

신축 공동주택 베이크 아웃시 환기·습도 변화에 따른 실내오염물질 저감비교

조 연 효*, 신 성 우*, 이 지 원**

동의대학교 건축설비공학과†, (주)동양건설산업*, 동의대학교 건축설비공학과**

Studying indoor contaminant value according to vary ventilation and humidity, when operating bake-out on a new apartment.

Yeon-Hyo Cho†, Sung Woo Shin*, Ji-Won Lee**

† Department of Building system Engineering, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

*Dong Yang Engineering & Construction Corp, Seoul 135-280, Korea

**Department of Building system Engineering, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

ABSTRACT: Improving quality of life and wellbeing of the residential environment and increased interests and importance is growing confidentiality, insulation, high-rise due to a lack of ventilation and indoor air pollution. Several human diseases caused tremendously due to the indoor air which consists of formaldehyde, radon, pollutants such as volatile substance that is called the phenomenon of a new house syndrome. It has become a world-wide issue that the United States, Japan and several other countries of Europe are showing more interests. Furthermore, a lot of damages caused by the syndrome occurs in the new house should be resolved by somehow is urgent. Thus, this study would like to propose the measures based on the whether condition and the way of heating in Korea against a new house syndrome via analysis of indoor contaminant Reduction comparison according to vary ventilation and humidity when operating bake-out on a new apartment.

Key words: Bake-Out(베이크 아웃), HCHO(포름알데히드), VOCs(총 휘발성 유기화합물)

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 삶의 질 향상과 웰빙 등 전 세계의 관심이 높아지면서 주거 환경에 대한 중요성도 커지고 있는 추세에 새집증후군으로 인한 질병의 발생 그 자체만으로도 많은 논란이 되었다.⁽¹⁾ 새집증후군이란 새집이라는 단어와 증후군이라는 단어의 합성어이다. 여기서 증후군이란 몇 가지 증세가 나타나고 그 원인이 분명하지 않거나, 단일이 아닐 때에 병명에 따라 붙이는 명칭이다.

새집 증후군의 방지 대책으로 환경인증 건축자재를 사용권장하고 환기를 이용한 방법, 식물을 이용한 방법, 숲을 이용한 방법, 베이크 아웃을 이용한 방법 등이 있다.⁽²⁾ 국내에서도 국외와 마찬가지로 위와 같은 방법을 사용하고 있으며, 그 중에서도 최근에 대두되고 있는 베이크 아웃의 효과에 대하여 알아보하고자 한다.

베이크 아웃은 특성상 난방 방식과 기후에 크게 영향을 받을 것이며, 여름에는 30℃ 이상, 겨울에는 영하 10℃ 까지 떨어지는 우리나라 특성상 다른 나라의 기후를 바탕으로 한 데이터를 가지고 만든 베이크 아웃이라는 예방책을 그대로 따라하는 것은 잘못된 것이라고 생각한다.

따라서, 이번 연구의 목적은 우리나라를 바탕으로 한 데이터를 확보 하려고 한다.

† Corresponding author

Tel.: +82-51-890-2390; fax: +82-51-890-2625

E-mail address: yhyoj21@nate.com

Table 1 Foreign indoor air qualitative recommendation standard of new apartment

Pollutant	Indoor Air	Ambient air	Workplace
HCHO	0.1ppm(ASHRAE) 0.08ppm(WHO Europe) 0.1ppm(Sweden)	-	1ppm(ASHI, TLVTWA) 2ppm(ACGIH, STEL) 2ppm(Japan)
CO	10ppm(Japan) 20ppm(Japan) 8.6ppm(WHO Europe, 8 hour average) 25ppm(WHO Europe, 1 hour average) 51ppm(WHO Europe, 30 minute average) 86ppm(WHO Europe, 15 minute average)	9ppm(EPA, 8 hour average) 35ppm(EPA, 1 hour average)	50ppm(OSHA, TWA) 50ppm(Japan) 10ppm(Japan)
Radon	4pCi/mℓ(EPA) 2.7pCi/mℓ(WHO) 2.9pCi/mℓ(Sweden)	-	-
TSP	0.15mg/m ³ (Japan) 0.1 0.12mg/m ³ (WHO, 8 hour average)	0.075mg/m ³ (EPA, yearly average) 0.26mg/m ³ (EPA, 24 hour average)	0.15mg/m ³ (Japan)
VOCs	0.2~0.6mg/m ³ (FISLAQ)	-	Benzene 10ppm(OSHA TWA) 0ppm(NIOSH TWA) 10ppm(ACGIH TLV) 0.63(EPA)
			Toluene 200ppm(OSHA TWA) 100ppm(NIOSH TWA) 100ppm(ACGIHTLV) 2.1(Europeam WHO)
			Xylene 100pp(OSHATWA) 100ppm(NIOSH TWA) 100ppm(ACGIH TLV)

