

# 도시철도 터널내 콘크리트 도상용 흡음블럭의 최적 배합설계

이흥주<sup>1</sup> · 오순택<sup>2\*</sup> · 이동준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정

<sup>2</sup>비회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수

<sup>3</sup>비회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 연구원

## An optimal mix design of sound absorbing block on concrete ballast in urban train tunnel

Hong-Joo Lee<sup>1</sup>, Soon-Taek Oh<sup>2\*</sup>, Dong-Jun Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea, MS Candidate, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

<sup>2</sup>Korea, Professor, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

<sup>3</sup>Korea, Researcher, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

**ABSTRACT:** As spreading of train concrete ballast leads to the increase resounding friction noise, an porous sound absorbing block is applied in urban train tunnel as a counterparts against the friction noise. Three steps of major variables tests for an optimal mix design of the block are conducted to pursue the light weight of the block. Pilot property tests of the block for the cases of the fly-ash only as lightweight aggregates are carried satisfying KRT(Korean Rail Transit) and new KRS(Korean Railway Standards). Based on the results of pilot tests, required structural strength and admixture effects are evaluated. Additionally, typical lightweight aggregates are replaced so that lightweight and strength are improved for serviceability of poor working conditions and proper maintenance in urban train tunnel.

**Keywords:** Light sound absorbing block, Concrete ballast, Lightweight aggregate, Optimal mix design, Urban train tunnel

**초 록:** 최근 도시철도 터널내부에서 콘크리트 도상의 확대에 유발된 반사마찰소음에 대한 저감대책으로 다공성 흡음블럭이 적용되고 있다. 운영 중인 도시철도용 품질시험기준과 제정 중인 철도표준규격을 만족하는 흡음블럭의 개발을 위하여 3 단계의 최적 배합설계를 위한 주요 변수시험을 수행하였다. 순환 골재인 플라이애쉬를 혼합하여 건비빔 발포 시료를 개발하여 요구되는 구조성능을 시험하고 혼화재의 영향성을 평가하였다. 또한 도시철도 터널 내부에 시공할 경우 열악한 작업환경과 원활한 유지관리에 대한 대책으로 대표적인 경량골재들을 혼합하여 경량화와 구조성능을 평가하였다.

**주요어:** 경량 흡음블럭, 콘크리트 도상, 경량골재, 최적배합설계, 도시철도 터널구간

## 1. 서 론

철도 콘크리트 도상은 유지관리의 우수성 및 천연 골재 고갈에 대한 대안 등 여러 가지 장점으로 인하여 국내외 신설 선로뿐만 아니라 기존선로의 자갈도상을 교체하고 있다. 콘크리트 도상은 이러한 장점과 보편

성에도 불구하고 열차 운행 시 차륜과 레일 간 마찰 소음을 반사하여 자갈도상의 경우와 비교하면 주행소음이 상대적으로 3 dB(A) 이상 증가되어 이에 대한 대책이 요구되고 있다(Kang et al., 2008; Kang, 2012).

철도 콘크리트 도상에서 증가되는 주행소음의 저감 방안으로 화력발전소 부산물인 플라이애쉬를 시멘트 건비빔 발포기술(Choi, 2009)을 이용한 다공질 경량 콘크리트 도상흡음재가 개발 중에 있다. 관련 특허 및 제품 출시 업체도 다수가 있으나, 대표적인 기술로 2013년 등록된 한국철도기술연구원의 도시철도용 도

\*Corresponding author: Soon-Taek Oh  
E-mail: alicia@seoultech.ac.kr

Received December 21, 2015; Revised January 6, 2016;  
Accepted January 11, 2016

상흡음블럭(KRRI 2013)이 있고 관련 표준으로 한국 철도표준규격과 도시철도용품질시험기준이 있다.

국내에서는 경부고속철도 2단계 일부구간, 도시철도 역사구간과 고가교 구간, 호남고속철도 테스트베드 구간 등에 적용 또는 예정 중에 있다. 도상흡음재료의 요구성능은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 흡음성능과 열차의 풍압 및 진동에 대한 구조안전성, 선로 유지보수의 용이함과 평탄도, 동결융해 저항성과 투수성 등 외기 환경변화에 대한 내구성이 요구된다.

