한국지반공학회논문집 제16권 제2호 2000년 4월 PP. 79 ~ 89

시멘트계 고화재에 의해 혼합처리된 지반의 설계정수에 관한 연구

A Study on the Design-parameter of Mixed Ground by Using Cement-type Stabilizer

천 병 식[*1] Chun, Byung-Sik
임 해 식[*2] Lim, Hae-Sik
전 진 규[*3] Jeon, Jin-Gyu

Abstract

The application of stabilization method has increased because of short construction periods, no environmental problems with dumped and replaced soil, assurance of required strength and economical effect with mid to small size construction. The unconfined and triaxial(UU-condition) compression tests were executed with each mixing sample for the study of the improvement effects and the effect of design-parameters by the stabilization methods. Three typical stabilizers, which are representative in Korea, were applied in this study, and three common soils(very soft clay, general weathered soil, common clay), which are common in Korea, were used in this study.

In this study, the effect of engineering factors(soils, stabilizers and water contents, etc.) which are important parameters for the improvement effects of mixed ground by stabilizers, was analyzed. As results, the tendencies of design-parameters(unconfined compression strength, deformation modulus and strength parameter) are presented and the criteria of the application of stabilization methods are suggested.

요 지

고화재 혼합처리공법은 공기의 단축, 소요강도의 확보, 사토로 인한 환경문제해결, 치환토부족문제해결, 중소규모공사에서의 경제성확보 등의 장점으로 최근 그 활용가치가 점점 커지고 있다. 고화재 혼합처리공법에 의한 개량효과를 예측하고 공법설계에 필요한 각 배합조건에서의 설계정수를 얻기 위해, 각 배합조건에서 혼합처리한 시료에 대하여 일축 및 삼축압축시험(UU시험)을 행하였다. 시료는 국내의 대표적인 고화재 세가지와 국내 현장에서 흔히 접하게 되는 세가지 토질(초연약점성토, 일반풍화토, 보통점성토)을 이용하였다.

본 연구에서는 고화재 혼합처리지반의 개량효과에 영향을 미치는 인자(토질, 고화재종류, 고화재배합비, 함수비 등)별로 공학적 특성을 분석하여, 각각의 배합조건에서의 설계정수(일축압축강도, 변형계수 및 강도정수)의 경향과 공법적용시 판단기준을 제시하였다.

Keywords : Stabilization methods, Design-parameter, Improvement effects

*1 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
*2 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
*3 정회원, 현대산업개발 토목설계팀

1. 서 론

최근 산업의 발달, 인구증가 및 경제규모의 확장 등에 의해 결과적으로 종합적인 국토의 개발을 하게 되었고, 향후의 개발 대상지는 매립에 의한 대규모 임해공업단지, 관련주거시설, 운송시설 등 종래에 조성되었던 지역에 비해 개발조건이 상대적으로 열악한 지역의 개발이 불가피하게 되었다. 이에 따라 각종 국토개발 사업과정에서 연약지반 문제가 중요사안으로 대두되기 시작하였고, 효율적이고 경제성 높은 연약지반 처리공법에 대한 요구는 어느 때보다도 높다고 할 수 있겠다(건기원, 1988).

따라서, 연약지반을 개발 · 이용하기 위해 치환, 탈수, 보강, 다짐, 고결 등의 원리를 이용한 개량공법이 적용되고 있는 데, 이러한 연약지반개량공법 중 고결의 원리를 이용한 방법은 공기의 단축, 소요강도의 확보, 사토로 인한 환경문제해결, 치환토부족문제해결, 중소규모공사에서의 경제성확보 등의 장점으로 인해 최근 그 활용가치가 점점 커지고 있다(Bergado, 1996; Bell, 1993).

초연약지반 지역개발의 필요성이 높아지고, 유기질토와 초고함수토 등 적용대상토가 다양해짐에 따라 시멘트와 석회만으로는 필요한 강도를 확보하기 어려운 여건하에서 시멘트계 고화재는 이미 선진국에서 오래 전에 각각 S.A, 후지베톤, UKC 등의 상품으로 개발되어, 각종 연약지반의 천층 및 심층개량(고속도로, 철도노반, 공항활주로 등에서 연약한 보조기층 및 노상의 지지력확보, 사면안정, 트렌치 되메움, 깊은 굴착, 제방공사에서의 안정성 확보)에 이용되어 왔다. 국내에서도 1970년대에 일본으로부터 도입되어 뉴베톤, U-DAST, GH 등의 상품명으로 사용되고 있으며, 용도로는 전술한 것과 더불어 구조물의 기초지반 안정처리에 있어 옹벽, 박스칼버트의 기초보강, 주택, 창고, 지하저수조 등의 비교적 경량 구조물을 건설하는 경우등에 확대 이용되고 있다(주택공사, 1998).

이러한 용도에 고화재혼합처리공법의 적용성을 평가하는 설계법으로 지반계수법, 다층탄성이론, 극한강도설계법(Boussinesq방법), 지반지지력산정법 등이 이용되고 있다. 설계법의 산정과정에서 연약지반의 지반계수와 개량지반의 변형계수, 점착력(c), 마찰각(ϕ) 등의 설계정수가 요구된다(セメント協會, 1994). 그러나 국내에서는 이러한 설계정수에 대한 연구가 공사전 시험시공단계에서 일시적으로 이루어지거나, 각 제품별로 부분적으로 적용, 검토되고 있어 다양한 고화재별 및 배합조건별 개량효과에 대한 판단기준이 미비한 실정이다.

본 연구에서는 국내 시멘트계 고화재의 고화재별 및 배합조건별 개량효과, 설계정수의 특성 등을 규명하기 위하여 적용대상토질(초연약점성토, 일반풍화토, 보통점성토)을 구분하고 각 고화재(A, B, C 고화재)와 혼합처리하여 일축 및 삼축압축시험(UU시험)을 실시하였다. 각 배합조건별로 일축압축강도, 변형계수 및 개량지반의 단기간(28일 양생)의 안정해석을 위한 강도정수의 분석을 통해 고화재 혼합처리지반의 공학적 특성을 검토하고 동시에 공법적용시 필요로 하는 설계정수에 대한 판단기준을 제시하였다.

2. 천층혼합처리공법의 설계

천층개량지반의 설계는 활동파괴, 상재하중에 의한 응력, 개량토의 강도, 개량지반의 침하, 미개량지반의 지지력에 대하여 개량목적에 맞게 검토하게 된다. 보통 미개량지반의 전단강도가 0.1kgf/cm^{2}를 초과하면 극한설계법으로 설계하고 이러한 경우 활동검토, 작용응력에 대한 지지력 검토를 행한다. 미개량지반의 전단강도가 0.1kgf/cm^{2}보다 적으면 지반계수법으로 설계하는 것이 바람직하며, 마지막단계에서 개량지반하부의 미개량지반에 전달되는 지반반력에 대하여 지지력검토가 요구된다.

