

고속도로 성토층에 정착하는 가설앵커 안전성 확보를 위한 현장적용 사례



서 성 필

한국도로공사
연양영천건설사업단
단장



한 기 환

한국도로공사
연양영천건설사업단
공사관리팀장



김 동 광

한국도로공사
연양영천건설사업단
품질환경팀장



김 현 철

한국도로공사
연양영천건설사업단
기술처장
(khckhc@ex.co.kr)



이 준 재

한국도로공사
연양영천건설사업단
품질과장

1. 서 론

고속도로 확장공사는 단계별 교통전환에 따른 특성상 기존 고속도로의 교통을 유지함과 동시에 고속도로 확장을 수행하여야 한다. 흙막이 가시설은 기존 교통을 유지하면서 확장 공사를 가능케 하는 확장공사의 필수 시설로서 그 안정성의 확보가 매우 중요하다.

고속도로 확장공사에 적용하는 흙막이 가시설은 H-Pile, 어스앵커, 토류판을 이용한 흙막이 공법이 가장 널리 사용되고 있다. 이 중, 일반적인 어스앵커의 주 원리는 지반에 삽입된 긴장재의 정착력으로 토압을 지지하는 공법이다. 시공된 앵커의 성능은 지중에 설치된 앵커체와 그 주변 지반과의 마찰력에 의해 좌우되는데, 전석과 호박돌이 있는 성토층, 느슨한 사질토

층, 연약한 점토층과 같이 원지반 강도가 낮은 경우 앵커체와 주변 지반과의 마찰력이 작아 소요인장력을 확보하기 어려운 경우가 많다. 특히 성토층과 전석층의 경우, 그라우트 유출량이 많아 설계 주입량에 비해 그라우트가 과다하게 주입되며, 또한 과다 주입에도 불구하고 구근이 형성되지 않아 앵커 긴장력이 부족한 경우가 빈번한 실정이다.

따라서 본 연구에서는, 지반 공극으로 인한 그라우트 유출을 방지하고 앵커체 주변 마찰력을 향상시켜 인장력을 확보 할 수 있는 팩 앵커 공법과 일반 어스앵커 공법을 동시에 적용 및 비교 평가하여 성토층의 흙막이 가시설 안전성 확보 방안으로써의 팩 앵커의 적합성을 제시하고 현장 계측을 통해 그 성능과 신뢰성을 조사하였다

2. 일반 가설앵커 시험시공 및 결과 분석

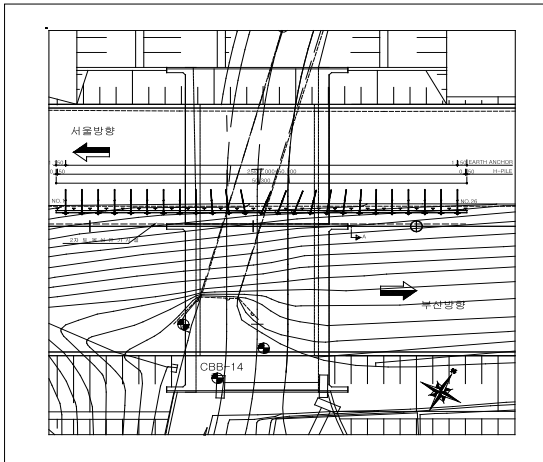
2.1 현장 개요

시험시공 적용 대상은 경부고속국도 언양~영천간 확장공사 현장 중 흙막이 가시설 높이가 가장 높은 유하교 흙막이 가시설(H-Pile+어스앵커+토류판 공법)을 대상으로 하였다.

