

각관 추진 굴착시 궤도노반의 침하경향 실험분석

Test and analysis of settlement pattern of trackbed during pipe roof excavation

정관동† 엄기영* 최찬용** 조수익*** 황인환****
Kwan-Dong, Jung Ki-Young, Eum Chan-Yong, Choi Su-Ik, Jo Hwan-In, Hwang

ABSTRACT

The method in a bid to make better use of limited urban space amidst increasingly expanding urban area have been attempted in various ways. Efficient using underground space is one of the examples. The pipe roof and excavation for underground crossing implemented in this study was the part of evaluation of such attempt. However, the pipe roof method for underground crossing may cause the ground surface to be uplifted or settled down, having effect on structure above the ground. Thus in this study, a laboratory model test designed to evaluate the effect on surface during implementing pipe roof and excavation was carried out. The ground displacement during pipe roof advancing and excavation is usually occurred in a radial shape but as the study focused on trackbed, the evaluation included ground settlement only.

Thus, appropriately-scaled model was selected considering domestic geological characteristics and operation characteristics of traditional and high-speed rail trains and the qualitative evaluation of displacement was carried out with a certain ground loss depending on excavation after categorizing trackbed settlement pattern depending on depth of top soil.

1. 서론

도시의 비대화로 인해 협소해진 도심지 공간을 효율적으로 이용하고자 하는 시도가 다각도로 진행되고 있다. 지하공간의 효율적 활용은 그 대표적인 예이다. 본 연구에서 수행할 지하횡단 공법의 각관 추진 및 굴착 시험 또한 지하공간 활용 평가의 일부분이다. 지하횡단 공법 적용을 위해 각관 추진 시 지표면에 융기 또는 침하가 발생하게 되고, 이것은 지상 구조물에 영향을 미치게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 각관 추진 및 굴착 시 지표면의 영향을 평가하기 위해 실내모형실험을 수행 할 계획이다. 각관의 추진 및 굴착으로 인한 흙의 변형은 방사형으로 일어나지만 이번 실험에서의 중요부분은 궤도노반 즉, 지표면에서의 변형이기 때문에 지표면에서의 변형만을 평가분석 하고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 국내 지리적인 여건과 고속 및 일반열차 운행 특성을 고려하여 적절한 축소모형 모델을 선정하고, 궤도노반의 침하경향을 토피고별로 분류하여 굴착대비 일정한 지반손실량을 가지고 변위의 형태를 정성적으로 평가하고자 한다.

† 비회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 연구원
E-mail : wjdrhksehd@krii.re.kr
TEL : (031)460-5324 FAX : (031)460-5319

* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 책임연구원, 공학박사
** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 선임연구원, 공학박사
*** 정회원, 한국철도시설공단, KR연구원, 시설연구팀, 팀장
**** 정회원, 한국철도시설공단, KR연구원, 시설연구팀, 과장

2. 실내모형실험

2.1 실험장치

강관내부 굴착에 의한 지표면 변위의 변화를 파악하기 위해 한국철도기술연구원에서 개발한 강관추진실험 장치를 사용하였다. 실험 장치는 토조(土槽), 지표면 변위 계측기 그리고 강관추진장치의 세 부분으로 구성된다.

토조는 105cm × 60cm × 60cm이고, 지표면 변위 계측기로는 50mm다이얼게이지를 사용하였다. 실내 모형실험장치는 그림 1과 같고, 그 기능에 따라 도표 1과 같이 나눌 수 있다.

