

# 실내 모형토조실험에 의한 손상도별 수평배수공 유출량 측정을 통한 배수성능 평가 기준 제안

## A Study on the Evaluation Criteria of Drainage Performance by Measurement of Horizontal Drainage Flow Rate by Damage Degree by Interior Model Construction Experiment

최수환<sup>1)</sup> · 이동혁<sup>†</sup> · 심정훈<sup>2)</sup>

Suhwan Choi · Donghyuk Lee · Jeonghoon Shim

Received: December 2<sup>nd</sup>, 2022; Revised: December 8<sup>th</sup>, 2022; Accepted: December 19<sup>th</sup>, 2022

**ABSTRACT** : In order to prevent slope disasters caused by rainfall, it is very important to quickly exclude rainfall. In Korea, horizontal drainage holes with excellent economic feasibility and construction performance are generally applied as a method to lower the underground water level. However, horizontal drainage holes constructed on the site are often uniformly constructed regardless of the presence or absence of other water or ground conditions, and it is often difficult to expect drainage performance of horizontal drainage holes due to poor maintenance. In this study, an artificial ground was created using model construction and horizontal drainage experiments were conducted to measure the amount of horizontal drainage drain in a certain amount of control area 0%, 25%, 50%, 75%, and an evaluation table (draft) that can quantitatively evaluate horizontal drainage based on measurements and design documents is proposed as basic data.

**Keywords** : Horizontal drain hole, Groundwater, Groundwater drainage, Model construction

**요지** : 강우에 의한 비탈면 재해를 방지하기 위해서는 신속히 강우를 배제하는 것이 매우 중요하다. 국내에서는 지하수위를 낮추기 위한 방법으로 경제성과 시공성이 뛰어나고, 배수 성능이 좋은 수평배수공을 보편적으로 적용하고 있다. 그러나 현장에서 시공되는 수평배수공의 경우 다른 용수의 유무나 지반의 조건과 관계없이 획일적으로 시공되는 경우가 많으며, 유지관리가 원활하게 이루어지지 않고 있어 수평배수공의 배수 성능을 기대하기 힘든 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 모형토조를 이용해 인공지반을 조성하여 수평배수공 실험을 수행하였다. 수평배수공 배수 면적을 일정량 통제해 통제면적 0%, 25%, 50%, 75% 상태의 수평배수공 유출량을 측정하였으며, 측정값과 설계 도서 등을 바탕으로 수평배수공을 정량적으로 평가할 수 있는 평가표(안)를 제안하여 현장 적용이 가능한 기초자료로서 제안하고자 한다.

**주요어** : 수평배수공, 지하수, 지하수 배수시설, 모형실험

## 1. 서론

최근 국내 수평배수공 관련 연구에 의하면 Noh et al. (2006)은 15mm/hr 강우강도가 24시간 지속되었을 경우, 수평배수공 유무에 따라 수평배수공 미설치 시 비탈면의 안전율을 1.126 이며, 최대 지하수위 높이는 약 12m인 것으로 나타났다. 같은 조건으로 수평배수공 설치 시 비탈면안전율은 1.276 으로 안정성이 증가하고, 최대 지하수위 높이는 약 9m로 낮아지는 것으로 나타났다. Lee et al.(2007)은 수평배수공에 대한 시공현황 분석 연구결과 설계 도서와 상이한 시공

으로 인한 문제점과, S다발관의 재시공성 및 유지관리의 문제점 등을 지적하였다. Han et al.(2009)은 집수정을 이용한 지하수위 저하공법을 통해 보강 비탈면의 안정성을 검토하고 집수정의 현장 적용성을 확인하였다. Kim et al.(2009)는 배수와 보강 효과를 고려한 수평배수공을 겸한 상향식 쏘일 네일링 공법을 연구하였다. 이처럼 수평배수공에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 본 연구에서는 실내 대형 모형토조를 제작하여 주문진표준사를 이용해 인공지반을 조성하여 수평배수공의 성능을 평가하기 위한 연구를 수행하였다. 수평배수공 손상에 따른 초기성능 대비 유출량을 확인

1) Master's degree Department of Civil Engineering Sang Ji University

† Post-doctoral Researcher, Civil & Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (Corresponding Author : [donghyuk@hanmail.net](mailto:donghyuk@hanmail.net))

2) Researcher, Department of Civil Engineering, Sangji University

하였으며, 결과분석을 통해 수평배수공의 정량적 점검을 위한 평가표(안)를 제안하였다.

