

# 상부 L형 옹벽(방호벽/방음벽 기초)의 영향을 고려한 보강토 옹벽의 설계



김 경 모  
보강기술(주) 연구소장  
kgmong@hotmail.com

## 1. 개요

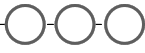
보강토 옹벽은 성토체 내부에 포설된 보강재와 성토체 사이의 상호결속력에 의하여 일체화된 보강토체를 형성하여 배면토압에 저항하는 일종의 중력식 옹벽으로, 그 구조적 안정성과 시공성, 수려한 미관 등의 장점으로 인하여 그 적용실적이 기하급수적으로 증가하고 있다.

이러한 보강토 옹벽은 1970년대 말에 국내에 소개되었으며, 1980년대 중반부터 본격적으로 보급되기 시작하여 1990년대 중반부터는 다양한 종류의 보강토 옹벽이 사용되고 있으나, 그 설계법이 통일되지 않고 프랑스, 영국, 미국 등 다양한 나라의 설계법들이 혼용되어 오다가 토목섬유 설계 및 시공요령(한국지반공학회, 1998), 도로설계편람(건설교통부, 2000), 건설공사 비탈면설계기준(국토해

양부, 2006), 건설공사 보강토 옹벽 설계 시공 및 유지관리 잠정지침(국토해양부, 2010) 등 보강토 옹벽의 설계 시공과 관련한 국내 기준들이 정비되면서, 최근 들어서는 국내 보강토 옹벽 설계기준이 미국 FHWA 지침(Elias 등, 2001)을 따른 설계법으로 통일되어 가고 있다.

그러나, 국내 설계기준들이 특정조건에 대한 세부사항까지 설명하고 있지 못하고, 보강토 옹벽의 구조계산에 사용하는 상용프로그램이 국내 현실을 적절히 반영하지 못함으로 인하여, 실무에 적용함에 있어서 많은 혼란이 있고 잘못 적용되는 사례들이 적지 않은 것 또한 현실이다.

본 고에서는 보강토 옹벽 상부에 방호벽 또는 방음벽 기초로서 L형 옹벽이 설치되는 경우, 이를 고려한 보강토 옹벽의 설계법에 대하여 고찰해 보았다.



## 2. 보강토 옹벽의 설계에 방호벽/방음벽 기초의 고려방법

### 가. 방호벽/방음벽 기초의 설치로 인해 보강토 옹벽에 추가되는 하중

상부에 방호벽 또는 방음벽 기초(L형 옹벽)가 설치되는 보강토 옹벽을 설계할 때, 차량활하중을 고려한 등분포활하중과 상재성토를 고려한 등분포사하중을 보강토 옹벽 상부에 재하하여 구조계산을 실시하는 경우가 많다.

그러나 보강토 옹벽 상부에 방호벽 또는 방음벽 기초로서 L형 옹벽이 설치될 경우, 보강토 옹벽에 추가로 작용하는 하중은 그림 1(b)에서와 같이 차량활하중과 성토하중 외에 L형 옹벽 배면에 작용하는 토압에 의한 수평력과 L형 옹벽의 편심에 의한 수직력 등이 추가로 작용한다.

따라서 보강토 옹벽 상부에 구조물이 설치될 경우, 보강토 옹벽의 설계에는 상부 L형 옹벽의 높이( $H_s$ )에 해당하는 성토자중( $DL = \gamma H_s$ ) 뿐만 아니라, L형 옹벽의 바닥에는 편심하중에 따른 응력 집중으로 인해 추가적인 수직력( $P_v / (b_f - 2e) - DL$ )도 고려해야 하며, 또한 L형 옹벽 배면에 작용하는 토압( $F_1$ 과  $F_2$ )과 추가 수평력( $P_H$ )에 의한 추가적인 수평력( $F_H$ )을 고려해야 한다.

