

유/무기 복합재료형 접지저감제의 특성

(Characteristic of organic/inorganic composite formed grounding resistance lowering agents)

김장욱* · 정철희 · 조대훈

(Jang - wook Kim* · Chul - hee Chung · Dae - hoon Cho)

요 약

본 연구는 무기재료 중 층상형 점토를 사용하고 유기물질로는 수용성고분자를 주재료로 이용하여 제조한 새로운 형태의 접지저감제의 특성에 관한 것이다. 위 접지저감제는 수분을 흡습하게 되면 수용성 고분자가 수분에 용해되어 고분자 체인들이 수분에 분산되며 이 분산된 고분자 체인들이 수분과 함께 층상형 점토의 층으로 삽입되는 과정으로 성능을 발휘하게 된다. 이렇게 제조된 유/무기 복합재료형 접지저감제는 함수율이 매우 우수하고 팽창률도 우수할 뿐 아니라 300wt%의 수분을 공급 후 측정된 전기전도도도 우수하여 접지저감제로서의 장점을 가지고 있다. 접지시스템에 시공시 기존의 저감재보다 적은 양을 사용하여 동일한 접지저항을 얻을 수 있으며 환경적으로나 화학적으로 매우 안전하여 접지봉의 부식이나 전식을 방지할 수 있어 토양의 오염도 방지한다. 또한 부재료로 사용되는 여러 종류의 실리카를 이용하여 주재료와 함께 접지시스템에 작용하여 낮은 접지저항을 얻는데 시너지효과를 발휘하며 염분 및 부식성이 높은 화학이온 성분을 갖는 토양에서도 안정적인 접지저항을 나타내는데 도움을 준다. 실제 시공 비교에서 일반 접지동봉에 적용하였을때 미사용시보다 7~8배의 접지저항 저감 효과를 보였다.

Abstract

Among inorganic materials, it is gronuding resistance lower agent of new form that use being strata style clay and makes using water soluble polymer by main material to organic substance. Water soluble polymer chains are dispertion in water because water soluble polymer reacts with water if is done and these discrete polymer chains are inserted to floor of being strata style clay with water. This material that moisture content is very excellent and rate of expansion, electrical conductivity that measure after supplies water of 300wt % as well as is excellent. Can prevent corrosion or electrolytic corrosion of gronuding bar securing very environmentally, chemically and pollution of soil. When applied to general grounding rod worker 7 ~ 8 times ground resistance reduction effect of not application.

1. 서 론

접지는 전기, 전자, 통신설비 기기와 대지 사이에 확실한 전기적 접촉을 실현하는 기술이다. 접지의 설치는 접지전극이 대지와 사이에 전기적 저항(접지저항)을 갖고 있기 때문에 지락전류에 의해 접지 전극 주위에 전위 상승이 발생하여 여러 가지 장애를 일으키게 된다 이상적으로는 접지저항이 '0', 즉 전위상승이 '0'이 되게 되면 아무런 장애가 발생

하지 않으나 현실적으로는 있을 수 없는 일이다. 따라서 이러한 장애를 없애려는 것 즉, 전기기기를 대지와 동일한 전위로 하는 것으로서 그 기기의 전위를 대지와 등전위 또는 최소한의 전위차로 하기 위한 것이 접지의 주목적이 되는 것이다. 일반적으로 접지는 낙뢰의 피해방지라는 의미에서는 널리 알려져 있으나 실제적으로 어떠한 시스템으로 안전사고를 방지하며 어떠한 방식들이 있는 지에 대해서는 크게 고려하지 않는다. 접지시스템을 구축하는 이유로 하나는 인체보호를 들 수 있다.

