

송이의 碎石다짐말뚝에 대한 材料 適合性에 관한 研究

남정만 · 김준호 · 김인석*

제주대학교 토목환경공학전공, *제주도청

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

Jung-Man Nam, Jun-Ho Kim and In-Seok Kim*

Major of civil & Environmental, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

*Jeju Provincial Government, Yeon-dong, Jeju-si, Jeju-do 690-700, Korea

Scoria, which is the major components of the ground of Jeju island, is analyzed and carried out on the basis of the experience without any engineering technique at each construction spot. So, the present study examined the strength of the compacted Scoria and estimated the utilization of the compacted Scoria as the material of the Geopier on the basis of the middle conception between the deep groundwork and shallow groundwork. The result of the direct shear test was $45.10^{\circ} \sim 58.24^{\circ}$. And there was no significant difference between this result and the sheared resistant angle shown by Geopier, $48.84^{\circ} \sim 52.24^{\circ}$. Because of the similarity between the strength of the compacted Scoria and the compaction crushed stone, it is possible that the Scoria can be used as the aggregate of the pillar by the short Geopier, even if the Scoria are included in the caving quantity when compacting.

Key words : Geopier, scoria, compaction, shear strength, internal friction angle

서 론

제주도는 신생대 제3기~제4기에 형성된 화산도로 수십 차례에 걸친 화산 분출에 의해 형성되어 지리적으로 한반도 최남단에 위치하고 있다.¹⁾ 섬 중앙의 한라산을 중심으로 쉼드 화산체를 이루고 있는 제주도는 전역에 소위 오름이라고 불리는 360여개의 분출구가 분포하고 있으며, 한반도의 다른 지역에서 찾아 볼 수 없는 경관을 이루고 있다.²⁾

화산활동은 5단계의 화산활동 및 퇴적기로 구분되어 100회 이상 용암의 분출로 형성되었다. 지질학적인 특성을 살펴보면 제주도 지반은 화산 쇄설층의 퇴적암층 및 현무암, 조면암질 안산암, 조면암 등의 화산암류와 기생화상에서 분출된 화산 쇄설물 등으로 구성되어 있다. 제주도 내에 분포하는 암반층의 두께는 얇게는 1m 이내에서 아주 두꺼운 경우에 10m에 해당하는 경우도 간혹 있다. 제주도 각 지역에는 후기 화산활동에 관련 있는 화산쇄설물인 암재구가 제

주도 전역에 광범위하게 분포되어 있다. 암재구를 형성하고 있는 화산쇄설물을 “송이(scoria)”라 칭한다.³⁾ 송이는 육지의 화강토나 사질토와 많은 차이를 나타내고 있다. 이러한 송이가(화산쇄설물) 암반층 사이에 2~3m의 두께로 여러층에 걸쳐 존재한다. 암반과 송이는 화산분출 당시의 상황에 따라 강도나 파쇄성 등의 강도특성에 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 제주도의 지질학적 특성은 건설공사를 수행하기 위한 지반조사나 구조물의 축조를 위한 하부 기초 공사 시 많은 어려움을 겪게 하고 있다.⁴⁾

현재 제주도는 국제자유도시개발 등을 위해 공항, 항만, 도로 등에서 많은 공사가 수행되거나 수행될 예정으로 있으며, 이들 공사는 과거보다 대형화되는 경향이 있다(국제자유도시특별법). 특히 자연환경 보전을 위하여 도시는 점점 밀집화 되어가고 있으며, 시설물은 중·대형화하고 있는 실정에 있다. 구조물의 중·대형화로 인하여 교대나 구조물의 기초로서 말뚝의 사용이 조금씩 증가하고 있다. 그러나 제주도에서 향타 말뚝은 제주도의 특유한 지질적인 특성으로 인해 적용이 어려운 현실이다.

이러한 시점에서 구조물에 대한 기초연구가 필요하며 제주도의 지반을 형성하고 있는 송이에 대하여 1980년대 중반 미국의 Dr. Nat. Fox에 의하여 고안된 쇄석다짐말뚝공법(Geopier) 적합성에 대하여 연구하고자 한다. 시공과정에서 진동 다짐으로 인한 혼합 또는 현장에서 발생하는 송이를 쇄석과 혼합 하여 시공할 경우 기초 재료로서 강도를 유지할 수 있는지를 분석하고자 한다.

