

직접전단시험에 의한 송이의 강도특성

남정만·이병걸·황한석*

제주대학교 해양토목공학과, *삼중엔지니어링

Strength Characteristics of Song-I by Direct shear Test

Jung-Man Nam, Byung-Gul Lee and Han-Suk Hoang*

Dept. of Ocean Civil Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

**Samjoong Engineering, 700-32, Yoksam-dong, Kangnam-ku, Korea*

Cheju island formed by volcanic activity which results many distribution of cindercone all over the island. Cindercone is composed of mainly scoria which is called "song-I" in Cheju dialect. The engineering properties of this scoria is completely different from granitic residual soils or sandy soils. Cheju island is being composed of mainly volcanic basalt, because of lack of quartzous sandy materials. Scoria is widely used as road foundation, aggregate for concrete and filler for retaining walls. Therefore scoria is studied on the behaviors of crushability strength, compactability and shearing strength.

From this study, the variation of grain size, water content and the influence of shearing strength due to compaction is observed and correlation of mechanical properties of decomposed granitic soil and scoria is made.

The results of compaction test and direct shearing test are as follows

- (1) Scoria is vesicular perform high permeability accordingly and shows microcrystalline texture with fewer clay minerals while granitic weathered soil has granular texture of which feldspar produce abundant clay minerals by kaolinitization
- (2) The decompose granitic soils behave increment of density and decrement of optimum moisture content by increasing compaction energy, scoria shows increment of density but no variation in optimum moisture content is observed during the application of compaction energy. This indicates the higher ratio of micro vesicular in scoria. The void ratio after compaction is higher in scoria than decomposed granitic soils.
- (3) The crushing index is the highest in grain size of 0.1 - 0.5mm in decomposed granitic soil and constant increment of ratio is observed in scoria.
- (4) At O.M.C state, the angle of internal friction is increasing and cohesive index is decreasing due to increment of compaction energy while both angle of internal friction and cohesive index is decreasing due to the increasing simultaneously in scoria. The increment range of shear strength is higher in scoria than decomposed granitic soils.
- (5) In stress-strain curve this increment range of shearing strength of scoria is larger than granitic soil but the horizontal strain up to failure point is smaller.

Key words : scoria, soil, strength, compaction, void, stress-strain, friction

서론

제주도는 화산도로서 후기 화산활동과 관련이 있는 화산쇄설물로 구성되어 있는 암재구가 도내 전역에 광범위하게 분포되어 있다. 암재구를 구성하고 있는 암재를 제주도 방언으로 "송이"라 칭하며 송이는 일반적인 화강풍화토나 사질토와는 공학적인 성질에 있어서 현저하게 다르다. 현재 제주도에서는 제주도 종합개발의 일환으로 관광 자원개발, 항만건설, 도로망 확장, 지하수 개발, 상수도망 확장 등을 위하여 현재 많은 건설사업을 예정하고 있으며, 일부는 현재 개발이 실시가 되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 공사현장은 송이에 의해 어려운 문제에 봉착하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인해 건설공사의 공기가 많이 지연되고 있다. 그리고 송이에 대한 공학적 특성은 단지 각 공사현장에서의 경험에 말로서 전하여 내려올 뿐이지, 이에 대한 정리와 규명이 아주 미미한 상태이다.(건설부, 1979) 또한, 제주도에 분포하고 있는 송이는 화산분출 시기와 주변의 환경 및 온도 등에 의해 각기 성질을 달리하고 있어 동일한 지역에서도 깊이에 따라 많은 차이를 보이고 있어 종합적인 정리가 무엇 보다 시급하다고 할 수 있다.

따라서 제주도에 널리 분포하고 있는 송이의 공학적 성질에 대한 규명과 각 공사현장에서는 건설공사를 원활히 진행하여 나가기 위한 송이의 역학적 규명 및 이의 이용 방안이 무엇 보다 시급한 실정에 있다.

본 연구에서는 송이의 원지반이 크고 많은 기공을 가지고 있는 연속체인 덩어리로 되어 있어 채취시 다양한 입도로 분해되므로 흙으로 분류되기에는 다소 문제를 내포하나, 흙으로 간주하여 이에 대한 물성시험과 다짐 및 전단시험을 통하여 다짐특성과 다짐에너지 및 함수비 변화에 따르는 입도변화가 전단강도에 미치는 영향 그리고

화강풍화토의 다짐 및 전단특성과의 대비를 통해 송이의 지반공학적 특성을 구명하고자 한다. 한편 제주도 송이는 색상에 있어서 흑색 및 갈색으로 크게 구별할 수 있으며 본 연구에 사용된 시료는 제주도 북제주군 조천읍 선흘리 부소오름 부근에서 채취한 갈색 송이를 대상으로 한다.

