

UPRS 공법과 프론트잭킹 공법의 파이프루프 주변 현장토압 계측결과 비교

심영종¹ · 진규남^{2*} · 송기일³

¹정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 도시환경연구실 수석연구원

²비회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 도시환경연구실 실장

³정회원, 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학전공 교수

Comparison of earth pressure around pipe-roof between UPRS and front-jacking method

Youngjong Sim¹, Kyu-Nam Jin^{2*}, Ki-Il Song³

¹Research Fellow, Land and Housing Institute, Korea

²Senior Research Fellow, Land and Housing Institute, Korea

³Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Inha University

ABSTRACT: This study is to confirm the effect of pre-installed pipe-roof by measuring earth pressure acting on the underpass. In recently developed trenchless methods pre-inserted steel pipes before ground excavation to form pipe-roof are connected each other with re-bars and filled with mortar. In this study, focusing on the Upgraded Pipe Roof Structure method (UPRS) and Front-Jacking, earth pressure around pipe-roof is measured after insertion of steel pipe to ensure the effect of earth pressure reduction. In case of the UPRS earth pressure is considerably reduced because of the reinforced effect of pipe-roof. In case of the Front-Jacking in which the whole underpass structure is pushed into the ground, earth pressure are not reduced as expected, because the pre-installed pipes are not needed to be reinforced.

Keywords: Trenchless method, Pipe-roof, UPRS, Front-jacking, Earth pressure

초 록: 본 연구의 목적은 비개착공으로 시공되고 있는 지하차도를 대상으로 지하차도 상부 및 측벽에 작용하는 토압을 계측하여 압입된 강관에 의한 지보효과 확인을 목적으로 하고 있다. 근래의 비개착공법은 파이프루프를 형성하기 위한 강관을 압입한 후 강관과 강관사이를 철근으로 보강하고 모르타르를 타설하는 방식으로 침하에 대한 안정성을 보다 확보하기 위한 노력을 기울이고 있다. 이에 최근 적용되고 있는 UPRS(Upgraded Pipe Roof Structure)공법과 프론트잭킹(Front-Jacking)을 중심으로 강관 압입 후 강관에 의한 토압감소효과를 확인하기 위하여 지하차도 주변의 토압을 계측하였다. 그 결과 UPRS공법의 경우 지하차도에 토압이 상당부분 감소하여 강관보강에 의한 지보강성 효과가 발휘되는 것으로 분석되었다. 프론트잭킹 공법의 경우 지하차도 구조물이 외부에서 제작되어 압입되는 형식으로 강관을 보강시킬 필요가 없기 때문에 강관보강에 의한 토압감소효과는 예측한대로 발휘되지 않는 것으로 분석되었다.

주요어: 비개착공법, 파이프루프, UPRS, 프론트잭킹, 토압

1. 서론

최근 지하차도를 시공함에 있어 철도나 도로의 하

부를 불가피하게 비개착으로 시행하는 특수공법의 적용이 증가하고 있다. 비개착방식의 특수공법(이하 비개착공법)은 지반 굴착 이전에 강관을 지하차도 주변을 따라 설치하는 파이프루프(Pipe-roof) 공법형태와 유사한 방법이 대부분 적용되고 있는데 지반 굴착 시 침하를 방지하고 상재하중과 토압을 적절히

*Corresponding author: Kyu-Nam Jin
E-mail: geojin@lh.or.kr

Received June 16, 2015; Revised September 2, 2015;
Accepted September 7, 2015

분산하여 상부하중을 저감시키는 것이 특징이다. 최근에는 직경이 큰 강관(직경 600 mm 이상)을 수평으로 압입한 후 횡방향으로는 철판이나 철근으로 연결하여 내부를 모르타르로 채워서 보강하는 등 단면의 휨강성(flexural stiffness), 즉 하중에 대한 저항성을 증대시킨 안전성이 한층 증대된 비개착공법이 많이 시공되고 있다. 그러나 지하차도 구조물 주변에 높은 강성의 일체형 파이프루프가 형성되어 있음에도 불구하고 파이프루프 하부에 시공되는 본 구조물인 지하차도 설계 시 파이프루프의 강성으로 인한 응력감소 효과, 즉, 설계하중(활하중 및 고정하중)에 대한 파이프루프의 부담률을 고려하지 않은 채 구조설계를 하게 됨으로써 지하차도 단면을 과다하게 설계하고 있어 이에 대한 개선책이 필요한 실정이다.