## 2. 실내 모형토조 실험

### 2.1 실내 모형토조실험 장치

연구를 위한 대형 모형토조를 제작하였다. 크기는 폭 2m,

길이 1.5m 높이 2.3m로 제작하였으며, 모형토조 하단부는 밀폐와 배수가 가능한 장치를 설치하여 강우가 지속됨에 따라 비탈면이 포화되고, 그로 인한 흙 속의 역학적 특성을 파악할 수 있도록 제작하였다. 토조의 정면에는 수평배수공을 설치할 수 있도록 하부 4공, 상부 3공 최대 7공의 수평배수공을 설치할 수 있도록 제작하였다(Fig. 1).

Fig. 2는 인공강우장치이다. 실내 대형 모형토조 상단부에는 설치하였으며, 물탱크에서 펌프를 통해 인공강우장치

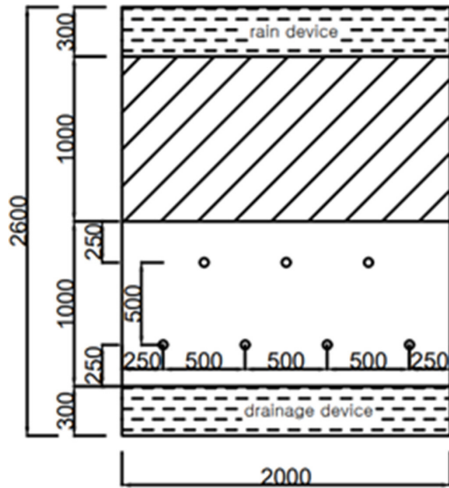
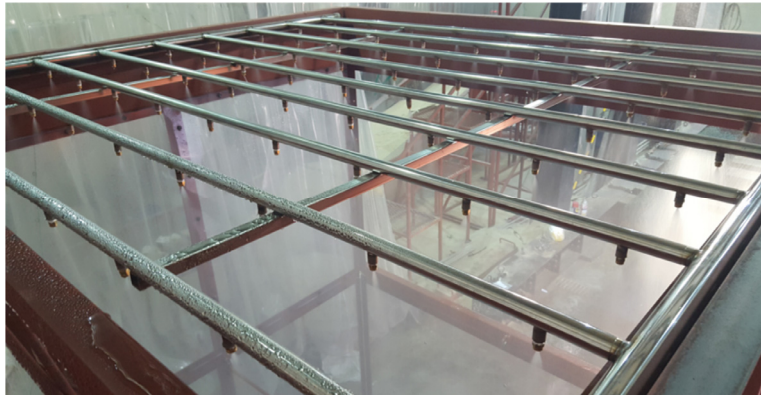


Fig. 1. Soil tank



(a) Artificial rain device

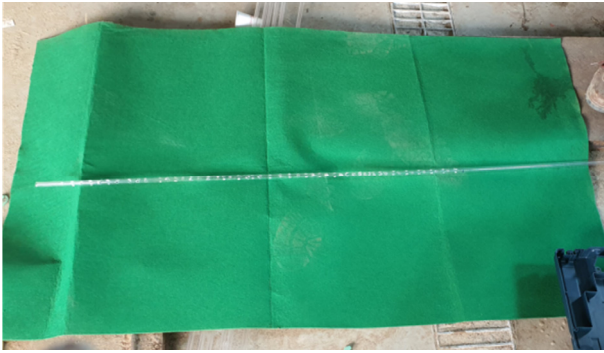


(b) Pressure valve device

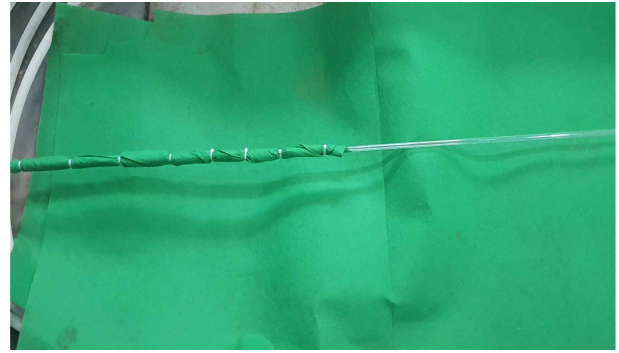


(c) Pressure pump

Fig. 2 Equipment for artificial rainfall



(a) Drainage hole



(b) Installation of nonwoven fabric

Fig. 3. Horizontal drainage hole production

로 물을 공급하여 노즐에서 강우가 분사된다. 강우의 지속성을 위해 3ton의 물탱크 3개로 총 9ton의 유량을 저수하여 약 12시간 강우 분사가 가능하다. 강우량은 최대 200mm/hr 까지 분사할 수 있고, 압력조절장치로 강우량을 제어하며 실험을 수행하였다.

