

# 지반 배수재에 따른 세립토의 관입특성

## The Characteristics on Infiltration of Fine-Grained Soil into Various Materials for Ground Drainage

고 용 일†  
Yongil Koh

Received: October 8<sup>th</sup>, 2015; Revised: October 14<sup>th</sup>, 2015; Accepted: October 23<sup>rd</sup>, 2015

**ABSTRACT :** In this study, the infiltration quantity of fine-grained soil into coarse-grained soil or aggregate for methods to accelerate consolidation·drainage is checked by laboratory tests under various conditions and those characteristics on infiltration are examined closely. Irrespectively of pressures to fine-grained soil corresponding to stresses in a soil mass or moisture contents of fine-grained soil, fine-grained soil does not infiltrate into standard sand and marine sand, so it is verified that drain-resistance into sand mass of drainage / pile does not occur entirely and its shear strength would increase highly by water compaction. It is known that the infiltration depth of fine-grained soil into aggregate increases according that those size is larger in case of aggregates and it increases according that the pressure or the moisture contents is higher in case of same size aggregate. It is thought that drain-resistance into aggregate mass of drainage / pile would occurs by infiltrated fine-grained soil in advance though the infiltration depth of fine-grained soil of lower moisture content than liquid limit into 13 mm aggregate is low quietly. So gravel drain method or gravel compaction pile method, etc. using aggregate of gravels or crushed stones, etc. larger than sand particle size should be not applied in very soft fine-grained soil mass of higher natural moisture contents than liquid limit, and it is thought that its applying is not nearly efficient also in soft fine-grained soil mass of lower natural moisture contents than liquid limit.

**Keywords :** Infiltration, Fine-grained soil, Consolidation·drainage, Materials for ground drainage, Vertical drain method

**요 지 :** 본 연구에서는 압밀·배수를 촉진하기 위한 공법에서 사용되는 조립토나 골재로의 세립토 관입 정도를 다양한 조건에서 실험을 통해 확인하여 세립토의 조립토나 골재로의 관입특성을 규명하였다. 지중응력에 대응하는 압력의 크기나 세립토 함수비의 변화에 상관없이 해성점토가 해사나 표준사로는 관입되지 않아 모래 배수/말뚝 체에서의 배수저항 현상은 전혀 발생하지 않은 것으로 확인되었고, 오히려 물다짐에 의한 모래 배수/말뚝 체의 전단강도가 크게 증대된 것으로 보인다. 골재의 경우에는 골재의 입경이 클수록 해성점토의 관입깊이는 증대하고, 같은 골재라도 압력이나 함수비가 클수록 해성점토의 관입깊이는 증대함을 알 수 있었으며, 액성한계보다 작은 함수비를 갖는 해성점토는 입자가 작은 편인 13mm 골재로의 관입깊이가 현저하게 줄어들어 그 관입깊이가 상당히 적다 하더라도 일단 관입된 세립토에 의해 배수/말뚝 체에서의 배수저항 현상이 발생할 것으로 사료된다. 따라서 자연함수비가 액성한계보다 큰 매우 연약한 세립토층에서는 모래보다 큰 입경을 갖는 쇄석이나 자갈 등 골재를 사용하는 gravel drain 공법 및 gravel compaction pile 공법 등의 적용을 지양해야 하고, 자연함수비가 액성한계보다 작은 연약한 세립토 지반에서도 gravel drain 공법 및 gravel compaction pile 공법 등과 같은 연직배수공법을 적용할 경우 그 효율성은 크게 저하할 것으로 사료된다.

**주요어 :** 관입, 세립토, 압밀·배수, 지반 배수재, 연직배수공법

## 1. 서 론

연약지반 대책은 크게 구조물 형식의 변경, 공법의 개선 (공사 순서, 공법의 조합 등) 그리고 연약지반 자체의 개량으로 나눌 수 있다. 이 중에서 연약지반 개량이 가장 적극적인 대책으로 여기에는 다양한 공법이 있다. 연약지반개량공법의 기본 원리는 치환, 압밀·배수, 다짐, 고결/열처리 (화학적/열적 고화), 보강 등 5가지로 대별될 수 있다(Hansbo,

1994).

