

유·무기 복합재료를 이용한 접지저감제의 성능 비교

조대훈*, 이기식, 김장욱,
단국대학교 전기공학과, 한국XIT(주).

Comparison of efficiency the grounding resistance enhancement materials used organic · inorganic composite

DH Cho*, K.S. Lee, JW Kim**
DanKook University*, XIT Korea. Co. Ltd**

Abstract

본 연구는 접지저감제의 성분으로 수용성고분자의 유기물과 층상형 점토의 무기재료를 주재료하여 새롭게 개발한 새로운 형태의 접지저감제의 성능비교에 관한 것이다. 신개발의 접지저감제는 수분을 흡습하여 수분에 용해된 수용성고분자가 수분과 함께 층상형 점토의 층으로 삽입되어 접지저감 성능을 발휘하게 된다. 본 연구의 유·무기 복합재료형 접지저감제는 함수율과 팽창률이 매우 우수할 뿐 아니라 300wt%의 수분을 공급 후 측정된 전기전도도도 매우 뛰어나다. 또한 환경친화적인 천연재료들이므로 인체나 환경에 매우 안전하며, 접지전극의 부식과 전식을 방지하는 기능이 매우 뛰어나 염해나 화학적으로 부식성이 높은 토양에서 큰 장점을 갖는다.

본 논문에서는 신개발의 접지저감제와 기존의 여러 접지저감제의 성능을 비교 분석하였다. 이를 위해 현장의 대지저항율을 측정 분석하여 각각의 접지저감제의 접지설계에 적용하여 시뮬레이션하였으며, 시뮬레이션 결과와 현장에서 실제 시공한 측정 결과와 비교 분석하였다.

1. 서 론

오늘날의 기술 및 장비의 비약적인 발전을 통해 이룩한 정보통신 사회에서 접지시스템의 중요성과 역할은 날이 증대되고 있으며, 다양한 정보서비스는 물론 홈 오토메이션을 통해 삶의 질과 생활의 편리성을 높여가고 있다. 하지만 설비의 소형화와 대용량화를 통해 운용되는 종합 시스템 네트워크는 설비간의 노이즈 간섭 및 외부 서지에 매우 취약한 특성을 나타내며 오동작 및 설비 보호에 대한 대책이 절대적이다^[8].

따라서 이와 같은 문제를 해결하고 안정적으로 설비를 운용하고 보호하기 위한 인프라 구축 차원에서 안정되고 신뢰성 있는 접지시스템은 절대적이다.

이러한 접지시스템의 성능과 효과는 설치 면적, 수량 그리고 포설 형태 등에 따라 크게 영향을 받으며, 강한 서지나 뇌전류 유입시 인접 설비에도 영향을 미치게 된다. 그러므로 제한된 공간을 지닌 도심지나 건물 밀집지역에 접지시스템을 구축할 때 접지전극의 면적과 접지봉의 수량을 최소화하여 접지성능을 얻는 것은 매우 중요하다. 현재 다양한 성능의 접지방식과 접지저감제가 현장에서 사용되고 있지만 각각의 접지제품에 대해 효과적으로 성능을 분석한 자료는 많지 않다.

본 연구에서는 새롭게 개발된 유·무기 복합재료형 접지저감제의 성능과 특성을 확인하였고, 보조적으로 접지시스템의 성능을 개선시켜주는 여러 가지 접지저감제의 성능에 대하여 비교 고찰하였다.

이를 위해 접지저감제를 이용한 접지 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하고, 실제 현장에 적용하여 정확한 성능과 효과를 비교 확인하였다^[10-12].

현장의 토양 분석은 4-점 웨너법(Wenner)으로 실측된 데이터를 SES사의 CDEGS의 RESAP S/W를 이용하여

다지층 구조로 분석하여 정량적인 대지저항률을 얻었다.^[11-13] 이 대지저항률 데이터를 접지설계에 적용하여 CDEGS의 S/W를 통해 시뮬레이션 하였으며, 현장에 실제로 시공하여 그 성능을 확인하였다.

이를 통해 설계 시뮬레이션 결과와 실제 현장 시공 결과와 비교 분석함으로써 안정되고 신뢰성 있는 접지시스템의 성능을 얻기 위한 최고 성능의 접지저감제를 제안하였다.

2. 본 론

2.1 접지 저감제의 성분

접지저감제는 접지성능을 높이기 위한 보조제이다. 접지전극 주위의 토양 내에 도전성 물질을 첨가함으로써 화학적으로 접지전극 주위의 대지저항률을 개선하여 접지저항을 낮추고 접지전류의 토양내 방전성을 높인다. 접지저감제의 종류는 화학적으로 처리된 화학성분의 저감제와 자연에서 추출한 천연성분의 저감제가 있다. 접지성능을 개선하는 대표적인 저감제에 사용되는 성분들은 다음과 같은 것들이 있다^[6-7].