비개착공법 관련 연구는 개착공법에 비해 상대적으로 적은 실정이다. 최근 Sim et al. (2013)은 일체형 파이프루프 시공에 따른 주변지반의 토압 분포 특성을 유한차분 수치해석을 실시하였다. 그 결과 본체 콘크리트 구조물에 작용하는 토압은 원상태의 토압보다 큰 폭으로 감소하여 작용함을 확인하였다. Kimura 등(2005)은 Mito시(일본 이바라키현 중앙부에 위치한 시이자 현청 소재지)를 관통하는 2차선 Baikoh 터널에 대한 새로운 시공사례를 소개하였으며, Histake and Ohno (2008)는 파이프루프 공법의 터널 상부의 변위제어 효과를 확인하기 위하여 원심모형실

험을 수행하였다. 이들은 전단면굴착과 ring-cut 굴착 공법의 두 가지 방법에 대해 파이프루프로 보강된 경우와 그렇지 않은 경우의 변위를 조사하였다. Ahuja와 Sterling (2008)은 파이프루프 적용시 수치해석적으로 터널 굴착 방법에 따른 영향을 분석하였다.

이와 같이 지반거동 및 침하 등 안정성 측면에서 비개착공법의 시공사례(Lee et al., 2003; Kimura et al., 2005), 실내실험(Histake and Ohno, 2008; Eum et al., 2010; Choi et al., 2012a and 2012b) 및 수치해석(Ahuja and Sterling, 2008) 등의 연구가 수행되었으나 파이프루프의 강성증가로 안정성이 증대된 만큼 파이프루프의 설계하중 부담률에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 이에 대한 사전단계의 연구로써 UPRS (Upgraded Pipe Roof Structure) 공법과 프론트 잭킹(Front-Jacking)으로 시공되는 지하차도를 대상으로 파이프루프 주변의 현장토압을 계측하였다. 파이프루프를 중심으로 수직토압은 파이프루프 상하부에, 횡토압은 파이프루프 좌우측에 센서를 설치하여 현장토압을 계측, 파이프루프에 의한 토압감소여부를 확인하였다.

2. 토압계측 센서 및 설치

토압계측에 사용된 센서는 아래 Fig. 1과 같이 직경

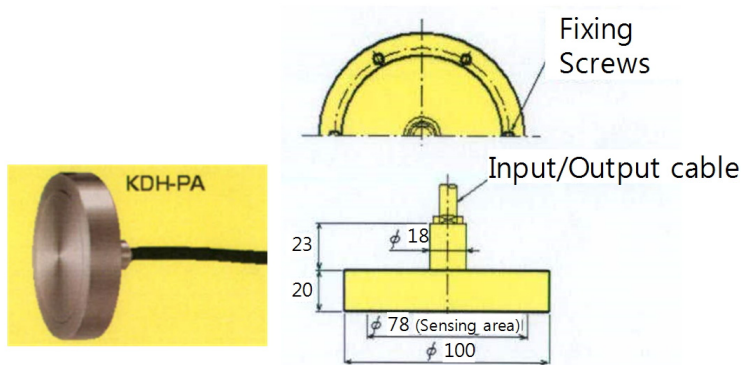


Fig. 1. Dimension of sensor for measuring earth pressure (unit: mm)

이 10 cm인 로드셀 형태인 스테인레스강 제품으로 500 kPa까지 토압측정이 가능하다.

Fig. 2는 토압측정에 필요한 센서의 설치방법을 나타내는 그림으로 적용대상공법의 해당공정과 측정 위치에 따라 적절하게 적용하였다. A 방법(Fig. 2a)은 강관외벽에 센서를 부착한 경우로 강관압입전에 설치할 경우 강관압입 시 지반교란이 발생하므로 강관압

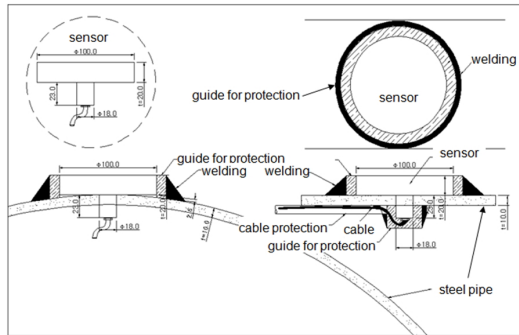
입 이후에 강관이 외부에 노출되어 있을 경우 센서를 설치하여 토압을 측정하기 위한 방법이다. B 방법(Fig. 2b)은 강관외주면과 되도록 일치시켜 센서를 부착하고 내부에 고정장치를 이용하여 센서를 고정시킨 경우이다. 이 경우 강관 압입전에 강관에 센서를 설치하여 토압을 측정할 경우 강관 압입 시 지반 교란을 최소화시킬 수 있는 장점이 있다. C 방법(Fig. 2c)은 강관에 직접 센서를 설치할 수 없을 경우, 다소 복잡하나 현장타설로 시공되는 지하차도 구조물 거푸집에 직접 센서를 설치하는 방법이다.

