

NSC를 첨가한 소일시멘트의 일축압축강도

Unconfined Compressive Strength of Soil Cement Mixed with NSC

김 병 일^{*1} Kim, Byoung-Il
김 영 옥^{*2} Kim, Young-Uk
이 승 현^{*3} Lee, Seung-Hyun

Abstract

Soil cement which is a mixture of soil, cement, and water has a broad range of applications since it is economical, ecological, and easy to use, repair, and reinforce. Its applications include pavements, stabilization of slopes, retaining walls, and improvements of soft ground to name a few. Other types of chemicals are often added to increase its strength. This study investigated unconfined compressive strength of cured soil cement mixed with New Soil Chemical(NSC). The investigation involved laboratory experiments under various conditions including soil type, cement content, and ratios of water to NSC. Results of the study show that NSC enhanced the unconfined compressive strength significantly, and the degree of enhancement was varied with test conditions.

요 지

일반 흙에 시멘트, 물 등을 배합하는 소일시멘트는 보수, 보강이 쉬우며, 경제적이고, 자연 친화적이기 때문에 도로 포장, 사면보호, 흙막이 벽체, 연약지반 개량 등 여러 분야에 활용되고 있으며, 최근에는 소일시멘트의 강도를 증가시키기 위해 특수 혼화재료를 섞어서 사용하는 경우가 많아졌다. 이 연구에서는 혼화재료인 NSC(New Soil Chemical)를 섞은 소일시멘트의 일축압축강도를 측정하는 실험을 수행하였으며, 흙 종류, 시멘트 함량, NSC 혼합비에 따른 일축압축강도의 변화 양상을 파악하고자 하였다. 연구결과 NSC 용액은 흙종류에 따라 차이는 있으나 일축압축강도를 상당히 증진시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

Keywords : New soil chemical, Soil cement, Unconfined compressive strength

1. 서 론

1920년대 Ohio 주립 도로국에서 도로 노반용 흙의 강도를 증진시키기 위하여 도로 주변의 흙과 시멘트를 혼합하여 사용한 이후 소일시멘트(soil cement)는 도로 포장뿐만 아니라 사면보호, 흙막이 벽체, 연약지반 개량 등 여러 분야에 활용되어 사용되고 있다(ACI Committee 230, 1994 ; PCA, 1988). 일반 흙에 시멘트, 물 등을 배

합하는 소일시멘트는 배합비에 따라 저장도부터 고강도까지 발현 가능한 일종의 콘크리트로서 기존의 콘크리트와는 달리 상대적으로 높은 탄성력을 지녔으며(Marchall, 1954), 자연상태의 흙을 주원료로 하는 만큼 경제적인 동시에 자연 친화적이라고 할 수 있다. 소일시멘트는 주로 미국을 중심으로 도로 포장용으로 많이 사용되어 왔으며, 현재 미국과 캐나다 등지에서 대단위 도로포장용 재료로 널리 사용되고 있다(HRB, 1961

*1 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Myongji Univ., bikim@mju.ac.kr)

*2 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Myongji Univ.)

*3 정회원, 선문대학교 토목공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., SunMoon Univ.)

; Joint Departments of the Army and Air Force, 1994 ; PCA, 1978).

또한, 소일시멘트 포장은 공원 광장, 산책로, 농로, 자전거 전용도로, 주차장 등에 매우 적합한데, 주로 사용되고 있는 기존의 콘크리트 포장이 강도면에서는 우수하나 균열 또는 파괴시 보수, 보강이 어려우며, 미관상으로도 좋지 못하기 때문이다. 한편, 소일시멘트의 강도를 증가시키기 위해 특수 혼화재료를 섞어서 사용하는 경우도 많다(Wang et al., 1976).

이 연구에서는 혼화재료인 NSC(New Soil Chemical)를 섞은 소일시멘트의 일축압축강도를 측정하는 실험을 수행하였으며, 흙 종류, 시멘트 함량, NSC 혼합비에 따른 일축압축강도의 변화 양상을 파악하고자 하였다.

