

배합조건에 따른 고결사질토의 강도특성

The Strength Characteristics of Solidified Sandy Soils with Mixing Conditions

유찬¹⁾, Yu, Chan, 장병욱²⁾, Chang, Pyung Wuck, 이창노¹⁾, Lee, Chang No, 노광하¹⁾, Roh, Gwang Ha

- 1) 정회원, 건국대학교 농공학과
- 2) 정회원, 서울대학교 농공학과 교수

SYNOPSIS : Laboratory experiments were performed to evaluate the strength characteristics of solidified sandy soils by portland cement with mixing conditions. Factors considered in the experiments were the fine content(<#200, %), cement content(%) and water-cement ratio and unconfined compressive strength tests were performed on samples at 7 and 28 cured day. Results of tests showed that for a low cement content(7%~10%) the fine content was very important while for a high cement content the water-cement ratio was very important. For 7%~10% cement content, the optimum fine content which gained maximum strength was about 30%. But for 13% cement content, low fine content and water-cement ratio were more useful than others. In the multi regression analysis, significant equation was gained.

Key words : solidified sandy soils, percent fine, cement content, water-cement ratio

1. 서론

흙을 개량한다는 것은 현지 흙을 흙 구조물의 용도에 따라 가장 경제적으로 이용할 수 있도록 설계하고 처리하는 것이며, 그 방법으로는 입도의 조정과 같은 기계적인 방법과 어떤 첨가제를 가하는 화학적인 방법 그리고 흙의 함수량을 감소시켜서 흙의 성질을 개선하는 전기적인 방법등 여러 가지 방법이 고안되었다. 이 중에서 첨가제를 사용하여 화학적방법으로 흙의 성질을 개량하기 위한 노력은 일찍이 고대로마인이 석회를 혼합하여 처리한 것이 시초가 되어 2차대전이후에는 고속도로의 건설등으로 인하여 흙의 안정처리가 급속히 진전되어 실용화되기 시작했다. 도로공사에서는 오래전부터 기층재료인 쇄석을 얻기 어렵고 토질이 기층재료로 부적당한 경우, 현장부근의 흙에 시멘트를 적당히 혼합해서 쇄석 기층에 대용하여 이용하므로써 공사비면에서 많은 절감을 가져왔다(Chadda, 1970; Dutron and Cloes, 1961; Norling, 1963). 우리나라에서도 도로뿐만 아니라 흙댐, 저수지, 방조제, 제방, 지하공사 및 터널등에 사용하므로써 그 효과가 인정되었다(강예묵 등, 1975; 도덕현, 1979; 조진구, 1974; 국립건설연구소, 1969).

그 이후 1970년대 유럽과 일본에서는 거의 동시에 연약지반을 대상으로 교반혼합방식에 의한 개량공법에 대해서 연구하여 실용화하였으며, 오늘까지 많은 발전을 이루면서 사용되고 있다. 1980년대까지는 세립토에는 석회 그리고 조립토에는 시멘트가 주로 사용되었는데, 최근에는 시멘트의 품질향상과 시공장비의 비약적 발전으로 인하여 세립토에서도 시멘트로 효과적인 처리가 가능하게 되었다(Bergado et al., 1996; Ahnberg et al., 1994). 그러나 시멘트로 처리된 고결체의 역학적 성질에 영향을 주는 인자는 재료, 시공방법, 현장조건등 대단히 복잡하여 아직까지는 이론적으로 설명할 수 없는 실정이다. 따라서 고결 처리토의 역학적 성질은 자연히 실내배합실험의 실험값에 의존하여 어떠한 공사나 설계에 앞서 실내 배합실험을 실시하여 결과값을 얻어야만 설계와 시공이 가능하다.

이러한 문제점은 지속적인 연구와 시공경험을 통하여 고결체의 안정성, 내구성, 또한 경제성을 분석하여 개선해 나아가야 할 필요가 있다. 그러나 흙의 비균질성등으로 인해 도출된 결과들이 서로 현저히 다르게 나타나기 때문에 많은 어려움이 있으며, 현재에도 많은 연구와 실험이 발표되어 있지만 실제 사용하기엔 아직 부족함이 많은 듯 하다. 일본에서는 현장실험의 결과를 분석하여 자료를 발표한 경우가 있다(セメント系固化材規準檢討研究會, 1994).

따라서, 본 연구에서는 지금까지 국내외에서 연구되어온 결과를 바탕으로 교반혼합 방식에 의한 고결공법 적용시 유용하게 적용될수 있도록하기 위한 실험을 실시하였으며, 우선 입도조절이 가능한 사질토에 대해서 시멘트 첨가량과 사질토내에 포함되어 있는 세립분의 함량, 그리고 물-시멘트비의 변화에 따른 처리토의 강도와 물리적성질의 변화를 관찰하여 각각의 인자들이 처리토의 강도에 미치는 영향을 알아보고 이들 인자들 사이의 상호관계를 규명하여 고결공법의 설계와 시공이나 다른 연구에 참고가 되도록 하였다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 세립토는 #200체를 거의 통과하는 황색의 kaolinite를 구입하여 사용하였으며, 조립토로 사용된 모래는 일반적으로 건설공사에서 사용되는 잔골재를 구입하여 사용하였다. 각각의 물리적 특성은 Table 1과 같고 입도분포는 Fig. 1과 같다. 또한, 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 화학성분 및 물리적성질은 다음 Table 2와 같다. 배합수는 일반 상수를 사용하였다.

