

전기안전을 위한 기술지침 및 기준 기초자료

1. 전로와 배관의 절연협조에 관한 기술지침
2. 사업장 전기설비 접지설계에 관한 기술지침

1996. 12.



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

— 목 차 —

I. 전로와 배관의 절연 협조에 관한 기술지침

1. 적용 범위	1
2. 용어 정의	1
3. 전로와 배관간 간섭 완화를 위한 배관 설계시 고려 사항	3
3.1 일반 규정	3
3.2 배관 유도 전압	3
3.3 전로에서의 고장시 영향 감소책	7
4. 전로와 배관상호간 영향 경감을 위한 설계시 고려 사항	8
4.1 일반 규정	8
4.2 전자결합 영향을 최소화하는 경감 기법	8
4.3 전력 계통의 고장 영향을 최소화하는 경감 기법	9
5. 배관 부설시 유도 전압 영향에 대한 경감책	10
5.1 일반 규정	10
5.2 접지, 본딩 및 작업자에 관한 사항	10
5.3 유도 전압 측정	11
5.4 용접, 피복 등의 작업	11
5.5 Tie-Ins 와 Cut-Outs 의 본딩	13
5.6 전로 부지에서 기계 기구 및 차량의 접지	13
5.7 부설시 임시 접지매트	14
5.8 배관부설시 노출 외부구조물	14
5.9 작업 중지	14

6. 배관과 전로의 운전 및 유지	15
6.1 일반규정	15
부록 1	17
부록 2	24
부록 3	25

II. 사업장 전기설비 접지설계에 관한 기술지침

1. 적용 범위	29
2. 설계방법 1	30
3. 설계방법 2	35
4. 접지설계 예제	55

1. 전로와 배관의 절연 협조에 관한 기술지침

1. 적용 범위

1.1 이 지침은 대지전압 35 KV 인 전로(교류)로 각 종 배관간에 다음과 같이 설치될 때의 전기적 절연 협조에 관한 사항을 정하기 위한 것이다.

가. 전로 부지에 위치한 배관 또는 배관 부지에 위치한 전로

나. 전로의 부지와 병렬로 위치하거나 상호 100 m 이내에 있는 배관 부지
다. 상기 가항과 나항에 기술한 배관에 확장

1.2 이 지침은 상호 간섭의 영향 및 설계, 건설, 운전, 유지시 이러한 간섭의 영향을 감소시키기 위한 기준을 제시한다.

1.3 이 지침은 허용 간섭 수준과 각 설비간의 최소 이격거리를 제시한다.

1.4 이 지침에서 정한 사항은 정유 설비, 유류저장소, 컴프레셔 및 측정개소, 이와 유사한 설비에 인입하는 배관에 적용한다.

2. 용어의 정의

아노드 베드(Anode bed)

전기 防蝕에서 정류기의 -극을 배관에, +극을 방식을 위해 매설한 양극에 연결할 때 양극에 연결된 봉 또는 도체

부속 설비

배관에 연결된 것 즉, 배관의 밸브

매설지선

전주 또는 첩탑의 각 (footings) 에 연결되거나 전로 아래에 배치된 도체군 또는 도체

컷 아웃

배관 이설공사시 이설 대상부분을 절단하고 새로운 경로로 매설된 배관을 연

결하는 작업

격리장치(Decoupling device)

직류가 흐르는 것을 차단하거나 감소시키고 교류가 흐르도록 하는 전기회로에 사용되는 장치

불연속성 (Discontinuity)

전기적 결합에 영향을 미치는 배관과 전로의 물리적 변화

접지전해조(Electrolytic grounding cell)

고정된 간격과 저항으로 설치한 아연으로 만든 2 이상의 전극

전자유도(Electromagnetic induction)

가공전로에 흐르는 전류로 인하여 배관에 유기되는 전압

정전유도(Electrostatic induction)

어떤 대전체(즉, 전로도체)의 근접으로 인하여 도체(배관단면)에 유도되는 전하

고장전류(Fault current)

하나의 도체에서 대지로 흐르거나 도체간의 비정상적인 접촉으로 인해 흐르는 전류

異種금속부식(Galvanic corrosion)

이종 금속간의 부식

지락전류

대지로 유입되는 고장전류

접지

금속구조물(배관)간의 전기적 접촉을 양호하여 이들 금속간에 영전위를 유지하기 위해 대지에 매설하는 금속체. 이러한 조치는 위험하거나 원하지 않는 전위차를 감소시킨다.

접지매트(전위억제 매트)

인체의 보폭범위내에서 등전위를 유지하기 위해 지표 아래에 설치하는 나도체로 된 매트

3. 전로와 배관간의 상호 간섭 완화를 위한 배관 설계시 고려사항

3.1 일반규정

배관 구조물에 미치는 영향을 허용수준으로 낮추거나 없애기 위해 완화대책을 적용하여야 한다. 가스 등의 회사는 배관 구조물에 대한 영향을 평가하기 위하여 전력회사와 상호 연구를 수행하여야 한다(부록 3 참조).

(1) 가스 등의 회사는 전력회사로부터 1.1에서 정한 전로에 대한 파라미터 및 위치를 입수하여야 한다.

(2) 가스 등의 회사는 전기적 결합을 일으키는 주파수 또는 지속시간, 크기를 변화시킬 수 있는 배관의 변경에 대해 전력회사에 정보를 제공하여야 한다.

(3) 배관과 전로 부지가 공유되어 있거나 인접한 경우 이격거리는 통행할 수 있을 정도여야 한다.

(4) 배관은 전력계통으로 부터의 전기적 영향을 줄이기 위해 전력시스템 접지나 지지대에 영구적으로 본딩하지 않아야 한다.

(5) 배관 접지는 3.2.4.2. 절에 기술된 방법을 이용한다. 전로 철탑에 대한 임시 접지나 매설지선은 전력회사의 허가를 얻은 후에 행하여야 한다.

3.2 배관에 유도되는 전압

(1) 전자결합 방지

배관과 전로가 병행할 경우 배관에 유도전압을 일으키게 된다(부록 1). 배관은 가급적 병행하는 설계를 최소화하거나 피하여야 한다(부록 2와 3).

전로와의 전자결합을 피하기 어려운 설계제약이 있는 장소에서는 배관시스템의 영향이 (3)에서 요구하는 수준 이하가 되도록 완화 조치를 하여야 한다.

(2) 전로와 배관의 병행

배관과 전로의 병행하는 곳에서 다음과 같이 불연속성이 있는 장소에서는 최대 전압이 발생할 수 있다.

가. 절연 조인트

나. 2 이상의 배관의 접합점

다. 전로에서 배관형상이 다른 경우

불연속성은 피하여야 하며 유도전압이 (3)에서 요구하는 수준 이하로 되도록 완화조치를 하여야 한다.

(3) 접지매트

사람이 배관 또는 그 부속설비에 접촉될 수 있는 장소에서는 정상상태(또는 연속성)의 배관전압이 (4) 및 4.2.절과 같이 15V 이하가 되도록 하거나, 또는 (5)의 가항을 충족시키는 영구적 접지매트를 설치하여야 한다¹⁾.

(4) 유도전압 저감책

가. 배관에서의 유도전압을 저감시키는 가장 효과적인 방법은 전로로 부터의 이격거리를 크게 하는 것이다.

나. 전로와 배관의 거리를 충분히 이격할 수 없는 경우 배관에 접지를 실시하는 것이 가장 좋은 방법이다. 접지설비는 1조 또는 數條의 수평 또는 수직의 아연, 마그네슘 아노드, 수평 아연리본이나 아연선, 裸管 케이싱 또는 전류 아노드를 포함한다²⁾.

(5) 접지매트

가. 배관 부속설비에 본당하는 접지매트는 사람이 15V를 넘는 전압이 배관부속설비에 접촉할 우려가 있는 곳에서 접촉전압과 보폭전압을 저감시키는 성능을

1) 15 V란 기준은 일반공중이 60 Hz의 전압에서 안전한 기준전압이며, 산업현장에서 전문인력이나 기술적 요인이 고려된 경우는 다른 기준의 전압을 사용하여도 된다.

2) 배관과 접지설비, 접지전위 억제매트간의 이종금속부식의 발생 가능성에 대한 평가를 하여야 한다.

가져야 한다. 또, 선로의 고장이나 낙뢰로 인한 과도상태시 위험을 감소시켜야 한다. 영구 접지매트는 접촉전압이 15V를 넘는 경우 시험단자박스(Test lead station)를 제외한 지상의 모든 금속배관 부속설비에 사용하여야 한다.

나. 접지매트는 사람이 구조물 접촉시 서 있는 지점의 전후면을 덮을 수 있어야 하며 접촉전압이 위험을 미치지 않도록 설치하여야 한다.

다. 접지매트는 배관부속설비의 2 혹은 3 지점에 본딩하여야 하며 이들 점간의 연결은 접지매트의 시험이 가능하도록 지상에서 하여야 한다.

라. 접지매트는 깨끗한 자갈이나 지름 15 mm 이상의 분쇄자갈을 깊이 100 mm 의 두께로 깔아야 한다. 접지매트의 주위에 자갈을 더 깔아 줌으로서 매트 가장자리의 보폭전압의 위험을 낮출 수 있다 (그림 1 참조).

(6) 독립된 금속구조체

가. 기설 접지 된 구조체에 전기적으로 본딩을 할 수 없는 곳에 설치되는 금속 구조물은 접지시스템과 격리시켜야 한다. 이 접지시스템은 1개 이상의 봉과 이를 연결하는 도체로 구성되어 있다. 구조체의 모든 구성요소가 적절히 연결되어 접지되도록 주의하여야 한다.

나. 독립된 금속구조물이나 이와 연결된 접지계통이 기설 접지 된 구조물과 너무 근접되어 있는 곳에서는 사람이 이들 양자를 동시에 접촉하지 않도록 하여야 하며, 만약 이들이 동시에 접촉될 우려가 있는 경우는 직접 또는 직류격리장치를 통하여 상호 본딩되도록 하여야 한다.

다. 지상 부속물에 대해 설치하는 금속 울타리는 접지하여야 한다.

(7) 시험단자박스

교류전압이 인가되기 쉬운 배관의 음극방식 시험단자박스는 충전시험단자에 인명이 접촉할 가능성을 줄이기 위해 덮개 등으로 방호하여야 한다.

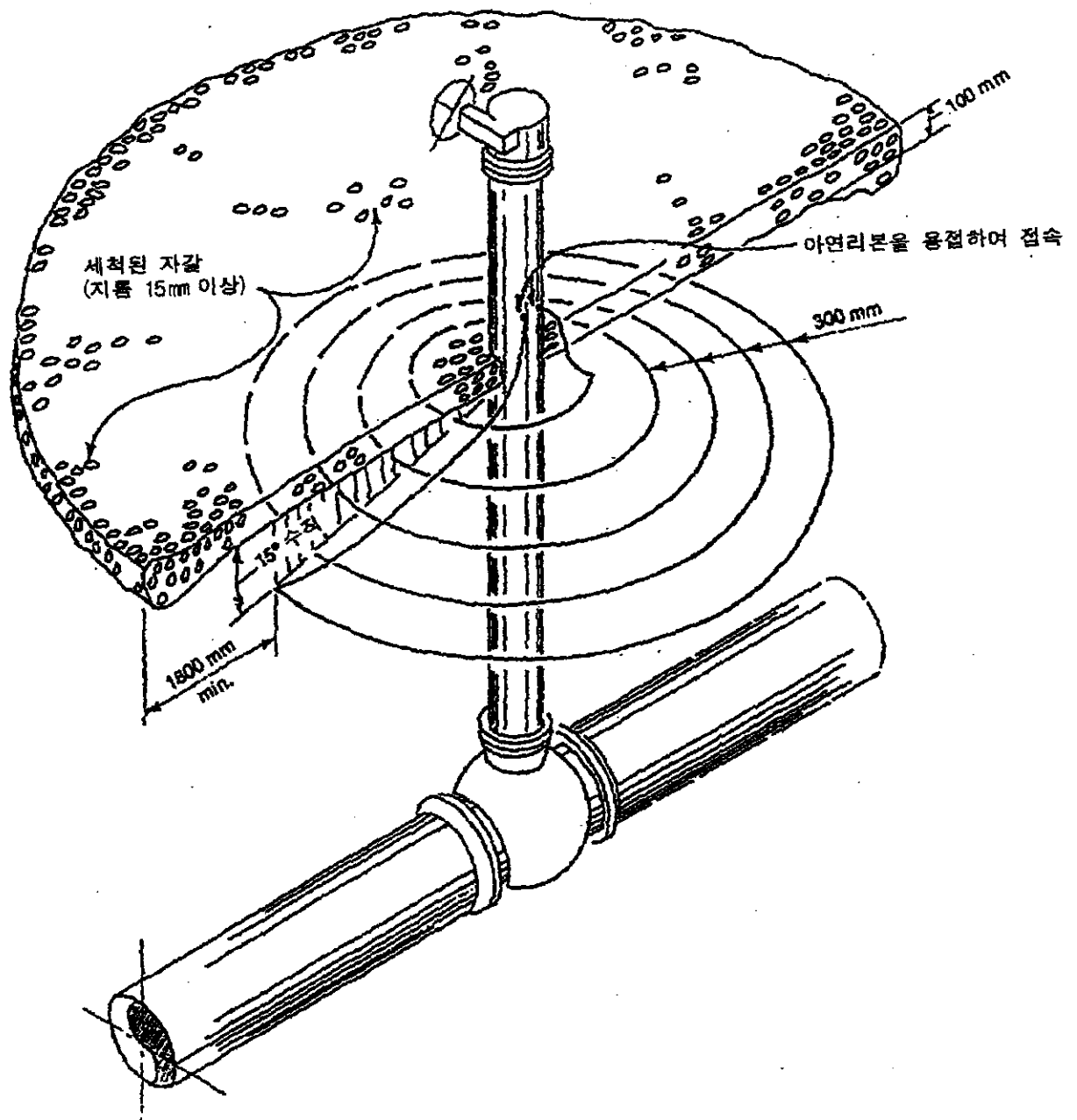


그림 1. 밸브에서의 점지매트 상세도

(8) 격리장치

접지전해조, 분극전지나 이와 유사한 장치를 사용하는 곳에서는 고장전류가 안전하게 흐르도록 하여야 한다. 이러한 구조물과 장치에 연결하는 케이블은 표 1에서 정한대로 적절한 크기를 가져야 한다³⁾.

<표 1> 최대 고장전류와 접지케이블

케이블 굵기 (AWG)	고장시간 (Hz)	RMS 전류		케이블 굵기 (AWG)	고장시간 (Hz)	RMS 전류	
		동	알루미늄			동	알루미늄
2	15	10,550	6,500	3/0	15	26,500	16,500
	30	7,500	4,600		30	18,500	11,500
	60	5,300	3,200		60	13,000	8,000
1/0	15	16,500	10,500	4/0	15	30,000	21,000
	30	11,500	7,500		30	21,000	15,000
	60	8,000	5,300		60	15,000	10,000
2/0	15	21,000	13,000	250 MCM	15	35,000	25,000
	30	15,000	9,000		30	25,000	17,500
	60	10,000	6,500				

3.3 전로에서의 고장시 영향 감소책

가스회사와 전력회사간에 상호 동의가 없는 경우 전로와 기타 고장전류를 방

- 3) 배관, 전위제어매트, 펜스나 독립된 금속구조물간의 상호연결은 음극방식장치와 상호 장애를 유발할 수 있으므로 접지전해조나 분극전지와 같은 격리장치를 사용하는 경우 음극방식 보호를 하여야 한다.

