

Flyash를 이용한 블록의 흡음특성에 관한 연구

변 홍 식 · 이 태 관*

계명대학교 공업화학과 · 환경과학과

(2001년 4월 30일 접수; 2002년 3월 12일 채택)

A Study on the Characteristic of Sound Absorption of Flyash Blocks

Hong-Sik Byun and Taek-Wan Lee*

Department of Industrial Chemistry, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

*Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 30 April, 2001; accepted 12 March, 2002)

The blocks using flyash were prepared in this study. The characteristic of sound absorption of flyash block was investigated. It was revealed that the chemical additives and flyash played an important role to determine the characteristic of sound absorption. Chemical additive affects the capability of sound absorption while flyash affects the characteristic of sound absorption, i.e. high value of the sound absorption coefficient at the specific frequencies(1kHz and 2kHz). The flyash block showed higher sound absorption coefficient than that of the commercial concrete block having carpet on the surface. It was also shown that the sound absorption coefficient increases with increase of the content of flyash in the block. However, it was found that the 70wt% of flyash in the flyash block was the optimum content to obtain the highest sound absorption coefficient.

Key words: Flyash block, sound absorption, chemical additives, recycle

1. 서 론

인구가 증가하고 산업규모가 늘어나면서 생활폐기물과 산업폐기물의 배출량이 증가하고 있다. 이렇게 늘어나는 폐기물의 대부분은 수집·운반을 거쳐 매립하거나 소각처리를 하고 있으며, 이 과정에서 많은 환경오염과 비용을 수반하고 있다.¹⁾ 특히 우리나라에서 중요한 전력원인 석탄 화력으로부터 생산되는 flyash는 대표적인 산업폐기물로서, 1991년 동력자원부 “장기전력수급계획(1991 - 2006)”에 따르면 유연탄 발전설비 및 이용률 증가로 인하여 flyash 발생량이 1990년에 190만 톤에서, 2000년에는 약 500만톤으로 증가하며, 2006년에는 약 600만톤이 될 것으로 추정하고 있다.²⁾ 지금까지 국내·외에서 flyash의 재활용을 위한 연구가 진행되어 왔으

며, 최근에는 70%이상의 flyash가 함유된 블록을 제조하여 건축자재의 용도로 활용할 수 있는 연구가 발표되었다³⁾. 그러나 이러한 연구에도 불구하고 아직 실제적인 건축자재용으로서의 flyash 활용도는 극히 미미한 실정이다.

Flyash를 우수한 품질의 콘크리트용 혼화재료로 사용하고자 할 때 가장 중요한 요건은 미연탄소분의 저감, 균일한 입도, 균일한 화학성분이다. 그러나 발전소 집진기에서 나오는 flyash는 석탄의 종류와 발전소 출력의 증감정도, boiler condition 등에 따라 달라지며, 더구나 유연탄과 무연탄의 종류에 따라서는 판이하게 다른 성질의 제품이 생산된다. 우리나라의 경우 flyash 재활용율은 약 25%로써, 구미 선진국(45-55%)에 비하여 매우 낮은 실정이다. 따라서 대부분의 flyash가 지반에 매립되는 실정이다. 그러나 flyash의 매립은 지반의 오염이라는 새로운 환경문제를 야기하므로 flyash의 재활용에 관한 연구가 시급히 필요한 실정이다.^{4,5)}

최근 일부에서는 화력발전소에서 발생하는 flyash

Corresponding Author : Hong-sik Byun, Dept. of Industrial Chemistry, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-53-580-5569
E-mail : hsbun@kmu.ac.kr

의 입도를 일정하게 유지하며, 일반 flyash를 적절한 풍속, 풍량, 풍압으로 조절기를 통과시킨 후 분류하여 미연탄소가 저감된 고순도의 flyash를 포집하고 있으므로 flyash의 재활용에 많은 도움을 주고 있다. 현재 우리 나라에서는 flyash를 지정부산물로 정하여 재활용에 노력하고 있는데, 그 내용을 보면 96년에는 27.4%, 98년에는 35.0%, 2001년에는 40.0%의 재활용을 목표로 하고 있다.⁶⁾ Flyash의 재활용 방안으로는 시멘트 혼화재, 콘크리트블록, 고화건재, 시멘트 점토재와 같은 건축자재로서의 활용 외에도 토량개량재, 각종 필러, 안정 노반재, 합판접착제 등 다방면으로 활용하고 있다.⁷⁻¹⁰⁾ 그러나 건축자재로 재활용하는 flyash의 새로운 기능, 즉 흡음기능에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 flyash를 이용하여 블록을 제조하고, 이때 flyash가 블록의 흡음기능에 미치는 영향을 분석함으로써 flyash의 기능을 다양화하여, 재활용도를 높이고자 하였다. 이때 flyash의 양을 조절하여(0-75wt%) flyash의 흡음성능에 대한 효과를 분석하였으며, 블록 제조시에 첨가되는 화학첨가제에 의한 흡음특성도 분석하였다.

