



論文
五 曄

제주도 송이의 공학적 특성과
건설재료로서 활용에 관한 연구

A Study on Jeju Song-I about Its Nature and
Applicability as a Construction Material

建國大學校 産業大學院

土木工程科

申 昇 勳

2002

669148

제주도 송이의 공학적 특성과
건설재료로서 활용에 관한 연구

A Study on Jeju Song-I about Its Nature and
Applicability as a Construction Material

이 논문을 석사학위 청구논문으로 제출함.

2002년 6월 일

建國大學校 産業大學院

土木工學科

申 昇 勳

申昇勳의
工學 碩士學位 請求論文을 認准함

審 查 委 員

委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

2002年 6月 日

建國大學校 産業大學院

목 차

List of Table	iii
List of Figure	iv
Abstract	v
1. 서론	1
2. 제주도의 지형 · 지질	2
2.1 제주도의 지형	2
2.2 제주도의 화산활동	4
2.3 제주도의 지질	8
2.3.1 제주도의 형성과 지질	8
2.3.2 화산지형의 특성	11
2.3.3 송이의 생성 및 특성	14
3. 송이의 물리 및 역학적 특성 시험	17
3.1 시료	17
3.2 물리적 특성	18
3.2.1 입도 분석	18
3.2.2 통일분류법에 의한 송이의 분류	20
3.2.3 함수비	20
3.2.4 비중	21
3.2.5 소성지수	22
3.2.6 흡수율	22

3.2.7	마모율	23
3.2.8	안정성	24
3.3	지지력 특성 시험	25
3.3.1	다짐시험	25
3.3.2	실내 CBR시험	26
3.3.3	파쇄성 시험	27
3.4	역학적 특성 시험	33
3.4.1	투수성	33
3.4.2	송이의 강도정수	34
4.	건설재료로의 활용 검토	36
4.1	콘크리트용 재료	36
4.2	뒷채움 재료	38
4.3	흙 쌓기 재료	39
4.3.1	노체	39
4.3.2	노상	40
4.4	아스팔트 포장 재료	41
4.4.1	보조기층재료	41
4.4.2	기층재료	43
4.4.3	표층재료	44
4.4.4	채움 재료	45
4.5	시멘트 콘크리트 포장	47
5.	결론	48
	참고문헌	50

List of Table

<표 2 - 1> 화산암류의 분출순서 및 지질계통대비	10
<표 2 - 2> 제주도의 화산지형	14
<표 2 - 3> 송이의 화학적 성분	16
<표 3 - 1> 함수비 시험 결과	21
<표 3 - 2> 송이의 비중	22
<표 3 - 3> 흡수율 시험	23
<표 3 - 4> 마모율 시험	23
<표 3 - 5> 안정성 시험	24
<표 3 - 6> 다짐시험	25
<표 3 - 7> 실내 CBR 시험	27
<표 3 - 8> 투수계수 시험	33
<표 3 - 9> 강도정수	35
<표 3 - 10> 기존연구 강도정수	35
<표 4 - 1> 뒷채움 재료 시방규정	38
<표 4 - 2> 노체 흙 쌓기 재료 시방규정	39
<표 4 - 3> 노상 흙 쌓기 재료 시방규정	40
<표 4 - 4> 보조기층재료 시방규정	42
<표 4 - 5> 기층 굵은 골재 시방규정	43
<표 4 - 6> 채움 재료 시방규정	46
<표 4 - 7> 굵은 골재 시방규정	47

List of Figure

<그림 3 - 1> 시료채취 위치도	17
<그림 3 - 2> 입도 분포 곡선	19
<그림 3 - 3> 다짐 시험결과	26
<그림 3 - 4(1)> 파쇄시험 결과(시료 A)	28
<그림 3 - 4(2)> 파쇄시험 결과(시료 B)	29
<그림 3 - 4(3)> 파쇄시험 결과(시료 C)	30
<그림 3 - 4(4)> 파쇄시험 결과(시료 D)	31
<그림 3 - 4(5)> 파쇄시험 결과(시료 E)	32
<그림 4 - 1> 보조기층재료 입도 시방규정	42
<그림 4 - 2> 기층재료 입도 시방규정	44
<그림 4 - 3> 채움 재료 입도 시방규정	46

**제주도 송이의 공학적 특성과
건설재료로서 활용에 관한 연구**

建國大學校 産業大學院 土木工學科 碩士學位課程

申 昇 勳

**A Study on Jeju Song-I about Its Nature and
Applicability as a Construction Material**

Shin, Seung - Hun

**Master's Program in Civil Engineering,
Graduate School of Engineering, Konkuk University**

Abstract

Song-I is a pyroclastic material created from a parasite volcano and there are two kinds of Song-I: brown and black color in Jeju. Several tests have been done to find out the nature of Song-I. After investigating its engineering properties and applicability as a construction material, several conclusions could be made as follows:

1) Song-I is classified into GW and its specific gravity is relatively high with 2.54 over all, but it is low compared to the other soil. Also, Song-I is found to be appropriate as fill material after examining with No. 200 sieve.

2) Song-I's permeability is great in a natural state. However, the permeability gets extremely smaller after the compaction because the void space is filled up with abraded and crushed particles of Song-I.

3) Song-I is crushed a lot as the compaction energy gets higher. It is crushed to the extreme when compacted in the optimum moisture content. Moreover, particles in the wet side are crushed more than those in the dry side. According to the result of compaction test, Song-I's optimum moisture content is 17.5~24.3% with a high discrepancy and its maximum dry density is 1.54~1.64g/cm³. These rates prove the applicability of Song-I as a road construction material.

4) Song-I is not applicable for a concrete aggregate but applicable for sub-base and sub-grade material and a backfill material. However, it is not applicable for base course, surface course, and filling material. Nevertheless, Song-I has enough applicability to be used as an alternative construction material concerning insufficient construction material in Jeju.

1. 서 론

제주도는 화산활동으로 인하여 형성된 화산섬으로서 내륙지방과 전혀 다른 지질 및 토질 공학적 특성을 보이고 있다. 제주도의 지형적 특성이 화산활동에 의존하고 있다는 사실은 토목공학적으로 여러 가지 문제점을 남긴다. 예를 들면 현무암 일색의 지질로 말미암아 석영질 모래수급이 수월하지 못한 실정이다.

내륙에서도 해마다 골재 난이 가중되고 있는데 도내에 건설공사가 활발하게 진행되므로 인하여 골재 난이 앞으로 큰 문제로 대두될 것으로 보인다. 다행히 제주도에는 사질토로 대치될 가능성이 보이는 화산쇄설물인 송이(Scoria)가 도 전역에 다량으로 존재하고 있다. 그러나 이것은 일반적인 사질토와는 공학적인 특성이 현저하게 다르므로 이를 이용하기 위해서는 충분한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 따라서 건설재료가 절대적으로 부족한 제주도에서 송이를 건설재료로 활용할 수 있는지를 알아보고자 본 연구가 시도되었다.

본 연구에서 조사대상은 제주도의 다섯 곳에서 시료를 채취하여 건설기술관리법 제 15조 4의 제1항 품질시험 규정 및 한국공업규격(K.S. F)에 준하여 송이의 공학적 특성을 규명하였다. 또한 각종 시험에서 확인된 송이의 공학적 특성을 건설공사에서 사용되고 있는 제 지방서를 기준으로 건설재료로의 사용 가능여부를 검토하였다.

2. 제주도의 지형·지질

2.1 제주도의 지형

제주도는 환태평양 조산대의 후면에 위치하는 거대한 화산섬이다. 신생대 제3기말부터 신생대 제4기에 걸친 화산활동의 산물로서 형성되었기 때문에 화산 지형적 특징을 잘 나타내고 있다.

제주도는 해안선의 길이가 263km로 고구마 모양의 타원형으로 되어 있어 동서 쪽으로 길고 남북의 폭이 좁다. 동서의 장축은 73km인데 반하여 남북의 단축은 그 절반도 안 되는 32km이며 면적이 약 1,825km²의 큰 섬이다. 장축의 중간에는 한라산이 우뚝 솟아 있어 제주도의 형태와 지형을 지배하고 있다. 제주도의 장축은 한반도의 남해안선과 나란한 N70°E의 방향으로 라오똥 방향과도 일치하며, 장축 방향으로 형성된 분수령은 제주도를 남북으로 구분하는 자연경계가 되고 있다.¹⁾

표고 1950m인 한라산을 정점으로 하여 동서 사면은 매우 완만한 경사(3°~5°)를 이루고 있으며, 남북 사면은 보다 급한 5°~7°의 경사를 나타낸다. 제주도는 전체적으로 보아 완만한 쉘드 화산에서 흔히 볼 수 있는 아스피테식 화산(楕狀火山)이라 할 수 있다.

고도와 경사도에 의한 제주도의 지형을 살펴보면, 해발 600~1,200m의 산악지대는 경사 10°~20°로 점점 낮아지기 시작하여 200~600m의 중산간 구릉지대는 5°~10°의 완경사로 산야식물대를, 200m 이하는 5°미만의 평원지로 주거지를 비롯한 농경지 및 과수원으로 이용되고 있다. 해발 1,200~1,950m의 고산지대는 경사 20° 이상으로 조면암의 분출로 급사면을 이루고 있으며 그 정상에

는 직경 700m인 타원형 화구호인 백록담이 있다.

백록담 돔(Dome)상 구조는 화산분출에 의해 형성된 분화구로서 표고 1,950m에서 1,862m의 능선으로 둘러싸인 타원형의 분지 호수이다. 백록담은 동·서측 약 700m, 남·북측 약 400m의 타원형에 형성된 화구호로서 유역 면적은 약 210,230m²이다. 1992년에 관측된 바에 의하면 담수 부존 지역의 면적은 약 11,457m²이며, 서북 능선과 남동 능선의 비탈면에는 3개의 계곡이 형성되어 있다.

제주도 전역에 걸쳐 기생화산이 360여 개가 분포되어 있으며 이들은 경사30° 내외이고 높이는 35~250m 정도로 나타난다. 표고가 다소 높은 것들은 원추형으로서 정상에 화구나 평탄 면을 보이고, 낮은 것들은 평탄마제형, 평탄형, 완만한 돔형 등으로 구분할 수 있으며 표고별 분포를 보면 200m이하가 127개소, 200~600m범위가 152개소, 600m이상이 81개소 정도로 나타난다. ^{1, 6)}

제주도의 지형은 유년기 지형에 속하며 개석(開析)의 정도가 얼마 되지 않으므로 침식의 영향보다는 총 79회 이상에 걸친 화산 분출과 그에 수반되거나 그 후에 있었던 지반의 용기와 밀접한 관계를 갖는 까닭에 화산활동에 의한 원지형이 잘 보존되어 있다는 점이 특색이다. 또한 용암류의 암질 및 형태, 용암류의 차별 침식, 용암동굴, 기생화산의 퇴적상, 해안단에, 해식대지의 발달 상태 등도 제주도의 지형 결정에 중요한 작용을 하였다.

수계는 한라산을 발원지로 하여 60여 개의 하천이 해안방향으로 방사형으로 발달되어 있으며 이들 대부분의 하천은 평시에는 건천을 이루나 강우 시에만 일시적인 유출을 보인다. ^{1,2,4,6)}

2.2 제주도의 화산활동

제주 지역은 신생대 제3기말부터 시작하여 제4기에 걸쳐 이루어진 화산활동과 생성과정에 따라 그 지질구조와 지형의 특성을 구분할 수 있다. 제주도는 지질학적 연대로 제3기말 플라이오세에서 제4기 플라이스토세에 걸쳐 생성된 화산섬이다. 사기에 기록된 최후의 화산활동은 1670년 11월 15일이고, 그때까지 총79회 이상의 용암분출이 있었다고 한다.

제주도에서 가장 신기에 해당하는 화산분출은 백록담을 중심으로 거의 동서방향으로 발달된 양렬곡대(Rift Zones)를 따라 이루어졌다. 상기 열곡대는 지형적으로 능선(Ridge)에 잘 발달되고 있는데 이곳에 대부분의 기생화산이 밀집되어 있는 현상을 보인다.

이들 기생화산들은 대부분 Cinder에 의하여 원추형의 구릉상을 나타내나 때로는 라바가 유출된 흔적들이 발견된다. 원종관은 제주도 전역에 걸친 150여 개 공에 달하는 시추자료와 야외에서의 관찰에 의하여 화산활동의 분출유희를 다음과 같이 제5기로 구분하고 있다.^{3,4,5)}

(1) 제 1 분출기

제 1 화산분출은 지표에 노출되어 있지 않은 기저현무암과 그위를 덮고 있는 서귀포 층을 포함하며, 이것이 제주도의 기반을 이루고 있으리라 추정된다. 이 기간에는 하와이(Hawaii)상의 광역분출이었고 서귀포 층이 화산암편을 함유하고 있는 것으로 보아 용암분출이 일단 종료된 후에도 화산쇄설물이 분출된 것으로 믿어진다.

