

시멘트-아스팔트 모르터 충전재의 물성 Properties of Cement-Asphalt Mortar Grout

장승엽*
Jang, Seung Yup

정 용**
Jyong, Yong

ABSTRACT

The Cement-Asphalt Mortar is a mixture of cement and asphalt emulsion, and is utilized as a grouting material for the railway track which is used to fill under-slab space so as to provide a stabilized track support and a tool for adjustment of track level. In addition, the cement-asphalt mortar is unique in that it can provide more resiliency to the track so that one can expect the impact mitigation. To develop the cement-asphalt mortar suitable for the requirements for track grouting material, this study have selected several mixture proportions which can satisfy those requirements and minimize the material segregation, and the properties of those mixtures, such as flowability(flow time), strength and the resistance to freezing-thawing have been tested. According to the test results, the cement-asphalt mortar well satisfies the requirements and it is found that the properties of the cement-asphalt mortar is suitable for the application to the railway track.

1. 서론

철도 궤도에서 사용되고 있는 충전재는 프리캐스트 슬래브궤도 등에서 궤도 하부의 공간을 채움으로써 궤도의 높낮이를 조정하고 궤도에 안정된 지지조건을 제공하고자 하는 것으로 크게 시멘트계 충전재, 시멘트-아스팔트 유제 혼합계 충전재, 그리고 합성수지계 충전재 등으로 나눌 수 있다. 특히, 일본과 독일 등에서는 일반적인 건설재료로 많이 사용되는 시멘트계 충전재 대신 시멘트-아스팔트유제 혼합계의 충전재를 개발하여 실용화한 바 있다.

시멘트-아스팔트유제 혼합계 충전재인 시멘트-아스팔트 모르터는 시멘트의 강도발현특성과 아스팔트의 연성을 동시에 얻음으로써 궤도 하부에 부가적인 탄성을 부여하여 열차하중에 대한 완충효과를 높이기 위해 시멘트 분말과 아스팔트 유제를 혼합한 것으로 유동성, 팽창성, 강도 및 내구성 등의 엄격한 요건을 만족해야 하기 때문에 사용재료와 혼합비율 등 품질관리가 매우 까다로울 수밖에 없다.

본 연구는 이러한 시멘트-아스팔트 모르터의 개발을 위해 먼저 궤도용 충전재료로서의 강도 및 유동성, 팽창율 등의목표치를 만족하면서 동시에 아스팔트 유제와 시멘트의 혼합으로 인한 재료분리를 최소화할 수 있는 배합을 선정하여, 이 기본배합에 의한 시멘트-아스팔트 모르터의 강도특성, 유동성 및 동결융해 저항성 등의 물성을 측정하여 궤도용 충전재료로서의 타당성을 분석하였다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정희원

** (주)삼표 기술연구소 책임연구원, 정희원

2. 궤도충전재의 목표물성

전술한 바와 같이 본 연구에서 다루는 궤도 충전재는 주로 프리캐스트 슬래브궤도에서 프리캐스트 콘크리트 슬래브와 하부 안정화 기초와의 결합을 위해 슬래브 하부 충전용으로 사용되는 시멘트-아스팔트 모르터를 대상으로 하고 있다. 이러한 충전재는 우선적으로 궤도 하부 공간을 보다 쉽게 빈틈없이 메워주어야 하기 때문에 충분한 유동성(또는 자기충전성)과 적절한 팽창성을 가져야 하며, 궤도에 작용하는 열차하중을 장기간에 걸쳐 안정적으로 지지하기 위해서 충분한 강도와 내구성을 가져야 한다. 일본의 경우에는 충전재의 온도를 5~30°C, 팽창율은 1~3%, 유하시간을 16~24초로 정하고 있으며, 압축강도는 재령 1일에 0.1, 7일에 0.7, 28일에 1.8MPa로 매우 낮은 수준으로 정하고 있고, 실제 발휘되는 강도도 대략 3MPa 내외인 것으로 보고되고 있다[1]. 이것은 앞서 서술한 바와 같이 궤도 하부에 부가적인 탄성을 부여하여 완충효과를 높이기 위한 것으로 보인다. 한편, 독일에서는 이와는 달리 부가적 탄성보다는 슬래브와 하부 기층 간의 안정된 결합을 보장하는 데 더 비중을 두어 하부 기층 콘크리트의 강도(10~15MPa)와 비슷한 수준으로 강도를 정하고 있다[2]. 즉, 두 경우는 각기 다른 설계개념이 의해 규격이 정해져 있음을 알 수 있다. 각기 장단점이 있을 수 있으나, 일본의 경우 기온변화에 민감한 시멘트-아스팔트의 특성으로 인해 여름철의 강도저하나 겨울철의 동해가 발생하는 등 슬래브궤도의 유지보수의 상당 부분이 충전재에서 발생한 것으로 보고되고 있으며[3], 부가적 탄성의 확보에 의한 완충효과에 대해서는 의문의 여지가 많다.

