

## 보강토 옹벽 전면블록의 연결강도 및 마찰특성 평가

### Assessment of Connection Strength and Frictional Characteristic for The Segmental Retaining Wall Unit

김진만<sup>1)</sup>, Jin-Man Kim, 조삼덕<sup>2)</sup>, Sam-Deok Cho, 오세용<sup>3)</sup>, Se-Yong Oh, 이대영<sup>4)</sup>, Dae-Young Lee

1) 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Eng. Dept., KICT

2) 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Eng. Dept., KICT

3) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Eng. Dept., KICT

4) 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Eng. Dept., KICT

**개요(SYNOPSIS) :** The use of geogrid for SRW systems and bridge abutment has increased rapidly over the past 10 years in Korea. The concept of segmental retaining walls and reinforced soil is very old and for example The Ziggurats of Babylonia(i.e. Tower of Babel) were built some 2,500 to 3,000 years ago using soil reinforcing methods very similar to those described in current design. Modern SRW(Segmental Retaining Wall) units were introduced in 1960's as concrete crib retaining wall systems. In this paper, the friction properties between segmental concrete units and geogrid are investigated by performing various tests.

**주요어(Key words) :** Segmental retaining wall, Geogrid, Connection strength, Block

## 1. 서 론

역사적으로 살펴보면, 고대 바벨로니아에서는 기원전 2,500~3,000년 경에 현재의 보강토 공법 개념과 유사한 방법을 사용하여 탑을 구축하였다(Jones, 1985 ; Mitchell, 1987). 또한, 블록형 전면블록은 1960년대 경에 미국에서 콘크리트 크립(crib) 옹벽 시스템으로 소개되어 사용되어 왔으며, 1984년에 이르러서야 그 활용이 보편화되었다. 북미에서는 1986년 이래 기존 옹벽과 블록형 보강토 옹벽이 1996년까지 100,000회 이상 시공되었으며, 이 중 블록형 보강토 옹벽은 전체 공사의 25%를 차지하였다.

보강토 옹벽의 설계는 외적안정의 경우, 토목섬유 보강토체의 활동, 전도, 지지력 파괴 등을 검토하고 내적안정의 경우, 보강재 파단 및 인발 저항에 따른 보강재의 간격, 길이 등을, 국부 안정의 경우 배부름 및 최대 비보강 높이 등 전면블록의 안정성을 평가한다. 이 때 블록형 보강토 옹벽의 배부름(Bulging)은 임의의 블록 높이에서 그 블록의 상단 및 하단 블록이 설계상의 상대적인 위치를 확보하지 못하는 현상이다. 이러한 전면벽체의 전단저항은 작용토압, 보강재의 연결강도 및 수직간격, 전면블록의 전단 저항력 등에 영향을 받는다.

보강토 옹벽의 안정적인 설계 및 시공을 위해서는 보강토 전면벽블록과 보강재와의 연결강도 및 블록/블록의 마찰특성이 중요한 요소임을 알수 있다. 그러나 보강토 옹벽 전면블록의 마찰특성에 대한 연구가 미진한 실정이다. 따라서 논문에서는 현재 사용중인 보강토 옹벽 전면블록의 연결강도 및 마찰강도 평가 시험을 통해 전면블록과 지오그리드 사이의 마찰특성을 평가하였다.

## 2. 실내시험

### 2.1 전면블록의 연결강도 및 마찰강도 시험방법

보강토 옹벽의 전면벽체의 안정성 평가는 앞서 언급되었듯이 전면벽체 배면의 수평토압에 대한 블록/지오그리드 사이의 연결강도 및 블록/블록 사이의 마찰저항에 의한 전면벽체의 저항력을 검토하는 것이다. NCMA의 연결강도 및 마찰강도 평가 시험법은 최종적으로 그림 1과 같은 결과를 제시한다. 그림 1에서 보듯이 블록/지오그리드 사이의 연결강도 및 블록/블록 사이의 마찰저항은 초기의 경우 수직하중에 따라 인발력이 증가되다가, 일정한 하중단계 이후 일정한 값에 수렴하는 관계 특성을 보여준다. 따라서 연결강도 및 마찰강도의 평가는 그림 1에서 언급된 연결강도 설계정수 및 마찰강도 설계 정수 등을 구하는 과정이다.