3. UPRS 공법이 적용된 지하차도 주변 토압 계측

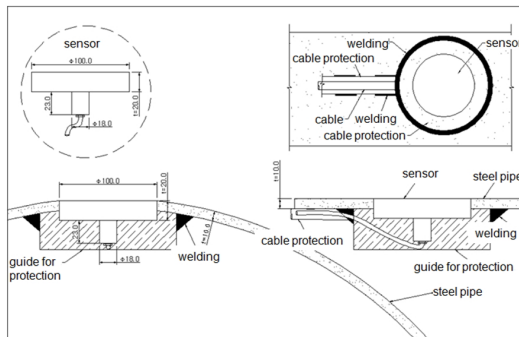
3.1 현장 및 계측개요

UPRS (Upgraded Pipe Roof Structure) 공법은 강관의 한쪽에 홈을 형성시키고 다른 쪽은 수평홈과 맞물릴 수 있도록 앵글을 설치, 여러 강관들을 이웃하게 서로 맞댄 상태로 2~3열식 연결하여 제작한 강관다발 구조체를 한꺼번에 압입시킨 후 내부를 굴착하는 공법이다(Fig. 3). 이 공법은 강관을 중첩으로 연결하였기 때문에 횡방향 강성 증대가 예상되는 공법이다.

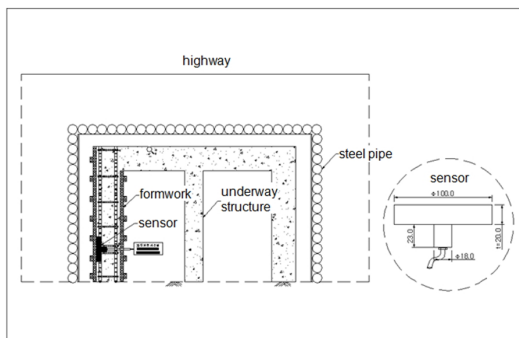
Table 1은 UPRS 공법에 사용된 강관의 직경, 지반 토피고, 그리고 지하차도 구조물의 제원을 나타내고



(a) A method



(b) B method



(c) C method

Fig. 2. Installation of sensor



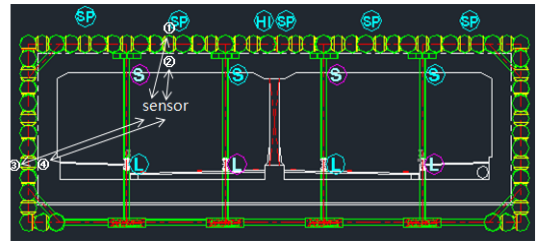
Fig. 3. UPRS method

Table 1. Diameter of steel pipe, soil cover and cross section of underpass (UPRS)

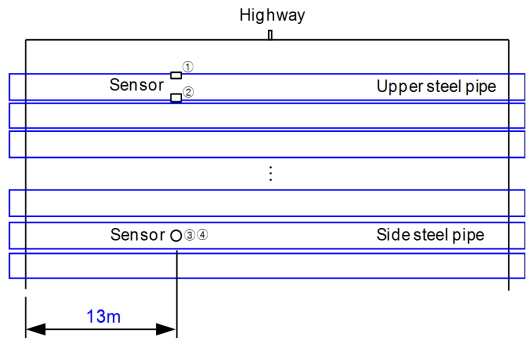
Diameter of steel pipe (mm)		914.4
Soil cover (m)		2.5
Cross section of underpass	L (m)	49
	B (m)	27.2
	H (m)	7.875
	Upper slab thickness (m)	1.3
Side wall thickness (m)		1.1

있다. 대상단면의 토피고는 약 2.5 m 정도이며 지반은 자갈풍화토층으로 구성되어 있다.

Fig. 4는 파이프루프 및 지하차도 단면을 나타내고 있으며 센서가 설치된 위치를 나타내고 있다. 본 공법이 사용된 지하차도 주변의 토압을 측정하기 위해 종방향으로 고속도로 하행선 중앙부인 13 m 지점에 센서를 설치하였다. 파이프루프를 중심으로 파이프루프 상하부의 토압을 비교하기 위해 파이프루프 상부측과 파이프루프 하부측에 각각 1개씩의 센서(Fig. 4의 ①과 ②)를 각각 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)의 방법으로



(a) Cross section



(b) Longitudinal section

Fig. 4. Structure of underpass and location of sensor (UPRS)



(a) Installation of sensor ①



(b) Installation of sensor ②



(c) Installation of sensor ③



(d) Installation of sensor ④

Fig. 5. Process of sensor installation (UPRS)

