

배합조건이 시멘트혼합 사질토의 강도에 미치는 영향

Influence of Mixing Conditions on the Strength of Solidified Sandy Soils with Cement

유 찬* · 장 병 옥**
Yu, Chan · Chang, Pyung Wuck

Abstract

Laboratory experiment was performed to evaluate the influence of mixing conditions to the strength of solidified sandy soils with cement. The major physical factors considered in this experiment were the fine particles content (<#200 %), cement content (%) and water-cement ratio, and unconfined compressive strength test was performed on the samples at 7 and 28 cured day. The results of tests shows that when the cement content is relatively low (7~10 percents) the fine content in the sandy soils is very important, but when cement content is high the water-cement ratio became more important. It was appeared that in the range of the cement content of 7~10 percents, about 20~30 percents of fine content to the total sample weight is the optimum condition to get the maximum strength. In the case of the cement content of 13 percents, the strength of sample was considerably affected by the water-cement ratio rather than the fine content. In this paper, empirical equations were also developed and evaluated to verify the relationship among three factors by the multi-regression analysis.

I. 서 론

연약지반이나 문제지반을 개량한다는 것은 현지 흙을 용도에 따라 가장 경제적으로 이용할 수 있도록 설계하고 처리하는 것을 말한다. 그러나 흙의 종류는 다양하고 비균질한 성질을 가지고 있기 때문에 같은 공법을 적용해도 그 효과가 다르게 나타나는 것이 일반적이다. 따라서 공법 적용 시에는 실내시험과 과거의 경험을 종합적으로 분석하여 가장 경제적이고 효과적인 공법이 선택되고

있다. 화학적인 원리를 이용하여 흙의 성질을 개량하기 위한 노력은 일찍이 고대로마인이 석회를 혼합하여 처리한 것이 시초가 되어 2차 세계대전 이후부터는 급속히 진전되어 실용화되기 시작했다. 우리나라에서도 도로뿐만 아니라 흙담, 저수지, 방조제, 제방, 지하공사 및 터널등에 사용함으로써 그 효과가 인정되었다(강예목 등, 1975; 도덕현, 1979; 조진구, 1974; 국립건설연구소, 1969). 1970년대 유럽과 일본에서는 비슷한 시기에 교반 혼합방식에 의한 연약지 개량공법에 대해서 연구

*농업기반공사 환경복원 기획팀
**서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 고결공법, 배합조건, 물-시멘트비, 세립분함량, 시멘트첨가량

를 시작하여 실용화하였으며 현재까지 많은 발전을 이루면서 여러 현장에서 사용하고 있다. 1980년대까지는 세립토에는 석회 그리고 조립토에는 시멘트가 주로 사용되었으나, 최근에는 시멘트의 품질향상과 시공 장비들의 성능 향상으로 인하여 시멘트를 이용한 세립토의 효과적인 처리가 가능하게 되었다(Bergado et al., 1996; Ahnberg et al., 1994). 그러나 자연상태의 지반에 시멘트를 혼합하여 고결처리한 경우, 고결체는 재료의 성질, 시공방법, 현장조건 등에 따라서 현저하게 다른 성질을 나타내는데, 그 이유에 대해서는 아직까지 이론적으로 명확하게 설명하지 못하고 있다. 따라서 설계나 시공을 위한 각종 인자들은 실내 배합 실험의 결과에 의존하고 있는 실정이다.

이러한 문제점은 토질특성을 고려한 지속적인 연구와 시공 경험의 축적을 통하여 고결체의 안정성, 내구성, 또한 경제성을 분석하는 방식으로 개선해 나아가야 할 필요가 있다(セメント系固化工材規準檢討研究會, 1994).

따라서, 본 연구에서는 사질토에 보통 포틀랜드 시멘트를 혼합한 경우에서 시멘트 첨가량, 사질토에서 세립분의 함량, 그리고 물-시멘트비 등의 변화에 따른 처리토의 강도와 물리적성질의 변화양상을 관찰하고 각각의 인자들이 처리효과에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 이들 인자들 사이의 상호관계를 규명하여 고결공법의 적용시에 설계와 시공이나 다른 연구에 참고가 되도록 하였다.

