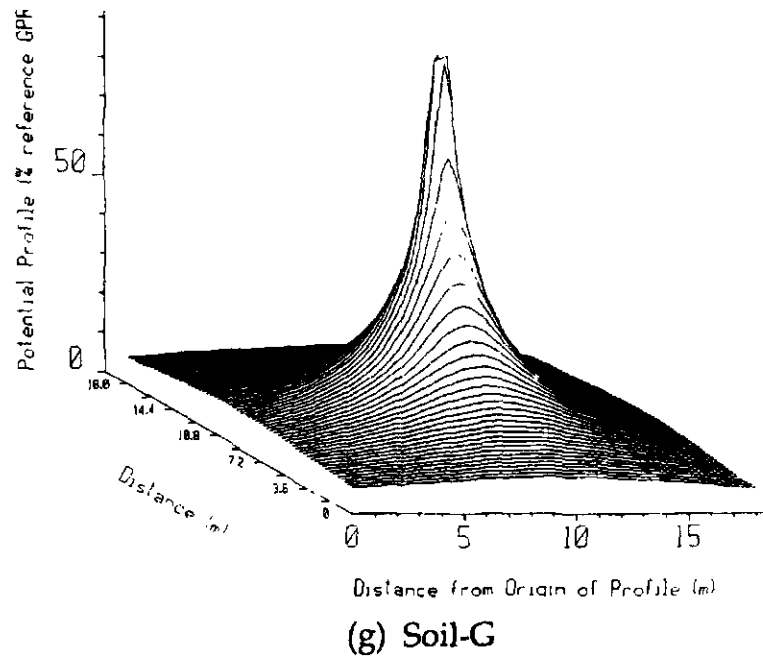
(d) Soil-D



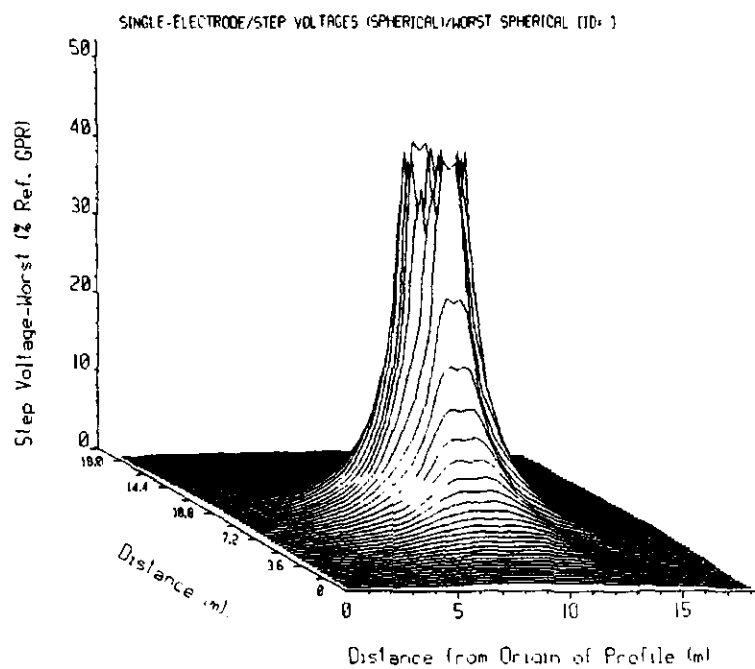
(e) Soil-E

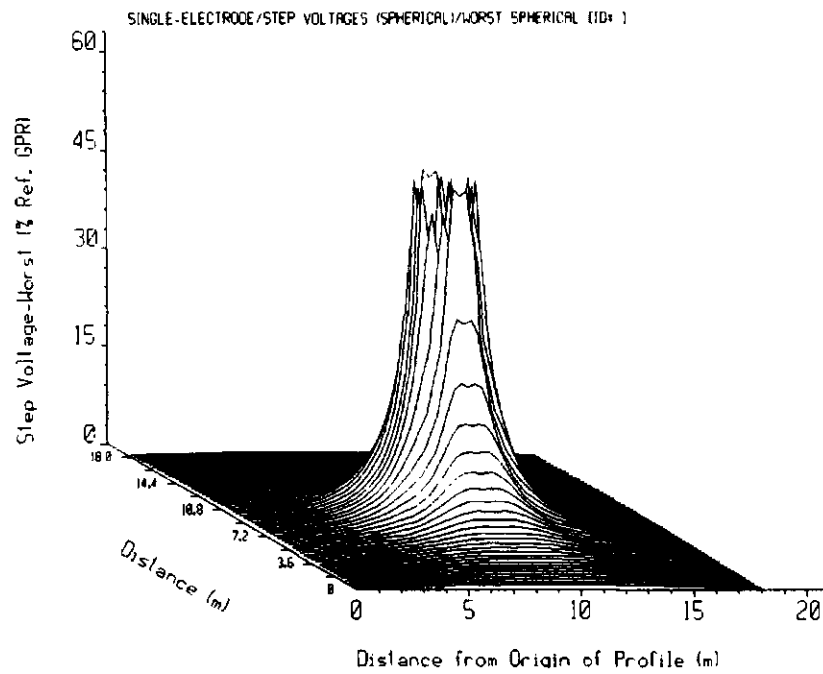


