

안정처리 노상토의 배합방법 비교

Comparison of Mixing Methods for Stabilizing Subgrade Soils

박성완* · 지종근**

Park, Seong-Wan · Ji, Jong Keun

1. 서론

최근 정부의 도로분야에 대한 친환경건설 정책과 더불어 환경보존에 대한 국민의식이 높아가는 상황에서 천연골재 확보 및 사용에 대한 규제가 심해지고 있어 이를 극복하거나 대체할 지반재료에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 지반재료에 화학적 안정제를 혼합하여 소요의 기능을 대체할 수 있는 연구가 국외에서 많이 수행되어 왔으나 국내에서는 관련 활용실적이 저조한 관계로 재료의 실험기준 및 표준화된 실험법 연구가 거의 없는 실정이다. 이는 그 동안 품질이 양호한 재료만을 고집한 측면에도 기인하지만 대체 지반재료에 대한 관심 및 도로분야에 자원순환에 대한 인식이 매우 낮음에도 원인이 있다. 따라서 본 논문에서는 효율적인 안정처리 시공에 되기 위한 사전 단계로 지반재료에 안정제 배합시 효과적인 방식에 대하여 살펴보고 이를 역학 및 포장 공용성 시험을 실시하여 각각 비교 분석하였다.

2. 실내실험 시료 및 실험장치

2.1 실내실험시료

본 연구에서는 중부내륙고속도로 시험도로의 노상토를 대상 시료로 선정한 후 실험을 수행하였으며, 표 1은 시료의 기본 물성이다. 지반재료의 입도분포 및 다짐 특성은 그림 1과 2와 같다.

표 1. 시료의 기본 물성

시 료		시험도로 노상토
비 중		2.65
소성지수 (PI, %)		NP
흙 분류	통일분류	SW
다짐시험결과	최적함수비(%)	9.42
	최대건조 단위중량(kN/m ³)	18.83

2.2 안정제

대상 노상토의 안정화를 위하여 고려한 안정제는 국내 A사의 제1종 보통 포틀랜드시멘트와 경남하동 화력발전소에서 부산 되는 CCBPs 플라이애쉬를 사용하였으며 이들의 화학성분은 표 2와 같다. CCBPs 석탄회는 총 석탄 사용량의 12%가 부산 되며 이중 플라이애쉬는 석탄회의 89%를 차지한다(한국남부발전 2006). 2005년도의 석탄회의 재활용률은 52%에 불과한 실정에 비추어 볼 때 플라이애쉬를 도로포장 지반재료로 재활용함으로써 포장체의 성능을 향상시키고 동시에 환경보호에 큰 기여를 할 수 있으리라 판단된다.

* 단국대학교 토목환경공학과 조교수 · 공학박사 · 02-799-1363 (E-mail : spark@dankook.ac.kr)

