

# 안정재 혼합비에 따른 심층혼합 시료의 압축강도에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Strength of Deep Mixing Specimen According to the Stabilizer Content

박 춘 식<sup>1</sup> Park, Choon-Sik

김 종 환<sup>2</sup> Kim, Jong-Hwan

김 정 주<sup>3</sup> Kim, Jung-Joo

백 진 술<sup>4</sup> Baek, Jin-Sool

### Abstract

In this study, laboratory test was carried out on uniaxial compressive strength by making 320 specimens in total, which were divided into two groups considering the curing time of 7 and 28 days for 80 cases mixed with stabilizers of 8%, 10%, 12%, 14% of 20 cases of clayey, sandy, and gravel mixed ground conditions to understand laboratory strength characteristics of deep mixing specimen for field application in various ground conditions. As a laboratory result, all specimen showed a clear tendency to have uniaxial compressive strength increase as the curing time and the stabilizer mixing ratio increased, and the strength increments depending on the age by ground types were, around 40.0% for clayey and gravel mixed grounds, 48.4% for sandy grounds which was the highest, and for the increment of stabilizers, around 37.0% for grounds with mixing ratio less than 14%, and 49.6% when the ratio was 14% which was the highest. Also, with sandy grounds, it showed a tendency to have a constant amount of strength increment as the stabilizer mixing ratio increased, for clayey mixed grounds, the strength increment tendency seemed to be similar to gravel mixed grounds. Due to these tendencies, it is concluded that we are able to propose a stabilizer mixing ratio for various ground conditions.

### 요 지

본 연구에서는 다양한 지반조건에서 현장적용을 위한 심층혼합시료의 실내강도특성 파악을 위하여 점토질, 모래질, 자갈질의 지반조건 20가지 경우에 8%, 10%, 12%, 14%로 안정재 혼합한 80가지 경우에 대하여 7일 및 28일 양생기간 별로 두 개씩 총 320개의 공시체를 제작하여 일축압축강도에 대한 실내시험을 수행하였다. 실내시험 결과 모든 공시체는 양생기간과 안정재 혼합비가 증가함에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 재령에 따른 강도증가는 지반종류별로는 점토질과 자갈질 지반에서는 약 40.0%, 모래질 지반에서는 48.4%로 가장 크게 나타났고, 안정재 증가에 따라서는 혼합비가 14% 미만에서는 약 37.0%, 14%일 때 49.6%로 가장 크게 나타났다. 또한 모래질 지반은 혼합비 증가에 따라 강도증가가 점차적으로 커지는 경향을 보였으며, 점토질 지반과 자갈질 지반은 유사한 경향을 보였다. 이러한 경향에 의해 다양한 지반조건에 따른 심층혼합공법 강도 배합비를 제안할 수 있다.

**Keywords :** Uniaxial compression strength, Stabilizer, Deep mixing specimen, Curing time, Mixing ratio

1 정회원, 창원대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Changwon National Univ.)

2 정회원, 창원대학교 공과대학 토목공학과 겸임교수 (Member, Adjunct Prof., Dept. of Civil Engrg., Changwon National Univ., Tel: +82-55-275-7592, Fax: +82-55-275-2957, gypsis@nate.com, Corresponding author, 교신저자)

3 비회원, 공학박사, 대림토건 대표이사 (Doctor of Engrg., CEO of Daelim Construction)

4 비회원, 공학박사, 경상남도 감사관실 (Doctor of Engrg., Audit and Inspection Division, Gyeongsangnam-do)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 7월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2014 by the Korean Geotechnical Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

심층혼합처리공법은 1960년대 후반 북유럽과 일본에서 개발되어 사용 발전되어 왔으며, 국내에는 1985년 일본에서의 S.E.C(Special Earth Concrete) 공법으로 기술 도입 후 부산 수영 하수처리장공사에 처음 사용한 후 현재는 육상과 해안지역의 제방, 연약지반, 벽체 등의 지반개량에 적극 사용되고 있지만 설계 및 시공에 있어 외국 기준에 많이 의존하고 있는 상황이다. 심층혼합처리공법에 관해 Terashi와 Tanaka(1981, 1983), Terashi et al.(1979, 1980, 1983a, 1983b)은 석회와 시멘트 혼합처리토의 공학적 특성을 연구하여 실내시험 절차를 제안하였고, 일본 지반공학회에 의해 1990년에 표준화되어 실용화 되었다. Pendola et al.(1969)과 Moh et al.(1970)은 시멘트량, 함수비, 다짐밀도, 양생온도, 입도 등이 압축강도에 미치는 영향을 연구하였고, George(1968)는 시멘트량, 양생조건 및 다짐밀도 등에 의한 균열발생의 영향인자에 대하여 연구를 수행하였다.

Kim et al.(2003)은 흙의 강도를 증진시키기 위해서 사용하는 소일시멘트의 강도를 증가시키기 위해서 무기질 고화제를 섞은 소일시멘트의 일축압축강도와 휨인장강도를 측정하는 실험을 수행하였고, Kim et al.(2006)은 실내배합시험조건과 강도시험결과로부터 현장채취 개량체를 이용한 현장 압축강도를 데이터베이스화하여 원지반 및 고화제의 특성과 기타 설계조건으로부터 개량체의 일축압축강도를 예측하기 위한 인공 신경망 모델을 구축하였다. Oh(2006)은 흙과 시멘트를 혼합한 개량토의 역학적 특성에 영향을 미치는 인자에 대한 실험적 연구를 수행하였고, Jeong et al.(2008)은 통계적 방법을 이용하여 설계기준강도와 현장강도 및 실내강도와 의 관계를 설정하여 강도비를 제안하였다. 또한 심층혼합처리공법에서 설계기준강도와 변형계수에 관해 Yang

et al.(2000)이 연구를 수행하였으며, 천병식 et al.(2000)은 연약지반에 대한 시멘트계 고화제의 혼합적용 시 고화제의 개량효과를 파악하여 토질조건 및 시공조건을 고려한 대상 공시체에 대하여 일축압축강도와 변형계수의 관계를 얻었다. 하지만 심층혼합처리공법 적용 시 현장에서 발현되는 지반강도는 현장의 지반 및 배수조건 등의 여러 조건에 따라 다양하게 발현될 수 있고, 강도결정을 위한 실내배합강도의 기준도 명확하지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 실내시험을 통해 심층혼합처리공법의 안정성을 확보하기 위하여 다양한 지반조건에 대하여 안정재 혼합비에 따른 심층혼합시료의 실내 강도 특성과 각 지반조건에서의 적절한 강도발현과 공법 적용에 따른 적절한 설계 및 시공이 이루어지도록 혼합비 조건에 따른 실내기준강도를 제시하고자 한다.