실험

시료의 채취

본 연구에 사용된 시료는 제주도 북제주군 조천읍 선흘리 부소오름 부근의 원지반 사면에서 5개소에 대한 시료를 채취하였으며 이때 자연함수비 상태는 20.18%에서 29.0%의 범위를 보이고 전체적으로 평균 25.48%의 자연함수비를 가지는 것으로 나타났다. 한편 이들 시료에 대한 자연함수비 시험결과는 Table. 1과 같다.

송이(Scoria)의 화학성분

송이는 용암의 폭발분출시 압력의 급격한 감소로 인하여 부피가 갑자기 늘어나면서 Gas가 발생하여 생성된 다공질 화산쇄설물로서 화구를 중심으로 퇴적되며 조립내지 세립질에 모가나고 관상기공이 불규칙하게 발달한다. 또한 층리의 발달이 빈약하고 투수성이 매우 크며 고화도가 매우 낮고 산화작용에 의해 갈색 혹은 흑색의 색상을 띠며 겉보기 비중은 1.0 - 1.8에 이른다. 송이의 주성분은 $S_iO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 의 함량이 80%에 달해 천연 골재로서 안정된 화학조성을 가지며 투수율이 높아서 원형의 보존이 양호하고 응벽의 뒷채움 재료로서 훌륭한 특성을 가진다.

또한 쇄설물의 안식각이 크기 때문에 30° ~ 40°의 급사면 지형을 이루는 것이 특색이다. 본 실험에 사용된 송이의 화학적 조성은 Table.2와

Table 1. Distribution of water content on scoria

Sample No	A	B	C	D	E
Water Contentant (%)	24.28	20.18	29.00	27.75	26.2
Average (%)	25.48				

직접전단시험에 의한 송이의 강도특성

같으며 화강토의 조성(이형수,1983)과 대비할 경우 S_iO_2 는 현저하게 낮은 값을 보이는 반면, Fe_2O_3 와 MgO 의 함량에서는 화강토 보다 상당히 높은 것으로 나타나고 있다.

Table 2. Chemical property of scoria and granitic soil

성분	송이(%)	화강토(%)
S_iO_2	50.48	70.18
Al_2O_3	15.97	14.47
Fe_2O_3	11.79	1.57
MgO	6.56	0.88
CaO	4.54	1.99
Na_2O	3.20	3.48
K_2O	1.23	4.11
MnO	0.19	0.12

입도분석

자연상태의 송이는 입경이 50mm나 되는 입자가 존재하기도 하며 0.074mm(No.200체) 이하의 세립자도 미소량 포함되는 것으로 나타났다. Fig.1은 조천읍 선흘리에서 채취한 갈색송이의 체분석결과를 반대수용지에 나타낸 것이다. 이들 송이는 시료를 채취하는 위치에 따라 입도의 크기가 약간씩 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 그림에서는 5개소의 갈색송이중 다른 시료에 비해 입경의 분포가 가장 크게 나타난 것과 세립에 해당하는 2가지 시료에 대한 자연상태의 입도분포 곡선과 19mm체를 통과한 시료를 분석한 것이다. 이 중 다른 시료에 비해 입경이 크게 나타난 시료에서는 19mm체에 잔류한 양이 약 20% 정도를 보이고 있으며 통일분류법에 의한 흙의 분류시 자갈에 해당하는 4.75mm 이상의 입경이 약 54%를 차지하는 것으로 나타났다. 그리고 모래에 해당하는 4.75~0.075mm 사이의 입경이 44.5%를 차지하였으며, 0.075mm 이하의 입경이 약 1.5%인 것으로 나타났다. 한편 다른 시료에 비해 세립질을 나타내는 시료에서는 입자의 크기가 모두 19mm이하인 것으로 나타났으며, 자갈에 해당하는 4.75mm 이상의 입자가 약32.6%, 4.75~0.075mm 사이의 입경이 60.2%, 0.075mm 미만의 입경이 7.2%를

차지하는 것으로 나타났다.

