

제주도산 송이의 공학적 특성에 관한 연구

A Study on the Engineering Characteristic of scoria in Jeju-Do

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 김동훈²⁾, Dong-hoon Kim, 김영훈³⁾, Young-Hun Kim, 이동엽⁴⁾, Dong-Yeup Lee

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Department of Civil Engineering, HanyangUniversity

²⁾ 제주도 도시건설국 도시과, Urban Planning Div, Jeju Urban Construction Headquarter

³⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 석박사과정, Graduate Student, Department of Civil Engineering, HanyangUniversity

⁴⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Department of Civil Engineering, HanyangUniversity

SYNOPSIS : Jeju-do is a island formed by the volcanic activity and has more than 360 volcanic cones distributed widely along the long axis of the elliptically shaped island. The volcanic cones consist mainly of scoria, so called "Song-I" in the local dialect. In this study the chemical and soil mechanical properties of scoria being very different from those of the inland were investigated with the various tests. In the sieve-passing test the particle size of scoria had more than 10 of uniformity coefficient and gradation coefficient of 1 ~ 3, showing relatively homogenous distribution. Based on the uniformity classification, scoria was assorted into GW. In the large scale direct shear tested for measuring the mechanical strength of scoria the internal friction angle of red scoria was 37° and that of black scoria was 36°. This indicated that there was no difference in the mechanical strength between two types of scoria. On the other hand, red and black scoria had 1.24×10^{-3} to 3.55×10^{-2} cm/sec of k values for the static water level permeability, thus being classified into a coarse or fine sand as compared with that representing the saturated soil. They also had 1.411 to 1.477 g/cm³ of notably low r_{dmax} values for the compaction test as compared with common soil, which was considered to be due to their low specific gravity and high porosity. In conclusion, the soil mechanic properties of scoria obtained from this study are thought to be very helpful for reducing lots of trial and error happening in the civil engineering construction.

Key words : 송이(Scoria), 제주도, 입도분포, 투수계수, 대형직접전단시험

1. 서론

제주도는 지리적으로 한반도 최남단에 위치하고 있으며, 섬 중앙의 한라산 백록담을 정점으로 쉘드 화산체를 이루고 있다. 섬의 규모는 동서 장축 길이가 약 74 km, 남북 단축은 약 34 km 이며, 전체면적은 1,825 km²인 타원형의 형상을 하고 있다(제주도, 1997). 제주도는 화산활동에 의해서 형성된 화산섬으로서 화산쇄설물인 암재구가 도내 전역에 광범위하게 분포되어 있으며, 암재구를 구성하고 있는 암재를 제주도 방언으로 “송이(Scoria)”라 칭하고 있다. 이러한 송이는 내륙지방의 일반적인 화강풍화토나 사질 토와는 공학적으로 전혀 다른 지질 및 토질 특성을 보이고 있다.

송이(Scoria)에 관한 연구는 오재화(1979)의 “송이의 공학적 특성에 관한 연구”부터 최근에는 서창민(2001)등의 송이에 대한 강도특성 및 건설재료로서의 활용에 관한 연구등 다양하게 이루어 지고 있는 추세이다. 현재 제주도는 2006. 7. 1일부터 4개 시군을 통합하여 제주특별자치도를 출범하였고 이를 계기로 대단위 단지개발, 도로, 교량, 항만, 제2공항 건설등 과거보다 대형 토목공사가 수행될 예정에 있음에도

제주도 지반의 대부분을 구성하고 있는 송이의 공학적 특성에 관한 자료와 그에 대한 규명은 현재도 부족한 상태인 바, 본 연구에서는 이러한 송이의 강도특성등 공학적 특성을 규명하는데 그 목적이 있으며 이를 실제 토목설계와 시공에 필요한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 송이의 정의 및 분포

2.1 송이의 정의

화산분출물 중 다공질이며 암색(검정색 · 적갈색 · 황갈색 · 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 다소 무겁고, 염기성 또는 중성의 마그마에서 유래된 것을 스킨리아(scoria)라 한다. 이러한 암재를 제주도 방언으로 “송이”라 한다.

