

Characteristics of sound absorption materials by using ecological aggregates

Kangduk Kim, Yugwang Ryu and Yootaek Kim[†]

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

(Received October 31, 2008)

(Accepted November 17, 2008)

Abstract Ecological lightweight aggregates were made by using the wastes come from various industrial fields. Wastes were crushed and pulverized by mills and a certain portions of wastes were mixed and formed by pelletizer like small beads. The formed lightweight aggregates were finally sintered with 1125°C/15 min conditions by using rotary kiln. Lightweight concrete sound absorbers were made of ecological lightweight aggregates K73 (Coal bottom ash 70 wt%: Dredged soil 30 wt%) and K631 (Clay 60 wt%: Stone sludge 30 wt%: Spent bleaching clay 10 wt%). For the reference, lightweight concrete sound absorbers made of DL (German made 'L' company LWA) were also made under the same conditions. Sound absorption characteristics were observed and measured according to the kinds of aggregates, water/cement ratio (W/C = 20, 25, and 30 %), and designed pore rates (V = 20, 25, and 30 %). The pore rates of the lightweight concrete sound absorber were turned out to be 5 to 10 % higher than designed ones. Absorption coefficient of the lightweight concrete sound absorber by using K631 aggregates with W/C = 20 % and V = 25 % conditions was 0.88 at 1000 and 3150 Hz from the measurement by the impedance tube.

Key words Ecological aggregates, Sound absorption, Lightweight, Impedance tube, Pore

에코골재를 사용한 흡음재의 특성

김강덕, 류유광, 김유탉[†]

경기대학교 재료공학과, 수원, 443-760

(2008년 10월 31일 접수)

(2008년 11월 17일 심사완료)

요약 산업현장에서 발생하는 다양한 종류의 폐기물을 이용하여 에코골재를 제조하였다. 에코골재는 폐기물을 분쇄하고 조립성형 후, 로타리 킬른에서 1125°C/15 min의 조건으로 소성하여 제조되었다. 본 연구진에 의해 제조된 에코골재 K73 (Coal bottom ash 70 wt%: Dredged soil 30 wt%)과 K631 (Clay 60 wt%: Stone sludge 30 wt%: Spent bleaching clay 10 wt%)을 이용하여 경량 콘크리트 흡음재를 제조하였으며, 비교를 위해 독일에서 수입된 DL(독일산 'L'사 인공경량골재)을 이용한 흡음재 역시 같은 조건으로 제조하였다. 골재의 종류, 물-시멘트비(W/C = 20, 25, 30 %) 그리고 설계 공극률(20, 25, 30 %)의 변화에 따른 흡음특성변화를 관찰하였다. 실험결과, 경량 콘크리트 흡음재의 실제 공극률은 설계 공극률보다 5~10 % 정도 높게 나타났다. 임피던스관을 이용한 흡음재의 흡음계수 측정 결과, K631골재를 이용한 경량 콘크리트 흡음재(W/C = 20 %, V = 25 %)가 1000, 3150 Hz에서 각각 0.88의 흡음계수를 나타내었다.

1. 서론

도시개발에 따른 새로운 소음원의 발생과 고속도로와 공단주변에서 발생하는 지속적인 소음은 쾌적한 삶을 추구하는 현대인에게 가장 큰 환경문제로 대두되고 있다. 건설현장과 도로교통 소음의 효과적인 차단을 위한 가장 일반적인 방법은 소음원과 수음원 사이의 전달경로를 길게 하는 방음벽의 설치로, 2001년 이후 현

재까지 약 477 km의 방음벽이 설치되어 있으며 이중 대부분이 흡음형 방음벽의 설치가 주류를 이루고 있다 [1, 2].

기존의 흡음형 방음벽에 주로 사용되고 있는 유리솜, 알루미늄, 플라스틱 재질의 방음벽들은 내구성 및 흡음 특성, 도시환경과의 부조화, 고가의 설치비용 및 관리비용 발생과 같은 문제점을 가지고 있으며 새로운 형태의 방음벽 개발이 절실한 실정이다[3-5].