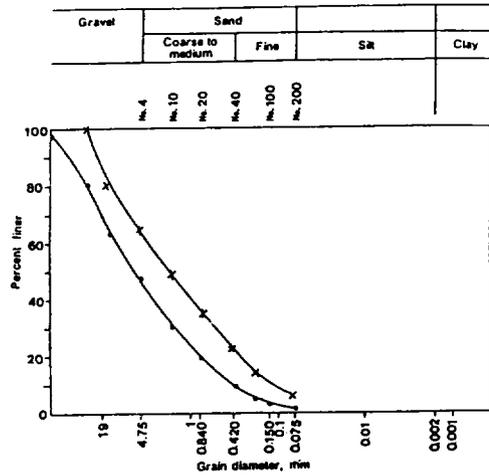


Fig. 1. Grain-size distribution of scoria

비중시험

KS 2308의 규정(신방용등,1997)에 의거 송이에 대한 비중시험을 실시하였다. 송이는 미세한 기공이 많은 관계로 기공내에 있는 기포를 제거를 위하여 약 10시간 이상 끓여서 비중 측정용에 사용하였으며, 실험의 정확도를 기하기 위하여 각 시료에 대해 4회 반복 실험하여 그 평균값을 비중으로 결정하였다. 한편 이들 각 시료의 비중 분포는 Table 3.에서 보는 바와 같이 2.782에서 2.809 사이를 보이고 있으며 그 평균은 2.802로 나타났다.

Table 3. Specific gravity of scoria

Sample No	A	B	C	D	E
비중 Gs	2.782	2.804	2.812	2.805	2.809
Average	2.802				

다짐시험

송이를 25회, 50회, 100회, 200회, 400회의 다짐 에너지를 가했을 때 각각의 최적함수비 및 최대 건조밀도를 찾기 위하여, 시료를 4개의 용기에 각각 넣고 물을 정량으로 혼합하여 14시간 이상 습윤상태로 방치한 후 표준몰드를 이용하여 KS 2312 A-1다짐 시험법(신방용등, 1997)에 의거 25

회, 50회, 100회, 200회, 400회로 다짐에너지를 늘려 가면서 시험하였다. 다짐이 끝난 시료는 공시체의 중앙부 약 200g 정도를 채취하여 노건조시켜 함수비를 측정하였고 최적함수비를 갖는 시료는 노건조 후 체분석 시험을 하여 다짐 에너지 변화에 따른 입도분석을 하여 파쇄에 대해 고찰하였다.

직접전단시험

직접전단시험을 실시하기 위하여 송이를 최적함수비 상태로 다진 후 공시체를 시료추출기로 뽑아 직접전단시험용 공시체로 성형을 시도하였으나 불가능하여, 공시체 제작을 위한 축소몰드를 제작하였다. 새롭게 제작된 축소몰드는 직접전단시험용 공시체 성형을 위하여 직경을 60mm로 하였으며, 다짐시험에 의한 다짐에너지를 같게 하기 위하여 몰드의 체적을 282.74cm³로 하고 해머의 무게는 1.44kg, 낙하고는 14.7cm로 하였다. Table. 4는 표준몰드와 축소몰드의 다짐에너지를 비교한 것이며, 이때의 다짐에너지는 각각 5.67kg/cm³과 5.62kg/cm³으로서 거의 같은 것으로 나타나고 있

다. Table. 5는 해머의 낙하수를 각각 25회, 50회 및 100회를 실시하였을시 최적함수비 상태에서의

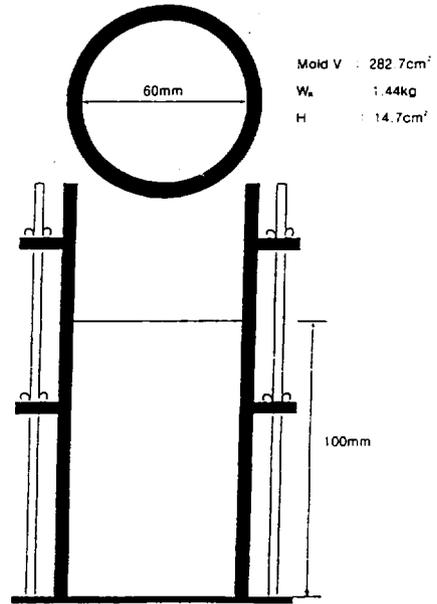


Fig. 2. Reduction Mold

Table 4. Comparison of standard mold and reduction mold on compaction energy(Ec)

	체적(cm ³)	WR(kg)	H(cm)	NB(회)	NL	Ec(Kg/cm ²)
표준 Mold	992.26	2.5	30	25	3층	$\frac{5 \times 30 \times 3 \times 25}{992.26}$ = 5.67
축소 Mold	282.74	1.44	14.7	25	3층	$\frac{1.44 \times 14.7 \times 3 \times 25}{282.74}$ = 5.62