한라산 화산체의 국부적인 지형의 특징은 중심 화산의 활동이 정지된 후 그 주변의 틈을 이용하여 분출 생성된 360여개의 기생화산과 깊은 관련이 있다. 제주도에 기생화산이 널리 분포되어 있으며 특히 장축과 일치하는 방향으로 집중적으로 배열되어 있고 제주도에서는 이를 “오름”이라 한다. 이러한 기생화산은 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 것을 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 4~32 mm 사이에 있는 것을 화산력(lapilli) 또는 분석(cinder)이라고 하고, 4mm 이하의 세편(細片)을 화산회(Volcanic ash), 0.25mm 이하의 가루를 화산진(Volcanic dust)이라 하며 이러한 화산쇄설물이 낙하하여 퇴적되어 있는 지층을 Scoria층이라 한다. 스킨리아로 구성된 분석구의 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 함량의 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 쉽기 때문에 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다(박기화, 1998).

2.2 송이의 분포

송이는 일반적으로 색상에 있어서 검정색, 적색 및 황색 등으로 크게 세가지로 구별하고, 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 흑색(Black) 및 암회색(Dark-Grey) 등으로 세분할 수 있는데, 윤정수(1995)에 의하면 제주도 송이는 제주시 동·서부 지역을 위주로 하여 일반적으로 적갈색 송이가 20개 지역으로 가장 많으며, 특히 중산간 지역에 많이 분포하는 것으로 나타난다. 다음으로는 황갈색 송이가 9개 지역, 흑색 송이가 5개 지역 그리고 암회색 송이가 6개 지역에, 암회색 송이는 주로 해안 지역에서 나타나고 있다.

3. 시험방법

3.1 시료채취

본 연구를 위하여 적색과 검정색 송이를 각각 제주시 한경면 저지리 소재 전원마을 조성사업 현장 인근 및 제주시 한경면 월령리 소재 저류조 시설사업 현장 인근에서 채취하여 시험을 실시하였다. 그림 1은 시험에

사용한 시료의 채취장소를 나타내고 있다.

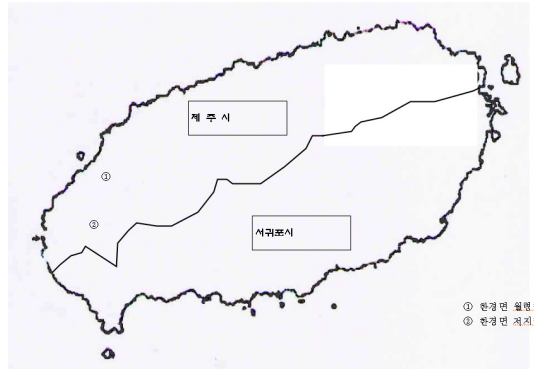


그림 1. 시료 채취 위치

3.2 체분석시험

자연상태의 송이는 직경이 50mm나 되는 입자가 존재하며 0.074mm(NO. 200체)이하 되는 작은 입자도 포함되어 있다. KS F 2302 규정에 의한 체분석방법으로 입도를 분석하였고 입도 분포 곡선들은 여러 흙들을 비교하는데 사용될 수 있다. 또한 이런 곡선으로부터 유효입경(D_{10}), 균등계수(C_u), 곡률계수(C_g) 등의 결과를 얻을 수 있으며, 이것은 조립토를 분류하는데 사용한다.

3.3 다짐시험

다짐시험은 미국의 프록터(Proctor, 1993)가 흙댐(earth dam)의 시공관리에 관련하여서 다짐시험의 의의와 공사에 적용하는 방법을 제안한 후 사용되기 시작했고 우리나라에서도 이 시험을 근간으로 해서 KS F 2312에 규정되어 있다. 다짐시험의 목적은 각 시료의 최적함수비와 최대건조밀도를 구하여 다짐 시험 결과로 실제 시공시 함수비와 현장다짐 건조단위밀도(최대건조밀도의 95%)를 적용하기 위해 수행한다.

