

# 관로 이격거리에 따른 지중매설관의 거동특성 비교

## Comparison of Behaviors for Underground Flexible Pipes with Installation Gap

이 대 수\*<sup>1</sup> Lee, Dae-Soo

상 현 규\*<sup>2</sup> Sang, Hyun-Kyu

김 경 열\*<sup>3</sup> Kim, Kyoung-Yul

홍 성 연\*<sup>4</sup> Hong, Sung-Yun

### Abstract

Underground flexible pipes for electric cables are subject to external loads and surrounding soil pressure. Particularly, strain of flexible pipes is of great concern in terms of safety and maintenance of electric cables. In this paper, stress and strain of flexible pipes with two types of installation gap, ie, 10cm and naught, were compared to investigate the structural integrity of pipes from actual field test. The effect of degree of compaction and burial depth were also investigated to simulate the variety of construction situation. The results of the field test show that the strain criteria were satisfied under the burial depths of 80cm, 100cm and 120cm regardless of installation gap.

### 요 지

현행 지중전력선관로 건설시에 사용되는 표준공법은 관과 관사이의 거리를 10cm 이격시켜 관로를 매설함에 따라 공정이 복잡하고, 경제적이지 못해 이에 대한 개선공법으로 관사이의 좌우이격거리를 없앤 접촉관 공법을 제안하였으며, 이 두 공법의 거동특성과 안정성을 비교·평가하고 지중매설관의 변형에 영향을 미치는 주요인자를 분석하기 위해 실규모 현장 실증실험을 수행하였다. 실험에 적용된 매설형태는 A-1급 도로포장아래 매설깊이 80cm, 100cm, 120cm 지점에 PE과형관이 각 공법형태에 맞게 매설되고, 외부하중으로 DB-24차량의 후륜하중 9.6ton이 매설관 상단 중앙에 정착했을 때 관이 받는 작용압력·변형률 특성을 분석하였다. 실험 결과, 지중매설관의 변형은 주로 시공과정중에 발생하는 것으로 나타났고, 특히, 모래되메움 공정 및 쇄석 포설 완료후에 변형이 가장 크게 발생하는 것으로 예측되었다. 그리고, 접촉관과 이격관 공법의 변형을 비교해 보면, 이격된 부분에 채워진 되메움재의 수동토압에 의한 저항압에 의존한 이격관 공법이 관과 관이 직접 접촉하여 관의 강성이 저항압으로 작용하는 접촉관 공법에 비해 변형이 작게 발생하는 것으로 분석되었다. 더불어 KS-C8455의 허용변형률 3.5%에 매설깊이 80cm, 100cm, 120cm에 묻힌 매설관이 공법 및 다짐방법에 관계없이 만족하는 변형률값을 보이고 있어 안전성을 확보하는 것으로 분석되었다.

**Keywords :** Burial depth, Field test, Installation gap, Underground flexible pipes

### 1. 서 론

그림 1은 현행 지중전력선 보호관로 건설(이하 “지

중배전공사”라 칭함)시에 사용되는 전형적인 2단3열 배열 관로포설 단면도이다. 그림에서 보면 관과 관사이의 이격거리를 10cm를 두어 시공하는 공법(이하

\*1 정희원, 한전 전력연구원 책임연구원 (Member, P.M.T.S, Korea Electric Power Research Institute, dslee@kepri.re.kr)

\*2 정희원, 한전 전력연구원 위촉연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute)

\*3 정희원, 한전 전력연구원 선임보안연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute)

\*4 정희원, 한전 전력연구원 일반연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute)

“이격관 공법”이라 칭함)을 시행하고 있는데, 관로 건설 시에 관로의 정확한 이격거리 유지 및 공사구역 협소성으로 인한 시공능력 저하로 인해 시공성이 우수한 대체 공법이 요구되어지고 있고, 또한, 굴착 및 포설 공사비가 경제적이지 못해 이에 대한 개선공법의 필요성이 대두되고 있다. 이에 대한 개선책으로 그림 2와 같이 좌우 이격거리 10cm를 접촉하여 시공하는 공법(이하 “접촉관 공법”이라 칭함)을 시행하면, 공사의 시공성이 우수하고, 굴착단면 및 포설 공사비가 절감되어 기존의 이격관 공법이 가지고 있는 단점을 개선할 것으로 판단된다.

그 동안 수행되었던 지중매설관에 대한 연구결과들을 살펴보면, 「지중관자재 적정규격제정을 위한 기술용역」(이이환 외, 1986), 「관로 포설공법의 개선연구」(이시용, 1993), 「차량하중을 받는 지중연성관의 거동특성」(이대수, 2002) 등이 대표적이며 이들 연구들은 주로 이격관 공법으로 시공되었을 때의 매설관의 거동특성을 분석한 것에 국한되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 접촉관 공법과 이격관 공법을 현행 지중배전공사 시방서에 준한 방법으로 현장에 직접 시공하고 차량 정재하 시험을 중심으로한 현장실증실험을 수행하여, 이 두 공법으로 시공했을 때의 거동특성의 차이점 및 역학적 안전성을 비교·분석하고자 한다.