전시키는 지하설비에서 10 m 이상 이격하여야 한다⁴⁾.

4. 전로와 배관간 상호 영향 경감을 위한 설계시 고려사항

4.1 일반규정

배관에의 영향을 허용범위내로 저감시키기 위해 경감기법을 적용하여야 한다. 전력회사는 가스배관에 미치는 영향들을 평가하기 위하여 가스회사와 상호연구를 수행하여야 한다. 권장되고 있는 정보의 교환에 관해서는 부록 C를 참고할 것.

(1) 전력회사는 1.1 절에서 지정한 어떤 배관의 운전 파라미터와 위치를 가스회사로부터 입수하여야 한다.

(2) 전력회사는 전기적 결함을 일으키는 주파수, 지속시간, 크기를 변화시킬 때 이에 대한 영향을 조사하여야 한다.

(3) 전로와 배관 부지가 공유되어 있거나 인접한 곳에서는 상호 이격거리를 가급적 크게 한다.

4.2 전자결합 영향을 최소화하는 경감 기법

전자결합의 영향을 최소화하기 위해 다음과 같은 기법을 사용한다.

가. 배관과 전로와의 이격거리를 크게 한다.

4) (1) 10 m 이격거리는 건설과 유지활동시의 물리적 근거를 토대로 설정하고 있다. 연구결과에 의하면, 선대지(line-to-ground)간 고장 발생시 10 m 이상 이격되더라도 배관과 배관 피복에 피해를 줄 수 있다(부록 4.1 참조). 피해강도는 고장전류와 전압의 크기, 고장시간, 토양의 대지저항률, 배관의 피복특성과 같은 파라미터에 의해 결정된다. 이러한 피해를 감소시키거나 피하기 위해서는 다음과 같이 하여야 한다.

- ① 배관과 고장전류를 방전시키는 설비간의 이격거리를 크게 한다.
- ② 배관의 두께를 크게 한다.
- ③ 배관 피복의 유전강도를 크게 한다.
- ④ 특수보강재료를 사용한다.

(2) 배관에 미치는 영향을 감소시키는 전로의 변화에 대해서는 4절을 참조한다.

- 나. 전로와 가스관 상호위치의 급격한 변화를 피한다.
- 다. 병행부분에서의 교차를 피한다.
- 라. 지상도체의 높이를 크게 한다.
- 마. 1 이상의 회로를 포함한 곳에 가장 효과적인 相順(Phase sequence)을 사용한다.
- 바. 차폐선의 임피던스를 작게 한다.

4.3 전력계통의 고장영향을 최소화하는 경감 기법

매설 배관에 대한 고장전류의 영향을 최소화하는 확실한 해법은 없으나, 일반적으로 다음과 같은 기법이 효과적인 것으로 알려져 있으며 전력계통의 고장영향을 감소시키기 위한 방법으로 이용되고 있다.⁵⁾

가. 배관과 전로 기초간 또는 매설지선과 같은 접지고장전류 방전설비간의 이격거리를 크게 한다.

나. 고장전류와 지속시간을 최소화한다.

다. 배관주변의 電路당 고장전류를 다음과 같이하여 감소한다.

- ① 가공지선(Shield wire)의 굵기나 線數를 증가시키거나 양자를 증가시킨다.
- ② 매설지선을 설치하거나 매설지선의 수를 증가시킨다.

5) 전로의 절연을 강화하는 경우 매설배관에 대한 고장전류의 영향을 최소화시키지는 않으나 특정지점에서 고장발생 가능성을 줄일 수 있다.

5. 배관 부설시 유도전압 영향에 대한 경감책

5.1 일반규정

전로에 의해 배관에 유도되는 전압을 측정하여 필요시 안전수준으로 감소시켜야 한다. 전압측정에 대해서는 5.3절의 (2)항을 참조한다.

- (1) 15 V 이상의 전압이 유도되는 배관은 접지하여야 한다.

5.2 접지와 본딩 및 작업자에 관한 사항

- (1) 접지와 본딩작업은 유자격자가 시행하여야 한다.

(2) 접지와 본딩 설비를 철거하거나 설치할 때 작업자는 한국산업안전공단의 검정을 필한 절연고무장갑을 착용하여야 하며, 전기안전에 관한 작업절차에 따라 작업하여야 한다.

(3) 접지설비가 설치된 후 배관전압이 15 V 이상인 곳에서는 배관 및 이에 연결되거나 부착된 기계기구 등에 대한 작업절차를 안전한 작업조건이 충족되도록 마련하여야 한다.

(4) 배관에 임시접지설비를 부착하거나 철거할 때의 순서는 배관에서의 아크 발생으로 인한 인체의 화상이나 부상을 방지하기 위해서 대단히 중요하므로 다음과 같은 순서에 의한다.

가. 접지설비의 연결

- ① 관 - 접지 클램프는 배관에 연결되어야 한다 (그림 2).
- ② 접지케이블은 접지봉에 연결되어야 한다.
- ③ 관 - 접지 클램프에 연결되어야 한다.

나. 접지설비의 철거

- ① 접지케이블은 관 - 접지클램프로부터 분리되어야 한다.

- ② 접지케이블은 접지봉으로부터 분리되어야 한다.
- ③ 관 - 접지클램프는 배관에서 철거되어야 한다.
- (5) 임시 접지설치시 일반인의 접근을 방지하기 위한 조치를 취한다.

5.3 유도전압 측정

- (1) 배관 부설작업 및 관에 접촉되는 모든 작업 개시에 앞서 매일 모든 부분에 대한 배관전압을 측정해야 한다.
- (2) 적합한 범위의 전압계와 임피던스측정기를 사용하도록 한다. 고임피던스 계측기에서 판독의 오류를 초래할 수 있는 시험리드선에 정전용량이나 유도현상을 피하기 위하여 저저항으로 접지를 연결하도록 한다. 대지에 깊이 박은 금속접지봉이 적합한 기준이 된다.
- (3) 매시간 마다 전압을 측정하고 다음의 데이터를 기록한다.
 - 가. 위치
 - 나. 시간
 - 다. 일자
 - 라. 管對地전압
- (4) 접지, 본딩 및 측정에 관계되는 작업자는 배관전압에 영향을 줄 수 있는 부하의 변경, 정전, 스위치 개폐를 결정하기 위해 유틸리티와 긴밀히 연락하여야 한다.

5.4 용접, 피복 등의 작업

- (1) 관에 접촉되는 작업에 앞서 관대지전압을 측정하여야 한다.
- (2) 배관 단면은 5.2 절에서 규정한 바와 같이 접지 하여야 한다.
- (3) 배관 溝내에서의 피복작업은 작업자가 관에 많이 접촉하게 된다. 裸배관 접촉을 피하기 위해서는 야드에서 피복작업을 하는 것이 좋다. 배관 구내에서 피복작업을 하는 경우는 나관을 접촉하는 기계기구가 적절히 본딩과 접지가 되도록 한다.

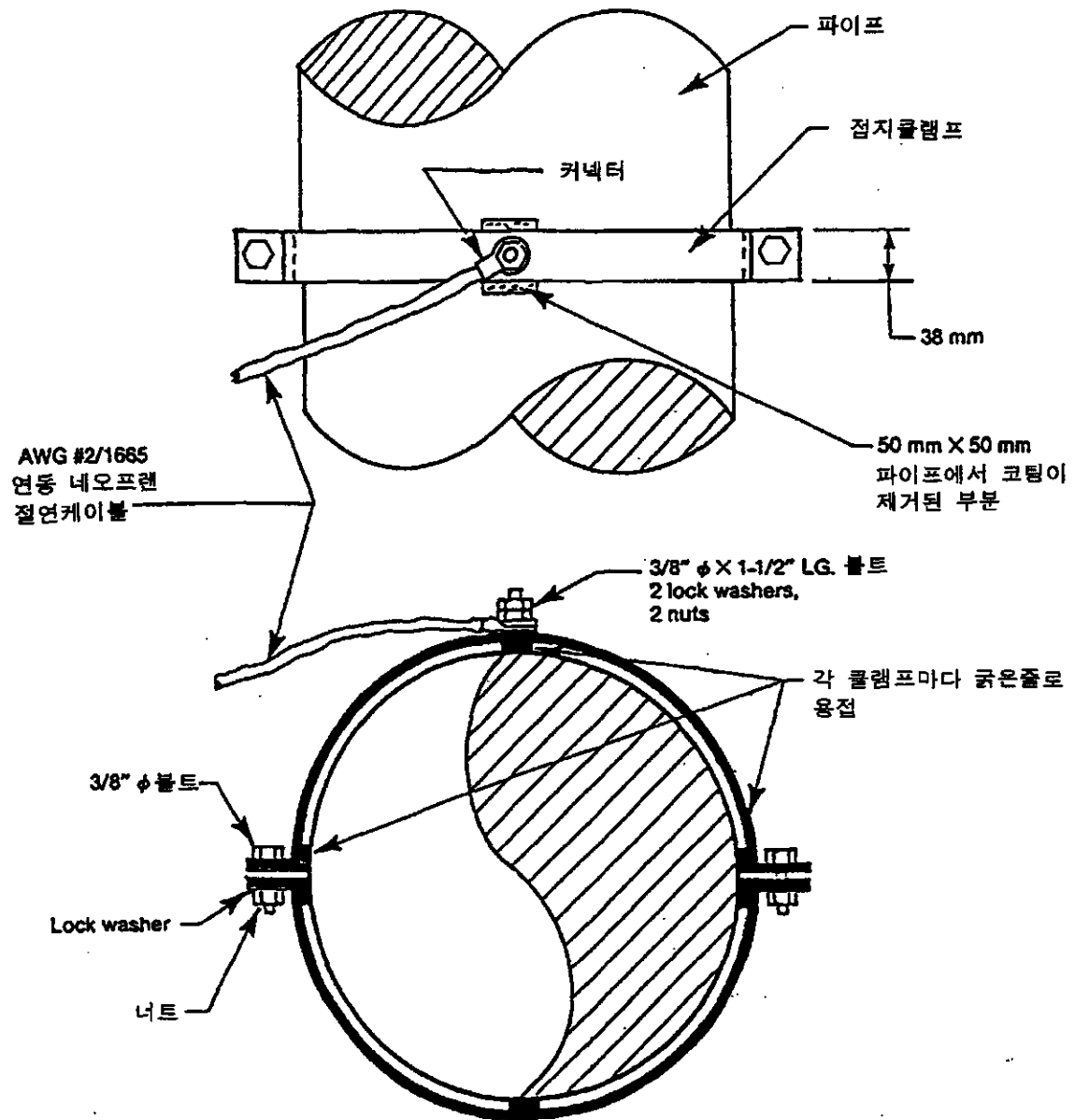


그림 2. 관 - 접지클램프

(4) 배관매설작업시 피복된 배관은 비도전성 슬링(sling)으로 취급한다. 피복된 배관은 배관매설작업시 효과적인 접지가 불가능하므로 지지슬링을 배관의 끝부분에서 철거할 때 배관의 나관 부분이 접촉되는 것을 피하여야 한다.

5.5. Tie-Ins와 Cut-Outs의 본딩

(1) Tie-in에서 모든 파이핑은 관대지전압에 관계없이 본딩되어야 한다. 관대지전압이 15 V 이상인 곳은 본딩에 앞서 5.2의 (4)의 규정에 충족되도록 접지 하여야 한다.

(2) 관-접지 클램프는 본딩이나 접지케이블을 클램프에 접속하기 전에 Tie-in 또는 Cut-out 의 측면에 연결하여야 한다.

(3) Tie-in을 한 후 본딩케이블을 철거하고 5.2의 (4)에서 규정하는 바와 같이 접지계통과 분리한다.

(4) 배관전압과 관계없이 Cut-outs에서의 모든 파이핑은 절단하기 전에 Cut-out 에 걸쳐 본딩한다. 배관전압이 15V 이상의 배관에서는 본딩에 앞서 5.2의 (4)의 (가)에서 규정한 대로 접지 하여야 한다.

5.6 전로부지에서의 기계기구 및 차량의 접지

(1) 전로부지에서 작업하는 고무타이어 사용 건설용 차량과 기계기구는 전로에서 부근에 걸리는 전압을 완화하기 위해 접지하여야 한다.

(2) 연료공급이 필요한 모든 차량과 기계기구는 연료를 주입하기 전에 연료설비에 본딩되어야 한다.

5.7 부설시 임시 접지매트

- (1) 임시 접지매트가 필요한 곳은 작업장 1m 바깥까지 확장하여야 한다(그림 3).
- (2) 접지매트는 배관 또는 부속설비와 양자가 분리되어 연결되어야 한다.

5.8 배관부설시 노출 외부구조물

- (1) 배관부설 溝를 파는 동안 외부의 금속구조물에 위험전위가 발생할 수도 있으므로 이에 걸리는 전위가 15V를 초과하는 경우 완화조치를 하여야 한다.
- (2) 배관은 외부의 구조물 소유자의 허락이 없는 경우 이와 본딩하거나 접지하면 안된다. 소유자가 본딩이나 접지를 허용하지 않으면 외부 구조물은 부설 중인 배관에서 전기적으로 격리되어야 한다.

5.9 작업중지

임시, 영구적인 접지가 선로고장과 같은 전력계통의 비정상적 운전상황이나 낙뢰로부터 유도된 전압을 안전하게 경감시킬 수 없으므로 배관과 접촉되는 작업은 다음과 같은 상황이 발생하면 중지하여야 한다.

가. 기상악화

- (1) 강풍
- (2) 濕雪
- (3) 우박

나. 전력계통의 예정된 정전

6. 배관과 전로의 운전 및 유지

6.1 일반규정

(1) 이 기준에서 규정하고 있는 계통과 조치는 잘 유지되어야 하고 완화조치가 제대로 유지되고 있는지를 주기적으로 검사하여야 한다.

(2) 이 기준에서 정하고 있는 배관과 전로를 유지하는 작업자는 필요한 사전 주의와 절차를 잘 숙지하기 위한 특별교육을 받아야 한다.

