

고성토부 보강토옹벽 안정성 확보 사례

Case Study of Mechanically Stabilized Earth Wall for High Embankment

윤효창 | Hyo Chang Yoon | 대림산업 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 현장소장
이상엽 | Sang Yup Lee | 한국도로공사 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 현장주감독
김태훈 | Tae Hun Kim | 대림산업 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 공무과장

1. 서론

보강토옹벽은 뒤채움 흙, 뒤채움 지반 내에 포설된 보강재 및 전면벽체가 일체화되어 토압 및 외력에 저항하는 구조물로서, 우수한 경제성, 시공성 및 안정성에 기인하여 설계 및 시공이 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 최근 경제성 및 시공 편의성에 치중하여 주변지반 및 환경조건을 간과하거나 적절히 고려하지 못한 설계와 시공으로 파괴사례가 다수 발생되고 있는 실정이다.

국내 대다수의 보강토옹벽은 FHWA(2001) 설계기준을 근거로 설계가 이루어지고 있으며, 설계기준의 만족 여부를 평가하기 위한 안정성 검토는 내적 및 외적안정성 뿐만 아니라, 보강토옹벽 구조물을 포함하는 전체사면안정에 대한 검토가 필요하다.

최근 보강토옹벽 공법의 기술적 발전에 따라 고성토부 적용과 함께 2016년 9월 경주 지진사례와 같이 지진 발생빈도가 증가함에 따라 안전한 시공관리와 시공중·후 계측관리가 중요하나 현재까지 체계적이고 표준화되지 않아 안전 및 품질 등 문제발생이 우려되는 실정이다.

이에 당 현장에서 적용한 고성토부 보강토옹벽 기술검토, 시공관리 및 계측관리 등 시공사례 소개를 통해 실무적용에 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 보강토옹벽 파괴형태 및 원인

1) 파괴형태

보강토옹벽의 붕괴는 단독 또는 다양하고 복합적인 요인들로 인해 발생되며 파괴형태는 그림 1과 같다.

주요 파괴형태로는 전체 보강토옹벽의 붕괴, 전면 벽체의 붕괴, 보강토옹벽의 침하, 전면벽체의 균열 및 변형 등이 있고 발생원인은 그림 2~그림4와 같다.

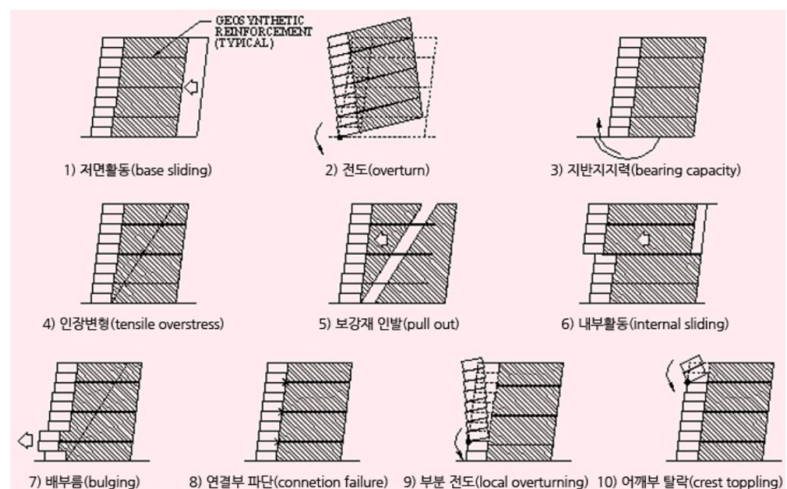


그림 1. 보강토옹벽의 주요 파괴형태

① 전체 보강토옹벽의 붕괴



발생 원인

- 지반조사 및 전반활동 안정성 검토 미흡
- 뒤채움재의 규격 부적합 및 다짐 불량

그림 2. 전체 보강토옹벽의 붕괴사례 및 발생원인

② 전체벽체의 탈락



발생 원인

- 옹벽 배면 배수층 설계 및 시공 미흡
- 동절기 동상에 의한 보강재 연결부 파단

그림 3. 전체 벽체의 붕괴사례 및 발생원인

③ 보강토옹벽의 침하, 전면벽체 균열 및 변형



발생 원인

- 기초지반의 지지력 부족(부등침하)
- 곡면부에서 과잉 인장응력 및 불균등 토압 발생

그림 4. 보강토옹벽의 침하 등 붕괴사례 및 발생원인

2) 보강토옹벽 설계·시공시 중점관리 항목

보강토옹벽의 주요 파괴유형 및 발생원인을 분석하여 표1과 같이 설계·시공시 중점관리 항목을 도출하였다.