## 2. 현장 실증 실험

지중 전력선 보호용 PE파형관을 이격관 공법과 접촉관 공법으로 지중에 매설한 후, 지중 매설관의 공정별 변형량을 계측하여 변형에 영향을 미치는 주요인자를 분석하고, 나아가 이 두 공법의 시험결과값을 비교·분석하여 각 공법의 변형메카니즘 및 안정성을 평가하고자 현장실증실험을 실시하였다.

### 2.1 실험 계획

#### 2.1.1 실험 단면

현장실증실험은 접촉관공법과 이격관공법에 대해 되메움재의 다짐도 기준 85%(한전 시방서 기준)에 만족하는 표준다짐과 다짐이 성실히 수행되지 않은 조건인 빈다짐 그리고, 매설깊이별 변형량의 변화를 조사하기 위해 매설깊이 80, 100, 120cm로 각각 실험을 실시하였다. 그림 3은 현장실증실험 부지계획도인데, 그림에서 보는 바와 같이 관 1본의 길이는 하중재하시 관재의 축방향 구속조건을 고려하여

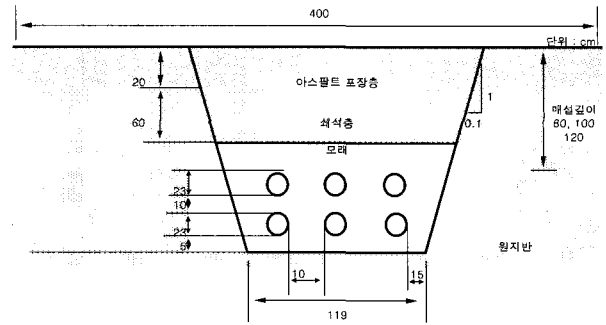


그림 1. 이격관 공법 시공단면도

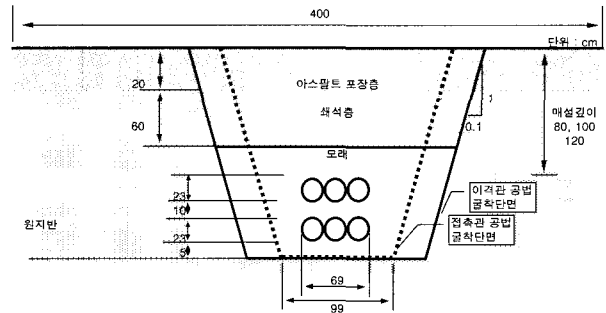


그림 2. 접촉관 공법 시공단면도

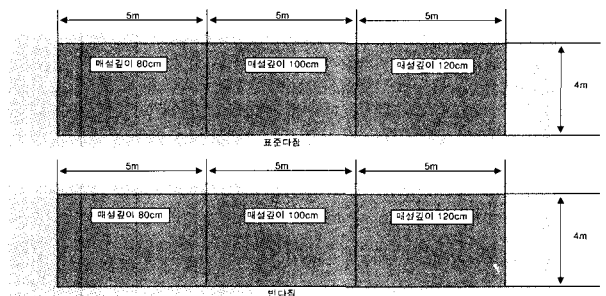


그림 3. 현장실증실험 부지계획도

5.0m로 하였으며, 1포장당 표준다짐(85%)과 빈다짐(75%)을 한 조로 하여 접촉이격에 대해 각각 실험을 수행하였다. 그리고, 공법별 시공단면도를 그림 1~2에 나타내었다.

#### 2.1.2 매설관 제원

실험에는 일반적으로 지중배전공사에 널리 사용되고 있는 PE파형관을 사용하였고(그림 4), 주요제원은 표 1과 같다.

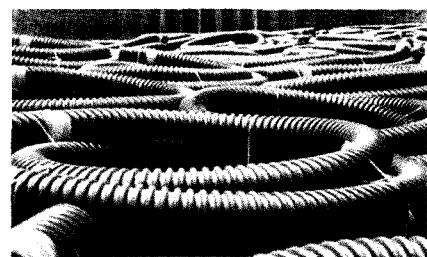


그림 4. PE 파형관

표 1. PE파형관 규격 (한전구매시방서 기준)

구 분	구매 기준	사용관
외 경 (mm)	230	± 1
내 경 (mm)	175	± 1
최소두께 (mm)	3.5 이상	± 0.2
인장 강도(kg/cm <sup>2</sup> )	225 이상	± 2
압축 하중 (kg)	273 이상	± 2

### 2.1.3 포장 등급(Asphalt Pavement)

관로포설상단에 설치되는 포장등급은 주요간선도로에 적용되는 A-1급 아스팔트 포장을 포설하였고(그림 5), 기본 물성치는 표 2와 같다.

