

국내 송전계통별 미주전류에 의한 전기뇌관의 안전성 분석

강추원^{1)*}, 박현식²⁾, 김영석³⁾

A Safety Analysis of Electric Detonator for Stray Currents by Domestic Transmission Network System

Choo-Won Kang, Hyun-Sik Park and Young-Seok Kim

Abstract This study is to observe stray currents generated around the steel tower by domestic transmission network system and analysis stability of electric detonator. It is measured the stay current of each ten place at steel tower of 765 kV, 345 kV, 154 kV transmission line among domestic transmission network system. Stay currents measured a total of 40m at intervals of 4m toward a line direction and a line vertical direction centering around steel tower. Temperature of the surface, EC, water content also are measured. Although stay currents show the highest values, that is 12 percent of at 4m and less than 1 percent of 40m with Institute of Makers of Explosives(IME) regulations. It is shown correlation between stay currents and water content · EC · temperature of the surface. Stay currents measured at line direction and line vertical direction were little different and the shape of diminution was also shown a similar aspect.

KeyWords Transmission network system, Transmission steel tower, Stray currents, Electric detonator

초 록 본 연구는 국내 송전계통별로 철탑주변에서 발생하는 미주전류의 분포를 파악하여 이에 대한 전기뇌관의 안전성을 분석하기 위해 실시하였다. 국내 송전계통 중 765 kV, 345 kV, 154 kV의 고압송전선로의 철탑에서 각 10개 지점의 미주전류를 측정하였다. 각 송전탑에서의 미주전류 측정은 송전탑을 중심으로 선로방향과 선로직각방향으로 4 m 간격으로 총 40 m를 실시하였다. 온도, 전기전도도(EC), 함수비도 함께 측정하였다. 측정된 미주전류 최고치는 미국의 화약제조협회 IME(Institute of Makers of Explosives) 제안치 50 [mA]를 기준으로 4 m 지점에서는 12% 수준이었으며, 40 m 지점에서는 1% 이하로 나타났다. 미주전류와 함수비, 전기전도도, 온도는 양의 상관관계를 보였고, 측정방향에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다.

핵심어 송전계통, 송전탑, 미주전류, 전기뇌관

1. 서 론

국토를 효율적으로 활용하고 사회간접자본을 확충하기 위해 대형토목공사가 많이 이루어지고 있으며, 이에 따른 발파작업이 수반된다. 국내의 발파작업은 전기발파의 여러 이점으로 인해 전기뇌관을 이용한 발파가 대부분 수행되고 있으나 외부 전기에너지에 대해 매우 취약하여 전력설비 인근에서의 발파작업 수행 시 세심한 주의가 요구된다.

우리나라의 급속한 경제성장은 세계적으로 유례없이 연 15% 정도의 전력수요를 가져왔으며, 이러한 수요를 충족시키기 위해 발전소 건설 및 전력수송설비가 많이 증가되고 있다. 특히, 송전선로는 인체의 동맥과 같이 그 기능에 있어서 매우 중요한 설비이므로 전국에 걸쳐 그물망처럼 분포되어 있다. 현재 국내의 송전망은 765 kV-345 kV-154 kV-66 kV-22 kV-180 kV(DC)로 구성되어 있고, 2004년 1월 1일 기준, 국내 송전선로의 회선공장(回線長, circuit length)이 총 28,260, 248 c-m, 지지물은 41,060개에 이른다¹⁾.

이로 인해 발파작업을 수행함에 있어 전력설비와 맞는 경우가 많아져 잠재적인 위험요인이 증가되고 있다. 특히, 고압송전선에서는 중립도체 전선을 통하여 흐르는 전류가 고압선 전체의 평균보다 낮을 때 약간의 불균형 전류가 존재하게 된다. 이 불균형 전류는 접

¹⁾ 정희원, 조선대학교 자원공학과 교수

²⁾ 조선대학교 대학원 자원공학과 박사수료

³⁾ 조선대학교 대학원 자원공학과 석사과정

* 교신저자 : cwkang@mail.chosun.ac.kr

접수일 : 2005년 8월 1일

심사 완료일 : 2005년 8월 17일

지된 철탑 또는 전신주 등을 통하여 지표로 누설되므로 송전탑 주변에서의 발파수행 시 미주전류(누설전류)에 대하여 충분히 고려되어야 한다. 그러나 국내 고압송전 철탑 인근의 미주전류에 대한 연구가 미흡하며, 인근에서 발파작업수행 시 화약류 취급자들의 막연한 불안감과 전기뇌관 사용 안전성에 대한 잠재적인 위험이 상존해 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 국내의 송전계통 765 kV, 345 kV, 154 kV, 66 kV, 22 kV, 180 kV(DC) 중 765 kV, 345 kV, 154 kV의 고압송전선로의 송전탑에서 발생하는 미주전류를 실측하여 송전선로 주변에서 발파작업수행 시 미주전류(stray currents, 누설전류)에 대한 전기뇌관의 안전성을 분석하고자 하였다.