수평배수공은 실제 수평배수공을 모사하여 표면을 타공하고 타공한 표면에 통수성능이 우수한 부직포를 이용하여 토립자의 유입을 막았다(Fig. 3). 수평배수공의 직경과 경사에 대한 기준은 설계기준 및 설계 도서를 검토하여 실제 시공과 같은 직경 100mm, C.T.C 5m로 선정하였다. 실내시험에서는 1/10 축척을 적용하여 수평배수공 직경 10mm, C.T.C 500mm로 제작하였고, 5°에서 10°의 경사로 설치하였다.

## 2.2 시험방법

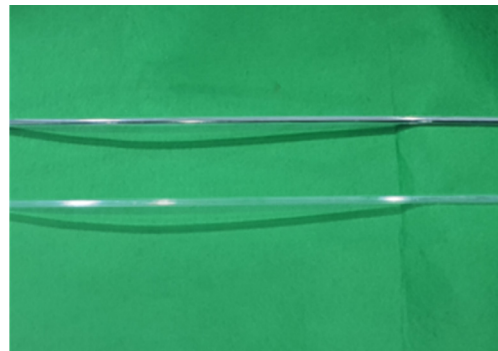
시험방법은 5단계로 분류되고, 시험순서는 다음과 같다.

- (1) 모형토조, 인공강우장치와 모형수평배수공 제작
- (2) 모형토조 내부 비탈면 조성
- (3) 수평배수공 손상도(막힘 정도) 모사 후 강우 분사
- (4) 손상도 case 별 유출량 측정
- (5) 실험결과 비교·분석

모형토조 내부 인공지반을 조성하기 전 방수작업을 시행하였다. 실험 대상 지반은 단위중량 13.5kN/m<sup>3</sup>의 사질토 지반으로 구성하였으며, 지반 상부까지 포화시킨 후 수평배수공에서 유출되는 유량을 측정하였다. 수평배수공은 상부 3공에 대하여 오른쪽에서 왼쪽 방향으로 각 No.1, No.2, No.3로 지정하여 실험을 수행하였다. 초기성능 대비 수평배수공의 기능 손상(내부 막힘) 시 유출량을 측정하기 위해 내부 면적을 100% 기준으로 0%, 25%, 50%, 75%, 손상으로 막힘에 대한 각 case 1, case 2, case 3, case 4로 조건을 변화하여 실험을 진행하였다(Fig. 4). 내부 손상은 직경 4mm, 2mm, 1.5mm 강선을 사용하여 모사하였다. Case 1의 경우 손상도 0%로 유출 면적은 78.5mm<sup>2</sup>이다. Case 2는 손상도 약 25%로 직경 4mm강선 1개, 직경 2mm 강선 1개, 직경 1.5mm 강선 3개를 수평배수공 내부에 삽입하여 총면적 78.5mm<sup>2</sup> 중 약 19.24mm<sup>2</sup>의 손상을 모사하였다. Case 3의 경우 손상도 50%로 4mm 강선 3개, 1.5mm 강선 1개로 총면적 78.5mm<sup>2</sup> 중 약 39.5mm<sup>2</sup>의 손상을 모사하였다. 마지막 case 4는 손상도 75%로 4mm 강선 4개, 2mm 강선 1개, 1.5mm 강선 3개로 총면적 78.5mm<sup>2</sup> 중 약 58.71mm<sup>2</sup>의 손상을 모사하였다. 수평배수공의 실험 조건 case는 Table 1과 같다.