해외 시공사례로는 Fig. 2에서와 같이 독일, 덴마크, 영국, 일본의 적용된 흡음판은 음향효과를 고려한 표면형상 및 크기의 차이로 대표된다. 독일은 물결무늬의 Wave 타입, 덴마크는 사각형 홈을 포함한 Flat-Hole 타입, 영국은 Flat 타입, 일본은 표면에 FRP 그레이팅

을 보강하여 사용하고 있다. 대표적인 다공질 경량골재 도상흡음판의 생산업체와 흡음성능과 특징을 Table 1에 나타내었다.

도상흡음재 관련 철도분야 표준은 “도시철도용 품질시험기준(KRT)” 규격으로 2008년에 제정되었다(KRRI, 2013). 이 규격은 도상흡음재 제품 제작을 위한 재료관련 규격이 “제작도면에 의한다”로 미흡하고 건축용 흡음용 재료와 방음벽에 관련한 상세규정을 참고로 하고 있다. 제조 및 가공 관련과 시험종류 및 방법에 대한 내용이 도상흡음재 요구성능에 비하여 미흡하여, 도시철도에서 일반 및 고속철에 대하여 적용범위를 확대하기 위하여 철도표준규격(KRS, 2015)을 제정되었다.

제정된 KRS는 재료 규격으로 시멘트, 경량골재, 혼합수, 혼화재료, 안료와 기타재료에 대하여 상세하게 기술하고 제조 및 가공 규격에서 재료의 개량, 배합, 성형, 양생, 형틀에 대하여 기술하였으며, 성능

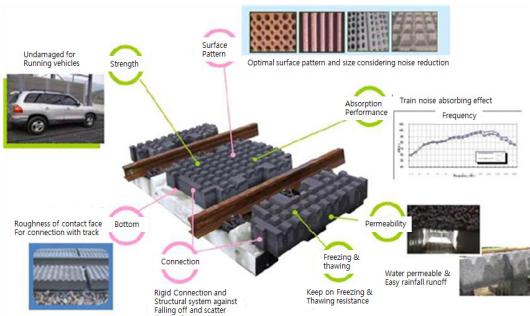


Fig. 1. Light sound absorbing block

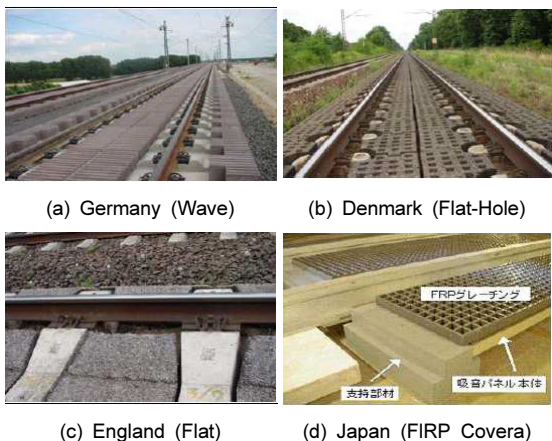


Fig. 2. Exist Light sound absorbing blocks

Table 1. Case of sound absorbing blocks

Title Product Co., Nation size (mm)	Noise Reduction coefficient (NRC)	Decibel (dB)	Remark
Schallabsorber RD FCN, Deutsch 680 × 626 × 200	0.8	3.6	Natural light weight aggregate, Penetrated rectangular hole
LIAKUDTIK Bausteine-Briest, Deutsch 660 × 610 × 190	0.8	3.0	Porous shale,
Noise Absorber VOSSLOH, Deutsch 660 × 610 × 170	0.7	3.0	Calcium silicate wooden chip
Rethabsorber BTW, Austria 660 × 460 × 210	0.7	3.0	Porous light weight aggregate
Schallabsorber Rieder, Austria 660 × 276 × 220	0.7	3.0	Light weight aggregate, Circle hole
Molbrand Bridge Stone, Japan 986 × 760 × 40	0.6	3.0	Urethane chip, fiber foaming agent
Soundabsorbingpanel Tobishima, Japan 1,800 × 1,000 × 180	0.9	6.0	FRP grid, artificial light weight aggregate, foaming agent

과 외관 그리고 검사 및 시험에 관한 사항을 보완하였다. 압축 강도 및 휨 강도 시험의 경우 시료 제작 KS F 2403 및 강도시험 규격 KS F 2405와 KS F 2408을 각각 제시하고 충격시험은 내용 파악이 용이한 KS F 4770-3 규격을 적용한다. 동결 융해에 대한 저항성은 다공질 경량 흡음재 특성 상 매우 중요한 시험항목으로 물 흡수계수 시험과 동결 융해 최대 사이클 100회 이상 KS F 2456이 적용되고 궤도 상 설치되는 관계로 마모시험은 제외하고 도상과 흡음재 또는 흡음재간 상호 부착에 관련된 접착 강도 시험 KS F 2761가 추가되었다. 그리고 화재 안전을 위한 가스 유해성 시험 KS F 2271와 잔향흡음률 시험 KS F 2805가 규정되었다.