이를 일반적으로 보안용 접지라 하며 인간의 보호를 주목적으로 하여 전기설비나 전기기기의 안전도 동시에 확보하게 시스템을 구축한다. 다른 하나는 기능용 접지라고 통칭하며 전기·전자·통신 설비 기기의 안정된 가동을 확보하는 것을 주목적으로 한다. 그 중 접지저감제를 사용하는 접지시공은 다른 시공 방법들 중 가장 독창적이면서도 효과면에서 우수하다. 저감제 방식은 상당히 오래전부터 사용되었는데 최초에는 인식의 부족으로 오히려 악영향을 가져오는 재료들을 사용하여 부작용이 있기도 하였다. 현재에도 접지저감제의 인식의 부족으로 인한 주먹구구식의 접지공사로 인해 시공을 하고도 피해를 보거나 보강공사를 해야 하는 일들이 발생한다. 이에 기기나 사람을 보호하기 위한 접지시스템의 설치에는 대지저항률 분석이나 임피던스 분석과 접지재료의 안전상 고려 등의 사전작업이 필요하며 사전작업에서 얻어진 자료를 바탕으로 하여 접지설비를 하여야 한다.

접지 시스템이 불량하여 전위 상승에 따르는 장애로서 최악의 경우는 감전사고 발생이 있으며 기기에 대해서는 손상, 잡음 (Noise) 발생, 오동작 등이 발생하게 된다. 구체적으로 비가 많이 오는 여름철이나 심한 먹구름(적란운)을 동반하는 날씨에서는 교통 신호등의 오동작, 순간적인 정전, 전주 위에서의 변압기나 고압선의 방전 (arc), 라디오 전파 혹은 무선전파 등의 불량 송·수신(잡음현상), 사무실내에서의 O·A 기기의 순간 정전 등이 이러한 접지 시스템이 불량하거나 순간적인 서지 (Surge)현상에 의해서 나타나는 것이다.

2. 본 론

2.1 접지저감제

접지저감제는 공사지점토양의 화학적 처리를 시행 대지저항률을 저하시켜 접지저항을 감소하는 역할을 한다. 접지저감제 방식은 크게 천연물과 화학적처리로 나뉘는데 최근에는 환경적인 영향과 접지동봉의 부식과 전식의 영향을 고려하여 천연 저감제의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 접지저감제의 조건은 다음과 같다.

- ① 안전할 것
- ② 전기적으로 양호한 도체일 것
- ③ 지속성이 있을 것
- ④ 접지 전극을 부식시키지 않을 것
- ⑤ 작업성이 좋을 것
- ⑥ 경제적인 것

2.2 저감제 접지의 구조

저감제를 이용한 접지의 구조는 접지 전극 주위에 저감제를 첨가하여 유사 접지 전극을 만든 후 저감제를 이용하여 접지 전극 주위의 토양을 양호한 전도성을 지닌 대지로 만들어 가는 것이다.

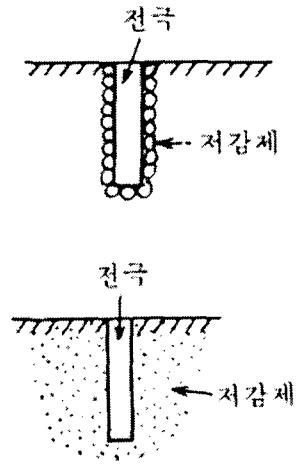


그림 1. 저감제 접지의 구조

Fig. 1 Structure of grounding resistance lowering agents as grounding

그림 1.은 접지저감제를 사용하여 접지를 시공하는 방식에 대한 것이다.

접지저감제 시공법은 크게 4가지로 나뉘는데 시공법은 다음과 같다.

① 타입법

접지 전극을 타입할 구멍에 저감제를 유입 전극의 틈새로 저감제를 주입

② 보링법

지반을 천공하여 선 혹은 띠 전극을 설치 그 속에 저감제를 타설

③ 수반법

접지 전극 주위 대지에 저감제 도포하는 방법

④ 구 법

접지 전극 주위에 여러 홈을 판 후 속에 저감제를 유입

2.2 재료의 특성

2.2.1 몬모릴로나이트(Montmorillonite)