2.실내 공기 오염물질 및 베이크 아웃

2.1 오염물질의 종류

실내공기 오염물질은 거주자들의 실내 환경 중 마감재료 및 생활용품 등에서 배출되는 오염물질이 대표적이다. 그 종류로는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 부유분진, 석면, 포름알데히드, 휘발성 유기화합물, 라돈 등을 들 수 있다. 그중에서도 우리 생활에서 가장 밀접한 마감재에서 방출되는 오염물질은 대표적으로 포름알데히드, 휘발성 유기 화합물질과 라돈을 들 수 있다. 인체의 건강에 가장 위협이 되고 있는 3가지 물질을 연구하고자 한다.

2.2 국내외 실내 공기 질 기준

2.2.1 국외 실내 공기 질 기준

국외의 실내공기환경 기준은 미국, 일본을 비롯하여 유럽 국가들을 중심으로 잘 정비되어 있다.

현재 국제적으로 단일화된 기준은 없으며 각 나라별로 기준이 다소차이는 있으나 오염물질별로 큰 차이는 없다. EPA, IOS등에서 통일된 측정법을 정하여 기준을 통일하고 있는 추세이다. 미국의 EPA, 일본 산업 위생학회, WTO Europe, ASHRAE에서 발취 하여 다음과 같이 국외 여러 나라의 실내외 공기환경기준을 Table 1로 나타내었다.

2.2.2 국내 실내 공기 질 기준

국내의 실내공기환경 기준은 다중 이용시설 등의 실내공기 질 관리법 제7조의 2에 신축 공동주택의 실내 공기 질 권고기준에 따라 Table 2와 같다.

국외에 실내공기환경 문제에 따른 심각성을 알고 오래전부터 실내공기 오염물질별로 기준을 정하여 왔다. 그 후에도 실내 공기 환경 기준을 강화 해오면서 더 나은 실내 환경을 만들어 오고 있다.

Table 2 Domestic indoor air qualitative recommendation standard of new apartment

Pollutant	Indoor Air
Formaldehyde	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Toluene	1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ethyl-Benzene	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Xylene	700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Styrene	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Radon	-
CO	-

하지만 우리나라는 최근에 실내공기환경의 심각성을 인식하여 외국의 기준을 도입하는 한편 아직 다양한 오염물질의 기준이 제시 되어 있지 않은 실정이다. 국내실정에 맞는 실내공기환경 기준을 확립이 필요한 시점이다.

2.3 베이크 아웃

신축건물이나 보수작업이 끝난 건물에 대하여 실내공기를 높은 온도로 가열하여 오염물질의 발생을 일시적으로 증가시킨 후에 이를 제거하는 방법을 ‘베이크 아웃’이라한다. 신축건물에 대하여 입주 전에 실내의 온도를 상승시켜 건축자재나 마감재에서 방출되는 휘발성 유기화합물이나 폼알데하이드를 일시적으로 축진시키며 환기를 통하여 이를 제거하는 방법을 의미한다.

3. 실험 및 고찰

3.1 실험장소 및 실험 개요

3.1.1 실험장소 개요 및 실험 기간

대 상: 해운대 OO아파트 40층 (3세대)
 준공일자: 2005년 10월 26일
 총세대수: 81세대
 평 수: 34평 (3세대)
 난방방법: 개별 바닥 난방(도시가스)
 실험시기: 2007.4.7~2007.4.16 (10일간)

3.1.2 실험조건

실험은 베이크 아웃 전 예열과 베이크 아웃 진행 중, 베이크 아웃 후로 나누어 진행 하였다.

