

# 차량 충돌에 의한 보강토 옹벽의 안정성 평가

## Evaluation of Stability in reinforced Earth Retaining Wall by Vehicle Collision

안 광 국<sup>†</sup> · 허 열<sup>1)</sup> · 홍 기 남<sup>2)</sup> · 안 민 수<sup>3)</sup>

Ahn, Kwangkuk · Heo, Yol · Hong, Kinam · Ahn, Minsu

**ABSTRACT** : The past studies on reinforced earth retaining wall have been mostly focused on the internal and external failure of reinforced earth retaining wall, and the research for external impact was limited on earthquake. However, the potential external impact such as vehicle collision to reinforced earth retaining wall near the road are increasing with development of roads. Therefore, in this study, the reinforced earth retaining wall was modeled by using LS-DYNA, which is a general purpose finite element program recognized for its reliability. The behavior of reinforced earth retaining wall by vehicle speed was analyzed with Ford single unit truck offered by NCAC (National Crash Analysis Center), which is 8 tons weight. In addition, in order to obtain stability of reinforced earth retaining wall for vehicle collision, the gravity retaining wall was applied at the bottom of reinforced earth retaining wall. With varying the height of retaining wall (0.5m, 1.0m, 1.5m), the numerical study was performed to analyze the stability and behavior of reinforced earth retaining wall.

**Keywords** : Reinforced Earth Retaining Wall, Collision, LS-DYNA

**요 지** : 기존의 보강토 옹벽의 연구는 보강토 옹벽의 내적·외적파괴에 중점이 되어 연구가 이루어져 왔고 외부 충격에 관한 연구는 지진에 관한 것이 전부인 것이 현실이다. 도로의 발달로 인해서 도로 주변의 보강토 옹벽에 차량의 충돌 같은 외부 충격을 받는 경우가 늘어나고 있다. 그래서 본 연구에서는 신뢰도를 인정받고 있는 범용 유한요소 프로그램인 LS-DYNA를 사용하여 도로 주변 보강토 옹벽을 모델링하였고, NCAC에서 제공하는 8톤 중량의 Ford single unit truck을 이용하여 차량속도에 따른 보강토 옹벽의 거동 양상을 분석하였다. 그리고 향후 도로 주변에 시공되어지는 보강토 옹벽의 충돌에 관한 안정성을 확보하기 위해서 하단에 중력식 옹벽을 적용하였고 또한 높이를(0.5m, 1.0m, 1.5m) 변화시켜가면서 수치해석을 수행하여 보강토 옹벽의 거동을 분석하고 보강토 옹벽의 안정성을 확인 하였다.

**주요어** : 보강토 옹벽, 충돌, LS-DYNA

### 1. 서 론

효율적인 지역을 활용하기 위하여 도로, 철도, 아파트 등 여러 건설 현장에서 크고 작은 옹벽을 축조하는데, 경제성과 시공성이 용이한 보강토 옹벽이 상대적으로 콘크리트 옹벽에 비해 많이 시공되어지고 있다. 보강토 옹벽은 기존의 일반적인 옹벽축조 방법에 Geotextile등 인장력이 큰 보강재를 삽입하여 배면 뒤채움 흙의 인장력을 증가시키는 방법으로 옹벽의 안전율을 높이는 데 기술발전이 이루어져 왔다 (Vidal, 1978). 그리고 기존의 도로안전시설은 운전자의 안전과 교통의 원활한 소통을 도모하고 시선유도시설, 조명시설과 같이 도로의 시인성을 높이는 시설과 방호울타리, 충격흡수시설과 같이 차량이 길 밖으로 이탈 및 추락하거나 장애물과 충돌하는 것을 방지할 목적으로 설치하는 차량방

호 안전시설 등으로 나누어진다(강병도의 9인, 2002). 이런 도로안전시설은 차량과 운전자의 안전만을 고려하여 기술이 발전해 왔다.

Borovinšek(2006)은 유럽 기준 EN1317에서 제안하는 가드레일 모델에 대하여 충돌 해석을 수행하고 실제 차량 충돌 실험에 의한 결과와 비교 분석을 수행하였고, 한국지반공학회(1998)에서 토목섬유 설계 및 시공요령을 발표하여 실무에 필요한 설계기준의 틀을 잡게 되었다. 위에서 보듯이 도로안전시설에 관한 연구는 대부분이 가드레일 자체의 안정성에만 주안점을 두고 있을 뿐이며, 보강토 옹벽에 관한 연구는 내적·외적 안정성에 관한 연구만 이루어져 왔을 뿐 인위적인 외부 충격에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 충돌에 사용될 차량으로 NCAC에서 제공하는 8톤 트럭을 이용하였다. 보강토 옹벽은 블록방

† 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 조교수(E-mail : akk@chungbuk.ac.kr)