설계법으로는 지반계수법이나 다층탄성이론, 극한강도설계법(Boussinesq방법)등이 있으며, 지반지지력(Terzaghi의 지지력산정방법 - 단일층, 이층구조, punching에 대한 검토)검토 방법이 있는 데 각각 연약지반의 지반계수와 개량지반의 변형계수, 점착력(c), 마찰각(ϕ)등의 설계정수가 요구된다.(セメント協會, 1994)

2.1 지반계수법

지반계수법은, 그림 1에서와 같이 윈클러(Winkler)의

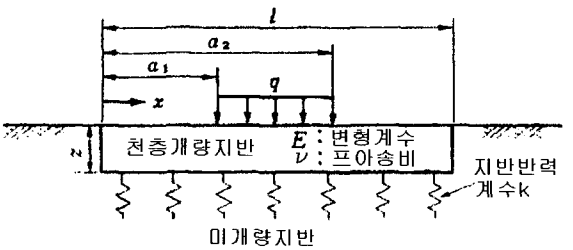

그림 1. 지반계수법의 지반모델

가정에 의해서 미개량지반 특성을 지반반력계수 k, 즉 스프링의 집합체로 간주하는 설계법이다. 이 모델은 미개량지반의 전단강도가 작을수록 모델해석이 현실에 적합해진다. 식 (1)의 미분방정식에 의해 모델링할 수 있는데 이 식의 계수중 $\alpha = \sqrt[4]{bk/4kD}$, D(휨강성, t · m^2) = $EI/(1-\nu^2)$를 구하는데 천층개량지반의 변형계수 E값이 이용된다.

$$\omega^{IV}(x) + 4\alpha^4\omega(x) = f(x)/D \quad (1)$$

2.2 개량지반 지지력의 산정방법

개량지반의 지지력산정에는 Terzaghi의 지지력공식을 수정한 식 (2), (3)이 적용되는데 장기적인 허용지지력에는 식 (2)가, 단기적인 허용지지력에는 식 (3)에 의해 산정된다. 지지력산정시 강도정수값이 이용된다. 관입깊이와 기초폭은 그림 2에서와 같다.

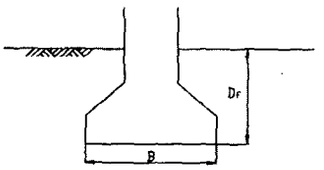

그림 2. D_f와 B의 개념도

장기허용지지력은

$$q_a = \frac{1}{3}(\alpha cN_c + \beta\gamma_1 BN_\gamma + \gamma_2 D_f N_q) \text{ (kgf/cm}^2) \quad (2)$$

단기허용지지력은

$$q_a = \frac{2}{3}(\alpha cN_c + \beta\gamma_1 BN_\gamma + \frac{1}{2}\gamma_2 D_f N_q) \text{ (kgf/cm}^2) \quad (3)$$

3. 고화재 실내 배합시험

3.1 적용대상지반

본 연구의 대상토로는 Ca - 벤토나이트를 Na_2CO_3로 치환해서 상품화시킨 활성벤토나이트를 이용한 Type Ⅰ(초연약점성토), 화강풍화토를 이용한 Type Ⅱ(일반 풍화토), 그림 3과 표 1에서와 같이 국내 점성토의 입도분포 및 물리적 특성을 갖도록 벤토나이트와 화강풍화토의 혼합 · 조정하여 중량비 7 : 3의 Type Ⅲ(보통점성토)로 나누어 대상지반을 구분하였다(박성용, 1994). 그림 3에서 대상토별로 Bentonite는 Type Ⅰ, Soil은 Type Ⅱ, Ben:Soil=7:3은 Type Ⅲ의 입도분포를 나타내며, 실내시험결과는 표 1에 나타내었다(건설부, 1979).

대상시료에 대하여 각각 비중시험, 입도분포시험, 액소성한계시험을 통하여 통일분류에 의해 분류하였으며, 일

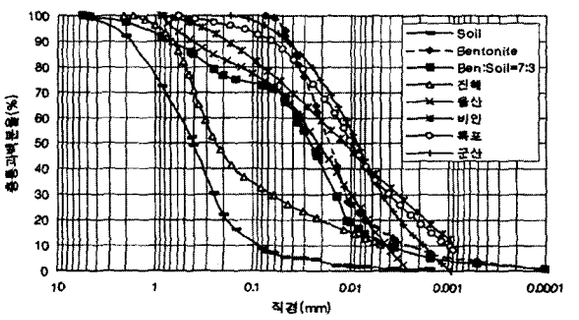

그림 3. 대상토의 입도분포

표 1. 적용 대상토의 물리적 특성

구분	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	분류	최적함수비 (%)	최대건조단위중량(t/m^3)
벤토나이트	2.70	338.0	62.0	CH	-	-
일반풍화토	2.67	29.5	비소성	SM	17.0	1.752
혼합토	2.69	87	39	MH	-	-

주)혼합토는 벤토나이트 : 화강풍화토 = 7 : 3으로 혼합한 흙이다.

표 2. X선 형광분석기에 의한 성분분석

특성 및 성분 / 시료	특성	성분구성(%)											
	비중	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnC	CaO	MgC	K_2O	Na_2O	P_2O_5	강열감량	Total
Bentonite	2.7	60.56	15.58	3.22	0.37	0.06	2.90	2.61	0.81	4.00	0.09	9.82	100.02
포틀랜트시멘트	3.17	21.0-22.5	4.5-6.0	2.5-3.5	-	-	63.0-66.0	1.0-2.0	-	-	-	0.9-2.6	100.00
A 고화재	3.05	21.51	4.92	2.18	0.22	0.05	47.87	3.49	1.04	0.02	0.15	17.89	99.34
B 고화재	3.06	20.72	4.75	2.09	0.21	0.05	46.74	3.36	0.98	0.02	0.19	20.71	99.82
C 고화재	2.94	21.38	5.79	2.15	0.30	0.10	49.87	3.90	0.97	0.57	0.16	14.46	99.65

주)A고화재, B고화재, C고화재는 각각 국내에서 사용되고 있는 ESC-S2, ESC-S3(이상 New Beton), GH(Ground Hardening)를 나타낸다

반풍화토에 대하여 다짐시험을 행하였다.