본 연구에서는 폐기물을 이용하여 에코골재를 제조하고, 제조된 에코골재를 이용하여 경량 콘크리트 흡음재를 제조하였다. 골재종류와 배합비 변화에 따른 콘크리트 흡음재의 공극률을 측정하고, 주파수 변화에 따른 흡

[†]Corresponding author

Tel: +82-31-249-9765

Fax: +82-31-244-6300

E-mail: ytkim@kyonggi.ac.kr

음특성을 관찰하여 새로운 형태의 경량 방음벽의 적용가능성에 대하여 조사하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 인공골재는 독일 'L'사의 상업용 인공경량골재와 본 연구팀이 제조한 K73(석탄바닥재 : 준설토의 무게비 = 70 : 30), K631(적점토 : 석분오니 : 폐백토의 무게비 = 60 : 30 : 10)의 에코골재가 사용되었다.

에코골재는 각 원료를 Pin mill을 이용하여 100 μm 이하로 분쇄하여 사용하였으며, 건식 혼합 후 조립기(Pelletizer)를 이용하여 지름 1~5 mm 크기의 구형 세골재를 성형 후 열풍건조기에서 110°C/48 hr 조건으로 건조 하여, 로타리 킬른(Rotary kiln)에서 1125°C의 온도로 15 min 소성하였다. 준비된 3종류의 골재를 이용하여 물시멘트 비(W/C = 20, 25, 30%) 변화와 설계 공극률(20, 25, 30%) 변화에 따른 경량 콘크리트 흡음재를 제작하고 공극률과 흡음특성을 분석하였다. 인공경량골재 원료 배합비는 Table 1에 나타내었다.

각 원료의 화학조성은 XRF(ZSX-100e, Rigaku, Japan)를 이용하여 분석하였다. 인공경량골재의 비중/흡수율 측정에는 KS F 2504 '간골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법'을 사용하였고, 단위용적중량 측정에는 KS F 2505 '골재의 단위용적중량 및 실적을 시험방법'을 사용하였다. 경량 콘크리트 흡음재의 공극률 측정에는 일본 콘크리트학회 에코콘크리트연구위원회의 '포러스 콘크리트의 공극률 시험 방법'을 이용하였으며, 이 방법에 의한 공극률 산출은 다음과 같다.

$$A_t(\%) = 1 - \frac{(W_2 - W_1)/\rho_w}{V_1} \times 100 \tag{1}$$

$$A_c(\%) = A_t - \frac{(W_1 - W_3)/\rho_w}{V_1} \times 100 \tag{2}$$

여기서, A_t = 포러스 콘크리트의 전공극률,
 A_c = 포러스 콘크리트의 연속공극률,
 W_1 = 공시체의 수중질량,
 W_2 = 24시간 자연방치 후 기중중량,
 W_3 = 24시간 자연방치 후 다시 측정된 수중질량,
 V_1 = 공시체의 용적,
 ρ_w = 물의 밀도이다.

흡음재의 흡음 특성은 KS F 2814 '임피던스(impedance) 관에 의한 흡음계수와 임피던스의 결정방법'의 실험방법을 이용하여 측정하였으며, Fig. 1에 측정 장치를 나타내었다[6]. 임피던스(B&K, Denmark) 측정을 위하여 지름 99.6 mm와 28.7 mm 크기의 원형펠렛 시험편을 제조하였으며, 50 Hz~1.6 kHz와 500 Hz~6.4 kHz 범위의 주파수대역에서 흡음 특성을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2는 각 원료의 화학조성분석 결과이다. K73 에

Table 1
Compositions of ecological aggregates (wt%)

Specimen I.D.	Component				
	CBA*	DS**	Clay	SS***	SBC****
L(Germany)	Commercial artificial lightweight aggregates				
K73	70	30	-	-	-
K631	-	-	60	30	10

*CBA: Coal bottom ash, **DS: Dredged soil, ***SS: Stone sludge, ****SBC: Spent bleaching clay

Table 2
Chemical compositions of raw materials (wt%)

	Ig loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ZrO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	C
CBA	4.07	45.58	18.60	8.08	2.17	0.78	0.18	0.51	1.33	0.33	0.24	0.01	0.05	18.06
DS	4.08	70.71	14.38	3.82	0.79	0.18	2.51	2.70	0.80	-	0.03	-	-	-
Clay	11.03	57.86	19.08	7.07	0.20	1.04	0.09	2.54	0.92	-	0.17	-	0.22	-
SS	3.6	66.7	14.9	2.3	2.0	1.1	3.8	5.2	0.3	-	0.1	-	-	-
SBC	48.4	41.9	5.4	1.7	0.3	0.7	0.3	0.6	0.7	-	0.1	-	-	-

