

## 고속철도 자갈궤도용 내구성능 개선 충전 모르타르 개발

**Development of Durable-Performance Improvement Infilling for Ballasted Track of High-Speed Railway**

유우현\*, 이일화\*\*, 장승엽\*\*, 정연식\*†

Woo Hyun Yoo\*, Il Hwa Lee\*\*, Seung Yup Jang\*\*, Youn Shik Jung\*†

**Abstract** In this study, we accomplished the development of infilling mortar which was replaced gravel layer with concrete slab on the high-speed railway. Existing commercialized charging mortar product improvement of the durability properties are required. In order to improve the durability characteristics, The lower the W/M ratio was applied to shrinkage reducing material and freeze-thaw improvement material. Finally I was able to develop an improved durability infilling.

**Keywords** : Filling material, Prepacked Concrete, Shrinkage characteristics, Freezing-thawing resistance

**초 록** 이 연구는 고속철도 자갈층을 콘크리트 슬래브로 개량하는 공법에 적용하는 충전 모르타르 개발을 목표로 추진하였다. 기존 상용화된 충전 모르타르 제품은 내구특성 개선이 요구된다. 내구특성을 개선하기 위한 방법으로 W/M 비를 낮춤과 동시에 수축저감제 및 동결융해 개선제를 적용함으로써, 최종적으로 내구성능 개선 충전 모르타르를 개발할 수 있었다.

**주요어** : 충전재료, 프리팩트 콘크리트, 수축특성, 동결융해저항성

## 1. 서 론

최근 고속철도 자갈궤도구간에서 고속으로 운행하는 열차에 의해 나타나고 있는 빈번한 궤도틀림과 이에 따른 승차감 저하, 안전 위협, 유지보수 증가 등이 지속적으로 증가하는 추세이다. 궤도 선형을 양호한 상태로 유지하기 위해 궤도 유지보수 작업과 비용이 크게 증가하고 빈번한 유지보수 작업으로 열차 운행 지연과 이로 인한 사회적 손실 이 발생하고 있다. 이 연구는 고속철도 자갈궤도구간 유지보수비용 절감 목적의 궤도 개량 기술 중에서 기존 자갈궤도를 콘크리트 슬래브로 전환하는 공법의 하나로 프리팩트 콘크리트 공법 개발 영역에 속한다. 프리팩트 콘크리트는 도상자갈층에 충전재료를 주입하여 자갈입자 사이의 공간을 메워 콘크리트를 만드는 방식이다. 여기에 사용하는 충전재료는 국내에 상품화 되어 있으며<sup>1)</sup>, 이의 품질 개선 연구도 진행 중에 있다<sup>2,3)</sup>.

기존 충전 모르타르의 수축특성은 Fig. 1과 같다. 충전모르타르 자체의 수축량은 크게(약 1200  $\mu$ ) 발생하나, 프리팩트 콘크리트의 수축량은 400  $\mu$  이하로 작아 수축에 문제가 없는 것으로 판단하고 있다. 그러나 국철 및 지하철 자갈궤도 현장에 적용한 결과, 시공 및 환경조건에 따라 간혹 균열이 발생하여 개선의 필요성이 대두되었다. 또한, 고속철도의 포장궤도의 경우 지하철과는 다르게 자연환경에 노출되기 때문에 동결융해 저항에 대한 내구적인 특성을 갖추어야 한다.

† 교신저자: 쌍용양회공업(주) 기술연구소 (cyss@ssrc.ssy.co.kr)

\* 쌍용양회공업(주) 기술연구소

\*\* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

Fig. 2는 수축저감형 충전재료의 프리팩트 콘크리트의 동결융해저항특성 결과이다. 시험결과, 90 Cycle 전에 상대동탄성계수가 60%이하로 동결융해 저항 특성이 없는 것으로 나타났다. 이 연구는 고속철도 자갈층을 콘크리트 슬래브로 개량하는 공법에 적용하는 충전 모르타르 개발을 목표로 추진하였다. 기존 상용화된 충전 모르타르 제품은 내구특성 개선이 요구된다. 내구특성을 개선하기 위한 방법으로 W/M 비를 낮춤과 동시에 수축저감재 및 동결융해 개선재를 적용함으로써, 최종적으로 내구성능 개선 충전 모르타르를 개발할 수 있었다.

