

철도 노반재로서의 수경성 입도 조정 고로슬래그(HMS-25)의 적용성 평가

Evaluation of Applicability of HMS-25 as the Railroad Roadbed Material

황 선 근^{*1} Hwang, Seon-Keun

이 성 혁^{*2} Lee, Seong-Hyeog

이 시 한^{*3} Lee, Si-Han

최 찬 용^{*3} Choi, Chan-Yong

Abstract

The applicability and performance of HMS-25 as the railroad roadbed materials were evaluated through the model and laboratory tests. The uniaxial compression test of HMS-25, model soil box test, and combined resonant column and torsional shear test were performed for static and dynamic analysis of railroad roadbed. The uniaxial compression test result of HMS-25 shows steady increase in strength due to hardening chemical reaction between HMS-25 and water.

The result of model soil box test reveals that railroad roadbed of HMS-25 is better than that of soil in several aspects such as bearing capacity and settlement. The combined resonant column and torsional that shear test result indicates that shear modulus of HMS-25 increases with the power of 0.5 to the confining pressure and that shear modulus increases with the increase of curing period.

요 지

본 연구에서는 선철의 제조과정에서 부산물로 발생하는 수경성 입도조정 고로 슬래그(이하 HMS-25라 함)의 철도 노반재로서의 적용성 및 성능평가 검토를 하였다. 실험은 기본 물성 측정을 위한 실내시험, 일축압축강도시험 및 정·동적 특성분석을 위한 모형토조시험 및 공진주/비틀 전단시험을 실시하였다. HMS-25의 일축압축강도시험 결과, 수경성에 의한 강도 증진 효과를 확인하였다. 토조시험에서는 HMS-25를 이용하여 조성한 노반이 흙노반에 비해 지지력 및 침하량 측면에서 효과적인 것으로 나타났다. 공진주/비틀전단시험에서는 전단탄성계수는 구속압의 0.5 제곱으로 증가하였으며, 재령에 따라 증가하는 경향을 보였다.

Keywords : HMS-25, Roadbed, Combined resonant and torsional shear test, Shear modulus, Material damping ratio

*1 정회원, 한국철도기술연구원, 시설전기연구본부 철도노반방재연구팀장

*2 정회원, 한국철도기술연구원, 시설전기연구본부 철도노반방재연구팀, 선임연구원

*3 정회원, 한국철도기술연구원, 시설전기연구본부 철도노반방재연구팀, 연구원

1. 서론

열차 통과시의 열차 하중 및 진동은 일반적인 경우 레일로부터 침목, 도상을 거쳐 최종적으로는 노반에 전달된다. 따라서 노반은 궤도의 기초라 할 수 있으나 일반 구조물의 기초는 정적 하중을 받는 것에 비해 철도노반은 열차 통과에 의한 동적 하중을 받는다는 특징을 가지고 있다. 즉 노반의 역할은 열차 통과에 의한 동적 하중 및 진동에 대해서 궤도를 안전하게 지지하는 것이라 할 수 있다.

그림 1에는 유럽철도연합(Union Internationale des Chemins de fer, UIC)에서 제시하고 있는 일반적인 궤도하부구조를 나타냈다.

그림에서 보면 궤도하부구조는 노반, 노상, 도상으로 구분되어 있으며, 우측부에는 배수구가 설치되어 있다. Blanket층은 노상과 도상 사이에 설치되며, 보조도상, 동상방지층, 필터층으로 구성되어 많은 기능을 가지고 있다.

노반이란 궤도를 지지하기 위해 천연지반을 가공하여 만든 구조물로서 그 목적에 따라 소정의 재료 기준을 만족해야 한다. 즉 철도노반은 이론상 2kgf/cm^2 이상의 압력이 작용할 때 과도한 침하없이 안전하게 열차하중을 지지하고 또 반복하중에 의한 노반의 분니(mud pumping)현상이 발생하지 않으며, 한냉지에서는 동상 현상으로 궤도 틀림

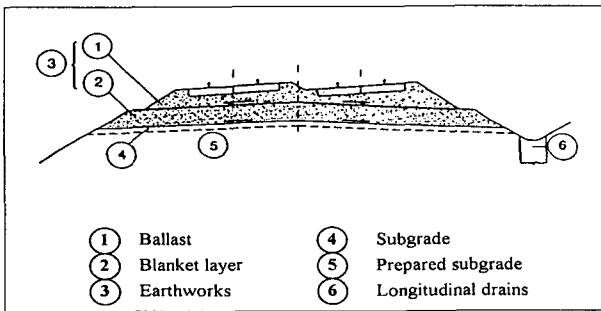


그림 1. UIC에 규정된 궤도 하부 구조

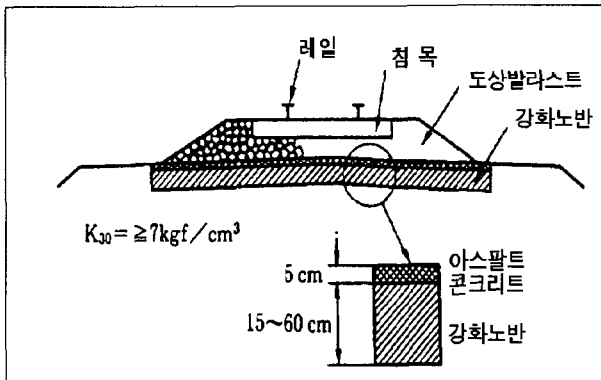


그림 2. 일본의 강화노반 단면도

이 발생되지 않도록 건설되어야 한다.

