



안정처리된 도로하부 지반재료의 강도 및 변형특성 (I) : 실내실험

Strength and Deformation Characteristics on Stabilized Pavement Geomaterials (I): Laboratory Test

박 성 완* 지 중 근** 박 희 문*** 엄 병 식****
Park, Seong-Wan Ji, Jong Keun Park, Hee Mun Ohm, Byung Sik

Abstract

The stabilization techniques in the pavement foundations have advantages in increasing pavement performance and reducing pavement thickness. By mixing the geomaterials and stabilizer, the economical and structurally sound layer can be added in the pavement system. Until now, these techniques have been applied in the field empirically and the design criteria for stabilization has not been established. The purposes of this paper are to evaluate the mechanistic properties of stabilizers used for geomaterials and determine the type and optimum amount of stabilizer for each technique. The unconfined compressive testing and repeated load resilient modulus test were conducted on the coarse grained soils mixed with various types of stabilizer to investigate the strength and deformation characteristics of stabilized geomaterials. It is found from the test that the unconfined compressive strength of stabilized geomaterials is more than ten times higher than that of gradation modified geomaterials. The resilient modulus of stabilized geomaterials increases by 6~10 times compared to the original soils and tends to increase with increase of volumetric and deviatoric stress, and amount of stabilizer.

keywords : stabilization, pavement geomaterials, unconfined compressive strength, resilient modulus

요 지

하부구조 안정처리 기법은 도로포장의 공용성을 증대시킬 뿐만 아니라 상부 포장층의 두께 절감할 수 있는 효과가 있다. 하부구조의 지반재료에 적절한 종류의 안정제를 배합함으로써 새로운 형태의 공학적인 지반재료를 구성하여 구조적 및 경제적으로 효과적인 층 구조를 형성하게 할 수 있다. 기존에는 안정처리기법을 경험에 근거하여 적용하여 왔으며 또한 설계시 본 기법을 적용할 수 있는 기준이 정립되어 있지 않다. 본 논문의 목적은 도로하부 지반재료에 적용을 위한 안정처리제의 역학적 특성을 평가하여 최적의 함량을 결정하고자 한다. 국내 포장하부구조의 대부분을 차지하고 있는 조립질 지반을 선정하여 안정제 혼합시 강도 및 변형특성을 일축압축실험과 반복재하식 회복변형계수 실내실험을 통하여 각각 알아보았다. 일축압축 실험결과, 안정제를 사용한 안정처리방법의 효과가 입도조정 안정처리 기법에 비하여 약 10배 이상의 일축압축강도가 증가 하는 것으로 나타났다. 또한 안정처리시 회복변형계수는 원시료와 비교하여 약 6~10배 이상 증가하며, 체적응력과 축차응력 그리고 안정제의 함량이 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다.

핵심용어 : 안정처리, 도로 지반재료, 일축압축강도, 회복변형계수

* 정희원 · 단국대학교 토목환경공학과 조교수 · 공학박사 · 031-8005-3472 (E-mail:spark@dankook.ac.kr, 교신저자)

** 단국대학교 토목환경공학과 공학석사 · 031-8005-3481 (E-mail:jk538@naver.com)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 선임연구원 · 공학박사 · 031-910-0323 (E-mail:hpark@kict.re.kr)

**** 정희원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0541 (E-mail:bseom@kict.re.kr)



1. 서론

현재까지 도로건설의 급증에 따라 천연골재 재료의 고갈을 초래하였고 포장 하부구조의 재료로서 사용되는 골재 및 매립·성토재가 매우 부족한 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 기존 포장하부재료를 대체할 수 있는 재료의 개발 및 지반의 강도 및 내구성을 개량하기 위한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 하부구조 안정 처리기법은 도로포장의 공용성을 증대시킬 뿐만 아니라 상부 포장층의 두께를 절감할 수 있는 효과가 있으며, 하부구조의 지반재료에 적절한 종류의 안정제를 배합함으로써 새로운 형태의 공학적인 복합지반재료를 구성하여 구조적 및 경제적으로 효과적인 층 구조를 형성하게 할 수 있다. 그러나, 기존에는 안정처리기법을 경험에 근거하여 적용하여 왔으며 설계시 본 기법을 적용할 수 있는 기준이 정립되어 있지 않다. 또한, 국내에서는 이러한 안정처리기법이 현장에서 적용되는 실적이 매우 미미하여 안정처리 재료의 시험기준 및 표준화된 시험법 연구가 전무한 실정이다.

본 연구는 도로하부의 안정처리기법을 평가할 수 있는 시험법을 제시하고, 다양한 안정처리제의 역학적 특성을 평가하여 시료에 적합한 안정제 함량을 결정하고자 하였다. 한국도로공사의 시험도로(KHC-Test Road)와 경기도 지역의 시료를 사용하여 일축압축시험과 반복재하식 회복변형계수 실내시험을 수행하여 다양한 안정제의 특성을 평가하였다.

2. 실내시험 시료 및 시험장치

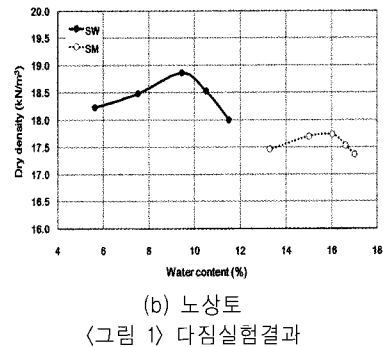
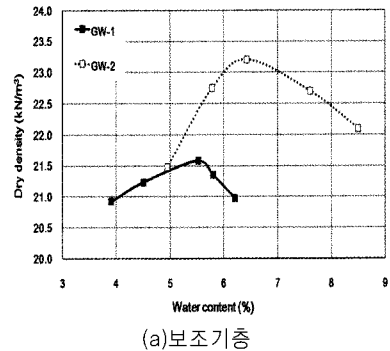
2.1 지반재료