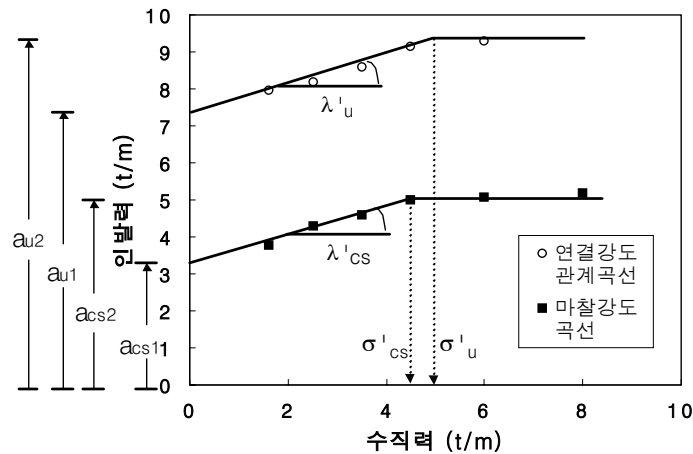


그림 1. 연결강도 및 마찰강도 평가 곡선

## 2.2 실험재료

### 2.2.1 실험에 사용된 블록의 형태

본 실험에 사용된 블록의 형태는 그림 2에서와 같이 전단키형, 핀형, 시멘트 모르타르형의 3가지 블록을 사용하였다.



(a) 전단키형



(b) 핀형



(c) 시멘트 모르타르형

그림 2. 실험에 사용된 블록의 형태

### 2.2.2 흙 시료

본 연구에 사용된 시료는 보강토 옹벽의 배수재로 널리 쓰이고 있는 화강암을 파쇄한 쇄석으로, 통일분류법에 의한 흙 분류에 의하면 입경이 균등한 자갈로 판명되었다. 그림 3에서는 시험 대상 시료의 입도분포곡선을 보여준다.

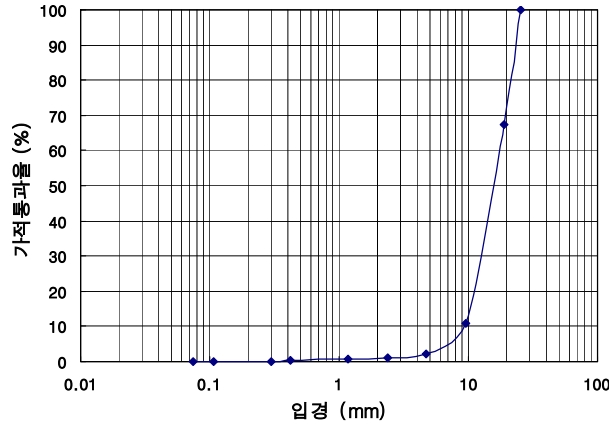


그림 3. 시험 대상 시료의 입도분포곡선

### 2.2.2 지오그리드 시료

본 연구에 사용된 지오그리드 시료는 국내에서 제조한 우븐(Woven)형 지오그리드 3종(시료명 ; A-1, A-2, A-3) 및 경편(Warp knitted)형 지오그리드 1종(시료명 ; B)으로, 동일한 조건하에서 시험을 수행하고 그 결과를 비교분석하였다. 실험에 사용된 그리드의 일반 특성과 물리적 특성은 각각 표 1과 같으며, 지오그리드의 전형적인 형상 및 지오그리드 외관규격은 그림 4와 같다.