(2) 제 2 분출기

제 2 분출기에는 표선리 현무암의 분출로부터 시작하여 서귀포 및 중문조면암, 성산층 및 화순층과 신양리층의 퇴적기까지 포함된다. 표선리 현무암은 서귀포 부근을 제외하고는 제주도 전역에 걸쳐 분포하며 지표에 노출된 화산암중 최 하부에 속한다. 표선리 현무암 중에는 여러 층의 화산쇄설층을 협재하고 있으므로 이것은 이 분출기 동안 용암분출이 여러 번 있었음을 뜻한다. 신양리층은 성산면 신양리에서 성산리에 이르는 해변에 국부적으로 분포하며 화성쇄설물과 패사 등으로 구성되어 있다.

(3) 제 3 분출기

제 3 분출기는 제주현무암의 분출로부터 하효리 현무암과 법정리 조면암의 분출까지 포함된다. 제 2 분출기까지 대체로 하와이상의 광역분출을 하였던 화산활동은 제 3 기에 들어와서 백록담을 화도로 하는 하위의 분화구에서 유출한 중심분출이 시작되었다. 한라산을 중심으로 한 쉴드 화산체(Shield Volcano)의 대체적인 모양은 이때부터 형성되기 시작하였다. 그러나 제주도의 동·서부에 분포하는 제주현무암은 거문 오름, 붉은 오름 등의 분화구에서 분출하여 국부적인 광역분출로 이루어진 것이다. 이들 분화구에서의 용암유출은 북쪽에서 시작하여 남쪽으로 이동하였고 본 기 최후의 용암류인 법정리 조면암은 남사면에만 유출하였다. 시추결과로부터 각 화산암류 사이의 화성쇄설물의 잔재가 확인되었으며 따라서 이 기간동안에 용암유출은 21회 이상으로 추정된다. 각 암류 사이의 화산쇄설층의 두께는 보통 3m 내외이고 10m에 달하는 곳도 있다고 한다.

(4) 제 4 분출기

본 기의 화산작용의 분출기에는 시흥리 현무암의 분출로부터 시작하여 성판악 현무암, 한라산 현무암 및 한라산 조면암질 안산암의 분출까지 포함된다. 초기에는 시흥리 현무암의 용암이 본 도의 동서해안 저지대까지 넓게 유출하였으나 점차로 그 규모가 작아져서 후기에는 백록담을 중심으로 한 산악지대 및 고산지대에 국한되었다. 한라산 화산체의 모양은 분 기말에 거의 현재의 형태를 갖추게 되었다.

시흥리 현무암은 비현정질이고 다공질이며 기공이 막대기처럼 길쭉하며 용암류의 방향을 잘 암시해 준다. 성판악 현무암은 동남부의 고산지대에서 동서사면 저지대까지 분포한다. 이것은 다른 현무암에 비하여 치밀 견고하고 사장석과 휘석의 광정을 함께 함유하는 것이 특징이다. 한라산 현무암은 백록담 화구를 중심으로 산악 및 고산지대에서 동심원상의 분포를 이룬다. 본 암은 10%내외의 세공을 가진 다공질이고 현저한 면상구조를 갖고 있으며 다른 현무암류에 비하여 선명한 흑색을 띠는 것이 특징이다.

본 기 최후의 한라산 조면암질 안산암은 어승생악을 가운데 두고 양측에 개석된 구구곡과 어승생 계곡을 유로로 하여 유출되었다. 이 암은 다른 안산암 또는 조면암에 비해 뚜렷한 광상구조를 나타내며 그들의 광정은 사장석과 휘석이다.

(5) 제 5 분출기

제 5 기 분출은 제주지역 화산활동의 최후 분출기로서 백록담을 형성하는 폭발을 수반하고 있어 백록담 현무암과 주변에 화산각력이 퇴적되었다. 백록담 현무암은 동쪽에 소규모 분포하며, 회색 내

지 회갈색의 다공질로 사장석의 반정을 갖는다. 이 시기에 형성된
오름은 대부분 현무암질과 분석구로서 성산층·화순층 등 10개의
화산구는 응회암을 제외하면 최후기에 형성된 것이다. 이들 오름은
붉은 색의 스킨리아나 혹은 암갈색의 현무암·화산재 등 화산쇄설
물로 구성되어 있다.

2.3 제주도의 지질

2.3.1 제주도의 형성과 지질

제주도는 현무암질 용암류의 반복 분출에 의해 형성된 순상의으로 100여m 수심을 갖는 대륙붕 위에 놓여있다.

용암류는 초기의 대지형 용암류(plateau-stage lava)와 후기의 순상 화산체 용암류(shield-stage lava)로 구분된다. 현무암류(관입암도 포함됨)에 대한 암석대 연령 측정값은 1.20Ma에서 2만 5천년 범위로 밝혀졌으며, 플라이토세 동안에 화산활동이 활발했던 것으로 보고되고 있다.

현재까지 연구된 바로는 110회 이상의 화산활동이 있었으며 용암 알칼리 성분이 많고 MgO 및 CaO 가 부족한 마그마로부터 기원된 것으로 추정된다.

한편 제주도는 중생대 화강암들이 그 기반을 이루며 그 상부를 제 3기 해성퇴적물과 화산분출물이 약 200m 정도 피복 분포하는 것으로 알려진다.

화산암은 최후기 생성물로서 이들은 해수면 하부로 약 100m 정도 까지 분포하는 것으로 추정된다. 동해를 중심으로 알칼리 암의 분포가 Arc형을 형성하면서 분포되는데 제주도는 이들 알칼리 암의 일부에 속한다.

중생대의 Sub-alkaline 내지는 알칼리 계열암이 중국 대륙의 동부, 한국 및 일본열도의 서부에 넓게 분포되는데 개개의 분포면적은 극히 소규모로 나타나고 있다. 이들 각 화산암의 중심부는 상호 분리되어 있으며 깊게 발달된 대륙단층을 따라 생성된 것들로 대륙지반을 뚫고 분출하였다.^{4,5)}

제주도의 지질은 신생대 제3기 말 플라이오세(世)의 서귀포층과 제4계 홍적세에 속하는 성산층(城山層)·화순리층(和順里層)·신양리층(新陽里層) 등의 퇴적암층과 현무암·조면암질안산암(粗面岩質安山岩)·조면암 등의 화산암류 및 기생화산에서 분출된 화산쇄설물(碎屑物) 등으로 구성되어 있다. 일부 지방의 점사질 토양을 제외하면 대부분이 흑갈색 화산회토로 덮여 있다.

현무암류는 침상장석, 감람석 현무암, 반상장석 현무암, 비현정질 현무암, 장석현무암등으로 나타나며 이들은 제주도 전체면적의 90% 이상을 점유하고 있다. 침상장석, 감람석 현무암과 비현정질 현무암은 동서부 거의 전 지역에 분포하며, 반상회석 현무암과 반상장석 현무암은 남동지역 일대와 성판악 북동지역에, 장석현무암은 고산지역 전역과 서귀포일원에 분포한다. 조면암 및 조면암질 안산암류는 중문동을 비롯한 남부지역과 산방산, 한라산 정상부에 분포하고 있다.²⁶⁾

기생화산은 약 360여 개가 제주도 전역에 분포하나 장축방향의 배열이 우세하고 고산리에서 사계리를 거쳐 서귀포에 이르는 해안을 따라서는 불연속적으로 분포하는데 이들 대부분은 화산력(Lapilli), 분석(Cinder), 또는 화산회(Volcanic ash)로서 준고결 내지 미고결 상태이다. 동북 해안선과 협재리, 사계리 및 표선리 해안일대에는 사사구(Sand dune)가 발달되어 있다.^{1,2)} 표 2 - 1 은 제주도 화산분출순서와 지질계통을 비교한 것이다.

<표 2 - 1> 화산암류의 분출순서 및 지질계통 대비

	원 종 관 (1975)	이 문 원 (1982)
제1분출기	서귀포층 기저현무암	서귀포층 기저현무암
제2분출기	신양리층 중문조면암 서귀포 조면암 성산층 및 화순층 표선리현무암	신양리층 산방산조면암 화순-성산층 중문Hawaiiite 서귀포Hawaiiite 표선리현무암
제3분출기	법정리조면암 하효리현무암 법정리조면암	한라산조면암 한라산현무암 성판악현무암 시흥리현무암 하효리현무암 수망리현무암 제주현무암
제4분출기	한라산조면암 안산암 한라산현무암 성판악현무암 시흥리현무암	분석구퇴적물
제5분출기	분석구퇴적물 백록담현무암	

2.3.2 화산지형의 특성

(1) 스킨리아구 (Scoria cone, Cinder cone)

스킨리아구는 고철질(苦鐵質) 마그마가 수백 미터 상공에 뿜어 올려지는 스트롬볼리식 분화에 의해 형성된 것으로서 지금까지는 흔히 분석구(cinder cone)라고 불려져 왔다. 분석구 화구로부터 멀어질수록 입자의 크기가 감소하는 경향이 있다. 또한 용암류사이에 불규칙한 두께로 협재되어 있는 경우도 많다.

본 층은 대체로 다공질이며, 입자의 결합도 느슨한 상태이기 때문에 투수성이 양호하고 공극율이 매우 크다. 공극율은 50~70% 정도로서 외력에 의한 탄성침하가 가능한 지층이다. 주로 담황색 내지 갈색 암회색 내지 흑색으로 나타난다.²⁾

(2) 용암원정구(Lava dome)

조면암질 용암은 점성이 커서 분출 시 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.²⁾

(3) 용암류

용암류는 점성, 분출속도, 유동속도, 온도, 휘발성분의 함량 및 결정화 정도에 따라 산출 양상을 달리하며, 이러한 물성에 따라 두껍고 거친 표면을 형성하는 AA용암(Aa lava)과 표면이 비교적 매끄러운 파호이호이 용암(Pahoehoe lava)으로 구분된다.

AA 용암류는 큰 기공을 형성하고, 유리질이 적으며, FeO의 함량

이 적은 특징이 있으며, 파호이호이 용암류는 기공의 크기가 작고 유리질이 많으며, FeO 성분이 높은 특징이 있다고 한다. AA 용암은 빠른 속도로, 파호이호이 용암은 느린 속도로 분출한다. 파호이호이 용암은 낮은 점성과 빠른 유동을 보이고 기공함량이 20~50%에 이르며 시간이 지남에 따라 AA용암류로 변하는 것으로 알려져 있으며 점성의 변화에 의한다고 한다.²⁾

(4) 주상절리(Column joint)

뜨거운 용암류가 식으면서 부피축소 현상이 일어난다. 이때 지표면과 수직방향으로 틈이 벌어지면서 용암류 상부에는 주상절리나 불규칙 절리가 발달하기 쉽다.

용암류의 하부로 갈수록 절리가 발달은 감소하는 경향이 있으며 절리의 연속성이 없기 때문에 지반의 안정성에는 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.²⁾

(5) 용암Tunnel(용암동굴)

용암류가 유동하면서 용암류 표면과 하부의 지표면과 접촉된 부분이 가장 먼저 응고하기 시작하는데 상류로부터 다량의 용암류가 공급되면 그 압력으로 중간부위의 응고되지 않는 뜨거운 용암류가 하류 쪽으로 빠져나가면서 빈 공간이 생김으로서 용암터널을 형성하게 된다. 이와 같은 용암동굴은 일반적으로 파호이호이 용암에 흔히 형성되며, AA용암에서는 높은 점성에 의해 규모가 작거나 생기지 않는다.²⁾

(6) Clinker층과 꽃자왈

크링커(Clinker)는 스킨리아(Scoria)에 비하여 기공의 함량이 적은 것이 일반적이지만 용암류에 비하여 기공이 많다. 따라서 크링커 층이 넓고 두껍게 발달한 지역에서는 크링커의 물성을 고려하여야 할 것으로 보인다. 두꺼운 크링커 층이 발달한 지역에는 강수가 쉽게 빠져나가는 꽃자왈이 형성되어 있을 것으로 해석된다. 저지대에 형성되어 있는 크링커 층은 비교적 작은 크기의 크링커로 구성되어 있으며, 풍화가 진행되어 두꺼운 토사 층을 형성하고 있다.

AA용암류(aa lava)에서 파생된 두꺼운 크링커 층이나 분석구에서 유래된 암설사태 층이 지표면 가까이 형성될 경우 이러한 지역을 꽃자왈이라고 한다.

꽃자왈은 상당한 강수에도 물 빠짐이 좋은 지역을 지칭하는 제주도에서만 사용하는 특수 용어이다. 이러한 지역은 함수 능력이 적기 때문에 농경지로 활용 할 수 없으며, 대부분이 거친 잡목으로 덮혀 있고, 지형적으로 주변에 비해 다소 높은 지형을 이루고 있는 것이 특징이다. 이러한 꽃자왈 지역은 중산간 지역에 대부분이 분포하고 있다. ²⁾ 대표적인 제주도의 화산지형은 표 2 - 2와 같다.

<표 2 - 2> 제주도의 화산지형

화산지형	지 역
용암대지	고산평야, 해안일대
순상화산	한라산, 모슬포
응회구	일출봉, 당산봉, 입산봉
응회환	수월봉, 산굼부리, 두산봉, 아부오름, 소머리오름
화구호	백록담, 물장오리, 검은오리, 사라오름
분석구	체오름, 지미봉, 다랑쉬 등
화산동굴	만장굴, 협재굴, 쌍용굴, 김녕사굴
주상절리	대포동 지삿개, 예래동해안
용암원정구	산방산, 범섬

2.3.3 송이의 생성 및 특성

(1) 송이(Scoria)의 생성

한라산 화산체의 국부적인 지형의 특징은 휴화산 활동의 산물로 생성된 360여 개의 기생화산과 깊은 관련이 있다. 기생화산은 화산 추의 일개 분화구에서 형성된 화산이 아니고 중심화산의 활동이 정지된 후 그 중심 주변 산맥의 틈을 따라 분출된 소 화산이다.