## 2. 시험 및 결과

### 2.1 시험 조건

#### 2.1.1 실내시험 방법

실내시험에서 사용된 재료는 Fig. 1과 같고, 점토는  $\text{SiO}_2$  50%와  $\text{Al}_2\text{O}_3$  35.0% 이상의 카오린 점토, 모래는 #200 체가름 후 남는 낙동강사, 자갈은 19.0mm~4.75mm 사이의 깎자갈을 사용하였고, 안정재는 분말도 4,300 $\text{cm}^2/\text{g}$  이상의 특수시멘트 45%, Slag 47%, 무수석고 8%로 구성되어 있는 안정재를 사용하였다. 또한 심층혼합 시료의 강도측정을 위한 공시체 제작은 지름 10cm, 높이 20cm의 크기의 몰드에 3층으로 최대한 다져 제작하여 온도 20°C와 습도 90% 이상의 습윤상태로 7일과 28일 동안 양생하였다. 각 공시체의 양생 후 1.0mm/min의 변형속도로 일축압축시험을 수행하여 강도특성을 파악하였다.

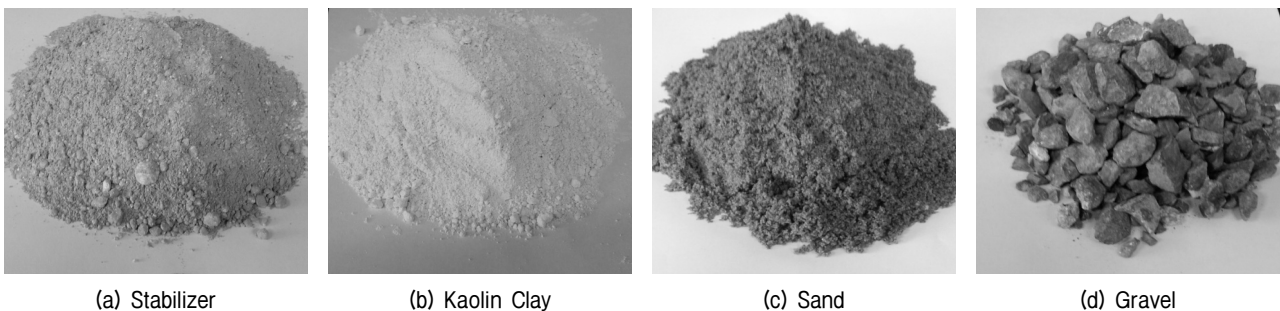


Fig. 1. Mixing Materials

### 2.1.2 배합조건

안정재 혼합비에 따른 압축강도의 특성을 알아보기 위한 심층혼합 시료의 배합은 지반조건에 따라 자갈은 0%, 20%, 40%, 60%로 변화시켰고, 모래와 점토는 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 60%, 80%, 100%로 변화시켰으며, 안정재는 재료중량에 대하여 현장에서 많이 사용되는 8%, 10%, 12%, 14%의 혼합비로 결정하였고, 안정재 8%, 10%, 12%, 14%는 160kg/m<sup>3</sup>, 200kg/m<sup>3</sup>, 240kg/m<sup>3</sup>, 280kg/m<sup>3</sup>의 단위체적당 중량으로 나타낼 수 있다. 지반의 혼합비에 따라 점토와 자갈 50% 이상의 함유량은 점토 및 자갈질로, 그 이외는 모래질로 토질상태를 대표적으로 나타낼 수 있고, 안정재는 일반적으로 현장에서 많이 사용되는 혼합비를 기준으로 결정하였다. 또한 함수비는 다짐시험을 실시하여 포화도 100%일 때의 함수비로 결정하였다. 이와 같은 함수비 기준은 지하수위 아래의 함수비 조건의 동일한 기준을 제시할 수 있고, 모든 배합조건에서 배합에 따른 공시체 제작이 될 수 있도록 하기 위함이다. Table 1에는 혼합비에서 변화되는 조건을 나타내었고, Table 2에는 토질조건에 따른 혼합비를 나타내었다.

### 2.2 시험결과

안정재 혼합비에 따른 심층혼합시료의 강도특성을

알아보기 위하여 동일한 조건의 공시체 2개씩 총 320개의 공시체에 대한 일축압축강도시험을 실시하였다. 안정재 및 자갈 혼합비가 높을수록 대체적으로 갑자기 파괴되는 취성파괴의 형태를 나타냈고, 동일한 조건의 두 개의 공시체에 대한 일축압축강도 결과는 크게 차이가 나지 않아 비교적 양호한 결과를 얻어 심층혼합시료의 일축압축강도는 두 개 공시체에 대한 시험결과를 평균하였다. Table 3에 안정재 혼합비 및 재령일에 따른 지반조건별 평균 일축압축강도 결과를 나타내었고, Fig. 2에는 그 결과를 그래프로 나타내었다. 자갈함유량이 많을수록, 안정재 혼합비가 증가할수록 강도가 대체적으로 증가하는 경향을 나타내었지만, 자갈함유량이 증가하여도 강도가 감소하는 경우(case15/case20, case10/case18)가 발생하는데 이는 지반구성 성분 중에 점토함유량이 낮고, 모래함유량이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다. Table 3의 시험결과를 이용하여 심층혼합공법 적용시 지반 및 안정재 혼합비 조건에 따른 상세한 실내기준 강도를 제시할 수 있을 것으로 판단되었고, Table 4에서는 시험결과를 활용하여 실무에서 활용할 수 있는 실내 기준강도를 지반 및 안정재 혼합비별로 개략적으로 제시하였다.