표 1. 실험에 사용된 지오그리드의 일반 특성

항 목	내 용	우븐형			경편형
		6T W(A-1)	8T W(A-2)	10T W(A-3)	15T K(B)
보강사	재질	폴리에스테르(Polyester) 고강력 원사			
	용융온도(℃)	258			
	연화온도(℃)	250			
	그리드조직	결합형(우븐형)			결합형(경편형)
코팅재	코팅량 (중량비, %)	55 ~ 65			50 ~ 60
	재질	PVC			
	용융온도(℃)	150			
	연화온도(℃)	75			

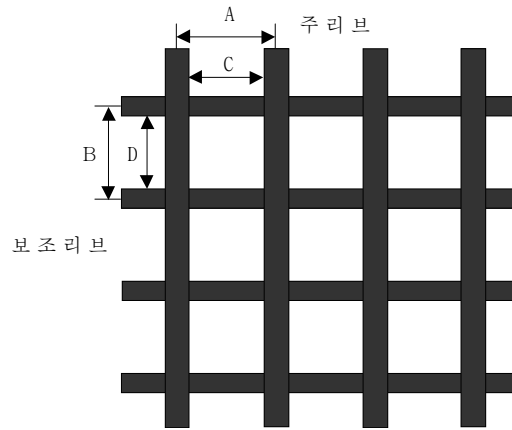


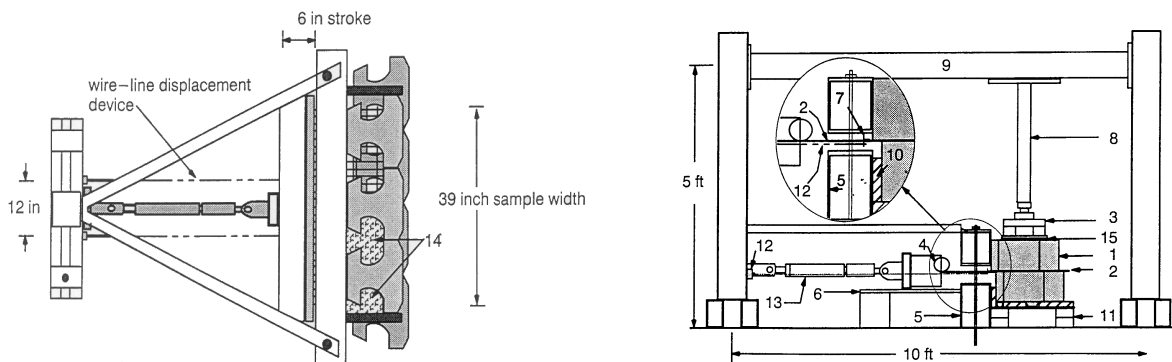
그림 4. 실험에 사용된 지오그리드

### 2.2.3 평가 시험장비 및 실험내용

본 연구에 사용된 연결강도 및 마찰시험 장비의 개략도는 그림 5 및 6과 같다. 그림 5 및 그림 6에서 보듯이 블록, 쇠석, 지오그리드 등이 포설되는 토조, 인발 및 전단장치, 클램프 장치 등으로 구분된다. 또한, 연결강도 시험시 인장방향의 전면벽에는 간격 2.0cm 정도의 슬리트(slit)가 있어 지오그리드가 자유롭게 인발될 수 있도록 되어 있다. 토조의 상부에는 재하판을 설치하여 모터에 의해 토조내에 균등한 수직하중을 가압할 수 있도록 하였다. 이 때 인발 및 전단장치는 유도 전동기, 체인 커플링(chain coupling), 워엄 감속기(worm reducer), 스크류 잭, 워엄 기어 및 하중계 등으로 구성되어 있어, 토조내 지오그리드를 일정한 속도로 인발하거나 블록을 전단하고, 인발 및 전단시 인발 및 전단력을 측정할 수 있도록 되어 있다.

본 실험에 사용된 실험방법은 NCMA에서 권장하고 있는 연결강도 평가 시험법(SRWU-1) 및 전면블록의 마찰강도 평가 시험법(SRWU-2)을 이용하였다(NCMA, 1997).

