

# 프리캐스트 슬래브 궤도용 시멘트-아스팔트 유제 혼합 모르타르 충전재의 온도변화에 따른 물리적 특성

## Physical Properties according to Temperature Change of the Cement-Asphalt Mortar for Precast Slab Track

오수진\*      이후삼\*      장승엽\*\*      정 용\*\*\*      정영민\*\*\*\*      윤 섭\*\*\*\*  
Oh, Soo Jin    Lee, Hu Sam    Jang, Seung Yup    Jeong, Yong    Jung, Young Min    Yoon, Seob

---

### ABSTRACT

The cement-asphalt mortar is a mixture of cement and asphalt emulsion, and is utilized as a underpouring materials for the railway track which is used to fill under slab panel space so as to provide a stabilized track support and a tool for reduction of noise and vibration. To increase the workability of grouting, this study investigates the effect of temperature on cement-asphalt mortar by analyzing its physical and mechanical properties before/after hardening according to the temperature (10, 15, 20, 25, 30 °C).

According to the test results, it is found that as for the physical property of fresh cement-asphalt mortar the more mixture temperature become higher or lower, the more fluidity become worse. But by increasing reducing agent amount and its unit quantity, the required fluidity is met. The compressive strength as physical property of hardened cement-asphalt mortar become lower when temperature is lower but taking it by and large the physical properties of cement-asphalt mortar before/after hardening aren't so affected by temperature and well satisfy the requirement. And it has proved that rate of expansion and freezing and thawing resistance aren't affected by temperature.

---

### 1. 서론

철도 기술이 진보함에 따라 철도의 궤도 구조도 진보를 거듭하고 있다. 2010년에 개통될 대구~부산 고속철도 2단계 구간은 기존의 자갈도상 궤도가 아닌 유지보수 비용이 적고 내구성이 뛰어난 무도상 궤도방식을 채택하고 있다. 무도상 궤도방식 중 하나인 프리캐스트 슬래브 궤도는 구조적 특성상 노반 강화층과 프리캐스트 슬래브 패널 사이를 탄성층으로 채워주어야만 소음과 진동을 줄여 안락한 열차운행이 가능하다. 독일과 일본 등의 일부 선진국에서는 이 탄성층용으로 시멘트, 아스팔트 유제를 혼합한 충전재를 개발하여 실용화 한 바 있다. 우리나라의 경우, 2005년도에 본 연구팀에서 시멘트와 아스팔트 유제를 혼합한 충전재에 관한 연구를 수행하여 그 물성(유동성, 팽창성, 강도 및 내구성)이 일본 및 독일 규정을 만족하는 충전재를 개발하여 실용화에 성공하였다.

그러나 개발된 충전재의 주원료가 온도에 민감한 아스팔트 유제로써, 여름과 겨울 등의 서중 및 한중

---

\* 삼표아엔씨(주) 기술팀, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원  
\*\*\* (주)삼표 기술연구소 수석연구원  
\*\*\*\* (주)삼표 기술연구소 선임연구원

환경에서는 유동성 및 강도 등 전반적인 충전재의 물성이 온도의 영향을 받을 것으로 판단됨으로 이에 대한 대책이 요구된다.

그러므로 본 연구에서는 사계절 안정된 품질의 충전재를 제조·공급하기 위하여 충전재의 배합온도를 10, 15, 20, 25, 30℃로 변화시켜 경화 전후 충전재 상태의 물리·역학적 특성을 비교·분석함에 의해 온도가 충전재에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

표 1은 프리캐스트 슬래브 궤도 구조용 시멘트-아스팔트 유제 혼합 모르타르 충전재의 온도변화에 따른 물리적 특성에 대한 실험계획을 나타낸 것이고, 표 2는 충전재의 배합사항을 나타낸 것이다.

먼저, 기 개발된 충전재를 참고로 배합온도 20℃를 기준으로 목표 유동성(유하시간 16~24초)과 목표 공기량(8~12%)을 만족시키는 충전재의 배합을 기준으로 하여 충전재의 온도를 10, 15, 20, 25, 30℃의 5수준으로 변화시키고 그에 따른 목표 유동성과 목표 공기량을 충족시키기 위하여 재료분리저감제 첨가량과 공기연행제 첨가량을 변화시키도록 실험계획한다.