II. 재료 및 시험방법

1. 재 료

본 연구에서는 전체 고결체의 조성에서 세립토의 함량과 시멘트의 첨가량이 고결효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반 건설공사에 사용되는 모래를 조립질로 하여 #200체를 통과한 Kaolinite를 사용하여 세립토 성분의 함량을 조절하였다. 각각의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 또한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 배합수는 일반 식수를 사용하였다.

Table 1 Physical properties of soil

type tes: item	Soil	kaolinite	sand
sieve analysis			
sand (2~0.074mm)		2	98
finer (0.074~0.005mm)		61	2
clay (below 0.005mm)		37	-
atterberg limit			
liquid limit		42.4	-
plastic limit		25.4	-
plastic index		17.0	N.P.
soil classification	USCS	CL	SW
specific gravity		2.61	2.55

2. 배합설계

배합설계시 모래는 표면건조 포화상태이고 kaolinite 함수비는 액성한계로 하였다. 배합비는 Table 2와 같이 시멘트는 총 흙시료의 습윤중량에 대해서 7%, 10% 13%를 첨가하였으며, 물-시멘트비는 0.8, 1.0, 1.2 3가지로 하였다. 한편 시료의 세립분 함량은 #200체를 기준으로 전체 시료중에 중량백분율로 10%, 20%, 30% 그리고 50%인 경우에 대해서 실험하여 총 36가지의 배합비로 각 10개의 공시체를 제작하였다. 모래와 세립토를 각 비율별로 혼합한 혼합토의 입도분포는 Fig. 1과 같다.

Table 2 Experimental Design

Factor	Level
Cement (%)	7, 10, 13
W/C ratio	0.8, 1.0, 1.2
Fine Contents (%)	10, 20, 30, 50

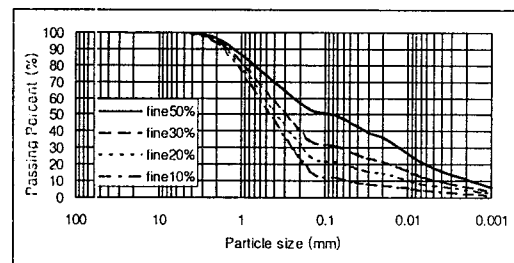


Fig. 1 Grain size distribution curves of mixed soil

3. 공시체 제작 및 실험

성형몰드는 P.V.C.관으로 높이 110mm, 직경 55mm로 제작하여 상하면을 사포로 잘 문질러서 수평이 되게 제작하였다. 배합표에 따라서 재료를 계량하여 모르타르 믹서에 투입한 후, 2분간 혼합해서 몰드에 투입하여 한쪽 끝을 비닐로 싸고 고무줄로 묶어서 공시체의 함수비가 변화되지 않도록 하였다(중앙대학교, 1996). 이때 자연상태에서 교반·혼합되는 경우를 가정하였으므로 별도의 다짐은 실시하지 않았다. 약 6시간후 시료추출기로 공시체를 몰드에서 추출하여 습윤양생기에 넣고 온도 23°C, 상대습도는 95% 이상 유지되도록 양생하여 재령 7일과 28일의 일축압축강도시험을 변형속도 2mm/min의 속도로 실시하였다. 일축압축강도시험은 만능재료시험기(universal testing machine, UTM)로 시행하였으며, 재령 7일과 재령 28일의 시료 각 5개씩 실험하여 그 값을 평균하였다. 압축강도시험을 시행한 후, 물리적 성질의 변화를 알아보기 위하여 파괴된 공시체를 분쇄하여 KS F 2308에 의한 흙의 비중시험을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

시멘트를 혼합하여 고결처리된 사질토에서 세립분의 함량, 시멘트 첨가량 그리고 물-시멘트비등이 강도발현에 미치는 영향을 실내배합실험을 통하여 파악하였으며, 재령 7일과 28일 경과시에 실시한 일축압축강도 시험결과는 Table 3과 Table 4와 같다.

Table 3에서는 재령 7일경과시 공시체의 일축압축강도(UCS: unconfined compression strength)는 18.7kgf/cm²~48.1kgf/cm²의 범위였으며, Table-4 재령 28일에서는 27.0kgf/cm²~83.8kgf/cm²의 범위에 있었다. 또한 재령 28일에서는 세립분 함량이 10%, 시멘트량이 13%이고, w/c가 0.8인 CASE 3일 때 일축압축강도가 가장 크게 나타났으며, 세립분 함량이 50%, 시멘트량이 7%이고, w/c가 1.2인 CASE 34가 가장 작은 것으로 나타났다.