본 연구에서는 중부내륙고속도로에 위치하고 있는 시험도로와 경기도 OO지역의 도로현장에서 채취한 보조기층과 노상재료를 사용하였다. 시험시 공시체의 성형이나, 기초물성시험 등에서는 재료분리로 인하여 시료의 대표성 상실이 우려되어 시료의 채취 및 선정 과정에서 대표성을 충분히 확보할 수 있도록 주의하여 채취 후 재료분리를 최소화 하였다. 연구에 사용한 시료의 기본 물성들을 획득하기 위해 비중, 체가름, 표준다짐 시험

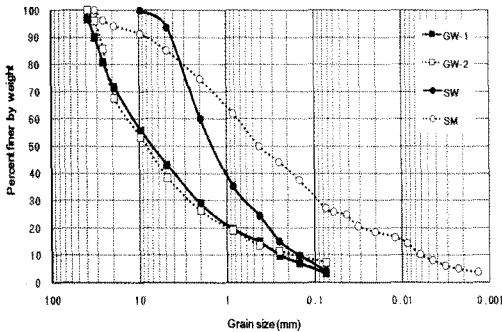
등을 각각 실시하였다. 시료별 물성값은 <표 1>에, 다짐 시험결과와 입도는 <그림 1>, <그림 2>와 같다.

<표 1> 시료의 기본 물성치

채취장소		시험도로		경기도OO지역	
구분		보조기층	노상토	보조기층	노상토
구분기호		GW-1	SW	GW-2	SM
입도	D_{10} (mm)	0.26	0.15	0.16	0.0075
	D_{30} (mm)	2.2	0.63	2.8	0.095
	D_{60} (mm)	13	2	14	0.78
	C_g	1.4	1.3	3.5	1.5
	C_u	50	13.3	87.5	104
	#200 통과율 (%)	3.38	4.92	7.43	24.3
시험 결과	#4 통과율 (%)	43.09	93.82	38.48	85.30
	비중	2.717	2.653	2.703	2.689
소성지수 (%)		NP	NP	NP	6.8
분류	통일분류	GW	SW	GW	SM
다짐 시험 결과	최적함수비 (%)	5.51	9.42	6.42	15.8
	최대건조밀도 (kN/m^3)	21.58	18.86	23.20	17.74



(그림 1) 다짐시험결과



〈그림 2〉 입도분포 곡선

2.2 안정제

지반재료의 안정처리를 위하여 사용한 안정제는 제1종 보통 포틀랜드시멘트, 소석회(Hydrated Lime) 및 생석회(Quick Lime)등의 3가지 광물 혼합제로 이는 국내 자료(건설교통부 2000, 한국도로공사 2002)를 검토하여 선택하였다. 또한 플라이애시 함량에 따른 원지반의 강도증가 효과를 타 안정제와 비교 및 검토하였다. 〈표 2〉는 플라이애시 및 안정처리 효과를 비교하기 위한 안정제의 화학성분을 나타낸 것이다.

〈표 2〉 안정제의 화학성분

화학성분	플라이애시 (%)	시멘트 (%)	소석회 (%)	생석회 (%)
SiO ₂	54.5	21.4	1.82	1.95
Al ₂ O ₃	21.1	5.1	0.23	0.29
Fe ₂ O ₃	5.49	2.9	0.21	0.20
CaO	3.12	64.0	70.93	86.41
MgO	1.02	1.6	2.73	2.96
SO ₃	2.40	2.0	-	-
Na ₂ O	0.36	0.28	-	-
K ₂ O	2.44	0.51	-	-
TiO ₂	1.67	0.32	-	-
P ₂ O ₅	0.35	0.13	-	-
MnO	-	0.13	-	-
Cl	-	0.005	-	-
강열감량 (%)	-	0.5~1.3	-	8.76
기타	0.27	-	-	-

2.3 공시체 및 실험방법

표준화된 시험법이 국내에 없는 관계로 외국자료(AASHTO, 1994)를 토대로 시료를 강도실험과 회복변형계수(Mr) 시험을 실시하였다. 각 시험공시체는 안정제 첨가 후 소요 함수비로 혼합하여 목표 밀도에 맞도록 선화다짐기를 사용한 전단다짐으로 100mm 직경에 150mm 높이로 제작하였다. 안정제의 혼합비는 시료의 체적을 기준으로 하는 경우도 있으나 일반적으로 건조중량을 기준으로 사용하는 경우가 대부분이다.

본 시험에서는 안정제를 흙시료의 건조중량 비율로 혼합하고 몰드안의 시료에 압축력과 회전력에 의해 발생하는 전단력을 동시에 작용시킬 수 있는 선화다짐기를 사용하여 다져진 공시체는 상온 25도, 상대습도 95% 이상의 항온항습 조건으로 7일 양생 후 실험을 실시하였다.

한편 일축압축강도는 변형률 제어 방식으로 분당 1%의 축방향 변형으로 실시하였고 반복재하 회복변형시험은 AASHTO의 TP46-94의 규정을 따라서 1 cycle마다 0.1초의 하중재하 후 0.9초의 휴지기를 가지는 Haversine파 형태의 하중을 적용하였다.

3. 실내실험 및 결과

3.1 지반재료와 안정제 배합방법

일반적으로 안정제를 혼합하는 배합은 안정제의 함량에 따른 최대건조밀도와 최적함수비를 다짐시험을 통하여 각각 구하고 이에 따라서 실험을 실시하게 된다. 그러나 이는 특정한 조건의 안정제를 미리 선택한 후 실시하는 방식으로 여러 안정제를 동일한 조건으로 평가하기가 어렵다. 따라서 1994년 Hopkins 등의 연구를 참조하여 안정제의 함량에 따라서 다짐시험을 실시하지 않고 흙시료만의 최적다짐시험 결과를 활용하여 안정처리된 공시체를 제작한 후 일반적인 방식의 시료와 일축압축강도 시험을 실시하여 평가하였다. 〈표 3〉은 각 시료별 안정제 및 다짐 공시체 조건이다.