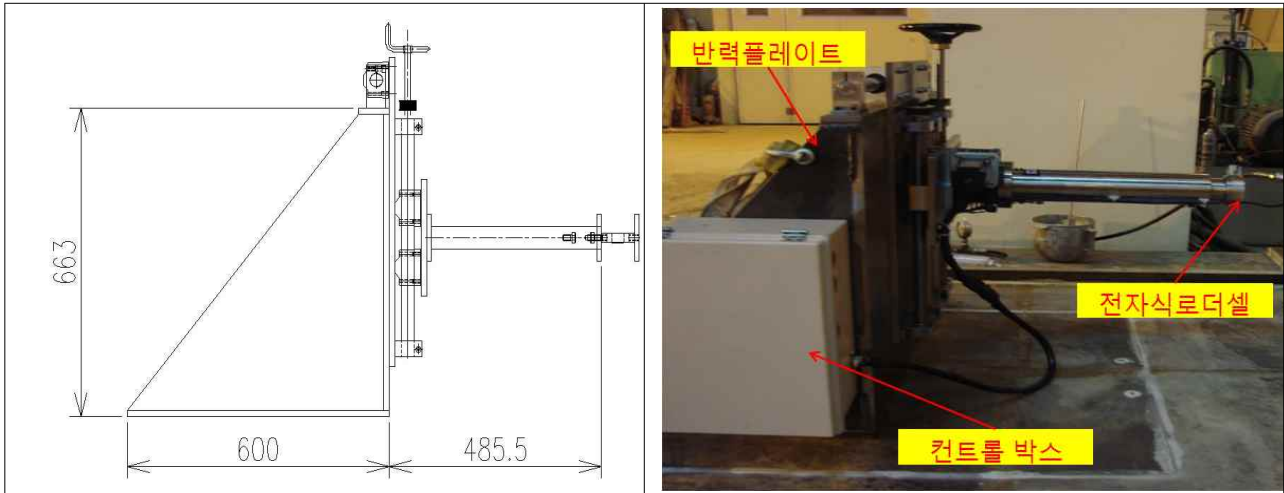


그림1. 강관추진시스템

도표 1. 실내모형실험장치

장치		용도 및 제한
강관추진 시스템	강관추진 장치	- TYPE : Loading Tester of Computer Control System - Max Load capacity : 500 kg.f - Ram stroke : 0~300 mm - Load Cell : 1000kg
	강관추진 제어 시스템	- 제어 형태 : 변위제어, 속도제어, 하중제어 - 실시간 그래프 출력 기능
	강관추진장치 이동용 플레이트	강관추진 장치의 이동 및 고정이 자유로움
아크릴 전면판		모래유출 방지
모형지반 제작장치		슬롯형 모래뿌리기 장치
토조		105cm × 60cm × 60cm
계측장치		50mm

2.2 모형지반

본 실험에서는 모형지반의 조성을 위해 주문진 표준사를 사용하였다. 시료로 사용된 주문진 표준사의 공학적 성질을 파악하기 위해서 기본 물성실험을 실시하였으며 기본 물성 시험결과표는 도표 2에 정리하여 나타내었다.

도표 2. 지반조성에 사용된 주문진 표준사의 물성치

입 도 분 포		시료의 물성치
최대 입경 (mm)	D_{max}	0.850 (No. 20)
최소 입경 (mm)	D_{min}	0.075 (No. 200)
통과중량백분율 10%입경 (mm)	D_{10}	0.41
통과중량백분율 60%입경 (mm)	D_{60}	0.51
균등계수	C_u	1.24
곡률계수	C_c	0.97
최대 간극비	e_{max}	0.869
최소 간극비	e_{min}	0.657
최대 건조단위중량 (kN/m^3)	$\gamma_{d \ max}$	15.87
최소 건조단위중량 (kN/m^3)	$\gamma_{d \ min}$	14.07
비중	G_s	2.63
함수비 (%)	w	0.2
통일분류		SP

사질토 지반의 역학적 특징은 입자의 조밀한 정도 즉 상대밀도에 따라 달라지며 상대밀도의 결정을 위해서는 현장지반에서 존재할 수 있는 가장 조밀하고 느슨한 상태의 건조단위 중량을 알아야한다. 이를 위해 주문진 표준사에 대한 최소건조단위 중량과 최대 건조단위 중량을 구하는 실험을 실시하였고, 그 결과 최소 건조단위 중량은 $14.07kN/m^3$, 최대 건조단위중량은 $15.87kN/m^3$ 으로 측정되었다.

2.3 지반조성

일반적으로 토조에 조성되는 모래지반의 상대밀도를 조절하는 방법은 낙차조절법과 모래유출량 조절법을 들 수 있다. 낙차 조절법은 모래상자와 체, 그리고조성될 지반과의 거리를 변화시켜 상대밀도를 맞추는 방법으로 모래의 낙차가 커질수록 상대밀도는 증가한다. 그리고 모래유출량 조절법은 모래상자의 바닥에 설치한 모래의 유출구멍의 크기를 작게함으로써 지반간의 상대밀도를 증가시키는 방법이다. 본 실험에서는 모형지반 조성전에 여러번의 시행착오를 통하여 상대밀도 80%에 해당하는 낙차고와 유출구멍의 크기를 구할 수 있었다.

