

# 시멘트계 고화재를 이용한 농로의 보조기층 안정처리공법 연구

## Subbase Treatment for Farm Road Using Geo-cement

공 길 용\* · 장 병 옥\*\*  
Kong, Kil Yong · Chang, Pyoung Wuck

### Abstract

A few study has been performed on the durability of subbase treated with geo-cement for the farm road although many papers for the road treated with soil-cement were published.

The objectives of the study are to develop the stabilizing method of subbase using additives of cement groups and 2nd additives such as gypsum and MgO, etc. A series of test was performed to investigate possible mixing ratios with geo-cement A, B, C, D and 2nd additives on the various soft soils from the rice paddy.

Based on test results, durability index was greatly affected by geo-cement D which was mainly composed with gypsum. Compressive strength of clayey soil such as Soil I was less than threshold strength( $30\text{kgf/cm}^2$ ) but the strength was increased as addition of gypsum and MgO. It is recommended that geo-cement for soil stabilization has to be carefully chosen because strength characteristics of subbase are varied not only with soils but also with addition of geo-cement and 2nd additives. The developed method in this study can be used to subbase treatment of low-cost agricultural roads.

### I. 서 론

쌀 시장의 개방에 따른 대응책의 일환으로 벼농사의 생산성 향상을 위하여 농업기계화사업이 본격적으로 추진되고 대형 경지정리가 시행됨에 따라 농로에 시멘트 콘크리트 포장이나 아스팔트 콘크리트 포장의 시공이 매년 증가되어 1996년, 1997년에는 각각 1,414km, 2,239km가 정비되었으며 2002년부터는 총연장 22,000km의 간선농로가 확·포장될 것으로 예상된다.

우리나라 경지정리지구의 일부에서는 농지내 지하 암거배수시설이 완벽하게 갖추어져 있지 않은 곳이 많기 때문에 이러한 구간에 농로를 신설 또는 확장할 경우 노상의 배수불량으로 인하여 동상의 피해를 받을 우려가 있다. 또한 이미 시공된 농로의 일부는 연약지반에 축조되었거나 노체로서 부적합한 논흙을 그대로 사용하고 있어 추후 이러한 구간의 도로포장시 노상의 지지력 보강에 많은 비용이 들것으로 예상된다.<sup>2)9)</sup>

점질토가 많이 섞인 연약토를 노상토로 이용한

\* 농업기반공사 농어촌연구원 구조지반연구실

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 시멘트계 고화재, 압축강도, 내구성

시멘트계 안정처리공법의 시공사례가 많이 있으며 안정성이 인정되고 있으나<sup>15)</sup> 적용성, 사용재료, 적절한 시멘트 첨가량, 기상조건 등에 따른 강도, 내구성 등에 대한 공학적 연구가 거의 이루어져 있지 않은 실정이다.

시멘트계 고화재(geo-cement)는 시멘트에 특수한 고화재 원소성분을 일정량 배합된 특수시멘트로서, 종래의 시멘트에 의한 안정처리에 비하여 강도 및 내구성면에서 효과를 인정받고 있는 첨가물로, 지금까지는 주로 연약지반의 천층 및 심층 개량에 사용되어 강도발현 특성 등이 확인되었으며,<sup>11)</sup> 최근에는 도로공사에서도 시멘트계 고화재를 이용한 기층 또는 보조기층의 안정처리에 사용되고 있다.<sup>4)7)10)</sup> 그러나 이러한 시멘트계 고화재는 각 제품마다 성분비와 배합비를 달리하고 있어 각각의 특성을 정확히 파악하지 않으면 좋은 결과를 기대할 수 없다.

본 연구의 목적은 농로의 강성포장의 보조기층용 재료를 시멘트계 고화재로 처리한 흙에 대하여 시료별로 역학적 특성을 파악하고 설계압축강도를 확보하는데 필요한 시멘트와 고화재의 적정배합비를 구하는 것이다. 또한 동결융해에 대한 저항성 및 내구성을 증진시키기 위하여 제 2첨가제인 석고, MgO를 시멘트계 고화재 처리토에 첨가하는 방법을 연구하고자 한다.

