

목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술(II)^{*1} - 목탄 함유 건축자재의 에너지 절감 및 차음 특성에 관한 연구 -

안 병 준^{*2†} · 백 기 현^{*3}

Utilization of Charcoal as an Environmentally Friendly Building Materials (II)^{*1}

- A Study on the Energy Saving and Sound Insulation Characteristics of
Building Materials Prepared with Charcoal -

Byoung-Jun Ahn^{*2†} · Ki-Hyon Paik^{*3}

요 약

본 연구는 목탄을 첨가한 건축자재의 에너지 절감 및 차음특성을 조사하기 위하여 수행되었다. 건축자재 형태에 따른 특성을 조사하기 위하여 3동의 실험 건물을 신축하였다. 이들 실험 건물은 각각 일반건축자재(A), 목탄 건축자재(B) 및 목탄 sericite 건축자재(C)를 사용하여 신축하였다. 건축자재 형태별 동절기의 보일러 난방 기름소모량을 조사한 결과, B를 사용할 경우 A를 사용한 건물과 비교하여 평균 9.5%, C를 사용할 경우에는 평균 14.9%의 기름절감 효과를 나타냈다. 특히 기름 절감효과는 외부기온이 낮을수록 큰 것으로 조사되었다. 또한 B를 적용한 건물은 A나 C를 사용한 건물과 비교하여, 난방온도가 상당히 완만하게 낮아졌으며, 보일러 가동 중단 12시간 경과 후 지상 1미터 공기부에서 3.5~4.2°C, 바닥표면에서는 4.4~5.4°C 높게 나타났다. 건물 소음 시험에 있어서는, 목탄을 포함하는 시험체는 다층건물의 층간소음 기준으로 대표되는 중량충격음과 경량충격음 모두에서 저감효과를 나타냈다.

^{*1} 접수 2010년 2월 25일, 채택 2010년 11월 22일

^{*2} 국립산림과학원 녹색자원이용부 바이오에너지연구과. Division of Forest Bioenergy, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

^{*3} 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부. Department of Environmental Sciences and Ecological Engineering, College of Life Science & Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 안병준(e-mail: bjahn@forest.go.kr)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of energy saving and sound insulation of building materials mixed with charcoal. To investigate the functionality of building based on the difference of construction materials, three different experimental buildings were constructed. They were buildings built with the conventional construction materials (A), the charcoal construction materials (B), and the charcoal-sericite construction materials (C). The study showed that energy consumption could be reduced approximately 9.5% and 14.5% by replacing A with B and C, respectively. Especially, it is revealed that the lower outdoor temperature was, the higher energy saving effect was. Also, after shutoff the boiler switch the decrease rate of room temperature of the one using B was lower than those of others using A and C so that the room temperature at the building using B was higher by 3.5~4.2°C in the 1 meter air above the ground and by 4.4~5.4°C on the floor surface after 12 hours passed. In the building noise test the heavy- and light-weight impact sound of the plate, represented by criterion of noise between floors in multi-story building, tended to decrease in the test sample containing charcoal.

Keywords: charcoal, energy saving, sound insulation, light-impact sound, heavy-impact sound

1. 서 론

기후변화가 지구촌의 핵심이슈가 되면서 전 세계 국가에서 에너지 위기와 지구온난화 예방을 위한 대책 수립에 부심하고 있다. 정부에서는 2008년 국가 에너지 기본계획 3대 기본방향을 수립하여 에너지 안보, 에너지 효율 및 에너지환경이라는 명제를 제시하였다. 이와 더불어 기후변화 및 신·재생에너지 주요정책 발표를 통해 2020년 기준 국가 온실가스 감축목표를 2005년 대비 4% 감축하며, 온실가스 배출 감축과 관련하여 투자에 대한 인센티브 제공 등 저탄소 사회 구현을 위한 초석을 마련하였다. 그러나 중국, 인도 등 신흥 산업국가의 급속한 경제성장에 따른 국제유가 폭등으로 국내의 가정용, 산업용 연료 가격의 상승을 불러왔으며, 1980년대 이전까지 가정용 난방연료로 가장 널리 사용되었던 연탄사용이 급증하는 현상으로까지 이어졌다. 이러한 국제적인 유가 불안 및 화석연료 고갈 문제는 궁극적으로 해결해야만 하는 과제로 국가 차원에서 장기적인 대책 마련이 요구되며, 효율적인 에너지 절감자재, 기기 및 시

스템 개발은 당연한 필수사항으로 간주되고 있다. 최근 산업체나 학계에서도 이와 같은 에너지 절감을 위한 연구개발(Papadopoulos A. M., 2005; Cheung *et al.*, 2005)에 총력을 기울이고 있다. 특히 전통적으로 바닥 난방 방식인 온돌을 사용하는 국내에서는 바닥 마감재 등에 대한 열효율 연구(Yeo *et al.*, 2003; G. S. Song, 2005)가 다각적으로 진행되었다. 또한 환경적인 문제를 고려하여 농업 부산물인 팜 오일 껍질(Mannan *et al.*, 2003)이나 크라프트 펄프 잔사(Ismail Demir *et al.*, 2005) 등을 혼합한 건축자재의 특성개선 연구사례도 보고되고 있다.

또한 공동주택 보급이 일반화되면서 공동주택에서의 실내공기오염과 층간소음은 새로운 사회문제로 대두되었다. 단열재, 내부마감재 등과 같은 건축자재 및 생활용품으로부터 발생하는 포름알데하이드나 휘발성유기화합물로 인해 실내공기가 악화되면서 신축건물에서 두통이나 현기증, 메스꺼움 등을 호소하는 빌딩증후군이라는 새로운 증상이 나타나 실내 환경의 중요성에 대해 관심이 높아지고 있다. 한편 바닥충격음으로 규정되는 공동주택 상하층 간의 층간

소음 문제는 개인간의 분쟁을 넘어 법적인 규제(국토해양부 고시 제2009-658호, 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준)까지 이르게 되었다. 바닥충격음의 차음특성은 건물의 구조, 바닥슬래브 두께, 천장 및 바닥마감재 등 여러 가지 복합적인 요소에 영향을 받는데, 최근 들어 이러한 차음을 개선하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있으며, 특히 바닥마감재의 형태에 따른 바닥충격음 저감 연구(장 등, 2002; 정 등, 2004; 송 등, 2008)가 지속적으로 이루어지고 있다.