2. 사용 재료

2.1 NSC 용액 및 시멘트

NSC(New Soil Chemical) 용액은 알칼리 금속, 탄소

족, 질소족, 할로젠족, 철 등의 각 원소를 적절히 화합시킨 무기계 화합물로 물과 같이 섞어서 사용하며, 일본에서 그 우수성을 입증받은 바 있는 특수 고화처리제로서, $SiCl_4$, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $CaCl_2$, NH_4OH , $MgCl_2$, Fe_2CO_3 , H_2O 성분으로 구성되어 있다. NSC 용액은 보라색 액체로 비중이 1.1(25℃일 때)이고, 끓는 점은 97.5℃이다. 시멘트는 세계각국에서 건설, 건축 등 여러 분야에서 광범위하게 쓰이고 있는 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement)를 사용하였다.

2.2 사용 흙

시험에는 충청북도 청원군 지역에서 채취한 화강풍화토와 용인 인근의 야산에서 채취한 산토를 자연건조시킨 후 사용하였다. 흙의 기본 물성은 표 1과 같으며, 입도분포곡선은 그림 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 세립분 함량이 화강풍화토는 12.4%, 산토는 2%이며, 입도분포곡선의 형태는 두 흙이 유사한 것으로 나타났다.

표 1. 시험에 사용된 흙의 기본 물성

시료	비중	#200체 통과율(%)	균등계수	곡률계수	액성한계(%)	소성한계(%)
화강풍화토	2.66	12.4	8.62	0.89	25.4	NP
산토	2.61	2.0	5.54	0.96	NP	NP

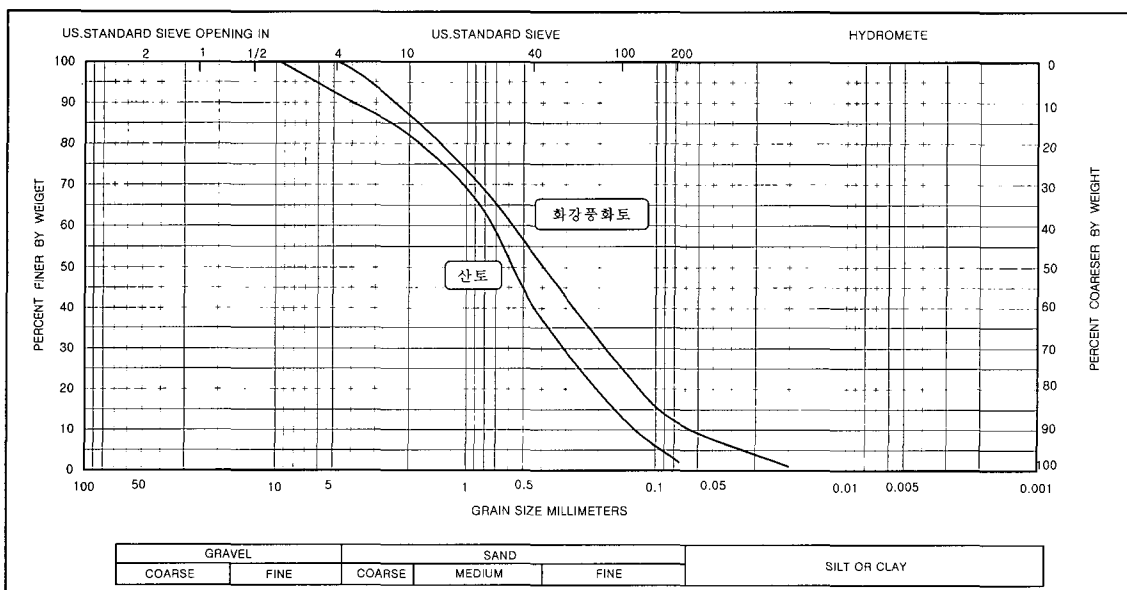


그림 1. 입도분포곡선

3. 공시체 제작 및 일축압축시험

3.1 배합 조건

소일시멘트는 여러 재료들의 배합비율에 따라 강도가 좌우되므로 이 연구에서는 두 가지 종류의 흙에 대하여 표 2 및 표 3과 같이 배합하여 공시체를 제작, 일축압축 강도를 측정하였다. 표 2 및 표 3에서 보는 바와 같이 시멘트 함량이 강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 흙량을 942kg으로 일정한 상태에서 시멘트량을 200~350kg까지 50kg씩 변화시켜 배합하였다. 물/시멘트비는 각각의 배합조건에 따라 달리 하였는데 이는 작업능률 및 강도를 고려하여 슬럼프값을 5~7cm로 하기 위해서이다.