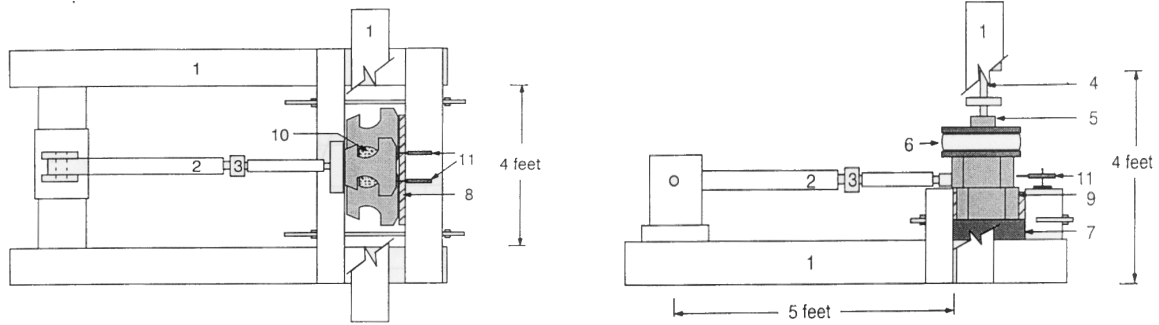
본 논문에서는 블록의 종류, 그리드 종류, 인발 속도, 인발의 편심 정도를 변화시켜 다양한 형태의 연결강도 및 마찰강도시험을 수행하여 블록과 그리드 사이의 연결강도 및 마찰강도를 평가하고자 하였다. 표 2에서는 블록과 지오그리드 사이의 연결강도 및 마찰강도 특성을 평가하기 위해 수행한 평가 시험의 종류와 내용을 보여 준다.



(a) 크래프 평면도

(b) 측면도

그림 5. 전면블록 연결강도시험 장비의 개략도



(a) 평면도

(b) 측면도

그림 6. 전면블록 마찰강도시험 장비의 개략도

표 2. 수행한 평가시험의 종류 및 내용

평가항목	변화인자	변화값	기타 실험조건
연결강도	블록 형상	전단키형, 편형, 모르타르 처리형	◦ 수직 하중 : 1.2, 2.4, 3.6, 4.8, 6.0, 8.0 kg/cm <sup>2</sup>
			◦ 인장 속도 : 50 mm/min
	인장 속도	10, 20, 30, 40, 60 mm/min	◦ 지오그리드 시료 폭 : 0.8 m
			◦ 지오그리드 시료 톤수 : 6, 8, 10, 15 t
	편심 인장	11mm, 16mm, 21mm	◦ 수직 하중 : 0.9, 1.5 kg/cm <sup>2</sup>
			◦ 인장 속도 : 50 mm/min
마찰강도	블록 형상	전단키형, 편형, 모르타르 처리형	◦ 지오그리드 시료 폭 : 0.8 m
			◦ 수직 하중 : 0.9 kg/cm <sup>2</sup>
	전단 속도	2, 3, 5, 7, 10 mm/min	◦ 인장 속도 : 50 mm/min
			◦ 지오그리드 시료 폭 : 0.8 m
			◦ 지오그리드 시료 톤수 : 10 t
			◦ 수직 하중 : 1.2, 2.4, 3.6, 4.8, 6.0 kg/cm <sup>2</sup>
			◦ 인장 속도 : 2 mm/min
			◦ 수직 하중 : 0.9 t/m <sup>2</sup>
			◦ 블록 형상 : 전단키형

### 3. 시험결과 및 분석

#### 3.1 연결강도시험 결과

##### 3.1.1 블록 형상의 영향

그림 7에서는 전단키형 블록의 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선을 보여준다. 그림 7에서 보듯이 블록/보강재 사이의 연결강도는 앞서 언급된 그림 1과 같이 초기의 경우 수직하중에 따라 인발력이 증가되다가, 일정한 하중단계 이후 일정한 값에 수렴하는 관계 특성을 나타내었다. 전단키형 블록의 경우, 보강재 종류(톤수) 별 연결강도는 지오그리드의 설계톤수가 증가할수록 연결강도가 증가하는 형태를 나타내었다. 이러한 경향은 지오그리드 설계 톤수가 높아질수록 지오그리드의 두께 및 인장저항력이 증가함으로써 발생된 것으로 사료된다.