Table 5. Comparison of standard mold and reduction mold on max. dry unit weight

	25회	50회	100회	비교
표준 Mold 최대건조밀도 (g/cm ³)	1.144	1.199	1.235	#4 통과시료
축소 Mold 최대건조밀도 (g/cm ³)	1.146	1.200	1.233	#10 통과시료
함수비(%)	25.2	26.6	28.2	

최대건조밀도를 나타낸 것이다. 이때 사용된 시료의 입경은 직접전단시험시 공시체 제작을 고려하여 표준몰드에서는 #4체를 통과한 시료를 사용하였으며 축소몰드에서는 #10체를 통과한 것을 사용하였다. 이때 각 다짐회수에 대한 최대건조밀도는 거의 동일한 것으로 나타나 직접전단시험을 위한 공시체 제작은 축소몰드를 이용하였다. Fig.2는 축소몰드를 나타내고 있다.

한편 직접전단시험은 25회, 50회, 100회 각각의 최적함수비 상태에서 공시체를 제작하여 시험기에 Setting 하였고, 연직하중을 각각 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 kg/cm²으로 변화시켜 전단력과의 관계를 고찰하였다.

결과 및 고찰

다짐특성

다짐 곡선의 특성

송이는 도로의 보조기층재료 내지 기층재료로 대체 가능성이 높으므로 다짐 특성은 대단히 중요하다. Fig. 3은 송이의 다짐특성을 고찰하기 위하여 일반적으로 널리 분포하고 있는 화강토의 다짐특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 화강토는 다짐에너지가 증가함에 따라 건조밀도곡선은 상승하고 최대건조밀도는 증가하며 이에 대한 최적함수비는 반비례하여 감소하는 경향을 나타낸다. 이것은 화강토가 다짐에 의해 입

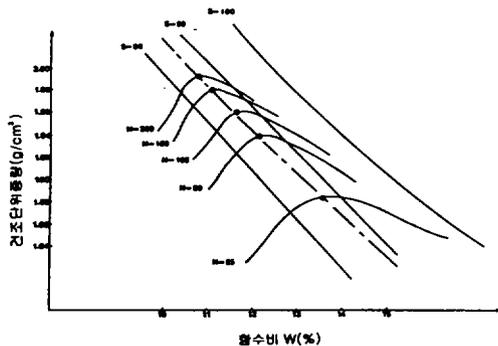


Fig. 3. Moisture content vs. dry unit weight relationships for compaction energy of granitic soil.

자파쇄 현상과 더불어 밀도를 증대시키고 함수비를 감소시켜 흙을 최적의 상태로 만든다고 할 수 있다.

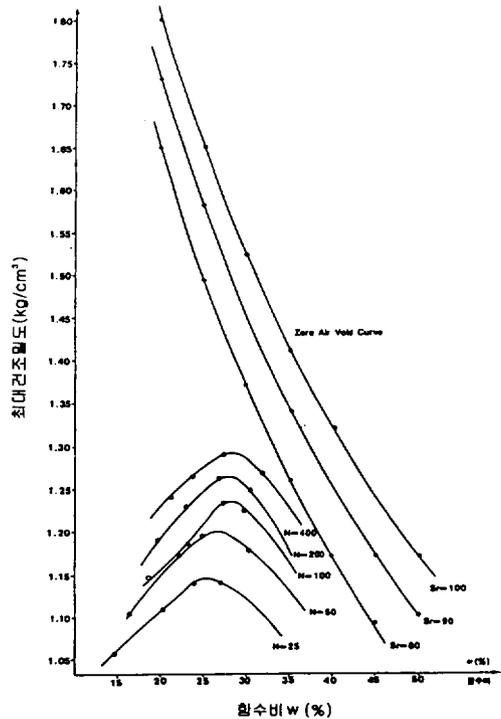


Fig. 4. Moisture content vs. dry unit weight relationships for compaction energy of scoria.