Table 3 Experimental condition

section	room temperature	ventilation method	Humidity control	bake-out
A household	30~35 $^{\circ}\text{C}$	Natural ventilation	inexecution	execution
B household	30~35 $^{\circ}\text{C}$	Mechanical ventilation	inexecution	execution
C household	30~35 $^{\circ}\text{C}$	Mechanical ventilation	Bathtub water filled	execution

베이크 아웃 전 예열은 목표 온도까지 빠른 기간에 도달하기 위해 미리 예열을 12시간 실시 하였다. 그 후에 목표 온도 30 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 베이크 아웃을 실시하였다. 베이크 아웃은 40층 건물 중 40층 속하는 아파트 3세대로 설정하고 실시하였다. A, B, C세대에 자연 환기, 기계 환기, 습도 조절을 변화를 두어 실험에 임하였다.

본 실험은 Table 3의 조건으로 실험을 실시 하였다.

A세대는 베이크 아웃 시에 건물의 앞뒤의 개구부를 5cm 열어 일정량의 상시 자연환기를 실시 한다. B, C세대는 주방 배기 팬과 화장실 환기팬을 72시간 가동하여 환기를 원활하게 하였다. 측정 시에는 기류의 영향을 받지 않게 하기 위해 정지 시킨 후 측정하였다. C세대는 욕조만수와 각 방에 물 10L를 배치하여 습도에 변화를 주었다. 베이크 아웃 후에는 개구부를 활짝 열어 환기를 시키고 B, C세대는 물을 제거한다. 3세대 모두 30분 환기 후 5시간 밀폐한 다음 측정하였고 3일 뒤, 5일 뒤의 영향까지 알아보려고 실험을 실시하였다.

3.1.3 측정방법 및 장비

시료의 채취 위치는 공동주택 단위세대의 거실 중앙부에서 실시하며 원칙적으로 벽에서 최소 1m이상 떨어진 위치의 바닥 면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본 측정 점으로 한다. 만약 실내에 자연환기구나 기계 환기시스템이 설치 되어 있을 경우 각각의 급배기구로부터 최소 1m이상 떨어진 곳에서 측정하도록 한다.

최초 각 세대의 초기치 농도를 측정하고, 예열 후의 농도와 그 후 베이크 아웃 시 8시간 (7시, 15시, 23시) 간격으로 농도를 측정하였다.

Table 4 Measurement time

Time	measurement
Bake-out before	Initial consistency measurement before the experiment
Bake-out before preheat	Initial consistency measurement after the experiment
Bake-out progress	Consistency measurement while the experiment progress
Bake-out after	Consistency measurement after the experiment progress
Bake-out after 3·5 days	Consistency measurement of days after the experiment progress

베이킹 아웃 종료 후(4월11일 오전7시) 바로 환기를 시켜 5시간(4월11일 오후1시) 밀폐한 다음 농도를 측정하였고, 3일 뒤(4월14일 오후1시), 5일 뒤(4월16일 오후1시)의 농도 변화량을 알아보 고자 측정 하였다.

측정조건으로 공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호 출입문 환기구등)와 실내 출입문 수납가구의 문등을 개방하고 이 상태를 30분 이상 지속한다. 그 후 외부공기와 면하는 개구부(창호 출입문 환기구등)를 5시간 이상 모두 닫아 실내외의 공기의 이동을 방지한다. 그리 하여 시료채취는 원칙적으로 30분간 2회 실시한다. 단 실내의 오염물질이 고농도로 존재하여 포 집관의 파손이 일어나거나 감도의 유지가 어려울 경우에는 시료채취량의 범위를 만족하는 선에서 측정 시간을 변경할 수 있다. 실내의 자연환기구 및 기계 환기시스템이 설치되어있을 경우 이를 밀폐하거나 가동을 중단하고 측정을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

측정 장비로는 포름알데히드 측정기(Z300XP), 휘발성 유기화합물 감지기(XP-339V), 라돈 측정기(RAD7), 풍량계(8386열선풍속)를 사용하였다.

3.2 조건에 따른 실험 방법

3.2.1 환기조건에 따른 실험

(1)자연환기

자연환기에는 풍력을 이용한 풍력환기와 실내외의 온도차를 이용한 중력환기가 있다.