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. 송이는 일반적으로 파쇄성이 크고 입자의 크기가 일반 흙과는 달리 생성 과정의 특징과 풍화도에 따라 미세입자로부터 입경이 10cm이상 되는 것도 있어 다짐시험시 D방법으로 비반복으로 시행하였다. 그림2와 그림3은 검정색 및 적색 송이시료를 채운 다짐시험기를 나타내고 있다.



그림 2. 검정색송이를 채운 다짐시험기



그림 3. 적색송이를 채운 다짐시험기

3.4 투수시험

정수위 투수시험은 비교적 투수성이 큰 흙이나 투수계수가 큰 조립토 및 조립재에 적합하며 투수계수가 약 10^{-3} cm/sec 이하인 흙에 대해서는 실행 불가능할 정도로 실험시간이 길어진다. 투수시험을 시행하기전 시료를 성형할 때 A다짐을 시행하였다. 투수몰드에 3단으로 각 단마다 25회씩 다짐봉으로 타격

을 하였으며, 다짐에너지는 $5.63\text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ 을 주어 시료를 성형하였다. 시험에 필요한 시험장치는 한양대학교 토질 및 기초 실험실의 정수위 투수 시험장치를 사용했으며, 그림 4는 투수시험기의 전경을 보여주고 있다.



그림 4. 투수시험기의 전경

3.5 대형직접전단시험

송이는 입자의 크기가 일반 흙과 달리 생성과정의 특징과 풍화도에 따라 미세 입자로부터 입경이 10cm 이상 되는 것도 있기 때문에 본 실험에서는 입자의 크기를 고려하여 한양대학교 토질 및 기초 실험실의 대형 직접전단 시험기를 사용하여 시험을 실시하였다. 직접 전단시험기의 전단 상자는 분리 가능한 상·하부 상자 2개가 1조로 된 원형으로 이루어져 있다. 원형 전단상자의 내경은 30cm 이고 높이는 32cm 이다. 전단상자의 단면적은 706.5cm^2 이며 체적은 $22,608\text{cm}^3$ 이다. 본 장비는 최대입경 50mm이내의 다양한 쇄석 및 조립재료의 실험이 가능하며, 수직하중은 유압실린더를 이용하여 가할 수 있도록 제작되었다.

대형 직접전단 시험기는 변형률 제어 방식의 하부 이동식고 이 장치는 두 개의 하중장치로 구성되어 있다. 첫 번째는 상부 전단상자에 가해지는 연직하중 장치가 있는데 수직응력의 범위는 $0\sim 28\text{kg}/\text{cm}^2$ 이고, 유압을 이용해서 연직하중을 재하하는 방식이다. 두 번째는 전단작용을 하는 수평하중 장치로서 속도 범위는 $0.2\text{mm}/\text{min} \sim 100\text{mm}/\text{min}$ 이다. 본 연구에서의 전단 속도는 $3\text{mm}/\text{min}$ 을 적용하였다. 수직 및 수평변위는 LVDT를 이용하여 측정하며 데이터로거를 통해 자동 계측이 가능하도록 구성되었다. 시험방법은 건조 시료를 소요밀도에 따라 무게비로 체분석을 실시한 후 전단상자에 시료를 1/3씩 단계별로 채운후 램머를 이용하여 송이시료가 파쇄되지 않도록 충분히 다짐하면서 채운다. 시료를 채워 다진후 상부유압실린더를 사용하여 $1\text{kg}/\text{cm}^2$, $2\text{kg}/\text{cm}^2$, $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 수직하중을 가해준 후 시료의 재배열이 완료되도록 약 10분이 경과한 후에 전단을 실시하고 전단 시험 후 응력-변형률 곡선을 통해 전단강도를 산출하였다.

4. 시험결과 및 분석

제주산 송이(화산쇄설물)의 공학적 특성을 규명하기 위하여 제주시 한경면 저지리 및 한경면 월령리에서 채취한 적색 및 송이시료에 대한 물리 및 역학시험에 대한 결과는 다음과 같다.

4.1 체분석시험

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.

직경 10mm이상의 송이 시료는 체분석 결과 98%이상의 시료가 10mm체에 남기 때문에 입도시험의 의미가 없으므로 결과분석은 하지 않았다. 아래 표 1은 파쇄된 송이시료의 균등계수와 곡률계수를 나타내었다.