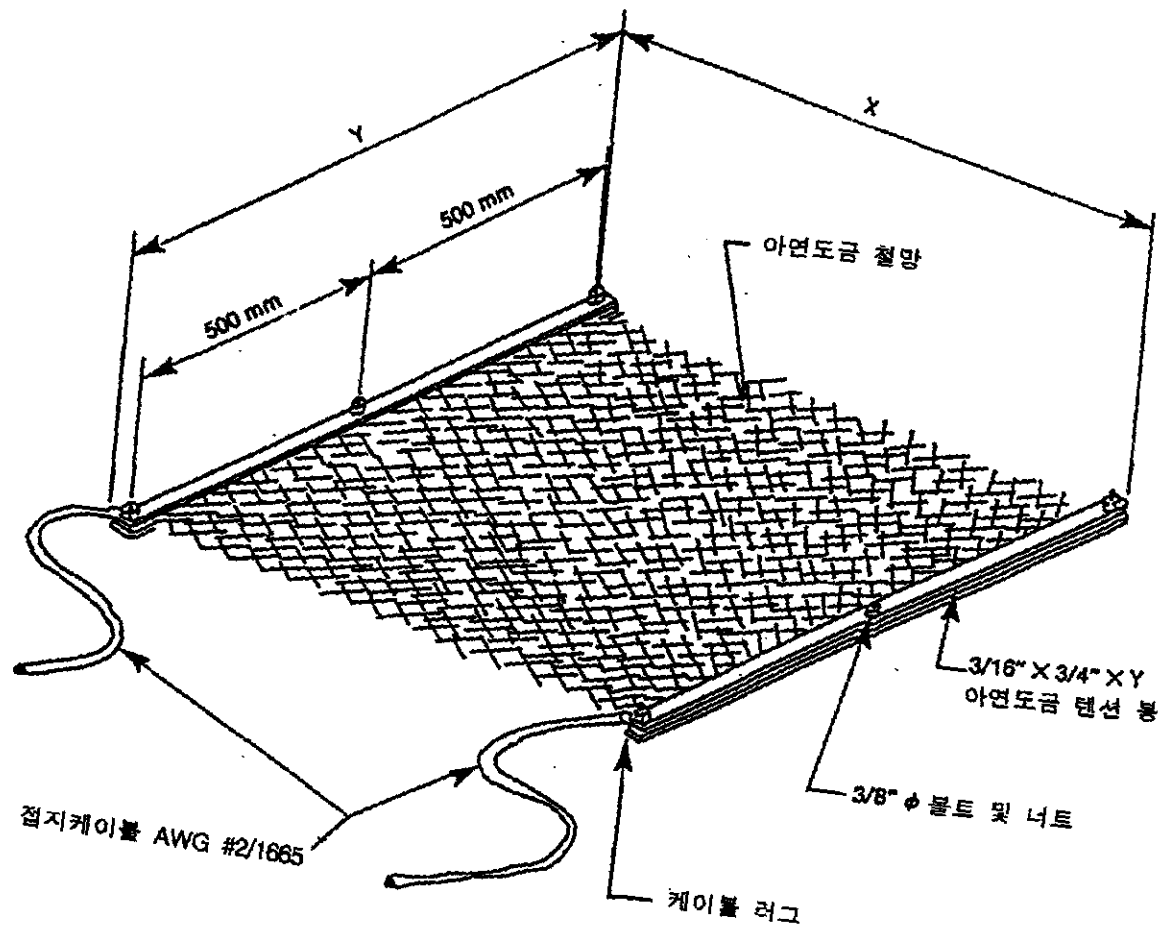


그림 3. 임시접지매트

<부록 1> 전로와 배관간의 상호간섭

1.1 일반

배관이 전로와 교차, 병행하거나 근접되어 있으면 배관은 유도전압이나 고장전류에 의해 영향을 받으며 전로는 음극방식전류에 의한 영향을 받게 된다.

1.2 배관에서의 유도

(1) 일반

배관에서 전자적 유도로 인한 관대지전압은 음극방식 정류기나 절연플랜지와 마찬가지로 배관작업자와 일반공중에 위험을 초래할 수 있다. 전자유도의 영향은 2가지 형태로 발생되는데, 하나는 전로에 유입되는 부하전류로 인한 중간정도 크기의 정상상태 전압과, 다른 하나는 고장시 전로에 유입되는 보다 큰 불평형전류로 인한 순간적으로 큰 전압을 들 수 있다. 정상상태에서 이러한 유도전압에 노출될 가능성이 고장시보다 크다. 그 이유는 고장상태는 짧은 시간에 발생하기 때문이다.

(2) 교류전류가 어떤 도체에 유입될 때 자체는 배관과 같은 근처의 다른 도체에 전압이 유기된다. 이 전압은 배관과 직렬로 유도된 전압이므로 배관이 전로와 병렬인 경우 이 영향은 배관의 길이에 따라 배가된다 (그림 1(1), 1(2) 참조).

(3) 배관이 대지로부터 완전히 절연되어 있다면 단위길이당 유도되는 전압은 직렬로 가해지며 배관의 한 끝에서 다른 끝까지의 전체 전압은 그림 2(1)과 같이

배관의 길이에 따라 유도되는 전압의 총합이 된다.

(4) 관심의 대상은 배관의 어떤 점과 이에 이웃한 토양간에 걸리는 교류전압이다. 1.2.3절에서와 같이 완전히 절연된 관은 길이에 걸쳐 균질이며 관대지전압은 각단에서 최대가 되고 관의 길이에 따라 유도되는 총전압의 $1/2$ 과 같다.

(5) 1.2.4절에서 언급한 상태에서 관의 각단의 순간 관대지전압은 극성이 반대인 전압이고 관의 중심에서 관대지전압은 0이 된다(그림 2(2)).

(6) 배관은 완전한 절연상태가 아니며 매설중에 발생하는 피복손상 때문에 배관과 대지간에 교류전류가 흐를 수 있는 회로가 구성된다. 이러한 전류경로는 배관의 단위길이당 병렬저항으로 나타낼 수 있다(그림 2(3)). 이 저항은 저항의 역수인 컨덕턴스의 항으로 나타낼 수 있다. 이러한 컨덕턴스는 배관의 길이에 따라 유도되는 전압에 의해 유도되는 전류를 흐르게 하는 경로를 형성한다. 그 결과 배관에 유기되는 관대지전압은 완전히 절연상태인 배관의 경우보다 작게 된다(그림 2(4)). 전압이 배관의 $1/2$ 길이에 따라 감소되는 비율은 직선분포와 비교할 때 배관의 직렬임피던스와 병렬 컨덕턴스의 크기에 따라 달라진다. 감소비율이 병렬 단면길이에 비해 상당히 높은 경우 전압은 배관의 대부분에 걸쳐 0이 되며 말단에서의 전압은 그림 2(5)와 같이 병렬단면의 길이에 무관하게 된다.

(7) 전로의 전압은 전로 주변에 전계를 생성하게 되며, 이 전계는 기계기구나 배관의 길이와 같은 근처의 접지된 금속물체에 전압을 유기시킨다. 이러한 현상은 배관의 부설시 중요한 현상으로 관의 길이가 전로근처에 존재하고 대지로부터 비교적 절연이 양호할 때 발생한다. 이러한 상황은 전로와 관단면간의 정전용량과 관단면과 대지와의 2차 직렬정전용량에 대해 생각해 볼 수 있다. 관과 대지간 전압은 이러한 두 개의 정전용량의 비교 값에 따라 달라진다.

(8) 접지되지 않은 금속물체에 접촉된 사람에게 통하는 전류는 전로와 배관의

정전용량에 의해 달라진다. 이러한 위험은 접지를 통해 해결할 수 있으며 위험전류는 길이가 수백미터인 비접지배관에서 발생하나 이러한 길이의 전자유도 현상은 전류를 유도하기 때문에 이를 경감하는 것은 대단히 어렵다.

1.3 배관주변의 대지로 유입하는 고장전류로 인한 배관의 손상

(1) 배관은 일반적으로 절연피복으로 되어 있다. 피복은 완벽한 경우 전기적으로 절연이 양호하다고 할 수 있다. 그러나, 피복이 잘된 배관일지라도 많은 결함을 가지고 있으며, 이러한 결함으로 인하여 배관 컨덕턴스를 접지시킨다. 고장전류가 전로철탑에 흘러 주변대지에 유입될 때 토양의 전압은 무한대지에 대해 상승한다. 따라서, 근방의 피복된 배관은 관과 철배관간에 전압차가 생기게 된다. 일반적으로 이 관대지전압은 철탑과 가장 가까운 배관에서 최대가 된다. 이 전압차는 피복을 열화시키게 하고 토양에서 관으로 전류를 흐르게 하는 원인이 된다. 전류가 결함이 있는 피복을 통해 관으로 흐르기 때문에 유입지점의 전류밀도는 일반적으로 크게 된다. 이러한 높은 전류로 인하여 열이 발생하게 되고 철탑이 손상을 받게 된다.

1.4 전로의 철탑기초에서 배관 음극방식시스템의 부식 영향

(1) 거의 모든 배관은 부식방지를 위해 음극방식으로 보호하고 있다. 부식보호가 안된 상태에서 지전류는 배관의 길이에 따라 흐르게 된다. 음극방식을 하면 배관의 길이에 따라 인접된 토양에서 배관에 전류를 유입하게 하므로 이러한 상태에서는 부식이 발생하지 않는다. 관에 접속된 아노드를 통해 관에서 주변의 토양으로 전류가 흐르게 되고 이를 배관의 길이에 따라 배관으로 되돌아가게 함으

로서 가능하게 된다.

(2) 兩 음극방식 시스템에서 배관을 보호하는데 필요한 전류량은 관의 직경과 배관피복 상태, 대지저항률과 보호되지 않은 상태의 배관의 지전압에 따라 변화한다. 피복에 결함이 많은 배관은 피복이 잘된 배관보다 많은 전류가 필요하다.

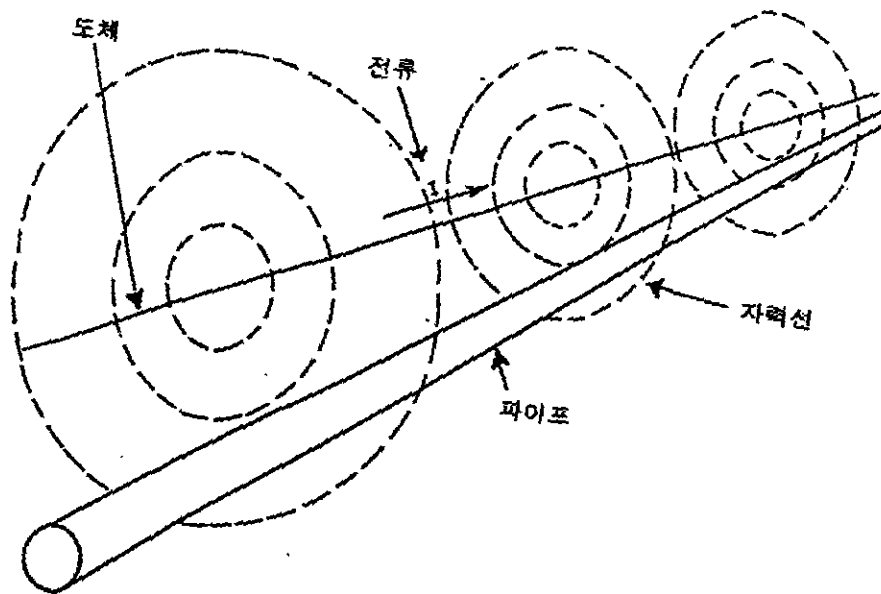
전기방식용 아노드에서 각 아노드에 흐르는 전류는 0.01~0.1 A로 가능하며 배관의 길이에 따라 많은 아노드를 설치할 수 있다. 인가전류는 각 정류기에서 아노드로 유입되는 전류는 1~200 A 정도이고 정류기-아노드 베드간의 거리는 1~50 km 정도이면 가능하다.

(3) 배관과 전로가 근접하여 있을 때 대지를 통해 음극방식 아노드 베드에서 배관으로 유입되는 직류에 의해 전로의 구조물이 영향을 받을 수 있다. 구조물에 유입되는 전류의 일부가 대지로 귀로되는 지점에서 부식이 발생할 수 있다.⁶⁾

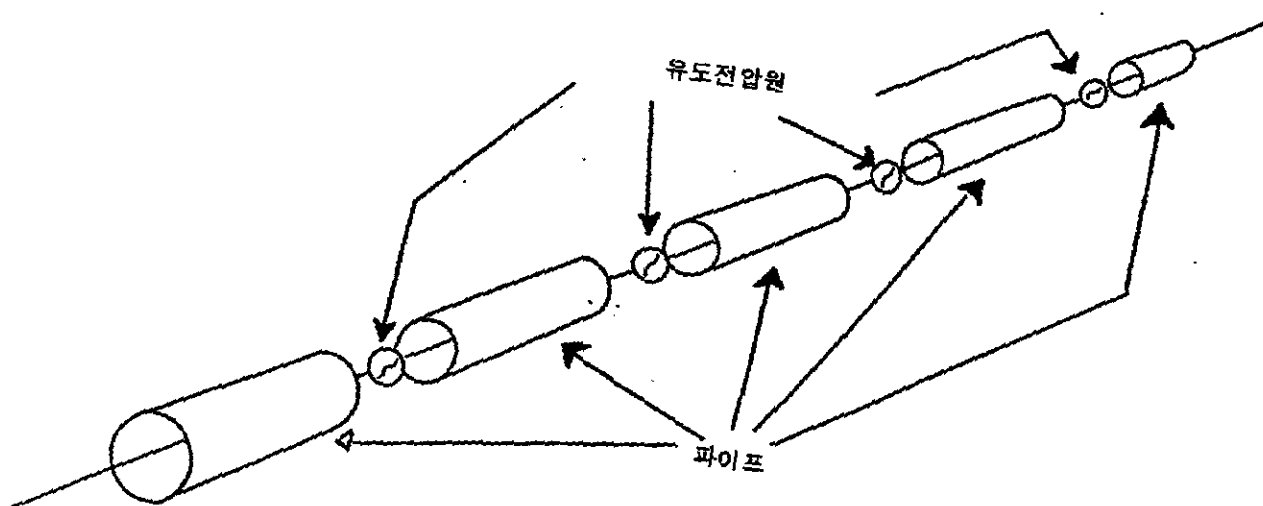
(4) 각각의 전기방식용 아노드의 출력전류가 매우 낮기 때문에 전로 지지에 대한 전기방식용 아노드시스템의 주변은 그다지 관심을 두지 않으나, 인가전류시스템의 아노드 베드가 전로에 너무 인접해 있으면 아노드베드에서 대지로 주입되는 전류 때문에 전로 구조물이 부식할 수 있다.

(5) 배관 음극방식시스템은 앵커, 매설된 접지설비, 철탐기초에 부식을 일으킬 수 있다.

6) 구조물에서 유출되는 직류 부식으로 인하여 연간 약 9 kg/A 의 철이 유실된다.

