

碩士學位論文

송이(Scoria)의 강도특성 및 CBR에
관한 연구



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

吳 東 一

2004年 12月

송이(Scoria)의 강도특성 및 CBR에 관한 연구

指導教授 南 正 萬

吳 東 一

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2004年 12月



吳東一의 工學 碩士學位 論文을 認准함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

濟州大學校 大學院

2004年 12月

A Study on Strength Characteristics and CBR
of Scorias

Dong-II Oh

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of Master of Engineering



2005. 2.

This thesis has been examined and approved.

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
Table Contents	iii
Figure Contents	iv
Summary	vii
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	1
II. 제주도내 지질특성 및 송이의 분포	3
1. 지질특성	3
2. 오름의 일반적인 특징	4
3. 송이의 분포	5
III. 직접전단시험	8
1. 사용된송이의 채취장소와 기본물성치	8
1) 채취장소	8
2) 기본물성치	9
(1) 체분석시험	10
(2) 비중시험	14
(3) 화학분석	15
2. 시험장비	16
1) 표준직접전단시험기	16
2) 대형직접전단시험기	17
3) 시험방법	20
3. 공시체 제작	20
4. 시험결과	21

IV. 삼축압축시험	25
1. 시험장비	25
2. 공시체의 제작	27
3. 삼축압축시험	29
4. 시험결과	30
V. 송이의 파쇄성과 탄성계수	39
1. 파쇄성	39
2. 탄성계수	40
VI. 실내CBR시험	42
1. 시험개요	42
2. 시험방법	43
3. 시험결과	44
VII. 결론	51
VIII. 참고문헌	53



Table Contents

Table 3.1	Area that pick sample	9
Table 3.2	Uniformity Coefficient(C_u) and coefficient of Gradation(C_g) in Field.	10
Table 3.3	Specific Gravity of Scorias.	15
Table 3.4	Chemical Composition of Scorias	16
Table 3.5	Unit weight and void ratio of Scorias.	21
Table 3.6	Strength Parameter	24
Table 4.1	Unit weight and void ratio of Scorias(Triaxial test).	28
Table 4.2	Testing Contents(Triaxial test).	29
Table 4.3	Strength Parameter	33
Table 5.1	The Elasticity Coefficient of Scoria.	41
Table 6.1	Standard unit load.	42
Table 6.2	Result of compaction test.	44
Table 6.3	Result of Penetration test.	48

Figure Contents

Fig 2. 1 Colorific Distribution of Scorias in Jeju Island (윤정수, 1995).	7
Fig 3. 1 Area that pick sample	8
Fig 3. 2 Particle size distribution curve of Daho-Park in Field.	11
Fig 3. 3 Particle size distribution curve of Buk Orum in Field.	11
Fig 3. 4 Particle size distribution curve of Jimi Mt. in Field.	12
Fig 3. 5 Particle size distribution curve of Dusan Mt. in Field.	12
Fig 3. 6 Particle size distribution curve of Gomun Orum in Field.	13
Fig 3. 7 Particle size distribution curve of Bude Mt. in Field.	13
Fig 3. 8 Particle size distribution curve of Andol Orum in Field.	14
Fig 3. 9 Standard Direct shear test equipment	17
Fig 3.10 Control Panel.	18
Fig 3.11 Horizontal Strain Control System.	18
Fig 3.12 Vertical Loading System.	19
Fig 3.13 Limit Bar	19
Fig 3.14 Standard Direct Sher Test(Daho Park).	22
Fig 3.15 Standard Direct Sher Test(Buk Orum).	22
Fig 3.16 Standard Direct Sher Test(Jimi Mt.).	22
Fig 3.17 Standard Direct Sher Test(Dusan Mt.).	22
Fig 3.18 Standard Direct Sher Test(Gomun Orum).	23
Fig 3.19 Standard Direct Sher Test(Budae Mt.).	23
Fig 3.20 Standard Direct Sher Test(Andol Orum).	23
Fig 3.21 Large Size Direct Shear Test(Daho Park).	23
Fig 3.22 Large Size Direct Shear Test(Dusan Mt.).	24
Fig 3.23 Large Size Direct Shear Test(Andol Orum).	24
Fig 4. 1 Illustration of Triaxial Test	26
Fig 4. 2 Illustration of Specimen	26

Fig 4. 3	Central Bulging of Specimen during Triaxial Test.	28
Fig 4. 4	Relationship between strain Deviator stress(Daho Park)	30
Fig 4. 5	Relationship between strain Deviator stress(Buk Orum)	30
Fig 4. 6	Relationship between strain Deviator stress(Jimi Mt.)	31
Fig 4. 7	Relationship between strain Deviator stress(Dusan Mt.)	31
Fig 4. 8	Relationship between strain Deviator stress(Gomun Orum)	32
Fig 4. 9	Relationship between strain Deviator stress(Budae Mt.)	32
Fig 4.10	Relationship between normal stress and shear stress (Daho Park)	34
Fig 4.11	Relationship between normal stress and shear stress (Buk Orum)	34
Fig 4.12	Relationship between normal stress and shear stress (Jimi Mt.)	35
Fig 4.13	Relationship between normal stress and shear stress (Dusan Mt.)	35
Fig 4.14	Relationship between normal stress and shear stress (Gomun Orum)	36
Fig 4.15	Relationship between normal stress and shear stress (Budae Mt.)	36
Fig 4.16	Relationship between dry unit weight and internal friction	37
Fig 4.17	Relationship between void ratio and internal friction	37
Fig 4.18	Relationship between Internal friction and Percent retained on each sieve(%)	38
Fig 5. 1	Grain Size Distribution Curve(Large direct shear test, Daho Park)	39
Fig 5. 2	Grain Size Distribution Curve(Large direct shear test, Jimi Mt.)	39
Fig 5. 3	Grain Size Distribution Curve(Large direct shear test, Dusan Mt.)	39
Fig 5. 4	Grain Size Distribution Curve(Large direct shear test, Andol Orum)	39
Fig 6. 1	Penetration test equipment	43

Fig 6. 2	Modified CBR between Penetration test(Daho Park)	45
Fig 6. 3	Modified CBR between Penetration test(Buk Orum)	45
Fig 6. 4	Modified CBR between Penetration test(Jimi Mt.)	46
Fig 6. 5	Modified CBR between Penetration test(Dusan Mt.)	46
Fig 6. 6	Modified CBR between Penetration test(Gomun Orum)	47
Fig 6. 7	Modified CBR between Penetration test(Budae Mt.)	47
Fig 6. 8	Relionship between modified CBR and G_s	48
Fig 6. 9	Relionship between modified CBR and $0.95r_{d(max)}$	49
Fig 6.10	Relionship between modified CBR and Internal Friction	49
Fig 6.11	Relionship between modified CBR and Percent retained on each sieve(%)	50



Summary

Scoria, which is distributed throughout Jeju-do, is totally different from general granitic soil of weathered rock or sandy soil in its mechanical characteristics.

This study provides basic data for design and construction of actual engineering by examining and analyzing mechanical characteristics of Scoria. To do that, physical properties test was executed by color, and direct shear test as well as triaxial compression test were performed to study strength characteristics of scoria. Also, CBR test was done to examine usability of scoria as road and supplementary materials. As results, general strength constant was derived with these conclusions.

1. Internal friction angle of large direct shear test showed bigger than that of triaxial compression test, and on standard direct shear test, it was difficult to find breaking point because of continuous stress increase.

2. Results of triaxial compression test showed that internal friction angle of scoria is proportional to dry unit weight and specific gravity increase, and it is inversely proportional to void ratio increase.

3. Main elements of scoria are SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 . Higher SiO_2 content increases modified CBR, and lower Fe_2O_3 content decreases internal friction angle and modified CBR.

4. For most of scoria samples, modulus of elasticity was about 2~9 kg/cm^2 . This is much smaller value than that of sandy soil, and it is almost similar to that of viscose soil.

5. Color fragmentation of scoria was occurred in yellowish brown, reddish brown, and dark grey in order, and consideration of displacement needs to be done on designing roads or other structures rather than that of strength since lots of displacement was occurred on fragmentation.

6. Modified CBR values of scoria varied: reddish brown samples from Daho Park and Buk Orum were measured from 68 to 80, and dark gray samples from Jimi Mounatin, Dusan Mounatin, and Gomun Orum were measured from 63 to 77.5 on those values. Also, values of yellowish brown samples from Budae Mounatin were measured 19. Thus, it is considered that scoria samples except those from Budae Mounatin can be used as a subbase material since modified CBR value of general subbase materials is 30 or more.

7. Modified CBR value of Scoria becomes bigger as specific gravity, $0.95\gamma_{d(\max)}$, and internal friction angle increase.



I. 서론

1. 연구배경

제주도는 화산도로서 후기 화산활동과 관련이 있는 화산쇄설물인 암재구가 도내 전역에 광범위하게 분포되어 있다. 암재구를 구성하고 있는 암재를 제주도 방언으로 “송이(scoria)”라 칭하며 송이는 일반적인 화강풍화토나 사질토와는 공학적인 성질에 있어서 현저하게 다르다. 현재 제주도는 국제자유도시특별법(2002.4.1)이 시행되면서 새로운 발전의 전기를 마련됐다. 이로 인해 공항, 항만, 도로 등에서 많은 건설공사가 수행되거나 수행될 예정으로 있으며, 도로신설 및 확장계획으로는 2011년까지 총 658Km의 도로를 신설·확장할 계획이다.

위와 같이 제주도의 토목공사는 과거보다 대형화되고 있다. 그러나 공사현장에서는 송이에 의해 어려운 문제에 봉착하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 송이는 종류에 따라 누르기만 해도 부서지는 송이가 있는 반면 자갈처럼 강도가 큰 송이도 있다. 이로 인해 건설공사의 공기가 많이 지연되고 있다. 이러한 송이에 대한 공학적 특성은 단지 각 공사현장에서의 경험이 구전되어 내려올 뿐이지 이에 대한 정리와 규명이 아주 미미한 상태이다(건설부, 1979). 따라서 제주도내에 널리 분포하고 있는 송이의 공학적 특성에 관한 정리가 매우 시급한 실정이라 할 수 있다.

2. 연구목적

제주도 전역에 널리 분포되어 있는 송이는 화산폭발시 마그마의 주성분이나 주변상황에 따라 물리·화학적 특성을 달리한다. 송이는 그 색상에 따라 적갈색, 황갈색, 암회색 및 흑색으로 크게 분류할 수 있는데 이런 색상이나

분출시기에 따라서도 성질을 다르게 나타내고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 송이에 대한 공학적 특성을 조사 분석하여 실제 토목설계와 시공에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위해 색상별로 송이에 대한 물성시험을 수행하고 송이의 강도특성을 연구하기 위해 직접전단시험, 삼축압축시험을 수행하였고, 송이의 노상 및 보조기층재료로서 활용할수 있는지 확인하기 위해 CBR 시험을 수행하였다. 시험 방법별 강도특성, 색상 및 구속응력에 따른 강도특성, 입자의 파쇄특성, 노상 및 보조기층재료로서의 활용성에 대해서 살펴보고자 한다.



II. 제주도내 지질특성 및 송이의 분포

1. 지질특성

제주도는 신생대 제3기~제4기에 형성된 화산도로 수십차례에 걸친 화산분출에 의해 형성되었고, 섬 중앙의 한라산을 중심으로 쉘드 화산체를 이룬다. 한라산 정상부에는 화산활동에 의해 형성된 지름이 약 575x400m, 깊이가 100m에 이르는 분화구가 있으며, 돛상의 조면암이 분화구 주변에 관입되어 있다. 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 특히 장축과 일치하는 방향으로 집중적으로 배열되어 있다. 제주도에서는 이를 “오름”이라 한다. 이러한 기생화산은 현무암추(Basalt cone)와 분석구(Cinder cone)의 두 종류로 크게 분류할 수 있다. 전자는 성산층 및 화순층 퇴적기에 형성된 화산구(Volcanic cone)로서 10여개에 불과하고 대부분은 후기 화산활동 후에 형성된 분석구이다.

제주도를 구성하는 화산암류는 알카리현무암, 하와이아이트, 뮤저라이트, 조면암, 소량의 쏘리아이트로 이루어져 있으며(Lee, 1982, 박준범외, 1991), 섬의 중앙에 위치한 중앙화구인 백록담과 주로 동북동~서남서 방향으로 배열된 360여개의 분석구들이 제주도의 지질을 지배한다. 점성이 낮은 현무암질 용암류에 의해 만들어진 넓은 용암대지에는 다양한 현무암질 화산암류와 국부적으로 현무암질 분석, 현무암질 응회암이 분포하고 있다. 또한 해안지역 일부에서는 함화석 사질암(서귀포층), 현무암질 사암 혹은 역암(신양리층)이 노출되며, 신양리층과 유사한 암상을 가지는 저고결 퇴적암층의 잔해들이 섬의 남부 혹은 동부 해안 일부지역에서 관찰된다.(황재하 외, 1994). 이들 화산암은 해수면하 약 100 m 까지만 존재하고, 그 이하는 시대미상의 미고결 퇴적층 및 중생대로 추정되는 기반암이 분포한다.(윤상규 외, 1984; 박준범 외, 1991; 최순학 외,1991).

2. 오름의 일반적인 특징

비교적 소규모의 폭발적 분화로 상공 수백m의 높이까지 쏘아올려진 방출물이 화구 주변에 퇴적되어 만들어진 소화산체를 화쇄구라고 한다. 이것은 일반적으로 일윤회성분화 활동으로 생성되기 때문에 저경 1km이하, 비고 200~300m 정도의 규모가 많다.

화쇄구는 화산쇄설성 물질의 종류에 의해 스킨리아구, 경석구, 화산회구로 세분된다. 또한 화산회구 중에서 퇴적물의 양이 적고 야트막한 환상구가 화구를 둘러싸고 있는 것을 응회환(tuff ring)이라고 부른다. 이 중에서 환상구가 매우 낮고 화구만으로 이루어진 것같이 보이는 것을 마-르(maar)라고 부른다.

제주도의 화산은 대부분이 현무암질 용암분출에 기인한 분화활동이므로 우리가 “오름”이라고 부르고 있는 것은 주로 스킨리아구이며, 일부 해안지역에서 수증화산활동과 관련된 응회구, 응회환 및 마르도 분포하고 있다. 또한 산방산과 같은 독립된 조면암질의 용암원정구도 소화구로 인정되므로, 오름이라고 하는 범주에는 크게 스킨리아구, 수증화산, 용암원정구를 포함한다.

1) 스킨리아구(scoria cone, cinder cone)

스킨리아구는 고철질 마그마가 수백미터 상공에 뿜어 올려지는 스트롬볼리식 분화에 의해 형성된 것으로 지금까지는 흔히 분석구(cinder cone)라고 불려져 왔다. 일반적으로 직경 수cm 정도의 흑색 다공질의 스킨리아로 구성되어 있으며, 불명료한 성층구조를 갖는다.

스킨리아구는 현무암질 마그마가 분출하는 하와이와 같은 순상화산이나 아이슬랜드와 같은 용암대지에서 많이 볼 수 있으며, 화도의 위치를 나타내는 것으로서 귀중한 존재이다. 이와 같은 장소에서는 평탄한 용암류의 대지상에 균생하는 경우가 많다.

2) 수증화산구(hydrovolcanic cone)

고온의 마그마가 천해나 지하수 또는 지표수의 물과 접촉하게 되면 대량의 물이 기화하면서 압력이 증대되어 폭발적 분화가 일어난다. 이와 같은 비마그마성 물에 의한 폭발적 분화에서 기인된 화산을 수증화산이라고 한다.