Table 3 Test results of compressive strength at 7days

7days								
No.	CASE	qu (kgf/cm ²)	No.	CASE	qu (kgf/cm ²)	No.	CASE	qu (kgf/cm ²)
1	10: 7:0.8*	19.3	13	10: 7:1.0	19.0	25	10: 7:1.2	18.7
2	10:10:0.8	31.2	14	10:10:1.0	30.2	26	10:10:1.2	23.5
3	10:13:0.8	48.1	15	10:13:1.0	39.8	27	10:13:1.2	29.8
4	20: 7:0.8	31.4	16	20: 7:1.0	26.6	28	20: 7:1.2	24.0
5	20:10:0.8	34.8	17	20:10:1.0	32.2	29	20:10:1.2	25.8
6	20:13:0.8	42.9	18	20:13:1.0	37.0	30	20:13:1.2	28.4
7	30: 7:0.8	32.4	19	30: 7:1.0	30.0	31	30: 7:1.2	23.3
8	30:10:0.8	34.2	20	30:10:1.0	31.9	32	30:10:1.2	25.2
9	30:13:0.8	39.0	21	30:13:1.0	33.2	33	30:13:1.2	27.7
10	50: 7:0.8	25.2	22	50: 7:1.0	21.8	34	50: 7:1.2	19.9
11	50:10:0.8	31.0	23	50:10:1.0	26.0	35	50:10:1.2	24.7
12	50:13:0.8	32.6	24	50:13:1.0	32.3	36	50:13:1.2	27.6

Table 4 Test results of compressive strength at 28days

28days								
No	CASE	qu (kgf/cm ²)	No	CASE	qu (kgf/cm ²)	No	CASE	qu (kgf/cm ²)
1	10: 7:0.8	32.1	13	10: 7:1.0	30.8	25	10: 7:1.2	30.4
2	10:10:0.8	56.6	14	10:10:1.0	53.9	26	10:10:1.2	42.9
3	10:13:0.8	83.8	15	10:13:1.0	75.4	27	10:13:1.2	55.0
4	20: 7:0.8	52.9	16	20: 7:1.0	49.7	28	20: 7:1.2	45.0
5	20:10:0.8	60.7	17	20:10:1.0	55.1	29	20:10:1.2	48.0
6	20:13:0.8	76.9	18	20:13:1.0	64.7	30	20:13:1.2	54.9
7	30: 7:0.8	56.5	19	30: 7:1.0	48.5	31	30: 7:1.2	44.4
8	30:10:0.8	63.6	20	30:10:1.0	56.4	32	30:10:1.2	50.9
9	30:13:0.8	71.7	21	30:13:1.0	63.8	33	30:13:1.2	54.5
10	50: 7:0.8	40.6	22	50: 7:1.0	34.6	34	50: 7:1.2	27.0
11	50:10:0.8	56.0	23	50:10:1.0	54.1	35	50:10:1.2	48.3
12	50:13:0.8	63.4	24	50:13:1.0	61.0	36	50:13:1.2	52.4

(표에서 Mixing Ratio항은 첫 번째값이 세립분 함량, 중간값은 시멘트 첨가량, 그리고 마지막 값은 물-시멘트비를 나타내는 것이다.)

1. 시멘트 첨가량과 세립분 함량

Fig. 2는 동일한 시멘트 첨가량에서 세립분 함량의 변화에 따른 재령 7일과 재령 28일의 강도변화를 나타낸 것이다. 시멘트 첨가량이 7%와 10%인 Fig. 2(a)와 2(b)에서는 물-시멘트비에 따라서 강도는 약간의 차이가 있지만 세립분 함량이 증가함에 따라서 포물선 형태의 강도변화를 나타내었으며, 세립분 함량 20%~30% 사이에서 최대가

되었다. 그러나 시멘트 첨가량 13%인 Fig. 2(c)에서는 세립분 함량이 증가함에 따라서 강도는 감소되었으며, 특히 물-시멘트비 0.8과 1.0에서는 비교적 큰 강도감소를 나타내었다(재령 28일 : ●, ■, ▲, 재령 7일 : ○, □, △).