바람이 있을 때에는 건물의 바람이 불어오는 쪽의 창으로부터 외기가 들어와서 반대쪽 창으로

Table 5 Measurement equipment

Section	Collection method	Measuring range	Unit
Z300XP	Suction pump	0.01~30	ppm
XP-339V	Auto-Suction	±999	-
RAD7	Auto-Suction pump	0.1~20000	pCi/L

실내의 더러워진 공기를 배출하여 교환된다. 그러나 바람은 시시각각으로 그 강도와 풍향이 변하므로 풍력환기에 의하여 일정한 환기량을 유지하기는 어렵다. 바람에 의하여 큰 영향을 받으며, 또 건물 내외의 온도차도 수시로 변하므로 언제나 일정한 환기량을 기대할 수 없다.

(2)기계환기

기계환기는 창문이나 환기통을 이용하는 자연 환기와 달리 송풍기나 환풍기를 사용해 실내 공기를 창 밖 공기와 교환하는 것을 말한다. 국내에서는 100세대이상 신축 또는 리모델링하는 공동주택과 공동주택을 다른 용도와 복합하여 건축하는 건축물로서 주거부분이 100세대 이상인 건축물은 시간당 0.7회 이상 환기될 수 있도록 자연환기설비 또는 기계 환기설비를 의무적으로 설치하도록 했다. 자연환기를 통한 실내공기환경 개선보다는 이제 강제적으로 환기를 하여 실내공기환경의 질을 향상시키도록 하였다.

3.2.2 습도조건에 따른 실험

습도조절은 절대습도로 하였으며, 절대 습도란 공기 1m³ 중에 포함된 수증기의 양을 g으로 나타낸다. 수증기밀도 또는 수증기농도라고도 하는데, 공기 중의 수증기의 포화정도를 나타내는 상대습도와는 의미가 다르다. 절대습도는 기온에 따라 수증기가 공기에 포함될 수 있는 최대값이 정해져 있으며, 그 값은 기온이 높으면 커지고 낮으면 작아진다. 일반적으로 우리나라는 기온이 높은 여름철에는 절대습도가 높고, 기온이 낮은 겨울철에는 낮다. 연평균 강수량이 1000~1600mm 정도인 우리나라에는 습도에 대한 영향을 배제할 수 없을 것이다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실내 온도 분포 특성

실험주택의 거실에 부착되어 있는 온도 조절기

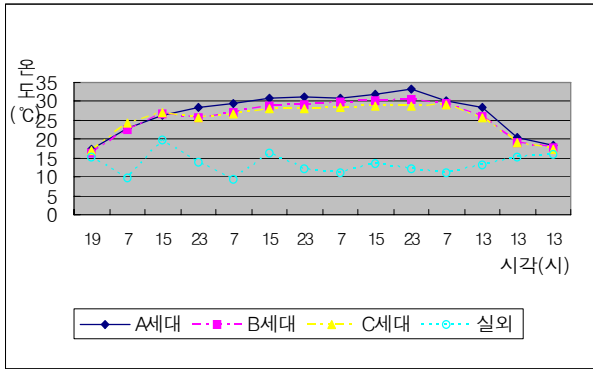


Fig. 4 Change of room temperature.

에 의해 처음 12시간은 모든 개구부를 밀폐 후 설정온도 25°C로 예열을 실시하였고, 그 후 72시간 동안 설정온도 40°C로 베이킹 아웃을 실시하였다. 그 결과 실내의 공기온도는 난방방식과 환기 등의 영향으로 인해 설정온도 보다 약 10°C 낮게 나타났다. 설정온도 40°C에 따른 온도상승으로 인해 마감재 및 가구 등의 변형은 나타나지 않았다.

4.2 실내 습도 분포 특성

본 연구에서는 베이킹 아웃 시 습도 변화에 따른 저감효과 비교를 위해 하나의 세대에는 화장실의 욕조와 부엌 싱크의 만수, 각방마다 10L의 물을 놓고 습도의 변화를 주었다.

하지만 온도 상승에 따른 상대 습도의 변화는 그다지 나타나지 않았으나, 포름알데히드, TVOC가 물에 녹아들어 소폭 감소 한 것으로 보인다.