화산회구중에서 화구의 크기에 비해 주위에 퇴적하는 방출물이 적고 낮은 환상의 언덕을 갖는 것을 특별히 응회환이라 부른다.

3) 용암원정구(lava dome)

조면암질 용암은 점성이 커서 분출시 현무암질 용암과 같이 넓게 흐르지 못하고 화구상에서 굳어지는 특징이 있으며, 이렇게 해서 형성된 조면암의 덩어리를 용암원정구라고 한다. 제주도 서남부 해안지역에 위치한 산방산은 조면암질 안산암으로서 용암원정구의 대표적인 모식지라고 할 수 있다.

3. 송이의 분포



화산분출물 중 다공질이며 암색(검정색·적갈색·황갈색·암회색 등)인 암괴(岩塊)를 암재라 한다. 마그마가 대기 중으로 방출되어 그 속의 휘발성 성분이 빠져나가 많은 기공(氣孔)이 생긴 것으로 부석(浮石)보다 다소 무겁고, 염기성 또는 중성의 마그마에서 유래된 것을 스킨리아(scoria)라 한다. 이러한 암재를 제주도 방언으로 “송이”라고 한다.

화산의 화구로부터 분출되는 암편과 화산회를 총칭하여 화산쇄설물이라고 하는데, 그 중 직경이 32mm 이상인 것을 화산암괴(Volcanic block)라 하며, 이중 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 한다. 이러한 화산쇄설물이 낙하하여 퇴적

되어 있는 지층을 스코리아층이라 한다. 스코리아로 구성된 분석구는 분출 퇴적 범위는 수 km이며, 분화구에서 3km 지점에는 1cm 크기의 스코리아가 10 cm 두께로 층을 이룬다고 한다. 스코리아로 구성된 분석구 분포지역은 스코리아의 물성에 좌우된다. 스코리아는 기공의 함량의 높고 각력상으로 산출된다. 이러한 조립질층 상위에는 미립질 스코리아가 협재되어 층리를 형성하고 있다.

송이는 색상에 있어서 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 검정색(Black) 및 암회색(Dark-Grey)으로 크게 구별할 수 있다.

제주도내 송이의 분포를 조사하기 위하여 일부는 채취하였으며, 일부는 다른 문헌(윤정수, 1995)을 참고하여 송이에 대하여 검토하였다. 이들 자료는 대부분 북제주군 지역을 위주로 하였지만 Fig 2.1에서 보는 바와 같이 일반적으로 적갈색 송이가 20개 지역으로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며 이들은 특히 중산간 지역에 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.



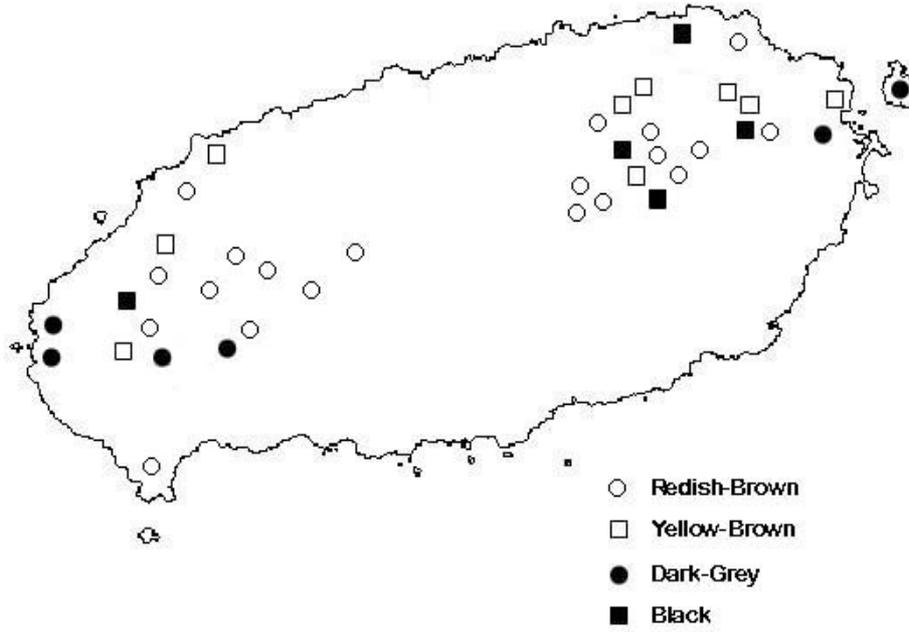


Fig 2.1 Colorific Distribution of Scorias in Jeju Island(윤경수, 1995)



Ⅲ. 직접전단시험

1. 사용 송이의 채취 장소와 기본 물성치

1) 채취 장소

시험에 사용한 송이는 각 시료마다 약 50kg 정도의 송이를 채취하였으며 채취 장소는 다음과 같다.(Fig. 3.1)

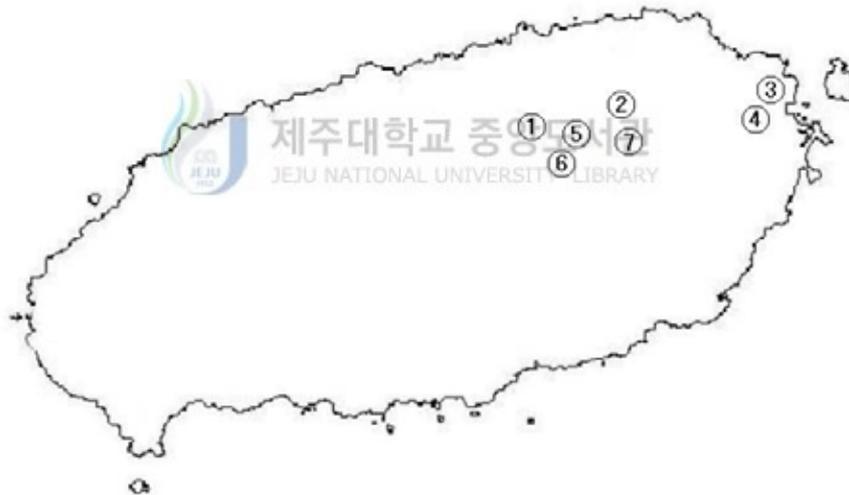


Fig. 3.2 Area that pick sample

제주도의 송이는 장축 방향으로 분포 밀도가 높게 나타나고 있다. 송이 채취는 동쪽지역을 중심으로 조천읍 3개소, 구좌읍 3개소, 성산읍 1개소로 모두

7개 지역에서 채취하였다. 대부분 오름에서 채취하였으며, 색상별 강도 특성을 알아보기 위해 서로 다른 색깔의 송이를 채취하였다.

Table 3.1은 송이를 채취한 오름과 색상 및 소재지를 나타내고 있다. 다호농장과 북오름은 적갈색, 지미봉은 암회색, 두산봉은 암회색과 황갈색이 7:3 정도의 비율로 섞여 있었다. 거문오름은 암회색과 황갈색이 3:7 정도의 비율로 섞여 있으며, 부대악과 안돌오름은 황갈색을 띠고 있었다.

Table 3.1 Area that pick sample

Sample No.	Place name	Color	Location
①	Daho Park	Redish brown	Bukjejugun Jocheuneup Seonhyulri
②	Buk Orum	Redish brown	Bukjejugun Gujwaeup Deukchonri
③	Jimi Mt.	Dark grey	Bukjejugun Gujwaeup Chongdalri
④	Dusan Mt.	Dark grey(30%) Yellow brown(70%)	Namjejugun Seongsaneup shihungri
⑤	Gomun Orum	Dark grey(70%) Yellow brown(30%)	Bukjejugun Jocheuneup Seonhyulri
⑥	Budae Mt.	Yellow-brown	Bukjejugun Jocheuneup Seonhyulri
⑦	Andol Orum	Yellow-brown	Bukjejugun Gujwaeup Songdangri

2) 기본 물성치

채취한 시료에 대해 기본적인 물성치를 알아내기 위해 체분석 시험과 비중 시험을 실시하였다.

(1) 체분석 시험

체분석 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. 체분석 시험은 채취한 시료를 먼저 노건조(oven-dry)시켜 무게가 항량이 될 때까지 기다린 후, 건조된 시료를 사분법에 의해 나눠서 체분석을 실시하였다. 체분석은 각 3회씩 실시하여 평균으로 값을 나타내었다. Fig 3.2~Fig 3.8는 각 오름별 자연상태의 입도분포곡선을 나타내고 있다.

Table 3.2는 각 시료별 균등계수와 곡률계수를 나타내었다.

Table 3.2 Uniformity Coefficient(C_u) and coefficient of Gradation(C_c) in Field.

Place name	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_c
Daho Park	0.37	1.3	3.25	8.78	1.41
Buk Orum	0.54	1.66	5.4	10	0.94
Jimi Mt.	1.4	4.9	9	4.74	1.4
Dusan Mt.	0.53	1.05	2.3	4.34	0.9
Gomun Orum	0.85	2.5	6	7.06	1.23
Budae Mt.	0.15	1	3.2	21.33	2.08
Andol Orum	0.22	1.9	5	22.73	3.28

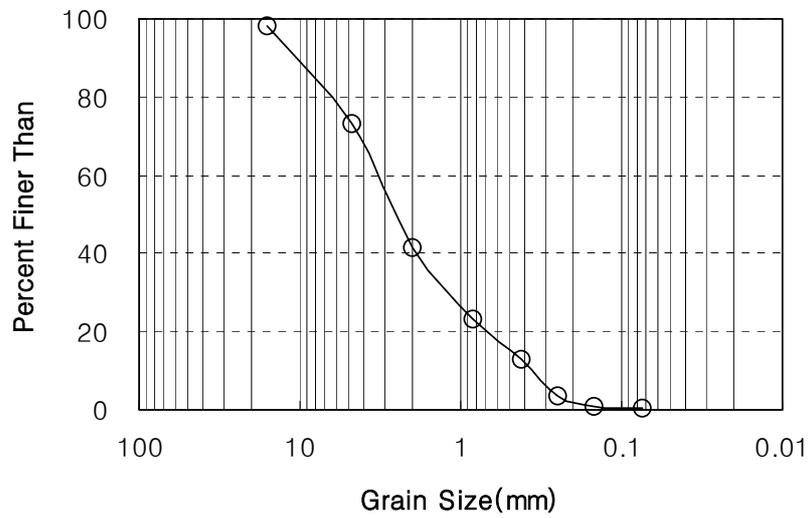


Fig 3.2 Particle size distribution curve of Daho Park in Field.

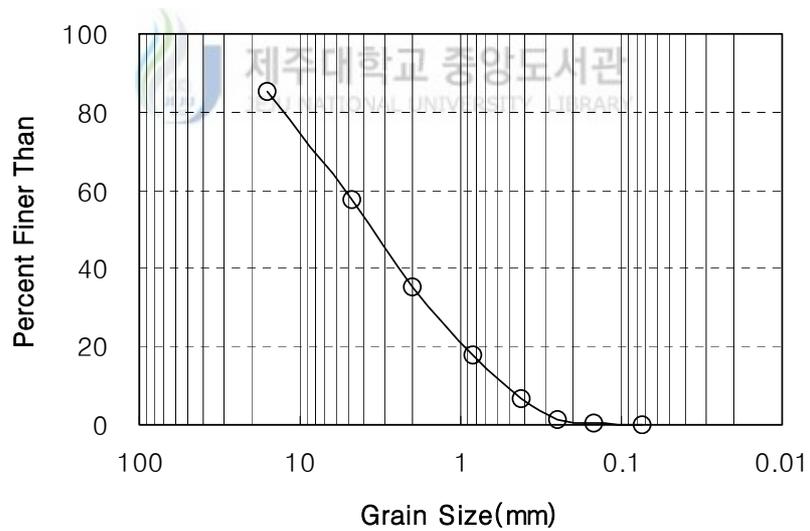


Fig 3.3 Particle size distribution curve of Buk Orum in Field.

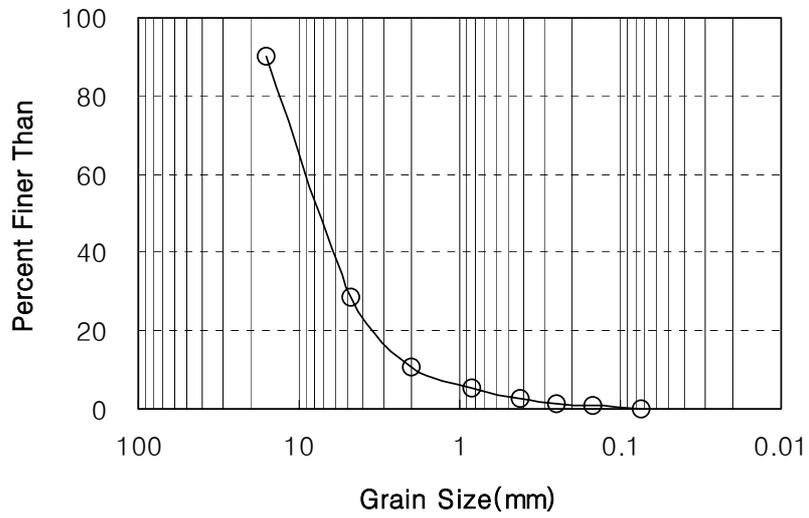


Fig 3.4 Particle size distribution curve of Jimi Mt.in Field.

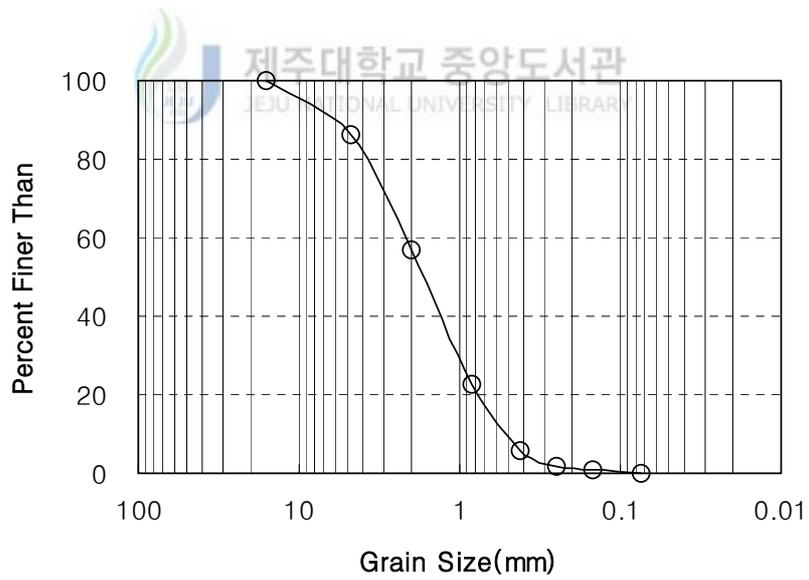


Fig 3.5 Particle size distribution curve of Dusan Mt.in Field.

