

건축자재에 의한 실내 오존제거 및 제어에 대한 고찰

정 옥 영, 정 수 광, 김 준 현, 김 수 민[†]

송실대학교 건축학부 건축환경재료연구실

Consideration of Ozone Removal and Control in Built Environment by Building Materials

Ok Young Chung, Su-Gwang Jeong, Junhyun Kim, Sumin Kim[†]

Building Environment and Materials Lab, School of Architecture, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received February 20, 2012; revision received March 19, 2012)

ABSTRACT: Recently, residents have been spending almost 90% of their time indoors, which presents a higher risk from inhalation of pollutants than when spending time outdoors. Therefore, controlling indoor air quality became important. It is reported that the lung diseases and mortality for occupants are increased when there is high density of ozone which is one of the pollutants among the indoor air. In addition, the reactions between ozone and building materials produce VOCs and formaldehyde. The studies to eliminate the ozone by building materials have been actively investigated. However, ozone removal and secondary pollutants from ozone reactions with building materials have not been reported in Korea. For this reason, the aim of this study is to introduce ozone removal by HVAC filters, various building materials, and eco-friendly building materials including the quantity of secondary pollutant emissions.

Key words: Ozone(오존), Ozone removal(오존 제거), HVAC filter(냉난방 공조 시스템 필터), Indoor air quality(실내공기질), Building material(건축 자재)

1. 서 론

현대사회에서 산업의 발전과 함께 에너지 효율이 강조되면서 각종 산업분야 및 가정에서는 에너지절감에 따른 건물의 기밀성이 중요해졌다. 또한 소비양식 변화와 소득 증가로 시민들의 사회적 요구가 다양한 건축자재의 개발을 유도하였으며, 이에 따라 각종 화학물질로 구성된 건축자재의 개발과 사용이 증가되었다. 그러나 각종 화학물질 및 복합재료로 만들어진 건축자재에서는 각종 유해물질이 배출되는데 이러한 물질이 배출되는 밀폐된 공간에서 장시간 생활하게

되는 거주자들은 새집증후군(SBS : Sick building Syndrome) 및 화학물질 과민증(MCS : Multiple-Chemical Sensitivity) 등 새로운 환경질환을 겪게 되었다. 현대인은 일반적으로 다양한 실내공간에서 하루 중 90% 이상의 시간을 보내게 되므로 새로운 환경질환을 겪는 현대인들이 더욱더 증가하게 되었고, 실내공기오염물질 관리 및 연구에 관한 사회적인 요구 또한 증가하게 되었다.⁽¹⁻³⁾

거주자 및 재실자에게 환경질환을 유발하는 실내 공기오염물질 중 하나인 오존은 대기 중에 형성된 기체로서 무색이고, 냄새가 자극적이다. 오존을 구성하고 있는 산소는 핵이 8개인 원자로서 최외각 전자가 6개인 불안정한 원소이며 오존의 작용 원리로서 「 $O_3 \rightarrow O_2 + O$ 」의 반응식에서 발생기 O는 다른 물질과 결합하려는 성격이 있으며 결합을 통하여 물성

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0665; fax: +82-2-816-3354

E-mail address: skim@ssu.ac.kr

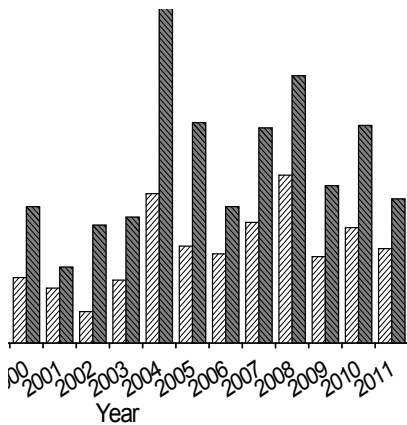


Fig. 1 Number of national ozone warnings.

