

지오그리드 보강토 옹벽의 설계/시공에 따른 문제점과 대책방안 Troubles and Countermeasures of Geogrid-Reinforced Earth Wall

조삼덕¹⁾, Sam-Deok Cho

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Div., KICT

SYNOPSIS : Since 1984, block-type reinforced earth wall with geogrid reinforcement has been widely used for retaining wall applications till now in Korea. The use of geogrid as a reinforcement in the reinforced earth wall is steadily increased in an amount over 1,500,000m² in a year. However, still need exists that some problems in design and construction practices should be made to review. Therefore, this paper reviewed reasonable criteria for selection of backfills, design details considering the effect of the upper soil slope on reinforced earth wall, horizontal displacement of facing block during compaction, and the damage of geogrid reinforcements on the edge part of facing block. Finally, alternative methods of measures on those problems are proposed.

Keywords : geogrid, reinforced earth wall, design, construction

1. 서론

보강토 옹벽은 1960년대 중반 프랑스의 H. Vidal에 의해 아연도 강판을 보강재로 사용하는 형태로 개발되었으며, 1970년대 중반 이후 아연도 강판 대신 띠형 합성섬유 보강재나 지오그리드 등의 토목섬유 보강재를 사용하는 형태로 발전하여 왔다. 국내에는 1980년에 건설부 건설시험소에서 국도 상에 아연도 강판을 보강재로 사용한 보강토 옹벽을 시험시공하면서 도입되었으며, 그 이후 1985년까지 건설시험소와 한국도로공사, 한국토지공사 등에서 몇 건의 아연도 강판 보강토 옹벽의 시험시공이 수행되었다.(조삼덕 등, 1985)

그러나 국내에서는 아연도금 기술의 부족에 따른 다짐 시공시의 아연도금 탈락 및 장기간 강판 부식 등의 문제가 제기되어, 1986년에 이를 해결할 수 있는 띠형 합성섬유 보강재를 사용한 패널식 보강토 옹벽이 도입되고, 1994년에는 지오그리드를 보강재로 사용하는 블록식 보강토 옹벽이 도입되면서 기존 콘크리트 옹벽의 대체 구조물로 각광을 받고 있다.

특히 지오그리드를 보강재로 사용하는 블록식 보강토 옹벽은 국내에 도입된 이후 시공량이 급증하여 최근에는 연간 150만m² 이상의 지오그리드가 보강토 옹벽에 사용되고 있으나(표 1.1 참조), 아직까지도 설계 및 시공에 있어서의 몇가지 문제점을 내포하고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 도출하여 검토해 보고 대책방안을 강구해 보고자 한다.

표 1.1 국내 보강토옹벽 종류별 개략적인 사용량(Cho & Shin, 1999)

(단위 : m²)

년도	아연도 강판 (전면판 면적)	띠형 토목섬유 (전면판 면적)	지오그리드 (보강재 면적)
1980~1985	3,600	-	
1986~1990	1,200	39,486	
1991	1,260	29,397	
1992	-	22,513	
1993	4,292	23,543	
1994	-	19,240	
1995	-	37,573	500,000
1996	-	22,622	700,000
1997	-	65,027	1,100,000
1998	-	80,000	1,500,000
합계	-	339,803	4,900,000

2. 보강토 옹벽의 뒤채움흙 선정기준

일반적으로 보강토옹벽의 뒤채움을 위하여 사용하는 성토재료로는 보강토체의 내구성과 시공성 등을 고려하여 실트와 점토 함유량이 적은 사질토가 적합한 것으로 평가되고 있다. 따라서 실트, 점토, 유기질토 등은 뒤채움재로 사용하지 않는 것이 바람직하다. 또한, 입경이 큰 암석재료 등을 많이 함유한 흙도 다짐이 곤란하고 다짐시 보강재를 손상시킬 수 있기 때문에 뒤채움재로는 적합하지 않다. 일반적으로 토목섬유 보강토옹벽의 뒤채움흙으로의 적합성 여부는 다음의 조건으로부터 평가할 수 있다.