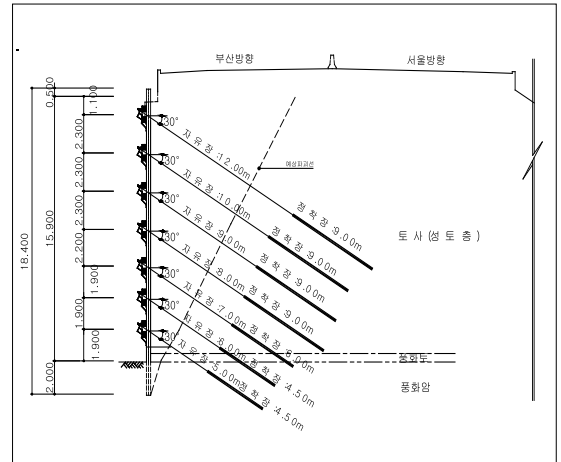
유하교 흙막이 공법은 H-Pile+어스앵커+토류판

공법으로 굴착깊이가 15.9m이며 어스앵커를 7단 높이로 시공한 대규모 가시설이다. 기존 경부고속도로에 시공되어 안정성 확보가 매우 중요하기 때문에 당초 설계안을 보완하여 어스앵커 1~3단의 자유장 길이를 연장하였으며, 시험 시공을 통해 어스앵커 안전성을 검증하는 것으로 계획하였다.

그림 1은 유하교 현장 평면도 및 단면도(설계안)이며 표 1은 어스앵커 제원에 대한 설계안과 수정안이다.



평면도



단면도

그림 1. 유하교 평면도 및 단면도

표 1. 유하교 어스앵커 제원

어스앵커 No	설치심도 (GL-m)	긴장재 (Φ12.7)	설치간격 (m)	설계안		수정안		긴장력 (kN)
				자유장(m)	정착장(m)	자유장(m)	정착장(m)	
1단	1.1	Φ12.7x5	2.0	12.0	9.0	21.0	9.0	407.2
2단	3.4	Φ12.7x5	2.0	10.0	9.0	17.0	9.0	403.7
3단	5.7	Φ12.7x5	2.0	9.0	9.0	12.0	9.0	412.7
4단	8.0	Φ12.7x5	2.0	8.0	9.0	8.0	9.0	415.3
5단	10.2	Φ12.7x5	2.0	7.0	6.0	7.0	6.0	395.0
6단	12.1	Φ12.7x5	2.0	6.0	4.5	6.0	4.5	429.0
7단	14.0	Φ12.7x5	2.0	5.0	4.5	5.0	4.5	461.3

2.2 지반조건 분석

유하교 흙막이 가시설 지층은 현장에서 수행한 시추 조사 결과, 지반 지층 구성은 성토층, 퇴적토층, 풍화암, 연암, 경암 순으로 분포한다.

(1) 성토층

본 지층은 갈색 도는 암회색을 띠는 실트섞인 모래질 자갈로 구성되고 있으며 아스콘 포장을 제외하고 지표면으로부터 GL-3.7m는 갈색 실트섞인 모래질 자갈로써 보통 조밀하고, GL-3.7m~5.4m는 갈색 실트질 모래로써 보통 조밀하며 부분적으로 자갈을 함유하고 있다. GL-5.4m~15.0m는 암회색 모래 자갈로써 조밀 또는 매우 조밀한 상대밀도를 나타내고 있다. N치는 심도 5.4m까지는 20/30이며 그 이하는 30/30~50/30이다.

(2) 퇴적토층

본 지층은 암갈색을 띠는 실트질 점토로 구성되고 있으며 층 깊이는 1.5m로써 원 지반에 해당된다. 층 전체에 잔자갈이 혼재되어 있으며 N치는 12/30~15/30이다.

(3) 풍화암층

본 지층은 사암이 풍화된 것으로 암회색을 띠며 층 깊이는 GL-16.0m~17.0m로 매우 조밀하고 N치는 50/4이다.

(4) 연암층

본 지층은 담회색을 띠는 사암의 연암층으로 풍화 정도는 보통~심한풍화이며 층 깊이는 1.0m로써 원지반에서 1.5~2.5m에 해당한다.

(5) 경암층

본 지층은 담회색을 띠는 사암의 경암층으로 풍화 정도는 보통 풍화이며 층 깊이는 원지반을 기준으로 GL-2.5m이하에 분포된다. 경암의 강도는 보통이다.

시추주상도 결과 값과 지반조사 보고서에 근거한 지반물성치는 표 2와 같다.

