

콘크리트 블록 접촉면의 전단특성

Shear Behavior Characteristics of Interface between Two Concrete-blocks

이 승 현¹ Lee, Seung-Hyun
김 병 일² Kim, Byoung-II

Abstract

Shear tests were carried out on interface between two concrete eco-blocks which comprise segmental retaining wall. Three interface conditions were considered : 1) direct contact of two blocks, 2) placing rubber pad between two blocks, 3) placing rubber pad and shear key between two blocks. According to shear tests, shear load-shear displacement relationship which was obtained from direct contact of two blocks was similar to elastic-perfectly plastic behavior. Ductile behavior of shear load-shear displacement relationship was observed for the interface condition of placing rubber pad. Apparent minimum shear capacities and apparent friction angles for the interface conditions of direct contact of two blocks, placing rubber pad between two blocks, placing rubber pad and shear key were 1.7 kN/m, 27.6° and 4.2 kN/m, 26.2° and 20.9 kN/m, 26.0° respectively.

요 지

분리형부재 보강토 옹벽(SRW)을 구성하는 생태축조블록 접촉면에 대한 전단시험을 수행하였다. 전단이 발생하는 두 개의 블록 사이의 접촉면조건은 두 블록을 직접 접촉시키는 경우와 블록 사이에 고무패드를 설치한 경우 그리고 블록 사이에 고무패드와 전단키를 설치한 각각 3가지 접촉면 조건을 고려하였다. 전단시험에 따르면 두개의 블록을 직접 접촉시킨 경우 전단하중-전단변위 관계가 탄성-완전소성형태와 유사하였으며 블록 사이의 접촉면에 고무패드를 설치한 경우 전단하중-전단변위 관계는 연성거동을 보였다. 블록과 블록을 직접 접촉시킨 경우와 블록과 블록 사이의 접촉면에 고무패드를 설치한 경우 그리고 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드와 전단키를 설치한 경우에 대한 최소 전단저항력과 겹보기 마찰각은 각각 1.7kN/m, 27.6°와 4.2kN/m, 26.2° 그리고 20.9kN/m, 26.0°이었다.

Keywords : Apparent friction angle, Apparent minimum shear capacity, Eco-block, Interface condition, Shear test

1. 서 론

최근 들어 분리형부재를 적용한 보강토옹벽(segmental retaining wall, SRW)의 사용이 빈번해짐에 따라 환경적 측면을 고려하여 식생이 가능한 콘크리트 블록(생태축조블록)을 보강토옹벽의 전면블록으로 사용하는 경우도 있다. 보강토옹벽이 토압에 저항하는 방식은 보강재와 흙 사이의 마찰에 의존하는 방식과 앵커 플레이트

와 같이 지압에 의존하는 방식이 있으며 Ingold(1982), ausmann (1976), Boden et. al.(1978), Floss & Thamm(1978) 등의 연구에 보강토 옹벽의 종류 및 보강재에 의한 지반강도 증가 발생기구가 자세히 언급되어 있다. 분리형부재를 사용한 보강토옹벽의 해석 및 설계는 외적안정성검토, 내적안정성검토, 국부적안정성검토로 대별할 수 있다 (NCMA, 2002). 외적안정성검토에서는 일반적인 옹벽과 같이 활동, 전도, 지지력에 대한 검토가 필요하며

1 정희원, 선문대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Eng., SunMoon Univ.)

2 정희원, 명지대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., MyongJi Univ., bikim@mju.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 12월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

내적안정성검토에서는 보강재의 인발 및 인장파단에 대한 검토가 필요하다. 또한, 국부적안정성검토에서는 보강재와 전면블록간의 연결부 파괴에 대한 검토와 전면블록 접촉면 사이의 전단활동에 따른 벌징(bulging)에 대한 검토가 필요하다. 벌징현상은 소위 분리형부재 옹벽의 배부름 현상을 야기시키는 현상으로 이의 방지를 위해서는 전면블록의 전단특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 전면블록으로 사용되는 생태축조블록에 대하여 블록과 블록을 직접 접촉시키는 경우와 블록과 블록 사이에 접촉재료를 설치한 경우에 대한 전단시험을 실시하여 생태축조블록의 접촉면에 대한 전단강도를 비롯한 전단특성을 고찰하였다.

2. 전단시험 계획 및 방법

2.1 생태축조블록 및 시험계획

시험대상이 되는 생태축조블록은 콘크리트 제품으로서 재령 28일 압축강도는 22,800kPa이며 그 형상은 사진 1과 같다. 그림 1에는 평면도가 나타나 있는데 블록의 전체 길이는 1300mm이고 폭은 700mm이며 높이는 500mm이다.