2013년 도시철도 기존 고가교량구간에 적용하기 위한 시연회에 제안된 Fig. 3의 도상흡음판 제품 중에

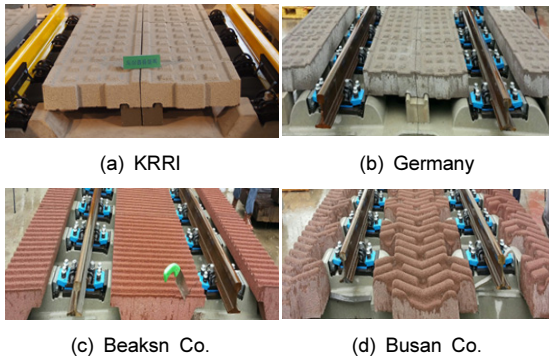


Fig. 3. Existing products

Table 2. KRS of sound absorbing panel on track.

Test item	Specification	Satisfaction Limits
Compression stress	KS F 2405	c,28days $\geq$ 10.0 MPa
Tensile stress	KS F 2408	b,28days $\geq$ 1.5 MPa
Impact	KS F 4770-3	No cracks & partial damage
Freezing & thawing	KS F 2456	Compression stress ratio $\geq$ 60%, Weight different ratio $\leq$ 1.5%, Non scaling on surface
Sound absorb	KS F 2805	NRC $\geq$ 0.85
Adhesive	KS F 2761	a $\geq$ 0.7 MPa
Gas hazard	KS F 2271	mean incapacitation time > 9min.

서 KRS 요구사항을 만족하며 최소 자중 제품으로 선정하였다. 이는 기존 교량인 경우 설계에 반영된 고정하중의 추가 부담을 최소화하기 위한 경량화 요구를 반영한 결과이다.

도시철도 터널내부에 적용된 콘크리트 도상은 대표적으로 프리캐스트 판넬형식의 B2S 궤도와 프리스트레스 침목형식인 영단형 궤도가 적용되고 있다. 도상 흡음판을 기존선로에 적용 시 한정된 작업시간과 장애물 등 간섭되는 시설물로 인한 열악한 작업공간을 만족하기 위하여 인력작업이 가능한 단위중량의 경량화가 요구되고 운행열차의 양력과 궤도연마 및 교체 작업에 대한 사용성을 만족하는 고려가 요구된다. 특히 레일의 신호 및 전력과 곡선구간에 대한 관제상황을 저해하는 비산물 또는 통전상황에 대한 주행안전성에 대책을 확보하여야 한다(Yoo et al., 2011).

## 2. 압축/휨 강도시험

기존 순환골재인 플라이애쉬 만을 적용하여 철도표

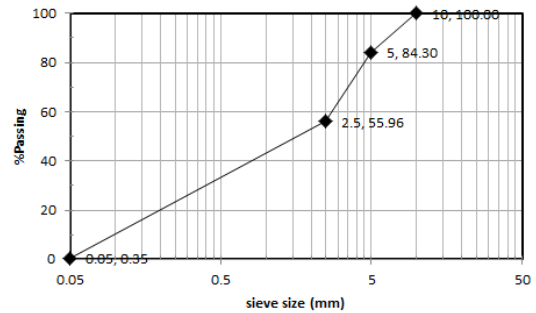


Fig. 4. Sieve passing ratio of Fly ash

Table 3. Sieve test result of Fly ash

Sieve size	Retained (g)	Retained ratio (%)	Passing (g)	Passing ratio (%)	Accumulated retained ratio (%)
5mm	157.04	15.70	843.10	84.30	15.70
2.5mm	283.40	28.34	559.70	55.96	44.00
0.05mm	556.20	55.61	3.50	0.35	99.60
Pan	3.50	0.35	0.00	0.00	100.00
Total	1,000.14	100.00	1,506.3	240.61	