(f) Soil-F

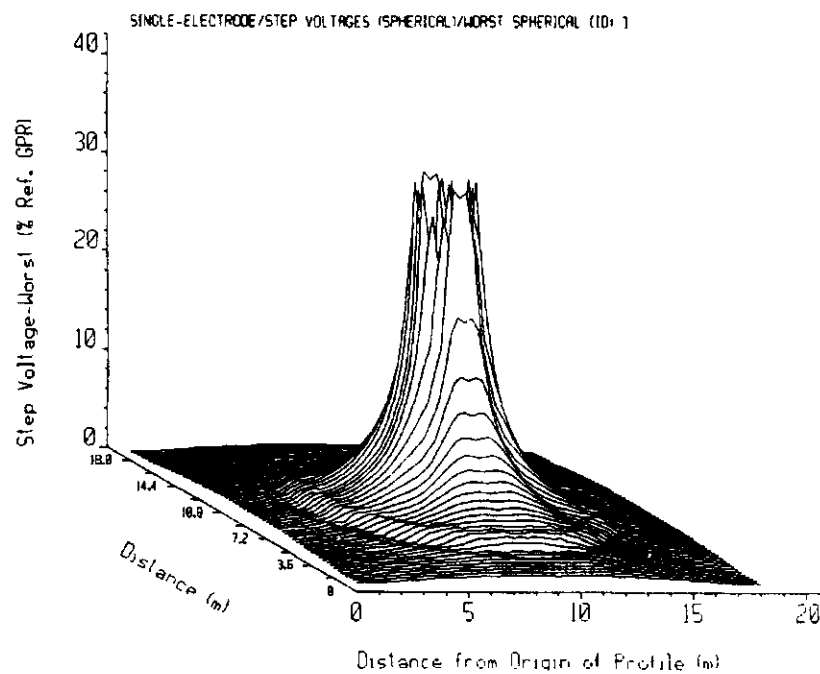


[그림 3-22] 콘크리트주 주변의 보폭전압 분포



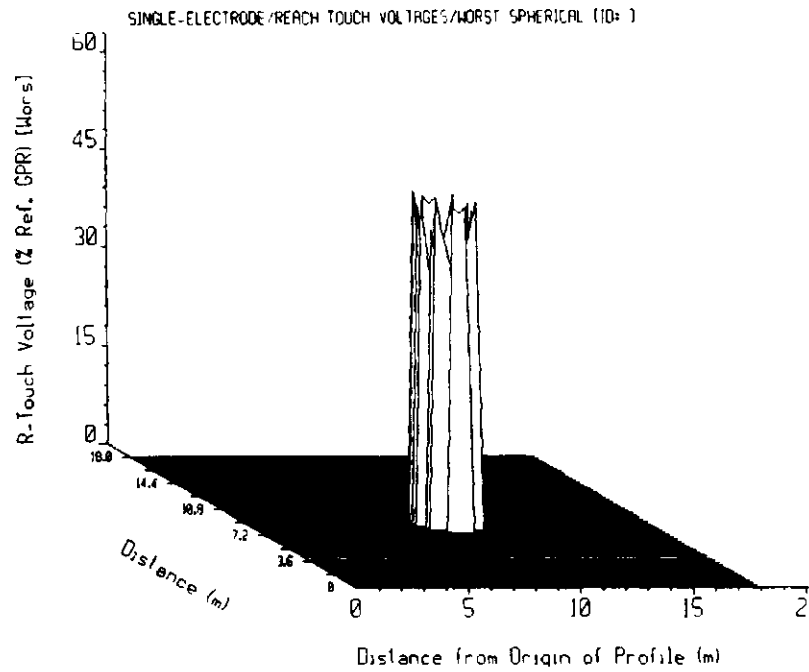


(b) Soil-A (표토층 저항율이 높은 토양)