이와 같은 뒤채움흙은 양질의 사질토로서, 국내의 토질조건을 감안할 때 구입이 용이하지 않다. 연구결과 (이은수, 1996)에 따르면 0.015mm 이하의 세립분이 10% 미만이면 대체적으로 뒤채움흙으로서 만족하지만 연약한 실트나 점토 등의 세립분을 많이 함유한 현장토사의 경우에는 토질시험 등을 실시하여, 성토재료로서 적용 가능한 지를 평가한 후 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 뒤채움재 선정 기준은 지오그리드 보강재의 강도손실을 최소화함은 물론 흙의 다짐을 좋게 하여 흙과 지오그리드 보강재 사이의 마찰을 극대화시키고 보강토체의 일체화를 견고히 하기 위함이다.

- 입 경 통과백분율 (%)

19mm	100
0.425mm(No.40)	0~60
0.075mm(No.200)	0~15
- 소성지수 (PI) < 6

한편, 지오그리드 보강재의 경우 뒤채움흙 내의 pH값에 의해 공학적 특성이 저하될 수 있으므로 폴리에스테르(PET) 지오그리드 사용시에는 3<pH<9, 폴리올레핀계(PP, HDPE) 지오그리드 사용시에는 3<pH인 조건을 만족하는 뒤채움흙을 사용하여야 한다.

국내에서는 보강토 옹벽의 뒤채움흙으로서 대부분 현장 근처에 있는 화강풍화토를 사용하고 있는데, 직경이 19mm 이상되는 돌들이 많이 포함되어 있어 선정기준에 맞는 뒤채움흙을 얻기 위해서는 대형체를 이용한 현장 체가름 작업을 수행하지 않으면 안된다. 그러나, 현장에서는 체가름 작업에 따른 시공

의 번거로움과 공기 지체 등의 이유로 제거를 작업을 수행하지 않고 단지 뒤채움흙을 다짐하기 전에 육안으로 매우 큰 돌(직경 100~150 mm)만을 제거한 채 시공을 하고 있어 보강토 옹벽의 장기적인 안정에 문제가 발생할 가능성이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 뒤채움흙의 종류와 입도분포 등을 고려한 보강재의 시공성 감소계수를 평가하고, 이를 토대로 뒤채움흙의 선정기준을 완화하여 보다 넓은 범위의 흙을 뒤채움재로 사용할 수 있도록 하는 방안을 강구하여야 한다. 또한, 뒤채움흙의 다짐에 따른 지오그리드의 강도손실을 최소로 할 수 있는 지오그리드의 개발 연구도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

3. 상부 성토사면 재하시 설계방법

일반적으로 지오그리드 보강토 옹벽의 설계방법으로는 1996년에 미국연방도로청(Federal Highway Administration)에서 제시한 설계지침이 널리 사용되고 있으며, 국내에서도 FHWA 방법을 토대로 하여 설계방법이 제시되어 있다(한국지반공학회, 1998). FHWA 방법에서는 보강토 옹벽 설계시 상부 성토사면은 무한 성토사면으로 고려하여 평가하도록 되어 있으며, 이 때 주동토압계수는 다음 식과 같이 산정할 수 있다(그림 3.1 참조).

$$K_a = \cos \beta \left[\frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right] \quad (3.1)$$