한편 삼면이 바다로 둘러싸이고 국토면적이 좁은 우리나라는 해안 및 내륙의 연약지반 활용을 통해 효율적인 국토이용이 절실한 실정이다. 그러나 해안의 연약지반은 대부분 정규압밀 점토층이 깊은 심도로 분포하고 있어 압밀진행성 점토로서 구조물 축조나 성토 등의 하중 재하 시 압밀침하, 전단변형 등이 발생하므로 이에 대한 대책으로 압밀·배수를 촉진하기 위하여 하중재하공법과 병행하여 연직배

† Department of Civil Engineering, Chodang University (Corresponding Author : yikoh@cdu.ac.kr)

수공법(實用 軟弱地盤對策 技術總攬 編集委員會, 1993; 地盤改良の調査・設計から施工まで 編集委員會, 1978)인 Sand drain 공법, Pack drain 공법, Paper drain 공법 외에도 Sand compaction pile 공법 등이 국내·외적으로 가장 많이 활용되고 있고(Koh, 2013) Gravel drain 공법 및 Gravel compaction pile 공법 등도 연구개발 되어 꾸준히 활용되고 있으며, 보다 더 진보되고 개선된 공법들에 대한 연구 또한 시도되고 있다.

연약지반 상에 연직배수재를 시공하여 압밀·배수를 촉진하기 위한 공법을 총칭하여 연성기초개념의 복합지반(Composite soil) 형성공법이라 하고, 이를 포함한 조립토 말뚝공법(Hu et al., 1997)을 분류하면 Table 1과 같다.

근래 들어 국내에서는 모래 부족의 대안으로 쇄석을 이용한 해안 및 내륙의 연약지반을 대상으로 하는 쇄석배수 공법 및 쇄석다짐말뚝공법 등이 개발되어 일부 활용되고 있으나 이들 쇄석은 세립토 관입에 의한 배수 저해 현상으로 인하여 모래보다 배수 효과가 저감될 수 있고 내부마찰각의 저하에 따른 연직배수/말뚝 체 형성의 불가능까지 가져올 수 있어 침하량 감소와 지지력 증가의 역할에 의문이 제기되는 등 공법의 효용성을 의심하게 하는 경우가 많지만 이러한 세립토의 관입특성에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 직접 제작한 시험기에 의한 시험을 통해서 연약지반 상에 연직배수재를 시공하여 압밀·배수를 촉진하기 위한 공법에서 사용되는 조립토로의 세립토 관입 정도를 다양한 조건에서 확인하여 세립토의 관입특성을 규명하고자 한다.

## 2. 세립토의 관입시험(Infiltration test)

### 2.1 해성점토와 모래 및 골재의 지반공학적 성질

연약지반에 해당하는 1종류의 해성점토 그리고 표준사, 일반적인 지반 배수재로 사용되는 해사와 석산에서 생산되는 13mm 골재, 25mm 골재, 40mm 골재 등 5종류의 조립토들이 관입시험에 사용되는데 세립토와 조립토 및 골재를 대상으로 먼저 물리적 성질과 투수성 등을 파악하기 위한 기본 물성 시험을 실시하였다(Lambe & Whitman, 1986; 최재진 등, 2000).

입도시험(KS F 2302)은 비중계 시험 및 체계를 시험에 의하여 실시하였고, 투수계수는 흙의 투수시험 방법(KS F 2322)에 의하여 결정하였다.

### 2.2 관입 시험기 자원 및 실험 개요

지반개량을 목적으로 광범위한 연약 점토 지반의 압밀·배수를 촉진하기 위하여 하중재하공법과 병행하여 국내·외적으로 가장 많이 활용되고 있는 Vertical drain 공법인 Sand drain 공법, Pack drain 공법, Sand compaction pile 공법 등에 사용되는 모래와 Gravel drain 공법이나 Gravel compaction pile 공법 등에 사용되는 쇄석 및 자갈을 대상으로 연직배수/말뚝 체의 반경축소 현상의 원인인 세립토의 관입특성을 파악하기 위한 실험을 실시할 수 있는 관입 시험기는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다(Singh & Hattab, 1979).