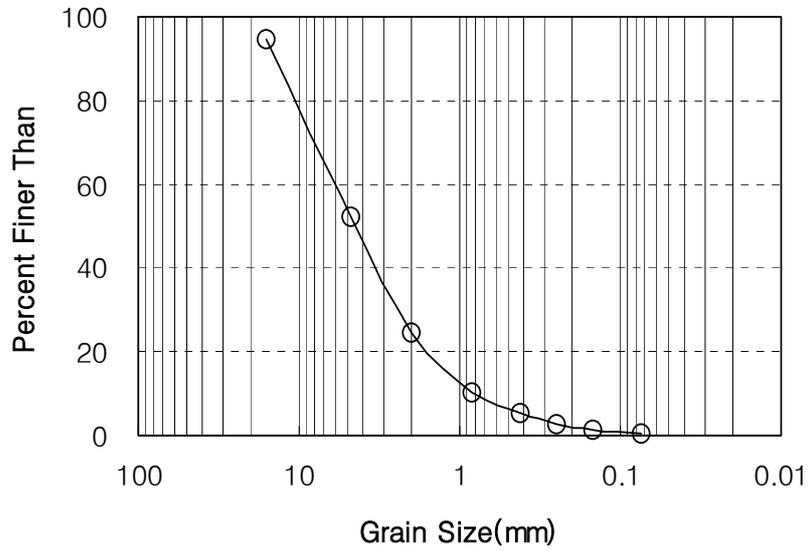


Fig 3.6 Particle size distribution curve of Gomun Orum in Field.

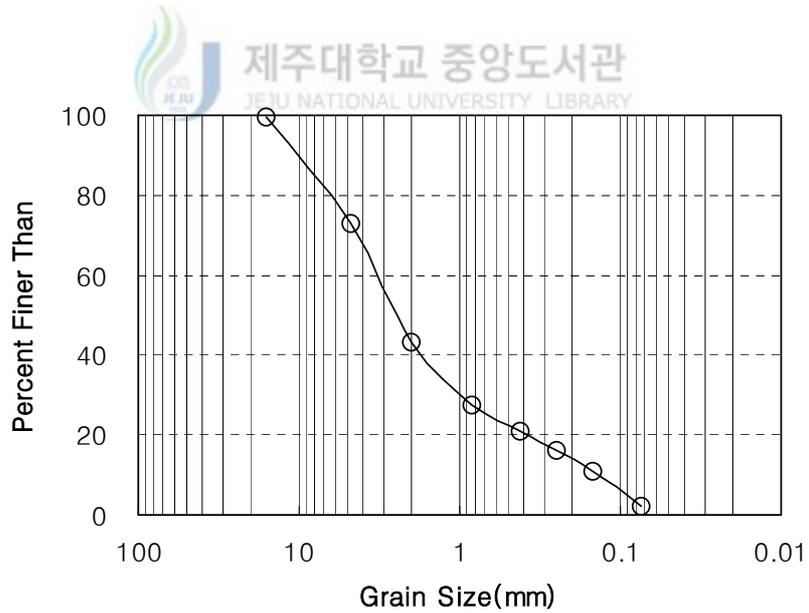


Fig 3.7 Particle size distribution curve of Budae Mt. in Field.

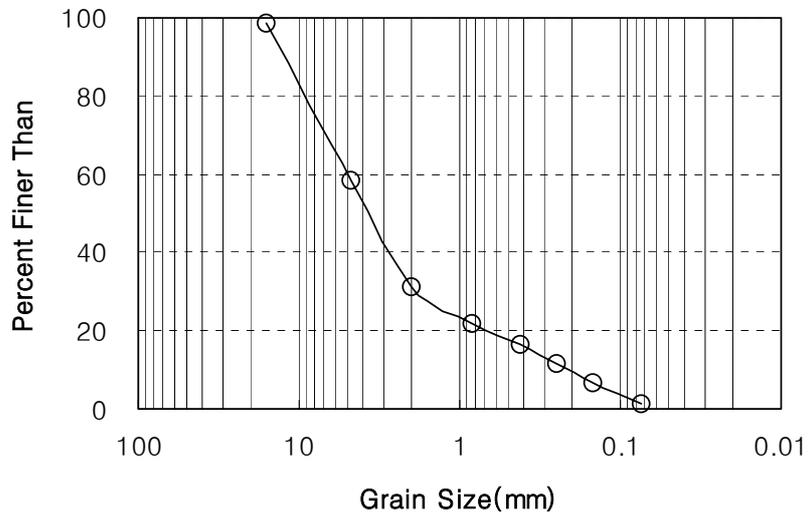


Fig 3.8 Particle size distribution curve of Andol Orum in Field.

(2) 비중시험



Table 3.3은 송이의 대한 비중시험 결과이다. 송이는 입자크기가 생성 과정의 특징과 풍화도에 따라 미세입자로부터 10cm 이상 되는 것도 있다. 이 때문에 비중 시험시 입자 크기는 No.200체 통과 시료를 사용하였고 KSF 2308 규정에 따랐다. 시험 결과 부대약이 2.54로 제일 작고 북오름이 2.92로 제일 크게 나왔다.

Table 3.3 Specific Gravity of Scorias.

Place name	Specific Gravity(Gs)
Daho Park	2.67
Buk Orum	2.92
Jimi Mt.	2.70
Dusan Mt.	2.80
Gomun Orum	2.83
Budae Mt.	2.54
Andol Orum	2.89

(3) 화학분석

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

$$LOI = [(도가니 + 시료)LOI전 - (도가니 + 시료)LOI후] / (시료무게) \times 100(\%)$$

Table 3.4는 시험에 사용된 시료들에 대한 화학분석 결과를 나타내었다.

Table 3.4 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(%)
Daho Park	48.20	16.15	2.54	11.18	4.05	7.08	2.61	1.48	0.16	0.48	5.14	99.06
Buk Orum	38.34	19.89	2.93	13.53	4.61	7.31	2.44	0.96	0.22	0.70	9.30	100.22
Jimi Mt.	43.51	20.82	2.87	12.61	4.06	5.32	2.12	1.68	0.19	0.48	6.24	99.90
Dusan Mt.	44.68	15.93	2.63	13.63	7.84	7.38	2.30	0.93	0.20	0.50	4.07	100.08
Gomun Orum	42.23	20.06	2.96	14.40	3.20	4.46	1.51	0.60	0.30	0.56	9.66	99.93
Budae Mt.	31.82	20.18	4.05	20.04	2.72	0.77	0.24	-	0.37	0.54	18.50	99.22
Andol Orum	31.27	19.84	4.03	19.31	3.55	1.20	0.31	-	0.41	0.73	18.36	99.00

2. 시험장비



송이는 입자의 크기가 일반 흙과는 달리 생성 과정의 특징과 풍화도에 따라 미세 입자로부터 입경이 10cm 이상 되는 것도 있다. 입자의 크기에 따라 강도의 차이가 날 수도 있기 때문에 표준 직접전단시험과 별도로 주문 제작한 대형 직접전단시험기를 병행해서 시험을 실시하였다.

송이의 전단강도를 측정하기 위해 다음과 같이 2가지 종류의 전단 시험장비를 사용하였다.

1) 표준 직접전단시험기

본 연구에 사용된 표준 직접전단시험기는 일반적으로 많이 사용되는 ELE 사의 제품으로, 몰드의 모양은 원기둥형이며 직경이 63.3mm, 높이가 42mm이고, 변형을 제어 방식에다 하부 이동식이다. 또한 침수 시험이 가능

한 전단 box가 있다. 수직하중의 범위는 0~1000kg이고 추를 이용해서 재하를 하는 방식이며, 수평하중의 범위는 0~5kN이다. 수평 전단력은 proving ring을 이용하고, 수직, 수평변위는 dialgauge를 이용하여 측정하였다. 속도 범위는 0~9.99999mm/min 이다. Fig 3.1은 표준 직접전단시험기의 구조를 나타내고 있다.

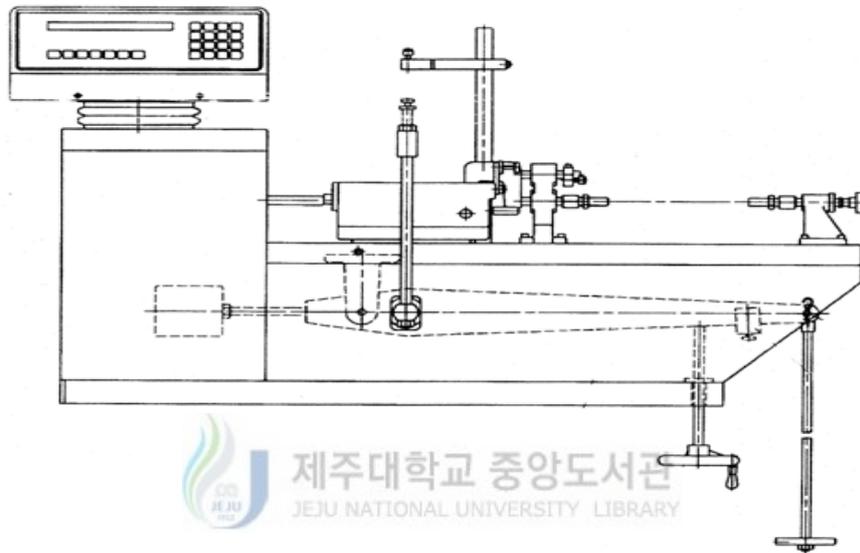


Fig. 3.9 Standard Direct shear test equipment

2) 대형 직접전단시험기

본 연구에 사용된 대형 직접전단시험기는 그 구조와 시험 원리는 표준 직접전단시험기와 거의 비슷하다고 할 수 있다. 몰드는 가로, 세로, 높이가 각각 20cm인 정육면체 형이다. 대형 직접전단시험기는 크게 두 개의 하중장치로 구성되어 있다. 첫 번째는 상부 전단상자에 가해지는 연직하중 장치가 있는데 수직응력의 범위는 0~7.5kg/cm²이고, 유압를 이용해서 재하를 하는 방식이다. 두 번째는 전단작용을 하는 수평하중 장치로서 속도 범위는 0.2mm/min~3.5mm/min이다.

Fig 3.10~Fig 3.13는 대형 직접전단시험기의 부분적인 장치를 나타내고 있다. Fig 3.13는 Limit bar를 나타내며 전단시 상부 전단상자의 틀림현상 방지 및 구속한다.

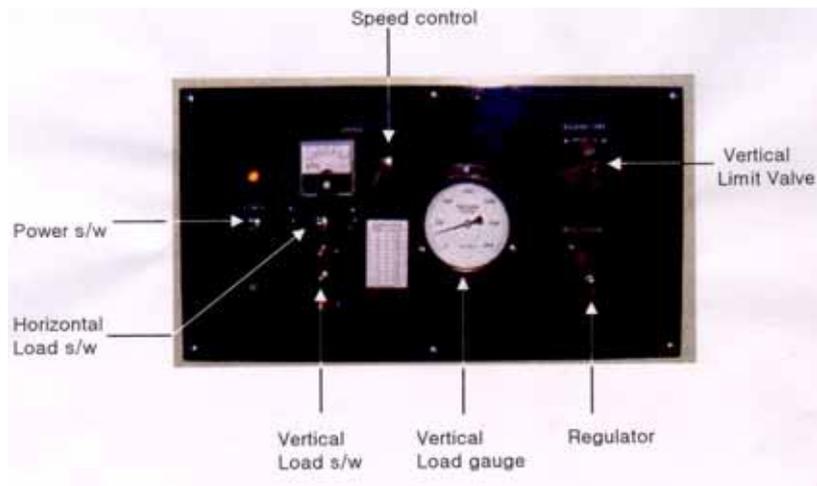


Fig 3.10 Control Panel.



Fig 3.11 Horizontal Strain Control System.

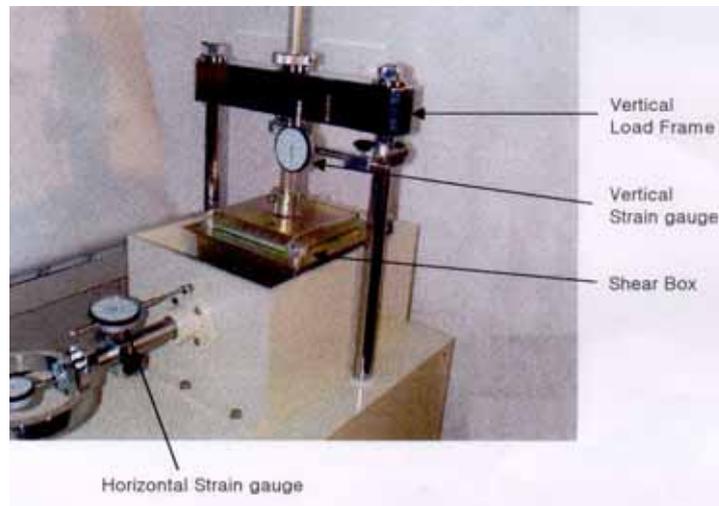


Fig 3.12 Vertical Loading System.

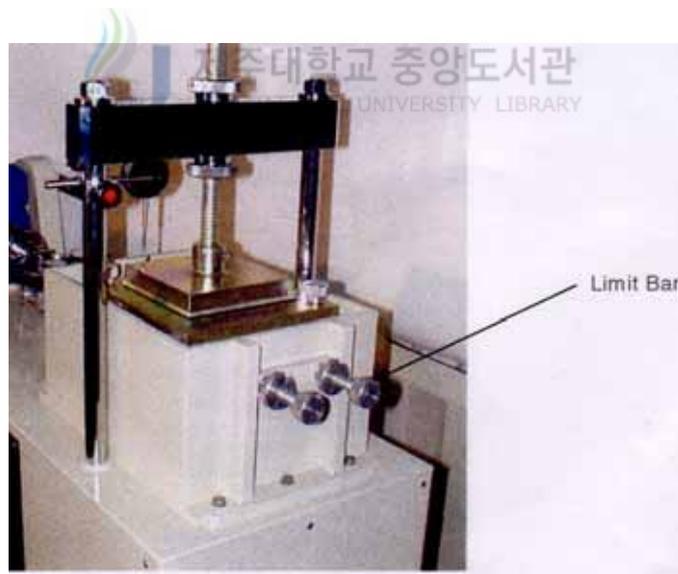


Fig 3.13 Limit Bar

3) 시험방법

직접전단시험은 갈라진 전단상자 속에 시료를 채워넣고 연직하중을 가해 압밀을 시키고 난 후, 수평하중을 가하여 흙이 갈라진 수평면을 따라 전단되도록 하는 방식이다. 본 연구에서는 모든 공시체에 압밀을 10분 동안 압밀을 실시하고 전단 시험을 시작하였으며, 전단 속도는 표준인 경우 0.2mm/min, 대형인 경우 1mm/min을 적용하였다.

3. 공시체 제작

송이는 쉽게 파쇄되는 성질이 있기 때문에 시험 전 공시체 제작시 충격을 가하지 않고자 표준 직접전단 시험인 경우, 몰드 주변을 조심스럽게 두들기며 상대밀도에 맞춰서 몰드에 넣었다. 그리고 대형 직접전단시험인 경우는 일정한 높이를 유지하면서 조심스럽게 시료를 몰드에 부어 넣어 상대밀도 70%로 일정하게 맞췄다.

공시체를 만들 때 사용시료의 입경은 표준전단시험인 경우 2~4.75mm, 대형전단시험인 경우 4.75~15.9mm 사이의 시료를 사용하였다.

Table 3.5는 각 시험 시료에 대한 건조단위중량 및 초기 간극비이다. 여기서, 같은 상대밀도임에도 불구하고 시료마다 다른 단위중량을 보이는 이유는 각 시료마다 비중과 입도분포가 다르기 때문이다.

Table 3.5 Unit weight and void ratio of Scorias.