따라서 세립분 함량이 높은 경우, 물-시멘트비가 처리토의 강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 이러한 사실은 동일한 세립분 함량에서 시멘트 첨가량의 증가에 따른 강도 변화를 나타낸 Fig. 3에서 명확하게 알 수 있었다.

그림에서는 상대적으로 세립분 함량이 작은 Fig. 3(a)와 (b)에서 물-시멘트 비가 작아 질수록 시멘트 첨가량의 증가에 따른 강도의 증가가 현저한 것으로 나타났으나 세립분 함량이 30%인 Fig. 3(c)에서는 그 기울기가 일정해 지고 세립분 함량

이 50%인 Fig. 3(d)의 경우에는 오히려 기울기가 감소하는 경향을 나타내었다.

2. 물-시멘트비와 처리토의 강도

Fig. 4는 동일한 시멘트 함량에서 물-시멘트비의 변화가 처리토의 강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험결과를 정리한 것이다. 모든 그림에서는 물-시멘트비가 작은 경우가 강도가 큰 것으로 나타났다. 또한 시멘트 첨가량 10%인 Fig. 4(b)에서는 세립분 함량이 서로 달라도 물-시멘트비에 따른 강도 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 시멘트 첨가량이 10% 이상이면 세립분 함량보다 물-시멘트비가 강도발현에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

시멘트 첨가량 13%인 경우 물-시멘트 비 0.8과

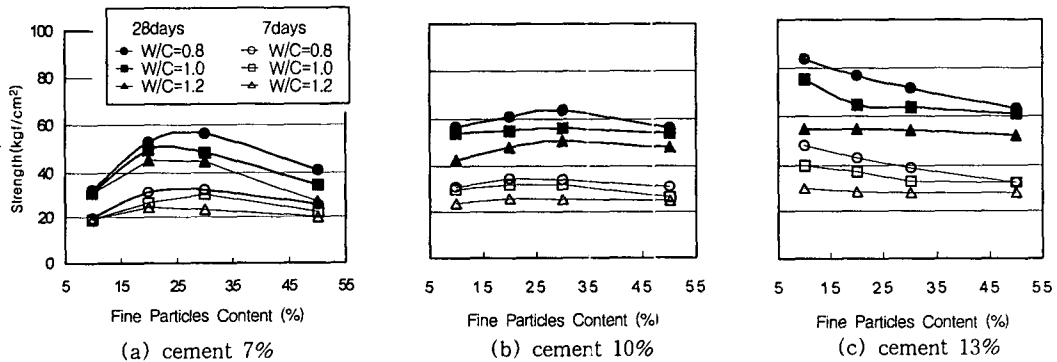


Fig. 2 The relationship between UCS and fine particles content

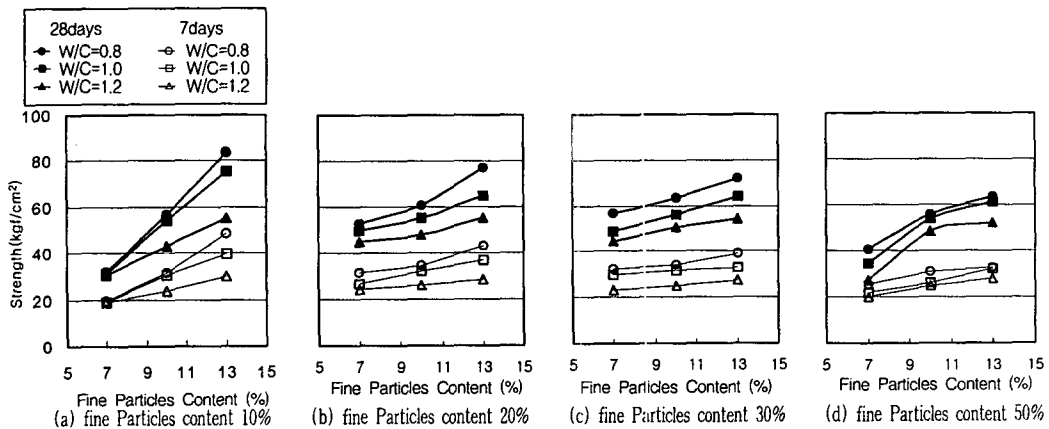


Fig. 3 The relationship between UCS and cement content

1.0에서는 세립분 함량에 따라서 강도의 차이가 발생하였으나 물-시멘트비 1.2에서는 세립분함량에 관계없이 강도가 거의 같게 나타나 이러한 경향을 뒷받침 해준다고 할 수 있다.