2.3 현장시험

어스앵커 안정성을 검증하기 위해 시험 시공 후, 현장 확인시험을 통해 앵커의 안정성을 평가하였다.

시험 시공은, 설계안과 수정안에 대하여 각각 2개소씩 총 4개소에 대하여 시험을 실시하였다. 시험 시공 시 정착부를 형성하는 그라우트의 경우 일반적인 어스앵커 그라우트와는 달리 그라우트 급결 효과와 앵커 구조체 팽창효과를 갖는 그라우트 전용 혼화제를 사용했으며 앵커에 주입된 그라우트는 외부로 오버플로우(overflow) 될 때까지 주입하였다.

그림 2는 유하교 시험시공 현황도이며 표 3, 표 4는 그라우트 품질관리 기준표, 시험 시공시의 그라우팅 주입량이다.

표 2. 지반물성치

구분	단위중량(kN/m ³)	점착력(kN/m ²)	내부마찰각(deg)	수평지반반력 계수(kN/m ²)
성토	19	15	28	15,000
풍화암	20	33	31	50,000
연암	23	180	34	70,000
경암	24	500	38	90,000

고속도로 성토층에 정착하는 가설앵커 안전성 확보를 위한 현장적용 사례

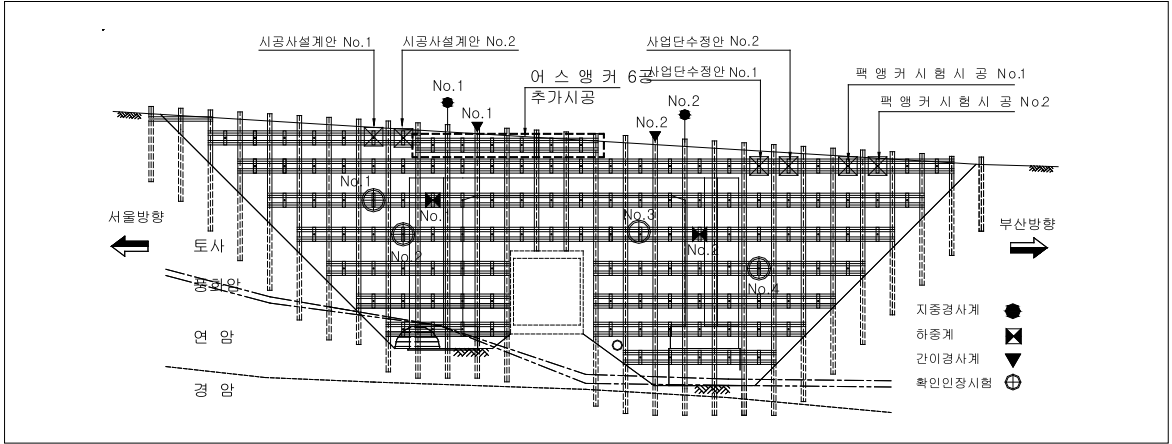


그림 2. 유하교 시험시공 현황도

표 3. 그라우트 품질관리 기준표

구분	시멘트량 2.5%	시멘트량 5.0%	시멘트량 10.0%	비고(현장적용)
제품회사 인장기준 일	3일 (21MPa 이상)	2일 (21MPa 이상)	1일 (21MPa 이상)	■ : 일반 앵커 시험시 7일 양생후 긴장 ◎ : Pack앵커 시험시 3일 양생후 인장 압축강도 : 24MPa 이상 확보
현장 시험	6~7일	3~4일	2일	
적용	■	◎		

표 4. 시험 시공시 그라우팅 주입량

구분	설계 수량(m³)	시공 수량(m³)	비고
그라우트 주입량	2.50	7.84	증 5.34m³

2.4 현장시험 결과 분석

앵커의 확인시험 결과는 계획 최대하중의 시간 의존성 신장, 유효 앵커 자유장, 소성 신장량 및 인장시험 결과와 비교 평가된다. 현장 인장시험 평가 기준은 앵커의 자유장과 정착장에 대해 탄성 신장량의 상한치와 하한치를 산정해서 적용하였으며, 산정방법은 다음과 같다.