본 연구에서는 이와 같은 송이에 대한 공학적 특성을 조사 분석하여 짧은 쇄석다짐 말뚝공법이 제주도 화산지층지반에 구조물의 기초로서 적용성을 검토하기 위하여 제주도 골재의 역학적 성질 및 파쇄 특성과 짧은 쇄석다짐말뚝의 시공시 골재로서의 사용가능성에 대하여 검토하고자 송이에 대한 기본물성시험을 수행하고 화

학적 특성 및 다짐특성에 따른 송이의 강도를 연구하기 위하여 대형직접 전단 시험을 수행하였다.

쇄석다짐말뚝공법

공법 개요

짧은 쇄석다짐말뚝공법(Geopier)은 깊은 기초와 얕은 기초의 중간개념으로 직경 0.75 m 내외의 깊이 2~7m의 굴착공을 천공한 후 바닥에 골재를 깔고 다짐으로서 구근을 형성하고 단계별로 골재 깔기 및 다짐을 반복 시행하여 말뚝을 형성하는 공법이다.⁵⁾

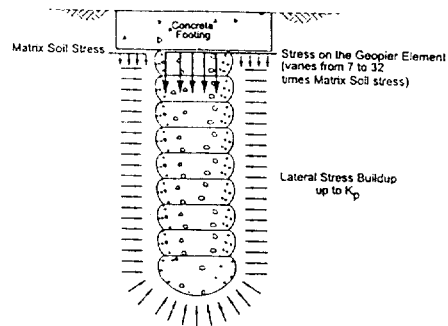


Fig. 1. Geopier load bearing.

Fig. 1과 같이 시공 중 다짐을 통해 구근을 형성하며 이것은 Geopier를 따라 생기는 수평 토압을 증가시켜 마찰전단저항을 증가시킨다. 시공 후 일반적으로 Geopier 내부마찰각의 범위는 48~52°(Fig. 2)이고 주변 흙의 강성은 시공 전 흙의 10~40배이다.

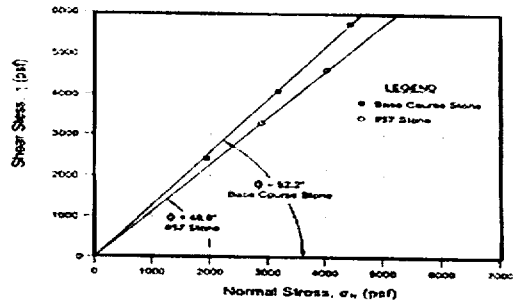


Fig. 2. Internal friction angle of Geopier.

쇄석다짐말뚝 시공법

쇄석 다짐 말뚝의 시공법은 Fig. 3과 같다.

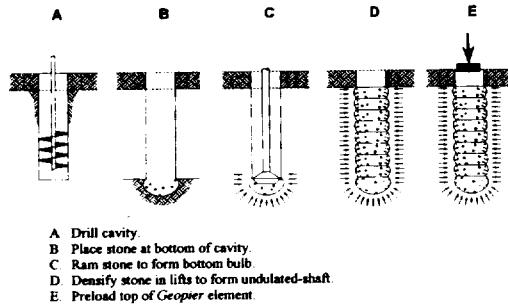


Fig. 3. Construction process of Geopier.

첫번째 단계는 골재를 투입하기 위한 공동을 굴착하는 것이다.

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

세번째 단계는 입도가 좋은 분쇄된 골재의 얇은층(약 300 mm)의 밑바닥 구근위에 넣은 후 조밀하고 매우 강성이 큰 pier를 형성하기 위해 같은 다짐장치로 다진다. 이와 같은 방법으로 시공을 계속한다.

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

Geopier 파괴 거동

단일 Geopier 부재와 군Geopier 부재의 파괴 거동은 Geopier를 설치하는 동안의 주변 흙의 응력 상태, 재하푸팅, Geopier 보강 부재, 주변 흙 사이에 생기는 복잡한 하중전이 메커니즘으로 인해 매우 복잡하다. 이와 같은 복잡한 상호작용을 이해하기 위해 한계평형이론(Limit equilibrium theory)을 적용한다.

Fig. 4는 Geopier로 보강된 푸팅이 한계평형 파괴방식으로 되기 위한 파괴거동을 나타낸다.