Fig. 5는 세립분 함량이 동일할 경우에 물-시멘트비와 강도발현의 관계를 나타낸 것으로 세립분 함량이 많아 질수록 강도가 작아지고 물-시멘트비에 따른 강도의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

이상에서 자연상태 지반의 강도 증진을 위하여 시멘트를 혼합하는 경우, 처리 대상토의 세립분 함량과 시멘트 첨가량 그리고 물-시멘트비 사이에서 밀접한 관계가 있으며, 시멘트 첨가량이 동일 하여도 원지반의 세립분 함량이나 시공시의 물-시멘트비에 따라서 현격한 강도의 차이가 발생할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

한편 세립분 함량이 작은 경우에는 소요의 강도

를 얻기 위해서는 일정량 이상의 시멘트 첨가량이 요구되며, 이때 물-시멘트비의 결정도 중요한 인자가 될 수 있다. 그러나 세립분 함량이 높은 경우, 대부분은 시공성을 위하여 일정량 이상의 물-시멘트비가 요구되므로 시멘트 첨가량의 조절로 강도를 증진시켜야 할 것으로 판단된다. 이는 Kunito의 연구결과와 같이 세립분 함량 10%~30%에서는 조립질토 사이의 공극을 채워주는 세립분이 부족한 상태에서 시멘트가 나머지 공극을 메꾸어 주면서 수화·응결작용을 하기 때문으로 해석되며, 세립분 함량 50%의 경우에서는 시멘트 첨가량 10%까지는 시멘트 성분이 빈 간극을 메꾸어 주어 강도 증진이 크지만 그 이상 시멘트가 첨가된 경우에는 세립토 성분의 과다한 증가로 배합이 균질하게 이루어질 수 없었기 때문에 추가된 시멘트가 고르게 섞이지 못하여 점차 강도 증진이 둔화되는