사진 1 및 그림 1에서 보는 것처럼 볼록한 앞부분에 인접한 빈 공간에는 흙을 채우고 식재를 하여 환경친화적인 기능을 할 수 있기 때문에 이 블록의 이름을 생태축조블록이라 한다. 생태축조블록에 대한 전단시험은 블록과 블록 사이를 그대로 접촉시키는 경우와 블록과 블록 사이에 고무제품의 패드를 설치하는 경우 그리고 전단특성 향상을 위해서 고무패드 및 전단키(shear key)를 설치한 경우로 분류하여 실시하였다. 그림 1에는 블록간 접촉면에 놓여지는 고무패드의 위치 및 전단키의 설치를 위한 홈이 나타나 있으며 사진 2는 블록 접촉면에 고무패드와 전단키가 설치된 모습을 보여주고 있다.

실험에 사용된 고무패드의 폭은 40mm, 두께는 4mm이며, 또한 인장강도는 82.3N/cm², 신장률은 75%이다. 전단키는 아크릴 재질로서 길이는 100mm이고 폭은 50mm이며 두께는 20mm이다. 전단키 설치를 위한 홈의 폭은 22mm이다. 블록에 가해지는 연직하중으로는 사하중을 이용하도록 하였는데 시험에 적용한 사하중의 크기는 26kN, 40kN, 58kN, 81kN이며, 각각의 연직하중에 대해 전단시험을 세 번씩 수행하였다.

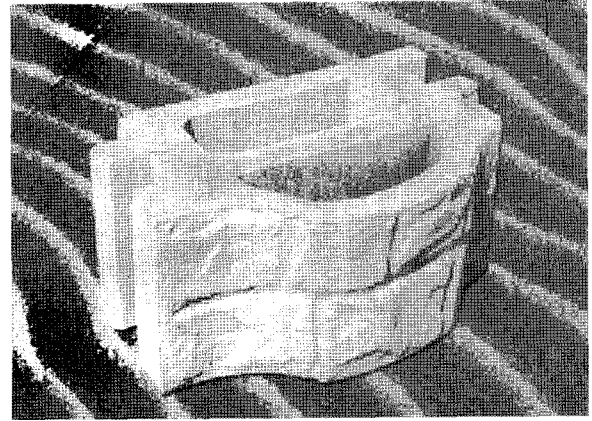


사진 1. 생태축조블록그림

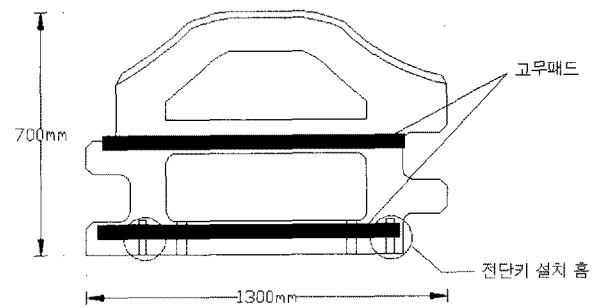


그림 1. 생태축조블록의 평면도

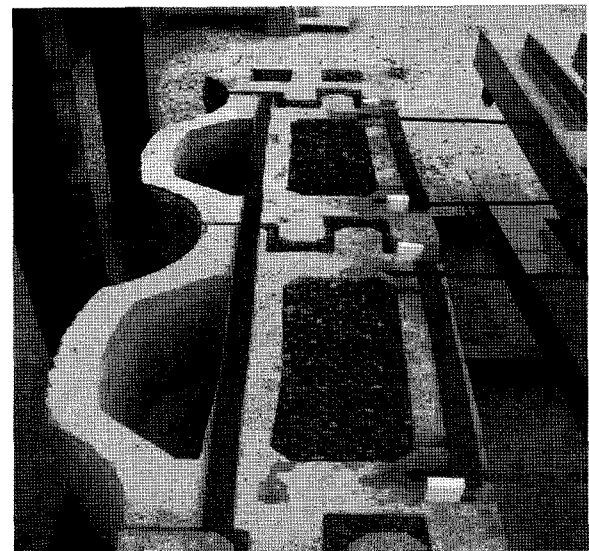


사진 2. 고무패드와 전단키

2.2 시험방법

전단시험장치의 모식도는 그림 2와 같고 전단시험과정은 사진 3과 같다.