목재는 공기를 충분히 보충하면서 태우면 완전 연소하여 재만 남게 되지만, 공기를 차단하고 불완전 연소시키면 목탄이 만들어진다. 참나무 등을 이용한 목탄은 취사와 난방연료로 널리 사용되었으나, 최근에는 수중 및 탄화온도 변화(조 등, 2005; 2006) 등을 접목한 신용도 개발을 통해 농업, 임업, 수산업 및 공업적인 이용으로 확대되고 있다. 특히 목탄이 친환경 건축자재로서의 이미지가 부각됨에 따라 목탄으로 제조된 건축자재의 물리적 성질 및 흡착특성에 대한 연구(이 등, 2007; 안 등, 2009) 뿐만 아니라, 백탄의 우수한 전기·열전도 특성을 이용한 백탄보드의 제조조건 연구(이 등, 2005)를 통해 친환경적인 건축자재로서의 이용 가능성을 탐색하였으며, 습도가 높은 일본 등에서는 주택용 마루밑조습재로 이용하기 위한 다각적인 연구(瀧本 등, 2000; 森 등, 2000; 外崎 등, 2001)도 시도되었다.

따라서 본 연구에서는 목탄의 물리, 화학적 특성을 활용한 건축자재의 난방 에너지 절감, 축열 성능 및 바닥충격음 실험을 통한 차음특성 등을 조사함으로써 친환경 건축자재로의 실용화 가능성을 모색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 목탄 건축자재 제조방법

2.1.1. 목탄 액상물탈 제조방법

목탄 액상물탈은 제1공정으로 천연 바인더 제조 시 통상적으로 사용하는 방법으로, 식물에서 추출한 지방산 알코올과 올리브, 오렌지, 야자계 등과 같은

Table 1. Materials and mixture ratio of liquid charcoal mortar

| Materials | Weight ratio (%) | Remarks |
|---------------------------------|------------------|---|
| Natural binder | 55 | Vegetable polymer |
| Charcoal (40%) + Sericite (60%) | 40 | Average particle size 25 μm , 21 μm |
| Dispersing agent | 2 | Organic Polymer |
| Defoaming agent | 1 | Modified polysiloxane emulsion |
| Titanium oxide | 2 | Rutile type |
| Total | 100 | - |

식물에서 추출한 식물계지방산 알코올에 에탄올을 첨가하여 C₈~C₁₆의 지방산 알코올을 생산하였다. 제2공정은 제1공정에서 생산된 식물성 중합체에 다당류인 글루코오스녹말(비중 약 1.65)을 반응시키고 포도당과 송진을 혼합하여 70°C로 100분 가열하면서 저속으로 교반하여 합성한 후, 중합단위체에 에스테르화 반응으로 생산(식물성중합체 / 글루코오스녹말 / 포도당 / 송진 = 55 : 30 : 10 : 5)하였다. 제3공정은 진통식 숯가마에서 생산하여 분쇄한 참나무 백탄(500~1,000 mesh)과, sericite (600 mesh 이상)를 40 : 60으로 혼합하였다. 제4공정은 제2공정의 무공해 바인더와 제3공정에서 생산된 것을 고속교반기에서 고르게 혼합하면서 일반적으로 사용되는 분산제, 소포제 및 산화티탄 등을 첨가하여 목탄 액상물탈을 제조하였으며 혼합비는 Table 1과 같다.

2.1.2. 목탄 건조물탈 제조방법

목탄 건조물탈은 목탄을 미분말로 파쇄 건조하는 공정, 시멘트에 건조된 모래를 혼합하는 공정 및 상기 혼합된 물탈에 건조된 목탄을 혼합하는 공정을 통하여 제조하였다. 시멘트 25%에 1,000°C에서 소성 건조된 입경 170 mesh 정도의 모래 65%와 1,000°C에서 소성 건조된 입경 100~450 mesh 정도의 목탄 10%를 벌크 통에서 혼합하여 스크류 믹서기를 통해 완전히 혼합한 후 포장하였다. 이 경우 목탄은 햄머크래시를 이용하여 3차에 걸쳐 파쇄하고 진동분쇄기로 분쇄한 후, 소성, 건조 및 냉각공정을 거쳐 저장하였다.

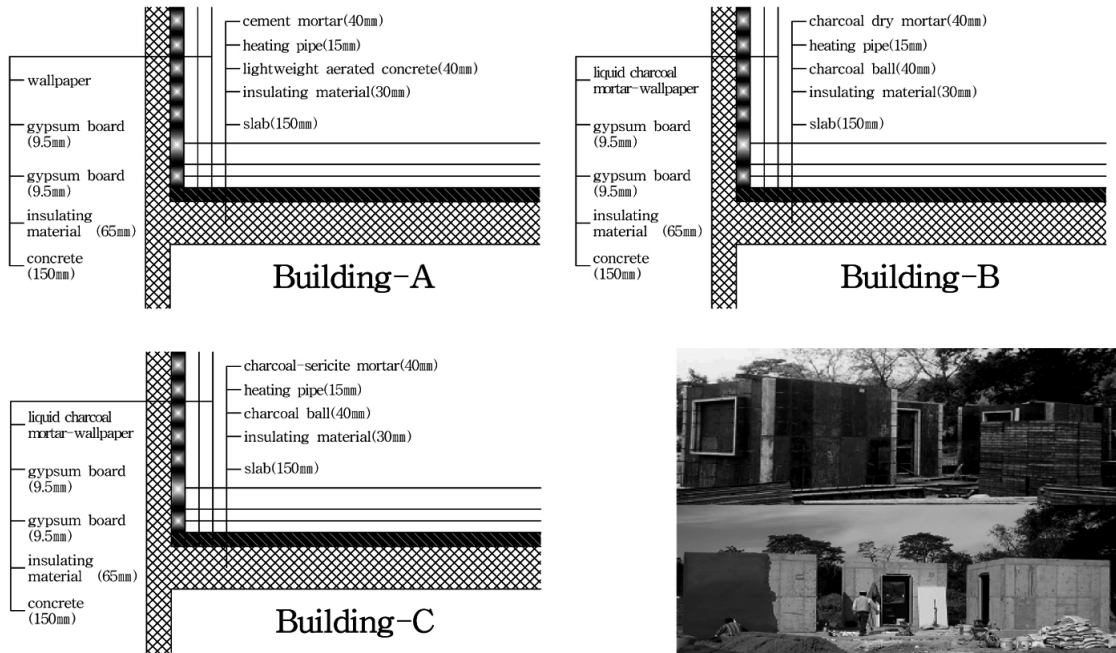


Fig. 1. Partial cross-section of test buildings and construction.