2. 실험

2.1. 재료 및 조성

2.1.1. Flyash

본 연구에서 사용한 flyash는 서천과 보령 화력발전소에서 구입하였으며 성분 및 조성은 Table 1과 같다.

Flyash의 조성을 표준 성분과 비교한 결과 큰 차이가 없음을 보여주고 있으며 실험에서는 flyash의 입도 및 미연탄소 성분의 크기가 작을 수록(35 μ m) 기계적 강도 및 수밀성의 증가가 있으므로 10mesh (2mm)체(seive)를 사용하여 flyash의 크기를 일정하게 하였다. Flyash와 더불어 블록제조에 사용된 모래는 일반 블록제조 및 건축 자재용으로 사용되는 모래를 구입하여 사용하였으며, 수분에 의한 변수를 줄이기 위하여 완전 건조시킨 후 사용하였다.

Table 1. Properties and compositions of flyash obtained from Sucheon and Boryung

Chemicals	Standard flyash (KS L5405)	flyash	
		Sucheon	Boryung
SiO ₂		58-63	56-66
Al ₂ O ₃	> 70.0	21-22	22-23
Fe ₂ O ₃		4-5	4-8
Na ₂ O	< 1.5	0.3-0.4	0.2-0.4
SO ₃	< 5.0	0.1-0.3	0.1-1.5
MgO	< 5.0	1.0-1.2	0.9-1.2

2.1.2. 블록제조에 사용된 화학첨가제

화학첨가제는 본 연구실에서 자체 개발한 것을 사용하였으며, 본 연구에 앞서 실행한 연구에서 화학첨가제 5wt%가 flyash 블록 제조에서 최적의 압축강도(80kg/cm² 이상)를 나타내는 wt%임을 알 수 있었다³⁾. 따라서 본 연구에서도 화학첨가제 사용량을 5wt%로 제한하였으며, 그 조성은 Table 2와 같다.

Table 2. Composition of the chemical additive.

Chemicals	Alkali	Inorganics	Surfactant
wt%	81	17	2

2.2. 블록의 조성 및 제조

블록의 시편은 시판되는 중공블록(hollow block)과는 다르게 둥근 벽돌 형태로 제작하였으며, 각 그룹별로 저주파 측정용(100 ϕ *30mm)과, 고주파 측정용(29 ϕ *30mm)을 제작하였다. KO그룹은 흡음성능에 대한 화학첨가제의 효과를 알아보기 위한 것이며, H그룹은 시편 내 flyash의 함유량을 0 ~ 75wt%로 변화시켜 flyash의 흡음성능에 대한 효과를 알아보기 위한 것이다. 제작된 시편은 상온에서 24시간 자연 양생시킨 후, 65 $^{\circ}$ C, 95%습도에서 다시 25시간 양생하였다. Table 3은 블록의 화학적 조성을 보여 준다.

Table 3. Composition of flyash block.

Group	Sample No.	Flyash (wt%)	Cement (wt%)	Sand (wt%)	Chemical additive (wt%)
KO	KO1	75	20	5	0
	KO2	70	20	5	5
	KO3	70	20	10	0
H	H11	75	15	5	5
	H12	70	20	5	5
	H13	45	45	5	5
	H14	25	65	5	5
	H15	15	75	5	5
	H16	0	90	5	5

2.3. 블록의 흡음 측정

측정 방법으로는 SIGNAL ANALYZER 2035 (B&K)에 의한 관내법(수직입사흡음률)을 이용하였으며, 저주파영역(16-1600Hz)과 고주파영역(2-5kHz)으로 구분하여 측정하였고, logarithmic 밴드필터로 분석하였다. 시편의 흡음은 각 그룹별로 저주파용 3개, 고주파용 3개씩 측정하여 평균값을 취하였다.

Fig. 1은 관내법의 간단한 도해를 보여 준다.