Place name	Relative density D_r (%)	Unit weight γ_d (kg/cm ³)		Void ratio e_0	
		Standard	Large	Standard	Large
Daho Park	70	0.60	0.54	3.45	3.94
Buk Orum	70	0.90	0.81	2.24	2.60
Jimi Mt.	70	0.61	0.51	3.43	4.29
Dusan Mt.	70	0.66	0.52	3.24	4.38
Gomun Orum	70	0.56	0.48	4.05	4.90
Budae Mt.	70	0.47	0.44	4.40	4.77
Andol Orum	70	0.53	0.53	4.45	4.45



4. 실험결과

시료에 대한 표준직접전단시험의 결과는 Fig 3.14~Fig 3.20과 같다.

대형직접전단시험의 결과는 Fig 3.21~Fig 3.23와 같다.

표준직접전단시험의 경우 수평변형이 진행됨에 따라 전단응력 또한 지속적으로 증가해 뚜렷한 파괴점의 파악이 어려워 강도정수의 결정이 불가능한 경우가 다소 발생하였다. 이러한 현상은 입자의 마모현상이 많이 발생하고 마모된 입자들이 재배치에 의해 응력증가가 발생하여 강도가 계속적으로 증가하는 것으로 보여진다. 대형직접전단시험의 경우는 파괴점의 형상이 뚜렷이 나타나는 등 표준직접전단시험과는 전혀 다른 거동형상을 보이고 있으며, 일반적인 흙의 거동형상과 각 시험결과와 비교하여보면, 더욱 신뢰도 높은 결과값임을 알 수 있다. 즉 입자의 크기가 다소크며, 파쇄성을 갖고 있는 송이

의 경우 일정크기 이상의 전단상자가 필요함을 알 수 있다. 대형직접전단시험 결과로 전단저항각과 점착력을 구하면 Table 3.6와 같다.

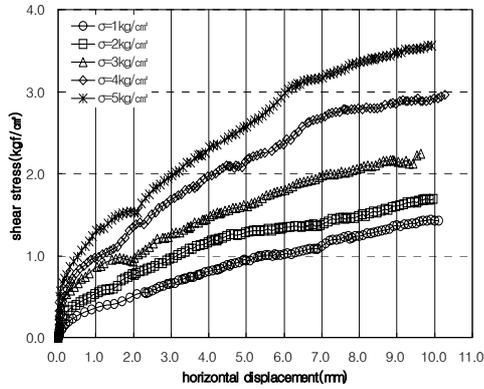


Fig 3.14 Standard Direct Shear Test (Daho Park)

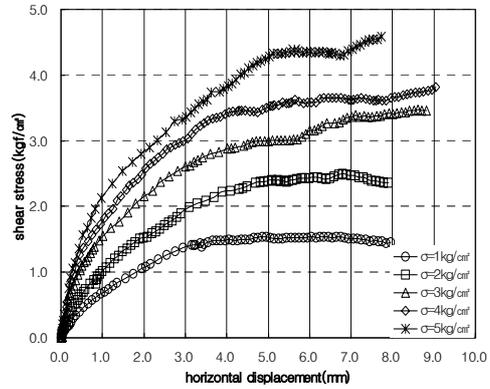


Fig 3.15 Standard Direct Shear Test (Buk Orum)

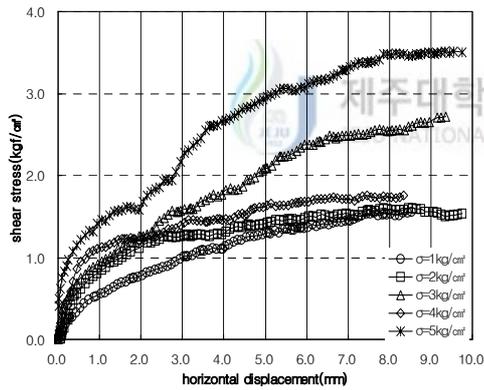


Fig 3.16 Standard Direct Shear Test (Jimi Mt.)

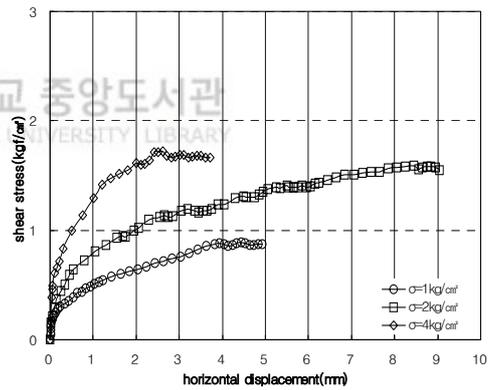


Fig 3.17 Standard Direct Shear Test (Dusan Mt.)

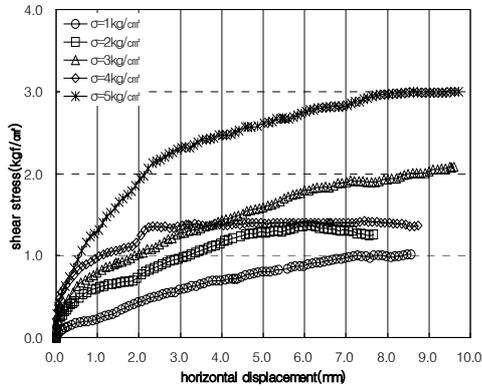


Fig 3.18 Standard Direct Shear Test
(Gomum Orum)

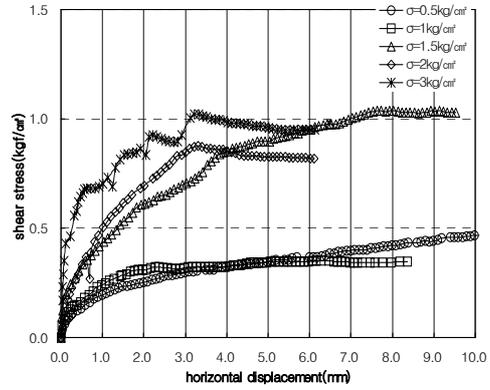


Fig 3.19 Standard Direct Shear Test
(Budae Mt.)

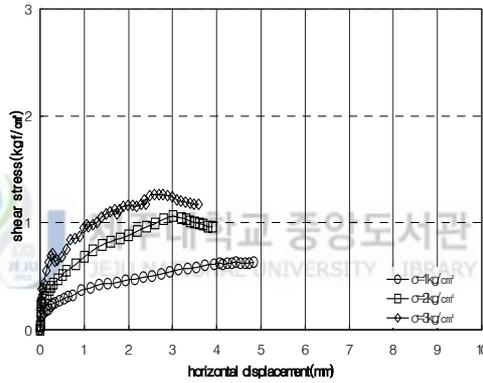


Fig 3.20 Standard Direct Shear Test (Andol Orum)

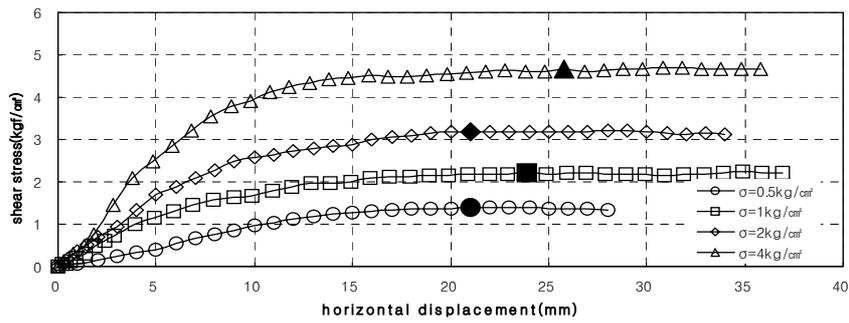


Fig 3.21 Large Size Direct Shear Test (Daho Park)

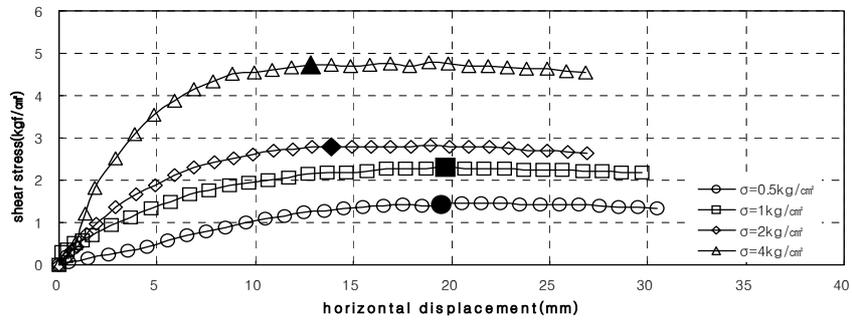


Fig 3.22 Large Size Direct Shear Test(Dusan Mt.)

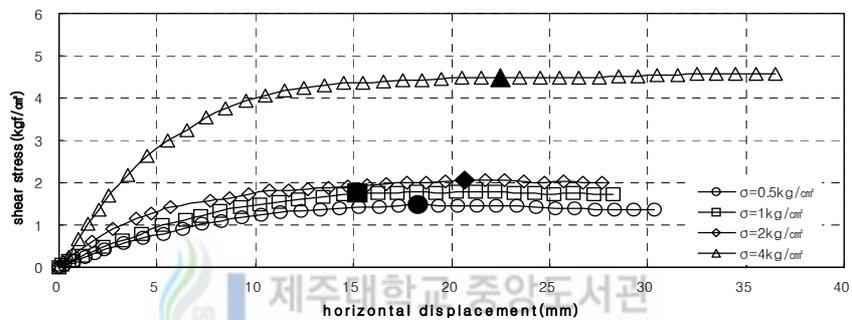


Fig 3.23 Large Size Direct Shear Test(Andol Orum)

Table 3.6 Strength Parameter

Place name	Large size	
	c	ϕ
Daho Park	1.20	41.5
Dusan Mt.	1.13	41.9
Andol Orum	0.81	40.9

IV. 삼축압축시험

1. 시험장비

본 연구는 일반적인 삼축압축시험기를 사용하여 수행하였다. 변형률제어방식으로 공시체 상하부를 통한 양방향 배수를 시켜 압밀배수삼축압축시험을 실시하였다. 삼축압축시험의 저부가 상승하는 방식으로 변형속도는 0.2mm/min의 속도로 시험을 실시하였다.

Fig 4.1은 삼축압축시험의 압밀배수시험에 대한 대략적 그림을 나타내었다. 삼축압축시험장치는 가압부와 Cell부분으로 나눌 수 있다. 가압은 Air Compressure를 이용하여 Water Pressure Assembly 내의 고무주머니를 팽창시켜 탱크 안의 물을 밖으로 밀어 Pressure Panel을 통해 압력을 조절하여 Cell과 공시체 내부의 Back Pressure를 조절하여 공급하게 된다. 삼축시험에서 Back Pressure는 0.51kg/cm²를 가하였다. Cell의 부분은 Pressure Panel을 통해 압력이 들어오는 부분으로 구속압을 결정하는 부분의 Cell Pressure와 공시체 내부의 Back Pressure가 작용하는 부분이라 하겠다.

Fig 4.2는 Cell 부분의 그림을 나타낸 그림으로 배수부분과 압력이 작용하는 부분에 대하여 간략히 나타내었다. Cell부분은 공시체를 중심으로 상하부에 Porou Stone이 놓여지고 공시체 외부에는 Cell Pressure와 공시체의 경계를 유지하는 Membrane이 있으며 가압봉과 접촉하고 상부배수를 할 수 있는 Upper Cap부분 그리고 저부배수 부분인 Base Adaptor 부분으로 구성된다. Upper Cap부분에 2개의 O링으로 멤브레인을 고정시키고 Base Adaptor 부분에도 2개의 O링으로 멤브레인을 고정시킨다.

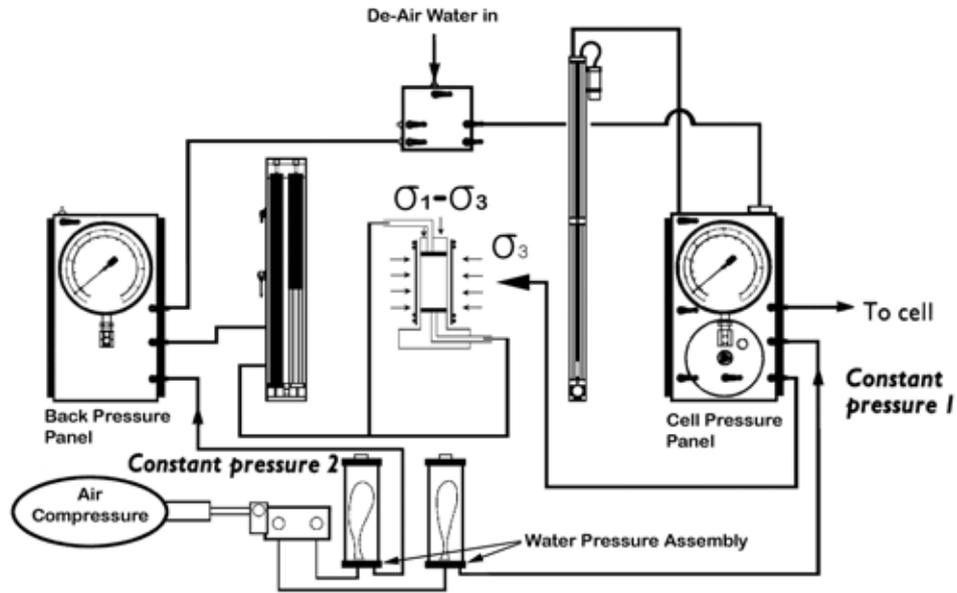


Fig 4.1 Illustration of Triaxial Test

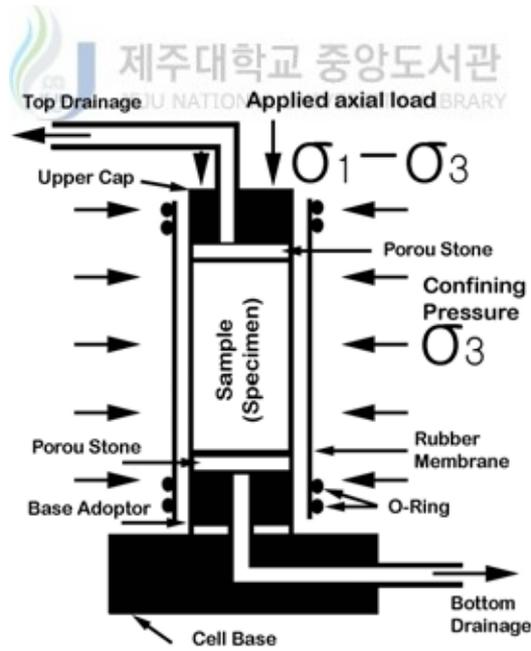


Fig 4.2 Illustration of Specimen

2. 공시체의 제작

삼축압축시험의 공시체 제작을 위해서는 상판과 저판에 연직하중작용시 공시체와의 마찰력을 줄이기 위해 가압봉과 Cell의 상부에 실리콘 그리스를 바른 다. 고무 멤브레인을 저판 둘레에 두 개의 O링으로 밀봉시키고 원통형공시체를 만들기 위해 진공 Forming Jacket을 저판위 중심에 설치한다. 이때 멤브레인은 Forming Jacket 내부를 통해 위로 당겨지고 Forming Jacket의 상부 외벽으로 이를 고정시킨 후 진공을 가하여 멤브레인을 공시체의 형태로 만든다. 일정한 상대밀도의 공시체를 만들기 위해 건조한 시료를 멤브레인 내부에 자유낙하 시켜 공시체를 제작하였다. 공시체마다 상대밀도를 70%로 일정하게 제작하였다. Table 4.1은 각 송이에 대한 실험시 상대밀도와 건조단위증량, 그리고 초기 간극비를 나타내었다. 상대밀도에 맞게 일정한 무게의 시료를 주입시키면 공시체가 필요로 하는 높이 보다 약간 높게 퇴적되는데 이때 우레탄 망치로 가볍게 두드려 높이를 조절하게 된다. 이렇게 멤브레인 내부에 모래의 주입이 끝나면 Forming Jacket을 제거하고 상판을 공시체의 중심에 설치한 후 Forming Jacket 주위로 당겨 내려놓았던 멤브레인을 상판주위로 올려 2개의 O링으로 캡에 밀봉시킨다. 공시체에 진공을 가하여 공시체를 고정시키고 공기누출탐색을 위해 Bubble Chamber를 통해 멤브레인의 공기누출여부를 탐색한다. 만일 공기누출이 탐지된다면 실험의 신뢰도를 위해 공시체의 제작을 다시 하였다. 공기누출이 완전히 방지된 것으로 확인되면 삼축셀과 Cap을 조립한 후 Chamber를 물로 채운다.