2.2 배합설계

각 배합설계에서는 초기조건을 같게 하기위하여, 먼저 모래는 표면건조포화상태의 시료로 준비하고 kaolinite는 액성한계상태의 함수비를 갖도록 배합수를 첨가하였다. 배합비는 Table-3과 같이 시멘트는 총시료의 습윤중량에 대해서 7%, 10% 13%를 첨가하였으며, 물-시멘트비는 0.8, 1.0, 1.2 3가지로 하였다.

Table-1. Physical properties of soil

		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

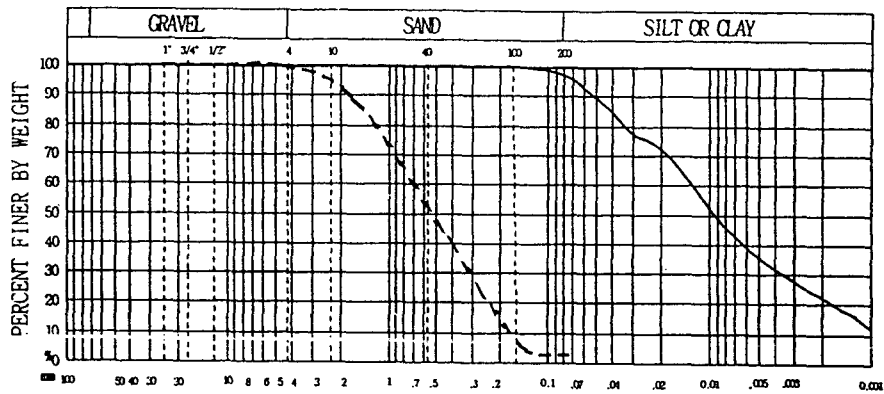


Fig.1 . Grain size distribution curves

Table-2. Chemical and physical properties of portland cement

Specific gravity	Chemical composition(%)						ignition loss (%)	insoluble residue (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
3.13	21.0~22.5	4.5~6.0	2.5~3.5	63.0~66.0	0.9~3.3	1.0~2.0	0.5~1.3	0.2~0.9

Table-3. Experimental Design

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

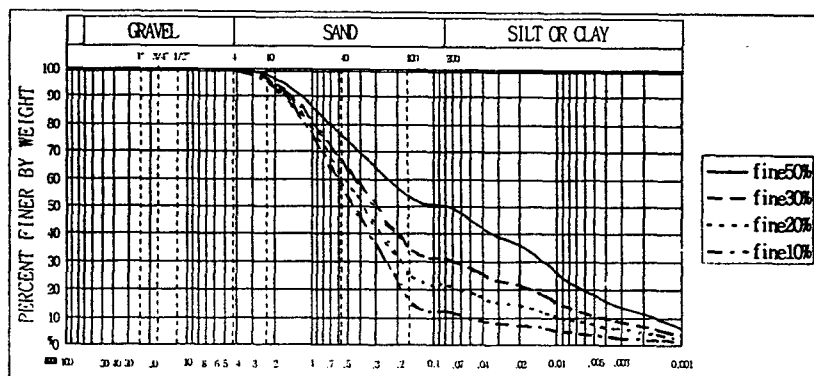


Fig. 2. Grain size distribution curves of mixed soil

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. 2와 같다.

2.3 공시체 제작 및 실험

몰드는 $\phi 55\text{mm}$ 의 P.V.C.관을 구입하여 높이 110mm로 자르고 사포로 잘 문질러서 상하면이 수평이 되게 만든 후, 한쪽부분을 비닐로 싸고 고무줄로 묶어서 공시체의 함수비가 변화되지 않도록 몰드를 준비하였다(중앙대학교, 1996). 배합표에 따라서 재료를 계량하여 모르타르 믹서로 2분간 비빈 후, 몰드에 투입하여 약 6시간후 시료추출기를 사용하여 공시체를 몰드에서 빼내어 습윤양생기에 넣었다. 이때 자연상태에서 교반혼합되는 경우를 가정하였으므로 별도의 다짐은 실시하지 않았다. 양생온도는 23°C , 상대습도는 95% 이상 유지되도록 양생하여 재령 7일과 28일의 일축압축강도시험을 변형속도 $2\text{mm}/\text{min}$ 의 속도로 실시하였다. 일축압축강도시험은 만능재료시험기(universal testing machine, UTM)로 시행하였으며, 재령 7일과 재령 28일에 각 5개씩 실험하여 그 값을 평균하였다. 압축강도시험을 시행한 후, 물리적 성질의 변화를 알아보기 위하여 파괴된 공시체를 분쇄하여 KS F 2308에 의한 흙의 비중시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

사질토에서의 세립분 함량이 시멘트 고결처리에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내배합실험을 실시하였으며, 이때 시멘트 첨가량과 세립분함량의 관계 그리고 물-시멘트비가 미치는 영향에 대해서 실험을 통하여 파악하였는데, 그 결과는 다음 Table 4 그리고 Table 5와 같다. 표에서 Mixing Ratio항은 첫 번째값이 세립분 함량이고 중간값은 시멘트 첨가량, 그리고 마지막 값은 물-시멘트비를 나타내는 것이다.

Table-4에서는 재령 7일에서 공시체의 압축강도는 $18.7\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 48.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 범위에 있었고, Table-5 재령 28일에서는 $27.0\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 83.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 범위에 있었다. 또한 재령 28일에서는 세립분 함량이 10%, 시멘트량이 13%이고, w/c가 0.8인 CASE 3일 때 가장 큰 압축강도가 나타나 시멘트 혼합처리에서 세립분함량이 작고 시멘트 첨가량이 많으며, 물-시멘트비가 작은 경우에 효과가 가장 크다는 사실을 알 수 있었다. 반대로 가장 낮은 압축강도는 세립분 함량이 50%, 시멘트량이 7%이고, w/c가 1.2인 CASE 34에서 나타났다.