3.2 사용고화재

현재 국내외에서 판매, 시공되고 있는 고화재는 주로 시멘트계 고화재로서 이는 시멘트의 특정 성분을 증가 또는 감소시켜 일반 연약지반용, 고유기질토용, 산업폐기물용, 초고함수토용 등으로 세분되어 고화의 효과를 증대할 수 있도록 한다. 본 연구에서는 장기적인 안정성 및 신뢰성등을 검토하여 국내에서 생산되는 시멘트계 고화재 중 국내 사용 실적이 많은 고화재를 선정하여 A고화재(일반연약점토용), B고화재(고함수토용), C고화재(일반연약토, 고함수토, 유기질토겸용)를 선별하여 적용하였다. 각 고화재에 대해 비중 및 성분분석시험을 행하여 표 2에서와 같이 포틀랜트시멘트의 성분과 비교하였다.

3.3 실내시험

(1) 시험체제작

건조한 고화재와 현장교란시료에 다짐시험을 통해 얻은 최대 건조단위중량에 포화도를 100%로 가정하여, Type Ⅰ(초연약점성토)의 경우, γ_t=1.3, 1.5, 1.7, 1.9 t/m^3, Type Ⅱ(일반풍화토)의 경우, γ_t=1.9, 2.0, 2.1 t/m^3, Type Ⅲ(보통점성토)에서는 γ_t=1.5, 1.7, 1.9 t/m^{3}로 단위중량을 결정하였다.

$$\gamma_t(t/m^3)=\frac{(\text{고화재}+\text{물}+\text{대상토의 중량})}{\text{몰드의 체적}} \quad (4)$$

고화재는 A고화재, B고화재, C고화재를 사용하였으며, 배합비는 0, 3, 5, 7, 10, 15, 20 %로 구분하였다.

$$\text{배합비}(\%)=\frac{(\text{고화재중량})}{(\text{고화재중량}+\text{물중량}+\text{흙중량})}\times 100 \quad (5)$$

함수비는 다짐시험을 통해 얻은 최대건조단위중량에 완전포화를 가정하여 각각 173%(γ_t=1.3t/m^3) ,90%(γ_t=1.5t/m^3), 54%(γ_t=1.7t/m^3), 34%(γ_t=1.9t/m^3), 26%(γ_t=2.0t/m^3), 20%(γ_t=2.1t/m^3)를 유지하였다.

$$\text{함수비}(\%)=\frac{(\text{물중량})}{(\text{고화재중량}+\text{흙중량})}\times 100 \quad (6)$$

시험체 크기는 5×10 cm(직경×높이)로 제작되었으며, 양생일수는 28일이고 양생온도는 상온 20±3℃로 항온 수조에서 습윤양생하였다.

(2) 시험방법

시험방법으로는 일축압축강도시험법과 비압밀비배수시험법을 사용하였다. 일축압축시험을 통해 천층처리공법의 설계시 필요로 하는 일축압축강도와 변형계수를 구하였으며, 전단파괴속도는 0.5mm/min로 하였다. 단기간 성토시 개량지반의 안정성을 판단하기 위해 삼축압축시험을 이용하여 강도정수를 구하였는데 전단파괴 속도는 0.5mm/min이며 구속압(Cell pressure)은 0.5, 1.0, 1.5kg/cm^{2}으로 하였다.

4. 일축 및 삼축압축시험 결과 분석

양생조건을 28일양생, 온도는 20±3° 을 적용하였으며, 흙의 성분은 활성벤토나이트(몬트모릴로나이트성분)에 일반 화강풍화토를 섞어 단일하게 제작하였다. 흙의 종류는 점성토에 대한 소성지수, 활성도, 유기질함유량별로 구분하지 않고 입도분포별로 벤토나이트와 일반풍화토를 이용하여 구분하였다. 다음은 실험조건에서 고려되지 않은 인자를 제외한 네가지인자(토질, 고화재종류, 함수비, 고화재배합비)에 대하여 분석하였다(Bergado, 1996).

4.1 일축압축시험결과의 강도특성

일축압축시험결과로부터 압축강도의 특성을 네가지 영향인자(토질, 고화재 종류, 함수비, 고화재배합비)에 대하여 비교 · 분석하였다.

4.1.1 토질별 압축강도 특성

초연약점토, 일반풍화토, 보통점성토의 토질구분을 통해 원지반 및 개량 후 효과를 비교하였다. 토질별 일축압축강도는 그림 4 ~ 6에서와 같은 경향을 보이고 있다. Type Ⅰ에서는 각 배합조건별로 강도증가 곡선이 큰 차이를 보이고 있으며, Type Ⅱ, Ⅲ에서는 변화폭이 작은 경향을 보이고 있다. 고화재 배합비 10%에서 각 토질별 개량효과를 비교해 보면, 초연약처리토의 경우 17kgf/cm^2, 일반풍화처리토의 경우 30kgf/cm^2, 보통점성처리토의 경우에 17kgf/cm^{2}에 이르는 결과를 보이고 있다. 공학적 특성이 우수한 일반풍화토(Type Ⅱ)가 개량효과도 우수하게 나타났으나, 점성