1) 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

2) 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

3) 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

식으로 높이 5m로 모델링 하였으며, 뒷채움 쇠석은 40cm, 뒷채움재는 10m로 하여 차량의 충돌시 충격량이 충분히 지반에 전달될 수 있게 하였다. 차량의 속도를 20km/hr, 50km/hr, 80km/hr로 변화시키면서 보강토 옹벽에 충돌을 하여 옹벽의 거동 양상을 분석하였다. 그리고 향후 도로 주변에 시공되어지는 보강토 옹벽의 충돌에 관한 안정성을 확보하기 위해서 하부에 중력식 옹벽의 높이를(0.5m, 1.0m, 1.5m) 변화시키면서 수치해석을 수행하여 보강토 옹벽의 거동을 분석하여 전체 옹벽의 안정성을 확인하고자 한다.

## 2. 충격도의 산정

차량 방호 안전시설의 성능 확인은 등급에 따른 충격도를 실물 차량 충돌시험을 통해 평가하는 것으로 한다. 충격도(IS : Index of Severity)란 차량 충돌 시 생기는 운동에너지이다. 충격도는 그림 1과 같은 충돌 조건에서 식 (1)에 의해 계산되어지는 값이다.

$$IS = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left( \frac{V}{3.6} \cdot \sin\theta \right)^2 \quad (1)$$

여기서, IS : 충격도(kJ)

m : 충돌 차량의 중량(kN)

V : 충돌 속도(km/h)

θ : 충돌 각도(°)

## 3. 차량 충돌에 관한 수치해석

### 3.1 트럭모델 제원

도로안전시설 기준 SB3등급을 만족하는 차량의 선정하

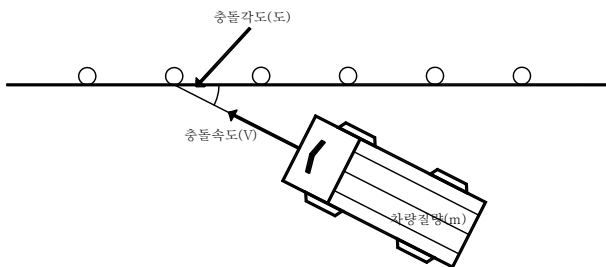


그림 1. 충돌조건

표 2. 보강토 옹벽 블록의 물성치

형식	사이즈(mm)	Material	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	탄성계수(MPa)	포아슨비
Soild	400×400×200	Elastic_Title	19	5000	0.3

기 위해서 미국의 NCAC(National Crash Analysis Center)가 제공하는 8톤 트럭(Ford single unit truck)모델을 사용하였으며, 그림 2는 트럭의 3차원 차량 모델을 나타내고 있다. 표 1과 같이 트럭의 경우 몸체는 19,479개의 Shell요소로 되어 있으며, 내부 부품은 1,248개의 Solid요소로 되어 있다. 대부분의 물성치는 항복응력 270MPa, 탄성계수 205,000MPa인 강재로 되어 있다.

### 3.2 보강토 옹벽의 제원

보강토 옹벽을 모델링하기 위해 블록 보강재, 쇠석 뒷채움재, 뒷채움재를 각각 모델링하였고 각각의 모델링을 접촉알고리즘을 이용하여 상호거동을 할 수 있도록 하였다. 각각 모델링에 관한 세부 사항은 표 2~표 4와 같다.

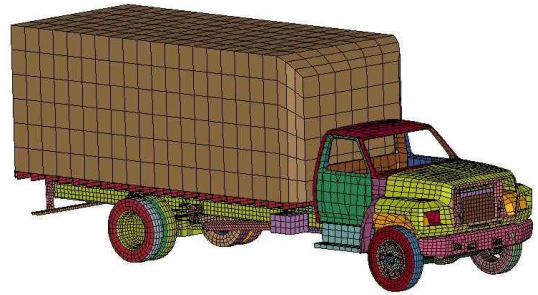


그림 2. Ford single unit truck의 3차원 모델

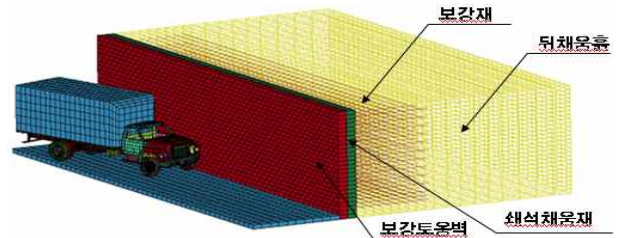


그림 3. 보강토 옹벽의 충돌해석 모델

표 1. 트럭모델의 제원

구분	트럭	
요소수	Shell	19,479
	Solid	1,248
	합계	20,727
중량(kN)	78.45	
항복응력(MPa)	270	
탄성계수(MPa)	205,000	

표 3. 보강재의 물성치

형식	Material	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	탄성계수(MPa)	포아송비
Beam	Picewise_linear_plasticity	0.1	3,000	0.25