- ① 염분에 의한 접지저감제
- ② 목탄에 의한 접지저감제
- ③ 화학반응체에 의한 접지저감제
- ④ 도전성 콘크리트에 접지저감제
- ⑤ 광물 성분에 의한 접지저감제
- ⑥ 자연 추출물에 의한 접지저감제 (유·무기복합재료)

최근에는 환경적인 영향과 접지전극의 부식 및 전식의 영향을 고려하여 안전하고 뛰어난 성능의 천연저감재료의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

이러한 접지저감제의 조건은 다음과 같다.

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

접지저감제는 토양에 물질을 첨가하는 것이므로 토양의 오염, 환경의 유해성 그리고 사람과 가축, 식물에 대해 안전한 재료가 필수적이다.

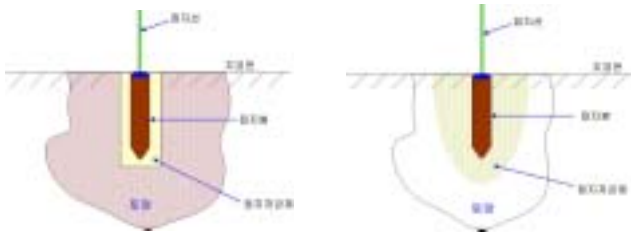
현재는 여러 결점들을 보완한 자연추출의 천연성분 저감제나 혹은 화학적으로 안전하고 뛰어난 성능의 저감제들이 개발되어 있다^[10].

2.2 접지저감제 처리 구조

접지저감제를 활용한 구조는 접지 전극 주위에 저감

제를 첨가하여 저감제를 통해 유사 접지 전극을 만든 후 접지 전극 주위의 토양을 양호한 전도성을 지닌 토양으로 만들어 가는 것이다^[6-7].

(그림2-1)은 접지 전극에 대한 접지 저감제의 첨가하여 구성한 유사접지 전극을 나타낸다.



(그림2-1) 접지저감제의 처리 구조

Fig. 2-1 Structure of grounding resistance lowering agents as grounding

(그림2-1)에서와 같이 접지 저감제를 이용한 접지형태는 접지전극과 함께 직접 넣는 경우와 접지 전극 주위에 살포하여 저감 효과를 얻는 경우의 유입법과 접지 전극 주위에 접지저감제를 얇게 도포하여 저감 효과를 얻는 체류조법 형태가 있다.

접지 저감제 시공법은 크게 6가지로 나뉘며 시공법은 다음과 같다.

- ① 타입법 : 접지전극을 타입할 구멍에 저감제를 유입 전극의 틈새로 저감제를 주입
- ② 보링법 : 지반을 천공하여 선 혹은 띠 전극을 설치하여 그 속에 저감제를 타설
- ③ 수반법 : 접지전극 주위 토양에 저감제를 살포하는 방법
- ④ 구 법 : 접지전극 주위에 여러 홈을 판 후 저감제를 유입
- ⑤ 매설지선의 체류조법 : 접지매설지선에 저감제를 도포하고 되메우기를 하는 방법
- ⑥ 동관접지의 체류조법 : 접지동관에 저감제를 도포하고 되메우기를 하는 방법

2.3 유·무기복합재료 접지저감제

(신 개발의 접지저감제 - Exitllite)의 특성

2.3.1 Exitllite 접지저감제의 특성

신 개발의 Exitllite 접지저감제는 층상형 점토중 가장 우수한 물성을 가지고 있는 몬모릴로나이트(이하 MMT)와 수분과 반응하여 용해되어서도 그 성질을 발휘하는 수용성고분자의 거동에 의해 물성을 발휘한다. 몬모릴로나이트는 광물학적으로 스멕타이트 그룹(smectite group)에 속하는 층상 규산염(layer silicate) 광물로서 층상 형태의 점토이다. MMT는 화학조성이 매우 복잡한 광물이며 개개의 층 내에서는 규소(Si) 원자들이 각각 4개의 산소원자들에 의해 둘러 싸여 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 흡수능력과 팽윤 능력의 대부분이 정해진다. 그림 3.는 MMT의 구조를 나타낸 그림이며 그림2-4.은 MMT의

결정 구조를 나타낸 그림이다^[11-12].

MMT의 물성은 일반적인 토양들과는 다른점이 많은데 그 중 몇가지를 살펴보면 먼저 수분흡습성을 들 수 있다. 일반적인 MMT의 수분흡습율은 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 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 접지 성능 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 적용하는 신축성이 있으므로 댐의 차수벽이나 건축물 지하층에 이상적인 소재로 활용되고 있는 것으로도 알 수 있다^[11-12].