노반이 불안정하면 지지력이 저하됨으로써 궤도 틀림이 발생되기 쉬워 보수에 많은 어려움이 생기며 빈번한 재료 갱환이 필요할 뿐만 아니라 열차가 소정의 속도로 운행할 수 없게 되는 경우도 있다. 따라서 노반이 불량한 선구에서는 일반 구간에 비해 상당한 보수 노력이 필요하다.

기존의 철도노반은 절토 또는 토취장에서 채취한 흙을 가지고 성토를 하여 장기간 동안 자중에 의해 자연 침하되도록 하여 궤도를 부설하여 왔으므로 사용년수 경과에 따른 도상자갈 관입의 증대, 분니, 침하 등에 의해 궤도 보수량이 급증하고 있는 실정이다.

이와 같은 노반에서 발생하는 문제점들을 해결하고 막대한 유지보수비용의 절감을 위해 국외 특히 일본의 경우에는 재래선과 신간선에는 강화노반을 채택하여 시공하고 있다. 그림 2는 일본의 강화노반의 시공 단면을 나타내고 있다.

일본에서 사용하고 있는 강화노반의 종류에는 쇠석 강화노반, 슬래그 강화노반, 흙 강화노반 등이 있는데 각 노반을 간략히 설명하면 다음과 같다.

- 쇠석 강화노반: 아스팔트 콘크리트 및 입도조정쇄석을 다짐하여 만든 노반
- 슬래그 강화노반: 수경성 입도조정 고로 슬래그 (Hydraulic and Mechanically Stabilized Slag, HMS - 25)를 다짐하여 만든 노반
- 흙 강화노반: 입도 등을 규제한 흙 또는 크러셔런 등을 다짐하여 만든 노반

위에서 언급한 강화노반의 종류를 근거로 본 연구는 각 강화노반 재료별 성능평가를 위해 특히 HMS-25를 중심으로 실내 기본 물성시험 및 공진주/비틀 전단시험을 실시하여 강화노반의 현장 적용성을 검토하였다.

2. HMS-25의 역학적 특성 분석

2.1 HMS-25 물리적 특성 시험

HMS-25에 대해 실시한 기본물성시험결과를 표 1에 나타냈다.

표 1에 보인 바와 같이 각 시험결과치들은 KS의 기준치를 모두 만족함을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용한 KS F 2535의 경우 도로에서 사용되고 있는 HMS-25의 기준을

표 1. HMS-25의 기본 물성 시험 결과

시험항목	시험방법	시험 결과치	KS F 2535 (도로용 철강 슬래그)기준
비중시험	KS F 2308	비중 : 2.73	-
단위용적중량시험	KS F 2505	1,713kgf/m ³	1,500kgf/m ³
마모시험	KS F 2508	35.5%	기층 40% 이하 보조기층 50% 이하
다짐시험	KS F 2312	최대건조밀도 : 2.13tonf/m ³ 최적 함수비 : 9.55%	-
수침팽창시험	KS F 2535	수침팽창비 : 0.02%	1.5% 이하
수정 CBR	KS F 2535	171%	80% 이상

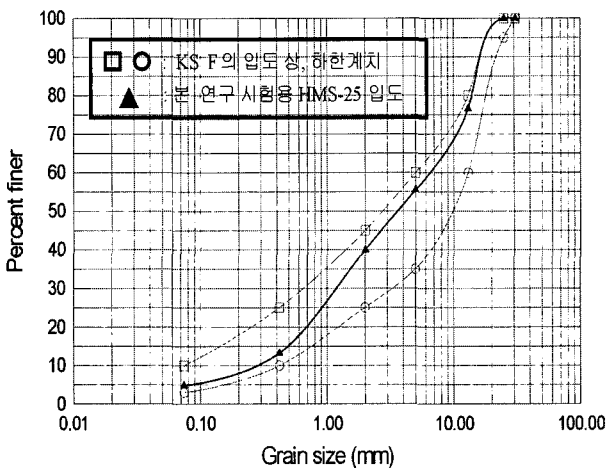


그림 3. HMS-25 입도분포 곡선

나타내었는데 이는 국내에서는 현재까지 철도 노반재용 슬래그의 기준이 마련되어 있지 않으므로 이를 참고로 하였다. 표 1에 보인 시험결과치 중 특히 주목해야 할 사항으로 수정 CBR 시험결과치로서 KS 기준인 80%를 2배 이상 상회하는 약 170%로서 매우 큰 수치를 나타냈다. 이는 HMS-25가 입자간의 역물림(Interlocking)이 좋고 입자간에 수분을 흡수하여 경화하는 슬래그의 고유특성인 수경성의 영향으로 판단된다.

그림 3에는 HMS-25의 입도분포곡선을 나타냈다. 입도시험결과에 의하면 HMS-25의 입도분포는 KS 규정의 상·하한계치 범위내에 존재하는 것으로 나타나 다른 시험결과와 마찬가지로 KS의 기준을 만족하였다.