### 나. 각 층별 보강재의 최대작용하중

보강토 옹벽의 내적안정성 검토에서 각 층별 보강재의 최대작용하중( $T_{max}$ )은 각 보강재 위치에서의 수평응력( $\sigma_h$ )과 보강재 부담면적( $A_r$ , 폭 1m인 경우  $S_r$ )을 고려하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

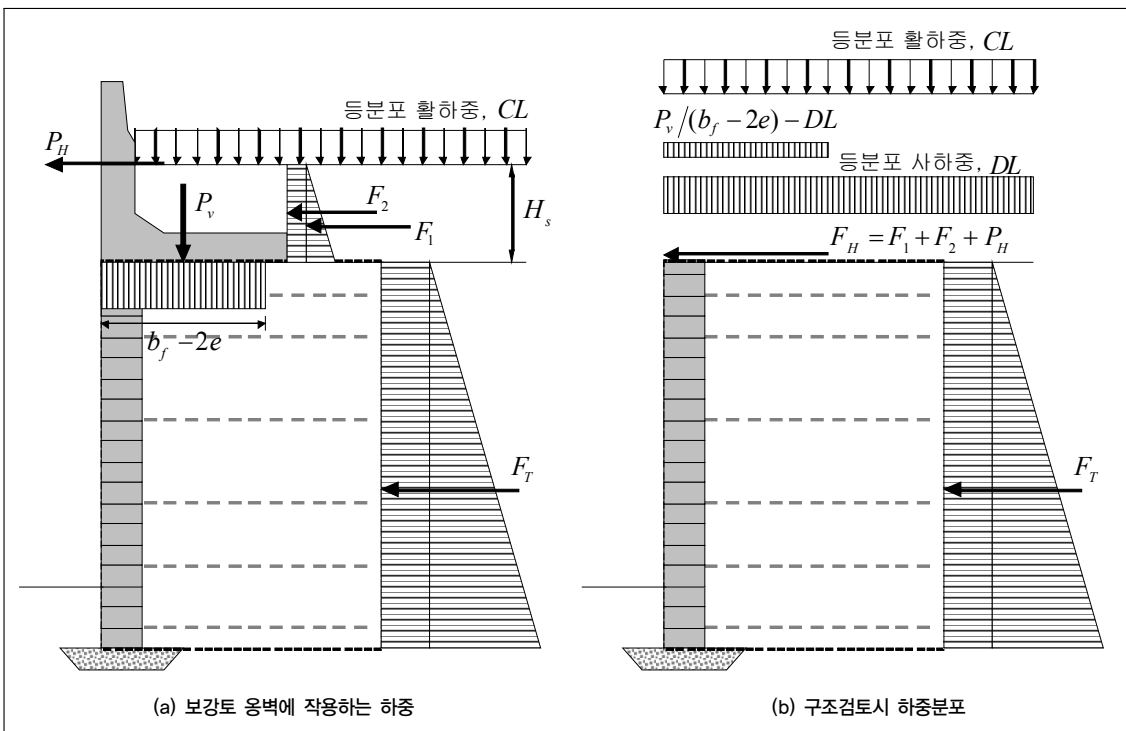


그림 1. 상부에 L형 옹벽이 있는 경우 보강토 옹벽에 작용하는 하중분포

$$T_{\max} = \sigma_h S_v \quad (1)$$

$$\sigma_h = K_r \sigma_v + \Delta\sigma_h \quad (2)$$

$$\sigma_v = \gamma z + \sigma_2 + q + \Delta\sigma_v \quad (3)$$

여기서,  $q$ 는 보강토 옹벽 상부에 작용하는 등분포하중이고,  $\Delta\sigma_v$ 는 추가수직하중에 의하여 증가되는 수직응력이며,  $\Delta\sigma_h$ 는 추가 수평하중에 의해 증가되는 수평응력이다.

보강토 옹벽 상부에 추가로 작용하는 수직하중이나 수평력에 의해 보강토체 내부에서 증가되는 수직응력 및 수평응력의 계산 방법은 다음과 같다.

### 1) 추가 수직하중의 고려방법

보강토 옹벽 상부에 추가로 작용하는 수직력을 고려하는 방법은 미국 FHWA 지침(Elias 등, 2001) 및 토목섬유 설계 및 시공요령(한국지반공학회, 1998)에 잘 설명되어 있으며, 보강토 옹벽 상부에 부과된 수직력( $P_v$ )은 그림 2와 같이 각 층별 보강재에 분포하는 것으로 가정한다.