몬모릴로나이트(이하 MMT)는 광물학적으로 스멕타이트 그룹(smectite group)에 속하는 운모형태(mica type)의 층상 규산염(layer silicate) 광물로서 층상형태의 점토이다. MMT는 화학조성이 매우 복잡한 광물이며 개개의 층 내에서는 규소(Si) 원자들이 각각 4개의 산소원자들에 의해 둘러싸여 사면체를 이루고 있으며, 이들 4개의 산소원자 가운데 3개의 산소원자가 각각 이웃하고 있는 사면체에 동시에 속하는 형태이므로 끊임없는 이차원적 사면체층이 형성된다. 층간에는 Na, Ca, K등이 들어가며 교환성 양이온이다. 이 결정구조는 삼층구조의 구조층간에 교환성 양이온이 끼어 있는 것으로 품질에 따라 차이는 있지만 70~150meq/100g의 양이온교환능력을 가진다. 양이온 교환능력에 따라 MMT의 함수능력과 팽윤 능력의 대부분이 정해진다.

그림 2.는 MMT의 구조를 나타낸 그림이며 그림 3.은 MMT의 결정 구조를 나타낸 그림이다.

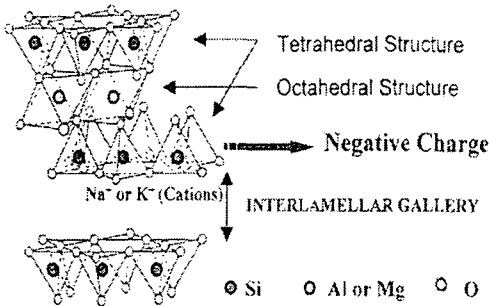
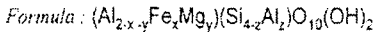


그림 2. MMT의 구조

Fig. 2 Structure of Montmorillonite

MMT의 물성은 일반적인 토양들과는 다른점이 많은데 그 중 몇가지를 살펴보면 먼저 수분흡습성을 들 수 있다. 일반적인 MMT의 수분흡수율은 체적의 3배에서 6배까지 가능하다. 이러한 특성으로 인해 팽윤성도 일반적인 암석이나 토양과는 특성 차이가 크다. 층상형 점토이기 때문에 층내에 수분을 저장할 수 있는 능력이 우수하며 수분을 저장하며 층간 거리가 증가하여 팽윤하게 되는 것이다. 수분과의 반응으로 발생하는 또 하나의 특성은 gel을 형성한다는 것이다. 적당량의 수분을 흡습하게 되면 끈적한 물성을 나타내며 점착성을 가진다. 이러한 성질로 인해 접지저감제로서 사용

될시 여러 가지 장점들이 있다. 수분을 흡습하여 전기적으로 양호한 도체가 되어 전기적인 충격을 완화시킬 수 있으며 gel을 형성하여 수분을 장시간 함유할 수 있기 때문에 시공 후 안정적인 접지저항 수치를 장시간 가질 수 있다. 이러한 gel형성 특성은 접지봉에 공간이 없이 밀착하여 접지봉의 부식이나 전식을 예방할 수 있으며 이물질의 침입에 의한 접지성능 저하 현상도 방지한다. 또한 주어진 수분을 함유하기만 하는 것이 아니라 주변에 수분을 다시 낼 수 있는 능력을 가져 주변 토양의 수분함량이 낮아진 때에도 안정적인 접지성능을 발휘할 수 있다. 이러한 성질은 건축자재로 MMT와 토사 또는 시멘트와의 혼합이 지하구조물의 방수에 응용이 되었을 때 방수 내지 차수효과는 물론 지층의 움직임에 적응하는 신축성이 있으므로 댐의 차수벽이나 건축물 지하층에 이상적인 소재로 활용되고 있는 것으로도 알 수 있다.