실험사항으로는 경화전 충전재의 특성의 경우 유하시간, 공기량을 측정하도록 한다. 경화 충전재의 특성은 재령 1, 3, 7, 28일에서 압축강도와 휨강도를 측정하고, 재령 3시간, 1, 3, 7, 14, 28일에서 팽창율을 측정한다. 또한 재령 28일에서 정탄성계수를 측정하고, 동결융해 저항성 측정하기 위하여 동탄성계수를 300cycle에서 측정하도록 한다.

표 1. 실험계획

구분		수준	실험내용
온도변화		5	10, 15, 20, 25, 30℃
품질 기준	목표 유동성	1	· 유하시간 16~24초
	목표 공기량	1	· 8~12%
	목표 압축강도	3	1일 : 1MPa, 7일 : 4MPa, 28일 : 10MPa
	목표 팽창율	1	· 1~3%
실험 사항	경화전 충전재	2	· 유하시간(J-로드) · 공기량
	경화 충전재	5	· 압축강도(재령 1, 3, 7, 28일) · 휨강도(재령 1, 3, 7, 28일) · 팽창율(재령 3hr, 1, 3, 7, 14, 28일) · 정탄성계수(재령 28일) · 동결융해 저항성(300cycle)

표 2. 배합사항

배합 온도 (℃)	W/C (%)	시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	모래 (kg/m <sup>3</sup> )	아스팔트 유제 (kg/m <sup>3</sup> )	AL분말 (%)	재료분리 저감제 (%)	공기 연행제 (%)
10	38.5	484	804	214	0.01	2.4	0.6
15	38.5	484	804	214	0.01	1.2	0.6
20	38.5	484	804	214	0.01	0.5	0.6
25	38.5	484	804	214	0.01	0.7	0.6
30	38.5	484	804	214	0.01	1.3	0.6

## 2.2 사용재료

본 연구에는 사용 시멘트의 10% 비율로 특수혼합재를 사용하였고, 모래는 품질관리의 용이성을 고려하여 일정한 입도와 표면수가 일정한 건조사를 사용하였는데 모래의 입도 분포는 그림 1과 같다. 아스팔트 유제는 비이온계를 사용하였으며 그 물리적 특성은 표 3과 같다. 또한, 혼화제는 표 4의 화학적 특성을 갖는 알루미늄 분말과 국내 B사의 재료분리저감제, Ethyleneoxide Propyleneoxide n-Alkyl Ether Block Copolymer를 주성분으로 하는 공기연행제를 사용하였다.

표 3. 아스팔트 유제의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	앵글러 도 (25℃) (점도)	체잔류분 (1.18mm) (질량%)	연화점 (℃)	저장 안정도 (24hr) (질량%)	증발 잔류물			
						증발 잔류분 (질량%)	침입도 (25℃, 1/10mm)	신도 (15℃, cm)	톨루엔 가용분 (질량%)
KS규격 (비이온계)	-	3~30	0.3이하	57 이상	1.0이하	57이상	60~300	40 이상	97이상
아스팔트 유제	1.026	4.8	0.1	60	0.2	63.5	75	120 이상	98

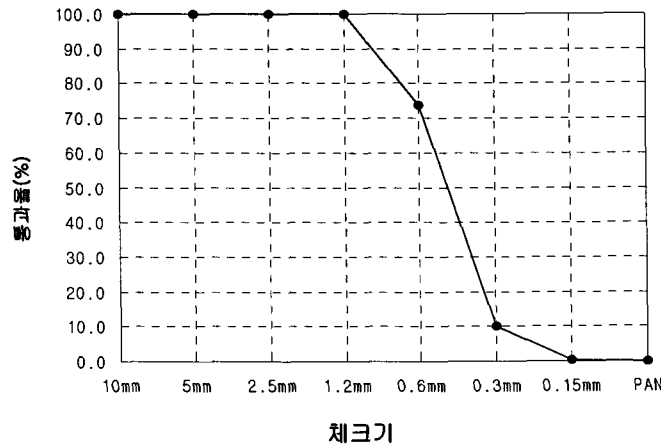


그림 1. 모래의 입도분포

표 4. 알루미늄 분말의 화학적 특성

화학 성분(wt.%)			
SiO <sub>2</sub>	Al	CuO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.077	99.80	불검출	0.130