3. 공사개요 및 보강토옹벽 설계현황

1) 공사개요

당 현장은 그림5와 같이 고속국도 제14호선 밀양~울산간 건설공사 구간 중 울산광역시 삼남면 가천리에서 삼동면 보은리 일대를 통과하는 총연장 4.9km, 왕복4차로 고속도로 건설공사 구간으로, 본선과 서울주분기점으로 구분하여 시공공구가 분할되어 있으며 당 현장은 본선구간 공사를 담당하고 있다.

2) 5호 보강토옹벽 설계현황

당 현장에는 13개소의 보강토옹벽이 있으며 그 중 5호 보강토옹벽은 그림6과 같이 좌측 교량 접속부에서 우측 구릉지 사면까지 약346m 구간에 U자형의 최대높이 약14m의 고성토부 보강토옹벽이다.

국가2종 시설물에 해당되는 중요 시설물로서 시공 전 현장조사에 따른 설계적정성 검토와 계측관리에 의한 철저한 시공관리가 필요하다.

보강토옹벽 상부에 시공되는 성토부는 좌측 교량구간이 경부고속도로 본선을 횡단하여 접속하기 때문에 성토체의 높이가 약14m 내외로 매우 높은 편이고, 성토체 하부 보강토옹벽은 교대부에서 13.7m, 구릉지와 접하는 부분은 8.1m에 이른다.

이와 같이 성토체 하중이 크기 때문에 그림7과 같이 보강재의 설치 길이는 보강토옹벽 높이보다 길고 하부는 사다리꼴로 상부는 직사각형의 같은 길이로 이루어져 있다.

파괴 유형	설계·시공시 중점 관리 항목
전반 활동	· 설계시 전반활동 검토(지층 및 강도정수 확인) · 설계시 보강재의 규격, 길이 검토 · 뒤채움 토사관리 및 시방기준에 의한 철저한 다짐관리 등
전면벽체 탈락	· 배수시설 검토 및 시공관리 · 설계시 내적, 외적, 연결부 검토 등
침하, 벽체 균열 및 변형	· 기초지반조사에 의한 지지력 확보 검토 · 곡면부의 아칭효과 발휘를 위한 뒤채움 관리 등