〈그림 3〉은 안정제 함량별 다짐실험을 실시한 결과를 나타내고 있다. 안정제를 혼합한 시료의 최대건조밀도와 최적함수비는 원시료에 비해 전반적으로 매우 높다. 안정제 함량 증가에 따른 최대건조밀도는 증가하는 경향



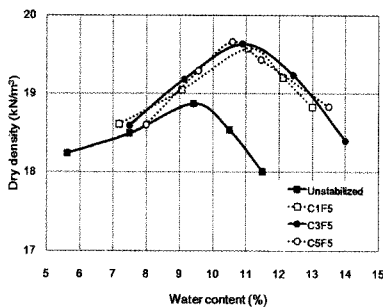
이나 그 증가율은 매우 작음을 알 수 있다. 반면 최적함수비는 안정제 함량 증가에 따라 증가 후 점차 감소하는 특징을 보이고 있다. 안정제 함량에 따른 최대건조밀도와 최적함수비(OMC)의 경향은 다음 <그림 4>와 같다.

<표 3> 안정제를 혼합하는 배합방법에 따른 실내시험조건

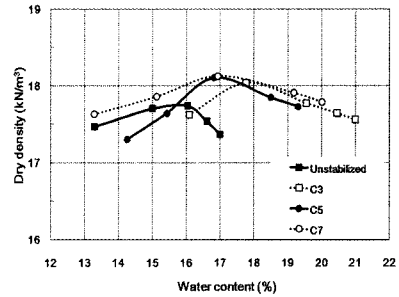
구분	시료	배합 방식	구분 기호	안정제 및 함량	함수 비 (%)	건조 밀도 (kN/m ³)	비 교	
시멘트+플라이애시	SW	OMC*	C1F5	C(1%), F(5%)	9.42	18.83	UCS	
			C3F5	C(3%), F(5%)				
			C5F5	C(5%), F(5%)				
		OMC	C1F5	C(1%), F(5%)	11.10	19.42		MR
			C3F5	C(3%), F(5%)	11.00	19.61		
			C5F5	C(3%), F(5%)	10.48	19.71		
시멘트	SM	OMC*	C3	C(3%)	15.80	17.74	UCS	
			C5	C(5%)				
			C7	C(7%)				
		OMC	C3	C(3%)	17.80	18.04		
			C5	C(5%)	16.82	18.11		
			C7	C(7%)	16.94	18.13		

주 : C(시멘트), F(플라이애시), OMC* (흙시료의 다짐시험 결과를 이용하는 배합방법)

OMC (안정제 함량별 다짐시험 결과를 이용하는 배합방법), UCS (일축압축시험), MR (회복변형시험)

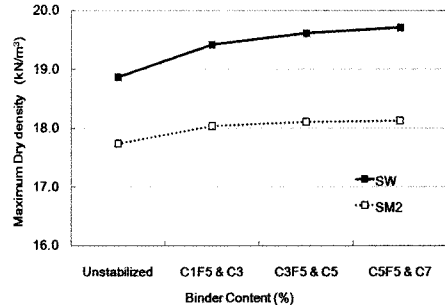


(a)시멘트+플라이애시

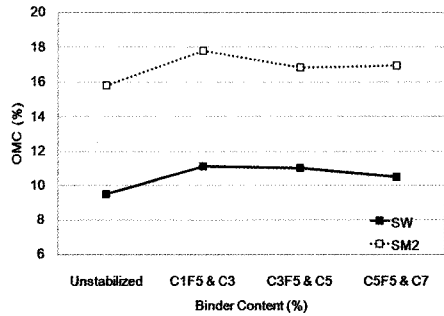


(b) 시멘트

<그림 3> 안정제 함량별 다짐곡선



(a)최대건조밀도

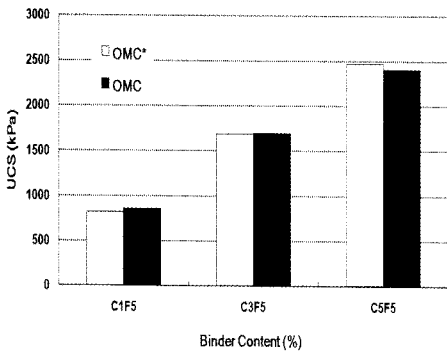


(b)최적함수비

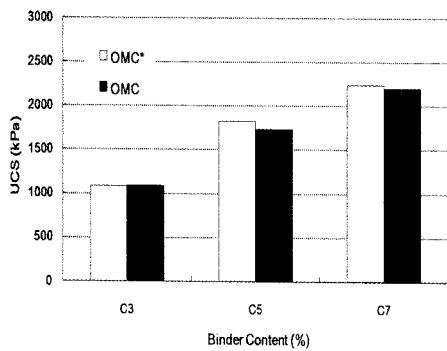
<그림 4> 안정제 함량별 최대건조밀도와 최적함수비

안정처리 실내시험시 지반재료와 안정제를 혼합하는 배합방법에 따른 강도의 차이를 조사하기 위하여 일축압축시험 및 회복변형계수시험 수행하였다. <그림 5>에서 배합방법에 따른 일축압축강도 차이를 시멘트 함량변화에 따라 비교하였으며, 그림은 배합방법에 따른 회복변형계수를 각각 비교하였다. 원지반의 다짐시험결과

(OMC*)를 이용한 배합방식과 안정제의 함량별 다짐시험결과(OMC)를 이용한 배합방식으로 시료의 일축압축강도 및 회복변형계수가 서로 유사하였다. 따라서 안정처리시 원지반의 다짐시험결과(OMC*)를 이용하는 배합방법을 적용하는 경우 간편하고 효율적인 방법이라 판단된다.