그림 2는 상대밀도 실험을 하는 전경과 상대밀도 식을 나타낸 것이고, 그림3은 토조에 지반조성을 직접 실시하는 모습이다.


	<p>- 모래지반의 다짐도 측정식</p> $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100\%$ $= \frac{r_{dmax}}{r_d} \times \frac{r_d - r_{dmin}}{r_{dmax} - r_{dmin}} \times 100\%$ <p>- 본 실험의 다짐도</p> $D_r = \frac{1.587}{1.545} \times \frac{1.545 - 1.407}{1.587 - 1.407} \times 100$ $\approx 80\%$
---	---

그림 2. 지반조성을 위한 상대밀도 측정 시험



그림 3. 표준사 강사

2.4 실험방법

강관내부 굴착실험을 수행하기 위하여 그림 4와 같이 강관 토피고별(5, 10, 15, 20cm)전면판 4개와 각 관 토피고별(5, 10, 15, 20cm)전면판 4개를 제작하였다. 전면판에는 강관 및 각관이 삽입될 수 있도록 구경별로 구멍을 뚫어 놓았고, 관 사이로 모래유출을 방지하기 위해 직경이 83.5mm인 내부블럭을 삽입하였다. 실험 장치의 스케일은 공법에 가장 많이 사용되는 지름이 850mm인 파이프를 기준으로하여 1/10의 스케일로 제작했다.

침하실험은 먼저 관을 아크릴 전면판을 통해 30cm까지 삽입한 후 강사장치를 이용하여 지반을 조성하였다. 그 다음 단계별 침하경향 파악을 위해 그림4와 같이 관의 내부에 삽입되어 있던 내부블럭을 강관추진장치를 이용하여 100mm/min의 속도로 30mm간격으로 빼내어 그 침하량을 측정하였다.

지표면의 변위 측정은 50mm 다이얼게이지를 사용하였다. 다이얼게이지의 측정위치는 강관 내부블럭이 빠지는 부분인 토조의 300mm지점에 설치하여 측정하였고, 단계별 내부 굴착의 효과를 내기위해 30mm씩 내부블럭을 빼낸 후 반복 계측하였다. 그림 5는 다이얼게이지의 위치도를 나타낸 것이고, 도표 2는 본 실험에 사용된 강관, 각관 및 내부블럭의 제원을 나타낸 표이다.

도표 2. 강관, 각관 및 내부블럭의 제원

관 종류	직 경(mm)	두께(mm)	길이(mm)
강관	85	1.4	600mm
각관	85(B) × 85(H)	1.4	600mm
내부 블록	83.5	-	600mm