## II. 재료 및 시험방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시료의 물리적 성질

본 연구에 사용한 흙은 당진군 신평면 초내리 지내의 서해고속도로 시공구간토 (Soil I), 예산군 신암 계촌리 (주)대양금속 부지조성토 (Soil II) 그리고 비교적 풍화가 많이 진행된 서울 동대문구 휘경동 배봉산 조립토 (Soil III) 등 3종류의 흙을 채취하여 No. 4 체 이상의 입자를 제거하고 사용하였으며 이들 시료의 물리적 성질 및 입도는 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

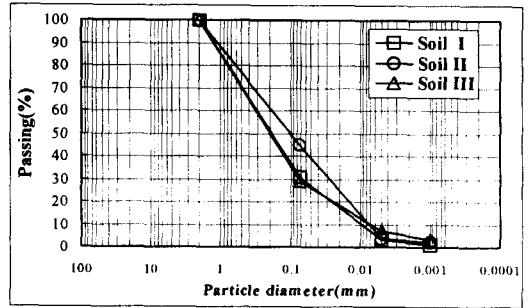


Fig. 1 Grain size distribution of soils used

Table 1 Physical properties of soil tested

Test item		Soil type		
		I	II	III
Atterberg limit	Liquid limit	-	-	-
	Plastic limit	-	-	-
	Plastic index	N.P.	N.P.	N.P.
Soil classification	USCS	SM	SM	SM
Specific gravity		2.66	2.68	2.66
Maximum dry density(g/cm <sup>3</sup> )		1.88	1.78	1.73
Optimum moisture content(%)		10.4	18.6	19.2
Void ratio		0.415	0.506	0.538

#### 나. 시멘트

사용 시멘트는 국내에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트로서 한국 산업규격에 규정된 품질에 합격한 D제품을 사용하였다.

#### 다. 시멘트계 고화재

Soil-cement의 안정처리층의 강도증진과 내구성 확보를 위하여 실내 배합시험에 사용한 고화재는 현재 일반화되어 있는 A, B, C, D의 4 종류를 사용하였으며, 고화재 원재료의 특성은 다음과 같다.

##### 1) A 고화재

초고함수율의 연약토, 오니 등의 고화처리를 위해 개발된 고화재로서 산토, 해성토, 점토, 초연약토, 슬러지 및 슬래그에 다량의 결합수를 요구하는 침상결정을 형성 촉진시켜 함수비를 낮추게 하고 시멘트, 석고, MgO 등을 적량 혼합하여 고결 촉진, 강도증진효과를 갖게하며 중금속 흡착력을 갖는 특성이 있다.

2) B 고화제

붉은 자주빛의 미분말상으로 국립공원이나 기타 관광지의 구내포장에 주변과의 조화를 이루기 위하여 콘크리트 또는 아스팔트 표층처리 대신 화강토에 시멘트 소석회 강화제와 산화철을 혼합하여 표층처리시 사용되는 시멘트계 고화제이다.

3) C 고화제

경화제로 스테아르산염, 수산화나트륨, 실리카 및 tripoli-phosphate(트리폴리인산염)의 혼합물이다. 연약지반에 사용할 때 보강 충전제와 경화제 등으로 연약지반 토질을 안정된 지반으로 만드는 시멘트계 고화제로서, 적용범위는 포장공사, 단지 조성공사, 도로공사, 연약지반처리, 산업폐기물처리 등에 다양하게 이용되며 수중 연약지반에도 경화시공이 가능한 특징을 지니고 있다.