의 변화시키는 현상을 산화작용이라고 한다. 오존의 산화력은 박테리아 같은 미생물에게는 치명적이므로 살균제로 이용되고, 여러 악취가 나는 분자들과 결합해서 악취가 나지 않는 분자로 산화시킬 수 있으므로 탈취제로 이용되고 있다.^(4, 5) 이렇게 산화력이 큰 오존이 우리의 인체가 지속적으로 노출되면 호흡기의 단백질의 변성 및 효소들의 구조를 변형시켜 인체의 여러 가지 기능에 장애를 초래하며, 세포막을 구성하는 불포화지방산과 반응하여 지방의 과산화를 일으켜 호흡기질환 악화와 폐 용량을 감소시킬 수 있다.^(6, 7)

실내에서 오존은 가소성 토너와 높은 전압을 사용하는 팩스, 레이저 복사기·프린터 등을 통하여 유입된다.⁽⁸⁾ 오존이 발생하는 사무용기기를 사용한 후 충분히 환기를 해주지 않았을 경우 고농도의 오존에 노출 될 가능성이 크며 이에 따른 위험성에 대한 국외 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다. 국외 연구에서는 실내에서 고농도의 오존이 노출되었을 때 실내 건축 자재와 오존과의 반응으로 오존이 제거되는 사례가 조사되었다. 뿐만 아니라 실내에서 오존과 건축자재 및 카펫, 라텍스 페인트, 덕트 자재, 더러워진 환기 필터, 나무 바닥, 인간의 머리카락, 피부, 의류, 오일 등의 반응으로 2차 오염물이 배출되는 사례가 보고되었다.⁽⁹⁾ 이러한 물질들이 배출하는 오염물질은 각기 다를 뿐 아니라 대부분 발암물질인 VOCs, 특히 포름알데히드를 포함한다. 오존과 오존으로 인한 2차 오염물은 실내 거주자의 건강에 좋지 않은 영향을 끼치기 때문에 오존에 대한 노출을 줄이는 노력이 필요하다.⁽¹⁰⁾ 그러나 국내에서는 건축자재를 이용한 오존제거 및 2차 오염물 생성에 대한 연구

가 미비한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 건축 자재로 인한 오존제거와 각종 유해물질 생성에 관한 국외연구를 소개하고자 한다.

2. 실내로의 오존 유입 경로

실내에서 오존의 농도를 높이는 경우는 실외에서 생성된 오존이 실내로 유입되거나, 실내에서 사용되는 사무용기기 또는 살균기기 등에서 생성된 오존이 실내의 오존 농도를 높이는 경우로 두 가지 측면에서 볼 수 있다.

오존 주의보는 대기 중 오존 농도가 0.12 ppm 이상, 오존 경보는 대기 중 오존 농도가 0.3 ppm 이상, 오존중대경보는 대기 중 오존 농도가 0.5 ppm 이상인 경우 발령된다.⁽¹¹⁾ Fig. 1은 우리나라 연도별 오존 주의보 발령 현황을 보여준다. 여기서 오존경보제가 도입된 1995년 이래에 발령 일수와 발령 횟수가 증가하는 경향을 볼 수 있는데 이는 다른 대기환경 오염물질이 지속적으로 줄어들고 있는 사실과 비교하면 상대적으로 높은 수치라고 볼 수 있다. 이처럼 오존주의보가 발령된 날에는 대기 중에서 발생한 오존이 환기를 통하여 실내로 유입될 수 있다.⁽¹²⁾ 대기에서 오존유입 후 밀폐된 실내공간에서는 실내 오존 농도가 더욱 증가 한다.

집 또는 사무실에서 흔히 사용되는 팩스, 레이저 복사기, 레이저 프린터 등이 오존을 발생시킴으로써 거주자 및 재실자는 허용치 보다 100배 이상 높은 오존에 노출 될 수 있다.^(13, 14) 이는 팩스, 레이저 복사기, 레이저 프린터 등에서 사용되는 가소성의 토너와 코로나 와이어에서 인쇄 작업 중 발생하는 높은 전기 에너지와 온도로 인해 자유 라디칼 연쇄 반응으로 오존이 발생하기 때문이다. 자유 라디칼 연쇄반응은 높은 전기 에너지 및 온도에서 발생하는 에너지로 인해 산소 분자가 산소원자로 분해되어 불안정한 상태의 산소원자는 산소분자와 결합되어 오존을 형성한다. 또한, 플라스틱 및 카본 블랙으로 구성된 레이저 프린터 토너는 전자와 충전 입자의 전송을 방해하고 결과적으로 더 많은 오존 생산에 기여하므로 잔류 문제들이 발생된다.⁽¹⁵⁾ 그러므로 토너와 코로나 와이어를 사용하는 사무용 기기에서 유해물질 배출은 사용하는 토너의 종류 및 상태와 밀접한 관계가 있으며, 프린터 제조원, 토너의 종류 및 수명, 높은 전압 및 온도 등에 따라 오존의 발생량에 많은 차이가 있음이 밝혀지고 있다.^(16, 17) 또한