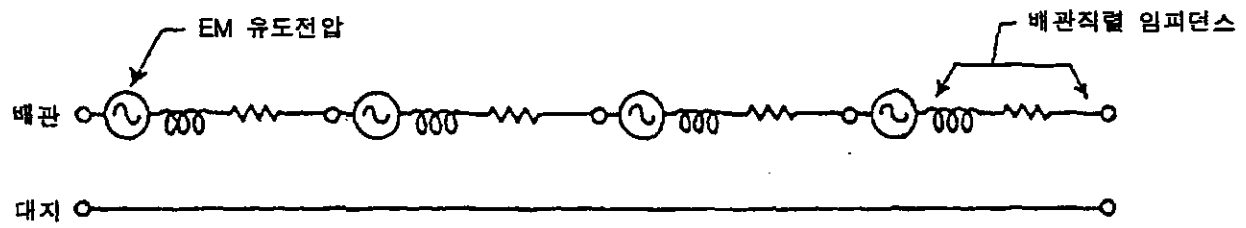


(a)

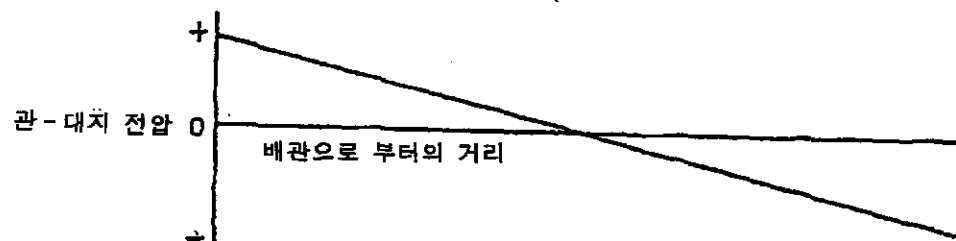


(b)

그림 1. 배관에 유도된 전압

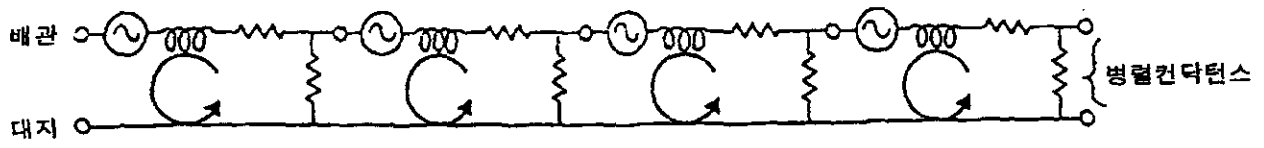


(a)

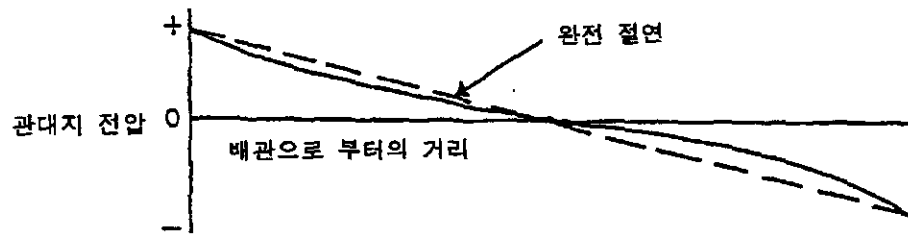


(b)

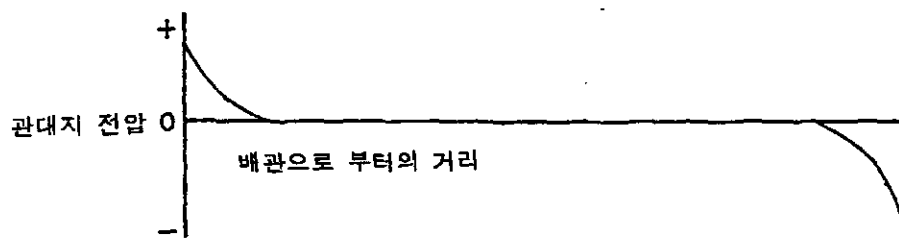
그림 2. 배관 유도전압의 등가회로 및 관대지전압



(c)



(d)



관대지간 순간최대전압 분포

(e)

<부록 2> 배관에서의 유도 관대지전압 예측법

- 2.1 유도전압을 경감시키는 여러 방법의 효용성에 대한 평가와 배관에 유기되는 전압의 정확한 예측은 간단하지 않은 문제이므로 유도전압 현상에 대한 실질적인 연구가 필요하다.
- 2.2 유도전압이 발생하는 각각의 지점에 대해서는 부록 3의 데이터를 활용하여 개별적으로 해석하여야 한다. 전압 예측계산에 대한 증명은 입력데이터의 정확성 여부에 달려 있으며 각 지점에 대한 모든 파라미터를 측정하는 것이 불가능할 수도 있으므로, 가정에 대한 결과로 예측전압이 실제값과 정확하게 일치하지 않을 수도 있으며 공중 및 작업자를 위험으로부터 보호하기 위한 경감의 범위를 구하기 위해서는 고도의 기술적 판단이 요구된다.

<부록 3> 권장 정보교환

3.1 일반규정

배관과 전로간 상호 전기적 간섭의 영향을 경감시키는데 사용되는 방법은 새로운 설비의 설계단계에서 계획되어야 한다. 이를 위해서는 상호 간섭에 영향을 주는 요인에 대해 정보를 교환하는 것이 바람직하며, 이에 대한 항목은 다음과 같다.

전로와 배관이 상호 간섭의 영향을 미치는 곳에서는 상대방의 권리를 침해하지 않으면서 정보를 상호 교환하는 것이 바람직하다.

3.2 정보교환 목록

(가) 위치를 정확하게 파악할 수 있는 지도(key map)

(나) 부설상황을 상세하게 나타내는 도면

(다) 기술 데이터

① 배관

- 직경
- 관의 두께
- 철강의 형태(type)
- 피복
- 압력
- 음극방식 시스템

- 부속설비

- 접지설비

② 전로

- 전압(현재 및 향후)

- 부하전류(현재 및 향후)

- 고장전류의 크기 및 지속시간(현재 및 향후)

- 구조물(철탑) 치수와 상, 支線

- 도체 데이터, 형태

- 가공지선 데이터

- 매설지선을 포함한 접지설비

- 부식억제 데이터

- 연가 및 위치

- 불평형 전류

- 재개폐(Reclosure practices)

③ 공통 데이터

- 대지저항률

- 토양형태

- 장래 확장계획

- 상호간 측정자료

2. 사업장 전기설비 접지설계에 관한 기술지침

여 백

1. 적용 범위

이 지침은 25kV 이하의 수용가 변전소 접지설계에 필요한 설계지침을 마련하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 다음과 같은 두 가지 설계방법을 제시하고자 한다.

방법 1은 간단한 계산법, 표와 곡선 등을 이용하여 접지설계에 적합한 데이터를 구하는 방법이며, 방법 2는 설계곡선만을 이용하는 방법이다.

방법 1은 결빙상태의 토양을 고려하고 고장시간의 범위가 넓게 이용되나, 방법 2는 토양의 결빙상태를 고려하지 않고 고장시간이 0.5초 이내일 경우에만 가능하다.

위의 두 방법은 지표면에 자갈이나 아스팔트 등이 깔려 있어 안전측면이 고려되고, 토양의 대지저항률이 균질인 경우로 접지면적이 $35\text{m} \times 35\text{m}$ 이내에서만 적용할 수 있다.

부록에서 나타내고 있는 단계별 접지설계는 그리드의 매설깊이 0.5m, 여러 가지 경우의 정방형 수평그리드로 구성이 되어 있다. 이에 연결된 접지봉의 길이는 3m이며, 이들 접지봉은 2 가지 다른 형태로 배치되어 있다. 즉, 그리드에 등간격으로 배치되어 있거나, 그리드의 최외곽 주변에만 배치되어 있다. 가능하면 전자의 등간격 배치의 형태를 선택하고, 후자의 경우 건물기초의 철근과 접지봉이 연결되어 있어 이에 대한 효용성을 평가할 때와 그리드의 한 변이 10m 이하일 때에 이를 이용한다.

설계과정에서 다음과 같은 파라미터가 필요하다.

- ① 대지저항률
- ② 최대 고장시간
- ③ 고장시 접지망에 주입되는 고장전류
- ④ 지표면층의 두께와 대지저항률
- ⑤ 변전소 면적
- ⑥ 토양의 결빙깊이 (동절기)

2. 설계방법 1: 간단한 계산식, 표와 곡선 등을 이용한 설계방법

이 방법은 균질 대지저항률인 변전소 부지에 대해서만 적용하며, 다음과 같은 8가지 단계에 따라 설계를 진행한다.

가. 단계 1

식 (1.1)을 이용하여 1 kA 의 고장전류가 100 $\Omega \cdot m$ 의 대지저항률을 가진 토양에 주입될 때 한계 GPR인 GPR_{lim} 구한다.

$$GPR_{lim} = \frac{50000}{I_F \rho} \quad (1.1)$$

I_F : 최대고장전류 [kA], ρ : 균질대지저항률 [$\Omega \cdot m$]

나. 단계 2

다음의 순서에 따라 1 kA 의 고장전류가 100 $\Omega \cdot m$ 의 대지저항률을 가진 토양에 설치되는 접지설계에서 제한 접촉전압 $V_{touchlim}$ 을 구한다.

① 그림 1을 이용하여 최대 고장시간을 고려하여 인체 최대안전전류 I_{fib} 를 구한다.

② 그림 2를 이용하여 인체 최대안전전류 I_{fib} 에 대응되는 인체저항 R_{body} 을 구한다.

③ 식 (1.2)와 (1.3)을 이용하여 접촉전압에 대응되는 발저항 R_{ft} 을 구한다.

$$R_{ft} = C_T \rho_s \quad (1.2)$$

ρ_s : 변전소 부지에 깔려 있는 아스팔트, 자갈 등의 대지저항률, 이것이 없는 경우 토양의 대지저항률

C_T : 그림 3에서 구한 발저항 계수이며, 토양의 반사계수는 식 (1.3) 과 같다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (1.3)$$

④ 식 (1.4)를 이용하여 $V_{touchlim}$ 를 구한다.

$$V_{touchlim} = \frac{I_{fib}(R_{body} + R_{ft})}{10 I_F \rho} \quad (1.4)$$

다. 단계 3

그림 4를 이용하여 동절기 접지망의 성능 저하를 고려한 한계 GPR 감소계수 f_{GPR} 를 구한다. 이 때 결빙상태와 비결빙 상태의 어느 쪽이든 적용가능한 새로운 한계 GPR인 GPR_{lim} 를 식 (1.5)에 의해 구한다.

$$GPR_{lim} = f_{GPR} GPR_{lim} \quad (1.5)$$

라. 단계 4

그림 5와 6을 이용하여 동절기 접지망의 성능 저하를 고려한 한계 접촉전압 감소계수 f_{touch} 를 구한다. 그림 5는 변전소 바깥 경계(즉, 펜스주변 또는 빌딩벽)

가 접지그리드의 최외곽 도체와의 거리가 1m 이내인 경우이다. 바깥 경계가 접지그리드의 최외곽 도체와 같은 경우나 1m 이내인 경우는 그림 6을 사용한다. 양 그림에서 접지그리드의 형태에 맞는 곡선을 사용하며, 정상적으로는 접지봉을 동일간격으로 배치한 경우여야 한다.

이때 결빙상태와 비결빙상태의 어느 경우이든 새로운 한계 접촉전압 $V_{touchlim}$ 는 식 (1.6)으로 구한다.

$$V_{touchlim} = V_{touch} \cdot V_{touchlim} \quad (1.6)$$

마. 단계 5

표 1.1 이나 표 1.2를 이용하여 접지그리드의 형태에 따라 GPR 과 최대접촉전압 이 GPR_{lim} 과 $V_{touchlim}$ 보다 작은 값을 선택한다. 표 1.1 과 표 1.2 는 2개의 최대 접촉전압을 나타내고 있다. “0.1m 도달” 이라는 세로값은 접지그리드 경계 이내와 경계 0.1m 바깥에서 발생하는 최대접촉전압을 말한다. 이 값은 바깥 경계펜스나 빌딩벽이 최외곽 접지그리드 도체의 1m 이내인 변전소일 때 사용되어야 하며, “1.1 m 도달” 이라는 세로 값은 접지그리드 경계 이내와 경계 1.1m 바깥에서 발생하는 최대접촉전압을 말한다. 이 값은 바깥 경계가 최외곽 접지그리드 도체의 1m 이하이거나 바깥경계와 같은 변전소일 때 사용하여야 한다.

적합한 안전계수(안전여유)와 크기를 가진 접지시스템을 선정한다. 표에 나타난 접지시스템의 어느 것도 GPR 과 접촉전압에 대해 적합한 경우가 없는 경우는 지표면에 까는 자갈 등의 두께를 보다 두껍게 하든지하여 (즉, 보다 고저항 대지저항률로 한다.) 이와 같은 과정을 다시 반복한다.

바. 단계 6

식 (1.7) 과 식 (1.8)을 이용하여 동결상태의 접지저항 $R_{\text{동결}}$ 과 비동결상태일 때의 접지저항 $R_{\text{비동결}}$ 을 구한다.

$$R_{\text{동결}} = \frac{R_{\text{그리드100}\Omega} \rho}{100 f_{\text{GPR}}} \quad (1.7)$$

$$R_{\text{비동결}} = \frac{R_{\text{그리드100}\Omega} \rho}{100} \quad (1.8)$$

단, $R_{\text{그리드100}\Omega}$: 표 1.1 및 표 1.2에 나타낸 저항으로 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 의 균질 대지 저항률에서의 접지망의 접지저항을 나타낸다.

$R_{\text{비동결}}$ 이 예상치 보다 작고 추정 주입전류가 I_F 보다 큰 경우는 설계가 불충분하므로 주입전류의 값을 조정하여 설계절차를 다시 시작하도록 한다. 이와 반대인 경우 즉, $R_{\text{비동결}}$ 이 예상치 보다 상당히 높고 추정 주입전류가 I_F 보다 작은 경우는 과설계된 것이므로 새로운 주입전류를 상정한 설계를 통해 보다 경제적인 설계가 되도록 한다.

사. 단계 7

식 (1.9)와 식(1.10)을 이용하여 동결상태일 때의 최대 예상GPR인 GPR_{max} 과 접촉전압 V_{touchmax} 를 구한다.

$$GPR_{\text{max}} = \frac{GPR_{\text{표}} \rho I_F}{100 f_{\text{GPR}}} \quad (1.9)$$

$$V_{\text{touchmax}} = \frac{V_{\text{접촉표}} \rho I_F}{100 f_{\text{touch}}} \quad (1.10)$$

GPR_표: 표 1.1, 표 1.2의 GPR, $V_{\text{접촉표}}$: 표 1.1, 표 1.2의 적정 최대접촉전압
이들 값은 동결상태시 최대접촉전압과 GPR의 보다 정확한 추정치로서 식 (1.9)와 식 (1.10)에서 I_F 를 동결상태의 접지저항 $R_{\text{동결}}$ 에 해당되는 그리드 주입 전류로 대치하여 구한다.

비동결상태의 최대 추정GPR과 접촉전압은 식 (1.9)와 식(1.10)에서 f_{GPR} 과 f_{touch} 항을 고려하지 않음으로서 구한다.

아. 단계 8

접지봉이 균등 배치된 형태의 접지그리드인 경우 실제 봉의 위치에 대해서는 표 1.3을 참조하면 된다. 접지봉이 그리드 최외곽에만 배치하는 형태의 접지시스템인 경우는 모든 접지봉이 등간격 배치가 되도록 그리드의 각 모서리에 하나의 접지봉을 배치하고 나머지는 주변에 배치한다.

소요 접지봉 수는 표 1.1과 표 1.2에 나타나 있으며, 봉의 길이는 3m이다.

3. 설계방법 2 : 설계곡선을 이용한 설계법

이 방법은 토양의 대지저항률이 균질인 경우에 그래픽을 이용하여 설계하는 방법으로, 최대고장시간이 0.5 초 이하일 때만 가능하다. 변전소 바깥경계 (즉, 펜스나 빌딩 벽)는 그리드 최외곽 도체와 최소한 1 m 이내에 있어야 하고 동절기의 토양 동결은 무시한다. 이 설계 방법은 IEC 안전기준 (즉, 심실세동전류와 인체저항)에 의한 것이다. 설계절차는 다음의 5단계와 같이 한다.

가. 단계 1

식 (1.11), 식 (1.3)과 그림 3을 이용하여 지표면층의 유효대지저항률 ρ_{seff} (자갈, 아스팔트 등) 을 구한다.

$$\rho_{\text{eff}} = \frac{C_T \rho_s}{1.5} \quad (1.11)$$

여기서, ρ_s : 지표면층의 자갈 등의 대지저항률 또는 자갈 등이 깔려 있지 않은 경우 토양의 대지저항률

C_T : 그림 3에서 얻은 발저항 계수 (식 1.3에서 구한 토양반사계수 고려할 것)

나. 단계 2

접지시스템의 형태에 따라 그림 7이나 그림 8을 이용하여 설계하고 이의 설계절차를 따른다. 접지시스템이 GPR과 접촉전압의 안전기준 범위 밖인 경우 지

표면의 자갈 등을 보다 대지저항률이 높은 재료로 바꾸는 등의 방법으로 변화시킨 후 다시 설계절차를 밟도록 한다.