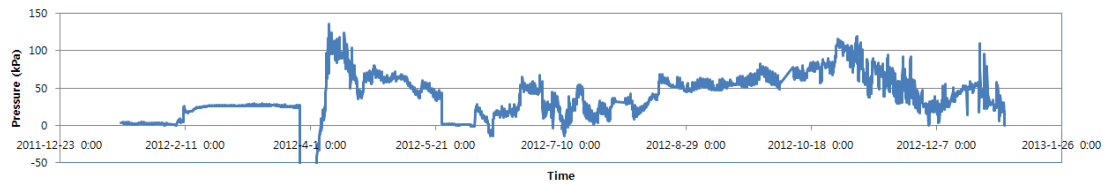
설치하였다.

파이프루프 좌우측의 토압을 비교하기 위해 파이프루프 좌측과 파이프루프 우측에 각각 1개씩의 센서 (Fig. 4의 ③과 ④)를 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)의 방법으로 설치하였다. Fig. 5는 이러한 4개의 센서를 설치하는 장면을 나타내고 있다.

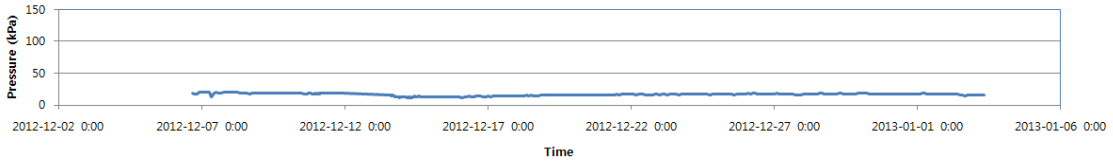
3.2 측정결과 및 분석

아래 Fig. 6 및 Table 2는 UPRS 공법이 적용된 지하차도 주변의 토압 측정결과를 나타내고 있다.

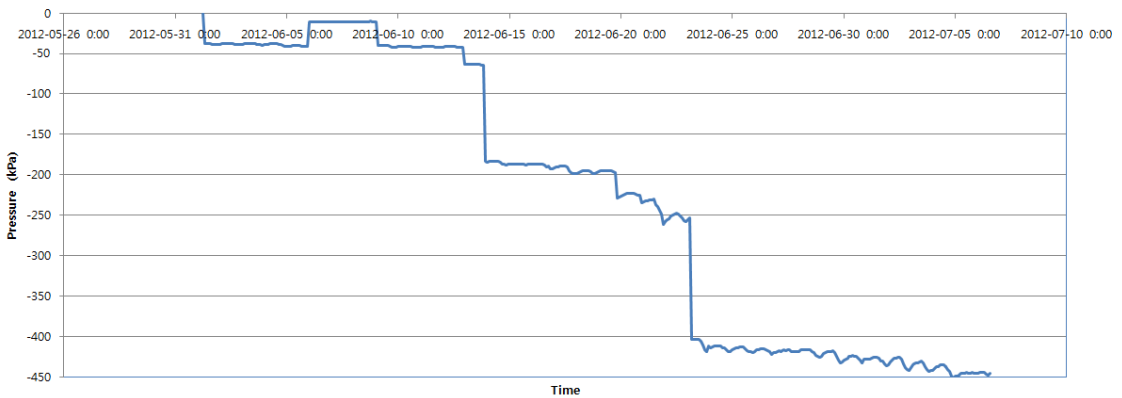
UPRS 공법이 적용된 지하차도 주변의 토압 측정 결과 센서①은 1월16일 설치가 완료된 이후로 매 2시간마다 토압측정이 이루어졌다. 강관외부 그라우트



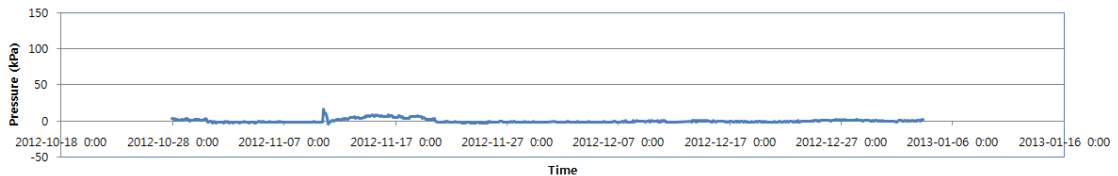
(a) Sensor①



(b) Sensor②



(c) Sensor③



(d) Sensor④

Fig. 6. Result of earth pressure measurement (UPRS)

Table 2. Selected result of earth pressure measurement (UPRS)