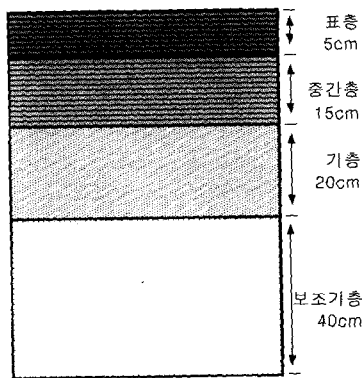


그림 5. A-1급 포장 단면도

표 2. 포장도로 기본 물성치

구 분	표 층	중간층	기 층	보조기층
층두께 (m)	0.05	0.15	0.2	0.4
탄성계수(t/m <sup>2</sup> )	210,000	190,000	30,000	20,000
포아손비	0.3	0.3	0.4	0.4
점착력(t/m <sup>2</sup> )	1	0.1	0.1	0.1
내부 마찰각(deg)	35	35	35	35
단위중량(t/m <sup>3</sup> )	2.3	2.3	2.3	2.2

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 부지 조성

실증실험장은 자갈질 모래로 이루어진 평탄한 지형이며, 지하수위는 원지반선까지는 없는 것으로 판단되어 고려하지 않았다. 실증실험 수행전에 부지정지작업을 실시하는 가장 큰 이유는 실험중에 발생하는 침하를 방지하고, 실제 도로지반과 유사한 조건을 고려하여 실험을 실시하기 위함이다. 만약 지반의 다짐을 실시하지 않고 실험을 수행할 경우 실증실험 도중에 예상치 못한 부등침하가 발생하여 계측 데이터에 악영향을 주게 될



그림 6. 원지반 굴착

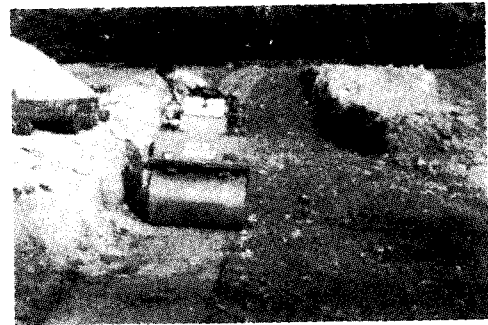


그림 7. 원지반 다짐

수 있으므로 원지반을 다지는 부지정지작업은 실증실험의 성패를 좌우하는 기본적인 요소라 하겠다. 구체적 부지정리 방법은 다음과 같다.

- (1) 실험계획고로부터 실험대상지반을 1.5m깊이로 굴착한다(그림 6).
- (2) 굴착후 도로시방서상 노체의 다짐도 기준 90%에 맞게 진동롤러로 지반 다짐을 실시한다(그림 7).
- (3) 실험계획고까지 30cm씩 성토-층다짐을 실시한다.
- (4) 방사능밀도측정기(DMG-1000:현대정밀)를 이용하여 기준 다짐도(90%)를 체크한다.
- (5) 부지정지 완료후 매설깊이별, 적용 다짐도별 실험위치를 확정한다.

### 2.2.2 굴착, 관로포설 및 되메우기

실험에 적용된 굴착 저폭의 크기는 지중배전설계편람(조성수, 1999)에 기술되어 있는 굴착 폭을 기준으로 하였으며, 굴착단면의 구배는 대도시 지자체의 조례사항으로 제시되고 있는 1:0.1을 실험에 적용하였다. 굴착, 관로 포설 및 되메우기 등은 다음과 같이 수행되었다.

- (1) 관로포설을 위해 실험계획고로부터 실험대상지반을 구배 1:0.1로 굴착한다(그림 8).
- (2) 관중별로 수직변형 측정을 위한 계측기(LVDT)를 관로 내부에 장착시킨후 관로 포설을 실시하고, 관 상

부의 수직압력(토압+윤압)을 측정하기 위해 토압계(용량:500kPa)를 설치한다(그림 9~11). 센서에 의한 계측은 최초 설치 시점에서 0셋팅을 실시하여 이후 공정별로 변화량을 측정한다.

(3) 지중배전관로에서 발생하는 열효과(평상시 65℃ 발생)를 고려하기 위해 그림 12와 같이 열선을 별도로

제작하여 관 내부에 배치시킨다. 이때 열선의 발생 온도, 관재 내부의 온도 및 관재 표면의 온도측정을 위해 온도측정선(Thermo couple)도 함께 포설한다.

(4) 관 배열은 2단 3열 배열을 기준으로 접촉관 공법과 이격관 공법을 시공하고, 되메움재료로는 모래를 이용하며 되메움재의 다짐도는 표준다짐(85%)과 빈다