여기서, β = 성토사면의 경사각

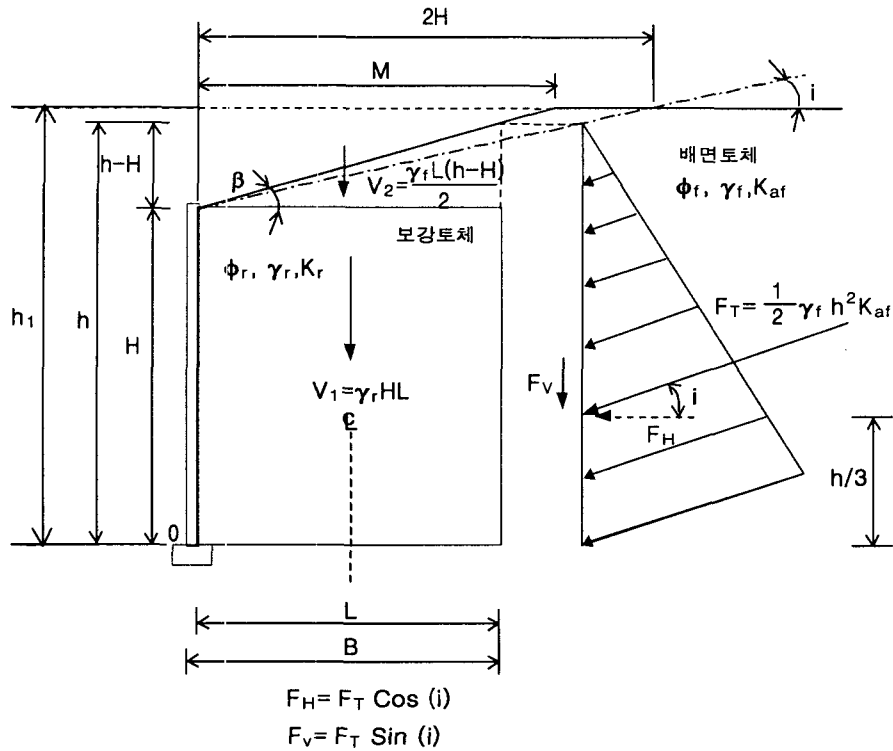
따라서, 보강토체 상부의 성토사면이 무한하지 않고 중간에서 수평으로 변화하는 경우에는 그림 3.1에서 보는 바와 같이 무한 성토사면화하여 수정된 사면각, i 를 β 대신 식 (3.1)에 대입하므로써

주동토압계수를 구할 수 있다.

그러나, 이러한 설계법은 상부 성토사면의 경사가 낮고 높이도 낮은 경우에는 상당히 합리적이라고 볼 수 있으나 상부 성토사면이 급경사이고 높이도 높은 경우에는 상부 성토사면의 영향을 과소 평가할 수도 있다. 따라서, 이러한 조건에서는 상부 성토사면을 보강토체 전폭에 대한 등분포하중으로 보고 설계하는 것이 보다 안전측일 수 있다.

표 3.1에서는 이러한 영향을 검토해 보기 위해 높이 8m의 보강토 옹벽을 대상으로 상부 성토사면의 높이가 3m와 5m, 사면 경사각이 10°, 20°, 25°, 30° 인 경우에 대해 상부 성토사면을 무한사면으로 보는 해석과 등분포하중으로 보는 해석의 결과를 보여준다. 표 3.1에서 보듯이 사면 경사각이 높을수록 상부 성토사면을 무한 사면으로 보는 해석은 지지력과 보강재의 파단에 대한 안전율을 과대 평가할 수 있음을 알 수 있다.

따라서, 보다 안전하고 효율적인 설계를 위해서는 보다 다양한 상부 성토사면 조건에 대하여 무한 성토사면방법과 등분포하중방법을 비교, 검토하여 각 방법의 적용범위를 제시하는 것이 필요할 것이다.



* 주 : 비교적 두꺼운 전면벽 (예로서, 조립식 콘크리트 블록)에 대하여는 저면활동 및 전도 평가시에 전면벽의 크기와 중량을 포함시킬 수 있다. (예로서, "L" 대신에 "B"의 사용)

그림 3.1 외적 안정해석시 토압산정(보강토체 상부의 성토사면이 무한하지 않고 중간에서 수평으로 변화하는 경우)

4. 블록/블록 및 블록/보강재 연결부 문제

지오그리드 보강토 옹벽에서 블록/블록의 수직연결은 보통 전단핀(shear pin)이나 전단키(shear key)를 사용하고 있다. 특히 전단핀형 블록의 경우에는 곡선부 상·하부 블록 연결시 전단핀이 핀구멍과 잘 맞지 않아 무리하게 삽입하게 되면, 시공후 뒤채움흙에 의한 토압작용시 강성이 큰 전단핀 주위에서 상하로 균열이 발생하게 된다. 국내에서 시공된 대부분의 블록식 보강토 옹벽에서 이러한 현상이 발견되었다. 따라서, 곡선부의 곡률반경을 고려하여 기존의 전면블록 구조형태를 보완하는 것이 필요하다.

전단키형 블록의 경우에는 블록간 연결에 따른 문제보다는 상·하 블록의 전단키 내에 있는 지오그리드 보강재가 전단키의 거칠고 모난 모서리 부분에 의해 상당한 강도손실이 유발될 수 있으므로 블록 제작시 전단키의 모서리 부분이 모나지 않고 부드럽게 처리되도록 하는 것이 중요하다. 또한, 블록 모서리 부분을 보다 매끄럽게 하기 위한 하나의 방안으로서 점토, 실트 등의 흙 재료를 주원료 하는 고화 블록의 개발도 고려할 수 있다.