2. 전기뇌관의 이론적 고찰

2.1 전기뇌관의 구조

전기뇌관은 보통 공업뇌관에 전교장치를 한 것으로 공업뇌관의 공간 부분에 각선을 끼우고, 그 끝에 백금 80%, 이리듐 20%의 합금선으로 된 전교를 납땀하고 점화약을 묻힌 다음 공간 부분을 막아버린 것으로 점화약은 티오시안산납과 염소산칼륨의 혼합물 면화약 용액으로 반죽하여 백금선에 묻힌 다음 건조하여 고착시킨 것이다²⁾. Fig. 1은 전기뇌관 중 지발전기뇌관의 구조이다.

2.2 전기뇌관의 기록

전기뇌관은 발파기에서 공급되는 전류에 의해 기록되도록 제조된 것으로 발파기에서 발생된 전류는 모선에 공급되고 보조모선을 거쳐 각선으로 유입되어 점화약의 전열작용으로 점화약이 발화하게 된다. 이어서 뇌관

의 종류에 따라 지연제가 발화되는 과정을 거치거나(지발뇌관), 또는 바로 점화약이 기폭되어(순발뇌관) 폭약이 폭발하게 된다.

그러나 발파시스템에서 뇌관, 각선, 모선 등은 금속도체로서 전기작용에 대단히 취약하므로 정전기, 낙뢰, 미주전류, 유도전류 등과 같은 외부전기가 발파회로 내로 유입되면 뇌관을 기폭시키는 위험요인이 될 수 있다.

미주전류(누설전류, stray currents)는 절연된 전도시스템의 외부에 흐르는 전류를 말하며, 일반적으로 전력시스템이나 전기 장비의 절연 상태가 불완전한 때 발생한다. 전기뇌관에 대한 미주전류의 제한치는 국내에서 제안되어져 있지 않으며, 산업용 폭약에 대한 제조, 운반, 저장, 사용 등 전반적인 안전성 향상을 위해 설립된 미국의 화약제조협회(Institute of Makers of Explosives, IME)에서는 외부전류에 대한 전기뇌관의 “안전전류”로 50 [mA]를 제안하였다^{3,4)}.

밀리암페어(milli-ampere, mA)범위에서는 교류전류(ACA)와 직류전류(DCA)가 측정기에 기록될 때 서로 도움이 되질 않음으로 미주전류의 유효기록이 직류와 교류 둘 다 측정된다면 두 값을 더해야 한다³⁾. 만일 두 값의 합이 50 [mA]보다 큰 값이 측정된다면 전류의 출처를 발견해야 하고 전기뇌관이 사용되기 전에 제거되어야 한다. 만약 전류의 출처를 발견하지 못하거나 제거할 수 없다면 비전기식 기폭시스템으로 발파를 수행해야만 한다.

3. 국내 송전계통

3.1 국내 송전계통의 구성 및 특성

송전선이란 전기를 발전하는 발전소와 그 전기의 전압을 바꾸는 변전소, 혹은 변전소와 변전소 등을 연결하여 전기를 보내는 역할을 하는 것을 말한다.

국내 송전망의 전압별 구성은 765 kV-345 kV-154 kV-22 kV로 정하여, 765 kV 송전선로는 분기없이 직접 수도권으로 연결하여 대전력 수송을 담당하게 하고, 345 kV는 지역간 전력용통 수단으로, 154 kV는 지역내 공급전력망으로 그 역할을 정하고 있다. 송전계통별 특성은 Table 1과 같다⁵⁾.

현재 국내에서는 발전, 송전, 배전 등에 3분의 전선을 사용하여 전기를 송전하는 3상 교류방식이 사용된다. 그래서 정상적 상태에서 송전선 a, b, c상(相)에 흐르는 전류는 Fig. 2와 같이 위상이 120° 차이가 나고 크기가 거의 같기 때문에 3상을 더한 전류의 합이 0이 된다. 이 경우 철탑에서 대지로의 누설전류(미주전류)는 거의 발생되지 않거나 매우 적다.

