

생태축조블록의 국부적 안정성에 관한 실험적 연구

이승현¹, 이수형^{2*}

¹선문대학교 토목공학과, ²한국철도기술연구원 신교통연구본부

An Experimental Study on Local Stability of Eco-block

Seung-Hyun Lee¹ and Su-Hyung Lee^{2*}

¹Dept. of Civil Engineering, Sunmoon University

²Korea Railroad Research Institute, New Transportation Research Div.

요약 본 연구에서는 생태축조블록을 적용한 보강토 옹벽의 국부적 안정성 검토에 필요한 보강재 인장력 계산법을 정립하고 국부적 안정성 검토와 관련한 주요 설계인자인 보강재와 블록 사이의 연결강도와 블록 접촉면 사이의 전단강도를 시험을 통해 규명하였다. 연결강도 시험결과에 따르면 생태축조블록의 내부를 흙으로 속채움하고 D13 이형철근을 사용할 경우 침두 하중값은 이형철근의 허용인장력 정도임을 알 수 있었으며 D16 이형철근을 사용할 경우 침두하중값은 허용인장력의 76% 정도였다. 생태축조블록의 내부를 콘크리트로 속채움하는 경우에 있어서 D10, D13 이형철근을 사용하였을 때의 연결강도는 각각의 이형철근의 허용인장력보다 크게 나타났다. 생태축조블록의 접촉면 전단시험결과를 통해 구한 전단저항 매개변수인 a_u 는 1.7kN/m 이었고 λ_u 는 27.6° 이었다.

Abstract In this study, computation method of tensile load which develops in tie-bar of reinforced earth, connection strength between tie-bar and eco-block and shear strength of the interface between two eco-blocks were verified by experiments. According to the test results of connection strength test, peak tensile load of D13 deformed bar were close to allowable tensile load of it for situation of infill with soil. Connection strengths of D10 and D13 deformed bars were greater than the allowable tensile load of those respectively for situation of infill with concrete. According to the test results of shear strength of the interface between two eco-blocks, shear resistance parameters, a_u and λ_u were evaluated as 1.7kN/m and 27.6° respectively.

Key Words : Eco-block, Tensile load of tie-bar, Connection strength, Shear resistance parameter

1. 서론

보강토 옹벽은 토압에 저항하는 방식에 따라 보강재와 흙 사이의 마찰에 의존하는 방식과 앵커 플레이트를 사용하는 지압에 의존하는 방식으로 구분 지을 수 있다. 보강토 옹벽은 철근 콘크리트 옹벽과 같은 강성 옹벽에 비해 벽체 높이 6m 정도를 기준으로 그 이상이 될 경우에 경제적인 것으로 알려져 있으며 특히 최근 일본 동부 해안 지역에서 발생한 지진과 관련하여 강성옹벽에 비해 내진 성능이 우수한 구조물이다. 보강토 옹벽의 종류와 보강재에 의한 지반강도 증가에 대해서는 다수의 기존 연구결과가 제시되어 있다(Ingold, 1982; Hausmann,

1976; Boden et al., 1978; Floss & Thamm, 1978).

최근에는 보강토 옹벽을 구성하는 전면블록으로 환경적 측면을 고려한 블록이 고안되어 사용되고 있는데, 본 연구에서 고려한 생태축조블록은 그림 1에 나타내었다.

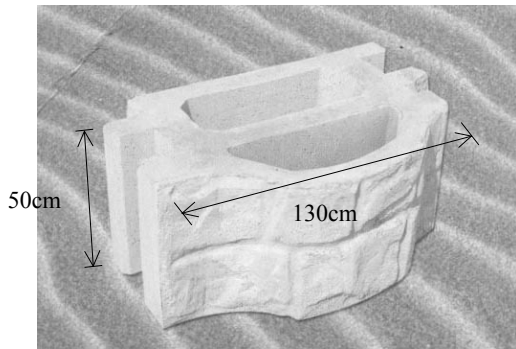
생태축조블록은 철근 콘크리트 제품으로서 길이가 130cm이고 폭은 50cm이며 두께는 70cm이다. 본 연구에서는 생태축조블록을 적용한 보강토 옹벽의 내적 안정성과 국부적 안정성에 관련한 설계방법을 정립하고 국부적 안정성에 있어서 주요 설계인자인 블록과 보강재 사이의 연결강도 및 블록 접촉면에서의 전단특성을 실험을 통해서 규명하고자 하였다.