그러나 송이는 Fig. 4에서와 같이 다짐에너지가 증가함에 따라 건조밀도곡선은 상승하나 최대건조밀도에 대한 최적함수비는 큰 변화를 나타내지 않고, 오히려 화강토에서와는 반대로 조금 증가하는 듯한 경향을 보인다. 이것은 일반적인 흙의 다짐 특성과는 큰 차이점이다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 송이의 다짐 곡선이 영공기안곡곡선 (Zero Air Void Curve)과는 상당히 떨어져 있는 것을 알 수 있는데, 이는 송이가 함유하고 있는 작은 기공에 의한 결과로 해석된다. 즉, 일반적인 흙의 입자는 주로 결정체인데 반해, 송이의 입자는 무수히 많은 기공을 함유하므로 건조밀도가 낮고 공극률은 높게 나타난다. 송이의 이러한 다짐 특성은 최소에너지로 다짐 효과를 기대할 수 있을 것으로 사려된다.

Fig. 4와 6은 다짐에너지의 증가에 따른 최대건조밀도의 변화를 화강토와 송이에 대해 각각 나타낸 것이다. 그림에서 다짐회수 100회까지는 밀도의 변화가 양쪽에서 모두 현저하게 나타나고 있다. 그러나 100회 이상의 다짐에서 화강토는 그 증가의 폭이 급격히 감소하는데 반해 송이에 있어서는 다짐회수에 따른 최대건조밀도가 조금씩 증가하는 것으로 나타나고 있다.

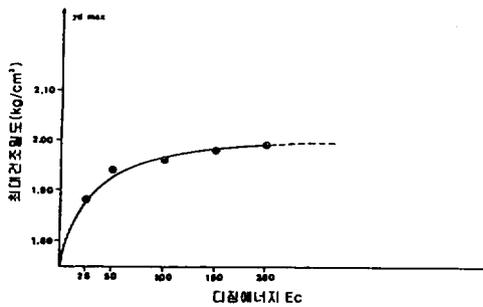


Fig. 5. Compaction energy vs. max. dry unit weight relationships of granitic soil.

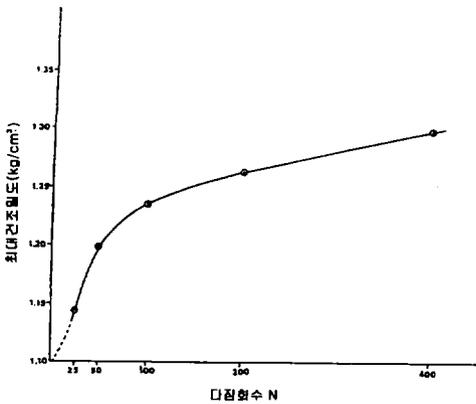


Fig. 6. Compaction energy vs. max. dry unit weight relationships of scoria

파쇄성의 검토

송이의 다짐은 화강토와 같이 입자 파쇄의 현상을 일으켜서 밀도를 증가시킨다. 그러나 전철에서 고찰한 바와 같이 송이는 최대건조밀도가 화강토와 반대로 함수비가 증가하여 최적의 상태로

만든다. Fig. 7과 8은 화강토와 송이의 다짐회수 증가에 따른 입도분포를 나타낸 것이다. 화강토의 다짐에 대한 입자의 파쇄정도를 나타낸 Fig. 7에서는 다짐에너지에 대한 세립화 폭이 0.5-0.1mm 사이에서 크게 나타나지만 송이는 Fig. 8에서와 같이 전체적으로 세립화폭이 일정하게 나타나고 있다. 이는 전철에서도 언급한 바와 같이 흙의 입자는 결정체이기 때문에 입자의 크기에 대한 파쇄되는 비율이 상당히 낮은 것으로 판단된다. 그러나 송이의 경우 많은 기공을 함유하여 간극률이 높은 관계로 인해 입자의 크기에 대한 파쇄되는 부분의 비율이 흙에 비해 상당히 큰 것으로 판단된다. 즉 이것은 송이의 기공이 파쇄와 밀접한 관계를 갖는 것을 시사한다.

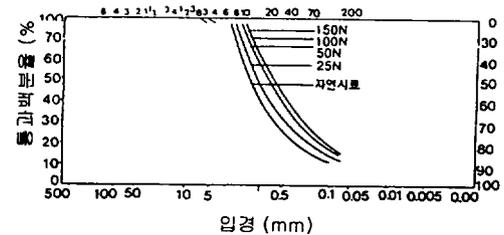


Fig. 7. Grain-size distribution curves with number of blows per layer for granitic soil.