따라서, 본 연구에서는 우선 일본의 성능규격을 적용하여 유동성 및 팽창율 등의 목표를 정하고, 강도의 경우도 일본의 강도수준을 1단계 목표강도로 하되, 충전재의 강도를 높여 충전재에서의 유지보수 요인을 줄이기 위해 2단계에서 10MPa까지 목표강도를 높이도록 하였다. 또, 동결융해저항성 확보를 위해 모르터의 목표 공기량을 8~12%로 하고, KS F 2456에 의한 동결융해 내구성지수 60 이상을 목표치로 설정하였다 (표1 참조).

표1. 궤도 충전재 목표물성

항 목	단위	규 격		
		1단계	2단계	
충전재의 온도	°C	5~30		
유하시간(J-로드)	sec	16~24		
공기량	%	8~12*		
블리딩율	%	0		
팽창율	%	1~3		
압축강도	재령 1일	MPa	≥0.1	≥1.0
	재령 7일		≥0.7	≥4.0
	재령 28일		≥1.8	≥10.0

주) * 목표 내구성 지수 60이상(KS F 2456)[4]

3. 실험계획

3.1 원재료

(1) 시멘트

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)와 조강 포틀랜드 시멘트(3종)를 사용하였고, 혼화재로는 팽창재로 사용되는 특수혼합재를 사용하였으며 그 물리적 특성과 화학적 특성을 표2과 표3에 각각 나타내었다.

(2) 잔골재

프리캐스트 슬래브 궤도용 충전재를 개발하기 위하여 사용한 모래는 품질관리의 용이성을 고려하여 일반 레미콘에서 사용하는 모래(세척사, 부순모래)보다는 일정한 입도를 갖고 있으며 표면수가 일정한 건조사를 사용하였다. 사용된 건조사의 물성은 표4와 같다.

표2. 시멘트 및 혼화제의 물리적 특성

구분	K강도(kgf/cm ²)			분말도 (cm ² /g)	밀도 (g/cm ³)	응결시간		플로우 (mm)	주도 (%)	
	3일	7일	28일			초결 (분)	종결 (시간:분)			
1종 시멘트	측정치	210	309	432	3,700	3.15	240	6:30	158.3	24.2
	KS규격	≥130	≥200	≥290	≥2,800	-	≥60분	≤10시간	-	-
3종 시멘트	측정치	290	360	424	4,590	3.13	180	5:15	142.3	27.5
	KS규격	≥250	≥280	≥310	≥3,300	-	≥60분	≤10시간	-	-
혼화제	-	-	-	-	3,562	2.93	-	-	-	-

표3. 시멘트의 화학적 특성

구분	화학 성분(wt. %)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.loss
1종 시멘트	20.80	5.00	64.50	2.80	3.30	1.70	1.10	0.30	0.56
3종 시멘트	20.00	5.40	61.60	2.80	3.30	4.50	1.00	0.50	1.00
혼화제	1.20	13.70	50.00	1.60	0.40	30.40	0.10	0.30	2.29

표4. 잔골재의 물성

구분	조립율	질건비중	표건비중	겉보기비중	흡수율(%)
잔골재	2.18	2.58	2.59	2.62	0.72

(3) A유제

국내 I사의 아스팔트 유제(이하 A유제)로, 비이온계이며 비중은 1.025g/cm³이다.