준규격을 만족한 도상흡음블럭의 배합설계를 완성하기 위한 골재 체가를 시험과 기건상태 골재를 포틀랜드 시멘트와 중량비 2~4:1을 기준으로 배합하고 물/시멘트비(W/C) 28% 기준으로 건비빔하여 7일과 28일 압축강도 시험을 수행하였다. 적용된 혼화제는 유동화제로 Air-Entraining (AE) 제와 팽창제로 Polycarboxylate-based admixture (PC)액을 0.3% 이내 범위로 첨가하였다(Choi et al., 2010).

순환골재인 플라이애쉬 1.0 kg의 KS F 2502 체가를 시험 결과를 5 mm / 2.5 mm / 0.05 mm 체를 조합하여 수행한 결과를 Fig. 4와 Table 3에 나타내었다. 체가를

결과 주요 경량골재인 플라이애쉬는 2.5 mm 체에서 40% 이상 잔류하는 골재인 bottom ash를 적용하였다.

배합설계의 주요 변수는 중량과 물시멘트비, 그리고 순환골재와 시멘트비로 구성하여 KS F 2405의 7일/28일 압축강도와 KS F 2408의 28일 휨강도를 시험하였다. 주요 변수별 영향을 분석하기 위한 배합설계를 중량으로 Table 4에 나타내었다.

공시체의 7일/28일 압축강도비는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 정비례관계를 나타내었으며 지수함수로 회귀분석하고 R<sup>2</sup>는 97.7%를 나타내었다.

압축강도와 물/시멘트비와 관계는 Fig. 6에서 나타

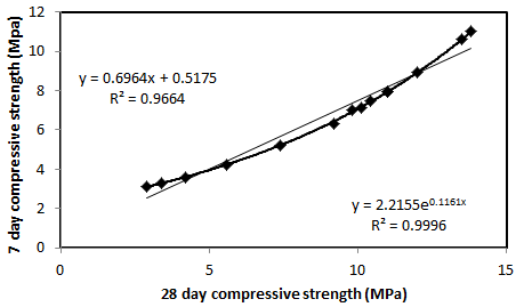


Fig. 5. Strength growth by curing day

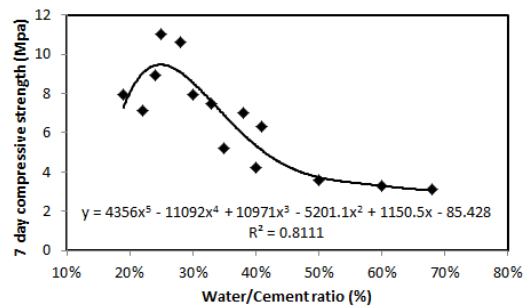


Fig. 6. Strength by W/C ratio

Table 4. Mix design of specimen

	Cement (kg)	Aggregate (kg)	Water (kg)	Expansion (kg)	Polycarbonate (kg)
1	2.405	6	0.53	0.004	0.022
2	3.063	6.5	0.58	0.005	0.023
3	3.222	7	1.13	0.005	0.025
4	3.222	7	1.32	0.005	0.025
5	2.000	7	1.36	0.02	0.04
6	2.000	7	0.80	0.01	0.02
7	2.000	7	1.00	0.01	0.02
8	2.500	6.5	0.95	0.02	0.04
9	2.500	7	0.63	0.02	0.04
10	2.500	7.25	0.60	0.02	0.04
11	3.000	8.1	0.84	0.03	0.06
12	3.000	9.3	0.90	0.03	0.06
13	3.000	11.7	1.80	0.03	0.08
14	3.000	9.9	0.99	0.03	0.08

Table 5. Structural properties of specimen

	Weight (kg)	W/C (%)	A/C	28 day compressive strength (MPa)	28 day tensile strength (MPa)
1	8.962	22%	2.49	10.1	1.85
2	10.172	19%	2.12	11.0	2.01
3	11.384	35%	2.17	7.4	1.59
4	11.575	41%	2.30	9.2	1.75
5	10.720	68%	3.70	2.9	1.06
6	9.960	40%	3.50	5.6	1.42
7	10.160	50%	3.60	4.2	1.23
8	10.010	38%	2.60	9.8	1.81
9	10.185	25%	2.80	13.8	2.32
10	10.410	24%	2.90	12.0	2.05
11	12.030	28%	2.70	13.5	2.15
12	13.290	30%	3.10	11.0	2.02
13	16.610	60%	3.90	3.4	1.15
14	14.000	33%	3.30	10.4	1.95