전단시험장치는 크게 반력구조체와 재하장치 및 사하중으로 구성되어 있는데 반력구조체 내부에 놓인 두 개의 생태축조블록에 대해 하부블록의 수평변위를 구

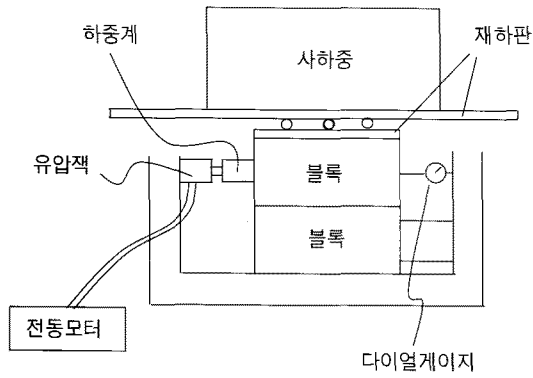


그림 2. 시험 모식도

속하고 상부블록에 전단력이 가해지도록 하였다. 반력 구조체는 H형강으로 제작하였으며, 전동모터에 의해 작동되는 157kN 용량의 유압잭을 이용하여 분당 약 1mm의 속도로 하중을 재하하였다. 유압잭의 스트로크 앞부분에는 98kN 용량의 하중계를 부착하여 전단하중을 측정할 수 있도록 하였고, 상부블록의 전단변위는 50mm 스트로크의 다이얼 게이지를 이용하여 측정하였다. 생채축조블록에 가해지는 연직하중은 사진 3에 나타나 있는 바와 같이 다수의 블록중량을 사하중으로 이용하였다. 그림 2의 시험 모식도에 나타나 있는 바와 같이 상부블록 위에 있는 두 개의 재하판 사이에는 세 개의 강봉을 설치하여 전단시에 상부블록 윗면의 전단저항이 발휘되지 못하도록 하였다. 또한 상부블록 윗면의 재하판 아래에는 고무판을 설치하여 사하중이 균등하게 블록에 작용하도록 하였다.

3. 실험결과 및 분석

생채축조블록의 전단특성을 살펴보고자 블록과 블록이 직접 접하는 경우와 블록과 블록 사이에 고무패드를 설치하는 경우 그리고 블록과 블록 사이에 고무패드와 전단키를 설치하는 경우에 대한 전단시험을 각각 수행하여 그 결과를 분석하였다.

3.1 블록과 블록이 직접 접하는 경우

블록과 블록이 직접 접하는 경우에 대한 전단시험 결과는 표 1과 그림 3과 같다.

그림 3에서 하중-변위량곡선은 탄성-완전소성 형태와 유사한 경향을 나타내고 있다. 전체적으로 최대 전단

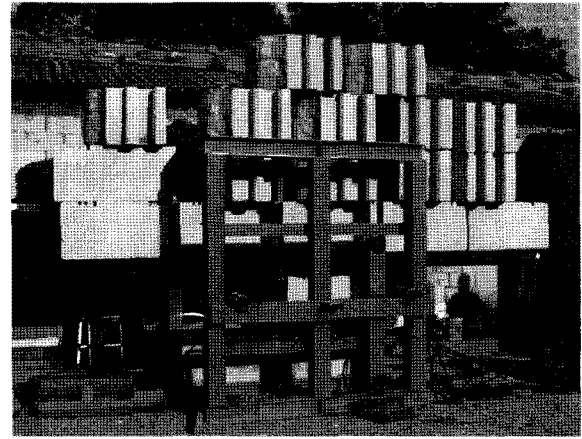


사진 3. 전단시험과정

표 1. 블록과 블록이 직접 접하는 경우의 전단시험결과

연직하중 (kN)	최대 전단하중 (kN)	전단변위 (mm)	평균 최대 전단하중 (kN)	평균 전단변위 (mm)
26	1차	16.6	15.4	4.2
	2차	15.5		
	3차	14.1		
40	1차	21.9	22.1	4.3
	2차	22.2		
	3차	22.1		
58	1차	31.5	32.5	4.3
	2차	32.8		
	3차	33.3		
81	1차	45.2	43.8	4.3
	2차	45.5		
	3차	40.8		

저항력에 대응하는 평균전단변위는 4.2mm~4.3mm로 대체로 유사한 것으로 나타났다. 표 1에 나타난 연직하중에 따른 평균 최대전단하중의 관계는 그림 4와 같다.

분리형 부재의 접촉면에 대한 전단저항력(shear capacity, V_u)은 다음과 같이 나타낼 수 있다(NCMA, 2002).