*교신저자 : 이수형(geoxlee@krii.re.kr)

접수일 11년 04월 13일

수정일 11년 05월 11일

게재확정일 11년 06월 09일



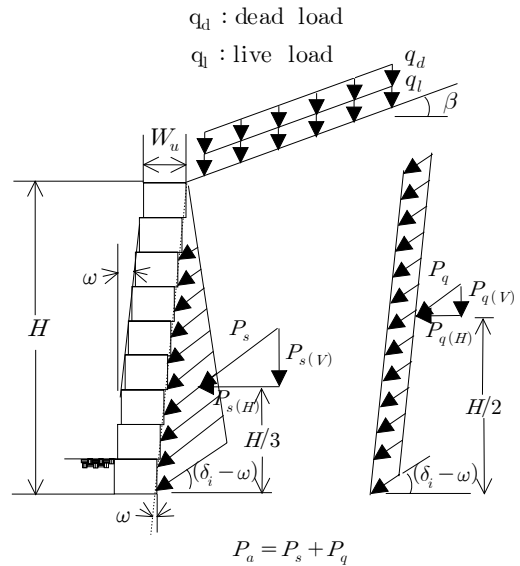
[그림 1] 생태축조블록
[Fig. 1] Eco-block

2. 설계법 개요

생태축조블록을 적용한 보강토 옹벽의 설계에 있어 주요 내용은 외적 안정성 검토, 내적 안정성 검토, 국부적 안정성 검토로 대별될 수 있다. 외적 안정성 검토에서는 강성 옹벽에 대하여 통상적으로 검토되는 활동, 전도, 지지력에 대한 검토가 이루어진다. 내적 안정성 검토에서는 보강토체를 하나의 단일체로 구성하게 하는 보강재의 안정성을 검토하는 것으로 보강재에 발생하는 인장력이 보강재의 허용 인장력보다 작음을 검토하게 되고 보강재에 작용하는 인장력에 의해 보강재의 인발이 발생하지 않도록 하는 검토가 이루어진다. 국부적 안정성 검토에서는 보강재와 블록 사이의 연결강도가 보강재에 작용하는 인장력에 비해 충분한가를 검토하게 되고 블록 접촉면 사이의 전단강도가 충분한가를 검토하게 된다.

3. 보강재에 작용하는 힘

앞서 언급한 바와 같이 생태축조블록을 이용한 보강벽체의 내적 안정성 검토와 국부적 안정성 검토에 있어 보강재에 작용하는 인장력의 계산이 필수적이다. 생태축조블록 보강토 옹벽에서 필요한 보강재의 개수를 결정하기 위해서는 먼저 생태축조블록 벽체에 작용하는 토압을 평가해야 하는데 생태축조블록 벽체에 작용하는 토압은 그림 2에 나타내었다.



[그림 2] 생태축조블록 벽체에 작용하는 토압
[Fig 2] Earth pressure distribution on eco-block wall

그림 2에서 W_u 는 생태축조블록의 폭을 나타내고 ω 는 블록의 뒤물림(set back)에 의한 블록 벽체의 경사각을 나타내며 δ_i 는 생태축조블록과 뒤채움 지반 사이의 벽마찰각을 나타낸다. δ_i 는 $2/3\phi_i$ 로 계산되는데 ϕ_i 는 뒤채움 지반의 내부마찰각을 의미한다. 또한 그림 2에서 P_a 는 전체 토압력을 나타내고 P_s 는 뒤채움 지반에 의한 토압력을 그리고 P_q 는 상재하중에 의한 토압력을 나타낸다. 토압력의 계산을 위한 토압계수는 식 (1)을 통해 계산된다.

