

碩士學位論文

송이의 碎石다짐말뚝에 대한 材料
適合性 研究



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學課

金仁錫

2004

송이의 碎石다짐말뚝에 對한 材料 適合性 研究

指導教授 南正萬

金 仁 錫

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



2004年 6月

金仁錫 工學 碩士學位論文을 認准함

審査委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

濟州大學校 産業大學院

2004年 6月

A Study of Suitability of Material on the Compaction
pile of Crushed stone of Scoria

IN-SEOK KIM

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)



A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of master of engineering

2004. 6.

This thesis has been examined and approved.

Department of Civil & Ocean Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
Table Conetnts	ii
Figure Contents	iii
Abstract	
I. 서 론	1
II. 제주도 지역의 지반특성	4
III. 쇄석다짐 말뚝공법	10
IV. 다짐송이의 강도특성	22
V. 짧은 쇄석다짐 말뚝 공법의 적합성	55
VI. 결 론	61
VII. 참고문헌	63



Table Conetnts

Table 2.1 aggregate gradation	17
Table 2.2 aggregate unit weight	17
Table 4.1 Distribution of pick samples	23
Table 4.2 samples gradation and color	23
Table 4.3 Chemical Composition of Scorias	26
Table 4.4 compaction test type (KS F 2312, 1995년)	27
Table 4.5 compaction test classified by compaction energy(식 4.1을 사용해 서 계산)	29
Table 4.6 compaction test result	34
Table 4.7 result of direct shear test of compaction scoria	48
Table 4.8 result of direct shear test and triaxial compression test comparison	49
Table 4.9 shear strength of compaction scoria(strength diminution coefficient $C = 1.3$)	50
Table 4.10 proposal of color in relation to scoria internal friction angle ·	54
Table 5.1 special of scoria	55
Table 5.2 special of stratum	58

Figure Contents

Fig 3.1 Geopier load bearing	10
Fig 3.2 internal friction angle of Geopier	11
Fig 3.3 construction process of Geopier	12
Fig 3.4 failure mechanism of Geopier	13
Fig 4.1 Area that pick sample	22
Fig 4.2 black sample grading curve(다짐시험용)	24
Fig 4.3 red sample grading curve(다짐시험용)	24
Fig 4.4 yellow sample grading curve(다짐시험용)	25
Fig 4.5 다짐시험기(KS F 2312)	28
Fig 4.6 compaction curve	29
Fig 4.7 4stage of compaction	30
Fig 4.8 method of compaction difference depend stress-strain(Seed et al. 1961)	32
Fig 4.9 compaction curve of samples	35
Fig 4.10 Control Panel	37
Fig 4.11 Horizontal strain control system	37
Fig 4.12 Vertical loading system	38
Fig 4.13 Limit bar	38
Fig 4.14 Shear box	39
Fig 4.15 Shear spectacle	39
Fig 4.16 Jimi Mt	40
Fig 4.17 Gomun Mt	40
Fig 4.18 Daho Park	42
Fig 4.19 Dusan Mt	43
Fig 4.20 Andol Orum	44

Fig 4.21 Worang Mt. (A)	45
Fig 4.22 Worang Mt.(B)	46
Fig 4.23 Worang Mt.(C)	47
Fig 4.24 Samples internal friction angle - oxide(Uncompaction)	51
Fig 4.25 Samples internal friction angle - oxide(compaction)	52
Fig 4.26 Samples internal friction angle - dry unit weight	53
Fig 5.1 construction procedure of Soil-Cement Injected Precast Pile Methods	57
Fig 5.2 geological conjecture map	60



Summary

The stratum of Jeju island make or appearance a base rock layer and a volcanic geological stratum repeatedly as a result of reiteration volcanic activity and environs an aerial volcano. Such stratum have another physical, chemical property obey the main component of magma or the surrounding situation in volcanic explosion. Especially, between base rock overlapped pyroclastic deposits, scoria, is classified yellow, red, and black according to it's colors. So scoria, a widely distributed in jeju island show another property follow, volcano eruption time or it's colors.

At the present day, Jeju island will be excuting or carrying out construction works at an airport, a harbor, a road for development of a cosmopolitan free city. This works is the large tendency than the past days. Especially, the city is more massed and the establishment is becoming size of a middle or large.

In this visual point, this study made researches in scoria of forming a ground of Jeju island because it was necessary the foundation research of a middle or large fabric. This study will be analyze try to maintain for strength as a foundation stuff when carrying out, mixing by pressing vibration a method of constrution on the compaction pile of crushed stone of scoria of forming a ground of Jeju island at the process of construction or mixed the smashed rock and the scoria is generated in the scene of action.

Accordingly, first of all, the present Study was undertaken to investigate a geological characteristics at Jeju island and physical features that cause a difficulty during constructing. And a series of direct shear tests was performed for the purpose of studying of mechanical quality of scoria. In tests, the direct shear test has been used the macro shear box by 20*20*20 cm . Which's a size of width length and height in all because a particle of scoria is much bigger than a general soil. This study inquired into a intensity property of scoria, a special quality according as a kind, a crushing trait of a particle, a strength trait according as density, analysis according as conversion of functional rate and so on.

The study gained a condusion like the next, as a result of operating a test for research about suitableness of the compaction pile of short crushed stone, pick the scoria materials of a kind of eight at a place of six on the volcanic geological

stratum in Jeju island.

1. As a result of examining to scoria, pyroclastic deposits of Jeju island, the more a component of SiO_2 or Fe_2O_3 , the fewer a internal friction angle, and the more a component of Al_2O_3 , the larger .

2. As a result of examining of testing the compaction pile of the scoria, the scoria of black or red is good at the effect of compared, on the other hand, the scoria of yellow is few the effect of compared and high a rate of volume function pile.

3. The friction angles of the compacted scoria except a yellow scoria were shown between 45.10° and 58.24° . That was the compaction pile of shot crusted stone.

4. It was possible to digging the soil as the diameter of 450mm and the depth of 8~10m by using auger in nohyung-dong of Jeju city, also it didn't happen to depression. The volcanic ashes made repeatedly on a trait of character of the nature of the soil in Jeju island, so I think that it is possible a method of construction the compaction pile even if it is compacted for the compaction pile of short crushed stone, a volume of sinking is not much.

5. I decide that the scoria is fairly possible to use aggregate of forming a pillar in a method of Geopier construction, when considering the strength of harden the scoria and of harden crushed stone for similarity, the scoria which bored or scoria is included among a volume of depression while compacting in the inside of a cavern construction work.

That is the more profitable of aggregate by using as a material when applying of a geopier method of construction.

I. 서 론

제주도는 신생대 제3기 ~ 제4기에 형성된 환산도로 수십 차례에 걸친 환산 분출에 의해 형성되어 지리적으로는 한반도 최남단에 위치하고 있다. 섬 중앙의 한라산을 중심으로 쉘드 화산체를 이루고 있는 제주도 전역에는 소위 오름이라 불리우는 360여개의 분석구가 분포하고 있으며, 한반도의 다른 지역에서는 찾아 볼 수 없는 특색 있는 경관을 이루고 있다.

원종관(원종관, 1975)에 의하면 본도의 화산활동은 크게 5회의 분출윤회로 구분되며 적어도 수차례에 달하는 용암분출이 노두에서 관찰된다. 분출순서에 의하여 구분된 현무암류는 광물조성과 화학조성으로 보아 대체로 조면암질로서 침상장석감람석 현무암, 반상휘석 현무암, 반상장석 현무암, 비현정질 현무암, 피크라이트질 현무암 등이다. 이들은 본도 전면적의 90% 이상을 차지한다.

화산활동의 5단계의 화산활동 및 퇴적기로 구분되어 100회 이상 용암이 분출로 형성된 제주도의 지질학적 특성은 육지의 화강토와 많은 차이를 나타내고 있어, 건설공사를 수행하기 위한 지반조사나 구조물의 축조를 위한 하부 기초공사시 많은 어려움을 겪게 하고 있다.

본 연구는 현재 제주도는 국제자유도시 개발 등을 위해 공항, 항만, 도로 등에서 많은 건설공사가 수행되거나 수행될 예정으로 있으며, 이들 공사는 과거보다는 대형화되는 경향이 있다. 특히 자연환경보전을 위하여 도시는 점점 밀집화 되어가고 있으며, 시설물은 중·대형화하고 있는 실정에 있다.

이러한 시점에서 중·대형 구조물에 대한 기초연구가 필요하여 제주도의 지반을 형성하고 있는 송이에 대하여 쇄석다짐말뚝공법을 시공 과정에 진동다짐으로 인한 혼합 또는 형장에서 발생하는 송이를 쇄석과 혼합하여 시공할 때 기초재료로서 강도를 유지할 수 있는지를 분석하고자 한다.

송이의 쇄석다짐말뚝에 대한 재료 적합성에 관한 연구는 1980년대 중반 미국의 Dr. Nat. Fox에 의하여 고안된 Geopier 공법(남정만, 고희성, 2003)으로

서 제주도의 지질에 적합성 여부를 검토하는 연구이다. 세부적인 연구의 목적은 다음과 같다.

- ① 짧은 쇄석 말뚝 공법에서 지반강도 및 사용골재의 강도 등에 대한 기술 자료의 검토한다.
- ② 제주도 지역의 지반특성과 송이(화산 쇄설물)의 물리적 성질 검토한다.
- ③ 송이(화산 쇄설물)의 다짐특성과 다짐송이의 강도특성에 대하여 연구하여 송이의 쇄석 말뚝 공법의 골재로서의 사용가능성에 대하여 연구한다.
- ④ 제주도 화산지층에서 짧은 쇄석 다짐 말뚝 공법의 적합성 여부를 종합적으로 검토한다.

따라서 본 연구에서는 우선 제주도의 지질을 이해하기 위하여 제주도의 지질 특성과 건설공사 시 많은 어려움을 주며 제주도에 널리 분포하고 있는 송이의 물리 - 화학적 특성 등에 대한 조사를 실시하고, 송이에 대한 역학적 특성을 고찰하여 직접전단시험을 실시 하고자 한다. 여기에 사용된 대형 직접전단시험기는 송이의 입자가 일반 흙 보다 큰 관계로 전단상자의 크기가 20 x 20 x 20cm의 대형 직접전단시험기를 사용하였으며, 이 시험기를 이용하여 송이의 강도특성, 종류에 따른 특성, 입자의 파쇄특성, 밀도에 따른 강도특성, 함수비 변환에 따른 분석 등에 대해 고찰하고자 한다.

본 연구에서는 짧은 쇄석 다짐 말뚝 공법이 제주도 화산지층지반에 구조물의 기초로써 적용성을 검토하기 위하여 제주도 골재의 역학적 성질 및 파쇄특성과 짧은 쇄석 다짐 말뚝의 시공 시 골재로써의 사용가능성에 대하여 검토하고자 한다. 세부적인 연구내용과 방법은 다음과 같다.

- (1) 짧은 쇄석 말뚝 공법에서 지반강도 및 사용골재의 강도 등에 대한 기술 자료의 검토
; 짧은 쇄석 말뚝 공법 적용시의 대상지반의 강도특성을 재정리함으로써 제주도에 짧은 쇄석 말뚝 공법의 적용성을 검토한다. 또한 사용골재의 강도기준을 검토함으로써 제주도지역의 송이(화산 쇄설물)를 쇄

석 말뚝 공법에 적용이 가능한지 여부를 검토한다.

(2) 제주도 지역의 지반특성과 송이(화산 쇄설물)의 물리적 성질 검토

; 제주도 각 지역의 지반특성을 토질주상도 등을 통하여 검토한다. 또한 실내실험 등을 통하여 송이의 물리적 성질에 대하여 연구한다.

(3) 다짐송이의 역학적 특성 연구

; 송이(화산 쇄설물)의 다짐특성과 다짐송이의 강도특성에 대하여 연구하여 송이의 쇄석 말뚝 공법의 골재로서의 사용가능성에 대하여 연구한다. 다짐송이의 강도특성을 연구하기 위하여 대형 직접전단시험기를 제작 검토한다.

(4) 제주도 화산지층에서 짧은 쇄석 다짐 말뚝 공법의 적합성 여부를 종합적으로 검토 ; 쇄석 다짐 말뚝 공법에 대한 재정리와 제주도 지역의 지반특성, 송이(화산 쇄설물)의 강도 특성 등을 검토하여 종합적으로 제주도 화산지층에서의 쇄석 다짐 말뚝 공법에 대한 적합성 여부를 검토한다.

Geopier공법은 1989년 이후 현재까지 미국 내의 300여 개 이상의 구조물 기초공사에 활발히 적용되고 있다. 또한 “Intermediate Foundation”으로 표현되어지며 깊은 기초와 얇은 기초의 중간개념으로 직경 0.75m 내외, 길이 2~7m의 굴착 공을 천공한 후 바닥에 골재를 깔고 다짐으로 구근을 형성하고 단계별로 골재 깔기 및 다짐을 반복하여 말뚝을 형성하는 공법이다. 이와 같은 7m 내외의 근 입 깊이는 제주도의 지층특성과는 아주 부합된 근 입 깊이라 할 수 있으며 Geopier에 사용되는 골재도 제주도에 널리 분포하여 쉽게 구할 수 있으리라 추측된다. 그리고 깊은 기초에 비해 비용이 저렴하고 시공 기간이 짧으며 얇은 기초에 비해 침하와 지진하중에 대한 관리가 용이하다는 장점이 있다. 따라서 Geopier의 효과 및 적용성에 대한 심도 깊은 연구가 필요하다 하겠다.

II. 제주도 지역의 지반특성

1. 제주도 지반의 형성

1) 지반형성

제주도는 주로 알칼리성 용암류의 연속적인 분출에 의해서 만들어진 순상 화산체로서 제주화산섬의 지질구조는 신생대 제4기초의 서귀포 층, 제4기 후기에 형성된 화산쇄설 성 퇴적층인 성산층과 신양리층 등의 퇴적암층과 현무암, 조면암질 안산암, 조면암등의 화산암류, 기생화산에서 분출된 화산쇄설물 등으로 구성되었다.(윤선외 2인, 1995)

화산활동의 5단계의 화산활동 및 퇴적기로 구분되어 100회 이상 용암이 분출되어 제1단계(120만년 이전)는 기저현무암을 분출하여 지하 깊은 곳에 분포하고 제주화산체의 기반을 형성한 현무암은 주로 남부 해안선을 따라 서귀포와 모슬포를 있는 구조선상에 분출된 것으로 추정된다.

제2단계(120만년 - 70만년전)에는 서귀포층 퇴적기로 패류화석을 산출하는 해양퇴적층인 서귀포층 퇴적된 시기로 빙하성 해수면 변동을 받아 제주화산체가 바닷속에 잠기는 현상에 의하여 형성되었고(고기원, 1997), 제3단계(70만년 - 40만년전)는 용암대지형성기로 현재 제주해안선의 모양을 만든 시기로 화산활동이 매우 활발하여 제주도 전 지역에 걸쳐 많은 량의 용암이 분출하였고, 제4단계(40만년 - 20만년전)는 한라산 중심으로 분출, 한라산을 중심으로 중산간지대와 고지대의 한라산은 해발 1,600m정도의 한라산 화산체를 형성한 것으로 보인다.

제5단계(20만년 이후)는 작은 화산(오름) 활동기로 한라산 정상외 화산 활동으로 한라산을 중심으로 작은 화산들이 동시 다발적으로 폭발하여 수많은

오름이 형성 되었고, 이 화산활동 최후기에 백록담 분화구가 폭발하여 제주도의 화산활동 종료된 것으로 보인다. 여러 번에 이루어진 화산활동으로 건설공사 등이 이루어지는 지층은 대부분이 토사 층 이하에 송이 층, 암반층이 반복적으로 형성되었으나 암반층의 두께가 얇은 지층이 많아 말뚝기초 시공이 어려운 지층 구조이다.

제주도의 장축과 일치하는 방향으로 집중적으로 배열되어 있는 분출 생성된 360여 개의 작은 화산체는 제주도에서는 이를 □□오름□□이라 한다. 이러한 화산은 현무암추(Basalt cone)와 분석구(Cinder cone)의 두 종류로 크게 분류할 수 있다. 전자는 성산층 및 화순층 퇴적기에 형성된 화산구(Volcanic cone)로서 10 여 개에 불과하고 대부분은 후기 화산활동 후에 형성된 분석구이다.

제주도를 구성하는 화산암류는 알칼리 현무암, 하와이 아이트, 뮤저라이트, 조면암, 소량의 쏘리아이트로 이루어져 있으며, 점성이 낮은 현무암질 용암류에 의해 만들어진 넓은 용암대지에는 다양한 현무암질 화산암류와 국부적으로 현무암질 분석, 현무암질 응회암이 분포하고 있다. 또한 해안지역 일부에서는 사질암(서귀포층), 현무암질 사암 혹은 역암(신양리층)이 노출되며, 신양리층과 유사한 암상을 가지는 저고결 퇴적암층의 잔해들이 섬의 남부 혹은 동부 해안 일부지역에서 관찰된다. 이들 화산암은 해수면 하 약 100 m 까지만 존재하고, 그 이하는 시대미상의 미고결 퇴적층 및 중생대로 추정되는 기반암이 분포한다.

제주도의 지질은 제4기초의 서귀포층, 중기 및 후기의 화산쇄설층인 성산층과 신양리층 등의 퇴적암층과 현무암, 조면암질 안산암, 조면암 등의 화산암류, 기생화산에서 분출된 화산쇄설물 등으로 구성되어 있다.

제주도는 섬전체가 제4기의 신선한 화산암류로 구성되어 있으며 특이한 화산들이 발달하여 있고, 장축인 북동동~남서서 방향성을 보이는 반타원형의 화산도로서 순상화산(shield volcano)의 지형특성을 보이고 있다.

본도는 평면상으로 장경의 방향이 N 70. E, 장경 73km 단경 31km로서 섬주위는 낮은 경사의 화산대지를 보이나 중앙부로 갈수록 경사가 급해지며 중앙부에 1950m 높이의 한라산이 위치하고 있다.

한라산 정상에 백록담은 구경 700m, 심도 100m의 분화구가 형성되어 있으며 분화구의 남서편은 돔(dome) 형태의 조면암으로 구성되어 있고 절벽을 보이며, 동편은 현무암으로 구성되어 있어 완만한 경사를 보여주고 있다. 한라산체를 벗어난 제주도의 저변지역은 경사도 5도 이내의 평탄한 저지대를 이루고 있으며 분석구(cinder cone or scoria cone)들이 여러 군데 발달하여 있다. 본 분석구들은 정상부에 화구가 있거나 혹은 형성되어 있지 않은 스킨아구(scoria mound), 그리고 화구 일부분에서 용암(lava)이 하부로 흘러내려 한쪽편이 침식된 소위 말굽형(horse-shoes type) 화구가 많으며, 전체적인 용암의 분포를 추적해 볼 때 혀를 내민 모양(tongue-like)의 지형을 나타내는 분석구들로 구분하고 있다. 또한 해변을 따라서는 화산쇄설층으로 구성되어 있는 응회환(tuff ring)이나 응회구(tuff cone)들이 발달하여 있으며, 이들은 제주도의 서부 고산일대, 남서부의 송악산과 산방산 주변, 동남부의 표선에서 성산, 우도일대에 분포되어 있다.

2) 송이의 정의

화산분출물 중 다공질이며 암색(검정, 적갈색, 암회색 등)인 암괴(岩塊)로 암재라 한다. 마그마가 대기 중으로 방출되어 그 속의 휘발성 성분이 빠져나가 많은 기공(氣孔)이 생긴 것으로 부석(浮石)보다 무겁고, 염기성 또는 중성의 마그마에서 유래된 것을 스킨아(scoria)라 한다. 이러한 암재를 제주도 방언으로 송이라 한다.