### 2) 추가 수평하중의 고려방법

미국 FHWA 지침(Elias 등, 2001) 및 토목섬유 설계 및 시공요령(한국지반공학회, 1998)에 따르면, 보강토 옹벽 상부에 추가로 작용하는 수평력은 그 아래 보강재 층에 그림 3과 같이 분포하는 것으로 가정하여 각 층별 수평응력 증가분을 계산한다.

### 다. 보강토 옹벽의 설계에 적용방안

앞에서 설명한 바와 같이 보강토 옹벽 상부에 구조물의 설치 등으로 인하여 하중이 추가되는 경우에는 이러한 하중을 적절히 고려하여 설계해야 하지만, 국내에서 보강토 옹벽의 설계에 일반적으로 사용하는 상용 프로그램에서는 이를 직접적으로 고려할 수 있도록 되어 있지 않기 때문에 적용상 오류를 범하고 있는 것이 사실이다.

가장 대표적인 예로, 보강토 옹벽 상부에 방호벽기초가 설치될 경우, 일반적으로 보강토 옹벽 상부에는 차량활하

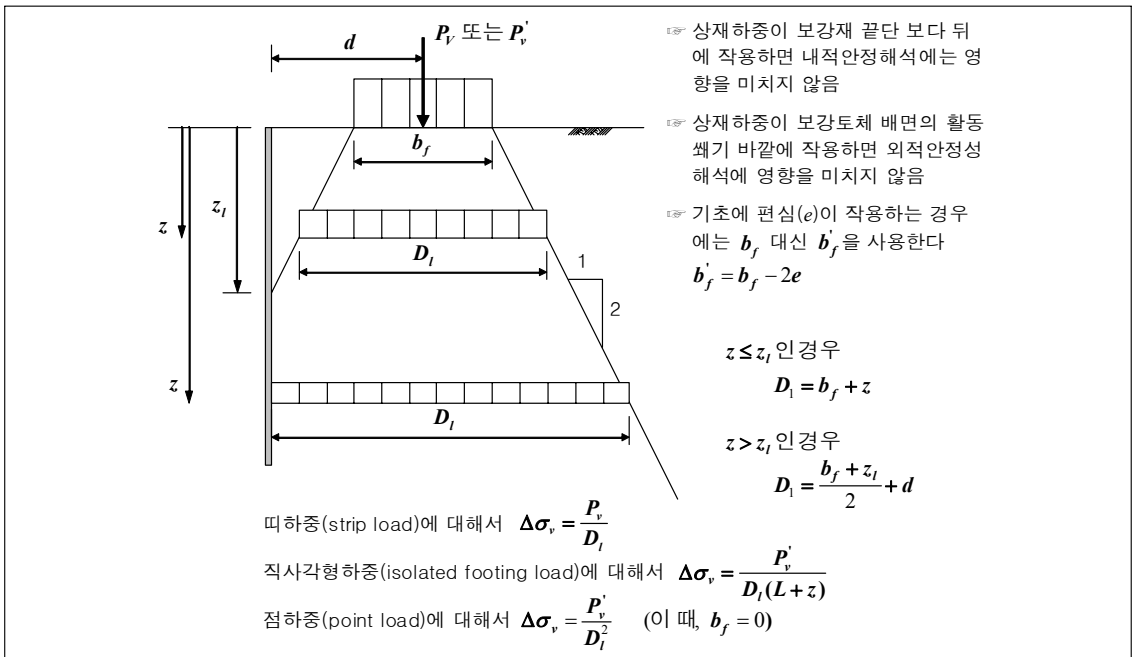


그림 2. 추가 수직하중에 의한 각 층별 수직응력 증가분,  $\Delta\sigma_v$ (Elias 등; 한국지반공학회, 1998)