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi_i + \omega)}{\cos^2\omega \cos(\omega - \delta_i) \left[\frac{\sin(\phi_i + \delta_i)\sin(\phi_i - \beta)}{\cos(\omega - \delta_i)\cos(\omega + \beta)} \right]^2} \quad (1)$$

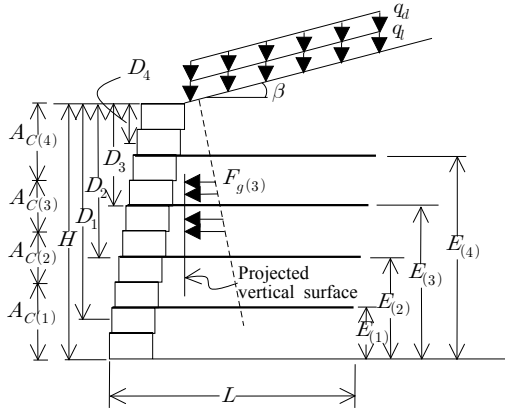
식 (1)에서의 각각의 기호는 그림 2에서 정의된 바와 같다. 그림 2에서 토압력의 수평성분 $P_{s(H)}$ 와 $P_{q(H)}$ 는 각각 식 (2) 및 식 (3)과 같이 계산된다.

$$P_{s(H)} = 0.5K_a\gamma_i H^2 \cos(\delta_i - \omega) \quad (2)$$

$$P_{q(H)} = (q_d + q_l)K_a H \cos(\delta_i - \omega) \quad (3)$$

식 (2)에서 γ_i 는 뒤채움지반의 단위중량을 의미한다. 보강재가 배치되는 최소 보강층의 개수(N_{min})는 식 (2)와 식 (3)의 합으로 계산되는 전체 토압력의 수평성분 ($P_{a(H)}$)을 보강재의 허용 인장력으로 나누어 결정할 수

있다. 보강재의 연직배치 위치와 보강층수는 생태축조블록의 높이(H_u)와 토압이 깊이에 비례한다는 점을 참조하여 결정한다. 생태축조블록 보강벽체에 있어서 보강재에 작용하는 인장력은 그림 3을 참조하여 구할 수 있다.



[그림 3] 보강재 작용력 계산을 위한 힘과 응력
[Fig 3] Force and stress distribution for calculating tensile load in tie-bar

그림 3에서 $A_{C(1)}, \dots, A_{C(4)}$ 는 각각의 보강재에 의한 기여면적을 나타내고 D_1, \dots, D_4 는 각각 기여면적의 중앙점까지의 깊이를 나타내며 E_1, \dots, E_4 는 벽체 저면으로부터 각각의 보강층까지의 높이를 나타낸다. 최하단 보강층과 중간층 (보강번호 n) 그리고 최상단 보강층 (보강번호 N)에 대한 기여면적은 각각 식 (4), (5), (6)과 같다.

$$A_{C(1)} = (E_{(2)} + E_{(1)})/2 \quad (4)$$

$$A_{C(n)} = (E_{(n+1)} + E_{(n)})/2 - (E_{(n)} + E_{(n-1)})/2 = (E_{(n+1)} - E_{(n-1)})/2 \quad (5)$$

$$A_{C(N)} = H - (E_{(N)} + E_{(N-1)})/2 \quad (6)$$

최하단 보강층과 중간 보강층 그리고 최상단 보강층에 대한 기여면적의 중앙점의 깊이는 각각 식 (7), (8), (9)와 같다.

$$D_1 = H - A_{C(1)}/2 \quad (7)$$

$$D_n = H - A_{C(1)} - A_{C(2)} - \dots - A_{C(n-1)} - A_{C(n)}/2 \quad (8)$$

$$D_N = A_{C(N)}/2 \quad (9)$$

그림 3에서 보강재에 작용하는 인장하중, $F_{g(n)}$ 은 식 (10)과 같이 계산된다.

$$F_{g(n)} = [\gamma_i D_n + q_i + q_d] K_a A_{C(n)} \cos(\delta_i - \omega) \quad (10)$$

식 (10)에서 D_n 은 보강층 번호 n 에 대한 기여면적의 중앙점까지의 깊이를 의미하고 $A_{C(n)}$ 은 보강층 번호 n 에 대한 기여면적을 의미한다.