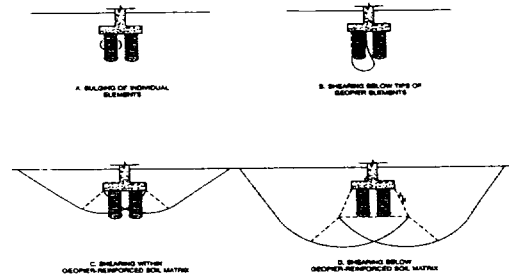


Fig. 4. Failure mechanism of Geopier.

Fig. 4에서 각각의 경우에 대한 파괴거동을 보면 다음과 같다.

- (a) 각각의 Geopier 부재의 팽창파괴
- (b) Geopier 부재 선단아래의 전단파괴
- (c) Geopier로 보강된 주변 흙 안의 전단파괴
- (d) Geopier로 보강된 주변 흙 바닥면 아래의 전단파괴

Geopier공법의 적용시 고려 사항

- (1) Geopier공법 적용시 사용되는 골재는 하단의 구근 형성에 사용되는 골재로 미세한 골재를 포함하지 않은 개입도(Open-Graded) 이어야만 한다. 연약한 하단의 경우에서 세척된 4인치 골재와 같은 직경의 골재가 사용되고 더 단단한 하단의 경우에는 더 작은 직경의 골재가 사용된다.

Geopier 기둥 형성에 사용되는 골재는 파쇄된 석회암 또는 재활용된 콘크리트로 구성된 일반적인 골재의 입도와 단위 중량은 다음 Table. 1, Table. 2와 같다.

Table 1. aggregate gradation

sieve	passing ratio (%)
25 mm	100
19 mm	90 ~ 100
No. 4	30 ~ 75
No. 8	15 ~ 50
No. 200	2 ~ 15

Table 2. Aggregate unit weight

constituent	Measurement
moist unit weight	2.23 g/cm ³
water content	2 %
dry unit weight	2.18 g/cm ³
saturated unit weight	2.23 g/cm ³

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

- (2) 모든 기초시스템이나 보강시스템이 그렇듯이 Geopier도 모든 경우에 적합한 것은 아니다. 시공지역과 지반조건에 따라 Geopier기초가 예상 하중에 대한 효과적인 지반보강에 부적절하거나 한계가 있는 경우도 있다.

Geopier 기초는 부재 각각 2,200kips (10,700 kg/m³)까지 지지할 수 있다. Geopier 기초는 또한 이탄토나 폐기물 매립토 같은 연약토의 경우 작거나 중간 정도의 하중의 지지할 수가 있다. 그러나 다른 공법과 같이 대상 지반의 자연적인 성질에 따라 시공 가능성 여부를 판단할 수 있다.

- (3) Geopier 기초는 Geopier 부재 설치에 앞서 천공을 해야 하며 이것은 대부분의 Geopier의 길이가 짧기 때문에 빠르게 이루어진다. 그러나 Geopier의 시공 속도를 저하시키는 요소가 있다. 예를 들면, 지하수를 많이 함유한 모래, 쇄석, 불안정한 지반 등이다.

이들 문제에 대한 해법은 쇄석 지반을 관통할 수 있는 보다 강력한 천공장비를

사용하거나, 케이싱을 사용하거나, 지하수위 아래쪽의 골재를 개입도(Open-Grade)의 입도 분포를 가진 골재를 사용하거나, 지하수를 감소시키기 위해 펌핑(pumping)을 하는 방법 등이 있다.

다짐송이의 강도 특성

시료의 채취

본 연구에 사용된 시료는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 6개 지점에서 채취하였다. Table. 3는 채취한 시료에 대한 소재지와 색상을 나타내었다.

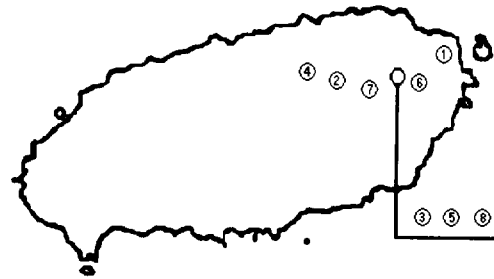


Fig. 5. Area that pick sample.