Table 1. Change factors of mixing ratio

Division	Change factors (%)		Remark
Stabilizer	%	8, 10, 12, 14	<ul style="list-style-type: none"> <li>Specimens making counts : 80</li> <li>4 specimens at one time making (7 and 28 days specimens per 2)</li> <li>Total specimen number : 320</li> </ul>
	kg/m <sup>3</sup>	160, 200, 240, 280	
Gravel	0, 20, 40, 60		
Sand/Clay	0, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100		
Water content	Degree of saturation (S) = 100%		

Table 2. Mixing ratio for soil type

Case	Mixing ratio(%)				Soil type	Case	Mixing ratio				Soil type
	Gravel	Sand	Clay	w			Gravel	Sand	Clay	w	
1	0	0	100	42.3	Clay	11	20	80	0	12.3	Sand
2	0	20	80	35.3	Clay	12	40	0	60	26.8	Clay
3	0	40	60	29.4	Clay	13	40	20	40	21.1	Sand
4	0	60	40	24.4	Sand	14	40	40	20	14.9	Sand
5	0	80	20	20.1	Sand	15	40	60	0	9.9	Sand
6	0	100	0	16.6	Sand	16	60	0	40	24.8	Gravel
7	20	0	80	31.2	Clay	17	60	10	30	19.7	Gravel
8	20	20	60	25.2	Clay	18	60	20	20	15.5	Gravel
9	20	40	40	20.1	Sand	19	60	30	10	11.8	Gravel
10	20	60	20	15.7	Sand	20	60	40	0	7.7	Gravel

Table 3. Axial compressive strength by curing time of 7 and 28 days

Case	Mixing ratio (%)			Axial compressive strength by stabilizer content (kPa)							
				Curing time 7 days				Curing time 28 days			
	Gravel	Sand	Clay	8%	10%	12%	14%	8%	10%	12%	14%
1	0	0	100	485.1	618.4	643.9	685.5	362.6	815.9	643.9	1442.6
2	0	20	80	633.1	727.7	858.0	884.9	603.2	934.4	873.7	1835.1
3	0	40	60	725.7	1430.8	1492.1	1674.8	831.5	1296.1	2073.7	2803.8
4	0	60	40	991.3	1511.7	2169.2	2406.9	1462.7	2284.4	3257.0	3896.0
5	0	80	20	1200.5	2148.7	4606.0	4926.5	1699.8	2574.0	7826.8	8422.6
6	0	100	0	1310.1	3678.4	4804.5	6445.5	1760.1	3902.4	8006.1	11605.2
7	20	0	80	345.9	598.8	728.1	757.5	639.5	645.8	869.8	1142.2
8	20	20	60	511.1	763.4	833.0	897.7	1004.0	1112.8	1364.2	1397.0
9	20	40	40	1068.2	1309.3	1455.3	2145.2	1563.1	1741.5	1700.3	3452.5
10	20	60	20	1668.9	2588.2	4749.6	6392.1	2990.0	3884.7	5884.9	7495.0
11	20	80	0	2394.1	3530.5	5415.5	7701.3	4135.1	5549.7	6665.0	12816.9
12	40	0	60	495.4	489.5	577.7	1271.1	746.8	658.6	725.2	1857.6
13	40	20	40	706.1	1381.3	1377.9	1826.7	1172.6	1619.0	1819.9	2688.6
14	40	40	20	1014.3	4146.4	4746.6	6398.9	1944.8	6157.8	6373.9	10781.5
15	40	60	0	3286.9	6335.7	8834.7	12745.4	5625.2	9449.2	12471.5	18028.1
16	60	0	40	1433.7	1077.0	1162.8	3223.7	950.1	1759.1	1361.7	3399.1
17	60	10	30	2082.5	1689.5	2068.8	3483.4	1986.5	2733.7	3322.7	4737.3
18	60	20	20	3174.7	3157.6	3637.8	5915.3	3362.9	4402.2	4685.9	11396.4
19	60	30	10	3281.5	6517.0	6510.1	10924.6	5026.9	8030.1	8933.2	15058.7
20	60	40	0	6776.7	7000.6	10108.7	11203.4	8768.6	9513.4	13333.4	16189.6

Table 4. Laboratory design criterion strength

Soil Type	Laboratory design criterion strength by stabilizer content (kPa)			
	8%	10%	12%	14%
Clay	700	900	1100	1700
Sand	2500	4100	6000	8800
Gravel	4000	5300	6300	10200

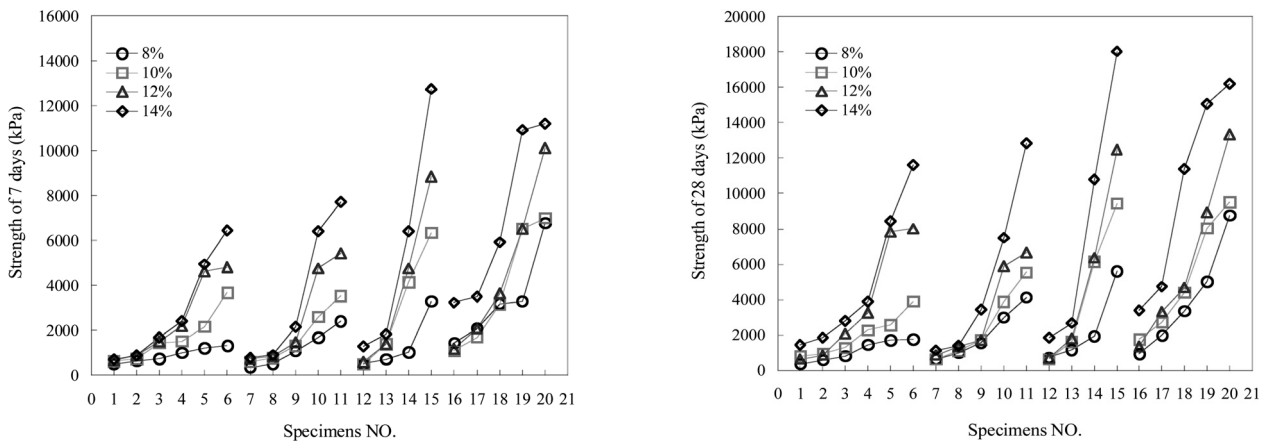


Fig. 2. Strength of curing times by stabilizer contents

### 3. 결과 분석

#### 3.1 재령에 따른 일축압축강도 특성

Fig. 3에는 재령 7일에 대한 재령 28일의 일축압축강

도 증가비를 나타내었다. 재령 7일의 일축압축강도보다 재령 28일 공시체의 일축압축강도가 크게 나타나 양생기간에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 재령 7일에 대한 재령 28일의 일축압축 강도증가비는 43.5%로 나타났다. 또한 안정재 혼합비에 따른 재령에 대한