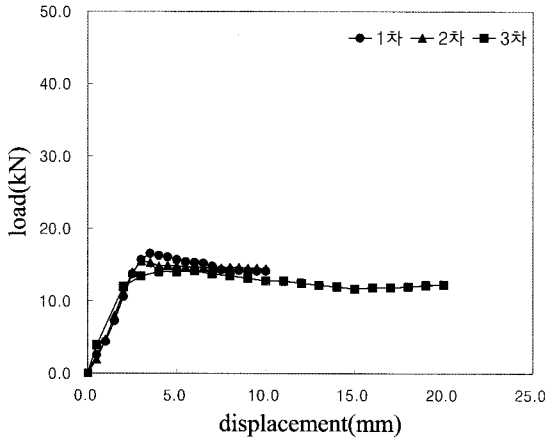
$$V_u = a_u + W \tan \lambda_u \quad (1)$$

a_u : 블록 사이의 겉보기 최소 전단저항력(apparent minimum shear capacity)

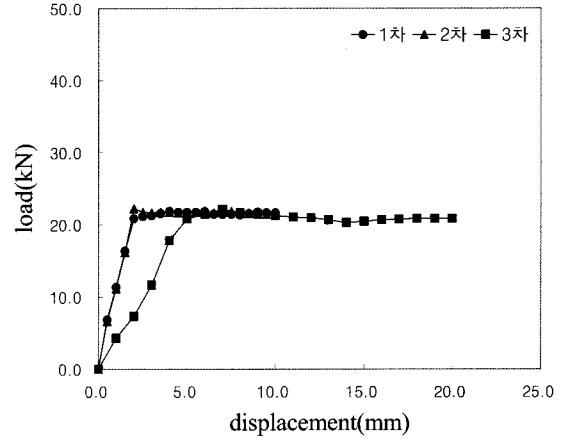
W : 블록 접촉면에 작용하는 연직하중

λ_u : 블록 사이의 겉보기 마찰각(apparent angle of friction)

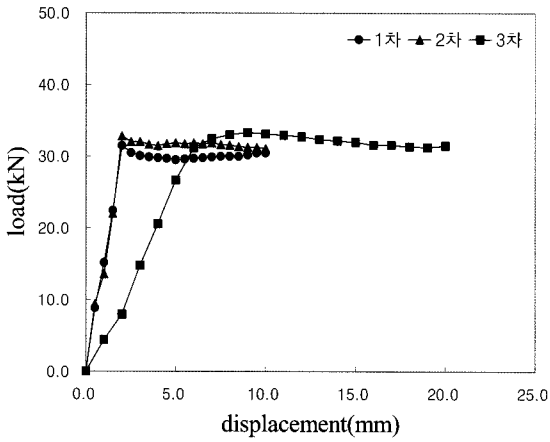
식 (1)에 나타난 전단저항 매개변수(a_u , λ_u)를 그림 4를 통해 구하면 a_u 는 약 1.7kN/m, λ_u 는 27.6°이다. 콘크리트와 콘크리트 접촉면에 대한 기존의 자료(Lo 등,



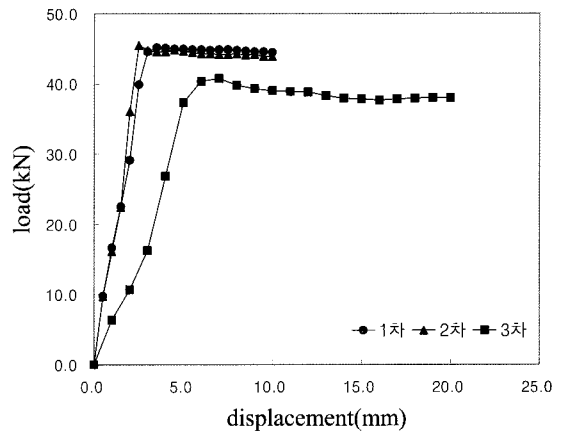
(a) 연속하중=26kN



(b) 연속하중=40kN



(c) 연속하중=58kN



(d) 연속하중=81kN

그림 3. 블록과 블록이 직접 접하는 경우에 대한 전단시험결과

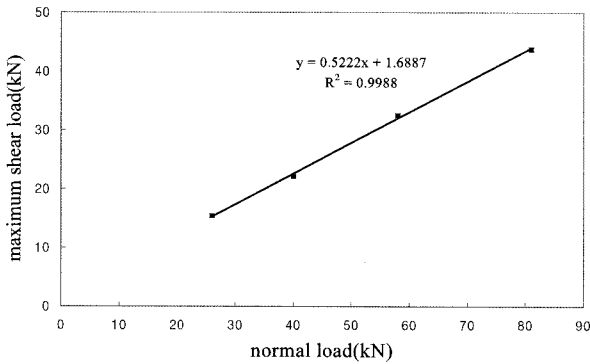


그림 4. 연속하중-최대 전단하중 관계(블록-블록)

1991)에 따르면 λ_v 값은 $29^\circ \sim 36^\circ$ 범위 사이인데 본 시험결과값은 기존에 보고된 겉보기 마찰각의 최소값보다 약간 작음을 알 수 있다.

3.2 블록 접촉면 사이에 고무패드를 둔 경우

블록 접촉면 사이에 고무패드를 둔 경우에 대한 전단 시험결과는 표 2 및 그림 5와 같다.