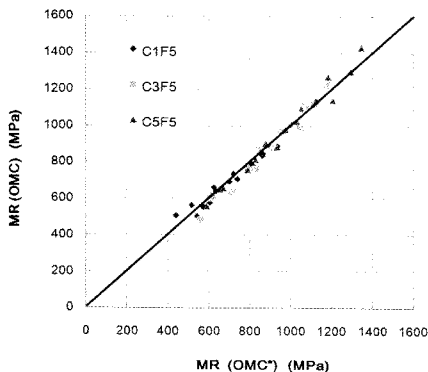


(a) 시멘트+플라이애시



(b) 시멘트

〈그림 5〉 배합방식별 일축압축강도



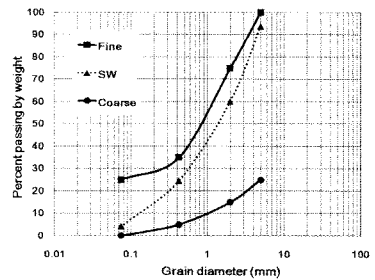
〈그림 6〉 배합방법에 따른 회복변형계수의 비교

3.2 입도조정 안정처리와 안정제를 사용한 안정처리의 비교

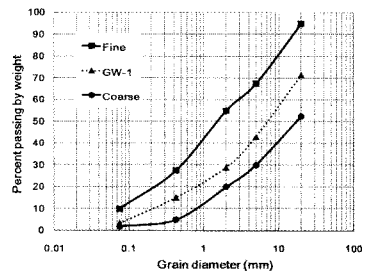
본 연구에서는 입도를 조절하여 재료를 활용하는 안정처리 방법과 안정제를 사용하여 안정 처리하는 방법을 비교하였다. 또한 안정제를 사용하는 안정처리기법 적용시 입도의 변화에 따른 영향을 알아보았다. 노상 및 보조기층의 품질기준의 한계값으로 공시체를 제작하여 입도의 변화에 따른 압축강도특성을 알아보기 위한 실험은 〈표 4〉와 같이 실시하였으며 이에 따라 성형한 공시체를 세립분의 함량이 높고 낮음에 따라 Fine과 Coarse로 분류하여 〈그림 7〉과 같이 입도를 나타내었다.

〈표 4〉 입도의 변화에 따른 실험조건

시료	구분	통과율 (%)				안정제 및 함량
		#4	#10	#40	#200	
SW	Coarse	25	15	5	0	C(3%) C(5%) C(7%)
	원입도	93.8	60.1	24.6	4.92	
	Fine	100	75	35	25	
GW-1	Coarse	30	20	5	2	
	원입도	43.09	28.89	15.09	3.38	
	Fine	67.5	55	27.5	10	



(a) SW



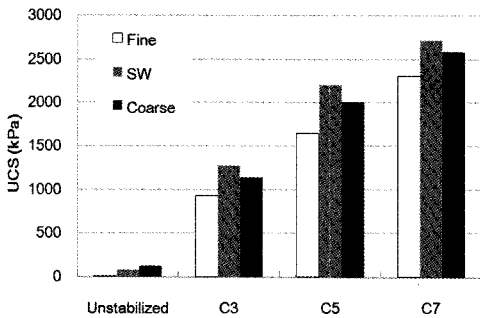
(b) GW-1

〈그림 7〉 입도의 변화에 따른 실험시 공시체 입도

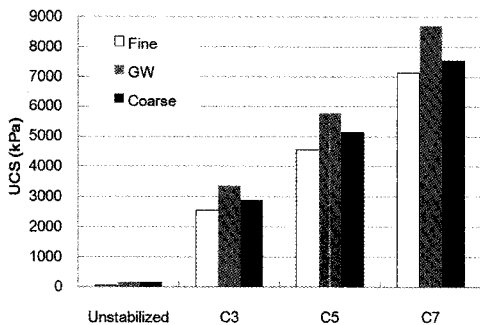


〈그림 8〉은 입도의 변화에 따른 압축강도 특성을 알아보기 위하여 실시한 일축압축시험의 결과를 나타낸 것이다. 원시료의 실험결과로부터 품질기준의 하한치에 있는 입도분포의 경우 입도조정을 통해 강도가 증가하는 경향을 나타내어 입도를 조절하여 재료를 그대로 활용하는 입도조정 안정처리기법의 효과를 알 수 있다. 또한 안정제를 사용한 안정처리방법의 효과는 입도조정 안정처리기법에 비하여 약 10배 이상 일축압축강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

안정제 적용시 공시체의 입도가 Fine에서 원입도로 변화하면 일축압축강도가 증가하나 공시체의 입도가 Coarse가 되면 일축압축강도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 즉 안정제를 사용한 안정처리시 시료의 입도가 일축압축강도에 큰 영향을 끼치며 어느 한계이상의 입도를 가져야 안정처리 효과를 높일 수 있음을 알 수 있다.



(a) SW



(b) GW-1

〈그림 8〉 입도별 일축압축시험 결과

3.3 안정제 함량에 따른 압축강도

도로 하부구조 지반재료의 안정처리시 안정제 함량에 따른 원지반에 대한 강도증가 효과를 알아보기 위하여 제1종 보통 포틀랜드시멘트, 소석회(Hydrated Lime), 생석회(Quick Lime) 그리고 플라이애쉬(Fly Ash)등의 4가지 광물 혼합제를 본 연구에서 안정제로 선정하였다. 안정제 함량 변화에 따른 토질의 강도 증가 효과를 검토하기 위하여 안정제의 함량을 5~20%로 변화시켜 압축강도 실험을 실시하였다. GW-1, SW 시료의 실험결과, 안정제의 함량이 20%인 경우 강도증진효과가 거의 발생하지 않아 SM 시료에서는 20%의 함량을 제외하고 실험을 실시하였다. GW-1과 GW-2의 경우에는 시료의 기본물성이나 입도가 서로 비슷하여 GW-2의 경우는 제외하고 실험을 실시하였다.