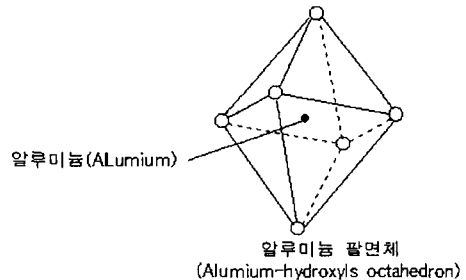
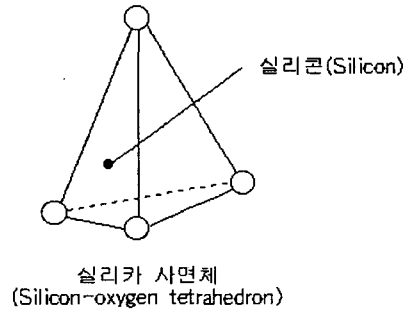


그림 3. MMT의 결정구조

Fig. 3 Structure as crystalline of Montmorillonite

2.2.2 수용성고분자

고분자는 적게는 수백, 수천에서 수백만개 이상의 단량체(monomer)들이 모여서 생성된 거대분자이다. 일반적으로 유기화합물들이 많은데 최근에는 유기물과 무기물의 합성물도 고분자화합물이라고 하고 있다. 플라스틱은 고분자의 한 부분이지만 일반적인 인식은 플라스틱과 고분자를 동일하게 여긴다. 플라스틱은 합성수지로 만들어져 대부분 불용성이다. 그러한 고분자들과 달리 수용성 고분자의 가장 큰 특징은 수분과 반응하여 용해되어 gel을 형성하거나 고분자 체인에 수분을 담아둘 수 있는 고분자이다. 수용성고분자의 가장 큰 특징은 수용액 상에서 그 고분자의 특성을 나타내는 것에 있다. 수용성고분자는 사슬의 말단에 -OH기(하이드록실그룹 : hydroxyl group)가 붙어있어 수분과 반응하여 녹게 되는데 체인의 -OH기를 조절하여 수분에 녹는 정도를 조절도 가능한데 녹은 고분자 물질과 녹지 않은 불용성 고분자의 역할에 따라 독특한 물성을 나타낸다. 본 연구에 사용된 수용성고분자는 폴리비닐알콜 (Polyvinylalcohol : PVA)로 반응기 말단에 -OH기를 가지고 있어 물과 반응하여 용해되며 비닐기들의 연속 체인이 gel상을 만드는 역할을 하게 된다.

2. 3 실험

2.3.1 함수율

함수율 측정은 ASTM에 등록되어 있는 두 가지 공인된 방식으로 측정하였는데 첫번째 방식은 최대 함수율 측정법 (The maximum water content)으로 ASTM D2216-98 [Standard Test Method for Lab. Determination of Water(Moisture) Content of Soil, Rock by Mass] 을 기준으로 하였으며 두번째 방식은 수분 분석기를 이용한 기기 측정방식으로 ASTM D4944-98 [Standard test method for determination of water(moisture) content of soil, rock by the microwave oven method] 이며 사토리우스사 (Sartorius)의 수분측정기 (moisture analyzer)를 사용하여 측정하였다. 두가지 방식으로 측정한 데이터의 평균으로 함수율을 구했다.

함수율 계산 방식은 건조 중량에 대한 수분 중량비를 퍼센트로 표시하는 건시료 중량 기준 (Dry-weight-basis)을 통상적으로 사용하고 있으나 수분을 포함한 총 중량에 대한 함유 수분비를

퍼센트로 표시하는 습시료 중량 기준 (Wet-weight-basis)도 많이 사용하고 있다. 그러나 "포화 함수율에서의 상대 함수율"이나 "주위 공기의 상대습도에 의한 평형 함수율" 등 함수율과 관련된 많은 정의가 생겨나고 있으며, 최근에는 시료의 총 체적에 대한 함유 수분 체적비를 퍼센트로 표시하는 체적 함수율도 일부 사용되고 있다. 이와 같이 다양한 함수율 측정법에 대한 상관관계를 간단히 식으로 나타내었다.