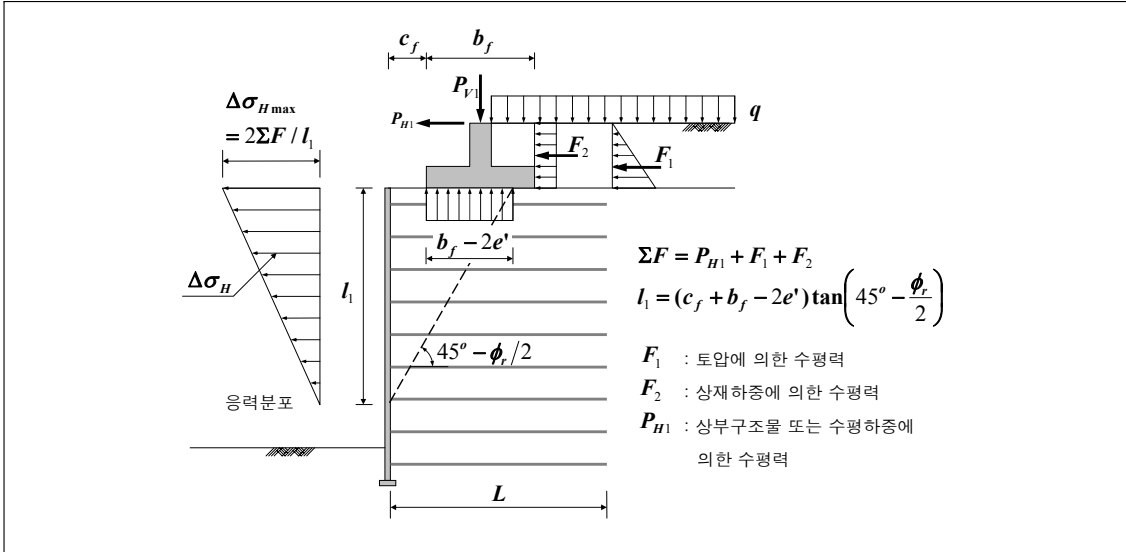


그림 3. 추가 수평하중에 의한 토체내 수평응력 증가분,  $\Delta\sigma_h$ (Elias 등, 2001; 한국지반공학회, 1998)

중에 의한 등분포활하중과, 추가성토고( $H_s$ )에 따른 등분포 사하중만을 부과시켜 구조계산한다. 그러나 상부 구조물에 의해 보강토 옹벽에 부과되는 하중은 추가성토고( $H_s$ )에 따른 수직력 뿐만 아니라 상부 구조물 배면에 작용하는 토압( $F_H$ )과 편심에 따른 추가 수직력( $dV$ )도 있으므로, 이를 함께 고려하여 설계해야 한다.

따라서, 보강토 옹벽의 구조계산에 사용하는 상용 프로그램에서 보강토 옹벽 상부의 구조물을 직접적으로 고려할 수 있는 방법이 없는 경우에는, 상부 구조물에 의해 추가로 작용하는 하중을, 다음과 같이, 각 각의 하중 종류별로 구분하여 적용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

- 추가성토고에 따른 등분포 사하중 :

$$DL = \gamma H_s$$

- 배면토압을 포함한 추가 수평력 :

$$F_H = P_H + F_1 + F_2$$

- 편심에 따른 추가 수직력 :

$$dV = P_v / (b_f - 2e) - DL$$

### 라. 계산예

본 계산예에서는 국내에서 보강토 옹벽 설계에 일반적으로 사용되고 있는 상용 프로그램인 MSEW를 사용하여 보강토 옹벽 상부에 높이 1.5m의 방호벽 기초가 설치되는 경우에 대하여, 표 1과 같은 재하조건에 대하여 각 층별 보강재의 최대작용하중( $T_{max}$ )을 비교해 보았다.

이 때 검토단면 및 하중분포는 그림 4와 같다.