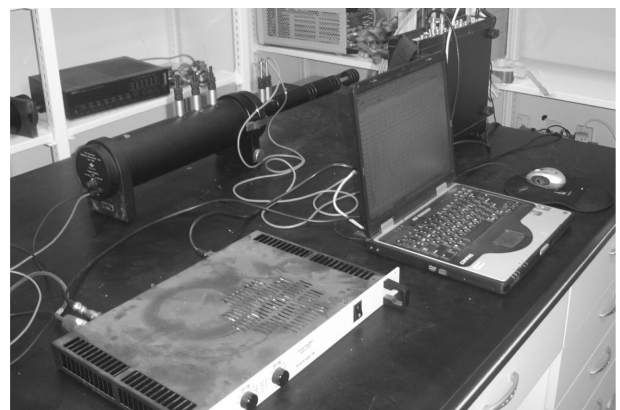


Fig. 1. Apparatus for measurement of absorption coefficient by impedance tube.

코골재의 주원료인 석탄바닥재(Coal bottom ash)의 경우 SiO₂와 Al₂O₃가 각각 45.6 wt%와 18.64 wt% 존재하며, 미연탄소가 18% 이상 존재하여 소성 시 가스를 발생시켜 골재를 경량화 시킬 것으로 판단된다. 준설토(Dredged soil)는 점토에 비해 알카리산화물(Na₂O, K₂O)과 알카리 토류산화물(MgO, CaO) 성분이 약 1.5배 많이 존재하여 소성 시 용제역할을 함으로서, 점토를 사용한 골재보다 낮은 온도에서 소결이 가능할 것으로 예상된다. K631 에코골재에 사용된 석분오니(Stone sludge)와 폐백토(Spent bleaching clay)의 경우 각각 용제성분(알카리산화물, 알카리토산화물)과 유기물(기름성분)을 많이 함유

하고 있어 골재제조 시 우수한 용제와 발포제 역할을 할 것으로 예상된다.

Table 3은 각 골재의 물리적 특성을 나타낸 결과이다. 기존의 비구조용 건자재에 많이 사용되는 독일 'L'사의 골재는 표건 밀도와 흡수율이 각각 1.02 g/cm³와 20.8%를 나타내었으며 단위용적질량이 0.5 ton/m³의 작은 값을 나타내었다. 본 연구팀에서 제조한 에코골재 K73과 K631 골재의 표건 밀도는 각각 1.73과 1.74 g/cm³로 서로 비슷하지만, 흡수율은 각각 20.8%와 12.3%로 약 8%의 차이가 나타난다. 이는 골재 내부의 기공분포에서 K73골재가 상대적으로 높은 개기공을 형성하고 있어 비슷한 표건 비중에서 높은 흡수율을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 에코골재의 단위용적중량은 각각 0.9, 1.04

Table 3
Physical properties of ecological aggregates

Specimen I.D.	Density in saturated surface-dry condition (g/cm ³)	Water absorption (%)	Unit weight of EA* (ton/m ³)
L(Germany)	1.02	20.8	0.5
K73	1.73	20.8	0.9
K631	1.74	12.3	1.04

*EA: Ecological aggregates

Table 4
Experimental factors for lightweight concrete sound absorber

Factor	Value (%)
W/C*	20, 25, 30
Designed porosity (%)	20, 25, 30

*W/C = Water to cement ratio

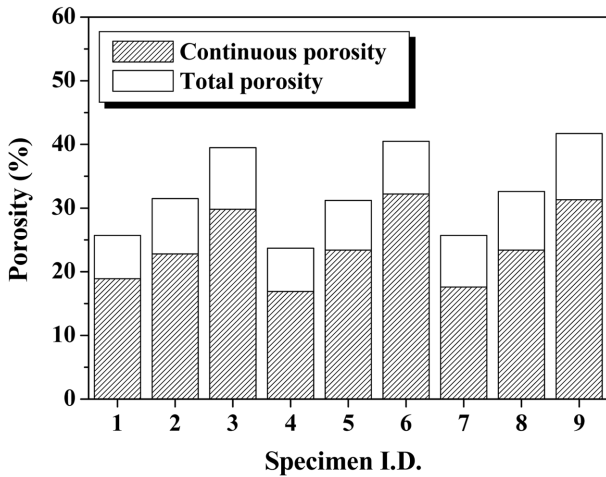
Table 5
Mix proportions of lightweight concrete sound absorber