2.2 HMS-25의 일축압축강도 특성

HMS-25의 최대특성은 보통 천연 골재에서는 볼 수 없는 수경성을 가지고 있다는 것인데 이는 HMS-25의 주요 화학성분이 표 2에 나타난 바와 같이 포틀랜드 시멘트와 유사하기 때문에 시공 후 급결성 시멘트 안정처리와는 다

표 2. HMS-25 및 시멘트의 화학 성분 조성

구 분	HMS-25	포틀랜드 시멘트
화학적분(%)		
SiO ₂	33.7	22.0
CaO	41.5	55.0
Al ₂ O ₃	13.9	9.0
T-Fe	0.4	2.0
MgO	6.5	4.0
MnO	0.5	-
TiO ₂	1.3	-
S	0.99	2.0

표 3. HMS-25 중금속 용출 시험 결과

물질	용출농도(ppm)	기준(ppm)
As	Tr	1.5
Cd	Tr	0.3
Cr ⁶	Tr	1.5
Cu	Tr	3
Hg	0.0005이하	0.005
Pb	Tr	3
CN	0.002이하	1
P	Tr	1

* Tr : 0.1ppm 이하

르게 시간경과에 따라 수화반응에 의해 경화하면서 비소성(N.P)의 약강도 콘크리트판을 형성하므로 도로의 기층 및 보조기층의 지지력을 증대시키는 잇점이 있다.

표 3에는 HMS-25 자체의 환경에 대한 영향을 고찰하기 위하여 중금속 용출시험 결과를 나타냈는데 표에서 보는 바와 같이 산업부산물로써 HMS-25를 사용하는 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

본 연구에서는 HMS-25의 수경성의 특성을 파악하고 노반재로서의 적용성을 판단하기 위해 HMS-25의 일축 압축강도시험을 실시하였다.

HMS-25는 적당한 양의 유리질을 함유하고 양호한 입

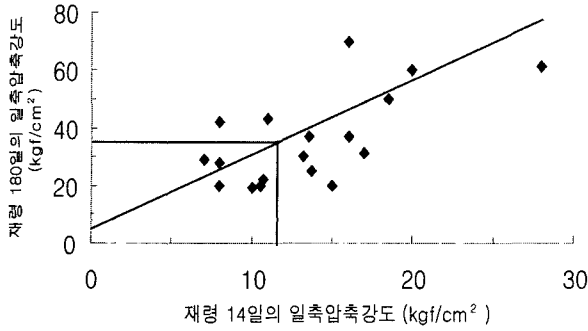


그림 4. HMS-25의 기준강도(재령 14일)와 장기강도(재령 180일)의 관계

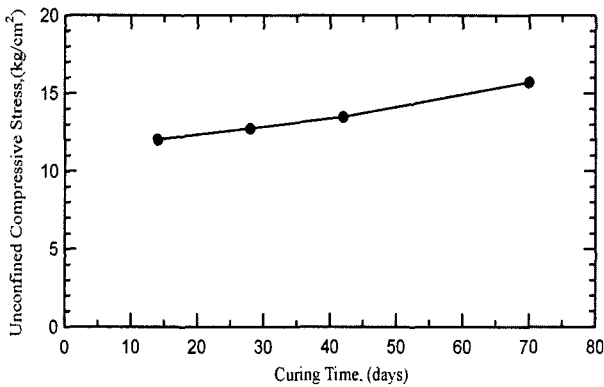


그림 5. 양생기간별 일축압축강도 변화

도분포를 가지고 있으며 장기간에 걸쳐 강도가 발현되는 특성을 가지고 있다.

이와 같은 특성은 일축압축강도 실험결과를 통해 알 수 있는데 다른 연구결과를 참고적으로 나타낸 그림 4를 보면 재령 14일 때 HMS-25의 일축압축강도가 12kgf/cm^2 이 상이면 재령 180일 때의 강도가 30kgf/cm^2 이상으로 될 확률이 매우 높음을 알 수 있다.

본 연구에서 일축압축강도시험에 필요한 공시체의 제작방법은 직경 10cm, 높이 20cm인 다짐용 몰드내에 KS 기준에 맞게 입도조정을 한 HMS-25를 넣고 최적함수비 (9.55%) 상태에서 3층 각 42회(KS F 2535 기준)로 다짐을 하여 공시체를 제작하였다.

다짐 후에는 공시체 상단에 약 3mm 두께로 석고를 물과 약 3:1의 비율로 섞어 캐핑(capping)을 하였다. 캐핑의 주목적은 래머로 다짐을 하면 HMS-25의 최대입경이 25mm 이므로 이들 굵은 입자들로 인하여 공시체 상부표면이 평탄하지 않아 일축압축시험기의 상부 하중판과 완전히 밀착되지 않기 때문에 이를 방지하여 공시체에 하중이 균등하게 분배되도록 하기 위함이다.

공시체는 KS 규격에 의하여 13일 동안 공기 중에서 양생시키고 1일간 수침시킨 후 양생기간의 경과에 따른 강

도특성을 분석하였다.

양생기간은 14일, 28일, 42일, 70일로 나누어 각 조건별 2개씩 총 8개의 공시체를 제작하였다.