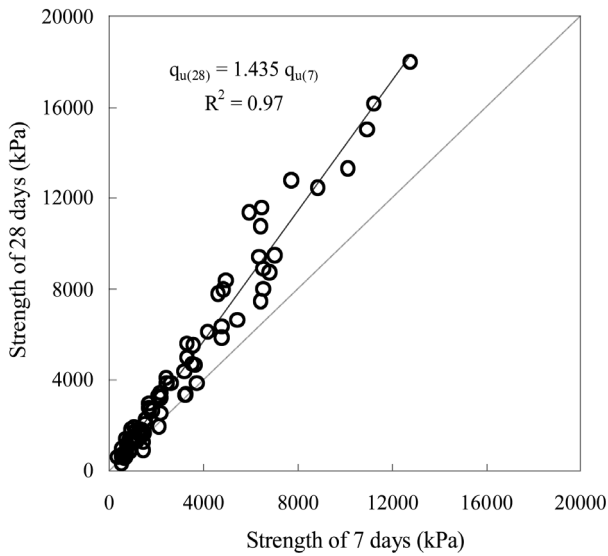


Fig. 3. Strength increasing ratio by curing time

Table 5. Strength increasing ratio by stabilizer contents

Division	Stabilizer contents (%)			
	8	10	12	14
Strength increasing ratio (%)	36.5	36.5	38.0	49.6

강도증가비는 Table 5와 Fig. 4와 같다. 안정재 혼합비 8%, 10%, 12%는 재령 28일의 강도증가비가 약 40% 정도로 거의 비슷한 결과를 보였고, 안정재 14%에서는 49.6%로 크게 증가하였다. 이와 같이 양생기간이 증가할수록 심층혼합시료에서 안정재에 의한 화학적 반응 생성물이 증가하여 내부 공극을 채워 조직을 더욱 치밀하게 하여 강도가 증가하는 효과를 보인 것으로 판단되었다.

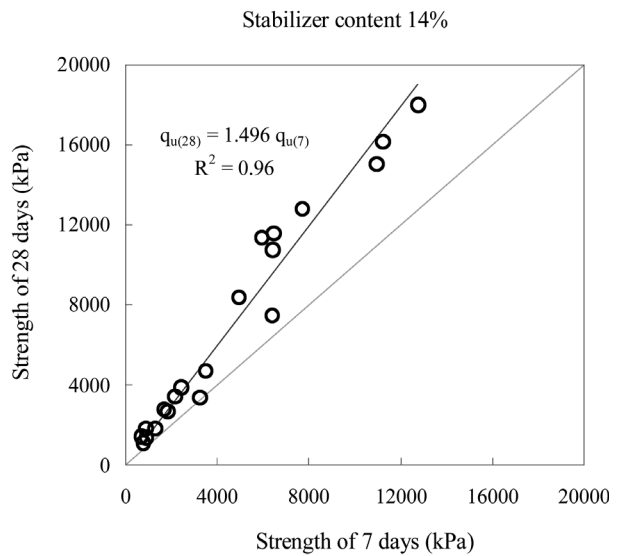
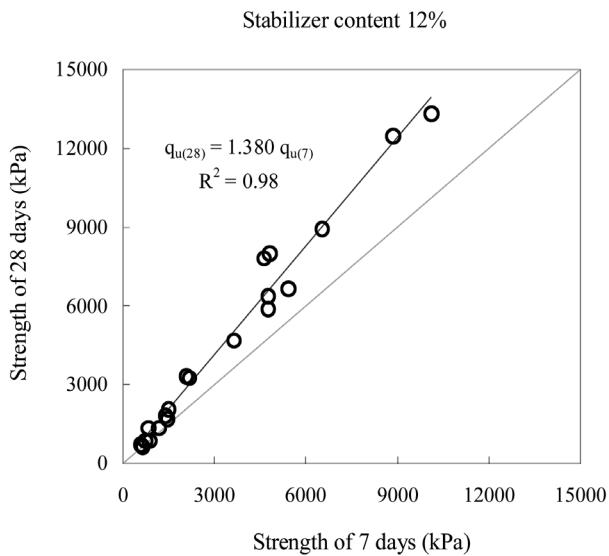
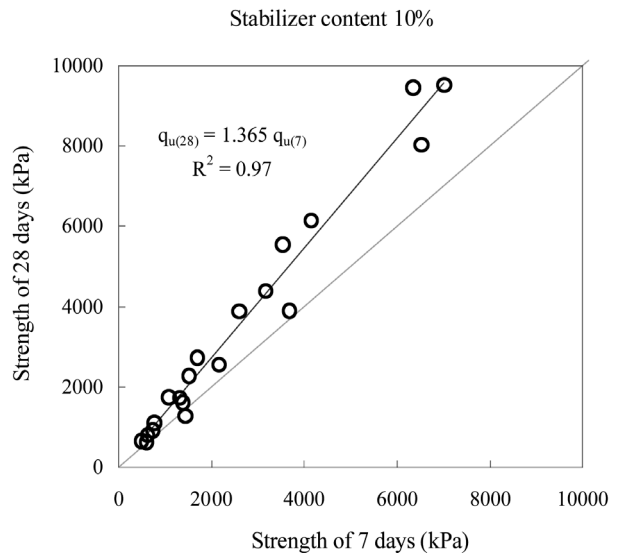
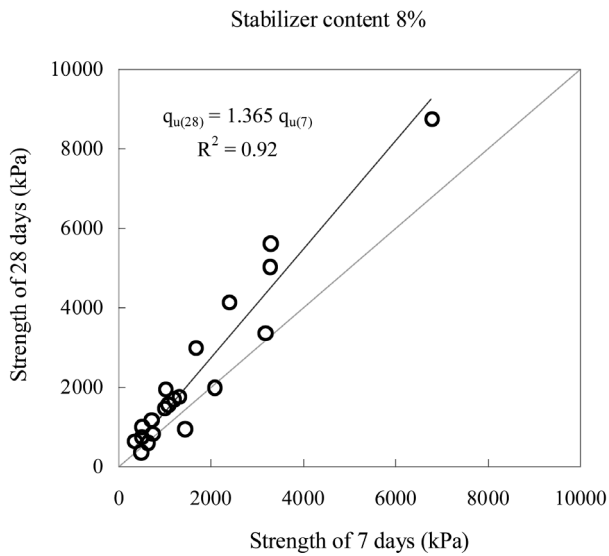


Fig. 4. Strength increasing ratio by stabilizer contents

### 3.2 안정재 혼합비에 따른 일축압축강도 특성

안정재 혼합비에 따른 일축압축강도 결과를 Fig. 5와 같이 안정재 혼합비 8%에 대하여 정규화하여 안정재 증가에 따른 강도증가비를 산정하면 7일 강도는 안정재가 10%, 12%, 14%로 증가하며 따라 31.2%, 79.6%, 141.1%로 증가하였고, 28일 강도는 37.8%, 82.2%, 168.3%로 7일 강도보다는 안정재 혼합비의 강도에 대한 영향이 다소 큰 것을 알 수 있고, 안정재 2% 증가에 따라 약 2배의 강도증가비 효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 28일의 장기 강도증가비에서 비교적 뚜렷하게 나타났다. 안정재 혼합비 증가에 따른 강도증가는 양생기간 증가와 마찬가지로 안정재에 의한 화학적 반응 생성물이 안정재 혼합비에 따라 증가하기 때문에 강도증가의 효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