표 4. 뒷채움재의 물성치

구분	Material	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	내부마찰각(°)	부피탄성계수(MPa)	전단탄성계수(MPa)
쇄석 채움재	FHWA_Soil_Title	23.05	45°	4.56×10 <sup>3</sup>	1.824×10 <sup>3</sup>
뒤채움흙	FHWA_Soil_Title	23.05	30°	3.43×10 <sup>3</sup>	1.373×10 <sup>3</sup>

### 3.3 중력식 옹벽에 대한 해석모델

도로의 램프구간, 산악절개지도로 옆 보강토 옹벽의 차량의 충돌 사고 가능성이 큰 곳에 대비하여 적절한 대책방안이 필요하다. 대책방안으로 보강토 옹벽의 하부에 중력식 옹벽을 설치하여 차량에 직접 충돌하는 곳은 중력식 옹벽이 충격을 흡수할 수 있게 하였다. 이에 따라 옹벽 전체의 안정성을 확보할 수 있을 것이다. 그래서 중력식 옹벽의 높이를 보강토 옹벽의 하부에 0.5m, 1.0m, 1.5m로 변화시키면서 모델링을 수행하였다. 그에 따른 해석결과를 통하여 중력식 옹벽이 보강토 옹벽의 안정성에 미치는 영향을 평가하였다.

## 4. 해석 및 결과분석

### 4.1 차량 속도에 따른 보강토 옹벽 거동

#### 4.1.1 차량속도가 20km/hr일 경우

그림 5와 표 5는 차량 속도 20km/hr인 경우 차량과 옹벽의 첫 충돌지점을 기준으로 바닥면에서 높이 0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H 지점에서 옹벽 블록의 변위를 나타낸 것으로 0.2H지점에서 최대 변위는 15.8mm가 발생하였으며, 블록크기 400mm×400mm×200mm를 기준으로 0.2H지점에서 변위를 분석하면 3.9%의 변위가 발생한 것으로 나타났다. 높이 0.4H지점에서 최대 변위는 20.6mm가 발생한 것으로 나타났다. 블록 크기 기준으로 약 5.15%의 블록의 이탈이 발생한 것으로 나타났다. 최대블록변위는 옹벽 바닥에서 0.6H지점인 곳에서

26.0mm 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 0.6H지점이 속도 20km/hr에서 가장 큰 변위가 발생한 것으로 나타났고, 블록크기 기준으로 약 6.5%의 블록의 이탈이 발생하였다. 높이 0.8H지점의 블록의 최대 변위는 20.6mm가 발생한 것으로 나타났으며, 블록크기 기준으로 약 5.15%의 블록의 이탈이 발생하였다.

차량 속도 20km/hr는 보강토 옹벽 블록크기 기준으로 3%~6%의 블록의 변위가 발생하였으며, 전체적인 보강토 옹벽의 심각한 안정성에는 문제를 야기시키지 않았을 것으로 사료된다. 차량과 옹벽의 첫 충돌이 일어나는 차량의 범퍼 위치에서 충돌한 지점에서는 블록이 보강토 옹벽의 뒷채움재 쪽으로 블록의 이탈이 발생하였으나, 차량과 첫 충돌과 직접적으로 무관한 상부에서는 블록이 차량이 있는 도로 쪽으로 이탈하려는 것을 해석상에서 확인 할 수 있었다. 그림 6은 보강토 옹벽의 높이별 블록변위를 나타낸 것으로 블록의 변위도 차량이 첫 충돌이 발생한 위치 보다 약 0.6H지점 떨어진 상부까지 블록의 변위가 증가하다, 다시 변위가 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다.

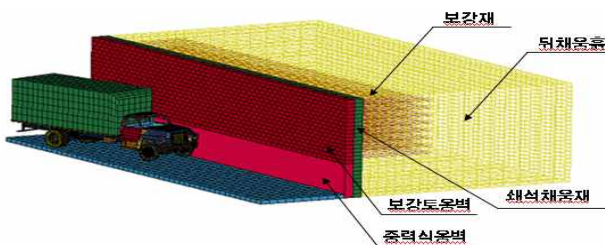


그림 4. 중력식 옹벽의 적용시 충돌해석 모델

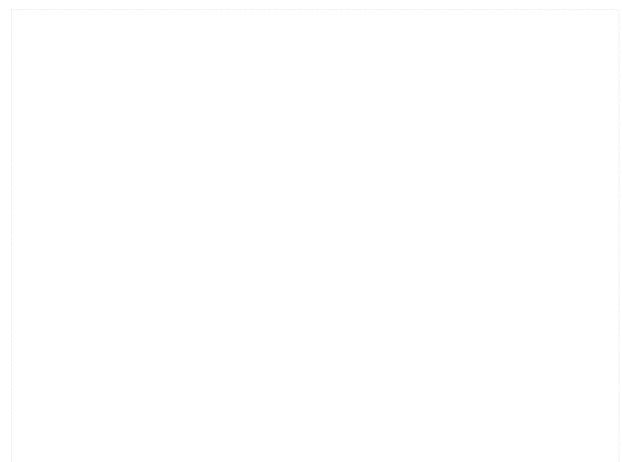


그림 5. 시간 블록 변위곡선(차량 속도 20km/hr)