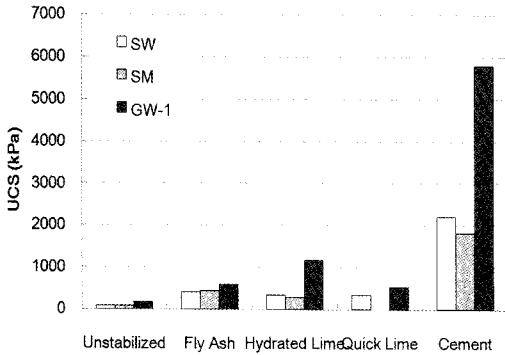
〈표 5〉 안정제의 안정처리 효과 비교를 위한 실험조건

시료	안정제 종류	함량(%)
SW GW-1	플라이애쉬 : F	5
	소석회 : H	10
	생석회 : Q	20
	시멘트 : C	5
SM	시멘트 : C	10
	플라이애쉬 : F	5
	소석회 : H	10

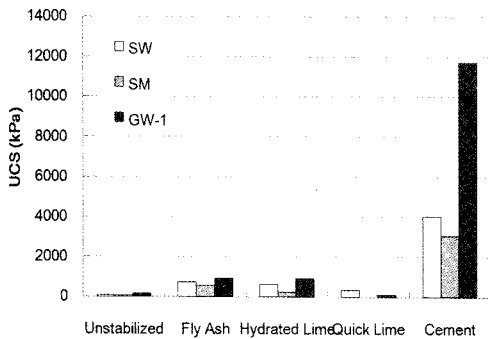
〈그림 9〉는 안정제 종류별 및 함량별 압축강도시험 결과를 나타내고 있다. 시멘트를 안정제로 사용하는 경우 모든 시료 종류에 대하여 강도 증가효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 보조기층(GW-1) 시료의 경우 노상토(SW & SM) 시료에 비하여 안정처리 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다. 본 연구의 실험결과에 의하면 플라이애쉬와 소석회, 생석회를 안정제로 사용했을 시에는 원시료보다는 일축압축 강도가 증가하는 경향을 보였으나 시멘트를 안정제로 사용한 경우와 비교시 강도 증가 효과는 상대적으로 작았다.

시멘트를 제외한 안정제의 함량을 20%까지 증가하여 실험을 실시한 결과 원시료와 비교시 강도 증가효과가 있었으나 함량 5%와 10%와 비교시 강도가 매우 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 생석회의 경우 양생도중 공시체의 파괴가 발생하였다. 이는 양생도중 석회의 주성

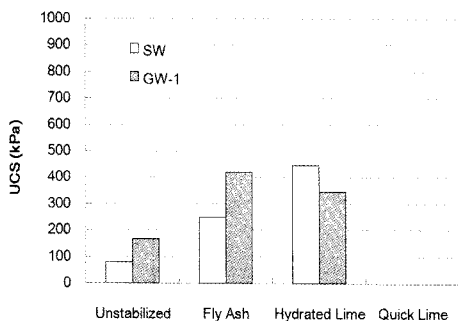
분인 CaO와 토중수가 반응하여 Ca(OH)₂로 변하는 과정에서 체적이 팽창하게 되면서 시료가 느슨해져 강도가 감소하게 된 것으로 판단된다.



(a) 안정제 함량 5%



(b) 안정제 함량 10%



(c) 안정제 함량 20%

〈그림 9〉 안정제의 안정처리 효과 비교

따라서 본 연구의 실험결과 플라이애시만을 사용하여 안정처리시에는 큰 강도증진효과를 기대하기 어렵다고 판단된다. 물론 본 실험에서의 양생기간은 7일로서 플라이애시의 장기강도 발현 효과를 고려한다면 양생기간이 증가하게 되면 강도 증가효과는 높아질 것이라 예상되나 7일 양생의 경우에는 플라이애시에 타 안정제를 첨가하여 복합안정제로 안정처리하는 것이 강도증가 효과를 높일 수 있다고 판단된다.

3.4 안정제 혼합사용시 압축강도

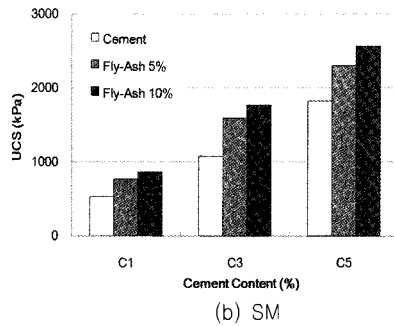
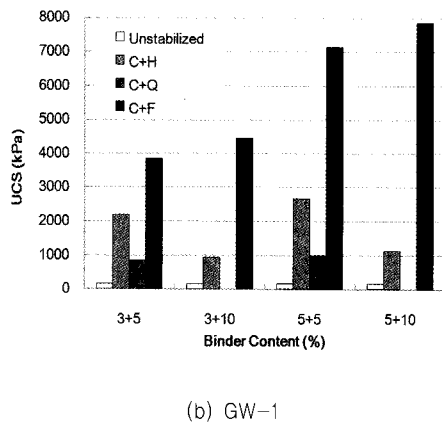
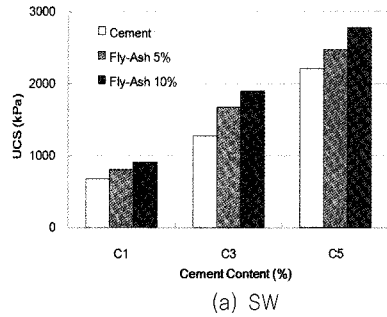
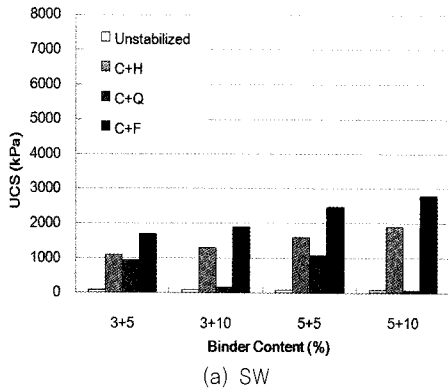
양생기간을 7일로 하는 경우 안정제를 서로 혼합한 복합안정제로 사용하는 것이 강도증가 효과를 높일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 복합안정제 종류에 따른 강도증가 효과를 비교하기 위하여 SW와 GW-1의 시료를 사용하여 〈표 6〉과 같은 배합으로 실험을 실시하였다.