Sensor	Date & Pressure (kPa)								
	1/16	3/16	5/16	7/16	9/16	10/31	11/21	11/31	12/31
①	3.62	27.63	55.61	42.60	55.98	103.67	57.46	37.23	50.74
	12/6	12/7	12/16	12/17	12/18	12/31	-	-	-
②	17.99	17.99	12.54	14.29	15.00	15.75	-	-	-
	6/1	6/16	7/6	-	-	-	-	-	-
③	-38.0	-189.75	-445.94	-	-	-	-	-	-
	10/27	10/31	11/21	11/31	12/16	12/17	12/18	12/31	-
④	3.04	-1.01	-1.68	-2.02	-0.48	-1.18	-0.83	-0.48	-

- Installation of sensor① (11/17/2011), sensor② (11/28/2012), sensor③ (5/18/2012), and sensor④ (10/27/2012)
- Grouting work outside steel pipe, assembly of re-bar and filling with mortar inside steel pipe (3/28~4/6)
- Beginning excavation work (8/1)
- Cable disconnection during the shift of electrical supply (8/1~8/5)
- Placement of subslab concrete (9/25)
- Disconnection of all sensors during the shift of electrical supply (10/5~10/10)
- Placement of bottom concrete (10/5)
- Placement of side wall concrete (11/5)
- Placement of upper structure concrete (12/10)

작업과 내부 보강작업을 완료한 4월 6일부터 단선사고 이전인 10월 4일까지 파이프루프 상부에 작용하는 하중의 평균값은 42 kPa 정도를 보이고 있다. 실제로 파이프루프 상부측 센서의 위치는 지표면으로부터 약 H=2.5 m 깊이에 있고 자갈포화토층의 단위중량 (γ)을 18 kN/m³로 가정하였을 경우 토압은 45 kPa로 본 센서에 적절히 작용하고 있는 것으로 판단된다.

실제로 파이프루프가 없거나 파이프루프가 하중을 분담하지 않을 경우 센서①의 위치보다 더 깊은 곳에 위치하고 있는 센서②에서의 토압은 센서①의 측정된 45 kPa보다는 크게 작용할 것으로 예측된다. 그러나 센서②에서 측정된 값은 평균 16 kPa이며 센서①의 값과 비교하여 약 40 % 정도 감소하였다. 이는 파이프루프의 지보강성에 의해 상부하중의 일부를 파이프루프가 부담하고 있는 것으로 판단된다.

이에 파이프루프 하부에 시공되는 지하차도의 설계 시 파이프루프의 상부하중 분담률을 고려한 설계를 통해 지하차도 단면에 대한 보다 경제적인 설계가 가능할 것으로 판단된다. 그러나 파이프루프의 요소를 이루고 있는 강관의 에이징(aging)으로 인해 강관이 상부하중을 부담하고 있는 정도가 시공된 초기보

다는 점차적으로 감소할 것으로 예상되므로 장기거동을 고려한 설계가 추가로 반영이 되어야 한다.

특히, 센서①의 경우 3월 28일부터 4월 6일 사이 강관외부 그라우팅 작업으로 센서에 영향을 끼치게 되며 갑자기 토압이 (-)값을 나타내는 것으로 판단된다.

파이프루프 좌측에 설치한 센서③은 설치 후 계속 이전에 시공 중 사고로 망실되어 모든 측정값이 (-)값으로 토압계측이 불가하였다. 센서④의 경우 횡토압이 0 kPa를 평균적으로 나타내고 있는 것으로 보아 횡토압이 거의 작용하지 않는 것으로 보아 파이프루프가 하중을 분담하고 있는 것으로 판단된다.

4. 프론트잭킹 공법이 적용된 지하차도 주변 현장토압 계측

4.1 현장 및 계측개요

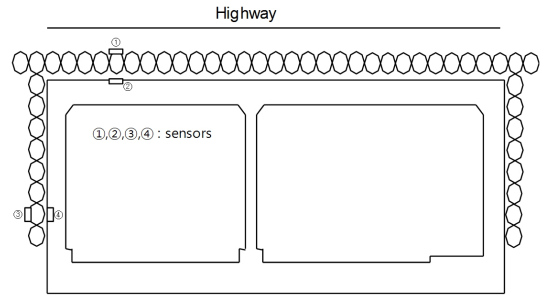
프론트잭킹 공법(Front-jacking)은 지하차도 계획 단면의 상부와 양측부에 보호강관을 추진한 후 발진대를 설치하고 계획단면의 구조물을 외부에서 제작

Table 3. Diameter of steel pipe, soil cover and cross section of underpass (Front Jacking)