기생화산은 본 도 전역에 보편적으로 분포되고 있으나 특히 장축 방향에 집중적으로 배열되어 있으며 제주도에서는 이것을 “오름” 이라고 부른다.

이들 휴화산 활동은 역사시대까지 계속되었음이 문헌에 보고되고 있고, 「신증 동국여지승람」에는 비양도가 1002년, 안덕면 군산이 1007년에 분출한 것으로 기록되어 있다.

기생화산은 현무암추(Basalt Cone) 와 분석구(Cinder Cone)로 구별 된다. 전자는 복합화산과 제 2 분출기인 성산층 및 화순층 퇴적기에 형성된 화산구(Volcanic Cone)이고 10여 개에 불과하나, 후자는 제 5 분출기 이후에 형성된 분석구이며 기생화산의 대부분을 차지한다. 분석구는 주로 담황색 내지 갈색과 암회색 내지 흑색의 분석적으로 구성되어 있으며 화산탄, 화산사, 화산회 등을 포함한다. 분석구를 형성하고 있는 화산쇄설물을 제주도 방언으로 “송이” 라고 한다.

(2)송이(Scoria)의 특성

송이는 용암의 폭발 분출시 압력의 급격한 감소로 인하여 부피가 갑자기 늘어나면서 Gas가 일출 하여 생성된 다공질 화산쇄설물로서 화구를 중심으로 퇴적되며 조립 내지 세립질에 모가난 입형이고 관상기공이 불규칙하게 발달한다. 층리의 발달이 빈약하고 투수성이 매우 크며 고화도가 매우 낮다.

산화작용에 의해 갈색 또는 흑색을 띠며 겉보기 비중은 1.0~1.8에 이른다. 송이의 주성분은 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함량이 80%에 달해 천연골재로서 안정된 화학조적을 가지며, 투수성이 높아서 원형의 보존이 양호하고 옹벽의 뒷채움 재료로서 훌륭한 특성을 가

진다. 또한 쇄설물의 안식각이 크기 때문에 30 °~ 40 °의 급사면지형을 이루는 것이 특색이다. 송이의 화학적 성분은 표 2 - 3과 같다.^{1,2,4,5)}

<표 2 - 3> 송이의 화학적 성분

성 분	함 유 율(%)
SiO ₂	50.48
Al ₂ O ₂	15.97
Fe ₂ O ₃	11.79
MgO	6.56
CaO	4.54
Na ₂ O	3.20
K ₂ O	1.23
MnO	0.19

3. 송이의 물리 및 역학적 특성 시험

3.1 시료

송이의 공학적 성질을 규명하기 위해 갈색과 흑색 두 가지 송이 중 갈색 송이만을 채취하였으며 시료는 제주도의 다섯 곳을 설정하였으며 그 분포를 살펴보면 제주시 1개소, 북제주군 3개소, 남제주군 1개소를 선정하여 채취하였다.

<시료 A> : 북제주군 한경면 문수리 일대

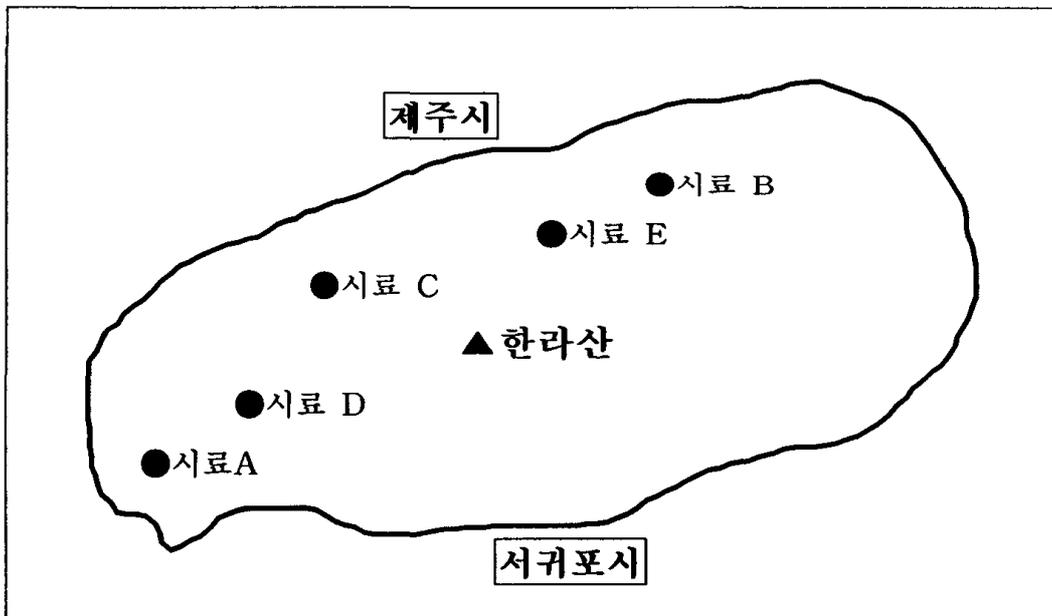
<시료 B> : 북제주군 조천읍 선흘리 일대

<시료 C> : 북제주군 애월읍 어음리 일대

<시료 D> : 남제주군 안덕면 동광리 일대

<시료 E> : 제주시 회천동 일대

서부산업도로 현장
실험 자료



<그림 3 - 1> 시료채취 위치도

3.2 물리적 특성

3.2.1 입도 분석

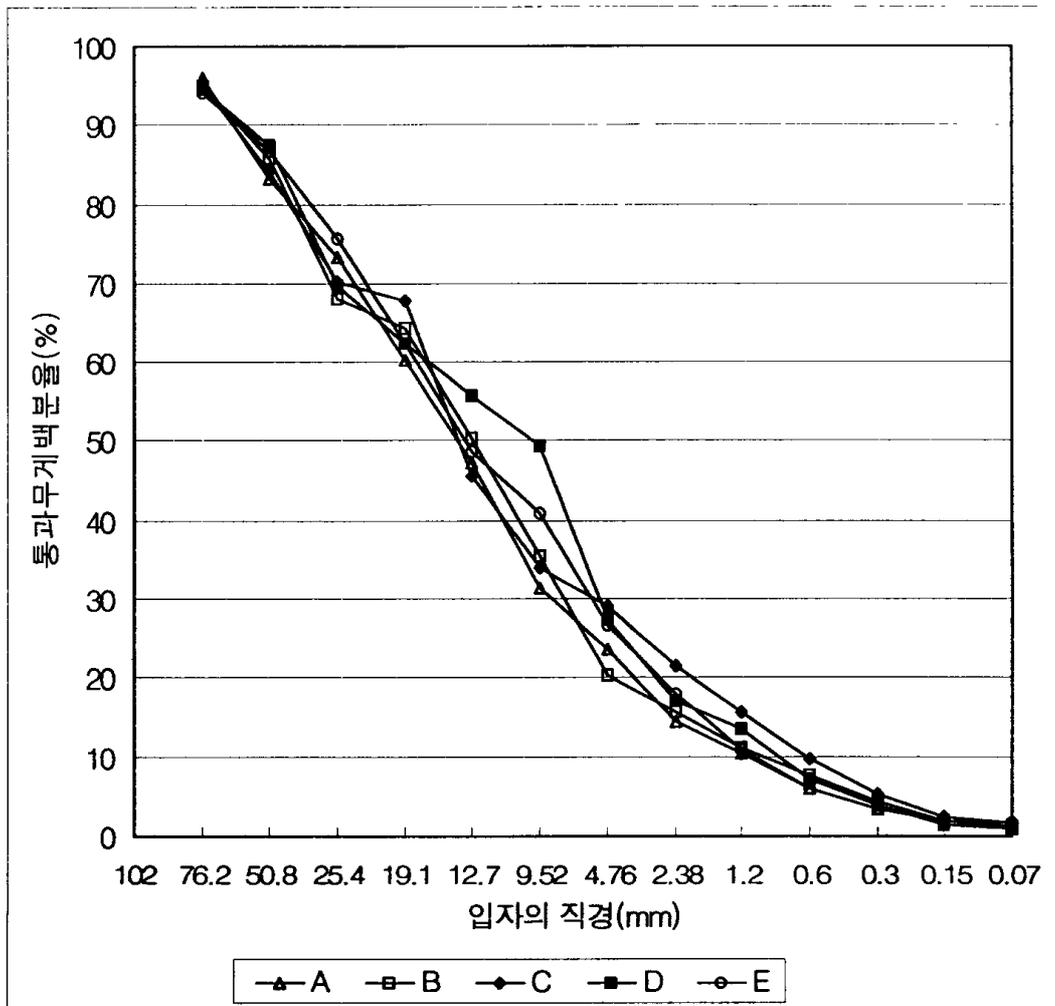
자연상태의 송이는 직경이 50mm나 되는 입자가 존재하며 0.074mm (No. 200체)이하 되는 작은 입자도 포함되어 있다. KS F 2302 규정에 의하여 체 분석방법으로 입도 분석하여 얻은 결과는 그림 3 - 2와 같다. 입도 분포 곡선들은 여러 흙들을 비교하는데 사용될 수 있다. 또한 이런 곡선으로부터 결정되는 세 가지 기본적인 흙의 특성들이 있으며, 이것은 조립토를 분류하는데 사용한다.

송이의 입도 분석 시험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 첫째, 통과백분율 10%에 해당하는 직경을 유효입경(D_{10})으로 정의하는데 송이의 유효입경은 1.2mm~2.38mm이다. 둘째, 송이의 균등계수(C_u)는 8.04~15.9이다. 셋째, 송이의 곡률계수(C_g)는 0.99~3.95이며, 입경은 25.4mm~4.76mm에 편중되어 있는 빈 입도 상태를 나타내고 있다.

균등계수는 조립토의 입도 분포가 좋고 나쁜 정도를 나타내는 계수로서, 그 값이 크면 흙의 입도 분포가 넓은 범위의 입경으로 구성되어 있음을 뜻하며, 일반적으로 균등계수가 10 이상인 흙은 입도 분포가 좋고, 균등계수가 4이하인 흙은 입도가 나쁘며, 균등계수가 1에 가까우면 균등 입도이다. 따라서 균등계수가 크면 치밀하여 불투수성이고 그 값이 작으면 공극이 많아 투수성이 좋은 것으로 볼 수 있다.

한편 곡률계수는 균등계수와 함께 입경가적곡선의 형상을 나타내며, 입도 분포가 계단상인 경우에 이를 수량적으로 정의할 수 있는 계수로서 그 값이 1~3은 입도 분포가 양호한 것으로 분류할 수 있다.

따라서 본 시료를 건설재료로 사용할 때 입도 분포는 균등하지만 절취, 운반, 다짐 시 파쇄 마모로 인해 입도 조정이 이루어지므로 건설재료로 적당할 것으로 보여진다.



<그림 3 -2> 입도 분포 곡선

3.2.2 통일분류법에 의한 송이의 분류

통일분류법은 2차 대전 중 군비행장을 빨리 설계하고 건설할 목적으로 Casagrande가 미국 공병단을 위하여 1942년에 개발한 것이다. 이 방법은 흙을 크게 두 가지로 분류하고 있다.

(1) No. 200체 통과율이 50% 이하이면 자갈 질과 모래 질 조립토이다. 여기에 속하는 흙의 기호는 G나 S로 시작된다. G는 자갈 또는 자갈질 흙을 나타내고, S는 모래 또는 모래질 흙을 나타낸다.

(2) No. 200체 통과율이 50% 이상이면 세립토이다. 여기에 속하는 흙의 기호는 무기질 실트에 대해서는 M, 무기질 점토에 대해서는 C, 그리고 유기질 실트와 점토에 대해서는 O로 나타낸다.

분류에 사용되는 다른 기호들은 다음과 같다.

W - 입도 분포가 좋은 흙, P - 입도 분포가 불량한 흙, L - 액성한계가 50% 이하인 소성이 적은 흙, H - 액성한계가 50% 이상인 소성이 큰 흙으로 분류할 수 있다.

송이의 입도 분석 시험결과 No. 200체 통과율이 0.9~1.6%이므로 조립토에 속하며 송이의 균등계수(Cu)가 8.04~15.9이므로 입도 분포가 좋은 흙이다. 따라서 통일분류법에 의한 송이의 분류는 GW로 분류할 수 있다.

3.2.3 함수비

일반적으로 자연상태의 함수비는 흙의 종류에 따라 다르나 보통 사질토는 20%이상이며, 점토는 40%이상, 유기질 토는 200%이상이며, 지표면에 가까운 포화된 실트의 경우에는 200~300%에 달하며, 건조된 황토질 흙은 3~7%정도의 값을 갖는 것도 있다.