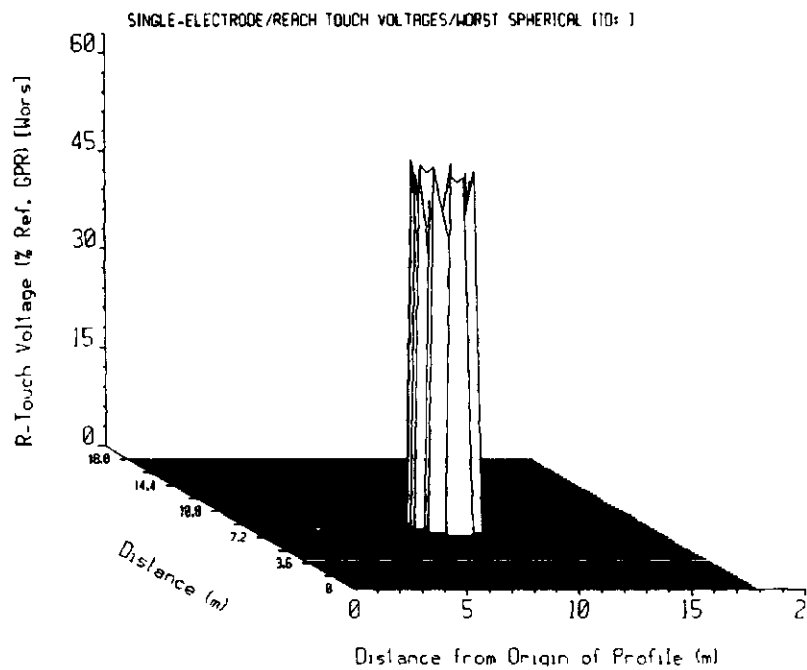


(c) Soil-D (표토층저항율이 낮은 토양)

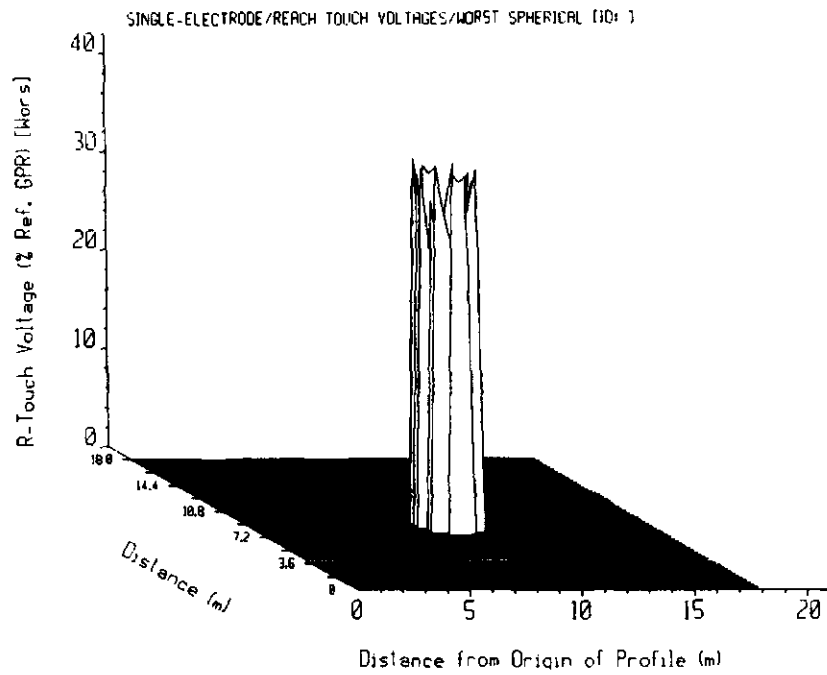
[그림 3-23] 콘크리트주의 토양모델에 따른 보폭전압 분포(%GPR)