표 1. 파쇄된 송이시료의 균등계수와 곡률계수

Place name	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _g
적색송이	0.25	0.85	3.25	13	0.88
검정색송이	0.15	0.85	3.25	21.66	1.48

표 1과 같이 파쇄된 송이시료의 체분석시험 결과, 적색송이의 유효입경(D₁₀)은 0.25, 검정색송이의 유효입경(D₁₀)은 0.15이며, 균등계수(C_u)는 적색송이가 13, 검정색송이가 21.66으로 나타났으며, 곡률계수(C_g)는 적색송이가 0.88, 검정색송이는 1.48의 값을 구하였다. 일반적으로 조립재료에서 균등계수(C_u)가 10이상일 경우 입도가 양호하다고 보고 있기 때문에, 본 실험결과에서 색상별 송이의 균등계수가 모두 10이상으로 분석되었으므로 입도분포가 좋다고 판단하였다. 한편 입경가적곡선의 형상을 나타내는 곡률계수(C_g)는 입도분포가 계단상인 경우에 그 값이 1~3 사이인 경우 입도분포가 양호한 것으로 분류할 수 있는데 본 실험 결과 적색송이는 0.88, 검정색송이는 1.48로서 적색송이보다는 검정색송이가 입도분포가 좀더 양호한 것으로 분석되었다. 또 통일분류법으로 분류한 결과 적색과 검정색 송이시료 모두 GW(15%이상의 모래 섞인 입도 양호한 자갈)로 분류되었다.

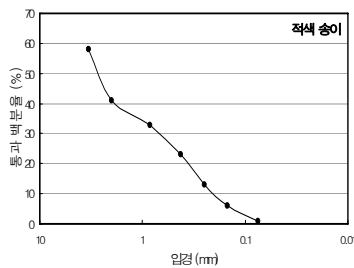


그림 5. 적색송이의 입도분포곡선

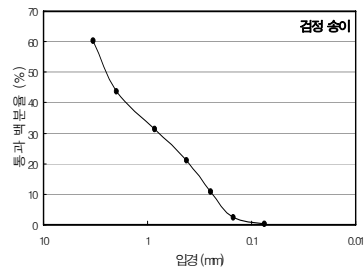


그림 6. 검정색송이의 입도분포곡선

4.2 다짐시험

적색송이, 검정색송이 각각의 시료에 대하여 수정 D다짐 시험으로 시행하였는데 다짐 시험 결과는 표 2와 같다. 본 실험은 검정색송이의 시료와 적색송이 시료에 대해 파쇄율이 심한 것과 평균 직경 10mm 이상의 송이시료 네가지 조건에 관해 실험하였다.

각 색상별로 비교시 적색인 경우 최적함수비가 검정색인 경우보다 5%가량 높았고 같은 색의 재료인 경우 비슷한 경향을 나타냈으나 세립질이 조립질에 비해 최적함수비와 건조단위중량이 조금 더 높은 경향을 나타내었다. 본 연구에서 쓰인 송이시료는 입도시험을 통해 분류한 바와 같이 통일분류법상 GW에 포함되며, 일반적인 흙에서의 GW에 대한 건조단위중량은 2.00~2.16g/cm³, GP에 대한 건조단위중량은 1.84~2.00g/cm³이다. 송이에 대한 다짐시험 결과 실내 다짐시험에서 할 수 있는 최대 에너지인 D다짐으로 다졌음에도 불구하고 $r_{d\ max} = 1.411\sim 1.477\text{g/cm}^3$ 밖에 되지 않았다. 이렇게 최대 건조단위 중량이 일반적인 흙에 비해 현저히 낮은 이유는 비중이 낮을 뿐만 아니라 기공이 현저히 많기 때문으로 판단된다.