현장에서 채취한 자연상태의 시료에 대하여 KS F 2306 규정에 의하여 함수량 시험을 시행하여 얻은 결과는 표 3 - 1과 같다. 실험 결과에서 나타난 것과 같이 송이는 일반적으로 사질토의 자연함수비 20%이상과 거의 비슷한 상태를 나타내는 것으로 보아 사질토로 분류할 수 있다.

<표 3 - 1> 함수비 시험 결과

시 료	A	B	C	D	E
함수비(%)	23.28	20.18	27.05	25.55	24.2
평균함수비(%)	24.05				

3.2.4 비중

골재의 비중은 모암의 종류에 따라 크게 다르나 일반적으로 대다수의 광물의 비중은 2.50~2.90 이다. 주로 석영으로 구성되어 있는 밝은 색깔의 모래의 비중은 대략 2.65 정도이고, 점토질 흙의 비중은 일반적으로 2.65~2.75 정도이며 사질토의 비중 2.55~2.65 정도 실트질 흙은 대략 2.40~2.60 정도이다. 한편 비중이 클수록 흡수율이 적고 내구성은 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

송이의 비중을 측정하기 위하여 KS F 2503 규정에 의하여 실험을 하였다. 송이는 미세한 기공이 많으므로 기공 내에 있는 기포를 제거하기 위하여 약 10시간 이상을 끓여서 측정하였으며 비중시험 결과는 표 3 - 2 와 같다. 시험결과 송이의 비중은 2.39~2.67 이며 평균비중은 2.54 이다. 이것은 보통 흙의 비중보다 낮은 값이다.

<표 3 - 2 송이의 비중>

시 료	A	B	C	D	E
비 중	2.58	2.67	2.39	2.55	2.49
평균비중	2.54				

3.2.5 소성지수

KS F 2303, 2304 규정에 의해 액성한계 및 소성한계를 실험한 결과에 의하면 본 시료가 조립토로서 Atterberg's Limits 시험이 불가능하므로 비소성(Non-plastic)으로 판단된다.

3.2.6 흡수율

일반적으로 보통 모래인 경우에 흡수율이 0~2%, 보통자갈, 석회석, 쇄석이 0.5~1%, 맥암 및 화강암이 0~0.5%, 사암이 2~7%인 것으로 알려져 있다. 또한 가벼운 골재에서는 25%이상에 달하는 경우도 있다.

KS F 2503 규정에 의하여 흡수율시험을 시행 한 결과는 표 3 - 3 과 같다. 이 시험 결과 송이의 흡수율은 5.5~6.8% 범위로 나타나고 있으며 평균 흡수율은 6.28%이다. 이는 사암에 해당하는 것으로 분류할 수 있다.

<표 3 - 3> 흡수율 시험

시 료	A	B	C	D	E
흡수율(%)	6.2	5.5	6.8	6.4	6.5
평균흡수율(%)	6.28				

3.2.7 마모율

송이의 마모율 시험을 하기 위해 입도 곡선 상의 25~40mm 시료를 가지고 KS F 2508 규정에 의해 마모율 시험을 하였으며 결과는 표 3 - 4와 같다. 시험 결과에서 나타난 것과 같이 마모율은 39.2~59.7%로 비교적 큰 값이며 평균 마모율은 50.52% 이다.

시방서 기준에 의하면 아스팔트 포장에서의 보조기층 재료의 경우에 마모감량을 50%이하로 규정하고 있으며, 또한 기층재료인 경우에 마모감량은 40%이하로 규정하고 있으며 표층재료인 경우에는 마모감량이 35%이하로 되어 있다. 따라서 적설지역이나 노면의 동결이 우려되는 중산간 이상의 지역에서는 자동차 타이어 체인으로 인한 아스콘 표층의 내마모성이 중요하다.

시험 결과 송이는 내마모성이 극히 불량하고 동 하중을 받을 경우 심한 마모로 인하여 포장골재로는 부적당한 것으로 판단된다.

<표 3 - 4> 마모율 시험

시 료	A	B	C	D	E
마모율(%)	59.7	51.6	55.3	39.2	46.8
평균마모율(%)	50.52				

3.2.8 안정성

구조물에 사용하는 골재는 내구성이 있어야 하며 온도, 습도의 변화에 안정함과 동시에 동결, 융해작용에 대해서도 내구적이어야 한다. 불안정하고 내구적이 아닌 골재는 일반적으로 연질이고 흡수율이 크며 동결, 융해작용을 받을 때 파쇄가 쉽다.

송이의 안정성을 알아보기 위해 황산나트륨 포화용액을 사용하여 KS F 2507 규정에 의하여 안정성 시험을 하여 얻은 결과는 표 3 - 5 와 같다. 시험 결과 안정성은 13.3~19.9%이며 평균값은 16.96%이다.

시방서 규정에 의하면 표층재료인 경우 안정성을 12%이하로 규정하는데 비해 송이인 경우에는 안정성이 비교적 크게 나타나므로 인해 일반 건설재료로의 사용은 적합하나 도로공사 중 표층재료로는 사용시 주의가 필요할 것 같다.

<표 3 - 5> 안정성 시험

시 료	A	B	C	D	E
안정성(%)	15.4	16.7	19.5	19.9	13.3
평균안정성(%)	16.96				

3.3 지지력 특성 시험

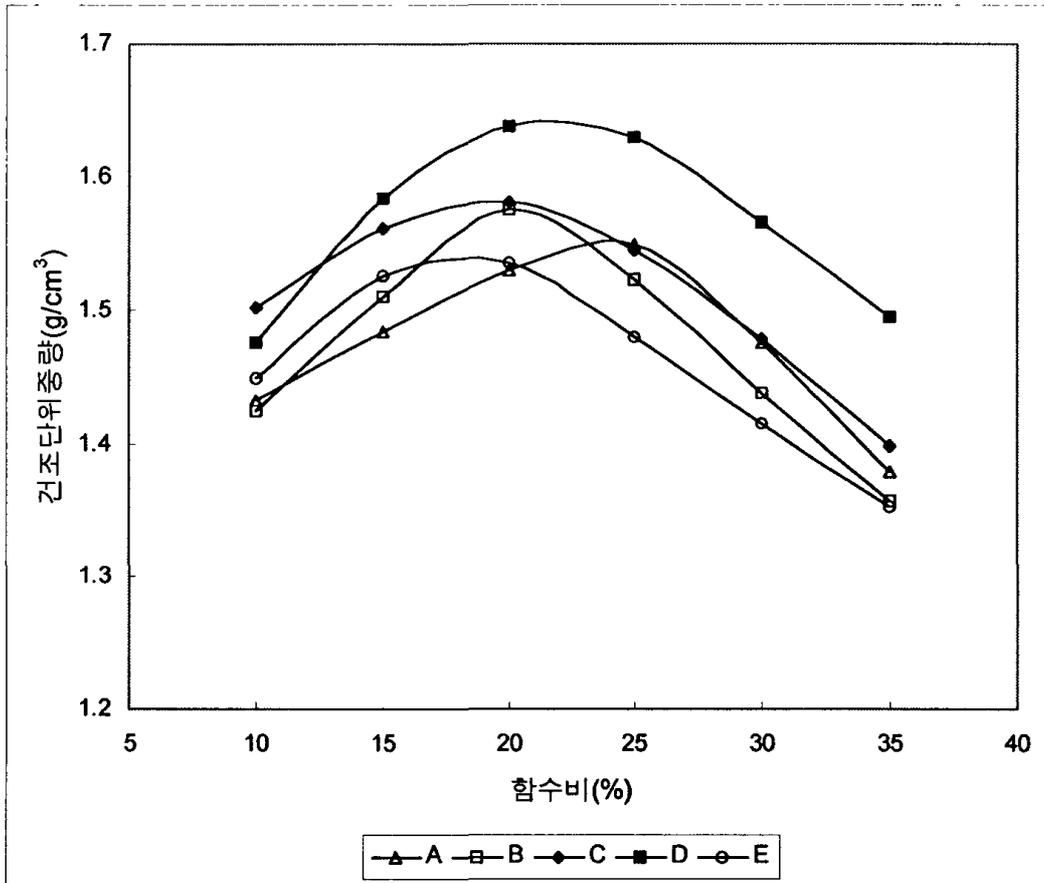
3.3.1 다짐

송이는 도로의 보조기층, 기층재료로 개발 할 여지가 크기 때문에 다짐시험은 대단히 중요하다. 일반적으로 최대 건조밀도가 높은 흙일수록 최적함수비가 낮고 반면에 최대 건조밀도가 낮은 흙은 최적함수비가 높은 것으로 되어 있다.

송이의 다짐특성을 알아보기 위해 KS F 2312 규정에 의하여 다짐시험을 한 결과 표 3 - 6과 같다. 시험결과 최대 건조밀도는 1.54~1.585g/cm³이며 최적함수비는 17.5~24.3%로 나타나고 있다. 일반적으로 통일분류법에 의하면 GW에 대한 건조밀도 2.00~2.16g/cm³, GP에 대한 건조밀도 1.84~2.00g/cm³이다. 그러나 송이는 일반적인 토사인 흙이나 점토질 흙에서 나타나는 최대 건조밀도나 최적함수비가 적게 나타나고 있다. 송이의 최대 건조밀도가 다른 흙에 비해 낮은 이유는 비중이 낮고 기공이 많기 때문인 것 같다. 그림 3 - 3은 다짐시험 결과 곡선을 나타낸 것이다.

<표 3 - 6> 다짐시험

시 료	A	B	C	D	E
최대건조밀도(g/cm ³)	1.56	1.58	1.585	1.64	1.54
최적함수비(%)	24.3	20.5	19.4	22.3	17.5



<그림 3 - 3> 다짐시험 결과

3.3.2 실내 CBR

CBR의 값은 재료를 도로의 기층 또는 보조기층으로 이용코자 할 때 가요성 포장 설계 시 포장의 두께를 결정하는 가장 중요한 인자 중의 하나이다.

보조기층 및 기층재료의 실내 CBR값은 쇄석인 경우에 70%이상 이며 슬래그는 30~100%, 모래 질 자갈은 20~60%, 모래는 8~40%의 값을 요구하고 있다.

KS F 2320 규정에 의해 송이의 실내 CBR시험 결과는 표 3 - 7과 같다. 시험 결과에서 얻어진 실내 CBR값은 33.1~38.4%이며 평균 CBR값은 36%이다. 이는 모래 질 자갈이나 모래에 해당하는 것으로 분류할 수 있다.

가요성 포장 설계 시에 포장두께를 산정 하는데 중요한 요소로서 실내 CBR값으로 30%이상을 요구하고 있으므로 건설재료로 사용하는 데는 충분하지만 송이의 특성이 동 하중에 민감하므로 사용 시에 특별한 주의를 요한다.

<표 3 - 7> 실내 CBR 시험

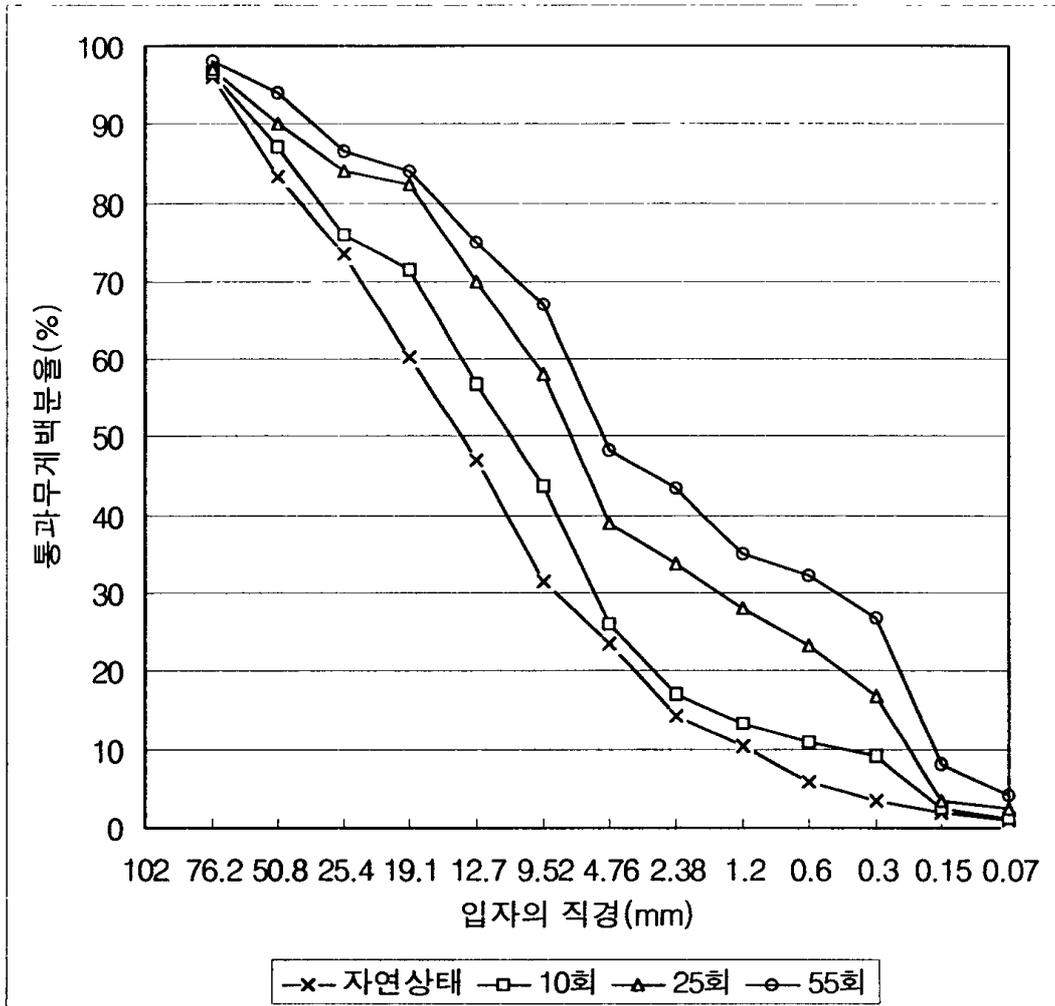
시 료	A	B	C	D	E
실내 CBR(%)	38.4	36.5	37.8	33.1	34.3
평균 CBR(%)	36				