Table 3. Distribution of pick samples

Color		Place name & No	Note
Black	Dark-Grey	① Jimi Mt.	
	Dark-Grey 70%	② Gomun Orum	Yellow-Brown 30%
	black	③ Worang Mt. (A)	
Red	Red-Brown	④ Daho Park	
	Red	⑤ Worang Mt. (B)	
Yellow	Yellow-Brown 70%	⑥ Dosan Mt.	Dark-Grey 30%
	Yellow-Brown 70%	⑦ Andol Orum	
	Yellow-Brown	⑧ Worang Mt. (C)	

실내 시험

시험 방법

채취한 시료에 대하여 물성 특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 실내시험이 수행되었다. 기본적인 물성 특성을 분석하기 위하여 비중시험, 입도분석시험, 다짐시험이 수행되었으며 시료의 전단특성을 분석하기 위하여 대형직접전단시험이 수행되었다.

비중시험은 KSF 2308, 입도분석시험은 KS F 2302, 다짐시험은 KS F 2312(D)방법에 근거하여 수행되었다⁶⁾.

본 연구에서는 다짐시료의 전단강도특성을 연구하기 위하여 다짐전단시료의 초기조건을 다짐시험결과로부터 95% 단위중량 값을 기준으로 전단시험에 사용될 시료조건을 결정하였다.

대형직접전단시험은 KS F 2343에 의하여 1 kg/cm², 2 kg/cm², 3 kg/cm², 4 kg/cm²의 상재 하중에 대하여 각각 수행되었다. 전단속도는 1 mm/min을 적용하였다.

실험 장치

송이는 입자의 크기가 일반 흙과 달리 생성과정의 특징과 풍화도에 따라 미세 입자로부터 입경이 10 cm 이상 되는 것도 있다.

본 연구에서는 입자의 크기를 고려하여 별도

로 주문 제작한 대형 직접 전단시험기를 사용하여 시험을 실시하였다.

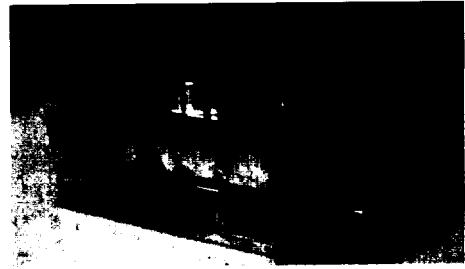


Fig. 6. Shear box.

본 시험에 사용된 대형 직접 전단시험기의 전단 상자는 다짐시험(D수정다짐)시 몰드와 동일한 크기의 원형 전단 상자를 사용하였다. 전단 상자의 내경은 150 mm이고 높이는 125 mm이다 (Fig. 6참조). 상부에 가해지는 연직하중은 유압을 이용하여 재하하는 방식으로 수직응력의 범위는 0~7.5 kg/cm²이고 수평변위계의 속도범위는 0.2 mm/min~3.5 mm/min이다(Fig. 7참조).



Fig. 7. Vertical loading system.

Table 4. Chemical composition of Scoria

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 (%)
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
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
Worang Mt.(A)	48.99	14.53	2.42	12.27	7.93	8.73	2.67	1.33	0.15	0.45	0.14	99.62
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
Worang Mt.(B)	48.6	14.28	2.38	12.30	7.46	8.21	3.02	1.63	0.15	0.52	0.83	99.37
Dosan 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
Andol Orum	31.27	19.84	4.03	19.31	3.55	1.20	0.31	-	0.41	0.73	18.36	99.00
Worang Mt.(C)	43.45	15.63	2.79	14.62	8.25	6.99	1.42	0.58	0.18	0.49	5.82	100.22

시험 결과 분석

화학적 특성

채취한 송이 시료에 대해 XRF 시험기를 이용해 화학적 조성을 분석하였다. Table. 4에 결과를 나타내었다.

화학 분석결과를 보면 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 가 그 양이 조금씩 차이는 있으나 전체 성분의 70%~77%로 대부분을 차지하고 있다. 안돌오름의 경우 SiO_2 가 약 31%정도로 작게 나타나고 Fe_2O_3 와 Al_2O_3 가 약 20%정도로 크게 나타나고 있다. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 성분의 함량이 송이의 강도에 일정한 영향을 미칠 것으로 사료 된다⁷⁾.

기본 물성 특성

각 시료에 대한 입도분석 결과는 Table. 5와 같다. Fig. 8은 각 시료의 입도분포 곡선을 나타낸다.