본 연구에서 실시한 양생기간별 일축압축강도 변화는 그림 5에 나타냈다. 그림에 나타낸 값들은 각 조건별 2개의 공시체에 대해 실험을 실시하여 평균한 값을 보였다.

그림 5에서 보는 바와 같이 양생일수가 증가할수록 강도가 점진적으로 증가함을 알 수 있다.

HMS-25의 일축압축강도 중 특히 장기강도 예측에 가장 중요한 양생 14일 강도의 경우 KS 기준인 12kgf/cm^2 이상을 만족하였다. 양생조건별 강도 증가량은 양생 70일의 경우 14일 강도에 비해 약 33%의 강도증가를 나타내었으며, 흡수율은 약 7% 정도 증가하였다.

따라서 앞서 언급한 HMS-25의 가장 중요한 특성이라고 할 수 있는 수경성에 의한 장기거동 특성을 확인할 수 있었다.

3. 모형토조시험에 의한 HMS-25의 침하량 특성 분석

HMS-25의 기본물성시험 및 일축압축시험 등의 실내 시험 결과를 토대로 하여 모형토조 시험을 통해 HMS-25의 정적하중에 대한 침하특성을 규명하였다.

모형토조시험은 철도 노반의 현장 조건을 고려하여 흙 노반과 HMS-25 노반을 각각 두께를 다르게 조성하여 상호 비교하였다.

흙노반 조성에 사용된 시료는 신갈-안산간 고속도로 화포장공사 구간에 성토재료로 사용된 양질의 화강풍화토

표 4. 화강풍화토의 기본 물성치

시료	비중	최대건조밀도 (tonf/m ³)	최적함수비 (%)	통일분류법
화강 풍화토	2.54	1.976	11.4	SM, SC

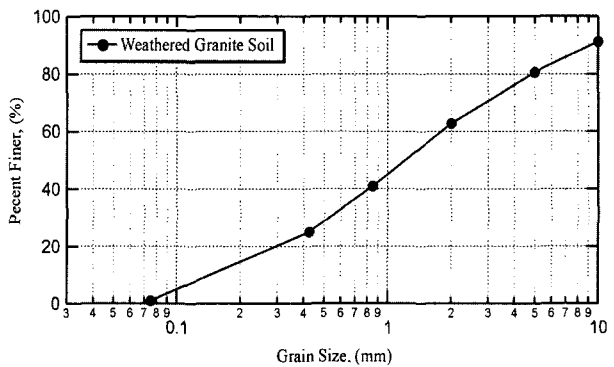


그림 6. 화강풍화토의 입도분포곡선

를 사용하였으며, 기본 물성치 및 입도시험결과를 표 4와 그림 6에 각각 나타냈다.

3.1 모형토조시험장치

시험에 사용된 모형토조의 제원 및 전경을 그림 7, 그림 8에 보였다.

모형토조의 내부는 폭 300mm, 길이 900mm, 높이가 800mm이며, 토조의 3면과 밑바닥은 앵글로 보강하여 하중재하시 토조자체에 휨변형이 발생하지 않도록 제작하였다.

시험장치의 전면부는 하중재하시 지반의 파괴형상 관찰을 위해 투명한 Plexiglass로 제작하였다. 또한 하중재하시에 기초지반과 토조 안쪽면과의 마찰을 최소화 하기 위해 토조 벽면에 그리스를 도포하였다.