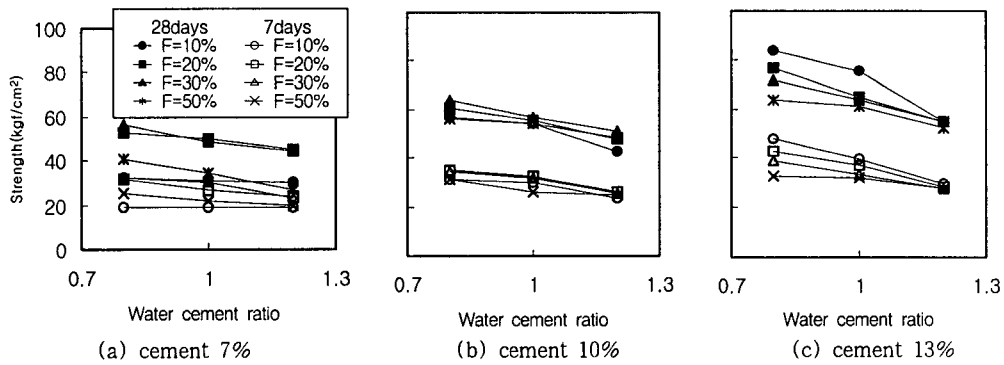


Fig. 4 The relationship between UCS and W/C ratio

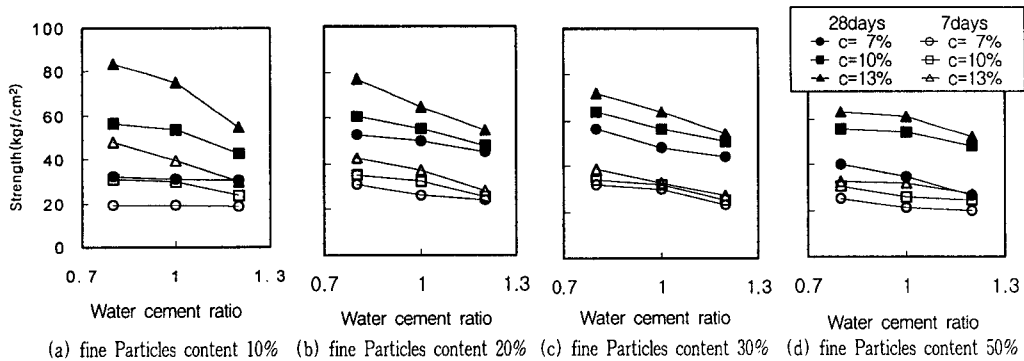


Fig. 5 The relationship between UCS and W/C ratio

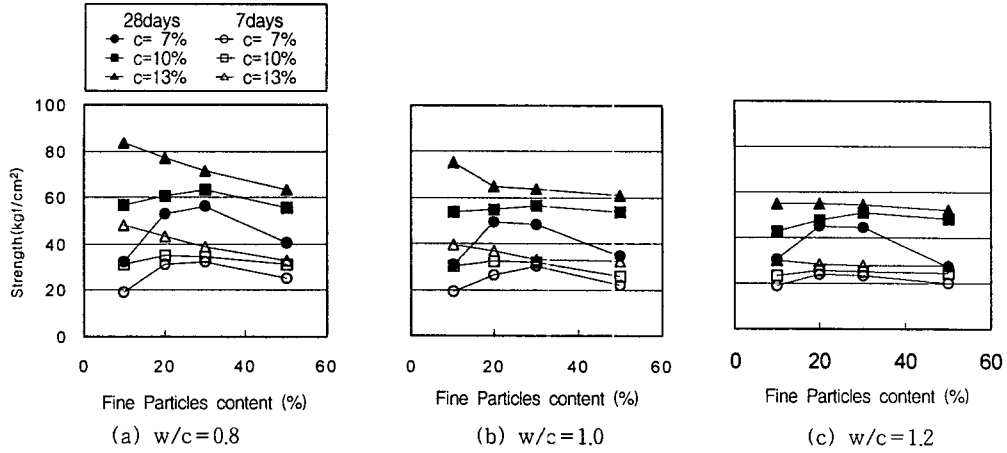


Fig. 6 The relationship between UCS and fine particles content

것으로 해석된다.

한편 실제 현장에 적용하기 위해서는 현장 여건을 고려한 분석이 함께 이루어져야 한다. 특히 현장 시공시에는 소요의 강도를 얻을 수 있는 최적의 물-시멘트비가 현장지반의 조건과 장비의 작업 능력등에 따라서 제한 받는 경우가 많다. 따라서 대부분의 경우에는 소요의 강도는 시멘트 첨가량에 의해서 결정되게 된다(セメント系固化工材規準檢討研究會, 1994).

Fig. 6은 이상의 실험결과를 물-시멘트비를 기준으로 다시 정리한 것으로 현장지반의 물리적 실험 결과를 이용하여 세립분 함량과 물-시멘트비에 따른 시멘트첨가량의 개략적 결정이 가능하다.

3. 다중회귀분석

이상의 결과들에서 보통 포틀랜드 시멘트로 고결처리된 사질토의 강도에 영향을 미칠 수 있는 3가지 인자(세립분 함량, 시멘트 첨가량, 물-시멘트비)들 사이에는 상호 상관성 분석이 가능하며, 이들 3가지 인자와 고결체의 강도사이의 관계를 다중회귀분석을 통해 식(1)과 같은 결과를 얻었다. 식 (1)은 각 인자에 대해 1차식으로 표현한 재령 7일과 28일의 선형다중회귀분석다항식이다.

$$q_{u7} = 55.3333 - 0.0697 \cdot S + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W \quad (1)$$

$$q_{u28} = 49.8614 - 0.0962 \cdot S + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W$$

여기서,

- q_{u7} : Unconfined compressive strength cured 7 days (kgf/cm²)
- q_{u28} : Unconfined compressive strength cured 28 days (kgf/cm²)
- S : Content of fine particles(< #200) (%)
- C : Content of cement (%)
- W : Water-cement ratio

식 (1)에서 재령 7일에 대한 자료의 표준편차는 3.646 그리고 회귀식의 상관계수는 85.5%, 결정계수는 73.1% 이었으며, 재령 28일에서는 표준편차는 6.666 그리고 회귀식의 상관계수 87.3%, 결정계수 76.1%으로 나타나 재령 28일에서 유의성이 더 높은 것으로 나타났다.