표 5. 차량 속도(20km/hr)에 대한 지점의 변형률

지점	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H
변형률(%)	3.9	5.15	6.5	5.15

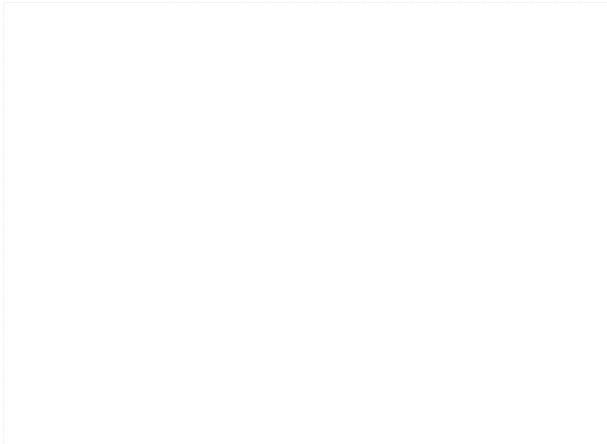


그림 6. 보강토 옹벽의 높이별 블록변위

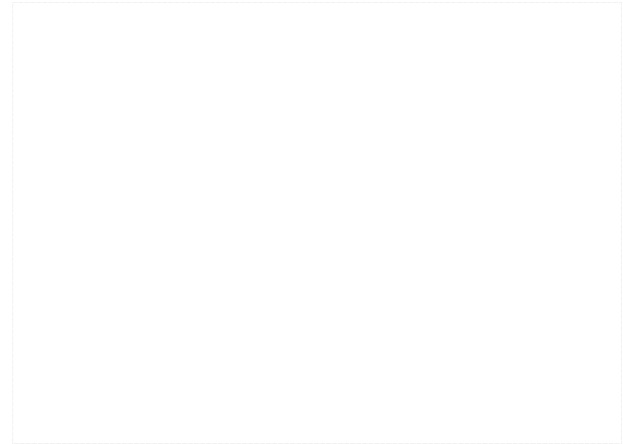


그림 8. 보강토 옹벽의 높이별 블록변위

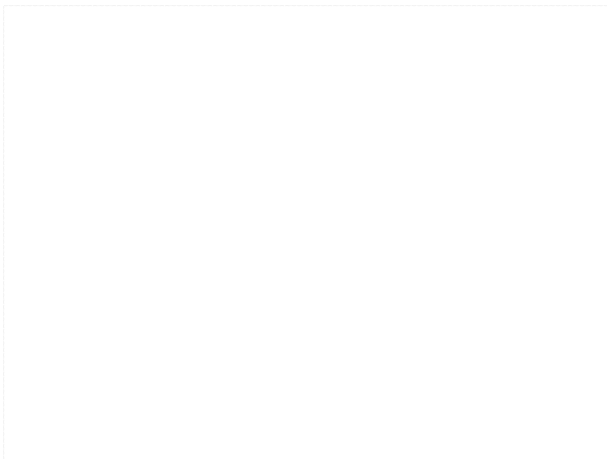


그림 7. 시간 블록 변위곡선(차량 속도 50km/hr)

표 6. 차량 속도(50km/hr)에 대한 지점의 변형률

지점	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H
변형률(%)	10	11.2	10.8	7.6

#### 4.1.2 차량 속도가 50km/hr일 경우

그림 7 및 표 6은 차량 속도 50km/hr 일 때의 높이별 블록 변위를 나타낸 것이다. 차량 속도 20km/hr 일 때와 동일한 높이인 0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H지점에서의 옹벽 블록의 변위를 분석하였다. 0.2H지점에서 최대 변위는 40.0mm가 발생하였으며, 블록크기 400mm×400mm×200mm를 기준으로 0.2H지점에서의 변위를 분석하면 10.0%의 변위가 발생한 것으로 나타났다. 동일 지점에서 속도 20km/hr일 때의 비해서 약 2.5배 정도 크게 블록의 변위가 발생하였다. 0.4H지점에서 가장 큰 변위가 발생하였으며, 최대 변위는 44.8mm가 발생한 것으로 나타났다. 동일 지점에서 20km/hr일 때의 비해서 약 2.2배 정도의 변위가 크게 발생하였다. 블록크기 기준으로 약 11.2%의 블록의 이탈이 발생한 것으로 나타났다. 0.6H지점에서 최대블록변위 43.3mm 변위가 발생하였고,

블록크기 기준으로 약 10.8%의 블록의 이탈이 발생한 것으로 나타났다. 동일 지점에서 20km/hr일 때의 비해서 약 1.7배 정도 증가한 블록의 크기가 발생한 것으로 나타났다. 마지막으로 높이 0.8H지점의 블록의 최대 변위는 37.1mm가 발생한 것으로 나타났고, 블록크기 기준으로 7.6%의 블록의 이탈이 발생하였다.