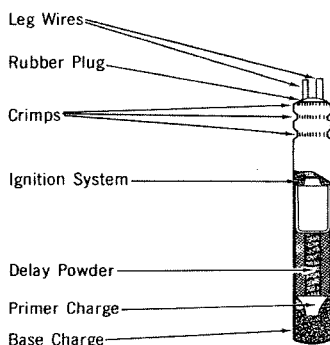


Fig. 1. The structure of electric detonator

Table 1. Characters by transmission network system

voltage		154 kV	345 kV	765 kV
item	transmission capacity [MW] [150 km one-circuit standard]	150	900	4,200
	loss [%]	1.2	0.23	0.05
	cost [hundred million won per km]	4.3	7.5	23
	the number of insulator [per string]	9 ~ 14	20 ~ 25	40 ~ 50
steel tower	height [m]	35	50	90
	weight [t]	13	45	140
	support shape	angle	angle	pipe
	plottage [m^2]	132	198	529

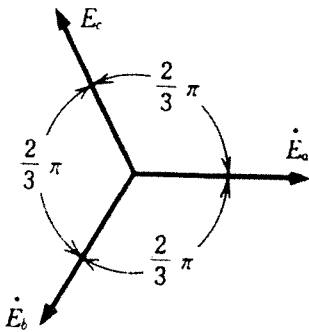


Fig. 2. Vector sum of three-phase alternating current

송전선로는 가공선로(overhead power line)와 지중선로(under ground power line)로 구분된다. 국내의 송전선로 765 kV, 345 kV, 154 kV, 66 kV, 180 kV(DC)의 회선공장(回線巨長, circuit length)은 각각 661 c-km, 7,741 c-km, 18,596 c-km, 1,031 c-km, 232 c-km 이며, 154 kV 이상 고압의 송전선로에서 주로 사용되는 철탑의 수는 38,173개에 이른다¹⁾.

가공 송전선로는 전기를 송전하는 전선, 전선을 지지하는 지지물, 전선과 철탑을 전기적으로 절연시키는 애자 등으로 구성되어있다.

3.2 송전탑

가공전선로는 전선을 안전하게 지지하기 위하여 지지물을 사용하는데 154 kV 이상의 송전선로는 지지물로서의 철탑이 사용된다. 철탑은 각 주주마다 단독기초를 갖는 것이 보통으로 각 주주 공통으로 1개의 기초를 갖는 철주와 구별된다⁶⁾. 송전철탑은 선로의 전력수송능력에 따라 그 크기가 좌우되며, 선로당 수송능력은 전력의 수요와 관계되어 결정된다. 국내에서는 설계가 용이하고 안전도가 큰 이유로 거의 모두가 4각 철탑을 사용하고 있다.

3.3 가설선

가설선(strung wire)은 가공송전선과 가공지선으로 구성되어 있다.

가공송전선은 실제 전류를 이동시키는 전선으로 한상(相)의 사용전선은 154 kV, 345 kV, 765 kV선로에서 각각 2조(組), 4조, 6조가 사용된다.

가공지선은 철탑위에 설치하여 철탑을 통해 대지와 접시킨 것으로 가공송전선로를 직격뢰(直擊雷)로부터 보호하고 또 뇌운(雷雲)의 정전유도 영향을 감소시키기 위해 설치한 것이다. 한편, 가공지선에는 전력선의 불평형 전압에 의해 전류가 흐르기도 하며, 전력선의 지락(地絡)이나 피뢰기의 파손 등에 의하여 과다한 고장전류가 유입되기도 한다. 특히 송전회선의 고장 시에는 전선 a, b, c상 중 고장난 상(相)에 큰 이상전류가 흘

러서 3상의 평형이 깨지게 되어 a, b, c상 전류를 더한 만큼의 전류가 철탑에 접지된 대지와 가공지선을 통해 흐르게 된다.

3.4 애자

애자(insulator)는 절연물로서 송전탑과 선로를 연결하는 동시에 전선을 지지하는 중요한 송전용 기자재이다. 고압송전선로에는 적당한 개수를 직렬로 접속하여 지지물에서 현수시켜 사용하는 현수(懸垂)애자와 전선의 방향으로 설비되어 전선의 장력을 지지하도록 설계된 내장(內張)애자가 사용된다.

4. 측정방법 및 인자

4.1 측정방법

국내의 송전선로 중 765 kV, 345 kV, 154 kV를 대상으로 송전탑에서 발생하는 지중에서의 미주전류를 미국 THOMAS사의 Wavetek 109 SG를 이용하여 측정하였고, 편의상 154 kV는 A, 345 kV는 B, 765 kV는 C로 명명하였다. 미주전류를 측정할 회선은 Table 2와 같다.