공시체를 완전히 물로 포화하기 위해서 CO₂가스를 배수선 저부로부터 주입한다. 이산화탄소 가스는 공기보다 무거워 이를 공시체에 주입시 공시체 내부의 공기를 위로 밀어내어 상부배수선을 통해 공기를 밖으로 추출할 수 있으며 공시체를 물로 포화시킬 때에 완전히 포화가 안되었을 경우에도 CO₂가스의 압축성이 물과 비슷해 체적변형량 측정에 유리한 이점이 된다. CO₂가스를 약 30분 정도 주입한 후 공기가 제거된 물(De-air water)을 공시체에 주입하여 공시체를 포화시키고 실험을 실시한다.

Table 4.7 Unit weight and void ratio of Scorias(Triaxial test).

Place name	Relative density Dr(%)	Unit weight $\gamma_d(\text{kg}/\text{cm}^3)$	Void ratio e_0
Daho Park	70	0.78	2.42
Buk Orum	70	1.04	1.81
Jimi Mt.	70	0.79	2.42
Dusan Mt.	70	0.98	1.86
Gomun Orum	70	0.72	2.93
Budae Mt.	70	0.55	3.62



Fig 4.3 Central Bulging of Specimen during Triaxial Test.

3. 삼축압축시험

Table 4.2는 삼축압축시험을 실시한 것을 ⊙로 표시하여 나타내었다. 다호농장, 북오름, 두산봉, 거문오름은 동일한 상대밀도 70%에 대하여 구속압을 0.51kg/cm²(50KPa), 1.02kg/cm²(100KPa), 2.04kg/cm²(200KPa)로 변화시켜 시험을 실시하였다. 거문오름과 부대약은 동일한 상대밀도 70%에 대하여 구속압 2.04kg/cm²(200KPa)을 주는 과정에서 하중전달봉과 공시체의 접촉점이 이탈되어 정확한 시험을 실시할 수가 없었다. 그래서 거문오름은 구속압을 0.51kg/cm²(50KPa), 1.02kg/cm²(100KPa), 1.53kg/cm²(150KPa)로 하였고, 부대약은 0.25kg/cm²(25KPa), 0.51kg/cm²(50KPa), 0.77kg/cm²(75KPa), 1.02kg/cm²(100KPa)로 하여 시험을 실시하였다.

삼축압축시험시 수평변위는 직접 측정할 수 없다. 따라서 체적변형률과 축변형률의 관계로부터 수평변위를 구하게 되는데 시험시 공시체는 중앙부의 bulging이 발생하게 된다. 이 복부가 팽창하는 부분에서 오차가 발생하는 것으로 생각된다. 이러한 점을 보완하기 위해서 근래의 시험에서 내부압축실의 체적 변형률을 측정하고 공시체의 연직변형률을 이용하여 수평변위와 두께변형률의 평균값을 유도하여 사용하고 있다. Fig 4.3에서는 삼축압축시험시 복부팽창을 나타내었다.

Table 4.8 Testing Contents(Triaxial test)

Place name	Relative density Dr(%)	Triaxial Test					
		Confining Pressure(kg/cm ³)					
		0.25	0.51	0.77	1.02	1.53	2.04
Daho Park	70		⊙		⊙		⊙
Buk Orum	70		⊙		⊙		⊙
Jimi Mt.	70		⊙		⊙		⊙
Dusan Mt.	70		⊙		⊙		⊙
Gomun Orum	70		⊙		⊙	⊙	
Budae Mt.	70	⊙	⊙	⊙	⊙		

4. 시험결과

각 시료에 대한 삼축압축시험결과 축변형률-축차응력의 관련 그래프는 Fig 4.4 ~ Fig 4.9와 같다.

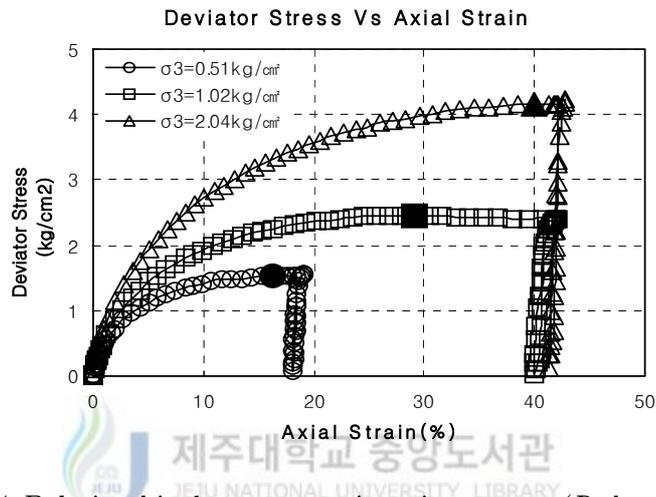


Fig 4.4 Relationship between strain deviator stress(Dahoh Park)

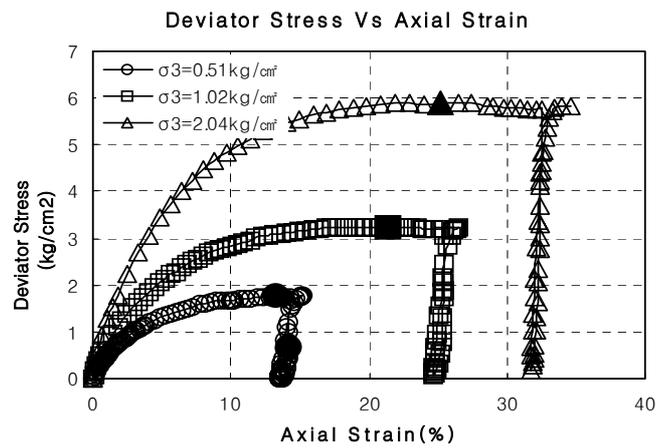


Fig 4.5 Relationship between strain Deviator stress(Buk Orum)

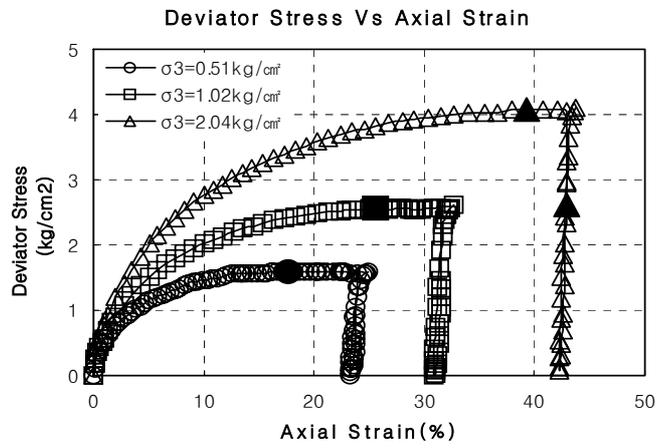


Fig 4.6 Relationship between strain Deviator stress(Jimi Mt.)

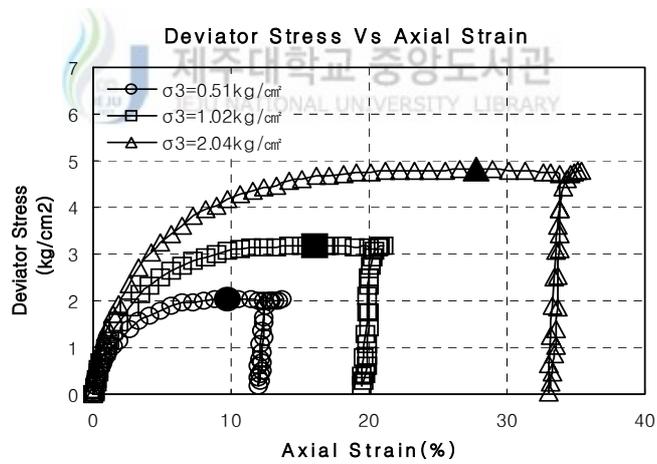


Fig 4.7 Relationship between strain Deviator stress(Dusan Mt.)

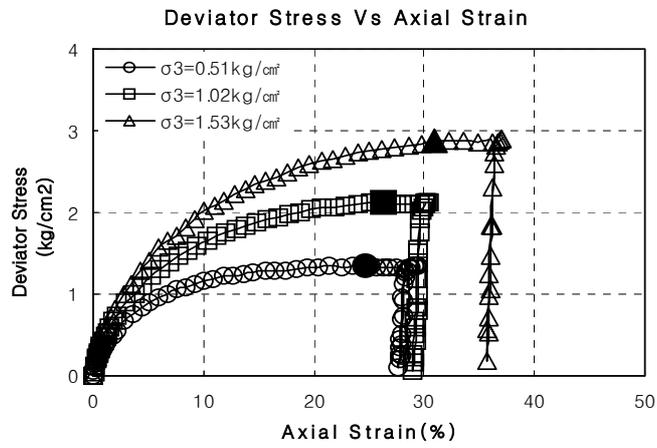


Fig 4.8 Relationship between strain Deviator stress(Buda Mt.)

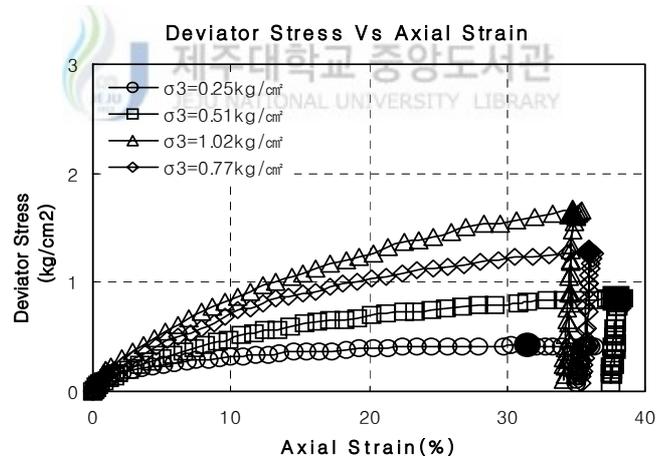


Fig 4.9 Relationship between strain Deviator stress(Buda Mt.)

응력-변형률 곡선은 대형직접전단시험과 유사한 경향을 보였으며, 각 시료의 내부 마찰각은 Table 4.3에 나타내었다.

Table 4.3 Strength Parameter

Place name	Triaxial Test
	ϕ
Daho Park	33.5
Buk Orum	37.8
Jimi Mt.	33.8
Dusan Mt.	37.4
Gomun Orum	31.4
Budae Mt.	26.8

일반적으로 완전포화된 사질토의 경우 점착력의 값은 0이지만 송이의 경우 시료에 따라서 Mohr-Coulomb의 파괴규준으로 정리할 시 Fig 4.10~Fig 4.15와 같이 점착력이 일부시료에서 보인다(Lade, 1988). 이는 송이내의 입도분포에 따른 영향과 더불어 송이의 파쇄성으로 말미암아 높은 구속압 조건하에서 시료가 일부 파쇄됨으로써 전단변형시 전단저항각이 감소되어 마치 큰 점착력이 발생한 것처럼 보이게 되는 현상으로 판단된다. 따라서, 삼축시험결과를 설계과정에 적용할 시 전단시험결과로 구한 점착력의 값은 적용은 다소 불합리한 것으로 판단된다.

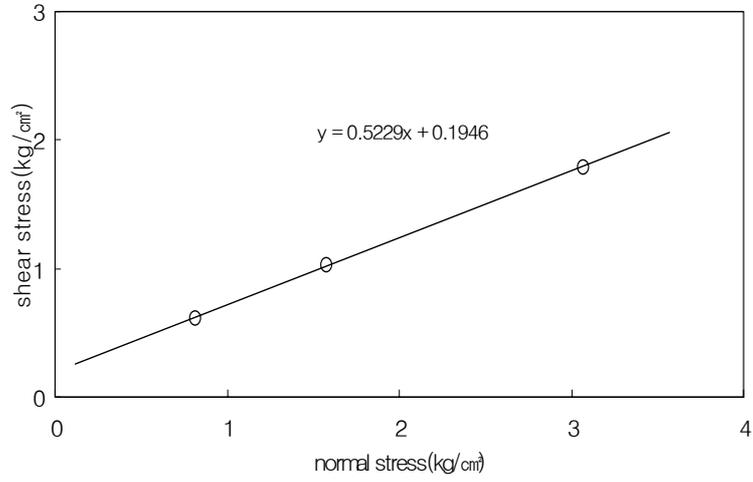


Fig4.10 Relationship between normal stress and shear stress (Daho Park)

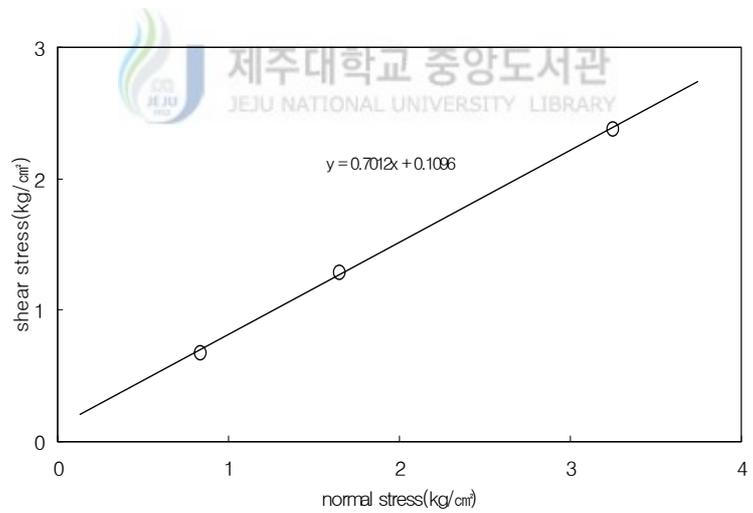


Fig4.11 Relationship between normal stress and shear stress (Buk Orum)

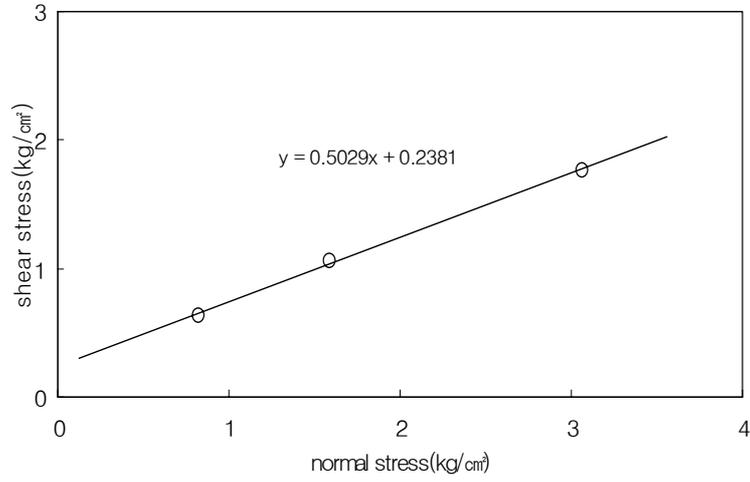


Fig4.12 Relationship between normal stress and shear stress (Jimi Mt.)