Table-4. Test results of compressive strength at 7days

7days								
No.	CASE	Q_u (kg/cm^2)	No.	CASE	Q_u (kg/cm^2)	No.	CASE	Q_u (kg/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-5. Test results of compressive strength at 28days

28days								
No	CASE	Qu (kg/cm ²)	No	CASE	Qu (kg/cm ²)	No	CASE	Qu (kg/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

3.1 세립분함량이 처리토의 강도에 미치는 영향

Fig. 4는 동일한 시멘트 첨가량에서 물-시멘트비별로 세립분 함량의 변화가 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 재령 7일과 재령 28일의 강도변화를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 시멘트 첨가량 7%인 경우인데, 물-시멘트비가 0.8일 경우 세립분이 25%~30%정도 함유되어 있을 때 가장 강도가 크게 나타났고, 물-시멘트비가 1.0과 1.2일 경우에는 20~25%사이에서 강도가 최대가 되었다. Fig. 4(b)는 시멘트 첨가량 10%인 경우로서 시멘트 첨가량 7%일때와 유사한 경향을 나타내었지만, 세립분 함량의 변화에 따른 강도변화의 양상은 상당히 완만하여 세립분 함량의 변화가 강도에 미치는 영향이 시멘트 첨가량 7%인 경우보다 작은 것으로 나타났다. 그리고 전체적으로 세립분 함량 30%부근에서 가장 큰 강도를 나타내었다. Fig. 4(c)는 시멘트 첨가량이 13%인 경우인데, 세립분 함량이 증가함에 따라 강도는 낮아져서 시멘트 첨가량 7%와 10%의 경우와는 다른 경향을 나타내었으며, 특히 물-시멘트비 0.8과 1.0에서는 비교적 큰 강도감소를 보여 시멘트 처리토의 강도가 세립분함량에 크게 영향을 받을 수 있다고 판단되었다.

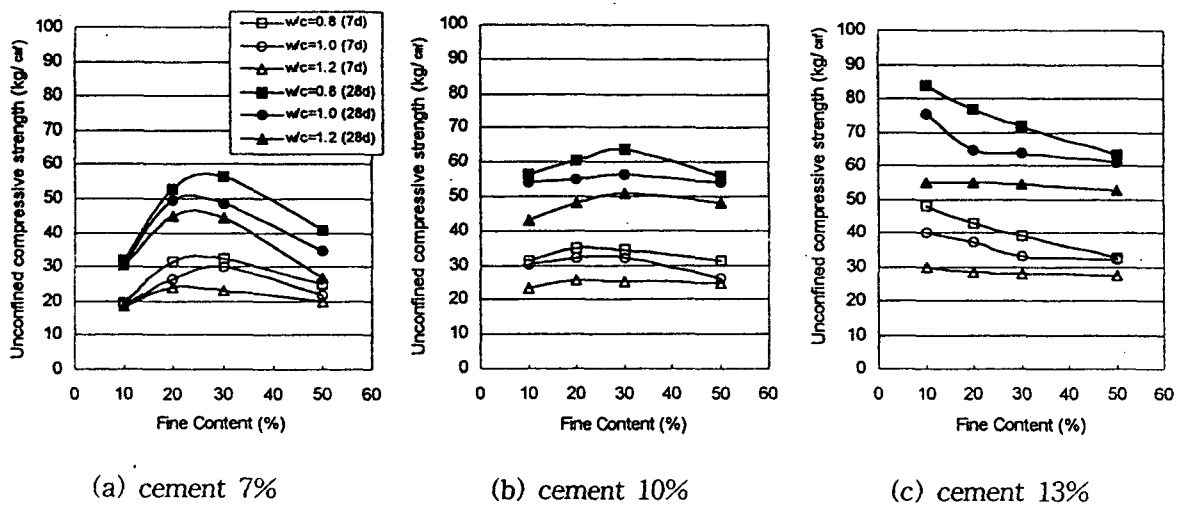


Fig. 4. The relationship between unconfined compressive strength and fine particles content (in the same cement content)

Fig. 5는 동일한 시멘트 첨가량에서 세립분 함량별로 물-시멘트비의 변화가 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 재령 7일과 재령 28일에서의 강도변화를 나타낸 것이다. Fig. 5(a) 시멘트 첨가량 7%에서 세립분 함량이 10%일 경우에는 물-시멘트비의 변화에 관계없이 강도가 일정하였으나 세립분함량 20%~50%사이에서는 물-시멘트비가 증가함에 따라서 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 5(b) 시멘트 첨가량 10%에서는 모든 경우에서 물-시멘트비가 증가함에 따라서 강도가 비슷한 정도로 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 Fig. 5(c)의 시멘트 첨가량 13%에서는 물-시멘트비가 증가됨에 따라서 세립분 함량의 차이에 따른 강도의 변화가 다르게 나타났는데, 세립분 함량 10%에서는 물-시멘트비가 증가함에 따라서 강도의 감소가 현저하였으며, 이 이외에도 세립분함량이 높은 경우에서 물-시멘트비의 증가에 따른 강도감소가 큰 것으로 나타났다. 그리고 시멘트 첨가량 13%에서 특이한 사항은 물-시멘트비 1.2에서는 모든 배합조건에서 강도가 동일하게 나타났다. 따라서 시멘트 첨가량이 높을수록 물-시멘트비의 변화가 시멘트 처리토의 강도에 미치는 영향이 크며, 반대로 시멘트 첨가량이 작은 경우에는 세립분 함량이 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