A, B, C의 송전철탑 주변에서 각 10개소씩 총 30개소에서 직류전류와 교류전류를 측정하였고, 측정방향은 Fig. 3과 같이 철탑을 중심으로 선로방향과 선로에 수직인 방향으로 나누어 미주전류를 측정하였다. 접지봉을 고정할 때 접지가 잘 되게 하기 위하여 접지봉을 고

정시킨 후 150 ml의 물을 사용하였으며, 접지봉의 간격은 4 m, 총 측정거리는 40 m로 하였다. 철탑의 누설전류에 기인한 미주전류만을 측정하기 위하여 철탑주위에 다른 전기장치가 있는 장소는 제외시켰다.

4.2 측정인자

송전탑에서 일정한 양의 전류가 대지로 유입되더라도 대지의 저항에 따라 전류의 흐름이 크게 바뀔 수 있다. 일반적으로 토양자체의 고유저항을 대지 고유저항이라 하며, 온도, 수분, 전해질, 계절, 토질의 종류, 지역(해안, 강, 평원, 산악) 등 외부의 기후와 조건에 의해 영향을 받는다. 따라서 대지의 고유저항에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 함수비, 전해질, 온도를 고려하였다.

전해질의 함량이 증가함에 따라 일반적으로 전기전도도는 증가하므로 전기전도도 측정에 의해 전해질에 대한 대지고유저항의 영향을 조사하였다⁶⁾. 전기전도도는 토질공학회 기준 흙의 수용성 성분 시험법 JSF T 241의 규정에 의하여 건조시료 질량이 약 100 g 상당에 해당되는 습윤 시료를 증류수 500 ml에 충분히 교반시킨 후 필터링하여 얻어진 침출액에 일본 TOA Electronics사의 CM-14P를 이용하여 측정하였다.

함수비의 측정은 미국 OHAUS사 GT4800의 저울을 이용하여 KS F2306의 규정에 의하여 측정하였고, 토양의 온도측정은 일본 CUSTOM사의 CT-1310을 이용하였다.

주로 산악지역에 위치한 철탑을 대상으로 하였으므로 지역에 대한 변화는 고려하지 않았다. 함수비, 전기전도도를 위한 시료채취와 온도측정은 미주전류 측정 시 선로방향과 선로직각방향 중 최고값이 나타나는 곳에서

Table 2. Measuring circuit of stray currents

steel tower	circuit
A-1, 2, 3	Gyelim - Namgwangju
A-4	Namgwangju - Sotae
A-5, 6	Yeonggwang - Hongnong
A-7	Namchang - Haenam C.S.
A-8	Namchang - Wando
A-9	Jangheung - Beolgyo
A-10	Hwasun - Namgwangju
B-1, 9, 10	Shingwangju - Shingangjin
B-2, 3, 4, 5, 7	Yeonggwang N.P. - Shingwangju
B-6, 8	Yeonggwang N.P. - Shinnamwon
C-1, 2, 3, 4, 5	Dangjin T.P. - Shindangjin
C-6, 7, 8, 9, 10	Shindangjin - Shinanseong

※ C.S. : conversion station
N.P. : nuclear power plant
T.P. : thermal power plant

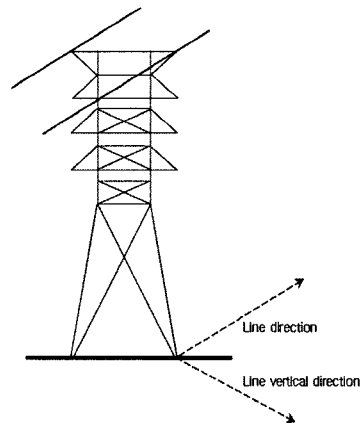


Fig. 3. Measuring direction of stray currents

실시하였다.

5. 측정결과 및 분석

송전계통별로 첩탑주변에서 미주전류의 발생유무 및 대소를 관찰하여 전기뇌관의 안전성을 분석하였다.

Data분석은 측정된 미주전류가 밀리암페어 범위에 있었으므로 교류전류(ACmA)와 직류전류(DCMa)의 합을 이용하여 실시하였다.

5.1 거리별 분석

송전첩탑에서 선로방향과 선로직각방향으로 측정된 미주전류 값을 Fig. 4에 data plot과 box plot으로 도시하였다. 두 방향에서 측정된 미주전류는 B-7첩탑 선로직각방향 28 m 지점의 이상치를 제외한 모든 송전계통 및 측정방향의 4 m 지점에서 최고치를 보였으며, 송전탑에서 이격됨에 따라 급격히 감소하는 경향이 나타났다.

미주전류의 최고치는 A, B, C 송전선로에서 0.928 [mA], 6.023 [mA], 2.22 [mA]로 측정되었고, 기대치는 0.43 [mA], 1.2 [mA], 0.4 [mA]로 나타났다. 첩탑에서 멀어짐에 따라 그 값은 크게 감소하여 40m 떨어진 지점에서는 0.2 [mA] 이하의 매우 낮은 값을 나타내었다.