표 1. 보강토옹벽 시공시 중점 관리 항목

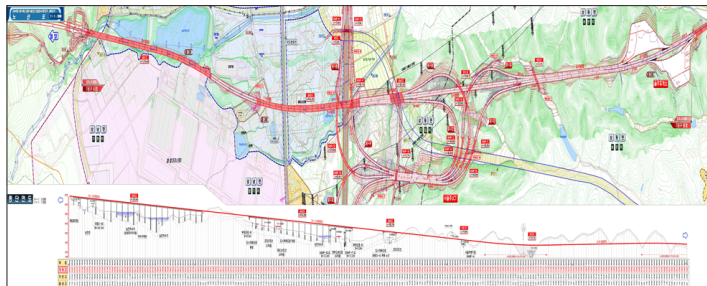


그림 5. 공사구간 노선도

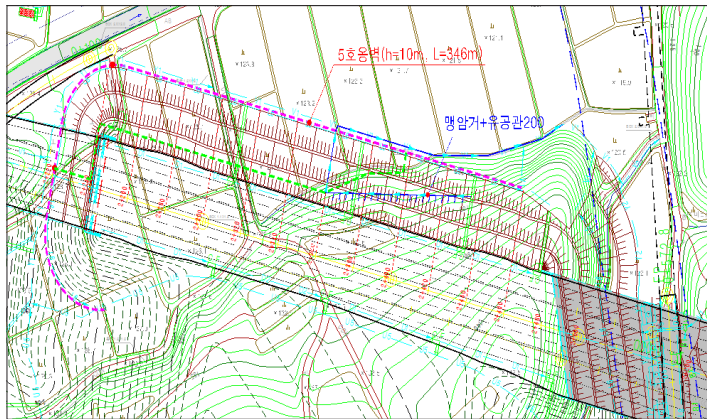


그림 6. 5호 보강토옹벽 현황도

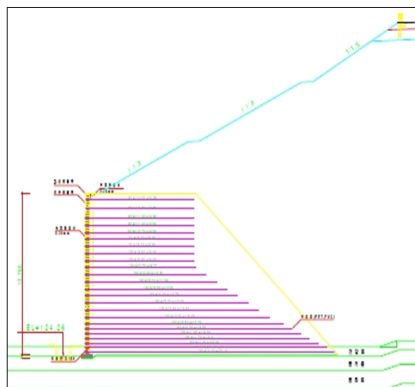


그림 7. 5호 보강토옹벽 보강재 설치 단면도

4. 고성토부 보강토옹벽 기술검토 및 시공관리

1) 기초지반 지지력 검토

5호 보강토옹벽의 기초지반은 벼농사를 짓던 답구간으로 표2와 같이 표층이 2m 두께의 실트층으로 매우 연약하여 상부하중을 지지하기 위한 지지력이 부족함에 따라 한국도로공사 도로교통연구원 기술자문을 통해 표층부터 실트층 하부까지 약 2m 두께를 잡석으로 치환하고 다짐을 실시하여 표3과 같은 소정의 지지력을 확보하였다.

2) 보강토옹벽 안정성 검토

5호 보강토옹벽의 높이가 8~14m에 이르고, 보강토옹벽 상부 성토체의 높이도 14m 정도의 고성토로 설계되어 있어, 지반정수 및 보강재의 길이 등을 고려한 보강토옹벽 안정성검토를 실시하였다.

보강토옹벽 안정성검토에 사용된 설계지반정수는 표4와 같으며, 뒤채움토의 내부마찰각은 일반성토에 사용되는 25°를 적용하였다.

보강토옹벽의 외적안정(저면활동, 전도, 지지력)과 내적안정(파단, 인발) 및 평시와 지진시 전체활동에 대한 안정성검토를 실시하였으며, 그 결과는 표5와 같다. 보강재의 길이는 원설계 시보다 12% 정도 증가하였고 안전율을 만족하였다.

구분	구성성분	분포심도(m)	층두께(m)	N치(회/cm)
충적층(전답)	실트질점토	0.0~0.8	0.8	8/30
충적층	점토질모래	0.8~2.0	0.2	12/30
풍화토	실트질모래	2.0~3.6	1.6	43/30

표 2. 5호 보강토옹벽의 지반 지층 분포도

구분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	지지력(kpa)	
원지반	17.0	20.0	5.0	66<437	NG
잡석치환	20.0	0.0	38	3,494>437	OK

표 3. 5호 보강토옹벽의 지지력 산정 결과



그림 8. 5호 보강토 옹벽 기초지반 치환

구분	단위중량(kN/m³)	내부마찰각(°)	점착력(kPa)	비 고
흙쌓기재	19.0	25.0	15.0	
풍화토	19.0	27.0	20.0	
풍화암	21.0	30.0	27.0	
연암	23.0	33.0	300.0	
뒤채움토	19.0	25.0	15.0	30→25 조정
블럭	23.0	35.0	100.0	

표 4. 5호 보강토 옹벽 설계지반정수

위치(sta.)	안 전 율(F.S) 평상시(지진시)						검토결과
	외적안정			내적안정		전체활동 안정성 [1.5]	
	저면활동[1.5]	전도[2.0]	지지력[2.5]	파단[1.5]	인발[1.5]		
2+458.9~2+440	1.68	5.34	6.04	1.50	4.37	1.52(1.16)	O.K
2+440~2+420	1.66	5.35	5.94	1.51	5.09	1.51(1.16)	O.K
2+220.5~2+256.2	1.65	5.33	6.01	1.52	7.06	1.51(1.18)	O.K
2+420~2+400	1.62	5.37	5.79	1.51	7.73	1.52(1.16)	O.K
2+400~2+300	1.62	5.37	5.77	1.53	8.10	1.56(1.20)	O.K
2+300~2+220.5	1.62	5.37	5.75	1.50	7.33	1.61(1.24)	O.K