Mix. No.	EA	W/C	Designed porosity (%)	Water (kg/m ³)	Vp* (L)	Cement (kg/m ³)	Fine aggregate (kg/m ³)	Silica fume (%)
L-1			20	125	324	625		
L-2		20	25	105	274	529		
L-3			30	86	224	433		
L-4			20	142	324	570		
L-5	L	25	25	120	274	482	485	
L-6			30	98	224	394		
L-7			20	157	324	524		
L-8		30	25	133	274	443		
L-9			30	108	224	363		
K73-1			20	113	295	569		
K73-2		20	25	94	245	473		
K73-3			30	75	195	376		
K73-4			20	129	295	519		
K73-5	K73	25	25	107	245	431	873	
K73-6			30	85	195	343		Cement × 0.1
K73-7			20	143	295	477		
K73-8		30	25	119	245	396		
K73-9			30	94	195	315		
K631-1			20	85	221	426		
K631-2		20	25	66	171	330		
K631-3			30	46	121	234		
K631-4			20	97	221	389		
K631-5	K631	25	25	75	171	301	1006	
K631-6			30	53	121	213		
K631-7			20	107	221	357		
K631-8		30	25	83	171	277		
K631-9			30	58	121	196		

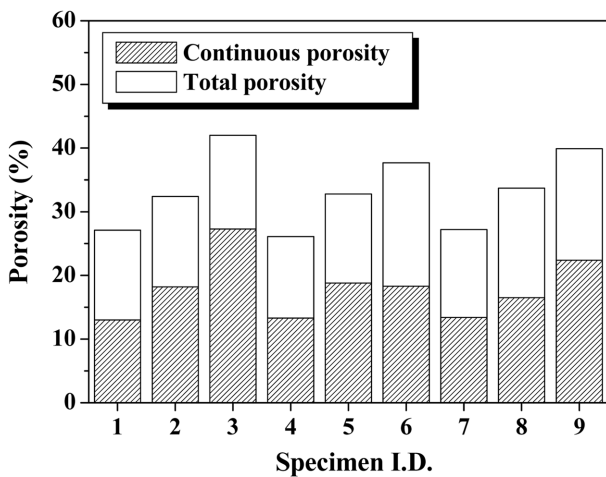
*Vp: Cement Paste (Cement + Water + Aggregate + Silica fume)

ton/m³으로 기존의 쇄석골재에 비해 1/2 수준의 값을 나타내고 있다.

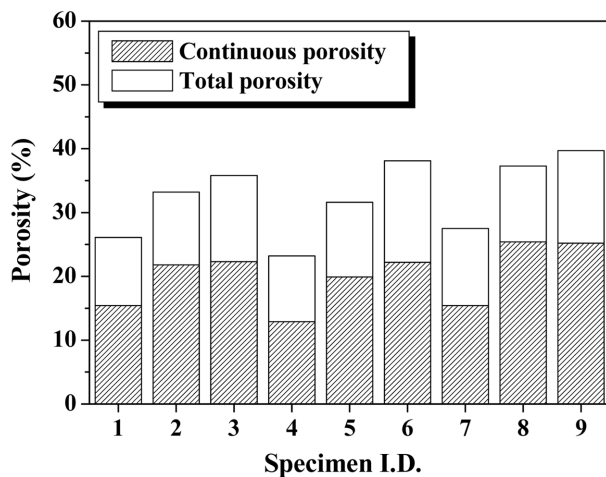
Table 4는 각 골재를 이용한 경량 콘크리트 흡음재의



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Total porosity and continuous porosity rates of lightweight concrete sound absorber. (a) L-series, (b) K73-series and (c) K631-series.

제작을 위한 실험 변수를 나타낸 표이다. 본 실험에서는 경량 콘크리트 흡음재의 흡음특성을 관찰하기 위하여 일반 콘크리트보다 높은 설계 공극률(20, 25, 30 %)로 배합설계를 시행하였으며, 설계 공극률 증가로 인한 콘크리트 흡음재의 압축강도 특성 저하를 막기 위하여 물-시멘트비는 20~30 %로 낮게 적용하였다. 다공성 콘크리트의 강도는 공극률 및 골재를 접착하기 위한 바인더에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 바인더의 강도를 향상시키기 위하여 물-시멘트비를 낮게 하는 것이 좋다. 그러나 본 실험의 경우 다공성 콘크리트 시멘트 페이스트의 플로우(flow)값을 고려하여 물-시멘트비는 25 % 전후로 적용하였다[7].