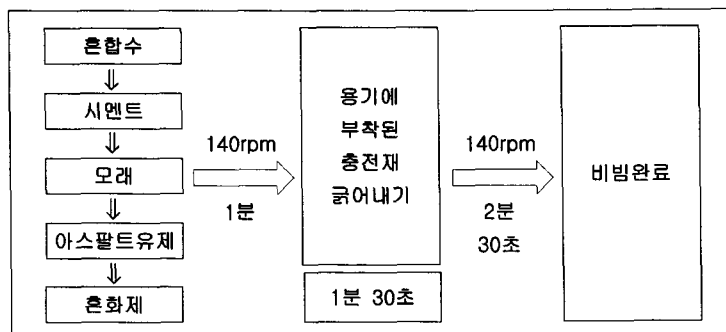


그림 2. 충전재의 혼합

### 2.3 시험방법

충전재의 혼합은 그림 2와 같은 방법으로 재료 투입 후 충전재를 혼합하였다. 경화전 충전재의 시험방법은 유하시간의 경우 KS F 2432의 방법에 의거하여 측정하였고, 공기량은 KS L 3136에 의거하여 측정하도록 하였다. 경화 충전재의 시험방법으로는 압축강도 및 휨강도의 경우는 KS F 2476에 의거하여 계획된 재령에 따라 측정하였고 팽창율은 ASTM C 1090-88, 정탄성계수는 KS F 2348의 규정에 의거하여  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  원주형 공시체를 제작하여 측정하도록 하였으며 충전재의 내구성 평가를 위한 동결융해 저항성 시험은 KS F 2456에 의거하여 시험하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 경화전 충전재의 특성

본 연구는 충전재의 목표 품질기준인 목표 유하시간(16~24초), 목표 공기량(8~12%)을 그림 3과 같이 재료분리저감제와 공기연행제 첨가량을 변화시켜 목표 품질기준을 만족하도록 하였다. 그러나 유하시간과 공기량만으로는 배합온도 변화에 따른 충전재의 물성변화를 평가할 수 없으므로, 그림 4와 같이 재료분리저감제와 공기연행제 첨가량으로 평가하도록 하였다.

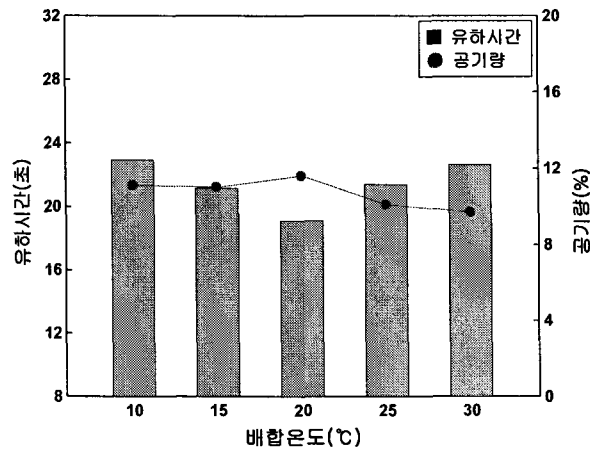


그림 3. 배합온도별 유하시간 및 공기량

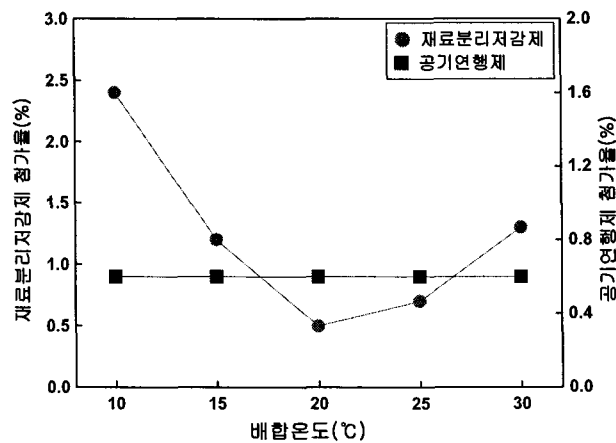


그림 4. 배합온도별 재료분리저감제 및 공기연행제 첨가율

먼저, 목표 유동성을 만족시키기 위한 재료분리저감제의 첨가율은 그림 4와 같이 배합온도 20°C에서 재료분리저감제의 첨가량이 0.5%를 사용한 반면, 배합온도 15°C에서 1.2%, 10°C에서 2.4%로 배합온도 낮아짐에 따라 유동성이 현저히 줄어들어 이를 회복시키기 위하여 재료분리저감제 첨가량이 증가하였