3.3.3 파쇄성

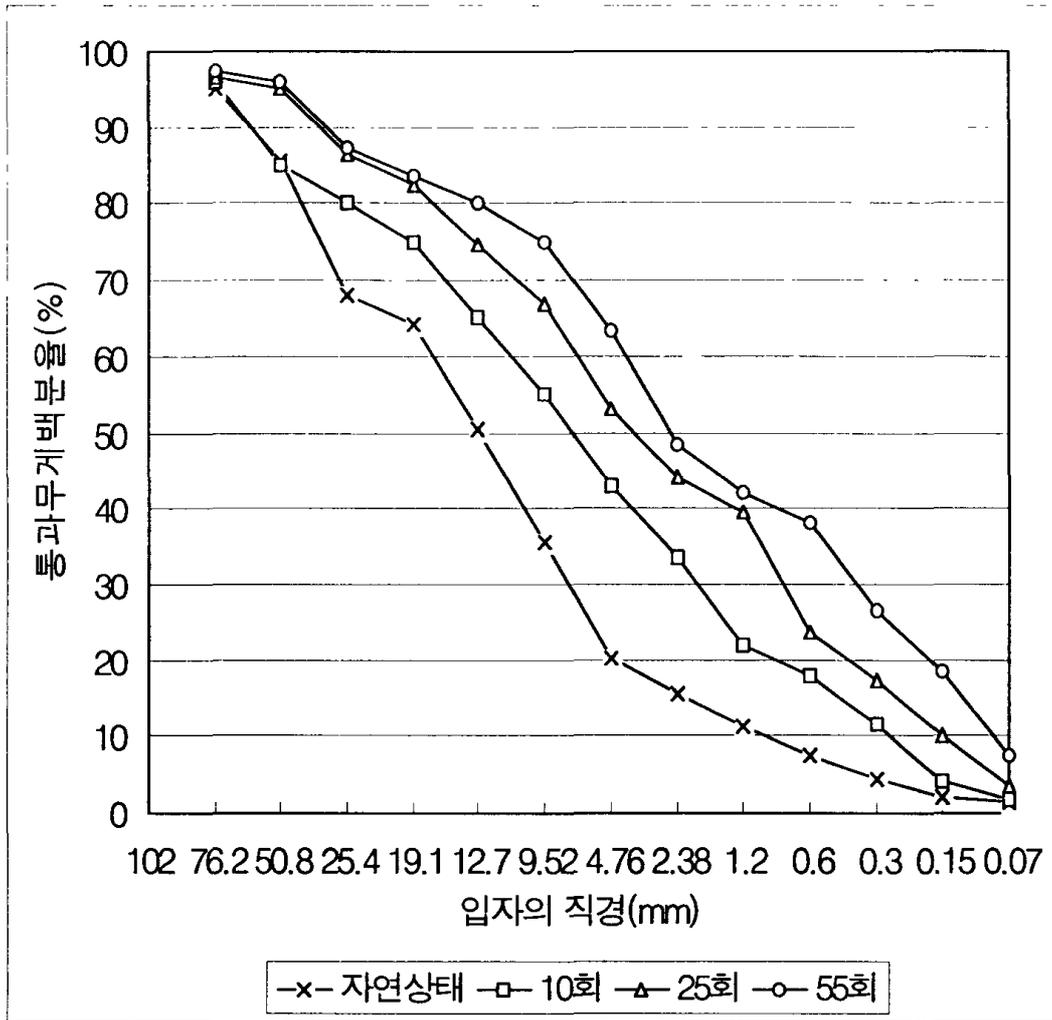
19mm체를 통과한 시료를 몰드에 5층으로 넣어 각 층마다 각각 10회, 25회, 55회로 다진 후에 시료를 꺼내 체 분석한 입도 분포 곡선은 그림 3 - 4와 같다. 모든 시료가 다짐에너지의 증가에 따라 더 많이 파쇄가 되므로 입도 분포 곡선이 위로 그려진다.

일반적인 토사인 경우에는 입자간의 간극이 줄어들어 다짐이 되는 반면 송이는 입자가 파쇄되면서 다짐이 이루어진다. 파쇄율이 크게 일어나는 것은 다짐 시 입자간의 결합력이 증대되어 조밀한 상

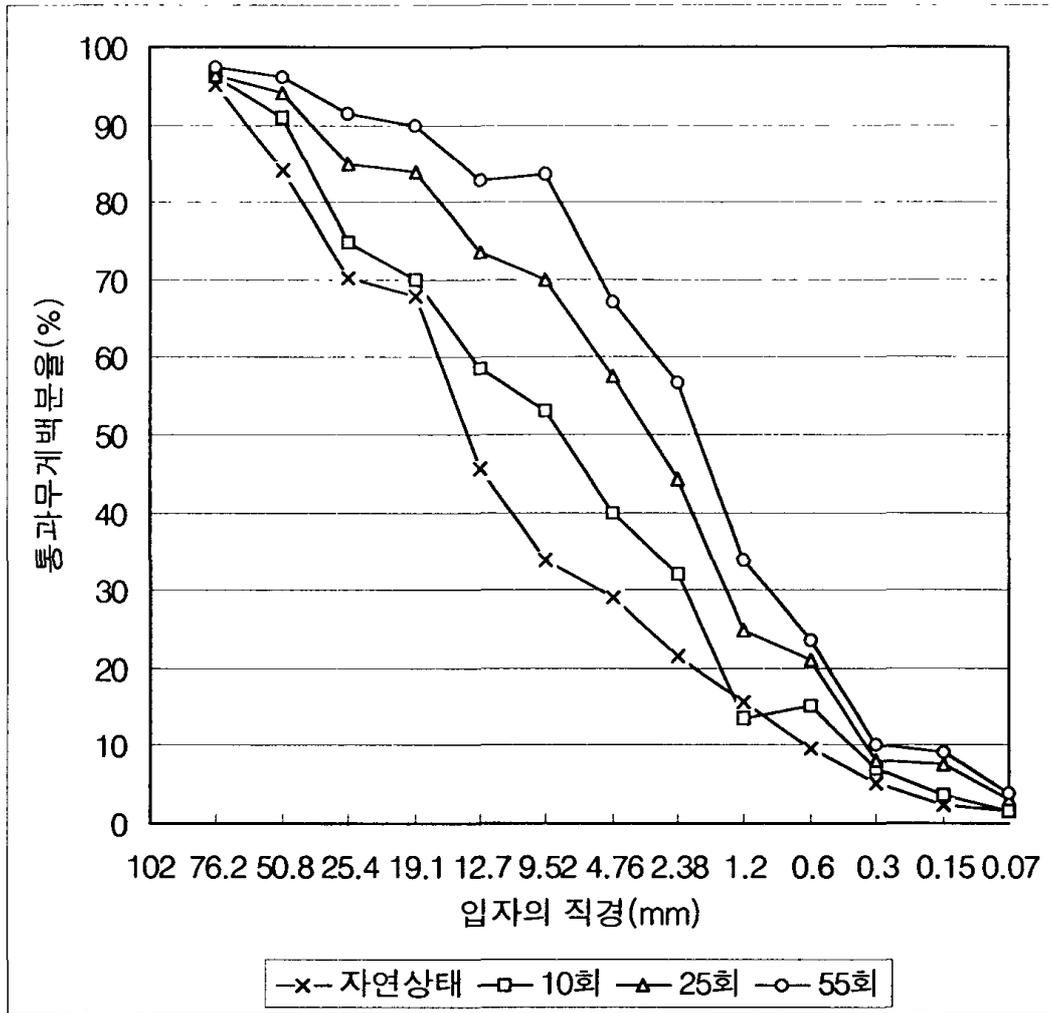
태가 될 수 있으므로 건설재료로서는 좋게 평가 할 수 있다.



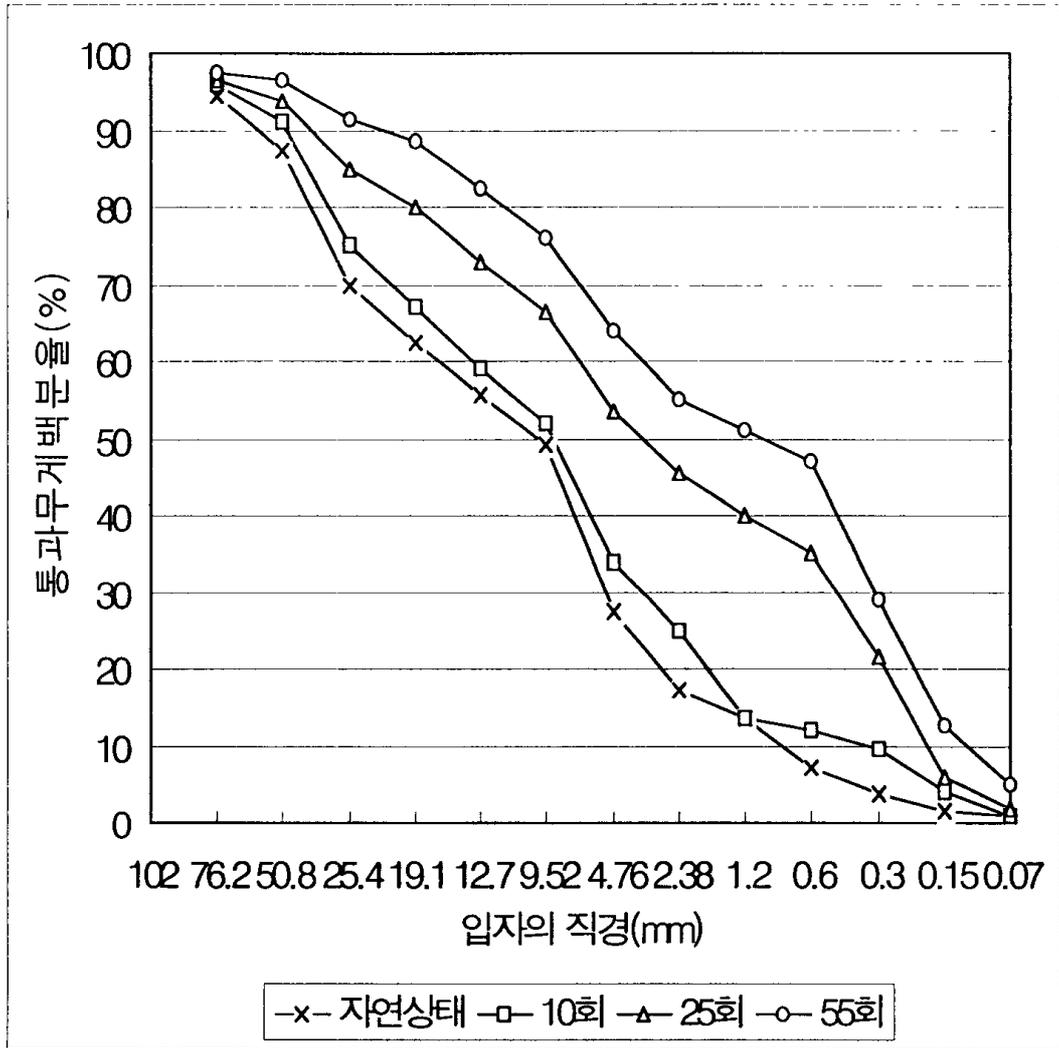
<그림 3 - 4(1)> 파쇄시험 결과(시료 A)