1) 중량법에 의한 함수율 측정

a. 건시료 중량 기준법 계산식

$$Mdr(\%) = MH_2O \times 100 \dots \dots \text{식(1a)} Mdr$$

Mdr : 건조 시료 중량

(=습시료 총중량 - 함유 수분 중량)

MH₂O : 함유 수분 중량

(=습시료 총중량 - 건조 시료 중량)

b. 습시료 중량 기준법 계산식

$$Mwt(\%) = MH_2O \times 100 \dots \dots \text{식(1b)} Mtot$$

Mtot : 습시료 총중량

MH₂O : 함유 수분 중량

(=습시료 총중량 - 건조 시료 중량)

2) 체적법에 의한 함수율 측정

$$Mvol(\%) = VH_2O \times 100 \dots \dots \text{식(2)} Vtot$$

Vtot : 습시료 총 체적

VH₂O : 함유 수분 체적

2.3.2 팽윤도

팽윤도는 접지저감제의 사용량을 줄일 수 있는 척도가 된다. 즉, 저감제식 접지시공은 접지시공을 하는 곳에 천공공사를 한 후 접지봉을 설치하고 접지봉 주위에 접지저감제와 체류제를 충전시킨 후 복토를 하는 것으로 마무리를 한다. 접지저감제나 체류제의 양을 줄일 수 있다면 전체적인 접지 시공비를 줄일 수 있다.

팽윤도는 접지저감제가 완전하게 건조된 상태에서 10g을 500ml 매스실린더에 넣고 물 200ml를 부어 저감제에 완전하게 수분이 흡수될 수 있도록 교반을 한 후 침전이 된 상태에서 높이 증가분을 측정하였다. 팽창율을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{팽창율}(\%) = \frac{(\text{수분투입후의 높이}) - (\text{최초높이})}{(\text{최초높이})} \times 100$$

2.3.3 접지저항

접지저항을 측정하기 위해서는 대지저항률을 측정하여 시스템을 설계하여야 한다. 대지저항률은 접지시스템에 가장 중요한 요소이며, 대지저항률의 측정치는 토양 구조, 토양 성분, 측정 장소에 따라 큰 차이를 나타내므로 현장에서 신뢰성 있는 대지저항률을 측정하는 것이 매우 중요하다. 접지시스템을 설계함에 있어 가장 중요한 요소는 대지저항률의 측정이다. 대지저항률의 단위는 $[\Omega \cdot m]$ 로 표기되며 각 면이 1m인 정육면체 토지의 2개의 양면사이의 저항으로 정의된다. 대지저항률은 Wenner 4전극법을 이용하여 측정하였으며 측정기는 AEMC 4500이다.

wenner 4전극법에 대한 대지저항률 계산식은 다음과 같다.

$$\text{대지저항률} = 2\pi AR = 6.28 \times A \times R \ (\Omega \cdot m)$$

단. 6.28 : 상수

R : 측정기로부터 읽은 저항

A : 탐침 간의 거리

이상의 설명으로 측정된 측정 장소의 대지저항률의 수치는 $845[\Omega \cdot m]$ 이다. 접지저항 측정을 위하여 구리동봉($\phi 55, 2.2t, 1.5m$)을 사용하였다. 천공은 $\phi 15$, 깊이 3[m]로 하였다.

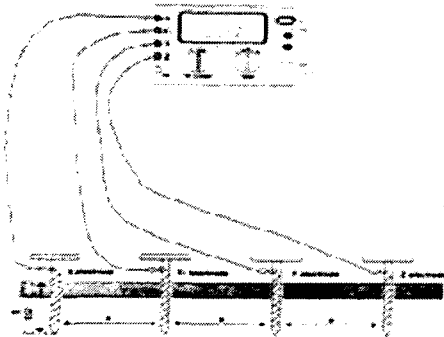


그림 4. 대지저항률 측정도

Fig 4. Diagram of measure ground resistance

접지저항의 측정은 그림 5. 와 같은 방식으로 측정하였다. 접지저항 측정방식 중 가장 확실한 측정법은 3점 전위차 측정법(3-Point Fall of Potential)