표 1. 하중 재하 조건

조 건	재하하중	비 고
Case I	차량활하중(CL) + 상재성토하중(DL)	
Case II	차량활하중(CL) + 상재성토하중(DL) + 추가 수평하중(FH)	
Case III	차량활하중(CL) + 상재성토하중(DL) + 추가 수직하중(dV)	
Case IV	차량활하중(CL) + 상재성토하중(DL) + 추가 수평하중(FH) + 추가 수직하중(dV)	

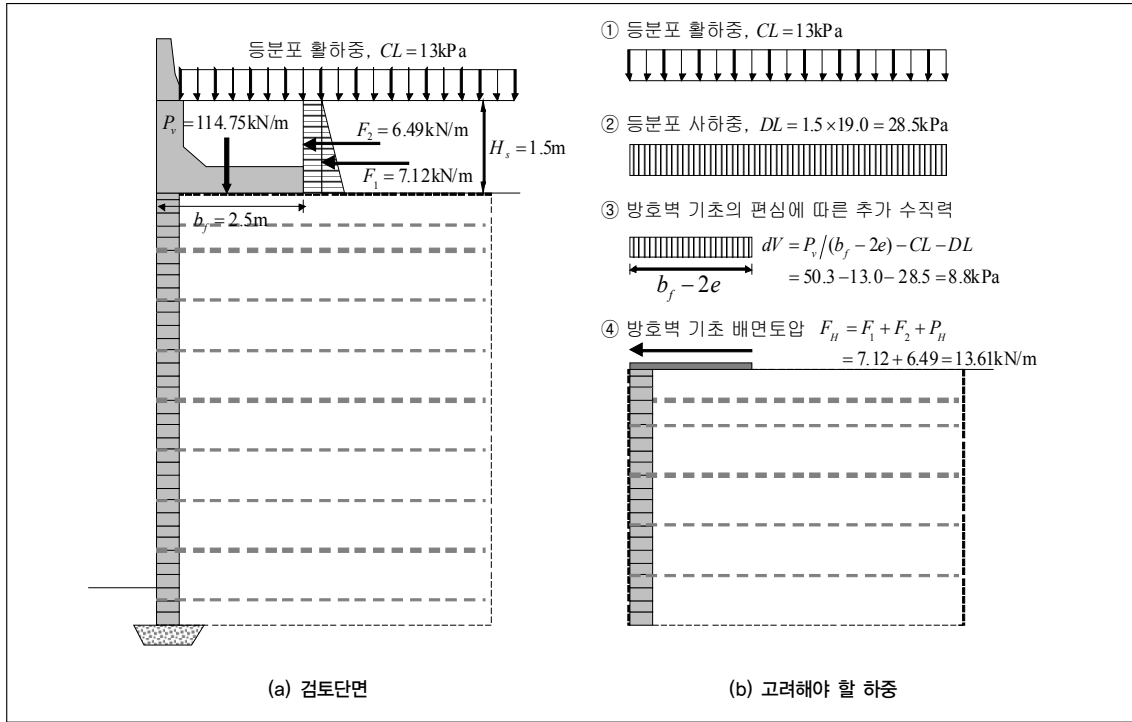


그림 4. 검토단면 및 고려해야 할 하중

표 2. 검토조건별 보강재 최대작용하중 비교

No.	hr(m)	보강재 최대작용하중, $T_{\text{max}}$			
		Case I : CL+DL	Case II : CL+DL+FH	Case III : CL+DL+dV	Case IV : CL+DL+FH+dV
1	0.40	44.00	44.00	45.00	45.00
2	1.20	39.95	39.95	41.02	41.02
3	2.00	35.89	35.89	37.06	37.06
4	2.80	31.84	32.21	33.11	33.48
5	3.60	27.79	28.98	29.18	30.38
6	4.40	23.73	25.86	25.28	27.41
7	5.20	19.68	22.73	21.42	24.48
8	6.00	12.10	15.00	13.56	16.46
9	6.40	11.24	15.28	13.16	17.20

Case I의 경우는 국내에서 보강토 옹벽 상부에 방호벽 또는 방음벽 기초가 설치되는 단면에 대한 구조검토시 일반적으로 적용하는 하중조건이고, Case IV는 상부 L형 옹벽에 의하여 보강토 옹벽에 부가되는 모든하중을 고려하

는 하중조건이라 할 수 있다.