### 3.3 지반종류별 일축압축강도 특성

점토질 지반의 일축압축강도는 지반재료의 배합조건에 따라 362.6~2803.8kPa로 나타났고, 재령별 일축압축강도를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 초기재령에서는 안정재의 강도증가 영향이 거의 없는 것을 알 수 있으며, 재령이 증가할수록 안정재의 혼합비에 따라 강도도 증가하는 경향이 비교적 뚜렷하게 나타났지만 점토질 지반에 대한 안정재의 영향은 혼합비가 14% 미만에서는 크게 없는 것으로 판단되었다. 또한 점토질 지반의 재령 7일 강도에 대한 재령 28일 강도는 약 40.1% 증가하는 것을 Fig. 7에서 알 수 있다.

모래질 지반에 대한 일축압축강도는 706.1~18028.1kPa로 Fig. 8에 그 결과를 나타내었다. Fig. 8에서 모래성분의 공시체중 모래 혼합비가 60% 이상인 공시체의 경우 안정재 혼합비와 양생기간이 증가함에 따라 큰 강도증

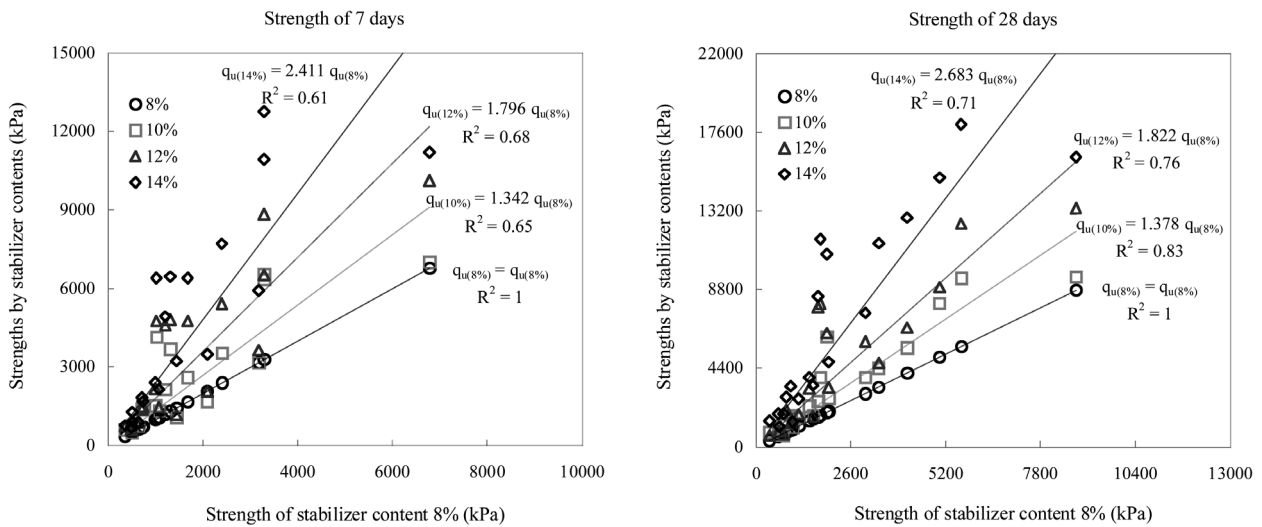


Fig. 5. Normalization for stabilizer 8%

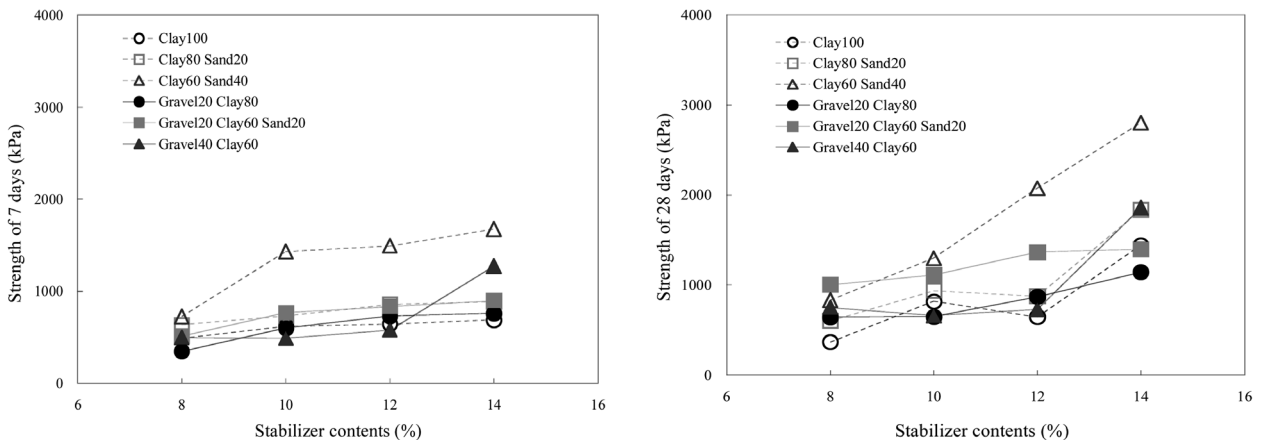


Fig. 6. Strength by stabilizer contents of clayey mixed ground

가를 보였다. 하지만 모래질 지반의 공시체 중 점토 혼합비가 40% 이상인 경우의 일축압축강도 증가는 크게 증가하지 않았다. 모래질 지반에서는 모래 및 자갈에 의해 초기강도 및 장기강도 발현에 따라 안정재 혼합비가 증가할수록 강도증가에 거의 일정한 영향을 주고 있는 것으로 판단할 수 있다. 하지만 점토질 성분이 함유될수록 그 영향이 덜 한 것을 Fig. 8의 결과로부터 알 수 있다. Fig. 9에는 재령에 따른 일축압축강도 증가비를 나타내었다. 모래성분 공시체의 재령에 따른 강도 증가비는 48.3%로 점토질 지반의 40.1%보다 크게 나타났다.