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 4. Horizontal drainage hole damage control

Table 1. Changes in case conditions of horizontal drainage experiment

Case	Blockage area (mm <sup>2</sup> )	Drainage area (mm <sup>2</sup> )	Degree of blockage (%)
Case 1	-	78.5	0%
Case 2	19.2	59.3	25%
Case 3	39.5	39.1	50%
Case 4	58.7	19.8	75%

### 3. 실험 결과 및 수평배수공 평가표(안) 제안

#### 3.1 수평배수공 유출량 측정 결과

수평배수공 3개의 대한 각 손상도별 유출량을 측정한 결과 손상도 0%(case 1)의 유출량은 수평배수공 No.1의 유출량 4.1cm<sup>3</sup>/min, No.2의 유출량 4.5cm<sup>3</sup>/min, No.3의 유출량 4.7cm<sup>3</sup>/min로 평균 4.4cm<sup>3</sup>/min의 유출량이 측정되었다. 손상도 25%(case 2)의 유출량은 수평배수공 No.1의 유출량은 3.5cm<sup>3</sup>/min, No.2의 유출량 3.5cm<sup>3</sup>/min, No.3의 유출량 3.4cm<sup>3</sup>/min로 평균3.4cm<sup>3</sup>/min의 유출량을 측정되었고, 손상도 50%(case 3)의 유출량은 수평배수공 No.1의 유출량 1.5cm<sup>3</sup>/min,

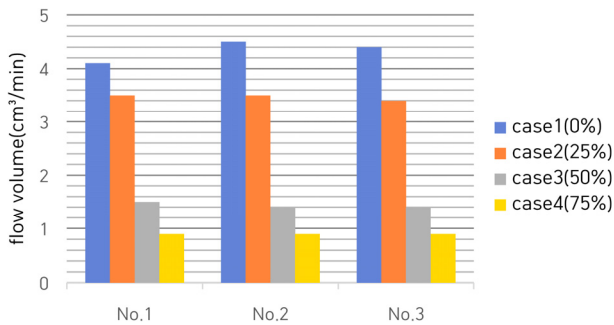


Fig. 5. Horizontal drainage hole flow volume compare

Table 2. Horizontal drainage hole flow volume

Experimental conditions	Horizontal drain hole number	Flow volume (cm <sup>3</sup> /min)	Average flow volume (cm <sup>3</sup> /min)	Degree of damage (%)
Case1	No.1	4.1	4.4	0%
	No.2	4.5		
	No.3	4.7		
Case2	No.1	3.5	3.4	25%
	No.2	3.5		
	No.3	3.4		
Case3	No.1	1.5	1.4	50%
	No.2	1.4		
	No.3	1.4		
Case4	No.1	0.9	0.9	75%
	No.2	0.9		
	No.3	0.9		

No.2의 유출량 1.4cm<sup>3</sup>/min, No.3의 유출량 1.4cm<sup>3</sup>/min로 평균 유출량 1.4cm<sup>3</sup>/min이 측정되었다. 손상도 75%(case 4)의 유출량은 배수공 No.1의 유출량 0.9cm<sup>3</sup>/min, No.2의 유출량 0.9cm<sup>3</sup>/min, No.3의 유출량 0.9cm<sup>3</sup>/min로 평균 유출량은 0.9cm<sup>3</sup>/min로 측정되었다. Fig. 5와 Table 2는 수평배수공의 각 손상도별 유출량을 나타낸 것이다.

#### 3.2 손상도별 수평배수공 유출량 비교

각 case의 수평배수공 유출량을 손상도 0% case의 유출량과 비교하여 검토한 결과 손상도 25% case의 유출량은 평균 3.4cm<sup>3</sup>/min으로 손상도 0% case의 유출량에 비해 약 23% 감소한 것으로 나타났다. 손상도 50% case의 유출량은 평균 1.4cm<sup>3</sup>/min으로 손상도 0% case의 유출량에 비해 약 68% 감소한 것으로 나타났다. 손상도 75% case의 유출량은 평균 0.9cm<sup>3</sup>/min으로 손상도 0% case의 유출량에 비해 약 80% 감소한 것으로 나타났다. Table 3은 각 손상도별 유출량을 손상이 없는 수평배수공의 유출량과 비교한 것이다.