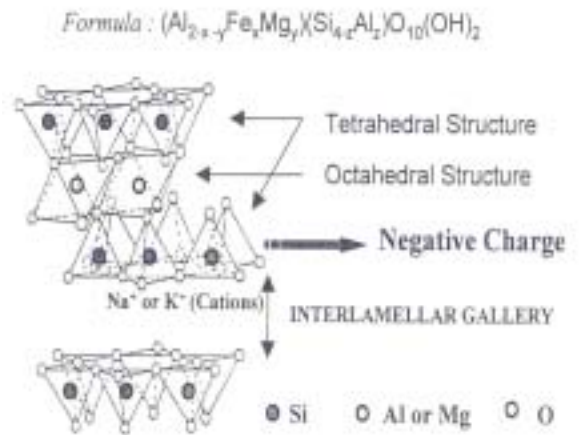
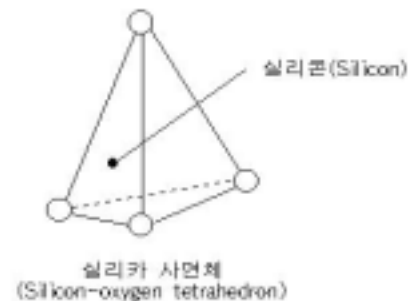


그림2-2. MMT의 구조

Fig.2-2 Structure of Montmorillonite



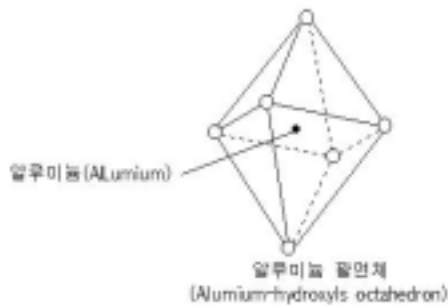


그림2-3. MMT의 결정구조
Fig.2-3 Structure as crystalline of Montmorillonite

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 수용성고분자의 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^[11-12].

2.3.2 특성 실험

(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 기기측정방식으로 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 측정된 데이터의 평균으로 함수율을 구했다. 함수율 계산 방식은 건조 중량에 대한 수분 중량비를 퍼센트로 표시하는 건조 중량 기준 (Dry-weight-basis)을 통상적으로 사용하고 있으나 수분을 포함한 총 중량에 대한 함유 수분비율을내용을 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. 건조료 중량 기준법 계산식

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

$$Mdr : \text{건조 시료 중량}$$

$$MH_2O : \text{함유 수분 중량}$$

$$MH_2O = (\text{습시료 총중량} - \text{건조 시료 중량})$$

- b. 습시료 중량 기준법 계산식

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

$$Mtot : \text{습시료 총중량}$$

$$MH_2O : \text{함유 수분 중량}$$

$$MH_2O = (\text{습시료 총중량} - \text{건조 시료 중량})$$

- 2) 체적법에 의한 함수율 측정

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

$$Vtot : \text{습시료 총 체적}$$

$$VH_2O : \text{함유 수분 체적}$$

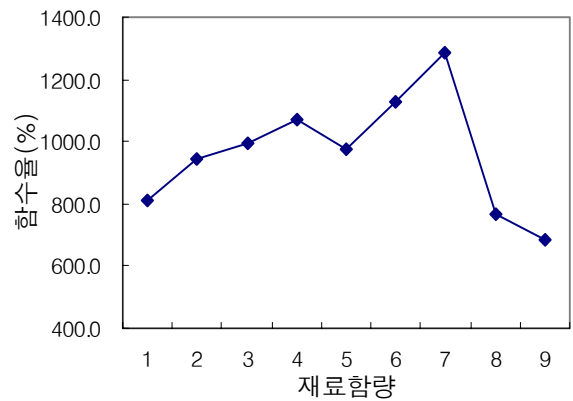


그림 2-4. 함수율 측정
Fig. 2.4 Graph of water contents result

재료들의 함량에 따라 함수율의 차이를 보이나 순수한 층상형 점토나 기존의 저감제들보다 40%~90%가 향상된 우수한 함수성능을 가진다.

(2) 팽윤도

팽윤도는 점지저감제의 사용량을 줄일 수 있는 척도가 된다. 즉, 저감제식 점지시공은 점지시공을 하는 곳에 천공 공사를 한 후 점지봉을 설치하고 점지봉 주위에 점지저감제와 체류제를 충전시킨 후 복토를 하는 것으로 마무리를 한다. 점지저감제나 체류제의 양을 줄일 수 있다면 전체적인 점지 시공비를 줄일 수 있다.

팽윤도는 ASTM D 5890(2002) Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners를 이용하여 측정하였다. 점지저감제가 완전하게 건조된 상태에서 10g을 500ml 매스 실린더에 넣고 물 200ml를 부어 저감제에 완전하게 수분이 흡수될 수 있도록 교반을 한 후 침전이 된 상태에서 높이 증가분을 측정하였다. 팽창율을 구하는 식은 다음과 같다.