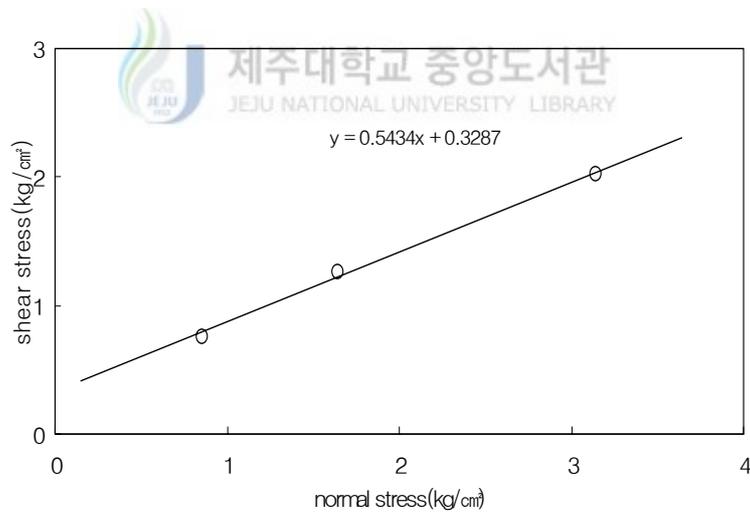


Fig4.13 Relationship between normal stress and shear stress(Dusan Mt.)

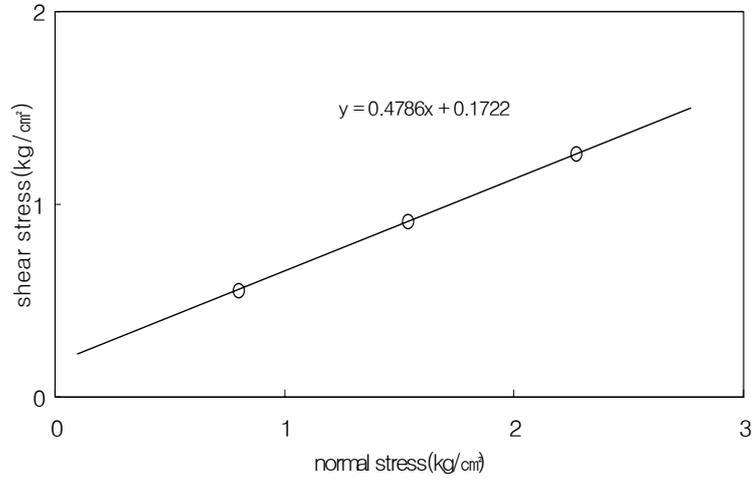


Fig4.14 Relationship between normal stress and shear stress(Gomun Orum)

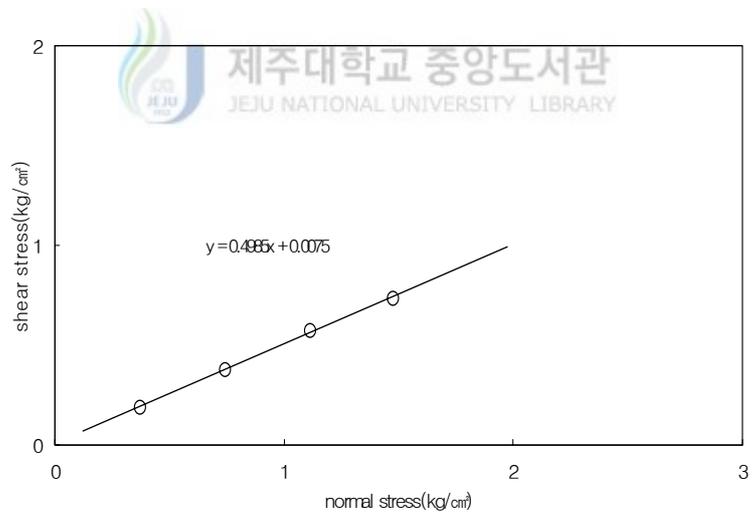


Fig4.15 Relationship between normal stress and shear stress (Budae Mt.)

삼축시험결과 내부마찰각은 건조단위중량, 간극비와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 건조단위중량이 1.04인 북오름이 37.8°로 제일 크게 나타났고, 건조단위중량이 0.55인 부대악이 26.8°로 제일 작은 값을 가졌다. 즉, 건조단위중량이 증하에 따라 내부마찰각은 크게 나타났고, 간극율이 작을수록 큰 값을 나타냈다(Fig 4.16~Fig 4.17).

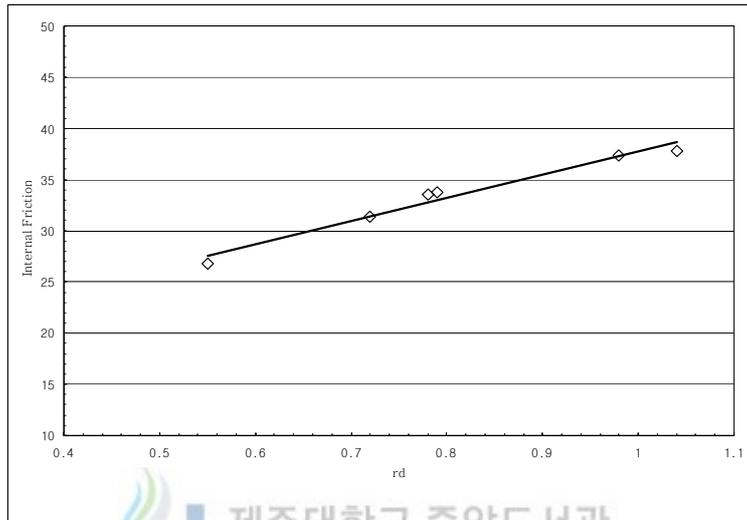


Fig4.16 Relationship between dry unit weight and internal friction

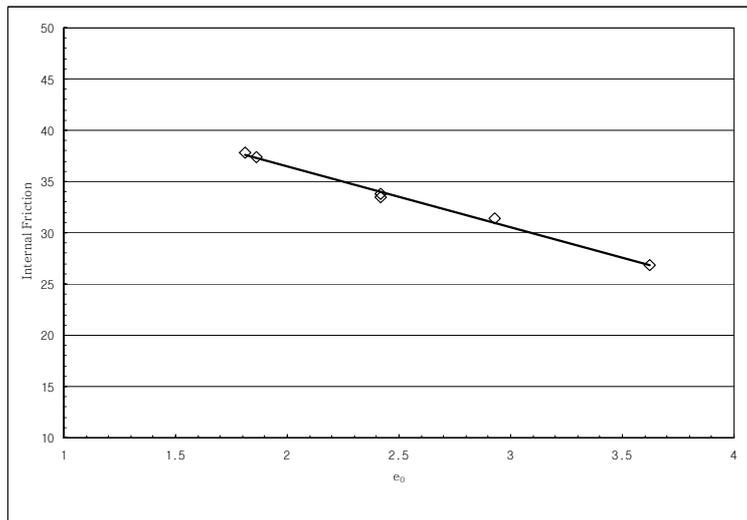


Fig4.17 Relationship between void ratio and internal friction

파괴점에서의 축변형률은 구속압이 증가함에 따라 다호농장과 지미봉이 15%~40%, 북오름과 두산봉이 10%~30%, 거문오름이 24%~31%, 부대약이 31%~38%로 크게 나타났다. 특히 부대약은 구속압(0.25, 0.51, 0.77, 1.02kg/cm³)이 가장 작은데도 축변형률은 크게 나타났다. 이와 같이 송이는 파괴시 변위가 많이 발생함을 알 수 있다. 따라서 도로나 기타 구조물 설계시 강도보다는 변위에 대한 고려가 필요할 것이다.

화학분석결과와 내부마찰각을 비교해보면 SiO₂가 함량이 많을수록 내부마찰각이 커지고 Fe₂O₃ 함량이 많을수록 내부마찰각이 작아지는 경향을 보이고 있다(Fig 4.16). 사면체구조는 결합성이 양호하고 그 양이 많을수록 안정된 결합구조를 하고 있다고 볼 수 있으며 부대약의 경우 팔면체구조인 FeO₃가 많이 함유하는 경우는 송이의 내부마찰각이 작아지는 경향을 보이고 있다.

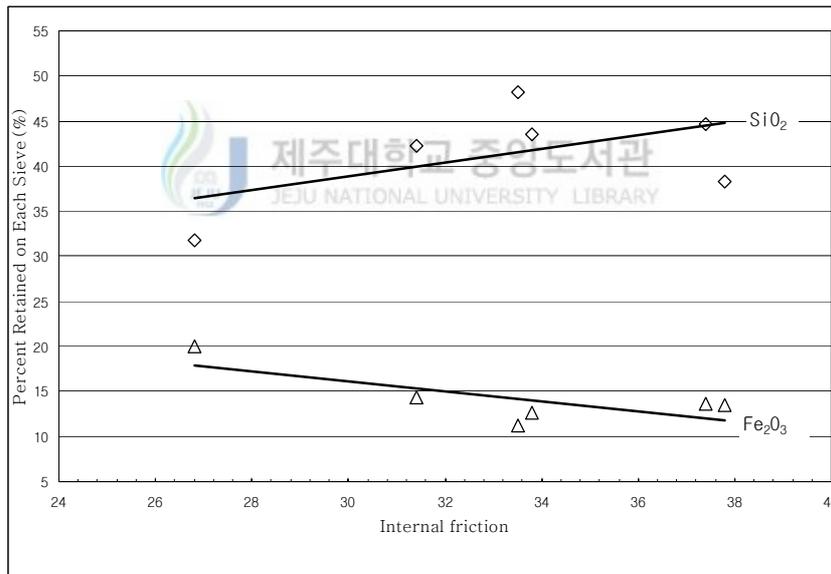


Fig 4.18 Relationship between Internal friction angle and Percent retained on each sieve(%)

V. 송이의 파쇄성과 탄성계수

1. 파쇄성

구속압의 조건에 따른 송이의 파쇄정도를 구하기 위하여 자연상태의 송이의 입도분포곡선과 각 전단시험중 비교적 자연상태와 유사한 대형전단시험후의 시료의 입도분포곡선을 비교하였다. Fig 5.1~Fig 5.4는 대형직접전단 시험전과 시험후의 입도분포곡선이다. 그림에서와 같이 구속압증가에 따른 입도의 파쇄정도가 명확히 드러나고 있다.

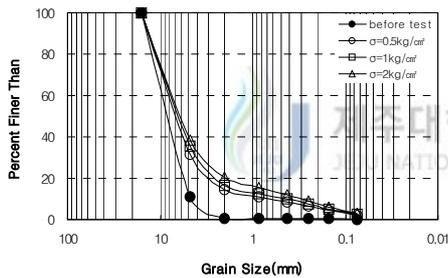


Fig 5.1 Grain Size Distribution Curve, (Large direct shear test, Daho Park)

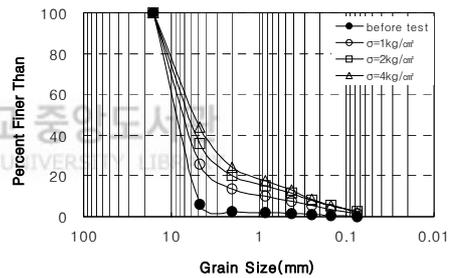


Fig 5.2 Grain Size Distribution Curve, (Large direct shear test, Jimi Mt)

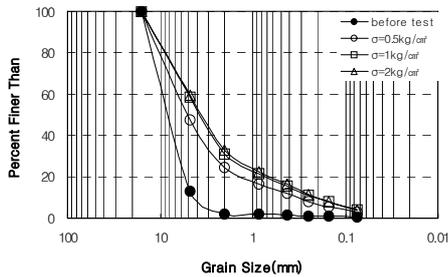


Fig 5.3 Grain Size Distribution Curve, (Large direct shear test, Dusan Mt.)

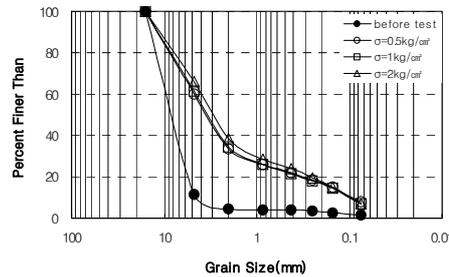


Fig 5.4 Grain Size Distribution Curve, (Large direct shear test, Andol Orum)

색상에 따른 파쇄정도를 보면 황갈색인 안돌오름이 파쇄가 현저히 나타나고, 두산봉(황갈색70%, 암회색30%)이 그 다음이고 다호농장(적갈색)과 지미봉(암회색)이 비슷한 파쇄정도를 나타내었다. 황갈색이 많을수록 파쇄가 많이 일어나고 적갈색, 암회색순으로 파쇄가 많이 일어났다.

송이는 입자가 파쇄되어짐에 따라 각 입자의 거친정도가 감소될 것이다. 즉 입자파쇄로 인한 전단저항각의 감소가 예측되어진다. 따라서 송이의 파괴규준은 응력-변형률 곡선에서 파쇄성의 크기에 따라 포물선형상을 이룰 것으로 판단된다.

실험전과 실험후의 입도분포를 살펴보면 송이 입자 파쇄가 초기의 작은 구속압에서 많이 발생하는 것을 볼수 있다.

2. 탄성계수

송이는 파쇄성 등의 입자의 특징으로 말미암아 일반적인 흙에 비하여 응력에 따른 변형량이 상대적으로 큰 편으로 알려져 있다. 송이의 축대칭 삼축시험결과에서 탄성계수(변형계수)를 구하였다. 탄성계수를 결정하는 방법으로는 여러 가지 법이 있으나 본 연구에서는 파괴전단응력의 1/2 지점의 변형률 값을 기준으로 $E = \frac{q \text{ (축차응력)}_{\max}}{2 \times \epsilon \text{ (1/2 } q_{\max} \text{ 에서의 변형률)}}$ 의 방법으로 구하였다(토목공법연구회, 1984). 각 시료에 따른 탄성계수의 값은 Table 5.1과 같다. Table 5.1에서보면 아주 연약한 부대약 시료를 제외한 나머지 송이시료의 경우 탄성계수가 약 2~9 kg/cm^2 이다. 이는 일반적인 사질토에 비하여 아주 적은 값이며, 거의 점성토의 탄성계수와 유사함을 알 수 있다.

Table 5.1 The Elasticity Coefficient of Scoria.

Place name	Elasticity Coefficient
Daho Park	3.26 kg/cm^2
Buk Orum	5.41 kg/cm^2
Jimi Mt.	3.65 kg/cm^2
Dusan Mt.	8.12 kg/cm^2
Gomun Orum	2.47 kg/cm^2
Budae Mt.	0.08 kg/cm^2



VI. 실내 CBR 시험

1. 시험개요

CBR(California Bearing Ratio)시험은 실제조건과 합치되게 만든 공시체에 지름 5cm의 피스톤을 어떤 깊이까지 관입시키는데 소요되는 시험단위하중을 표준단위하중으로 나눈 값을 백분율로 표시한 값이다. Table 6.1은 관입량에 따른 표준단위하중을 나타낸다.