〈표 6〉 안정제를 복합적으로 사용하는 실험조건

시료	안정제 종류	함량 (%)
SW	시멘트+소석회 : C+H	3+5
	시멘트+플라이애시 : C+F	
	시멘트+생석회 : C+Q	
GW-1	플라이애시+소석회 : F+H	5+5
	플라이애시+생석회 : F+Q	5+10

〈그림 10〉은 복합안정제 사용시 일축압축실험의 결과로서 시멘트와 플라이애시를 안정제로 사용시 강도 증가 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 〈그림 9〉에서와 같이 소석회는 플라이애시와 비교하여 강도 증가효과가 비슷하거나 다소 큰 것으로 나타나는 경우가 있었으나 안정제를 복합적으로 사용 시에는 시멘트와 플라이애시를 혼합하여 안정처리하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

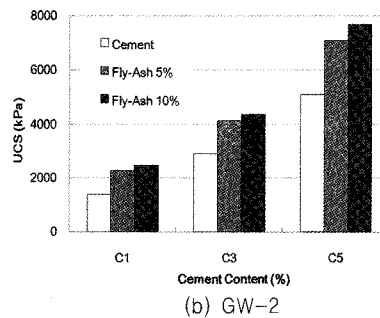
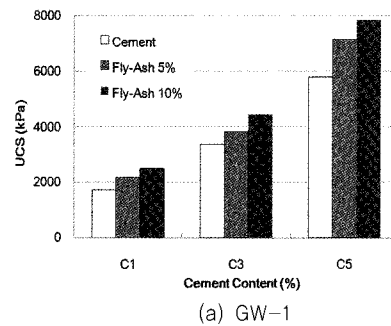
복합안정제로 안정처리시 시멘트와 플라이애시를 혼합사용하는 것이 강도증가 측면에서 가장 효과적인 것으로 판단되었다. 따라서 〈표 7〉과 같은 배합으로 시료의 종류 및 시멘트의 함량을 변화하여 실험을 실시하였다.



〈그림 10〉 복합안정제를 사용 시의 일축압축강도

〈표 7〉 복합안정제(플라이애시와 시멘트)를 사용하는 실험조건

시료	구분	안정제 및 함량
SW	C1	C(1%)
	C3	C(3%)
	C5	C(5%)
SM	C1F5	C(1%), F(5%)
	C1F10	C(1%), F(10%)
GW-1	C3F5	C(3%), F(5%)
	C3F10	C(3%), F(10%)
GW-2	C5F5	C(5%), F(5%)
	C5F10	C(5%), F(10%)



〈그림 11〉 복합안정제(플라이애시와 시멘트)를 사용 시 일축압축강도

〈그림 11〉은 복합안정제로 플라이애시와 시멘트를 사용한 경우의 일축압축시험결과를 시멘트를 안정제로 사용한 경우와 비교하여 나타낸 것으로 플라이애시와 시멘트를 사용한 경우가 모든 시료에서 시멘트를 사용한 경우보다 일축압축강도가 높은 것을 알 수 있다. 국내 노상토의 약 70%가 SW와 SM 계열 이므로 플라이애시와 시멘트를 사용한 경우 강도측면에서 큰 효과를 발휘할 것이라 기대된다.

3.5 지반재료의 특성에 따른 압축강도 특성

본 절에서는 Dutron(1961)의 연구결과를 바탕으로 도로하부구조 지반재료의 안정처리시 흙 종류, 안정제의 함량, 건조밀도와 함수비의 변화등에 대하여 실험을 실시 후 그 영향에 대하여 알아보았다. 지반재료 특성의 변화에 따른 압축강도의 영향을 알아보기 위하여 흙 종류와 건조밀도 그리고 함수비를 변화하여 〈표 8〉과 같이 실험을 실시하였다. 이때 지반재료를 SW와 SM 시료로 변화시키고, 최대건조밀도를 기준으로 90%, 95%, 100%로 건조밀도를 변화하여 지반재료의 특성을 변화시켜 공시체를 제작하고 실험을 실시하였다. 또한 함수비의 범위는 건조축과 습윤축의 영향을 평가하기 위하여 최적 함수비를 기준으로 $\pm 2\%$ 로 변화시켜 실험을 실시하였다.

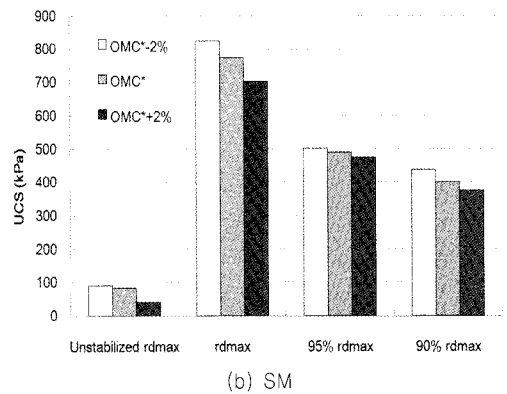
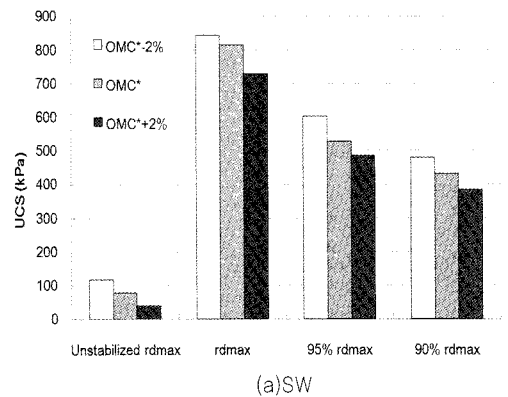
〈표 8〉 지반재료의 특성 변화에 따른 실험조건