한편, 그림 8에서는 편형 블록의 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선을 보여준다. 그림 8에서 보듯이 블록/보강재 사이의 연결강도는 앞서 언급된 전단키형 블록과 같이 경편형 지오그리드(B시료, 15T)를 제외하고는 설계톤수가 증가할수록 연결강도가 증가하는 유사한 경향을 나타내었으며, 편형 블록에서 경편형 지오그리드

(B시료, 15T)는 우븐형 지오그리드(A-3시료, 10T) 지오그리드보다도 연결강도가 작은 것으로 평가되었다. 이러한 경향은 블록의 종류에 따라 특히 전단키의 형태에 따라 연결강도값이 영향을 받는다는 것을 보여준다. 특히 편형 블록의 경우, 블록/지오그리드 사이의 연결은 주로 연결편과 지오그리드의 접점 저항에 의해 좌우되는 경향이 있다. 따라서 경편형 지오그리드는 상대적으로 우븐형 지오그리드에 비해 접점강도가 불리함으로써 연결강도 특성이 불리하게 작용하는 것으로 평가되었다. 또한, 연결편형 블록은 경편형 지오그리드 15T를 제외하곤 모든 그리드 종류에서 하중에 상관없이 전단키형 블록 보다 연결강도의 증진에 더 효과적인 것으로 평가되었다.

표 3. 전단키형 블록의 연결강도 시험결과

평가항목 \ 그리드 종류	6T	8T	10T	15T
내부마찰각( $\lambda'_{cs} : ^\circ$ )	10.0	10.0	9.0	21.0
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs1} : t/m$ )	1.8	2.9	3.3	2.6
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs2} : t/m$ )	2.7	3.9	4.1	4.9
수직하중( $\sigma'_{cs} : t/m$ )	4.8	6.0	6.0	6.0

표 4. 편형 블록의 연결강도 시험결과

평가항목 \ 그리드 종류	6T	8T	10T	15T
내부마찰각( $\lambda'_{cs} : ^\circ$ )	12.0	13.5	20.0	21.0
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs1} : t/m$ )	2.0	2.8	3.3	2.2
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs2} : t/m$ )	2.9	4.3	5.0	4.8
수직하중( $\sigma'_{cs} : t/m$ )	4.8	6.0	4.8	6.6

표 5 및 그림 9에서는 재령일수 7일인 경우의 모르타르 처리형 블록의 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선을 보여준다. 그림 9에서 보듯이 블록/보강재 사이의 연결강도는 앞서 언급된 전단키형 및 편형과 달리 저항력이 작은 것으로 평가되었다. 이는 블록/보강재 사이의 연결강도가 전단면의 형상에 영향을 직접적으로 받는 것을 의미하며, 모르타르 처리형 블록의 경우 시멘트 사용량이 적어 전단키나 편형과 같은 역학적 방식이 더 효과적인 것으로 평가되었다.

표 5. 모르타르 처리형 블록의 연결강도 시험결과(재령 7일)

평가항목 \ 그리드 종류	6T	8T	10T	15T
내부마찰각( $\lambda'_{cs} : ^\circ$ )	4.5	7.4	9.8	11.5
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs1} : t/m$ )	0.57	0.75	0.67	0.63
수직력이 0인 경우 연결강도( $a'_{cs2} : t/m$ )	0.95	1.40	1.50	1.60
수직하중( $\sigma'_{cs} : t/m$ )	4.8	6.0	6.0	6.0