$$\text{탄성 신장량의 상한치 } \delta_{\max} = P_p(L_f + 0.5L_b)/EA$$

$$\text{탄성 신장량의 하한치 } \delta_{\min} = P_p \times 0.8L_f/EA$$

$$\text{탄성 신장량의 이론치 } \delta = P_p \times L_f/EA$$

여기서, P_p : 확인시험시 계획 최대하중으로 설계 긴장력의 120%

L_f : 앵커의 자유장(mm)

L_b : 앵커의 정착장(mm)

E : PC강연선의 탄성계수(MPa)

A : PC강연선의 단면적(mm²)

앵커 긴장은 설계긴장력의 10%, 40%, 60%, 80%, 100%, 120%로 수행했으며 설계안과 수정안의 시험 인장 결과는 표 5와 같다.

표 5. 앵커 확인시험 결과

설계안	
No.1	No.2
설계긴장력 : 41.5ton(415kN) 자유장 : 12.0m 정착장 : 9.0m 시험값이 상한값을 초과 ⇒ N.G	설계긴장력 : 41.5ton(415kN) 자유장 : 12.0m 정착장 : 9.0m 시험값이 상한값을 초과 ⇒ N.G
수정안	
No.1	No.2
설계긴장력 : 41.5ton(415kN) 자유장 : 21.0m 정착장 : 9.0m 시험값이 상한값을 초과 ⇒ N.G	설계긴장력 : 41.5ton(415kN) 자유장 : 21.0m 정착장 : 9.0m 시험값이 상한값을 초과 ⇒ N.G

앵커 확인시험 결과(그림 3), 시험 앵커 4개소 모두 신장량이 기준값을 초과하였다. 신장량의 초과 사유는 그라우트 주입량에 근거하여 다음과 같이 판단된다.

- (1) 성토층에 전석 또는 호박돌층이 존재하여 주입한 그라우트 대부분이 유출

- (2) 그라우트 유출로 정착을 위한 구근 형성이 불량하여 소요 긴장력 미확보
- (3) 정착부 불량으로 긴장재 전체(자유장+정착장) 신장
- (4) 앵커체 진행성 파괴 발생



그림 3. 앵커 확인시험

3. 성토층에 정착된 어스앵커 안전성 확보 방안

3.1 시험 어스앵커 인장력 부족 원인 분석 및 해결 방안

앵커의 안전성을 확보하기 위해 일반 어스앵커 문제

점을 고찰하고 해결방안을 도출하였다.

- ① 소구경 천공에 따른 접지력 부족 → 정착장 증가 또는 팩앵커 사용
- ② 천공에 의한 주변 지반의 이완 → 그라우트 혼화제(팽창제) 사용
- ③ 성토층 또는 전석층에서 그라우트 유출 → 팩앵커 사용

표 6. 일반 어스앵커와 팩 앵커

구분	일반앵커	팩 앵커
일반도		
그라우팅 단면도	<p>지반에 직접 그라우트 주입 지반과 앵커체 사이에 마찰력 발생</p>	<p>팩에 그라우트 주입 지반과 토목섬유(팩) 사이에 마찰력 발생</p>

④ 그라우트 7일 양생으로 작업공정 차질 → 혼화제 량 조정

흙막이 가시설 안전성 확보 방안으로는 첫째, 일반 앵커를 팍 앵커로 대체하는 방법(표 6)과 둘째, 앵커 길이를 증가시켜 원지반에 앵커를 정착하는 방법이 도출되었다.

이 중, 경제적 검토를 위해 팍 앵커를 적용하였으며 작업의 연속성 확보를 위해 3일 양생을 목표로 그라우트 혼화제 배합을 시멘트량 2.5%에서 5%로 변경하여 당초 1cycle time 인 14일을 10일로 조정하였다(표 3, 표 7 및 그림 4)

3.2 팍앵커 현장 시험 및 결과 분석

팍 앵커 안전성을 검증한 시험 시공은 1단 앵커 2개 소이며 자유장 및 정착장 길이는 각각 12.0m와 9.0m

로 당초 시공사 설계안과 동일하다(표 8). 시험시공 팍 앵커 안전성을 검증한 결과, 긴장재 신장량이 상한값과 하한값 사이에 위치하여 시험 기준을 만족하였다.