그러나, 세립분 함량에 따른 강도변화는 2차 포물선의 형태이므로 2차식으로 표현하면 더 높은 상관성을 갖는 회귀분석다항식을 구할수 있으며, 그 결과는 식(2)와 같다.

$$q_{u7} = 35.2208 - 0.0082 \cdot (S - 26.4756)^2 + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$q_{u28} = 51.0853 - 0.0177 \cdot (S - 27.9859)^2 + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W$$

식(2)에서 재령 7일에 대한 자료의 표준편차는 3.356 그리고 비선형 회귀식의 상관계수는 88.3%, 결정계수는 77.9%로서 선형 회귀식에 비해서 유의성이 향상된 것으로 나타났으며, 재령 28일에서 표준편차는 5.868, 비선형 회귀식의 상관계수는 90.6%, 결정계수는 82.1%로서 매우 높은 유의성을 갖는 것으로 나타나 사질토의 고결처리를 위한 강도에측을 위한 좋은 경험식으로 사용될수 있다.

4. 고결처리토의 물리적성질의 변화

고결처리토의 물리적성질의 변화를 알기 위하여 실험기간 중에 공시체의 단위중량과 비중의 변화를 측정하였다. Fig. 7은 배합조건에 따른 재령 7일과 28일의 비중값의 분포를 나타낸 것이다. 비중은 전체적으로 2.63~2.68에 분포하고 있다. 재령 7일에서는 시멘트 첨가량의 증가와 세립분 함량의 증가에 의해서 비중이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 재령 28일에서는 거의 일정한 값으로 낮아지는 것을 보이고 있다. 이는 양생기간 동안에 시멘트의 수화작용으로 시멘트의 비중이 낮아져서 전체적으로 일정한 값이 되는 것으로 해석된다(Chadda, 1970).

Fig. 8은 배합 조건에 따른 각 재령별 건조단위중량의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 재령 7일과 재령 28일의 두 분포곡선이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 그러나 배합조건에 따라서는 다른 양상도 나타났다. 즉 물-시멘트비가 증가함에 따

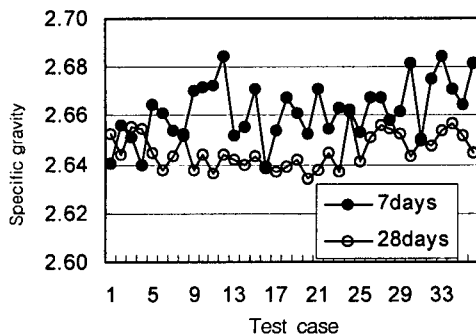


Fig. 7 Distribution of specific gravity

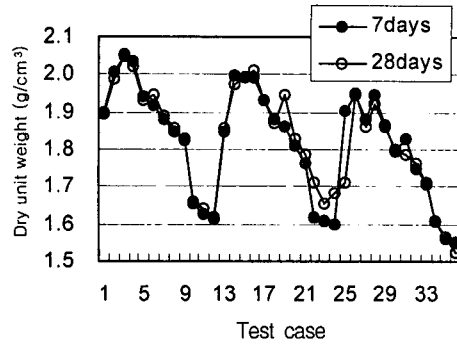


Fig. 8 Distribution of dry unit weight

라 거의 비슷한 크기로 건조단위중량이 감소하였고, 물-시멘트비가 0.8, 1.0일때 세립분 함량 10%, 시멘트 첨가량 13%에서 건조단위중량이 가장 크며, 물-시멘트비가 1.2에서는 세립분 함량 10%, 시멘트 첨가량 10%일때 가장 높은 값을 나타내어서 세립분 함량이 작고 시멘트 첨가량이 큰 경우가 건조단위중량이 큰 것으로 나타났다. 또한, Table 3과 Table 4의 강도와 건조단위중량의 분포를 비교하면 강도가 클수록 건조단위중량도 크게 나타나 전반적으로 큰 상관성이 나타나지 않았다.

IV. 결 론

사질토의 고결처리시에 세립분 함량, 물-시멘트비 그리고 시멘트 첨가량이 강도발현에 미치는 상호관계에 대하여 실내배합실험을 통하여 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시멘트 첨가량이 7%와 10%일때는 물-시멘트비와 관계없이 세립분 함량 20~30% 사이에서 가장 높은 강도를 나타내며 세립분 함량이 강도에 미치는 영향은 큰 것으로 판단된다. 그러나 첨가량 13%인 경우에는 세립분 함량과 물-시멘트비 모두 강도에 영향을 미치는 것으로 나타나 이 경우 두가지 인자 결정에 모두 주의를 기울여야 할 것으로 판단되었다.