다. 단계 3

표 1.1 또는 표 1.2를 이용하여 접지시스템을 배치하고 (식 1.8)을 이용하여 접지저항을 구한다. 이때 R_{grid} 100 $\Omega \cdot m$ 는 표 1.1 또는 1.2에 있는 저항이며, 100 $\Omega \cdot m$ 의 대지저항률을 가진 균질대지에 설치된 접지시스템의 접지저항을 나타낸다.

$R_{비동결}$ 이 예상치보다 작고 추정 주입전류가 I_F 보다 큰 경우는 설계가 불충분하므로 주입전류의 값을 조정하여 설계절차를 다시 시작하도록 한다. 이와 반대인 경우 즉, $R_{비동결}$ 이 예상치보다 상당히 높고 추정 주입전류가 I_F 보다 작은 경우는 과설계된 것이므로 새로운 주입전류를 상정한 설계를 통해 보다 경제적인 설계가 되도록 한다.

라. 단계 4

식 (1.12)와 식 (1.13)을 이용하여 최대 예상GPR인 GPR_{max} 과 접촉전압 $V_{touchmax}$ 를 구한다.

$$GPR_{max} = \frac{GPR_{표} \cdot \rho I_F}{100} \quad (1.12)$$

$$V_{\text{touchmax}} = \frac{V_{\text{접촉표}} \rho I_F}{100} \quad (1.13)$$

여기서, $GPR_{\text{표}}$: 표 1.1 또는 표 1.2 에 있는 GPR

$V_{\text{접촉표}}$: 표 1.1 또는 표 1.2 의 "0.1m Reach"에 있는 최대접촉전압

I_F : 최대그리드전류

마. 단계 5

접지봉이 균등 배치된 형태의 접지시스템인 경우 실제 봉의 위치에 대해서는 표 1.3을 참조하면 된다. 접지봉이 그리드 최외곽에만 배치하는 형태의 접지시스템인 경우는 모든 접지봉이 등간격 배치가 되도록 그리드의 각 모서리에 하나의 접지봉을 배치하고 나머지는 주변에 배치한다.

소요 접지봉 수는 표 1.1 과 표 1.2 에 나타나 있으며, 봉의 길이는 3m 이다.

FAULT DURATION (s)

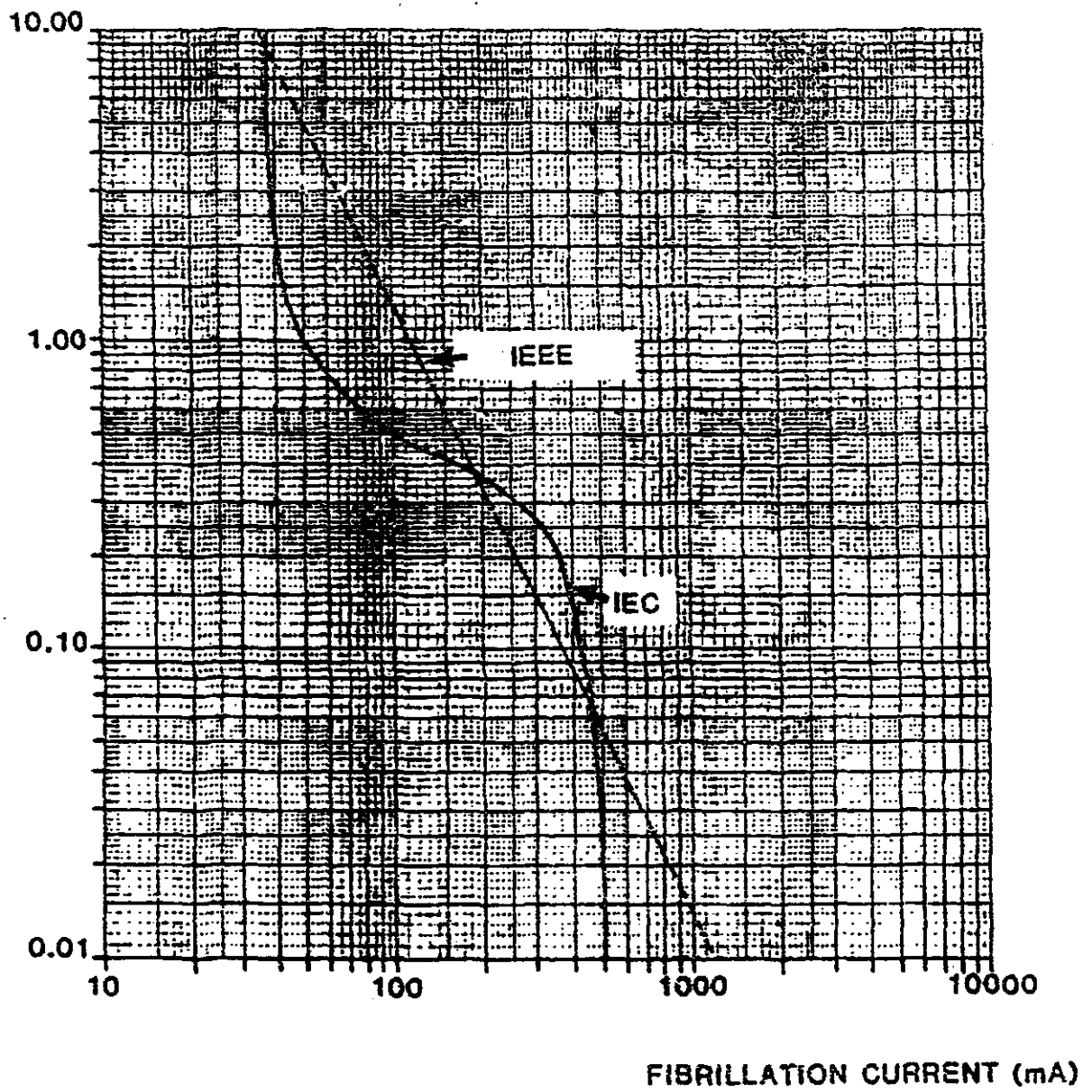


그림 1. 최대허용전류

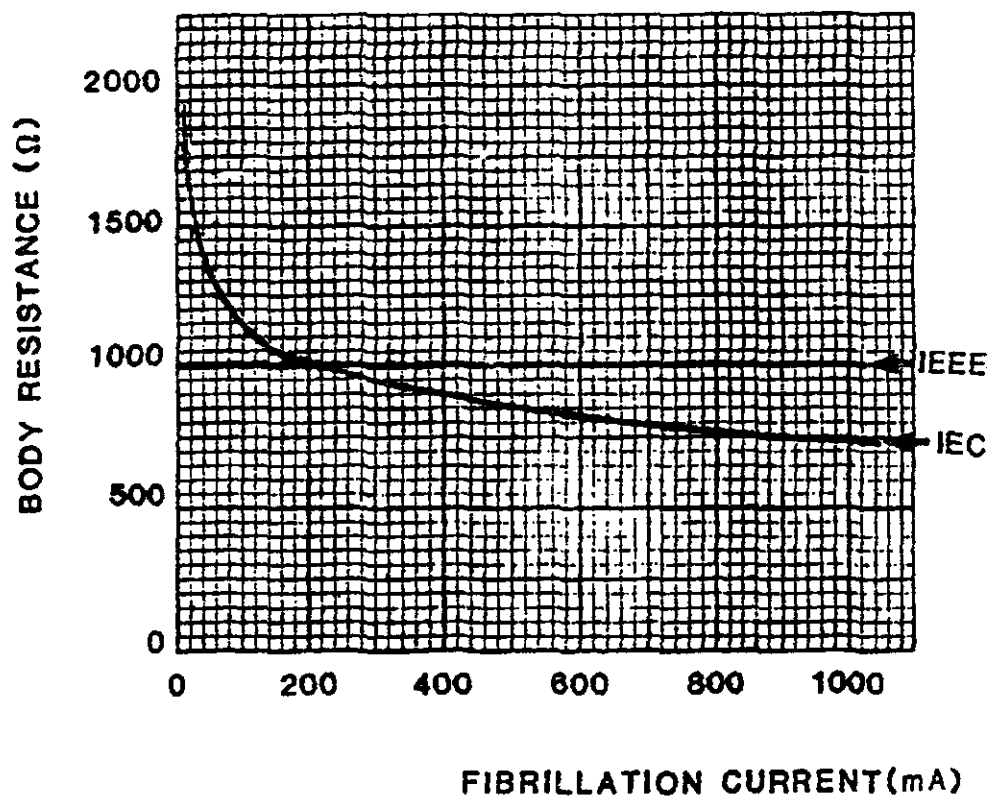
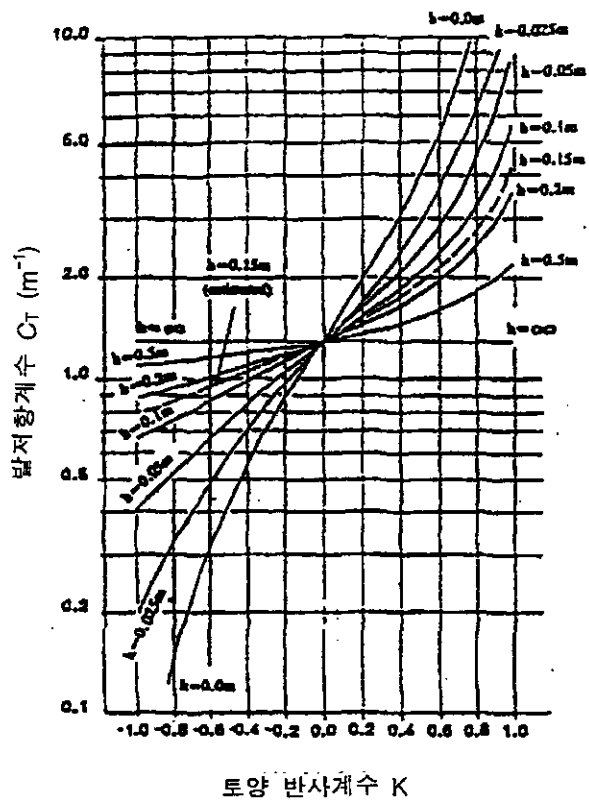
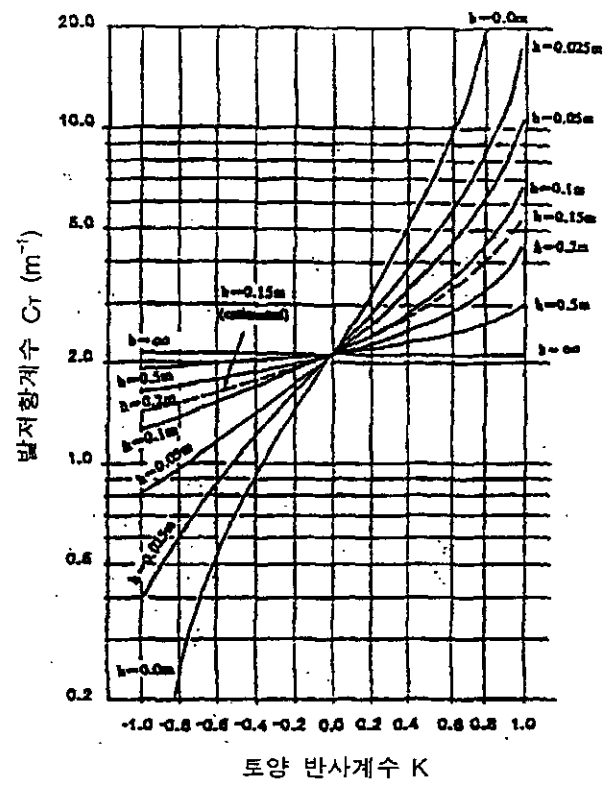