표 5. 5호 보강토옹벽 안정성 검토 결과

3) 배수처리 검토

5호 보강토옹벽의 경우, 구배가 교대측에서 구릉지 쪽으로 하향구배가 형성되어 있으므로, 그림9와 같이 구릉지와 접하는 보강토 하부에 맨암거를 설치하고, 보강토옹벽 외부로까지 연장하여 유입된 지하수 등을 신속하게 배수할 수 있도록 하였다.

그림10은 보강토옹벽 배수처리 단면도이다. 기초 지반이 계단식의 담구간으로 보강토옹벽의 전면판 기초 단차가 발생하는 구간에서 직경 150mm의 유공관을 보강토옹벽 하단부에서 벽체를 관통·설치 하고, 보강토옹벽 필터층은 기초지반 치환부 까지 연계·설치하여 우수 등 집수된 물이 보강토 하부로 신속 배수되도록 하였다. 보강토옹벽 연장이 340m이상이고 상부 성토부가 3단으로 강우시 표면수량이 많아 배수처리 검토를 실시하여 보강토옹벽 상부에 지표면 배수시설을 설치하였고, 배수시설과 성토체 사이로 우수가 유입될 가능성이 있기 때문에 배수시설 인접부위에 볼투수층을 설치하여 표면수 침투를 최대한 억제하였다.

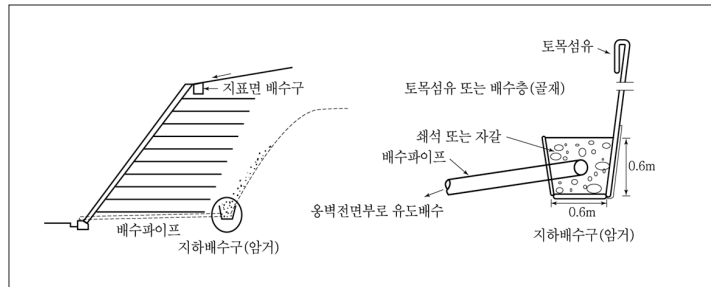


그림 9. 구릉지와 보강토옹벽 배수일반도

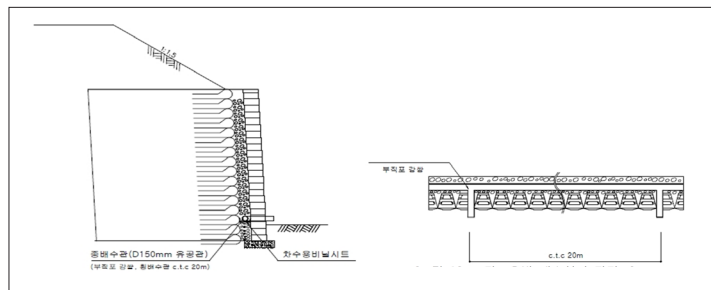


그림 10. 보강토옹벽 배수처리 단면도

4) 곡선부 보강토옹벽 균열

보강토옹벽 설계 시 작용하는 토압은 주동토압으로 주동토압이 수렴되기 까지 약간의 수평변위는 발생하게 되는데 직선구간의 경우에는 동일한 방향으로 변위가 발생하기 때문에 문제가 없지만 곡선부의 경우에는 작용방향이 달라 상대적인 변위가 발생한다. 또한 변위가 외측으로 발생할 때 평면상의 곡선반경이 커지므로 블록간의 간격(틈)이 넓어지거나 블록의 균열이 발생하게 된다.

또한 곡선부의 경우에는 그리드 포설시 배면측에 설치한 보강재가 겹치게 되어 흙과 그리드의 마찰력이 일반구간에 비해 저하될 수 있다.