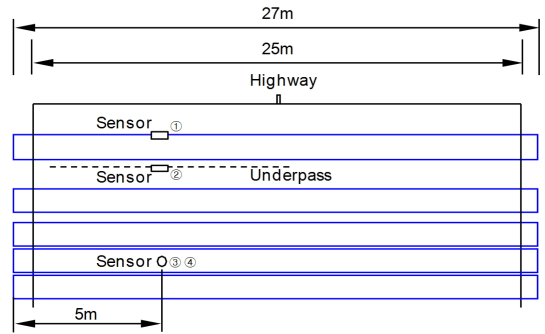
Diameter of steel pipe (mm)		609.6
Soil cover (m)		2.5
Cross section of underpass	L (m)	27
	B (m)	18.05
	H (m)	5.3
	Upper slab thickness (m)	0.8
Side wall thickness (m)		0.8(L), 0.9(R)

· 양생하여 유압잭을 이용, 소정의 위치에 구조물을 견인 설치하는 공법이다. Table 3은 프론트잭킹에 사용된 강관의 직경, 지반 토피고, 그리고 지하차도 구조물의 제원을 나타내고 있다. 대상단면의 토피고는 약 2.5 m정도이며 지반은 점토 및 점토사갈층으로 구성되어 있다.

프론트잭킹 공법의 경우 지하차도 구조물이 외부에서 제작·양생되어 견인되는 공법이기에 때문에 현장타설로 시공되는 UPRS 공법과는 달리 파이프루프의 횡방향 휨강성이 요구되어지는 것은 아니기 때문에



(a) Cross section



(b) Longitudinal section

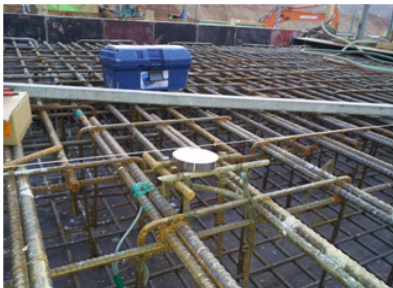
Fig. 7. Location of installed sensor (Front-Jacking)



(a) Sensor①, ③



(b) Sensor④ on formwork



(c) Sensor② on formwork



(d) Imbedded sensor② in upper slab

Fig. 8. Installation of sensors (Front-Jacking)

별도로 강관자체를 보강하거나 강관과 강관사이를 보강할 필요가 없는 공법이다. 이에 파이프로프가 하중을 분담하지 않을 것으로 예측이 되는 공법이다.

Fig. 7은 파이프로프 및 지하차도 단면을 나타내고 있으며 센서가 설치된 위치를 나타내고 있다. 본 공법이 사용된 지하차도 주변의 토압을 측정하기 위해 종방향으로 5 m 지점에 센서를 설치하였다. 상부토압을 측정하기 위해 파이프로프 상부측과 하부측에 각각 센서(Fig. 7의 ①과 ②)를, 횡토압을 측정하기 위해 파이프로프 좌측과 우측에 각각 센서(Fig. 7의 ③과 ④)를 설치하였다(Fig. 8 참조).

원래의 토압을 측정하기 위해 설치한 센서①과 센서③은 Fig. 2(b)의 방식으로 설치하여 각각 파이프로프 상부와 측면의 토압을 측정하였다. 파이프로프에

의한 토압감소효과를 확인하기 위해 설치한 센서②와 ④는 Fig. 2(c)의 방식으로 구조물의 거푸집에 직접 설치하여 측정하였다. Fig. 8은 이러한 센서 설치과정을 나타내고 있다.

4.2 계측결과 및 분석

아래의 Fig. 9와 Table 4는 프론트잭킹 공법이 적용된 지하차도 주변의 토압 측정결과를 나타내고 있다.

프론트잭킹 공법이 적용된 지하차도 주변의 토압 계측 결과 파이프로프 상부와 좌측에 설치한 센서(①번과 ③번)는 예상보다 토압이 미미하게 작용하였다. 이는 강관압입이후 센서주변 토사의 국부적인 아칭현상에 기인한 것으로 판단된다.