Fig. 10에서 자갈질 지반에 대한 일축압축강도는 950.1~1689.6kPa로 나타났으며, 모래의 혼합율이 작을 경우 재령에 관계없이 안정재 혼합비 8%에서 12%까지는 강도증가가 크게 나타나지 않다가 14%에서 강도증가가 비교적 크게 나타났다. 위와 같은 결과에 의해 자갈질

지반에서 안정재 혼합비가 14% 이상에서 강도증가에 대한 영향이 있는 것으로 판단할 수 있으며, 안정재 혼합비 12% 이하에서는 안정재가 비교적 강도에 미치는 영향이 적고, 자갈질 성분이 강도발현에 지배적으로 작용하고 있는 것으로 판단할 수 있다. Fig. 11에서는 자갈 50% 이상인 지반조건에서 재령 7일에 대한 재령 28일 공시체의 강도 증가비를 나타내었다. 재령에 따른 강도 증가비는 38.2%로 점토질 지반과 비슷하게 나타났다.

Fig. 12에서는 점토질, 모래질, 자갈질 지반에 대한 안정재 혼합비를 혼합비 8%에 대하여 정규화하여 그 영향성을 알아보았다. 점토질 지반의 경우는 상관성이 비교적 낮게 나와 그 영향성을 파악하기가 다소 곤란하였다. 모래질 지반은 재령 7일 강도, 즉 초기강도에 대한 영향이 비교적 크게 나타났고, 자갈질 지반은 안정재 혼합비가 높은 경우(안정재 혼합비 14%)를 제외하고는 재

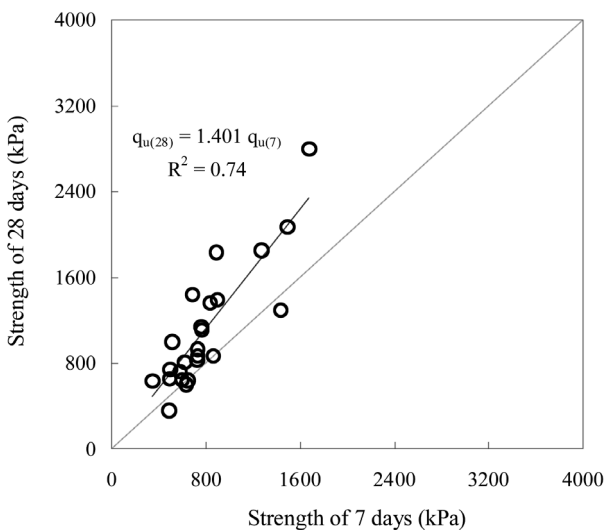


Fig. 7. Strength increasing ratio of clayey mixed ground by curing time

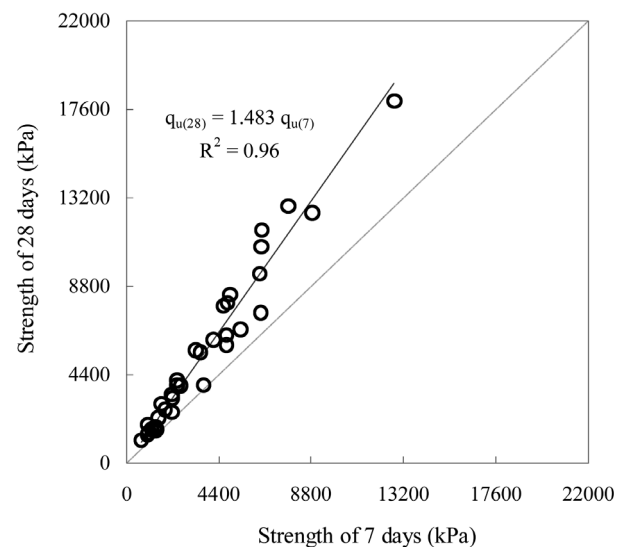


Fig. 9. Strength increasing ratio of sandy ground by curing time

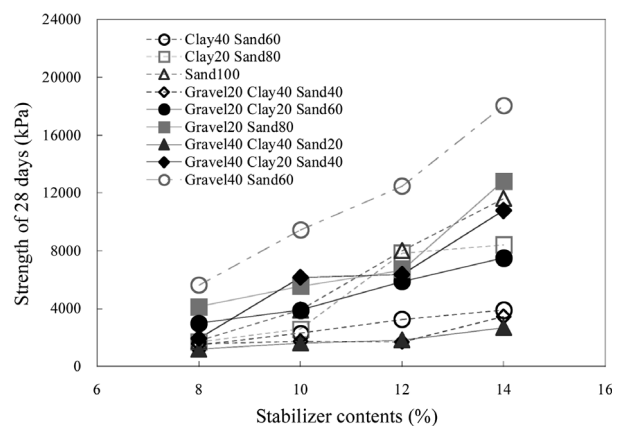
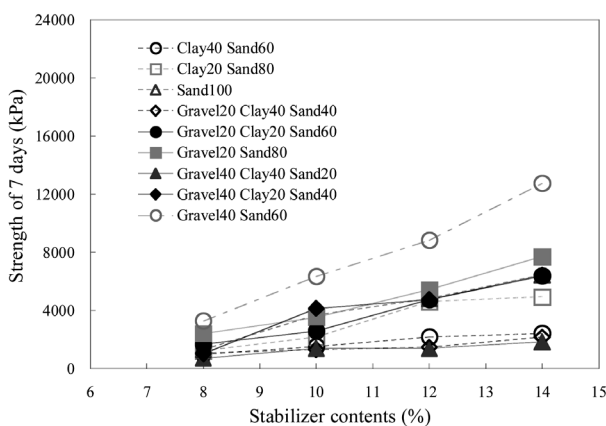


Fig. 8. Strength by stabilizer contents of sandy ground

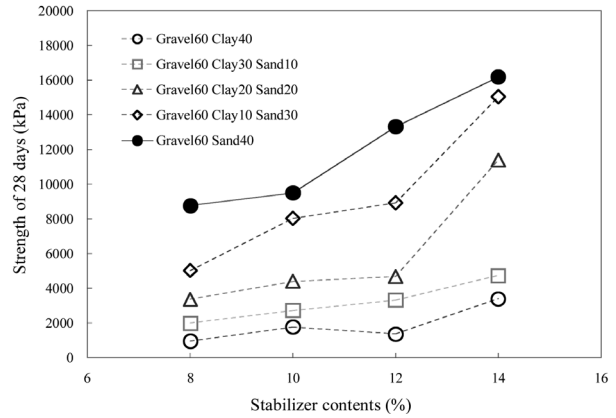
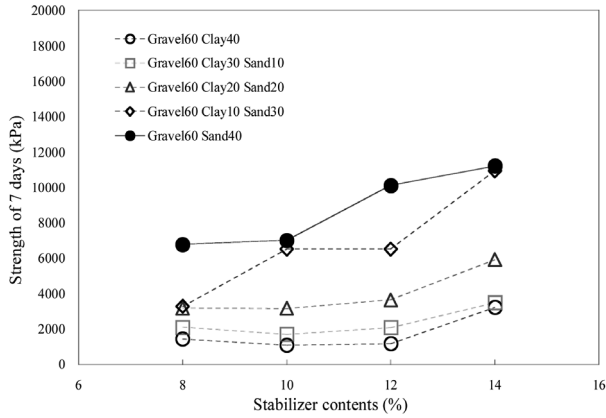