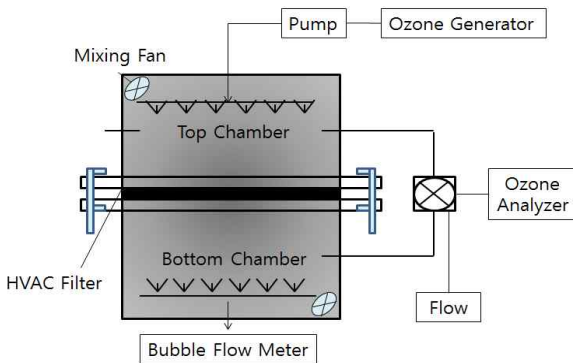


Fig. 2 Schematic of experimental system.

살균과 탈취 목적으로 실내에서 사용되고 있는 오존 살균기의 오존농도는 실내 허용치 0.06 ppm보다 훨씬 높은 수치를 나타내는 사례가 보고되었다.⁽¹⁸⁾ 사무용으로 사용되는 팩스, 레이저 복사기, 레이저 프린터 등은 오존 발생이 의도적인 것은 아니다. 하지만 오존살균기의 경우는 오존의 제조, 사용 자체가 의도적인 것이므로 소비자들은 제품을 구매하기 전에 이 같은 사실을 인지하여 기준 허용치 보다 낮은 제품을 선택하여야 한다. 또한 오존이 발생하는 사무기기등도 주의하여 선택하여야 할 것이며, 기기사용 후 충분한 환기가 필요할 것이다.

환기가 부족 시 오존을 흡입할 경우 인체에 일어날 수 있는 영향에 대하여 앞서 기술하였다. 뿐만 아니라 실내에서 오존의 농도가 높을 경우 오존의 높은 산화력으로 인하여 2차 VOCs가 생성된다. 2차 오염물로 생성된 VOCs는 인체에 매우 유해한 발암성 물질로 잘 알려진 실내공기오염물질이다. 그러므로 오존과 오존으로 생성되는 2차 생성물인 VOCs는 인체에 매우 좋지 않은 영향을 줄 것으로 예상된다. 이에 따라 제 3장에서는 건축 자재와 오존과의 반응으로 인한 오존제거 및 2차 오염물 VOCs 생성에 관한 국외연구를 소개함으로써 건물 내 실내공기오염물질로서 오존을 평가하고자한다.

3. 건축자재와 오존과의 반응

실내에서 고농도로 존재하는 오존을 제거할 수 있는 방법으로는 자연적·기계적 환기를 통한 방법이 있다. 또한 최근연구에서는 건축자재와 오존과의 반응으로 오존이 제거되는 것을 확인하였다.⁽¹⁹⁾ 하지만 이 과정에서 VOCs 및 포름알데히드 등의 2차 오염물이 생성됨으로써 오존제거라는 긍정적인 결과와 2차 오염물의 생성이라는 부정적인 결과가 발생하

였다.⁽²⁰⁾ 결론적으로 오존 자체의 유해성에 대한 연구와 함께 건축자재와 오존 반응으로 생성되는 2차 오염물에 관한 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

본 장에서는 기존 국외문헌고찰을 통한 건축자재와 오존제거와의 상관성을 알아보고 더불어 오존이 제거되면서 생기는 2차 오염물생성을 소개하고자한다. 현재 연구되고 있는 건축자재와 오존반응과 관련한 논문은 크게 건축자재의 오존흡착을 통한 오존 제거에 관한 연구, 건축자재와 오존반응으로 생기는 2차 오염물생성에 관한 연구로 나눌 수 있다.