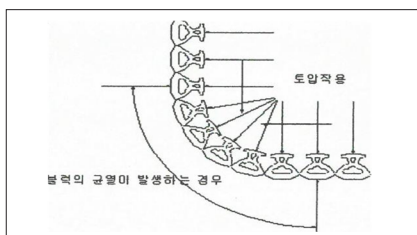


그림 12. 곡선부 보강토 변위 개요도



그림 11. 5호 보강토옹벽 배수시설 설치

이를 방지하기 위해 그리드 포설시 겹치는 부분의 그리드 사이에는 최소 7.5cm의 흙을 포설

하여 그리드끼리 겹쳐서 마찰력이 저하되지 않도록 시공하였다.

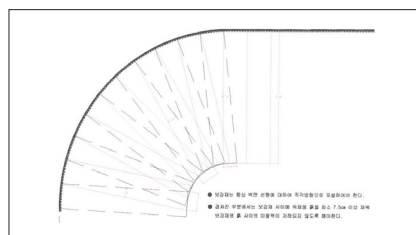


그림 13. 곡선부 그리드 겹침부 상세도



그림 14. 5호 보강토옹벽 곡선부 그리드 시공

5. 고성토부 보강토옹벽 계측관리

1) 계측관리의 중요성

보강토옹벽은 붕괴 발생 시 전면적인 재시공 등 대규모 공사가 수반됨에 따라 사회경제적인 피해가 심각하다. 이를 방지하기 위해서는 현장여건에 적합한 계측관리 계획을 수립하고 보강토옹벽 시공단계 및 완료단계 시 계측을 실시함으로써 이상징후를 사전 파악하여 설계 및 시공 상의 문제점을 보완하여야 한다.

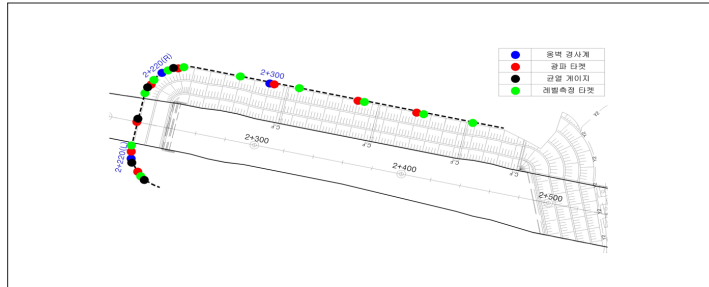


그림 15. 계측기 설치 위치도

2) 보강토옹벽 계측관리 계획

5호 보강토옹벽 시공 시 공사현장 인근에서 발생한 경주지진(2016.9.12, 진도 5.8규모) 사례를 참고하고 한국도로공사 도로교통연구원 전문가 자문을 받아 그림15~16, 표6과 같이 계측관리 계획을 수립하였다.

3) 보강토옹벽 계측 현황

① 경사계

그림17은 2017년 5월 15일 까지 경사계 계측 데이터를 축적하여 최대변위를 나타낸 그래프이다. 2016년 8월 22일과 10월 11일 사이에 발생한 A-A단면의 급격한 변위발생은 2016년 9월 12일 발생한 경주지진의 영향으로 판단되며, 그 이후 누적 최대변위가 12~20mm 정도로 보강토옹벽이 수렴되어 안정상태를 유지하고 있다.