4.3 포름 알데히드(HCHO)의 농도 변화 분석

A, B, C 각 세대간의 HCHO 초기 농도는 거의 같은 수준이었으나 12시간의 예열이 끝나고 베이킹 아웃을 실시 한 후 실내의 온도가 계속 상승함에 따라 A세대와 B, C세대의 농도차이가 크게 나타났다. B, C세대에 비해 A세대는 HCHO의 실내농도가 기하급수적으로 증가하기 시작하였다. A세대는 B, C세대와는 다르게 자연환기를 실시하였으며, 5cm정도의 개구부를 통해서 실내·외의 공기순환이 제대로 되지 않아 실내의 온도가 가장 높게 상승하였고, 실내로 방출되었던 HCHO가 외부로 나가지 못하고 실내의 가구나 벽 등에 다시 흡착·축적되어 베이킹 아웃 중반에는 초기치 농도 보다 무려 80배가량 증가하였다. 그에 비해 기계 환기를 실시한 B, C세대는 실내

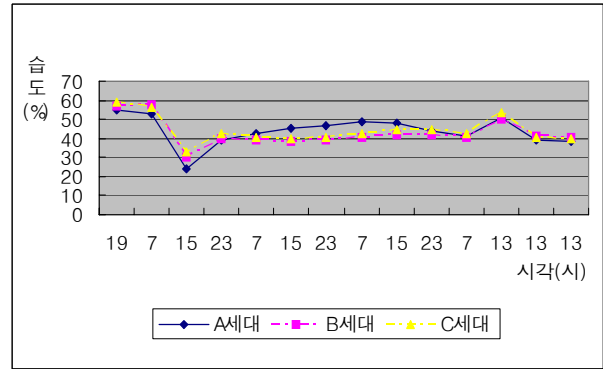


Fig. 5 Change of room humidity.

온도가 상승하여 방출된 HCHO가 주방의 배기팬·화장실의 환기팬을 통해 외부로 방출되어 농도가 크게 상승하지 않았다. 베이킹 아웃 후 최종수치는 자연환기만을 실시한 A세대는 초기농도보다 오히려 증가하였고, B, C세대는 소폭 감소하였다. A세대의 농도가 증가한 이유는 HCHO의 흡착현상으로 인한 상승으로 보인다.

4.4 총 휘발성 유기화합물질(TVOC)의 농도 변화 분석

A, B, C세대 중 TVOC의 초기치 및 예열직후의 농도는 C세대가 가장 높았으나 베이킹 아웃 실시 후에는 3세대 중 가장 낮은 수치를 계속 유지 했다. C세대는 기계환기를 하는 동시에 욕조 및 싱크에 물을 만수 시키고 각방에 물을 10L를 배치하여, 기계환기만을 실시한 B세대와의 습도 변화를 주었다. 휘발성물질은 물에 녹기 때문에 환기만 실시한 B 세대 보다 TVOC농도가 다소 낮게 유지 된 것으로 보인다. A세대의 초기치 농도는 3세대 중 중간이나, 베이킹 아웃을 실시한 후에는 가장 높은 수치를 계속 유지하고 있다.

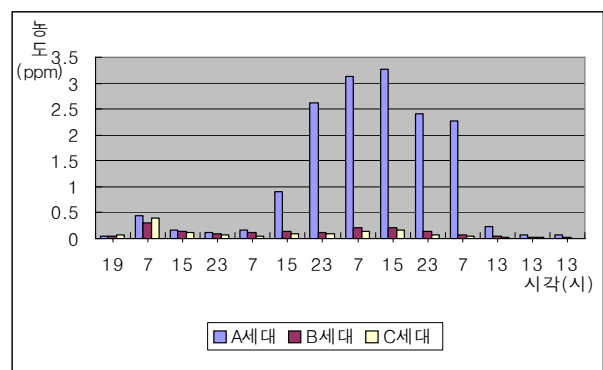


Fig. 6 Change of HCHO.

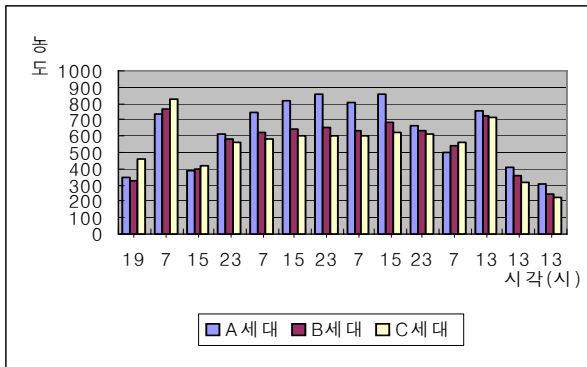


Fig. 7 Change of TVOC.