표 2. 다짐 시험 결과

시 료		최적 함수비(%)	최대건조단위중량(Kg/cm ³)
적색송이	조립질	12.1	1.452
	세립질	15.1	1.477
검정색송이	조립질	18.4	1.411
	세립질	21.9	1.447

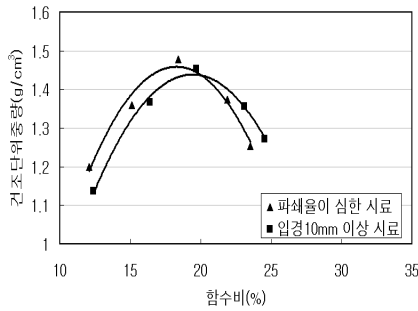


그림 7. 검정색 종이시료의 입경별 다짐곡선

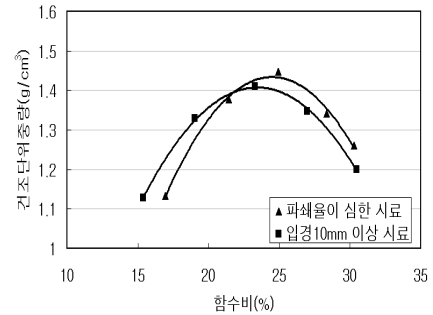


그림 8. 적색종이시료의 입경별 다짐곡선

4.3 정수위 투수시험

종이의 자연상태의 투수시험은 시료채취가 어려워 흐트러진 상태의 시료를 다진 후 투수실험을 실시하였다. 시험결과는 표 3과 같다. 본 실험은 동일색의 종이시료의 평균 직경 10mm이상의 종이시료와 파쇄율이 심한 종이시료의 두가지 조건에 관해 실험하였고, 단일조건에 대해 5회의 반복실험을 수행하여 결과치의 신뢰성을 가질 수 있게 하였다. 투수시험결과에 대한 각 색상별 종이시료 비교결과 입경 10mm이상의 시료의 경우 검정색 종이의 투수계수가 적색 종이에 비해 약 47%정도 크게 나타났고, 파쇄율이 심한 시료의 경우에는 검정색 종이시료가 적색종이에 비해 약 170%정도 크게 발생하였다. 파쇄율이 심한 종이시료의 경우 A다짐으로 다짐 후 시험하였으므로 입자간의 공극이 다짐에너지에 파쇄되어 채워지고 입자가 거칠어져서 둥근입자에 비해 물이 통과할 때 시간이 더 걸렸을 것이라고 판단했다.

본 연구에서 사용한 시료의 입도에서의 투수계수와 표4 에서의 포화토의 대표적인 투수계수와 비교해보면, 조립토에서의 적색종이와 검정색종이의 평균 투수계수는 2.98×10^{-2} 세립질토에서의 평균 투수계수는 3.37×10^{-3} 으로써 포화토의 대표적인 투수계수 범위 안에 포함된다.

따라서, 토사가 부족한 제주도내 시공현장에서 조립재료 및 뒷채움재로 활용하기에 충분하다고 본다.

표 3. 종이의 투수시험 결과

투수계수	시 료	적색 종이	검정색 종이
입경 10mm이상의 종이의 실험시 투수계수(cm/sec)		2.41×10^{-2}	3.55×10^{-2}
파쇄율이 심한 종이의 실험시 투수계수(cm/sec)		1.24×10^{-3}	3.37×10^{-3}

4.4 대형직접전단시험

지반의 점착력 c 와 내부마찰각 ϕ 는 지반의 고유한 값이며, 이들을 알고 있으면 임의의 응력상태에서 그 지반의 전단강도를 구할 수 있다. 따라서 이들을 강도정수라고 한다.

그림 9 와 그림 10 은 색상별 파쇄율이 심한 종이의 전단변형률에 대한 전단응력의 관계를 도시한 것으로, 각 시험은 1kg/cm^2 , 2kg/cm^2 및 3kg/cm^2 의 연직응력을 작용시켰다. 그리고 연직하중은 유압에 의한 응력제어 방식으로 일정하게 작용시켰으며 전단력은 하중을 3mm/min의 속도로 하여 변형률 제어 방식을 사용하였다. 그림에서 각 연직응력에 대한 최대전단응력은 변형률이 5~8% 사이에서 발생하고 있으며 이들 강도는 peak 강도 후 감소하는 경향을 보이고 있다.