2.1.3. 목탄 Sericite 몰탈 제조방법

목탄 sericite 몰탈 제조방법은 2.1.2 목탄 건조몰탈 제조방법과 동일하지만, 모래를 65% sericite로 대체하여 조제하였다.

2.1.4. 목탄자갈 제조방법

목탄자갈은 제1공정에서 탄소함량 90% 이상, 휘분 3% 이상의 전통식 숯가마에서 생산된 참나무 백탄을 100 mesh 이상으로 분쇄한 분말 35%와 120 mesh 이상의 맥반석 분말 30%, 200 mesh 이상의 점토분말 20%, 200 mesh 이상의 마그네사이트 분말 10% 및 규산나트륨(비중 1.5g/cm³) 5% 중량 비율로 교반기에서 15분 이상 혼합하였다. 제2공정은 상기 혼합물을 소정의 금형에 넣어 150 kg/cm² 내외의 압축성형기에 넣어 압축하고, 제3공정에서는 압축 성형물을 50~80°C의 전기건조대에서 5시간 이상 건조한 후, 최종적으로 제4공정에서 상기 건조상태의 고형물을 150°C로 1시간 저온 소성하여 제조하였다.

2.2. 목탄 건축자재 실험동 건물 신축

목탄 건축자재 및 목탄 혼합 건축자재의 기름소비량, 축열량 및 실내 유해가스 흡착 등의 효능을 검토하기 위하여 경기도 남양주시 와부읍 도곡1리 산84번지 소재 부지에 정남향의 실험동 건물 3동을 신축하였다(Fig. 1). 건물면적은 동일한 크기(3.0 m × 3.0 m × 2.6 m)로 조절하였고, 일반적인 콘크리트 건축 자재(A동), 목탄 건축자재(B동) 및 목탄 sericite 건축자재(C동)로 각 각 구분하여 바닥 및 벽면시공을 실시하였다. 일반 콘크리트 건물(A동)의 바닥은 슬라브(150 mm)-단열재(30 mm)-경량기포콘크리트(40 mm)-난방배관(15 mm)-시멘트몰탈(40 mm)로, 벽면은 콘크리트(150 mm)-단열재(65 mm)-석고보드(9.5 mm)-석고보드(9.5 mm)-벽지 형태로 시공하였다. 목탄 건축자재를 사용한 건물 B동은 바닥(슬라브 150 mm, 단열재 30 mm, 목탄자갈, 40 mm, 난방배관 15 mm, 목탄건조몰탈 40 mm)과 벽면(콘크리트 150 mm, 단열재 65 mm, 석고보드 9.5 mm, 석고보드 9.5 mm, 목탄액상몰탈, 벽지)시공을 하였다.

목탄액상물탈은 바닥분과 출입문, 창문을 제외한 벽면과 천정 면적(22 m^2)에 대하여 $0.15 \sim 0.35 \text{ mm}$ 두께 분포로 11 ℓ 를 분사·도포하였다. 한편 건물 C동은 벽면시공은 B동과 동일하고, 바닥시공에서 목탄 건조물탈을 sericite를 사용한 목탄 sericite 물탈로 대체하여 시공하였다. 실험동 위치에 따라 풍향 등 외부 환경요인의 차이를 최소화하기 위해 실험동 외부에 전체적으로 프레임을 세우고 두꺼운 천막을 덮은 상태에서 실험을 진행하였다.

2.3. 실험동 건물 부대장비

2.3.1. 보일러

실험동 간의 기름소비량, 축열량 등을 측정하기 위하여 각 실험동별로 가정용 기름보일러를 1기씩 설치하였다. 기름연소 온수보일러(KDB-90SD)로 경유를 연료로 사용하는 압력분무식의 연소방식이며, 2회로식 가열방식의 시스템식 급수방식의 보일러를 사용하였다.

2.3.2. 소형 정밀 터빈 유량계

보일러 가동에 따른 정확한 기름소비량을 측정하기 위하여 기름 탱크로부터 보일러로 유입되는 배관 사이에 소형 정밀 터빈 유량계를 보일러별로 각각 설치하였다. 터빈 유량계는 황동(brass) 재질로 유량($13 \sim 100 \text{ cc/min.}$) 조절이 가능한 디지털 계기판이 부착된 사양의 제품을 사용하였다.

2.3.3. 자동 온도기록장치 및 온도센서 케이블

실험동 내부의 실내온도 측정을 위하여 온도 측정 디지털 다용도 기록계(YOKUGAWA UR180/M41)를 설치하였으며, 실험동별로 온도센서 케이블(K Type)을 연결하여 천정에서 고정된 후, 바닥으로부터 약 1미터 지점에 각 4개 및 보일러 배관이 통과하는 3지점 등 7개를 설치하였다.

2.4. 건축자재 종류에 따른 건물 특성 조사

2.4.1. 보일러 기름소비량 측정

목탄의 주요 특성인 축열기능을 이용하여 건물의 보일러 기름소비량 변화를 측정하여 기능성 건축자재 사용에 따른 유류 절감량을 조사하였다. 각 실험동(A동, B동, C동)에 대하여 실내에 설치된 보일러 control box의 온도를 $25.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 조절한 후, 디지털 다용도 기록계에 온도센서 케이블(K type)을 연결하여 실내 및 실외온도를 확인하였다. 또한 실외 환경요인(풍향, 풍속 등)의 영향을 최소화하기 위해 건물 외부에 비닐 천막을 설치하였다. 보일러의 기름 사용량은 보일러에 연결된 정밀유량계에 표시된 유량을 오전 9시 및 오후 9시에 하루 2회 측정하였으며, 30일간 측정된 자료를 누적하여 1 cycle로 평가하였다.

2.4.2. 축열효과 측정

일반 건축자재와 기능성 건축자재의 축열 효율을 비교하기 위하여 일정한 실내온도($25.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$) 조건에서 보일러 가동을 중지시킨 후, 실내 지상 1미터 공기부 온도 및 바닥표면(보일러 관이 지나가는 위치)에서의 온도 변화를 측정하였다. 기름절감량과 마찬가지로 실내에 설치된 보일러 control box의 온도를 $25.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 조절한 후, 디지털 다용도 기록계에 온도센서 케이블(K type)을 연결하여 실내 및 실외 온도를 오전 및 오후에 12시간 간격으로 2회 측정하여 평균하였다.