(4) 공기연행제 및 알루미늄분말

공기량 확보를 위해 공기연행제로 Ethyleneoxide Propyleneoxide n-Alkyl Ether Block Copolymer를 주성분으로 한 미황색의 액상으로 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)[5]을 만족하는 제품을 사용하였고, 초기 팽창성 확보를 위해 알루미늄분말을 사용하였다.

3.2 실험변수 및 실험방법

(1) 실험변수

실험변수로는 혼화제사용량, 시멘트 종류, A유제 사용량 등을 주 변수로 하여 혼화제 사용량은 결합재량의 10%와 15%로, 시멘트 종류는 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 3종 조강 포틀랜드 시멘트의 두 가지로 하고, A유제 사용량은 결합재의 160, 120, 80, 40%로 하였다. 이외의 배합재료에 대해서는 목표규격을 만족하도록 기초 실험을 통해 그 사용량을 정하였다[6]. 이에 따른 실험변수별 배합은 표5와 같다. 그림1은 표5의 배합에 따라 시멘트-아스팔트 모르타 충전재의 혼합장면을 보여주고 있다.



그림1. 충전재의 혼합

(2) 실험방법

충전재 기초배합의 선정과 물성 분석을 위해 유동성, 공기량, 팽창율, 압축강도, 휨강도, 탄성계수 및 프와송비, 동결융해저항성 등을 측정하였으며 그 시험방법은 표6에 정리하여 나타냈다.

표5. 배합

구분 기호	시멘트 종류	w/c	구성재료 사용량(kg/m ³)					AI분말 (%)	AE제 (%)	비고
			시멘트	혼화재	A유제	잔골재	물			
1-10-A16	1종	0.12	288	32	512	640	38	0.013	0.75	혼화재10%
3-10-A16	3종	0.16	288	32	512	640	51	0.013	0.75	
3-10-A12	3종	0.16	334	37	446	743	59	0.013	0.75	
3-10-A08	3종	0.16	398	44	354	885	71	0.013	0.75	
3-10-A04	3종	0.16	493	55	219	1096	88	0.013	0.75	
3-15-A16	3종	0.16	272	48	512	640	51	0.013	0.75	혼화재15%

표6. 시험항목 및 시험방법

시험항목	시험규격	측정항목	비고
유동성시험	KS F 2432 [7]	유하시간	J-rod test
공기량시험	KS L 3136 [8]	공기량	-
팽창율시험	KS F 2433 [9]	팽창율	-
강도시험	KS F 2476 [10]	압축강도, 휨강도	시험체크기 40×40×160mm
탄성계수 및 프와송비 시험	KS F 2438 [11]	탄성계수, 프와송비	시험체크기 φ100×200mm
동결융해저항성시험	KS F 2456 [4] (B방법)	상대동탄성계수	시험체크기 76×110×412mm