으로 2개의 측정 탐침 전극을 이용하여, 측정하고자 하는 접지봉으로부터 일직선상으로 원거리로 이격된 지점(Z)점에 고정으로 탐침 하나를 박아 놓고 다른 하나(Y)점을 일정간격으로(Z)점을 향해 박아 나가며 측정하는 방법이다. 측정 원리는 측정하려는 접지시스템(X)과 원거리 점(Z)점에 고정된 측정전극(Z) 사이로 장비의 전류 원에서 일정한 전류를 공급하고, 다른 한 개의 측정전극(Y)은 접지봉(X)과 측정전극(Z)사이에서 일직선 등거리 간격으로(Z)점을 향해 대지에 박아 접지봉(X)과 측정전극(Y) 사이의 전압 강하를 측정하는 것이다. 디지털 접지저항 측정기인 AEMC 4500에 의한 3점 전위 측정법으로서 그림 3.은 3점 저항측정의 구성도를 나타낸다.

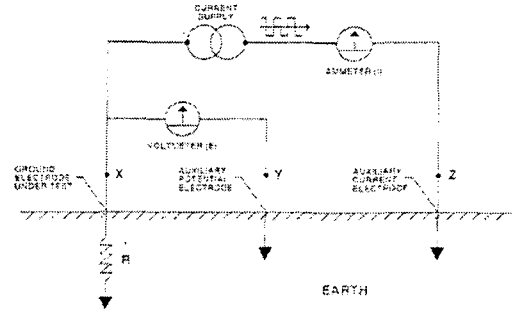


그림 5. 접지저항 측정도

Fig. 5 Diagram of measure grounding resistance

3. 결 론

실험 결과 유/무기 복합재료형 접지저감체의 함수율은 순수한 MMT보다 함수율이 3배정도 증가하였으며 팽창율도 30~40%이상 증가하였다. 또한 가장 중요한 접지저항에서도 3배이상의 효과를 나타내었다. 층상형 점토인 몬모릴로나이트 층상에 수분이 들어갈때 층 간격이 넓어지면서 그 사이로 물에 용해된 수용성고분자 체인이 들어가 층을 더욱 확장시킴과 그 확장된 층으로 수분이 흡수되어 단독인 경우보다 함수율이 향상된다. 즉 무기물인 몬모릴로나이트의 층상에 유기물질인 수용성 고분자가 층상에 고정되어 층상 삽입형 유·무기 복합재료가 되는 것이다. 또한, 용해되지 않은 수용성고분자는 MMT간의 사이에 그물과 같은 연결 작용을 하여 MMT자체의 함수율을 외에 분말과 분말사이에서 수분을 잡아 함수

율을 더욱 높이는 역할을 한다. 더욱이 접지저항 저감제의 재료들은 모두 환경적으로 안정적이며 물리·화학적으로도 안정하여 접지봉을 부식시키지 않고 수분을 흡수한 후 겔을 형성하므로 체류제가 별도로 필요하지 않으며 외부로 유출되지도 않는다. 시멘트 계열의 접지저항 저감제와 같이 단단하게 굳지 않아 경화제가 필요하지 않으며 시공 후 양생기간도 필요하지 않아 시공즉시 성능을 발휘할 수 있고 추후 보강공사도 용이하다. 일반적인 흡습성 고분자의 경우에는 겔 형성만을 형성하고 물에 용해되지 않기 때문에 층상 삽입형 유기·무기 복합재료로 합성이 되지 않는다는 것에 여타 저감제와 차이가 있다. 여기에 몬모릴로나이트와 수용성고분자 두 가지 물질이외에 대지 저항율을 낮추고 접지시공시 접지저항율을 낮춰주는 보조물질로 수분 흡습이 가능한 실리카 (silica)와 전기적인 성질을 도와주는 실리카 등의 충전제 등을 사용하여 접지저항 저감제의 추가효과를 확인하였다.