** 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 · 02-709-2555 (E-mail : jk538@naver.com)

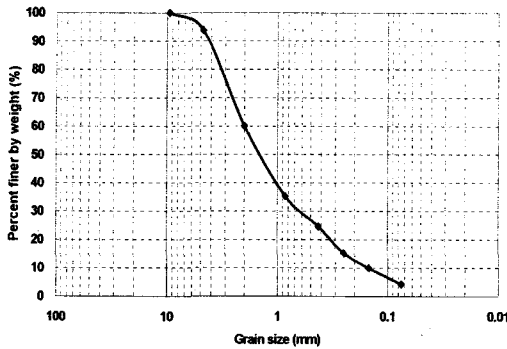


그림 1. 입도분포곡선

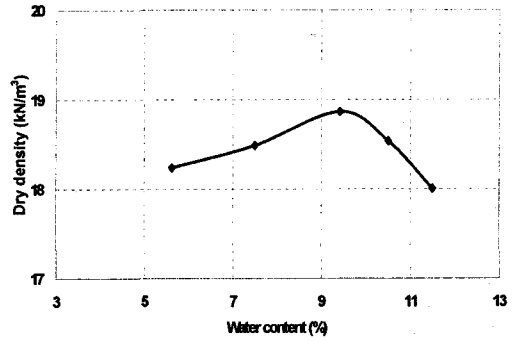


그림 2. 함수비-밀도 곡선

표 2. 안정제

화학성분	시멘트 (%)	CCBPs 플라이애쉬 (%)
SiO ₂	21.4	54.5
Al ₂ O ₃	5.1	21.1
Fe ₂ O ₃	2.9	5.49
CaO	64.0	3.12
MgO	1.6	1.02
SO ₃	2.0	2.40
Na ₂ O	0.28	0.36
K ₂ O	0.51	2.44
TiO ₂	0.32	1.67
P ₂ O ₅	0.13	0.35
MnO	0.13	-
Cl	0.005	-
강열감량 (%)	0.5~1.3	-
기타	-	0.27

2.3 평가방법 및 공시체

강도 시험은 일축압축을 실시하였으며 반복재하 회복탄성계수 실험은 그림 3과 같은 UTM-25를 사용하였다. 일축압축시험은 변형률제어로 분당 1%의 축방향 변형을 주었으며 회복탄성계수는 1 cycle마다 0.1초의 하중재하 후 0.9초의 휴지기를 가지는 Haversine파 형태의 하중을 적용했으며 질차는 AASHTO의 TP46-94의 규정을 참고하였다.

각 시험공시체는 그림 4의 선회다짐기를 사용하여 일정한 밀도 조건으로 다짐을 실시하였다. 선회다짐은 전단다짐 원리를 활용하여 몰드안의 시료에 압축력과 회전에 의해 발생하는 전단력을 동시에 작용시켜 다짐을 수행함으로써 현장다짐을 유사하게 모사하도록 하고 있다.

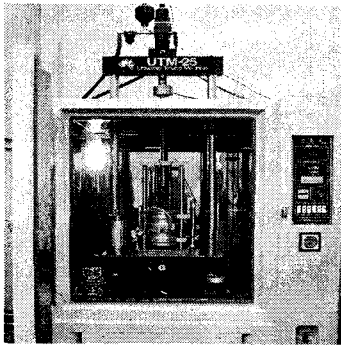


그림 3. 반복재하 삼축압축기

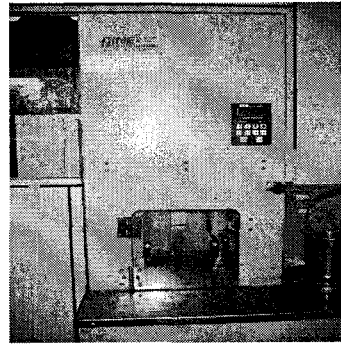


그림 4. 선화다짐기

노상토 안정제의 혼합비는 시료의 체적을 기준으로 하는 경우도 있으나 일반적으로 건조중량을 기준으로 사용하는 경우가 대부분이다. 본 시험에서는 안정제를 흙 시료의 건조중량의 비율로 혼합하고 다져진 공시체는 상온 25℃, 상대습도 95% 이상의 항온·항습 조건으로 7일 양생후 강도실험을 실시하였다.

3. 배합방법에 따른 평가

3.1 배합방식에 따른 실험 조건

일반적으로 노상토 시료와 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 평가하기에는 무리가 있다. 따라서 1994년 Hopkins 등의 연구를 참고하여 안정제의 함량에 따라서 다짐시험을 실시하지 않고 노상토만의 최적다짐시행 결과를 활용하여 안정처리된 공시체를 제작한 후 일반적인 방식의 시료와 일축압축강도 및 반복재하 회복탄생 계수 시험을 실시하여 평가하였다. 표 3은 각 시료별 안정제 및 다짐 공시체 조건이다.