Fig. 10. Strength by stabilizer contents of gravel mixed ground

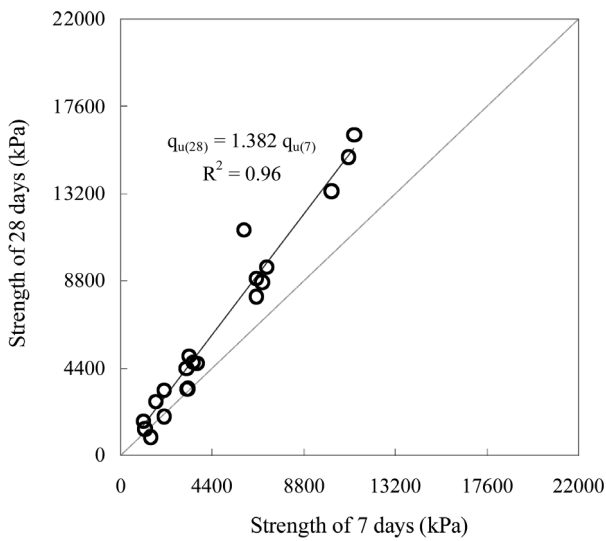


Fig. 11. Strength increasing ratio of gravel mixed ground by curing time

령 28일에 대한 영향이 큰 것으로 나타났다.

지반종류별 안정재 혼합비에 따른 일축압축강도 특성에서 점토질 지반은 모래질 및 자갈질 지반에 비해 강도증가 효과가 비교적 뚜렷하게 나타나지 않는데 이는 혼합에 따른 안정재의 교반에 있어 점토질 지반이 모래질과 자갈질 지반에 비해 잘 이루어지지 않고, 그에 따른 안정재의 포졸란 반응에 따른 화합물이 잘 형성되지 않아서 강도증가 효과가 뚜렷하게 나타나지 않기 때문인 것으로 판단되었다.

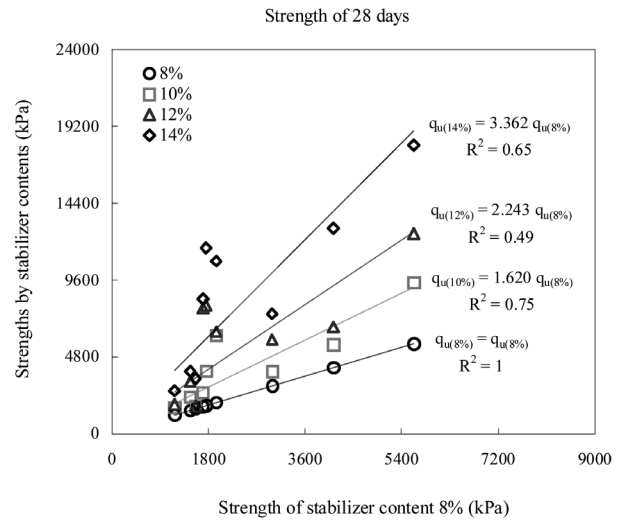
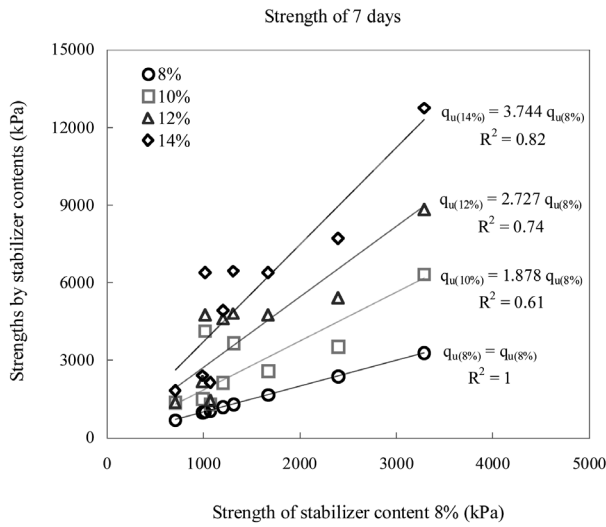
#### 4. 결론

본 연구는 심층혼합시료의 강도설계의 실내시험에 대한 기초자료를 마련하고자, 다양한 지반조건과 안정재 혼합비에 따른 심층혼합시료 배합에 의한 일축압축

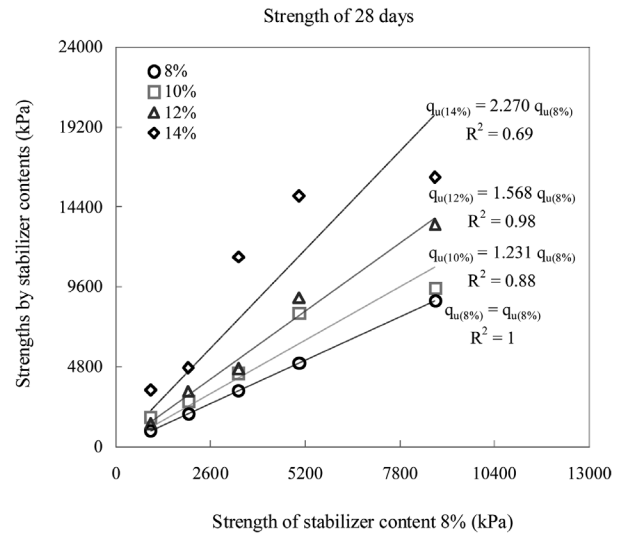
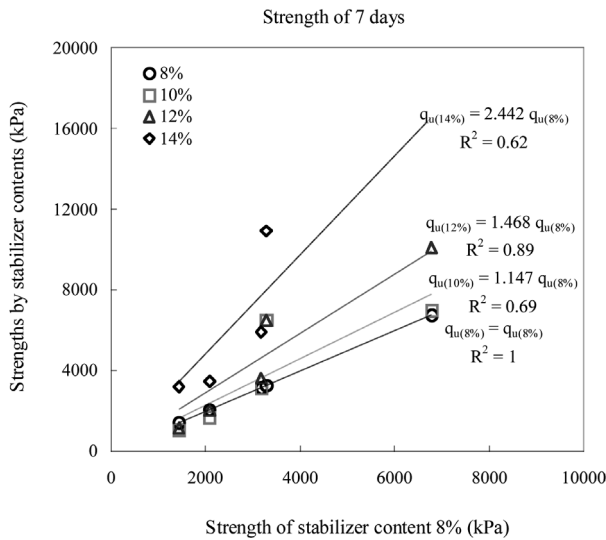
시험을 수행하였고, 그 결과(Table 3)를 활용하여 현장 강도 추정을 위한 실내기준강도 자료로 활용할 수 있다.