송전첩탑주변에서의 미주전류는 대체적으로 2 [mA] 이하의 값을 나타내었으나, B-9 첩탑의 선로방향에서 5.555 [mA]와 선로 직각방향에서 6.023 [mA]로 다소 높은 값이 측정되었다. 동일회선에서 측정한 B-1, B-10 첩탑의 미주전류는 다른 값들과 유사한 분포를 보이므로 B-9 첩탑의 이상전류는 선로의 문제가 아니라 애자의 오손등과 같은 절연상태불량에 의해 발생된 것으로 판단된다.

측정된 미주전류의 최고치는 Table 3과 같이 국내에서 생산되는 전기뇌관의 최대불폭전류의 2.3% 수준에 불과하다. 최소점화전류의 1/5인 50 [mA]를 안전전류로 제안한 미국 화학제조협회(IME) 기준과 비교할 때 첩탑의 4 m 지점에서 12%, 16 m 지점에서 4.7%, 28 m 지점에서 2.3%이고 40 m 지점에서는 1% 이하임을 알 수 있었다.

5.2 인자에 따른 분석

송전계통별 미주전류와 함수비, 전기전도도, 온도의 관계를 Table 4에 나타내었다. 대체적으로 낮은 상관관계를 보였으나 모두 양의 상관관계를 나타내고 있으므로 함수비, 전기전도도, 온도 등이 증가함에 따라 토양의 고유저항이 감소하여 전류가 잘 흐르는 것으로 판단된다.

Table 4 original data에서 송전계통 A, C는 인자에 따라 비슷한 미주전류 분포를 보이나 B는 비교적 상이한 분포를 나타내었다. 이는 미주전류가 다소 높게 나타난 B-9 첩탑에 의한 요인이라 판단되어 B-9 첩탑의 측정값을 제외하여 Table 4의 correct data에 나타내었으며, 송전계통 A, B, C 모두 유사한 전류분포를 보였다.

5.3 측정방향별 분석

선로방향과 선로직각방향에 대한 미주전류와 함수비, 전기전도도, 온도와의 관계를 Table 5에 나타내었다.

인자에 따른 분석과 같이 미주전류와 인자들과의 상관관계는 매우 낮았으나, 선로방향과 선로직각방향의 두 직선이 거의 일치하고 모두 양의 상관관계를 나타내었다. 이는 선로방향에서 송전선의 유도전류가 미주전류측정에 영향을 미치지 않았다고 판단되며, 유도전류는 개회로(開回路)에서 발생하지 않고 폐회로(閉回路)에서만 발생한다는 것과 일치하였다.

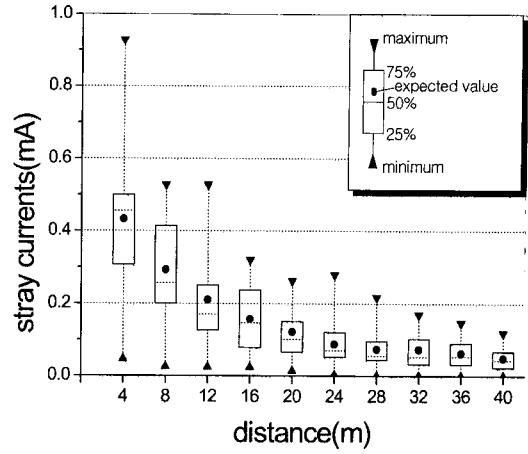
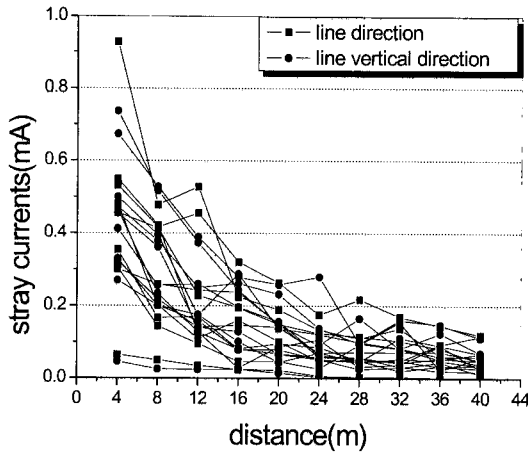
6. 결 론

본 연구는 국내 송전계통별로 첩탑주변에서 발생하는 미주전류의 분포를 파악하여 이에 대한 전기뇌관의 안전성을 분석하고자 국내 송전계통 중 고압송전선로 765 kV, 345 kV, 154 kV의 각 10개소에서 선로 및 선로직각방향의 각 10개 지점의 미주전류를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