3세대 중 가장 실내 온도가 높게 유지되었고, 환기로 인한 영향을 적게 받았기 때문일 것이다. 84시간 일 때 A세대가 수치가 가장 낮았는데 그 당시 외부의 날씨가 비가 왔고, 바람이 많이 불어 실내에 공기의 유입이 일시적으로 많아진 이유라 하겠다.

베이킹 아웃 후 최종수치는 3세대모두 떨어졌지만, 기계 환기를 실시한 B, C세대가 자연환기를 실시한 A세대보다 수치가 더 많이 감소하였으며, 기계 환기를 실시한 B, C세대 중 습도에 변화를 준 C세대가 가장 많은 감소를 보였다.

4.5 라돈(Radon)의 농도 변화 분석

라돈은 초기수치는 매우 낮았으나, 예열과 베이킹 아웃을 실시하여 실내의 온도가 상승하면서 라돈의 수치도 상승했다. 또한 자연환기, 기계 환기 그리고 습도의 변화와 관계없이 온도의 상승에 따라 수치가 상승하고 떨어졌다.

하지만 습도와 기류의 영향 또한 없었다고는 볼 수 없다. 실험 당시의 기후를 살펴보면 7일에는 맑았고, 8일에는 흐려지면서 바람이 많이 불었으며 9일에는 비가 내렸다. 이러한 날씨 변화가 온도에 영향을 미치므로 결과적으로 라돈의 변화가 온도에 따라 변한다고 단정 지을 수는 없다. 따라서 콘크리트 벽체에서 다량 발생한 라돈은 온도와 습도의 영향을 받아 실험 시, 수치의 변화를 보였음이 사료된다.

5. 결론

본 실험은 자연환기와 기계환기, 습도 차이에 따른 실내오염물질 저감 효과 특성을 파악하여, 우리나라 기후에 맞는 베이킹 아웃 조건을 찾기 위해 수행 하였으며, 그 결과 및 결론은 다음과

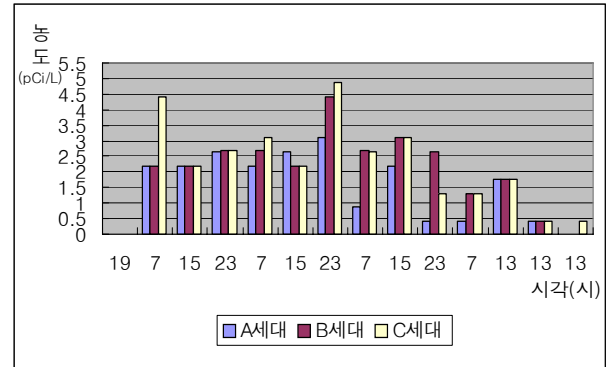


Fig. 8 Change of radon.

같다.

(1) 베이킹 아웃 중 환기방식에 따른 오염물질 농도 변화 분석은 자연환기보다 기계환기가 베이킹 아웃에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 자연환기는 실내공기와 외부 공기의 흐름이 적어 오염물질의 흡착현상이 일어나 베이킹 아웃 종료 후에도 오염물질의 수치가 상승하였다. 따라서 기계환기가 베이킹 아웃에 유효한 것으로 나타났다.

(2) 습도에 따른 베이킹 아웃 영향은 직접적인 효과보다는 온도와 밀접한 관계를 이루어 효과가 나타나는 것으로 보인다. 수용성 성질을 가진 휘발성물질은 습도에 따라 방출량이 변화된다.

(3) 가장 좋은 예방책은 역시 환경 친화적인 건축자재를 사용하는 것이며, 앞으로 기업별로 친환경 자재를 많이 사용하도록 정부에서 권장하도록 해야 할 것이다. 그리고 지금 시행하고 있는 베이킹 아웃이라는 예방대책 체계적으로 연구하여 충분한 데이터 확보에 힘써야 한다.

참고 문헌

1. Park, H. W., Kang, D. H., Lee, G. D., Park, Y. S., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2005, Experimental study on the effect of ventilation on indoor air quality in baking out, AIK, pp. 339-402
2. Yoo, B. H., Park, Y. S. and Cho, H. 2005, Reduction Effect on chemical substance in indoor air pollution using bake-out, AIK, pp. 83-86
3. Chun, C. Y., Kim, S. W., Sim, J. B. and Jo, W. J. 2005, A improvement of indoor air quality for apartment housing, SAREK, pp. 1001-1005