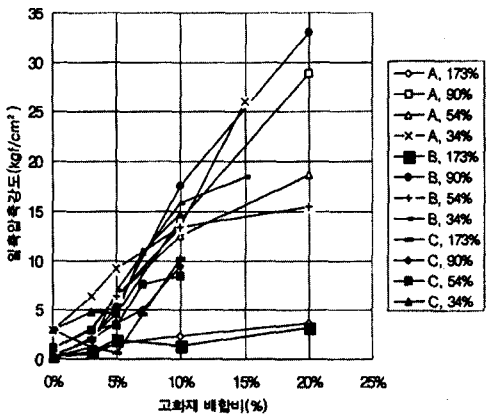

그림 4. Type Ⅰ에서의 일축압축강도 특성

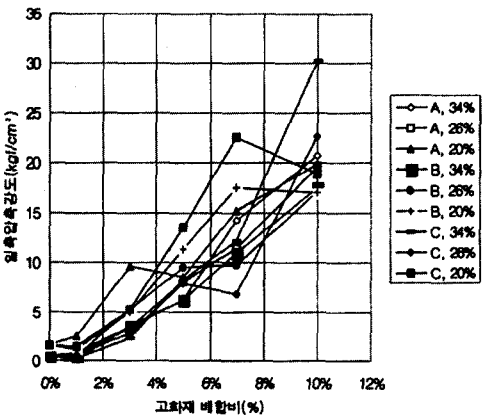

그림 5. Type Ⅱ에서의 일축압축강도 특성

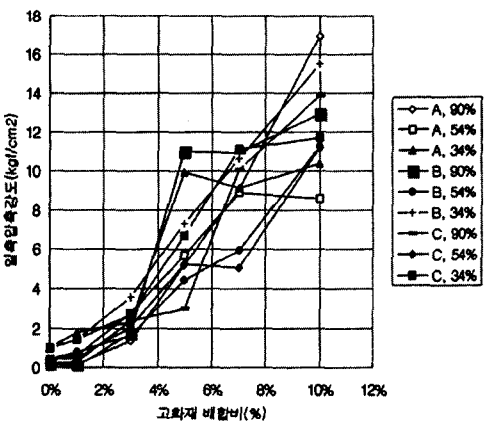

그림 6. Type Ⅲ에서의 일축압축강도 특성

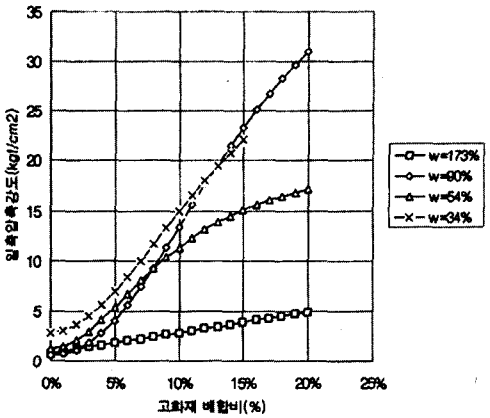

그림 7. Type Ⅰ에서의 함수비별 일축압축강도의 경향곡선

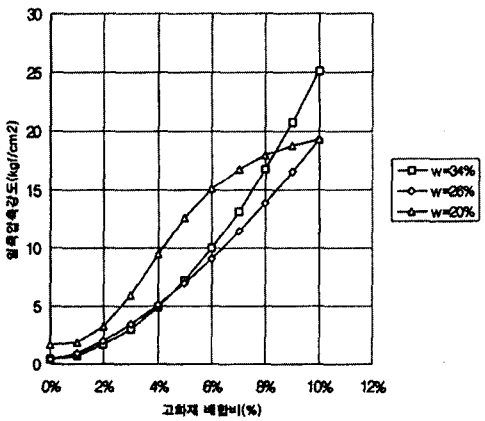

그림 8. Type Ⅱ에서의 함수비별 일축압축강도의 경향곡선

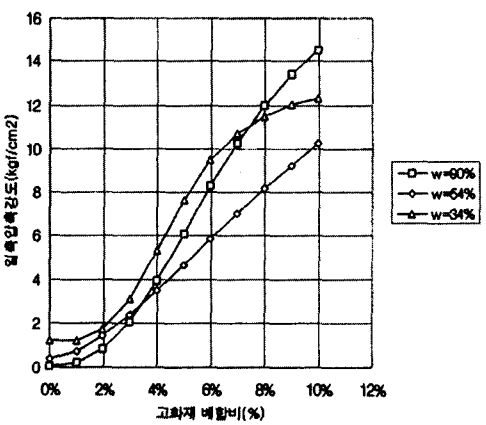

그림 9. Type Ⅲ에서의 함수비별 일축압축강도의 경향곡선

토 미네랄과의 반응성(포졸란 반응)을 고려한 시멘트계고화재의 특성으로 인해 연약토(Type Ⅰ, Ⅱ)에서도 미개량토의 압축강도에 비해 우수한 개량효과를 얻고 있는 것을 알 수 있다.

4.1.2 고화재 종류별 압축강도 특성

본 연구에서 사용한 고화재는 A고화재(일반연약토용), B고화재(고함수토용), C고화재(일반연약토,고함수토,유기질토겸용)로 주로 일반연약토에 적용가능한 고화재이며, B, C 고화재는 고함수지반에도 적용가능하다. 각각의 배합조건에 대하여 고화재별 개량효과는 큰 차이를 보이고 있지 않는데, 이는 고화재의 용도에서 약간씩 차이는 있으나, 주 적용대상지반이 일반연약지반용으로 같으며, 표 2에서와 같이 성분이 유사한 이유때문인 것으로 판단된

다. 그 결과는 그림 7 ~ 9에 나타내었다.

4.1.3 함수비별 압축강도 특성

고화재 종류별 압축강도특성에서 고화재의 성분 및 용도의 유사성으로 인해 비슷한 개량효과를 얻고 있다. 적용고화재에 대하여 각 배합비별로 대표곡선을 그림 7 ~ 9에 나타내었다. 적용한 고화재는 혼합처리시 필요로 하는 수량에 따라 각각 개량효과가 달라질 수 있을 것으로 예상되는데, 그림 7에서, 함수비 173%에 이르는 고함수비조건에서는 저강도의 선형적인 강도특성을 보이며, 함수비 34%인 경우의 개량효과가 고화재배합비 13%정도까지 함수비 90%, 54%인 경우보다 우수한 특성을 보이다가, 고화재배합비 13%이후부터 다시 감소경향을 보이며 함수비 90%인 경우의 개량효과가 더 우수한 특성을 보이고 있다. 그림 8에서, 함수비 20%인 경우의 강도경향이 함수비 34%, 26%인 경우보다 고화재 배합비 8%정도까지 우수한 특성을 보이다가, 고화재배합비 8%이후부터 다시 감소하여 함수비 34%인 경우의 개량효과가 더 우수한 특성을 보이고 있다. 그림 9에서 함수비 34%인 경우의 개량효과가 고화재배합비 7%정도까지 함수비 90%, 54%인 경우보다 우수한 특성을 보이다가, 고화재배합비 7%이후부터 다시 감소경향을 보이며 함수비 90%인 경우의 개량효과가 더 우수한 특성을 보이고 있다. 개량효과에 있어서, 과소한 함수비상태에서는 물의 부족으로 인해 고결반응보다 다짐에 의해 더 큰 영향을 받으며, 상대적으로 큰 함수비상태에서는 충분한 수량에 의해 고결반응이 발생하기 때문에 다짐보다 고결반응이 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다(Bergado, 1996). 함수비별 강도경향은 일정한 고화재 배합비를 기준으로 변화된다. 즉, 상대적으로 과소한 함수비상태의 다짐에 의한 개량효과는 일정한 고화재배합비 이후부터 상대적으로 큰 함수비상태의 고결화에 의한 개량효과보다 낮은 강도경향을 보임을 알 수 있다.