검토결과 계산된 각 층별 보강재 최대작용하중( $T_{\text{max}}$ )을 각 조건별로 설치 높이( $h$ )에 따라 나타내면 그림 5와 같다. 이를 좀 더 명확하게 보기 위하여, 그림 6에서는, Case

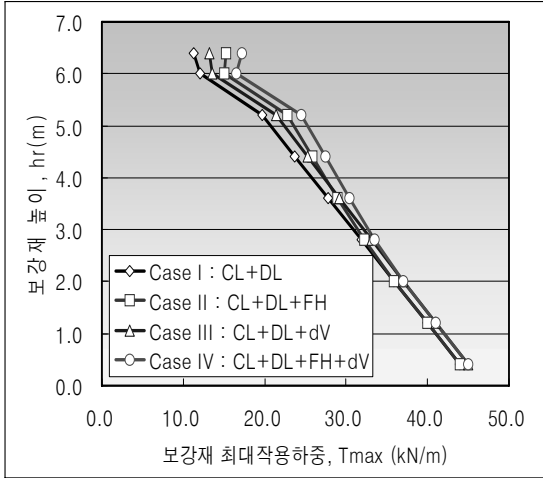
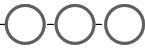


그림 5. 보강재 최대작용하중 비교

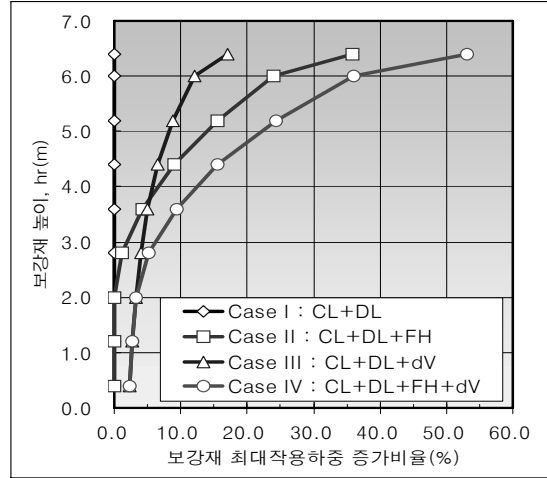


그림 7. 보강재 최대작용하중 증가비율 비교

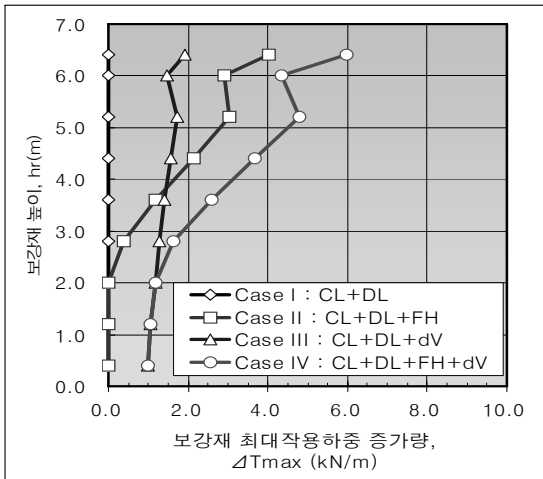


그림 6. 보강재 최대작용하중 증가량 비교

I에 대한 각 조건별 최대작용하중 증가량( $\Delta T_{max}$ )을 나타내었으며, 그림 7에서는 Case I에 대한 증가량의 비율로 표시하였다.