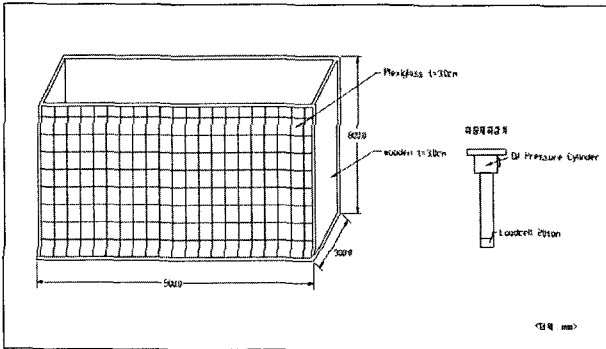


그림 7. 모형토조시험장치 제원

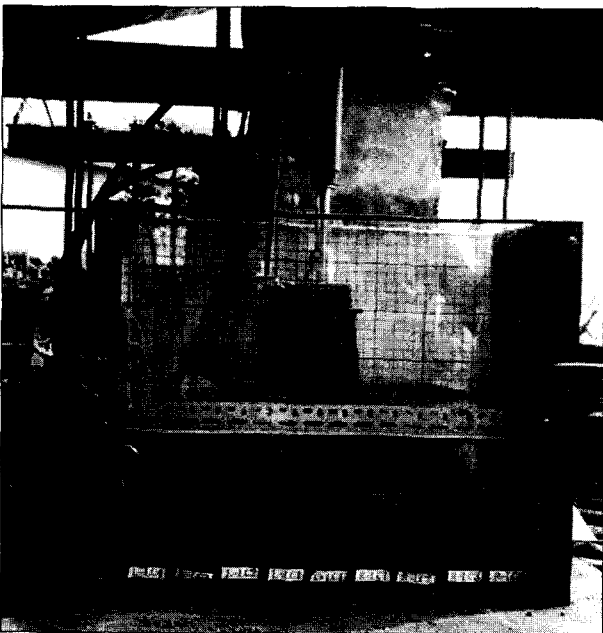


그림 8. 모형토조시험장치 전경

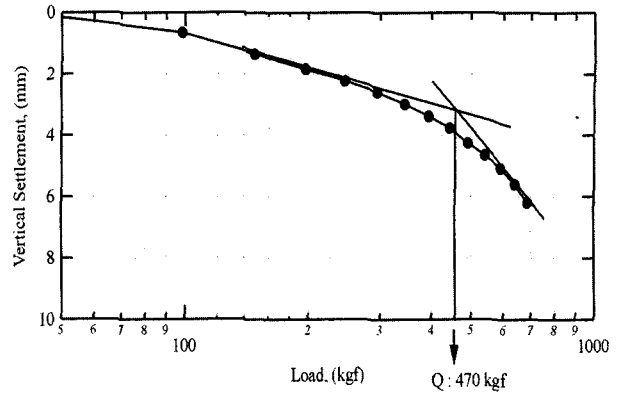


그림 9. 항복하중 구하는 방법 (Case 1 예)

각 재료를 사용하여 조성한 지반의 상부에는 유압실린더로부터 재하되는 하중을 지반에 전달될 수 있도록 하기 위해 모형기초를 설치하였는데 기초는 강성이 큰 압축 Plexiglass를 폭 90mm, 길이 300mm, 두께 30mm로 제작하여 사용하였다.

모형기초의 저부는 표면이 거친 샌드페이퍼를 부착하여 모형지반과 기초사이가 완전히 밀착되게 하여 하중재하시 모형기초가 전도되지 않도록 하였다. 이와 같은 모형 기초 중심부에 직경 3cm 정도의 홈이 있는 하중받침대를 설치하여 하중재하부의 단부가 하중받침대의 홈과 맞물려 하중을 지반에 전달될 수 있도록 하였다.

이는 하중받침대가 힌지와 같은 역할을 하여 하중이 전달되는 과정에서 잠재적인 모멘트나 파괴형상이 자유롭게 발생하도록 하기 위함이다.

3.2 시험조건

그림 8에 나타낸 시험장치를 이용하여 모형지반을 조성하였는데 모형지반은 크게 흙노반 20cm, 30cm와 HMS-25 노반 20cm, 30cm로 노반두께를 달리한 4개의 Case에 대해 시험을 실시하였다.

모형지반의 조성은 두 시료를 표 1과 표 4에 나타낸 결과치를 이용하여 최대건조밀도의 90% 이상이 되도록 하여 다짐을 실시하였다. 다짐 완료 후 재하판의 양단부에 다이

표 5. 모형토조 시험 조건

시험조건	노반조성	노반 두께
Case 1	흙노반	20cm
Case 2		30cm
Case 3	HMS-25 노반	20cm
Case 4		30cm

열 게이지를 설치하여 지반의 침하량을 측정하였다. 침하는 각 하중단계별로 15분간의 침하를 단계침하로 산정하고 그동안 침하가 정지되었을 경우의 침하를 침하량으로 산정하였다.

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 극한지지력의 변화

표 6에 각 실험조건별 극한지지력의 변화를 나타냈다. 극한지지력의 산정방법은 그림 9에 나타낸 바와 같이 도해적인 방법으로 각 조건별 항복하중(Q)을 구한 다음 (식 1)을 이용하여 극한지지력을 구하였다.

$$\text{극한하중}(Q_u) = 3/2 \cdot Q$$

$$\text{극한지지력}(q_u) = Q_u / (\text{모형기초 저면적}) \quad (\text{식 1})$$

표 6에서 보면 흙노반 20cm (Case 1)의 극한지지력이 2.61kgf/cm²로서 HMS-25노반 20cm (Case 3)의 2.97kgf/cm²보다 작게 나타났으며 30cm 노반의 경우도 동일한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

Case 1의 극한지지력을 기준(극한 지지력비: 1)으로 했을 때 각 조건별 극한 지지력비는 Case 3과 Case 4는 각각 1.14배와 1.6배 정도로 극한지지력이 증가됨을 보였다.

이러한 HMS-25 노반의 지지력의 증가는 슬래그 골재의 맞물림 효과와 수경성으로 인한 강도 증가의 영향으로 사료된다.

표 6. 실험조건별 극한지지력의 변화

실험 조건	극한하중 (kgf)	극한지지력 (kgf/cm ²)	극한 지지력비
Case 1	705	2.61	1
Case 2	622.5	2.31	0.89
Case 3	802.5	2.97	1.14
Case 4	1125	4.17	1.60

3.3.2 하중-침하량 관계

흙노반과 HMS-25노반의 하중단계별 침하량의 관계를 그림 10, 그림 11에 보이고 있다.

그림 10에서 Case 1(흙노반 20cm)과 Case 3(HMS-25노반 20cm)의 두 조건 모두 하중이 증가할수록 침하량이 증가하지만 두 조건의 침하량은 거의 동일한 경향을 보여 재료별 침하량의 차이를 확인할 수 없었다.

노반두께 20cm의 경우와는 달리 노반두께 30cm의 경

우는 그림 11에 보인 바와 같이 재료별 침하량의 차이가 확연함을 알 수 있다.