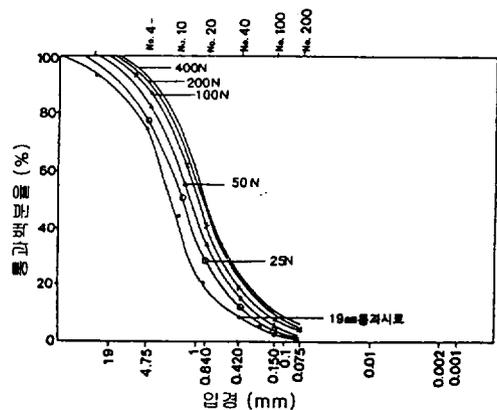


Fig. 8. Grain-size distribution curves with number of blows per layer for scoria.

적함수비(OMC) 상태에서의 c와 ϕ 검토

다짐회수를 증가하여 최적함수비를 결정한 다 음 축소몰드에서 최적함수비 상태의 시료를 성형 한 후, 직접전단시험을 실시하였다. 다짐에너지가 5.67kg/cm^3 인 25회 다짐의 경우는 Fig. 9-1에서 보는 바와 같이 점착력 c 가 0.24kg/cm^2 인 것으로 나타났으며 내부마찰각 ϕ 는 44.2° 로 산출되었다.

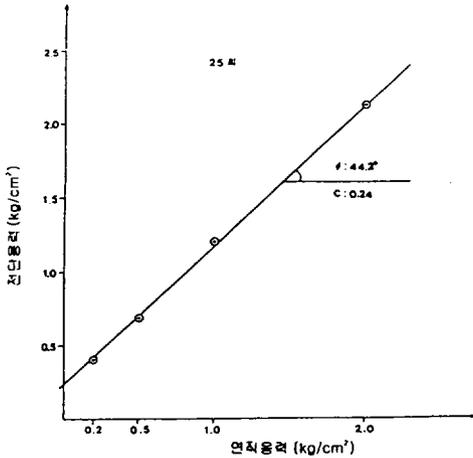


Fig. 9-1. Determination of shear strength parameters at optimum moisture content for scoria. (N=25)

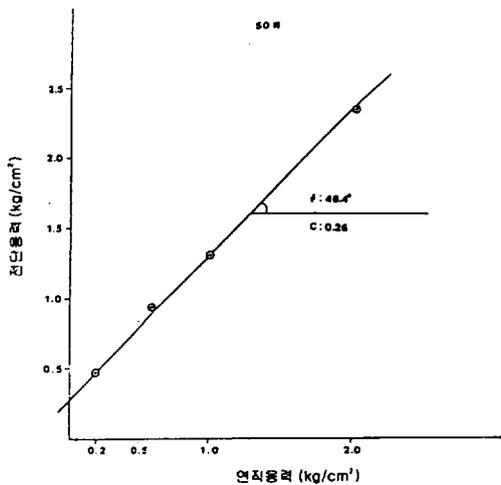


Fig. 9-2. Determination of shear strength parameters at optimum moisture content for scoria. (N=50)

Fig. 9-2는 다짐에너지가 11.38kg/cm^3 인 50회 다

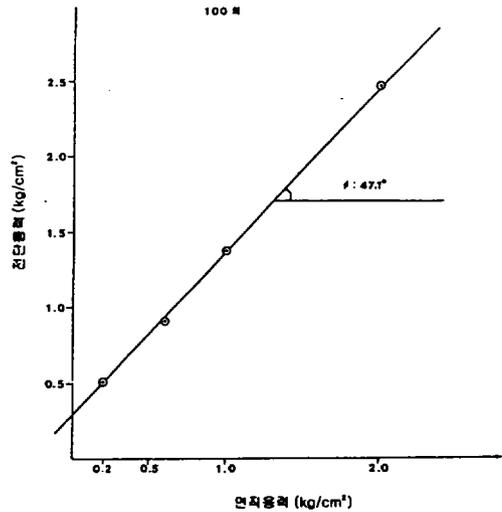


Fig. 9-3. Determination of shear strength parameters at optimum moisture content for scoria. (N=100)

짐시의 수직응력과 전단응력의 관계로서 여기서는 점착력 c 가 0.26kg/cm^2 이고 내부마찰각 ϕ 는 46.4° 를 나타내었다. 한편 다짐에너지가 22.67kg/cm^3 이며 다짐회수가 100회인 Fig. 9-3에서는 점착력 c 가 0.29kg/cm^2 이고 내부마찰각 ϕ 는 47.1° 를 나타내었다. 이상으로 부터 다짐에너지에 대한 송이의 전단강도는 점착력은 $0.2 \sim 0.3\text{kg/cm}^2$ 정도, 내부마찰각은 $44^\circ \sim 47^\circ$ 사이의 범위를 나타내고 있다. 이는 송이의 전단강도가 Dense 한 모래의 c , ϕ 값과 비슷하게 나타내고 있음 알 수 있다.