표 2. 블록 접촉면 사이에 고무패드를 둔 경우의 전단시험결과

연직하중 (kN)	최대 전단하중 (kN)	전단변위 (mm)	평균 최대 전단하중 (kN)	평균 전단변위 (mm)
26	1차	14.3	14.6	8.5
	2차	13.9		
	3차	15.5		
40	1차	25.6	25.7	16.2
	2차	26.3		
	3차	25.2		
58	1차	35.0	35.3	16.7
	2차	36.4		
	3차	34.7		
81	1차	43.1	42.1	14.8
	2차	41.1		
	3차	42.2		

표 2와 그림 5에서 보는 바와 같이 최대 전단하중에 대응하는 평균 전단변위량값이 블록 패드-블록 접촉면 일 경우가 블록-블록 접촉면일 경우보다 크게 측정된 이유는 전단특성에 고무패드의 연성이 지배적으로 작용

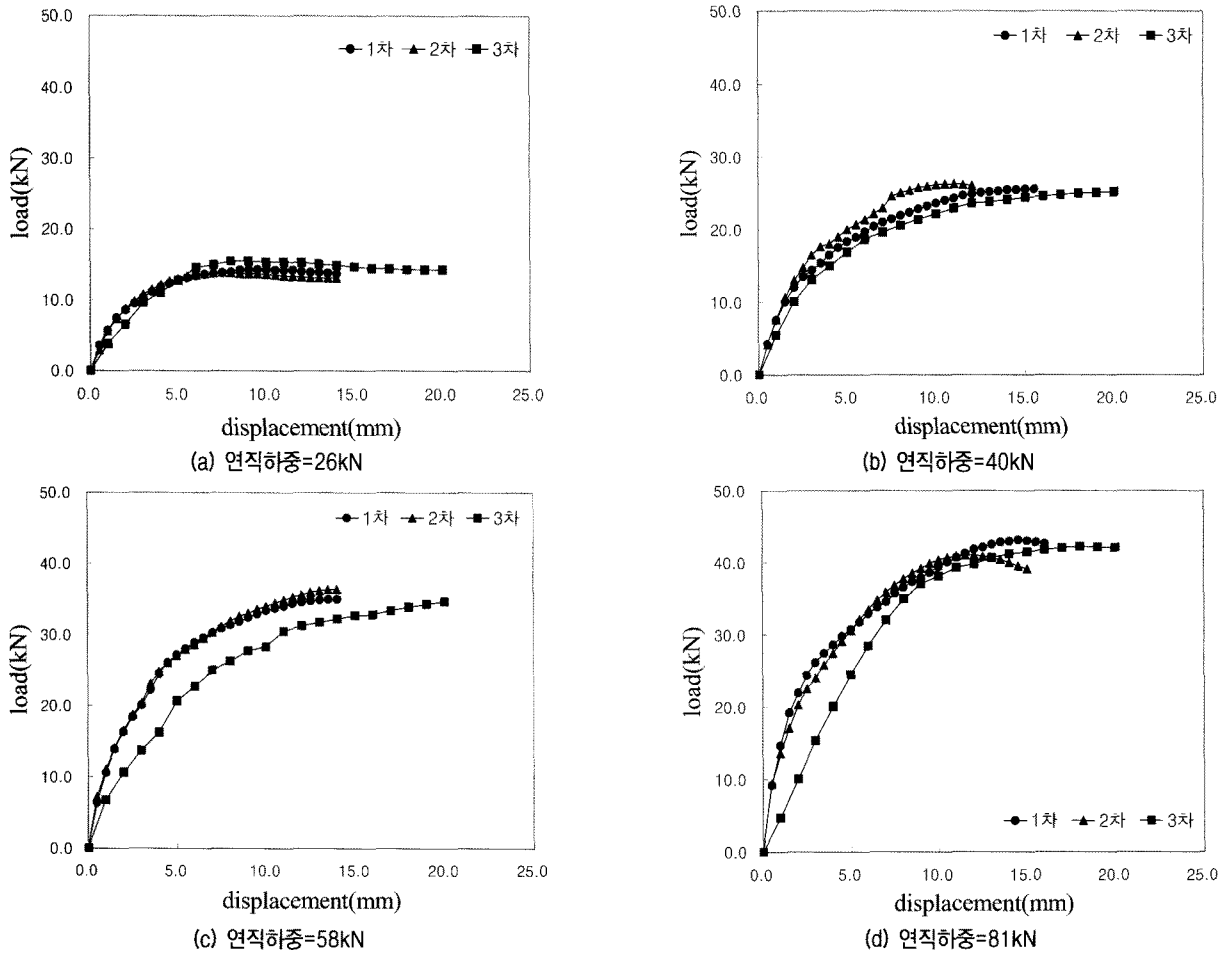


그림 5. 블록-패드-블록 접촉면에 대한 전단시험결과

했기 때문에 판단되며 이러한 경향을 반영하여 그림 5에 나타난 전단하중-변위량 관계곡선 또한 그림 3의 결과와 비교할 때 연성거동(ductile behavior)을 보이는 것으로 판단된다. 그림 5의 하중-변위량곡선에서 3차 시험결과 중 전단변위에 따라 전단하중이 지속적으로 증가하는 경우의 최대 전단하중은 시험에서 고려한 최대 전단변위 20mm에 대응하는 하중으로 하였는데 이는 미국 석조협회(NCMA)에서 규정하고 있는 전면블록의 사용성에 따른 전단변위 기준량이다. 각각의 연직하중에 대하여 표 1과 표 2에 나타난 평균 최대전단하중값은 블록-패드-블록 접촉면에 대한 값이 블록-블록 접촉면에 대한 값에 비해서 연직하중이 26kN일 경우 0.95배, 40kN일 경우 1.16배, 58kN일 경우 1.09배, 81kN일 경우 0.96배로 나타났다. 각각의 연직하중에 대해 최대 전단하중에 대응하는 평균 전단변위량값은 블록-패드-블록 접촉면에 대한 값이 블록-블록 접촉면에 대한 값에 비해서 연직하중이 26kN일 경우 2.02배, 40kN일 경우 3.77배, 58kN일 경우 3.88배, 81kN일 경우 3.44배로 각각 나

