

# 탄성 충전제 하부에 매설된 전선관의 안정성 평가

## Stability Evaluation of the Electric Pipe under Elastic Fills

박태순\* · 최필호\*\* · 김학서\*\*\* · 김찬우\*\*\*\*

Park, Tae Soon · Choi, Pil Ho · Kim, Hak Seo · Kim, Chan Woo

### 1. 서론

본 연구는 지중 전선관을 천층(13cm)에 매설하는 경우 전선관의 안정성을 평가하기 위하여 수행되었다. 지중 전선관은 일반 매설관과는 달리 직경이 100mm로 작기 때문에 국내 매설 기준인 120cm를 적용할 경우 과도한 굴착, 장시간의 공사 소요시간 및 공사비의 증가가 크게 발생하게 된다. 지중 전선관이 매설되는 상부에는 탄성 복원력이 우수한 충전제가 시공되기 때문에 전선관을 천층으로 매설한 경우에도 차량하중에 대해 안정성이 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 직경이 작은 전선관(100mm)을 탄성 충전제 하부에 매설한 경우를 모델로 실제 현장 조건을 모사한 실내 모형 시험을 수행하였으며, 유한요소해석을 실시하여 차량하중 작용시 전선관 상단에 작용하는 응력과 변형률에 대한 안정성을 분석하였다.

### 2. 실내 모형 시험

실제 현장 조건을 모사한 탄성 충전제 하부에 천층으로 매설된 전선관의 안정성을 검토하기 위해 사질토층 및 골재층을 포설하고 탄성 충전제로 뒷채움하였다. 그리고 탄성 충전제의 간격이 100mm, 150mm, 250mm인 3개의 시편을 제작하였으며, 사질토층에 매설된 전선관은 직경 100mm인 폴리에틸렌관을 사용하였다. 탄성 충전제에 차량하중의 접지면적을 고려한 수직하중을 재하 하였을 때, 탄성 충전제의 간격에 대한 전선관에서 예측되는 하중의 관계를 분석하여 탄성 충전제의 간격 결정 및 안정성을 검토하였다.

#### 2.1 설계 단면 및 차량하중

실내 모형시험 단면은 그림 1과 같으며, 탄성 충전제, 골재층, 사질토층으로 구성되어 있다. 두 개의 직경 100mm의 전선관은 그림에서 보는 바와 같이 사질토층에 상·하 수직 방향으로 매설하였다. 단면에 대한 상세한 치수는 표 1과 같다. 60mm의 탄성 충전제 하부에 골재층 30mm, 그리고 사질토층 40mm 이하에 전선관을 매설하였다. 전선관 매설을 끝마치고 되메우기와 함께 도로를 탄성 충전제로 포장한 상태에서의 전선관의 강성 및 안정성을 검토하기 위하여 차량하중으로 DB-13.5, DB-18, DB-24의 후륜하중인 5.4, 7.2, 9.6ton을 적용하였으며, 접지면적은 NCHRP Report 468(2002)에서 조사된 타이어의 접지면적인 0.037m<sup>2</sup>(0.2m×0.183m)을 적용하였다.

\*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 · (tpark@snut.ac.kr)

\*\*정회원 · (주)바우컨설팅트 도로부 사원 · (snutcph@empal.com)

\*\*\*정회원 · 서울산업대학교 건설기술연구원 · (ddsoon@empal.com)

\*\*\*\*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 대학원 · (brown77@empal.com)

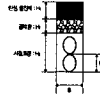


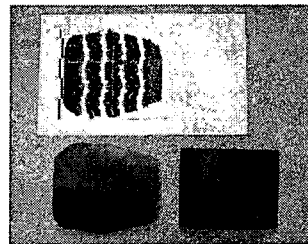
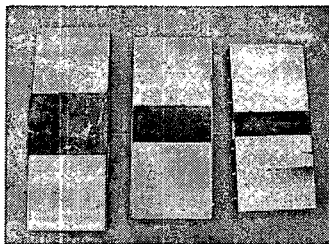
그림 1. 실내 모형 시험 단면