Table 5는 Table 4의 실험변수를 적용하여 설계된 경량 콘크리트 흡음재의 배합비이다. 혼화재의 치환율은 시멘트량의 0.1%로 골재는 1~5 mm 크기의 세골재를 사용하였다.

Fig. 2는 경량 콘크리트 흡음재의 전체공극률 및 연속공극률을 측정한 결과이다. 흡음재들의 전체공극률은 설계 공극률보다 전체적으로 5~12 % 높게 나타났다. 독일 'L' 인공골재를 이용하여 제조된 흡음재의 경우 연속공극률이 전체공극률의 약 68~80%를 차지하고 있으며, K73 에코골재와 K631 에코골재를 이용하여 제조된 흡음재의 연속공극률은 전체공극률의 약 48~65%와 55~68%를 나타내었다. 일반적인 포러스 콘크리트의 경우 내부에 형성된 다량의 연속공극과 넓은 비표면적으로 인하여 우수한 소음 흡수 능력을 가진 것으로 알려져 있으며, 이는 소음이 콘크리트에 입사될 경우 콘크리트 내부 및 외부에 형성된 넓은 비표면적 및 연속공극들이 음에너지를 진동 및 마찰작용을 통해 열에너지로 소비하기 때문이다[8].

Fig. 3은 경량 콘크리트 흡음재의 배합비 변화에 따른 페이스트 플로우를 관찰하기 위하여 시험편의 윗면과 밑면을 관찰한 그림이다. 물-시멘트비가 30 %일 경우 골재의 종류에 상관없이 모든 시험편의 밑면에 폐색이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 물-시멘트비가 25와 20 %으로 감소할수록 밑면의 폐색이 감소하며 윗면과 아랫면에 다공성 구조를 형성한다. 경량 콘크리트 시험편의 밑면의 폐색이 발생하는 것은 시멘트 페이스트의 유동성 증가에 따른 흐름성이 좋아진 것을 나타내며, 페이스트 플로우가 증가할수록 페이스트의 유동성 증가에 따른 골재간의 결합력 증가로 콘크리트의 강도가 증가한다[7, 9].

Fig. 4는 각 골재와 공극률 변화에 따른 경량 콘크리트 흡음재의 흡음계수 특성을 임피던스관을 이용하여 측정한 결과이다. Fig. 4(a)는 독일 'L'사의 인공골재를 사용하고, 물-시멘트비는 20 %로 고정 후, 설계 공극률은 20, 25, 30 %로 변화시킨 흡음재의 흡음계수 결과이다. 125~630 Hz 구간에서는 낮은 흡음계수를 나타내며, 1000