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

팽창율 역시 기존의 저감제들 보다 30%~70%의 성능향상을 보여주고 있다. 함수율과 팽창율에서 우수한 성능을 보여줌으로서 많은 함수가 가능할 뿐만 아니라 수분유지력도 우수하여 점지저감제의 요건인 전도성을 가지게 되며 오랜 기간 안정적인 점지저항을 가져올 수 있

다. 또한 접지시공시 접지저감제의 사용을 줄여 국내에서 생산되지 않아 거의 전량을 수입하는 층상형 점토의 사용량을 줄여 접지시공시 시공비를 절감할 수 있다.

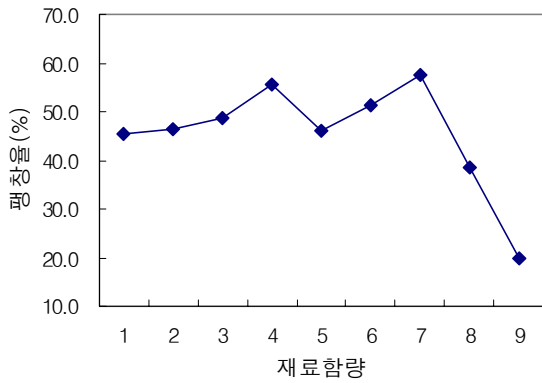
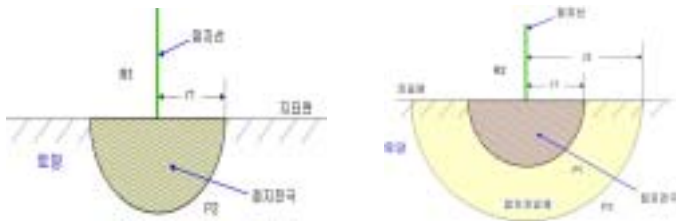


그림2-5 팽창율 측정
Fig. 2.5 Graph of swelling test result

2.4 접지저감제의 접지저항 계산

접지저감제의 저감 효과를 알아보기 위한 처리 모델로써 반구상의 전극 혹은 타원체 상의 전극을 사용하며, 저감제가 영향을 미치는 범위를 유효 반경으로 설정하여 다룬다. (그림2-6)는 접지저감제 효과의 처리모델을 나타낸다.



(a) 접지전극 (b) 저감제의 유사 접지전극
(그림2-6) 저감 효과 처리 모델

Figure 2.6 Model of chemical treated grounding Resistance Enhancement Materials

대지가 무한 원점까지 같은 물질로 구성되어 있으며, 모든 부분에서 대지저항률 ρ_2 가 일정하다고 하면, 반구상의 접지전극에 유입된 전류는 같은 모든 방향으로 균등하게 방사상으로 분산한다.

(그림2-6)에서 알 수 있듯이 반지름 r_1 의 반구상 접지전극이 2개의 다른 대지저항률 ρ_1, ρ_2 의 반구로 쌓여 있다. 각 경계층 속의 토양 특성이 같으면, 이 경계는 전극반구와 외부 동심 반구가 된다. ρ_2 는 원래 토양의 전체의 대지저항률이고, ρ_1 은 저감제로 처리된 지역 내의 대지저항률로 접지전극의 반지름 r_1 과 경계 반지름 r_2 사이 부분이 된다. (그림2-6b)의 모델을 이용하여 접지전극의 접지저항을 계산한다.

접지저항 R_1 은 접지전극 r_1 에서 무한 원점(∞)까지의 합성 저항이므로 다음식으로 표현된다^[6-7].

$$R_1 = \int_{r_1}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_2}{2\pi r_1}$$

단, ρ_2 = 대지저항률, r_1 = 접지 전극의 반지름, x = 이격 거리
화학 저감 처리된 접지전극 전체의 합성저항 R_2 는 접

지저항 R_1 의 전극 r_1 에서 r_2 까지의 접지저항과 r_2 에서 한 원점(∞)까지의 저항의 합이 된다.