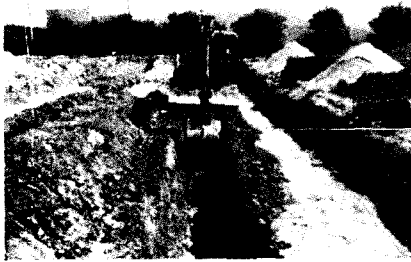


그림 8. 관로포설단면 굴착



그림 12. 열선 케이블 설치

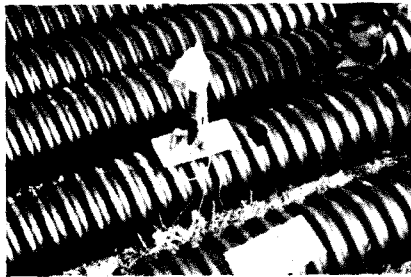


그림 9. LVDT 설치

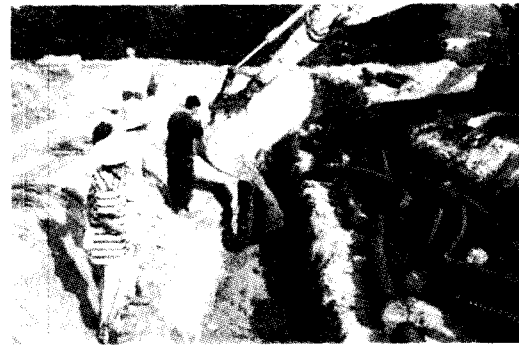


그림 13. 모래 포설

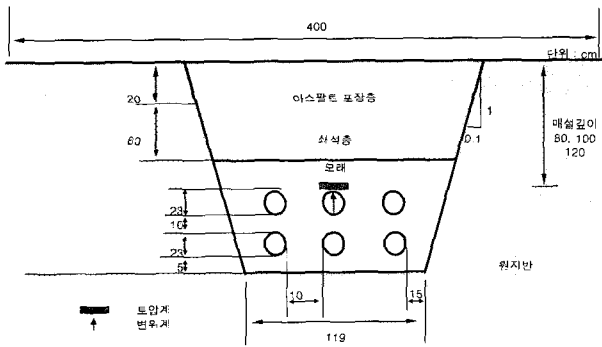


그림 10. 이격관 센서 설치도



그림 14. 모래 다짐

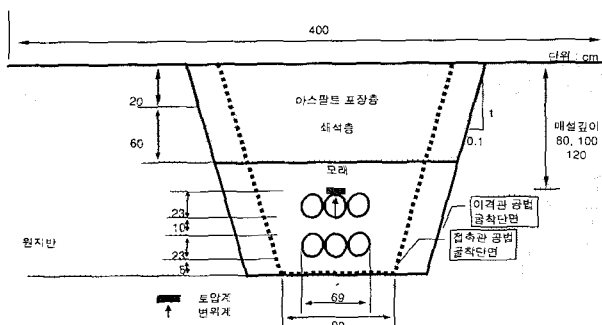


그림 11. 접촉관 센서 설치도



그림 15. 진동다짐기 및 RI 측정기

집(75%:모래를 흠뿌린 상태)으로 시공한다(그림 13 ~14).

- (5) 다짐장비로는 진동 다짐기(자중:90kg)를 이용하고, 되메움재의 다짐도 판정 및 함수비 측정 등은 RI측정기(Radioactive Instrument)를 이용한다(그림 15).

### 2.2.3 포장

모래를 이용한 되메우기 작업 완료 후 포장등급과 매설깊이에 따라 보조기층(80mm 혼합석)과 기층(40mm 혼합석)재료를 다짐두께(30cm씩)별로 층다짐을 실시하였다. 도로공사 시방서의 노상다짐도 기준 95%에 맞는 다짐도를 얻기 위해 5ton 진동롤러를 이용하여 6회 이상 다짐을 실시하였다. 모래의 되메우기 작업이 완료된 후 도로 포장재료의 층별 포장은 다음과 같이 수행되었다.

- (1) 모래를 이용한 되메우기가 끝난 후 관로의 매설깊이에 따라 보조기층재를 포설하고 진동롤러(5ton)를 이용하여 노상 다짐도 기준(95%)에 맞는 다짐도를 얻기 위하여 6회 이상 다짐을 실시한다(그림 16~17).
- (2) 기층재를 포설하고 다짐을 실시한다.
- (3) 각 층별 다짐도 판정은 RI측정기를 이용하여 실시한다.
- (4) 프라임 코팅재를 포설한 후 아스팔트 피니셔를 이용