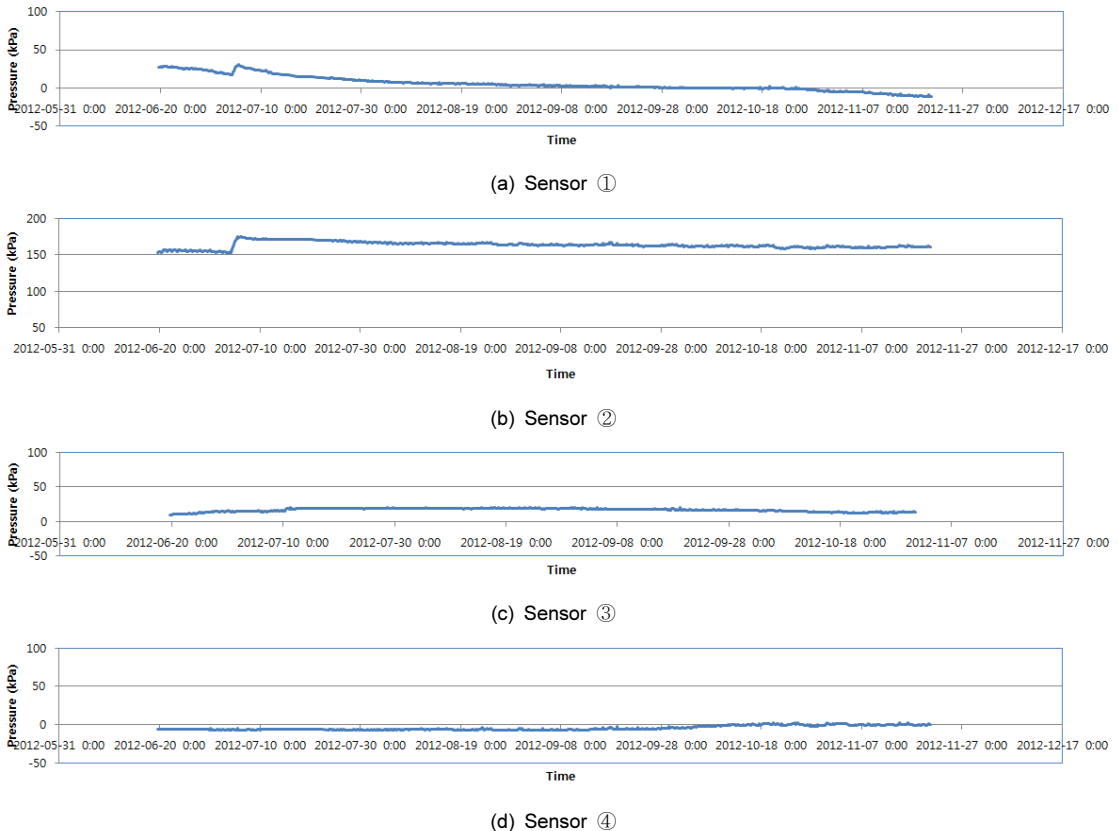


Fig. 9. Result of earth pressure measurement (Front-Jacking)

Table 4. Selected result of earth pressure measurement (Front-Jacking)

No.	Date & Pressure (kPa)																
	6/19	6/26	7/3	7/10	7/15	8/7	8/21	8/28	9/4	9/11	9/14	9/18	10/2	10/16	10/2	10/30	11/20
①	27.04	25.1	18.01	22.57	16.91	6.59	5.27	3.08	3.08	2.67	2.26	-0.96	0.34	-0.14	0.34	-3.97	-11.09
②	152.89	154.72	152.93	171.6	170.96	164.11	164.76	163.56	162.78	162.17	163.51	152.89	161.07	160.93	161.07	159.5	160.74
③	9.79	12.85	14.69	17.67	18.64	18.19	18.53	17.91	18.11	17.07	17.78	16.5	15.59	12.6	15.59	13.0	-
④	-6.16	-6.14	-6.22	-6.58	-6.44	-7.06	-6.63	-7.29	-7.50	-7.15	-5.83	-6.16	-4.36	0.47	-4.36	-0.8	0.39

Note)

- Installation of sensor① (11/28/2011), sensor② (2/25/2012), sensor③ (4/17/2012), and sensor④ (3/7/2012)
- Beginning measurement after completion of towing main structure (6/5/2011~6/12/2011)
- Highway Repavement (7/4/2011)
- Sensor③ was disconnected when facing concrete for structure was placed on October 31th.

구조물상부(파이프루프 하부)에 설치된 센서②의 경우 토피고 2.5 m내에 아스팔트 포장하중(11.5 kPa) 과 토사 하중(40 kPa)을 고려하더라도 51.5 kPa을 상회하는 150 kPa이상의 큰 토압이 작용하는 것으로 나타났다. 이는 강관의 하중이 추가로 상재하중으로 작용하는 것으로 판단되며 강관압입 후 파이프루프의 횡방향 지보강성이 발휘되지 않고 있음을 간접적으로 나타내고 있다. 구조물 측벽(파이프루프 우측)에 설치된 센서④는 토압이 작용하지 않은 것으로 판단되며 이는 수직방향으로 설치되어 있는 강관에 의해 횡토압이 어느 정도 영향을 주거나 강관 압입시 센서①과 센서③의 경우처럼 주변 토사와 밀착이 잘 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 파이프루프 방식의 비개착공법인 UPRS 공법 및 프론트잭킹 공법이 적용 중인 지하차도에 대해 파이프루프를 중심으로 상하부, 좌우측 토압을 계측 비교하여 파이프루프에 의한 토압감소 여부를 확인하여 파이프루프에 의한 지보효과 확인을 목적으로 하고 있다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. UPRS 공법의 경우 파이프루프 하부에 시공될 지하차도 구조물 상부측에 본 지반조건 하에서는 토압이 약 40%정도 감소하여 작용하는 것으로 나타