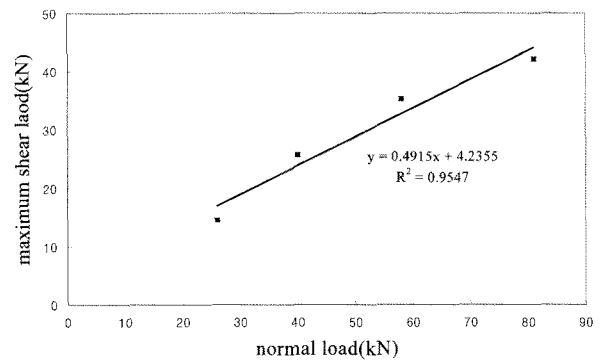


그림 6. 연직하중-최대 전단하중 관계(블록-패드-블록)

타났다. 표 2에 나타나 있는 연직하중에 따른 평균 최대 전단하중의 관계는 그림 6과 같다.

그림 6으로부터 전단강도 매개변수를 구하면 a_v 는 약 4.2kN/m이며 λ_v 는 26.2°이다. 이들 값을 블록-블록 접촉면에 대한 전단강도 매개변수와 비교하여 보면 블록 사이의 겹보기 최소전단저항력은 증가했지만 겹보기 마찰각은 감소했음을 알 수 있다. 블록-블록 접촉면과 블록-패드-블록 접촉면에 대한 전단저항력이 같을 경우

접촉면에 작용하는 연직하중을 계산하면 81.4kN으로 계산되는데 이로부터 전단저항력 만을 고려하면 연직하중이 약 80kN이하일 경우에는 블록 사이에 고무패드를 설치하는 경우가 블록과 블록을 직접 접촉시키는 경우에 비해 약간 더 큰 전단저항력을 발휘한다고 볼 수 있다. 그러나 표 1 및 표 2를 통해 알 수 있듯이 최대 전단저항력이 발휘되는 평균 전단변위의 값은 블록-패드-블록 접촉면에 대한 값이 블록-블록 접촉면에 대한 값보다 현저히 크므로 이러한 전단변위를 제한한다는 측면과 블록사이의 배수효과를 고려하여 볼 때 블록과 블록을 직접 접촉시키는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.3 블록 접촉면 사이에 고무패드와 키를 둔 경우

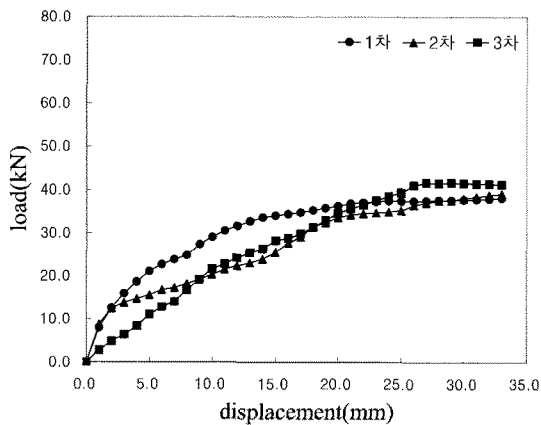
블록 접촉면 사이에 고무패드와 키를 둔 경우의 전단 시험결과는 표 3과 그림 7과 같다.