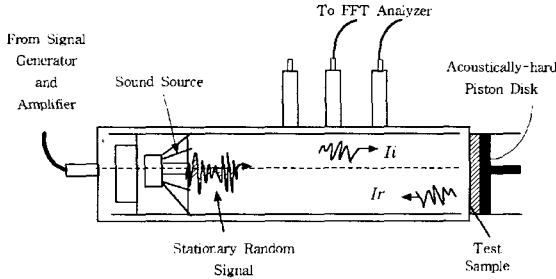


Fig. 1. Schematic diagram of equipment for the measurement of sound absorption coefficient using tube.

3. 결과 및 고찰

3.1. 화학첨가제의 흡음효과

Table 4와 Table 5는 각각 flyash 블록과 일반 건축자재들의 흡음계수를 측정된 자료이다. 여기서 화학첨가제의 흡음에 대한 영향을 정리한 것이 Fig. 2이다. Fig. 2에서 화학첨가제가 첨가된 flyash 블록

Table 4. Sound absorption coefficient of flyash blocks.

Frequency (Hz)	KO1	KO2	KO3	H11	H12	H13	H14	H15	H16
16	0.053	0.000	0.010	0.010	0.000	0.000	0.002	0.036	0.008
20	0.025	0.000	0.013	0.003	0.001	0.005	0.012	0.015	0.016
25	0.049	0.017	0.025	0.017	0.016	0.009	0.016	0.020	0.027
31.5	0.010	0.001	0.000	0.004	0.003	0.003	0.007	0.005	0.005
40	0.017	0.017	0.013	0.008	0.014	0.013	0.013	0.015	0.019
50	0.012	0.011	0.011	0.008	0.020	0.012	0.012	0.010	0.012
63	0.011	0.009	0.012	0.010	0.013	0.012	0.011	0.010	0.010
80	0.019	0.009	0.017	0.011	0.008	0.010	0.012	0.004	0.010
100	0.013	0.011	0.016	0.009	0.014	0.009	0.009	0.006	0.008
125	0.018	0.015	0.020	0.015	0.014	0.014	0.012	0.012	0.014
160	0.015	0.013	0.016	0.014	0.015	0.012	0.014	0.011	0.014
200	0.020	0.018	0.022	0.019	0.016	0.019	0.019	0.020	0.020
250	0.019	0.018	0.021	0.019	0.021	0.017	0.017	0.017	0.017
315	0.023	0.022	0.023	0.022	0.023	0.020	0.020	0.023	0.021
400	0.027	0.028	0.026	0.028	0.031	0.023	0.023	0.034	0.026
500	0.034	0.038	0.032	0.035	0.039	0.026	0.031	0.079	0.034
630	0.061	0.077	0.050	0.062	0.080	0.042	0.069	0.329	0.082
800	0.209	0.371	0.153	0.244	0.376	0.133	0.315	0.228	0.224
1000	0.512	0.541	0.436	0.502	0.552	0.503	0.429	0.120	0.329
1250	0.242	0.121	0.313	0.247	0.140	0.383	0.252	0.349	0.326
1600	0.082	0.057	0.114	0.087	0.072	0.106	0.079	0.187	0.085
2000	0.215	0.441	0.184	0.245	0.461	0.119	0.317	0.253	0.170
2500	0.129	0.161	0.107	0.119	0.159	0.076	0.122	0.109	0.105
3150	0.129	0.099	0.101	0.093	0.102	0.064	0.080	0.075	0.087
4000	0.272	0.178	0.213	0.152	0.184	0.106	0.167	0.111	0.156
5000	0.351	0.386	0.503	0.233	0.378	0.284	0.520	0.341	0.357
NRC	0.195	0.260	0.168	0.200	0.268	0.166	0.199	0.117	0.138

Table 5. Sound absorption coefficient of commercial construction materials¹²⁾.

Construction materials [Sample code]	Frequency(Hz)						NRC
	125	250	500	1000	2000	4000	
Brick(Soft surface) [B1]	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.038
Brick(Soft surface with paint) [B2]	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.018
Concrete block with paint [CB1]	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.068
Floor material made by concrete [CB2]	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	0.016
Carpet on the concrete [CB3]	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.293
Glass [G1]	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.038
Pannel (fiberglass, 38mm thickness) [P1]	0.86	0.91	0.80	0.89	0.62	0.47	0.625