고, 또한 배합온도가 25℃, 30℃에서 각각 재료분리저감제 첨가량이 0.7%, 1.3%로 배합온도가 20℃보다 높아져도 유동성이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 충전재의 사용재료 중 아스팔트 유제가 온도 변화에 따라 민감하게 점성이 변화하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 공기연행제 첨가율은 배합온도 변화에 따라 공기량의 변화가 나타나지 않아 모든 배합에서 0.6%로 고정시켰다.

### 3.2 경화 충전재의 특성

그림 5는 충전재의 배합온도별 재령경과에 따른 압축강도 및 휨강도를 나타낸 것이다. 먼저, 압축강도의 경우는 배합온도에 따라 압축강도가 약간의 차이가 발생하였지만 모든 배합에서 목표 압축강도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 휨강도의 경우는 압축강도와 같은 경향으로 강도가 발휘되었고, 특히 모든 배합에서 압축강도 대비 약 40% 정도 휨강도를 발휘하는 것으로 나타났는데, 이는 충전재의 사용재료 중 하나인 아스팔트 유제로 인하여 시멘트 모르타르의 기본적인 특성인 취성보다 연성이 증가되므로써 휨강도가 크게 증가한 것으로 판단된다.

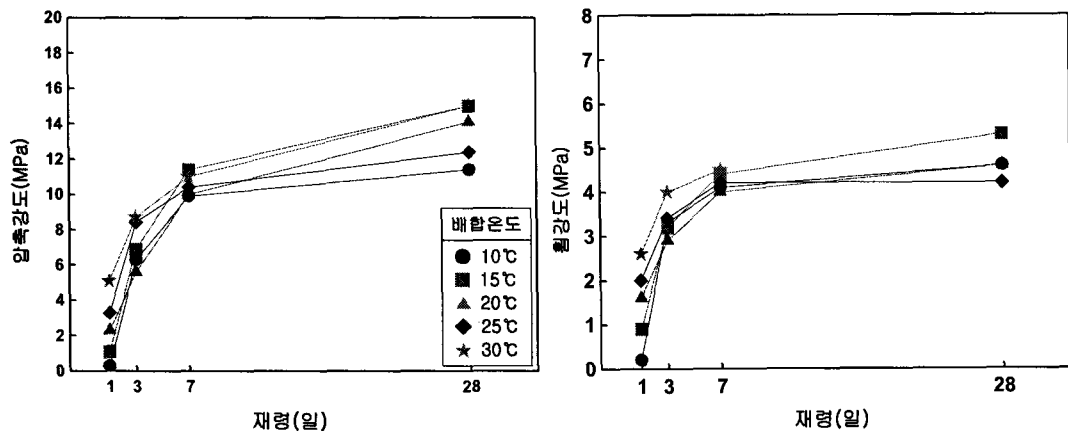


그림 5. 충전재의 배합온도별 재령경과에 따른 압축강도 및 휨강도

본 연구의 충전재는 프리캐스트 슬래브 퀀드용이므로, 퀀드 시공 시 충전재가 밀실하게 충전되고 적당량의 케미칼프리스트레스를 부여하기 위한 적정 팽창율은 1~3%이다. 그림 6은 충전재의 배합온도별 재령경과에 따른 팽창율을 나타낸 것으로써, 특수혼합재와 알루미늄 분말로 인하여 온도변화에 상관없이 모든 배합에서 초기 3시간만에 3.5~4.0% 정도 팽창한 후 재령 1일에서 약간 수축하여 목표 팽창율 1~3%를 만족하는 것으로 나타났다.