그림 7에서 네 가지 연직하중 각각에 따른 하중-변위 량곡선의 형상에 차이가 크음을 알 수 있는데 이는 전단키

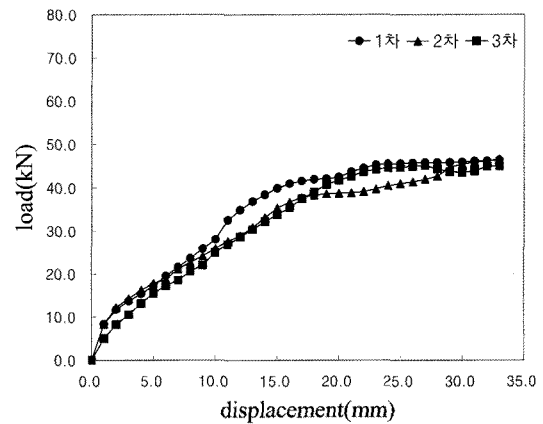
의 변위 또는 변형양상이 서로 다름에 기인한 결과로 생각된다. 즉, 전단키가 블록의 홈에 완전히 밀착되어 설치되지 않았기 때문에 전단변위에 따라 접촉면 사이에 설치된 전단키의 수평이동 및 회전양상이 다르기 때문에 나온 결과로 생각된다. 전단시험시 전단변위는 최

표 3. 블록 접촉면 사이에 고무패드와 키를 둔 경우의 전단시험결과

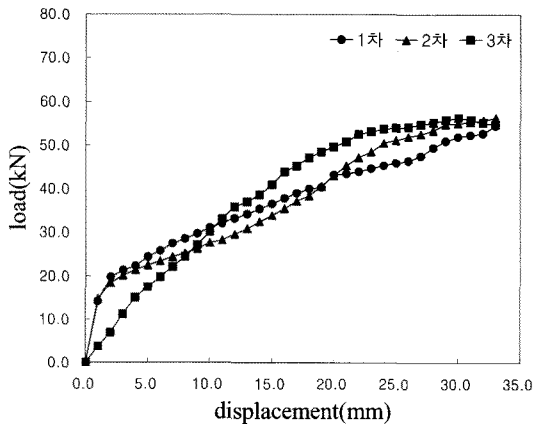
연직하중(kN)	최대 전단하중(kN)	전단변위(mm)	평균 최대 전단하중(kN)
26	1차	36.3	34.8
	2차	33.6	
	3차	34.6	
40	1차	42.4	40.9
	2차	38.7	
	3차	41.7	
58	1차	43.2	45.3
	2차	43.1	
	3차	49.7	
81	1차	65.5	62.5
	2차	64.7	
	3차	57.3	



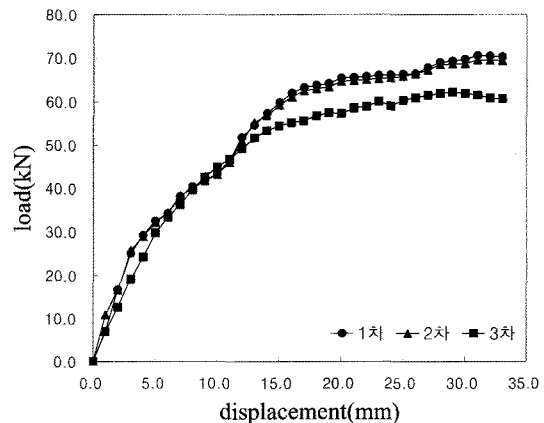
(a) 연직하중=26kN



(b) 연직하중=40kN



(c) 연직하중=58kN



(d) 연직하중=81kN

그림 7. 블록-패드&키-블록 접촉면에 대한 전단시험결과

대 33mm까지 수행하였는데 대체적으로 시험에서 고려한 최대 전단변위까지 전단하중이 지속적으로 증가하는 양상을 보이는데 이는 전단키가 유효하게 전단에 저항하게 되는 이후 전단하중의 증가에 따라 전단키의 변형이 수반되어 나타난 결과로 판단되며, 시험 후 전단키의 변형을 확인할 수 있었다. 그림 7에 나타난 바와 같이 전단하중과 전단변위 곡선에 있어서 뚜렷한 최대값이 나타나지 않는 경우가 많으므로 표 3에 나타난 최대 전단하중의 결정시 미국 석조협회(NCMA)에서 규정하고 있는 전면블록의 사용성에 따른 전단변위 기준량인 20mm를 적용하여 전단변위 20mm에 대응하는 전단하중을 최대 전단하중으로 보았다. 연직하중에 대한 평균 최대 전단하중의 관계는 그림 8과 같다.

그림 8에서 전단강도 매개변수를 구하면 a_u 는 20.9kN/m이며 λ_u 는 26.0°이다. 본 실험연구에서 고려한 세 종류의 전단시험을 통해 구한 전단강도 매개변수를 표로 나타내면 표 4와 같다.