4) D 고화제

일본에서 도입 사용해온 후지베톤(Fuji-Beton)을 국산화 한 것으로 주요 구성 성분은 시멘트 60%, 석고 20%, 고로슬래그 20%이다. 성분은 무기물질로 되어 있으며, 취급상 일반적인 시멘트만큼의 주의를 요하는 것으로 충분하며, 물리적 성질에 있어서도 보통의 시멘트와 큰 차가 없다.

라. 제 2 첨가제[석고(㉑), MgO(㉒)]

MgO는 강도증진효과 및 지연다짐에 따른 강도 저하방지 효과가 있으며 석고는 동결융해에 대한

저항성이 있고 조기강도 증진의 효과가 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는 이상의 2 종류의 첨가제를 A 고화제에 첨가 사용하였다.

2. 시험방법

가. 실내시험

1) 토성시험 및 다짐시험

3개 지구의 흙을 채취하여 실내에서 자연함수비, 비중, 액성, 소성한계, 체분석, 입도분석시험 등을 KS F에 의하여 수행하였다. 또한 압축강도 시험용 공시체 제작을 위하여 시멘트계 고화제는 소정량 첨가하여 다짐시험을 하여 최적함수비(O.M.C.) 및 최대건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ )를 얻었고 다짐방법은 KS F 2312의 A다짐 시험으로 하였다.

2) 시멘트계 고화제와 석고, MgO 등의 배합시험  
가) Soil I의 배합설계

Table 2에서 보는 바와 같이 case I-1~I-8까지는 시멘트계 고화제(시멘트 97:고화제원재료 3) A, B, C, D 4 종류를 흙시료 건조중량의 7, 10%를 첨가하였으며 제2첨가제로 석고는 10%, 15%, MgO는 0.5%를 적량첨가하여 배합하였다.

또한 고화제함량별 강도특성을 알아보기 위하여 시멘트계 고화제 10%를 기준으로 각각의 고화제 0, 3, 5, 12%로 변화시켜 원재료를 배합하였다.

나) Soil II와 Soil III의 배합설계

Table 3에서 각각의 배합비는 흙의 건조중량의 6, 8, 10, 12%에 해당되는 시멘트계 고화제를 첨

Table 2 Mixing proportion of soil I

Case	Geo-cement mixing proportion(7, 10%) to soil	Case	Additive contents(0, 3, 5, 12%) with 10% of geo-cement proportion to soil
I-1	cement		
I-2	geo-cement (A)		
I-3	geo-cement (A) + ㉑(10%)		
I-4	geo-cement (A) + ㉑(10%) + ㉒(0.5%)	I-9	geo-cement (A)
I-5	geo-cement (A) + ㉑(15%)	I-10	geo-cement (B)
I-6	geo-cement (B)	I-11	geo-cement (C)
I-7	geo-cement (C)	I-12	geo-cement (D)
I-8	geo-cement (D)		

note : ㉑ and ㉒ are percentage to geo-cement quantity

Table 4 Mixing proportion of soil II & III

Case	Geo-cement mixing proportion(6,8,10,12%) to soil
II (III)-1	cement
II (III)-2	cement (A)
II (III)-3	cement (B)
II (III)-4	cement (C)
II (III)-5	cement (A) + ㉔(10%)
II (III)-6	cement (A) + ㉔(10%) + ㉕(0.5%)
II (III)-7	cement (D)

note : ㉔ and ㉕ are percentage to geo-cement quantity

가 하였으며, 설계 압축강도를 만족시키는 시멘트계 고화재의 양을 측정하고 재령별 강도특성 및 내구성 특성을 분석하였다.

3) 고화재 처리 공시체의 제작 및 일축압축강도시험

시멘트계 고화재 혼합토의 함수비를 최적함수비로 조제하여 최대건조단위중량에 상당하는 시료량을 달아 KS F 2329에 규정된 직경 7cm, 높이 14cm의 몰드에 3회로 나누어 넣고 각 층마다 다짐봉으로 다진 후 유압잭으로 균일한 단위중량이 되도록 하여 공시체를 제작하였다. 양생온도는 23°C, 상대습도는 95% 이상 유지되도록 양생하여 재령 3일, 7일 및 28일의 일축압축강도시험을 실시하여 각 공시체의 압축강도와 변형량을 측정하였다.