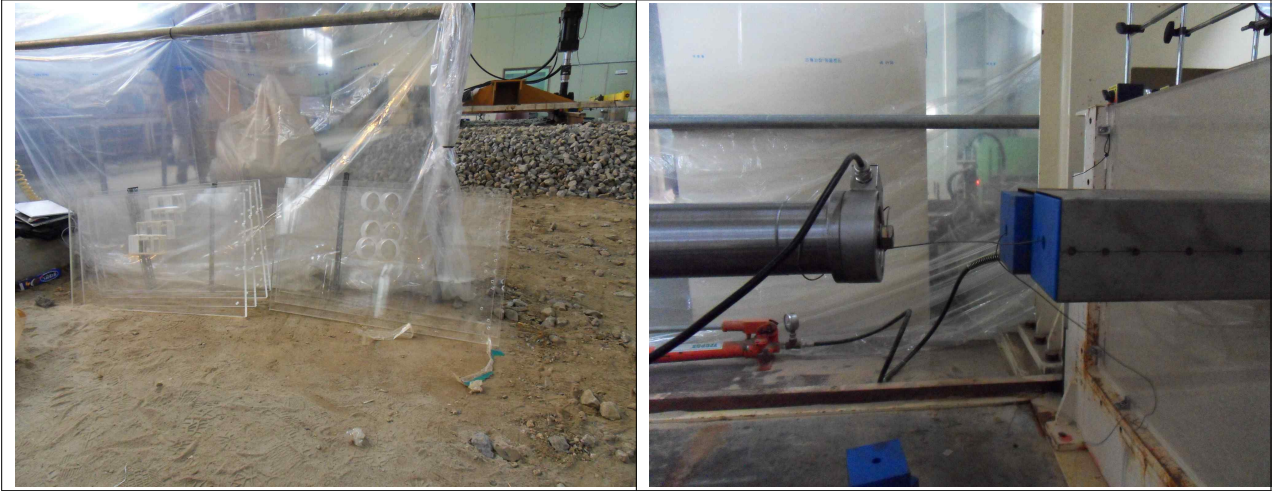


그림 4. 아크릴전면판 및 관내굴착

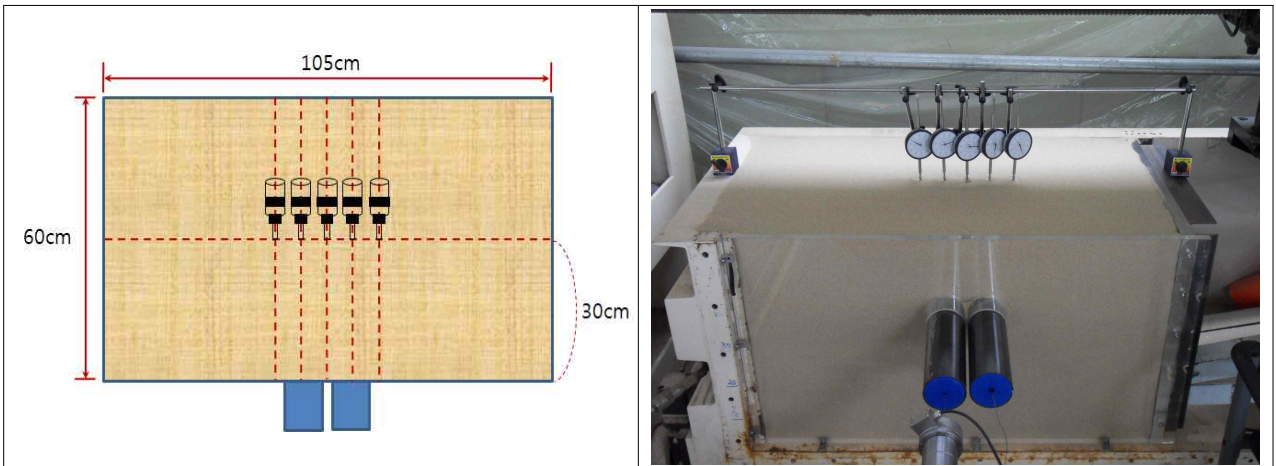


그림 5. 다이얼게이지 위치도

3. 실험결과

3.1 지표면 변위

각관의 단계별 굴착효과에 의한 침하경향을 그림 6에 나타내었다. 먼저 하나의 관을 단계별로 굴착한 다음 다른 두번째관을 굴착하는 방법으로 시공과정을 모사하였다. 그래프의 왼쪽에 위치한 그래프가 첫번째 각관 굴착 시 발생하는 침하량을 나타낸 것이고 오른쪽에 있는 것이 두번째관 굴착 시 침하량을 나타낸 것이다. 그래프의 오른쪽 범례는 대문자 알파벳부터 차례로 첫번째관 굴착 시의 길이를 나타낸 것이고, 소문자 알파벳은 두번째관 굴착 시의 길이를 나타낸 것이다.

각관의 처음 3cm 굴착 시 전체 침하량의 50%정도가 침하되는 경향을 볼 수 있었고, 12cm이상 굴착 시 부터는 침하가 현저하게 줄어드는 경향을 확인할 수 있었다. 그래프를 보면 토피고가 깊어질수록 굴착으로 인한 침하량이 감소하는 경향을 볼 수 있다.