표 2에서 보는 것처럼 화강풍화토에 대한 배합 조건

은 총 8가지이며, 압축강도는 1주, 2주, 4주, 8주 강도를 각각 3회씩 측정하여 평균하였다. 따라서, 화강풍화토에 대한 공시체 수는 $8 \times 4 \times 3 = 96$ 개이다.

산토의 경우도 배합 조건은 표 3과 같이 총 8가지이나, 압축강도는 1주, 2주, 4주 양생기간에 대해 각각 3회씩 측정하였다. 따라서, 산토에 대한 공시체 수는 $8 \times 3 \times 3 = 72$ 개이다.

한편, NSC 용액: 물 비율이 강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 화강풍화토에 대하여 NSC 용액: 물 비율을 표 4와 같이 4가지로 변화시켜가며 실험하였다. 이때, 시멘트량과 흙량을 각각 200kg과 1200kg으로 일정하게 하였다. 표 4에 나타낸 4가지 배합분류 조건에 대하여 1주, 2주, 4주의 일축압축강도를 구하였는데 동일한 조건에 대한 일축압축시험을 3회 실시하여 그 평균

표 2. 화강풍화토의 배합조건

배합분류	슬럼프값(cm)	물/시멘트 비(%)	NSC:물	단 위(kg)			
				화강풍화토	시멘트	NSC 용액	물
A1	6	147	1 : 15	942	200	19.5	293
			-			0	
A2	6	118	1 : 15	942	250	19.7	296
			-			0	
A3	7	101	1 : 15	942	300	20.1	302
			-			0	
A4	7	90	1 : 15	942	350	20.9	314
			-			0	

표 3. 산토의 배합조건

배합분류	슬럼프값(cm)	물/시멘트비(%)	NSC:물	단 위(kg)			
				산토	시멘트	NSC 용액	물
B1	7	51	1 : 15	942	200	6.7	101
			-			0	
B2	6	42	1 : 15	942	250	7.1	106
			-			0	
B3	7	38	1 : 15	942	300	7.6	114
			-			0	
B4	7	36	1 : 15	942	350	8.3	125
			-			0	

표 4. NSC 용액:물 비율에 따른 배합조건(화강풍화토)

배합분류	슬럼프값(cm)	물/시멘트비(%)	NSC:물	단 위(kg)			
				화강풍화토	시멘트	NSC 용액	물
C1	5	200	0	1200	200	0	399
C2	7	173	1 : 15	1200	200	23	345
C3	7	164	1 : 10	1200	200	32.8	328
C4	6	150	1 : 5	1200	200	60	300

값을 일축압축강도값으로 하였다. 따라서 공시체 수는 $4 \times 3 \times 3 = 36$ 개이다.

3.2 공시체 제작

공시체 제작은 콘크리트 공시체 제작방법(KS F 2403)을 따랐으며, 지름 10cm, 높이 20cm의 몰드를 사용하여 제작하였다. 공시체 제작시 봉다짐을 실시하게 되는데 봉다짐 숙련도에 따라 압축강도가 영향을 받으므로 한 사람이 봉다짐을 하도록 하였으며, 제작된 공시체는 온도 변화가 작은 실내에서 천을 덮어 보관하면서 일정 시간 간격으로 수분을 공급하여 양생하였다.

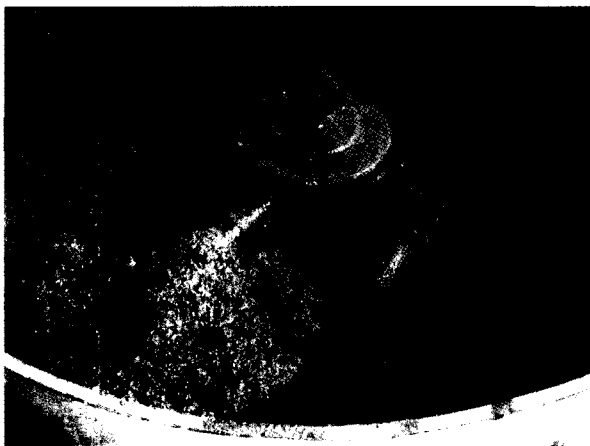


사진 1. 배합과정

압축강도 시험은 100ton 용량의 일축압축시험기를 사용하여 KS F 2405 규정에 따라 실시하였다. 사진 1은 믹서기를 이용한 배합과정이며, 사진 2는 압축강도 시험 후 얻어진 대표적인 공시체의 파괴 형태이다.