(a) Soil-G (uniform soil model)

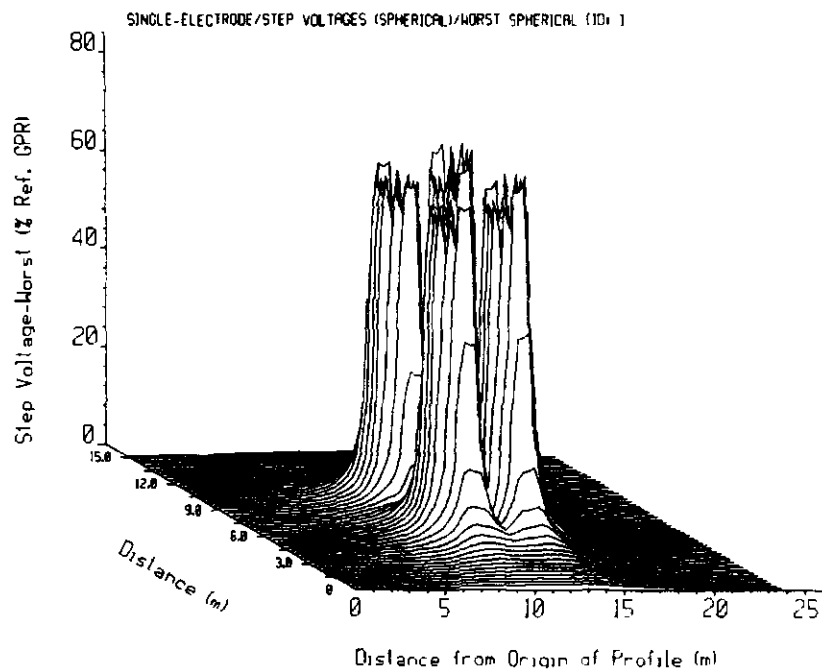


(b) Soil-A (표토층저항율이 높은 토양)