4) 동결융해에 대한 저항성 시험

시멘트계 고화재 처리 공시체의 동결융해에 대한 내구성 검토를 위하여 Soil II, Soil III를 대상으로 직경 7cm × 높이 7cm의 원통형 공시체를 압축강도 공시체와 같은 방법으로 제작하여 28일 이후의 동결융해 시험을 행하였다. 온도범위는 시편 내의 간극수에 빙점 이하의 온도, 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하였으며 본 실험에서는 -17°C ~ 20°C 정도였다. 동결융해시험시 시편은 지하수위를 고려하여 항상 1mm 이상 3mm 이하 두께의 물에 잠겨 있도록 하였으며 온도측정장치와 동탄성계수 측정장치(PUNDIT)를 사용하였다. 한편 우리나라 동절기간을 감안하여 동결융해 반복회수는 80 cycle로 하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 시멘트계 고화재 및 제 2첨가제 (석고, MgO)의 배합시험 결과

가. 일축압축강도 시험결과

1) Soil I의 일축압축강도 시험결과

일축압축강도 시험결과 고화재 B의 경우 시멘트만 처리한 공시체의 압축강도와 비교하여 증가하지 않았으며, 이는 시공시 시멘트량의 10%를 사용하게 되어 있으나, 본 연구에서는 고화재의 양을 일정하게(cement 97% : 고화재 3%)하여 시험하였으므로 고화재량의 부족으로 인하여 강도가 발휘되지 못한 것으로 판단된다. 특히 제 2 첨가제를 사용한 경우 고화재를 처리한 경우보다 압축강도가 크게 발휘된 경우도 있으며, 고화재와 제 2첨가제의 양을 적절히 사용한다면 목표강도에 부합되는 시멘트량을 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

Fig 2는 각각 시멘트량 10%를 기준으로 고화재 처리한 공시체의 재령별 일축압축강도와의 관계를 나타내고 있다. 고화재 D의 경우(case I-8) 초기 3일까지 압축강도가 무처리한 공시체보다 낮게 나타났는데 이는 D 고화재의 석고성분으로 인하여 강도발현이 지연되는 것으로 판단되며, 반면 제 2첨가제로 MgO를 사용한 경우는 초기강도 증진효과가 있음을 알 수 있었다.

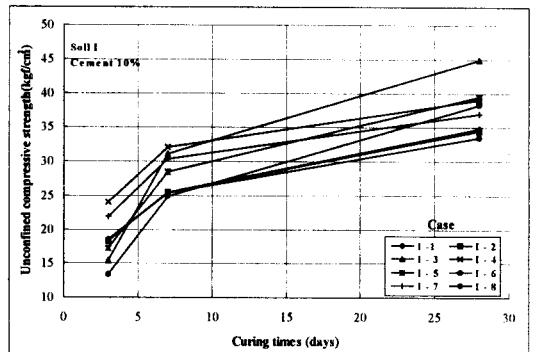
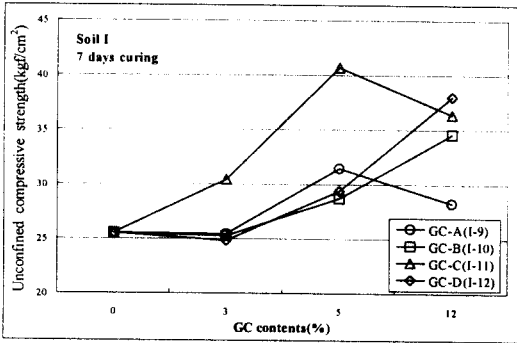


Fig. 2 The relationship between unconfined compressive strength and curing time



GC : Geo-cement

Fig. 3 The relationship between unconfined compressive strength and geo-cement contents

Fig. 3은 시멘트 10%를 기준으로 각 고화재 첨가량(0, 3, 5, 12%)에 따른 7일 양생 후의 일축압축 강도를 나타낸 것으로 양생기간에 따른 일축압축 강도는 증가하고 있었다.