4. 일축압축시험 결과 및 분석

4.1 일축압축시험 결과

화강풍화토 및 산토에 대한 시멘트량 및 NSC 용액 첨가 여부에 따른 일축압축시험 결과는 표 5와 같다. 또한, 화강풍화토에 대해 NSC : 물 비율을 바꿔가며 시험

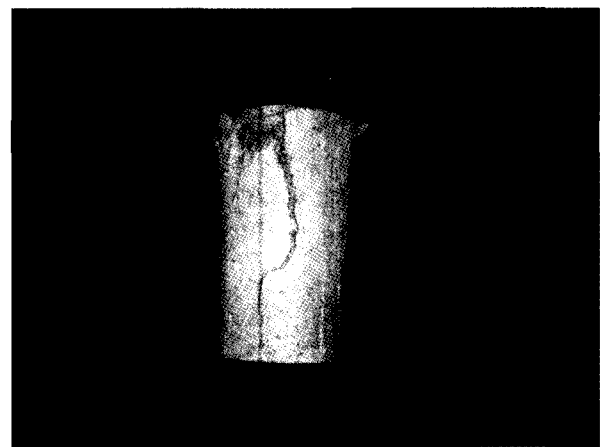


사진 2. 파괴 형태

표 5. 각 배합조건별 양생기간에 따른 일축압축강도

배합분류	NSC첨가 여부	평균 일축압축강도 (kg/cm ²)			
		1주	2주	4주	8주
A1	○	19.5	25.1	33.5	43.3
	×	21.3	27.2	31.0	33.1
A2	○	37.8	53.5	70.0	72.6
	×	27.0	38.3	48.4	48.8
A3	○	55.6	79.8	99.4	106.2
	×	41.2	70.5	72.2	78.1
A4	○	67.5	87.1	118.1	121.0
	×	64.1	88.3	90.0	91.3
B1	○	72.2	86.6	110.4	-
	×	69.6	88.8	106.6	-
B2	○	80.3	124.8	134.6	-
	×	75.2	110.8	122.3	-
B3	○	110.4	149.0	163.5	-
	×	101.9	143.1	147.8	-
B4	○	145.6	178.8	190.2	-
	×	129.9	165.2	177.1	-

표 6. NSC:물 비율에 따른 일축압축강도

배합분류	화강 풍화토량	시멘트량	NSC:물	평균 일축압축강도(kg/cm ²)		
				1주	2주	4주
C1	1200kg	200kg	-	10.6	21.2	27.2
C2	1200kg	200kg	1:15	11.9	22.9	31.4
C3	1200kg	200kg	1:10	14.9	35.2	39.1
C4	1200kg	200kg	1:5	16.6	40.7	45.4

한 일축압축시험 결과는 표 6과 같다. 표 5 및 표 6의 일축압축강도는 각 배합 조건 및 양생기간에 대하여 3회씩 실시한 값을 평균한 것이다.

4.2 NSC 용액이 일축압축강도에 미치는 영향

그림 2는 화강풍화토에 대한 시험결과를 정리한 것이다. A1~A4의 배합으로 8주까지의 일축압축강도를 측정하였는데 A1(시멘트량 200kg)배합의 경우, 초기에는 NSC 용액을 첨가하지 않은 경우가 더 큰 강도를 나타냈는데 시간이 지날수록 NSC 용액을 첨가한 경우가 더 큰 강도를 나타냈다. A2(시멘트량 250kg), A3(시멘트량 300kg), A4(시멘트량 350kg)의 경우는 A4의 2주 강도를 제외하고는 NSC 용액을 첨가한 경우가 더 큰 강도를 보였다. 같은 배합조건에 대하여 NSC를 첨가하지 않은 경우는 대체로 2주 일축압축강도가 8주 압축강도와 비슷함을 알 수 있고 NSC를 첨가한 경우는 4주까지 압축강도가 지속적으로 증가하여 8주 압축강도와 비슷해짐을 알 수 있는데 이러한 경향들은 시멘트량이 많아질수록 뚜렷해짐을 알 수 있다. 따라서, NSC를 첨가한 경우에는 NSC를 첨가하지 않은 경우에 비하여 양생기간 2주를 지나서도 꾸준히 강도증가가 발생함을 알 수 있다.