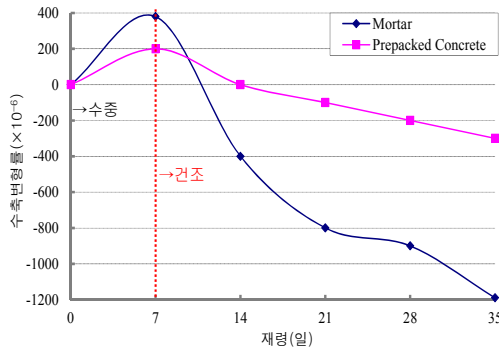


Fig. 1 Shrinkage characteristics of mortar and prepacked concrete

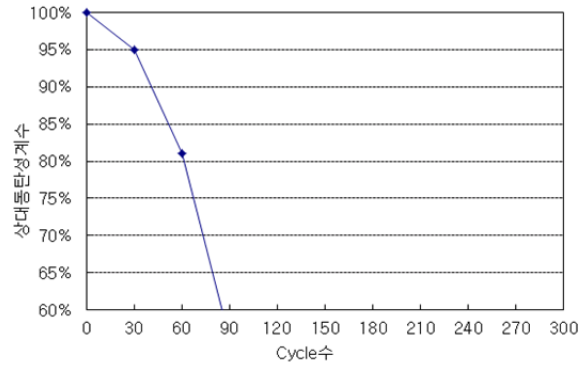


Fig. 2 Freezing-thawing resistance of the results of prepacked concrete

## 2. 실험내용

### 2.1 목표품질성능 및 시험방법

충전 모르타르 및 이를 이용한 프리팩트 콘크리트의 목표품질성능 및 시험방법은 Table 1에 나타내었다. 프리팩트 콘크리트 공시체 제작 및 압축강도 측정은 KS F 2431에 준용하여 실험을 수행하였고, 프리팩트 콘크리트 압축강도 공시체 양생은 20℃에서 1일간 습윤양생 후 27일간 수중양생을 실시하였다.

Table 1. Target quality performance and test method

평가 Level	평가 항목		목표품질성능	시험방법
Mortar	유동성		8±2초	JSCE-F 541
	강도	2hr	5MPa	KS F 2405
		28일	40MPa	
	수축변형률	기건5주	Min. -600μ	KS F 2595
Prepacked Concrete	강도	2hr	5MPa	KS F 2431
		28일	30MPa	
	수축변형률	기건5주	Min. -400μ	KS F 2595
	동결융해저항성	300 cycle	60% 이상	KS F 2437

### 2.2 사용재료

이 연구에서 사용된 자갈의 물리특성 평가 결과를 Table 2에 나타냈다. 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험은 KS F 2503, 굵은 골재의 단위용적 및 실적용 시험은 KS F 2505에 의하여 수행하였다.

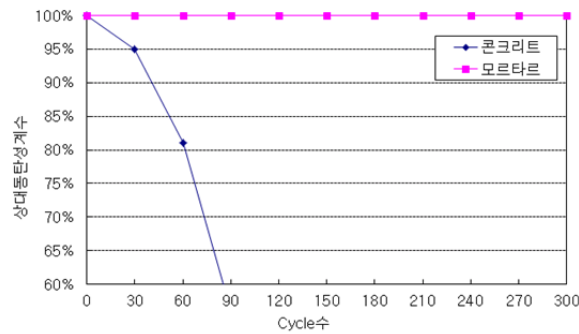
**Table 2** Physical characteristics of gravel

평가 항목	단위	결과	시험방법
밀도	g/cm <sup>3</sup>	2.65	KS F 2503
흡수율	%	0.5	
단위용적	kN/m <sup>3</sup>	14.3	KS F 2505
실적율	%	55.4	

### 2.3 시험인자 및 수준

기존 상용화한 충전 모르타르의 W/M비는 24%를 표준으로 하고 있다. 이 연구에서는 수축변형을 저감을 목적으로 충전재료의 조성물을 변경하면서 W/M비를 19%까지 낮추었으며, 조성된 모르타르를 가지고 유동성, 압축강도 및 수축특성을 평가하였다.