2.5. 층간소음 측정

2.5.1. 시험체 제작 및 시험

건축자재별 경량충격음과 비공인 중량충격음 측정을 위해 시험편(길이 $4.200 \text{ mm} \times$ 폭 $3.000 \text{ mm} \times$ 두께 260 mm (면적 12.6 m^2))을 Total산업(경기도 여주 소재)에서 제작한 후 한국방재시험연구원(서울)에서 실시하였다. 층간소음 측정을 위한 시험체는 Fig. 2와 같이 목탄건조물탈 40 mm , 목탄 자갈 40 mm , 단열

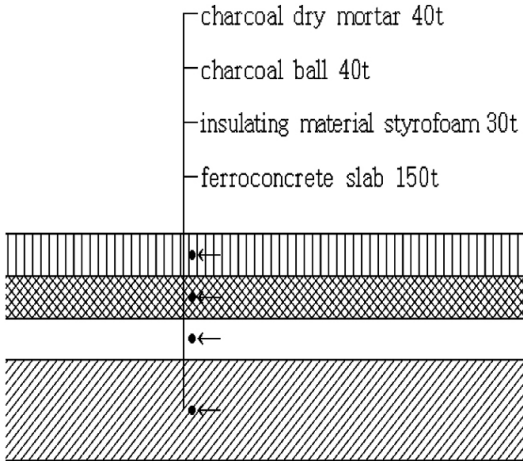
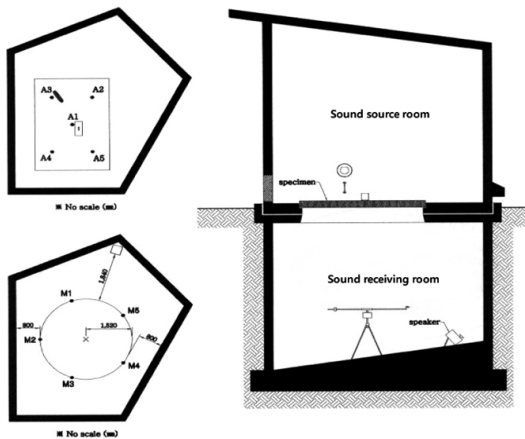


Fig. 2. Partial detail drawing of testing plate.



※ A1-A5 : Impact point, M1-M5 : Microphone position, Sound receiving point : 1.5m from the floor
Fig. 3. Plot plan of floor impact sound test.

재스티로폼 30 mm, 철근콘크리트 슬라브 150 mm로 구성하였으며, 기준판은 철근콘크리트 슬라브 150 mm를 사용하였다. 바닥충격음 시험 중, 경량충격음은 KS F 2865 : 2002 (표준 콘크리트 바닥 위 마감구조의 경량충격음 레벨 저감량 실험실 측정방법), 중량충격음은 KS F 2810-2 : 2001 (바닥충격음 차단성능 현장 측정방법)을 준용하여 측정하였다.

2.5.2. 충격음원 설치 및 수음실 바닥충격음의 측정

충간소음 측정을 위한 잔향실은 Fig. 3의 철근콘크리트조의 다면체 형태로 음원실은 269.0 m³, 수음실은 217.2 m³ 용적으로 시설하였다. 음원 발생장치는 경량충격음(태핑머신, B&K 3204)과 중량충격음(뱅머신, 5.00-8.4PR, INOUE)으로 구분하여 사용하였으며, 마이크로폰은 무지향 특성을 가진 기기(B&K 4192 및 4193), 음압레벨측정기로는 실시간 주파수분석기(B&K 2144)를 사용하였다. 시험 중 충격음발생기(경량 및 중량충격음원)는 바닥시험체의 중앙과 이로부터 모서리와의 중간 4개 지점 등 5개 지점에 설치하였으며, 수음실의 평균음압레벨의 측정을 위한 마이크로폰 위치는 잔향실 마이크로폰 상호간에 1미터 이상 이격되고, 시험체면 및 벽면으로부터 0.5 m 이상 이격되는 5개 지점에서 총 25회 측정하였다.

한편 음원실과 수음실 사이의 층간바닥구조를 시험체로 하여 상층에서 충격음(경량 및 중량충격음)을 발생시켜 하층에서 바닥충격음 레벨을 측정하였으며, 측정된 바닥충격음 레벨은 수음실의 기준 등가 흡음력(10 m²)에 대한 보정값을 더한 표준화 바닥충격음 레벨(L'n)로 환산하였다. 중량충격음은 50~630 Hz 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드, 경량충격음은 100~3,150 Hz 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드를 측정하였다.

2.5.3. 바닥충격음 레벨 산출

바닥충격음 차단성능을 나타내는 수음실의 실내 평균 음압 레벨(L)은 다음 식 (1)으로 산출하였다.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (1)$$

여기에서 L_j : 수음실 내 측정점 j 에서의 음압 레벨(dB)
 n : 측정점의 수

또한 상기 실내 평균 음압 레벨(L)은 수음실의 흡음력에 따라 변동될 수 있으므로 기준 등가 흡음력 (10 m²)에 대한 값을 보정하여 다음 식 (2)에 따라 구

Table 2. Energy saving effect of charcoal and charcoal-sericite building materials

| | Outdoor temp. (°C) | Building A (control) | Building B | Building C |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|------------|
| | 3.7 | 130,542 | 117,253 | 109,400 |
| Total consumed oil (1 month) (mℓ) | 5.7 | 116,390 | 106,599 | 99,208 |
| | 15.7 | 77,621 | 69,867 | 67,482 |
| | Total | 324,553 | 293,719 | 276,090 |
| Average consumed oil (1 month) (mℓ) | | 108,184 | 97,906 | 92,030 |
| Average consumed oil (1 day) (mℓ) | | 3,606 | 3,264 | 3,068 |
| Energy saving ratio (%) | | - | 95 | 149 |

준화 바닥충격을 레벨($L'n$)로 산출하였다.

$$L'n = Li + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (2)$$

여기에서 Li : 바닥충격음 레벨 (dB)
 n : 측정점의 수
 A : 수음실 흡음면적
 A_0 : 기준 등가 흡음력 (10m²)

2.5.4. 배경소음의 영향보정

외부의 소음이나 수음실 내의 전기적 잡음 등 배경소음의 영향을 배제한 음압레벨은 다음 식 (3)으로 산출하였다. 또한 음압 레벨 차이가 6 dB 미만일 경우에는 보정을 하지 않았다.