의 경우(KO2) 여러 주파수에서(40Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz, 1000Hz, 2000Hz, 2500Hz, 5000Hz) 높은 흡음성능을 보여 주고 있으며, 그 다음은 화학첨가제가 없으나 flyash의 함량이 증가된 KO1이 우수한 성능을 보여 주고 있다. 이것은 화학첨가제가 flyash 블록에서 결합력을 높여 음의 침투를 방지함으로써 음의 투과손실을 감소시킨 결과이며, 화학첨가제가 없는 경우 flyash의 조밀한 구조가 이러한 역할을 대신하여 흡음효과를 증가시킨 것으로 생각

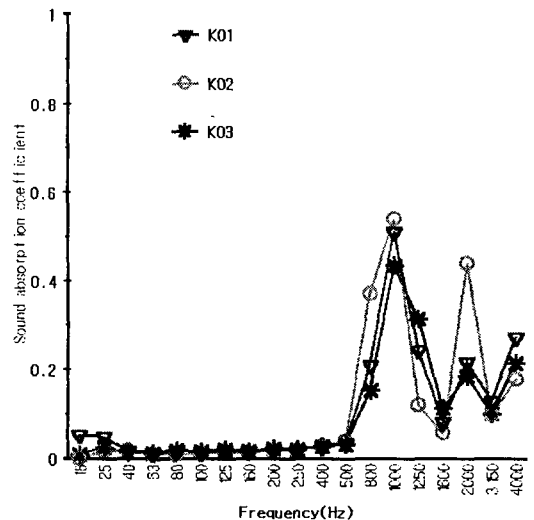


Fig. 2. Changes of sound absorption coefficient of flyash blocks with changes of chemical additive at various frequencies.

된다. 화학첨가제의 또 다른 역할로써 음이 입사하여 진동에너지로 변환하고, 이것이 열에너지로 소멸될 때 화학첨가제에 들어있는 화학물질들이 콘크리트나 일반 건축재료보다는 그 효과를 크게 한다고 볼 수 있다. 이것은 Fig. 3에서 더욱 뚜렷이 나타나고 있다. 콘크리트 블록과의 흡음계수 비교에서(주요 주파수별 비교) carpet이 있는 블록을 제외하고는 flyash 블록의 탁월한 흡음성능을 보여 주고 있다. 특이한 것은 flyash 블록의 경우 고주파(1kHz와 2kHz)에서 아주 높은 흡음성능을 갖고 있는 것이다. 특히 1kHz에서는 carpet을 붙인 콘크리트 블록 보다 월등히 높은 흡음성능을 보여 준다. 이것은 특정한 주파수에서 흡음이 요구될 때 flyash 블록이 아주 유용하게 활용될 수 있다는 것을 보여주며, carpet을 붙이지 않아도 더 우수한 흡음성능을 보이므로 건축단가도 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 저주파에서도 일반 콘크리트 블록 제품(CB2) 보다 약간 우수한 흡음성능을 보여주고 있다. Noise reduction coefficient(NRC)의 비교에서도 flyash 블록의 우수한 흡음성능을 알 수 있다(Fig. 4). 여기서 NRC는 4군데 주파수(250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz)에서의 흡음계수의 평균값을 의미한다. Flyash 블록의 NRC값이 carpet를 붙인 콘크리트 블록과 거의 유사한 것을 볼 수 있다. 즉 주요 주파수대에서는 flyash 블록의 흡음성능이 carpet의 효과와 동일하다는 것을 알 수 있다. 이것은 flyash 블록에 있는 화학첨가제로 인한 결합력의 증가 때문이라고 생각된다.

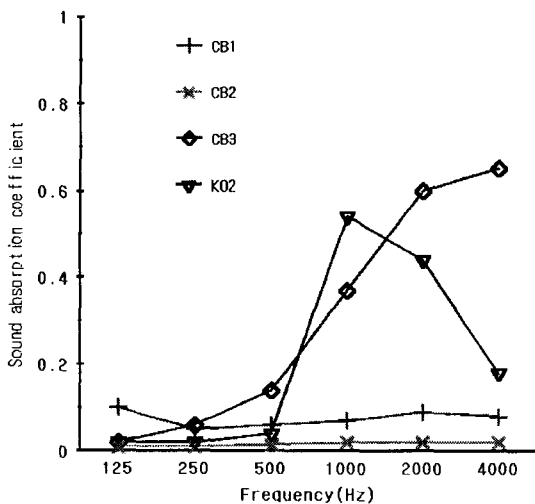


Fig. 3. Comparison of sound absorption coefficient of flyash blocks and commercial concrete block.