고화재 원재료의 함량이 3% 미만일 경우 압축강도가 뚜렷이 증가하지 않았는데, 이는 강도증진의 목적으로 첨가한 고화재 원재료의 함량이 너무 작아 제대로 강도발현이 되지 못한 것으로 판단되었다.

2) Soil II, III의 일축압축강도 시험결과

Fig. 4 및 Fig. 5는 각각 Soil II, III의 시멘트 함량의 변화에 따른 재령별 일축압축강도시험의 결과를 나타낸 것이다. 각각의 경우 시멘트와 고화재 원재료의 비를 97 : 3으로 조절한 시멘트계 고화재에 대한 결과이다.

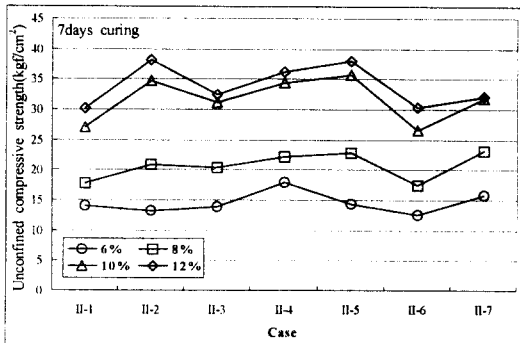


Fig. 4 The relationship between unconfined compressive strength and cases (Soil II)

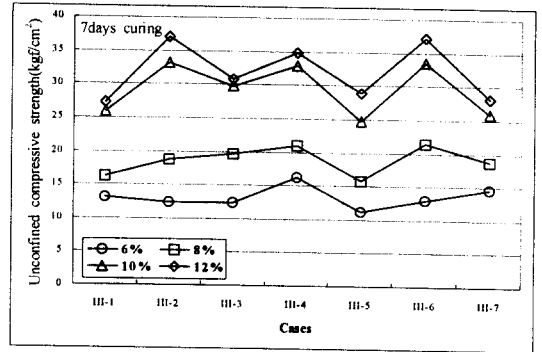


Fig. 5 The relationship between unconfined compressive strength and cases (Soil III)

Fig. 4 및 Fig. 5에서 시멘트만 첨가했을 경우 본 연구에서 정한 설계압축강도를 만족시키기 위해서는 시멘트량이 12% 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

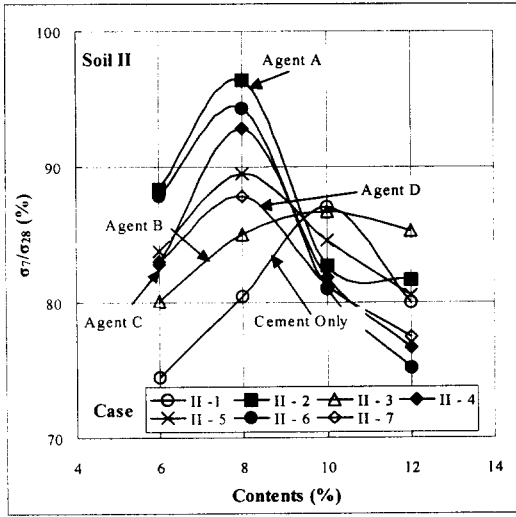
각각의 경우 재령 3~7일의 초기재령에서 강도 증가율이 크게 나타났으며, 7일 이후에는 강도증가율이 완만한 경향을 보였다. 따라서 재령 7일에서 거의 충분한 양생일수에 도달한 것으로 생각되며, 고화재와 제 2첨가제의 종류별로 약간 차이는 있었으나 그 후에도 강도를 증가시키는 화학적 반응은 지속되는 것으로 판단되었다.