#### 3.3 수평배수공 평가표(안) 제안

실내 대형 모형토조를 이용한 수평배수공의 각 case별 유

Table 3. Reduction rate of horizontal drainage hole flow volume by level of damage

Degree of damage (%)	Flow volume decreasing rate (%)			
	No.1	No.2	No.3	Average
Case2 (25%)	14.63	22.22	27.66	21.50
Case3 (50%)	63.41	68.89	70.21	67.50
Case4 (75%)	78.08	80	80.08	79.63



출량과 설계기준 및 설계도서 등을 바탕으로 수평배수공 평가표(안)를 제안하였다.

### 3.3.1 배수성능 점검항목 등급표(안)

배수성능 점검항목 등급표(안)는 배수성능과 배수공 주변부, 배수공 유출량을 기준으로 배수성능은 수평배수공의 막힘 정도에 따라 막힘 정도가 전체 통수단면적의 1/4 이하일 경우 배수 능력이 충분하다고 판단되어 A(우수), 수평배수공의 막힘 정도가 전체 통수단면적의 1/4 보다 크고 1/2 이하일 경우 배수 능력에 있어 주의가 필요하다고 판단되어 B(보통에서 주의), 수평배수공의 막힘 정도가 전체 통수단면적의 1/2 초과 시 배수 능력이 미흡하다고 판단되어 C(미흡에서 불량)로 나타났다. 배수공 주변부 점검은 배수공 주변부 이상 유무(지하수 유출 등)를 점검하여 배수공 주변부 이상이 없을 시 A(우수), 배수공 주변부가 습윤상태를 유지할 시 B(보통에서 주의), 배수공 주변부 지하수 유출이 발견될 시 C(미흡에서 불량)로 나타났다. 배수공의 유출량 점검 시 배수공의 평

균 유출량을 유지하고 있으면 A(우수), 배수공의 유출량이 50% 이상 감소할 시 B(보통에서 주의), 배수공의 유출량이 굉장히 미량이거나 없을 경우 C(미흡에서 불량)로 나타났다. 배수성능 점검항목 등급표(안)에 관한 내용은 Table 4와 같다.

### 3.3.2 배수성능 현장 체크리스트(안)

배수성능 현장점검 체크리스트(안)는 배수성능 점검항목 등급표(안)의 내용을 참고하여 점검 내용을 작성하고 평점을 내려 최종적으로 총점을 도출하여 점검대상 수평배수공의 상태를 점검 즉시 파악할 수 있도록 도표를 도출했다. 배수성능 현장점검 체크리스트(안)에 대한 내용은 Table 5와 같다.

### 3.3.3 수평배수공 배수성능 평가 기준(안)

수평배수공 배수성능 평가 기준(안)은 배수성능 점검 항목(안)을 판단하는 데 있어 기준이 되는 도표이다. 수평배수공의 결함이 없는 상태는 A(우수), 수평배수공의 성능 저하가 우려되거나 경미한 결함이 발생하였으나 전체적인 안정에

Table 4. Drainage performance check item grade table (draft)

Check list	Flow volume decreasing rate (%)		
	A (Great)	B (moderate or cautious)	C (insufficient or bad)
Drainage performance	The degree of clogging of the drain hole is less than 1/4 of the total area	The degree of clogging of the drain hole is less than 1/2 of the total area	The degree of internal clogging of the drain hole exceeds 1/2 of the total area
Peripheral of the drain hole	No abnormalities around the drain hole	Maintaining wet conditions around the periphery	Groundwater outflow around drain hole
The amount of outflow	Maintain average runoff	50% or more reduction in average runoff	Low or no runoff

Table 5. Drainage performance on-site inspection checklist (draft)

Drainage performance site checklist (draft)					
Check list	On-site inspection	Ratings			Total score
Inside the drain	(Record inspection contents)	A	B	C	
		100~91	89~61	60~0	
Peripheral of the drain hole	(Record inspection contents)	A	B	C	
		100~91	89~61	60~0	
The amount of outflow	(Record inspection contents)	A	B	C	
		100~91	89~61	60~0	

Table 6. Horizontal drainage hole drainage performance evaluation criteria (draft)

Drainage performance evaluation criteria (draft)		
Check list	On-site inspection	Ratings
A (Great)	- Free from defects	90 or higher
B (moderate or cautious)	- Minor defects that may cause deterioration in the performance of the structure or extensive micro defects in auxiliary members have occurred, but the stability of the overall facility is not affected, and repairs are required to prevent deterioration of durability and functionality - Periodic inspection required	89~61 (moderate or cautious)
C (insufficient or bad)	- A condition in which a defect in the structure has occurred and urgent repair and reinforcement is required, and a decision must be made on whether to restrict its use. - Precise inspection and measurement required	Less than 60 (insufficient or bad)