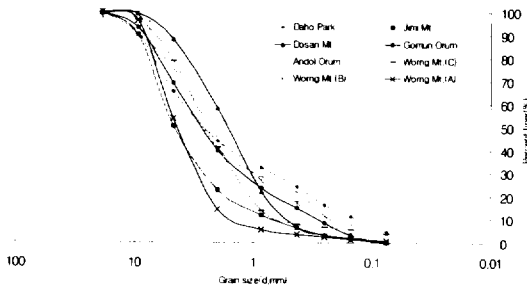


Fig. 8. Grain-size distribution curve.

Table. 6에는 각 시료의 비중 시험 결과를 나타내었다. 시험에 사용될 시료는 건조조에 넣어 24시간 이상 노건조 시킨 시료를 사용하였다. 입도분포의 경우 두산봉과 안돌오름을 제외한 나머지 시료들은 입도 분포가 좋은 것으로 나타났다. 비중의 값의 경우, 2.65~2.89정도로서 일반적인 토사의 비중 값 2.60~2.90범위에 속한다.

Table 6. Specific Gravity of scorias

Place name	Gs
Jimi Mt.	2.70
Gomun Orum	2.83
Worang Mt.(A)	2.65
Daho Park	2.67
Worang Mt.(B)	2.77
Dosan Mt.	2.80
Andol Orum	2.89
Worang Mt.(C)	2.75

역학적 특성

(1) 다짐 시험

Fig. 9와 Table. 7에는 각각의 8개의 시료에 대한 다짐시험결과를 나타내었다.

최적함수비와 최대건조단위중량은 시료의 색상에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 강도가 낮은 황색과 암회색 송이의 함량에 비례하여 최적함수비는 증가하고 최대건조단위중량은 감소하

Table 5. Uniformity Coefficient(Cu) and Coefficient(Cc) of in field

Place name	D10	D30	D60	Cu	Cc	Color
Jimi Mt.	1.40	4.90	9.00	4.74	1.40	Dark-Grey
Gomun Orum	0.85	2.50	6.00	7.06	1.23	Dark-Grey, Yellow-Brown
Worang Mt.(A)	1.07	3.00	5.40	5.05	1.56	Black
Daho Park	0.37	1.30	3.25	8.78	1.41	Red-Brown
Worang Mt.(B)	0.20	1.00	3.10	15.5	1.61	Red
Dosan Mt.	0.53	1.05	2.30	4.34	0.90	Dark-Grey, Yellow-Brown
Andol Orum	0.22	1.90	5.00	22.7	3.28	Yellow-Brown
Worang Mt.(C)	0.63	1.60	3.10	4.92	1.31	Yellow-Brown

는 경향을 보이고 있다. 반대로 상대적으로 강도가 높은 검은색 송이와 적색 송이의 경우 최적함수가 낮고 최대 건조단위 중량이 높은 경향을 보이고 있으나, 검은색 송이의 경우 강도가 적색송이보다 훨씬 높아 다짐시 시료간의 재배열로 인하여 다짐에 어려움이 따를 것으로 사료된다. 강도가 낮은 황색송이와 암회색송이의 함량이 다짐의 효과에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

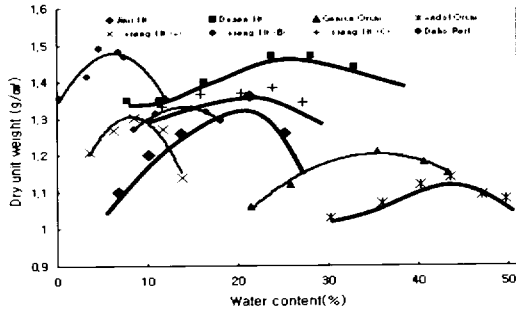


Fig. 9. moisture-density curve.

Table 7. Compaction test result

Place name	optimum moisture content (%)	maximum dry density (g/cm^3)
Jimi Mt.	21.0	1.36
Gomun Orum	36.5	1.21
Worang Mt.(A)	9.8	1.32
Daho Park	14.9	1.33
Worang Mt.(B)	5.6	1.53
Dosan Mt.	26.0	1.48
Andol Orum	43.0	1.14
Worang Mt.(C)	23.6	1.40

(2) 전단 시험

최적함수비 상태로 다진 시료는 직접전단시험 과정에서 사실상 포화가 불가능하여 다짐시험결과에 의하여 최적함수비 상태에서 전단시험을 수행하였다. 이로 인하여 결보기 점착력으로 인한 점착력의 증가가 발생할 것으로 판단되나⁷⁾ 전단저항각에 대한 영향은 다소 미비할 것으로

사료된다. 8개 다짐시료에 대한 전단 마찰각과 점착력 값들이 Table. 8에 나타나 있다.