그림 2. 인체저항



a - 접촉전압의 경우



b - 보폭전압의 경우

그림 3. 접촉전압과 보폭전압에 대한 발 저항 계산

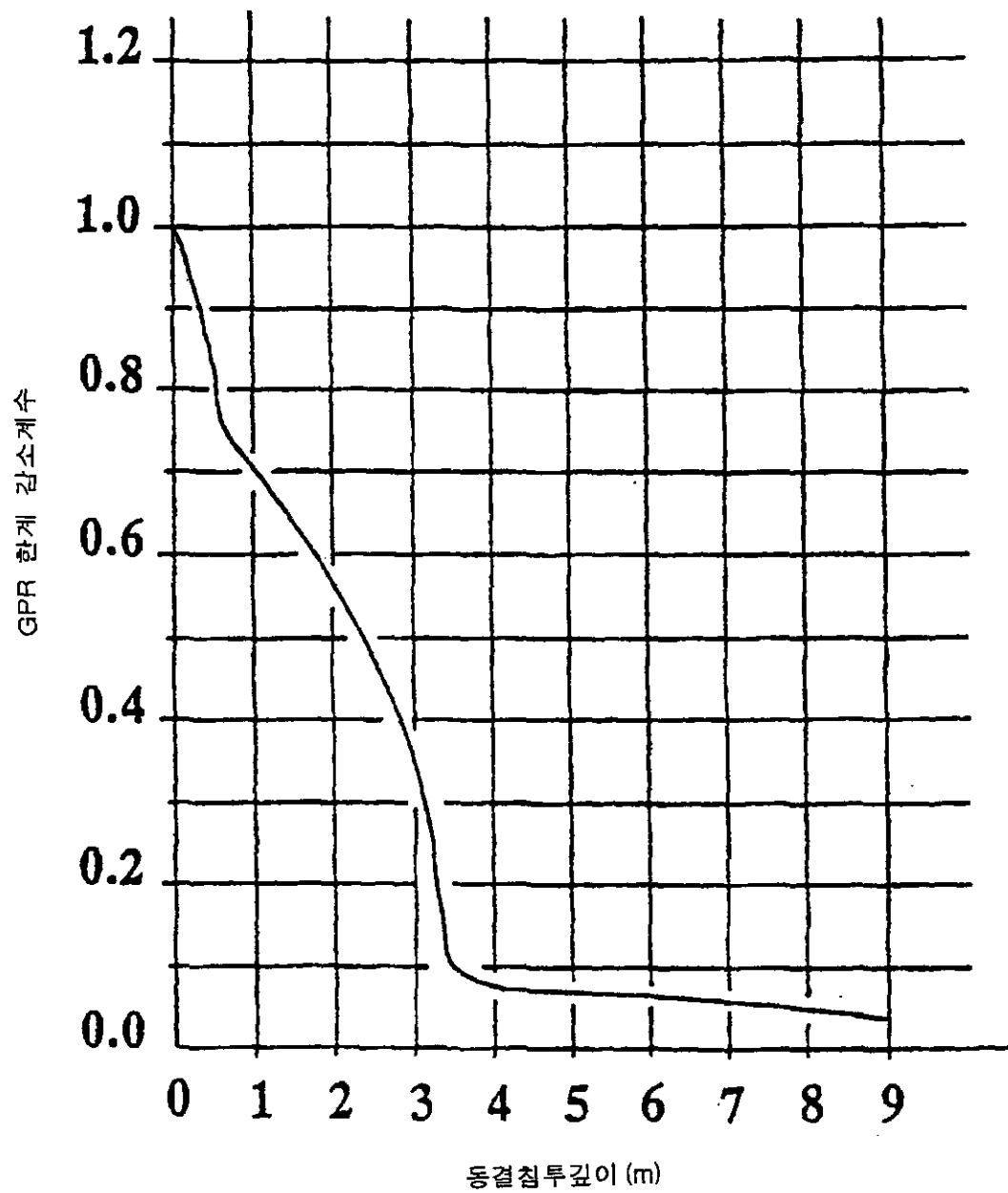


그림 4. 토양 동결과 한계 GPR 감소계수

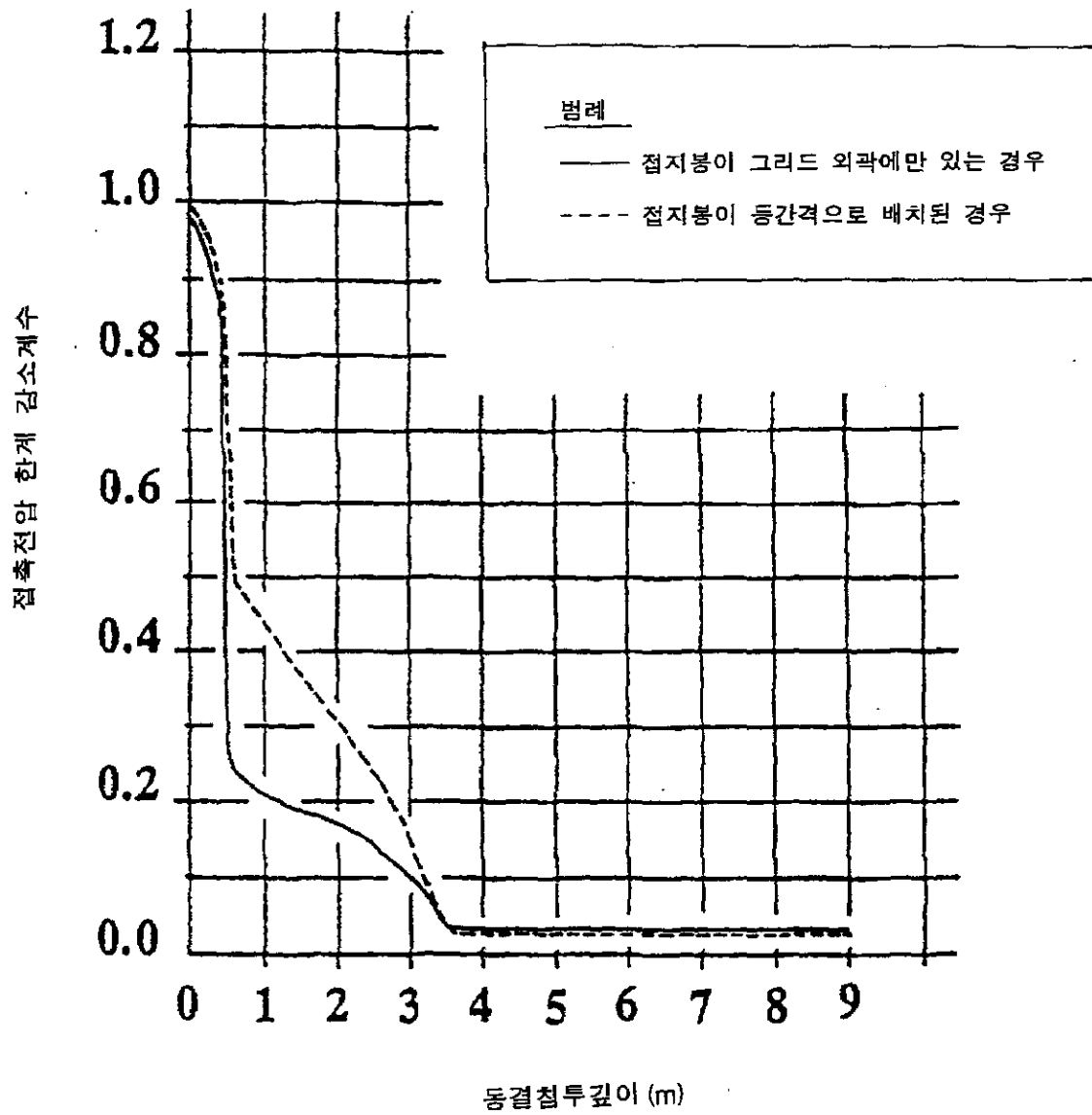


그림 5

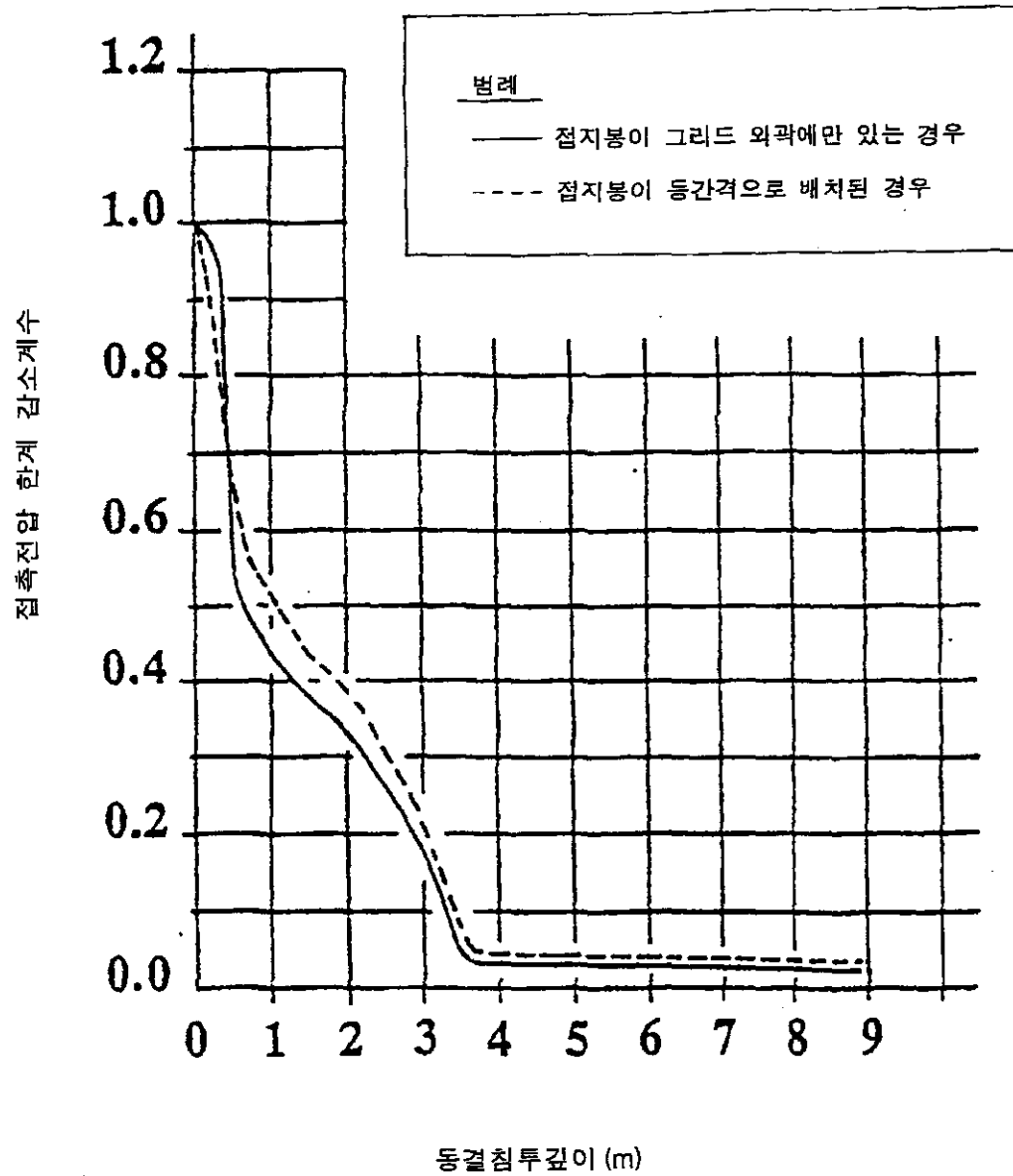


그림 6

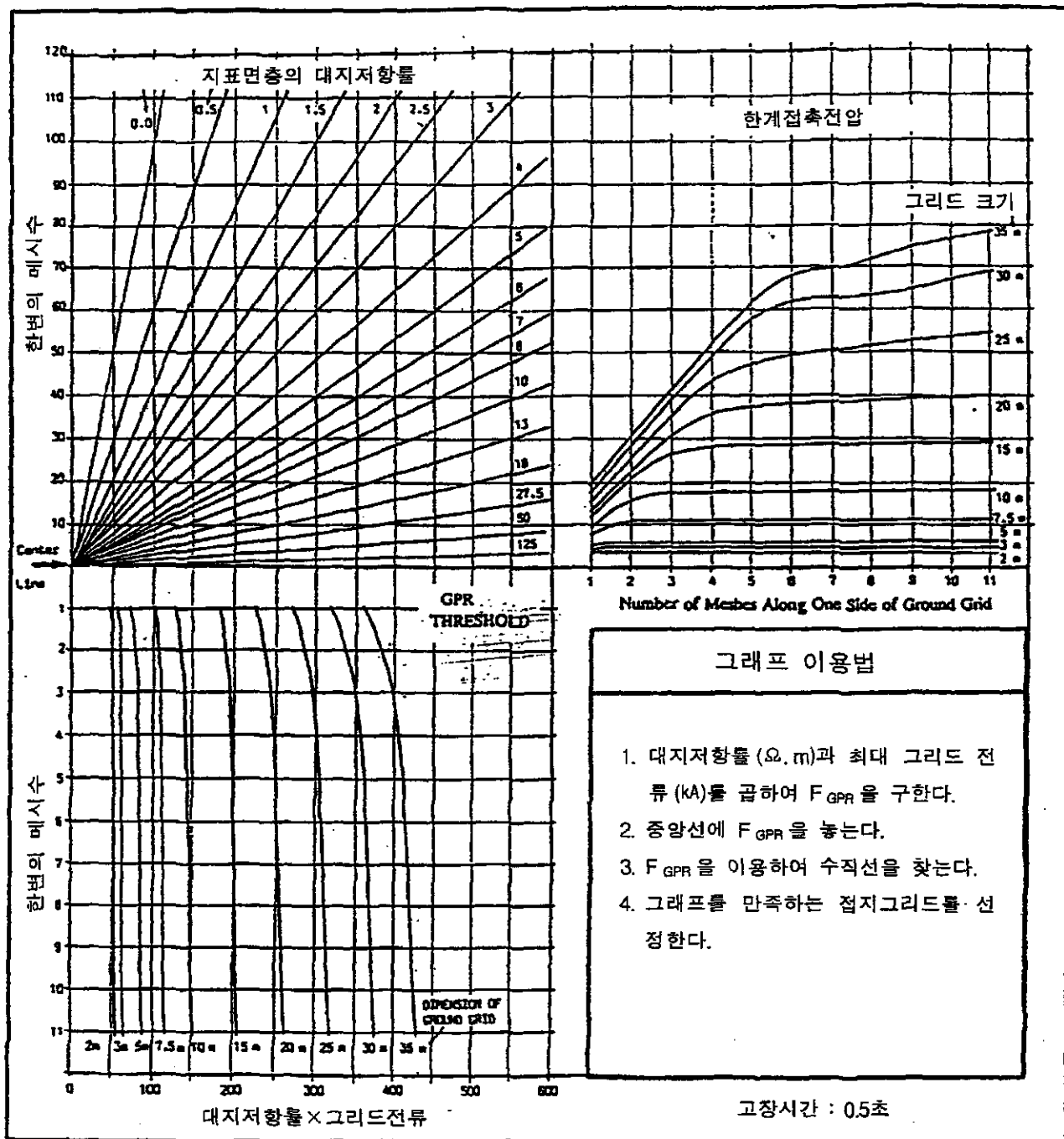


그림 7. 접지그리드 표준설계곡선: 등간격으로 접지봉을 설치할 때

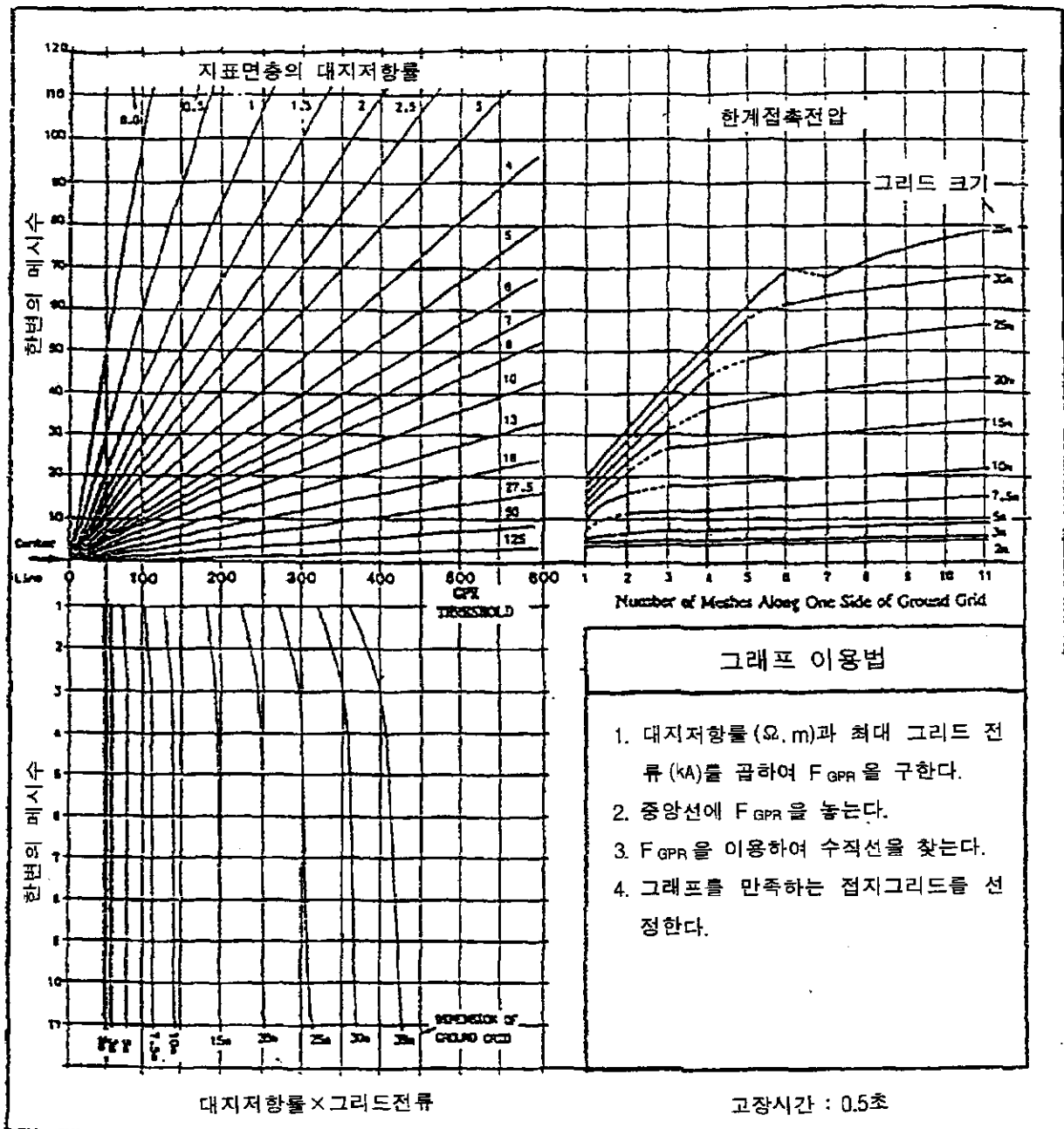


그림 8. 접지그리드 표준설계곡선 : 접지봉을 그리드 최외곽에만 설치할 때

표 1. 접지그리드 표준설계곡선 : 등간격으로 접지봉을 설치할 때

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	메시수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
10.0	2	16	3.622778	3622.778	671.434	1435.551
10.0	3	16	3.576144	3576.144	643.980	1396.058
10.0	4	16	3.524784	3524.784	590.805	1342.998
10.0	5	16	3.532478	3532.478	603.173	1352.510
10.0	6	16	3.511924	3511.924	589.023	1334.307
10.0	7	16	3.485148	3485.148	575.543	1312.525
10.0	8	16	3.478871	3478.871	558.236	1302.115
10.0	9	16	3.477117	3477.117	551.953	1299.779
10.0	10	16	3.469013	3469.013	542.018	1291.427
10.0	11	16	3.461998	3461.998	533.684	1284.269
15.0	2	25	2.597651	2597.651	493.146	939.374
15.0	3	24	2.564698	2564.698	423.904	914.736
15.0	4	25	2.551013	2551.013	399.865	896.685
15.0	5	32	2.498841	2498.841	382.634	859.282
15.0	6	29	2.479493	2479.493	376.107	846.391
15.0	7	32	2.478838	2478.838	360.144	838.671
15.0	8	29	2.488630	2488.630	365.392	847.437
15.0	9	32	2.471851	2471.851	352.185	832.121
15.0	10	29	2.471379	2471.379	349.580	830.102
15.0	11	32	2.447714	2447.714	328.931	808.328
20.0	2	29	2.105958	2105.958	488.531	738.529
20.0	3	28	2.058288	2058.288	369.334	706.129
20.0	4	29	2.021921	2021.921	302.309	679.532
20.0	5	36	1.985958	1985.958	291.004	655.849
20.0	6	37	1.971088	1971.088	284.423	643.667
20.0	7	48	1.942989	1942.989	272.847	623.784
20.0	8	49	1.933389	1933.389	269.942	615.952
20.0	9	46	1.934043	1933.043	265.136	616.394
20.0	10	49	1.919876	1919.876	258.614	602.683
20.0	11	48	1.923916	1923.916	257.874	603.891

