

토질오염이 시멘트의 고결처리효과에 미치는 영향

The Influence of Soil Contaminant on the Solidification Treatment Effect of Cement

장 병 옥(서울대) · 유 찬(건국대)* · 이창노(건국대) · 노광하(건국대)
Chang, Pyoung Wuck · Yu, Chan · Lee, Chang No · Roh, Gwang Ha

Abstract

In this study, the influence of soil contaminant on the cement solidification treatment was considered. Unconfined compression strength(UCS) test was carried out for solidificated specimen, Setting time was measured for cement slurry that was mixed with leachate and wastewater. It was appeared that treatment effect were affected by the the kind of soil, organic content, component of pore water and its concentration. And UCS of samples which were cured in the leachate were decrease about 1/5. Especially for the marine clay, UCS of samples which were cured in leachate during 180 days were smaller than 90 days cured samples in the case of cement mixing ratio 5%, 10%.

I. 서 론

고결공법은 각종 토목공사에서 공학적으로 문제가 되는 지반을 화학적인 약액처리로 고결시키기 위하여 1970년대 중반에 실용화되어 부분적으로 사용되어 오다가 1990년대에 들어서서는 전세계적으로 광범위하게 이용되고 있으며, 우리나라에서도 연약지반처리공법으로서 활용되어 왔다. 1980년대 중반까지 고결공법은 주로 연약지반이나 공사현장에서 발생하는 잔토를 이용하기 위하여 그 강도와 변형성질을 개량하려고할 때 주로 사용되어왔다. 그런데 최근 외국에서는 고결공법이 환경적인 측면에서도 오염지반처리 대책공법으로서의 효능이 뛰어나다는 사실이 알려져 지반환경분야에서도 더욱 더 그 활용성이 많이 증대되고 있다. 외국의 경우에 환경적인 측면에서 적용대상지역은 주로 오래된 생활 쓰레기나 산업쓰레기 매립장 주변지역이나 산업지역주변등이 그 대상지역이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 앞으로 오염지반처리 대책공법으로서 널리 활용되리라 예상되는 고결공법의 적용성을 높이기 위한 연구로서 흙의 종류와 흙의 구성성분, 그리고 토질을 오염시킬수 있는 성분들이 고결처리효과에 미치는 영향에 대해서 연구하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

시험1)에 사용된 시료는 우리 나라에 많이 분포하고 있으며 매립장이 주로 설치되는 해안지

역의 해성점토와 투수계수가 커서 오염물질의 이동이 용이한 사질토 중에서 주로 선정하였으며, 이들 시료는 한국공업규격(KS F)에 정해진 절차에 준해서 물리적 성질에 대한 시험을 실시하였다. 그 결과는 Table-1과 같고 입도분포는 Fig. 1과 같다. 실트질 사질토의 경우에 연경도(consistency)는 #40통과시료에 대해서 실시한 결과이다.

Table-1. Physical Properties of Soils

Soil Type	W _n (%)	G _s	Passing #200(%)	LL(%)	PI(%)	USCS
S-SP	5.2	2.66	7.5	-	NP	SP
T-SM	7.6	2.65	30.3	30.5	8	SM
I-ML	33.0	2.64	96.0	32.4	6.6	ML
Y-ML	38.5	2.61	94.0	35.1	9.5	ML
K-CH	75.8	2.63	96.5	69.6	31.0	CH