났다. 이는 파이프루프의 지보강성이 토압감소에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

2. UPRS 공법의 경우 지하차도 구조물이 현장에서 콘크리트로 타설되는 구조물이므로 콘크리트 지하차도 구조물이 양생되기 이전에 지보의 안전성을 증대시키는 방편으로 강관과 강관을 횡방향으로 보강하여 가설지보재에 작용하는 하중을 경감시키는 단계가 필요하다. 이에 파이프루프가 보강재와 일체화되어 토압감소에 영향을 끼친 것으로 판단된다.
3. 프론트잭킹 공법의 경우 상부 아스팔트 하중과 토사하중보다 더 큰 상부하중이 작용하는 것으로 나타났다. 이는 파이프루프의 자중이 상재하중으로 작용한 결과이며 파이프루프의 형성이 토압감소에 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.
4. 프론트잭킹 공법의 경우 외부에서 제작되어 양생이 완료된 지하차도 구조물 전체가 굴착과 동시에 견인되며 지하차도 구조물이 하중을 받는 방식이므로 가설지보재가 필요없는 공법으로 사전에 보강재를 사용하여 파이프루프를 일체화시키기 위한 공정이 필요없다. 이러한 파이프루프는 토압감소에 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.
5. 결론적으로 UPRS 공법의 경우 일체화된 파이프루프는 지하차도 콘크리트 구조물에 작용하는 토압을 파이프루프가 일부 부담하게 되어 지하차도 단면 설계 시 단면축소가 가능할 것으로 판단된다.

6. 아울러 지하차도 시공 중 센서의 망실과 충분치 않은 계측데이터로 인해 각 공법별 좀 더 많은 수의 계측이 필요한 것으로 판단되며 수치해석을 통한 검증이 재차 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 LH 토지주택연구원의 “파이프루프의 지보강성을 고려한 비개착구조물의 최적설계”의 연구의 일부로 수행되었습니다. 또한 센서 설치와 계측에 도움을 주신 호승이앤씨의 이근호 대표이사님과 이하 직원여러분의 노고에도 깊은 감사를 표하는 바입니다.

References

1. Ahuja, V., Sterling, R.L. (2008), “Numerical modelling approach for microtunnelling assisted pipe-roof support system”, World Tunnel Congress 2008 - Underground Facilities for Better Environment and Safety, pp. 1678-1687.
2. Choi, S.W., Park, Y.T., Chang S.H., Bae, G.J., Lee, K.T., Baek, Y.K. (2012), “A numerical study on the three-dimensional ground movement by the trenchless construction method of concrete box by a square steel pipe supporting system”, J of Korean Tunn and Undergr Sp Assoc, Vol. 14, No. 5, pp. 469-484.
3. Choi, S.W., Park, Y.T., Chang S.H., Bae, G.J., Lee, K.T., Baek, Y.K. (2012), “An experimental study on the ground movement around a square pipe by its penetration for trenchless construction in sandy ground”, J of Korean Tunn and Undergr Sp Assoc, Vol. 14, No. 5, pp. 485-501.
4. Eum, K.Y., Choi, C.Y., Cheon, J.Y. (2010), “Analysis of heaving and settlement test of scale model depending on shape of the pipe during pipe roof excavation”, J. Korean Geosynthetics Society, Vol. 9, No. 4, pp. 9-15.
5. Hisatake, M., Ohno, S. (2008), “Effects of pipe roof supports and the excavation method on the displacements above a tunnel face”, Tunnel. Under. Space Tech, Vol. 23, pp. 120-127.
6. Kimura, H., Itoh, T., Iwata, M., Fujimoto, K. (2005), “Application of new urban tunneling method in Baikoh tunnel excavation”, Tunnel. Under. Space Tech. Vol. 20, pp. 151-158.
7. Lee, Y.B., Kim, J.Y., Park, I.J., Kim, K.G., Lee, J.H. (2003), “A study on the applicability of under ground structure using steel tubular roof in Korean geotechnical condition”, J of Korean Tunn and Undergr Sp Assoc, Vol. 5, No. 4, pp. 401-409.
8. Sim, Y.J., Jin, K.N., Lee, K.H. (2013), “Measurement of earth pressure around underpass by non-open-cut method”, KGS Spring National Conference 2013, March 21-22, 2013.