실험방법은 투명한 아크릴 몰드①과 몰드②는 서로 통하게 연결되어 있다. 지반 배수재를 몰드②의 상부 외관이 볼록하게 튀어나오기 시작한 높이(scale이 붙어 있는 높이)까지 채우고 이 지반 배수재 바로 위에는 포화 세립토를 몰

Table 1. Classification of granular pile methods

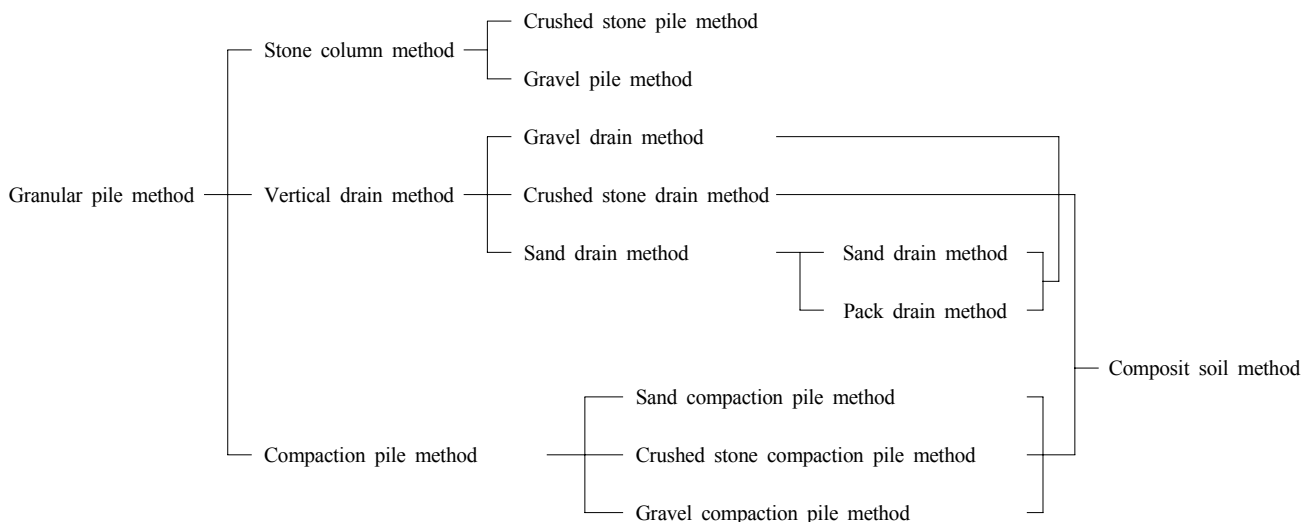


Table 2. Results of particle size analysis, physical test and permeability test of marine clay, sands and aggregates

Type of soils or aggregates	Gs	Atterberg limit	Particle size analysis of soil		Soil classification system		Coefficient of permeability (cm/sec)	
			Percent finer than #4 sieve size by weight (%)	Percent finer than #200 sieve size by weight (%)	Unified soil classification	AASHTO soil classification	Test result	Average
Marine clay	2.636	LL : 48% PL : 20.04% PI : 27.96%	100	56.72	CL	A-7-6	$5.681 \times 10^{-6}$	$5.640 \times 10^{-6}$
							$5.599 \times 10^{-6}$	
Standard sand	2.648	-	100	0.03	SP	A-1-b	$1.036 \times 10^{-1}$	$1.037 \times 10^{-1}$
							$1.038 \times 10^{-1}$	
Marine sand	2.612	-	96.44	0.09	SP	A-1-a	$8.998 \times 10^{-2}$	$8.995 \times 10^{-2}$
							$8.992 \times 10^{-2}$	
13 mm aggregate	-	-	10.54	0.01	GP	A-1-a	-	> 8.294
25 mm aggregate	-	-	4.98	0.02	GP	A-1-a	-	> 8.294
40 mm aggregate	-	-	0.58	0.02	GP	A-1-a	-	> 8.294