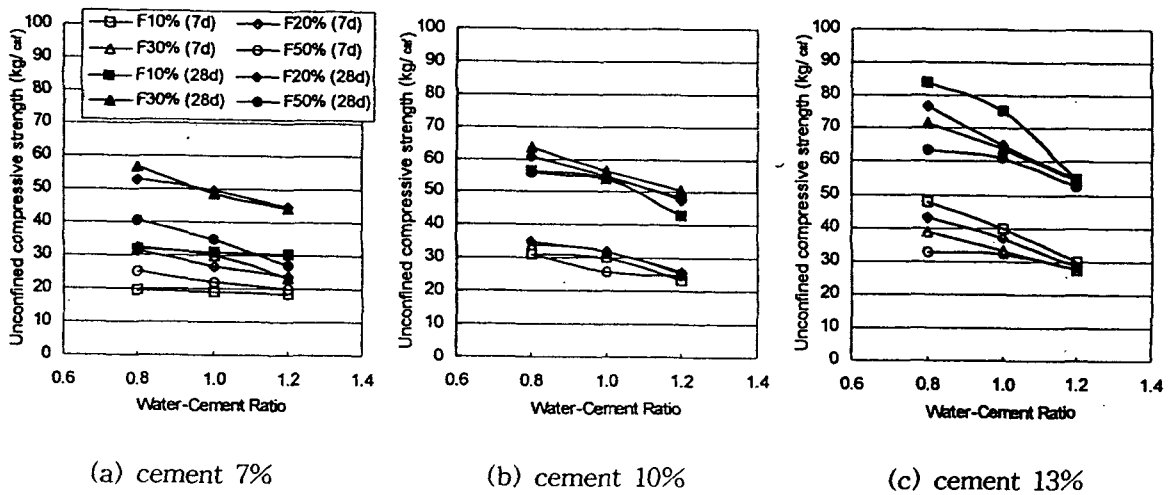


Fig. 5. The relationship between unconfined compressive strength and water-cement ratio (in the same cement content)

3.2 물-시멘트비가 처리토의 강도에 미치는 영향

앞에서 시멘트 처리토의 강도는 시멘트 첨가량별로 세립분 함량 그리고 물-시멘트비의 변화에 따라서 매우 다른 양상을 나타내었다. 따라서 Fig. 6, Fig. 7은 동일한 세립분 함량에서 물-시멘트비와 시멘트 첨가량의 변화가 처리토의 강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험결과를 다시 정리한 것이다. Fig. 6은 동일한 세립분 함량에서 시멘트 첨가량별로 물-시멘트비의 변화가 처리토의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위한 것으로서, Fig. 6(a) 세립분함량 10%의 경우에는 시멘트 첨가량이 7%일 때 물-시멘트비의 변화는 강도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 시멘트 첨가량이 10%와 13%일 때는 시멘트 첨가량이 크면 물-시멘트비가 증가함에 따라 강도는 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 6(b) 세립분 함량 20%의 경우에는 시멘트 첨가량이 7%일 때에도 물-시멘트비의 증가에 따라 강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 시멘트 첨가량 10%와 13%의 경우에는 물-시멘트비의 증가에 따라 강도가 감소하지만 세립분 함량 10%의 경우보다는 완만하게 나타났다. Fig. 6(c) 세립분 함량 30%인 경우에는 시멘트 첨가량 별로 물-시멘트비의 증가에 따른 강도 감소의 기울기가 비슷하게 나타나고 있으며, 강도 감소의 정도도 매우 완만해진 것으로 나타났다.

Fig. 6(d) 세립분 함량 50%의 경우에는 시멘트 첨가량별로 물-시멘트비의 증가에 따른 강도감소의 기울기가 세립분 함량 30%와 유사하였으나 시멘트 첨가량 7%의 경우에는 시멘트 첨가량 10%와 13%에 비교해서 상대적으로 강도가 낮게 나타났으며, 세립분 함량 20%나 30%인 경우보다 강도가 작아지는 것

으로 나타났다. 그러나 세립분함량 10%인 경우와 비교하면 물-시멘트비에 따라서 강도의 크기는 차이가 있는 것으로 나타났다.