S-SP = 산본
T-SM = 태백
I-ML = 인천
Y-ML = 익산
K-CH = 강화도

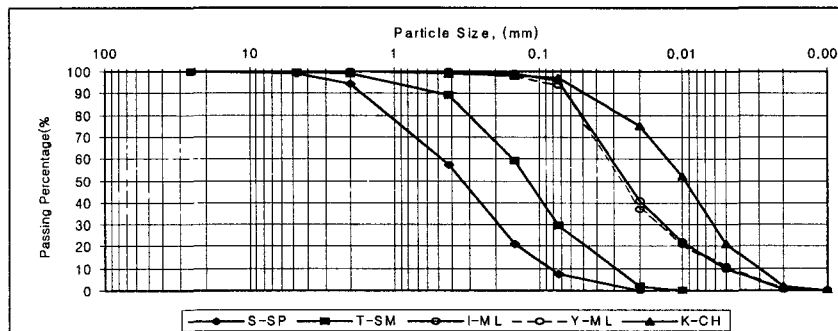


Fig. 1. Grain-Size Distribution of Soils

Table-2. The Concentration of Heavy Metal in the Soils

Item	S-SP	T-SM	I-ML	Y-ML	K-CH	Unit
Cr	1.000	0.005	ND	0.002	0.008	mg/ℓ
As	5.000	4.000	0.041	0.100	0.020	"
Cd	ND	ND	0.001	ND	0.002	"
Pb	12.000	1.000	0.500	0.020	0.020	"
Cu	ND	0.030	0.010	0.001	0.003	"
Hg	ND	5.000	ND	ND	ND	"

또한 위의 시료중에서 태백지역 실트질 사질토와 강화도 지역의 점토에 대해서는 중금속함유량을 분석하여 Table-2에 제시하였으며, 인천지역과 익산지역의 실트, 사질토와 실트질 사질토, 그리고 강화지역 점토에 대해서는 유기물 함량을 분석하여 Table-3에 제시하였다. 또한 실험에서는 공극수의 구성성분과 농도에 따른 영향을 알아보기 위하여 화학적 조성은 유사하지만 구성성분의 농도가 다른 2가지 종류의 산업폐기물 매립장의 침출수와 산업폐기물 매립장의 침출수와는 구성성분이 다른 건국대학교 구내의 정화조에서 채취한 생활오수를 사용하였는데, 채취된 실험수들은 PVC용기에 담아 실험실로 운반하여 사용하였다.

Table-3. The Content of Organic Components in the Soils

Item	S-SP	T-SM	I-ML	Y-ML	K-CH
Content(%)	1.33	4.42	2.53	4.31	6.25

Table-4. Characteristics of Leachates Used

Item	LA	LB	WW	Unit
pH	8.76	8.91	7.77	-
COD	820.00	1100.00	220.00	mg/L
BOD	285.00	585.00	182.00	"
TKN	131.60	243.30	220.00	"
TP	6.14	10.90		"
Cr	1.02	ND	0.001	"
As	0.22	1.33	ND	"
Cd	0.03	0.08	ND	"
Pb	0.44	0.25	ND	"
Cu	0.03	21.48	0.05	"
Hg	0.005	ND	ND	"

LA = Leachate-A
 LB = Leachate-B
 WW = Waste Water

침출수와 오수성분에 대한 화학적 특성을 분석한 결과는 Table-4에 제시하였다. 생활오수의 경우에는 중금속성분은 미량의 Cr과 Cu만이 검출되었을뿐 다른성분은 검출되지 않았다. 다만 일반수는 상수를 사용하였고 별도의 성분분석을 실시하지 않았다. COD와 BOD는 침출수내의 유기성분의 함유정도를 추측하는데 이용할 수 있는 지표인데, Table-3에서 침출수A는 820 그리고 침출수B는 1100으로 유기물의 함량이 높은 것으로 나타났다. 침출수B의 성분중에는 무기 성분인 중금속과 유기성분이 다량함유되어 있는 것으로 나타나고 있으며, 두가지 침출수 모두 pH 는 8.76, 8.91으로 알카리성을 나타내고 있다. COD 820인 침출수 A는 상수와 1:1로 희석하여 COD 410으로 배합설계에서 사용하였다.

공시체의 제작방법은 시멘트와 고화제 첨가량을 흙의 건조단위중량에 대해서 5%, 10%, 15% 로해서 이들 결합재를 몰과 1:1의 비율로 섞어 슬러리상태로 자연함수비 상태로 포화되어 있는 흙과 혼합하여 직경 50mm, 높이 100mm 몰드를 이용하여 공시체를 제작하였다. 토질오염이 시멘트와 고화제의 고결처리효과에 미치는 영향을 파악위하여 실시한 실내실험의 항목은 양생 기간 7, 28, 90, 180일까지의 일축압축강도(Unconfined Compression Strength; UCS), 삼축압축 시험기를 이용한 연성벽 투수계수측정실험을 실시하였다. 또한 양생 180일에서 TCLP실험법에 의하여 용출수에 함유되어 있는 중금속의 농도를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