다짐 회수 증가에 따른 c 와 ϕ 검토

Fig. 10은 최적함수비 상태에서 다짐에너지(E_c)와 내부마찰각(ϕ)의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 가로축은 다짐회수 25, 50, 100 및 200에 대한 다짐에너지 5.67, 11.33, 22.67 및 33.75를 나타내었으며, 종축은 직접전단시험에서 구한 내부마찰각을 도시한 것이다. 그림에서 송이와 화강토는 다짐에너지가 증가함에 따라서 내부마찰각(ϕ)이 조금씩 증가하는 것으로 나타나고 있으며 증가율은 송이가 화강토에 비하여 미약한 것으로 나타나고 있다.

Fig. 10은 최적함수비 상태에서 다짐에너지와

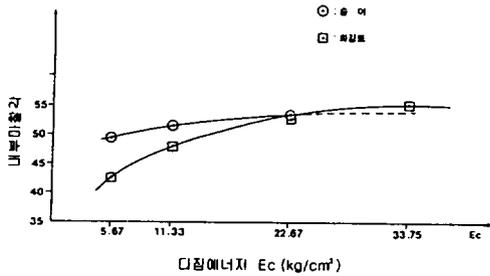


Fig. 10. Variation of internal friction angle on compaction energy at optimum moisture content.

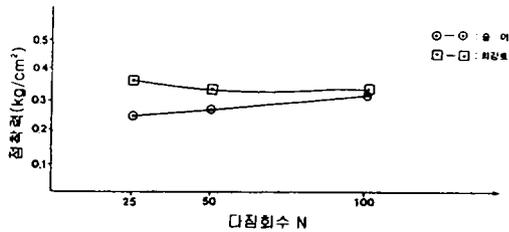


Fig. 11. Variation of cohesive strength on compaction energy at optimum moisture content.

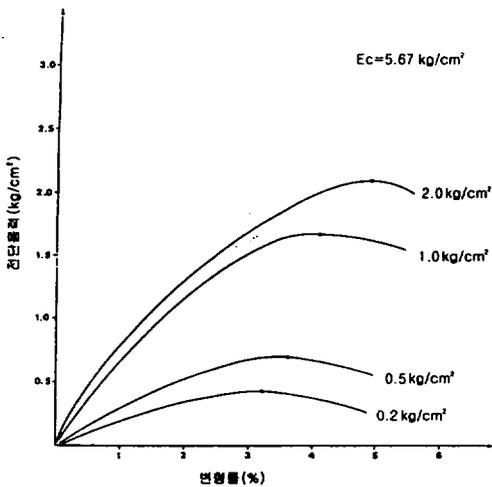


Fig. 12-1. Stress-strain curves varying with normal stresses at $E_c=5.67\text{kg/cm}^2$ for scoria.

점착력의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 다짐에너지의 증가에 따른 점착력은 화강토의 경우 점착력이 소폭으로 감소하는 경향을 보이며 송이는 화강토와 반대로 다짐회수에 따라 조금씩 증가하

고 있다.

Fig. 10과 11의 결과를 종합하여 보면 다짐에너지가 증가함에 따라 송이의 전단 내부마찰각(ϕ)은 화강토와 유사한 증가하는 경향을 보이나 점착력(c)은 화강토와 달리 증가하는 것으로 나타난다.

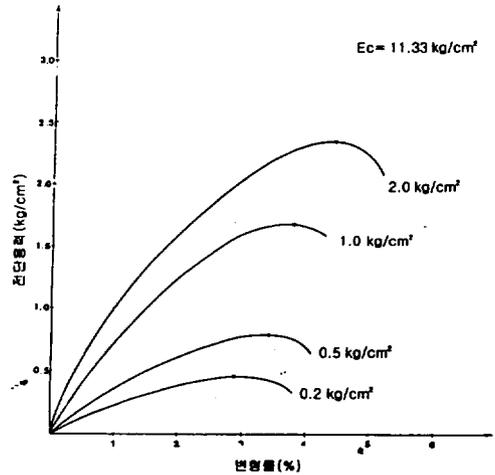


Fig. 12-2. Stress-strain curves varying with normal stresses at $E_c=11.33\text{kg/cm}^2$ for scoria.