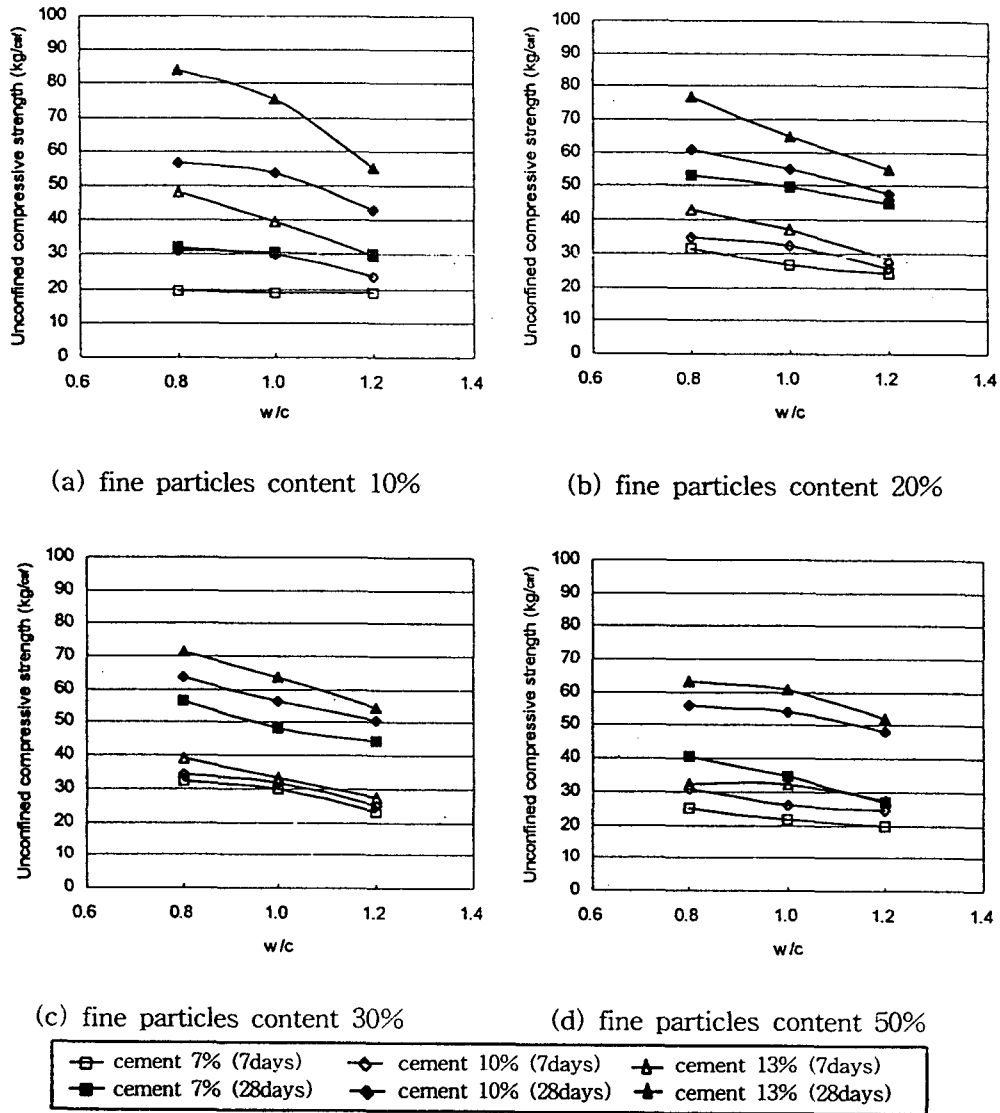


Fig. 6. The relationship between unconfined compressive strength and water-cement ratio (in the same fine particles content)

따라서 Fig. 7은 동일한 세립분 함량일 경우에 물-시멘트비별로 시멘트 첨가량의 변화가 처리토의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위한 것으로서, Fig. 7(a) 세립분 함량 10%인 경우에는 시멘트 첨가량이 증가함에 따라서 물-시멘트비가 작을수록 강도의 증가가 매우 급격하게 나타났으며, Fig. 7(b), Fig. 7(c) 세립분 함량 20%와 30%인 경우에는 시멘트 첨가량 증가에 따른 강도증가 기울기가 완만해지면서 물-시멘트비의 차이에 관계없이 서로 유사하게 나타났다. 따라서 이런 경우에는 처리토의 강도가 세립분 함량에 더 많은 영향을 받는 것으로 판단되었다. 그러나 Fig. 7(d) 세립분 함량 50%에서는 다시 시멘트 첨가량이 증가함에 따라서 물-시멘트비의 차이에 따라 강도증가의 양상이 다르게 나타나 세립분 함량 10%인 경우와 유사하게 나타났다. 특히 시멘트 첨가량 7%와 10%사이에서는 강도증가가 물-시멘트비에 관계없이 현저하였으며, 시멘트 첨가량 10%~13%사이에서는 다시 앞에서의 증가경향과 유사한 것으로 나타났다.

여기서 세립분 함량이 10%와 50%인 경우를 비교해보면, 10%일때는 시멘트 첨가량에 비례해서 강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 50%에서는 10%까지는 급격하게 증가하고 그 이후에는 다시 완만해지

는 경향을 나타내었다. 이는 Kunito의 연구결과와 마찬가지로 10%에서는 조립질토 사이의 간극을 메꾸어주는 세립분이 부족하므로 시멘트가 간극을 메꾸어 나가면서 세립분의 역할을 같이 수행하기 때문으로 판단하였으며, 50%의 경우에는 10%까지는 시멘트의 수화·응결작용으로 처리토의 강도가 크게 증가했지만 그 이상 시멘트가 첨가된 경우에는 원래 세립토성분이 많아 배합이 균질하게 이루어질 수 없기 때문에 추가된 시멘트가 공시체 전체로 고르게 섞이지 못해서 강도 증진이 미진했던 것으로 판단되었다.