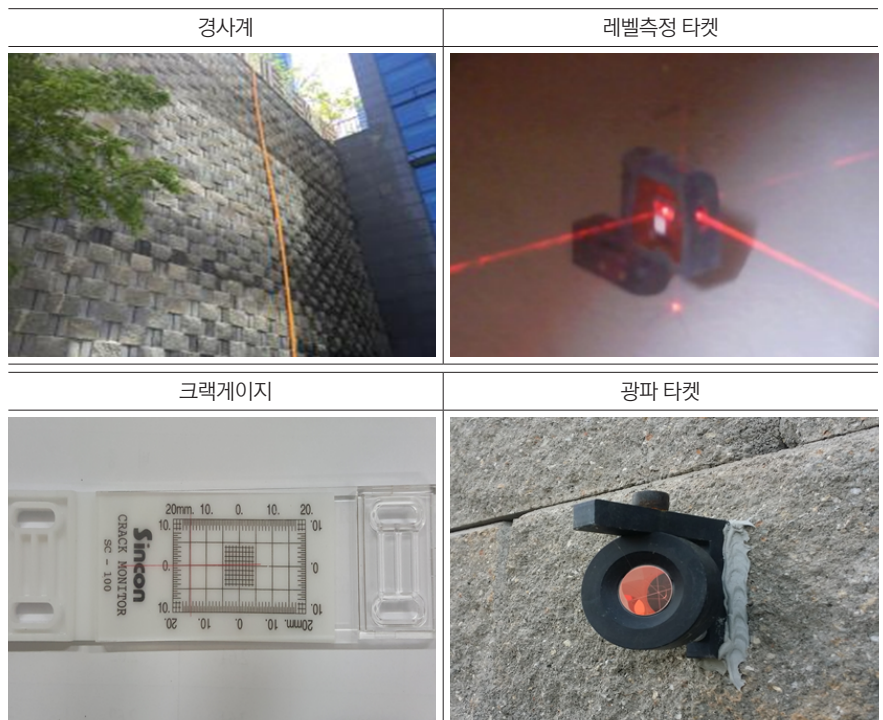


그림 16. 5호 보강토옹벽 계측기

계측항목	개소	설 치 목 적
경사계(수동)	3	사면 활동부 수평변위 측정
레벨측정 타겟	11	침하 측정
크랙 게이지	5	블록부 균열 측정
광파 타겟	8(18ea)	경사 및 침하 측정

표 6. 보강토옹벽 계측기 현황

② 레벨측정 타켓 및 광파 타켓

2017년 4월 11일 까지 계측결과 수직변위는 거의 발생하지 않았으며 수평변위 또한 5mm 이내로 계측되어 보강토옹벽이 수렴되어 안정상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

③ 크랙게이지

2016년 9월 12일 발생한 경주지진의 영향으로 표7과 그림19와 같이 보강토옹벽 곡선부 등 취약구간에 블록 균열이 발생하였으나, 그 이후 추가적인 변위가 발생되지 않아 보강토옹벽이 수렴되어 안정상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

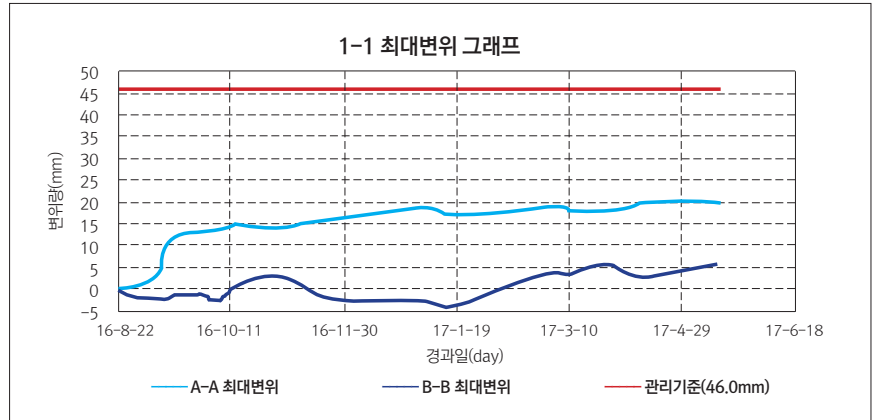


그림 17. 경사계 최대변위 그래프



그림 18. 레벨 및 광파타켓 계측 자료

위치	초기치	변위량(mm)			
		16.09.05	16.09.12	16.09.13	16.10.17
1	-	-	-	-	0.5
2	-	-	-	-	0.5
3	-	-	-	1	1
4	-	-	-	1	1
5	-	-	-	1	1