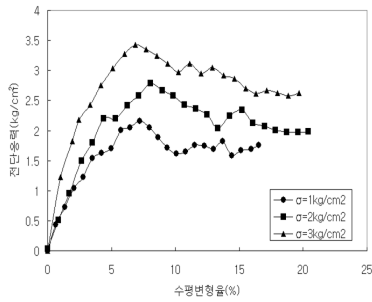


그림 9. 적색송이 시료의 전단응력-변형을 곡선

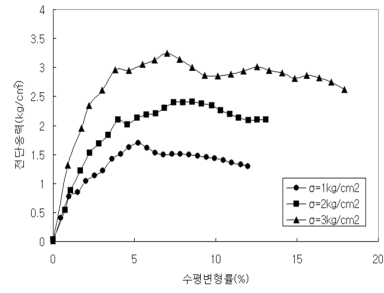


그림 10. 검정색송이 시료의 전단응력-변형을 곡선

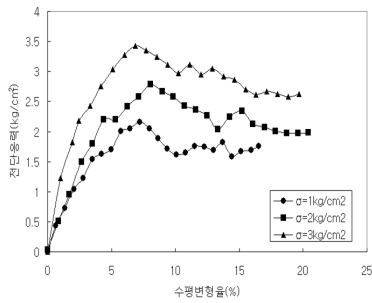


그림 9. 적색송이 시료의 전단응력-변형을 곡선

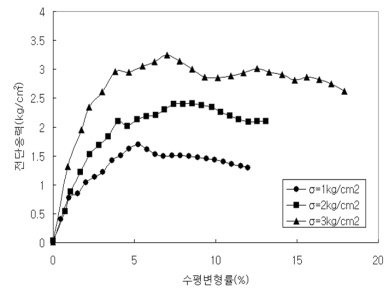


그림 10. 검정색송이 시료의 전단응력-변형을 곡선

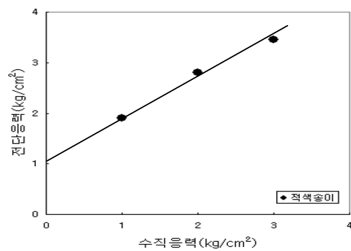


그림 11. 적색송이 시료의 파괴포락선

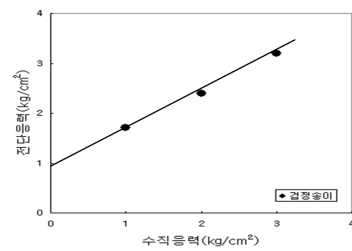


그림 12. 검정색송이 시료의 파괴포락선

표 5. 대형직접전단시험의 색상별 송이시료 강도정수

구분	점착력(kg/cm ²)	내부마찰각(°)
적색송이	1.07kg/cm ²	37°
검정색송이	0.98kg/cm ²	36°

본 실험에서 사용된 파쇄율이 심한 시료는 체가름시험결과와 같이 설명한 바와 같이 직경 3~5mm의 입경이 대부분이고 5mm이상의 입경을 가진 입자도 있다. 본 시료는 통일분류법상 GW에 해당하며 일반적인 GW흙에서의 내부마찰각은 37~41° 사이이며, 일반적으로 상대밀도가 클수록, 입자가 모가 날수록 내부마찰각이 커지는데, 본 시료는 상대밀도가 적고, 입자가 둥근 형상이므로 내부마찰각이 상대적으로 작게 나왔음을 알수 있었다. 그리고 송이의 특성은 입자 내에 많은 기공을 포함하고 있어 전단 시 마모나 파쇄가 많이 발생할 수 있다. 따라서 송이는 입자 상호간의 점착력은 가지고 있지 않지만 큰 입자에서 발생하는 마모나 파쇄가 전단강도 산정시 점착력으로 나타날 수도 있을 것으로 추정된다.

이번 연구에서 대형직접전단시험에서 도출된 송이시료의 강도정수를 기존 연구결과와 비교검토해 본 결과 기존 연구에서의 송이의 내부마찰각은 29.44~41.46°의 값을 보여 편차가 심하게 나타났음을 알수 있었다. 표 6은 기존연구의 강도정수 결과이다.