4. 연결강도 시험 및 결과분석

생태축조블록과 보강재로 사용되는 이형철근 사이의 연결강도를 시험을 통해 규명하고자 하였는데 이형철근의 제원은 표 1에서와 같다.

[표 1] 이형철근의 제원

[Table 1] Specification of deformed bars

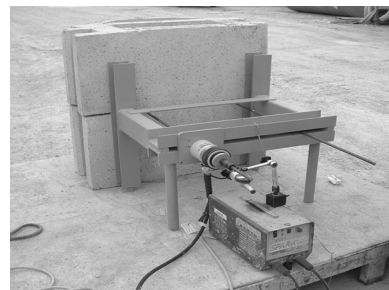
Dia. (mm)	Nominal dimension			허용인장력 (kN)
	Dia. (mm)	Area (cm ²)	Perimeter (cm)	
D 10	9.53	0.7133	3.0	11.8
D 13	12.7	1.267	4.0	20.9
D 16	15.9	1.986	5.0	32.8

보강재와 블록 사이의 연결부는 이형철근을 90° 만큼 절곡시켜 절곡길이가 20cm가 되도록 하여 정착시키며 정착부의 빈 공간은 흙 또는 콘크리트로 채워 채움재에 따른 연결강도를 시험을 통하여 확인하도록 하였다. 시험 계획을 표로 나타내면 표 2에서와 같고 시험장치는 그림 4에 나타내었다.

[표 2] 연결강도 시험계획

[Table 2] Type of connection strength test

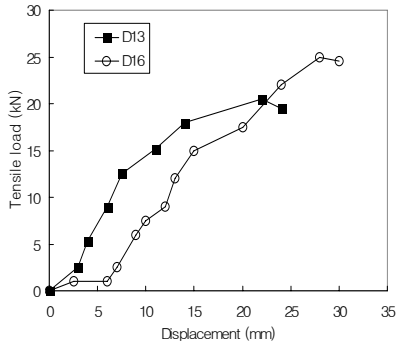
Block	Eco-block			
	Soil		Concrete	
Infill material				
Deformed bar	D13	D16	D10	D13



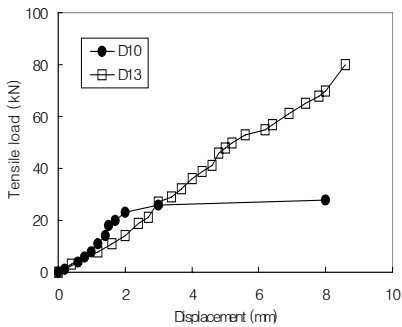
[그림 4] 연결강도 시험장치

[Fig 4] Load test apparatus for connection strength

그림 4에서 재하장치는 H형강으로 구성된 구조체로 구성되어 있으며 블록자체를 반력장치로 이용하도록 하였다. 하중은 20t 용량의 유압잭을 이용하여 가하도록 하였으며 이형강봉에 발생하는 인장력은 전기저항식 스트레인게이지를 통해 측정하고 인장변위는 전기식 다이얼 게이지를 이용하여 측정하였다. 연결강도시험을 통해 구한 인장하중-변위 관계곡선은 그림 5에 나타내었는데 그림 5(a)는 속채움재로 흙을 사용한 경우이고 그림 5(b)는 콘크리트를 사용한 경우이다.