Fig. 3은 충전 모르타르와 프리팩트 콘크리트의 동결융해 저항성을 평가한 결과이다. 모르타르 시험체의 동결융해 저항성은 300Cycle에서도 100%이상으로 동결융해에 대한 저항성을 가지고 있는 것으로 나타났지만, 콘크리트화 되었을 경우 동결융해 저항성을 가지고 있지 않는 것으로 나타났다. Fig. 4는 동결융해로 파괴된 프리팩트 콘크리트의 시편을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 자갈의 탈락현상이 발생하였고, 고속선 충전재료의 동결융해 저항성은 모르타르와 자갈의 계면 부착에 의한 파괴가 지배적으로 작용한다고 판단된다. 동결융해의 주 원인인 계면 부착 파괴를 해결하기 위하여 자갈의 함수조건, 최대치수조건, 충전재료의 부착성능 등을 검토하였다.



**Fig. 3** Freezing-thawing resistance of the results of mortar and prepacked concrete



(a) Freezing-thawing test pieces



(b) Gravel and Mortar interface observation

**Fig. 4** Freezing-thawing destruction test piece of prepacked concrete

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 충전모르타르의 수축특성

기존 상용화한 충전 모르타르의 W/M비는 24%를 표준으로 하고 있다. 이 연구에서는 수축변형률 저감을 목적으로 충전재료의 조성물을 변경하면서 W/M비를 19%까지 낮추었으며, 이의 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

W/M비를 낮춤에 따른 단위수량 감소로 수축변형률이 감소하였으나, W/M비 19%수준에서도 수축변형률이 1000  $\mu$  수준으로 큰 변형률을 나타내고 있어, 수축저감재의 적용이 필요하게 되었다. 무기계 팽창성 물질을 이용하여, W/M비 19%조건에 첨가하여 유동성, 압축강도 및 수축변형률을 측정된 결과는 Fig. 6, 7 및 8에 나타내었다. 수축저감재 첨가배합은 유동성 및 압축강도의 목표물성을 만족하면서도, 수축변형률이 기존 제품(W/M=24%)에 비해 19% 수준으로 대폭 감소함을 확인하였다.

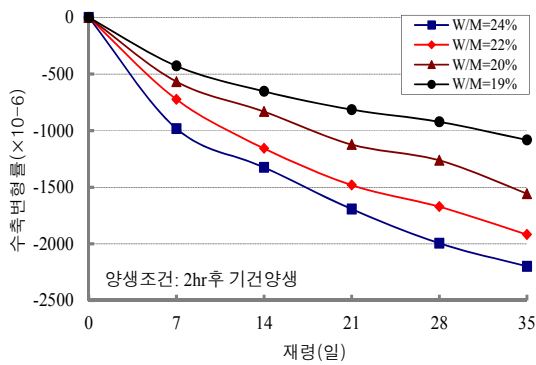


Fig. 5 Shrinkage characteristics associated with the reduction of W / M ratio

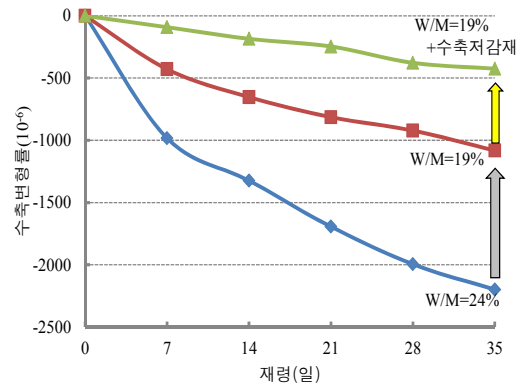


Fig. 6 Shrinkage characteristics of shrinkage reducing material additives blended