표 7은 A1~A4 배합조건에 대해 NSC 용액을 첨가했을 때의 일축압축강도($q_{u(NSC)}$)를 NSC 용액을 첨가하지 않았을 때의 일축압축강도(q_u)를 기준으로 나타낸 것이다. 표 7에서 전반적으로 NSC 용액을 첨가한 경우의 일축압축강도가 큰 것을 알 수 있으며, 특히 A2(시멘트량 250kg)의 경우 양생기간에 따라 40~49%의 강도 증가가 있음을 알 수 있다. 일반적인 기준인 4주 강도를 비교하면 NSC를 첨가하는 경우가 NSC를 첨가하지 않은 경우에 비해 8~45% 강도가 더 큰 것으로 나타났다.

산토에 대한 시험결과는 그림 3과 같다. B1~B4의 배합으로 4주까지의 압축강도를 측정하였는데 B1배합의 2주째를 제외하고는 모두 NSC 용액을 첨가한 경우

표 7. 화강풍화토의 NSC 용액 첨가 여부에 따른 일축압축강도 비교

양생기간	$q_{u(NSC)}/q_u$ (%)				
	A1	A2	A3	A4	평균
1주	92	140	135	105	118
2주	92	140	113	99	111
4주	108	145	138	131	130.5
8주	131	149	136	132	137

* $q_{u(NSC)}$: NSC를 첨가했을 때의 일축압축강도
 q_u : NSC를 첨가하지 않았을 때의 일축압축강도

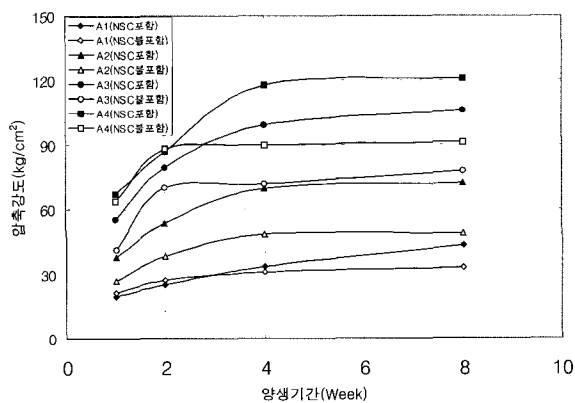


그림 2. 화강풍화토에 대한 일축압축강도 시험결과

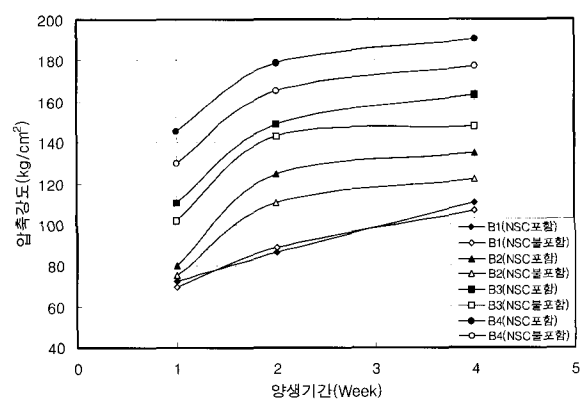


그림 3. 산토에 대한 일축압축강도 시험결과

표 8. 산토의 NSC 용액 첨가 여부에 따른 일축압축강도 비교

양생기간	$q_{u(NSC)}/q_u$ (%)				
	B1	B2	B3	B4	평균
1주	104	107	108	112	107.8
2주	98	113	104	108	105.8
4주	104	110	111	107	108

* $q_{u(NSC)}$: NSC를 첨가했을 때의 일축압축강도
 q_u : NSC를 첨가하지 않았을 때의 일축압축강도

가 더 큰 강도를 나타냈다. 산토의 경우 양생기간에 따른 강도증가는 화강풍화토에 비해 뚜렷한 경향을 찾을 수 없다.