시험 결과 성토층에 정착하는 팍 앵커는 소요 긴장력이 확보되는 것으로 판단되어, 당초 설계안인 일반 어스앵커를 팍 앵커로 변경하되, 자유장 및 정착장 연장은 당초 설계안으로 시공하였다.

팍 앵커 120공에 대한 전수 검사가 수행된 어스앵커 확인 시험은 긴장재 신장량이 모두 상한값과 하한값 사이에 있어 재시공하지 않았다.

어스앵커 확인 인장 시험은 어스앵커 100공당 3개 소로 규정(지반앵커 시험지침, 한국도로공사 도로교통연구원 2012.11)되어있으며, 4개소의 확인 인장 시험 결과는 표 9와 같다.

어스앵커 확인 인장시험은 3가지 기준(표 10)을 만족해야 하며, 시험공 4개소 모두 시험 기준을 만족하였다.

표 7. 앵커의 1cycle 당 작업 일수

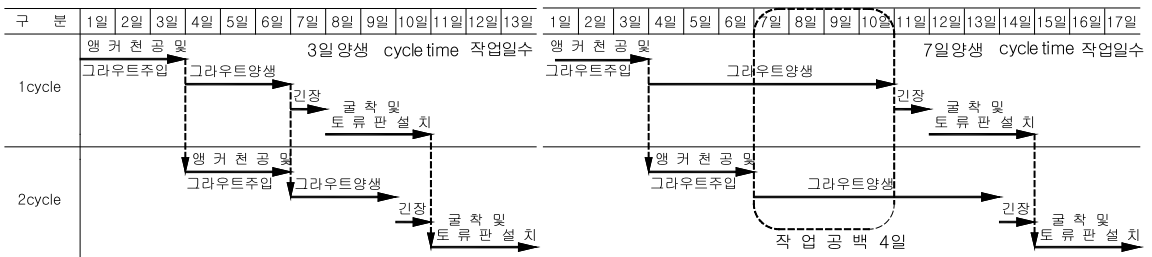


그림 4. 팍 앵커 시험 시공