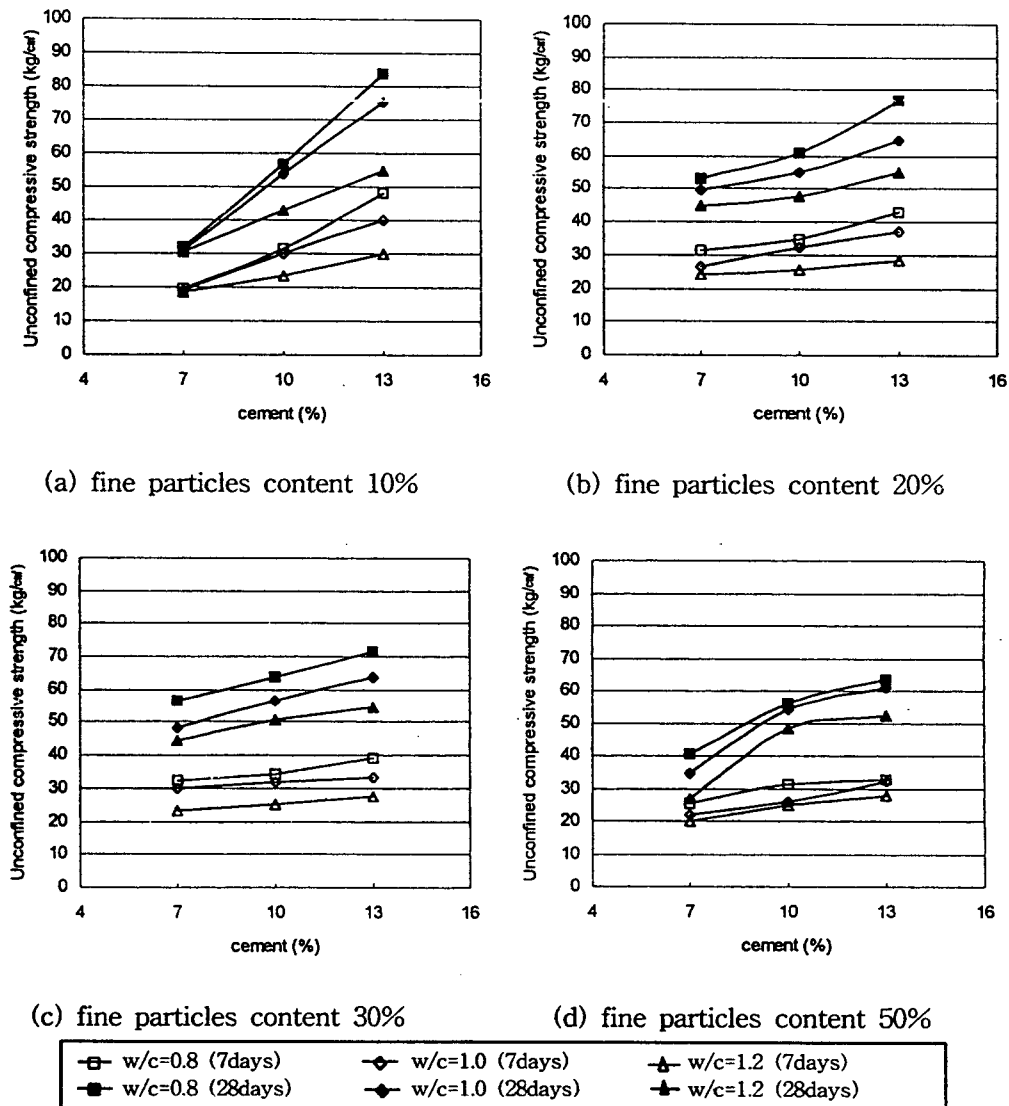


Fig. 7. The relationship between unconfined compressive strength and cement content (in the same fine particles content)

3.3 세립분 함량과 시멘트 첨가량이 강도에 미치는 영향

Fig. 8은 실험결과를 동일한 물-시멘트비에서 시멘트 첨가량별로 세립분 함량의 변화가 처리토의 강도변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 정리한 것이다. Fig. 8(a) 물-시멘트비 0.8인 경우에는 시멘트 첨가량 7%와 10%에서 세립분 함량이 25%~30%일때 가장 높은 강도를 나타냈으며, 시멘트 첨가량이 13%에서는 세립분 함량이 증가함에 따라 강도는 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 8(b) 물-시멘트비 1.0인 경우에는 시멘트 첨가량 7%일때 세립분함량 20%~25%인 경우 최대강도가 나타나 물-시멘트비 0.8인 경우보다 최대강도를 나타내는 세립분함량이 5%정도 낮아진 것으로 나타났다. 그러나 시멘트 첨가량

10%의 경우에는 세립분함량 30%부근에서 최대강도를 나타내서 물-시멘트비 0.8과 같은 것으로 나타났 다. 한편 시멘트 첨가량 13%의 경우에는 세립분함량의 변화에 따른 강도변화가 거의 없이 일정한 것으 로 나타났으며, 물-시멘트비 0.8일때와 비교해서는 매우 현저한 강도감소를 나타내었다. Fig. 8(c) 물-시 멘트비 1.2인 경우에는 시멘트 첨가량 7%일때 세립분함량 20%부근에서 최대강도를 나타내 물-시멘트비 1.0인 경우보다 최대강도를 나타내는 세립분함량이 5%정도 더 작아졌으며, 시멘트 첨가량 10%일때는 Fig. 8(b)에서 시멘트 첨가량 13%와 같이 세립분함량의 변화에 따른 강도의 변화가 매우 작은 것으로 나타나 이때에는 세립분함량변화가 미치는 영향이 작다고 판단되었다. 또한, 시멘트 첨가량이 13%인 경 우에는 세립분 함량 10%의 경우에 강도가 비교적 크게 나타났지만 세립분함량 20%부터는 다시 앞에서 와 같이 세립분함량의 변화에 따른 강도의 변화가 매우 작은 것으로 나타나 Fig. 8(b)에서와 같은 경향 을 보인다고 판단하였다.