속도 20km/hr일 때와 동일하게 차량 속도 50km/hr에서도 차량과 옹벽의 첫 충돌지점을 기준 약 0.5H지점에서 옹벽 블록변위가 가장 크게 발생한 것으로 나타났다(그림 8). 8톤 중량의 차량이 중속으로 보강토 옹벽의 충돌시 직접충돌 지점에서 약 0.5H 떨어진 곳에서 보강토 옹벽의 블록의 이탈이 안정성에 직접적인 원인으로 작용했을 것으로 사료된다.

#### 4.1.3 차량 속도가 80km/hr일 경우

본 연구에서 가장 큰 충돌에너지를 가지고 있는 8톤 중량의 차량이 15도 각도 및 80km/hr의 속력으로 보강토 옹벽에 충돌을 했을 경우에 대한 보강토 옹벽의 블록 거동을 분석하였다. 그림 9와 표 7은 높이별 블록변위를 나타낸 것으로 0.2H지점에서의 최대블록변위는 58.1mm가 발생하였다. 블록크기 400mm×400mm×200mm를 기준으로 0.2H지점에서 14.5%의 변위가 발생한 것으로 나타났다. 속도 20km/hr에서 동일 지점의 변위를 기준으로 2.7배 정도 크게, 속도 50km/hr에서 지점 블록의 변위에 비해 1.5배 정도 크게 발생 한 것으로 나타났다. 높이 0.4H지점에서 최대 변위는 55.9mm가 발생한 것으로 나타났으며, 속도 20km/hr에 비해 1.7배 변위가 크게 발생하였다. 0.2H지점 기준으로 비교하였을 경우 약 4%줄어든 것으로 나타났으며, 블록크기 기준으로 약 14%의 블록의 이탈이 발생한 것으로 나타났다. 최대블록변위 74.5mm 변위가 발생하였는데, 그 위치는 0.6H지점에서 나타났다. 보강토 옹벽 블록크기 기준으로 약 18.6%의 블록의 이탈이 발생하였다. 같은 위치 속도 20km/hr에 비해서는

1.8배 증가한 블록변위를 확인할 수 있었다. 높이 0.8H지점의 블록의 최대 변위는 90.7mm가 발생한 것으로 나타났다. 같은 지점에서 차량 속도 20km/hr 경우를 기준으로 3.4배 증가한 블록변위가 발생한 것으로 나타났으며, 같은 속도 높이 0.2H지점에 비해 56.1% 증가한 것으로 나타났다. 블록 크기를 기준으로 22.7%의 블록의 이탈이 발생한 것으로 분석되어 졌다.

일반등급에서 가장 큰 충돌에너지를 가지고 있는 8톤 중량의 속도 80km/hr를 가지고 15도 각도로 충돌 하였을 경우, 특이한 점으로 저속과 중속의 경우 충돌시 충돌지점을 중심으로 일정영역까지 보강토 옹벽 블록의 변위가 증가하다 변위가 점차 줄어드는 것을 해석상 볼 수 있었지만, 8톤 중량의 차량이 고속으로 충돌시 직접 충돌 지점은 블록의 변위가 증가만 하는 것으로 나타났다. 이는 격자방식으로 쌓는 블록식 보강토 옹벽 형식상 심각한 변위가 발생 했을



그림 9. 시간 블록 변위곡선(차량 속도 80km/hr)

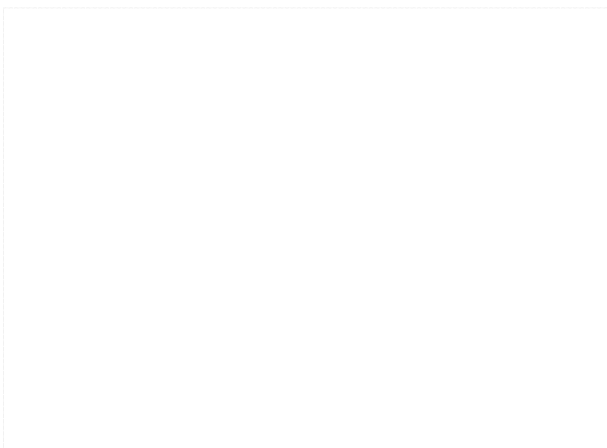


그림 10. 보강토 옹벽의 높이별 블록변위

표 7. 차량 속도(80km/hr)에 대한 지점의 변형률

지점	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H
변형률(%)	14.5	14	18.6	22.7

것으로 판단된다.