시료	다짐도 (%)	건조밀도 (kN/m ³)	함수비 (%)	안정제 및 함량
SW	90	16.97	7.42	C(1%), F(5%)
	95	17.92	9.42	
	100	18.86	11.42	
SM	90	15.97	13.8	
	95	16.85	15.8	
	100	17.74	17.8	

〈그림 12〉는 지반재료의 특성 변화에 따른 일축압축시험결과를 나타낸 것이다. 건조밀도가 증가하면 일축압축강도가 증가하고 함수비의 변화에 따라 건조축(OMC-2%)에서 압축강도가 높고 습윤축(OMC+2%)으로 이동

할수록 압축강도가 낮아짐을 알 수 있다. 이는 Dutron (1961) 등의 기존연구 결과와 동일하며 안정처리시 시료의 건조밀도가 90%와 함수비가 습윤축인 가장 낮은 압축강도를 나타내는 경우에도 원시료와 비교시 일축압축강도가 약 4배 이상 압축강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

안정처리시 압축강도에 영향을 미치는 요소인 안정제 함량, 함수비, 건조밀도를 모두 고려한 결과 모든 요소가 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 안정제의 함량이 압축강도에 가장 큰 영향을 주는 결정적인 요소라는 것을 알 수 있었다.



〈그림 12〉 물리적인 특성에 영향을 미치는 요소에 따른 압축강도

3.6 안정제 혼합사용시 회복변형 특성

반복재하식 회복변형계수 실내실험은 일축압축시험 결과를 참조하여 안정처리시 압축강도에 큰 영향을 주는



안정제의 함량을 달리하여 수행하였으며 <표 9>는 안정제 함량별 회복변형계수 실내실험 조건을 나타낸 것이다. 안정제의 종류 및 함량은 일축압축실험결과를 분석하여 강도특성이 가장 높은 것으로 나타난 플라이애시와 시멘트를 혼합한 복합안정제의 경우와 시멘트로 안정처리한 경우를 비교하였다. 실험시 반복재하시 회복변형계수 실내 실험에 대한 국내 규정이 없는 관계로 <표 10>과 같이 미국 AASHTO(TP46-94) 규정을 사용하여 실험을 수행하였다.

<그림 13>은 회복변형계수 실험결과를 체적응력과 회복변형계수(MR)값을 이용하여 나타낸 것이다. 안정처리시 회복변형계수는 원시료와 비교하여 약 6배 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 모든 시료와 함량에서 체적응력과 안정제의 함량이 증가함에 따라 회복변형계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 시멘트와 시멘트와 플라이애시를 혼합한 회복변형계수를 비교하면 일축압축실험 결과와 동일하게 시멘트와 플라이애시를 혼합한 경우

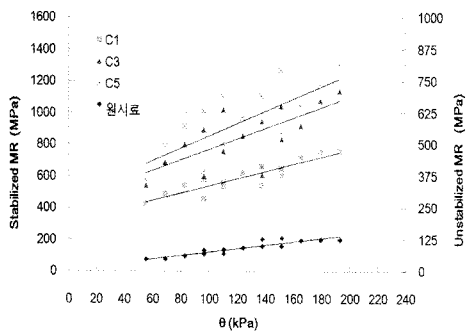
가 시멘트만을 사용한 경우보다 높은 회복변형계수를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 일축압축실험결과와 마찬가지로 플라이애시의 함량이 증가하면 회복변형계수도 증가함을 알 수 있다.

<표 9> 안정제 함량별 회복변형계수 실험조건

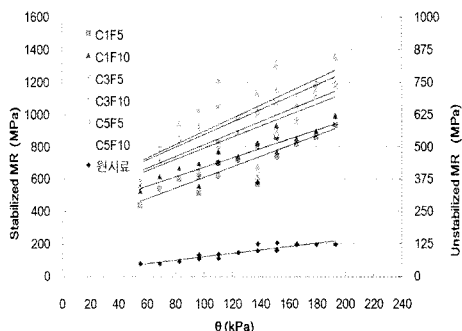
시료	구 분	안정제 및 함량
SW	C1	C(1%)
	C3	C(3%)
	C5	C(5%)
SM	C1F5	C(1%), F(5%)
	C1F10	C(1%), F(10%)
GW-1	C3F5	C(3%), F(5%)
GW-2	C3F10	C(3%), F(10%)
	C5F5	C(5%), F(5%)
	C5F10	C(5%), F(10%)

<표 10> AASHTO TP 46-94 하중 조합

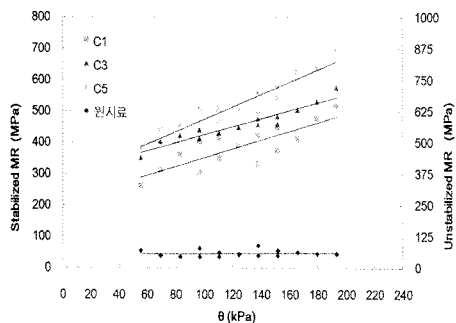
구 분	노상도		보조기층		반복횟수 (회)
	구속응력(kPa)	축차응력(kPa)	구속응력(kPa)	축차응력(kPa)	
conditioning	41.4	27.6	103	103	500-1000
1	41.4	13.8	20.7	20.7	100
2		27.6		41.4	100
3		41.4		62.1	100
4	27.6	55.2	34.5	34.5	100
5		68.9		69	100
6		13.8		103.5	100
7	13.8	27.6	69	69	100
8		41.4		138	100
9		55.2		207	100
10		68.9		69	100
11	103.5	13.8	103.5	103.5	100
12		27.6	207	100	
13		41.4	103.5	100	
14	138	55.2	138	138	100
15		68.9	276	276	100