한라산 화산체의 국부적인 지형의 특징은 중심 화산의 활동이 정지된 후 그 주변의 틈을 이용하여 분출 생성된 360여개의 기생화산과 깊은 관련이 있다. 제주도에는 기생화산이 널리 분포되어 있으며 장축과 일치하는 방향으로

집중적으로 배열되어 있고 제주도에서는 이를 “오름”이라 한다. 이러한 기생 화산은 현무암추(Basalt cone)와 분석구(Cinder cone)의 두 종류로 크게 분류할 수 있으며, 전자는 성산층 및 화순층 퇴적기에 형성된 화산구(Volcanic cone)로서 10여개에 불과하고 대부분은 후기 화산활동 후에 형성된 분석구이다.

화산의 화구로부터 분출되는 암편과 화산회를 총칭하여 화산쇄설물이라고 하는데, 그 중 직경이 32mm 이상인 것이 화산암괴(Volcanic block)라 하며, 이 중 어느 정도 둥글거나 방추형으로 생긴 것을 화산탄(Volcanic bomb)이라고 하며 이는 용암이 공중에서 회전하면서 냉각되어 만들어진 것이다. 모양이 불규칙하고 직경이 4~32mm 사이에 있는 것을 화산력(lapilli) 또는 분석(cinder)이라고 하고, 4mm 이하의 세편을 화산회(Volcanic ash), 0.25mm 이하의 가루를 화산진(Volcanic dust)이라 하며 이러한 화산쇄설물이 낙하하여 퇴적되어 있는 지층을 스킨리아(Scoria)층이라 한다. 스킨리아로 구성된 분석구는 분출 퇴적 범위는 수 km이며, 분화구에서 3km 지점에는 1cm 크기의 스킨리아가 10cm 두께로 층을 이룬다고 한다. 스킨리아로 구성된 분석구 분포지역은 스킨리아의 물성에 좌우된다. 스킨리아는 기공의 함량이 높고 각력상으로 산출된다. 이러한 조립질층 상위에는 미립질 스킨리아가 협재되어 층리를 형성하고 있다. 분석구 가까이 개설되어 있는 구조물(도로, 건물)은 지하에 분포해 있는 스킨리아층의 물성으로 인하여 지반이 불안정하게 되기 쉬우며 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

3) 제주도내 송이의 분포

송이는 색상에 있어서 검정색, 적색, 황색 등으로 크게 세가지로 구별하고, 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 흑색(Black) 및 암회색(Dark-Grey) 등으로 세분할 수 있으며, 이장에서는 우선 이러한 송이의 제주도내 분포를 지역별로 분류하여 화학적 성분과 물리적 특성 등을 검토하여

보고자 한다. 그리고 이들의 공학적 특성을 검토하기 위하여 안돌오름, 지미봉, 거문오름, 월랑봉 옆, 다호농장, 두산봉 등 6개 지점에서 채취한 송이를 대상으로 실험을 실시하였다. 송이는 원 지반이 크고 많은 기공을 가지고 있는 연속체인 덩어리로 되어있어 채취시 다양한 입도로 분해되므로 흙으로 분류되기에는 다소 문제를 내포하고 있으나, 흙으로 간주하여 이에 대한 물리·화학적 특성 등에 대한 조사를 실시하고, 대형 직접전단시험기를 이용하여 송이의 강도특성, 종류에 따른 특성, 입자의 파쇄특성, 밀도에 따른 강도특성, 함수비 변화에 따른 분석 등에 대하여 고찰하고자 한다.

제주도내 송이의 분포를 조사하기 위하여 일부는 채취하였으며, 일부는 다른 문헌(윤정수, 1995)을 참고하여 송이에 대하여 검토하였다. 이들 자료는 북제주군 지역을 위주로 하였지만 일반적으로 적갈색 송이가 20개 지역으로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며 이들 특히 중산간지역에 많이 있는 것으로 나타났다. 다음으로는 황갈색 송이가 9개 지역, 흑색 송이가 5개 지역 그리고 암회색 송이가 6개 지역에 분포하는 것으로 나타났으며 암회색 송이는 주로 해안 지역에서 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다.

2. 깊은 기초의 문제점

제주도는 반복적인 화산활동에 의해 지반은 화산 쇄설층의 퇴적암층 및 현무암, 조면암질 안산암, 조면암 등의 화산암류와 작은 화산체(오름)에서 분출된 화산 쇄설물 등으로 구성되어 있다. 제주도 내에 분포하는 암반층의 두께는 얇게는 1m이내에서 아주 두꺼운 경우에 10m에 해당하는 경우도 간혹 있다.

이러한 암반층 사이에는 화산분출로 인해 형성된 송이(화산 쇄설물)층이 2~3m의 두께로 여러 층에 걸쳐 존재한다. 송이는 화산분출물 중 다공질이고 암색(검정색·적갈색·황갈색·암회색 등)인 암괴로, 분포하는 두께가 상당히

불규칙하며 파쇄성이 매우 큰 지층이다. 암반과 송이는 화산분출 당시의 상황에 따라 강도나 파쇄성 등의 강도특성에 큰 차이를 보이고 있다.(소재관, 2002)

제주도는 국제자유도시 추진 등으로 구조물의 중, 대형화로 인하여 교대나 구조물의 기초로서 말뚝의 사용이 조금씩 증가하고 있다. 그러나 제주도에서 항타 말뚝은 지질적인 특성으로 인해 적용이 어려운 현실이다. 왜냐하면 말뚝 타격 시 주변지반에 미치는 영향이 크고 말뚝의 선단부가 지지층에 도달하였다 할지라도 얇은 층을 만나는 경우가 자주 있으며, 불규칙한 지반으로 인하여 항타를 시행 할 때에 말뚝이 손상을 입는 경우가 많기 때문이다. 이로 인하여 말뚝시공은 지반을 먼저 천공한 후 관입하는 방법이 주로 사용되어지고 있지만 이 역시 천공 후 지반이 이완되는 현상의 문제점이 있고 천공으로 확인된 지지 암반층이 구조물의 하중을 받을 수 있는 정도의 두께를 확보하고 있는지 의문이다. 즉, 기존의 말뚝 시공 방법 적용은 제주도의 지질적 특성을 고려한 기초공법이 요구되고 있는 실정이다.

Ⅲ. 쇄석다짐말뚝 공법

1. 개요

짧은 다짐 쇄석 말뚝 공법(Geopier공법)은 깊은 기초와 얇은 기초의 중간개념으로 직경 0.75m 내외 깊이 2~7m의 굴착공을 천공한 후 바닥에 골재를 깔고 다짐으로서 구근을 형성하고 단계별로 골재 깔기 및 다짐을 반복 시행하여 말뚝을 형성하는 공법이다.(남정만, 고희성, 2003)

Fig 3.1과 같이 시공 중 다짐을 통해 구근을 형성하며 이것은 Geopier를 따라 생기는수평 토압을 증가시켜 마찰전단저항을 증가시킨다. 시공 후 일반적으로 Geopier 내부마찰각의 범위는 48~52. (Fig 3.2 참조)이고 주변 흙의 강성은 시공 전 흙의 10~40배이다.

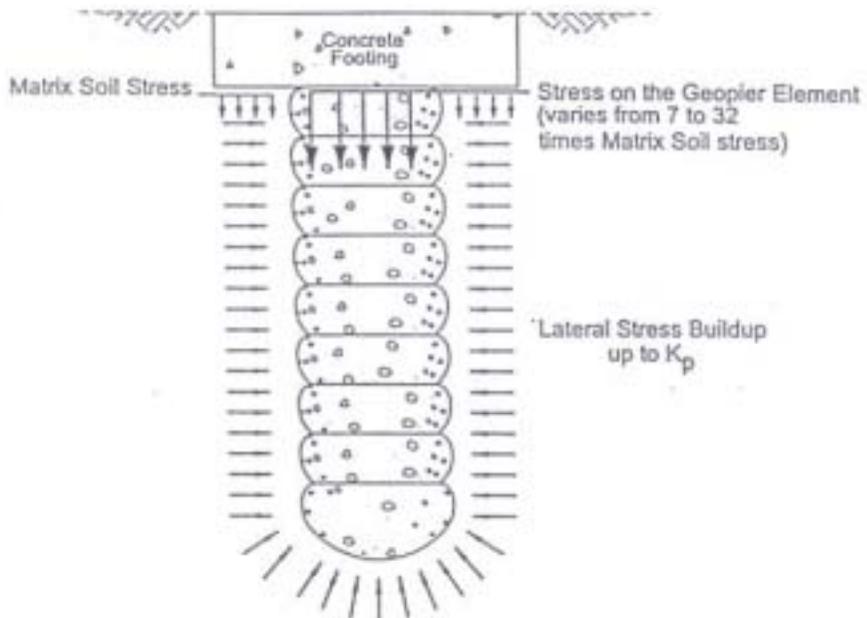


Fig 3.1 Geopier load bearing

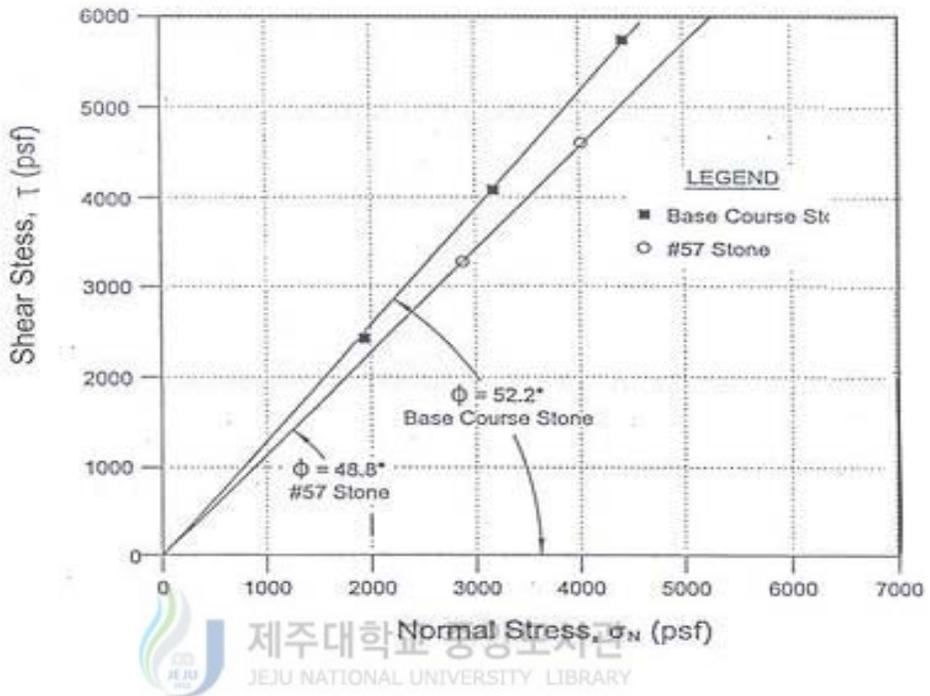


Fig 3.2 internal friction angle of Geopier

2. 쇠석 다짐 말뚝의 시공법

쇠석 다짐 말뚝의 Fig 3.3과 같다시공법은 . 첫 번째 단계는 골재를 투입하기 위한 공동을 굴착하는 것이다. 일반적으로 과여지는 공동의 깊이는 지표면에서 약 2.5~8m로 다양하며 지름은 600~900mm로 형성된다. 그 때 흙벽이 안정적이지 않고 지반의 함몰이 발생할 때 케이싱이 일시적으로 사용된다. 필요로 되는 깊이에 케이싱을 놓고 한번에 300mm 정도를 위로 올리면 그때 케이싱의 아래에 각각의 층이 형성된다. Geopier 요소들의 가장 일반적인 공내 지름은 759mm 이다.

두 번째 단계는 공내에 깨끗하고 분쇄된 골재들을 넣은 후 높은 에너지를 주는 경사진 다짐장치로 골재를 다짐으로써 안정적인 밑바닥이 형성된다. 골

재에 가해진 에너지는 진동 에너지가 아니고 일반적으로 분당 300~600번의 주기를 갖는 제한된 범위(약 10mm)에서의 충격 다짐에너지이다

세 번째 단계는 입도가 좋은 분쇄된 골재의 얇은 층(약 300mm)의 밑바닥 구근위에 넣은 후 조밀하고 매우 강성이 큰 pier를 형성하기 위해 같은 다짐 장치로 다진다. 이와 같은 방법으로 시공을 계속한다.

마지막 단계는 완성된 pier의 위쪽에서 아래쪽으로 선행하중을 적용하는 것이다. 이 선행하중은 pier와 주변 matrix soil에 미리 응력과 변형을 주어 강성과 시스템 능력을 향상시킨다.

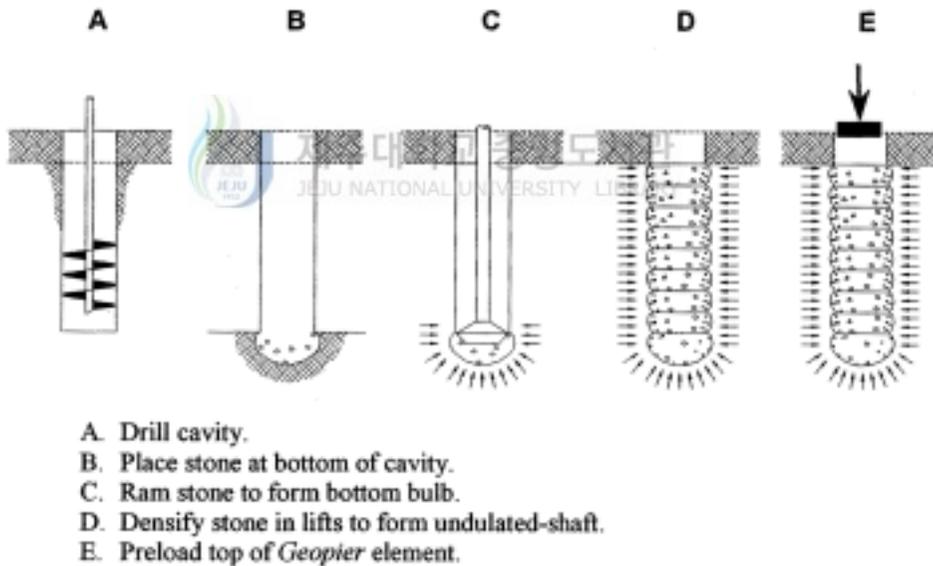


Fig 3.3 construction process of Geopier

3. Geopier의 파괴거동

단일 Geopier 부재와 군Geopier 부재의 파괴거동은 Geopier를 설치하는 동안의 주변 흙의 응력 상태, 재하된 푸팅, Geopier 보강 부재, 주변 흙 사이에

생기는 복잡한 하중전이 메커니즘으로 인해 매우 복잡하다. 이와 같은 복잡한 상호작용을 이해하기 위해 한계평형이론(Limit equilibrium theory)을 적용한다.

Fig 3.4는 Geopier로 보강된 푸팅이 한계평형파괴방식으로 되기 위한 파괴거동을 나타낸다. Fig 3.4에서 각각의 경우에 대한 파괴거동을 보면 다음과 같다.

- (a) 각각의 Geopier 부재의 팽창파괴 : 주변 흙이 약하거나 상대적으로 균질할 경우 말뚝의 상단부(직경의 2~3배 정도의 길이)가 블록해지면서 파괴되는 팽창파괴가 발생한다.
- (b) Geopier 부재 선단아래의 전단파괴
- (c) Geopier로 보강된 주변 흙 안의 전단파괴: 견고한 지지층에 놓인 Geopier는 지표면 부근에서 전반전단파괴가 발생한다.
- (d) Geopier로 보강된 주변 흙 바닥면 아래의 전단파괴 : 강성이 있고 입도가 좋은 흙을 포함하는 지지층에서 전단파괴가 발생한다.

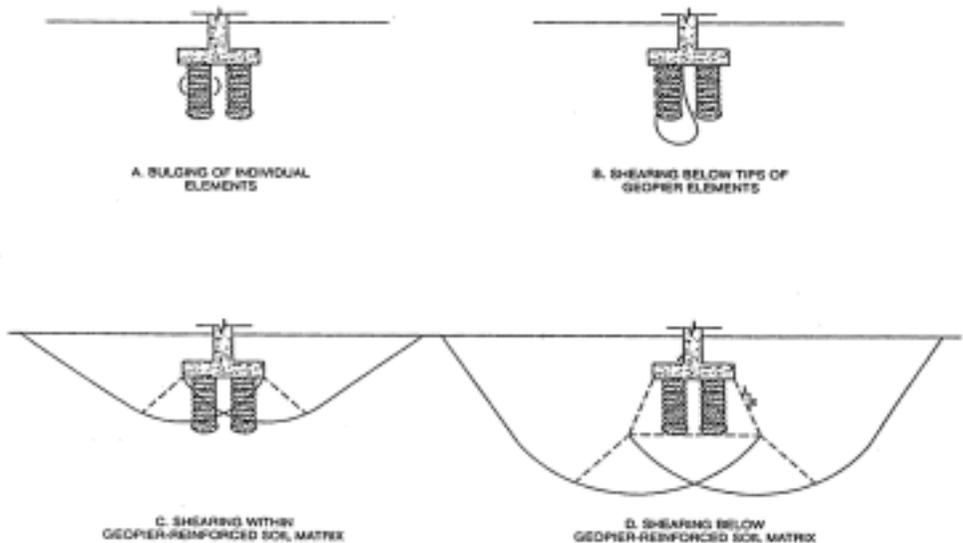


Fig 3.4 failure mechanism of Geopier

4. Geopier 지지력

Geopier의 지지력은 3.3절에서 보았던 4가지의 파괴거동에 따라 나타낼 수 있으며 파괴거동에 따른 지지력은 다음과 같다.

1) 각각의 Geopier 부재의 팽창파괴

Hughes와 Withers(1974)는 공동팽창이론(Cylindrical cavity expansion)을 사용하여 다음과 같이 표현하였다.

$$q_{ult, g} = \sigma_{r, \lim} \tan^2 (45 + \phi_g/2)$$

여기서, $q_{ult, g}$: Geopier 선단에 작용하는 극한 지지력

ϕ_g : 쇄석의 내부마찰각

극한 방사 응력(Limiting radial stress, $\sigma_{r, \lim}$)은 다음 식으로 계산된다.

$$\sigma_{r, \lim} = \sigma_{r, o} + c \left(1 + \ln \left[\frac{E}{2c(1 + \mu)} \right] \right)$$

여기서, $\sigma_{r, o}$: Geopier 설치 후와 푸팅하중 적용 시 종 방사 응력

c : 주변 흙의 비배수 전단강도

E : 주변 흙의 탄성계수

μ : 주변 흙의 포아송비

Geopier 설치 후 종 방사 응력은 유효 방사 응력과 간극수압의 합이다.

2) Geopier 부재 선단아래의 전단파괴

Geopier 재료 무게를 무시한 Geopier 부재의 상부에 적용된 총 하중 ($Q_{top, g}$)은 주변마찰력(Q_{shaft})과 선단 지지력($Q_{tip, g}$)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{top, g} = Q_{shaft} + Q_{tip, g}$$

이것을 다시 쓰면

$$q_{ult, g} A_g = f_s A_{shaft} + q_{tip, g} A_g$$

여기서, $q_{ult, g}$: Geopier 상부에 작용한 극한 응력

A_g : Geopier의 단면적

f_s : Geopier 주변의 평균 단위 마찰각

A_{shaft} : Geopier 주변의 면적

$q_{tip, g}$: Geopier의 선단 지지력

이식을 다시 정리하면

$$q_{ult, g} = \frac{f_s A_{shaft}}{A_g} + q_{tip, g} = \frac{4f_s d_{shaft} H_{shaft}}{\pi d^2} + q_{tip, g}$$

여기서 d_{shaft} : Geopier의 주면 직경

d : Geopier의 표준 직경

H_{shaft} : Geopier의 길이

Geopier 부재의 선단 지지력은 Terzaghi-Buisman, Meyerhof, Janbu 등의 식을 적용하여 구할 수 있다.