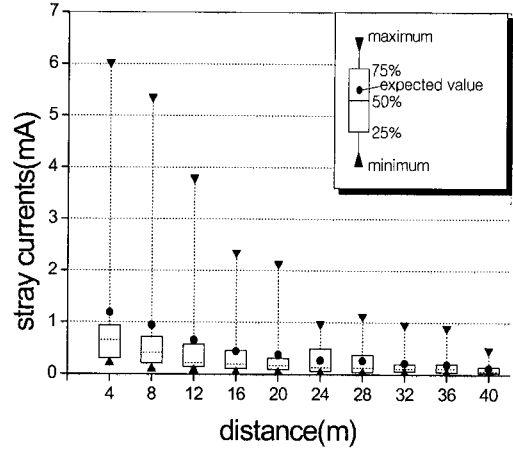
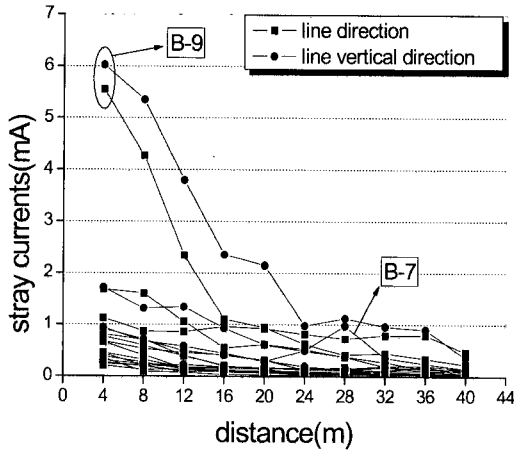
- 1) 두 방향에서 측정된 미주전류는 B-7 첩탑 선로직각방향 28 m 지점의 이상치를 제외한 모든 송전계통 및 측정방향 4 m 지점에서 최고치를 보였으며, 송전탑에서 이격됨에 따라 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 측정방향에 따른 미주전류의 차이는 나타나지 않았으며, 감소형태는 유사함을 보였다.

Table 3. The maximum no firing current of a manufactured electric detonator in domestic

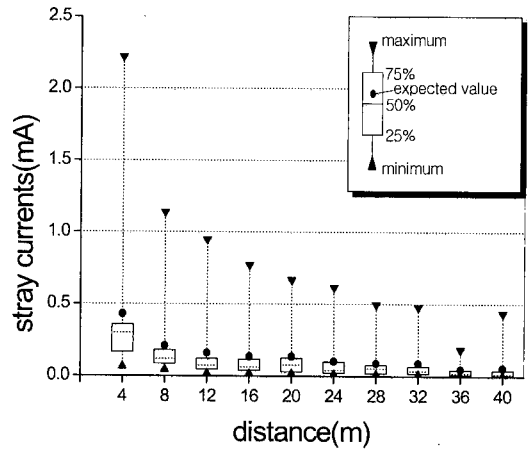
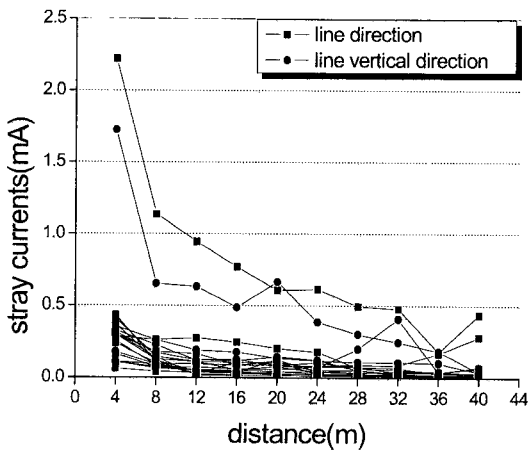
item	maximum no firing current (①, mA)	peak stray currents (②, mA)	②/① (%)
A corporation	260	6.023	2.3
B corporation	700		0.9
KS M 4803 ⁷⁾	250		2.4



(a) A steel tower



(b) B steel tower



(c) C steel tower

Fig. 4. Stray currents around steel tower by domestic transmission network system

Table 4. Relationship of between factors(water content, EC, temperature) and stray currents by domestic transmission network system