Table 8. Result of direct shear test of compaction scoria

Place name	cohesion c (kg/cm^2)	angle of shear resistance ϕ ($^\circ$)
Jimi Mt.	0.31	64.54
Gomun Orum	0.42	49.96
Worang Mt.(A)	2.52	52.53
Daho Park	1.88	55.77
Worang Mt.(B)	2.44	61.72
Dosan Mt.	0.73	56.66
Andol Orum	0.7	67.63
Worang Mt.(C)	2.1	59.53

(3) 송이의 전단강도에 영향을 미치는 요인 분석

Table. 9에서 비교한 두 시험의 결과는 비다짐 시료의 대형직접전단시험의 값과 삼축압축 전단시험 결과치중 가장 많은 차이를 보이는 다호농장과 차이를 적게 보이는 두산봉의 결과를 제시한 것이다.

대형직접전단시험과 삼축압축 전단시험과의 차이점은 최대입경, 포화도, 그리고 구속압의 방법 등으로 크게 구분되어진다. 또한 흙의 파괴면은 최대 주응력면에 $45 + \phi/2$ 의 각도를 가진다. 그러나 직접전단시험의 경우 파괴면은 항상 수평면에서 발생하는 각의 문제점에 의해 삼축압축시험결과 보다 내부 마찰각이 조금 크게 발생하는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 요인에 의해 대형직접전단시험의 내부 마찰각(ϕ_d)이 삼축압축시험의 결과값(ϕ_c)에 비하여 약 5~8% 정도 크게 발생한 것으로 추정된다. 즉, 송이의 경우 일반적인 직접전단시험결과 값으로 전단강도를 추정할시 과다설계가 될 수 있으며 강도감소계수가 필요하다고 하겠다.

Table. 9의 결과에 의하면 대형직접전단시험의 결과는 삼축압축시험보다 약 1.17배에서

1.33배의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이러한 결과들로부터 강도감소계수 C를 1.3으로 적용하기로 한다.

Table 9. Result of direct shear test and triaxial compression test comparison

Place name	angle of shear resistance ϕ		strength decrease ratio, $C \tan \phi_t = \frac{\tan \phi_d}{C}$
	large direct shear test	triaxial compression test	
Daho Park	41.5	33.5	1.33
Dosan Mt.	41.9	37.4	1.17

여기서,

ϕ_d : 직접전단시험으로 구한 ϕ 값

ϕ_t : 삼축압축전단시험으로 구한 ϕ 값

C : 감소계수 (1.17~1.33)

Table 10. Shear strength of compaction scoria (C = 1.3)

Place name	ϕ_t	ϕ_d	ϕ_{md}
Jimi Mt.	33.8°	64.54°	58.24°
Gomun Orum	31.4°	49.96°	42.47°
Worang Mt.(A)	27.27°	52.53°	45.10°
Daho Park	33.5°	55.77°	48.51°
Worang Mt.(B)	31.92°	61.72°	55.03°
Dosan Mt.	37.4°	56.66°	49.46°
Andol Orum	27.86°	67.63°	61.85°
Worang Mt.(C)	22.21°	59.53°	52.59°

Table. 10은 자연상태 송이의 전단저항각과 대형직접전단시험결과에 강도감소계수 C값을 적용하였을 경우 다짐시료에 대한 송이의 수정 내부 마찰각을 나타낸다.

(4) 송이의 화학성분과 전단강도 분석

송이의 화학적 조성을 보면 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 가 그 함량이 70%이상을 차지한다. 송이

의 화학적 조성과 자연 상태의 시료 내부마찰각의 관계를 Fig. 10~Fig. 12 나타내었다.

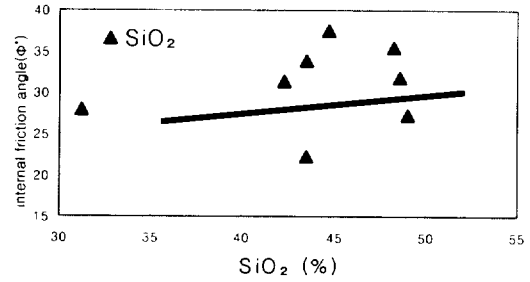


Fig. 10. Relationship between internal friction angle and oxide(SiO_2).