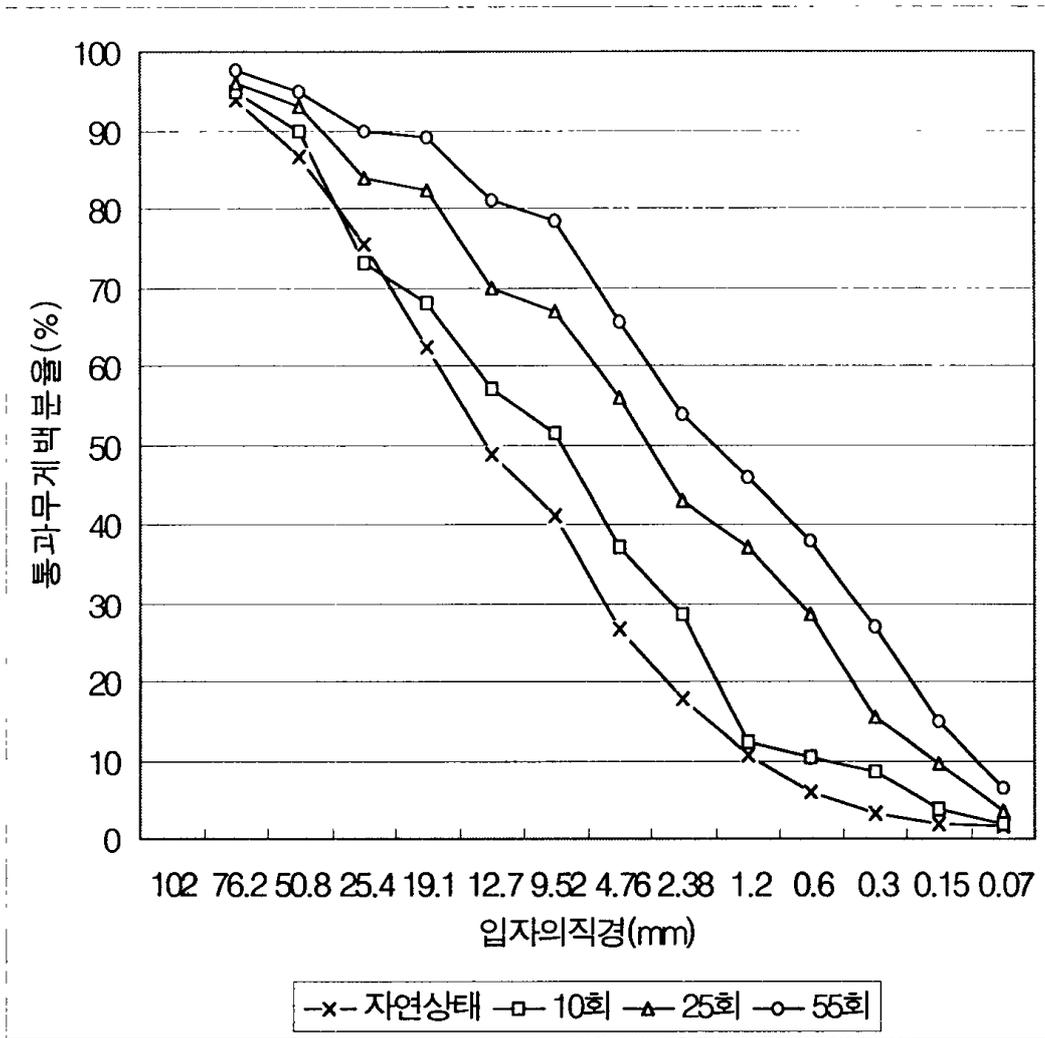
<그림 3 - 4(2)> 파쇄시험 결과(시료 B)



<그림 3 - 4(3)> 파쇄시험 결과(시료 C)



<그림 3 - 4(4)> 파쇄시험 결과(시료 D)



<그림 3 - 4(5)> 파쇄시험 결과(시료 E)

3.4 역학적 특성시험

3.4.1 투수성

자연 상태의 투수시험은 시료채취가 어려워 흐트러진 상태의 시료를 A방법으로 다진 후 정수두 투수시험을 하였다. 시험 결과는 표 3 - 8과 같다.

일반적인 사질토와의 투수성 차이를 규명하기 위하여 Hazen 경험적 관계식 $K = c \times D_{10}^2$ 으로 각 시료에 대한 투수계수를 구하였다. Hazen의 식에서 D_{10} 은 가적통과율 10%에서의 입경이며, c 는 1.0으로 가정하였다. Hazen의 식에 의해 계산한 결과는 $0.36 \times 10^{-1} \sim 1.44 \times 10^0$ 으로 실제 값과 너무나 큰 차이를 보인다. 이는 Hazen의 공식이 매우 균등한 모래를 대상으로 한 관계식임에 비해, 본 시험은 파쇄율이 심한 송이를 A방법으로 다짐 후 시험하였으므로 입자간의 공극이 다짐에너지에 의해 파쇄되어 메워지고 입자가 거칠어서 둥근 입자에 비해 물이 통과할 때 실제의 유로가 길어지기 때문이라고 판단된다.

입경에 의한 투수계수는 자연상태의 투수성을 의미할 수 있으며 자연상태의 송이는 투수성이 아주 양호하리라 예상된다.

<표 3 - 8> 투수계수 시험

시 료	A	B	C	D	E
실험치 투수계수(cm/sec)	5.47×10^{-4}	5.13×10^{-4}	5.19×10^{-4}	5.13×10^{-4}	5.39×10^{-4}
Hazen식 투수계수(cm/sec)	1.44×10^0	1.44×10^0	0.36×10^{-1}	1.44×10^0	1.44×10^0

3.4.2 송이의 강도정수

송이 층은 용암의 폭발 분출 시 압력의 감소로 인하여 부피가 갑자기 늘어나면서 가스가 일출하여 생성된 다공질 화산쇄설물로서 화구를 중심으로 집적되며 조립질에 모가 난 입형이고 관상기공이 불규칙하게 발달한다. 또한 층리의 발달이 빈약하고 투수성이 매우 크며 산화작용에 의해 갈색 또는 흑색을 띠는 특성을 가지고 있으며 현재까지 화산쇄설물층의 원 지반 강도특성에 대한 연구 또는 설계사례가 미흡한 실정이다. 제주도는 지형을 이용한 도로개설, 구조물의 터 파기 사면, 단지조성 시의 굴착사면 등은 모두 구조물로 처리되어 자연상태의 사면 유지가 불필요하였다. 따라서 송이의 강도정수에 대한 연구가 미흡한 것은 불교란 시료의 채취가 불가능하고 현재까지 화산쇄설물층에 대한 설계사례가 거의 없기 때문인 것으로 판단된다.

본 논문에서는 제주 서부산업도로 확장 공사 시 시험 자료를 사용하였으며 시료 C와 D가 여기에 속한다. 송이 층에 대한 불교란 시료의 채취가 불가능하여 송이 층의 현장밀도를 고려한 직접전단시험 결과와 실제 굴착사면의 안식각 측정결과, 화산쇄설물의 유용성 검토를 위해 실시한 기존 자료^{6,7,8)}를 참고하여 송이 층의 강도정수를 구하였다. 표 3 - 9에서 보듯이 현장밀도는 $1.036 \sim 1.096 \text{t/m}^3$ 로 비교적 낮으며 점착력은 $0.03 \sim 0.10 \text{kg/cm}^2$, 전단저항각은 $35 \sim 38^\circ$ 로 분포하고 있다. 밀도 증가에 따른 전단저항각의 증가경향은 거의 없는 것으로 나타났다. 표 3 - 10은 기존연구자료들의 강도정수를 나타내고 있다.

안식각은 모래와 자갈 등의 점착력이 없는 흙이 뿌려진 상태에서 안정을 유지하는 가장 급한 경사각을 말하며, 실험적으로는 낮은 높

이에서 조금씩 뿌려서 사면을 만들어 측정한다. 본 연구에서 안식각 측정은 본 시료가 자연상태로 흘러내려 이룬 경사각을 측정하였으며, 측정결과 35~42 °로 편차가 심하게 나타나고 있었다. 따라서 지역별로 38~40 °로 정의할 수 있으며 이는 일반적인 흙에 비해 큰 값이다.

<표 3 - 9> 강도정수

	현장밀도(t/m ³)	점착력(kg/cm ²)	전단저항각(°)
시료C	1.096	0.03	38
시료D	1.036	0.1	35

<표 3 - 10> 기존연구 강도정수

	현장밀도(t/m ³)	점착력(kg/cm ²)	전단저항각(°)
대한토목학회 ⁶⁾	1.831	0.18	41
		0.3	42
		0.4	45
황 한 석 ⁷⁾	1.432	0.24	46
	1.417	0.26	46
	1.583	0.28	47
강 용 식 ⁸⁾	1.746	0.04	48
	1.740	0.02	49

4. 건설재료로의 활용 검토

4.1 콘크리트용 재료

콘크리트용 골재는 잔 골재와 굵은 골재 두 가지로 나누어지는데 잔 골재는 4.75mm(No. 4번)체를 다 통과하고 0.075mm(No.200번)체에 다 남는 골재 또는 10mm체를 전부 통과하고 4.75mm(No.4번)체를 거의 다 통과하며 0.075mm(No.200번)체에 거의 남는 골재를 말하며 굵은 골재인 경우 4.75mm(No.4번)체에 다 남거나 또는 거의 다 남는 골재를 말한다.

콘크리트의 부피 중에서 골재가 차지하는 비율은 70~75% 정도로 골재의 입도는 콘크리트의 강도, 내구성, 경제성에 지대한 영향을 미친다. 입도가 양호한 골재를 사용해야 하는 수밀성 콘크리트는 크리프(Creep) 변형이 적게 일어나며 건조수축에도 강하다. 또한 같은 조건 하에서 압축강도도 크게 나타난다. 따라서 입도를 포함 제 시방서 규정은 콘크리트용 골재 선택의 기준이 된다.

시방서 규정 시험에 의하여 얻어진 결과를 보면 송이의 0.075mm(No.200번)체 통과량은 0.9~1.6%이며 비중은 제주도에서 흔히 사용하는 현무암보다 낮은 2.54로 나타났으며 흡수율은 6.28%, 안정성은 16.96%, 마모성은 50.52%로 시방서 규정에 모두 부적합하게 나타나고 있으며, 입경은 19.1~2.36mm에 입도 조정이 필요하며 철근 콘크리트용 골재일 때 최대치수가 25mm, 무근 콘크리트용 골재일 때 최대치수는 40mm의 골재를 필요로 하고 있으나 송이인 경우에는 76.2mm까지 혼합되어 있으므로 사용 시에 골재의 입도를 조절하기 위하여 재분류가 필요하므로 경제성이 없는 것으로 보인다.

따라서 지방서 규정에 부적합하고 입경의 재분류가 필요한 송이 보다는 제주도 전역에 걸쳐 분포하는 현무암 쇄석 골재를 콘크리트 용 골재로 사용하는 것이 더욱더 효과적이고 경제적인 면에서도 현 무암 쇄석이 타당할 것으로 생각된다.

4.2 뒷채움 재료

구조물의 뒷채움이란 설계도서 및 감독관의 지시에 따라 구조물의 시공 완료 후에 암거의 경우 기초저면부터 암거 상단면 또는 노상저면까지 교대 및 옹벽은 구조물의 기초저면부터 노상저면까지의 뒷채움, 다짐, 고르기 하는 작업을 말한다.

뒷채움에 사용되는 재료는 보조기층 재료 SB-1의 품질기준에 적합한 것을 사용하여야 하는데 지방서 규정(표 4 - 1)에 의하면 골재의 최대치수 100mm이하로 규정하고 있는데 송이인 경우 100mm이하로 나타나고 있다. 한편 4.75mm(No.4번)체 통과량은 지방서 규정에 25~100%인데 송이인 경우 25%이며 0.075mm(No.200번)체 통과량은 0~25%로 규정하고 있지만 송이의 입도 분석 시험결과에 나타난 것은 0.9~1.6%인 것을 알 수 있다. 소성지수는 10%이하로 규정하고 있으나 송이인 경우 비소성(N.P)이며 수정CBR값은 10%이상으로 규정하고 있으나 본 시료 시험 결과 수정CBR값은 36%로 지방서 규정에 모두 부합하므로 뒷채움 재료로 활용하는데 적합하다고 생각된다.

<표 4 - 1> 뒷채움 재료 지방 규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
골재최대치수(mm)	100이하	100이하	KS F 2302
No.4번 체 통과량(%)	25	25~100	KS F 2502
No.200번 체 통과량(%)	0.9~1.6	0~25	KS F 2511
소성지수(%)	N.P	10이하	KS F 2304
수정 CBR(%)	36	10이상	KS F 2320

4.3 흙 쌓기 재료

4.3.1 노체

도로의 노체는 활동파괴, 압밀침하, 부등침하 등에 대한 안정성이 확보되어야 한다. 노체부분에 흙 쌓기 할 재료는 지방규정(표 4 - 2)에 의하면 골재의 최대치수 150mm 이하로 되어 있으며 수정 CBR치는 2.5%이상이며 다짐후의 최대건조밀도는 $1.5t/m^3$ 이상을 요구하고 있다.

송이를 노체로 사용할 경우에 골재의 최대치수는 150mm이하이며 수정 CBR값은 36%, 다짐후의 최대건조밀도는 $1.58t/m^3$ 이므로 지방서 규정에 부합하므로 노체재료로 활용하는데 적합할 것으로 생각된다. 또한, 실내다짐 시험에서 얻어진 최대건조밀도의 90%이상으로 현장다짐을 시행하도록 규정하고 있으므로 최소한 $1.45g/cm^3$ 로 다짐을 하여야 한다.