3kgf/cm²에서의 침하량의 경우 Case 4(HMS-25노반 30cm)의 침하량은 약 3.2mm, Case 2(흙노반 30cm)의 침하량은 약 8.2mm를 나타내어 흙노반이 HMS-25노반에 비해 2.6배 정도 침하량이 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 슬래그 노반의 경우 노반두께가 20cm에서 30cm로 되면서 지지력이 증가하고 침하량이 감소하는 것은 슬래그노반 자체의 강성도 증가와 HMS-25 골재의 억물림 효과가 향상되어 생긴 결과라고 판단된다.

따라서 HMS-25를 현장에 적용할 경우 노반두께는 30cm 이상으로 포설하는 것이 침하량 측면에서는 효과적인 것으로 판단된다.

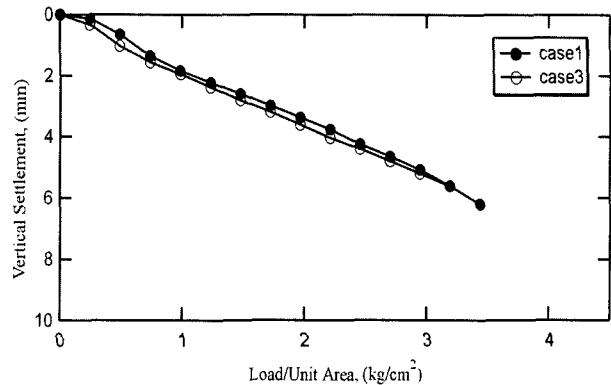


그림 10. 하중단계별 침하량 (노반두께 20cm)

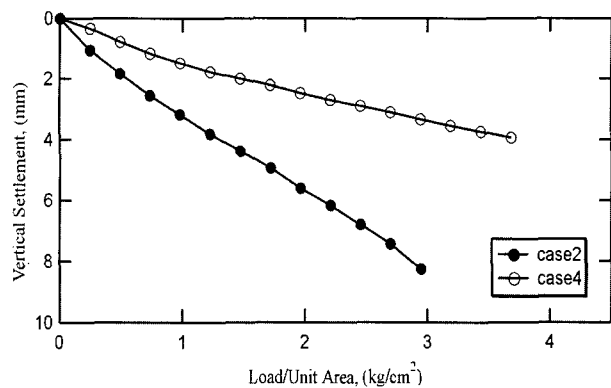


그림 11. 하중단계별 침하량 (노반두께 30cm)

4. HMS-25의 동역학적 특성 분석

철도노반재로 쓰이는 재료의 동역학적 특성은 철도노반이 열차운행에 따른 하중하에서 동적거동을 규명하는데 필수적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 HMS-25의 동적 특성 분석을 위하여 시료를 현장조건을 고려하여 성

형한 후 공진주 실험(resonant column test)과 비틀 전단 실험(torsional shear test) 실험을 실시하였다.

4.1 실험개요 및 방법

본 시험에서는 그림 12에 보인 시험장치를 이용하였다. 공진주 시험기의 원리는 공시체의 바닥을 고정시키고 그림에 나타낸 코일-자석 시스템을 이용한 가진시스템(drive system)을 공시체의 상부와 연결하여 진동시에 진동판에 부착된 가속도계에 의해 구한 가속도를 측정하여 전단파 속도(V_s), 전단탄성계수(G) 등을 구하는 시험이다.

비틀 전단 시험은 공진주 시험기와 동일한 시험기를 사용하여 공시체 상부에 연결된 진동시스템에 10Hz 미만의 고정된 주파수로 반복 비틀력을 가하여 비틀력-비틀각의 관계로부터 전단탄성계수와 재료의 감쇠비(damping ratio, D)를 구하는 방법이다.

시험에 사용된 공시체는 직경 5cm로 제작하였고 HMS-25의 최대입경이 시료직경(5cm)의 1/6 이상이므로 9.8mm 체로 쳐서 최대입경을 조절하여 실험에 사용하였다. 일반적으로 공진주/비틀 전단 실험시 시료의 최대입경이 공시체 직경의 1/6 이상이 되면 실험에서 구하는 전단탄성계수와 감쇠비의 신뢰성이 떨어지므로 정확한 실험결과 도출을 위해 공시체 직경의 1/6 이하로 시료의 최대입경을 조절하였다. 공시체 제작시 시료의 함수비는 10%, 최대건조 밀도는 1.8 tonf/m^3 으로 하였다.

공진주 시험에 필요한 시료의 성형은 5층의 과소다짐법

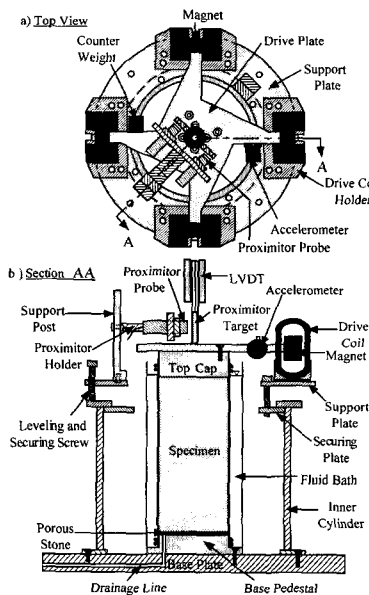


그림 12. 공진주/비틀 전단 시험기

(under-compaction)을 적용하였다. 이 방법은 각 층 동일한 시료무게를 서로 다른 다짐높이로 성형하여 시료 전체에 균일한 건조밀도를 확보하는 방법이다.