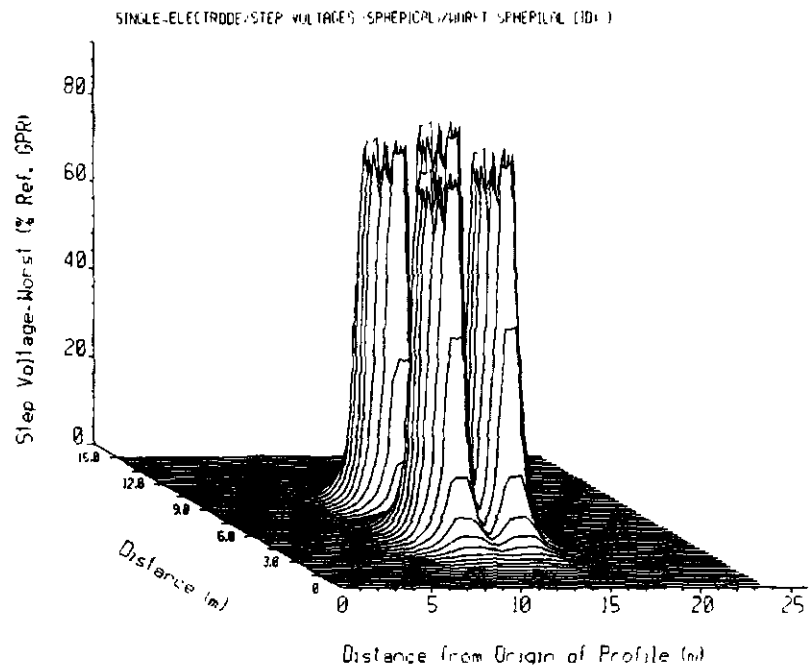


(c) Soil-D (표토층저항율이 낮은 토양)

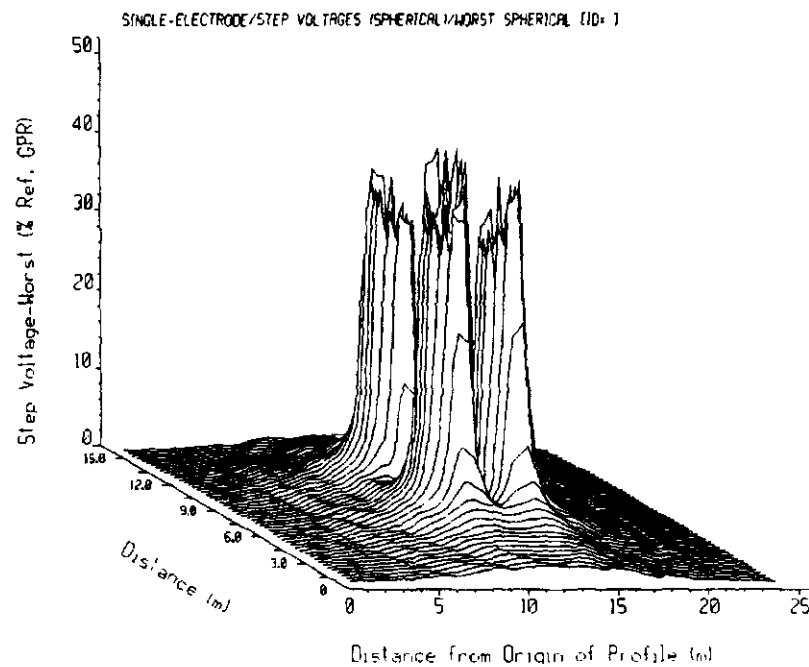
[그림 3-24] 토양모델에 따른 접촉전압의 분포(%GPR)



(a) Soil-G (uniform soil model)

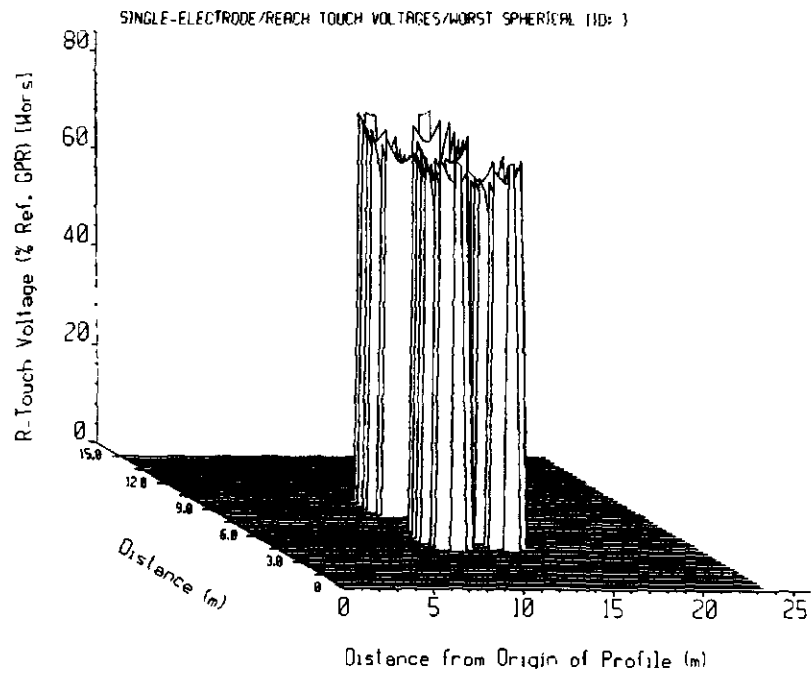


(b) Soil-A (표토층저항율이 높은 토양)