표 8. 팍 앵커 확인시험 결과

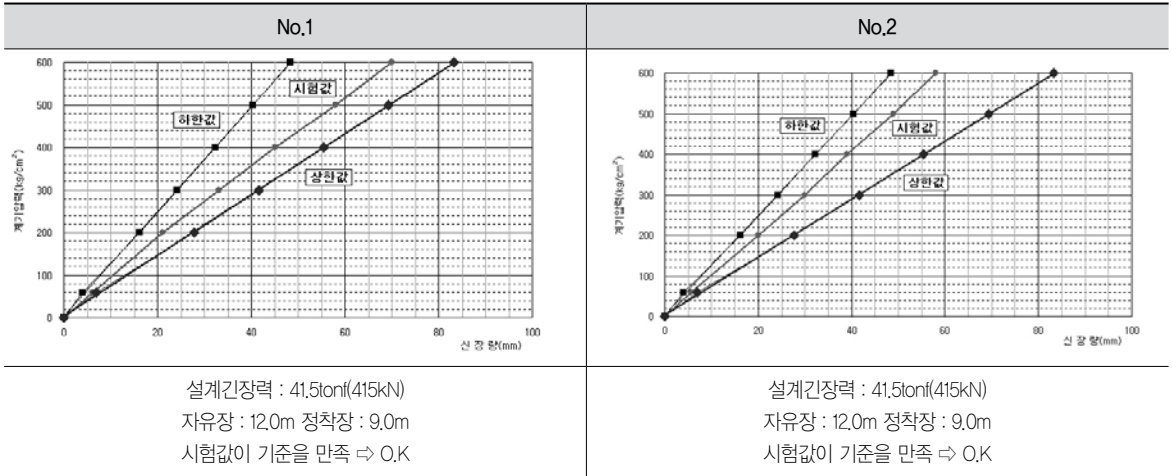


표 9. 어스앵커 인장시험 결과

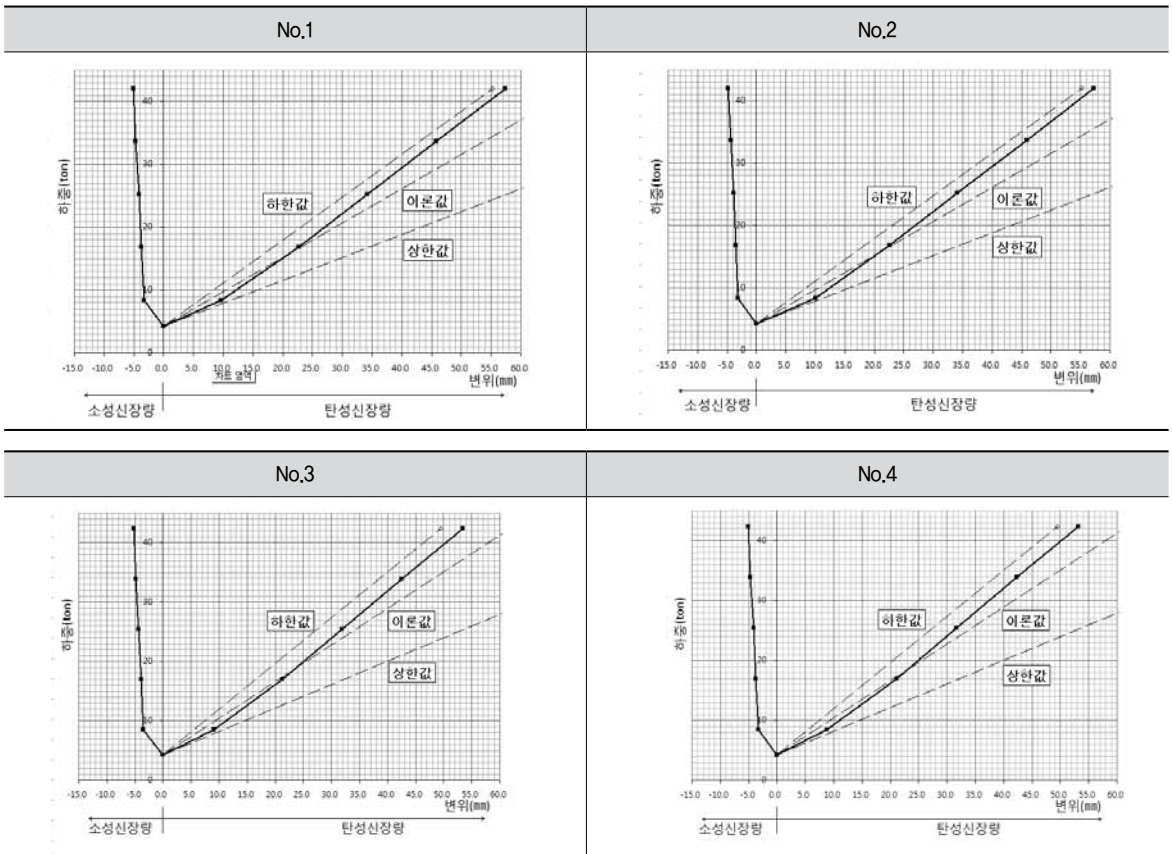


표 10. 지반앵커 시험 지침(한국도로공사 도로교통연구원 2012.11)

- ① 하중-변위 거동 분석 → 직선거동을 해야 함
- ② 하중-탄성 거동 분석 → 시험값이 상·하한값 사이
- ③ 앵커 소성거동 분석 → 하중 증가에 따라 수렴

4. 유하교 가시설 계측

지중변위계는 가시설 좌측 및 우측 배면지반에 설치하였으며 하중계는 성토층에 정착되는 앵커 중 인장력이 가장 크게 해석된 좌측 및 우측 3단 앵커에 설치하였고 간이경사계는 지중변위계에 인접한 H-Pile 최상단에 설치하여 지중경사계를 보조하는 개념으로 설치하였다.