표 8은 B1~B4 배합조건으로 NSC 용액을 첨가했을 때의 압축강도를 첨가하지 않았을 때의 압축강도를 기준으로 나타낸 것이다. 거의 모든 경우에서 NSC 용액을 첨가하는 경우가 강도가 높은 것으로 나타났으며, B2의 경우 최대 13%의 강도 증가 효과가 있었다. 4주 강도를 비교할 때 NSC를 첨가한 경우가 NSC를 첨가하지 않은 경우에 비해 평균 4~11% 강도가 더 크게 나타나 산토

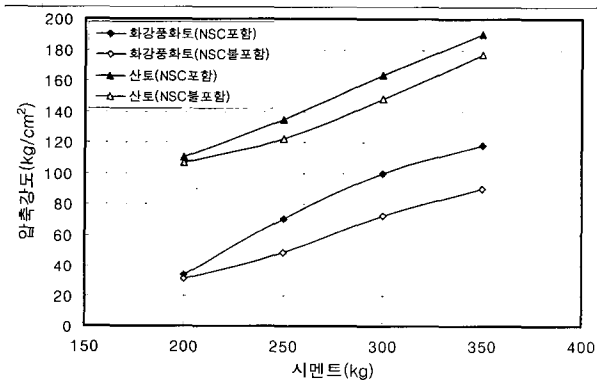


그림 4. 화강풍화토 및 산토의 시멘트량에 따른 4주째 일축압축강도

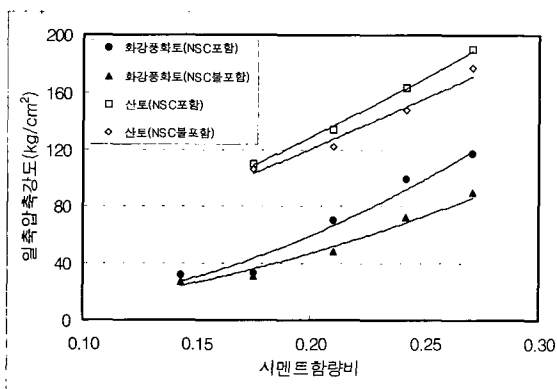


그림 5. 시멘트 함량비에 따른 일축압축강도

에 대한 NSC의 강도증가 효과는 화강풍화토에 비해 낮았다.

4.3 시멘트량이 일축압축강도에 미치는 영향

그림 4는 화강풍화토 및 산토의 4주째 일축압축강도를 시멘트량에 따라 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이 화강풍화토 및 산토 모두 시멘트량 증가에 따라 거의 선형적으로 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 그림 4에서 NSC 용액을 첨가한 경우의 일축압축강도가 NSC 용액을 첨가하지 않은 경우보다 강도가 더 큰 것을 알 수 있으며, 시멘트량 200kg에서 그 차이가 가장 작고, 시멘트량 250kg 이상에서는 흙 종류에 관계없이 NSC의 강도 증가효과가 거의 일정한 것으로 나타났다. 따라서, 주어진 배합비 조건에서 NSC를 경제적으로 사용하기 위한 시멘트량은 250kg이라고 할 수 있다.

한편, 그림 4에서 산토를 사용한 경우가 화강풍화토를 사용한 경우보다 소일시멘트의 일축압축강도가 더 큰 것을 알 수 있다. 이것은 산토의 물/시멘트비가 화강풍화토의 값보다 훨씬 작았기 때문인 것으로 생각되며, 화강풍화토의 풍화상태가 심하며, 입자 크기가 상대적으로 작고, 세립분이 산토에 비해 훨씬 많은 점도 영향을 미친 것으로 추정된다. 그림 5는 실험결과를 시멘트 함량비(시멘트 무게/전체 무게)에 따라 나타낸 것이다. 그림 5에서 시멘트 함량비가 커짐에 따라 소일시멘트의 일축압축강도가 증가함을 알 수 있다.