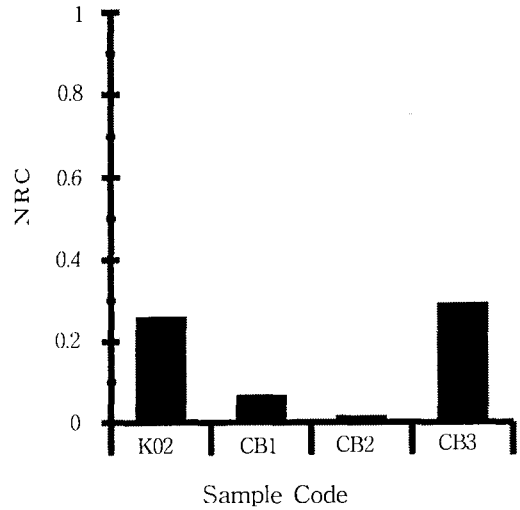


Fig. 4. Comparison of NRC of flyash block having the highest sound absorption coefficient and commercial concrete block.

3.2. Flyash의 흡음효과

Fig. 5와 Fig. 6은 flyash 함량의 변화에 따른 흡음성능의 변화를 각 주파수 및 주요 주파수별로 나타낸 그림들이다. Fig. 5에서 flyash의 함량이 70wt%일 때 흡음성능이 최대인 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 6에서 보면 flyash의 함량이 감소할수록 1kHz와 2kHz에서 흡음계수가 감소함을 알 수 있다. 그러나 flyash의 함량이 최적의 조건을 넘어서면 도리어 흡음성능이 저하되는 것을 볼 수 있으며, 2kHz에서는 이러한 현상이 뚜렷한 것을 볼 수 있다. 이것은 flyash의 또 다른 특징을 보여 주는 것으로, flyash의 함량이 최적의 조건(70wt%)을 넘어서면 flyash의 조밀한 구조가 도리어 음의 전달 역할을 담당하는 것으로 생각된다. 이것은 흡음재의 구조가 조밀한 것 보다, 내부에 어느 정도의 공기층이 있는 것이 더 우수하다는 연구결과와 동일한 현상이다.¹¹⁾

Fig. 5의 H12와 Fig. 4의 KO2는 동일한 조성의 시편을 다른 일자에 각각 제작한 것으로 흡음계수의 비교에서 우수한 재현성을 알 수 있다. Fig. 7의 NRC비교에서도 역시 같은 결과를 보여 준다. 최적의 flyash 함량이 70wt%이며, 우수한 재현성을 알 수 있다. 또한 H11과 KO1은 둘 다 75wt% flyash를 함유한 것으로 NRC의 비교에서 서로 유사한 값을 보여 주고 있다. 즉 화학첨가제가 cement의 효과를 어느 정도 대체해 주고있음을 알 수 있다.

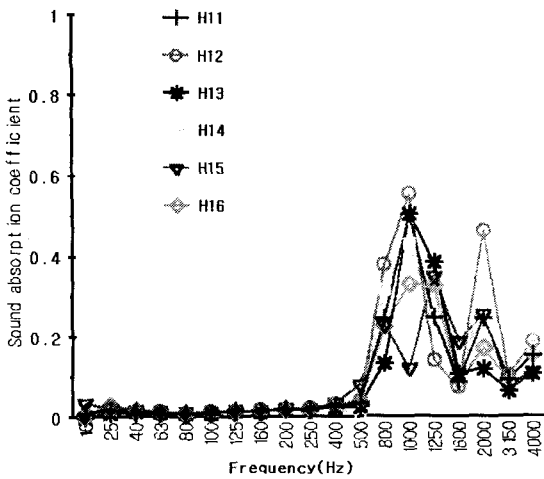


Fig. 5. Changes of sound absorption coefficient of flyash blocks in every frequencies depending on the composition of flyash.

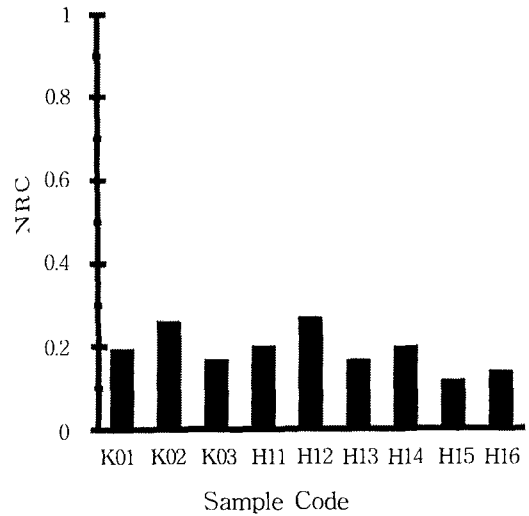


Fig. 7. NRC of flyash blocks.