3) Geopier로 보강된 주변 흙 안의 전단파괴

파괴면에 따른 재료의 전단 강도는 주변 흙의 전단에 대한 마찰 저항과 Geopier 부재의 전단에 대한 마찰 저항에 의해 결정된다. Mitchell(1981)은 이런 상태를 해결하기 위해 Priebe(1978)와 Aboshi(1979) 등에 의한 복합 전단 강도 계수를 사용했다. 복합 전단강도 계수가 결정되면 복합 주변 흙의 지지력은 Terzaghi -Buisman 지지력 공식을 사용하여 계산한다.

$$\phi_{comp} = \tan^{-1}[R_a n \tan(\phi_g) + (1 - R_a n \tan(\phi_s))]$$

$$C_{comp} = (1 - R_a n) C = R_a C_g + (1 - R_a) C_s$$

여기서, ϕ_{comp} : 보강된 지반의 복합 마찰각

C_{comp} : 보강된 지반의 복합 점착력

R_a : 전단면에서 주변 흙의 총면적과 Geopier의 면적비

n : 주변 흙과 Geopier에 작용한 응력비

ϕ_g : Geopier의 마찰각

ϕ_s : 주변 흙의 마찰각

C_g : Geopier의 점착력

C_s : 주변 흙의 점착력

4) Geopier로 보강된 주변 흙의 바닥면 아래의 전단파괴

이 경우 일반적으로 Terzaghi-Busimanm의 식을 사용하여 계산된 값과 다음의 보강된 Geopier 지반층 저면에서의 계산된 값을 비교하여 구한다. 강화된 Geopier 층 저면에 일어난 응력(q_{bottom})은 푸팅 저면 아래에서 수직, 수평의 비가 2:1에서 하중 확산이 증가된다는 가정에 의해 계산된다.

$$q_{bottom} = q \frac{BL}{(B+L)(L+H)}$$

여기서, q : 푸팅의 최대 지지압력

B : 푸팅의 폭

L : 푸팅의 길이

H : 강화된 지반 층의 두께

5 Geopier공법의 적용시 고려사항

1) 골재

Geopier공법 작용 시 사용되는 골재에 대한 고려가 필요하다. Geopier 하단의 구근 형성에 사용되는 골재는 미세한 골재를 포함하지 않은 개입도 (Open-Graded)이어야만 한다. 연약한 하단의 경우에서 세척된 4인치 골재와 같은 직경의 골재가 사용되고 더 단단한 하단의 경우에는 더 작은 직경의 골재가 사용된다.

Geopier 기둥 형성에 사용되는 골재는 파쇄된 석회암 또는 재활용된 콘크리트로 구성된 일반적인 골재의 입도와 단위 중량은 다음 Table 2.1, 2.2와 같다

Table 2.1 aggregate gradation  제주대학교 중앙도서관 UNIVERSITY LIBRARY

체의 눈금	통과 백분율(%)
1 in	100
3/4 in	90 - 100
No. 4	30 - 75
No.8	15 - 50
No. 200	2 - 15

Table 2 .2 aggregate unit weight

요소	측정값
습윤단위중량	2.23 g/cm ³
함수비	2 %
건조단위중량	2.18 g/cm ³
포화단위중량	2.35 g/cm ³

특별한 경우인 천공된 공내에 물이 있는 경우 바닥 아래지반에는 입도가 좋은 재료는 포화 시 압축하기 힘들기 때문에 개입도(Open-graded)의 재료가 사용된다. 또한 Geopier가 매우 연약한 지반에서 시공되거나 그 옆에서 바로 시공된다면 골재에 시멘트를 첨가할 수도 있다.

2) Geopier의 적용 정도

모든 기초시스템이나 보강시스템이 그렇듯이 Geopier도 모든 경우에 적합한 것은 아니다. 시공지역과 지반조건에 따라 Geopier기초가 예상 하중에 대한 효과적인 지반보강에 부적절하거나 한계가 있는 경우도 있다. 결국, Geopier 기초보다 저렴한 비용이 드는 공법이 적용 가능하거나 대체공법에 비해 뚜렷한 비용절감 효과가 나타나지 않은 경우가 있다.

Geopier 기초는 부재 각각 10,700kgm²까지 지지할 수 있다. Geopier 기초는 또한 이탄토나 폐기물 매립토 같은 연약토의 경우 작거나 중간정도의 하중의 지지할 수가 있다. 그러나 다른 공법과 같이 대상 지반의 자연적인 성질에 따라 시공 가능성 여부를 판단할 수 있다.

지반은 Geopier 부재에 의해 기초의 침하 분석 시 지반 강도에 관계없이 균질하다고 가정하며 그 결과 부재는 균질한 지반 안에서 파괴되는 것으로 설계된다. 경우에 따라 이탄토나 유기질 함량이 많은 지반같이 Geopier 부재에 의해 관통될 정도로 매우 연약한 지반도 존재한다. 또한 연약지층 아래 Geopier 부재의 길이를 늘리지 않아도 쉽고 경제적으로 도달한 만큼 깊이 않은 지점에 강도가 큰 지층이 나오는 경우도 있다. 여기서 Geopier 부재 보강 효과가 나지 않는 몇 가지 지반조건들이 있다. 매우 연약한 이탄 토질이나 유기질이 많은 지반, 음의 간극수압이 있는 입도가 작은 토질 지반, 팽창성 점토지반 등이 그것들이며 이들 지반도 Geopier 시공이 가능 하지만 그 기능에 한계가 있으며, 이런 각각의 일반적인 상황들은 다음과 같다.

가. 이탄토

수분을 많이 함유한 유기질 토인 이탄토 지반에서는 Geopier 부재로 채움재가 관통되어야 한다. 이런 종류의 지반의 압밀 특성은 압축성이 큰 이탄토, 유기질 함유량이 많은 지반에서 장기 초과 침하량에 대한 예측이 불가능하다. 일반적으로 이런 지반의 두께가 20피트 정도나 그 이하일 경우 Geopier 부재로 보강이 가능하고 침하량이 감소에 도움이 된다. Geopier 시스템 용량의 한계는 이탄토층 내부에서 Geopier 부재의 팽창정도에 따라 정해지게 된다.

나. 음의 간극수압이 존재하는 연약점토

음의 간극수압이 생성되는 연약 점성토층은 Geopier 최초 설치 직후부터의 강도 발현에 있어서 일반적인 법칙에 위배된다. 이런 연약 점성토층에서는 Geopier 기초 설치 후 얼마 지나지 않아 Geopier 복합기초의 강도가 감소한다. Geopier 기초의 침하량 감소효과는 주변 지반에 음의 간극수압이 발생하면서 감소한다.

다 . 연약지반

연약점토, 연약실트, 매우 느슨한 사질토 등 연약지반의 일반적인 형태에서 Geopier 지반 보강은 상부 영역의 강성에 있어서는 확실한 보강효과를 나타낸다. 연약지반에 설치된 Geopier기초 상부영역의 복합강성은 500% 혹은 그 이상으로도 효과가 나타난다. 이런 높은 보강 효과에도 불구하고 Geopier 기초의 적용은 가볍거나 중간정도 중량의 건축물에만 제한된다. 지지력은 대상 지역의 지반조건에 따라 침하 및 지지력 분석 수행 후 예측하여 현장 재하시험을 통해 설계 파라미터를 확정한다. 용량은 지반조건에 연약 정도, 보강될 토질 종류, 또 하부 지반의 선행 압밀 여부 등에 의해 결정된다. 조건이 나쁜 지층이 두꺼울 경우 하부 영역에 있는 두께를 감소시키기 위해 Geopier부재의 길이를 길게 한다. 그렇게 함으로써 하부영역에 있는 압축성 지반에 도달하는 수직 응력의 크기를 줄여서 침하 분석에 있어서 하부영역의 두께를 작게 할 수 있다. 침하 분석 시 이런 경우를 쉽게 볼 수 있다. 일반적으로 30에

서 40피트 정도 두께의 매우 연약한 지반 혹은 700kips 이상의 큰 하중이 재하되는 경우 말뚝 기초로 하는 것이 유리하다. 같은 지반에 폭 12피트 이하의 독립 기초도 때로는 기술적, 경제적으로 Geopier보다 유리하다.

매우 연약한 점토층(N=2)이 기초 아래 2B에서 4B 깊이에 있을 경우, 특히 매우 강성이 크거나 단단한 지층 위에 있을 경우 기초의 하중에 높으면 문제가 발생할 수 있다. 응력이 매우 작은 경우도 이 압축성이 큰 지층은 건축물의 침하에 영향을 줄 수 있다. 기초에 작용하는 하중이 매우 크거나 간격이 좁아 Geopier 보강 기초가 유동성의 매트기초같이 거동하는 경우들을 들 수 있다. 이런 경우 건물의 총 하중과 지층의 각 계수가 빌딩 침하량 측정에 사용된다.

라. 팽창성 점토

Geopier 보강을 체적의 변화(팽창)가 큰 지반 보강 시 세심한 주의가 필요하다.

주의할 점과 설계방법은 다음과 같다.

- 가) Geopier 부재를 강하시켜 부재의 선단이 “작용영역” 아래에 위치하도록 함으로써 Geopier 부재 주변 지반의 체적변화가 발생하지 않도록 한다.
- 나) 상향저항시스템을 설치하여 Geopier 부재 하부가 상부와 기초에 작용하는 상향력에 대해 저항하게 한다.
- 다) 작용영역 안에 있는 Geopier 부재 상부를 카드보드(card board) 나 플라스틱 폼으로 주변을 코팅하여 주변 마찰력을 감소시킨다.
- 라) 기초 아래에 공간을 뒤편 팽창 및 수축에 대한 공간을 갖게 한다.

체적 변화가 큰 지반에 효과를 가져오는 Geopier 기초 기술의 한가지 중요한 측면을 Geopier 부재의 응력 집중이며 이것은 큰 수직하중과 수직 응력을 발생시킨다. 이 점은 팽창성 지반의 함수량이 증가할 때 생기는 상향력에 대한 Geopier 기초의 또 다른 긍정적인 점은 Geopier 부재에 의해 지지되는 기초의 복합 지지력이 상대적으로 크다는 점이

며 보통 체적변화가 큰 지반을 포함한 세립토 지반에서 24,400 ~ 34,100kg/m² 정도의 지지력을 갖는다.

3) Geopier의 시공성

Geopier 기초는 Geopier 부재 설치에 앞서 천공을 해야하며 이것은 대부분의 Geopier의 길이가 짧기 때문에 빠르게 이루어진다. 즉, Geopier는 Geopier 부재 하나 시공 시 10분에서 30분이 소요될 정도로 그 시공속도가 매우 빠르다.

그러나, 지하수를 많이 함유한 모래, 쇄석, 불안정한 지반 등에서는 Geopier의 시공 속도를 저하시키는 요소가 있는데 이러한 문제에 대한 해법은 쇄석 지반을 관통할 수 있는 보다 강력한 천공장비를 사용하거나, 케이싱을 사용하거나, 지하수위 아래쪽의 골재를 개입도(Open-Grade)의 입도 분포를 가진 골재를 사용하거나, 지하수를 감소시키기 위해 펌핑(pumping)을 하는 방법 등이 있다.

IV. 다짐송이의 강도특성

송이가 쇄석 말뚝 공법의 골재로써의 사용가능성을 밝히기 위하여 송이의 다짐특성과 다짐송이의 강도특성에 대하여 연구한다.

1. 대상시료의 역학적 특성

1) 압도

다짐송이의 강도특성을 연구하기 위하여 시료를 채취하였는데, 적용대상 시료는 지미봉, 거문오름, 월랑봉 옆, 다호농장, 두산봉, 안돌오름 등 6개 지점에서 채취한 시료이다(시료채취장소는 Fig 4.1 참조). 그리고 채취한 시료를 Table 4.1과 같이 분류하였다.

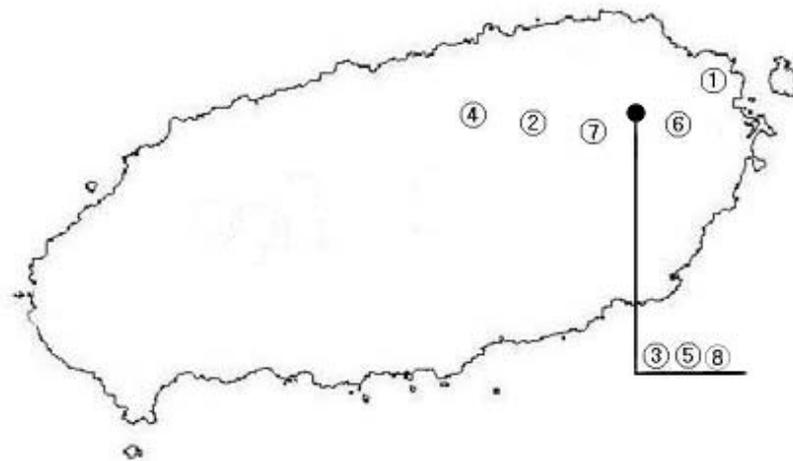


Fig 4.1 Area that pick sample

Table 4.1 Distribution of pick samples

구 분		위 치		비 고
검정색	암회색	①	지미봉	
	암회색 70%	②	거문오름	황갈색 30%
	검정색	③	월랑봉 옆(A)	
적 색	적갈색	④	다호농장	
	적 색	⑤	월랑봉 옆(B)	
황 색	황갈색 70%	⑥	두산봉	암회색 30%
	황갈색	⑦	안돌오름	
	황갈색	⑧	월랑봉 옆(C)	

채분석 시험결과는 시료가 원지반에서 채취하는 순간부터 부서짐이 일어나기 때문에 현장의 조건을 대표한다기보다, 물론 전혀 현장의 조건과 무관하지는 않지만, 시험에 사용한 시료의 조건을 보여주고 있는 것이라 보아야 할 것이다. 채분석 시험은 채취한 시료를 먼저 노건조(oven-dry)시켜 무게가 항량이 될 때까지 기다린 후, 건조된 시료를 사분법에 의해 나눠서 채분석을 실시하였다. 채분석은 각 3회씩 실시하여 평균으로 값을 나타내었다. Fig 3.3~Flg 3.9는 각 오름별 자연상태의 입도분포곡선을 나타내고 있다.

각 시료의 균등계수와 곡률계수는 Table 4.2과 같으며 시료의 입도분포곡선은 Flg 4.2 ~ Flg 4.4와 같다.

Table 4.2 samples gradation and color

Place name	D10	D30	D60	Cu	Cc	비 중	색 상
지미봉	1.40	4.90	9.00	4.74	1.40	2.70	암회색
거문오름	0.85	2.50	6.00	7.06	1.23	2.83	암회색+황갈색
월랑봉 옆(A)	1.07	3.00	5.4	5.05	1.56	2.65	검정색
다호농장	0.37	1.3	3.25	8.78	1.41	2.67	적갈색
월랑봉 옆(B)	0.20	1	3.1	15.5	1.61	2.77	적 색
두산봉	0.53	1.05	2.30	4.34	0.9	2.80	암회색+황갈색
안돌오름	0.22	1.90	5.00	22.73	3.28	2.89	황갈색
월랑봉 옆(C)	0.63	1.6	3.1	4.92	1.31	2.75	황갈색

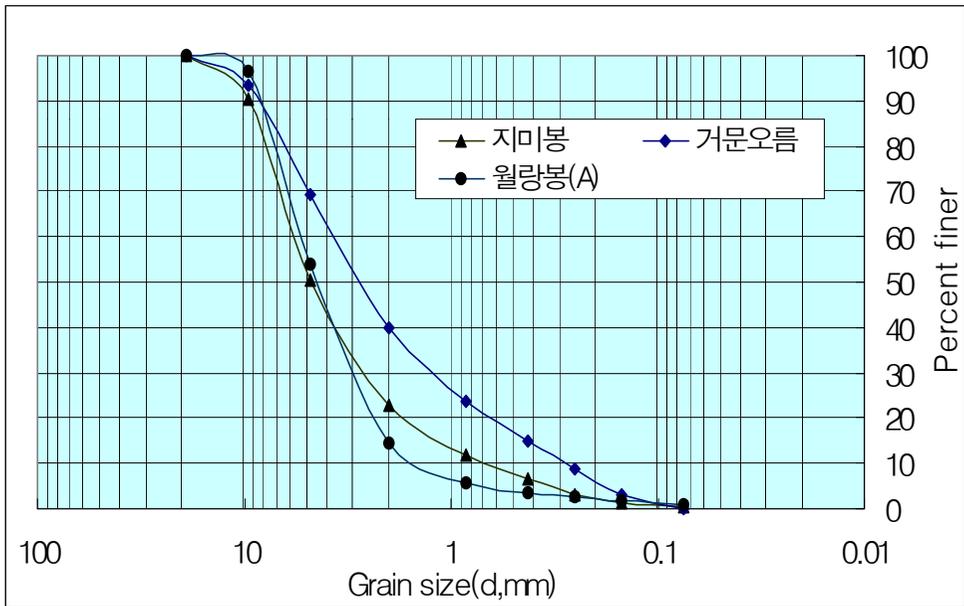


Fig 4.2 black sample grading curve(다짐시험용)

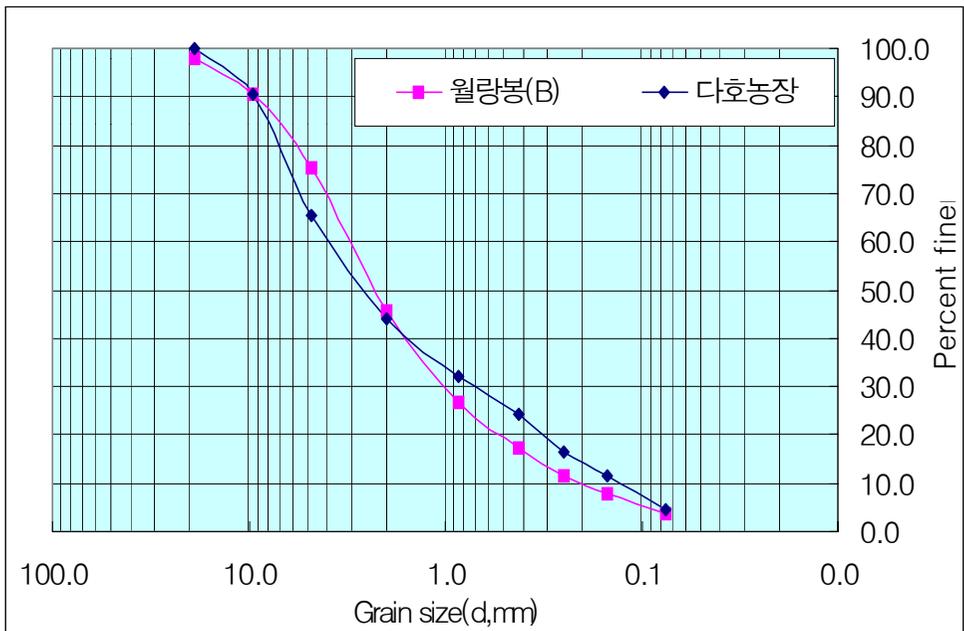


Fig 4.3 red sample grading curve(다짐시험용)

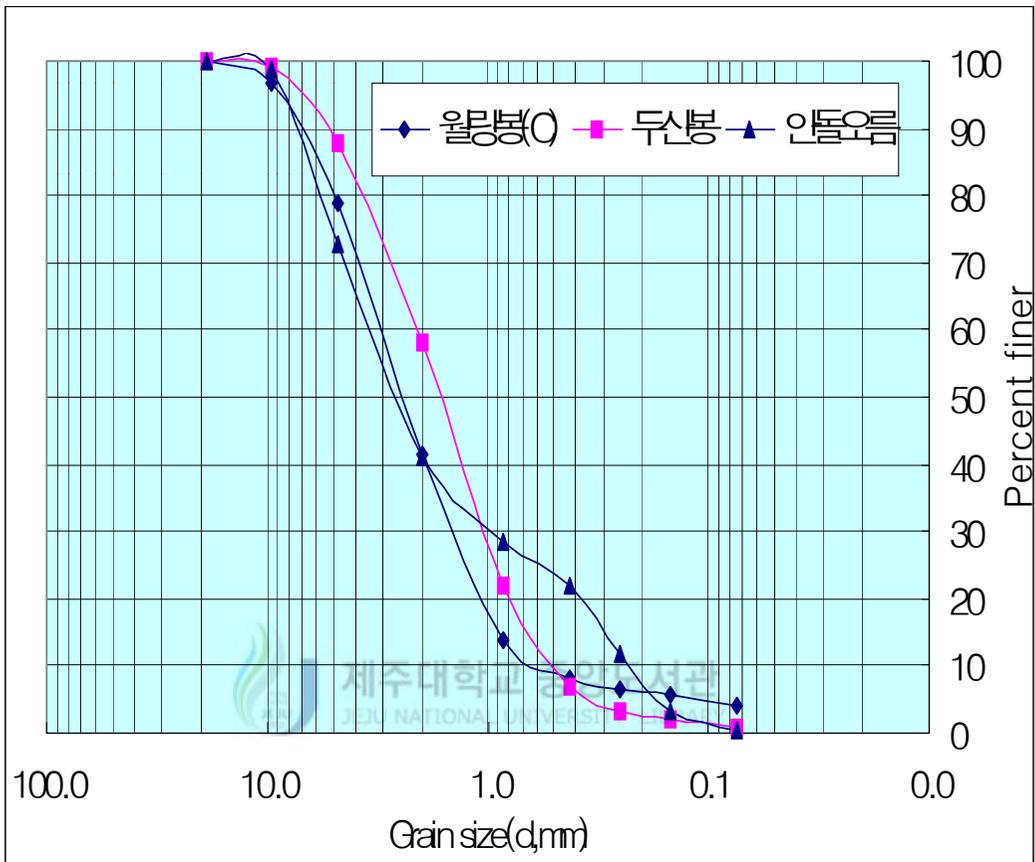


Fig 4.4 yellow sample grading curve(다짐시험용)

2) 화학 분석

XRF 시험기를 이용해 화학분석을 실시하였다. 여기서 단위는 무게의 비 (Ratio of Weight)이며, LOI(Loss of Ignition)는 950도의 온도에서 시료를 태운 후의 무게를 측정하여 950도의 온도에서 태우기 전의 무게의 비이다.

$$LOI = \frac{(\text{도가니} + \text{시료})LOI_{\text{전}} - (\text{도가니} + \text{시료})LOI_{\text{후}}}{\text{시료무게}} \times 100(\%)$$

Table 4.3는 시험에 사용된 시료들에 대한 화학분석 결과를 나타내었다.