Zhao et al.⁽²¹⁾은 냉난방 공조시스템 HVAC에서의 필터를 통한 오존 제거를 연구하였다. Fig. 2에서 보이는 것처럼 실험 시스템은 2중 스테인레스 챔버이다. 필터의 구성 물질, 두께, 사용한 시간, 최소 효율 값 사용의 유무에 따른 제공 장소로 필터의 성질을 구분하여 실험하였다. 실험에서는 CL1-CL8은 사용되지 않은 합성필터, R1-R8은 사용된 주거용 필터, C1-C6은 사용된 사무용 필터로 나누어 실험을 진행하였다. 구성 물질이 합성 필터는 CL1-CL5, R3, R5, R6, C1-C6이고, 유리섬유는 CL6-CL8, R1, R2, R4, R7, R8이다. C6을 제외한 모든 필터의 최소 효율 값은 4내외였다. Fig. 3은 사용된 상업용 합성 필터(C1), 사용된 주거용 유리섬유 필터(R4), 깨끗한 합성 필터(CL5), 깨끗한 유리섬유 필터(CL8)의 오존 제거 효율을 보여주고 있다. 가로축은 각각의 필터를 작동시키는 시간이고, 세로축은 오존제거효율을 나타낸다. C1과 R4는 12시간 동안 80 ppb의 오존을 주입하였고, 24시간 동안은 오존의 노출을 중지하였다. 그 후 5시간 동안 80 ppb의 오존을 다시 주입하였다. C1은 72시간 동안 오존의 노출을 중지하고 다시 오존을 5시간 동안 80 ppb의 오존을 다시 주입하였다. CL5와 CL8은 5시간 동안 80 ppb의 오존을 주입하였다. 일반적으로 각각의 노출 실험 각각의 필터는 오존제거효율은 초기에 최대였고, 작동시간이 증가할수록 각각의 필터에서의 오존 제거 효율은 지속적으로 감소하였다. 그리고 C1과 R4는 오존과 공기 흐름이 필터와 차단되는 동안 오존 제거 효율이 부분적으로 재생되었다가 작동시간이 증가할수록 다시 오존 제거 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 C1, R4, CL5, CL8중 사용된 상업용 필터인 C1의 오존 제거 효율이 현저히 높은 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 필터가 노후화될수록 필터 표면에 오염물 흡착으로 인해 오염물 제거를 위한 필터 표면의 입자 선적 공간이 감소되며 효율의 감소로 오존 제거 효율이 감소되는 것을

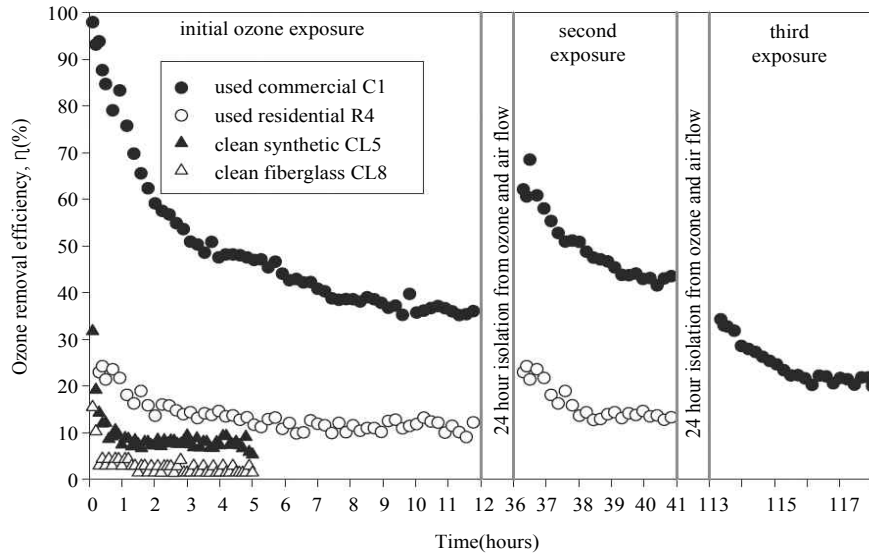


Fig. 3 Ozone removal efficiency for the HVAC filter.⁽²¹⁾

보여주는 것이다. 또한 상업용 필터가 다른 용도의 필터들 보다 가장 높은 오존 제거 효율을 보여주었다. 이는 가정용 필터에 비하여 상업용 필터의 표면적이 크고 길어서 오염물을 제거할 때 큰 입자선적을 갖고 오염제거를 하는 활동시간을 길기 때문에 필터 표면에 물리적인 흡착으로 오존 제거 효율이 가장 높은 결과를 보여주었다.