$$L = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (3)$$

여기에서 L : 보정된 바닥충격음 레벨 (dB)
 L_{sb} : 배경소음이 포함된 바닥충격음 레벨 (dB)
 L_b : 배경소음 레벨 (dB)

3. 결과 및 고찰

3.1. 건축자재 형태에 따른 유류 소비량 변화

목탄을 첨가한 액상 몰탈, 건조시멘트 몰탈(안 등,

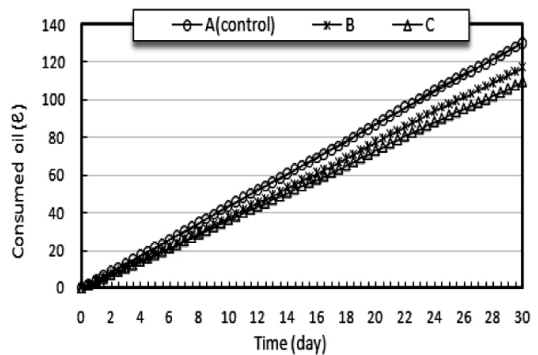


Fig. 4. Change of consumed oil vs time (outdoor temp. 3.7°C).

2009), 목탄 sericite 몰탈 및 목탄 자갈을 상이하게 조합하여 3개의 실험동 건물을 신축하였으며, 일반적인 콘크리트 건축 자재(대조구동, 이하 A동으로 표시), 목탄 건축자재(이하 B동으로 표시) 및 목탄 sericite 건축자재(이하 C동으로 표시)로 각각 구분하였다. 건축자재의 형태 및 외부 평균기온 변화에 따른 보일러 총 기름소비량, 월 평균 기름소비량, 1일 평균 기름소비량 및 기름절감량을 Table 2에 나타내었다.

평균 외부온도 3.7°C 조건에서 30일간 소비된 총 기름소비량을 조사한 결과, 일반건축자재 건물(A동)에서는 130,542 ml (4,351 ml/일), 목탄건축자재 건물(B동)에서는 117,253 ml (3,908 ml/일), 목탄 sericite 건축자재 건물(C동)에서는 109,400 ml (3,647 ml/일) 소비되는 것으로 나타났다. 일반건축자재를 적용한 A동과 비교하여 목탄건축자재 및 목탄 sericite 건축자재를 사용한 B동, C동은 각각 10.2%,

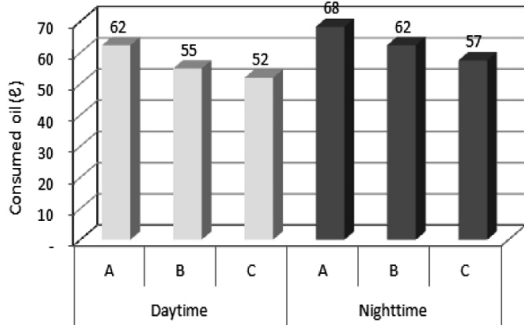


Fig. 5. Difference of consumed oil between day and night (outdoor temp. 3.7°C).

16.2%의 난방 경유 절감효과가 있는 것으로 조사되었다(Fig. 4). 또한 평균 외부기온 5.7°C 조건에서 소비된 30일간 총 기름소비량은 A동, B동, C동에서 각각 116,390 ml, 106,599 ml, 99,208 ml로 일반건축자재 건물인 A동 대비 B동, C동에서 각각 8.4%, 14.8%의 기름 절감효과를 보였다. 평균 외부온도가 높은 15.7°C의 조건에서는 상대적으로 외부 기온이 급격히 상승되었기 때문에 30일간 기름 소비량이 급격히 줄었으며, 각각 77,621 ml, 69,867 ml 및 67,482 ml로 10.0, 13.1%의 기름 절감 효과를 보였다. 국내의 동절기를 대표하는 3개월간의 평균 기름절감량은 목탄 건축자재 사용으로 9.5%, 목탄 sericite 건축자재 적용으로 14.9%를 나타냈으며, 특히 외부온도가 낮은 경우 절감효과가 더욱 큰 것으로 조사되었다. 일반적인 주거용 건축물, 특히 공동주택 건설공사 등에서 비구조용 온돌구조체내 단열, 차음 및 높이차 보정 등의 목적으로 사용되는 경량기포콘크리트는 시멘트의 슬러리 속에 미리 생성된 기포를 혼합시켜 양생한 콘크리트로서, 임(2008)은 경량기포콘크리트의 배합 조건에 따른 방열량 특성을 분석한 결과, 혼화재와 증점안정제를 첨가하여 단열능력이 향상되어 하부 열손실량을 약 20%까지 감소시켰으며, 이 등(2001)은 신·재생에너지원으로 각광받고 있는 태양에너지를 활용한 자갈축열 온실난방을 통해 난방연료 소비량을 50%까지 절감할 수 있다고 보고하였다.

한편 평균 외부기온 3.7°C에서 주간(09:00~21:00)과 야간(21:00~09:00)시간대의 기름 소비량 변화를 30일간 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 상대적

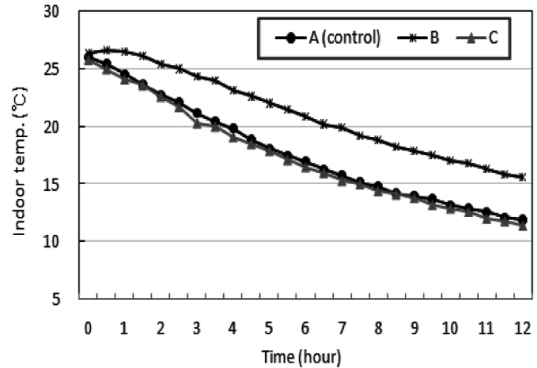


Fig. 6. Change of thermal storage (08:00~20:00).