표 4에서 블록사이의 접촉면에 고무패드와 전단키를 설치한 경우 겉보기 최소 전단저항력(a_u)은 20.9kN/m로서 두 개의 블록을 직접 접촉시킨 경우에 비해 약 12배 큰 값을 나타내고 블록과 블록 사이에 고무패드를 설치한 경우에 비해 약 5배 큰 값을 보인다. 그리고 표 4를 통해 볼 때 블록 사이의 접촉면에 고무패드와 전단키를 설치한 경우 겉보기 마찰각(λ_u)은 두 개의 블록을 직접 접촉시킨 경우에 비해 약 99%, 블록과 블록 사이에 고무패드를 설치한 경우에 비해 약 94% 정도의 값을 보인다.

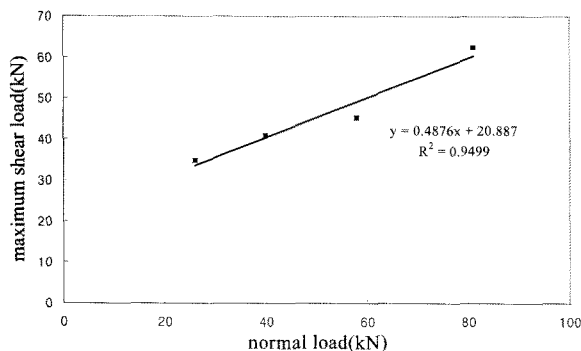


그림 8. 연직하중-최대 전단하중 관계(블록-패드&키-블록)

표 4. 접촉면의 종류에 따른 전단강도 매개변수

접촉면 구분	a_u (kN/m)	λ_u (°)
블록-블록	1.7	27.6
블록-패드-블록	4.2	26.2
블록-패드,키-블록	20.9	26.0

4. 결론

분리형부재를 사용하는 보강토옹벽을 구성하는 생태 축조블록의 전단특성을 알아보고자 블록과 블록을 직접 접촉시키는 경우와 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드를 설치한 경우 그리고 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드와 전단키를 설치한 경우에 대해 각각 전단시험을 실시하였다. 블록과 블록을 직접 접촉시킨 경우에 대한 전단하중-전단변위 관계곡선은 탄성-완전소성형태와 유사한 양상을 보였으며 다른 두 접촉면 조건에 비해 최대 전단하중이 발현되는 전단변위가 작았다. 또한 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드를 설치한 경우의 전단하중-전단변위 관계곡선은 블록과 블록을 직접 접촉시킨 경우에 비해 연성거동을 보이며 최대전단하중이 발현되는 전단변위는 2-4배 정도 크게 나타나 두 경우에 있어 최대 전단저항력값에 큰 차이가 없다는 점과 블록 접촉면 사이의 배수효과를 감안하여 볼 때 블록과 블록 사이를 접촉시키는 편이 유리할 것으로 판단된다. 그리고 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드와 전단키를 설치한 경우에는 대체로 시험에 적용한 최대 전단변위 33mm까지 전단하중이 지속적으로 증가하는 양상을 나타내었으며 설계시 충분한 블록 사이의 전단저항이 필요한 경우에는 전단키를 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단다. 블록과 블록을 직접 접촉시킨 경우와 블록과 블록 사이의 접촉면에 고무패드를 설치한 경우 그리고 블록과 블록 접촉면 사이에 고무패드와 전단키를 설치한 경우에 대한 겉보기 최소 전단저항력과 겉보기 마찰각은 각각 1.7kN/m, 27.6°와 4.2kN/m, 26.2° 그리고 20.9kN/m, 26.0°인 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Boden, J.B., Irwin, M.J., and Pocock, R.G. (1978), "Construction of Experimental Walls at TRRL", *Ground Eng.*, vol.11, No.7, pp.28-37.
2. Floss, R., and Thamm, B.R. (1978), "Field Measurements of a Reinforced Earth Retaining Wall and under Static and Dynamic Loading", *Int. Conf. Soil Reinforcement, Paris*, vol.III, pp.183-188.
3. Hausmann, M.R. (1976), Strength of Reinforced Soil, *Proc. 8th Aust. Road Resh. Conf.*, Vol.8, Sept.13.
4. Ingold, T.S. (1982), *Reinforced Earth*, Thomas Telford.
5. LO, K.Y. (1991), "The Evaluation of Stability of Existing Concrete Dams on Rock Foundations and Remedial Measures", *Dix-septieme Congres des Grands Barrages, Vienne*, pp.963-972.
6. NCMA (2002), *Design Manual for Segmental Retaining Walls*, 2nd Edition.

(접수일자 2008. 1. 2, 심사완료일 2008. 6. 4)