Table 4.3 Chemical Composition of Scorias

Place name	SiO ₂ wt (%)	Al ₂ O ₃ wt (%)	TiO ₂ wt (%)	Fe ₂ O ₃ wt (%)	MgO wt (%)	CaO wt (%)	Na ₂ O wt (%)	K ₂ O wt (%)	MnO wt (%)	P ₂ O ₅ wt (%)	LOI wt (%)	Total wt (%)
지미봉	43.51	20.82	2.87	12.61	4.06	5.32	2.12	1.68	0.19	0.48	6.24	99.90
거문오름	42.23	20.06	2.96	14.40	3.20	4.46	1.51	0.60	0.30	0.56	9.66	99.93
월랑봉 옆(A)	48.99	14.53	2.42	12.27	7.93	8.73	2.67	1.33	0.15	0.45	0.14	99.62
다호농장	48.20	16.15	2.54	11.18	4.05	7.08	2.61	1.48	0.16	0.48	5.14	99.06
월랑봉 옆(B)	48.60	14.28	2.38	12.30	7.46	8.21	3.02	1.63	0.15	0.52	0.83	99.37
두산봉	44.68	15.93	2.63	13.63	7.84	7.38	2.30	0.93	0.20	0.50	4.07	100.08
안돌오름	31.27	19.84	4.03	19.31	3.55	1.20	0.31		0.41	0.73	18.36	99.00
월랑봉 옆(C)	43.45	15.63	2.79	14.62	8.25	6.99	1.42	0.58	0.18	0.49	5.82	100.22

2. 송이의 다짐특성

선정된 8개 시료에 대하여 다짐시험을 실시하여 각 시료의 최적함수비와 최대건조밀도를 구한다. 이때의 허용최대입경은 19.2mm이다. 다짐시험결과로 시공함수비와 현장다짐 건조단위밀도(최대건조밀도의 95%)를 설정 이후 시공함수비와 현장다짐 건조단위밀도를 적용하여 각 시료를 다진 이후 직접전단 시험을 수행한다.(지방공학시험법 및 응용, 토질시험법)

1) 다짐 이론

다짐시험은 미국의 프록터(Proctor, 1933)가 흙댐(earth dam)의 시공관리에 관련하여서 다짐시험의 의의와 공사에 적용하는 방법을 제안한 후 사용되기

시작했고 우리나라에서도 이 시험을 근간으로 해서 KS F 2312(미국은 ASTM D 698, D 1557, 일본은 JSF T 711-1990)에 규정되어 있다.

(1) 다짐시험의 종류

KS F 2312에는 다짐시험을 Table 4.2와 같이 다섯 종류로 분류(일본도 우리나라와 동일)하고 있으나, ASTM에서는 이 표 중 A시험을 표준다짐시험, D시험을 수정다짐시험으로 두 종류로만 나누고 있다(우리나라에서도 주로 이 두 가지 시험이 행해지고 있다). 일반적인 도로의 다짐에는 A시험을 적용하나, 비행장 등 사용하중이 큰 지반을 다질 때에는 보다 큰 에너지를 가하기 위해서 D시험을 적용하며 D시험의 다짐에너지는 A시험의 다짐에너지의 약 4.4배에 달한다. 나머지 다른 시험들은 현장의 사용하중에 맞는 다짐에너지, 다짐 대상 흙의 입경 등에 따라 적절히 선택하여 사용하게 된다.

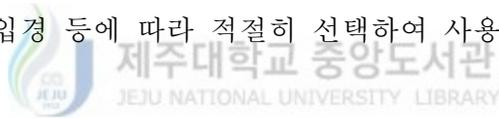
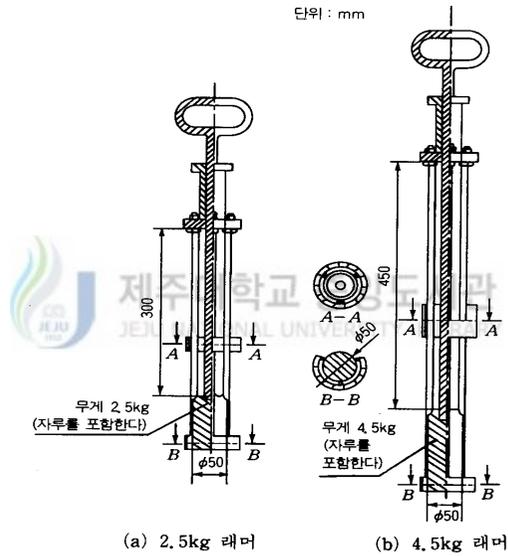
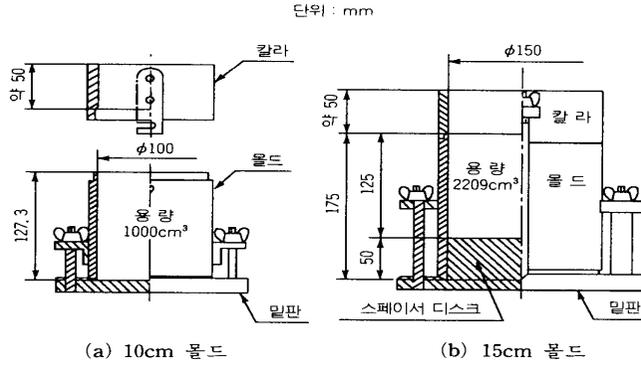


Table 4.4 compaction test type (KS F 2312, 1995년)

다짐시험의 호칭명	램머무게 V_m (kgf)	램머 낙하고 h (cm)	몰드내경 (cm)	다짐 층수 N_d	층당 다짐회수 N_h	시료의 허용 최대입경 (mm)
A	2.5	30	10	3	25	19.0
B			15	3	55	37.5
C	4.5	45	10	5	25	19.0
D			15	5	55	19.0
E			15	3	92	37.5

다짐시험에 사용되는 몰드, 램머 등은 그림 4.5와 같다. 또 식 (4.1)은 다짐 에너지를 계산하는 식이며 Table 4.5는 이 식을 이용해서 구한 각 시험의 다짐 에너지를 나타낸다.



(a) 몰드, 칼라 및 밀판

(b) 래머

Fig 4.5 다짐시험기(KS F 2312)

$$E_c = \frac{W \cdot h \cdot N_d \cdot N_h}{V_m} \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3) \quad (4.1)$$

여기서, E_c : 다짐에너지

W : 래머의 무게 (kgf)

h : 래머의 낙하고 (cm)

N_d : 다짐층수

N_h : 층 당 다짐회수

V_m : 몰드의 체적(cm^3)

Table 4.5 compaction test classified by compaction energy(식 4.1을 사용해서 계산)

다짐시험	A	B	C	D	E
다짐에너지($kgf \cdot cm/cm^3$)	5.96	13.11	11.92	26.23	26.33

(2) 다짐곡선

수차례에 걸친 다짐시험의 결과로부터 얻어진 건조단위중량(γ_d)~함수비(w) 관계를 나타낸 Fig 4.6과 같은 그래프를 다짐곡선이라고 한다. 이 그래프의 정점에서의 각각의 값을 최대건조단위중량(γ_{max}), 최적함수비(w_{opt} 또는 OMC ; Optimum Moisture Content)라고 하며 현장다짐의 기준이 된다. 이 그림에서는 사질토와 점성토의 다짐곡선을 비교하여 나타내었는데, 일반적으로 점성토가 사질토보다 간극비(또는 함수비)가 크고 건조단위중량이 작은 것과 동일한 경향이라는 것을 알 수 있다.

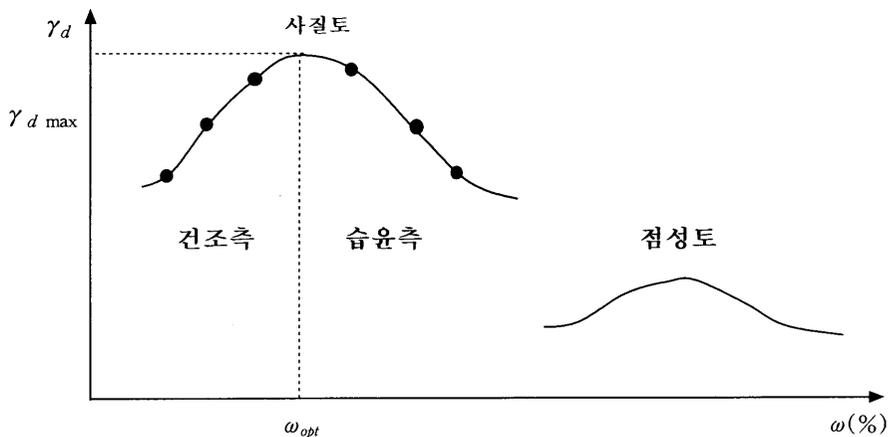


Fig 4.6 compaction curve

일반적으로 다짐에너지가 증가하면 흙은 조밀해지지만, 소성이 있는 점성토에서는 함수량이 많은 상태에서 다짐에너지가 반복 작용하면 다짐상태가 오히려 나빠져서 강도가 저하되는데 이를 과도전압 또는 과전압이라 한다. 과도전압은 함수비가 높은 점성토에서 보이는 현상으로서 특히 화강풍화토 (decomposed granite)에서 많이 나타난다.

(3) 함수비의 변화에 따른 흙 상태의 변화

다짐 시 함수비에 따라 흙의 상태는 각각 다르게 되는데, 호겐토글러 (Hogentogler)는 이것을 Fig 4.7과 같이 4단계로 나누고 있으며 각 단계에 대해 설명하면 다음과 같다.

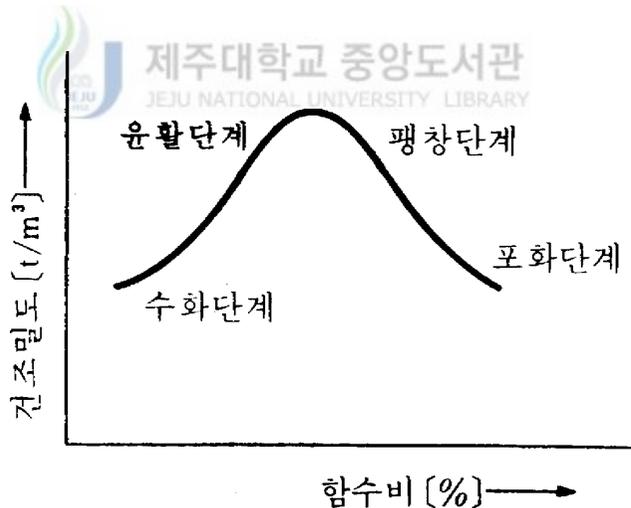


Fig 4.7 4stage of compaction

① 수화(水和)단계(반고체상 영역)

반고체상태로 흙이 존재하며 함수량이 부족하여 흙입자 사이에 접촉이 일어나지 않고 큰 간극이 존재한다. 충격력이 주어지면 개개의 입자가 이동하게 되며 다짐효과는 별로 나타나지 않게 되고 밀도가 낮은 다짐 흙을 얻는다.

② 윤향단계(탄성체적 영역)

함수비의 증가로 수화단계를 넘으면 수분의 일부는 자유수로 존재하여 흙입자의 이동을 돕는 윤향제 역할을 하게 되고 다지게 되면 흙입자 상호간에는 접촉이 이루어지기 시작한다. 충격을 가하면 개개의 입자의 이동이 일어나지 않고 간극비가 줄어들어 안정된 상태로 되어간다. 함수비를 점차적으로 증대시키면 이 단계에서의 최대함수비 부근에서 최대건조단위중량을 보이게 되고 이 때 함수비는 최적함수비가 된다.

③ 팽창단계(소성적 영역)

함수비가 더욱 증가하여 최적함수비를 넘게 되면 증가된 분량의 수분은 윤향제로서의 작용뿐만 아니라 보다 다져진 순간에 잔류공기를 압축시키는 작용을 더하게 된다. 이러한 결과로 다져진 흙은 다짐충격을 받아 압축되며 충격을 제거하면 팽창현상이 일어난다.

④ 포화단계(半粘性 流體的 영역)

더욱 함수비를 증대시키게 되면 팽창단계로부터 증가된 수분은 흙입자와 치환되며 실제적으로 포화된 결과가 된다. 건조단위중량은 흙입자가 수분에 의해서 치환된 분량만큼 감소하게 된다.

2) 다진 흙의 성질

(1) 다짐에 의한 구조 변화

흙을 다졌을 때, 사질토의 경우는 함수비에 따라 흙구조가 별로 변하지 않는다. 그러나 점성토의 경우, 그 함수비에 따라 흙구조가 상당히 변화한다. 다짐곡선에서, 최적함수비보다 낮은 함수비로써 다진 것은 랜덤구조를 취하지만, 함수비의 증가에 따라 랜덤의 정도가 감소되어 최적함수비 이상에서는 불완전배향구조(분산구조)를 만든다.

또한 다짐방법(정적, 동적 등)의 차에 의해서도 구조의 차이가 생긴다. 정적(靜的) 압력에 의한 다짐 시에는, 전층(全層)에 걸쳐서 불완전 배향을 만들지만, 동적인 램머에 의한 다짐에서는 큰 전단변형률에 의한 배향구조를 국부적으로 가지며, 전 층에 걸쳐서는 랜덤한 구조로 된다. 이것은 다짐방법에 의한 전단변형률의 발생방법의 차이에 기인하는 것으로, 응력-변형률 특성은 Fig 4.8에 나타낸 바와 같이 서로 달라진다.

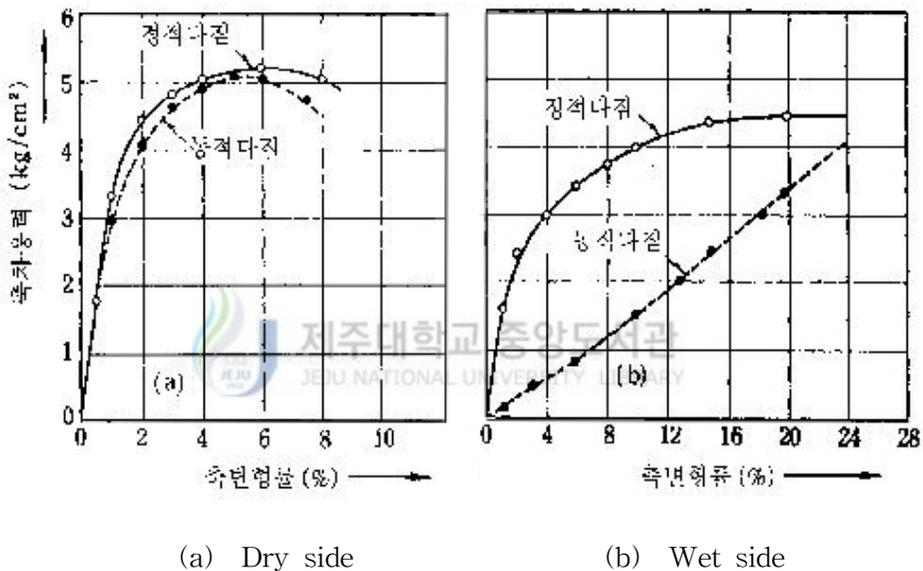


Fig 4.8 method of compaction difference depend stress-strain(Seed et al., 1961)

(2) 함수비의 영향

지반의 건조단위중량이 같고 함수비가 서로 다른 지반을 다진 경우에 최적 함수비보다 큰 함수비로 다진 지반은 불안정하다. 왜냐 하면, 지반의 함수비가 크면 다짐에너지를 가할 때에 과잉간극수압이 발생되어 다짐에 저항하므로 잘 다져지지 않으며, 이렇게 다져진 지반은 압축성이 크기 때문이다. 따라서 지반은 작은 함수비로 다질수록 잘 다져지고 다진 후의 지반의 압축성이 적어서 유리하지만 목표로 하는 최대건조밀도를 얻기 위해서는 다짐에 큰 에너지를 필요로 하여 비경제적이다.

다짐된 시료의 함수비를 증가시키거나 포화시키면, 함수비가 작은 상태로 다짐된 시료일수록 압축변형이 커진다. 포화되면서 급격하게 압축변형이 일어나는 현상을 포화충격(saturation shock)이라고 하는데, 이 현상은 최적함수비로 다진 지반에서는 거의 일어나지 않고 최적함수비보다 큰 함수비로 다진 지반에서도 발생되지 않는다. 따라서 최적함수비보다 작은 함수비로 다질 때는 포화충격이 일어날 가능성이 있다.

여기서 문제가 되는 것은 최적함수비 부근에서 다진 지반은 이후에 강우 등에 의해 함수비가 증가되어도 침하가 별로 발생하지 않는다고 하였다. 그런데, 이 최적함수비라는 것은 다짐에너지에 따라 달라지므로 현장에서 어떤 다짐에너지를 사용한 최적함수비를 사용했을 때에 대한 것인가 하는 문제가 남는다. 또한 함수비 증가에 의해 지반의 자중이 증가함으로써 생기는 하중에 의한 다짐 흙의 침하와 다짐 흙의 하부기초지반의 침하에 대해서는 별도의 검토가 있어야 할 것이다.

다짐에 의해 흙입자 구조가 조밀화 되면, 흙의 성질은 일반적으로는 개선되어, 예를 들면 전단강도는 증가하고, 투수성은 낮아진다. 통상의 흙에서는 강도의 최대치는 최적함수비보다 약간 건조측에서 나타난다. 한편, 투수계수는 건조단위중량과 역의 관계에 있고, 최적함수비의 약간 습윤측에서 최소치가 나타난다.