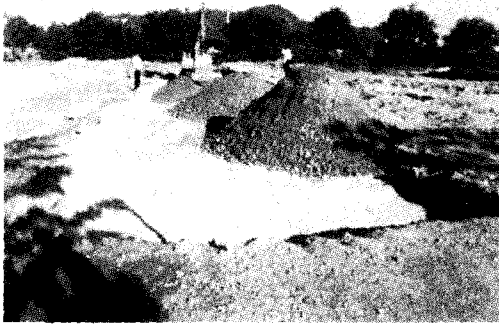


그림 16. 쇠석 포설

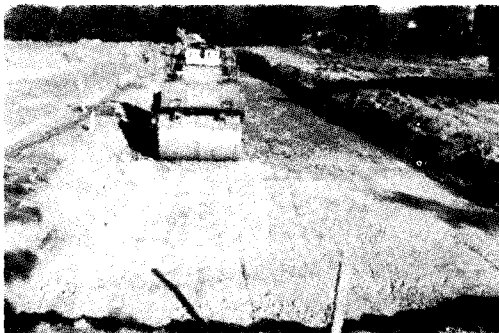


그림 17. 쇠석층 다짐



그림 18. 아스팔트 포설

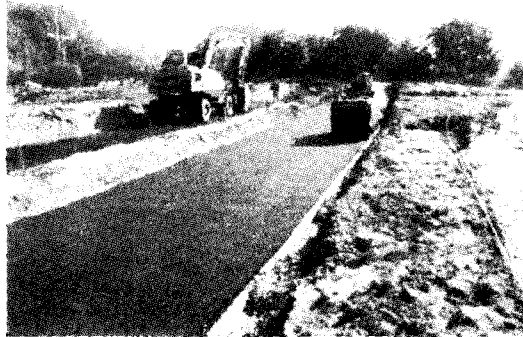


그림 19. 아스팔트 다짐

- 하여 아스팔트 중간층을 포장등급별로 포설한다. 소정의 다짐도(95%이상)를 얻기 위하여 타이어롤러를 이용하여 6회 이상 다짐을 실시한다.
- (5) 아스팔트 피니셔를 이용하여 표층재를 포장등급별로 포설한 후 소정의 다짐도(96%이상)를 얻기 위해 타이어롤러를 이용하여 6회 이상 다짐을 실시한다(그림 18~19).
- (6) 아스팔트 피니셔를 이용하여 표층재를 포장등급별로 포설한 후 소정의 다짐도(96%이상)를 얻기 위해 타이어롤러를 이용하여 6회 이상 다짐을 실시한다.
- (7) 아스팔트 포설작업이 완료된 후 소정의 소요강도가 발휘되도록 3일간 양생기간을 두도록 한다. 이때 열선에 전원을 공급하여 양생기간동안 열평형상태가 되도록 한다.

### 2.2.4 하중 재하

아스팔트 도로포장이 완료되고 일정한 양생기간이 지난 뒤, 차량하중 DB-24를 이용하여 정재하 실험을 실시하였다. 정하중 재하는 DB-24차량의 후륜하중 9.6ton을 매설관로 상단의 도로 표층 정중앙에 정착시켜 실시하였다. 차량하중의 정확성을 기하기 위하여 실험전에 후륜



그림 20. 하중 재하

하중 9.6톤을 계근소에서 정확하게 계근한 뒤 실험을 수행하였다. 정재하의 종료는 재하 시작후 관재의 변형률이 일정한 값에 수렴할 때 재하를 중지하였다(그림 20).

### 3. 실험 결과 및 분석

그림 21~26은 매설깊이별로 작업공정에 따른 작용압력-변형률 관계를 나타낸 그래프이다. 접촉관·이격관 공법 모두 모래 다짐완료 및 보조기층완료 구간에서 가장 큰 변형률의 변화를 나타내고 있으며, 작용압력에 비례하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상이 나타나는 주된 이유는 모래 되메움후에는 진동 다짐기(자중:90kg)로 색석 포설후에는 진동 롤러(5ton)로 다짐함으로 인해 다짐에너지가 매설관에 가해져서 매설관의 변형을 급격히 증가시키는 것으로 판단된다. 반면 A-1급 아스팔트 포장 완료후에 설계하중 DB-24의 후륜하중 9.6ton이 재하되었을 때는 작용압력의 증가에 비해 매설관의 변형은 크지 않은데 이것은 A-1급 포장도로가 재하압력을

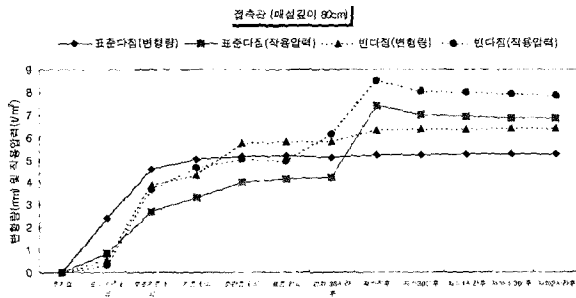


그림 21. 공정별 매설관의 거동추이-80cm (접촉관)

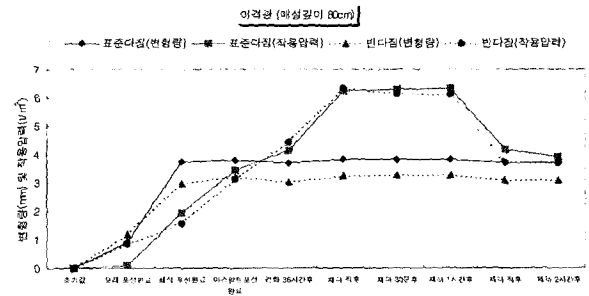


그림 24. 매설관의 거동추이-80cm (이격관)

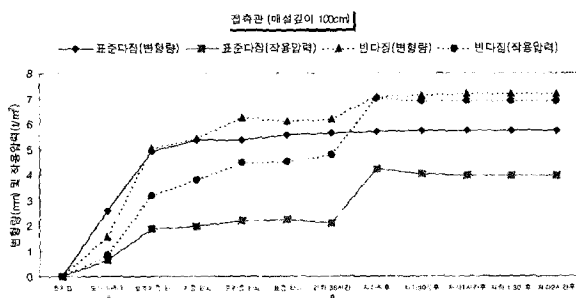


그림 22. 매설관의 거동추이-100cm (접촉관)