으로 기온이 상승하는 주간에는 A동 62,287 ml, B동 54,884 ml, C동 51,903 ml로 일반건축자재를 적용한 A동과 비교하여 B동은 11.9%, C동은 16.7%의 난방 경유 절감효과를 보였으며, 상대적으로 기온이 낮아지는 야간에는 A동 68,255 ml, B동 62,369 ml, C동 57,497 ml의 총 기름소비를 나타내어 주간시간대와 비교하여 많은 기름이 소비되었으며, 일반건축자재를 적용한 A동 대비, 목탄건축자재인 B동은 8.6%, 목탄 sericite 건축자재인 C동은 15.8%의 난방 경유 절감효과를 나타내는 것으로 조사되었다. 이와 같이 일반건축자재를 목탄건축자재 또는 목탄 sericite 건축자재를 대체하여 적용할 경우, 10% 이상의 난방 경유 절감 효과가 있는 것으로 확인되어, 최근 전 세계적으로 이슈화되고 있는 화석연료 고갈에 따른 유가상승에 대처하고 지구온난화를 최소한으로 완화시킬 수 있는 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

3.2. 건축자재 형태에 따른 실내 축열 변화

일반건축자재, 목탄건축자재 및 목탄 sericite 건축자재 건물의 12시간 동안의 주간시간대(08:00~20:00)와 야간시간대(20:00~08:00)의 실내(지상) 온도 변화는 Figs. 6, 7과 같다. 목탄건축자재를 적용한 B동은 일반건축자재나 목탄 sericite 건축자재를 사용한 A동과 C동과 비교하여 주간·야간 측정치 모두 완만한 온도 저하를 나타내었다. 12시간 경과 후 목탄건축자재로 시공한 B동에서는 주간 15.6°C, 야간 14.5°C를 나타낸 반면, 일반건축자재로 시공된 A

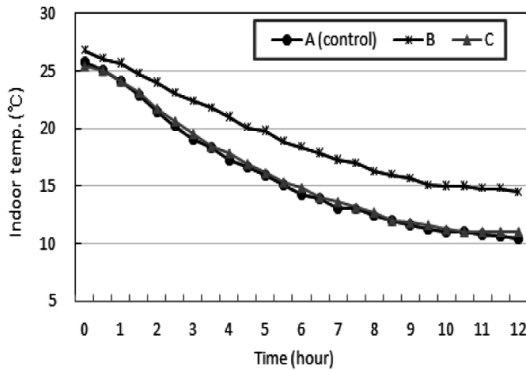


Fig. 7. Change of thermal storage (20:00~08:00).

동에서는 주간 11.9°C, 야간 10.4°C로 약 3.7~4.1°C의 온도 차이가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 목탄 sericite 건축자재로 시공된 C동은 주간 11.4°C, 야간 11.0°C로 A동과 유사한 결과를 나타내었다. 목탄 sericite 건축자재를 사용한 C동은 목탄건축자재를 적용한 B동보다 월등히 기름 절감 측면에서는 월등히 우수한 결과를 보였지만 축열 성능은 현저히 저하되는 것으로 조사되었으며, 이는 목탄 sericite 건축자재 제조 시 모래를 sericite로 대체한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 실내 온도변화를 바닥표면과 지상 1미터 공기부 두 곳에서 측정하였으며, 두 경우 모두 축열특성에 있어서는 유사한 경향을 나타내었다. 특히 바닥표면을 기준으로 조사한 결과, 측정 부위의 초기 온도에서는 다소간 차이를 나타냈으나, 12시간 경과 후 A동에서는 주간 14.5°C, 야간 13.1°C를 나타낸 반면, B동에서는 19.9°C 및 18.4°C로 약 5.3~5.4°C의 온도 차이가 나타났다.

한편 보일러 가동을 중지시킨 후 측정부위별, 시간대별로 일정온도(20°C)에 도달하는데 소요되는 시간을 조사하여 Fig. 8에 나타내었다. 지상 1미터 공기부에서 측정한 결과는 B동이 주간 410분, 야간 280분이 소요되었으며, A동과 C동은 유사한 결과를 보였다. 바닥표면을 조사한 결과에서도 목탄건축자재를 시공한 B동은 주간 720분, 야간 570분으로 우수한 축열성능을 나타내었다.

외부 온도변화에 따른 건물 내부의 열저장 특성을 나타내는 축열은 난방비용과 밀접한 관계를 갖고 있

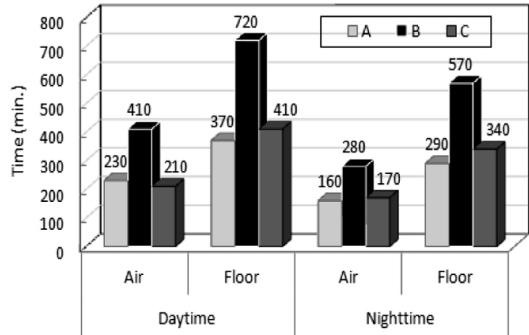


Fig. 8. Difference of thermal storage time between day and night.

다. 온돌문화가 일반적인 우리나라의 경우, 대규모 공동주택의 창호 위치(윤 등, 2008)나 난방시스템의 운전조건(안 등, 2005), 슬라브 축열 공조시스템 조건(정 등, 2005) 등 건물의 구조적인 문제뿐만 아니라, 고분자물질 등을 첨가한 미립 잠열체의 조건변화에 따른 축열특성 연구(이 등, 2001) 등 에너지 절감을 위한 다양한 연구결과가 보고되었다. Kim *et al.* (2003)은 비금속광물 분체의 기능성 건축소재화 특성연구를 통해 ABDM (Alkyl Benzyle Demethyle Ammonium Chloride)으로 흑연입자 표면을 평균 처리하여 제조된 모르타르를 사용하여 5% 정도의 열저장(축열, 잠열) 효과를 나타낸다고 보고하였다.

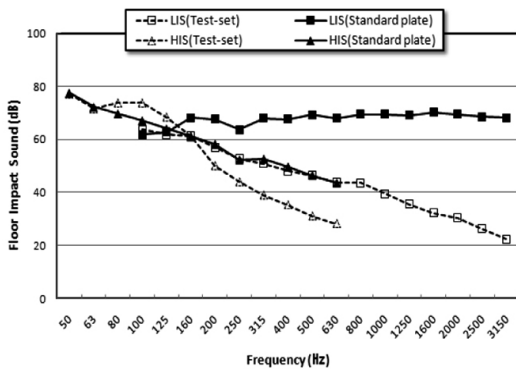
3.3. 건축자재 형태별 층간소음 변화

주거환경 변화에 따른 공동주택 선호와 실내에서의 거주시간 증가로 상하층 간의 소음문제는 끊임없는 분쟁을 야기하고 있다. 일반적으로 바닥충격음을 저감하기 위한 방법으로는 바닥하부구조 개선방법, 바닥 슬라브 내 완충층 변화방법(홍 등, 2008) 또는 바닥마감재에 의한 방법으로 대별할 수 있다. 전 등 (2002)은 구조부위별 차음시공에 따른 공동주택 바닥충격음 차단성능 평가를 실시하여 신축 공동주택 및 기존 공동주택의 바닥충격음 저감을 위해서는 벽체 및 바닥에 차음시공을 하는 것이 가장 유효하며, 특히 국내 공동주택의 경우 바닥충격음의 주요 원인이 어린아이들이 뛰어서 발생하는 소음이기 때문에