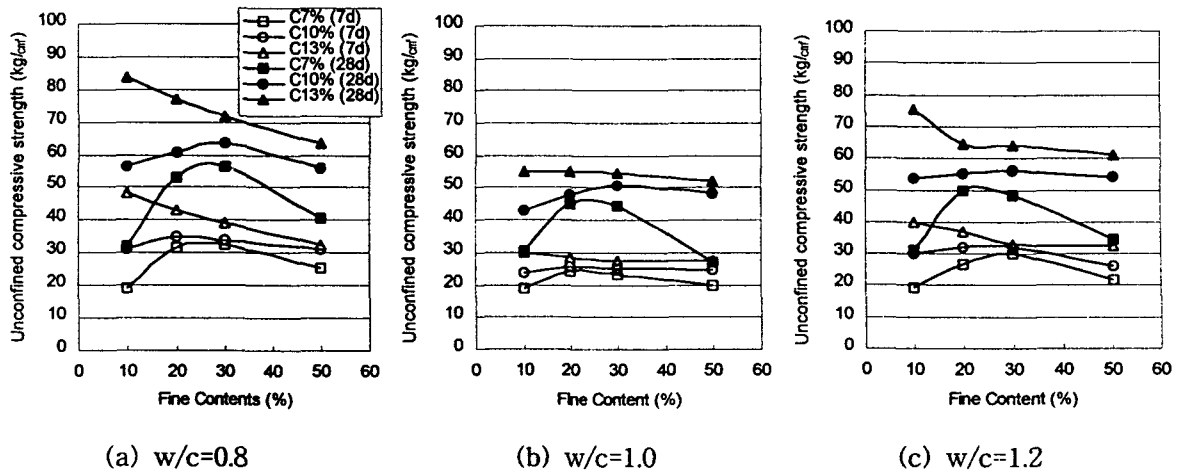


Fig. 8. The relationship between unconfined compressive strength and fine particles content (in the same water-cement ratio)

이상에서 시멘트 첨가량이 7%인 경우에는 세립분 함량이 강도에 미치는 영향이 큰데, 최대강도를 나 타내는 최적 세립분의 함량은 20%~30%의 범위에 있었으며, 물-시멘트비가 작을수록 최적세립분함량이 큰 것으로 나타났다. 시멘트 첨가량이 10%인 경우에는 세립분 함량의 변화에 따른 강도의 변화가 가장 작게 나타났으며, 물-시멘트비의 변화에 대해서도 그 영향을 가장 적게 받는 것으로 나타났다. 시멘트 첨가량 13%인 경우에는 물-시멘트비의 변화에 따라서 처리도의 강도는 민감하게 변화하는 것으로 나타 났는데, 물-시멘트비가 낮은 경우에는 세립분 함량이 작은 경우에 높은 강도를 얻을 수 있었으며, 물-시 멘트비가 1.0이상으로 증가하면 강도감소가 현저하여 시멘트 첨가량 증가에 비례한 강도증가를 기대하 기가 어려울 것으로 판단되었다.

3.4 다중회귀분석

시멘트 처리에 의해서 고결된 사질토의 강도에 영향을 미칠수 있는 3가지 인자(세립분 함량, 시멘트 첨가량, 물-시멘트비)와 고결사질토의 강도사이에 관계를 이상의 실험결과를 가지고 선형다중회귀분석을 통해 알아보았으며, 그 결과는 식(1)과 같았다.

$$\begin{aligned}
 q_{u7} &= 35.3333 - 0.0697 \cdot S + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W \dots\dots\dots (1) \\
 q_{u28} &= 49.8614 - 0.0962 \cdot S + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W
 \end{aligned}$$

여기서,

q_{u_7} : Unconfined compressive strength cured 7 days (kg/cm²)

$q_{u_{28}}$: Unconfined compressive strength cured 28 days (kg/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 높아진 것으로 나타났다. 한편 비선형으로 회귀분석을 실시한 결과는 식(2)와 같았다.

$$\begin{aligned} q_{u_7} &= 35.2208 - 0.0082 \cdot (S - 26.4756)^2 + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W \\ q_{u_{28}} &= 51.0853 - 0.0177 \cdot (S - 27.9859)^2 + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W \end{aligned} \quad \dots\dots (2)$$

식(2)에서는 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 자료의 표준편차는 5.868 그리고 비선형 회귀식의 상관계수는 90.6%, 결정계수는 82.1%로서 비교적 높은 유의성을 갖는 것으로 나타났다.

3.5 고결처리토의 물리적성질의 변화

한편 고결처리토의 물리적성질의 변화를 알아보기 위하여 실험중에 공시의 단위중량과 비중의 변화를 측정하여 분석하였으며, Fig. 8은 배합조건에 따른 재령 7일과 28일의 비중값의 분포를 나타낸 것이다. 비중값은 전체적으로 2.63~2.68에 분포하고 있다. 서로간에 차이는 크지 않았으나, 재령 7일에서는 시멘트 첨가량의 증가와 세립분 함량의 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었으나, 재령 28일에서는 모든 배합조건에서 거의 일정한 값으로 낮아지는 것을 보이고 있다. 이는 양생을 하는 동안에 시멘트의 수화작용으로 시멘트의 비중이 낮아져서 전체적으로 일정한 값이 되는 것으로 판단되었다.

Fig. 9는 배합 조건에 따른 각 재령별 건조단위중량의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서는 배합조건에 따라서는 다른 양상도 나타났다. 즉 물-시멘트비가 증가함에 따라 거의 비슷한 크기로 건조단위중량이 감소하였고, 물-시멘트비가 0.8, 1.0일때 세립분 함량 10%, 시멘트 첨가량 13%에서 건조단위중량이 가장 컸으며, 물-시멘트비가 1.2에서는 세립분 함량 10%, 시멘트 첨가량 10%일때 가장 높은 값을 나타내어서 세립분 함량이 작고 시멘트 첨가량이 큰 경우가 건조단위중량이 컸던 것으로 나타났다. 그러나 재령 7일과 재령 28일의 두 분포곡선이 거의 일치하는 것을 볼 수 있었으며, 강도와 건조단위중량의 관계도 대체적으로 큰 상관성을 보이진 않았다.