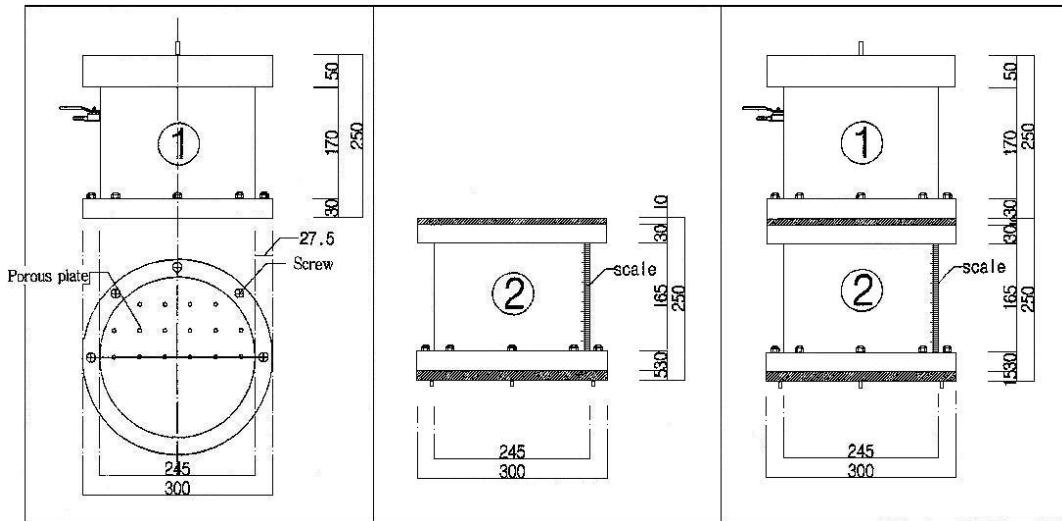


Fig. 1. Detail and size (mm) of infiltration test mold

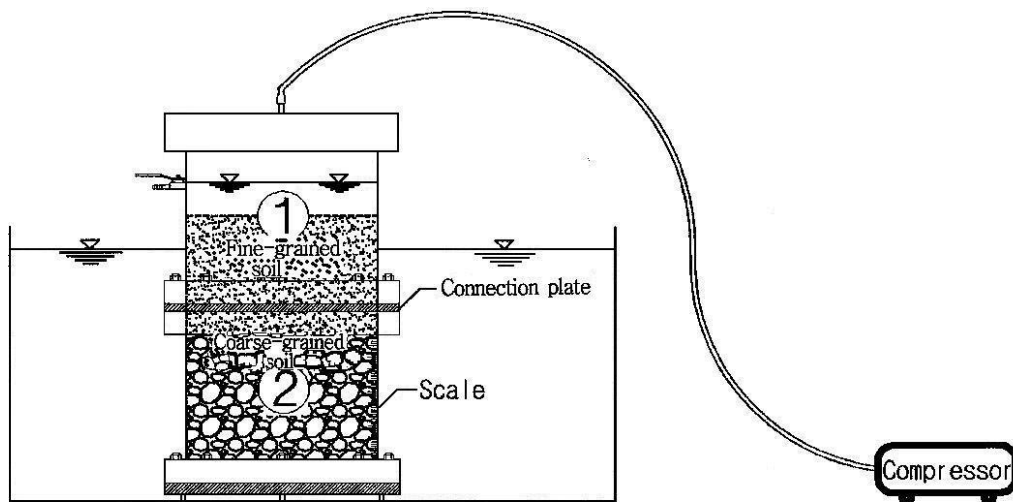


Fig. 2. Conceptual plan of infiltration test

드② 위에 연결되는 몰드①의 높이 반 가까이 채우며 세립토 상부에는 물을 채우되 상부 일정 공간은 비워두어 콤프레서에 의한 일정 압력이 세립토에 골고루 전해지도록 하였다. 그리고 지반 배수재로의 세립토 관입깊이는 몰드② 의면에 붙여 놓은 scale에 의해 측정하였다.

### 3. 관입시험의 결과 및 고찰

가압시간을 48시간으로 하여 압력을 무압(0kPa), 100kPa, 200kPa, 300kPa로 변경하였을 때의 모래(해사, 표준사) 및 골재(13mm, 25mm, 40mm)에서 해성점토의 관입깊이(mm)를 측정하면 Table 3과 같다. 이때 해사와 표준사에 대해서는 해성점토의 함수비를 72%뿐 아니라 91%와 63%에 대하여도 같은 조건에서 실험을 실시하였다.

배수저항 실험 결과에 의하면 해사나 표준사에서 해성점토의 관입깊이는 압력의 크기나 함수비의 변화에도 불구하고 0mm로 기록되었다. 따라서 최대입경이 4.75mm 이하이면서 투수계수가  $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 보다 큰 모래의 경우는

Fig. 3과 Fig. 4의 사진에서도 알 수 있듯이 세립토 관입현상은 전혀 없을 것으로 판단된다. 즉 배수재로서의 투수성은 확보되면서 물다짐에 의한 모래기둥의 전단강도는 크게 증대된 것으로 관찰되었다.