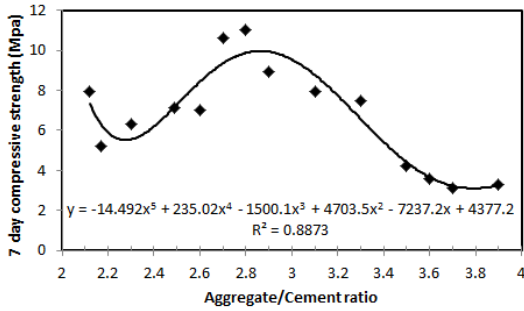


Fig. 7. Strength by A/C ratio

넌 비와 같이 상관관계를 회귀분석 하였다. 물시멘트 비 28% 내외에서 최대 압축강도가 도출됨을 알 수 있었다. 유동화제와 혼화제의 증감은 압축강도의 증감에 대한 영향이 미미하였다.

적용된 공시체의 28일 압축/휨강도 실험결과는 Table 5에 나타내었다. 도상 흡음재 품질시험 합격기준 압축강도 10 MPa 미만인 공시체는 대부분 휨강도 도 역시 부족한 것으로 나타났다.

압축강도와 골재/시멘트의 중량비와의 상관관계를 분석하기 위하여 골재 시멘트비는 2:1에서 4:1 범위에서 수행하였다. Fig. 7에 나타낸 상관관계를 5차 함수로 회귀분석 하여 골재와 시멘트 중량비 3:1 내외에서 최대 압축강도가 발현되었다.

### 3. 동결융해 저항성과 흡음을 평가

전술된 동일한 배합비 14개 시편을 제작하고 건조 수축을 저감하기 위한 탄소섬유를 첨가하여 제작한 7개의 시편에 대하여 KS F 2456 급속 동결융해 시험법을 적용하였다. 수중동결 수증융해 시험법을 이용하여 콘크리트 공시체의 중심온도가 동결시 -18°C, 융해시 +4°C가 되도록 수중 또는 기중에서 동결융해의 반복 작용을 1 사이클에 2~4시간 정도로 100 사이클 까지 수행하였다. Table 4에 제시된 시편별 배합설계에서 짝수시편에 탄소섬유를 0.003 kg씩 첨가하였다. 이는 시멘트 중량 대비 0.1%에 해당한다. 그리고 동결

융해 시험 전, 후 배합중량과 압축강도에 대해 비교 평가하여 Table 6에 제시하였다.

비교결과 시편중량의 경우 기존 배합비 대비 탄소 섬유 첨가 후 평균 1.3% 감소를 보였다. 압축강도 역시 기존 배합비 대비 탄소섬유 첨가 후 평균 22.3% 감소를 보였다. 배합비별 건조수축에 의한 변화율을 평가하기 위해 40×40×160으로 제작된 시편을 몰드에 맞닿는 3면의 길이를 0.05 mm까지 측정할 수 있는 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 배합비에 탄소섬유가 첨가된 짝수 시편과 탄소섬유가 첨가되지 않은 홀수 시편의 28일 길이 변화 측정결과는 Table 7에 나타내었다.

탄소섬유 첨가 되지 않은 홀수 시편들은 시험 전 후 비교 평가한 결과 혼화제의 영향으로 평균적으로

Table 6. Freezing & thawing test result

	Weight (kg)		Weight ratio	Compressive strength (MPa)		Strength ratio
	before	after		before	after	
2	10.172	10.011	0.984	11.0	8.8	0.800
4	11.575	11.412	0.986	9.2	7.9	0.859
6	9.960	9.820	0.986	5.6	3.9	0.696
8	10.010	9.877	0.987	9.8	6.6	0.673
10	10.410	10.220	0.982	12.0	10.3	0.858
12	13.290	13.160	0.990	11.0	8.5	0.773
14	14.000	13.880	0.991	10.4	8.1	0.779
Avg.			0.987			0.777