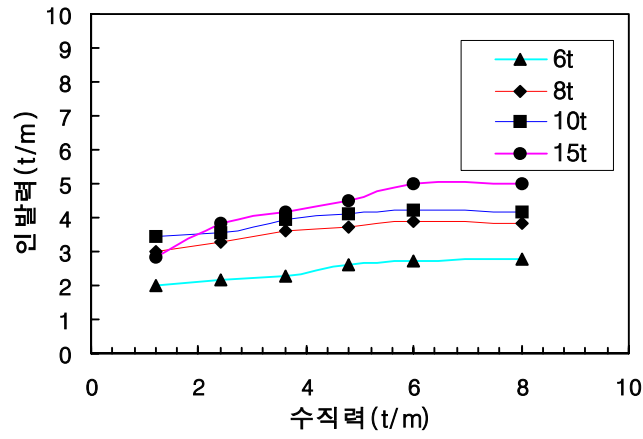


그림 7. 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선 (전단기형 블록)

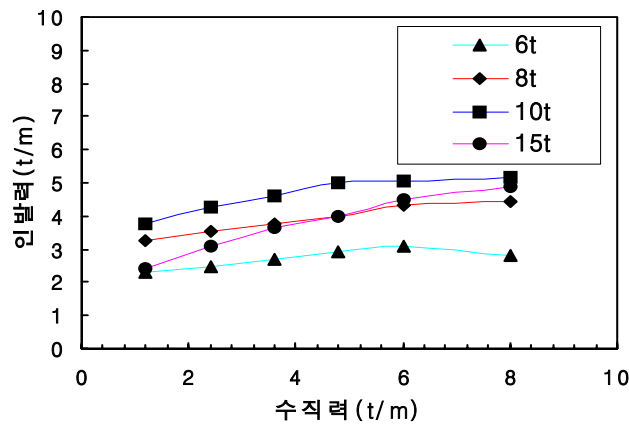


그림 8. 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선 (편형 블록)

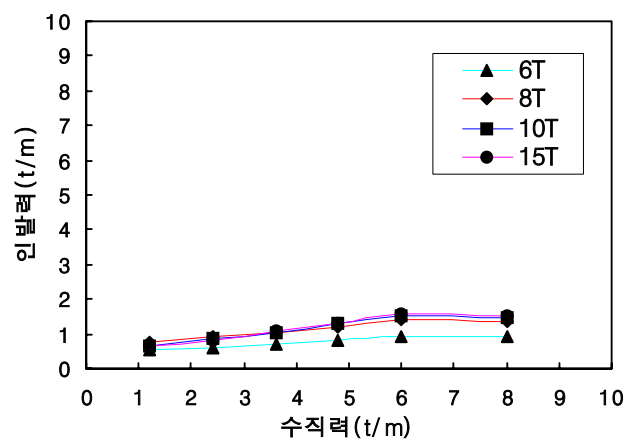


그림 9. 수직하중에 따른 수직력-인발력 관계 곡선 (모르타르형 블록)

### 3.1.2 인장 속도의 영향

그림 10 및 표 6에서는 전단키형 블록에 대한 재하하중(0.9, 1.5 kg/cm<sup>2</sup>)에 따른 인장속도별 지오그리드의 연결강도시험 결과를 보여준다. 이때 앞서 언급 했듯이 시험 대상 그리드는 우븐형 지오그리드 10T 였고 인발 속도는 10, 20, 30, 40, 60 mm/min로 변화시켜가며 수행하였다. 그림 12에서 보듯이 인장속도별 연결강도는 인장속도가 작을수록 미미하나마 큰 경향을 보이고 있어, 시험시 인장속도는 지오그리드/블록 사이의 연결강도의 결정에 큰 영향이 없는 것으로 평가되었다.