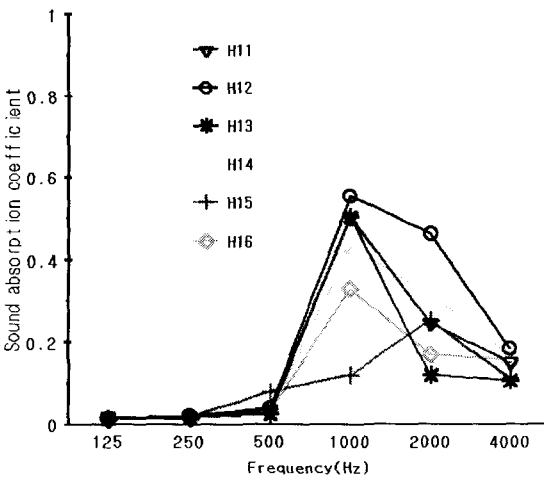


Fig. 6. Changes of sound absorption coefficient of flyash blocks in major frequencies depending on the composition of flyash

4. 결론

본 연구에서는 flyash를 건축자재로 활용할 경우 flyash의 수밀성증가 및 건축단가의 감소외에 또 다른 유용한 효과를 부여하여 flyash의 재활용을 높이고 기능성 건축자재로써 활용될 수 있는 가능성을 조사하였다. 앞선 연구에서 flyash는 충분히 블록의 강도를 유지할 수 있었으며, 이때 개발된 화학첨가제는 flyash와 반응하여 특정한 주파수에서 상당한 흡음의 효과를 발휘한다는 것을 이번 연구에서 알 수 있었다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 흡음의 최대성능은 flyash의 함량이 70wt%일 때 나타났으며, 1kHz에서의 흡음성능은 carpet의 효과보다 더 우수한 것을 알 수 있었다.

2) Flyash의 조밀한 구조보다, 화학첨가제의 역할이 흡음성능에 더 영향이 있었다. 이때 화학첨가제가 있는 블록의 경우 없는 블록보다 약 30%의 성능향상이 있었다.

3) 화학첨가제의 흡음에 대한 영향은 저주파보다는 고주파, 특히 1kHz와 2kHz에서 뚜렷이 나타났다. 따라서 flyash 블록은 특정 주파수, 즉 1kHz와 2kHz에서 발생하는 소음에 탁월한 흡음능력을 보여 주리라 생각된다.

4) Flyash 블록은 일반 콘크리트블록에 비하여 흡음성능이 더 우수하였으며, NRC비교에서는 carpet가 붙어있는 콘크리트블록과 거의 유사한 성능을 보여주었다.

참고문헌

- 1) 환경부, 1996, 폐기물 재활용 정책방향, 환경정책 보고서.
- 2) 한국전력공사, 1996, 석탄회 이용가치와 재활용 기술, 연구보고서.
- 3) 변홍식, 장성호, 황명운, 1997, 플라이 애쉬를 이용한 블록의 제조 및 화학첨가제의 압축강도에 대한 영향, 계명대학교 산업기술연구소 논문집 20, 101-109.
- 4) 오성원, 1996, 석탄회처리 현황과 대책, 석탄회(flyash)활용 국제 워크숍, 1-16.

- 5) 삼천포 화력발전소, 1998, 석탄재 재활용, 연구보고서
- 6) 환경부, 1998, 지정부산물 재활용, 연구보고서
- 7) Shinozaki, S., 1996, 일본의 석탄회 재활용 현황, 석탄회(flyash)활용 국제 워크숍, 17-44.
- 8) ACI committee 226, 1994, Use of Flyash in Concrete, Committee Report.
- 9) 한국자원연구소, 1993, 석탄 및 석탄폐석의 활용 연구, 연구보고서
- 10) Styron, R. W., 1990, Quality Control and Beneficiation of Flyash, Proc. 2nd Int. Ash Util. Symp., Pittsburgh, USA, 10-11.
- 11) Moulder, R., 1991, Sound-Absorptive Materials, in Handbook of Acoustical Measurement and Noise Control, C.M. Harris(Ed.), McGraw-Hill Inc.
- 12) 양관섭, 1998, 건축물의 음환경 설계와 음향재료, 건설기술정보, 3, 6-12.