Table 7. 28day Shrinkage length test result

	before	after	ratio (%)		before	after	ratio (%)
	1	160.25	160.30		0.03	2	160.10
3	160.05	160.20	0.09	4	160.05	160.15	0.06
5	160.70	161.05	0.22	6	160.20	160.30	0.06
7	160.80	161.40	0.37	8	160.40	160.50	0.06
9	160.40	160.85	0.28	10	160.35	160.50	0.09
11	161.10	161.20	0.06	12	160.65	160.75	0.06
13	160.90	161.25	0.22	14	160.50	160.55	0.03
		Avg.	0.18			Avg.	0.05

0.18%의 시편의 길이 증가가 이루어졌지만 탄소섬유를 첨가한 짝수 시편들은 평균 0.05% 증가하여 혼화재의 팽창력으로 효율적인 제어가 이루어진 것으로 평가된다. 동결융해 저항성을 확보하고자 탄소섬유를 첨가한 시편과 첨가되지 않은 시편을 비교분석한 결과 KS F 2456의 합격기준인 압축강도비 60% 이상, 중량변화를 1.5% 이하, 외관이상 없을 것을 탄소섬유 첨가를 통해 만족함을 보인다. 품질시험 중 흡음률 요구사항은 KS F 2805의 잔향률 실험을 통하여 평가한다. White noise 음원을 사용하고 100 Hz~5,000 Hz의 1/3 Octave 대역 측정주파수이며 마이크로폰 위치 5개 음원위치 3개로서 15개점을 측정하는데 이때 각주파수별 3회 반복 측정한다. Fig. 8과 같이 부정형 7면체, 체적 220 m<sup>3</sup>, 표면적 214.3 m<sup>2</sup> 실험실에서 수행하였다.

측정장비로 Multi Channel Signal Analyzer (SA-01, RION), Microphone (40AE,G.R.A.S), Microphone Preamplifier (26CA,G.R.A.S), Omni-directional Speaker

(SS-05T,Wakabayasi Acoustic Design), Lower Frequency Speaker (SR4145SUB, VASCOM)를 사용했다. 시료를 설치한 잔향실에서의 잔향시간을 측정후 시료를 제거한 후 빈 잔향실에서의 잔향시간을 측정하였다. 측정된 두 개의 잔향시간을 이용해서 흡음률 산출한 결과 Fig. 9와 같이 철도기준에서 요구하는 NRC 0.85이상의 결과를 확보하였다.

#### 4. 경량화를 위한 경량골재혼합

기존 교량의 적용시 증가되는 사하중 부담을 최소화하기 위하여 철도 콘크리트 도상용 흡음블럭의 경량화를 위한 적절한 골재를 도출하기 위하여 다양한 경량골재를 플라이애쉬와 혼합하여 공시체를 제작하고 7일 압축강도 시험과 중량을 계측하여 비교하였다. 대상인 경량골재는 녹소토, 팽창질석, 퍼라이트, 하이드로볼을 배합체적을 고정하고 각각 또는 혼합하여 경우 별 압축강도의 추이를 비교하였다. 발포제는 7 g