흙의 종류와 유기물 함량 그리고 공극수의 성분이 시멘트나 고화제의 고결효과에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 5가지 시료를 대상으로 모두 실시하였으며, 내구성파 투수계수 그리고 용출수의 중금속함유량에 대한 분석은 T-SM, K-CH시료만을 대상으로 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 흙의 종류와 유기물함량 그리고 공극수의 성분이 강도에 미치는 영향

Fig. 2는 세립분의 함량을 8%, 15%, 30%로 조절한 사질토에 대한 실험결과이다. Fig. 2(a)는

세립분속에 유기성분이 많은 경우였으며, Fig. 2(b)는 세립분속에 유기성분이 적게 포함되어 있는 경우였다.

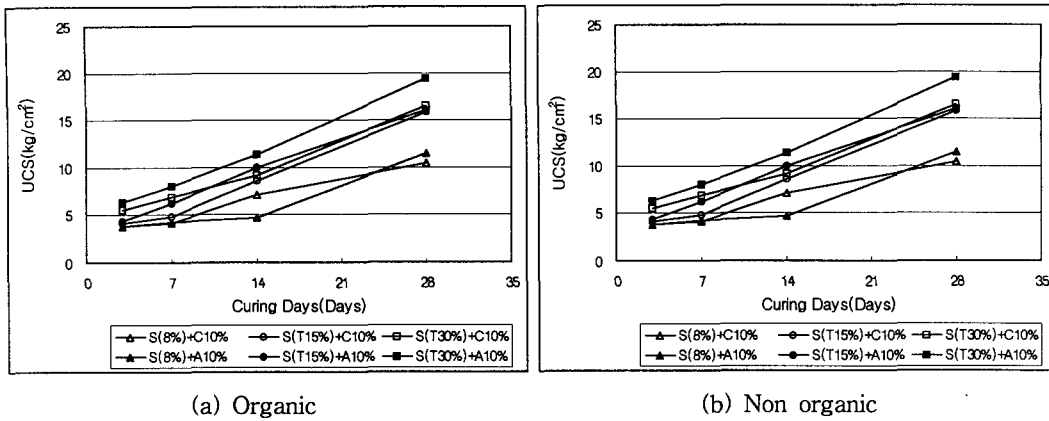


Fig. 2. Results of the UCST on Solidified Coarse Grained Soils

또한 Fig. 3(a)는 세립분함량 15%일 때 유기물함량의 다소에 따른 비교이며, Fig. 4.3(b)는 세립분함량 30%일때의 결과인데, 그림에서는 시멘트와 고화제 모두 유기물함량이 적은 경우가 강도가 큰 것으로 나타났다. 한편 각각의 배합조건에 따라서 세립분함량이 15%인 경우보다는 세립분함량이 30%일때의 강도차이가 뚜렷하게 나타나고 있다. 따라서 세립분함량이 증가될수록 세립분내의 유기성분의 함량이 시멘트나 고화제의 고결처리효과에 상대적으로 많은 영향을 줄 수 있다고 판단되었다.