한편 재령 7일에서와 28일의 압축강도 증가율 ( $\sigma_7/\sigma_{28}$ )과 시멘트 함량과의 관계를 나타내면 Fig. 6 (a), (b)와 같다. 강도증가율은 시멘트계 고화재의 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내다가 함량이 많아지면서 다시 감소하는 경향을 나타내었다. Soil II는 고화재 종류별로 강도증가율의 증감차이가 뚜렷하게 나타났으며 시멘트계 고화재 함량 8~10%에서 가장 큰 초기강도 증가율을 나타내었다.

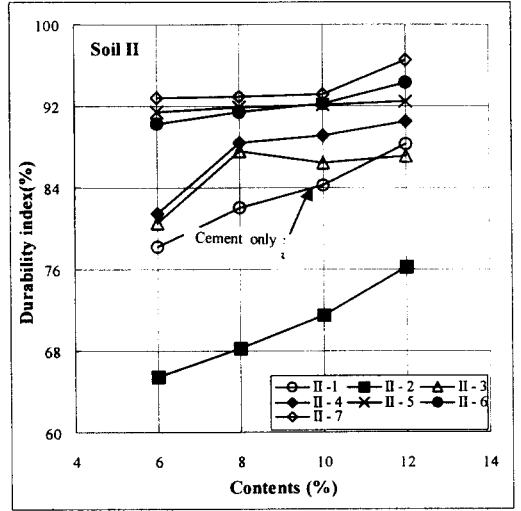
Soil III의 경우 강도증가율이 최대가 되는 범위는 Soil II와 비슷하였으며, 설계강도에 부합된다면 시멘트계 고화재 함량을 이 범위내에서 정하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단되었다.