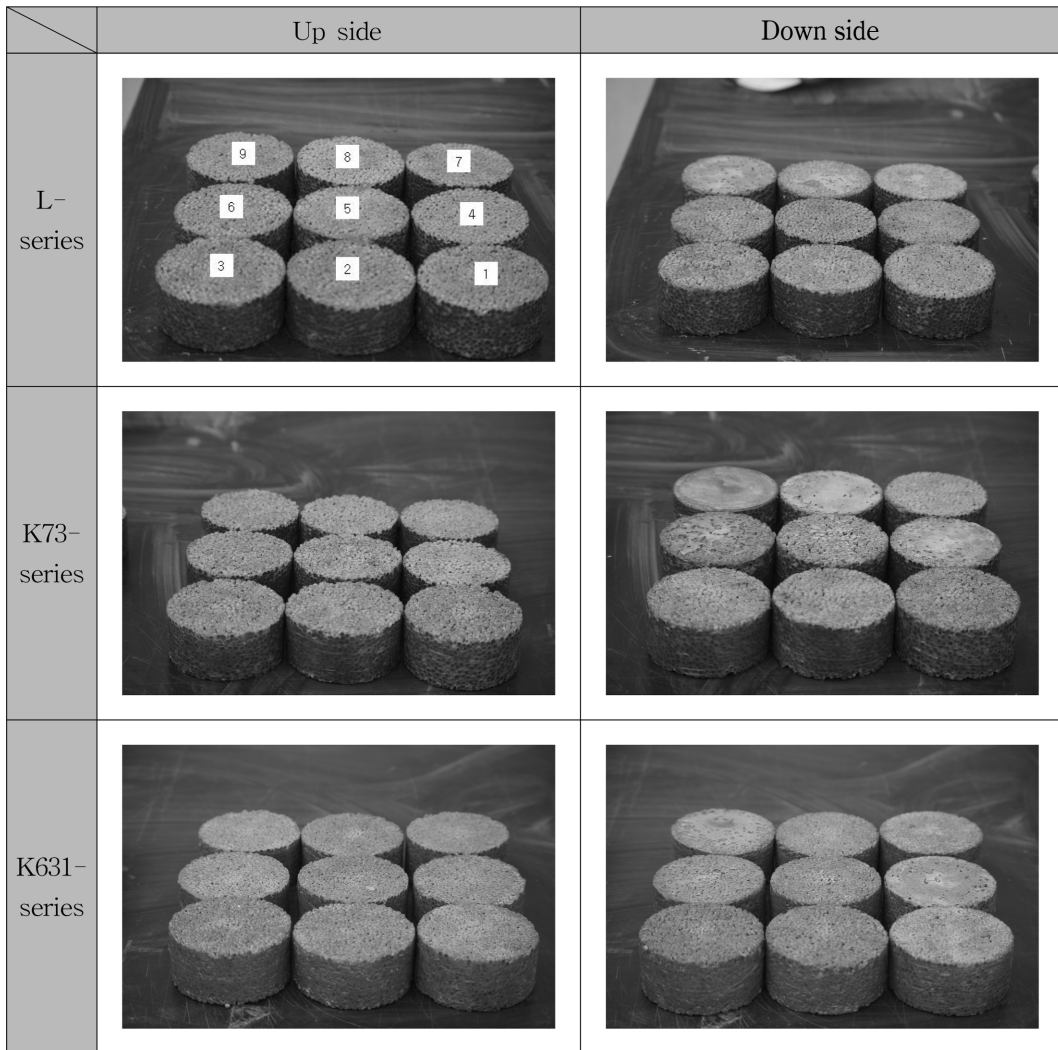
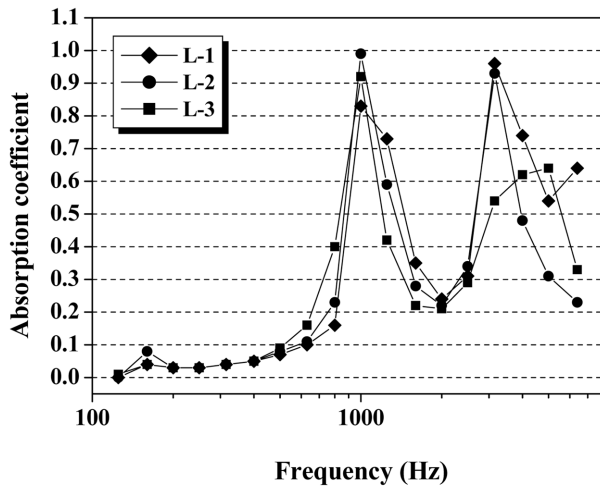


Fig. 3. Images of lightweight concrete sound absorber specimens. Left-side is up side and right-side is up-side-down images of the left-side specimens. Specimen numbers are shown in the first inlet.