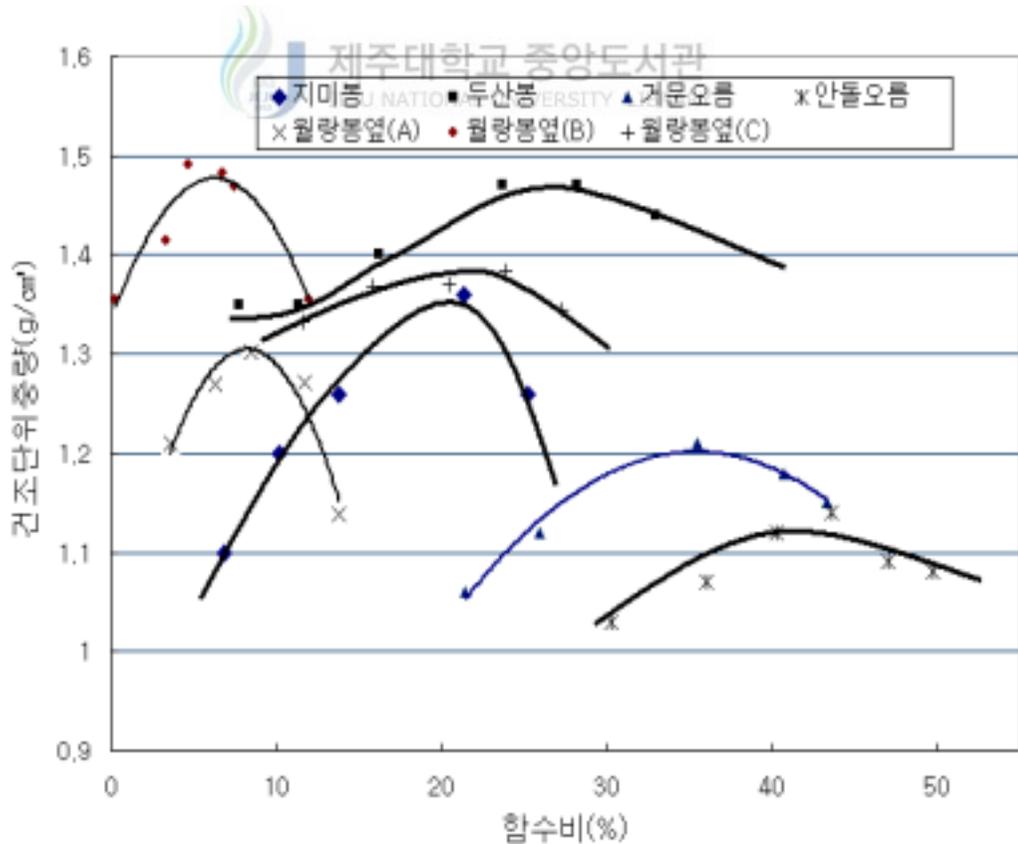
3. 다짐시험결과

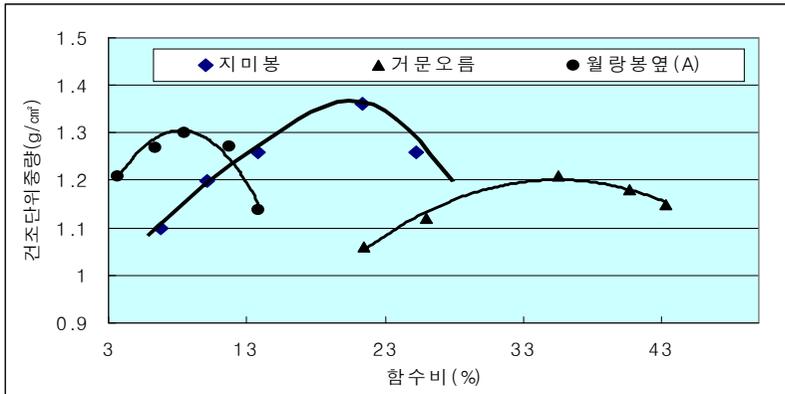
지미봉, 거문오름, 월랑봉 옆(A, B, C), 다호농장, 두산봉, 안돌오름 등 각각의 시료에 대하여 다짐시험의 D 방법으로 다짐을 시행하였는데 다짐시험결과는 Table 4.4와 Fig 4.10 ~Fig 4.15와 같다.

Table 4.6 compaction test result

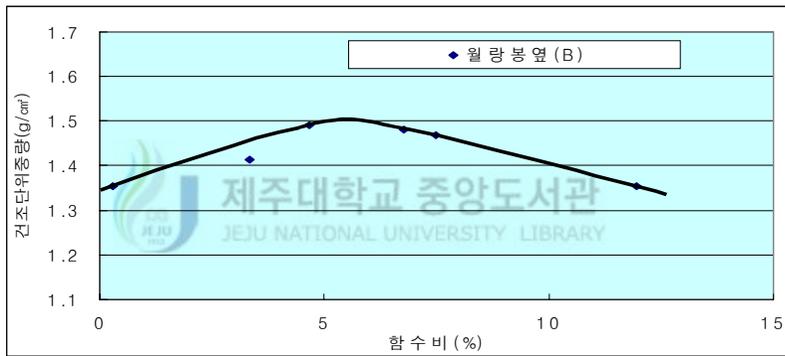
Place name	최적 함수비(%)	최대 건조 밀도(t/m^3)
지미봉	21	1.36
거문오름	36.5	1.21
월랑봉 옆(A)	9.8	1.32
다호농장	-	-
월랑봉 옆(B)	5.6	1.525
두산봉	26	1.475
안돌오름	43	1.14
월랑봉 옆(C)	23.6	1.4

(a) The totality

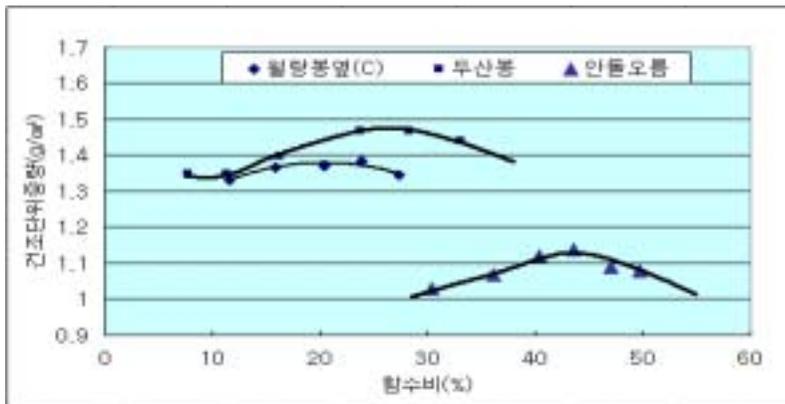




(b) Black



(c) Red



(d) Yellow

Fig 4.9 compaction curve of samples

황색인 경우 함수비가 높고 다짐의 효과가 적어 다짐곡선이 완만하게 나타났고, 검정색 및 적색인 경우에는 황색보다는 비교적 함수비가 낮고 다짐의 효과가 좋은 것으로 나타났다.

검정색 재료인 경우 재료의 강도가 높아 분리현상으로 다짐에 어려움이 있었고, 비교적 강도간 적은 적색과 강도가 적은 황갈색인 경우에는 비교적 다짐을 할 수 있었다.

4. 전단시험

송이는 입자의 크기가 일반 흙과 달리 생성과정의 특징과 풍화도에 따라 미세 입자로부터 입경이 10cm 이상 되는 것도 있다. 입자의 크기를 고려하여 별도로 주문 제작한 대형 직접전단 시험기를 사용하여 시험을 실시하였다.

직접전단시험기의 전단상자는 분리 가능한 상·하부 상자 2개의 1조로 된 원형과 정방형 2종류가 있다. 본 시험에 사용된 전단상자는 다짐시험의 D시험(수정다짐)시 몰드와 동일한 크기의 전단상자(원형)를 사용하였다. 전단상자의 내경은 150mm 이고 높이는 125mm 이다. 전단상자의 단면적은 176.71cm² 이며 체적은 2209cm³이다.(서창민, 2001)

다짐시 상부 전단상자에 높이 65mm의 칼러(collar)를 나사로 고정 시킨 후 소정의 밀도로 D다짐(수정다짐)을 실시한 후 전단시험을 시행할 수 있도록 하였다. 대형 직접전단시험기는 변형률 제어 방식에다 하부 이동식이다. 이 장치는 두 개의 하중장치로 구성되어 있다.(서창민, 2001)

첫 번째는 상부 전단상자에 가해지는 연직하중 장치가 있는데 수직응력의 범위는 0~7.5kg/cm²이고, 유압를 이용해서 재하하는 방식이다. 두 번째는 전단작용을 하는 수평하중 장치로서 속도 범위는 0.2mm/min~3.5mm/min이다. 본 연구에서는 모든 공시체에 압밀을 10분 동안 압밀을 실시하고 전단 시험을 시작하였으며, 전단 속도는 1mm/min을 적용하였다.(서창민, 2001)

Fig 4.10 ~Fig 4.15은 대형 직접전단시험기의 부분적인 장치를 나타내고 있다.

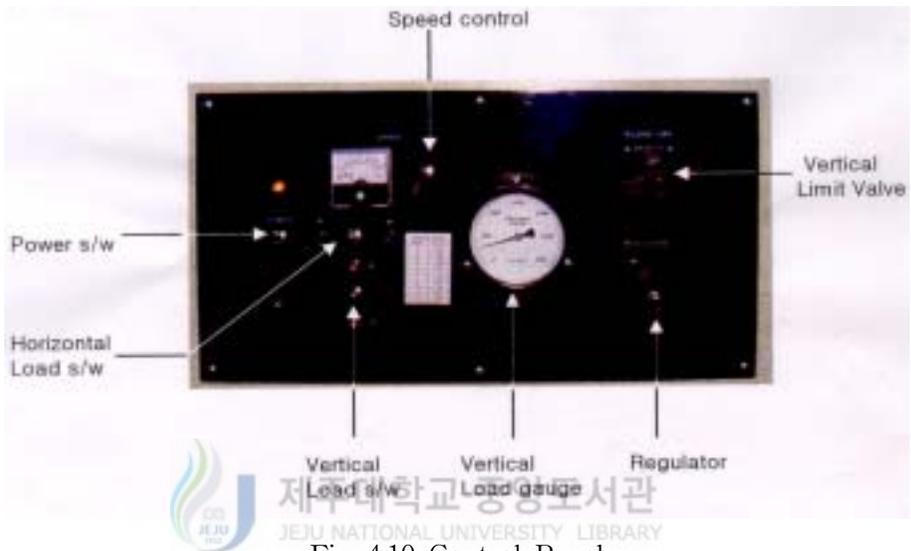


Fig 4.10 Control Panel

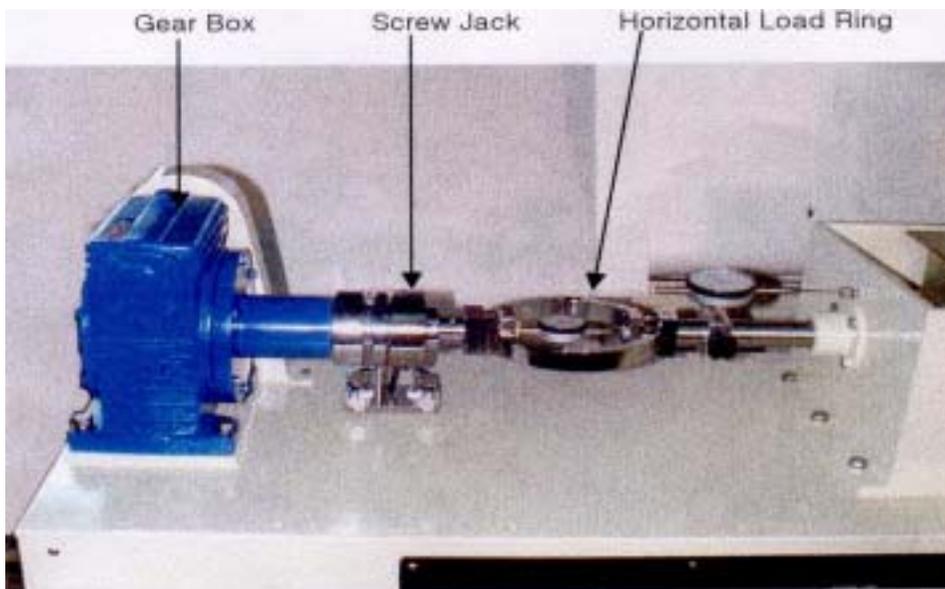


Fig 4.11 Horizontal strain control system

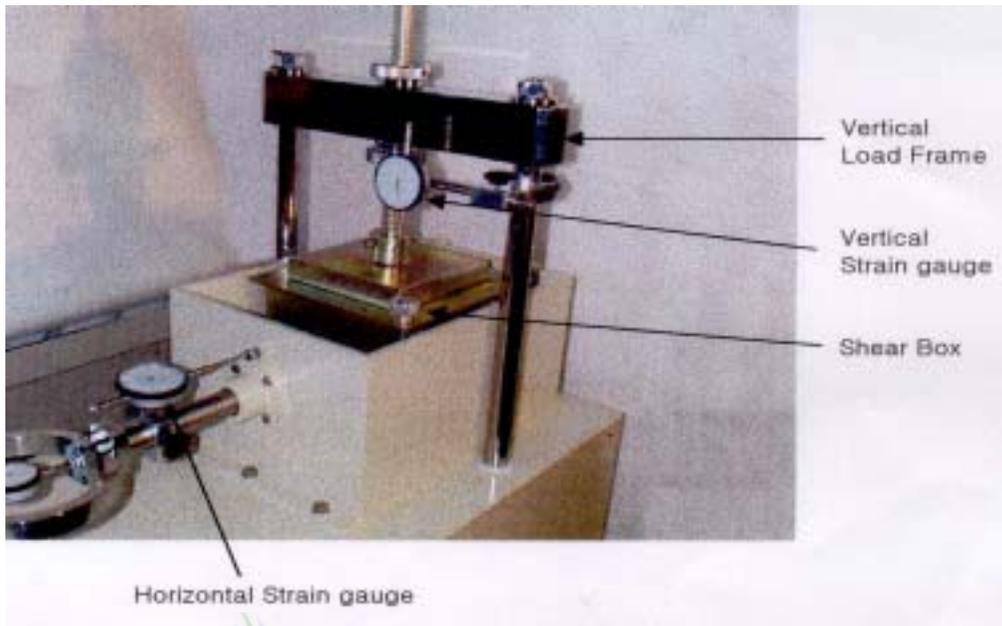


Fig 4.12 Vertical loading system



JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

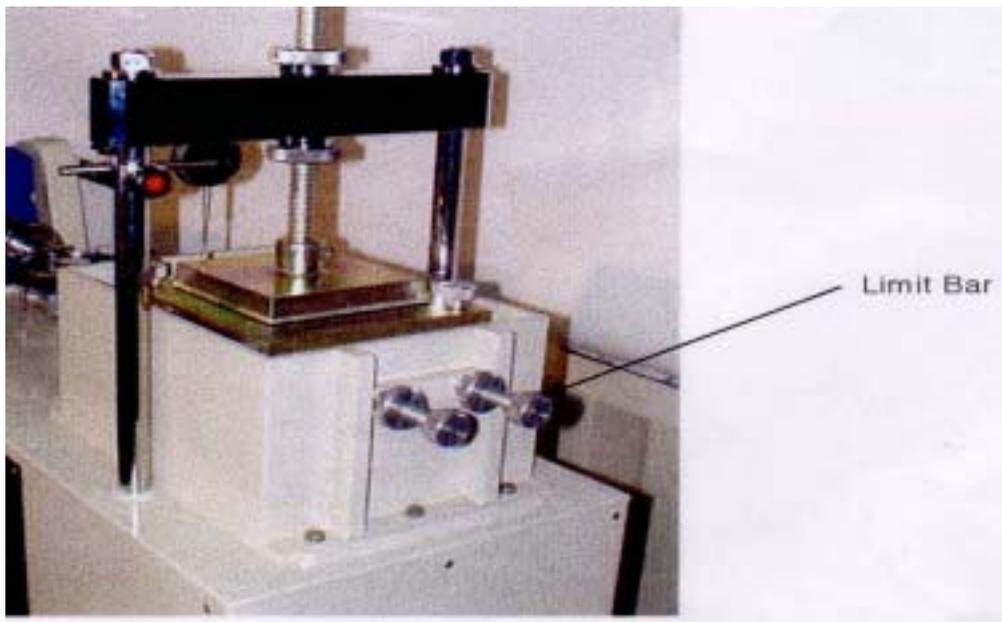


Fig 4.13 Limit bar



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig 4.14 Shear box

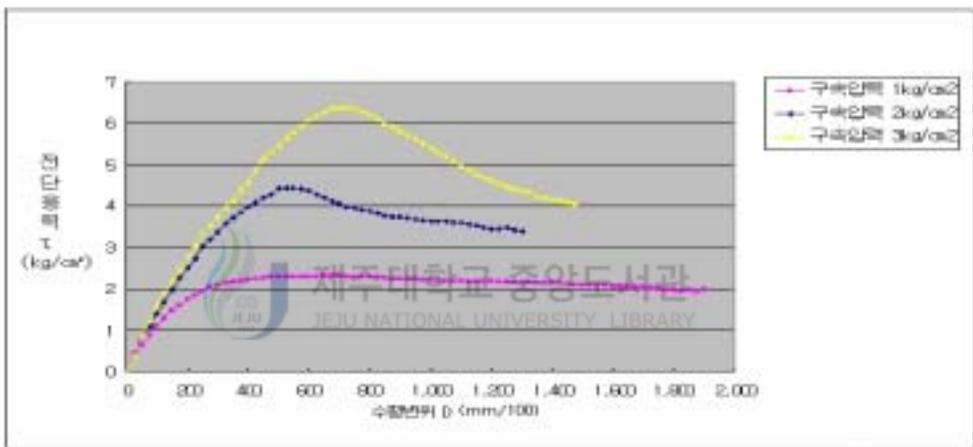


Fig 4.15 Shear spectacle

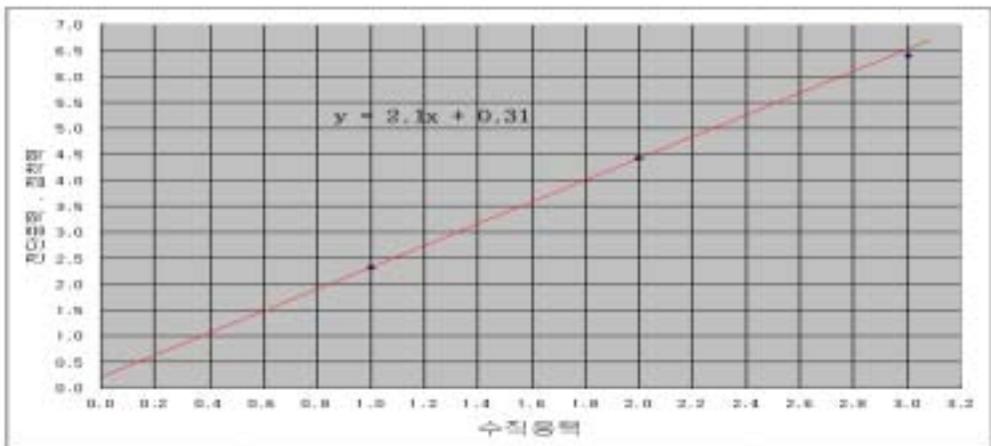
5. 전단시험결과

최적함수비 상태로 다진 시료는 직접전단시험과정에서 사실상 포화가 불가능하여, 최적함수비 상태에서 전단시험을 수행하였다. 이로 인하여 겉보기점착력으로 인한 점착력의 증가가 발생할 것으로 판단되나 전단저항각에 대한 영향은 다소 미비할 것으로 사료된다. 월랑봉 옆에서 채취한 시료에 대하여는 짧은 쇄석다짐말뚝 공법 시공에 적합하도록 비 반복 다짐시험을 병행하였다.

각 시료에서의 전단시험결과는 Fig 4.16 ~ Fig 4.23과 Table 4.5와 같다.