표 1. 검토 단면의 치수

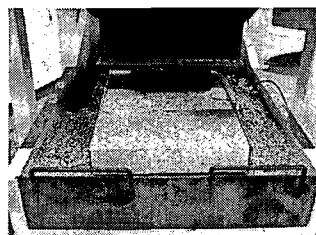
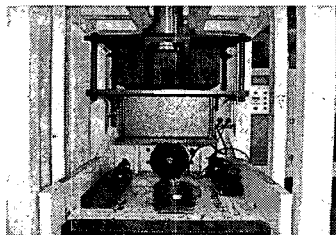
구 분	단면의 치수(mm)
H1 탄성 충전제의 두께	60
H2 골재층	30
H3 사질토층	240
B 탄성 충전제의 간격	100, 150, 250
D 전선관의 직경	100

## 2.2 모형 제작 및 시험장비

실내 모형 시험은 먼저 실제 현장의 탄성 충전제 단면을 모사 하여 모형을 제작하였다. 모형제작 및 시험장비는 그림 2와 같다. 그림 2(a)에서 모형 시편을 충전제 간격별로 제작하였다. 그림 2(b)는 접지 타이어를 모사하기 위해 NCHRP Report 468(2002)에 의해 고무판을 형상대로 제작하고 다시 단순화하여 타이어의 접지압을 모사한 것을 보여주고 있다. 시험장비는 수직하중을 최대 20ton까지 재하 할 수 있는 Actuator 시스템 장비(그림 2(C) 참조)를 사용하였다. 그림 2(d)는 사질토층 및 골재층을 포설하고 탄성 충전제 간격별 시편을 거치 시킨 후 접지 고무판을 위치시키고 수직하중을 재하 하는 것을 보여 주고있다.



(a) 탄성 충전제 간격별 시편(250mm, 150mm, 100mm) (b) 접지 타이어 모사



(c) Actuator 시스템 장비

(d) 수직하중 재하

그림 2. 모형제작 및 시험장비



2.3 시험 결과

탄성 충전제의 간격에 대한 수직하중을 최대 9.6ton까지 증가시키며 전선관에서 계측되는 하중을 그림 3 및 표 2에 나타내었다.

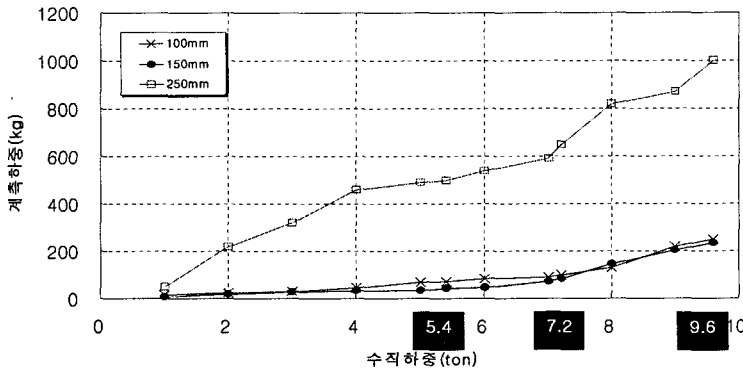


그림 3. 탄성 충전제 간격에 대한 수직하중 - 계측하중 관계도

표 2. 탄성 충전제 간격에 대한 계측하중

수직하중 (ton)	탄성 충전제 간격에 대한 계측하중 (kg)		
	100mm	150mm	250mm
5.4	70	40	500
7.2	100	80	650
9.6	250	230	1,000

충진제의 간격 100mm 및 150mm에서는 모든 하중에 대하여 관의 허용압축강도(666.7kg) 이하로 나타나서 관이 모든 수직하중에 저항하는 것으로 나타났다. 한편 충전제의 간격 250mm인 경우 수직하중 9.6ton에서는 관의 허용압축강도를 초과하고 있어서, 간격이 250mm일 때는 DB-24의 차량하중에 대하여 불안정한 것으로 나타났다. 탄성 충전제의 간격이 150mm일 때 가장 우수한 안정성을 나타내어 충전제 간격으로 결정하였다.

3. 유한요소해석

3.1 유한요소해석 개요

탄성 충전제 하부에 매설된 전선관의 안정성을 검토를 위하여 시험단면에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 유한요소해석 프로그램은 네덜란드 Delft 공과대학에서 개발한 PLAXIS(PLANE STRAIN AXISYMMETRIC)를 사용하였다. 해석대상 단면의 모델링은 그림 4와 같으며, 유한요소해석을 위한 메쉬는 그림 5와 같다. 해석대상 단면의 메쉬는 310개의 삼각형 요소로 구성되어 있으며 노드는 총 687개, 그리고 응력점은 총 930개로 이루어져 있다.