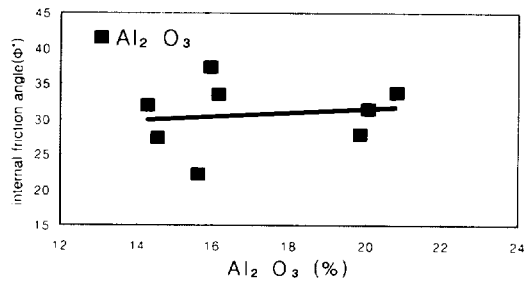


Fig. 11. Relationship between internal friction angle and oxide(Al_2O_3).

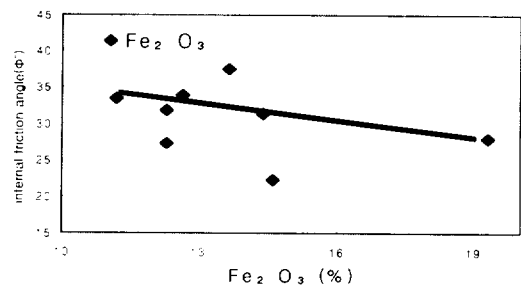


Fig. 12. Relationship between internal friction angle and oxide(Fe_2O_3).

실험결과를 토대로 송이의 전단강도를 Table. 11과 같이 제안 하였다. 현장 적용성 등을 고려하여 송이의 구분은 색깔로 하였으며, 색깔이 혼합되어 있을 경우 평균값을 적용하여 내부 마찰각의 범위를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

다짐 송이의 전단강도는 자연 상태 송이의 전단시험 결과에 비하여 크게 상승함을 알 수가 있다. 일부 다짐 송이의 경우 풍화암보다 더욱

강한 진단 특성을 보이기도 하였다.

Table 11. Proposal of color in relation to scoria internal friction angle

Color	internal friction angle	special
Brown	24°~28°	Fe ₂ O ₃ much inclusion, influence is small of Cu
Red	28°~36°	influence is much of Cu
Block	33°~38°	Al ₂ O ₃ much inclusion, Cu Is influence

자연 상태의 송이의 경우 일반사질토와 유사하였으며, 변성계수의 경우 사질토에 비하여 현저히 작은 점성토와 유사한 값을 보였다. 그러나 다짐을 통하여 진단특성, 변형특성 등이 크게 증가하여, 다짐 풍화토와 유사하거나 다소 더 큰 강도특성을 보임을 알 수 있다.

다짐송이의 경우도 자연상태의 송이와 같이 색깔(화학적조성) 및 입도에 따라 서로 다른 특성을 보인다.

송이의 강도는 검은색, 적색, 암회색, 황갈색 순으로 나타나고 있다. 그러나 현장 시공과정에 경우에 따라서는 적색 송이가 검은색 송이와 같은 강도를 나타내는 경우도 있다. 송이의 색상에 따른 강도특성은 그 화학적 조성 성분과 관계되는 것으로 사료된다.

짧은 쇄석다짐말뚝 공법의 적합성

실내실험을 통한 검토

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

트 등이 사용되어지기도 한다.⁴⁾

앞에서 연구한 송이의 강도특성을 간략하게 요약하면 Table. 12와 같다.

Table. 12에서와 같이 대상지반으로써 송이 지반은 Geopier의 한계지반조건인 이탄토, 폐기물 매립토 등의 지반에 비하여 월등히 우수한 지반임을 알 수 있다.

Table 12. Special of scoria

State of scoria	internal friction angle	modulus of elasticity	special
natural	24°~38°	2.4~8.1 kg/cm ²	strength's influence is large with chemical component ratio of scoria
compaction	42°~61°	-	Yellow-Brown < Red-Brown < Dark-Grey

또한, 본 연구에서 검토한 자연 상태 및 다짐 상태의 송이의 강도특성은 Geopier 공법의 설계 자료로 적용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

현장 지반조사를 통한 검토

지반내의 송이층의 형성을 현장조사를 통하여 검토하였다.