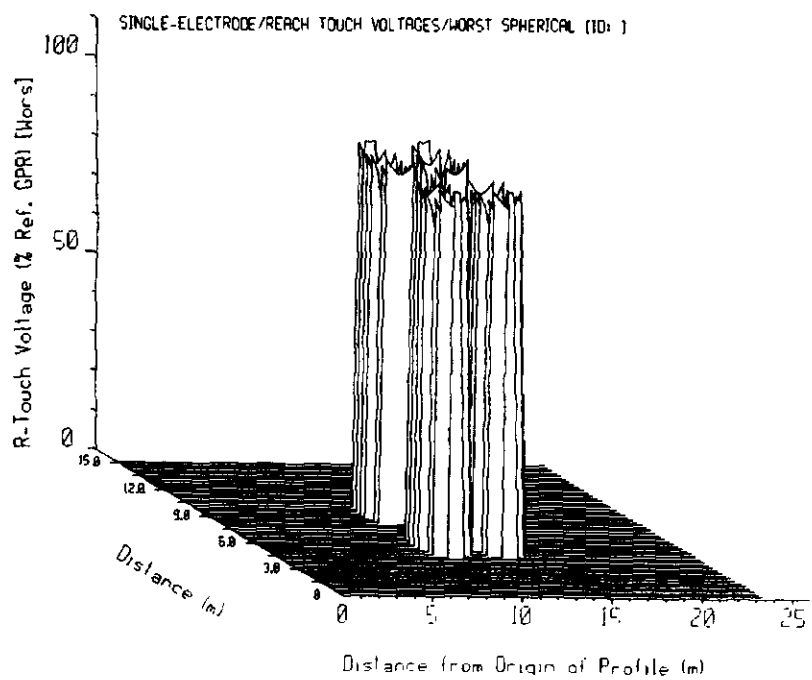


(c) Soil-D (표토층저항율이 낮은 토양)

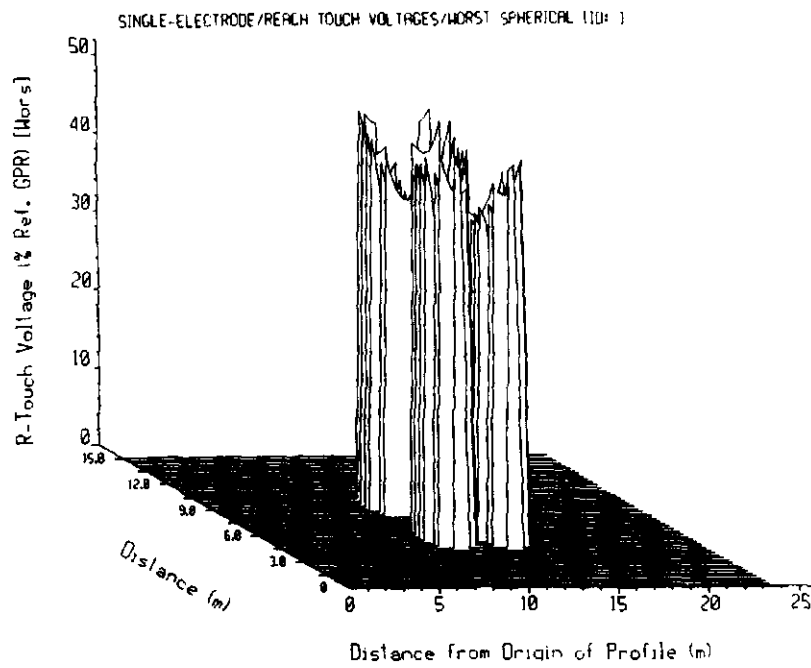
[그림 3-25] 활선작업차의 토양모델에 따른 보폭전압의 분포(%GPR)