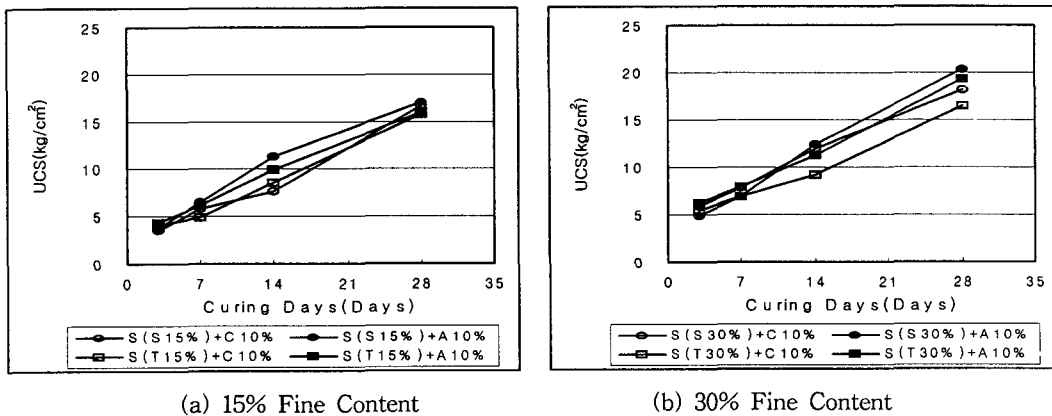


Fig. 3 UCS on the Solidified Soil According to the Fine Content and Organic

Fig. 4는 세립토에 대한 실험결과를 정리한 것이다. 세립토의 고결처리효과는 사질토의 처리효과보다는 크게 낮은 것으로 나타났다. 그러나 세립토의 경우에도 동일한 시멘트나 고화제의 첨가량에서도 토질의 종류와 유기물함량에 따라서 처리효과는 다르게 나타났다.

Fig. 5는 공극수의 성분이 시멘트나 고화제의 고결효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반상수(tap water), 침출수 2가지, 생활오수등을 사용하여 양생 28일까지의 일축압축강도실험을 실시한 경과이다. Fig. 5(a)는 일반상수, (b)는 침출수A, (c)는 침출수, (d)는 생활오수였는데, 일축압축강도의 결과는 침출수A를 사용했을 때 가장 크게 나타났으며, 일축압축강도가 가장 작은 경우는 침출수 B인 것으로 나타났다. 이런 원인은 공극수의 성분과 농도에 기인된 것으로 예상되었으며, 시멘트의 응결시간축정실험을 응용하여 공극수의 성분 및 농도에 따른 시멘트의 응결반응

을 알아보았다. Fig. 6(a)는 침출수B와 생활오수의 농도를 조절하여 실험한 결과이며, (b)는 증류수에 중금속성분들을 넣어 실험한 경우이다.

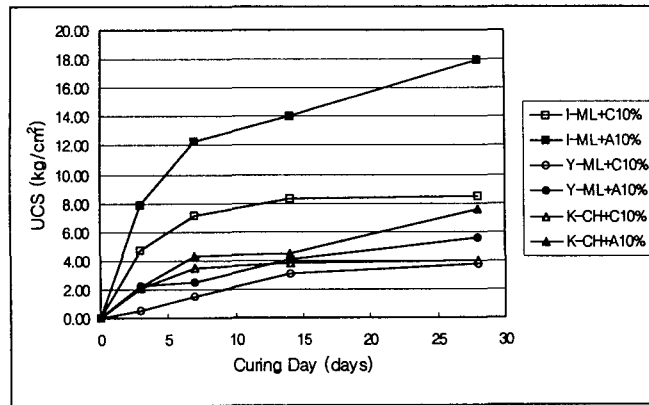
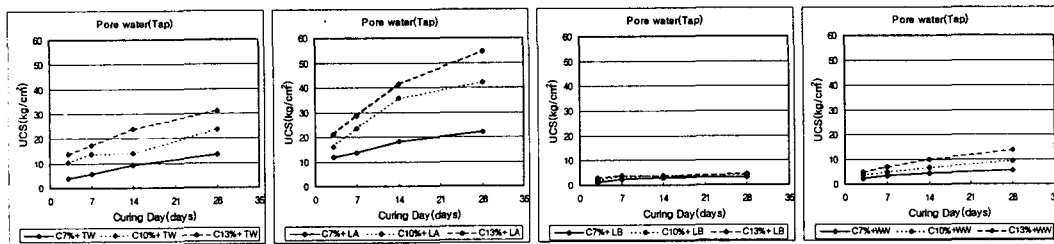
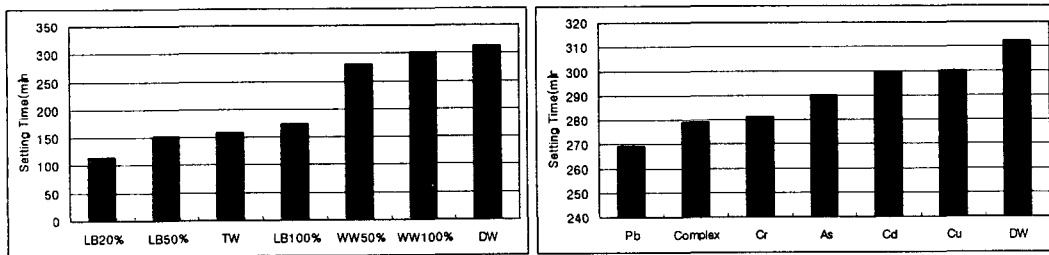