2. 시멘트 첨가량에 관계없이 물-시멘트 비가 증가하면 강도는 감소하는 것으로 나타났다. 특히 물-시멘트비 1.2에서는 재령에 따른 모든 배합조

건에서 강도가 거의 유사하게 나타나 이 경우 시멘트 첨가량이 강도변화에 큰 영향을 주지 않으며, 따라서 물-시멘트 비가 1.2 이상인 경우에는 시멘트 혼합에 의한 사질토의 강도발현에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

3. 세립분 함량이 작거나, 물-시멘트비가 작은 경우에는 시멘트 첨가량의 증가로 인한 강도 증가율이 크며, 세립분 함량이 많은 경우에는 시멘트 첨가량의 증가가 강도 증진에 큰 기여를 하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 경우들에서는 경제성을 감안하여 소요의 강도를 얻기 위한 적절한 첨가량의 결정이 중요한 것으로 판단된다.

4. 세립분 함량 50% 이하의 사질토의 시멘트 고결처리에서 강도와 물-시멘트비, 시멘트 첨가량 그리고 세립분 함량에 대한 재령 7일과 재령 28일의 다중회귀분석결과는 높은 유의성을 가지면서 다음 식과 같은 관계를 가지는 것으로 나타났다.

$$q_m = 35.2208 - 0.0082 \cdot (S - 26.4756)^2 + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W$$

$$q_{28} = 51.0853 - 0.0177 \cdot (S - 27.9859)^2 + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W$$

5. 공시체의 강도와 건조단위중량은 비례하는 것으로 나타났으나 상관성은 적으며, 양생기간 중 비중은 재령 7일에서 2.64~2.68 그리고 재령 28일에서는 2.63~2.66으로 분산정도가 작고 일반 광물들이 나타내는 비중값의 범위를 나타내었다. 따라서 설계시 비중은 원지반값을 적용해도 큰 무리가 없을 것으로 판단하였다.

참 고 문 헌

1. 강예복, 김재영, (1975), 시멘트함량 및 다점합수비가 Soil-cement의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구, 한국농공학회지 제17권 제1호, p. 59~75
2. 도덕현, (1979), 첨가제에 의한 Soil-cement의 성질개량, 한국농공학회지 제21권 제1호 pp. 63~77
3. 조진구, (1974), Soil-cement의 물리적성질에 관한 연구, 한국농공학회지 제16권 제3호, pp. 69~74
4. 국립건설연구소, (1969), 흙의 안정 처리법, 기술지도서 24
5. 중앙대학교(1996), 초연약지반표층고화처리공법의 실용화 연구(II)
6. Alhashimi, K. & Chaplin, T. K. (1973). Geotechnique 23, No. 4, 541-550
7. Ahnberg, H., Holm, G., Holmqvist, L. and Ljungcrantz, C.(1994), The Use of Different Additives in Deep Stabilization of Soft Soils, XIII, ICSMFE, 1994, New Delhi, India, pp. 1191~1194
8. Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N. and Balasubramaniam, A. S.(1996), Soft Ground Improvement, ASCE press, pp. 234~304
9. Chacda, L.R. (1970), Phenomenon of Aggregation in the Stabilization of Soils with Cement, Indian Conc. J. Vol. 44, No.5
10. Dutron, M.M. and P.R. Cloes(1961), The Influence of Moisture Content and Compaction on the Strength of Soil Cement. Proc. of the 5th Int. Conf. on SM&FE 2, 22~234,
11. Filsofov, A.V.(1931), Effect of Portland cement of Properties of Clays, J. Appl. Che., 4, pp. 773-776
12. Kunito Seiko Kogyo Co., Ltd., 1-7-20 Nishihononachi, Nishiku, Osaka, 550, Japan Honda, Mashima and Hamasato Osaka City University, 3 Sugimoto, Sumiyoshiku, Osaka, 558, Japan
13. Norling, L.T.(1963), Standard Laboratory Test for Soil Cement Development, Purpose and History of Use, H.R.R. 36, PP. 1-5
14. セメント系固化工材規準検討研究會(1994), セメント系固化工材による地盤改良マニュアル -第二版-, セメント協會