(a) Infilled with soil



(b) Infilled with concrete

[그림 5] 연결강도 시험결과
[Fig 5] Results of connection strength test

그림 5(a)에 나타나 있는 바와 같이 생태축조블록의 내부를 흙으로 속채움하고 D13 이형철근을 사용할 경우 첨두 하중값은 이형철근의 허용인장력 정도임을 알 수 있다. 그러나 D16 이형철근을 사용할 경우 첨두하중값은 25kN 정도로서 허용인장력 32.8 kN의 76 %정도밖에 연결강도가 발현되지 않음을 알 수 있다. 또한 D13 이형철근의 경우 허용인장력에 대응하는 변위는 21 mm 정도임을 알 수 있다. 그림 5(b)에 나타난 두 개의 하중-변위곡선을 통해 볼 때 생태축조블록의 내부를 콘크리트로 속

채움하는 경우에 있어서 D10, D13 이형철근을 사용하였을 때 각각의 이형철근의 허용인장력인 11.8 kN과 20.91 kN 이상의 하중에 저항함을 알 수 있다. D13 이형철근의 경우 허용인장력에 대응하는 인장변위는 2.7 mm 정도이며 흙으로 속채움한 경우에 비해 13% 정도이다.

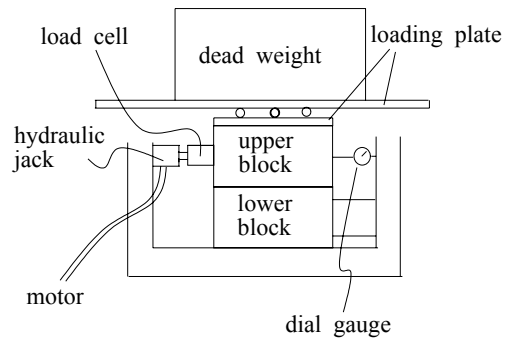
5. 블록 접촉면 전단시험 및 결과분석

생태축조블록 접촉면에 대한 전단저항력 (shear capacity, V_u)은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다 (NCMA, 2002).

$$V_u = a_u + W \tan \lambda_u \quad (11)$$

식 (11)에서 a_u 는 블록 사이의 겹보기 최소 전단저항력 (apparent minimum shear capacity)을 의미하며 W 는 블록 접촉면에 작용하는 연직하중을 의미하고 λ_u 는 블록 사이의 겹보기 마찰각 (apparent angle of friction)을 의미한다.

생태축조블록에 대하여 식 (11)에 나타난 a_u 와 λ_u 를 결정하기 위해 블록 접촉면에 대한 전단시험을 수행하였는데 시험 모식도는 그림 6에 나타내었다.



[그림 6] 접촉면 전단시험 장치
[Fig 6] Apparatus for interface shear load test

전단시험장치는 크게 반력구조체와 재하장치 및 사하중으로 구성되어 있는데 반력구조체 내부에 놓인 두개의 생태축조블록에 대해 하부블록의 수평변위를 구속하고 상부블록에 전단력이 가해지도록 하였다. 반력구조체는 H형강으로 제작하였으며 재하장치로는 전동모터에 의해 작동되는 157kN 용량의 유압잭을 사용하였는데 하중재하는 분당 약 1mm의 속도로 하였다. 유압잭의 스트로크

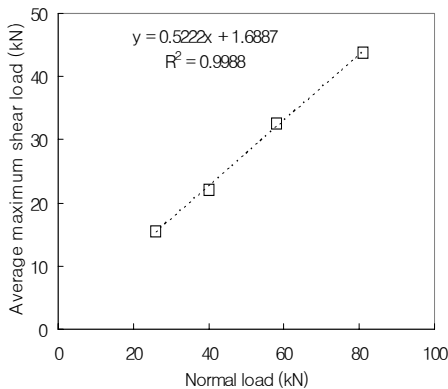
앞부분에는 98kN 용량의 하중계를 부착하여 전단하중을 측정할 수 있도록 하였고 상부블록의 전단변위는 50mm 스트로크의 다이얼 게이지를 이용하여 측정하였다. 전단 시험을 통해 구한 전단하중-변위 관계곡선에서 최대 전단하중이 뚜렷하게 나타났는데 전단시험결과를 표로 요약하여 나타내면 표 2와 같다.