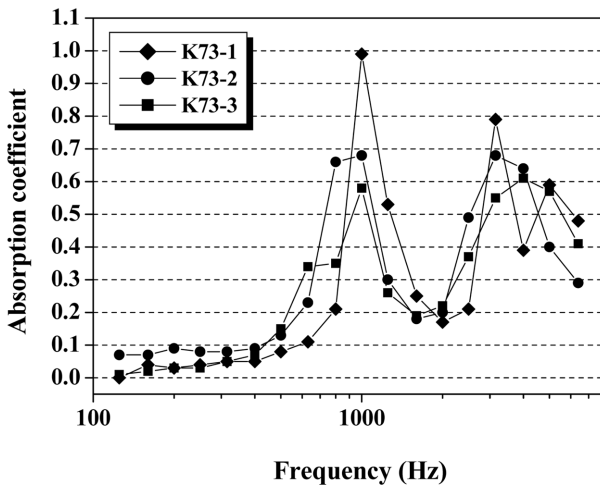
Hz 부근에서 0.83 이상의 흡음계수를 나타낸다. 측정 주파수대가 증가할수록 흡음계수는 감소하다가 3150 Hz에서 다시 흡수계수가 증가하여 설계 공극률 20, 25 % 시험체의 경우 0.93 이상을 나타내었다. 설계 공극률 25 % 흡음재는 1000과 3150 Hz 주파수대에서 흡음계수가 각각 0.99와 0.93로 가장 높게 나타났다. Fig. 4(b)는 K73 에코골재를 이용하고, 물-시멘트비는 20 %으로 고정 후, 설계 공극률은 20, 25, 30 %로 변화시킨 흡음재의 흡음계수 결과이다. 125~630 Hz 구간에서는 낮은 흡음계수를 나타내며, 1000 Hz 부근에서 0.7 이상의 흡음계수를 나타낸다. 측정 주파수대가 증가할수록 흡음계수는 감소하다가 3150 Hz에서 다시 0.55 이상으로 흡음계수가 증가한다. 설계 공극률 20 % 흡음재는 1000과 3150 Hz 주파수에서 흡음계수가 각각 0.99와 0.79로 가장 높게 나타났다. 그림 Fig. 4(c)는 K631 에코골재를 이용하고, 물-시멘트비는 20 %으로 고정 후, 설계 공극률은 20, 25,

30 %로 변화시킨 흡음재의 흡음계수 결과이다. 125~630 Hz 구간에서는 낮은 흡음계수를 나타내며, 1000 Hz 부근에서 0.85이상의 흡음계수를 나타낸다. 측정 주파수대가 증가할수록 흡음계수는 감소하다가 3150~4000 Hz 사이에서 흡수계수가 0.5 이상으로 다시 증가한다. 1100 Hz 부근에서 흡음계수 감소 현상을 임피던스관 시험법에서 나타나는 일반적인 문제점으로 판단되며 실제 KS 규격 흡음계수 실험시에는 이러한 흡음계수 감소 현상은 발견되지 않을 것으로 예상된다. 설계 공극률 25 % 흡음재는 1000과 3150 Hz 주파수대에서 흡음계수가 각각 0.88과 0.88로 가장 높게 관찰되었다.

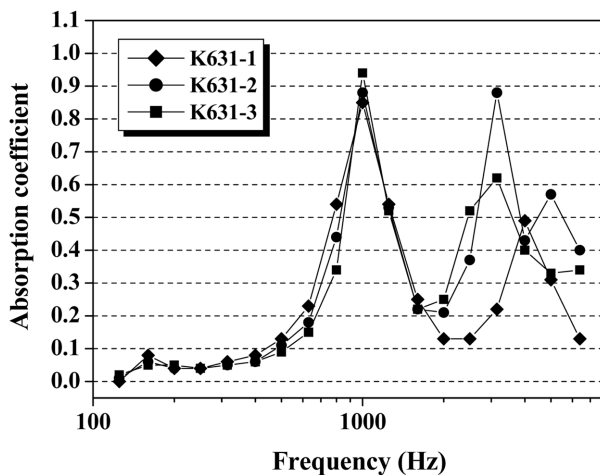
Fig. 5는 K631 에코골재를 이용하고, 설계 공극률은 25 %로 고정 후, 물시멘트비를 20, 25, 30 %로 변화시켜 제조된 흡음재의 흡음계수 측정 결과이다. Fig. 4의 결과처럼 1000 Hz 부근과 3150 Hz 부근에서 높은 흡음계수를 나타낸다. 본 실험에서 측정된 시편들은 특정주



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. The absorption coefficient of lightweight concrete sound absorber with different porosity rates (W/C = 30 %, V = 20, 25, 30 %). (a) L-series, (b) K73-series and (c) K631-series.