2. 고화재처리 공시체의 내구성 시험결과

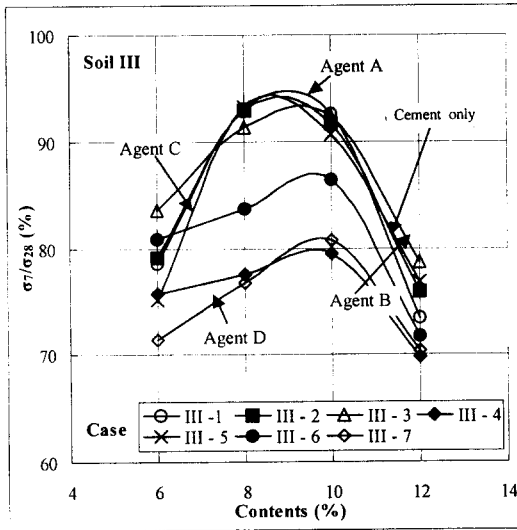
농촌도로의 내구성은 동상과 직결되며 따라서



(a) Soil II

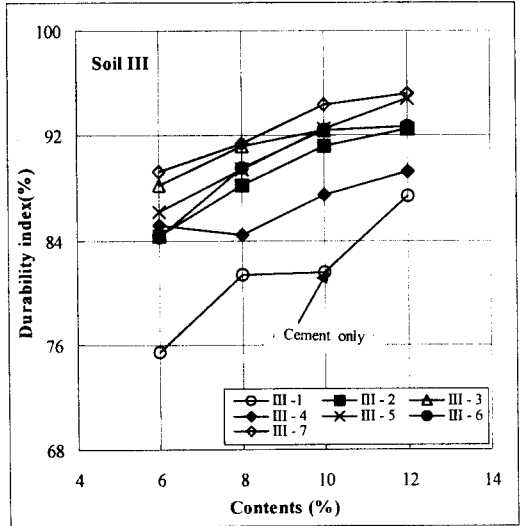


(a) Soil II



(b) Soil III

Fig. 6 The relationship between  $\sigma_7/\sigma_{28}$  and agent contents



(b) Soil III

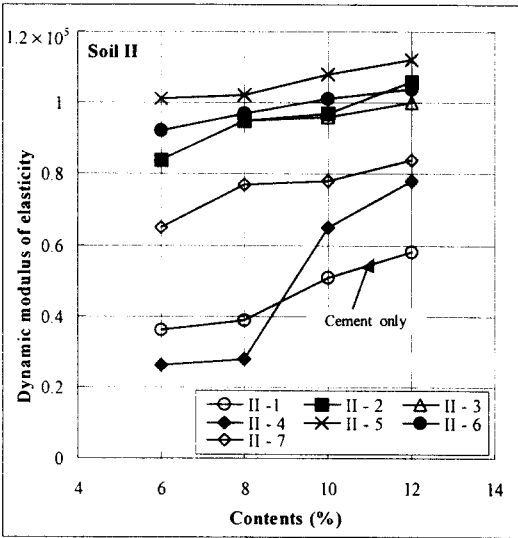
Fig. 7 The relationship between durability index and cement contents

동상에 저항할 수 있는 안정처리공법을 개발하고자 하는 많은 연구들이 있었다.<sup>3)7)</sup>

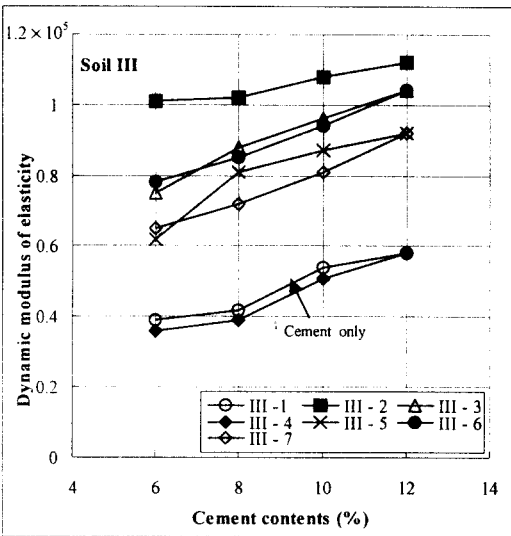
Fig. 7은 Soil II와 Soil III의 동결융해 80 cycle 반복 후의 시멘트 함량에 따른 내구성지수, Fig. 8은 동탄성계수의 값을 나타낸 것이다. 일반적으로 내구성지수의 감소폭이 큰 것이 동결융해 저항성

이 약한 시편이며, 동탄성계수가 클수록 더 조밀한 시편이고 압축강도도 크며, 내구성지수 외에도 동탄성계수 자체도 강도의 지표가 된다.

이중 case 5, 6은 고화제 A에 제 2첨가제로 석고를 첨가한 것으로서 석고가 동결융해에 저항성이 있는 것으로 판단되었으며, 고화제 D를 사용한



(a) Soil II



(b) Soil III

Fig. 8 The relationship between dynamic modulus of elasticity and cement contents

경우 내구성지수는 가장 큰 값을 보이고 있었는데, 고화제 D의 경우 시멘트 60%, 석고 20%, 슬래그 20%가 주성분으로서 강도증진은 물론 석고의 동상억제 기능을 이용하여 동결에도 저항할 수 있도록 제조한 제품으로 판단되었다.

Fig. 8에 나타난 동탄성계수의 경우 고화제 D를 제외하고 초기압축강도가 클수록 동탄성계수의 값도 컸으며 A고화제를 사용한 경우를 제외하고는 동탄성계수의 값이 큰 경우 비교적 내구성 지수의 감소폭도 작아 동결융해 저항성도 큰 것으로 나타났다.