접지저감제에 의한 합성 저항 R_2 는 다음 식과 같다.

$$R_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx + \int_{r_2}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx$$

$$= \frac{\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{\rho_2}{2\pi r_1}$$

$$= \frac{\rho_1 \cdot r_2 + (\rho_2 - \rho_1) \cdot r_1}{2\pi r_1 r_2}$$

단, ρ_1 = 저감 처리된 대지저항률, ρ_2 = 대지저항률, r_1 = 접지전극의 반지름, r_2 = 저감제 처리 전극의 반지름

위 식에서 화학 저감 처리하지 않은 접지 저항은 R_1 이 되고, 도전성 물질로 화학 저감 처리한 접지저항은 R_2 가 된다.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_1}{r_2} + \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right)$$

만일, 이면,

$$\rho_1 < \rho_2 \quad \frac{R_2}{R_1} \approx \frac{r_1}{r_2}$$

$$R_2 \approx \frac{r_1}{r_2} R_1 = \frac{\rho_2}{2\pi r_2}$$

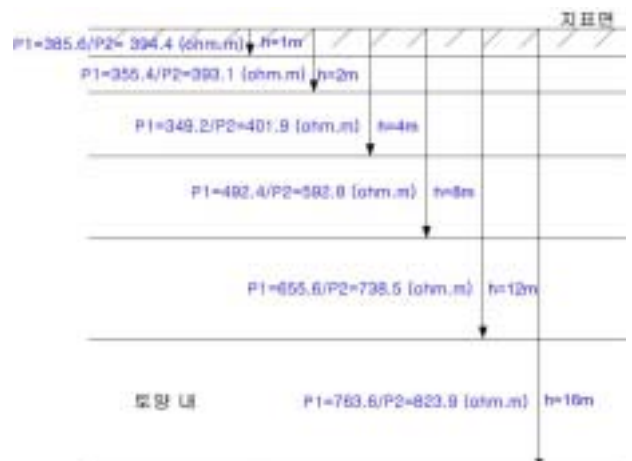
이와 같이 접지저감제를 이용하여 접지전극 주위의 대지저항률을 강제적으로 낮춤으로써 접지저항을 감소시킬 수 있다.

2.5 접지저감제의 접지 설계

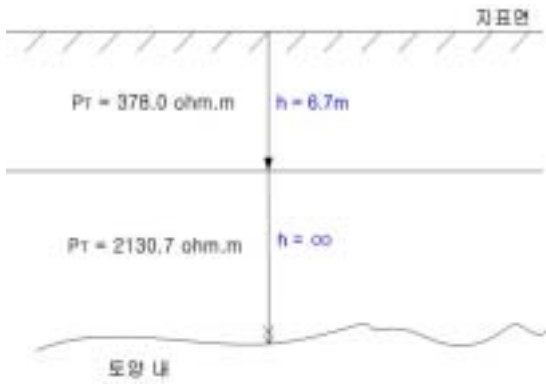
2.5.1 현장의 토양 분석 모델링

실제 설계 및 성능확인을 위한 현장의 토양 분석은 4-점 웨너법으로 실측된 현장의 대지저항률을 접지프로 그램 RESAP을 이용하여 분석하였으며 정량적인 대지저항률 값으로 모델링을 하였다.^{[1]-[2]} 측정된 대지저항률은 다지층의 구조 모델로 해석이 가능하며, 본 논문에서는 동일장소에서 교차하여 2번 측정된 대지저항률을 수평의 2-지층 구조로 분석하였다.

(그림2-7)은 지층 깊이별 측정치를 나타내고, (그림2-8)는 측정치의 2지층 분석 데이터를 나타낸다^[2-3].



(그림2-7) 대지저항률 측정치
Fig.2.7 Measured Data of Soil Resistivity



(그림2-8) 측정 대지저항률의 2-지층 구조 종합 분석
Fig 2.8 Horizontal-2 Layer Modeling

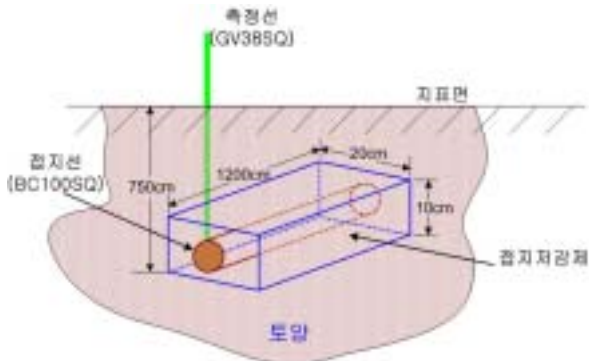
표 2-1 대지저항률 분석 결과

구 분	수평 2-층 구조		
	상층저항률[Ω·m]	하층저항률 [Ω·m]	지층 두께 [m]
1차 측정	400.7	3336.8	9.6
2차 측정	395.0	1625.8	6.0
합성 분석	378.0	2130.74	6.7
단일저항률	531.2		

표 2-1는 CDEGS 프로그램에 의한 2-지층 구조의 대지 저항률 해석 결과를 나타내며, 전체 측정치의 합성 분석 결과를 나타낸다^[1-2].