골재의 경우에는 골재의 입경이 클수록 해성점토의 관입깊이는 커지고, 같은 골재라도 압력이 클수록 해성점토의 관입깊이는 증대함을 알 수 있다. 특히 40mm 골재에서는 100kPa(약  $10 \text{kgf/cm}^2$ )의 압력에서도 실험상의 골재층 두께 200mm를 완전히 관통할 정도의 해성점토가 관입되어 세립토 지반에서 40mm 골재의 배수재 효과는 전혀 기대할 수 없을 것으로 판단된다(Fig. 5 참조).

한편 해성점토의 함수비를 72%뿐 아니라 함수비를 저감시켜 63%, 56.18%, 46.71% 등으로 변화시키면서 최대압력 300kPa(약  $30 \text{kgf/cm}^2$ )로 48시간 이상 해성점토에 가하면서 측정한 13mm 골재로의 해성점토 관입깊이는 Table 4와 같다.

Table 4에 의하면 13mm 골재에 해성점토가 관입되는 현상은 해성점토의 액성한계(=48%)를 기준으로 현저하게 차이가 있다. 즉 해성점토의 함수비가 액성한계보다 큰 경우에는 함수비 변화에 따른 해성점토의 골재에 관입되는 깊



Fig. 3. Photo (standard sand) after infiltrations test



Fig. 4. Photo (marine sand) after infiltrations test

Table 3. Infiltration distance (mm) of marin clay under pressure (pressure time : 48 hours) into sands and aggregates

Materials for drainage	Pressure	0 kPa	100 kPa	200 kPa	300 kPa		
		(* $\omega$ =72%)	(* $\omega$ =72%)	(* $\omega$ =72%)	* $\omega$ =91%	* $\omega$ =72%	* $\omega$ =63%
Marine sand		0	0	0	0	0	0
Standard sand		0	0	0	0	0	0
13 mm aggregate		6	25	62	-	84	85
25 mm aggregate		6	35	75	-	95	-
40 mm aggregate		11	Penetrating	Penetrating	-	Penetrating	-

Table 4. Infiltration distance (mm) of marin clay under 300 kPa pressure (pressure time : 48 hours) into 13 mm aggregates

Moisture content of marin clay	72%	63%	56.18%	46.71%	Remark
Infiltration distance (mm)	84	85	84	30	Liquid limit of marin clay : 48%

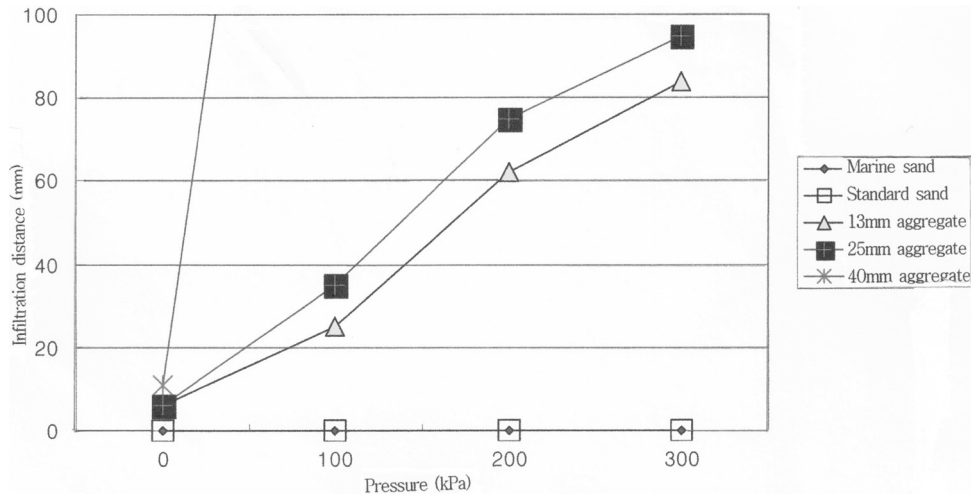


Fig. 5. Infiltration variation of marin clay under pressure (pressure time : 48 hours) into various materials for drainage