4.1.4 고화재 배합비별 압축강도 특성

일반적으로 시멘트의 경우 배합비가 증가할수록 시멘트 처리토의 강도도 증가하는데, 시멘트고화재의 경우에도 배합비의 증가시 개량효과 또한 증가경향을 보이고 있다. 개량효과의 증가경향에 있어서 주로 비선형적인 증가를 보이며, 일차원적인 선형증가경향을 보이기도 한다. 미개량지반의 일축압축강도가 3kgf/cm^{2}이하에 분포하고 있다. 고화재배합비가 증가시 개량강도의 증가추이는 고화재배합비 10%대에서 비교해 보면, Type Ⅰ에서 17 kgf/cm^2 ,Type Ⅱ에서 30 kgf/cm^2 ,Type Ⅲ에서 17 kgf/cm^2 에 이르는 개량효과를 보이고 있다. 이와 같이 높은 고화재 배합비에서 우수한 개량효과를 보이고 있는 것으로 나타났다.

4.2 일축압축시험결과의 변형계수특성

본 절에서는 혼합처리지반의 변형계수(E_{50})와 압축강도의 관계에 대하여 분석하였다.

4.2.1 일축압축강도와 변형계수와의 관계

지반의 상태는 미개량지반과 개량지반으로 구분될 수 있으며, 아래 절에서 미개량지반의 변형계수와 개량지반의 변형계수에 대하여 비교 · 분석하였다.

(1) 개량지반(혼합처리지반)의 변형계수

혼합처리토의 변형계수(E_{50})와 일축압축강도(q_u)와의 관계는 각종 토질에 따라서 약간씩 다르지만 일본에서는 식 (7)과 같이 계수가 (50~200)의 범위를 갖는 일차원 비례관계식으로 제안되었다.(セメント協會, 1994)

$$E = (50 \sim 200) \times q_u \ (kgf/cm^2) \qquad (7)$$

(2) 토질별 혼합처리지반의 변형계수특성분석

일축압축강도와 변형계수의 관계는 일차원적 비례경향을 보이는 것으로 알려지고 있는데, 그림 10 ~ 12에서 각 토질별 경향은 모두 일차원적 비례관계를 보이고 있다. 이는 변형계수의 특성이 일축압축강도의 특성과 유사한 특성을 보이는 것을 의미하고 있다.

본 연구결과를 통해 미개량지반의 관계를 제외한 일축압축강도와 변형계수의 관계를 식 (7)에서와 같은 비례식으로 나타낼 수 있다. 그림 13 ~ 15은 식 (8)의 (변형계수/

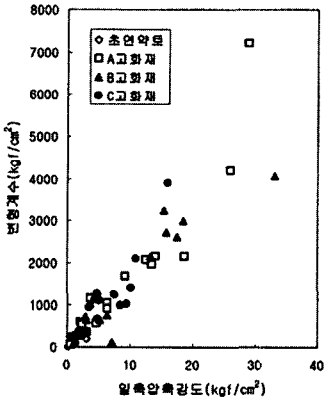

그림 10. Type Ⅰ에서 일축압축강도와 변형계수의 관계

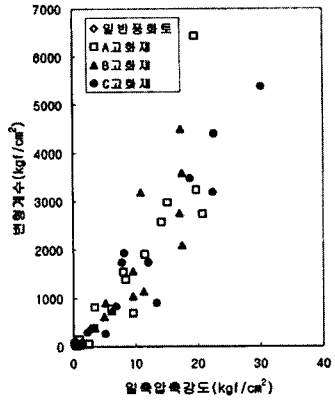

그림 11. Type II에서 일축압축강도와 변형계수의 관계

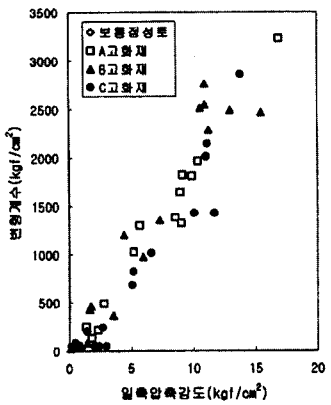

그림 12. Type III에서 일축압축강도와 변형계수의 관계

일축압축강도)값(α)을 상한선과 하한선의 범위를 나타내고 있다. 고화재혼합처리지반의 토질별 α계수는 식 (7)의 개량지반의 계수(α=50~200)와 비교할 때 토질별로 거의 유사한 값을 보이고 있다.

$$E = \alpha \times q_u \ (kgf/cm^2) \qquad (8)$$

여기서, α : (변형계수/일축압축강도) 값

Type I (초연약개량지반)의 경우, α = 100~300

Type II (일반풍화개량지반)의 경우, α = 50~250

Type III(보통점성개량지반)의 경우, α = 50~250

고화재 혼합처리지반의 일축압축강도와 변형계수의 관계를 일차원 비례관계를 보이는 경향곡선으로 나타내면, 식 (8)의 α계수는 다음과 같은 값으로 나타낼 수 있다.