Table 6.1 Standard unit load

Penetration depth(mm)	Standard unit load, kg/cm ² (kgf)
2.5	70(1370)
5.0	105(2030)
7.5	134(2630)
10	162(3180)
12.5	183(3600)

CBR시험은 실내 CBR과 현장 CBR로 구분하며 실내 CBR시험은 KS F 2320에 규정되어 있다. 시험단위하중은 보통 관입깊이 2.5mm를 기준으로 한다. 만일 5.0mm 관입깊이에서의 CBR 값이 2.5mm에서 보다 더 크다면 재시험을 실시하되, 다시 동일한 결과를 얻었다면 5.0mm 관입깊이를 기준으로한 CBR값을 취한다.

가요성 포장설계에서 도로의 기층, 보조기층 또는 노상의 재료를 선택하고 두께를 결정하는데 CBR 값을 사용한다. 본 시험은 흡수팽창시험을 통해 시료의 팽창비를 구하고, 관입시험을 통해 노상토의 CBR 값을 얻는 것을 목적으로 한다.

2. 시험방법

시료를 그늘에서 공기 건조하고 19mm체를 통과하고 No.4체에 남는 시료를 다짐시험 (보통8개) 및 CBR 시험(3개)에 필요한 양만큼 여유있게 준비한다.

수정다짐(D다짐) 방법으로 시료의 최적함수비와 최대 건조단위중량을 결정하고 다짐시험을 하고 남은 시료를 최적 함수비 차가 1%이내가 되도록 시료에 물을 가하여 잘 혼합하고 밀폐된 시료 상자에 넣어 함수비의 변화를 방지한다. 이때 다짐시험은 건조법으로 하였고 송이의 파쇄성이 크기 때문에 비반복법으로 실시하였다.

무게를 측정된 3개의 몰드에 유공 밀판 및 칼라를 결합하고 밑면에 스페이스 디스크를 넣고 그 위에 여과지를 깔다. 시료를 몰드에 넣어 각 층마다 55, 25, 10회의 다짐에 의한 공시체를 3개 만든다. 만일 함수비가 1%이상 차이가 있으면 재차 함수비 조절에서 3개의 공시체를 다시 만든다. 칼라, 유공 밀판 및 스페이스 디스크를 제거한 후에 외부에 묻은 흙은 잘 닦고 여과지를 남긴 채로 무게(몰드+ 습윤시료)를 측정한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Fig 6.1 Penetration test equipment

흡수팽창 시험은 공시체가 담긴 몰드를 수침시킨 후에 몰드의 모서리에 지반의 흡수 팽창 측정용 삼각지지대를 똑바로 놓고 변위계를 설치한다. 수침 시작후 1, 2, 3, 8, 24, 48, 72, 96시간마다 변위계의 측정치와 시간을 기록한다. 팽창비는 공시체의 초기높이에 대한 팽창량의 비로 구할수 있다.

Fig 6.1은 관입시험장치를 나타내고 있다.

관입시험은 흡수팽창시험이 끝난 공시체를 관입시험기의 재하판 중앙에 올려놓고 그 위에 흡수팽창시험을 행할 때와 같은 증량의 하중판을 얹는다. 재하장치에 피스톤을 설치하고 공시체와 밀착시킨 후 변위계를 몰드의 모서리에 고정하고 바늘을 0에 맞춘다. 피스톤의 공시체 관입속도는 1mm/min으로 하고 관입량이 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5mm 일때의 하중을 측정한다. 12.5mm 관입전에 하중이 최대가 되면 그때의 하중강도와 관입량을 측정한다. 관입이 끝나면 하중을 제거하고 재하장치로부터 몰드를 꺼내고 공시체의 표면으로부터 3cm 깊이의 시료에 대해서 함수비를 측정한다.

3. 시험결과



Table 6.2는 다짐시험결과 최적함수비와 최대건조단위중량을 보여주고 있다.

Table 6.2 Result of compaction test

Place name	O.M.C (%)	$\Gamma_{d(max)}$	$0.95\Gamma_{d(max)}$
Daho Park	20.0	1.32	1.26
Buk Orum	18.5	1.62	1.54
Jimi Mt.	14.0	1.19	1.13
Dusan Mt.	25.5	1.43	1.36
Gomun Orum	26.5	1.31	1.24
Budae Mt.	41.0	1.06	1.01

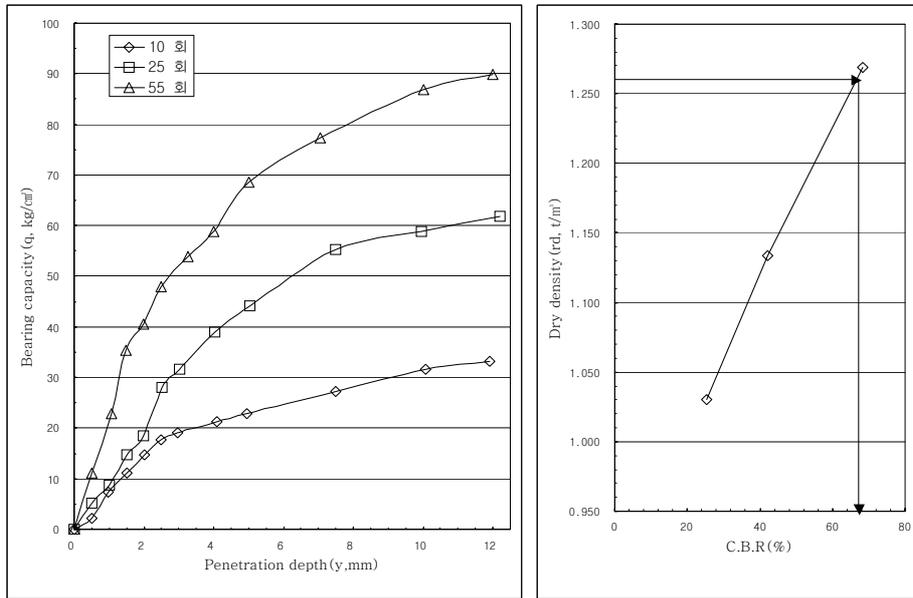


Fig 6.2 Modified CBR between Penetration Test (Daho Park)

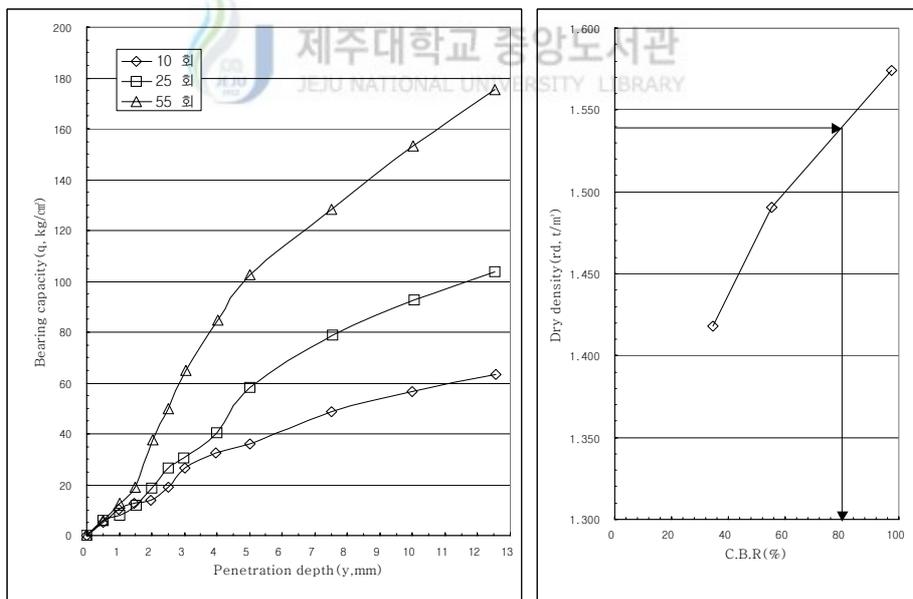


Fig 6.3 Modified CBR between Penetration Test (Buk Orum)

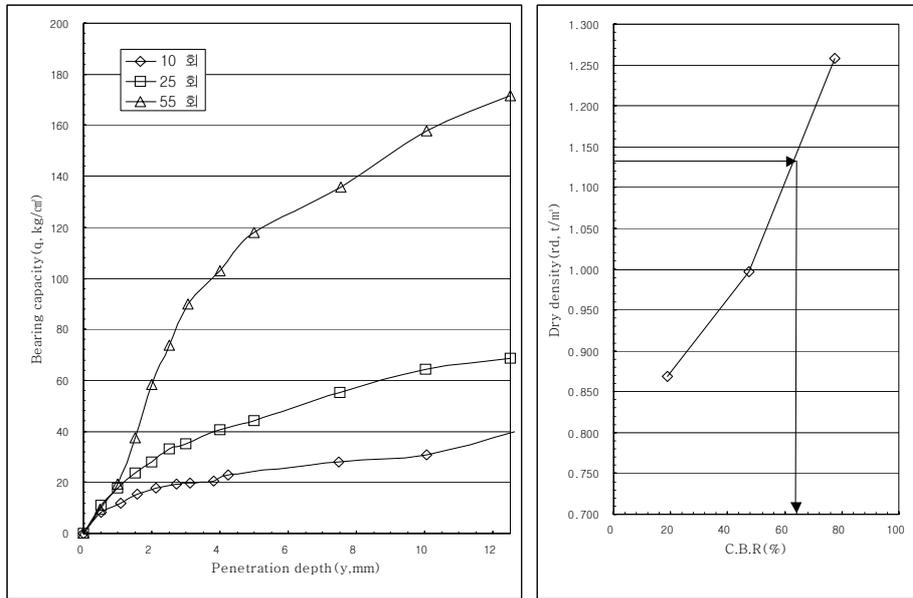


Fig 6.4 Modified CBR between Penetration Test (Jimi Mt.)

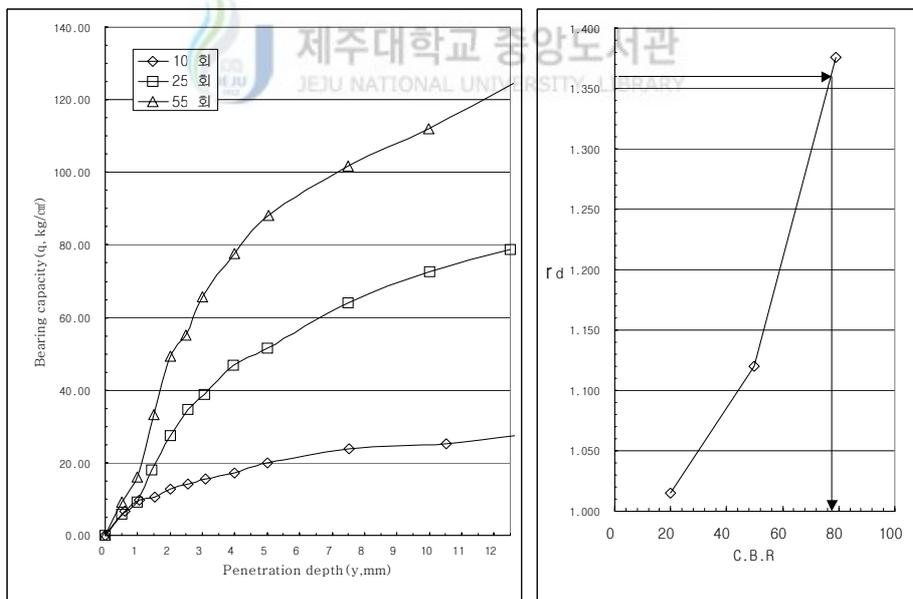


Fig 6.5 Modified CBR between Penetration Test (Dusan Mt.)

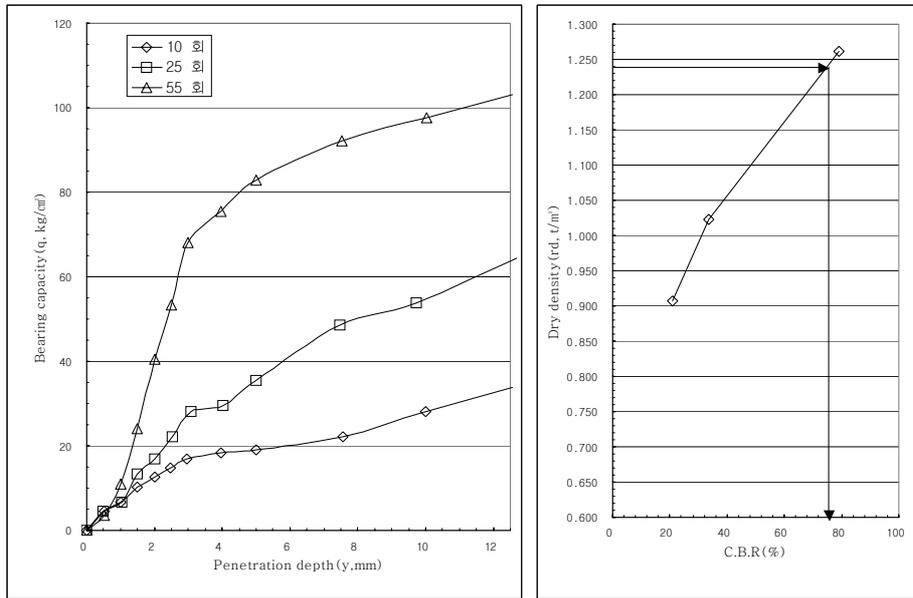


Fig 6.6 Modified CBR between Penetration Test (Gomun Orum)

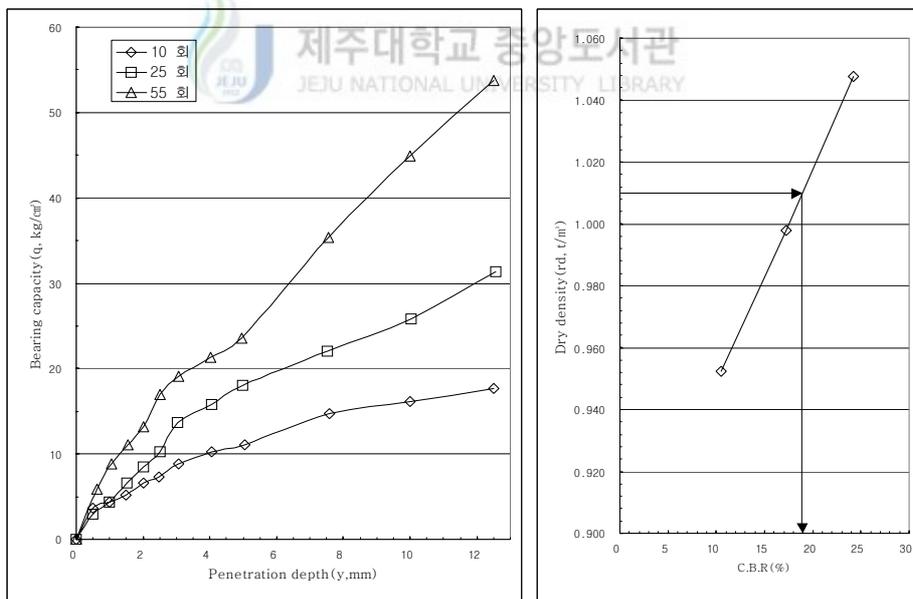


Fig 6.7 Modified CBR between Penetration Test (Budae Mt.)