2.5.2 접지저감제의 설계 시뮬레이션

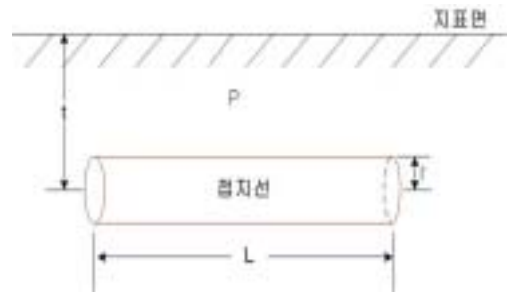
본 논문에서는 여러가지 접지저감제의 성분 중에서 도전성 콘크리트 계열과, 유·무기재료 혼합 계열의 접지저감제에 대한 성능을 설계 시뮬레이션하였다. 접지저감제 모델의 설계 구조는 접지선에 저감제를 도포하는 방식으로 이루어졌으며, 그에 따른 시뮬레이션은 CDEGS 프로그램으로 실행하였다. (그림2-9)는 접지저감제의 설계구조를 나타낸다.



(그림2-9) 접지저감제의 설계 구조
Figure 2.5 Design Structure of Grounding Resistance Enhancement Materials

(1) 매설지선의 접지 설계

매설지선의 전극은 지중 속에 접지선을 매설하는 방식이다. 접지저항은 선의 치수와 포설 길이 그리고 매설 깊이에 따라 달라진다. (그림2-10)은 매설지선 전극의 구조를 나타낸다.



(그림2-10) 매설지선 전극의 구조
Figure 2.10 Structure of Grounding Line Electrode

매설지선 전극의 구성은 접지선의 길이 L과 매설깊이 t 사이에 $t < L$, $r < < L$ 의 조건을 만족해야만 한다. 매설지선 전극의 접지저항 계산식은 일반적으로 다음식을 이용한다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{L}{r} \left[1 + \frac{\ln \frac{L}{2t}}{\ln \frac{L}{r}} \right]$$

단, ρ = 대지저항률, R = 접지선전극 저항, r = 접지선반지름, t = 매설깊이, L = 접지선길이.

(2) 도전성 콘크리트 접지저감제의 설계

도전성 콘크리트 계열의 접지저감제는 콘크리트 성분과 탄소섬유 성분의 접지저감제로서 지중속에서 경화되는 것이 특징이다. 이러한 계열의 접지저감제의 고유저항률은 제조사에서 0.1ohm.m[10] 로 제시하고 있으며, 지중 속에서 경화되므로 그 특성에 따라 선택하여 적용할 수 있다. 도전성 콘크리트 접지저감제의 설계는 (그림2-9)의 구조를 적용하여 활용되며, 접지저항 계산과 시뮬레이션은 CDEGS 프로그램을 활용하여 수행한다.

(3) 탄소성분의 도전성 콘크리트 접지저감제의 설계

탄소성분의 도전성콘크리트 접지저감제는 석유를 정제하는 과정에서 생성되는 고전도의 코크스를 원료로 사용하는 접지저감제이다. 콘크리트 계열이므로 지중에서 경화되는 것이 특징이며, 고유저항률은 제조사에서 20 ohm.cm로 제시하고 있다. 탄소성분의 도전성 콘크리트 접지저감제의 설계는 (그림2-9)의 구조를 적용하여 활용되며, 접지저항 계산과 시뮬레이션은 CDEGS 프로그램을 활용하여 수행한다^[10].

(4) 미네랄 성분 함유의 LynconiteII 접지저감제

LynconiteII 접지저감제는 XIT 접지시스템에 주로 사용되는 저감제로써 알루미늄, 규산염등 다양한 광물을 함유한 환경에 전혀 해가 없는 자연 추출물의 천연 점토(Natural Clay)로 이루어져 있으며, 단순히 접지저항만을 낮추기 위해 쓰이는 일반 접지저감제와는 달리 접지전극의 전식과 부식을 방지하고, 전도성이 우수하며, 자연환경에 해가 없는 소모되지 않고 50년 이상 접지성능을 안정되고 유지시켜 주는 뛰어난 접지 저감제이다. LynconiteII 접지저감제의 고유저항률은 1.7ohm.m^[9]이다. LynconiteII 접지저감제의 설계는 (그림2-9)의 구조를 적용하여 동일하게 활용되며, 접지저항 계산과 시뮬레이션은 CDEGS 프로그램을 활용하여 수행한다^[9].

(5) 유·무기복합재료의 Exillite 접지저감제

신개발의 Exillite 접지저감제는 층상형 점토 중 가장 우수한 물성을 가지고 있는 몬모릴로나이트(이하 MMT)와 수분과 반응하여 용해되어서도 그 성질을 유지하는

수용성고분자의 거동에 의해 물성을 발휘한다. 무기물인 몬모릴로나이트의 층상에 유기물질인 수용성 고분자가 층상에 고정되어 층상 삽입형 유·무기 복합재료가 되며, 용해되지 않은 수용성고분자는 MMT간의 사이에 그물과 같은 연결 작용을 하여 분말과 분말사이에서 수분 함유하여 함수율을 더욱 높이는 역할을 한다. Exillite 접지저감제의 고유저항률은 0.1 ohm.m 이며, (그림2-9)의 구조를 적용하여 설계에 활용되며, 접지저항 계산과 시뮬레이션은 CDEGS 프로그램을 활용하여 수행한다.