탄성 충전제는 선형탄성모델을 적용하였으며, 탄성계수 값으로 1,589MPa를 사용하였다. 그리고 골재층 및 사질토층은 Mohr-Coulomb 모델을 적용하였으며, 골재층의 탄성계수는 300MPa를 사용하였고, 사질토층의 탄성계수는 National Highway Institute(1994)에 의해 산출된 210MPa를 사용하였다. 전선관의 수축율(contraction)은 0.09%를 적용하였다. 수축율은 전선관 내의 전력케이블에서 발생하는 열에 의해 전선관이 수축되는 비율을 표시한 것으로, 전선관의 강성 및 안정성에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(片岡哲之, 1988).

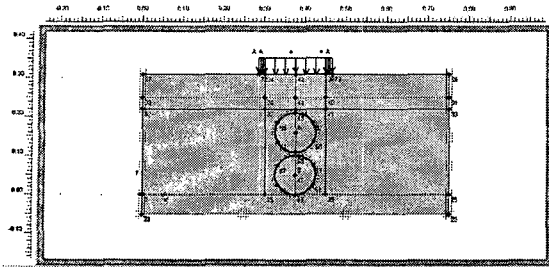


그림 4. 해석단면 모델링

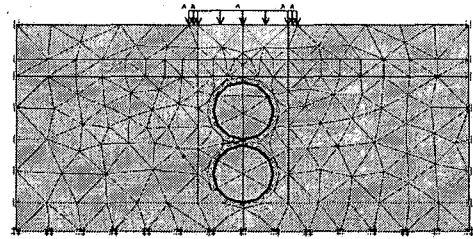


그림 5. 해석단면 메쉬

### 3.2 해석결과 비교분석

탄성 층진제에 수직하중 9.6ton을 재하 하였을 때 전선관에 작용한 최대응력은 매설깊이가 130mm일 때 0.2t/m<sup>2</sup>으로 계산되었다. 차량 접지압이 하부지반에 전달되면서 급격히 응력이 소산되어 전선관에 작용한 응력은 상당히 미소하게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 폴리에틸렌 전선관의 안정성을 판정하는 기준은 관의 바깥지름 변형률이 5.0% 이하로 제한되는데 유한요소해석결과 전선관 상단에서 발생한 변형률은 1.0%로 허용변형률을 만족하는 것으로 나타났다.

### 4. 결론

탄성 층진제 하부에 매설된 전선관의 안정성을 실내 모형 시험과 유한요소해석을 사용하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 실내 모형 시험 결과 탄성 층진제의 간격이 250mm의 경우에는 전선관에 작용하는 압축하중이 허용하중을 초과하여 불안정성을 나타내는 반면 100mm 및 150mm인 경우에는 관의 허용하중 이내로 안정성을 나타냈다. 특히 탄성 층진제의 간격이 150mm일 때 안정성이 가장 큰 것으로 나타났다.
- (2) 탄성 층진제의 간격이 150mm이고, 전선관을 표층으로부터 130mm에 매설한 경우 유한요소해석에 의한 안정성 분석결과 전선관에 상당히 작은 응력만이 작용하는 것을 알 수 있는데, 층진제의 탄성계수가 매우 크기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 전선관의 변형률이 허용변형률 이내로 변형률 기준을 만족하여 안정성이 있는 것으로 판단된다.
- (3) 직경이 작은 전선관을 천층(표층으로부터 130mm)에 매설하는 경우에도 안정성이 있는 것으로 나타나 전선관의 매설깊이를 줄임으로써 공사비의 절감과 공사소요시간의 단축 등을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 김경열, 상현규, 이대수, 지중 연성관의 변형을 산정식 개발, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.1~4, 2001
2. 산업자원부 기술표준원, KS C8431 : 경질 비닐전선관, 한국표준협회, 제01-936호, 2001
3. National Cooperative Highway Research Program Report 468, 2002
4. National Highway Institute, Pavement Deflection Analysis, pp.2~24, 1994
5. 片岡哲之, 配電地中化における 車道下埋設ケーブル 防護管の 浅層埋設の 檢, 電力中央研究所, 1988