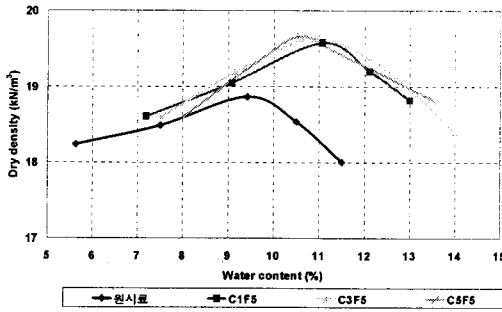
표 3. 배합방식에 따른 실험계획

시 료	구 분	안정제 및 함량	공시체 성형시 함수비 (%)	공시체 성형시 건조단위중량 (kN/m ³)
노상토	TS-C1F5	C(1%), F(5%)	OMC* (9.42)	18.83
	TS-C3F5	C(3%), F(5%)	OMC* (9.42)	18.83
	TS-C5F5	C(5%), F(5%)	OMC* (9.42)	18.83
	OTS-C1F5	C(1%), F(5%)	OMC (11.10)	19.42
	OTS-C3F5	C(3%), F(5%)	OMC (11.00)	19.61
	OTS-C5F5	C(5%), F(5%)	OMC (10.48)	19.71

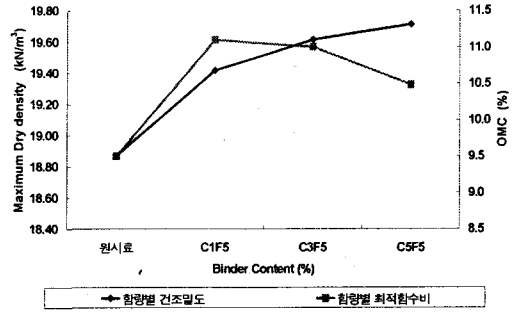
주 : C(시멘트), F(플라이애쉬), OMC*(원시료 최적함수비), OMC(안정처리후 최적함수비)

3.2 배합방식에 따른 일축압축시험 결과

그림 5는 안정제 함량별 다짐시험을 실시한 결과로서 안정제를 혼합하는 경우 최대건조단위중량은 안정제의 함량에 따라 증가하게 되고 최적함수비는 함량에 따라 증가 후 감소하게 된다. 따라서 허용기준 이상의 강도를 발휘하는 안정제의 최적함량을 찾기 위해서는 함량별 다짐시험을 실시해야 하는 번거로움을 수반한다. 한편 배합방식을 달리하여 일축압축시험을 실시한 후 각 방식에 따른 일축압축시험결과는 그림 6과 같다. 원시료의 다짐시험결과(OMC*)를 이용한 배합방식과 안정제의 함량별 다짐시험결과(OMC)를 이용한 배합과의 강도증가 효과는 비슷함을 알 수 있다. 시멘트와 플라이애쉬 안정제의 응력-변형률의 관계로 침투시의 변형률에 다소 차이가 있지만 최대일축압축강도는 유사하게 나타나고 있다. 따라서 노상토의 안정처리시 원지반의 다짐시험결과(OMC*)를 이용하는 것이 적용시 효율적인 동시에 일관성이 있는 방법이라 판단된다.