(a) Soil-G (uniform soil model)



(b) Soil-A (표토층저항율이 높은 토양)



(c) Soil-D (표토층저항율이 낮은 토양)

[그림 3-26] 활선작업차의 토양모델에 따른 접촉전압 분포(%GPR)

제 5 장 결론

본 연구에서는 배전선로 작업에서 위험전압 발생으로 인한 감전 위험을 방지하기 위하여 실시하고 있는 선로의 접지에 대한 최적방법과 가이드라인을 제시하고자 하였다.

이를 위하여 배전선로 작업에서 위험전압의 발생원인 및 전주위의 작업과 지상작업으로 구분하여 위험전압이 발생할 수 있는 상황을 고찰하고 감전위험을 방지하기 위한 안전접지의 방법을 기술하였다. 또, 인체의 감전특성을 인체저항과 인체전류의 안전한계치를 국제기준을 통하여 상세하게 고찰하였다. 이어서, 배전선로 작업구역 내에서 선로에 우발적인 재충전 등이 발생하였을 때 선로 접지방법별로 고장전류 분포와 접촉전압 및 보폭전압을 계산하여 최적접지 방법을 제시하였다.

주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 상대지간 전압 200V를 접지된 회로에 우발적으로 충전이 되어 발생할 수 있는 최대 전압으로 안전전압의 기준으로 적용하면 된다.
- (2) 위험전류의 한계치는 10mA 이하로 삼는다. 이 때 통전시간은 10초이다.
- (3) 현재 우리 나라의 배전선로 작업에서 작업구역에 별도의 접지를 하지 않고 작업구역 양단에 단락접지를 하는 것이 일반적이다. 그러나, 단락접지 시행 여부에 관계없이 작업구역에 일점접지를 하는 것이 더 안전한 것으로 밝혀졌으며, 앞으로 작업현장에서 이를 시행하도록 권고되어야 한다.

본 연구의 결과는 우리 나라 배전선로에서 안전한 작업을 하기 위하여 실시하는 안전접지에 대한 기본적인 절차와 가이드 라인으로 활용 가능하다.

참고문헌

- [1] ANSI/IEEE Std. 524-a-1993, "IEEE Guide for Grounding During the Installation of Overhead Transmission Line Conductors"
- [2] Abdul M. Mousa, "New Work Procedures for Work on De-energized Lines Eliminate the Need for Ground Switches", IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, p. 2668, August 1982
- [3] Abdul M. Mousa, K. D. Srivastava, "Safety Against Lightning for Linemen Working on De-energized Power Lines", IEEE Trans. on Power Delivery PES, January 1986, pp. 245-250
- [4] E. J. Harington, T. M. C. Martin, "Protective Grounds for the Safety of Linemen", AIEE Trans. Vol. 73, paper 54-206, Power Apparatus & Systems, pp. 950-955, August 1954
- [5] IEC, "Effects of Current Passing Through the Human Body", IEC Pub. 479-1, 1987
- [6] Biegelmeier, G. "New Knowledge on the Impedance of the Human Body", p. 115-132, in "Electrical Shock Safety Criteria", Proceedings of the First International Symposium on Electrical Shock Safety Criteria, Pergamon Press, 1985
- [7] 한국전력공사, 안전작업수칙
- [8] 한국전력공사, 설계기준(배전분야)

연구과제명: 배전선로 작업 안전을 위한 접지대책

연구자료(연구원 2000-14-134)

발 행 일 : 2000. 3.

발 행 인 : 원 장 정 호 근

연구책임자 : 책임연구원 이 형 수

발 행 처 : 한국산업안전공단 산업안전보건연구원

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-6

전 화 : (032) 5100-836

팩 스 : (032) 518-0867

인 쇄 처 : 영진인쇄사 (02) 734-3713