Type I (초연약개량지반)의 경우, α = 168.70

Type II (일반풍화개량지반)의 경우, α = 176.22

Type III(보통점성개량지반)의 경우, α = 184.79

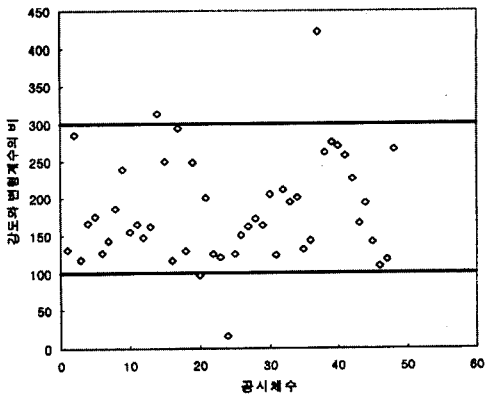

그림 13. Type I에서 (변형계수/일축압축강도)값의 분포

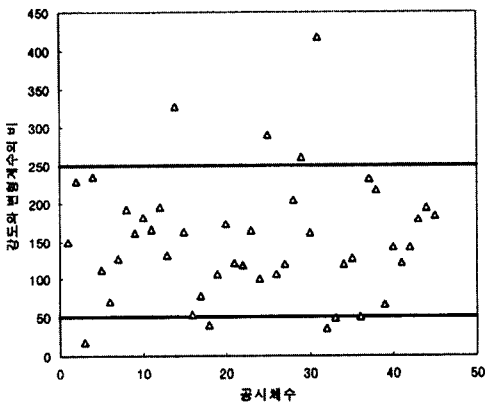

그림 14. Type II에서 (변형계수/일축압축강도)값의 분포

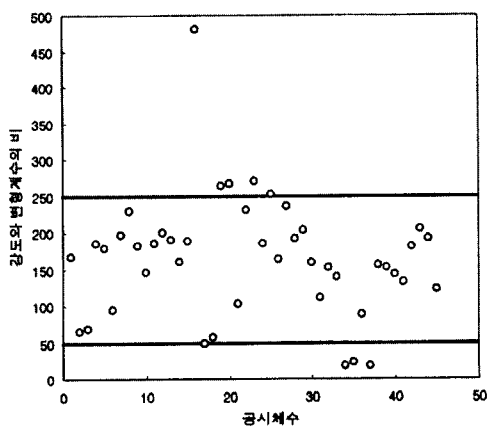

그림 15. Type III에서 (변형계수/일축압축강도)값의 분포

4.3 삼축압축시험결과의 강도정수(c, ϕ)특성

본 연구에서는 개량지반의 단기간 안정해석을 위하여 비압밀비배수삼축압축시험(UU 시험)법을 이용하여 각각의 배합조건에서 강도정수를 구하였으며, 고화재 혼합처리를 통한 화학적 결합에 발생하는 전단저항의 경향(점착력 및 내부마찰각의 경향)에 대하여 비교 · 분석을 하였다(Terzaghi, 1996).

4.3.1 점착력

본 연구에서는 배합조건별로 미개량지반에 고화재를 혼합처리하여 얻어지는 화학적 결합이 점착력에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

(1) 토질별 점착력의 특성

토질별 점착력의 특성은 일축압축강도의 경우와 유사한 경향을 보이고 있다. 함수비 범위가 넓고 연약한 Type Ⅰ의 경우 증가율이 큰 차이를 보이고 있다. Type Ⅱ, Ⅲ에서는 증가율의 변화폭이 작으며, 거의 선형적인 증가경향을 보이고 있다. 미개량지반의 비배수점착력은 2.0kgf/cm^2 이하의 값을 보이고 있는데, 고화재배합비 10%범위에서 증가된 점착력은 Type Ⅰ에서 4.0kgf/cm^2, Type Ⅱ에서 4.0kgf/cm^2, Type Ⅲ에서 4.0kgf/ cm^{2}에 이르는 개량효과를 얻고 있다.

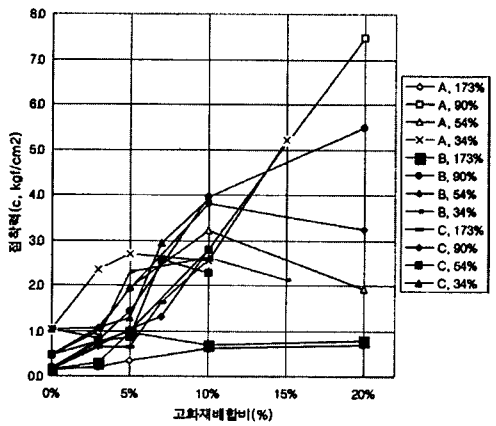

그림 16. Type Ⅰ에서의 점착력 특성

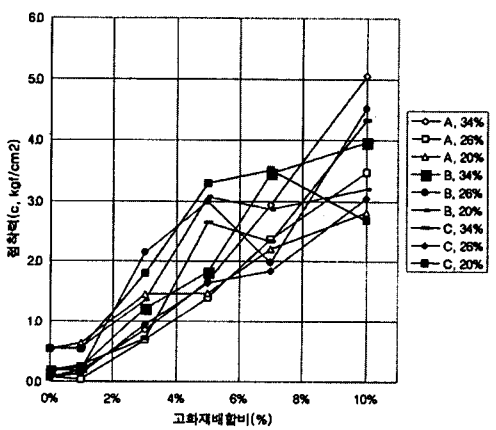

그림 17. Type Ⅱ에서의 점착력 특성

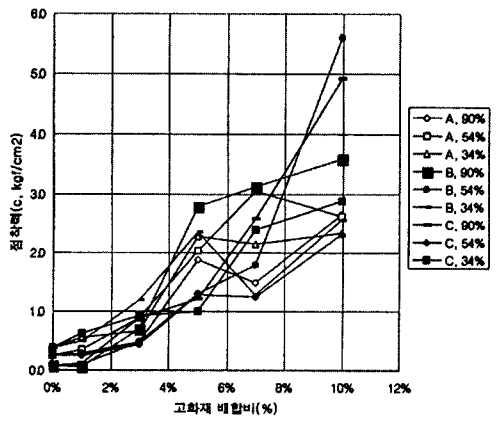

그림 18. Type Ⅲ에서의 점착력 특성

(2) 함수비별 점착력의 분포

일축압축강도의 함수비별 특성과 같이 고화재 종류별 압축강도특성에서 고화재의 성분 및 용도의 유사성으로 인해 비슷한 개량효과를 얻고 있다. 적용 고화재에 대하여 각 배합비별로 대표곡선을 그림 19~21에 나타내었다. 적용한 고화재는 혼합처리시 필요로 하는 수량에 따라 각각 개량효과가 달라질 수 있을 것으로 예상되는데, 그림 19에서 함수비 34%인 경우에 선형적인 증가경향을 보이며, 고화재 배합비 9%정도까지 가장 우수한 특성을 나타내고