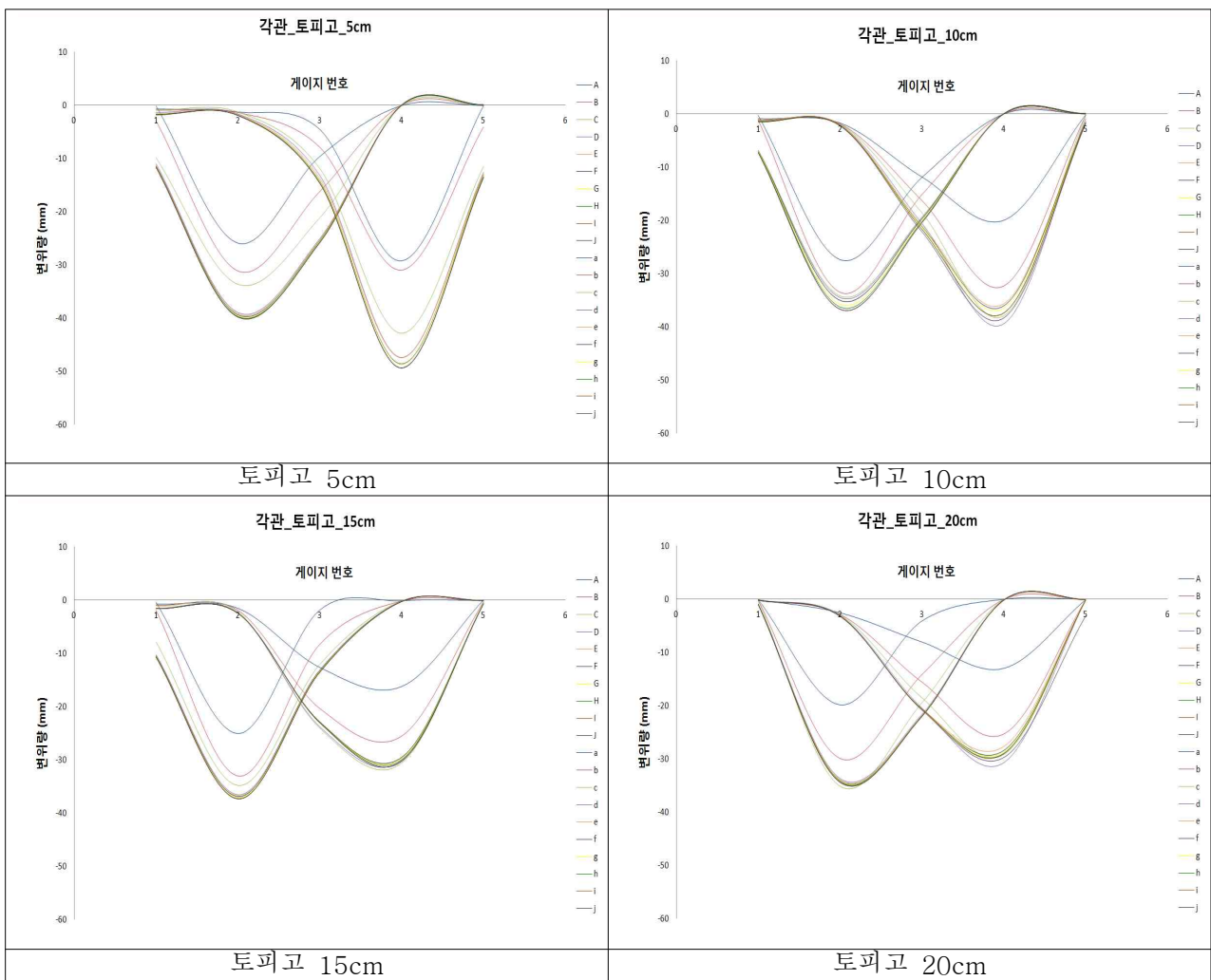


그림 6. 토피고별 각관의 침하량

강관의 단계별 굴착효과에 의한 침하경향을 그림 7에 나타내었다. 강관 역시 각관과 동일한 방법으로 실험을 하였다. 강관 역시 각관과 마찬가지로 토피고가 깊어질수록 침하량이 감소하는 경향을 나타내었다. 강관 역시 처음 굴착시에 가장 많은 침하량을 보였으며 12cm이상 굴착시부터 침하량이 현저하게 감소되는 경향을 보였다. 강관과 각관의 침하량을 비교하여 보면 각관이 강관보다 침하가 더 많이 일어나는 경향을 띄었으며, 각관과 강관 모두 토피고 5cm에서는 두번째관 굴착 시에 첫번째관 굴착시보다 침하가 더 많이 일어났으며, 토피고가 깊어질수록 굴착시에 침하가 작아지는 경향을 보였다.