표 1 (계속). 접지그리드 표준설계곡선 : 등간격으로 접지봉을 설치할 때

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	배시수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
25.0	2	29	1.793101	1793.101	480.847	626.512
25.0	3	28	1.714931	1714.931	388.160	563.348
25.0	4	33	1.690890	1690.890	290.415	559.170
25.0	5	40	1.659652	1659.652	251.439	538.130
25.0	6	49	1.635354	1635.354	233.608	520.989
25.0	7	56	1.615519	1615.519	223.609	503.841
25.0	8	57	1.609554	1609.554	223.643	500.935
25.0	9	56	1.603543	1603.543	248.483	495.502
25.0	10	65	1.591707	1591.707	214.085	486.551
25.0	11	68	1.588862	1588.861	211.056	482.851
30.0	2	29	1.564751	1564.751	462.306	543.369
30.0	3	28	1.498348	1498.348	350.607	493.834
30.0	4	33	1.461736	1461.736	283.146	477.614
30.0	5	40	1.431106	1431.106	244.035	475.689
30.0	6	49	1.408899	1408.899	214.154	442.420
30.0	7	56	1.390025	1390.025	191.111	426.587
30.0	8	57	1.383381	1383.381	191.173	423.206
30.0	9	56	1.374147	1374.147	191.233	415.439
30.0	10	65	1.366798	1366.798	183.334	410.254
30.0	11	68	1.364273	1364.273	180.991	406.993
35.0	2	33	1.363497	1363.497	415.627	452.692
35.0	3	32	1.319834	1319.834	324.945	434.318
35.0	4	37	1.272816	1272.816	251.997	401.920
35.0	5	44	1.249148	1249.148	223.038	388.994
35.0	6	53	1.228877	1228.877	196.103	375.315
35.0	7	64	1.209142	1209.142	171.293	363.284
35.0	8	69	1.199904	1199.904		
35.0	9	76	1.195398	1195.398	159.945	351.725
35.0	10	81	1.185215	1185.215	152.772	343.107
35.0	11	88	1.180323	1180.323	150.755	339.405

표 2. 접지그리드 표준설계곡선 : 접지봉을 그리드 최외곽에만 설치할 때

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	메시수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
2.0	1	4	10.320382	10320.382	2976.518	5466.286
	2	4	10.168548	10168.548	2767.820	5297.141
	3	4	10.087049	10087.049	2635.954	5204.281
	4	4	10.089974	10089.974	2556.023	5182.521
	5	4	10.042646	10042.646	2497.665	5134.874
	6	4	10.020020	10020.020	2458.133	5108.729
3.0	1	4	8.855489	8855.489	2533.428	4586.595
	2	4	8.648195	8648.195	2334.417	4379.430
	3	4	8.533922	8533.922	2200.996	4260.441
	4	4	8.471648	8471.648	2119.725	4194.136
	5	4	8.447745	8447.745	2058.905	4159.611
	6	4	8.394270	8394.270	2012.873	4110.851
5.0	1	4	6.979379	6979.379	2272.235	3502.630
	2	4	6.666675	6666.675	1758.751	3234.801
	3	4	6.511808	6511.808	1632.811	3090.071
	4	4	6.448896	6448.896	1561.229	3025.096
	5	4	6.377905	6377.905	1511.566	2962.368
	6	4	6.342991	6342.991	1457.792	2922.517
	7	4	6.313757	6313.757	1426.297	2893.595
	8	4	6.289836	6289.836	1399.659	2869.717
	9	4	6.271415	6271.415	1378.457	2851.196
7.5	1	8	4.894194	4894.194	1486.618	2071.638
	2	8	4.728742	4728.742	1043.724	1940.415
	3	8	4.643443	4643.443	985.663	1866.898
	4	8	4.579371	4579.371	939.506	1810.200
	5	8	4.541888	4541.888	908.754	1775.705
	6	8	4.517509	4517.509	885.702	1752.420
	7	8	4.520251	4520.251	859.010	1743.721
	8	8	4.495854	4495.854	839.599	1721.806
	9	8	4.468496	4468.496	803.001	1691.777

표 2 (계속). 접지그리드 표준설계곡선 : 접지봉을 그리드 최외곽에만 설치할 때

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	매서수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
10.0	1	12	3.859055	3859.055	1216.786	1609.874
	2	12	3.720023	3720.023	727.607	1504.897
	3	12	3.655303	3655.303	674.622	1451.919
	4	12	3.608143	3608.143	629.204	1405.922
	5	12	3.585611	3585.611	622.441	1388.782
	6	12	3.564458	3564.458	606.381	1369.658
	7	12	3.540374	3540.374	595.187	1350.827
	8	12	3.535066	3535.066	579.259	1342.206
	9	12	3.524129	3524.129	567.916	1331.563
	10	12	3.516948	3516.948	558.108	1324.112
	11	12	3.509756	3509.756	549.079	1316.879
15.0	1	20	2.761539	2761.539	947.519	1049.711
	2	20	2.647380	2647.380	564.605	970.833
	3	20	2.395087	2395.087	434.302	934.433
	4	20	2.561733	2561.733	417.183	908.433
	5	20	2.541311	2541.311	407.256	892.671
	6	20	2.528331	2528.331	394.990	880.615
	7	20	2.528722	2528.722	378.454	873.331
	8	20	2.517535	2517.535	372.514	864.854
	9	20	2.509582	2509.582	364.858	856.689
	10	20	2.502107	2502.107	359.098	850.061
	11	20	2.498528	2498.528	353.928	846.062
20.0	1	24	2.233324	2233.324	956.278	856.278
	2	24	2.121708	2121.708	521.167	753.568
	3	24	2.065238	2065.238	381.655	715.170
	4	24	2.030880	2030.880	322.156	690.625
	5	24	2.007807	2007.807	311.821	673.505
	6	24	1.993680	1993.680	304.686	662.630
	7	24	1.990091	1990.091	288.541	654.419
	8	24	1.977558	1977.558	283.706	644.668
	9	24	1.970358	1970.358	272.340	638.827
	10	24	1.965177	1965.177	275.051	634.230
	11	24	1.962559	1962.559	271.254	630.734

표 2 (계속). 접지그리드 표준설계곡선 : 접지봉을 그리드 최외곽에만 설치할 때

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	배시수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
10.0	1	12	3.859055	3859.055	1216.786	1609.874
	2	12	3.720023	3720.023	727.607	1504.897
	3	12	3.655303	3655.303	674.622	1451.919
	4	12	3.608143	3608.143	629.204	1405.922
	5	12	3.585611	3585.611	622.441	1388.782
	6	12	3.564458	3564.458	606.381	1369.658
	7	12	3.540374	3540.374	595.187	1350.827
	8	12	3.535066	3535.066	579.259	1342.206
	9	12	3.524129	3524.129	567.916	1331.563
	10	12	3.516948	3516.948	558.108	1324.112
	11	12	3.509756	3509.756	549.079	1316.879
15.0	1	20	2.761539	2761.539	947.519	1049.711
	2	20	2.647380	2647.380	564.605	970.833
	3	20	2.395087	2395.087	434.302	934.433
	4	20	2.561733	2561.733	417.183	908.433
	5	20	2.541311	2541.311	407.256	892.671
	6	20	2.528331	2528.331	394.990	880.615
	7	20	2.528722	2528.722	378.454	873.331
	8	20	2.517535	2517.535	372.514	864.854
	9	20	2.509582	2509.582	364.858	856.689
	10	20	2.502107	2502.107	359.098	850.061
	11	20	2.498528	2498.528	353.928	846.062
20.0	1	24	2.233324	2233.324	956.278	856.278
	2	24	2.121708	2121.708	521.167	753.568
	3	24	2.065238	2065.238	381.655	715.170
	4	24	2.030880	2030.880	322.156	690.625
	5	24	2.007807	2007.807	311.821	673.505
	6	24	1.993680	1993.680	304.686	662.630
	7	24	1.990091	1990.091	288.541	654.419
	8	24	1.977558	1977.558	283.706	644.668
	9	24	1.970358	1970.358	272.340	638.827
	10	24	1.965177	1965.177	275.051	634.230
	11	24	1.962559	1962.559	271.254	630.734

표 3. 접지그리드 설계 평면도 : 등간격으로 접지봉을 설치할 때(점은 수직접지봉 위치)

접 지 그 리 드			접지그리드 파라미터 (대지저항률 100 Ω, 주입전류 1 kA)			
한변의 길 이	메시수	접지봉수	접지저항 (Ω)	G P R (Volts)	최대접촉전압 (V)	
					0.1 m Reach	1.1 m Reach
25.0	1	32	1.846992	1846.992	739.924	739.924
	2	32	1.747438	1747.438	453.683	589.261
	3	32	1.694925	1694.925	329.774	556.044
	4	32	1.665678	1665.678	265.378	536.389
	5	32	1.645738	1645.738	241.458	522.066
	6	32	1.630725	1630.725	235.448	511.581
	7	32	1.621679	1621.679	231.165	505.107
	8	32	1.613729	1613.729	224.484	498.057
	9	32	1.612930	1612.930	217.995	493.819
	10	32	1.608187	1608.187	213.534	490.188
	11	32	1.589940	1589.940	198.415	473.293
30.0	1	40	1.578030	1578.030	651.677	651.677
	2	40	1.488761	1488.761	404.126	482.216
	3	40	1.442746	1442.746	295.181	454.095
	4	40	1.415163	1415.163	236.534	436.118
	5	40	1.397545	1397.545	201.003	424.758
	6	40	1.384901	1384.901	189.066	415.314
	7	40	1.376793	1376.793	185.724	409.440
	8	40	1.370490	1370.490	184.880	405.236
	9	40	1.366766	1366.766	180.197	400.854
	10	40	1.360374	1360.374	171.889	396.883
	11	40	1.358201	1358.201	173.709	393.661
35.0	1	44	1.401313	1401.313	605.618	605.618
	2	44	1.313255	1313.255	377.554	418.091
	3	44	1.267996	1267.996	277.911	391.520
	4	44	1.242617	1242.617	225.160	376.429
	5	44	1.224549	1224.549	189.717	373.660
	6	44	1.211548	1211.548	166.279	354.969
	7	44	1.205978	1205.978	171.637	355.220
	8	44	1.197912	1197.912	162.602	347.594
	9	44	1.191016	1191.016	156.163	341.060
	10	44	1.186046	1186.046	151.946	336.388
	11	44	1.181070	1181.070	149.142	332.690

표 3. 접지그리드 설계 평면도: 등간격으로 접지봉을 설치할 때(점은 접지봉 위치)

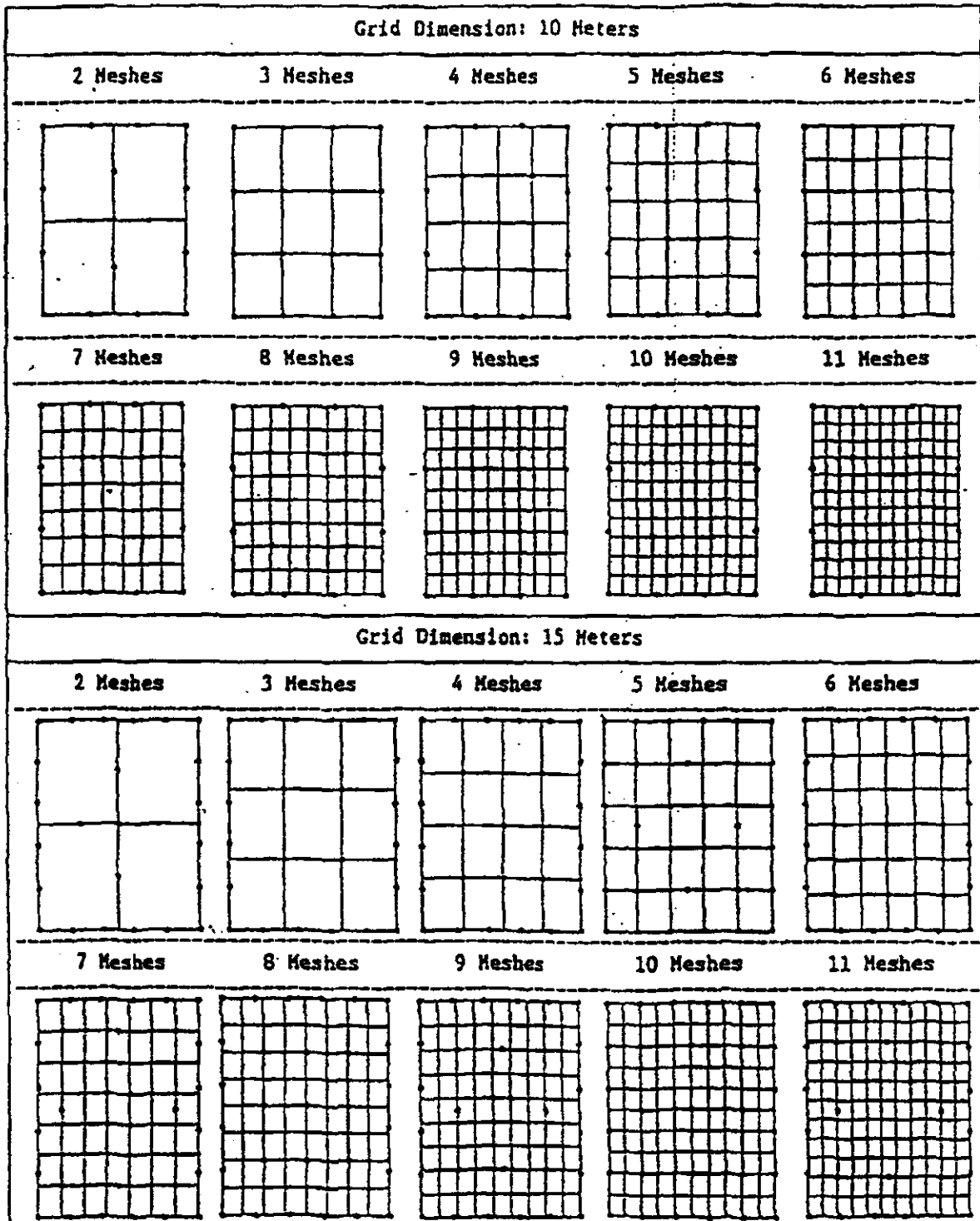


표 3(계속). 접지그리드 설계 평면도 : 등간격으로 접지봉을 설치할 때
(점은 수직접지봉)