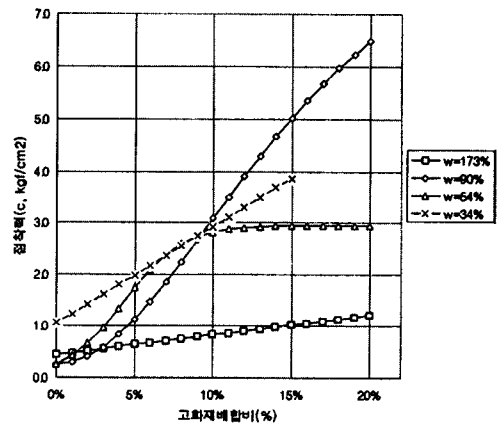

그림 19. Type Ⅰ에서 함수비별 점착력의 경향곡선

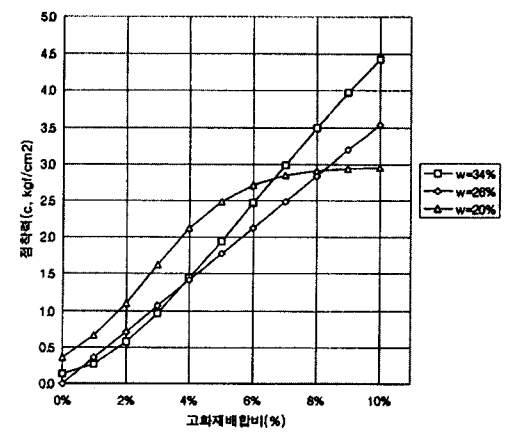

그림 20. Type Ⅱ에서 함수비별 점착력의 경향곡선

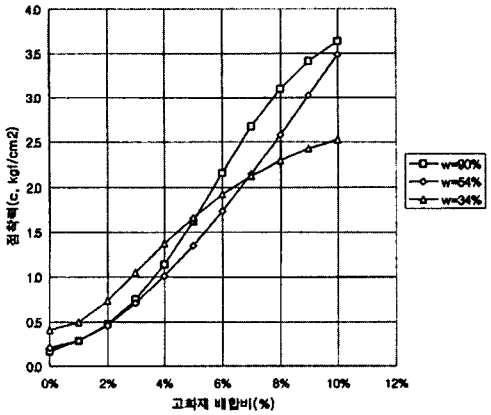

그림 21. Type III에서 함수비별 점착력의 경향곡선

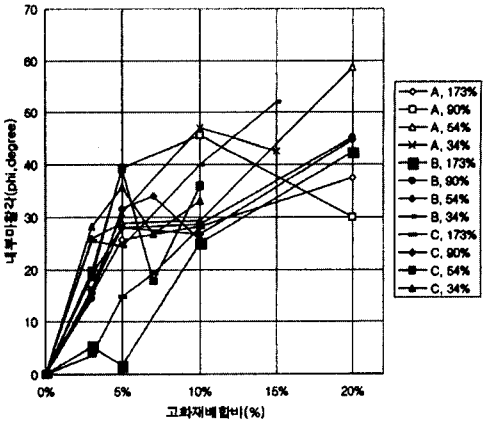

그림 22. Type I에서의 내부마찰각 특성

있다. 고화재 배합비 9%이후부터 함수비 90%인 경우가 높은 증가율을 보이며 함수비 34%인 경우보다 더 우수한 특성을 보이고 있다. 함수비 173%인 고함수 조건에서는 가장 낮은 특성를 보이고 있다. 함수비 54%인 경우는 고화재 배합비 9%이후부터는 거의 점착력이 증가하지 않고 있다. 그림 20의 경우, 함수비 20%인 경우가 고화재배합비 7%정도까지 함수비 34%, 26%인 경우보다 우수한 특성을 보이다가 그후부터는 함수비 34%인 경우의 특성이 더 우수한 경향을 보이고 있다. 그림 21에서는 함수비 34%인 경우가 고화재배합비 5%정도까지 함수비 90%, 54%인 경우보다 우수한 특성을 보이다가 고화재배합비 5%이후부터는 함수비 90%인 경우의 특성이 더 우수한 경향을 보이고 있다. 개량효과에 있어서, 일축압축강도의 함수비별 특성과 같이, 즉, 상대적으로 과소한 함수비상태의 다짐에 의한 개량효과는 일정한 고화재배합비 이후부터 상대적으로 큰 함수비상태의 고결화에 의한 개량효과보다 낮은 강도경향을 보임을 알 수 있다.

4.3.2 내부마찰각

배합조건별로 미개량지반에 고화재를 혼합처리하여 얻어지는 화학적 결합에 의한 내부마찰각의 경향을 분석하였다.

(1) 토질별 내부마찰각의 특성

일반적으로 비압밀 비배수시험조건하에서는 $\phi = 0$개념이 모든 토질에 대하여 이론적으로는 지켜져야 한다. 그러나 본 연구에서 적용하고 있는 고화재에 의한 화학적 결합에 의해 내부 마찰각이 발생할 수 있다. 토질별 내부마찰각의 경향은, Type I 에서는 비선형적으로 초기에 큰 증가

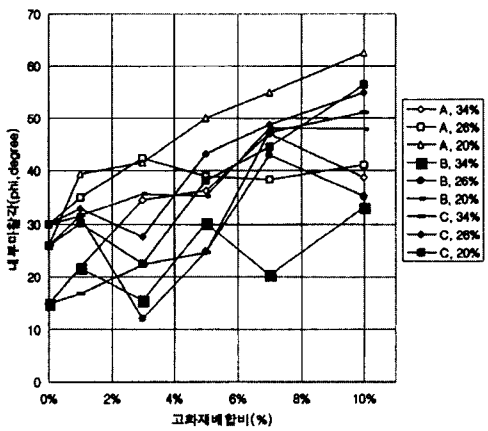

그림 23. Type II에서의 내부마찰각 특성

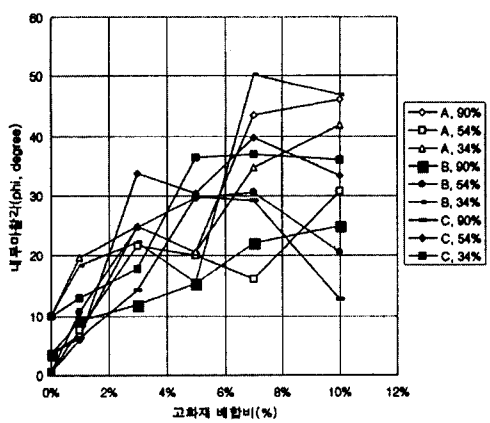

그림 24. Type III에서의 내부마찰각 특성

를 보이다가 고화재배합비 5%이후부터 증가율이 감소하는 경향을 보이며, Type II에서는 고화재배합비 0%에서 약 20° 의 내부마찰각을 나타내며, 완만한 증가를 보이는 일차원적 선형분포를 보인다. Type III의 경우, 고화재배합비 0%에서 약 5° 의 내부마찰각이 나타나며, 비선형적인 경향을 보이고 있다.