Fig. 4. UCS of Solidified Fine Grained Soils



(a) TW+Cement (b) LA+Cement (c) LB+Cement (d) WW+Cement

Fig. 5. UCS According to The Curing Day of Silty Sand



(a) Concentration (b) Heavy metal

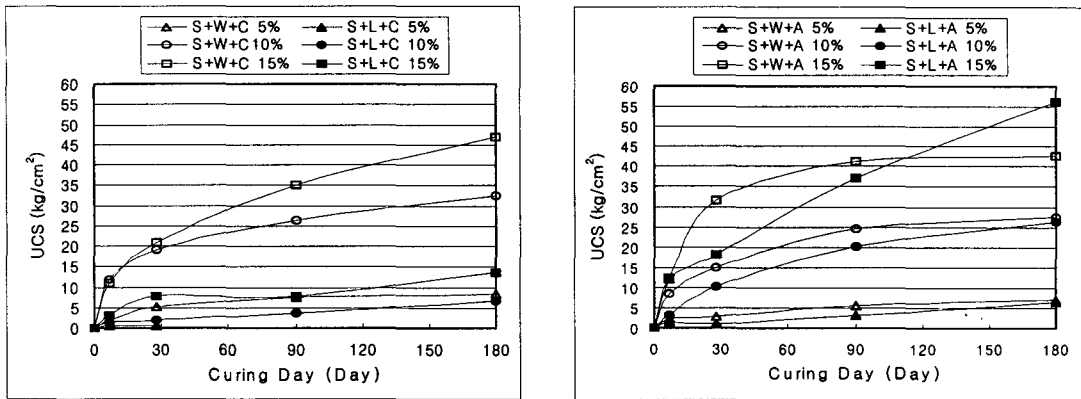
Fig. 6. The Results of Setting Time Measurement

2. 양생조건에 따른 일축압축강도

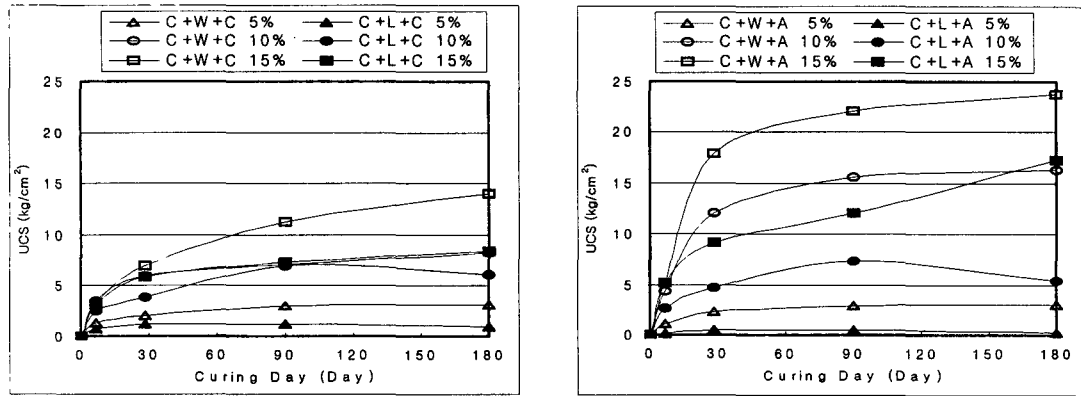
Fig. 7은 오염된 상태에서 고결처리된 실트질 사질토가 장기간 침출수등의 영향을 받는 경우에 강도변화를 알아보기 위하여 실시한 실험의 결과이다. 시멘트나 고화제의 첨가량 5%에서는 침출수성분의 간섭효과로 인해서 정상적인 강도발현이 되지않는 것으로 나타났다. 또한 일반상수를 사용한 경우 시멘트와 고화제의 처리효과에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만, 침출수를 사용한 경우에는 시멘트로 처리한 경우에는 일반상수를 사용한 경우의 강도보다 약 1/5 정도로 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 해성점토의 경우인데, 시멘트보다 고화제의 처리효과가 우수한 것으로 나타났다. 그