파수대역(1000, 3150 Hz)에서는 우수한 흡음특성을 나타내지만, 그 외의 주파수대역에서는 낮은 흡음특성을 나

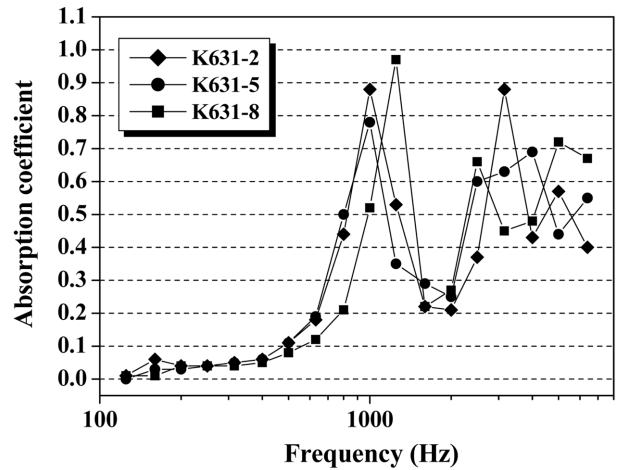


Fig. 5. The absorption coefficient of lightweight concrete sound absorber with various W/C in K631-series (V = 25 %, W/C = 20, 25, 30 %).

타내고 있다. 이는 사용된 인공경량골재의 입경과 시멘트 페이스트의 유동성에 의해 형성된 특정한 형태의 연속 기공들에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 도로교통소음을 제어하기 위한 흡음판은 경사입사 흡음률이 1,250 Hz를 피크로 하여 파라볼릭(parabolic) 형태를 이루는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다. 본 연구의 흡음재는 1000 Hz 부근에서 좁은 대역에서만 우수한 흡음특성을 나타내고 있어, 골재의 입도, 콘크리트의 배합비, 골재 및 콘크리트의 기공분포 등의 변수를 변화시켜 넓은 범위에서 흡음특성이 향상되는 흡음재의 추가 연구가 필요할 것으로 예상된다[9]. 또한 KS시험법에 의한 대규모 흡음계수 측정도 병행하여 임피던스관 시험법과의 차이점을 분석하고 임피던스관 시험법에 의한 시편 스크리닝(screening) 방법을 규명해야 한다.

4. 결 론

단위용적중량이 1 ton/m³ 이하인 에코골재를 이용하여 경량 콘크리트 흡음재를 제조하였다. 경량 콘크리트 흡음재는 설계 공극률보다 5~12 % 정도 높은 수준의 전체 공극률을 형성하였으며, K73 에코골재와 K631 에코골재를 이용하여 제조된 흡음재의 연속공극률은 전체공극률의 약 48~65 %와 55~68 %를 나타내었다. 흡음재의 물-시멘트비(W/C)가 30 %일 경우 모든 시편에서 밀면 폐색이 발생하였다. 제조된 경량 콘크리트 흡음재는 1000, 3150 Hz 주파수대역에서 날카로운 형태의 흡음계수를 형성하였으며, K631-2시편의 경우 1000, 3150 Hz에서 0.88의 흡음계수를 나타내었다. 본 실험결과 에코골재의 입도 및 콘크리트 배합비 조절을 통하여 특정소음에 우수

한 흡음특성을 갖는 흡음재의 개발가능성을 확인 하였다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 경기대학교 산학협력단의 연구비 지원에 의한 결과물임.

참 고 문 헌

- [1] H.J. Lee and J.S. Kim, "The effects of noise barrier in reducing road traffic noise and related problems", J. of Ksee. 26(10) (2004) 1166.
- [2] K.W. Kim, K.S. Yang and J.S. Kang, "Study on the sound absorption properties of noise barrier according to the compositions of absorptive material", J. Kor. Soc. for Noise and Vibration Eng. (2002) 1222.
- [3] J.S. Kim, L.F. Cohn and K.S. Kim, "A study on the effects of absorptive treatment for the highway noise barriers", J. Kor. Soc. for Noise and Vibration Eng. 8(1) (1998) 146.
- [4] J.F. Allard, Y. Champoux and C. Depollier, "Modelization of layered sound absorption materials with transfer matrices", J. Acoustic Soc. Am. 82(5) (1987) 1792.
- [5] M.C. Lim, "The preparation of sound absorption plate for photocatalytic property using industrial wastes", J. Environ. Hi-Tech. 9 (1998) 89.
- [6] KS F 2814; Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, Korea Standards Association (2001).
- [7] Korea concrete institute, "New concrete engineering", Kimundang, Korea (2007).
- [8] S.B. Park, J. Lee and D.S. Seo, "A study on the quality properties of porous concrete for pavement using silica fume and steel fiber", J. of KSRE 7(3) (2005) 31.
- [9] Korea concrete institute, "Advanced concrete engineering for special uses", Kimundang, Korea (2004).