- (1) 재령 7일에 대하여 재령 28일의 일축압축강도 증가비는 43.5%로 나타났고, 안정재 혼합비에 따른 재령에 대한 강도증가비는 안정재 혼합비 8%, 10%, 12%는 재령 28일의 강도증가비가 약 40% 정도로 거의 비슷한 결과를 보였으며, 안정재 14%에서는 49.6%로 증가하였다.
- (2) 안정재 혼합비에 따른 일축압축강도 증가비를 산정하면 재령 7일 강도는 안정재가 10%, 12%, 14%로 증가하며 따라 안정재 혼합비 8%에 비해 31.2%, 79.6%, 141.1%로 증가하였고, 재령 28일 강도는 37.8%, 82.2%, 168.3%로 재령 7일 강도보다는 안정재 혼합비의 강도에 대한 영향이 다소 크게 나타났다.
- (3) 점토질 지반은 안정재 혼합비가 14% 미만에서는 안정재에 의한 강도증가의 영향이 크게 없는 것으로 나타났고, 모래질 지반에서는 안정재 혼합비가 증가할수록 강도증가에 일정한 영향을 주는 것으로 나타났다. 자갈질 지반의 안정재 혼합비 8%에서 12%까지는 강도증가가 크게 나타나지 않다가 14%에서 강도증가가 비교적 크게 나타난 것으로 보아 안정재가 미치는 영향보다는 자갈질 성분이 강도발현에 지배적으로 작용하고 있는 것으로 나타났다. 재령에 따른 강도 증가비는 점토질과 자갈질 지반보다는 모래질 지반에서 안정재의 영향이 큰 것으로 나타났다.
- (4) 지반종류에 대한 안정재의 영향성은 점토질 지반의 경우는 상관성이 비교적 낮게 나와 그 영향성을 파악하기가 다소 곤란하였다. 모래질 지반은 재령





(a) Normalization of sandy ground



(b) Normalization of gravel mixed ground

Fig. 12. Normalization for stabilizer 8% by ground conditions

7일 강도, 즉 초기강도에 대한 영향이 비교적 크게 나타났고, 자갈질 지반은 안정재 혼합비가 높은 경우를 제외하고는 재령 28일에 대한 영향이 크게 나타났다.

### 참고문헌 (References)

1. Chun, B.S., Lim, H.S., and Jeon, J.G. (2000), A Study on the Design-parameter of Mixed Ground by Using Cement-type Stabilizer, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.16, No.2, pp.79-81.
2. George, K.P. (1968), Shrinkage Characteristics of Soil-Cement Mixtures, *Highway Research Record*, No.255, pp.42-58.
3. Jeong, K.H., Shin, M.S., Han, K.T., Lee, J.H., and Kim, J.H. (2008), Suggestion for Determination of DCM Design Parameter Based on the Statistical Method, *KGS Spring Conference 2008*, pp.462-471.
4. Kim, B.I., Wee, S.H., Lee, S.H., and Kim, Y.U. (2003), Strength Characteristics of Soil-Cement Mixed with Inorganic Solidification Liquid, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering-C*, Vol.23, No.3, pp.135-141.
5. Kim, Y.S., Jeong, H.C., Huh, J.W., and Jeong, G.H. (2006), Application of Artificial Neural Network Theory for Evaluation of Unconfined Compression Strength of Deep Cement Mixing Treated Soil, *KGS Spring Conference 2006*, pp.1159-1164.
6. Moh, Z.C., Chin, Y.P., and Ng, S.C. (1970), Cement Stabilization of Lateritic Soils, *Proc. of Asian Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.1, pp.42-46.
7. Oh, N.S. (2006), *Strength Characteristics of Cement-Soil Mixtures*, Pukyong Univ., Master's Thesis.
8. Pendola, H.J., Kennedy, T.W., and Hudson, W.R. (1969), Evaluation of Factor Affecting the Tensile Properties of Cement Treated Material, *Texas Univ. of Texas at Austin, Research Report*, 98-3.
9. Terashi, M. and Tanaka, H. (1981), Ground improved by the deep

- mixing method, *Proc. of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.777-780.
10. Terashi, M. and Tanaka, H. (1983), Settlement analysis for the deep mixing method. *Proc. of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.955-960.
  11. Terashi, M., Tanaka, H., and Kitazume, M. (1983), Extrusion failure of ground improved by the Deep Mixing Method. *Proc. of the 7th Asian Regional conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.313-318.
  12. Terashi, M., Tanaka, H., Mitsumoto, T., Honma, S., and Ohhashi, T. (1983), Fundamental properties of lime treated soil (3rd report). *Report of the Port and Harbour Research Institute*, Vol.22, No.1, pp.69-96 (in Japanese).
  13. Terashi, M., Tanaka, H., Mitsumoto, T., Niidome, Y., and Honma, S. (1980), Fundamental properties of lime treated soil (2nd report). *Report of the Port and Harbour Research institute*, Vol.19, No.1, pp.33-62 (in Japanese).
  14. Terashi, M., Tanaka, H., Mitsumoto, T., Niidome, Y., and Honma, S. (1979), Engineering properties of lime treated marina soils. *Proc. of the 6th Asian Regional conference on soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp.191-194.
  15. Yang, T.S., Jeong, G.H., Yeo, B.G., and Lee, S.S. (2000), A Study on Design Strength and Elastic Modulus Using Deep Cement Mixing Method, *KSCE Conference*, Vol.2000, No.2, pp.615-618.

Received : October 4<sup>th</sup>, 2013

Revised : October 28<sup>th</sup>, 2013

Accepted : January 6<sup>th</sup>, 2014