표 6. 기존연구 강도정수

구 분	시료명	점착력(kg/cm ²)	내부마찰각(°)
2001, 서창민	적갈색	0.58	29.44
	암회색	1.26	41.46
2002, 신승훈	시료 C	0.03	38
	시료 D	0.1	35

5. 결론

제주도 전역에 산재해 있는 송이의 공학적 특성을 규명하기 위하여 체분석시험, 다짐시험, 정수위 투수시험, 대형직접전단시험을 실시하고, 시험결과를 분석, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 직경 10mm이상의 적색 및 검정색 송이의 체분석시험 결과 두가지 시료 모두 균등계수(C_c)가 10 이상으로 분석되어 일반적인 조립재료에서 균등계수가 10이상일 경우 입도가 양호한 기준에 충족되어 입도분포가 양호하게 나타났으며, 입경가적곡선의 형상을 나타내는 곡률계수(C_g) 또한 두 시료 모두 1~3의 범위에 있어 입도분포가 좋음을 나타내었다.
- (2) 다짐시험에 있어서 검정색송이의 시료와 적색송이 시료에 대해 파쇄율이 심한 것과 평균 직경 10mm 이상의 송이시료 네가지 조건에 관해 실험하였는데, 적색인 경우 최적함수비가 검정색인 경우보다 5%가량 높았고 같은 색의 재료인 경우 비슷한 경향을 나타냈으나 세립질이 조립질에 비해 최적함수비와 건조단위중량이 조금 더 높은 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 일반적으로 통일분류법에 의하면 GW에 대한 건조단위중량은 $2.00\sim 2.16\text{g/cm}^3$, GP에 대한 건조단위중량은 $1.84\sim 2.00\text{g/cm}^3$ 이다. 그러나, 송이는 일반적인 흙에 비해 최대건조단위중량이나 최적함수비가 적게 나타나고 있는데, 실내 다짐시험에서 할 수 있는 최대 에너지인 D다짐으로 다졌음에도 불구하고 $r_{d\max} = 1.411\sim 1.477\text{g/cm}^3$ 밖에 되지 않았다. 이렇게, 최대 건조단위 중량이 일반적인 흙에 비해 현저히 낮은 이유는 송이의 비중이 낮을 뿐만 아니라, 현저히 많은 기공에 기인한 것으로 판단된다.
- (3) 정수위투수시험 결과 입경 10mm이상의 시료의 경우 검정색 송이의 투수계수가 적색 송이에 비해 약 47%정도 크게 나타났고, 파쇄율이 심한 시료의 경우에는 검정색 송이가 적색송이에 비해 약 170%정도 크게 발생하였는데, 조립질토에서의 적색송이와 검정색송이의 평균 투수계수는 2.98×10^{-2} 세립질토에서의 평균 투수계수는 3.37×10^{-3} 으로써, 일반적인 포화토의 대표적인 투수계수 범위안에 포함되는 것으로 분석되었다.
- (4) 대형직접전단시험기를 이용한 직접전단시험결과 적색송이의 내부마찰각은 37° 이며, 검정색송이의 내부마찰각은 36° 로 나타났다. 본 시험 시료는 통일분류법상 GW해당하며, 일반적인 GW흙에서의 내부마찰각은 $37^\circ\sim 41^\circ$ 사이로서, 일반적으로 상대밀도가 클수록, 입자가 모날수록 내부마찰각이 커지는데 본 시료는 상대밀도가 적고, 입자가 둥근 형상을 보여 내부마찰각이 상대적으로 작은 것임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 제주도(1997) “중산간지역 종합조사”, 국토개발연구원, pp 13~68
2. 박기화(1998) “제주 애월 도폭지질보고서”, 제주시, pp 163~238.
3. 서창민(2001) “대형직접전단시험기를 이용한 송이의 강도특성에 관한 연구”, 제주대학교 석사학위논문, pp 38~60
4. 오재화(1979) “제주도산 송이의 공학적 특성”, 한양대학교 석사학위논문, pp 15~30
5. 한국표준협회(1998) “한국공업규격 KSF 2312”