표 7. 크랙게이지 변위량

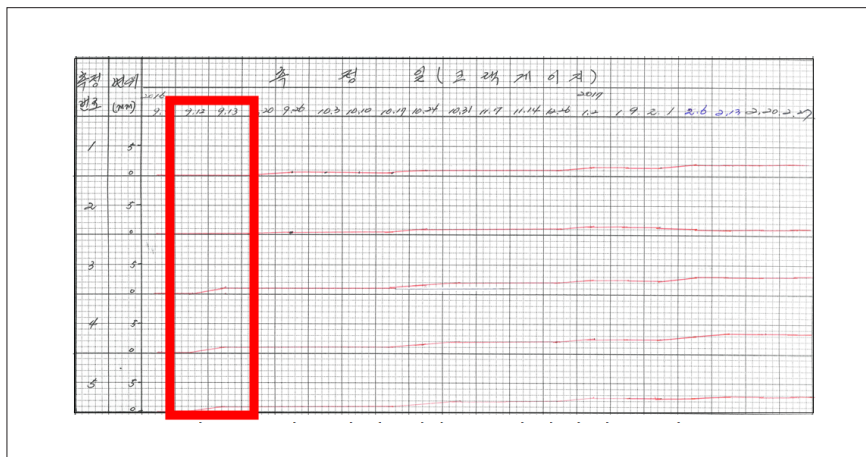


그림 19. 경주지진 전후 크랙게이지 그래프

6. 결론

고성토부 보강토옹벽 시공 시에는 주요 파괴형태에 따른 설계·시공상 중점관리 항목인 기초 지반 지지력, 보강토옹벽 안정성, 배수처리 적정성 및 곡선부 처리 등에 대해 현장조사를 통한 철저한 설계검토와 시공관리를 실시하여야 한다.

이와 병행하여 보강토옹벽 시공단계 및 완료단계 시 정밀하고 체계적인 계측을 실시함으로써 보강토 옹벽 변위 수렴여부 및 안정성을 확인하여 붕괴 위험을 사전에 예측하고 방지하여야 한다.

참고문헌

- 1 고속도로 제14호선 밀양-울산간 건설공사 (제7공구) 보강토옹벽 전면블럭 균열구간에 대한 의견서 (2016.08, 대림산업(주), (주)대경건설컨터)
- 2 고속국도 제14호선 밀양-울산간 건설공사 중 보강토옹벽 계측계획서 (2016.08, 대림산업(주), (주)이제이텍)
- 3 고속도로 제14호선 밀양-울산간 건설공사 5호 보강토옹벽 블록균열 발생에 따른 의견서 (2016.10, 대림산업(주), 한세이엔씨(주))
- 4 기술자문 검토서(밀양울산7공구 보강토옹벽 외 2건에 대한 자문) (2015.08, 한국도로공사 도로교통연구원)
- 5 국내 보강토옹벽의 적용현황, 문제점 및 개선방안 (2011, 이광우, 한국건설기술연구원)
- 6 국내 보강토옹벽 적용 현황 및 문제점 조사 연구 (2012, 한국토목섬유학회논문집 11권, 제1호, pp.65~75, 박종권, 이광우)
- 7 현장사례를 이용한 보강토옹벽의 파괴원인 및 안정성 분석 (2013, 한국토목섬유학회논문집 12권, 제1호, pp.109~114, 홍기권, 한중근, 이종연, 박재식)

WRITER INTRODUCTION



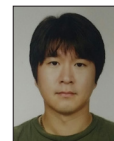
윤효창 소장은 서울과학기술대학교 토목 공학과에서 학사학위를 및 1997년 토목 시공기술사를 취득하였고, 1982년부터 시공회사인 대림산업에서 인천대교연결 도로 외 여러 고속도로현장 및 본사 근무하였고, 현재 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 현장소장으로 공사총괄업무를 담당하고 있다.

hcyoon@daelim.co.kr



이상엽 차장은 경희대학교 토목공학과에서 학사학위 및 2010년 토목시공기술사를 취득하였고 1997년부터 한국 도로공사에서 남해고속도로 내서-냉정 8차로 확장공사, 부산-울산 고속도로 공사 및 부산경남지역본부 울산지사 근무하였고, 현재 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 현장주감독 업무를 담당하고 있다.

yup77@naver.com



김태훈 과장은 동서대학교 토목공학과에서 학사학위 및 2006년 토목기사를 취득하였고, 2009년부터 후 시공회사인 대림 산업에서 한탄강댐, 한탄강댐이설도로, 웅동-장유국도건설공사 현장에서 근무하였고, 현재 밀양-울산 고속국도 건설공사 제7공구 공무과장으로 대외업무를 담당하고 있다.

t.h.kim@daelim.co.kr

기획 | 이태형 편집부위원장 thlee@konkuk.ac.kr