이는 비슷하게 측정되었으나, 해성점토의 함수비가 액성한계보다 작아지는 경우에는 해성점토가 골재에 관입되는 깊이는 1/2보다 훨씬 많이 감소함을 알 수 있다. 이때 관입 깊이는 30mm로 13mm 골재 층 두께의 15% 정도까지 이지만 배수층인 이 골재의 간극을 막은 해성점토 때문에 해성점토층에서 압밀·배수 현상은 거의 발생하지 못할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 일반적으로 지반 배수재로 사용되는 조립토들을 대상으로 관입시험을 실시하고 그 결과를 고찰·정리하였다.

- (1) 해사나 표준사에서 해성점토의 관입깊이는 압력의 크기나 함수비의 변화에도 불구하고 0mm로 이는 배수체에서 배수저항 현상은 전혀 발생하지 않은 것으로 사료되며, 오히려 물다짐에 의한 모래 배수/말뚝 체의 전단강도가 크게 증대된 것으로 보인다.
- (2) 골재의 경우에는 골재의 입경이 클수록 해성점토의 관입 깊이는 증대하고, 같은 골재라도 세립토에 가해지는 압력이 클수록 해성점토의 관입깊이는 증대함을 알 수 있다.
- (3) 특히 입자가 작은 편인 13mm 골재를 대상으로 실시한 해성점토의 함수비에 따른 관입시험 결과에 의하면 해성점토의 함수비가 액성한계보다 큰 경우에는 함수비의 변화에 관계없이 해성점토는 깊게 관입되었으며, 해성점토의 함수비가 액성한계보다 작은 경우에는 함수비가 저하함에 따라 13mm 골재로의 해성점토 관입 깊이는 현저하게 감소됨을 알 수 있었고, 입경이 13mm보다 큰 쇄석이나 자갈 등의 골재에서는 이러한 세립토 관입깊이가 상대적으로 커질 것으로 판단된다.
- (4) 그러나 골재의 크기에 상관없이 그리고 세립토 관입깊이에 상관없이 세립토가 배수체로 관입된다는 사실이 중요하며,

- 적은 양이라도 세립토가 관입되면 관입된 세립토에 의해 배수체에서의 배수저항 현상이 발생할 것으로 사료된다.
- (5) 따라서 자연함수비가 액성한계보다 큰 매우 연약한 세립토층에서는 쇄석이나 자갈 등 골재를 사용하는 Gravel drain 공법 및 Gravel compaction pile 공법 등의 적용을 지양해야 함은 당연하고, 자연함수비가 액성한계보다 작은 연약한 세립토 지반에서도 Gravel drain 공법 및 Gravel compaction pile 공법 등과 같은 연직배수공법이나 압밀·배수를 기본 원리로 하는 연직지반개량공법을 적용할 경우 그 효율성은 크게 저하할 것으로 사료된다.

#### References

1. 최재진, 최연왕, 김기형 (2000), 최신 토목재료학, 기문당, pp. 137~180.
2. 實用 軟弱地盤對策 技術總覽 編集委員會 (1993), 土木·建築技術者のための實用 軟弱地盤對策 技術總覽, 産業技術 - ビスセンター -, 日本 東京, pp. 640~675.
3. 地盤改良の調査·設計から施工まで 編集委員會 (1978), 現場技術者のための土と基礎シリーズ 3 : 地盤改良 の調査·設計から施工まで, 三美印刷株式會社, 日本 東京, pp. 33~73.
4. Hansbo, S. (1994), Foundation Engineering, Developments in Geotechnical Engineering, Elsevier Press, Vol. 95, pp. 450~455.
5. Hu, W., Wood, D. M. and Steward, W. (1997), Ground improvement using stone column foundation : results of model test, International Conference on Ground Improvement Techniques, pp. 246~256.
6. Koh, Y. I. (2013), The construction work method of mixed coal ash in ash pond to recycle as a horizontal drain material, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 14, No. 4, pp. 53~58 (In Korean).
7. Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1986), Soil mechanics, SI Version, John Wiley & Sons, Inc., Seoul, pp. 27~51.
8. Singh, G. and Hattab, T. N.(1979), A laboratory study of efficiency of sand drains in relation to methods of installation and spacing, Geotechnique 29, No.4, pp. 395~422.