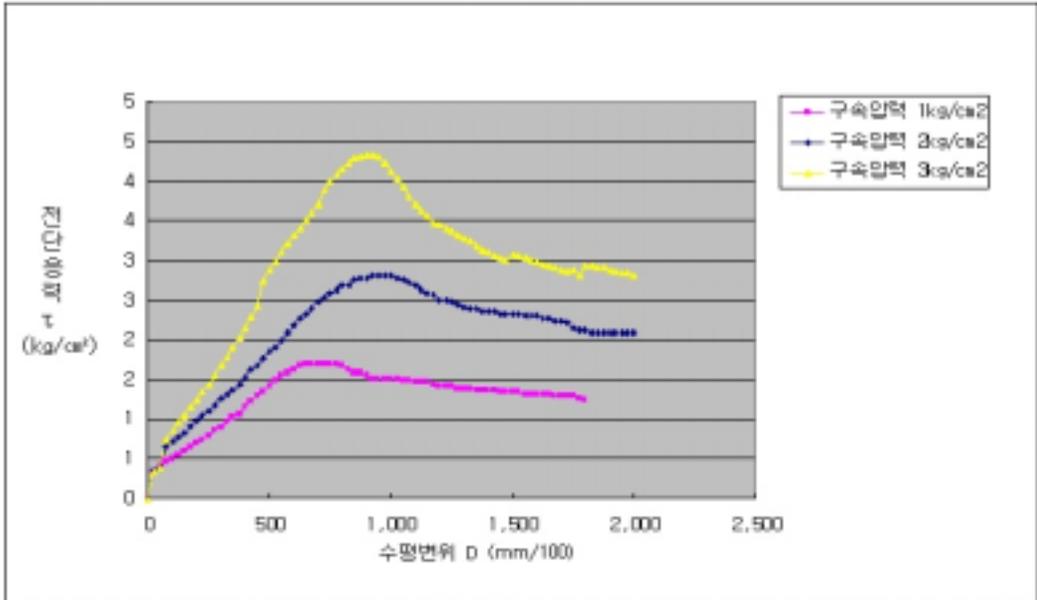


(a) Compaction sample shear stress–horizontal strain

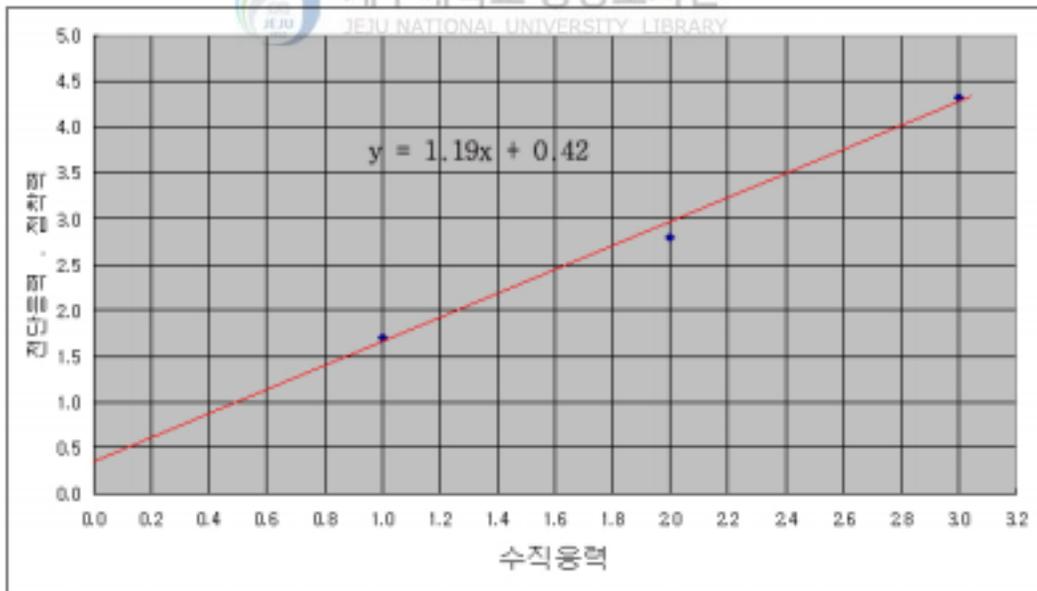


(b) Compaction sample angle of shear resistance–normal stress

Fig 4.16 Jimi Mt.

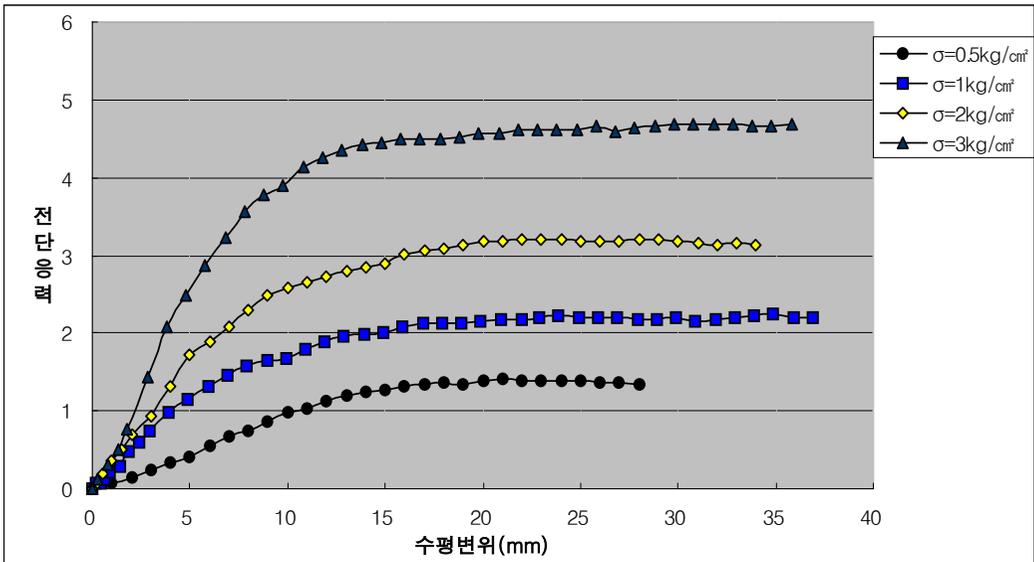


(a) Compaction sample shear stress–horizontal strain

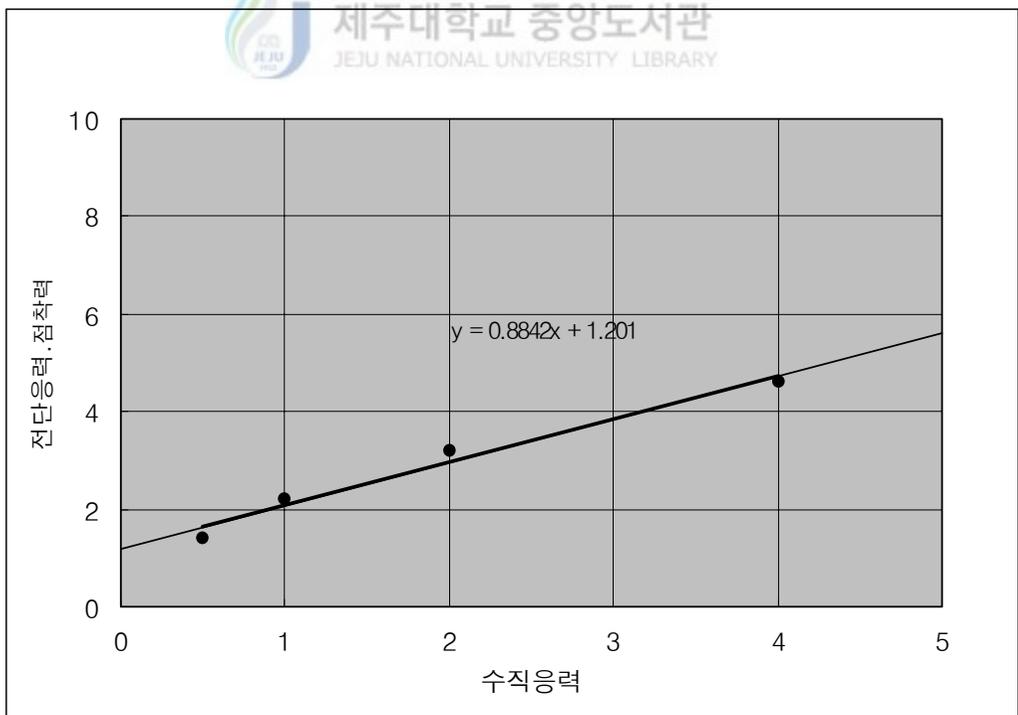


(b) Compaction sample angle of shear resistance–normal stress

Fig 4.17 Gomun Mt.

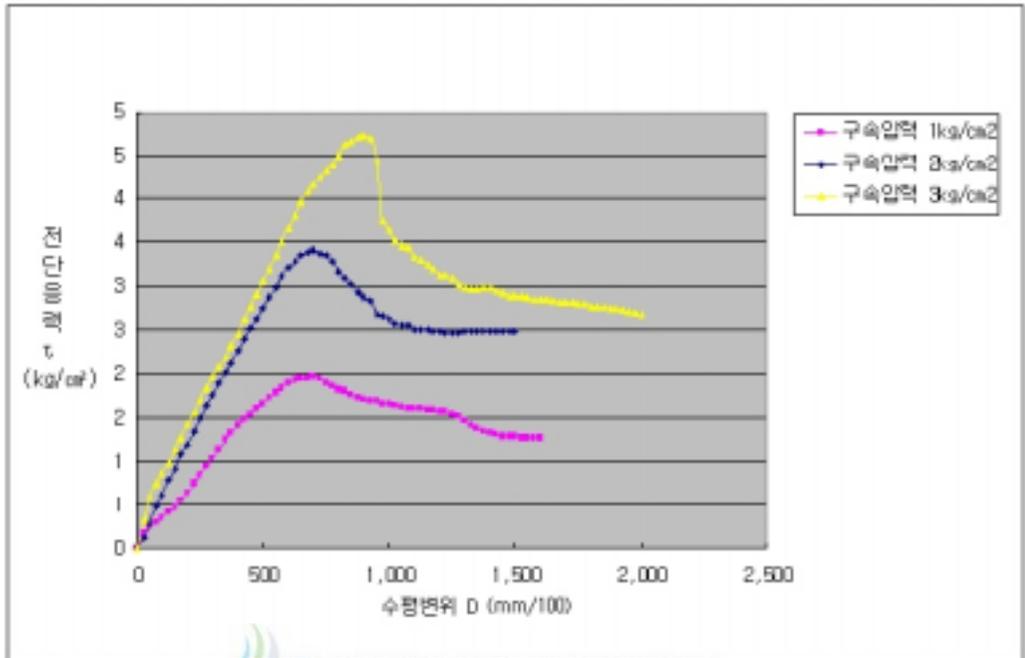


(a) Compaction sample shear stress–horizontal strain

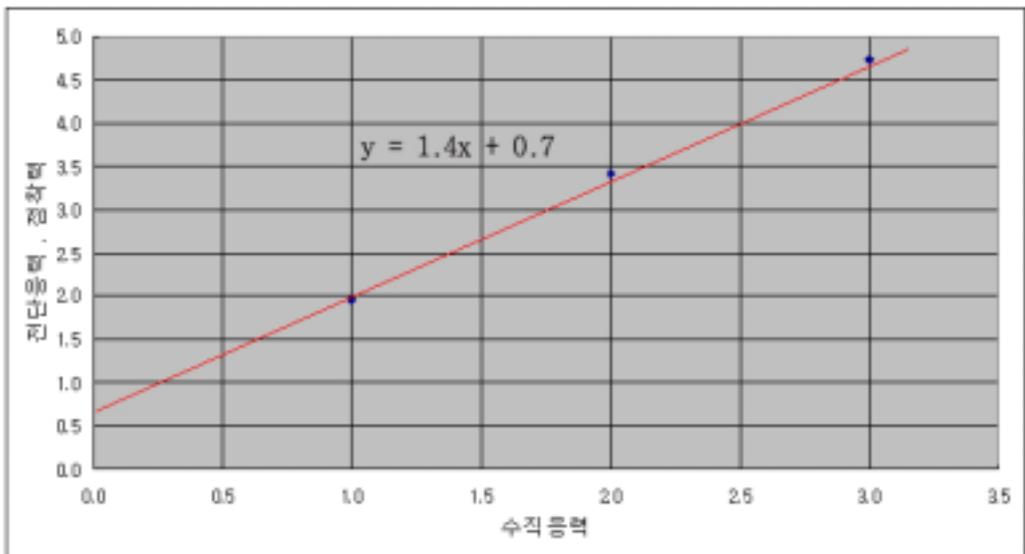


(b) Compaction sample angle of shear resistance–normal stress

Fig 4.18 Daho Park

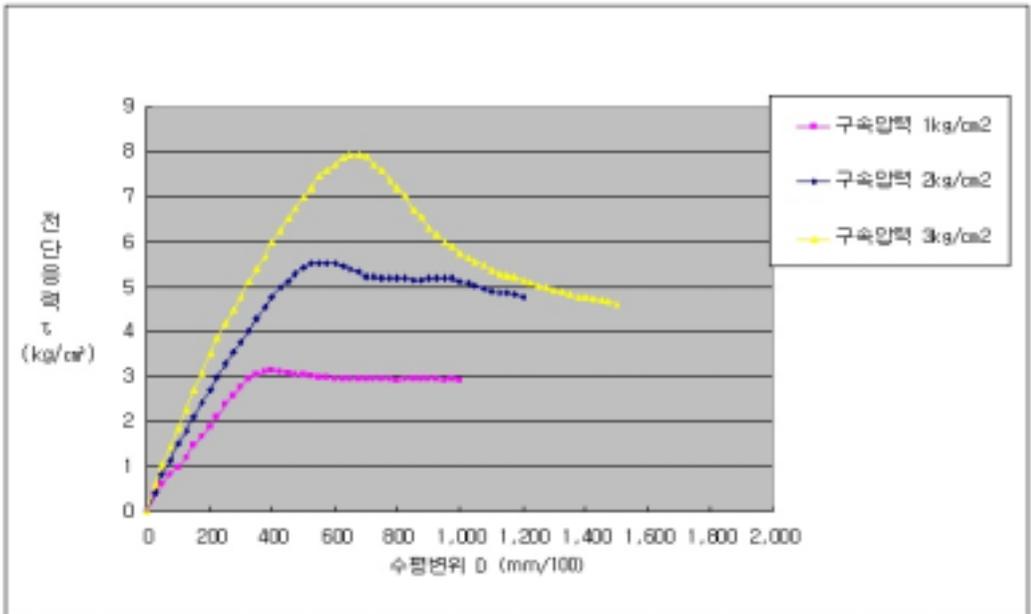


(a) Compaction sample shear stress–horizontal strain

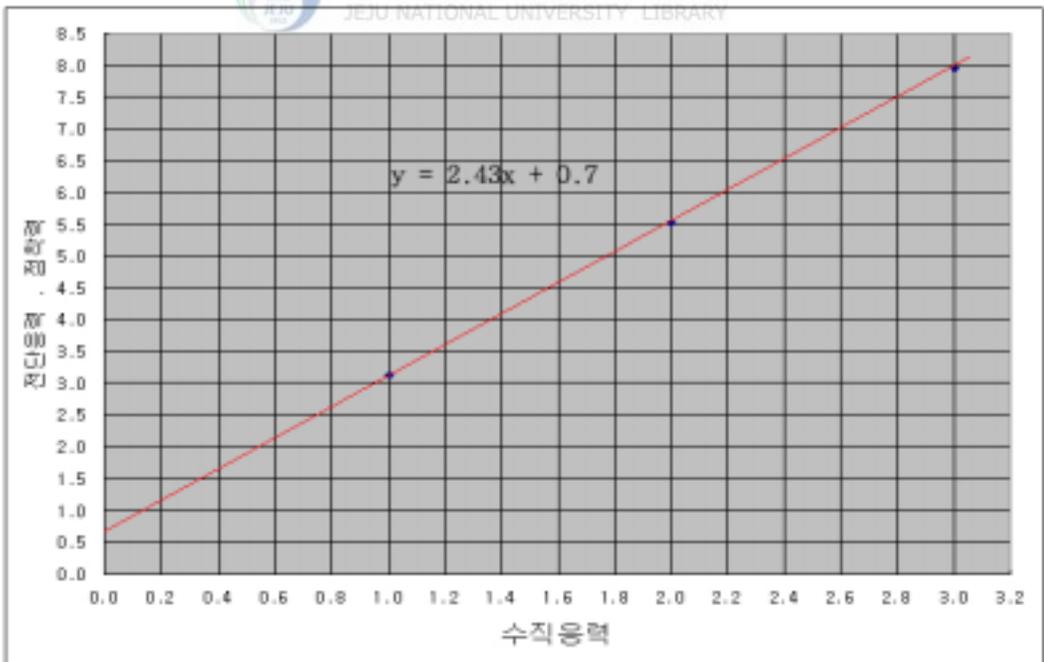


(b) Compaction sample angle of shear resistance–normal stress

Fig 4.19 Dusan Mt.