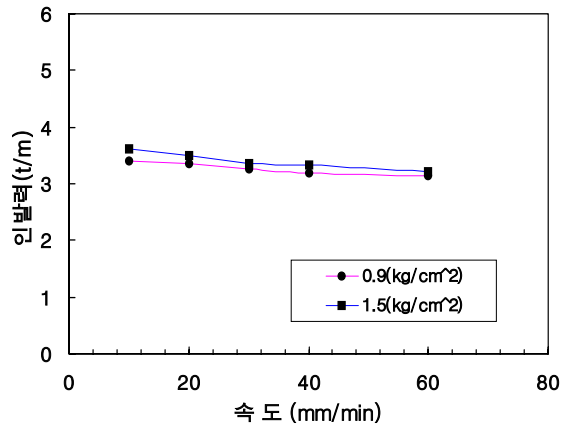


그림 10. 재하하중 따른 인장속도별 수직력-인발력 관계 곡선(전단키형 블록)

표 6. 인장속도별 연결강도 시험결과(전단키형 블록)

속도변화 하중단계	10 mm/min	20 mm/min	30 mm/min	40 mm/min	60 mm/min
0.9 kg/cm <sup>2</sup>	3.41	3.36	3.26	3.19	3.14
1.5 kg/cm <sup>2</sup>	3.63	3.49	3.35	3.34	3.21

### 3.1.3 편심 인장의 영향

그림 11에서는 전단키형 블록에 대한 편심 인장높이별 지오그리드의 연결강도시험 결과를 보여준다. 이때 본 시험은 우븐형 지오그리드 10T, 재하하중 0.9 kg/cm<sup>2</sup>로, 편심 인발 높이를 11, 16, 21 mm로 변화시켜가며 수행하였다. 그림 11에서 보듯이 편심 인장높이별 연결강도는 편심 인발 높이가 높을수록 미미하나마 커지는 경향을 보이고는 있지만, 시험시 편심 인발 높이는 지오그리드/블록 사이의 연결강도의 결정에 영향이 없는 것으로 평가되었다.



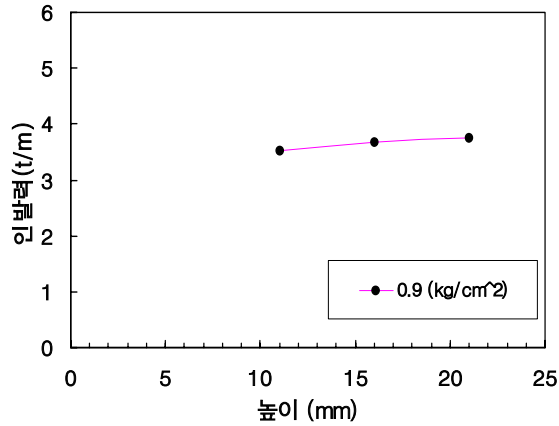


그림 11. 편심 인장높이별 수직력-인발력 관계 곡선 (전단키형 블록)

### 3.2 블록/블록의 마찰강도시험 결과

#### 3.2.1 블록 형상의 영향

그림 12에서는 전단키형, 편형, 모르타르 처리형 블록에 대한 마찰강도시험 결과를 보여준다. 그림 15에서 보듯이 블록/블록 사이의 마찰강도는 앞서 언급된 그림 4와 같이 초기의 경우 수직하중에 따라 인발력이 증가되다가, 일정한 하중단계 이후 일정한 값에 수렴하는 관계 특성을 미미하나마 나타내었다.

블록/블록의 마찰 강도는 전단키형, 편형 블록의 경우보다 모르타르 처리형 블록의 마찰저항이 작은 것으로 평가되었다. 편형과 전단키형 블록의 마찰강도 차이의 원인은 편형의 경우 전단시 편이 블록/블록 사이에 잘 고착되어 빠지는 경우나 블록의 들림 현상이 작은 반면에 전단키형의 경우 전단시 전단력 증대에 따른 전단키의 파손 및 블록의 들림현상이 상대적으로 크게 생기는 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 모르타르 처리형 블록은 시멘트에 의한 연결강도 증진 효과가 없는 것으로 평가되었으며, 이는 마찰강도시험과 마찬가지로 블록/블록 사이에 들어가는 시멘트 양이 적기 때문인 것으로 판단된다.