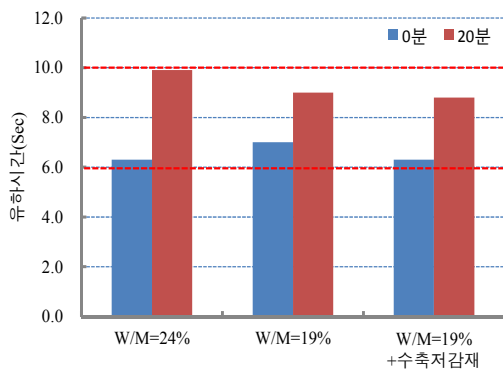


Fig. 7 Flow characteristics of shrinkage reducing material additives blended

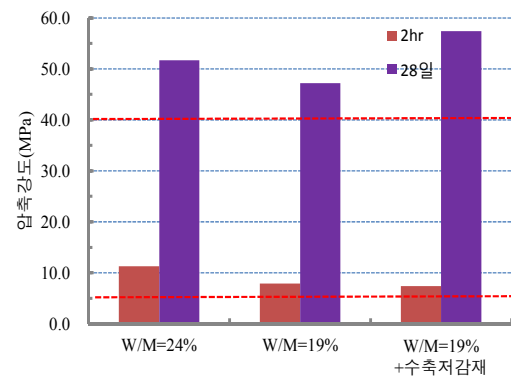


Fig. 8 Strength characteristics of shrinkage reducing material additives blended

### 3.2 충전모르타르의 동결융해저항 특성

#### 3.2.1 자갈의 함수 및 최대치수 조건별 동결융해 저항 특성

동결융해 시험체 크기는 보통 100×100×400mm로 제작하고, 자갈의 입자 size는 시험체 최소 치수의 1/4을 초과해서는 안된다. 하지만 현재까지 제작하였던 시험체의 자갈 입자 size는 60mm로서 시험체 최소치수의 1/4을 초과하였다. 따라서, 동결융해 저항 특성이 scale effect의 영향으로 인한 저하인지를 판단하기 위하여 자갈 입자 size의 영향을 평가 하였다. Fig. 9는 자갈 입자 size 별 동결융해저항 특성 결과를 나타내었다. 시험결과, 자갈 입자 size가 25mm 감소하였을 경우, 60mm보다 동결융해 저항성이 낮게 나오는 것으로 나타났다. 동결융해 저하 원인으로 scale effect의 영향은 없는 것으로 나타났다. 자갈의 함수조건에 따른 동결융해 저항 특성 결과는 Fig. 10과 같다. 자갈의 함수조건은 절대건조와 표면건조포화상태로 실험을 진행하였다. 동결융해 저항성은 절대건조 자갈의 경우가 표면건조포화 자갈보다 높게 나타났다.