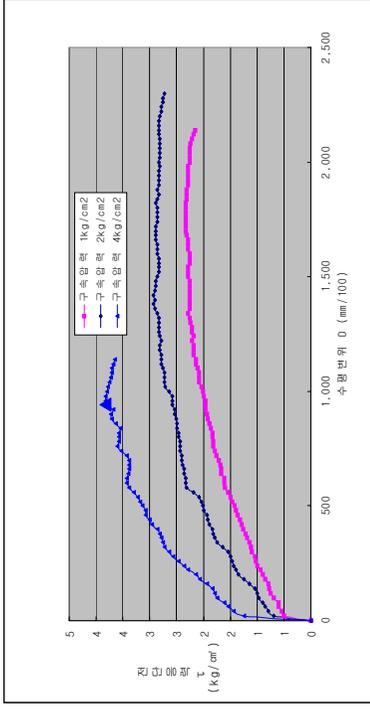


(a) Compaction sample shear stress–horizontal strain

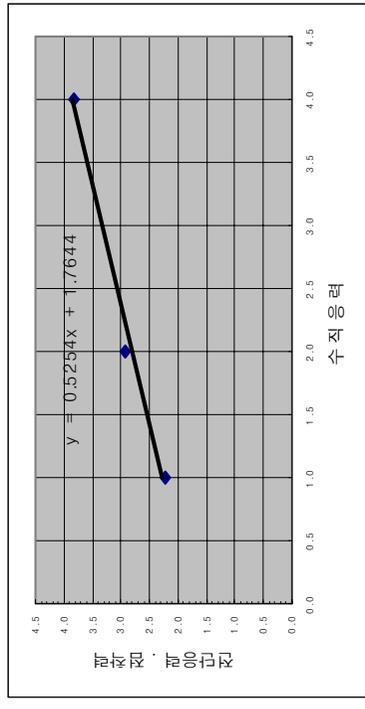


(b) Compaction sample angle of shear resistance–normal stress

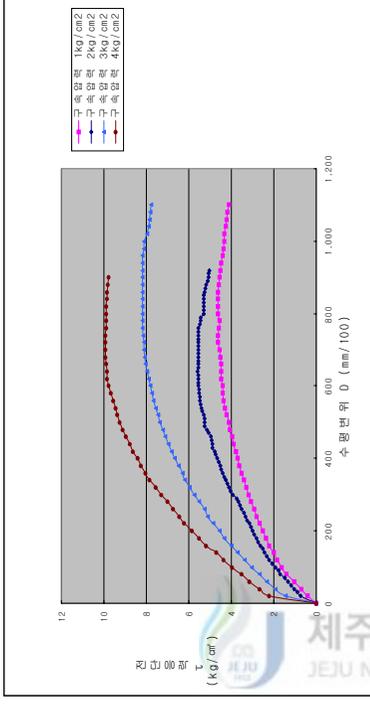
Fig 4.20 Andol Orum



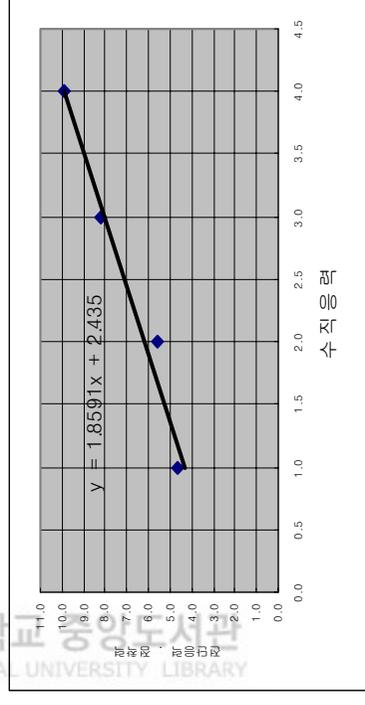
(a) Uncompaction sample stress-strain



(b) Uncompaction sample angle of shear resistance-stress

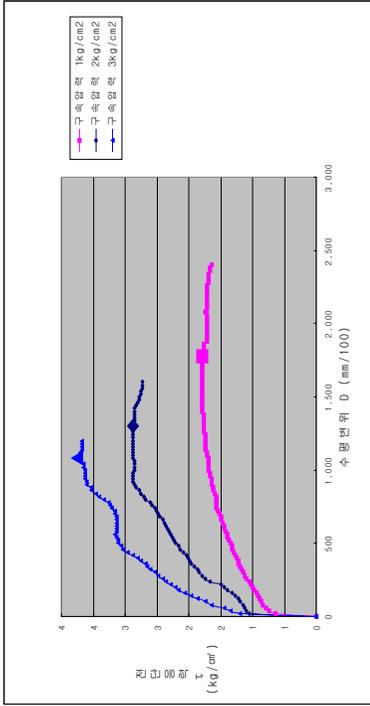


(c) compaction sample stress-strain

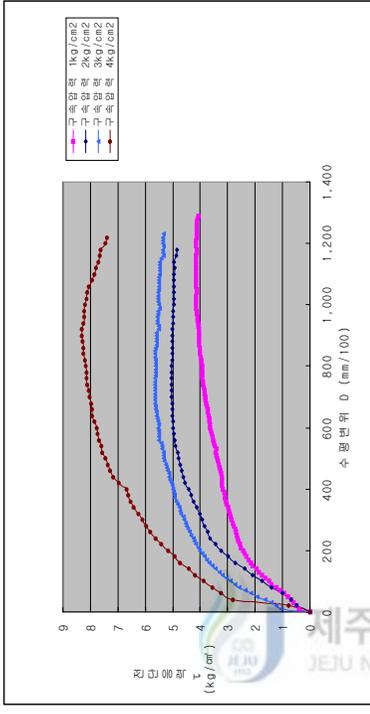


(d) compaction sample angle of shear resistance-stress

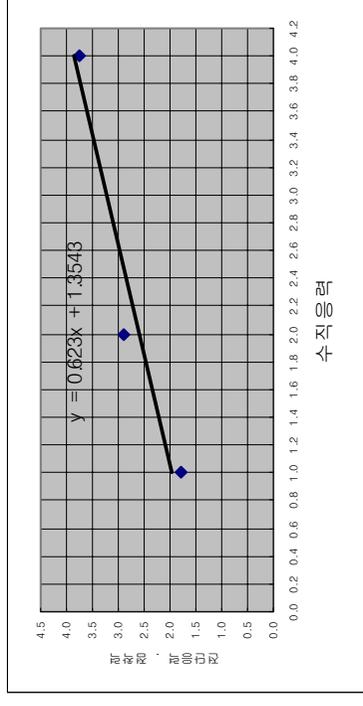
Fig 4.21 Worang Mt. (A)



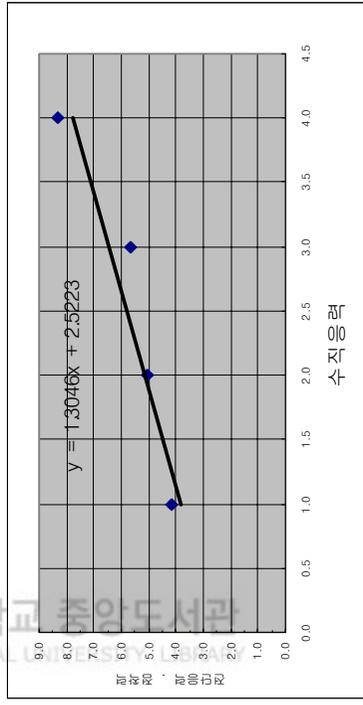
(a) Uncompaction sample stress- strain



(c) compaction sample stress- strain

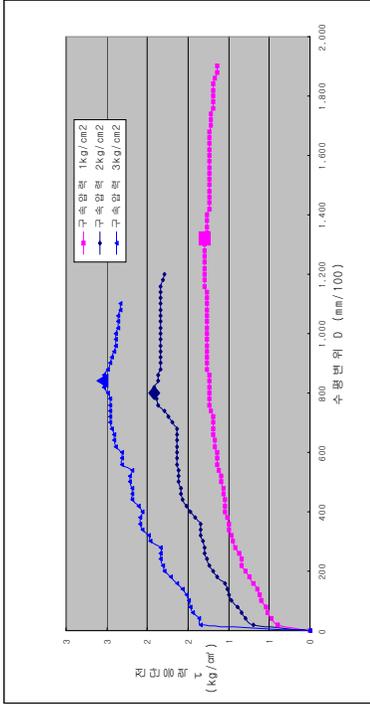


(b) Uncompaction sample angle of shear resistance-stress

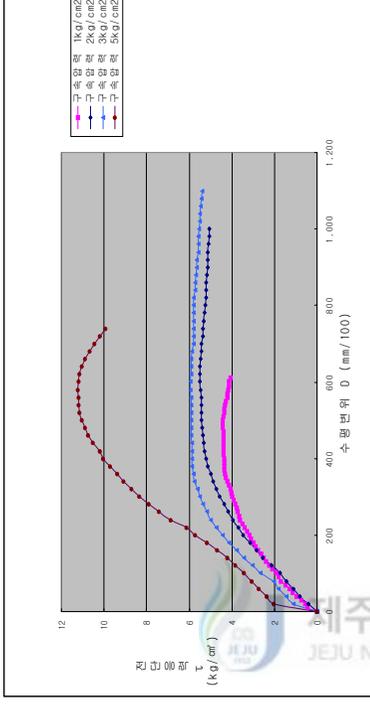


(d) compaction sample angle of shear resistance-stress

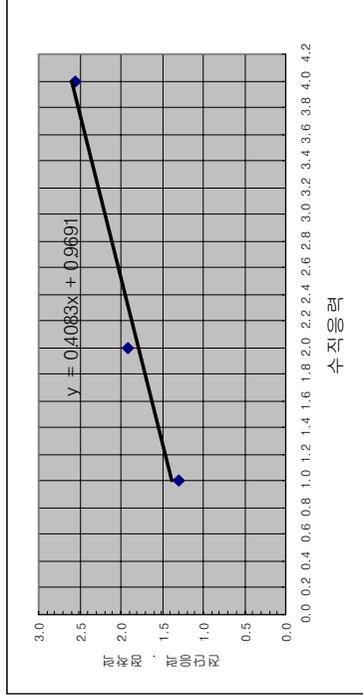
Fig 4.22 Worang Mt.(B)



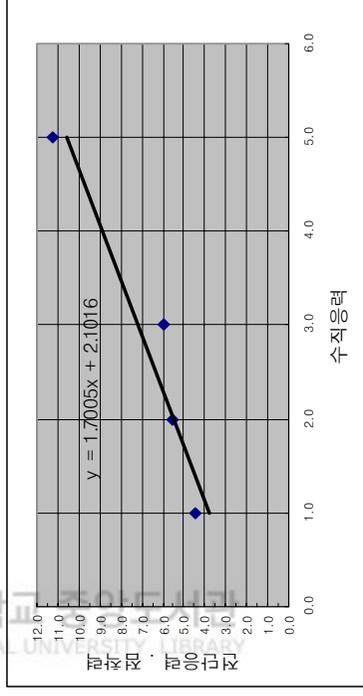
(a) Uncompaction sample stress- strain



(c) compaction sample stress- strain



(b) Uncompaction sample angle of shear resistance-stress



(d) compaction sample angle of shear resistance-stress

Fig 4.23 Worang Mt.(C)

Table 4.7 result of direct shear test of compaction scoria

Place name	점착력 c (kg/cm^2)	$\tan \phi$	전단저항각 ϕ ($^\circ$)
지미봉	0.31	2.1	64.54
거문오름	0.42	1.19	49.96
월랑봉 옆(A)	2.52	1.30	52.53
월랑봉 옆(B)	2.44	1.86	61.72
두산봉	0.73	1.52	56.66
안돌오름	0.7	2.43	67.63
월랑봉 옆(C)	2.1	1.7	59.53

6. 송이의 전단강도에 영향을 미치는 요인 분석

송이의 전단강도시험에서 보면 표 4.8와 같이 대형직접전단시험의 결과값이 삼축압축전단시험결과(소재관, 2002) 값보다 다소 크게 나온다. 대형직접전단시험과 삼축압축전단시험과의 차이점은 최대입경, 포화도, 그리고, 구속압의 방법 등으로 크게 구분되어진다. 또한 흙의 파괴면은 최대 주응력면에 $45 + \phi/2$ 의 각도를 가진다. 그러나 직접전단시험의 경우 파괴면은 항상 수평면에서 발생하는 각의 문제점에 의해 삼축압축시험결과 보다 내부 마찰각이 조금 크게 발생하는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 요인에 의해 대형직접전단시험의 내부 마찰각(ϕ_d)이 삼축압축시험의 결과값(ϕ_t)에 비하여 약 5 ~ 8% 정도 크게 발생한 것으로 추정된다. 즉, 송이의 경우 일반적인 직접전단시험결과값으로 전단강도를 추정할 시 과다설계가 될 수 있으며, 강도감소계수가 필

요하다고 하겠다. Table 4.8에서 비교한 두시험의 결과는 대형직접전단시험의 값과 삼축시험 결과치중 가장 많은 차이를 보이는 다호농장과 차이를 적게 보이는 두산봉의 결과를 제시한 것이다. 이 결과에 의하면 대형직접전단시험의 결과는 삼축압축시험보다 약 1.17배에서 1.33배의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이러한 결과들로부터 강도감소계수 C를 1.3으로 적용하기로 한다.

Table 4.8 result of direct shear test and triaxial compression test comparison

시료위치	전단저항각, ϕ		강도감소율, C $\tan \phi_t = \frac{\tan \phi_d}{C}$
	대형직접전단시험	삼축압축전단시험	
다호농장	41.5	33.5	1.33
두산봉	41.9	37.4	1.17

송이의 직접전단시험으로 구한 ϕ 값의 수정식; $\tan \phi_t = \frac{\tan \phi_d}{C}$

여기서, ϕ_d : 직접전단시험으로 구한 ϕ 값

ϕ_t : 삼축전단시험으로 구한 ϕ 값

C : 감소계수 (1.17 ~ 1.33)

그리고 앞에서 설명한 대형직접전단시험의 결과에 강도감소계수 C값을 적용하였을 경우 다짐시료에 대한 송이의 내부마찰각은 표 4.9와 같다.

Table 4.9 shear strength of compaction scoria (strength diminution coefficient
C = 1.3)

Place name	전단 저항각 ϕ_d (다짐 후)	수정전단 저항각 ϕ_{md}	
		다짐 전	다짐 후
지미봉	64.54°	33.8	58.24°
거문오름	49.96°	31.4	42.47°
월랑봉 옆(A)	52.53°	27.27	45.10°
다호농장	52.53°	33.5	45.10°
월랑봉 옆(B)	61.72°	31.92	55.03°
두산봉	56.66°	37.4	49.46°
안돌오름	67.63°	27.86	61.85°
월랑봉 옆(C)	59.53°	22.21	52.59°

Table 4.9로부터 다짐송이의 내부마찰각은 42.47°에서 61.85° 사이의 값을 보이는 것으로 나타났다.

재료에 대하여 Fig 4.24 ~ Fig 4.26에서 나타난 것과 같이 내부마찰각과 화학성분(산화물) 관계를 검토한 결과 Fe_2O_3 의 성분이 많이 함유되어 있다. SiO_2 가 많고 Al_2O_3 및 Fe_2O_3 가 적을수록 강도가 비교적 크고 송이의 마찰각에 가장 영향을 미치는 요인은 화학성분이 큰 것으로 보인다.

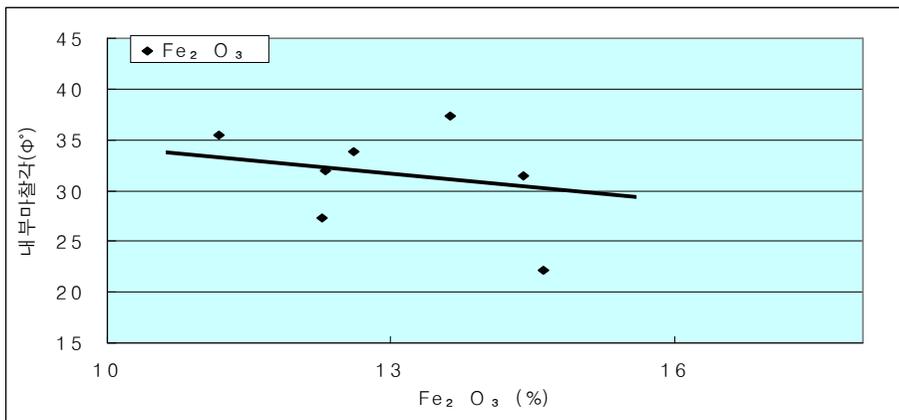
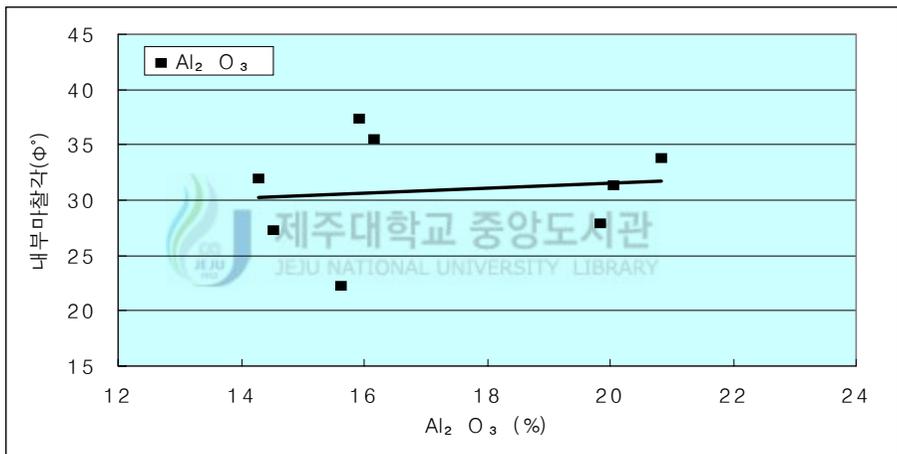
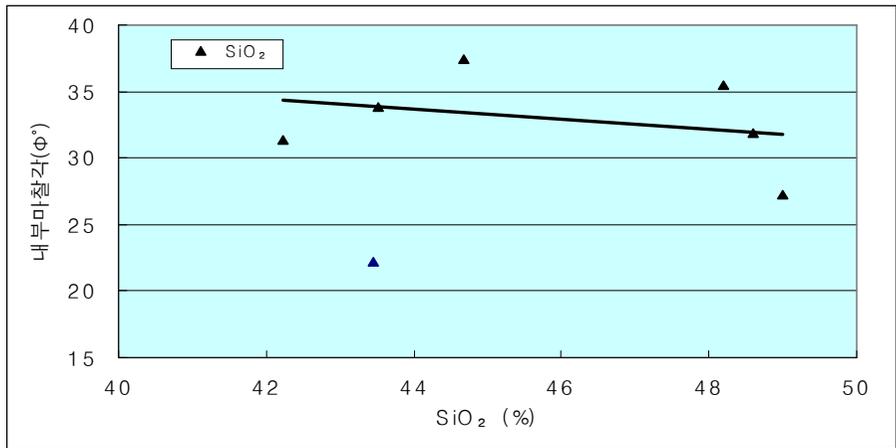


Fig 4.24 Samples internal friction angle - oxide(Uncompaction)

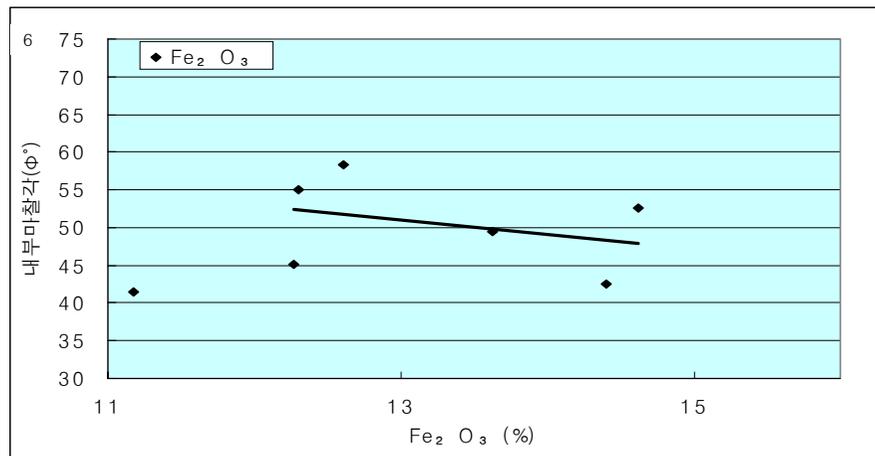
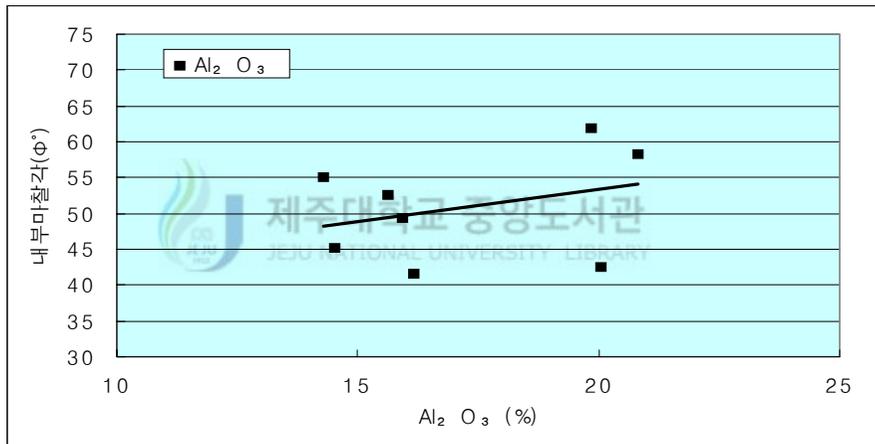
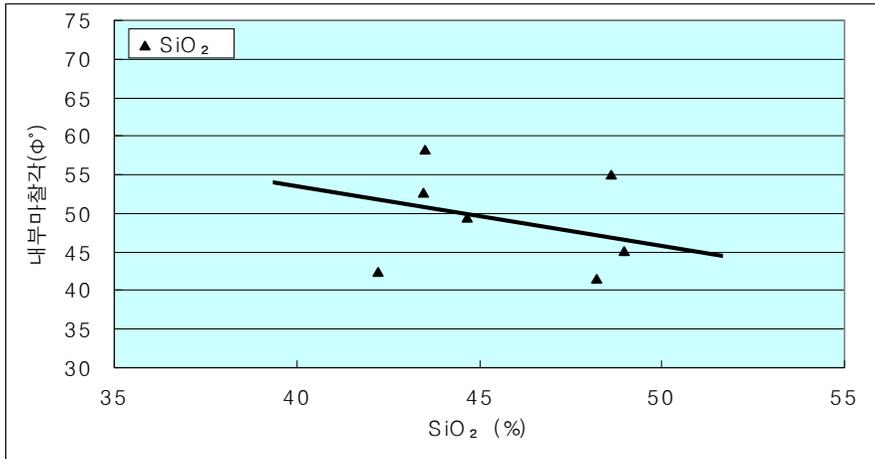