는 지장이 없으나 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수나 점검이 필요할 경우 B(보통에서 주의), 구조물의 결합이 발생하여 긴급한 보수 및 보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하고 정밀점검과 측측이 필요할 경우 C(미흡에서 불량)로 나타내어 보다 상세하게 기준을 수립할 수 있도록 도표를 제안하였다. 수평배수공 배수성능 평가 기준(안)에 관한 내용은 Table 6과 같다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 비탈면 안정성 요인 중 광범위한 요인인 강우를 배제하는 배수시설 중 우리나라에서 보편적으로 사용하는 수평배수공법에 대한 실내 모형실험을 수행하였다. 수평배수공의 배수 조건을 변화시키며 유출량을 측정하였고, 관련 실험결과 데이터를 활용하여 다음과 같은 결론을 도출했다.

- (1) 수평배수공의 손상도(막힘 정도)를 모사하여 총면적의 0%, 25%, 50%, 75%의 면적의 손상을 모사한 후 강우재 연장치로 강우를 분사하여 실험을 진행하였다. 각 손상도에 따른 유출량을 요소별 36회 측정된 결과 0% 손상도의 유출량은 평균  $4.4\text{cm}^3/\text{min}$ , 25% 손상도의 유출량 평균  $3.4\text{cm}^3/\text{min}$ , 50% 손상도의 유출량 평균  $1.4\text{cm}^3/\text{min}$ , 75% 손상도의 유출량 평균  $0.9\text{cm}^3/\text{min}$ 이 나타났다.
- (2) 손상을 모사한 수평배수공의 유출량과 손상도 0% 상태의 유출량을 비교·분석한 결과 손상도 25%의 유출량의 경우 손상도 0%의 유출량과 비교했을 때 약 23% 감소하였고, 손상도 50%의 유출량은 손상도 0%의 유출량에 비해 약 68% 감소하였다. 손상도 75%의 유출량의 경우 손상도 0%의 유출량과 비교하면 약 80% 감소한 것으로 나타난다. 수평배수공 내부 토사의 유입이나 부유물 퇴적 등의 이유로 수평배수공 손상 시(내부 막힘) 어느 일

정량부터 배수 기능이 급격히 감소하는 것으로 판단되며, 본 연구의 경우 50% 이상의 손상이 있을 시 수평배수공의 배수 기능이 현저히 감소하는 것으로 사료된다.

- (3) 실내 모형토조 실험결과를 반영하여 수평배수공의 배수성능, 배수공의 주변부 이상, 배수공의 유출량을 A(우수), B(보통에서 주의), C(미흡에서 불량)로 분류하여 평가할 수 있도록 배수시설 점검항목 등급표(안)를 작성하였고, 이를 배경으로 점검 내용을 작성하고 최종적으로 총점을 도출할 수 있도록 배수성능 현장점검 대조표(안)를 만들었으며, 총점에 따라 점검자의 판단에 있어 기준을 수립하여 조치를 취할 수 있도록 배수성능 평가기준(안)을 제안하였다.
- (4) 수평배수공의 부족포의 막힘, 다른 종류의 손상 등 추가적인 방법의 실험이 수행된다면 수평배수공의 유지관리와 현장점검방법 개선을 위한 기초자료로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## References

1. Han, J. G., Lee, Y. G. and Kim, B. S. (2009), A case study on application of dewatering method for slope stability, Journal of the Korean Geosynthetics Society Vol. 8 No. 1, pp. 61~66 (In Korean).
2. Kim, H. T., Jeong, J. M. and Lee, I. (2009), A basic study on upward soil nailing combined horizontal drainage, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, Vol. 10 No. 7, pp. 151~158 (In Korean).
3. Lee, S. H., Chun, S. R. and Jeong, J. S. (2007), A study on problem and improvement of drainage material for current slope horizontality drainage existence, Korean Geo-Environmental Conference, pp. 341~345 (In Korean).
4. Noh, H. J., Lee, S. and Chun, S. R., (2006), A study on variation of slope stability ratio by slope horizontality drainage existenc, Korean Geo-Environmental Conference, pp. 395~400 (In Korean).