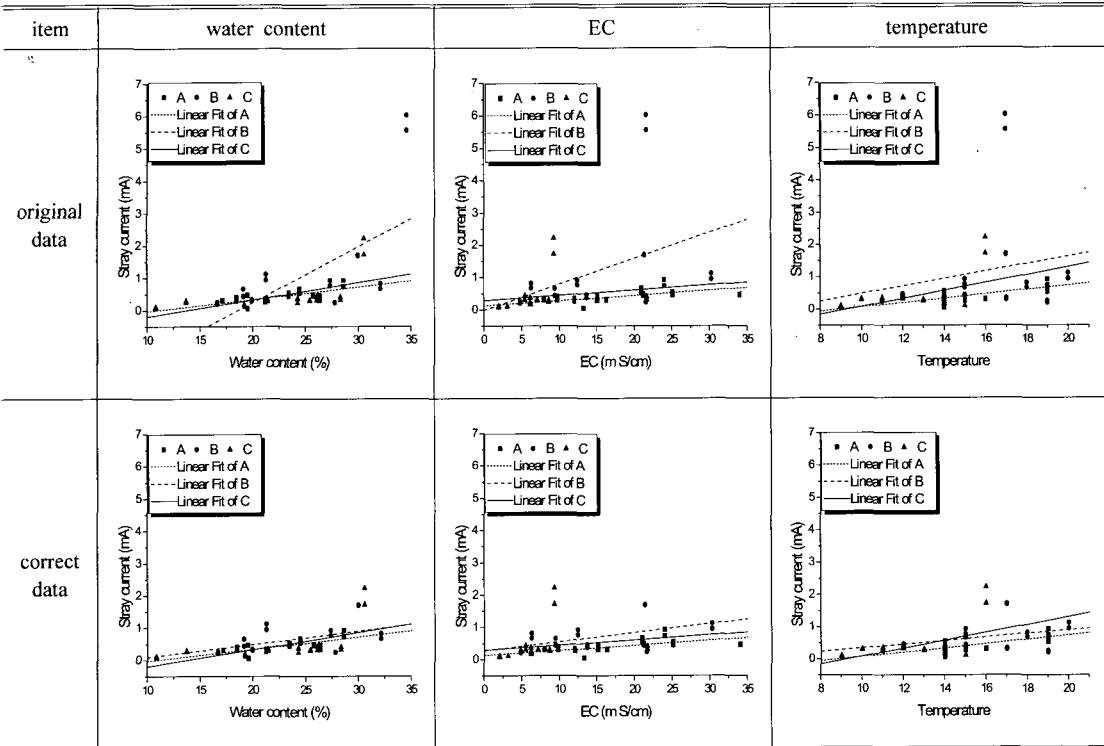


Table 4. continued

item		function	r^2	SD	
water content (%)	original data	A	$SC(mA) = -0.40795 + 0.03747*WC$	0.67726	0.15537
		B	$SC(mA) = -3.21505 + 0.17253*WC$	0.61599	1.32348
		C	$SC(mA) = -0.72166 + 0.05252*WC$	0.59021	0.45146
	correct data	B	$SC(mA) = -0.31318 + 0.0404*WC$	0.45464	0.42614
EC (m S/cm)	original data	A	$SC(mA) = 0.13223 + 0.01567*EC$	0.54403	0.17719
		B	$SC(mA) = -0.01162 + 0.08013*EC$	0.39941	1.54025
		C	$SC(mA) = 0.29552 + 0.01575*EC$	0.1658	0.55151
	correct data	B	$SC(mA) = 0.28046 + 0.02788*EC$	0.49659	0.41528
temperature(°C)	original data	A	$SC(mA) = -0.59125 + 0.0665*Temp.$	0.63328	0.16344
		B	$SC(mA) = -0.66651 + 0.11521*Temp.$	0.19782	1.64687
		C	$SC(mA) = -1.13182 + 0.12194*Temp.$	0.49081	0.48726
	correct data	B	$SC(mA) = -0.19386 + 0.05444*Temp.$	0.34606	0.44888

2) 측정된 미주전류는 최고치와 비교할 때 국내에서 생산되는 전기뇌관의 최대불폭전류의 2.3% 수준에 불과하고, 미국의 화학제조협회(IME) 제안치 50 [mA]와 비교할 때 철탑과 4 m지점에서 12%

이고, 40 m지점에서는 1% 이하임을 알 수 있었다. 이는 송전철탑주변에서 발파작업수행 시 정상전류상태 일 때 송전탑의 미주전류가 250 [mA] 이상에서 기폭되는 전기뇌관에 크게 영향을 미치

Table 5. Relationship of between factors and stray currents by measuring direction