4. 결과분석 및 토의

4.1 시멘트 종류에 따른 강도특성

먼저 시멘트 종류에 따른 강도특성을 살펴보면, 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 사용한 경우가 조강 포틀랜드 시멘트(3종)를 사용한 경우에 비하여 충전재의 유하시간과 공기량을 만족시키는 물-결합재비가 더 낮지만(표5), 그림2의 압축강도 및 휨강도 측정 결과에 의하면 압축강도와 휨강도 모두 재령 7일까지는 조강 포틀랜드 시멘트(3종)를 사용한 경우가 약간 높게 발현되었고 재령 28일에서는 두 경우가 거의 동등하게 발현하였다. 즉, 조강 포틀랜드 시멘트(3종)가 보통 포틀랜드 시멘트(3종)보다 물-결합재비가 높음에도 불구하고 초기 압축강도의 발현이 더 우수하게 나타나 충전재의 초기강도 발현을 위해 조강 포틀랜드 시멘트(3종)가 더 적합한 것으로 나타났다. 또한, 그림2에서 휨강도가 압축강도에 비해 오히려 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 일반적인 콘크리트의 휨강도가 압축강도의 15~25%인 점을 감안하면[12], 그만큼 시멘트-아스팔트 모르타가 연성이 크다는 것을 알 수 있다.

4.2 혼화재 첨가량에 따른 유동성, 공기량, 팽창율 및 강도특성

혼화재 첨가량에 따른 차이를 분석하기 위해 유동성, 공기량, 팽창율 및 강도 등을 측정하였다. 4.1에서와 달리 실제 현장에서의 물성을 관찰하기 위해 현장배합을 실시하여 그 특성을 분석하였다. 표7은 혼화재 첨가량에 따른 유하시간과 공기량 측정결과를 나타내고 있다. 표7에서 알 수 있듯이 두 경우 모두 목표치(유하시간 16~24초, 공기량 8~12%)를 만족하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 혼화재 첨가는 주로 팽창율을 높이기 위한 것이므로 팽창율의 변화가 더 주목된다. 그림3은 혼화재 첨가량에 따른 팽창율의 변화를 비교한 것이다. 그림에 따르면 1일까지의 팽창율은 모두 목표치를 만족하였고, 혼화재 15%의 경우가 팽창율이 더 높은 것으로 나타났다. 1일 이후의 팽창율을 고려하면 혼화

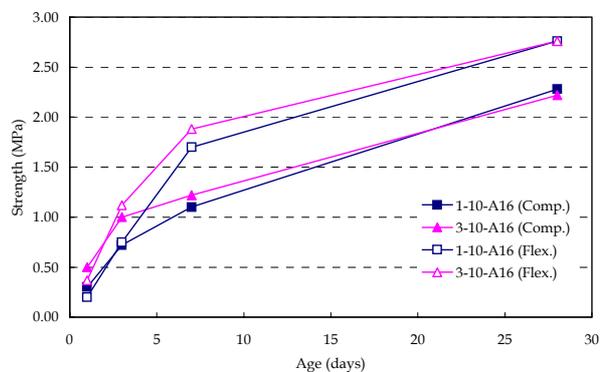


그림2. 시멘트 종류별 강도특성

재 15%를 사용하는 것이 더 적합할 것으로 보인다. 단, 3시간에서 팽창율이 다소 큰 점이 문제이지만 실제 웨도 하부 충전 결과, 웨도를 들어올릴 우려가 있는 수준은 아닌 것으로 나타났다[6]. 그림 4는 혼화재 첨가량에 따른 재령별 강도를 비교한 것이다. 그림에 따르면 혼화재 10%를 사용한 배합이 오히려 다소 크게 나타났지만, 그 차이는 크지 않았다. 그림4의 경우 그림2와 강도결과가 다소 다르게 나타나고 있는데 이것은 현장배합과 실내배합의 차이라고 판단된다.

표8. 혼화재 첨가량에 따른 유하시간과 공기량

기호	유하시간(sec)				공기량(%)			
	#1	#2	#3	평균	#1	#2	#3	평균
3-10-A16	19.9	21.9	21.8	21.2	9.1	10.9	10.6	10.2
3-15-A16	19.6	18.8	18.7	19.0	9.5	10.1	11.6	10.4