러나 시멘트나 고화제의 첨가량 5%와 10%의 경우에는 양생 90일과 180일 사이에 강도감소가 발생하였으며, 이러한 현상은 실제 현장의 경우라면 심각한 문제를 발생시킬 수 있을 것이다. 따라서 양생기간이 경과하여도 강도감소의 경향이 나타나지 않았던 첨가량 15% 이상이 적절하다고 판단되었다.



(a) Cement (b) Additive
Fig. 7. The Influence of the Contaminant on the UCS of Silty Sand



(a) Cement (b) Additive
Fig. 8. The Influence of the contaminant on the UCS of Clay

IV. 결 론

이상의 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 흙의 종류에 따른 시멘트의 고결효과는 세립분의 함량, 유기물의 함량, 공극수의 성분과 농도등이 영향을 미치며, 특히 공극수의 성분과 농도가 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.
2. 동일한 시멘트의 첨가량에서 세립토의 처리효과는 조립토보다 작았으며, 실트질 흙에서 유기물함량에 의한 강도차이가 크게 발생하고 있는 것으로 나타났다.
3. 시멘트의 응결실험결과에 의하면 시멘트의 고결처리효과에 중금속 성분은 영향을 주지 않으며, 응결축진을 기대할수 있다고 판단된다.
4. 오염상태에서 고결처리된 실트질 사질토와 해성점토에 대한 양생 180일간의 강도실험에서

는 실트질사질토의 경우에는 일반상수와 비교해서 1/5정도의 강도가 감소가 발생하였으며, 해성점토의 경우에는 180일 강도가 90일강도보다 작은 것으로 나타나 주의를 요하는 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 배우근(1991), 불량처분지의 환경정화, 대한토목학회지, 제39권, 제5호, pp. 99~111
2. 장병욱, 정종홍, 우철웅, 박영관(1996), 자연점토에서 수용성 유기물의 투수특성에 관한 연구, pp. 280~285
3. Al-Tabbaa, A.(1997), Medium term Performance of stabilised/Solidfied contaminated soil-grout materials, Vol. 3, XIV ICSNFE, Hamburg, pp. 1941~1946
4. Al-Tabbaa, A. and Moore, G. D.(1996), Preliminary Studies of Solidification and Chemical Fixation of Liquid Waste Containing Methylene Blue, Grouting and Deep Mixing, Yonekura, Terashi & Shibazaki ed., Rotterdam, 727~732
5. Day, S. R. and Ryan, C.(1995), Containment, Stabilization and Treatment of Contaminated Soils using Insitu Soil Mixing, GEOENVIRONMENT 2000, Vol. 2, pp. 1349~1365
6. Schwarz, L. G. and Krizek, R. J.(1995), Grouting Gasoline-Contaminated Sand with Microfine Cement, GEOENVIRONMENT 2000, Vol. 2, pp. 1366~1380
7. Shackelford, C. D., Cotten, T. E., Davis, M. M., Strauss, S. H., and Rohal, K. M.(1997), Characterizing Zinc Migration through a High pH Sand-Clay Mixture, Vol. 3, XIV ICSNFE, Hamburg, pp. 1935~1938
8. Vipulanandan, C. and Wang, S.(1997), Solidification/Stabilization of Hexavalented Contaminated Soil, Proc. of the Conf. In Situ Remediation of the GeoEnvironment, Evans ed, Geotechnical Special Publication No. 71, ASCE, pp. 362~373
9. セメント系固化材規準検討研究會(1994), セメント系固化材による地盤改良マニュアル -第二版-, セメント協會