4.2 실험결과 및 고찰

일반적으로 공진주 시험에서 구한 전단파 속도(V_s)로부터 전단탄성계수(G)는 (식 2)에 의해 구할 수 있다.

$$G = \rho V_s^2 \quad (\rho: \text{공시체의 밀도}) \quad (\text{식 2})$$

HMS-25 공시체를 3일간 양생한 후에 실시한 실험에 대해 전단변형률의 크기에 따른 전단탄성계수의 변화를 나타냈다(그림 13 참조).

그림에서 보면 전반적으로 전단탄성계수는 구속응력이 10kPa에서 320kPa로 증가함에 따라 구속응력의 0.5 배 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 증가경향은 재령 7일, 28일, 76일의 공시체에 대해서 실시한 실험에서도 동일한 경향을 보였다.

또한 전단탄성계수는 전단변형률이 증가함에 따라 점차 감소하는데 대체적으로 전단변형률이 $1 \times 10^{-3}\%$ 이하에서는 대체적으로 큰 변화가 없는데 이는 HMS-25가 $1 \times 10^{-3}\%$ 이하의 변형률에서는 탄성적인 거동을 보이는 것으로 사료된다.

HMS-25의 재령에 따른 최대전단탄성계수(G_{max})의 증가경향을 구속응력 320kPa에서 수행된 공진주 시험 결

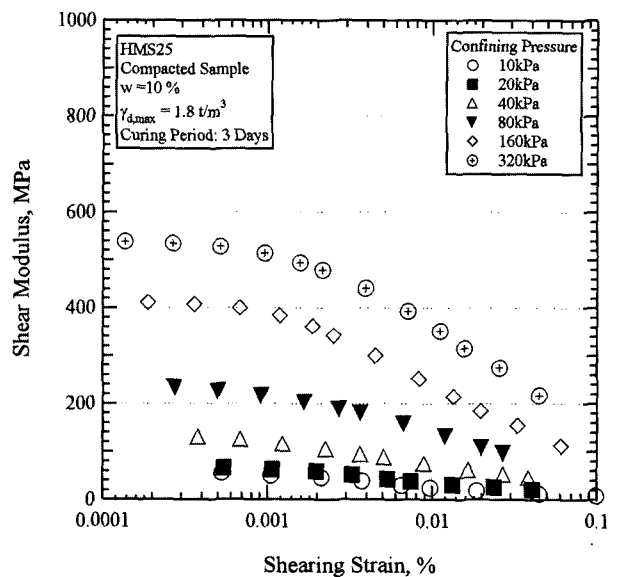


그림 13. 구속응력과 전단변형률에 따른 전단탄성계수의 변화 (재령 3일)

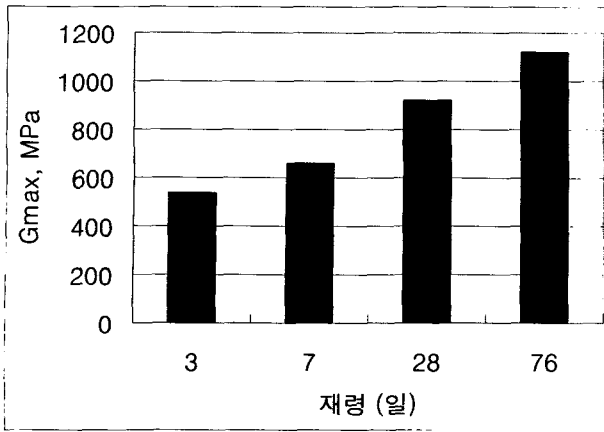


그림 14. 재령에 따른 최대전단탄성계수의 변화

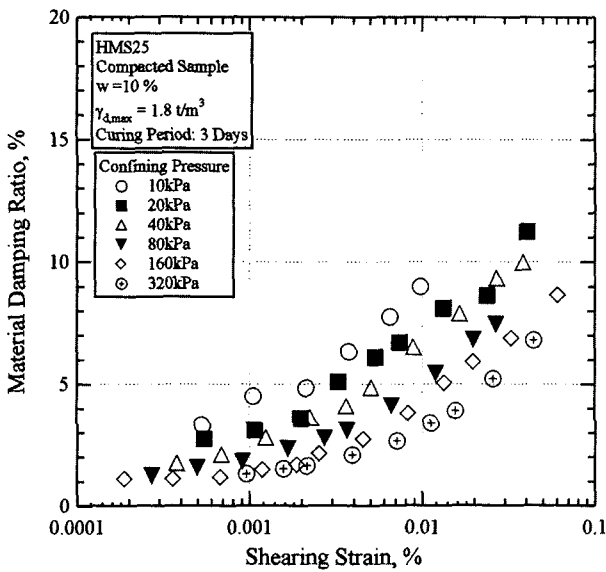


그림 15. 구속응력과 전단변형률에 따른 감쇠비의 변화 (재령 3일)