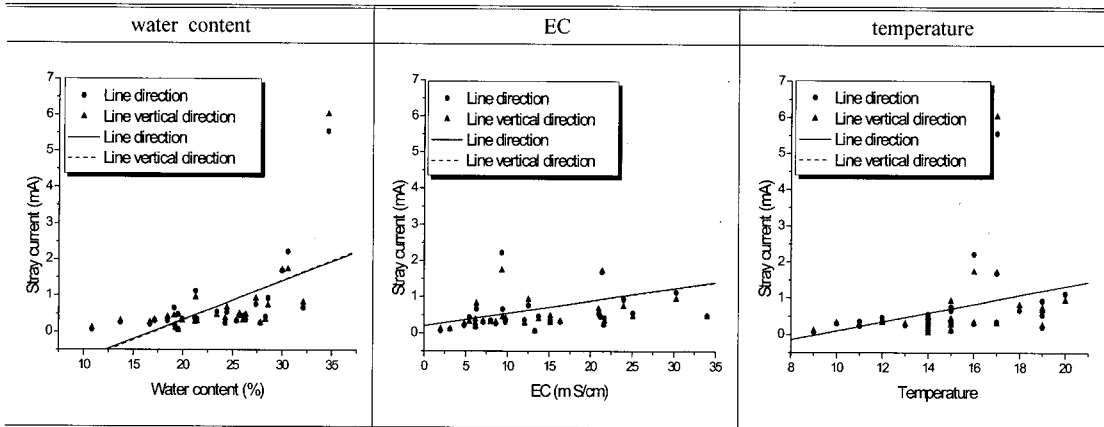


Table 5. continued

item		function	r ²	SD
water content (%)	line direction	SC(mA) = -1.81236 + 0.10726*WC	0.57596	0.58666
	line vertical direction	SC(mA) = -1.88402 + 0.11012*WC	0.56119	0.91394
EC (m S/cm)	line direction	SC(mA) = 0.19387 + 0.03462*EC	0.27981	1.00607
	line vertical direction	SC(mA) = 0.19608 + 0.03411*EC	0.26167	1.06574
temperature (°C)	line direction	SC(mA) = -1.1281 + 0.12284*Temp.	0.32662	0.99046
	line vertical direction	SC(mA) = -1.14069 + 0.12336*Temp.	0.31126	1.04936

지 않는다고 판단된다.

- 3) 미주전류와 함수비, 전기전도도, 온도는 모두 양의 상관관계를 보였으나, 낮은 상관관계를 보였다. 이는 대지고유저항에 영향을 미치는 인자 중 고려되지 않은 계질, 토질 등의 요인에 의한 것이라 판단된다.
- 4) 송전계통별로 측정된 미주전류는 전압별로 특별한 상관성을 보이지 않았으나, 이상전류로 판단되는 미주전류를 제외한 모든 송전계통에서 대체적으로 유사한 미주전류 분포를 보였다.

본 연구는 송전철탑의 정상전류 하에서 토양으로 흐르는 미주전류만을 측정하여 전기뇌관의 안전성을 분석하였으나 실제 발파현장에서는 표토가 제거된 압반이므로 압반에 대한 조사와 터널 및 지하공간의 전력설비에 의해 발생하는 미주전류(누설전류)에 의한 전기뇌관의 안전성 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

사 사

이 연구는 2002년 조선대학교 교비지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

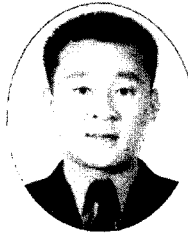
참고문헌

1. 한국전력공사, 2004, 간추려 본 한국전력.
2. 원연호, 이익주, 이상현, 2000, 뇌관의 정밀성 및 안전성에 대한 연구, 대한화약 발파공학회지 18.2, 23-34.
3. E. I. du Pont de Nemours & Co.(Inc.), 1980, BLASTERS' HANDBOOK 16th, 175~183.
4. Gary B. Hemphill, 1981, BLASTING OPERATIONS, McGraw-Hill Book, 213~232.
5. 박규홍, 1999, 전력전송공학, 동일출판사, p25.
6. 안상로, 류신우, 2001, 토질시험법의 방법과 해설, 과학기술, 332~361.
7. 한국산업규격, 2003, KSM 4803.



강 추 원

1973년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1981년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
1999년 강원대학교 대학원 자원공학과 공
학박사
Tel: 062-230-7117
E-mail: cwkang@mail.chosun.ac.kr
현재 조선대학교 자원공학과 교수



박 현 식

1997년 조선대학교 공과대학 자원공학
과 공학사
2000년 조선대학교 대학원 자원공학과
공학석사
Tel: 062-230-7876
E-mail: phs821@shinbiro.com
현재 조선대학교 자원공학과 박사수료



김 영 석

2002년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
Tel: 062-230-7876
E-mail: dynamite77@hanmail.net
현재 조선대학교 자원공학과 석사과정