이러한 결과에서 차량활하중(CL)과 상재 성토하중(DL)만을 고려한 Case I에 비하여, L형 옹벽 배면토압( $F_H$ )을 고려한 Case II의 경우에는 최대 36%, L형 옹벽의 편심에 의한 수직력 증가분( $dV$ )을 고려한 Case III의 경우에는 최대 17% 정도 보강재 최대작용하중( $T_{max}$ )이 증가할 수 있

으며, 추가 수직력( $dV$ ) 및 수평력( $F_H$ )을 모두 고려한 Case IV의 경우에는 최대 53%까지 보강재 최대작용하중( $T_{max}$ )이 증가할 수 있다는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 결과에서, 보강토 옹벽 상부에 방호벽 또는 방음벽 기초가 설치되는 경우, 상재성토하중만을 추가로 고려하여 설계하면, 보강토 옹벽 상부의 보강재 층은 굉장히 불안정하게 설계될 수 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 보강토 옹벽 상부에 방호벽 또는 방음벽 기초와 같은 구조물이 추가로 설치되는 경우에는, 성토자중에 의한 등분포사하중 뿐만 아니라, 상부구조물 배면에 작용하는 토압과 편심의 영향에 의해 증가되는 수직하중과 같이 보강토 옹벽에 추가로 작용하는 하중을 고려하여 설계하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

### 3. 방호벽 충돌하중에 대한 고려방법

#### 가. 방호벽 충돌하중의 고려방법

국토해양부에서 마련한 『건설공사 보강토 옹벽 설계 시공 및 유지관리 잠정지침』에 따르면, “보강토 옹벽 상부에 방호벽이 설치되는 경우에는 차량 충돌시의 하중을 고려

하여, 설계시 상부 2개열의 보강재에 29kN/m의 수평력을 부가시킨다"라고 규정하고 있으나, 구체적으로 어떻게 적용할지에 대한 설명이 부족하여 실무에 적용하기 곤란한 점이 없지 않다. 어떤 이는 보강토 옹벽 상부에 29kN/m의 추가 수평력을 작용시켜야 한다고 주장하고 또 어떤 이는 각 층별로 29kN/m의 수평력을 부가시켜야 한다고 주장하며, 다른 이는 29kN/m의 수평력을 상부 2개 층에 동일하게 분배시켜야 한다고 주장하는 등 이견이 많다.

이와 관련하여, 미국 FHWA지침(Elias 등, 2001)에서는 다음과 같이 규정하고 있다.

The current AASHTO impact force is 45 kN (10,000 lbs) applied at a height of 850 mm (33.4 inches) above the roadway. This impact force, adds an additional horizontal force of 29 kN per linear meter (2,000 lbs/foot) to the upper 2 rows of reinforcement, which the reinforcements can resist over their full length. This additional force should be apportioned  $\frac{2}{3}$  to the upper row and  $\frac{1}{3}$  to the second row. Where the impact barrier moment slab is cast integrally with a concrete pavement, the additional force may be neglected.

For geosynthetic reinforcements, the geosynthetic allowable strength used to structurally size the reinforcements to resist the impact load may be increased by eliminating the reduction factor for creep, as was done for internal seismic design in section 4.3d.

이에 따르면 보강토 옹벽 상부에 설치되는 방호벽에 대한 충돌하중을 고려할 경우, 29kN/m의 수평력을 최상단 보강재 층과 그 아래 보강재 층에 대하여  $\frac{2}{3}$ 와  $\frac{1}{3}$ 의 비율로 분배하여 작용시켜 보강재 파단 및 인발파괴에 대한 안정성을 검토해야 한다. 따라서 방호벽에 의한 차량충돌하중을 고려하는 경우 보강재 파단 및 인발파괴에 대한 안정성은 다음과 같이 검토할 수 있다.

$$FS_{to} = \frac{T_l}{T_{max} + T_I} \quad FS_{po} = \frac{T_p}{T_{max} + T_I}$$

$$T_{I(n)} = \frac{2}{3} \times 19 = 19.33 \text{ kN/m}$$

$$T_{I(n-1)} = \frac{1}{3} \times 19 = 9.67 \text{ kN/m}$$

여기서,  $FS_{to}$  : 보강재 파단에 대한 안전율

- $FS_{po}$  : 보강재 인발에 대한 안전율
- $T_l$  : 보강재의 장기설계인장강도
- $T_{max}$  : 각 층별 보강재의 최대작용하중
- $T_I$  : 차량충돌하중에 의해 각 층에 분배된 추가 수평력
- $T_p$  : 보강재 인발저항력(보강재 전체 길이에 대해 적용해야 함)

다만, 보강재 인발저항력은 저항영역내의 유효길이( $L_e$ )가 아닌 전체 보강재 길이( $L_r$ )에 대하여 계산해야 한다.