한편, 최근의 연구결과에서는 전면블록 뒤에 포설되는 배수층의 침하에 의해 블록과 배수층 사이의 경계에 있는 지오그리드 보강재 부분이 매우 큰 인장응력을 받는 것으로 밝혀지고 있으므로, 배수층 다짐에 대한 검토가 함께 블록 뒷면 모서리 부분의 유연한 처리도 필요할 것이다.

표 3.1 상부 성토사면의 고려방법에 따른 해석결과 예(옹벽높이: 8m)

상부 성토사면			안전율(FS)		
높이(m)	사면경사(°)	구분	무한사면화	삼각형 하중을 등분포화	전체를 등분포화
3	30	저면활동	1.79	2.32	2.22
		전도	2.92	4.82	4.61
		지지력	3.42	3.89	3.46
		파단	1.09	0.93	0.84
		인발	12.28	12.28	12.28
	25	저면활동	1.70	2.06	1.94
		전도	2.56	3.74	3.53
		지지력	2.82	2.89	2.40
		파단	1.07	0.96	0.84
		인발	7.66	7.66	7.66
	20	저면활동	1.76	1.98	1.83
		전도	2.65	3.40	3.15
		지지력	2.82	2.60	1.99
		파단	1.03	1.01	0.85
		인발	5.82	5.82	5.82
	10	저면활동	2.03	2.13	1.99
		전도	3.33	3.66	3.42
		지지력	3.61	3.21	2.64
		파단	1.01	1.16	1.01
		인발	5.82	5.82	5.82
5	30	저면활동	1.56	2.01	1.83
		전도	2.40	3.76	3.43
		지지력	2.68	2.66	1.92
		파단	1.01	0.85	0.67
		인발	8.59	8.59	8.59
	25	저면활동	1.60	1.92	1.70
		전도	2.41	3.30	2.92
		지지력	2.53	2.32	1.48
		파단	1.08	0.93	0.70
		인발	5.82	5.93	5.82
	20	저면활동	1.71	1.97	1.78
		전도	2.69	3.39	3.05
		지지력	2.94	2.56	1.77
		파단	1.03	1.00	0.79
		인발	5.82	5.82	5.82
	10	저면활동	2.03	2.13	1.99
		전도	3.33	3.66	3.42
		지지력	3.61	3.21	2.64
		파단	1.01	1.16	1.01
		인발	5.82	5.82	5.82

5. 벽체의 수평변위(배부름 현상)

지오그리드 보강토옹벽은 일종의 흙 구조물이기 때문에 보강토체의 다짐시공에 따른 전면블록의 수평 변위(배부름 현상)가 필연적으로 발생하게 된다. 지금까지의 시공실적으로부터 지오그리드 보강토옹벽이 연직선에 대하여 $0.03H$ (H 는 옹벽높이) 또는 30cm 정도의 시공오차가 발생하여도 구조물 자체는 충분히 안정한 것으로 평가되고 있으나(土木研究センター, 1990), 연직벽체의 경우 벽면변위가 발생하면 시각적인 불안감이 생기므로 사전에 시공오차를 감안하여 앞으로 기울어지지 않도록 유의하여야 한다. 이러한 시각적인 불안감을 해소하기 위해서는 벽체 근처에서의 다짐시공 관리를 철저히 하여 시공시 보강토옹벽의 수평변형이 최소화($0.01H$)되도록 하는 것이 중요하다.

또한, 벽체의 배부름 현상을 억제하기 위한 방안으로써 분리형 보강토옹벽과 압축성 배수재를 사용하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 분리형 보강토옹벽은 보강토체의 다짐시공과 전면블록의 시공을 분리하여 시공하는 방법으로 다짐에 의해 발생하는 벽체 변위를 근본적으로 차단하므로써 벽체의 배부름 현상을 억제하는 공법이다(그림 5.1 참조). 전면블록 뒷면에 설치되는 쇠석 배수재 대신에 EPS와 같은 경량의 압축성 배수재료를 사용하는 방안도 배수재의 압축효과에 의해 보강토체 다짐시의 충격 흡수와 함께 보강토체로부터 작용되는 수평토압 경감효과를 기대할 수 있어 배부름 억제기법으로 고려해 볼 수 있다(그림 5.2 참조).