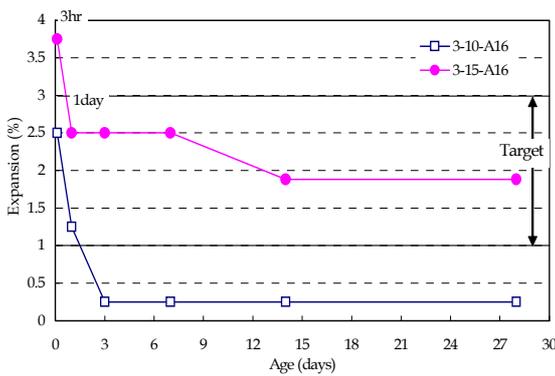


그림3. 혼화재 첨가량에 따른 팽창율 측정결과

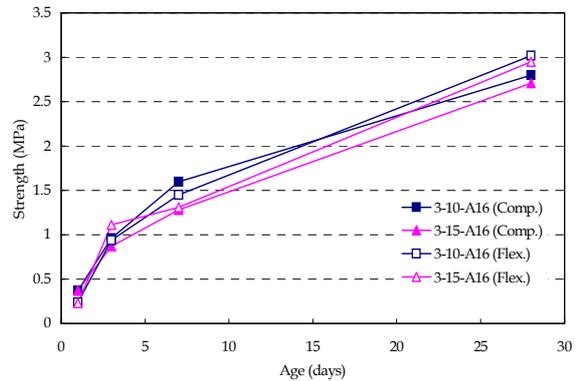


그림4. 혼화재 첨가량에 따른 강도특성

4.3 A유제 사용량에 따른 강도특성

이상에서는 충전재의 목표강도를 1단계 목표(28일강도 1.8MPa)에 맞춰 수행하였으므로 대략 강도가 3MPa 수준으로 나타났으나, 실제 기초 콘크리트와 유사한 강도수준을 확보하기 위해 2단계로 10MPa 이상의 목표를 설정하였다(표1 참조). 이에 따라 압축강도의 증진을 위해 A유제 함유량에 따른 압축강도의 변화를 관찰하였다. 그림5는 그 결과를 나타낸 것으로 그림에 따르면 A유제 사용량 감소에 따라 압축강도가 증가하였음을 알 수 있다. 또한, 강도 외에도 유하시간 16~24초, 공기량 8~12%의 목표범위에 있는 조건 하에서 팽창율 또한 목표치를 만족하는 것으로 나타났다(그림6).

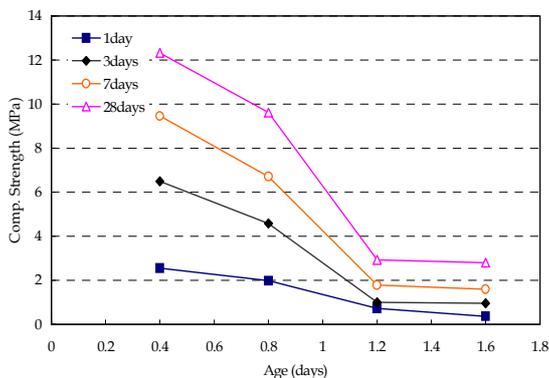


그림5. A유제 사용량에 따른 압축강도

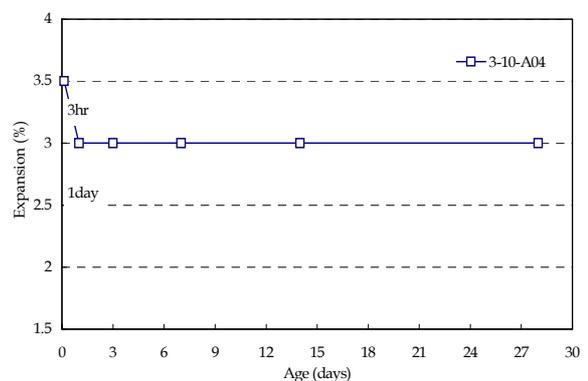


그림6. 팽창율 시험결과

A유제-결합재비 0.4인 경우에 대해 탄성계수와 프와송비를 측정한 결과 프와송비는 0.192로 일반 모르타르보다 다소 크고, 탄성계수는 4,890MPa로 상당히 낮은 값을 나타냈다(표8).