(1) 조사방법

시추방법은 NX 규격으로 회전수세식 굴진 방식에 따라 진행되었다.

(2) 조사결과

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

또한 다짐상태의 송이의 강도 역시 다짐쇄석의 강도에 거의 비견됨을 알 수 있다. 따라서

Geopier공법의 대상지반으로써 송이지반은 큰 문제가 없을 것으로 판단되며, Geopier 공법의 기둥형성에 사용되는 골재로써 송이의 사용에도 적절한 송이(예; 적갈색 암회색의 적절한 입도의 송이)의 사용시에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

(3) 검토

충적층은 송이층이 풍화된 지역으로 자갈층의 경우 사실상 송이지반의 특성을 가지고 있다고 하겠다. 대부분의 조사지역에서 평균 1m 두께의 송이층과 약 평균 3m 두께의 자갈층(다소 풍화된 송이층)이 관측되었다. 점토질 자갈의 경우 N치는 5~50회의 범위로 느슨~매우 조밀한 상대밀도의 범위이며, 송이층의 경우 코어로 산출될 정도로 볼링홀을 유지할 수 있었다.

결 론

제주도 화산지층에서 쇄석다짐말뚝의 적합성에 관한 연구를 위하여 6개 지점의 8가지 송이 시료를 채취하여 시험을 실행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제주도 지반의 화산쇄설물인 송이에 대한 화학성분과 내부마찰각을 검토한 결과 SiO_2 나 Al_2O_3 의 성분이 많을수록 내부마찰각이 크고 Fe_2O_3 성분이 많을수록 내부마찰각이 작다.
2. 송이에 대한 다짐시험결과 검정색 계통이나 적색계통은 다짐효과가 좋고 체적함수비가 낮게 나온것에 반하여 황색계통은 다짐곡선이 완만하여 다짐효과가 적고 체적함수비가 높은 것으로 나타났다.
3. 재료의 직접전단 시험결과에 대한 수정전단각이 1개의 재료를 제외하고는 $45.10^\circ \sim 58.24^\circ$ 로 짧은 쇄석다짐말뚝공법에서 제시한 전단저항각 $48.84^\circ \sim 52.2^\circ$ 로 별 차이가 없어 재료로서 만족한 것으로 나타났다. 검은색, 적색, 적갈색, 암회색을 띄는 다짐송

이의 내부마찰각은 다짐쇄석의 내부마찰각과 유사하였으며 Geopier 공법의 기둥형성에 사용되는 골재로써 적용 가능할 것으로 판단된다. (하부골재로써의 사용성 여부는 대상지반의 특성에 따라 검토가 필요)

4. 제주시 노형동에서 오거로 직경 450mm, 깊이 8~10m로 굴착이 가능하였고, 함몰발생이 없었다. 제주도의 지질특성상 화산회토층이 반복적으로 형성되고 있어 짧은 쇄석다짐말뚝을 위한 다짐을 하여도 함몰량이 많지 않아 다짐말뚝공법이 가능한 것으로 판단된다.
5. 보링시 나오는 송이 또는 굴착공 내부에서 다짐시 함몰 부분에 송이가 포함되어도 다짐송이의 강도가 다짐쇄석의 강도와 유사함을 고려할 때, Geopier 공법의 기둥형성에 사용되는 골재로써 송이를 사용해도 충분히 가능하다고 판단된다. 즉 송이가 Geopier공법의 골재로 사용됨으로써 골재의 확보에 유리한 점이 크다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. 남정만. 2000. 제주도지반의 공학적 특성. 한국지반공학회 암반역학위원회 논문집, pp. 171-182.
2. 남정만 · 고호성. 2003. 제주도 화산지층에서 짧은 쇄석다짐말뚝의 적합성에 관한 연구 보고서, pp. 5-20.
3. 서창민. 2001. 대형 직접전단시험기를 이용한 송이의 강도특성에 대한연구, pp. 1-43.
4. 오동일. 2003. 제주도 화산쇄설물(송이)의 강도특성에 관한 연구. 한국도로포장학회 논문집, 5(4): 38-46.
5. 원종관. 1975. 제주도의 형성과 화산활동에 관한 연구. 건국대학교, 이학논총 제1집.
6. 윤 선 · 고기원 · 김인택. 1995. 제주도 형성사. 제주도지, 98: 148-164.
7. 지반공학 시험법 및 응용. 1997. 世進社.