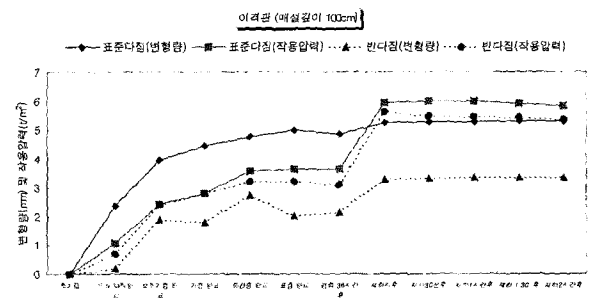


그림 25. 매설관의 거동추이-100cm (이격관)

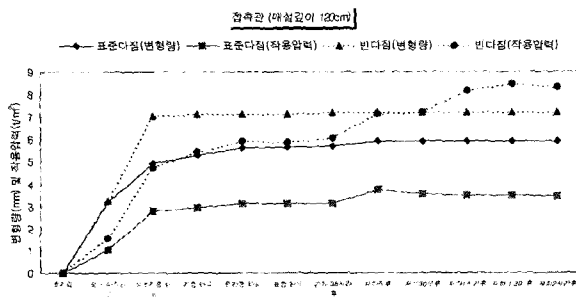


그림 23. 매설관의 거동추이-120cm (접촉관)

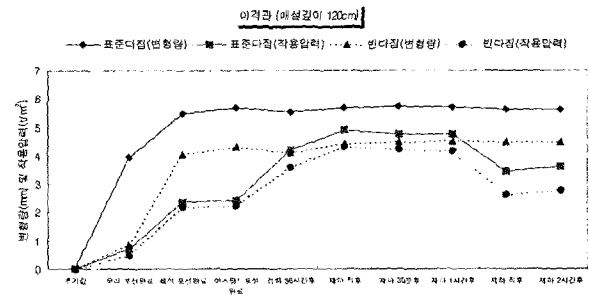


그림 26. 매설관의 거동추이-120cm (이격관)

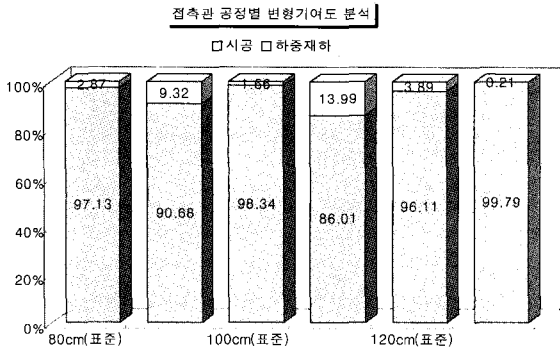


그림 27. 시공-하중에 의한 변형 기여도 (접촉관)

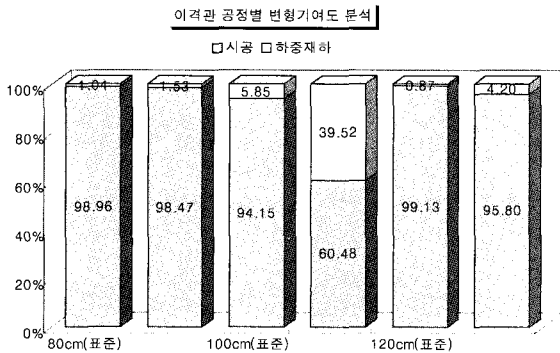


그림 28. 시공-하중에 의한 변형 기여도 (이격관)

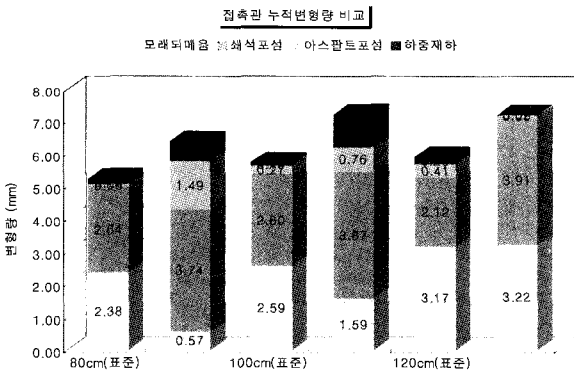


그림 29. 공정별 변형기여도 분석 (접촉관)

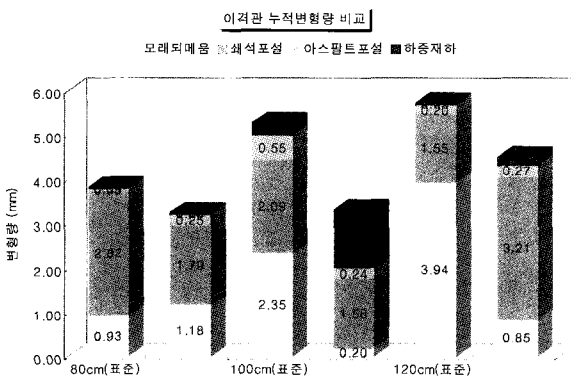


그림 30. 공정별 변형기여도 분석 (이격관)

소산시켜 관재의 변형에는 크게 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다.