차량충돌하중은 지진하중과 마찬가지로 일시적인 하중이기 때문에, 토목섬유 보강재를 사용하는 경우에는, 보강재 파단에 대한 안정성 검토에서는 차량 충돌하중에 의한 추가 수평력( $T$ )에 대해 크리프 특성에 대한 감소계수( $RF_{CR}$ )를 고려하지 않아도 된다. 따라서 토목섬유 보강재를 사용하는 경우 보강재 파단에 대한 안전율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$FS_{to} = \frac{T_l}{T_{max} + T_I / RF_{CR}}$$

#### 나. 가드레일 등 지주의 수평하중 고려

국토해양부에서 마련한 『건설공사 보강토 옹벽 설계 시공 및 유지관리 잠정지침』에 따르면, “보강토 옹벽 상부에 가드레일, 방음벽 등의 지주(flexible post, beam barriers)를 설치할 필요가 있을 경우, 이 지주는 보강토 옹벽의 전면에서 1m 이상 떨어진 위치에 설치한다. 또한 가급적 보강재에 손상이 가지 않도록 보강재가 서로 엇갈리는 위치에 설치하는 것이 바람직하며, 지주 설치로 인해 보강재에 손상이 있을 경우 보강재의 파단안정 안전검토시 이를 고려한다. 한편, 설계시 상부 2개열의 보강재에는 4.4kN/m의 수평력을 부가시킨다.”라고 규정하고 있으나, 상부 2개 열에 4.4kN/m의 수평력을 어떻게 부과하는지에 대한 구체적인 설명이 없어 실무에 적용시 해석상의 이견이 분분하다.

이와 관련하여 미국 FHWA 지침(Elias 등, 2001)에서는



최상단 보강재 층에 2/3, 그 아래 보강재 층에 1/3의 비율로 4.4kN/m의 수평력을 분배시켜야 한다고 규정하고 있으므로, 앞에서 설명한 차량충돌하중과 동일한 방법으로 안정성을 검토하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

#### 4. 맺음말

이상과 같이 보강토 옹벽 상부에 방호벽 기초와 같은 구조물이 설치되는 경우 보강토 옹벽의 설계와 관련한 사항들을 검토해 보았으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 보강토 옹벽 상부에 방호벽 기초와 같은 구조물이 설치될 경우 보강토 옹벽의 설계에는 성토높이에 따른 등분포하중(DL)과 교통활하중(CL)만 고려하여 설계하는 것이 일반적이지만, 이렇게 설계할 경우 보강토 옹벽 상단부 보강재 층은 굉장히 불안정하게 설계된다.
- 따라서 보강토 옹벽 상부에 차량방호벽과 같은 구조물이 설치될 경우, 등분포하중(CL 및 DL) 뿐만 아니라 구조물 배면에 작용하는 토압( $F_1 + F_2$ )이나 편심에 의해 추가로 작용하는 수직력( $dV$ ) 등 추가하중을

고려하여 설계하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

- 방호벽 충돌하중이나 지주에 작용하는 수평력을 고려하는 경우에는, 방호벽 충돌하중(29kN/m)이나, 지주의 수평하중(4.4kN/m)을 최상단 보강재 층과 그 아래 보강재 층에 대하여 각각 2/3 : 1/3의 비율로 분배하여 작용시키며, 보강토 옹벽 구조계산시 계산된 보강재 최대작용하중( $T_{max}$ )에 추가하여 보강재 파단 및 인발파괴에 대한 안정성을 검토해야 한다. 이 때 보강재 인발저항력은 전체 보강재 길이에 대하여 고려하며, 토목섬유 보강재를 사용하는 경우에는 크리프 특성에 대한 감소계수를 고려하지 않아도 된다.

#### 참고문헌

1. (사)한국지반공학회(1998), 토목섬유 설계 및 시공요령
2. Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R. (2001), Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, FHWA-NHI-00-043.