<표 4 - 2> 노체 흙 쌓기 재료 지방 규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
골재최대치수(mm)	150이하	150이하	KS F 2302
수정 CBR(%)	36이하	2.5이하	KS F 2320
최대건조밀도(t/m^3)	1.58	1.5이상	KS F 2312

4.3.2 노상

노상은 포장 밑에 위치하는 흙 쌓기 또는 땅깍기의 최상부 1m부분으로 포장과 일체가 되어 교통하중을 지지하는 중요한 역할을 한다. 도로의 노상에 사용할 재료는 지방규정(표 4 - 3)에 의하면 골재의 최대치수 100mm이하이며 4.75mm(No.4번)체 통과량 25~100%, 0.075mm(No.200번)체 통과량 0~25%, 소성지수 10%이하, 지방다짐을 실시한 흙의 수정 CBR 값은 10%이상으로 규정하고 있다.

송이인 경우에 골재최대치수가 100mm이하이며 입도 분석 시험결과 4.75mm(No.4번)체 통과량 25%, 0.075mm(No.200번)체 통과량 0.9~1.6%, 소성지수는 비소성(N.P)이며 수정 CBR 값은 36%이다.

따라서, 송이는 지방서 규정과 부합하므로 도로의 노상재료로 활용하는데 적합할 것으로 생각된다.

<표 4 - 3> 노상 흙 쌓기 재료 지방규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
골재최대치수(mm)	100이하	100이하	KS F 2302
No.4번 체 통과량(%)	25	25~100	KS F 2502
No.200번 체 통과량(%)	0.9~1.6	0~25	KS F 2511
소성지수(%)	N.P	10이하	KS F 2304
수정 CBR(%)	36	10이상	KS F 2320

4.4 아스팔트 포장재료

4.4.1 보조기층재료

보조기층은 표층과 중간층을 통해서 기층에 전달되는 교통하중을 다시 분산시켜서 그 하중을 노상이 갖고 있는 허용지지력 이하로 감소시키는 기능을 갖고 있다.

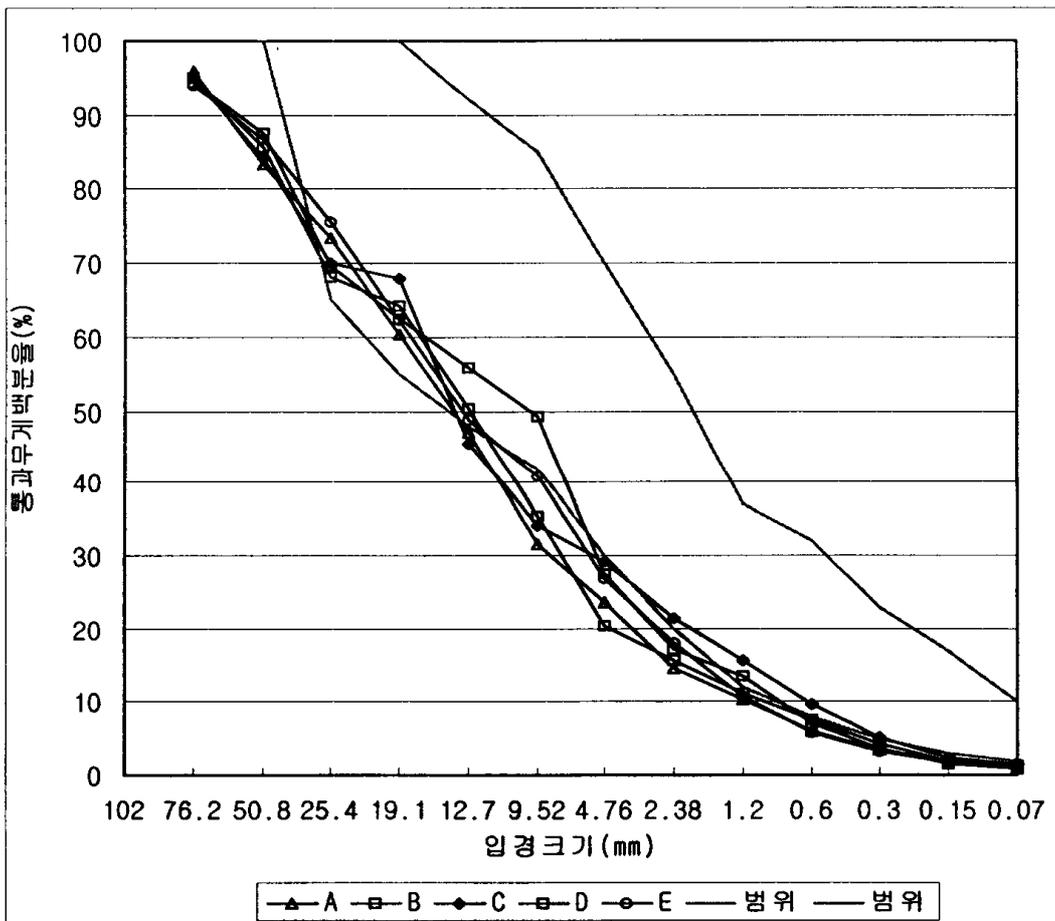
시방서 규정에 의하면 보조기층재료는 견고하고 내구적인 부순 돌, 자갈, 모래, 슬래그 기타 감독관이 승인한 재료 또는 이들의 혼합물로 점토질, 실트(silt), 유기불순물 기타 유해 물을 함유해서는 안 된다고 규정되어 있다.

아스팔트 포장재료 중 보조기층에 대하여 시방규정(표 4 - 4)에 마모감량이 50%이하로 되어 있는데 송이의 마모감량 시험결과 50.52%로 비슷하게 나타났으며 수정 CBR값은 30% 이상으로 규정하고 있는데 송이의 경우 36%로 다소 크게 나타나고 있다. 소성지수는 시방규정에 6%이하이나 송이의 경우 비소성(N.P)으로 나타났 다.

한편 모래당량은 시방서 규정에 25%이상이지만 송이의 경우에는 모래의 성분의 전혀 없는 상태로 나왔으며 전체적으로 볼 때 입도 분포가 입도 범위 아래에 근접하고 모래당량에 문제가 있으며 마모 감량 또한 미미하지만 기준치를 넘고 있으므로 인해 송이를 보조기 층으로 활용할 경우에는 재질별로 엄정한 시험을 시행하고 다른 재료를 혼합하여 입도 조정을 한 후 활용가능 여부를 결정하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 그림 4 - 1은 보조기층재료 입도 시방 규 정을 나타내고 있다.

<표 4 - 4> 보조기층재료 시방 규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
마모감량(%)	50.52	50	KS F 2508
수정 CBR(%)	36	30이상	KS F 2320
소성지수(%)	N.P	6이하	KS F 2304
모래당량(%)	-	25이하	KS F 2340



<그림 4 - 1> 보조기층재료 입도 시방 규정

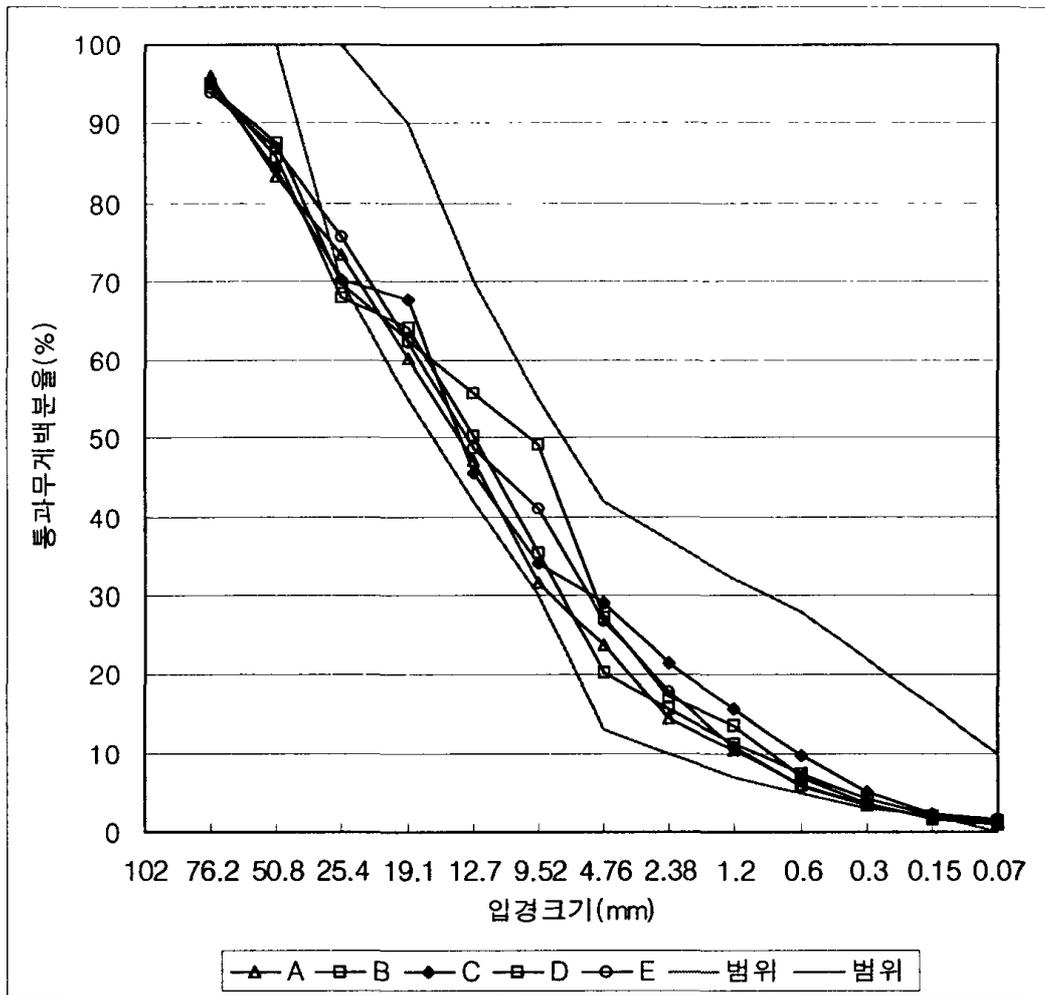
4.4.2 기층재료

기층은 표층 및 중간층에서 전달되는 교통하중을 지지하는 층인데, 그 재료는 충분한 강도를 갖고 변형에 견딜 수 있어야 한다.

송이를 기층재료로 사용 할 경우를 고려하여 시험한 결과 입도 분포는 하한 치에 근접하여 입도 조정이 필요하며 소성지수는 비소성(N.P)으로 규정에 적당하며 마모감량은 50.52%로 40%이하의 기층재료 시방규정(표 4 - 5)에 비해 크게 나타났으며 흡수량은 6.28%로 시방규정 3.5%이하 보다 크게 나타났다. 그리고 파쇄율도 크게 나고 있으므로 송이를 기층재료로 사용 시에는 입도 및 마모와 파쇄율에 대하여 특별히 주의를 해야 할 것이다. 그림 4 - 2는 기층재료 입도 시방 규정을 나타내고 있다.

<표 4 - 5> 기층 굵은 골재 시방규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
소성지수(%)	N.P	9이하	KS F 2304
마모감량(%)	50.52	40이하	KS F 2508
흡수율(%)	6.28	3.5이하	KS F 2503



<그림 4 - 2 > 기층재료 입도 시방 규정

4.4.3 표층재료

표층은 포장구조의 최상 부에 있으며 가열아스팔트 혼합물로 만들어지는데 교통차량에 대한 마모와 전단, 미끄럼에 대한 저항이 커야하며 우수침투에 대한 방수기능을 가져야 한다.

표층재료는 잔 골재 2.36mm(No.8번)체를 통과하고 0.075mm(No.200번)체에 남는 골재를 말하며 굵은 골재 2.36mm(No.8번)체에 남는 것을 말하며 깨끗하고 단단하면서 내구적이고 흙, 진흙, 먼지 기타 유해물이 함

유되지 않은 골재를 사용하여야 한다.

표층의 굵은 골재 시방규정은 비중이 2.5이상, 흡수율 3.0%이하, 마모감량 35%이하, 안정성은 12%이하인데 송이인 경우 비중 2.54, 흡수율 6.28, 마모감량 50.52%, 안정성 16.96%로 나타났다. 송이의 시험결과로 볼 때 표층재료로서의 시방규정에 모두 부적합한 것으로 판단된다.

또한, 표층은 윤하중을 직접 받으므로 마모, 흡수율, 비중에서 아주 중요한 위치에 있으며 동결 융해 및 염화칼슘에 내구성이 중요하므로 송이는 표층재료로 부적합하며 표준배합 입도도 기준의 하한치를 벗어나고 있으므로 송이를 굵은 골재와 잔 골재로 사용하지 않아야 할 것으로 판단된다. 그러므로 아스팔트 표층재료로는 제주도 전역에 분포되어 있는 현무암을 이용한 쇄석 골재를 사용하는 것이 더욱 더 효과적이라 생각된다.