그림 27~28은 매설관에 발생한 총 변형량중 시공(모래되메움, 보조기층, 기층, 중간층, 표층)과 하중재하(DB-24 후륜하중 9.6ton)가 유발시킨 변형량의 비율을 매설깊이별·다짐방법별로 비교한 그래프이다. 시공후에 약 90%~99%의 변형을 이미 유발시킨 것으로 분석되었고, 하중재하에 의한 변형은 약 1%~10%정도로 아주 적은 값을 보이는 것으로 분석되었다.

그림 29~30은 매설깊이별·다짐방법별로 각 작업공정이 매설관에 발생한 총 변형량 중에서 어느 정도의 비율을 차지하고 있는지를 나타내는 그래프이다. 전체적으로 보면, 접촉관·이격관 공법에 상관없이 쇄석층(기층, 보조기층)포설완료후에 전체 변형량의 약 50~52%, 모래되메움 완료후에 약 33~37%의 변형을 유발시키는 것으로 분석되었고, 아스팔트 포설 및 하중재하 공정에서 나머지 13~15% 정도의 변형을 유발시키는 것으로 분석되었다.

따라서, 매설관의 변형을 유발하는 주된 작업공정은 하중재하가 아니고 시공(모래되메움부터 도로포장까지의 공정)에 의한 것으로 판명되었고, 특히, 보조기층 및 모래되메움공정 후에 가장 큰 변형이 유발되는 것으로 분석되었다.

#### 4. 접촉관·이격관 공법의 비교 분석

그림 31~32는 접촉관 공법과 이격관 공법으로 현장 실증실험한 데이터값을 가지고 매설깊이별, 다짐방법별로 매설관의 변형량 및 변형률 변화 추이를 나타낸 그래프이다.

전체적인 경향을 보면, 공법 및 다짐방법에 관계없이 매설깊이가 깊어질수록 매설관의 변형은 증가하는 추세를 보이고 있고, 이는 앞에서 분석한 바와 같이 다짐층수 증가에 의한 다짐에너지의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

접촉관 공법과 이격관 공법을 비교해 보면, 접촉관 공법 시공시에 매설관에 더 큰 변형을 야기시키는 것으로 예측되었다. 그 이유를 분석해 보면, 이격관 공법에선 관과 관사이에 10cm 이격된 부분으로 모래가 채워져서 관재의 변형에 저항하는 수동토압이 발현되는 메카니즘이고, 접촉관공법은 이격없이 관과 관이 직접 접촉하여 관재의 강성이 저항압의 원천이 되는 메카니즘인데,

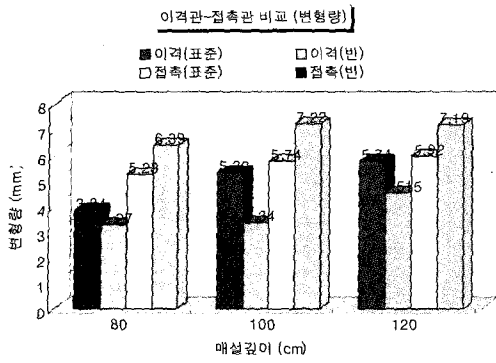


그림 31. 매설깊이별 이격관-접촉관 공법의 변형량 비교

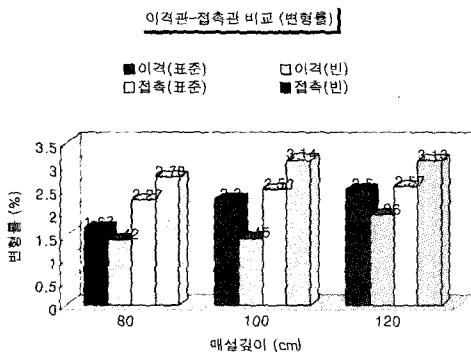


그림 32. 매설깊이별 이격관-접촉관 공법의 변형률 비교

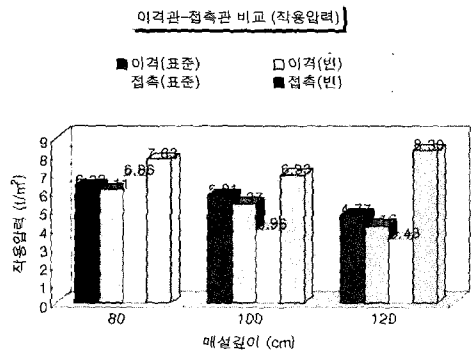


그림 33. 매설깊이별 이격관-접촉관 공법의 작용압력 비교

실험결과를 비교해 보면, 되메움재의 수동토압에 의한 저항압이 관재의 강성에 의존한 저항압보다 크기 때문에 접촉관 공법에서 더 큰 변형을 유발하는 것으로 판단된다.

안정성 부분을 평가해 보면, KS-C8455의 허용변형률 3.5%에 매설깊이 80cm, 100cm, 120cm에 묻힌 매설관은 공법 및 다짐방법에 관계없이 만족하는 변형률값을 보이고 있어 모두 안정성을 확보하는 것으로 분석되었다(그림 32).