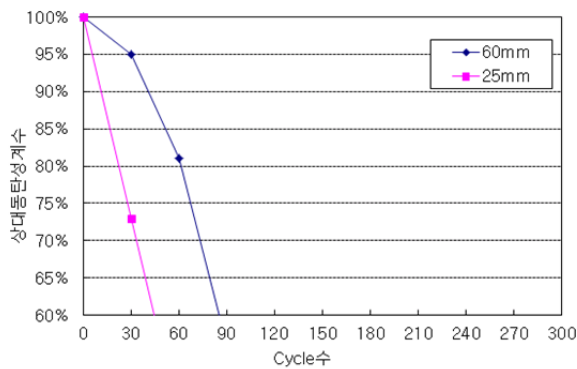


Fig. 9 Freezing-thawing resistance of the results of gravel size conditions

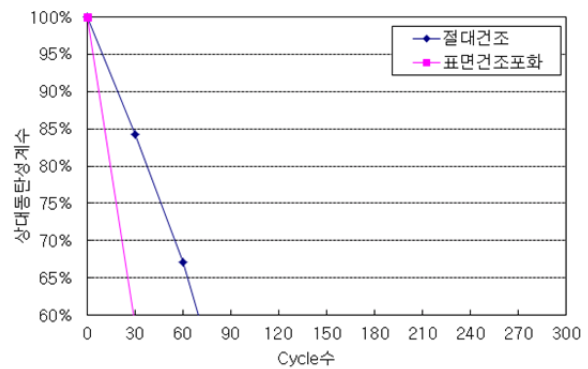


Fig. 10 Freezing-thawing resistance of the results of gravel moisture conditions

#### 3.2.2 부착성능 개선재 종류 및 양생조건별 동결융해 저항 특성

동결융해 저하 원인으로 판단되는 자갈과 충전재료와의 부착파괴를 해결하기 위하여 부착성능을 개선 할 수 있는 부착성능 개선재 활용을 통해 동결융해 저항성 개선 효과를 평가 하였다. Fig. 11은 부착성능 개선재별 동결융해 저항 특성을 나타내었다. 평가결과, 부착성능 개선재를 첨가 하였을 경우 무첨가 대비하여 동결융해 저항성은 증가하였지만 목표수준에는 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 부착성능 개선재 C type의 사용할 경우 동결융해 저항 개선 효과가 큰 것으로 나타났다. 부착성능 개선재를 사용하여 양생조건에 따른 동결융해 저항 특성을 평가 하였고, Fig. 12는 양생조건에 따른 동결융해 저항 특성을 나타내었다. 기건양생의 경우 300Cycle에 상대동탄성계수 100%로 목표품질을 만족하는 것으로 나타났다. 부착성능 개선제를 사용할 경우 부착성능 개선제가 자갈과 모르타르와의 부착을 개선 시킬 수 있는 필름을 형성하기 위해서는 기건양생이 필요한 것으로 나타났다.

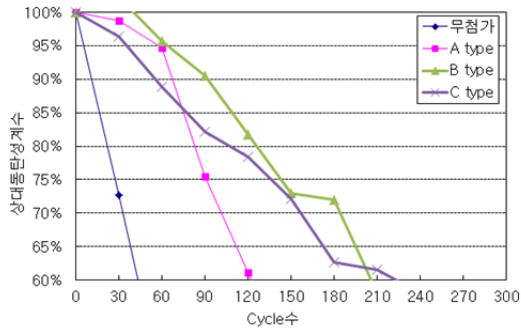


Fig. 11 Freezing-thawing resistance of the results of adhesion performance improvement type

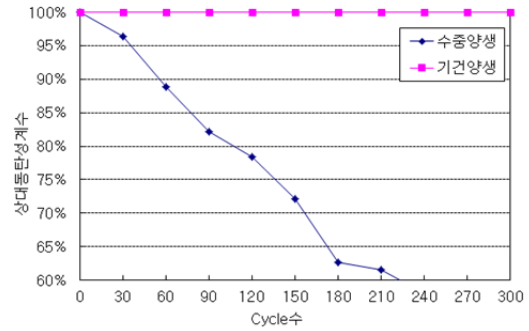


Fig. 12 Freezing-thawing resistance of the results of curing conditions

#### 4. 결 론

고속철도 자갈층을 콘크리트 슬래브로 개량하는데 적용하는 충전모르타르 제품 개발을 목표로 연구를 수행하였으며, 본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 단위수량 저감과 수축저감재의 적용으로 기존제품 대비 수축변형률을 대폭 저감시킨 충전 모르타르를 개발하였다.
- (2) 동결융해의 주원인인 계면 부착 파괴를 해결하기 위하여 자갈의 함수조건, 최대치수조건, 충전재료의 부착성능 등을 검토하였다. 검토결과 부착성능 개선제를 사용하여 기건양생 할 경우 300Cycle에 상대동탄성계수 100%로 목표품질을 만족하는 것으로 나타났다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 “고속철도 자갈제도 급속경화 제도기술개발 (15RTRP-B065581-03)” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 정연식 외 3인(2007), "철도도상용 프리팩트 콘크리트의 적용에 관한 연구," 콘크리트학회 2007년 가을 학술대회 논문집, pp. 613-616.
- [2] 이용중 외 4인(2014), "고속철도 자갈제도용 수축저감형 충전 모르타르 개발", 한국콘크리트학회 2014년도 춘계학술대회 논문집
- [3] 유우현 외 4인(2014), “철도도상 자갈의 함수상태가 Prepacked Concrete 압축강도에 미치는 영향”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집