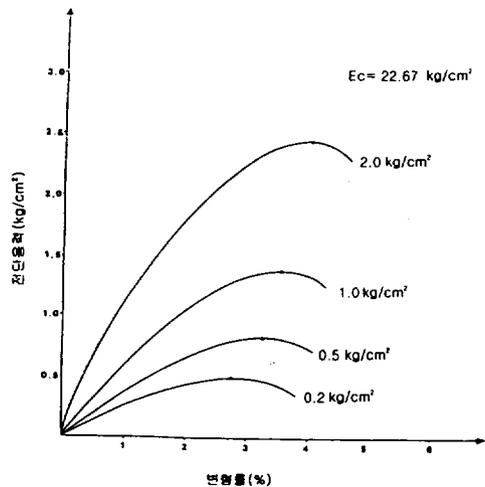


Fig. 12-3. Stress-strain curves varying with normal stresses at $E_c=22.67\text{kg/cm}^2$ for scoria.

응력변형을 검토

일반적으로 직접전단시험에서 전단속도가 빨라지면 전단강도가 커지는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 전단시 변형률일정의 방법을 사용하여 전단속도를 1 mm/min 으로 일정하게 유지하였다. Fig. 12-1에서 12-3은 다짐에너지가 각각 5.67 kg/cm^2 과 11.33 kg/cm^2 , 22.67 kg/cm^2 일때의 변형률에 대한 전단응력을 도시한 것이다. 그림에서 송이의 파괴강도는 연직응력의 증가에 따라 파괴시 전단강도가 크게 발생하는 것으로 나타났으며 파괴시 변형률도 연직응력이 증가함에 따라 크게 발생하고 있다.

결 론

제주도 북제주군 조천읍 선흘리 부소오름 부근의 송이에 대한 물성치 시험과 다짐시험 및 직접전단시험을 실시되었다. 그리고 이들 결과는 화강토와 일부 비교 분석되었으며 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 우리나라 전역에 많이 분포되어 있는 화강토는 입상조직을 갖는 결정질 화강암의 풍화부산물로서 주구성 광물중 장석류에 의한 점토광물의 구성비가 큰 반면 제주도에 산재해 있는 송이는 다공질로서 투수성이 크고 미정질의 조직을 보이고 풍화작용에 의해 수반되는 점토광물의 생성은 미약한 것으로 나타났다.
- (2) 다짐시험에 의한 다짐효과는 화강토의 경우 다짐에너지가 증가함에 따라서 밀도는 증가하고 최대건조밀도에 대한 최적함수비는 감소하고 있으나, 송이는 다짐에너지의 증가에 의해 밀도는 증가하나 건조밀도에 대한 함수비의 변화폭이 작고 최적함수비는 조금 증가하는 경향을 보였다. 이것은 송이가 함유하고 있는 미세한 기공에 의한 영향이며, 다짐시에도 화강토에 비하여 공극률이 높게 나타난다.
- (3) 다짐을 한 경우 입자파쇄는 다짐에너지 증

가에 따라 화강토는 $0.5\text{--}0.1\text{ mm}$ 사이에서 세립화폭이 크게 나타나는데 반하여 송이는 전체적으로 일정한 비례로 증가한다. 즉 화강토는 입자가 결정체로 이루어져 다짐에 의한 파쇄입자의 크기가 세립자인데 반해, 송이는 다짐에너지에 의한 파쇄입자의 크기가 화강토에서 보다는 훨씬 크게 나타나고 있다.

- (4) 최적함수비 상태에서 화강토는 다짐에너지가 커짐에 따라 내부 마찰각이 커지고 점착력은 조금씩 감소하는 경향을 나타내는데 반하여 송이는 내부마찰각과 점착력이 동시에 증가하였으며 화강토보다 전단강도의 증가폭이 크다. 그리고 송이의 전단강도는 Dense sand 정도의 파괴강도를 가지는 것으로 나타났다.
- (5) Stress - Strain Curve에서 다짐에너지가 커짐에 따른 파괴시 전단강도는 증가하였으며, 파괴시 변형률도 다짐에너지의 증가에 따라 증가하였다.

사 사

본 연구는 1996년도 제주대학교 발전기금 연구과제(해양연구소)에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

- 건설부, 1979. 제주도산 송이의 공학적특성 연구 보고서, 건설연구자료, 395, 214-241
- 신 방용, 박 홍규, 1997. 토질시험법, 구미서관, 155-165
- 이 형수, 1983. 풍화화강토의 파쇄 및 다짐에너지가 수성에 미치는 영향, 대한토목학회 논문집, 3(3), 107-116
- Bowl, J.E., 1988. Foundation Analysis and Design, 4th Ed., McGraw-Hill, p.84