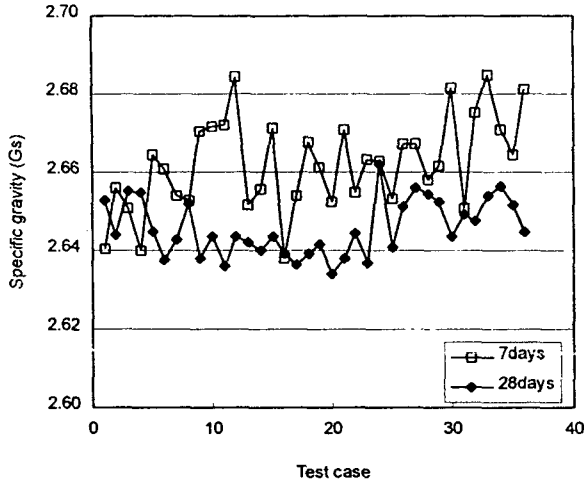


Fig. 8. Distrubution of specific gravity

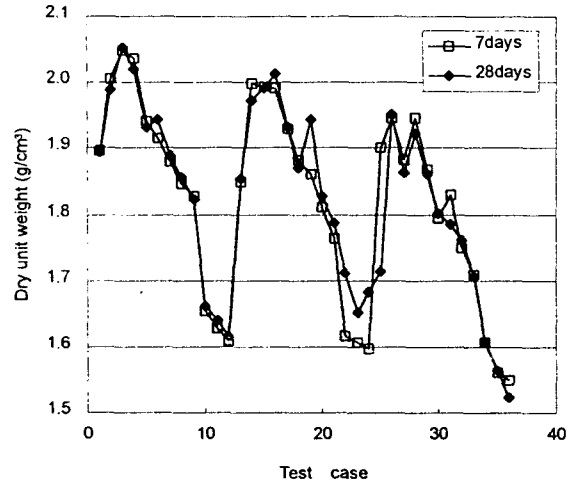


Fig. 9. Distribution of dry unit weight

4. 결론

사질토의 세립분 함량을 10%~50%사이로 조절하여 시멘트 처리시에 물-시멘트비, 세립분 함량 그리고 시멘트 첨가량이 강도에 미치는 영향에 대하여 실내배합실험을 통하여 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시멘트 첨가량이 7%인 경우는 세립분 함량이 20~30%일 때, 가장 높은 강도를 나타냈으며, 물-시멘트비가 증가함에 따라 최적 세립분함량은 작아지는 것으로 나타났다. 따라서, 시멘트 첨가량이 작을수록 세립분함량이 강도에 미치는 영향은 큰 것으로 판단되었다.
2. 시멘트 첨가량이 10%인 경우에는 세립분 함량이나 물-시멘트비의 변화가 강도에 미치는 영향이 7%나 13%보다 작게 나타났으며, 시멘트 첨가량이 13%인 경우에는 물-시멘트비의 변화에 따른 강도의 변화가 현저하였고, 세립분 함량이 많을수록 강도는 작은 것으로 나타났다.
3. 시멘트 첨가량의 증가에 따른 강도의 증가양상은 물-시멘트비에 관계없이 일정한 크기의 증가를 보였으며, 세립분 함량 10%와 50%에서는 현저한 증가를, 세립분 함량 20%와 30%에서는 상대적으로 작은 증가율을 각각 나타내었다.
4. 세립분 함량이 작거나, 물-시멘트비가 작은 경우에는 시멘트 첨가량의 증가로 인한 강도증가율이 크게 나타나, 이러한 경우에 소요의 강도를 얻기 위해서는 적절한 첨가량의 결정이 중요하다고 판단되었다. 그러나, 세립분 함량이 작고, 시멘트 첨가량이 높은 경우에는 물-시멘트비의 증가에 따른 강도감소가 현저하므로 주의를 요하는 것으로 판단되었다.
5. 세립분 함량 50%이하의 사질토의 시멘트 고결처리에서 강도와 물-시멘트비, 시멘트 첨가량 그리고 세립분 함량에 대한 재령 7일과 재령 28일의 다중회귀분석결과는 다음과 같은 관계를 가지는 것으로 나타났다.

$$q_{u_7} = 35.3333 - 0.0697 \cdot S + 1.7611 \cdot C - 21.5625 \cdot W$$

$$q_{u_{28}} = 49.8614 - 0.0962 \cdot S + 3.9583 \cdot C - 33.5625 \cdot W$$

6. 공시체의 강도와 건조단위중량의 관련성은 적었으며, 양생기간 중에 비중은 재령 7일에서는 2.64~2.68의 범위로 공시체마다 차이가 있었으나 재령 28일에서는 2.63~2.66으로 비중이 낮아져 일반 광물들이 나타내는 비중값의 범위를 나타내었다. 따라서 설계시 비중값의 적용은 원지반값을 적용해도 큰 무리가 없을 것으로 판단하였다.

6. 참고문헌

1. 강예묵, 김재영, (1975), 시멘트함량 및 다짐함수비가 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. Chadda, 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 Nishihonomachi, 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. 세멘트系固化材規準檢討研究會(1994), 세멘트系固化材による地盤改良マニユアル -第二版-, 세멘트協會