그림 33은 공법별 작용압력의 변화를 나타낸 것이다. 전체적인 경향을 보면, 매설깊이가 깊어질수록 작용압력은 감소하는 경향을 보이고 있고, 매설관의 변형과 연계하여 분석해 보면, 변형이 많이 발생한 곳에서는 작용압력이 변형으로 소산되어 비교적 작은 압력이 작용하고, 변형이 작은 곳에서는 작용압력이 변형으로 소산되지 못해 큰 작용압력이 계측된 것으로 판단된다.

접촉관 공법과 이격관 공법을 비교해 보면, 대체적으로 이격관 공법의 작용압력이 접촉관 공법에 비해 크게 계측되었는데, 이 또한 위에서 언급한 바와같이 변형에 의한 작용압력의 소산과 관련이 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

접촉관 공법과 이격관 공법의 거동특성 및 안전성을 비교·분석하기 위해 현장실증실험을 실시하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 매설관에 발생한 총 변형량중 시공과정(모래되메움, 보조기층, 기층, 중간층, 표층)과 하중재하(DB-24 후 분하중 9.6ton)가 유발시킨 변형량의 비율을 매설깊이별·다짐방법별로 비교한 결과, 접촉관·이격관 공법 모두 시공과정중에 약 90%~99%의 변형이 이미 유발된 것으로 분석되었고, 하중재하에 의한 변형은 약 1%~10%정도로 아주 적은 값을 보이는 것으로 분석되었다.
- (2) 작업공정별 관의 변형량을 계측한 결과, 접촉관·이격관 공법에 상관없이 쇄석층(기층, 보조기층)포설 완료후에 전체 변형량의 약 50~52%, 모래 되메움 완료후에 약 33~37%의 변형을 유발시키는 것으로 분석되었고, 아스팔트 포설 및 하중재하 공정에서 나머지 13~15% 정도의 변형이 발생한 것으로 분석되었다.
- (3) 따라서, 매설관의 변형을 유발하는 주된 작업공정은 하중재하가 아니고 시공에 의한 것으로 판명되었고, 특히, 보조기층 및 모래 되메움 공정 후에 가장 큰 변형이 유발되는 것으로 분석되었다.
- (4) 매설깊이별, 다짐방법별로 매설관의 변형량 및 변형률 변화 추이를 분석한 결과, 전체적인 경향은 공법 및 다짐방법에 관계없이 매설깊이가 깊어질수록 매설관의 변형은 증가하는 추세를 보이고 있고, 이는 다짐층수 증가에 의한 다짐횟수(다짐 에너지)의 증



가에 기인한 것으로 판단된다.

- (5) 접촉관 공법과 이격관 공법을 비교해 보면, 접촉관 공법 시공시에 매설관에 더 큰 변형을 야기시키는 것으로 계측되었다. 그 이유를 분석해 보면, 이격관 공법에선 관과 관사이에 10cm 이격된 부분으로 모래가 채워져서 관재의 변형에 저항하는 수동토압이 발현되는 메카니즘이고, 접촉관공법은 이격없이 관과 관이 직접 접촉하여 관재의 강성이 저항압의 원천이 되는 메카니즘인데, 실험결과를 비교해 보면, 되메움재의 수동토압에 의한 저항압이 관재의 강성에 의존한 저항압보다 크기 때문에 접촉관 공법에서 더 큰 변형이 발생된 것으로 판단된다.
- (6) 공법별 작용압력의 변화를 분석해 보면, 전체적으로 매설깊이가 깊어질수록 작용압력은 감소하는 경향을 보이고 있고, 매설관의 변형과 연계하여 분석해 보면, 변형이 많이 발생한 곳에서는 작용압력이 변형으로 소산되어 비교적 작은 압력이 작용하고, 변형이 작은 곳에서는 작용압력이 변형으로 소산되지 못해 큰 작용압력이 계측된 것으로 판단된다.

- (7) 지중 매설관의 안정성 부분을 평가해 보면, KS-C8455의 허용변형률 3.5%에 매설깊이 80cm, 100cm 및 120cm에 묻힌 매설관은 공법 및 다짐방법에 관계없이 만족하는 변형률값을 보이고 있어 모두 안정성을 확보하는 것으로 분석되었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 연구과제인 “지중배전공사의 경제적 시공을 위한 신기술 개발”의 일부분으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

1. 건교부(1996), “도로교 표준시방서”.
2. 이대수, 김경열, 상현규(2002), “차량하중을 받는 지중연성관의 거동특성”, 한국지반공학회 논문집, 제18권 4호, pp.65-73.
3. 이시용(1993), “관로 포설공법의 개선연구”, 한국통신 가입자망 연구소.
4. 이이환 외 13인 (1986), “지중관자재 적정규격 제정을 위한 기술 용역”, 한국전력기술주식회사.
5. 조성수(1999), “지중배전 설계편람”, 한국전력공사 전력연구원.

(접수일자 2003. 2. 4, 심사완료일 2003. 8. 20)