표8. 탄성계수 및 프와송비 측정결과

구분	#1	#2	#3	평균
탄성계수($\times 10^3$ MPa)	4.84	4.73	5.09	4.89
프와송비	0.195	0.190	0.190	0.192

4.4 동결융해저항성

전술한 바와 같이 본 연구에서 정한 시멘트-아스팔트 모르타르 배합은 모두 목표 공기량을 만족하고 있으므로 동결융해저항성은 충분히 확보할 수 있을 것으로 예상되었다. 그림7의 동결융해저항성 시험결과를 보면 이같은 사실을 확인할 수 있다. 그림7에서 결합재의 40%의 A유제를 사용한 배합은 300사이클까지 상대동탄성계수가 95이상이었으며, 결합재의 160%의 A유제를 사용한 배합의 경우에도 90이상을 나타내어 A유제의 사용량에 관계없이 당초의 동결융해저항성 목표를 충분히 만족하고 있는 것으로 나타났다.

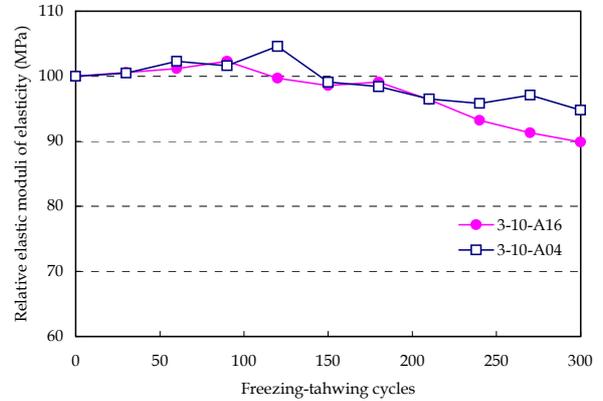


그림7. 동결융해저항성 시험결과

5. 맺음말

이상 살펴본 바와 같이 본 연구에서는 시멘트-아스팔트 혼합계 레도용 충전재를 개발하기 위하여 충전재로서 기본 요구조건을 만족하면서 재료분리를 최소화할 수 있는 배합을 선정하고, 그 기본배합에 의한 시멘트-아스팔트 모르타르의 강도특성, 유동성 및 동결융해 저항성 등의 물성을 분석하였다. 실험결과에 따르면 개발된 시멘트-아스팔트 모르타르는 레도용 충전재료로서의 요구조건을 충분히 만족할 수 있으며, 따라서 레도에 적용하기에 적합한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 도시철도 표준화 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 주관연구기관인 한국철도기술연구원과 협동연구기관인 삼표이앤씨(주)가 공동으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. 한국슬래브레도용 CA모르타르의 주입시공에 관한 기술지도 보고서 - 경부선 부곡역구내의 시험레도, 동아도로공업 주식회사, 1993. 10.
2. Final design documents - PSTS Frame in tunnels and earthwork sections, Krebs and Kieffer, 2004.
3. 장승엽, 해외출장보고서(2004.4.12~15, 일본 동경), 한국철도기술연구원, 2004. 4.
4. KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법
5. KS F 2560 콘크리트용 화학 혼화제
6. 정용 외, 슬래브 레도용 충전재 개발, (주)삼표 기술연구소, 삼표이앤씨(주), 2005. 6.
7. KS F 2432 주입 모르타르의 컨시스턴시 시험 방법
6. KS L 3136 수경성 시멘트 모르타르의 공기량 측정방법
9. KS F 2433 주입 모르타르의 블리딩율 및 팽창율 시험 방법
10. KS F 2476 폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법
11. KS F 2438 콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 프와송비 측정방법
12. 小谷 昇, 井田 敏行, 小平 惠一, 細田 力, "コンクリートの知識", 4th ed., 技報堂 出版株式會社, 1992, pp.62~69.