Table 3. Change of floor impact sound between test plate and standard plate

| Frequency (Hz) | | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Floor Impact Sound (dB) | LIS | TP | - | - | - | 63.6 | 61.8 | 61.3 | 57.0 | 52.7 | 50.8 | 48.1 | 46.3 | 43.8 | 43.6 | 39.5 | 35.6 | 32.2 | 30.3 | 26.3 | 22.4 |
| | SP | - | - | - | 61.8 | 62.7 | 68.1 | 67.5 | 63.7 | 67.9 | 67.6 | 69.2 | 68.0 | 69.5 | 69.5 | 69.0 | 70.2 | 69.5 | 68.6 | 68.2 | |
| HIS | TP | 77.0 | 71.5 | 73.7 | 73.7 | 68.4 | 61.1 | 50.0 | 43.9 | 38.9 | 35.2 | 31.0 | 28.1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | SP | 77.5 | 72.2 | 69.7 | 67.1 | 64.0 | 61.0 | 58.2 | 52.3 | 52.6 | 49.6 | 46.4 | 43.5 | - | - | - | - | - | - | - | - |

(LIS : Lightweight Impact sound, HIS : Heavyweight Impact sound, TP : Test Plate, SP : Standard Plate).



* LIS:Lightweight Impact Sound, HIS:Heavyweight Impact Sound

Fig. 9. Change of floor impact sound between test plate and standard plate.

중량충격원 저감을 위한 구조공법 개발이 시급하다고 하였다. 또한 진 등(2006)은 중량충격음 저감을 위하여 구조재료 압축강도 개선방법, 슬래브 두께를 증가시키는 방법 및 콘크리트 슬래브 하부에 FRP 강성보강판을 적용한 방법간의 장단점을 조사하였다. 한편 바닥마감재를 사용한 바닥충격음 저감을 위한 다양한 연구결과가 보고(정 등, 2004; 송 등, 2008)되고 있는데, 특히 장 등(2002)은 폴리에틸렌 필름, 코르크, 타이어 분쇄 칩, 폴리아미드 등 여러 재질의 바닥충격음 저감재를 시공하였을 경우, 기존공법과 비교하여 경량충격음 20 dB, 중량충격음 10 dB 수준에서 저감되었다고 보고하였다. 이 밖에 공동주택 등의 차음특성은 바닥면과 벽체(오 등, 2008)에 대한 연구뿐만 아니라 차단성능을 등급화하는 연구(송 등, 2004)도 진행되고 있다.

본 연구에서는 층간 바닥구조를 시험체로 하여 상층에서 충격음(경량 및 중량충격음)을 발생시켜 하

층에서 바닥충격음 레벨을 측정하였으며, 중량충격음은 50~630 Hz 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드, 경량충격음은 100~3,150 Hz 주파수대역의 1/3 옥타브 밴드를 측정하여 Fig. 9와 같이 나타내었다. 중량충격음에 대한 시험체와 표준체의 바닥충격음 조사결과, 160 Hz 이하의 낮은 주파수 범위에서는 표준체보다 시험체의 바닥충격음이 높은 것으로 나타났으나, 160 Hz를 기점으로 630 Hz까지 주파수 대역이 올라갈수록 시험체의 바닥충격음이 낮아지는 경향을 보였다. 한편 경량충격음에서는 최초 조사 주파수 대역인 100 Hz 결과를 제외하면 시험체가 표준체보다 낮은 바닥충격음 수치를 나타내었다. 특히 가장 높은 주파수 대역인 3,150 Hz에서는 시험체(22.4 dB)가 표준체(68.2 dB)와 비교하여 300% 이상의 바닥충격음 저감효과가 있는 것으로 조사되었다. 국토해양부에서는 바닥충격음 차단성능에 대한 최저성능기준(경량충격음 58 dB 이하, 중량충격음 50 dB 이하)을 제시하였으며, 목탄을 함유한 시험체의 경우, Table 3에서 나타낸 바와 같이 200 Hz 이상의 주파수 대역에서 이러한 성능기준을 충족하였다.

4. 결론

본 연구는 목탄을 첨가한 친환경 건축자재를 현장에 적용하여 에너지절감 효과 및 차음특성을 개선함으로써 목탄 산업의 고부가가치 가능성을 모색하고자 수행되었다. 국내의 동절기를 대표하는 3개월간 현장에 신축된 건물을 대상으로 소비된 월별 평균 기름소비량을 조사한 결과, 일반건축자재 건물(A동)에서는 108,184 ml (3,606 ml/일), 목탄건축자재 건물(B동)에서는 97,906 ml (3,264 ml/일), 목탄 sercite

건축자재 건물(C동)에서는 92,030 ml (3,068 ml/일)가 소비되어, 일반건축자재 건물과 비교하여 목탄건축자재 사용으로 9.5%, 목탄 sericite 건축자재 적용으로 14.9%의 난방 경우 소비량이 절감되는 것으로 조사되었으며, 특히 외부온도가 낮은 경우 절감효과가 더욱 큰 것으로 나타났다. 또한 축열성능을 조사하기 위하여 보일러 가동을 중단하고 12시간 후의 지상 1미터 공기부와 바닥표면 온도를 측정된 결과, 목탄건축자재를 적용한 B동은 일반건축자재나 목탄 sericite 건축자재를 사용한 A동 및 C동과 비교하여 주간·야간 측정치 모두 완만한 온도 저하를 나타내었다. 지상 1미터 공기부 측정결과, 목탄건축자재로 시공한 B동에서는 주간 15.6°C, 야간 14.5°C를 나타낸 반면, 일반건축자재로 시공된 A동에서는 주간 11.9°C, 야간 10.4°C로 약 3.7~4.1°C의 온도 차이가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 바닥표면을 기준으로 조사한 결과, A동에서는 주간 14.5°C, 야간 13.1°C를 나타낸 반면, B동에서는 19.9°C 및 18.4°C로 약 5.3~5.4°C의 온도 차이가 나타났다. 한편 중량충격음에 대한 시험체와 표준체의 바닥충격음 조사결과, 160 Hz 이하의 낮은 주파수 범위에서는 표준체보다 시험체의 바닥충격음이 높은 것으로 나타났으나, 160 Hz를 기점으로 630 Hz까지 주파수 대역이 올라갈수록 시험체의 바닥충격음이 낮아지는 경향을 보였다. 한편 경량충격음에서는 최초 조사 주파수 대역인 100 Hz 결과를 제외하면 시험체가 표준체보다 낮은 바닥충격음 수치를 나타내었다. 특히 가장 높은 주파수 대역인 3,150 Hz에서는 시험체(22.4 dB)가 표준체(68.2 dB)와 비교하여 300% 이상의 바닥충격음 저감효과가 있는 것으로 조사되었다.