저속 차량의 충돌시 차량의 충격흡수장치와 보강토 옹벽 뒷채움재가 차량의 충돌 에너지를 충분히 흡수하는 것으로 판단되지만, 고 충격에너지로 충돌시 충격흡수장치와 보강토 옹벽 뒷채움재가 충분히 충격을 흡수하지 못하여 상부 블록으로 충격이 전달되어 보강토 옹벽 블록의 변위가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 고 충돌에너지로 충돌시 직접 충돌 지점도 심각한 블록의 이탈이 발생하지만, 상부 블록은 차량이 있는 도로 쪽으로 심각한 이탈이 발생해 충돌과 직접적으로 관련 있는 부분의 보강토 옹벽의 안전성 문제뿐만 아니라, 옹벽 전체의 안정성도 심각한 문제를 야기했을 것으로 보인다. 이는 고에너지로 보강토 옹벽 충돌 사고시 옹벽 안정성 검토에 있어서 차량 충돌지점과 직접적으로 관련 있는 일정영역만 검토가 이루어지는 것이 아니라, 보강토 옹벽 전체적인 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 4.1.4 속도에 따른 블록변위

그림 11은 속도에 따른 보강토 옹벽의 각 위치의 블록의 변위를 확인을 하였다. 그림에서 확인하듯이 속력이 증가하면 변위도 선형적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 특히 보강토 블록 높이 0.8H지점에서는 속력이 증가할수록 상부에서 충격흡수장치와 보강토 옹벽 뒷채움재가 흡수하지 못하는 잉여 충돌에너지가 상부로 보강토 옹벽 블록으로 전달되어 변위가 급격히 발생한 것으로 사료된다.

#### 4.2 중력식 옹벽의 높이 변화에 따른 보강토 옹벽의 거동

보강토 옹벽의 직접 충돌해석결과 고 충격에너지로 충돌하였을 경우 보강토 옹벽 전체의 안정성을 확보할 수 없는

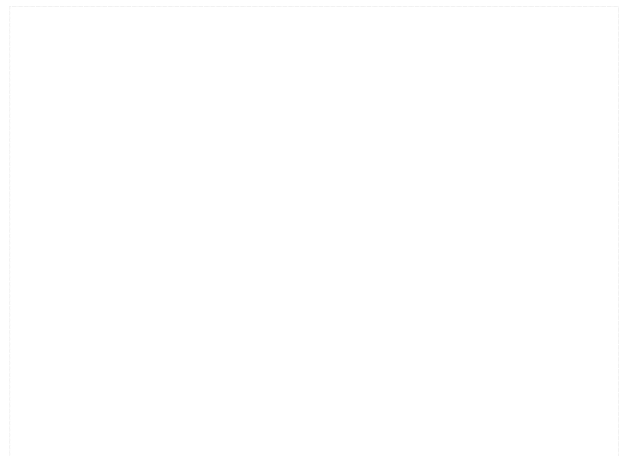


그림 11. 보강토 옹벽의 높이 지점의 속도별 블록변위

것으로 나타났다. 이를 해결하기 위한 방안으로 보강토 옹벽의 하단에 중력식 옹벽을 설치하여 충격력을 중력식 옹벽이 흡수하여 전체 옹벽의 안정성을 확보할 수 있는가를 LS-DYNA를 이용하여 해석하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이 옹벽 하단에 중력식 옹벽의 높이를 0.5m, 1.0m, 1.5m로 변화시켜 해석을 수행하여 전체 옹벽의 안정성을 확보하기 위한 중력식 옹벽의 높이를 평가하였다.

#### 4.2.1 중력식 옹벽의 높이가 0.5m인 경우

0.4H 떨어진 지점에서 최대 변위를 살펴보면 그림 12에 나타나 있듯이 중력식 옹벽 0.5m를 적용한 경우 최대 변위가 40.1mm가 발생하였다. 같은 높이의 중력식 옹벽이 없는 보강토 옹벽을 기준으로 중력식 옹벽 0.5m에서는 28.4% 줄어든 것으로 나타났다.

그림 13에서 보듯이 높이 0.8H 떨어진 지점에서 최대 변위를 살펴보면 중력식 옹벽의 높이가 0.5m인 경우 최대 변위 60.9mm가 발생하였다. 그리고 중력식 옹벽이 없는 경우와 비교하였을 때 0.5m의 중력식 옹벽을 적용한 경우 최대 변위가 32.8% 감소한 것으로 나타났다. 보강토 옹벽 하단에 중력식 옹벽을 0.5m를 설치했을 경우 블록의 변위는 전체적으로 감소하였지만, 블록의 변위가 옹벽 안정성을 높이는 데는 효과가 없는 것으로 판단된다.