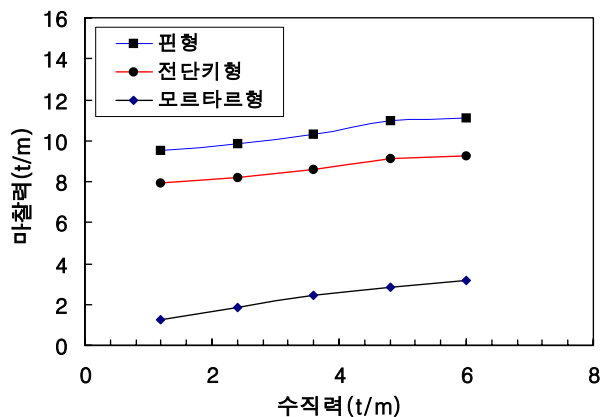


그림 12. 블록 형상별 수직력-마찰력 관계 곡선

### 3.2.2 전단속도의 영향

그림 13에서는 전단기형 블록에 대한 재하하중 0.9 t/m, 전단속도(2, 3, 5, 7, 10 mm/min)별 마찰강도시험 결과를 보여준다. 그림 13에서 보듯이 전단속도별 마찰결강도는 마찰속도가 클수록 미미하나마 커지는 경향을 보이고 있어, 시험시 마찰속도는 블록/블록 사이의 마찰강도의 결정에 다소 영향이 있는 것으로 평가 되었다. 현재 NCMA에서는 0.2~0.8mm/mim의 전단속도를 권장하고 있다.

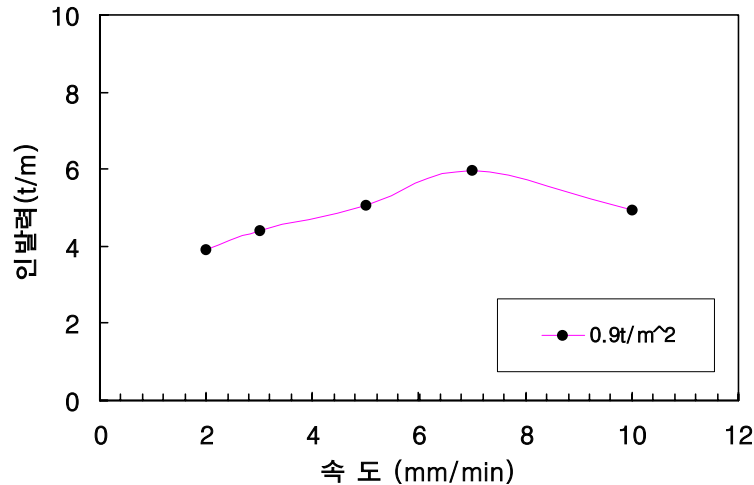


그림 13. 전단 속도별 수직력-마찰력 관계 곡선

## 4. 결 론

본 논문에서는 현재 사용중인 보강토 옹벽 전면블록과 지오그리드와의 연결강도 시험과 블록/블록 마찰강도 시험을 통해 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 전면블록 및 ○○그리드의 연결강도,  $\lambda'_{cs}$ 는 전단기형 블록의 경우 9°~21°, 편형 블록 경우, 12°~21°, 모르타르 처리형 블록 경우, 4°~11° 정도인 것으로 판명되었다.
- 2) 전면블록 및 그리드의 마찰강도,  $\lambda'_u$ 는 전단기형 블록의 경우 20.0°, 편형 블록 경우, 21.0°, 모르타르 처리형블록 경우, 22.0° 정도인 마찰강도특성을 가지고 있음을 알 수 있다.
- 3) 전면블록의 연결강도는 블록 전단저항능력, 특히 전단기 형태화 그와 관련된 지오그리드의 접점강도, 인장강도 등에 영향을 크게 받는 것으로 평가되었다.

## 참고문헌

1. Jones, Colin JFP.(1985), "Earth Reinforcement and Soil Structures", Butterworths, London England.
2. Mitchell, J.K., et. al. (1987), "Reinforcement of Earth Slopes and Embankments", NCHRP Report 290, Transportation Research Board, Washington, DC.
3. NCMA(1997), "Design Manual for Segmental Retaining Walls", National Concrete Masonry Association, p. 289.