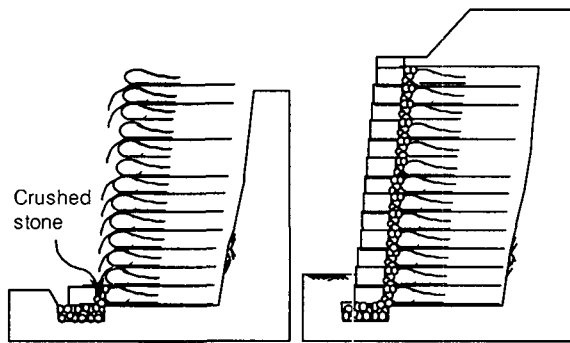


그림 5.1 분리형 보강토옹벽

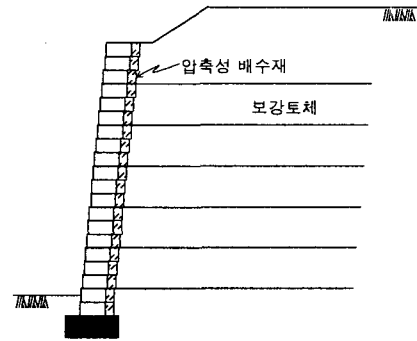


그림 5.2 압축성 배수재를 이용한 배부름 억제기법

6. 결론

지오그리드 보강토옹벽에 대한 설계 및 시공에 있어서의 문제점과 대책방안을 검토해 본 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 뒤채움흙의 선정기준에 따른 입경 19mm 이하의 토사를 구하기는 매우 어려우므로 뒤채움흙의 입도분포에 따른 보강재의 시공성 감소계수를 평가하고, 이를 토대로 뒤채움흙의 선정기준을 완화하는 방안을 강구하여야 하며, 이와 함께 다짐시 보강재의 강도손실을 최소화 할 수 있는 지오그리드의 개발이 요구된다.
- (2) 상부 성토사면이 급경사이고 높이도 높은 경우, 상부 성토사면을 무한사면으로 보는 설계는 상부 성토사면의 영향을 과소 평가할 수 있으므로 상부 성토사면을 등분포하중으로 보는 해석과 비교 검토해 보는 것이 바람직하다.

- (3) 지오그리드 보강재의 장기적인 강도손실을 최소화하기 위해 전면블록의 전단키 및 뒤쪽 모서리 부분이 모나지 않고 부드럽게 처리되도록 하여야 하며, 점토/실트 등의 흙 재료를 주원료로 하는 고회블록의 개발도 고려할 수 있다.
- (4) 벽체의 수평변위(배부름 현상)는 시각적인 불안감을 주므로 다짐시공 관리를 철저히 하여 수평변위가 0.01H(H는 옹벽높이) 이내가 되도록 하는 것이 중요하며, 벽체의 배부름 현상을 억제하기 위한 방안으로서 분리형 보강토옹벽과 압축성 배수재의 사용방안 등을 고려할 수 있다.

참고문헌

1. 이은수(1996), 보강토체 구성재료로 이용되는 화강토의 적용성 평가, 박사학위논문, 동국대학교, pp. 74~108.
2. 조삼덕, 조중각, 홍성완(1985), 지오텍스타일 및 보강토공법 연구, KICT 84-W-1, 한국건설기술연구원.
3. 한국지반공학회(1998), 토목섬유 설계 및 시공요령, 한국지반공학회, pp. 253~305.
4. Cho, S.D. and Shin, E.C.(1999), "Application of Geosynthetics and Earth Reinforcement Technique in Korea", *Earth Reinforcement Technique in Asia, Special Volume for the Proc. of 11th ARC*, Seoul pp. 43~49.
5. FHWA(1996), *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*, FHWA-SA-96-071, Working Draft, pp. 155~156.
6. 土木研究センター(1990), 補強土(テールアルメ) 壁工法 設計・施工マニュアル, (財) 土木研究センター, 東京, pp. 192~224.