4.1 계측결과 및 활용

계측빈도는 『흙막이 가시설 계측 및 점검기준 2009, 한국도로공사』에 따라 측정시기는 설치 후, 시공 중, 완료 후로 구분하고 측정 빈도는 각각 3회/일(2일간), 2회/주, 2회/주로 시행했으며 다음 단계 시공에 대하여 추가 측정했다.(표 11)

시공 완료 후 H-Pile 상단 변위가 주의 등급에 근접하게 발생하였으며 어스앵커 하중계의 변화는 주의 등급에 근접하여 인장력이 감소하였다.

H-Pile 상단 변위값의 “주의 단계”는 가시설 안정성에는 크게 영향을 주지 않으나 연구 대상인 유하교 가시설의 규모가 크고 경부고속도로에 인접하여 시공되므로 고속도로 이용객의 안전성 확보를 위해 변위를 억제하고 수렴시키기 위한 어스앵커 6공을 추가로 시

표 11. 지중변위계 및 하중계 계측 결과

지중 변위계		<p>1차관리 : 주의 40mm 변위</p> <p>현재 : 33mm로 주의단계 근접</p>
하중계		<p>1차관리 : 주의 37.72~47.72ton</p> <p>현재 : 36.8ton 으로 주의단계</p>



그림 5. 시공 완료된 유하교 가시설

공하였고, 그 결과 변위는 수렴되는 것으로 예측되어 가시설 안전성을 추가 확보하였다(그림 5).

5. 결론

본 연구에서는 그라우트 유출이 심한 성토층에 정착되는 어스앵커의 인장성능을 향상시키기 위해 팍 앵커를 적용한 결과, 일반 앵커로는 인장력 확보가 어려운 성토층에서 앵커의 정착장 길이 증가 없이 충분한 설계 긴장력을 확보할 수 있었으며 계측을 통해서 그 효과를 다시 한 번 확인할 수 있었다.

1. 전석 또는 모래 자갈층을 함유한 성토층에 어스앵커가 정착하는 경우, 지반 공극으로 인해 그라우트 유출이 많아 일반적 어스앵커로는 구근 형성이 어렵고 이로 인해 소요 긴장력을 확보할 수 없을 것으로 판단하였다.
2. 시험 시공 결과, 성토층의 경우 일반 앵커로 소요 긴장력을 확보하기 위해서는 앵커 정착장 길이를 증가시켜야 하는데, 정착장 길이가 10m이상시 극한 인발력은 거의 변화가 없으므로 정착장 길이 증가로는 가시설 안전성을 확보할 수 없다고 판단하였다.

3. 성토층에 정착되는 가설 어스앵커의 안전성을 확보하기 위한 대안으로, 자유장 길이를 증가시켜 구근을 원지반에 형성하는 방법 대신 경제적인 팍 앵커를 적용하였다.
4. 공정 관리 측면에서, 어스앵커 cycle time 작업일을 고려하여 작업공백이 발생되지 않도록 그라우트 양생일을 3일로 조정하고 현장 시험을 통해 그라우트 혼화제 함량을 결정하였다.
5. 시험시공과 계측결과를 토대로 그라우트 유출이 심한 성토층에 팍 앵커를 적용 시, 별도의 정착장 증가없이 앵커의 소요 긴장력 확보가 충분하다고 판단되며, 팍 사용에 따른 지반 물성치 조정은 불필요하다고 판단된다.

따라서, 팍 앵커 적용은 성토층의 가시설 안전성을 확보하는 효율적 대안 중 하나로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부(2009), 구조물 기초 설계기준 해설(제7장 가설 흙막이구조물), pp.519~610
2. 한국도로공사(2009), 도로설계요령(가시설편), pp.150~156
3. 한국도로공사 건설계획처(2009), 흙막이 가시설 계측 및 점검 기준.
4. 도로교통연구원(2012), 비탈면 보강공사용 지반앵커 시험지침, pp.1~22