2.5.3 접지저감제의 설계 시뮬레이션 결과

(1) 접지저감제의 설계 시뮬레이션 구조

접지저감제를 이용한 접지설계는 (그림2-10)과 같은 매설지선에 접지 저감제를 도포하는 구조로 설계하였으며, 사용된 접지선은 BC100SQ로 길이-1.0m를 길이-0.75m로 매설하는 형태로 설계하였다. (그림2-11)은 설계 시뮬레이션 구조를 나타낸다.



(그림2-11) 매설지선 전극의 설계 시뮬레이션 구조
Figure 2.11 Design Structure of Grounding Line Electrode

또한 설계상의 접지저감제의 도포는 매설지선 전극 위에 폭-0.2m, 두께-0.1m, 길이-1.2m로 매설지선 위에 도포하는 형태로 구성하였다.

(2) 설계 시뮬레이션 결과

현장에서 측정 분석된 대지저항률을 적용하여 접지선 매설 전극에 도포된 접지저감제의 접지저항을 시뮬레이션하여 확인하였다.

(그림2-9)의 접지저감제의 설계 구조에 따라 모델링된 접지저감제의 계산치는 (표2-2)에 나타난다.

제조사에서 제시한 제품의 고유저항치와 매설된 접지전극에 도포된 구조를 통해 계산한 값이다.

(표2-2) 접지저감제 시뮬레이션 결과

	2지층 대지저항률 (Ω .m)	제시 고유저항 (Ω .cm)	계산 접지 저항(Ω)
매설동선		-	221.3
고강도도전성 콘크리트	상층-378.0 하층-2130.7 상두-6.7m 하두께- ∞	10	134
탄소성분의 도전성 콘크리트		20	143
LynconiteII		17	138
Exillite		10	134
확인사항	본 논문에서 인용한 고유저항은 제조사에서 제시된 제품의 고유저항을 분석에 의한 것이 아닌 제시된 것을 인용한 데이터임.		

2.5.4 접지저감제의 현장 시공 및 결과

(1) 접지매설지선의 시공

접지매설지선의 설계와 동일하게 깊이-0.75m, 길이-1.4m로 터를 파고 BC100SQ의 접지선을 매설하였고, 접지저감제를 도포하기 전에 접지저항을 측정하였다. 접지선 매설 작업은 (그림2-12)과 같다.



(그림2-12) 접지선 매설

Figure 2.12 Installation of Grounding Line Electrode

(2) 접지저감제의 시공

접지저감제의 성능을 실측하기 위하여 설계상에서 분석된 것과 동일한 방법으로 접지선을 매설하고 접지저감제를 도포한 후에 되메우기하였다. (그림2-13)는 접지저감제의 시공을 나타낸다.



(그림2-13) 접지저감제 포설

Figure 2.13 Installation of Grounding Enhancement Materials

2.5.5 접지저감제의 성능 비교

각각의 접지저감제의 접지설계에 따른 접지저항 계산 및 시뮬레이션은 동일한 CDEGS 프로그램을 이용하여 수행하였다. 또한 각각의 접지저감제에 대해 동일 현장에서 동일한 구조로 시공하여 접지저항을 측정된 결과를 비교 연구하였다. 접지저항은 IEEE에 규정된 3-점 전위차 측정법[1]으로 측정하였으며, 측정장비는 IEEE, NEC 규정을 만족하는 접지저항 측정기 AEMC4500을 이용하였다. 각 접지시스템의 측정결과를 표 2-3에 나타냈다 [1],[5].

(표2-3) 접지저감제의 접지저항 측정 결과

거리	매설 접지선	Exitllite	LynconiteII	도전성 콘트리트	탄소계 콘크리트
1	87.2	40.6	50.8	77.1	80.5
2	137.5	75.4	84.8	100.4	100.8
3	184.7	100.7	120.4	137.9	138.4
4	225.5	119.7	135.7	166.6	164.5
5	238.1	125.8	137.6	180.8	182.7
6	239.4	130.5	134.3	181.7	183.1
7	240.1	132.4	138.9	182.8	186.7
8	244.6	158.8	170.8	185.7	190.5
9	278.1	216.8	229.4	218.9	223.4
10	330.7	277.1	284.5	298.4	294.6

(표2-3)의 측정 결과에 따른 접지저항 그래프 곡선을 살펴보면 (그림2-14)과 같다.