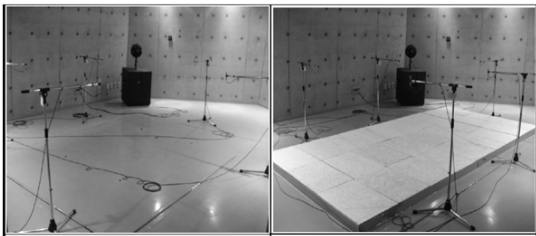


Fig. 8. Reverberation Chamber

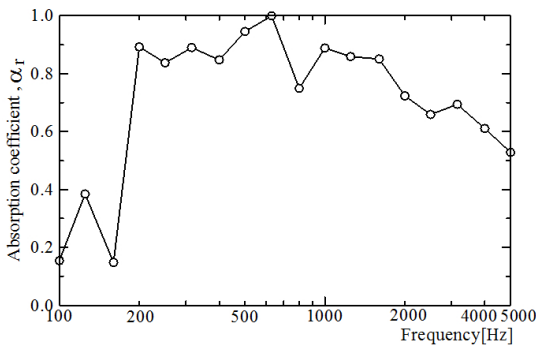


Fig. 9. Absorption coefficient result

Table 8. Pilot mix design of 2<sup>nd</sup> specimen

Lightweight aggregate A1/A2	Cement (kg)	Flyash+ A1+A2 (kg)	Water (kg)	Carbon fiber (kg)	Mixture (kg)
Fly-ash	2	6.00	0.50		0.013
Kanuma	3	2.67	1.50		0.039
Exp.Vermic.	3	1.75	1.50		0.039
Perlite	3	1.31	1.50		0.039
Exp.V./Per.	2	2.00/0.58/0.44	1.00		0.026
Perlite	2	2.00/0.88	1.00		0.026
Exp.V./Per.	2	0.88/0.66	1.00		0.026
Exp.V./Per.	2	0.58/0.88	1.00		0.026
Fly-ash	2	6.00	0.50	0.02	0.026
Hydro-ball	3	7.20	1.50	0.02	0.039
Perlite	2	1.50	0.50	0.02	0.026
Perlite	2	1.50	0.66		0.026
Exp.V./Per.	2	2.00/0.58/0.44	1.00	0.02	0.026
Exp.V./Per.	2	2.60/0.58/0.44	0.66	0.02	0.03
Perlite	2	2.00/0.88	1.00	0.02	0.026
Perlite	2	4.00/0.44	0.50	0.02	0.026
Perlite	2	5.00/0.22	0.50	0.02	0.026

**Table 9.** Structural properties of 2<sup>nd</sup> specimen

Lightweight aggregate A1/A2	Weight (kg)	W/C (%)	A/C	28 day compressive strength (MPa)	Remark
Fly-ash	8.520	25%	3.00	8.87	
Kanuma	7.214	50%	0.89	0.77	NG
Exp.Vermic.	6.296	50%	0.58	9.41	
Perlite	5.859	50%	0.44	6.15	NG
Exp.V./Per.	6.054	50%	1.51	1.57	NG
Perlite	5.908	50%	1.44	4.69	NG
Exp.V./Per.	4.564	50%	0.77	0.56	NG
Exp.V./Per.	4.491	50%	0.73	1.20	NG
Fly-ash	8.540	25%	3.00	6.53	NG
Hydro-ball	11.766	50%	2.40	7.69	NG
Perlite	4.053	25%	0.75	0.31	NG
Perlite	4.193	33%	0.75	0.38	NG
Exp.V./Per.	6.074	50%	1.51	1.74	NG
Exp.V./Per.	6.338	33%	1.81	2.25	NG
Perlite	5.928	50%	1.44	7.00	NG
Perlite	6.993	25%	2.22	5.46	NG
Perlite	7.773	25%	2.61	8.51	

으로 고정하고 탄소섬유를 부분적으로 적용하였다. 각각의 경우 배합된 주요 내용은 Table 8에 나타내었다.

적용된 경량골재의 단위중량 차이로 배합중량차가 발생하고 흡음블럭의 요구 압축강도의 80%를 기준으로 7일 압축강도와 비교하여 퍼라이트를 적정 대상골재로 선정하였다. 기존 철도 교량에 설치되는 흡음블럭은 소요강도 뿐만 아니라 중량감소 성능이 요구되므로 압축강도 실험결과 만으로는 팽창질석이 우수하였으나 중량절감 효과와 공극률이 부족하여 퍼라이트를 플라이애쉬와 혼합한 경우 요구 조건을 모두 만족시켰다. 시도된 17가지 경우의 배합된 공시체의 실험 결과는 Table 9에 나타내었다.

### 5. 경량골재 적정배합비 개발

도출된 경량골재 플라이애쉬와 퍼라이트의 최적 혼합비와 혼화재의 적정 배합비를 도출하기 위하여

**Table 10.** Optimal mix design of 3<sup>rd</sup> specimen

	Cement (kg)	Flyash (kg)	Perlite (kg)	CSA (kg)	Carbon fiber (kg)	Mixture (kg)
1	2	3	0.660	0.2	0.026	0.02
2	2	3	0.660	0.2	0.05	0.04
3	2	3	0.660	0.1	0.05	0.04
4	2	3.5	0.550	0.2	0.026	0.02
5	2	3.5	0.550	0.2	0.05	0.04
6	2	3.5	0.550	0.1	0.05	0.04
7	2	4.5	0.330	0.2	0.026	0.02
8	2	4.5	0.330	0.2	0.05	0.04
9	2	4.5	0.330	0.1	0.05	0.04