본 연구로부터 일반건축자재를 목탄건축자재나 목탄 sericite 건축자재를 대체하여 적용할 경우, 10% 이상의 난방 경우 절감 효과뿐만 아니라 층간 차음효과가 우수하여 향후 친환경 건축자재로서의 산업화가 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부. 2009. 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준. 국토해양부고시 제2009-658호.
2. 송국근, 박현구, 이태강, 김진성, 김선우. 2008. 공동주택 바닥마감재에 따른 경량충격음 저감에 관한 실험적 연구. 한국소음진동학회 학술대회논문집. 433~434.
3. 송민정, 기노갑, 장길수, 김선우. 2004. 공동주택 바닥충격음 차단성능 등급화에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 20(10): 295~302.
4. 안병준, 조태수, 이성숙, 백기현, 김선익. 2009. 목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술(I) - 목탄으로 제조된 건축자재의 특성 평가. 목재공학 37(6): 537-545.
5. 안병천, 이태원. 2005. 공동주택 간헐난방시스템의 에너지 절감 및 열환경 개선방안 연구. 설비공학논문집 17(1): 88~93.
6. 오양기, 주문기, 한명호. 2008. 친환경 다중 건식 벽체의 차음 특성에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 24(3): 257~264.
7. 윤성환, 송수빈, 정영택, 염성곤. 2008. 공동주택 창호 선정에 따른 에너지 절감 효과 및 경제성 평가. 대한건축학회 논문집 계획계 24(8): 321~330.
8. 이석건, 이종원, 이현우, 김길동. 2001. 자갈축열 태양열 온실의 난방에너지 절감효과. 한국생물환경조절학회 학술논문집. 29~30.
9. 이오규, 최준원, 조태수, 백기현. 2007. 목탄계 건축자재에 의한 폼알데하이드 흡착. 목재공학 35(3): 61~69.
10. 이화형, 조윤민, 박한상. 2005. 백탄파티클 크기와 최종 매트함수율에 따른 백탄보드의 제조와 성능. 목재공학 33(3): 22~29.
11. 이효진, 이재구. 2001. 미립자열재를 이용한 축열 특성에 관한 실험적 연구. 설비공학논문집 13(2): 80~87.
12. 임재한. 2008. 온돌난방에서 경량기포콘크리트의 재료 배합에 따른 방열성능 평가. 대한건축학회 논문집 계획계 24(2): 305~312.
13. 장재희. 2002. 공동주택 바닥충격음 저감재의 저감 효과에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 18(4): 205~212.
14. 전진용, 정정호, 이병권, 유병철, 김상식, 박해준. 2002. 구조부위별 차음시공에 따른 바닥충격음 차단성능평가. 대한건축학회 학술발표논문집 22(1): 441~444.
15. 전진용, 유승엽, 정영, 정정호. 2006. 철근콘크리트 슬래브의 설계요소에 따른 중량충격음의 영향. 대한건축학회 논문집 계획계 22(10): 329~336.
16. 정재훈, 신영기. 2005. 슬래브 축열 공조시스템의 축열 성능에 관한 실험적 연구. 설비공학논문집 17(5): 427~435.
17. 정진연, 이성호, 정갑철. 2004. 바닥마감재가 경량충격음 저감량 평가에 미치는 영향. 한국소음진동학회 학술대회논문집 137~142.

18. 조태수, 안병준, 최돈하. 2005. 탄화온도 차이에 의한 목질탄화물의 흡착성 변화. 목재공학 33(3): 45~52.
19. 조태수, 이오규, 안병준, 최준원. 2006. 국산 수종으로 탄화한 목탄의 물성 및 흡착성. 임산에너지 25(1): 9~17.
20. 홍건호, 박홍근, 황계승. 2008. Hollow core 슬래브의 중량충격음 성능에 관한 연구. 대한건축학회 논문집 계획계 24(6): 355~362.
21. Kim, B. G., S. K. Choi, C. L. Park, and H. S. Chun. 2003. A preparation and characteristics of functional architecture materials made from non-metallic minerals. Journal of the Korean Ceramic Society 40(8): 811~817.
22. Cheung, C. K., R. J. Fuller, and M. B. Luther. 2005. Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. Energy and Buildings 37: 37~48.
23. Song, G. S. 2005. Buttock responses to contact with finishing materials over the ONDOL floor heating system in Korea. Energy and Buildings 37: 65~75.
24. Ismail Demir. M., S. Baspinar, and M. Orhan. 2005. Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. Building and Environment 40(11): 1533~1537.
25. Mannan, M. A. and C. Ganapathy. 2004. Concrete from an agricultural waste-oil palm shell (OPS). Building and Environment 39(4): 441~448.
26. Papadopoulos, A. M. 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. Energy and Buildings 35: 77~86.
27. Yeo, M. S., I. H. Yang, and K. W. Kim. 2003. Historical changes and recent energy saving potential of residential heating in Korea. Energy and Buildings 35: 715~727.
28. 瀧本裕美, 中野達夫, 武田孝志, 徳本守彦. 2000. 木炭による木造住宅床下の湿度及び部材の含水状態の改善. 木材工業. 55(1): 14~17.
29. 森美知子, 齊藤幸恵, 信田 聡, 有馬孝禮. 2000. 木質係材料から調製された炭化物質の吸着特性. 木材學會誌. 46(4): 355~362.
30. 外崎眞理雄, 鈴木養樹, 松岡眞悟. 2001. 床下調濕用廢材木炭の吸放濕特性. 木材工業. 56(10): 464~467.