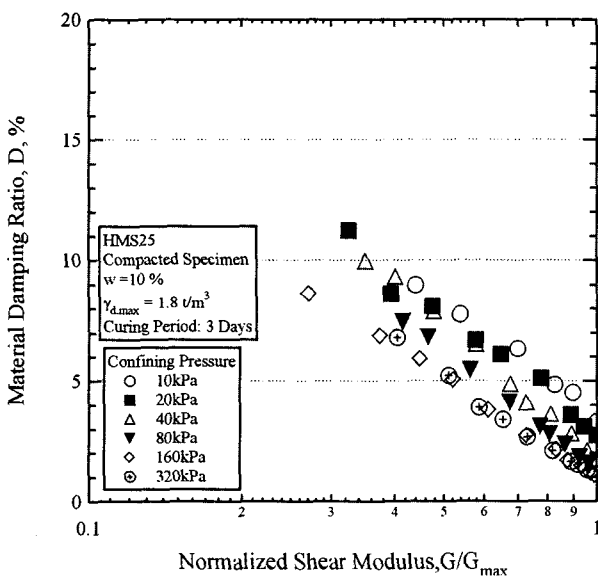


그림 16. 구속응력에 따른 정규화 탄성계수와 감쇠비의 관계 (재령 3일)

과를 그림 14에 나타냈다. 시험 결과 최대전단탄성계수는 공시체의 재령이 경과할수록 500MPa에서 1,100MPa 정도까지 증가하는 경향을 나타냈다.

한편 그림 15에는 HMS-25로 제작한 공시체의 재령 3일에 대한 구속응력과 전단변형률의 크기에 따른 재료감쇠비의 거동을 보였다. 실험결과 감쇠비는 구속응력이 10kPa에서 320kPa로 증가함에 따라 감소한다. 또한 전단변형률이 증가함에 따라 감쇠비는 점차적으로 증가하는데 1×10^{-3} % 이하의 전단변형률에서는 거의 변화가 없었다.

재료의 동적물성치인 전단탄성계수와 재료의 감쇠비는 상당히 밀접한 관계를 가지고 있다. 이러한 관계를 실험을 통해 확인하였는데 그 결과를 그림 16에 나타냈다.

그림에서 보면 각각의 구속응력에서의 전단탄성계수는 직선으로 나타나며, 이는 재료의 감쇠비와 정규화 전단탄성계수 중 하나의 값만 알면 나머지 값은 이 직선관계식으로부터 추정할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 선철의 제조과정에서 산업부산물로 발생하는 HMS-25를 재활용하는 차원에서 철도노반재료의 현장 적용성을 검토하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) HMS-25를 사용한 실내시험 결과 기본 물성 값들은 KS에 규정된 값을 만족하였다.
- 2) HMS-25의 일축압축강도시험 결과 양생 14일 때의 강도가 KS 기준인 12 kgf/cm^2 이상으로 나타났으며 70일 때의 강도는 14일 강도에 비해 약 23%의 강도증가를 나타내어 수경성에 따른 장기거동 특성을 확인할 수 있었다.
- 3) 모형토조시험 결과 HMS-25를 사용한 노반이 흙노반에 비해 최대 1.6배의 극한지지력의 증가를 보였으며, 침하량은 흙노반이 HMS-25 노반에 비해 약 2.6배 정도 침하량이 크게 나타났다.
- 4) 공진주/비틀림시험 결과 HMS-25의 전단탄성계수는 구속응력의 0.5 배 정도 증가하였다. 또한 전단변형률이 증가할수록 전단탄성계수는 감소하였다.
- 5) 최대전단탄성계수의 경우 공시체의 재령이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다.
- 6) 감쇠비의 경우 구속응력이 증가하면 감소하지만 전단변형률이 증가하면 증가하는 경향을 보였다.
- 7) 정규화 탄성계수와 감쇠비는 직선적인 상관관계를 보였다.

본 연구는 실내시험 및 모형시험을 통한 HMS-25의 정·동적 특성분석을 중심으로 하였으나 현재 실제 열차 주행시의 거동특성 분석을 위해 철도노반 시공 현장에 흙, 입도조정쇄석(M-40), HMS-25를 부설하여 장기 계측을 추진중에 있으며 아울러 다양한 현장조건별 강화노반의 성능평가를 위하여 종합 궤도노반 시험장치를 제작 중에 있으므로 그에 따른 연구결과를 차후 발표할 예정이다.

참고문헌

1. 대한토목학회(1986), "고로슬래그기층및 보조기층설계·시공지침"
2. 이종득(1997), "철도공학", 노해출판사
3. 황선근외 (1999), "철도노반재로서 수경성 입도 조정 고로슬래그의 동적 물성 특성" 한국지반 공학회 봄 학술발표회 논문집, pp 391-398
4. 日本 鐵道總合技術研究所(1992), "鐵道構造物等 設計 標準·同解説 土構造物", 運輸省 鐵道局
5. 日本(財)鐵道總合技術研究所(1996), "鐵道強化路盤の合理的設計法に關する研究", 鐵道總合技術研究所編
6. S. K. HWANG(1997), "Dynamic Properties of Natural Soils", Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.

(접수일자 1999. 10. 18)