4.4.4 채움 재료

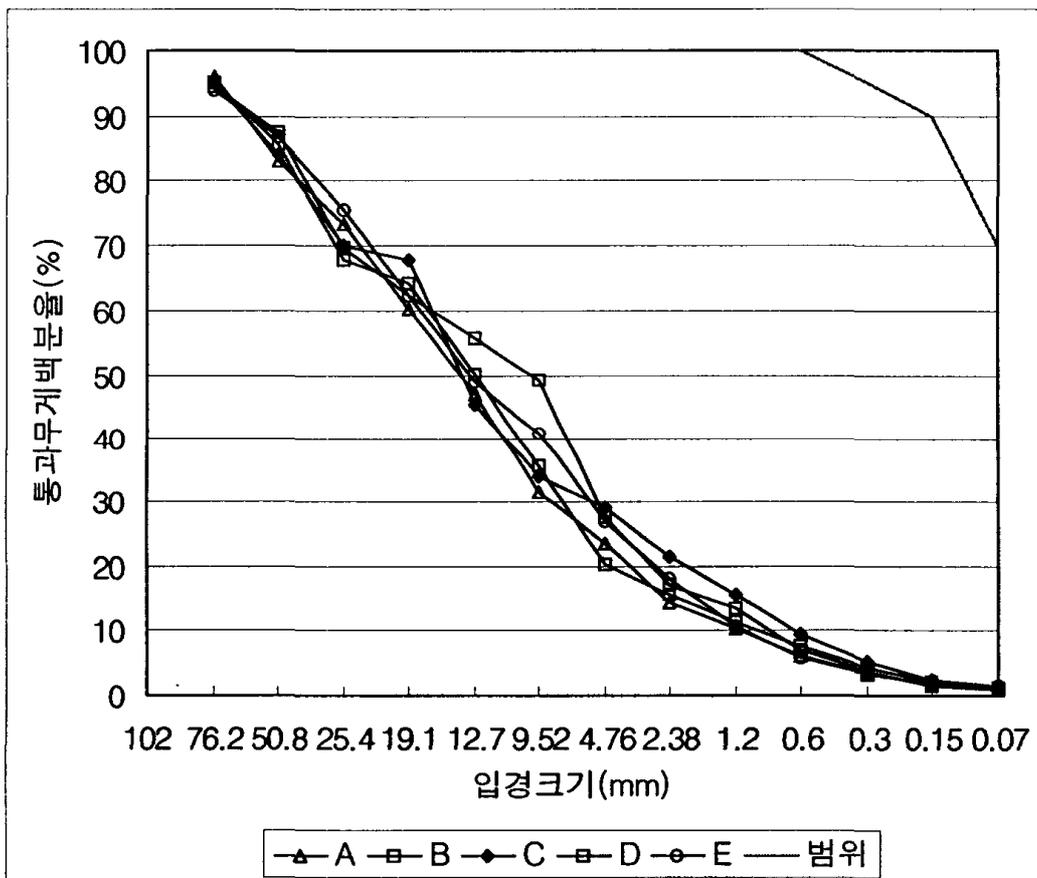
채움 재료는 표층 및 기층용 아스팔트 콘크리트의 혼합물 생산시 사용되는 주자재중 하나인데 내구성, 수밀성에 큰 영향을 미치고 있다. 일반적으로 비중이 적은 골재는 연결이어서 시공 시에 파쇄되기 쉬운 것이 많아 보통골재의 비중은 2.6~2.8정도를 유지할 수 있는 골재이어야 하며 흡수율이 큰 골재는 자연함수비가 높고 아스팔트 플랜트에서 충분히 건조시키기 어려우며 또한 혼합물로 된 경우에는 골재 속에 역청분을 흡수해서 내구성을 나쁘게 하기도 한다.

채움 재료의 시방규정(표 4 - 6)에 소성지수 6%이하, 수분은 1.0%이하, 비중은 2.6이상이다. 송이의 경우 비소성(N.P)이며 비중은 2.54인데 이는 채움 재료 조건에 미달하므로 사용하기에는 부적합하

며 입도 또한 시방규정을 만족하지 못하기 때문에 쇄석 골재 생산 시 발생하는 석분을 사용하는 것이 효과적이라 생각된다. 그림 4 - 3 은 채움 재료 입도 시방 규정을 나타내고 있다.

<표 4 - 6> 채움 재료 시방규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
소성지수(%)	N.P	6이하	KS F 2304
비중	2.54	2.6이상	KS F 2503



<그림 4 - 3> 채움 재료 입도 시방규정

4.5 시멘트 콘크리트 포장

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브와 보조기층으로 구성되며, 보조기층은 표층에서 전달된 하중을 지지하며 분산시켜 노상에 전달하는 역할을 한다.

따라서 노상, 보조기층은 균일한 지지력이 발휘될 수 있고 배수가 잘되도록 유의해야 한다. 특히 보조기층 시공에는 동결융해의 영향을 받지 않는 재료를 사용하여야 한다.

시멘트 콘크리트 포장 시 잔 골재 재료는 입도 분포가 좋아야 하는데 송이인 경우 마모감량과 파쇄성이 높고 다공질이기 때문에 세립분을 많이 포함하게 되므로 단위수량이 늘어 콘크리트의 체적변화가 커지므로 인해 잔 골재로 사용하기에는 부적합하다.

굵은 골재의 시방규정(표 4 - 7)은 비중 2.5이하, 안정성은 12%이하, 마모감량은 35%이하로 규정되어 있는데 송이인 경우 비중은 2.54, 안정성은 16.96%, 마모감량은 50.52%로 나타났다. 송이의 시험 결과로 볼 때 시방규정에 모두 부적합한 것으로 판단된다. 그러므로 시멘트 콘크리트 포장 재료로 송이를 사용하기보다는 제주도 전역에 분포되어 있는 현무암 쇄석을 사용하는 것이 더욱더 효과적이라고 생각된다.

<표 4 - 7> 굵은 골재 시방 규정

구 분	송 이	시 방 규 정	비 고
비 중	2.54	2.5이하	KS F 2503
안정성(%)	16.96	12이하	KS F 2507
마모감량(%)	50.52	35이하	KS F 2508

5. 결 론

제주도는 내륙지방과 달리 도 전역에 분포되어 있는 송이가 천연 골재로서 건설재료로 중요한 위치를 차지하고 있다. 송이에 대해 공학적인 성질을 규명하기 위해 몇 가지 시험을 하였으며, 그 결과를 토대로 송이의 공학적 특성과 건설재료로서의 활용성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 송이는 휴화산 활동의 산물인 기생화산에서 유출되는 화성쇄설물이며 일반적으로 갈색과 흑색의 두 가지 종류가 있다.
2. 송이의 입도는 통일분류방법으로 GW에 속하며 비중은 2.54로 비교적 높으나 일반적인 다른 흙에 비해 낮으며 0.074mm(No.200번)채 통과율로 판단할 때 도로의 성토재료로 적합하다.
3. 송이의 흡수율은 6.28%로 사암에 해당하며 마모율은 50.52%, 안정성은 16.96%로 지방규정에 미흡하므로 포장골재와 표층재료로 사용하기에는 부적합하다.
4. 자연상태의 송이는 투수성이 탁월하나 다짐 시에 입자가 마모, 파쇄되어 메워지고 입자가 거칠어서 등근 입자에 비해 물이 통과할 때 유로가 길어지고 차단되기 때문에 다짐 후의 투수계수는 극히 작아진다.
5. 송이는 다짐 에너지가 클수록 많이 파쇄되며 최적 함수비로 다질 때 가장 파쇄가 많이 되며 건조 측보다 습윤측이 훨씬 더 파쇄가 심하게 나타난다. 다짐시험 결과 최적 함수비는 17.5~24.3%로 시료별 편차가 크고 최대 건조밀도는 1.54~1.64g/cm³로 도로축조공사의 건설재료로서 충분한 값을 가지고 있다.

6. 송이의 실내 CBR 값은 36%이며 이 값은 도로공사표준 시방서에서 규정하는 보조기층의 요구조건을 상회하고 있다.
7. 송이의 점착력은 $0.03\sim 0.1\text{kg/cm}^2$ 로 극히 작으며 전단저항각은 $35\sim 38^\circ$ 로 밀도 증가에 따른 전단저항각의 증가경향은 거의 없다.
8. 건설재료로서 활용에 대해 검토한 결과 콘크리트용 골재로 사용하기에는 부적합하며, 도로의 노체 및 노상이나 구조물의 뒷채움 재료로 이용하는데 적합하지만 보조기층, 기층, 표층, 채움 재료로 사용하기에는 부적합하게 나타났다. 하지만 토사가 부족한 제주도의 특이성에 따라 대체 건설재료로 활용하기에 충분하다고 본다.

본 논문에서 연구된 송이의 공학적 성질을 기초로 아직까지 미흡하게 진행된 송이 연구가 활발하게 이루어져 앞으로 다가올 골재난에 대비하여 제주도 전역에 분포하는 송이가 건설공사 전반에 필요한 경제적인 건설재료로 사용할 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 제주도 (1997), “중산간 지역 종합조사”, pp. 13~68
2. 제주도(1998) , “제주·애월 도폭 지질 보고서”, pp. 163~228
3. 김동학외(1986), “제주도의 화산활동연구”, 동력자원개발연구소,
pp. 13~80
4. 원종관(1975), “제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구”,
pp. 87~123
5. 신광식(1981), “제주도산 송이의 건설재료로서의 이용가능성 검토”,
pp. 219~241
6. 대한토목학회(1979), “제주도 송이의 공학적 특성”, pp. 119~127
7. 황한석(1990), “제주도산 송이의 토질특성에 관한 실험적 연구”,
중앙대학교 석사학위 논문
8. 강용식(1976), “제주도 송이(특수토)의 특성”, 건국대학교
석사학위 논문
9. 김용익(1997), “지반공학 시험법 및 응용”, 세진사
10. 황정규(1992), “지반공학의 기초 이론”, 구미서관 pp. 10~29
11. 이상덕(1997), “기초공학”, 엔지니어스
12. 임종석, 이원택, 권호진, 송영우, 박용원(1996), “지반용어사전” ,
엔지니어스
13. 건설교통부(1996), “토목공사 표준 일반시방서”, 기문당
14. 건설교통부(1996), “콘크리트 표준 시방서”, 기문당
15. 건설교통부(1994), “도로포장설계 시공지침”, 건설교통부

16. 한국표준협회(1998), “한국공업규격 KS F”, 한국공업표준협회
17. 제주도(1997), “서부산업도로(광령~서광)확장 및 포장공사 보고서”,
pp. 7~44
18. 제주시(1978), “제주 노형지구 토지 구획 정리 사업 토질조사 보고서”,
pp. 43~59
19. 최한중(1993), “최신 도로공학 총론”, 희성출판사
20. Lee, M. W.(1982), “Petrology and Geochemistry of Jeju”
21. Das, B. M.(1996), Principles of Foundation Engineering,
Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California. pp. 13~47
22. Das, B. M.(1996), Principles of Geotechnical Engineering,
Sharon. pp. 68~83
23. Capper P. L. and Cassie W. F., The Mechanics of Engineering
Soil, pp. 49
24. Hazen, A.(1935), “Discussion of Dams on Sand Foundations”,
Trans. Am. Civ. Eng. Vol. 100
25. Lambe, T. W. & Whitman, R. V.(1993), Soil Mechanics,
John Wiley and Sons, New York. pp. 110~135
26. Hunt R. E.(1984), Geotechnical Engineering Investigation Manual,
McGraw-Hill Book Company. pp. 210~260
27. Hunt R. E.(1995), Geotechnical Engineering Analysis Evaluation,
McGraw-Hill Book Company. pp. 99~179

감사의 글

엣그제 입학한 것 같은데 벌써 졸업이라니 믿어지지가 않는군요!
2년 6개월이란 시간동안 토목에 대해 좀더 많은 지식을 습득하려고 노력했지만 부족함이 많은 것 같습니다.

우선 이용재, 이용학, 편무욱 교수님께 감사 드리며 심사위원이신 성기원 교수님과 전인식 교수님의 학문적인 고견이 크나 큰 도움이 되었기에 깊이 감사 드립니다. 그리고 항상 저의 곁에서 세심한 배려를 아끼지 않으시고 대학원 수업과 논문지도에 애써주신 권오엽 지도교수님께 깊이 머리 숙여 감사 드립니다.

그리고 대학원 생활을 함께 하면서 제게 많은 정보와 용기를 주었던 영찬이형과 김성원 이사님, 이정학, 박기룡 선배님의 따뜻한 배려에 감사 드립니다. 언제나 지반공학 연구실에서 묵묵하게 학업과 자기 맡은 일에 책임을 다하는 선·후배 님에게도 감사 드립니다.

논문을 쓰는데 많은 자료를 주신 용덕 형에게도 감사 드립니다.

제가 제주도를 떠나 서울에서 생활하는데 많은 도움을 주었던 친구 승철, 영재와 대학동기들에게도 감사 드리며 여기에 일일이 이름을 쓰지는 못했지만 그동안 저를 아껴주셨던 많은 분들께 진심으로 감사를 드립니다. 항상 제 곁에서 마음에 용기를 불어 넣어주고 격려를 아끼지 않았던 여자친구 미영이에게 고마움을 표합니다.

끝으로 항상 제주도에서 제게 힘을 주신 정인태 차장님과 이 못난 형을 대신해서 집안일과 자신의 학업을 묵묵하게 해준 동생 행훈이와 못난 자식을 위해 헌신적인 노력과 배려를 아끼지 않으셨던 부모님께 머리 숙여 감사하다는 말을 드리고 싶습니다.

이 조그마한 결실을 부모님께 바칩니다.

2002년 6월에.....

신 승 훈 드림