(2) 함수비별 내부마찰각의 특성

고화재 종류별 압축강도특성에서 고화재의 성분 및 용도의 유사성으로 인해 비슷한 개량효과를 얻고 있다. 따라서, 적용 고화재에 대하여 각 배합비별로 대표곡선을 그림 25 ~ 27에 나타내었다. 그림 25(Type Ⅰ)에서는 비선형적인 증가경향을 보이며, 함수비가 저하될수록 높은 분포를 나타내고 있다. 함수비 173%인 경우에 있어서도 고화재

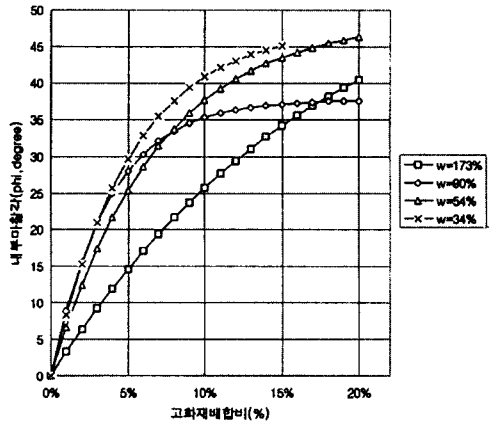

그림 25. Type Ⅰ에서 함수비별 내부마찰각의 경향곡선

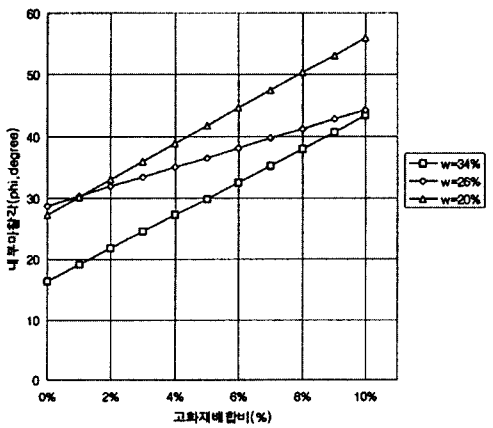

그림 26. Type Ⅱ에서 함수비별 내부마찰각의 경향곡선

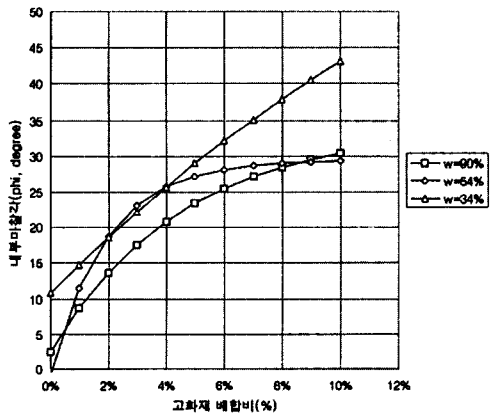

그림 27. Type Ⅲ에서 함수비별 내부마찰각의 경향곡선

배합비가 증가함에 따라 약 40° 에 이르는 내부마찰각을 보이고 있다. 그림 26(Type Ⅱ)에서 선형적인 증가경향을 보이는데, 이 경우에 있어서도 함수비가 적을수록 내부마찰각은 높은 분포를 보이고 있다. 함수비 34%, 20%인 경우에 거의 비슷한 기울기를 갖으며, 함수비 26%인 경우에서 다소 완만한 기울기를 보이고 있다. 그림 27(Type Ⅲ)에서는 비선형적, 선형적 특성을 보이는데, 역시 함수비가 적을수록 높은 분포를 가진다. 함수비 34%인 경우에서 선형적 증가경향을 보이며, 가장 우수한 특성을 보이고 있다. 함수비 26%, 20%에서는 비선형적 증가경향을 보이며, 고화재배합비가 증가할수록 증가율은 감소하고 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 시멘트계 고화재를 토질별(Type Ⅰ(초연약점성토), Type Ⅱ(일반풍화토), Type Ⅲ(보통점성토))에 혼합처리하여 개량효과 및 설계정수(일축압축강도, 변형계수, 비배수점착력, 내부마찰각)의 특성을 비교 · 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개량효과에 영향을 미치는 인자별(토질, 고화재종류, 함수비, 고화재배합비)로 강도특성을 파악한 결과, 토질별 구분에서는, 공학적 특성이 우수한 토질일수록 개량효과도 우수하게 나타났다. 미개량토보다 개량토의 압축강도가 크게 나타나 우수한 개량효과를 얻었다. 함수비에 따른 강도는 증가경향의 폭이 매우 크게 나타났으며, 저함수비상태에서는 고결반응보다 다짐에 영향을 크게 받으며, 고함수비상태에서는 고결반응의 영향을 받는 것으로 나타났다.
2) 고화재별 개량효과는 고화재의 성분 및 용도의 유사성으로 인해 고화재별로 비슷한 개량효과를 얻고 있으며, 고화재 배합비 증가시 개량효과는 일축압축강도의 경우 전체적으로볼 때 토질 종류에 상관없이 일차원적 선형증가경향을 보이며 점착력의 경우에는 전체적으로는 선형증가 경향을 보이나 토질별로 일부 함수비 상태에서는 비선형 증가 경향을 보이며 내부마찰각의 경우 풍화토에서는 선형증가 경향을 보이나 점성토 에서는 비선형증가경향을 보이는 것으로 나타났다(그림 7~9, 19~21, 25~27 참조).
3) 고화재혼합처리지반의 변형계수와 일축압축강도와의 관계는 일차원 비례관계를 나타내고 있다. (변형계수/

일축압축강도)값(α)을 상한값과 하한값의 범위로 나타내면, Type Ⅰ의 경우, 100~300, Type Ⅱ의 경우, 50~250, Type Ⅲ의 경우, 50~250의 범위를 보이는 것으로 나타났다.

4) 개량지반의 단기간 안정해석을 위해 삼축압축시험(UU시험)을 실시한 결과, 미개량지반에 고화재를 혼합처리에 의한 화학적 결합이 개량지반에 미치는 전단 특성에서 점착력은 저함수비상태에서는 고결반응보다 다짐에 영향을 크게 받으며, 고함수비상태에서는 고결반응의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 내부마찰각은 함수비가 저하될수록 우수한 특성을 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구는 대한주택공사의 연구비 지원(97.7.~98.11)에 의해 수행된 연구의 일부로서 주택연구소에 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 과학기술처(1993), "부지특성 및 구조물의 안전성 평가연구", pp.103~141.
2. 건설부(1979), "軟弱한 地盤改良工事 웰포인트 및 샌드드레인 工法(건설지도서 17・26)", 건설진흥(서울), pp.5-10
3. 대한주택공사 주택연구소(1998), "연약지반 개량공법 적용기준에 관한 연구", pp.3-142
4. 박성용 외 1인(1994), "국내 해안 연약지반의 공학적 특성 평가", 한국건설기술연구원, pp.5~59.
5. 한국건설기술연구원(1988), "軟弱地盤 淺層 安定處理 硏究", pp.1-65
6. セメント協會(1994), "セメント系 固化材による 地盤改良マニュアル", pp.1-87, 381-3956
7. F.G.Bell(1993), "Engineering Treatment of Soils", E&FN SPON, pp.240-267
8. D.T.Bergado(1996), "Soft Ground Improvement in lowland and other environments", ASCE Press, pp.234-269
9. K.Terzaghi et al.(1996), "Soil mechanics in engineering practice(Third edition)", John-wiley & Sons, pp.146~192.

(접수일자 1999. 12. 16)