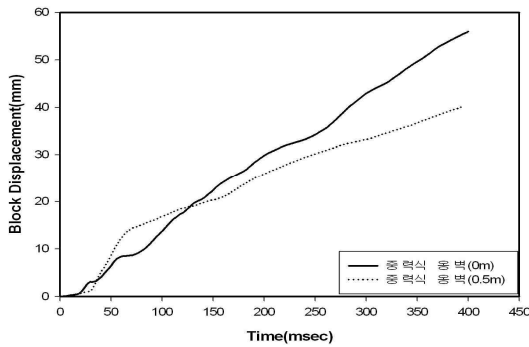


그림 12. 0.4H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 0.5m)

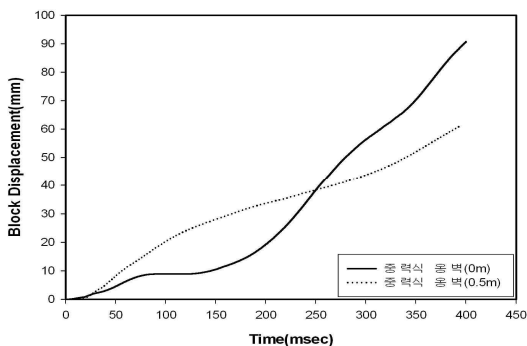


그림 13. 0.8H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 0.5m)

#### 4.2.2 중력식 옹벽의 높이가 1.0m인 경우

바닥면에서 0.4H 떨어진 지점에서 최대 변위를 살펴보면 그림 14에 나타나 있듯이 중력식 옹벽을 1.0m 적용한 경우 최대 변위가 41.9mm가 발생하였다. 중력식 옹벽이 없는 보강토 옹벽을 기준으로 중력식 옹벽 1.0m에서는 48.2% 줄어든 것을 확인할 수 있다.

그림 15는 높이 0.8H 떨어진 지점에서 최대 변위를 살펴보면 중력식 옹벽의 높이가 1.0m인 경우 최대 변위 55.9mm가 발생하였다. 그리고 중력식 옹벽이 없는 경우와 비교하였을 때 0.5m의 중력식 옹벽을 적용한 경우 최대 변위가 42.5% 감소한 것으로 나타났다.

전체적으로 중력식 옹벽 50cm와 비교하여 약 40% 정도의 보강토 옹벽의 변위가 줄어든 것을 볼 수 있었으나, 블록의 변위가 최대 55mm까지 변위가 발생한 것으로 나타났다.

#### 4.2.3 중력식 옹벽의 높이가 1.5m인 경우

바닥면에서 0.4H 떨어진 지점에서 최대 변위를 살펴보면

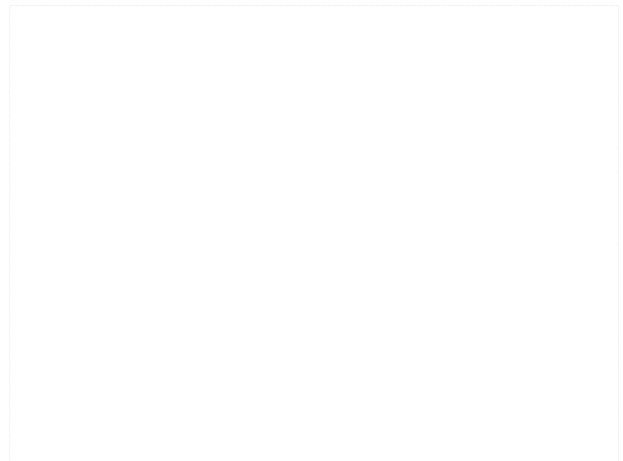


그림 14. 0.4H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 1.0m)



그림 15. 0.8H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 1.0m)

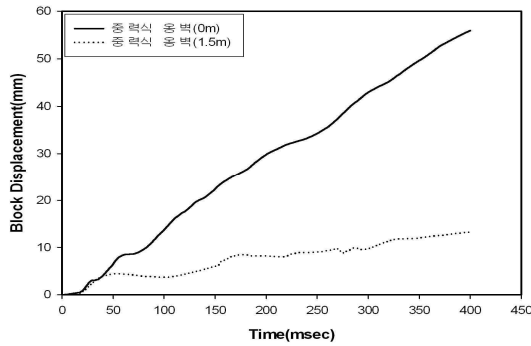


그림 16. 0.4H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 1.5m)

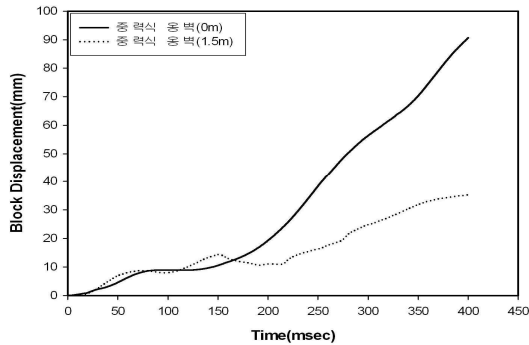


그림 17. 0.8H지점의 시간 블록변위(중력식 옹벽고 0m와 1.5m)

그림 16에 나타나 있듯이 중력식 옹벽을 1.5m 적용한 경우 최대 변위가 13.3mm가 발생하였다. 중력식 옹벽이 없는 보강토 옹벽을 기준으로 중력식 옹벽 1.5m에서는 76.3% 줄어든 것을 확인할 수 있다.