**Table 11.** Structural properties of 3<sup>rd</sup> specimen

	Weight (kg)	7 day compressive strength (MPa)	28 day compressive strength (MPa)	28 day tensile strength (MPa)	Remark
1	6.406	3.056	3.97	1.20	NG
2	6.450	5.169	6.72	1.56	NG
3	6.350	3.909	5.08	1.35	NG
4	6.796	3.266	4.25	1.24	NG
5	6.840	4.144	5.39	1.39	NG
6	6.740	4.775	6.21	1.49	NG
7	7.576	4.883	6.35	1.51	NG
8	7.620	8.231	10.70	1.96	
9	7.520	7.786	10.12	1.91	

Table 10과 같이 체적비를 기준으로 1 : 1, 3 : 1, 4 : 1의 혼합비를 적용하고 발포제로 Calcium Sulfur Aluminate (CSA)를 사용하였다. 수량은 0.50 kg을 적용하여 물 시멘트비를 25%로 고정하였다.

경량골재 퍼라이트는 비중이 1이하로 배합에서 재료분리가 발생하였다. 따라서 유동화재와 정전기가 제거된 탄소섬유량을 증감한 각 경우의 실험결과인 압축강도와 휨강도를 Table 11에 나타내었다.

도상흡음블럭의 요구성능을 만족한 플라이애쉬와 퍼라이트의 적정 체적비는 4 : 1로 기존 개발된 플라이애쉬 만을 적용한 흡음블럭의 경우에 비하여 단위중량을 20% 감량하였다. 요구 압축강도를 만족한 각각

의 배합중량비는 플라이애쉬는 55~60wt%, 퍼라이트 4~5wt%, 시멘트 26~27wt%, CSA 1.3~2.8wt%, 수량은 6.5~6.7wt%, 탄소섬유 0.5~0.6wt%, 유동화제 0.6~0.7wt%이다.

## 6. 결론

도시철도 터널내 콘크리트도상으로 인한 소음증분을 감소하기 위한 순환골재를 활용한 플라이애쉬 건비빔 발포 흡음블럭과 관련한 최적배합설계를 도출하기 위한 심도깊은 변수실험을 수행하였다.

도시철도와 철도공사의 기준을 만족하는 최적배합비를 도출하기 위하여 강도 실험 결과 골재시멘트비 3:1과 물시멘트비는 30% 이하로 평가되었다. 사용성과 관련하여 동결융해 저항성 시험과 잔향률 시험을 통하여 관련기준을 만족하고 기존 운행 중인 터널내 시공성을 향상하기 위한 경량화를 위한 골재개발을 통하여 플라이애쉬와 퍼라이트의 4:1 배합비를 강도실험으로 도출하였다. 제안된 경량 흡음블럭의 배합중량비는 플라이애쉬 55~60wt%, 퍼라이트 4~5wt%, 시멘트 26~27wt%, CSA 1.3~2.8wt%, 물 6.5~6.7wt%, 탄소섬유 0.5~0.6wt%, 유동화제 0.6~0.7wt%이다.

## References

1. Choi, I.Y. (2009), "Noise absorptive concrete panel for railway slab", Korea Intellectual Property Information Service, KIPRIS 10-0910171.
2. Choi, P.G., Park, W.I., Yun, K.K., Lee, B.H. (2010), "Air-void structure of very-early strength latex-modified concrete using ultra-fine fly ash", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 10, No. 2, pp. 47-53.
3. Kang, S.P. (2012), "A study on the effect of high-calcium fly ash on the compressive strength of the portland blast-furnace slag cement concrete", Journal of the Construction and Environment Research Institute, Vol. 7, No. 1, pp. 23-30.
4. Kang, D.M., Seo, J.W., Lee, I.Y., Park, Y.G. (2008), "A study on the sound absorption properties of sound absorption block using by artificial light weight aggregate", Conference of The Korean Society for Railway, The Korean Society for Railway, pp. 803-839.
5. KRRI, Seoul Metro, KRTC, GETPC (2013), "Ballast sound absorbing block of urban railway", Korea Intellectual Property Information Service, KIPRIS 10-1276083, 2013.
6. KRS (2015), "Noise absorption materials on track bed", Korean Railway Standard, KRS TR 0016-15.
7. Yoo, S.B., Lee, A.H., Kim, S.J., Kang, K.D. (2011), "A study on the sound absorption effect of concrete track the sound absorption blocks in urban transit", Conference of Korean Society of Railway, pp. 329-336.