4.4 NSC : 물 비율이 일축압축강도에 미치는 영향

그림 6은 NSC 용액의 일축압축강도에 미치는 영향

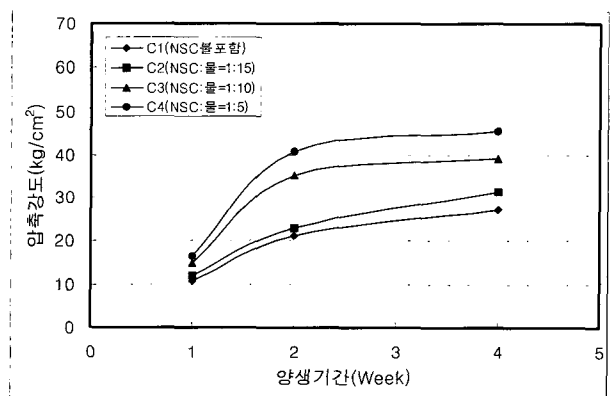


그림 6. 화강풍화토의 NSC : 물 비율 및 양생기간에 따른 일축압축강도

을 파악하기 위해서 1200kg의 화강풍화토에 시멘트양을 200kg으로 고정시키고 NSC 용액과 물의 비율을 4가지로 바꾸어 시험한 결과이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 NSC:물 비율이 커질수록 1, 2, 4주 양생기간 모두에 대하여 강도가 증가함을 알 수 있다. 2주까지의 양생기간에 따른 강도증가속도와 1주와 4주사이의 강도증가량 또한 NSC:물 비율이 클수록 커짐을 알 수 있다.

5. 결론

이 연구에서는 NSC가 소일시멘트의 압축강도에 미치는 영향을 알아보기로 화강풍화토와 산토에 여러 가지 배합조건의 시멘트와 NSC를 섞은 시료를 제작하여 일축압축시험을 수행하였으며, 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 화강풍화토 및 산토 모두 NSC를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 일축압축강도가 큰 것으로 나타났다. 4주 강도를 비교할 때 화강풍화토는 8~45%, 산토는 평균 4~11% 강도가 증가한 것으로 나타나 흙 종류에 따라 강도 증가효과에 차이가 있었다. 한편, NSC의 첨가여부에 관계없이 산토의 일축압축강도가 화강풍화토의 일축압축강도보다 큰 것으로 나타났는데 이것은 물/시멘트비가 산토의 경우 화강풍화토의 경우보다 작기 때문인 것으로 판단되며, 흙의 상대적인 입자크기, 입도분포, 세립분 함량도 영향을 미친 것으로 추측된다.
- (2) NSC 용액: 물 비율로 1:15를 사용하고, 흙량을 942kg으로 고정시킨 상태에서 시멘트량을 200kg, 250kg, 300kg, 350kg으로 바꿔가며 화강풍화토와 산토에 대해 시험한 결과 두 가지 흙 모두 시멘트량이 증가함에 따라 일축압축강도가 거의 선형적으로 증

가하는 것으로 나타났다. 또한, NSC 용액의 강도 증가효과는 흙 종류에 관계없이 시멘트량 250kg 이상에서는 거의 일정한 것으로 나타나 주어진 배합비 조건에서 NSC를 경제적으로 사용하기 위한 시멘트량은 250kg이라고 할 수 있다.

- (3) 화강풍화토에 대하여 NSC 용액: 물 비율을 NSC 불포함, 1:15, 1:10, 1:5 등으로 바꿔가며 시험한 결과, NSC 용액:물 비율이 증가할수록 강도가 커졌으며, 이러한 경향은 양생기간이 길어짐에 따라 더욱 확실하게 나타났다.
- (4) NSC 용액을 첨가한 화강풍화토의 일축압축강도는 약간이나마 양생기간이 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타나 NSC 용액이 장기 강도면에서 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 230(1994), "State-of-the-Art Report on Soil Cement", *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Materials and General Properties of Concrete*, American Concrete Institute, pp.230.1R-1-230.1R-23.
2. Highway Research Board(1961), "Soil Stabilization with Portland Cement", *Highway Research Board, Bulletin 292*, p.212.
3. Joint Departments of the Army and Air Force(1994), *Soil Stabilization for Pavements*, TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019.
4. Marchall, T. J.(1954), "Some Properties of Soil Treated with Portland Cement", *Symposium on Soil Stabilization*, Australia, pp.28-34.
5. Portland Cement Association(1978), *Soil-Cement Construction Handbook*, Engineering Bulletin No. EB003S, Skokie, p.40.
6. Portland Cement Association(1988), *Soil-Cement Slope Protection for Embankments: Construction*, Information Sheet No.IS167W, Skokie, p.12.
7. Wang, M. C., Moulthrop, K., Nacci, V. A., and Huston, M. T.(1976), "Study of Soil Cement with Chemical Additives", *Transportation Research Record No.560*, Transportation Research Board, pp. 44-56.

(접수일자 2002. 3. 6, 심사완료일 2002. 7. 5)