높이 0.8H 지점의 변위를 보면 중력식 옹벽 1.5m에서는 최대 변위가 그림 17에서 보듯이 35.3mm 변위가 발생하였다. 같은 위치의 중력식 옹벽이 없는 경우를 기준으로 비교해보면, 61.1%로 감소한 것으로 나타났다.

옹벽 하단에 중력식 옹벽 1.5m를 설치했을 경우 보강토 옹벽에 직접적으로 충돌하였을 때보다 50%이상의 변위가 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 다양한 차종과 다양한 충격 양상에 따라 예기치 못한 상황을 초래 할 수 있어, 보강토 옹벽의 안정성을 확보하기 위해서는 1.5m높이의 중력식 옹벽을 하단에 설치하는 것이 바람직한 것으로 사료되어진다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 차량의 충돌에 의한 보강토 옹벽의 안정성에 대하여 차량 속도를 변화하여, 보강토 블록의 변위양상을 통하여 분석하였다. 또한 차량 통행이 많은 곳에 보강토 옹벽을 설치했을 경우와 차량 충돌에 의한 보강토 옹벽

의 안정성을 확보하기 위한 방안으로 하단에 중력식 옹벽을 설치하였을 경우에 대한 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 차량 속도 20km/hr일 경우 보강토 옹벽의 변위는 높이 0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H 지점별로 보강토 옹벽 블록크기 기준으로 3.9%, 5.15%, 6.5%, 5.15% 이탈한 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 차량 속도 50km/hr일 때의 0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H 지점별 블록변위를 블록크기 기준으로 살펴보면, 10.0%, 11.2%, 10.8%, 7.6%의 블록이탈이 발생하였다. 차량 속도 20km/hr 보다 약 2배 정도 큰 블록 이탈이 발생한 것을 해석상 확인할 수 있었다.
- (3) 차량 속도를 80km/hr에서는 블록크기 기준으로 지점별로 14.5%, 14%, 18.6%, 22.7% 블록이탈이 발생하였다. 차량 속도 20km/hr비해 1.7배~3.4배 증가된 변위를 보였으며, 차량 속도 50km/hr비해 1.2배~2.5배 증가된 블록변위가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 저속과 중속 차량에서 오는 다르게 상부로 갈수록 블록의 변위가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- (4) 저속 차량의 충돌시 차량의 충격흡수장치와 보강토 옹벽 뒷채움재가 충격을 충분히 흡수하여 0.5H~0.6H 떨어진 지점부터는 블록의 변위가 줄어드는 것을 확인할 수 있었지만, 고 충격에너지로 충돌하는 고속 차량의 경우 차량의 충격흡수장치와 뒷채움재가 충격을 충분히 흡수하지 못하고 남은 잉여 충돌에너지가 상부 블록으로 전달되어 상부로 올라갈수록 블록변위가 증가하는 것으로 사료된다.
- (5) 저속 차량의 보강토 옹벽 충돌 사고시 직접적으로 충돌과 관련 있는 위치의 안정성 검토가 주로 이루어져야 할 것으로 사료되지만, 고 충격에너지로 충돌 사고 시는 옹벽 전체적인 안정성 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- (6) 보강토 옹벽 하단에 중력식 옹벽 1.0m를 설치했을 경우 옹벽 전체의 보강효과는 35%이상의 변위가 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 그리고 옹벽 하단에 중력식 옹벽 1.5m를 설치했을 경우 50%이상의 변위가 줄어든 것을 볼 수 있었다. 다양한 차종과 다양한 충격 양상에 따라 예기치 못한 불안정성을 초래할 수도 있다. 그래서 보강토 옹벽의 안정성을 확보하기 위해서는 1.5m높이의 중력식 옹벽을 하단에 설치하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 강병도와 9인(2002), 도로안전시설 설치 및 관리지침 통합편, 국토 해양부, pp. 167~180.
2. 한국지반공학회(1998), 토목섬유 설계 및 시공요령, 구미서관, pp. 228~285.
3. Vidal, H.(1978), The Development and Future of Reinforced Earth, *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, ASCE*. Vol. 104, pp. 1043~1057.
4. Borovinšek, M., Vesenjāk, M., Ulbin, M. and Ren, Z.(2006), Simulation of Crash Tests for High Containment Levels of Road Safety Barriers, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 14, No. 8, pp. 1711~1718.

(접수일: 2010. 2. 23 심사일: 2010. 3. 8 심사완료일: 2010. 5. 11)