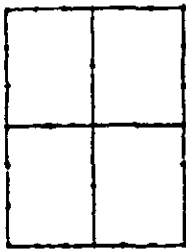
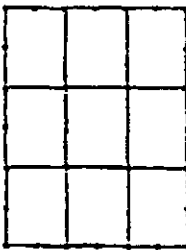
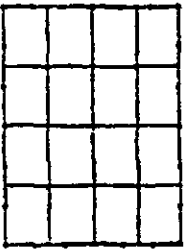
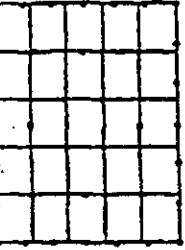
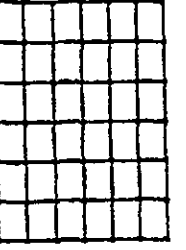
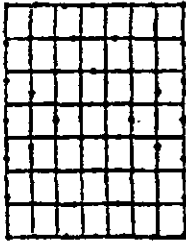
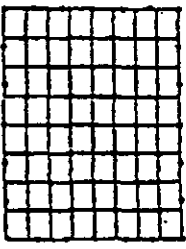
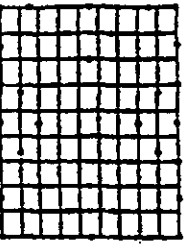
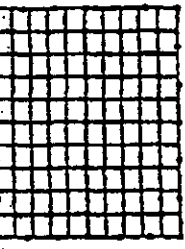
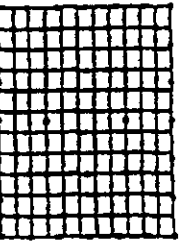
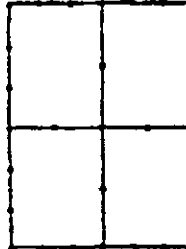
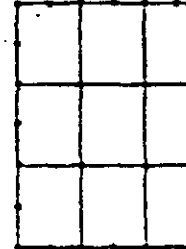
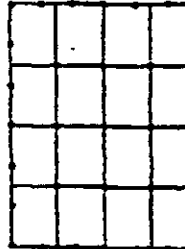
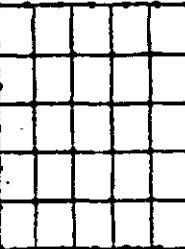
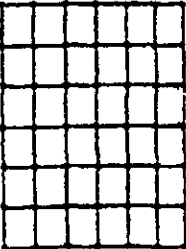
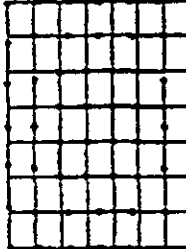
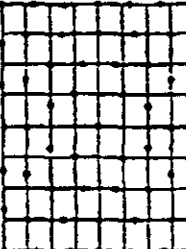
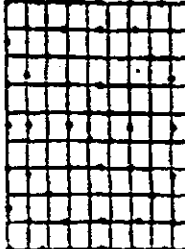
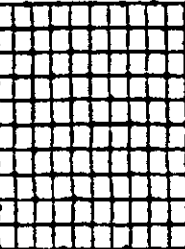
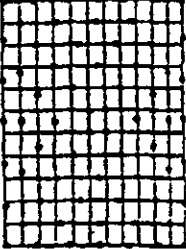
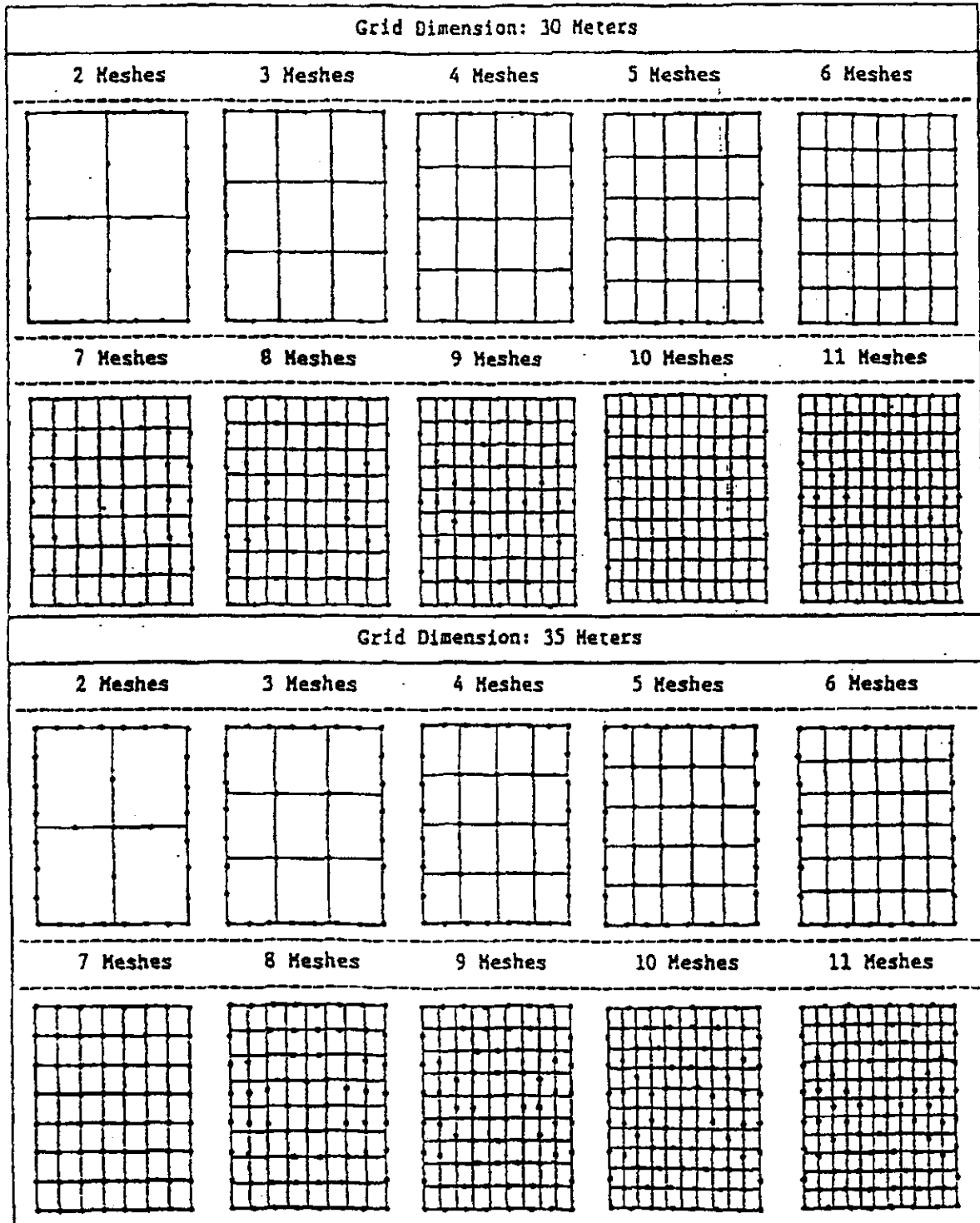
Grid Dimension: 20 Meters				
2 Meshes	3 Meshes	4 Meshes	5 Meshes	6 Meshes
				
7 Meshes	8 Meshes	9 Meshes	10 Meshes	11 Meshes
				
Grid Dimension: 25 Meters				
2 Meshes	3 Meshes	4 Meshes	5 Meshes	6 Meshes
				
7 Meshes	8 Meshes	9 Meshes	10 Meshes	11 Meshes
				

표 3 (계속). 접지그리드 설계 평면도 : 등간격으로 접지봉을 설치할 때
(점은 수직접지봉)



4. 접지설계 예제

파라미터

- 토양의 대지저항률 225 Ω.m, 고장시 주입되는 전류 0.4 kA 이하
- 최대고장시간 0.5 초
- 변전소 지표면의 자갈 포설두께 : 150 mm
- 자갈층의 대지저항률 : 3000 Ω.m
- 토양 동결시 최대 동결 두께 : 1 m

(1) 방법 1에 의한 설계

가. 단계 1

주입 고장전류 1 kA, 대지저항률 100 Ω.m 에 대한 GPR

$$GPR_{lim} = \frac{50000}{0.4 \times 225} = 5555 \text{ V}$$

나. 단계 2

주입 고장전류 1 kA, 대지저항률 100 Ω.m 에 대한 접촉전압 $V_{touchlim}$

① 그림 1에서 고장시간 0.5 초와 IEC 곡선을 이용하면,

$$I_{fib} = 100\text{mA}$$

② 그림 2에서 $I_{fib} = 100\text{mA}$ 와 IEC 곡선을 이용하면,

$$R_{body} = 1130 \text{ Ω}$$

③ 토양 반사율을 계산한다.

$$K = \frac{225 - 3000}{225 + 3000} = -0.86$$

발저항계수 C_T 는 그림 3 ($h=0.15$ m)에서 구한다.

$$C_T = 0.8 \text{ m}^{-1}$$

∴ 발저항 $R_{ft} = 0.8 : 3000 = 2400 \Omega$ (식 1.2에서)

$$\textcircled{4} V_{\text{touchlim}} = \frac{100 \times (1130 + 2400)}{10 \times 0.4 \times 225} = 392 \text{ V}$$

다. 단계 3

그림 4에서 1m 동결시 GPR 감소계수 f_{GPR} 은 0.7 이므로, 새 GPR_{lim} 은 다음과 같이 구한다.

$$\text{GPR}_{\text{lim}} = 0.7 : 5555 = 3888 \text{ V}$$

라. 단계 4 : 접촉전압 계산에서 토양 동결시의 고려사항

그림 5에서, 변전소 펜스는 접지전극 경계 1m 안에 설치되기 때문에, 1m 동결에 대해 접촉전압 한계 감소계수 f_{touch} 는 0.43이고 이에 대한 $V_{\text{touchlimit}}$ 는 다음과 같이 구한다.

$$V_{\text{touchlim}} = 0.43 : 392 = 168 \text{ V}$$

마. 단계 5 : 표 1.1에서 적합한 접지시스템의 선정

표 1.1의 GPR과 접촉전압(0.1 m 도달)의 값과 $GPR_{lim} = 3888 \text{ V}$ 와 $V_{touchlimit}$ 를 비교하면 그리드 35 m : 35 m, 한 변의 메시가 최소한 8인 접지시스템이 필요하다.

바. 단계 6 : 접지저항

한 변의 메시가 8인 35 m : 35 m 접지그리드의 동결시와 비동결시의 접지저항은 다음과 같다.

$$R_{\text{비동결}} = \frac{1.20 \times 225}{100 \times 0.7} = 3.9 \Omega$$

$$R_{\text{동결}} = \frac{1.20 \times 225}{100} = 2.7 \Omega$$

이 값은 0.4 kA 이하의 고장전류를 유지하기 위해 필요한 접지저항 1.0 Ω 을 초과하고 있으므로 이 접지시스템은 선정이 가능하다.

사. 단계 7 : 동결 및 비동결시 최대 예상 GPR 와 접촉전압 계산

① 동결상태시

$$GPR_{\text{max}} = \frac{1200 \times 225 \times 0.4}{100 \times 0.7} = 1543 \text{ V}$$

$$V_{\text{touch}} = \frac{161 \times 225 \times 0.4}{100 \times 0.43} = 337 \text{ V}$$

② 비동결시

$$GPR_{max} = \frac{1200 \times 225 \times 0.4}{100} = 1080 \text{ V}$$

$$V_{touch} = \frac{161 \times 225 \times 0.4}{100} = 145 \text{ V}$$

아. 단계 8

선정된 접지시스템의 접지봉 배치는 표 1.3에서 구하면 된다.

(2) 방법 2에 의한 설계

이 방법은 토양의 동결상태에 대한 고려가 없는 것이 방법 1과 다른 점이며, 설계절차는 다음과 같다.

가. 단계 1 : 지표면 자갈층의 대지저항률 계산

$$C_T = 0.8 \text{ m}^{-1} \text{ (방법 1과 같음)}$$

$$\rho_{seff} = \frac{0.8 \times 3000}{1.5} = 1600 \text{ } \Omega \cdot \text{m} = 1.6 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$$

나. 단계 2 : 그림 7을 이용한 접지시스템 선정

먼저, 그림 7의 범례에서 나타낸 바와 같이 접지그리드전류 (0.4 kA) 와 대지저항률 225 $\Omega \cdot \text{m}$ 를 곱하여 F_{GPR} 을 구하면 90 kV.m 이 된다. 이 값은 그림의 중앙선에 있고 수직선은 이 점을 이용하여 그려진다.

이어서 1.5 k $\Omega \cdot \text{m}$ (1.6 k $\Omega \cdot \text{m}$ 의 대지저항률에 가장 근사한 값) 에 해당되는 지표면

곡선을 선택하고 수평선은 1.5 kΩ.m 곡선이 교차하는 수직선의 점을 통해 그린다.

GPR 한계곡선의 모든 접지시스템 설계곡선은 수직선의 오른쪽에 놓여 있다; 접촉전압 한계곡선은 아래 설계조건중 하나가 선정됨을 의미한다.

20 m : 20 m : 한 변당 4 메시

25 m : 25 m : 한 변당 3 메시

30 m : 30 m : 한 변당 3 메시

35 m : 35 m : 한 변당 3 메시

다. 단계 3 : 접지저항

한 변당 4메시, 20 m : 20 m 인 접지그리드를 예를 들면 접지저항은 다음과 같다.

$$R_{\text{비동전}} = \frac{2.0 \times 225}{100} = 4.5 \Omega$$

이 식에서 사용된 2.0 Ω은 표 1.1에서 구하였다. 접지저항이 0.4 kA 이하의 고장전류를 흐르도록 하는데 필요한 1.0 Ω을 초과하고 있으므로, 이 접지시스템은 만족한다.

라. 단계4 : 예상 최대 GPR과 예상 최대 접촉전압

$$GPR_{\text{max}} = \frac{2022 \times 225 \times 0.4}{100} = 1820 \text{ V}$$

$$V_{\text{touchmax}} = \frac{302 \times 225 \times 0.4}{110} = 272 \text{ V}$$

마. 단계 5

선정된 접지시스템에 대한 접지봉 배치는 표 1.3에서 구할 수 있다.

전기안전을 위한 기술지침 및 기준 기초자료

(기안연 96-8-8)

발 행 일 : 1996. 12.

발 행 인 : 원 장 이 한 훈

연구수행자 : 선임연구원 이 형 수

발 행 처 : 한국 산업 안전공단

산업 안전 연구원

(기전안전연구실)

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4

전 화 : (032)5100-836

(032)518-0230

F A X : (032)518-6483

비매품