## V. 결과 및 고찰

기계화영농을 위한 농로의 포장에 있어 표층을 강성포장으로 시공하는 경우 이의 보조기층재료 시멘트와 고화제 및 제 2첨가제로 석고, MgO 등을 혼합한 시멘트계 고화제 처리층의 역학적 특성을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시멘트계 고화제로 처리된 시험대상의 높은 시멘트계 고화제의 함량이 10% 내외로 증가될 때까지는 압축강도가 직선적으로 증가하지만 그 후에는 완만하게 증가하는 것으로 나타났다.
2. Soil I은 고화제 처리 전 압축강도가 II, III에 비해 다소 크게 나타났으나 설계압축강도에는 미치지 못하였다. 고화제 처리 후에는 강도증가율이 가장 컸으며 설계강도에 만족하는 결과를 나타내어 처리효과가 가장 큼을 나타내었다.
3. 동결융해시험결과 내구성지수는 석고성분이 비교적 많은 시멘트계 고화제 D 또는 제 2첨가제로 처리한 공시체에서 가장 높았으며, 동탄성계수는 공시체 압축강도의 크기와 비례하는 것으로 나타났다.
4. 시멘트계 고화제 처리토의 압축강도 발현특성은 각 시료별로 다소 큰 차이를 나타내므로 실내시험을 통하여 이의 강도발현 특성을 정확히 파악한 후 선택해야 한다.
5. 내구성 검토를 위한 동결융해시험결과 공시체의 초기압축강도와 동결융해 저항성이 반드시 일치하지 않으므로 보조기층으로 적용할 때 내구성 시험을 반드시 해야 한다.
6. 시멘트계 고화제 함량으로 차분하중을 지지할 수 있는 강도인 30kgf/cm를 얻기 위하여는 시공 후 최소 7일간의 양생이 필요하다고 판단되었다.

7. 이상의 결과를 종합하면 남부지방과 같이 동결에 대한 저항성이 불필요한 경우는 고화재를 시멘트에 적량 혼합하여 목표강도에 도달하도록 하는 것이 적합하고, 동결심도가 깊은 중·북부 지방에서는 초기강도는 낮지만 동결저항성이 큰 석고계 시멘트계 고화재 또는 시멘트에 석고를 적량 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

### 참 고 문 헌

1. 공길용(1997) "시멘트계 고화재를 이용한 농로의 보조기층 안정처리공법 연구" 박사학위논문, 건국대학교 대학원, p1~128
2. 건국대학교 농업자원개발연구소(1995), "폐기물매립장 침출수 방지용 차수벽 설치공법 연구 보고서", pp.1~34
3. 도덕현(1989), "농로의 기층 및 보조기층 공법 연구", 한국농공학회지 제 31권 2호, pp.66~81
4. 도덕현, 정성모(1985), "석고플라스터 혼합토의 공학적 특성", 한국농공학회지 제 27권 4호, pp.53~60
5. Bergado D.T., Anderson L.R., Miura N. and A.S. Balasubramaniam(1996), "Soft Ground Improvement" ASCE, pp. 235~268
6. Merrill, D. C. and J. M. Hoover(1968), "Laboratory Freeze-Thaw Test of Potland Cement-Treated Granular Bases", H.R.R. 225, pp. 16~29
7. Murphy, H. W.(1987), "Highway Construction in Queensland", ACI, Vol. 9, No. 2, pp. 30~36
8. 舗装工學(1995), 日本土木學會
9. 掘内定人, 石川造三(1991), "高强度セメント安定處理路盤材料の基盤性狀", セメント・コンクリト論文集, No. 45, pp. 738~743
10. 西村十一, 成富秀雄(1963), "鳥原道路のソイルセメント工法について" 土と基礎, Vol. 9, No. 5, pp. 519
11. 日本セメン協會(1994), "セメント系固化材による地盤改良マニュアル"[第二版], pp.128~149
12. 松尾新一郎, 西田一彦(1968), "マサ土のセメント安定處理效果について", 第三回 土質工學研究發表會講演集, pp. 187~192