Table 6.3은 관입시험에 의해 얻어진 수정CBR 값을 나타내고 있다. 수정 CBR값을 살펴보면 대부분의 시료에서 60~80으로 큰 값을 가졌다. 보조기층이 수정CBR값이 30이상, 입도조정기층이 80이상이라는 기준으로 볼때 황갈색 송이인 부대약을 제외하면 모두 보조기층재료로 쓸 수 있는 수치이다.

Table 6.3 Result of Penetration Test

Place name	Modified CBR(%)
Daho Park	68
Buk Orum	80
Jimi Mt.	63
Dusan Mt.	77.5
Gomun Orum	76
Budae Mt.	19

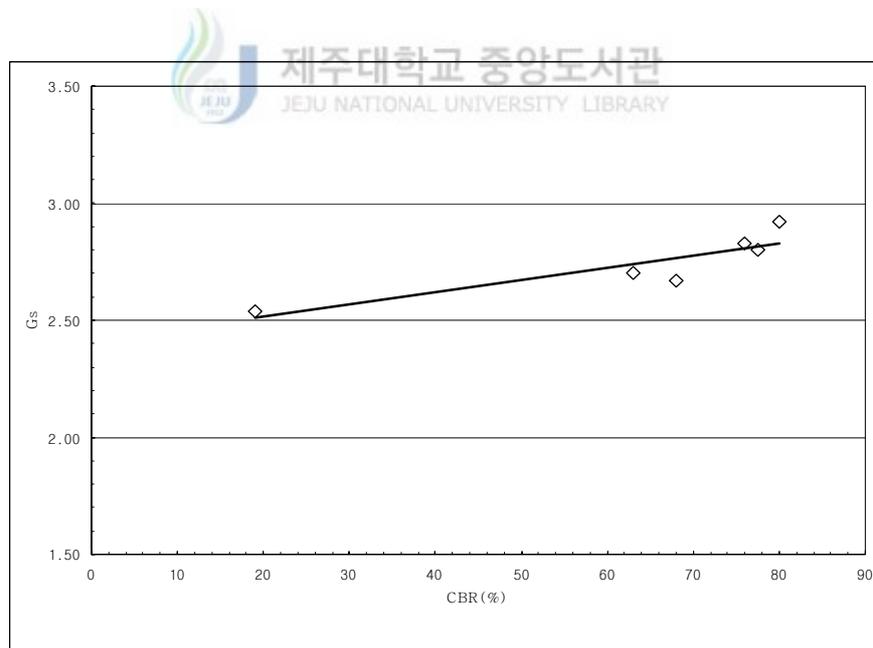


Fig. 6.8 Relationship between modified CBR and Gs

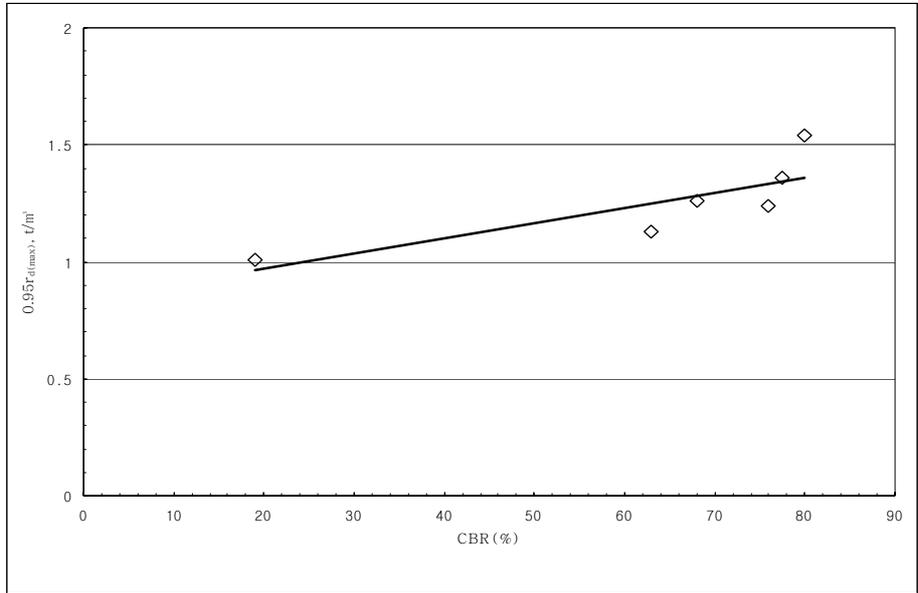


Fig. 6.9 Relationship between modified CBR and $0.95r_{d(max)}$

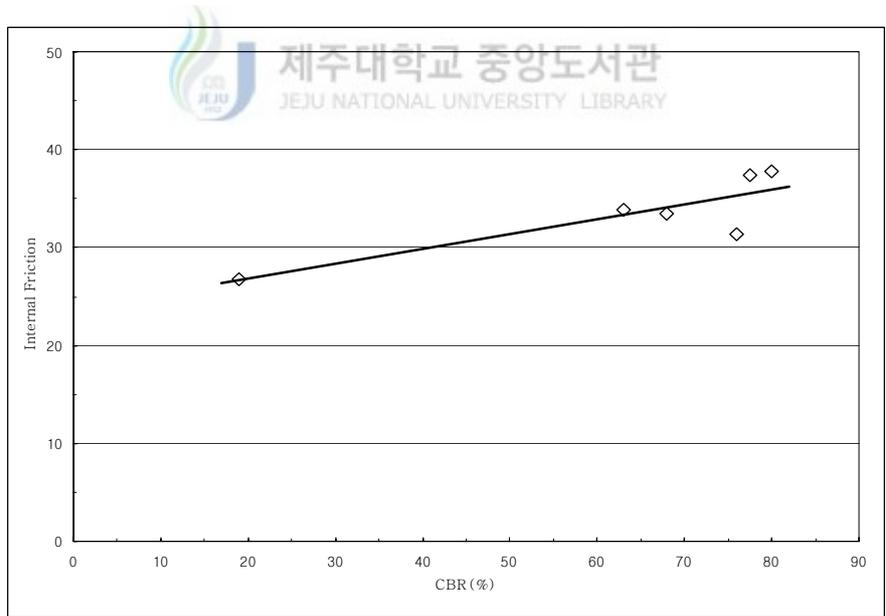


Fig 6.10 Relationship between modified CBR and Internal Friction

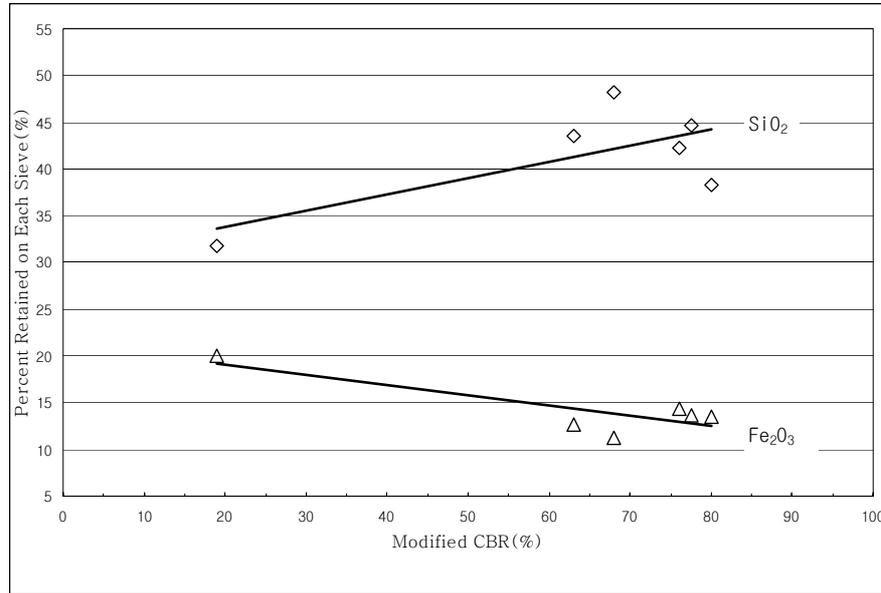


Fig 6.11 Relationship between modified CBR and Percent retained on each sieve(%)

Fig 6.2~6.7은 각 시료에 대한 $0.95r_{d(max)}$ 에 대한 수정 CBR 값을 보여주고 있다. Fig 6.8~11은 수정 CBR과 비중, $0.95r_{d(max)}$, 내부마찰각(삼축압축시험), OMC, 화학분석결과와의 관계를 나타낸 그림이다. 비중, $0.95r_{d(max)}$, 내부마찰각(삼축압축시험)이 클수록 수정 CBR 값이 큰 경향을 보이고 있다. 이와는 반대로 OMC는 값이 작을때 수정 CBR 값이 커지는 경향을 보이고 있다.

화학분석결과와 수정 CBR을 비교해보면 SiO₂가 함량이 많을수록 수정 CBR이 커지고, Fe₂O₃ 함량이 많을수록 수정 CBR이 작아지는 경향을 보이고 있다(Fig 6.12). 이러한 경향은 삼축압축시험에서 얻은 내부마찰각과 화학분석결과와의 관계와 거의 비슷하다고 볼 수 있다.

Ⅶ. 결 론

본 연구에서는 송이에 대한 기본물성치 및 전단시험, 삼축압축시험, 실내 CBR(California Bearing Ratio)시험을 실시하여 송이에 대한 일반적인 강도 정수를 제시하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 삼축압축시험보다는 대형직접전단시험의 내부마찰각이 크게 나타났고, 표준직접전단시험의 경우는 지속적인 응력증가로 인해 파괴점의 파악이 어려웠다.

2. 삼축압축시험결과 송이의 내부마찰각은 건조단위중량의 증가에 따라 비례하는 경향을 보였고, 간극비의 증가에 따라 반비례하는 경향을 보였다.

3. 송이의 주성분은 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 이며, SiO_2 함량이 많을수록 내부마찰각과 수정CBR이 커지고, Fe_2O_3 의 함량이 많을수록 내부마찰각과 수정CBR이 작아지는 경향을 보이고 있다.

4. 대부분의 송이시료의 경우 탄성계수가 약 $2\sim 9\text{kg/cm}^2$ 값을 보였다. 이는 일반적인 사질토에 비해 아주 적은 값이며, 거의 점성토의 탄성계수와 유사한 경향을 보이고 있다.

5. 송이의 색상별 파쇄는 황갈색, 적갈색, 암회색 순으로 많이 발생하였고, 파괴시 변위가 많이 발생하는데 도로나 기타 구조물 설계시 강도보다는 변위에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

6. 송이의 수정 CBR 값은 적갈색을 띠고 있는 다호농장과 북오름이 68에서 80사이의 값을 보였고 암회색을 띠고 있는 지미봉, 두산봉, 거문오름은 63에서 77.5의 값을 보였으며, 황갈색을 띠고 있는 부대약은 19로 나타났다. 보조기층재료의 수정 CBR 값이 30이상임을 감안하면 부대약 시료를 제외한 나

머지 시료에 대해서 보조기층재료로 활용할 수 있을것으로 사료된다.

7. 송이의 수정 CBR 값은 비중, 0.95rd(max), 내부마찰각이 클수록 수정 CBR 값이 커지는 경향을 보이고 있다.



VIII. 참 고 문 헌

- 건설부 국립건설연구소, 1979, 제주도산 송이의 공학적 특성 연구보고서, 건설연구소자료 No. 395.
- 김성균, 1994, 지질공학원론, 교학연구사, pp. 101-104
- 김용필, 1997, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, pp. 145-159.
- 남정만, 2000, 제주도 지반의 공학적 특성, 한국지반공학회 암반역학위원회 논문집, pp. 171-182.
- 민 원, 2001, 도로공학, 구미서관, pp. 209-211.
- 서창민, 2001, 대형직접전단시험기를 이용한 송이의 강도특성에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp. 38-60
- 소재관, 2002, 송이(Scoria)의 거동특성 및 예측에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp. 43-66.
- 원종관, 1975, 제주도의 형성과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교 이학논총 제1집.
- 위동성, 2001, 포장공학원론, 엔지니어스, pp. 323-328
- 윤정수, 1995, 제주도 북사면의 기생화산체에 관한 연구, 제주대학교 해양연구보고 제19권, pp. 25-38.
- 토목공법연구회, 1984, 기초설계자료집성, 창우출판, pp. 50-55.
- Braja M.Das, 1981, Advanced Soil Mechanics, Mc Grow Hill, pp.426-439.
- Lade, P.V., 1982, Localiation Effects in Triaxial Test on Sand, Deformtion and Failure of Granular Materials, IUTAM, Symposium on Deformation and Failure of Granular Materials, Aug., pp.461-471.
- Lade, P.V., 1988, Failure Criterion for Friction Materials, Mechanics of engineering materials, C. S. Desai and R. H. Gallagher, eds., John Wiley and Sons. Inc., New York, N. Y., pp. 385-402.
- Lade, P.V. · Mark-Joachim Prabuchi, 1990, Ucla school of engineering and applied science, pp.1-83.

- Matuoka, H and Nakai T., 1977, Stress-Strain Relation of Soil based on SMP, Characteristic under Three Different Principal Stress, Proc. of special Session 9, 9th ICSMFE, pp. 153-162.
- T. William Lambe · Robert V. Whitman, 1993, Soil Mechanics SI Version, Johns Wiley & Sons, pp. 97-136, 201-281.



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 아낌없는 학문의 가르침과 조언을 해주신 남정만 지도교수님께 이 글을 빌어 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 바쁘신 와중에도 논문의 심사를 맡아 세세하게 검토하고 지적하여 주신 박상렬 교수님, 이병걸 교수님께 감사드립니다. 학부에서 대학원을 진학하며 많은 가르침을 주신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 김상진 교수님, 김성근 교수님, 고희성 교수님께 감사드립니다.

지반공학연구실에서 고생도 하고 같이 웃기도 한 조영웅 선배, 소재관에게 고마운 마음을 전하고 김호철 선배께 감사드립니다. 실험하는 동안 많은 도움을 준 연구실 후배 김승범, 조성환, 이정환, 김준호, 김도형, 김광일, 김영근에게 고마운 마음을 전합니다. 대학원 생활을 하는 동안 힘이 되어준 허영택 선배, 강현우선배, 박지훈선배, 김태우선배, 박현수선배 에게 감사드립니다. 학우 신용철, 김승희, 고건, 후배 양순보,부성욱에게도 감사한 마음을 전합니다.

직장생활을 하면서 논문이 완성되기 까지 많은 시간을 할애해주신 김남식 상무님, 김형돈 과장님, 직장 첫출발을 많은 격려와 도움을 주신 임계균 과장님, 힘들때 어려움을 털어놓고 얘기할수 있었던 서상진 선배에게 감사드리고, 원호와 훈태에게 고마운 마음을 전합니다. 그리고, 직장 선·후배님들에게도 감사드립니다.

힘들때 괴로울때 항상 옆에서 소주한잔하면서 웃을 수 있었던 친구 현국, 연근, 기수, 대경, 연모, 만조, 승배, 승철, 철용에게 고마운 마음을 전합니다.

언제나 삶의 지표가 되어 주시고 묵묵히 제가 하는일을 지켜보고 항상 지지 해주시는 아버지, 항상 따뜻하고 다정한 어머니, 그리고 사랑스런 나의 두 동생 동진, 동현에게도 너무나도 깊은 감사를 드립니다.

이 글을 빌어 지면에 쓰지는 못했지만 제가 살아가면서 인연을 맺은 모든분 들께 감사와 아울러 행복이 가득하시길 진심으로 기원합니다.

2005년 2월 오동일 올림