(a) 다짐밀도-함수량 관계



(b) 함량별 최대건조밀도 및 최적함수비

그림 5. 함량별 다짐시험결과

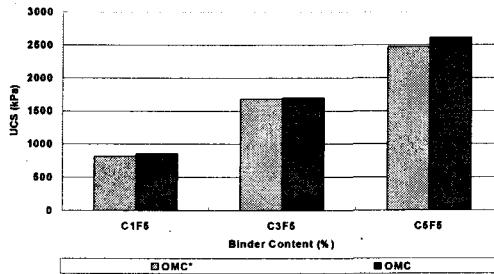


그림 6. 최대일축압축강도 비교

3.3 배합방식에 따른 회복탄성계수

일축압축강도와 같은 조건으로 반복재하식 회복탄성계수실험을 실시하여 노상토의 다짐시험결과(OMC*)를 이용한 배합방식과 안정제의 함량별 다짐시험결과(OMC)를 이용한 배합방식의 차이를 평가하였다. 그림 7에서 9는 축차응력 41.4kPa의 조건에서 배합방식별 그리고 구속응력별 회복탄성계수 실험결과를 안정제 함량별로 나타내었다. 안정제 함량이 증가할수록 회복탄성계수는 증가하고 구속응력이 감소하면 회복탄성계수는 감소함을 알 수 있다. 마찬가지로 배합방식에 따른 반복재하 회복탄성계수의 값은 서로 유사함을 알 수 있다.

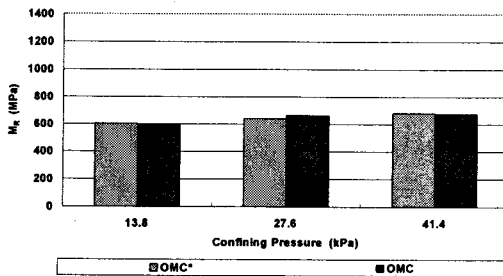


그림 7. C1F5 시료의 구속응력별 Mr 비교

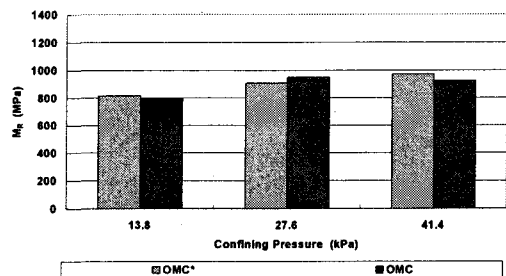


그림 8. C3F5 시료의 구속응력별 Mr 비교

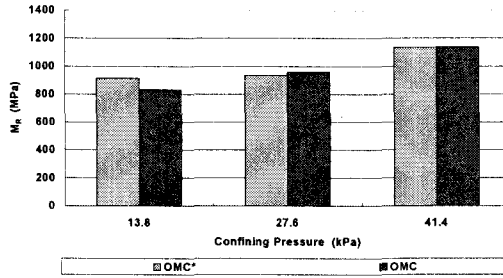


그림 9. C5F5 시료의 구속응력별 Mr 비교

4. 종합

안정제를 노상토에 혼합시 배합방식에 대한 기준을 설정하고자 일축압축강도 및 반복재하식 회복탄성계수 실험을 실시한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 안정제 함량별 실내다짐시험 결과 최대건조단위중량은 안정제의 함량에 따라 증가하게 되고 최적함수비는 함량에 따라 증가 후 감소하게 된다.
- 안정처리시 함량별 다짐시험결과를 이용한 경우와 원지반의 다짐시험결과를 강도 및 회복탄성계수 실내시험을 통하여 비교한 결과 유사함을 알 수 있었다.
- 안정처리시 함량별 다짐시험결과를 이용한 경우와 원지반의 다짐시험결과를 강도 및 회복탄성계수 실내시험을 통하여 비교한 결과 유사함을 알 수 있었다.
- 향후 국내 노상토의 많은 부분을 차지하는 SM계열 노상토를 비롯한 다양한 기층재료에 대한 실험을 수행하여 최적안정제 선정 및 함량결정 방법을 설정하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부에서 지원하는 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 일부로, 연구를 가능케 한 건설교통부에 감사드립니다. 아울러 논문의 내용은 건설교통부의 공식적인 내용이나 정책이 포함되어 있지 않음을 밝힙니다.

참고문헌

1. 한국남부발전(주), www.kospo.co.kr, 자원재활용정보, 2006.
2. Tommy C. Hopkins., David Q. Hunsucker and Tony Beckham, Long-Term Performance of Flexible Pavements Located on Cement-Treated Soils, Transportation Research Record, 1994.