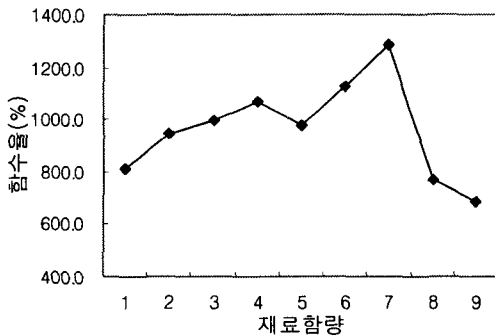


그림 6. 함수율 측정

Fig. 6 Graph of water contents result

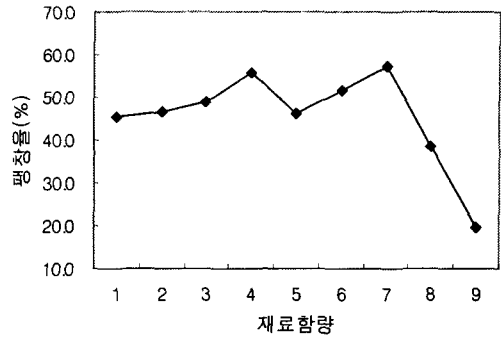


그림 7. 팽창율 측정

Fig. 7 Graph of swelling test result

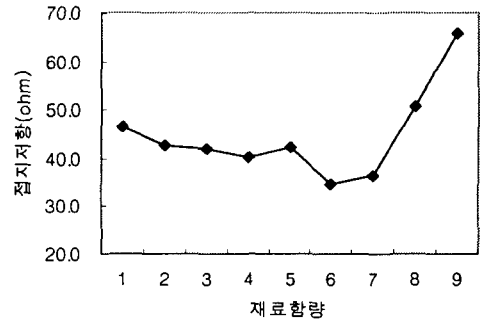


그림 8. 접지저항 측정

Fig. 8 Graph of grounding resistance result

표 1. 합성 비율에 따른 저감제의 성능

Table 1. The results as mixing ratio to the grounding resistance lower agents

	합성 비율								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
몬모릴로나이트	95	90	90	85	85	80	80	100	50
수용성고분자	5	10	5	10	5	15	10	0	50
실리카 보조제	0	0	5	5	10	5	10	0	0
함수율(wt%)	814	944	994	1074	974	1125	1284	764	684
저항률(Ω·m)	2.17	2.07	1.84	1.74	1.88	1.81	1.68	2.44	8.73
팽윤도(%)	45.4	46.5	48.7	55.7	46.0	51.4	57.4	38.4	16.9
접지저항(Ω)	15.6	12.7	12.1	11.4	12.5	11.1	10.8	31.4	57.5

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std. 81, "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Groud System", 1983
- [2] David M, Volz "Morden Land Mobile Communications Site Grounding" Telecomputer Energy World Proceeding, 1995
- [3] Cox, H. L., Br. J. Appl. Phys., 3, 72 1999
- [4] E. Hackett, E. Manias, E.P. Ginnelis, J. Chem. Mat., 12, 2161 (2000)
- [5] 신동호, 김 용, 이은영, 김필수, 조대훈, "3-가지 접지방식에 대한 접지특성 비교", 전기학회논문지 49 권 6호, 2000. 06,
- [6] 신동호, 김 용, 정철희, 조대훈, " 지질분석에 따른 접지 방식별 특성연구", 대한전기학회논문집 PP1293~1296, 1999
- [7] 박우현, 이기식, 조대훈, "노이즈 간섭의 효율적 제거를 위한 접지시스템 구축 방안 연구", 대한전기학회논문집 2001. 11.
- [8] 최세하, "알기쉬운 접지기술 실무", 진한도서. 1998
- [9] 高橋建彦, 이형수역. 接地設計入門, オーム社, 동일출판사, 1993
- [10] 高橋建彦, 이형수역. 接地技術入門, オーム社, 동일출판사, 1995
- [11] XIT 접지 시스템, 한국xit(주), 2003