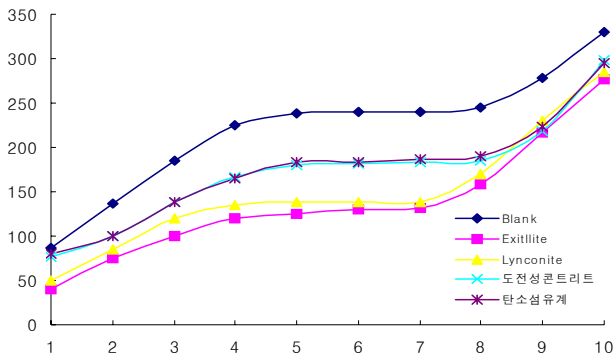


그림2-14. 접지저감제별 접지저항 측정치
Figure 2.14. The kinds of grounding resistance lawing agents for grounding resistance result

위 측정결과에서 확인할 수 있는 바와 같은 동일한 도양에 대해 대지저항률을 측정하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 대지파라미터를 분석하였고, 이 데이터를 이용하여 접지저감제별로 동일 조건의 접지설계 및 시공을 하였으며 각각의 접지저감제별 결과를 비교하였다. (표 2-4)는 접지저감제별 비교특성을 나타낸다.

표. 2-4 접지저감제별 특성 비교표

특성	EXillite	LynconiteII	고강도 도전성 콘크리트	탄소계 도전성 콘크리트
고유저항 (ohm.cm)	10	17	10	20
설계저항치 (ohm)	134	138	134	143
시공실측 저항(ohm)	130.5	134.3	181.7	183.1
시공물량 및 면적	동일	동일	동일	동일
확인사항	접지저감제의 선택은 시공면적, 시공지역의 온도, 습도 등의 기후특성, 장비의 요구사양, 접지신뢰성 그리고 경제성등을 고려하여 선택해야 함.			

3. 결 론

본 논문에서는 새롭게 개발된 유·무기복합재료 접지저감제의 특성을 살펴보고, 다양한 성분의 접지저감제에 대한 정확한 성능을 분석 확인하기 위해 현장의 지질 조건을 실측 분석하였다. 이를 통해 제시된 접지저감제의 고유저항을 설계에 적용하여 CDEGS 프로그램을 통해 각각의 접지저감제에 대한 성능을 시뮬레이션 확인하였다. 또한 접지저감제의 실제적 성능을 확인하기 위해 실측 분석된 현장에서 접지선을 매설하고 접지저감제를 시공하였으며, 이를 통해 설계치와 실제 시공 결과치의 차이를 확인할 수 있었다. 그리고 조사된 여러 가지 성분의 접지저감제 중에서 새롭게 개발된 유·무기복합재료 접지저감제인 Exiillite가 가장 우수한 접지저감 성능을 가짐을 확인하였다.

본 연구를 통해 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

- (1) 새롭게 개발된 유·무기복합재료 접지저감제 성능의 우수성을 확인할 수 있었다.
- (2) 다양한 성분의 접지저감제에 대한 성능을 설계치와 실제 시공결과를 통해 확인하였다.
- (3) 제시된 접지저감제의 정확한 성능 평가에 대한 중요성을 제안하였다.

본 논문을 통해 개발된 다양한 성능의 접지저감제를 성능을 확인할 수 있었으며, 추후 연구로는 다양한 환경 하에서의 접지저감제에 대한 정확한 성능 분석과 특성에 대한 연구가 체계적으로 이루어져야 하겠고, 또한 접지저감제를 활용한 최적의 접지시스템 구축을 위한 최적 설계 방안에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

[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] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis) 사용자지침서. Version 2000 for Windows.
- [3] 신동호, 김용, 이은영, 김필수, 조대훈, "3-가지 접지방식에 대한 접지특성 비교", 전기학회논문지 49권 6호, 2000. 06,
- [4] 신동호, 김 용, 정철희, 조대훈, " 지질분석에 따른 접지 방식별 특성연구", 대한전기학회논문집 PP1293~1296, 1999
- [5] 최세하, "알기쉬운 접지기술 실무", 진한도서. 1998
- [6] 高橋建彦, 이형수역. 接地設計入門, オ-ム社, 동일출판사, 1993
- [7] 高橋建彦, 이형수역. 接地技術入門, オ-ム社, 동일출판사, 19957
- [8] David M, Volz "Morden Land Mobile Communications site Grounding" Telecomputer Energy World Proceeding, 1995
- [9] XIT 접지 시스템, 한국XIT(주), 2000
- [10] 윤관식, "접지저항저감제의 접지특성 시험연구", 1998.02. 서울산업대학교
- [11] Cox, H. L., Br. J. Appl. Phys., 3, 72 1999
- [12] E. Hackett, E. Manias, E.P. Ginnelis, J. Chem. Mat. 12, 2161 (2000)