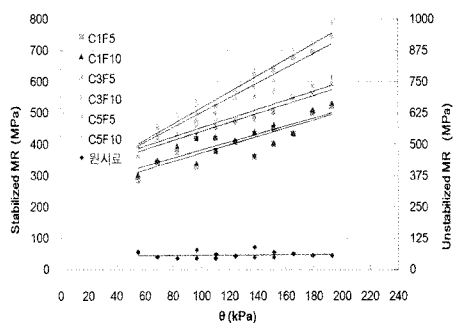
(a) SW : 시멘트



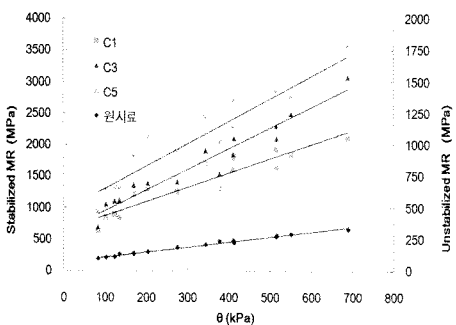
(b) SW : 시멘트와 플라이애쉬 혼합



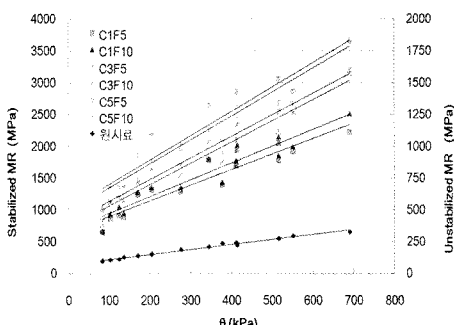
(c) SM : 시멘트



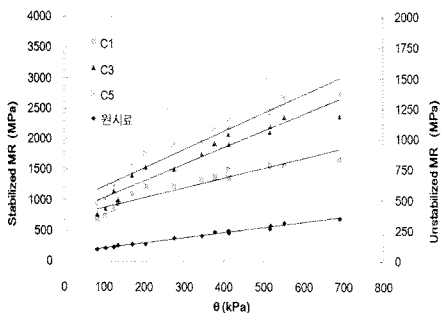
(d) SM : 시멘트와 플라이애쉬 혼합



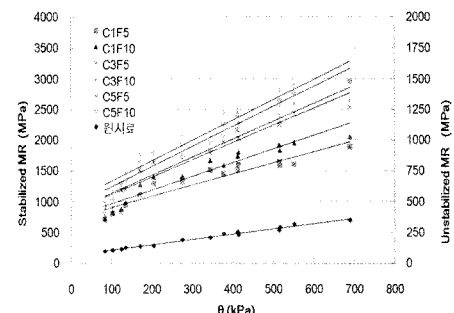
(e) GW-1 : 시멘트



(f) GW-1 : 시멘트와 플라이애쉬 혼합

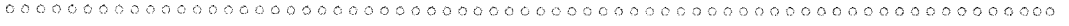


(g) GW-2 : 시멘트



(h) GW-2 : 시멘트와 플라이애쉬 혼합

〈그림 13〉 Mr - θ 의 관계



4. 결 론

본 논문에서는 국내 포장하부구조의 대부분을 차지하고 있는 조립질 지반을 연구대상 재료로 선정하여 안정처리시 강도 및 변형특성을 평가하기 위하여 다양한 조건에 따른 일축압축시험과 반복재하식 회복변형계수 실내시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 안정처리시 지반재료와 안정제의 배합방법이 일축압축강도와 회복변형계수에 미치는 영향을 조사하였다. 조사결과, 배합방법 차이에 따른 강도 및 변형특성은 서로 유사하므로 원시료의 다짐시험결과를 이용하는 배합방법을 적용하는 것이 간편하고 효율적인 방법이라 판단된다.

2. 입도조정 안정처리와 안정제를 사용한 안정처리 기법을 비교한 결과 안정제를 사용한 안정처리방법의 효과가 입도조정 안정처리기법에 비하여 약 10배 이상의 일축압축강도가 증가 하는 것으로 나타났다. 또한 안정제를 사용한 안정처리시 시료의 입도가 일축압축강도에 큰 영향을 끼치며 어느 한계이상의 입도를 가져야 안정처리 효과를 높일 수 있음을 알 수 있었다.

3. 일축압축 시험 결과 시멘트를 안정제로 사용시 강도증가 효과가 뛰어나며 플라이애시와 소석회, 생석회를 안정제로 사용했을 시에는 시멘트의 경우와 비교하여 그 효과가 적었다. 그러나 복합안정제를 사용시 7일 양생의 조건에서는 플라이애시와 시멘트를 혼합하여 안정처리하는 것이 강도증가 효과를 높일 수 있다고 판단된다.

4. 안정처리시 압축강도에 영향을 미치는 여러 요소에 대한 실험결과 안정제의 함량이 압축강도에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

5. 안정처리시 회복변형계수는 원시료와 비교하여 약 6~10배 이상 증가하며, 체적응력과 축차응력 그리고 안정제의 함량이 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 시멘트와 플라이애시를 혼합하여 사용하는 경우 시멘트만을 사용하는 경우보다 높은 회복변형계수를 나타내었다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), "도로설계편람"
2. 한국도로공사(2002), "도로설계요령"
3. AASHTO (1994), Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials.
4. Dutron, M.M and Cloes P.R. (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
5. Hopkins T.C., Hunsucker D. Q., and Beckham T. (1994), "Long-Term Performance of Flexible Pavements Located on Cement-Treated Soils", Transportation Research Record.

접 수 일 : 2008. 4. 25

심 사 일 : 2008. 4. 28

심사완료일 : 2008. 9. 1