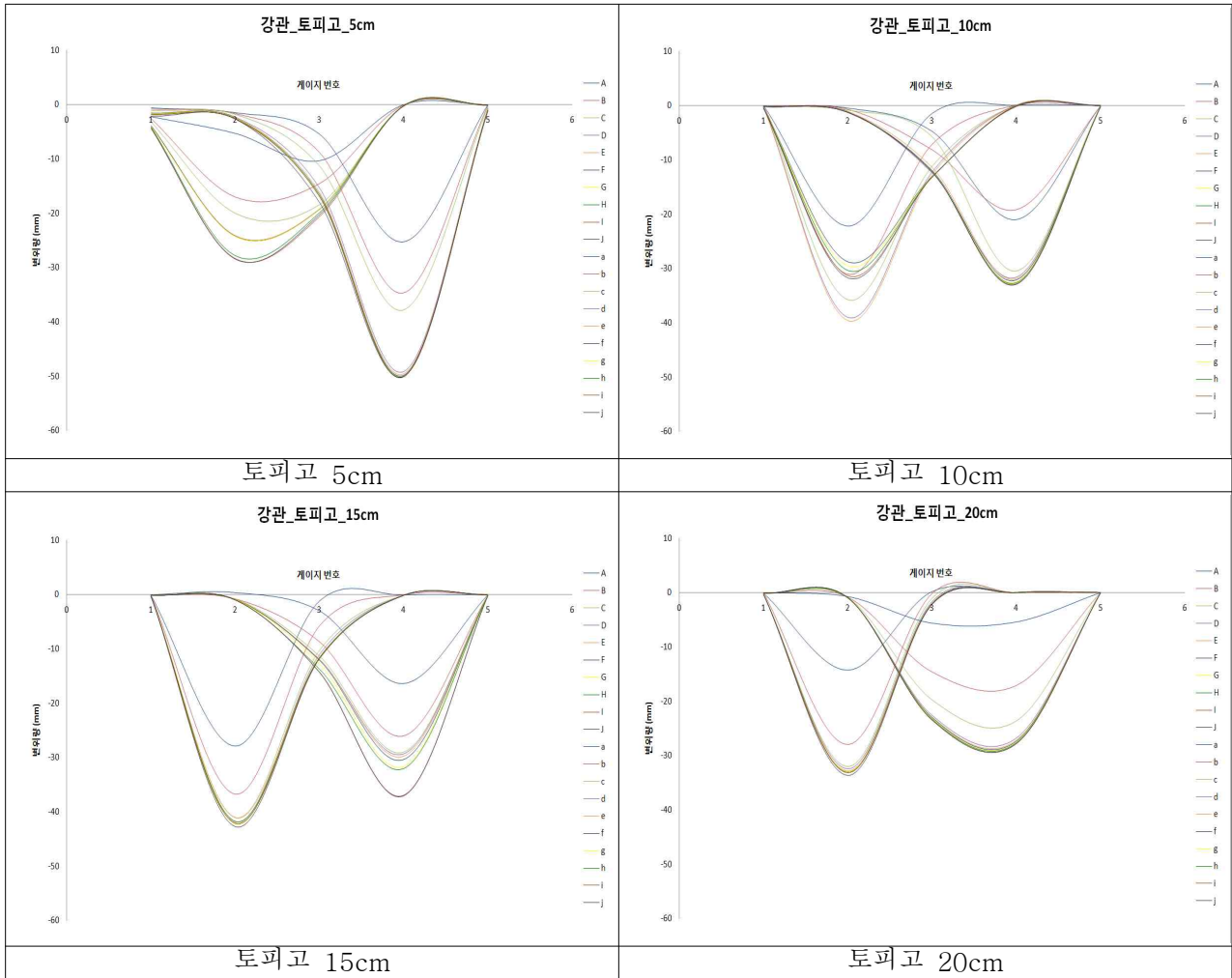


그림 7. 토피고별 강관의 침하량

3.2 최대침하량

관 내부굴착 시 최대침하가 발생하는 3cm 굴착 지점에서의 강관과 각관의 침하량을 그림 8에 나타내었다. 첫번째관 굴착 시 토피고가 5cm일때에는 각관이 강관보다 침하량이 대략 2배정도 크게 나타나지만 토피고가 깊어질수록 침하량의 차이가 줄어드는 경향을 볼 수 있다. 두 번째 관 굴착 시에도 거의 일정한 경향으로 침하가 진행되는 것을 볼 수 있다.