Fig 4.25 Samples internal friction angle - oxide(compaction)

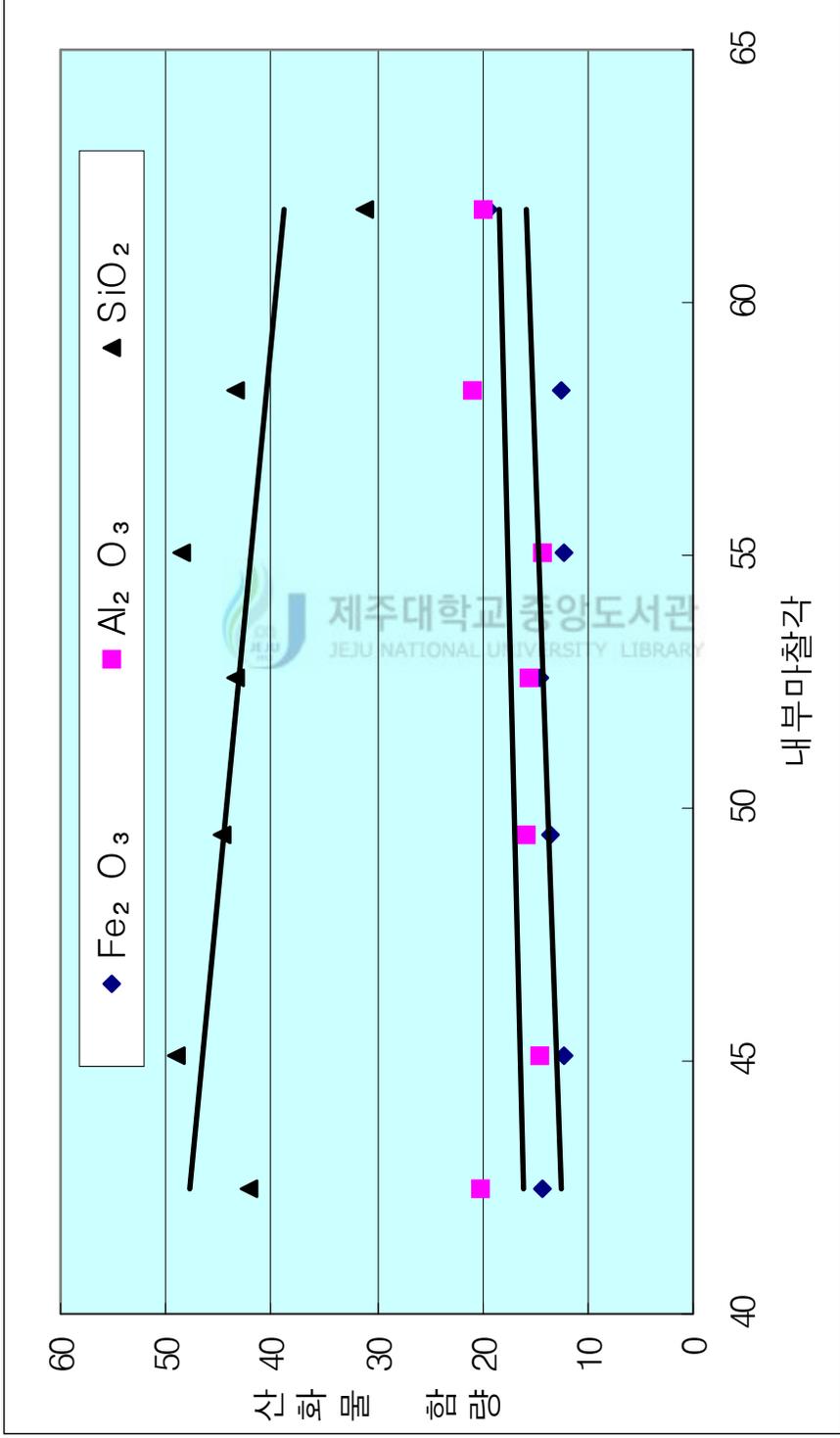


Fig 4.26 Samples internal friction angle - dry unit weight

실험결과를 토대로 송이의 전단강도를 표 4.10과 같이 제안하였다. 현장 적용성 등을 고려하여 송이의 구분은 색깔별로 하였으며, 색깔이 혼합되어 있을 경우 평균값을 적용하여 내부마찰각의 범위를 구할 수 있다.

Table 4.10 proposal of color in relation to scoria internal friction angle

색 상	내부마찰각	특 징
황 색	24° - 28°	Fe ₂ O ₃ 많이 함유, 균등계수의 영향이 작음
적 색	28° - 36°	균등계수의 영향을 많이 받음
검정색	33° - 38°	Al ₂ O ₃ 많이 함유, 균등계수의 영향을 받음

다짐송이의 전단강도를 색깔 및 입도분포의 특성값으로 정리하면 표 4.7과 같다. 표에서와 같이 다짐송이의 전단저항각은 자연상태 송이의 전단시험결과에 비하여 크게 상승함을 알 수 있다. 일부다짐송이의 경우 풍화암보다 더욱 강한 전단특성을 보이기도 하였다. 자연상태 송이는 전단저항각의 경우 일반 사질토와 유사하였으며, 변형계수의 경우 사질토에 비하여 현저히 작은 점성토와 유사한 값을 보였다. 그러나 다짐을 통하여 전단특성, 변형특성 등이 크게 증가하여, 다짐풍화토와 유사하거나 다소 더 큰 강도특성을 보임을 알 수 있었다.

다짐송이의 경우도 자연상태의 송이와 같이 색깔(화학조성) 및 입도에 따라 강도가 큰 검정색은 다짐이 잘 안되는 경향이 있었다. 강도의 순서는 적색, 암회색, 황갈색 순으로 강도가 적은특성을 보였으며, 강도에 미치는 영향요인으로 색깔이 크게 나타나 현장 시공과정에 경우에 따라서는 적색도 검정색과 같은 강도를 나타내는 경우도 있음을 알 수 있다. 색깔로 강도가 차이가 나는 것은 송이에 철성분에 따라 강도가 차이가 있는 것으로 보인다.

V. 짧은 쇄석 다짐 말뚝 공법의 적합성

1. 실내실험을 통한 검토

앞의 3장에서 검토한 바와 같이 Geopier의 설계를 위하여 필요한 강도정수는 ① 쇄석의 내부마찰각, ② 주변 흙의 비배수 전단강도, 마찰각, ③ 주변 흙의 탄성계수, ④ 주변 흙의 점착력 등을 들 수 있다. 또한, Geopier 공법에 적용되어지는 골재로는 미세한 골재를 포함하지 않는 개입도 이어야 한다. 연약지반의 하단의 경우 세척골재가 사용되며, Geopier의 기둥형성에는 파쇄된 석회암 또는 재활용 콘크리트 등이 사용되어지기도 한다.

앞에서 연구한 송이의 강도특성을 간략하게 요약하면 표 5.1과 같다.

Table 5.1 special of scoria

송이의 상태	내부마찰각	탄성계수	비 고
자연상태	24° ~ 38°	2.4~8.1 kg/cm^2	
다짐상태	42° ~ 61°	-	

Table 5.1에서와 같이 대상지반으로써 송이지반은 Geopier의 한계지반조건인 이탄토, 폐기물 매립토 등의 지반에 비하여 월등히 우수한 지반임을 알 수 있다. 또한 다짐상태의 송이의 강도 역시 다짐쇄석의 강도에 거의 비견됨을 알 수 있다. 따라서, Geopier공법의 대상지반으로써 송이지반은 큰 문제가 없을 것으로 판단되며, Geopier 공법의 기둥형성에 사용되는 골재로써 송이의 사용에도 적절한 송이(예; 적갈색 암회색의 적절한 입도의 송이)의 사용 시에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 구한 자연상태 및 다짐상태의 송이의 강도특성은 Geopier 공법의 설계 자료로 적용되어질 수 있을 것이다.

2. 현장 지반조사를 통한 검토

지반내의 송이층의 형성을 현장조사를 통하여 검토하였다. 대상지반은 제주도 제주시 노형동에 위치하고 있으며, 시추조사, 표준관입시험 등은 대한주택공사, (주)동아건설턴트에서 수행하였다.

1) 조사개요

조사지역 : 제주도 제주시 노형동

조사기간 : 2002년 8월~2002년 9월

조사내용 : 시추조사(NX size) 35공

표준관입시험 76회

2) 조사방법

시추방법은 NX 규격으로 회전수세식 굴진 방식에 따라 진행되었으며, 작업을 원활히 수행하고 정확한 자료를 얻기 위하여 공벽 붕괴가 없는 풍화대까지 굴진심도에 따라 케이싱을 삽입하였다. 시추심도는 12m~22.5m까지 굴진하였다. 시추조사 시 토사층을 대상으로 SPT sampler에 의하여 교란시료를 채취하였다. 채취한 시료는 색깔, 토질, 지층의 상태, 강도, 절리상태, 풍화정도를 각각 측정하여 주상도에 기록하였다.

표준관입시험은 지표로부터 1m 지점부터 지층이 변할때마다 혹은 1.5m 간격으로 실시하였다. 처음 15cm를 예비타로 관입시켰으며, 마지막 30cm 관입에 소요되는 타격회수를 관입저항치로 하여 주상도에 기입하였다.

3) S.I.P 공법(Soil-Cement Injected Precast Pile Methods)

시멘트 밀크 공법은 선굴착공법의 하나로서 이수(泥水)로 붕괴를 방지하면서 스크루오거로 말뚝지름보다 크게 굴착하고 말뚝주위 고정액 또는 근고액(根瘤液)을 공내에 채운후 말뚝을 설치하는 공법인데 말뚝주변 고정액은 주변 마찰력과 수평저항력을 증진하며, 근고액은 말뚝을 지지층에 고정하여 선단지

지력을 확보하는데 이용된다.

시공순서는 그림 과 같이 오거로 연직으로 굴착하고 스크루선단에서 근고액을 주입하여 공내의 이수를 압상(押上)시켜 공내의 하단부를 이수액으로 대체한 다음 스크루오거를 서서히 회전시키며 인발과 동시에 말뚝주위 고정액을 주입하여 공내 상부의 이수를 말뚝주위 고정액으로 치환한다. 굴착공에 말뚝으로 세우고 압입하거나 드롭해머로 가볍게 지지층에 1m이상 관입하는 방법이다.

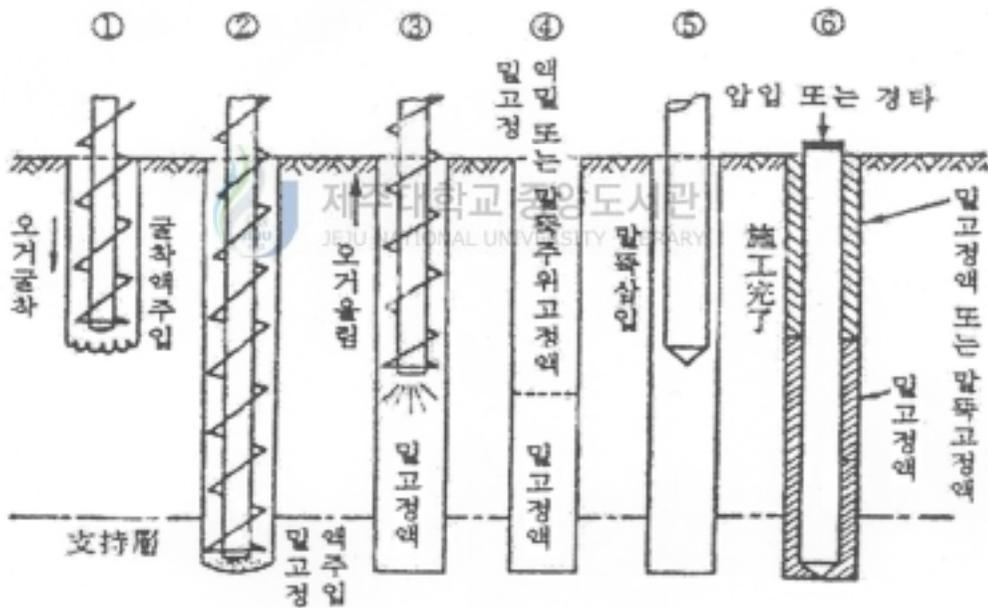


Fig 5.1 construction procedure of Soil-Cement Injected Precast Pile Methods

시공순서는 그림 Fig 5.1과 같이 오거로 연직으로 굴착하고 스크루선단에서 근고액을 주입하여 공내의 이수를 압상(押上)시켜 공내의 하단부를 이수액으로 대체한 다음 스크루오거를 서서히 회전시키면서 인발하고 동시에 말뚝주위 고정액을 주입하여 공내 상부의 이수를 말뚝주위 고정액을 치환한다. 굴착

공에 말뚝을 세우고 압입하거나 드롭해머로 가볍게 타격하여 지지층에 1m 이상 관입하는 공법으로 굴착공의 직경은 말뚝 직경이 350mm인 경우 50 ~ 100mm 크게 굴착하였으나 굴착된 공이 함몰되지 않고 현상유지 되었다.

4) 조사결과

조사지역의 지질은 회색 내지 담회색의 현무암과 암회색 내지 암적색의 다공질 현무암이 기저를 이루며, 이들은 주로 호층으로 교호하고 있다. 그 상부에는 한라산 및 기생화산에서 분출된 화산쇄설물이 쌓여 형성된 화산쇄설층이나 이들이 풍화되어서 생성된 실트질 점토, 점토질 자갈 및 모래질 자갈 등이 분포하고 있다. 각 지층을 요약하면 Table 5.2와 같다.

Table 5.2 special of stratum

지층	토질	층후(m)	N치	비고(총36지점)	
충적층	실트질 점토	0.7~5.0	7~21	14지점	
	점토질 자갈	0.8~6.0	5~50	27지점	
	모래질 자갈	4.2~4.9	50	2지점	
화산쇄설성 퇴적층	모래질 자갈(송이층)	0.3~2.7	-	14지점	
	실트질 점토	2.1~4.0	-	2지점	
공동		0.7~0.8	-	2지점	
기반암	연암	현무암	1.7~16.8	-	전지점
	보통암	현무암	1.0~12.4	-	전지점

5) 검토

Table 5.2에서의 충적층도 송이층이 풍화된 지역으로 자갈층의 경우 사실상 송이지반의 특성을 가지고 있다고 하겠다. 대부분의 조사지역에서 평균 1m두께의 송이층과 약 평균 3m 두께의 자갈층(다소 풍화된 송이층)이 관측되었다. 점토질 자갈의 경우N치는 5~50회의 범위로 느슨~매우조밀 한 상대밀도의 범위이며, 송이층의 경우 코어로 산출될 정도로 불링홀을 유지할 수 있었다. 즉 Geopier 공법의 적용시 지반상태에 따라 케이싱의 적용여부를 판단해야 할 것이나 S.I.P공법은 무진동·저소음 공법이며 시공이 빠르다. 제주도의 지반은 Fig 5.2와 같이 토사, 암반, 송이층, 암반층 등이 반복되는 지반으로 이 공법에서 지반을 굴착하였으나 굴착공이 함몰되지 않은 것으로 보아 케이싱 없이도 시공이 가능할 것으로 추측된다.



VI. 결 론

제주도 화산지층에서 짧은 쇄석다짐말뚝의 적합성에 관한 연구를 위하여 6개 지점의 8가지의 송이 재료를 채취하여 시험을 실행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 제주도 지반의 화산쇄설물인 송이에 대한 화학성분과 내부마찰각을 검토한 결과 SiO_2 나 Fe_2O_3 의 성분이 많을수록 내부마찰각이 적고, Al_2O_3 성분이 많을수록 내부마찰각이 크다.
2. 송이에 대한 다짐시험결과 검정색 계통이나 적색계통은 다짐효과가 좋고 체적함수비가 낮게 나온 것에 반하여 황색계통은 다짐곡선이 완만하여 다짐효과가 적고 체적 함수비가 높은 것으로 나타났다.
3. 재료의 직접전단 시험결과에 대한 수정 전단각이 1개의 재료를 제외하고는 $45.10^\circ \sim 58.24^\circ$ 로 짧은 쇄석 다짐 말뚝 공법에서 제시한 전단저항각 $48.84^\circ \sim 52.2^\circ$ 로 차이가 없어 재료로서 만족한 것으로 나타났다.
4. 제주시 노형동에서 오거로 직경 450mm, 깊이 8~10m로 굴착이 가능하였고, 함몰발생이 없었다. 제주도의 지질특성상 화산회토층이 반복적으로 형성되고 있어 짧은 쇄석 다짐말뚝을 위한 다짐을 하여도 함몰량이 많지 않아 다짐말뚝공법이 가능한 것으로 판단된다.

5. 보링시 나오는 송이 또는 굴착공 내부에서 다짐시 함몰량에 송이가 포함되어도 다짐송이의 강도가 다짐쇄석의 강도와 유사함을 고려할 때, Geopier 공법의 기둥형성에 사용 되는 골재로써 송이의 사용에도 충분히 가능하다고 판단된다. 즉 송이가 Geopier공법의 골재로 사용됨으로써 골재의 확보에 유리한 점이 크다고 하겠다.



참 고 문 헌

1. 윤정수, 1995, 제주도 북사면의 기생화산체에 관한 연구, 제주대학교 해양연구소 연구보고 제19권, pp. 25-38.
2. 원종관, 1975, 제주도의 형성과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교, 이학논총 제1집.
3. 윤선, 고기원, 김인탁, 1995. 제주도 형성사, 제주도지 제98호, pp. 148 - 164.
4. 서창민(2001) 대형 직접전단시험기를 이용한 송이의 강도특성에 대한연구, pp. 38-43.
5. 소재관(2002) 송이(Scoria)의 거동특성 및 예측에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp. 43-66.
6. 오동일(2003) 제주도 화산쇄설물(송이)의 강도특성에 관한 연구, 한국도로포장학회 논문집 제5권4호 2003년 12월 pp. 38-46.
7. 原口九萬, 1928, 濟州道 地質, 朝鮮地質調查要報, 第0卷1號
8. 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위논문 pp. 39 - 47

9. 남정만, 고효성 제주도 화산지층에서 짧은 쇠석다짐말뚝의 적합성에 관한 연구 보고서, pp. 5-20
10. 지반공학 시험법 및 응용 1997, 世進社 출판, pp. 121-129
11. 토질 시험법 이송, 김태훈, 이재현 공저 2002, 구미서관 출판. pp. 153-164



감사의 글

이 논문이 완성되기 까지 여러 차례를 검토하고 학문에 대한 많은 지도와 격려를 해주신 남정만 교수님께 진심으로 감사드립니다.

아울러, 세심하게 검토하고 지적해주신 박상렬 교수님, 이병걸 교수님, 학기 동안 많은 가르침을 주신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 김상진 교수님, 김성근 교수님, 고호성 교수님께도 감사드립니다.

또한 본 논문을 완성하기까지 많은 시간과 노력을 기울여준 지반공학 연구실의 김기영님, 조영웅님, 이정환님, 조성환님께 감사드립니다. 그리고 본 논문 막바지 완성단계에 멀리 연변에서 제주대학교까지 와서 연수를 하면서 묵묵히 시간을 할애 하여준 김광일님에게 감사를 드립니다.

대학원 과정을 보람있고 활기차게 보 낼 수 있도록 서로 도와주며 지내온 동기들과 선·후배들에게도 감사드립니다.

힘겨워 할 때 따뜻한 정으로 감싸준 형제들 내외분들, 조카들, 그리고 장인장모님, 처가 형제들 내외분, 조카들에게도 여러 해 동안 제대로 찾아뵙지 못함을 이 글을 통하여 사과드리며 또한 감사드립니다.

마지막으로 때늦은 나이에 학문의 길을 갈 수 있도록 힘과 용기를 주신 부모님과 항상 따뜻하게 한결같이 뒷바라지에 여념이 없는 아내 계순, 나에게 항상 즐거움과 희망을 주는 민정이 그리고 봉찬이와 함께 이 자그마한 결실의 기쁨을 나누고자 합니다.