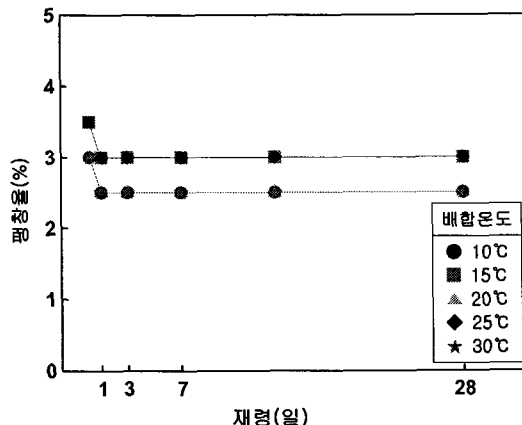


그림 6. 충전재의 배합온도별 재령경과에 따른 팽창율

본 연구의 충전재의 경우 프리캐스트 슬래브 궤도구조에서 열차 운행 시 발생하는 충격을 흡수하고 소음을 줄이는 등의 역할을 수행해야 하므로 탄성이 요구된다. 일반적인 콘크리트가 압축강도 10MPa에서 정탄성계수는  $1.0\sim 1.5\times 10^4$ MPa 정도 발휘된다. 하지만 표 5와 같이 배합온도에 관계없이 약  $0.5\times 10^4$ MPa 정도로 콘크리트에 비하여 절반 이하의 작은 탄성을 작고 있어 충전재의 역할을 충분히 수행할 것으로 판단된다.

표 6은 배합온도에 따른 상대동탄성계수를 동결융해 300cycle에서 측정한 것이다. 충전재의 특성상 옥외폭로 조건이므로 동결융해 저항성이 매우 중요한데, 표 6과 같이 상대동탄성계수가 100% 정도를 나타내어 온도변화에 상관없이 모든 배합에서 동결융해 저항성을 갖는 것으로 판단된다.

표 5. 배합온도에 따른 정탄성계수

온도(℃)	10	15	20	25	30
정탄성계수 ( $\times 10^4$ MPa)	0.51	0.48	0.47	0.55	0.53

표 6. 배합온도에 따른 상대동탄성계수

온도(℃)	10	15	20	25	30
동결융해 300cycle (%)	100.1	100.9	100.9	101.1	100.4

#### 4. 결론

본 연구는 프리캐스트 슬래브 궤도용 시멘트-아스팔트 유제 혼합 모르타르 충전재의 온도변화에 따른 물리적 특성에 대하여 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 경화전 충전재의 특성으로는 배합온도가 20℃를 기준으로 낮아지거나 높아질수록 유동성이 현저히 줄어들어 재료분리저감제의 첨가량을 높여주어야 하는 것으로 나타났다.
- (2) 경화 충전재의 특성으로는 배합온도에 따라 압축강도, 팽창율, 상대동탄성계수 등의 약간의 차이는 있었으나 모두 목표 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다
- (3) 충전재의 정탄성계수는 약  $0.5\times 10^4$ MPa 정도이고 휨강도가 압축강도의 40% 정도로 충전재의 역할을 수행할 수 있을 정도의 탄성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 김해곤, 양근율, 김광모, “대구-부산간 고속철도 신설선에 대한 슬래브궤도구조의 도입 타당성에 관한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집. pp. 27~34, 2003
2. 이종득, “철도궤도역학”, 노혜출판사, 2001
3. 장승엽, 양신추, 김정일, 김태욱, “프리캐스트 콘크리트 슬래브궤도 기술현황” J-rail, 2003
4. Ando, K., "A Study on Load-Varying Structures and Its Design for Low-Maintenance Track on Earthwork", RTRI, 1997.
5. Ando, K., Miura, S., Watanabe, K., "Twenty Years' Experience on Slab Track", QR of RTRI, Vol. 35, No. 1, Feb. 1994.
6. 日本鐵道建設公團, “日本鐵道建設公團示方書”, 1994.
7. Dokument für EBA Zertifikat, "Antrag auf Zulassung Zur Betriebserprobung für die Feste Fahrbahn System"PSTS Rahmen", 03. 01. 2005
8. 장승엽, “해의 공장제작식 콘크리트 슬래브 궤도 개발현황 및 적용사례”, 한국철도기술, 2004. 3
9. 강보순, “독일 고속철도 슬래브궤도의 고찰”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2001.10
10. 박종복, 김이영, 백재욱, “자갈도상과 콘크리트도상 궤도구조의 경제성 비교”, 유신기술회보 제13호
11. Sato, T. (1997), "신궤도역학"
12. Esveld, C., "Modern Railway Track", 2nd ed., MRT-productions, Zaltbommel, 2001
13. 한국산업규격, “콘크리트용 화학 혼화제(KS F 2560)”, 2002.