[표 3] 전단시험결과

[Table 3] Results of shear load tests

Dead Weight (kN)	Max. shear load (kN)	Displ. (mm)	Average max. shear load (kN)	Average displ. (mm)	
26	1 _{st}	16.6	3.5	15.4	4.2
	2 _{nd}	15.5	3.0		
	3 _{rd}	14.1	6.0		
40	1 _{st}	21.9	4.0	22.1	4.3
	2 _{nd}	22.2	2.0		
	3 _{rd}	22.1	7.0		
58	1 _{st}	31.5	2.0	32.5	4.3
	2 _{nd}	32.8	2.0		
	3 _{rd}	33.3	9.0		
81	1 _{st}	45.2	3.5	43.8	4.3
	2 _{nd}	45.5	2.5		
	3 _{rd}	40.8	7.0		

표 3에 나타낸 전단시험결과로부터 연직하중에 따른 평균 최대 전단하중을 나타내면 그림 7과 같다.



[그림 7] 연직하중-평균 최대 전단하중 관계

[Fig 7] Relation between normal force and average maximum shear load

식 (6)에 나타낸 전단저항 매개변수(a_u , λ_u)를 그림 7을 통해 구하면 a_u 는 약 1.7kN/m, λ_u 는 27.6°이다. 콘크리트와 콘크리트 접촉면에 대한 기존의 자료(Lo 등, 1991)에 따르면 λ_u 값은 29° ~ 36° 범위 사이인데 본 시험결과값은 기존에 보고된 겔보기 마찰각의 최소값보다 약간 작음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해 유도된 결론은 다음과 같다.

- [1] 생태축조블록을 적용한 보강토 옹벽의 국부적 안정성 검토에 필수적인 보강재 인장하중 계산법을 정립하였다.
- [2] 생태축조블록과 보강재 사이의 연결강도 시험결과에 따르면 생태축조블록의 내부를 흙으로 속채움하고 D13 이형철근을 사용할 경우 침투 하중값은 이형철근의 허용인장력 정도임을 알 수 있었으며 D16 이형철근을 사용할 경우 침투하중값은 허용인장력의 76 % 정도였다. 생태축조블록의 내부를 콘크리트로 속채움하는 경우에 있어서 D10, D13 이형철근을 사용하였을 때의 연결강도는 각각의 이형철근의 허용인장력보다 크게 나타났다.
- [3] 생태축조블록의 접촉면 전단시험결과를 통해 구한 전단저항 매개변수인 a_u 는 1.7kN/m 이었고 λ_u 는 27.6° 이었는데 λ_u 값은 콘크리트와 콘크리트 접촉면에 대한 기존의 자료에 의한 값인 29° ~ 36°의 하한값보다 약간 작았다.

References

- [1] Boden, J.B., Irwin, M.J., and Pocock, R.G., "Construction of Experimental Walls at TRRL", Ground Eng., vol. 11, no. 7, pp. 28-37, 1978.
- [2] Floss, R., and Thamm, B.R., "Field Measurements of a Reinforced Earth Retaining Wall and under Static and Dynamic Loading", Int. Conf. Soil Reinforcement, Paris, vol. III, pp. 183-188, 1978.
- [3] Lo, K.Y., "The Evaluation of Stability of Existing Concrete Dams on Rock Foundations and Remedial Measures", Dix-septieme Congres des Grands Barrages, Vienne, pp. 963-972, 1991.

- [4] Hausmann, M.R., "Strength of Reinforced Soil", Proc. 8th Aust. Road Resh. Conf., Vol. 8, sept. 13, 1976.
- [5] NCMA, "Design Manual for Segmental Retaining Walls", 2nd Edition, 2002.
- [6] Ingold, T.S., "Reinforced Earth", Thomas Telford, 1982.

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학

이 수 형(Su-Hyung Lee)

[정회원]



- 1994년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 지구환경시스템공학부(공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

지반공학, 철도공학