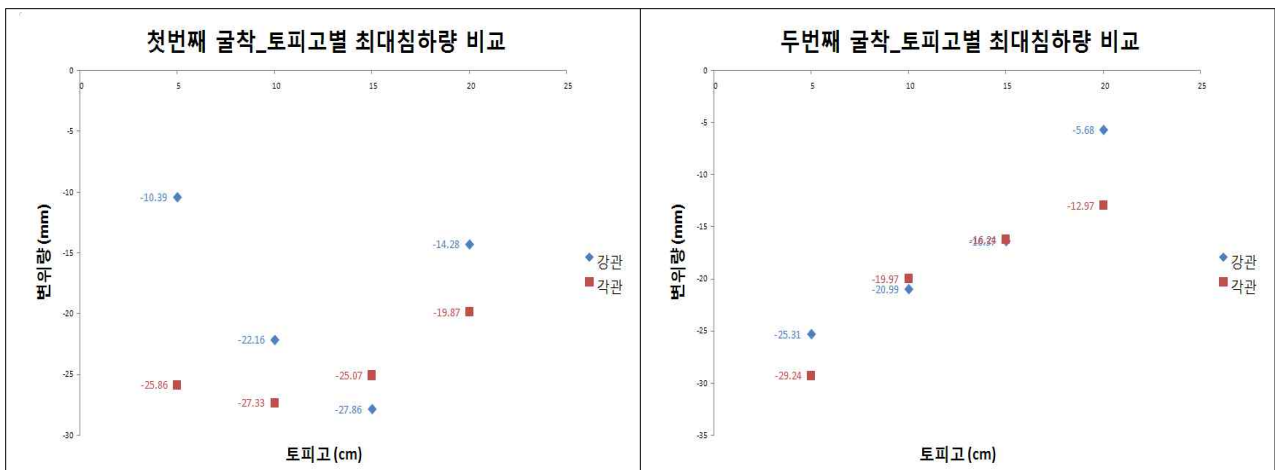


그림 8. 토피고별 최대침하량

4. 결론

본 실험에서는 동일한 지반조건을 가지고 축소모형실험을 실시하여 강관 및 각관내부 굴착시의 토피고별 침하경향을 검토하였다. 이에 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 초기 굴착 시 전체 침하량의 50%정도가 침하되는 경향을 볼 수 있었고, 50%이상 굴착 시 부터는 침하가 현저하게 줄어드는 경향을 확인할 수 있었다.
- (2) 강관과 각과 모두 토피고가 깊어질수록 굴착으로 인한 침하량이 감소하는 경향을 볼 수 있다.
- (3) 강관과 각관의 굴착으로 인한 최대침하량은 초기에는 각관이 강관에 비해 2배정도 많은 침하량을 보이지만 토피고가 깊어질수록 침하량의 차이가 줄어드는 경향을 나타냈다.

6. 참고문헌

1. 김종우외 (2004), “쌍굴터널 주변지반의 변형거동에 관한 모형실험 연구”, 한국암반공학회지, 제14권 제5호, pp.381-390.
2. 배규진외 (1997), “Umbrella Arch공법에 의한 터널 천단부 보강시 주변지반의 거동에 관한 연구”, 한국암반공학회 학술논문집, Vol.7, 299-309
3. David N. Chapman (1999) "A graphical method for predicting ground movements front pipe jacking", Proc. Ins. Civ. Engrs. Geotech. Engng, 137, Jan, 87-96,
4. 柳 民峰외 (2006), “파이프루프施工における余掘り掘削が地表面変位に及ぼす影響”, 地盤工学研究発表会発表講演集, 卷:4 1 s t 頁:1749-1750 特殊号:2 分冊の2