위 연구에서 HVAC의 필터가 오존을 제거하는 것을 보여주고 있다면 Hugo et al.⁽²²⁾의 연구에서는 다양한 HVAC의 필터표면과 오존과의 반응으로 발생하는 2차 오염물 생성을 기술하였다. 실험에서는 오존을 포함한 습한 공기가 HVAC의 다양한 필터를 통과할 때 발생하는 VOCs 및 포름알데히드 등의 2차 오염물 생성을 측정하였다. 본 연구의 실험결과로 대기 중 오존은 건축자재의 표면과 반응하기 때문에 필터의 구성성분보다는 대기와 접촉하는 필터 표면과 관련이 있었다. 또한 HVAC 필터표면에 처리된 코팅제나 점착제와의 반응으로 2차 오염물이 생성되는데 이러한 2차 오염물의 주된 생성원리는 오존화합물로 설명될 수 있다. 건축자재표면에 에틸렌결합을 가진 불포화 유기화합물과 오존이 작용하면 오존의 첨가반응이 일어나 오존화물을 생성하게 되며, 상당히 불안정한 상태의 오존화물이 가수분해 되면서 원래의 이중결합 또는 삼중결합이 끊어져 이중결합을 가진 오존화물은 알데히드나 케톤 등을 생성하고 삼중결합을 가진 오존화물은 카르복실산등 2차 오염물을 생성하게 된다.

HVAC 필터의 오존제거 및 2차 오염물 생성뿐만

이 아니라 Mélanie et al.⁽²³⁾의 연구에서는 각기 다른 상대 습도 및 오존 농도에서 여러 건축자재의 오존 제거와 2차 오염물 생성을 연구하였다. 실험방법은 유기화합물류(VOC) 생성결정을 위한 표준화된 테스트 챔버법을 적용하였다. 실험재료는 일반적으로 실내건축자재로 이용되는 폴리에스테르필름 위에 적용된 알키드 페인트, 리놀륨, PVC 바닥재, 4개의 카펫(고무, 직물, PVC, 역청백킹), 폴리스티렌 천장타일, 칠이 되지 않은 석고보드(원료 그대로의 석고, 종이 코팅이 되지 않은 것), 2개의 벽지, 3개의 소나무 목재 보드(소나무, 처리되지 않은 것, 용이가 없는 것) 14개를 선택하였다. 이 연구에서 건축자재의 오존 제거 효율은 폴리에스테르필름 위의 페인트 8%, 고체 바닥재(리놀륨과 PVC) 25~40%, 카펫 50~70%, 칠이 되지 않은 석고보드 70%, 소나무 목재 보드는 최고 80%로 나타났다. 14개의 건축자재 중 오존 제거 효율이 가장 높은 소나무 목재 보드를 이용하여 상대습도와 오존농도에 따른 오존 침착 속도를 실험하였다. Fig. 4는 온도 23±2℃, 상대습도 40±5%인 일정한 조건에서 오존의 농도를 높여주었을 때 용이가 없는 소나무목재보드의 오존 침착 속도를 보여주고 있으며 오존의 농도가 높아질수록 소나무 목재보드의 오존 침착 속도가 점점 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상의 주된 원리는 각 물질 표면의 미시적인 물리적·화학적 성질로 인하여 오존과의 반응으로 포화상태가 되어 물질표면이 안정한 상태가 되어 오존이 흡착 될 수 있는 표면적의 감

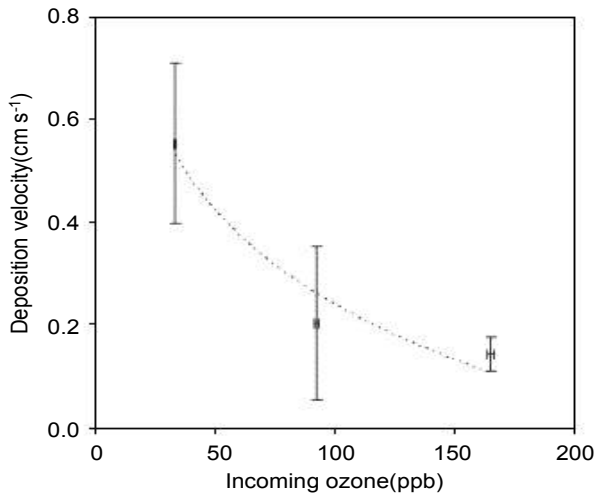


Fig. 4 Ozone deposition velocities on pine wood board without knots as a function of incoming ozone concentration at 40±5%RH.⁽²³⁾

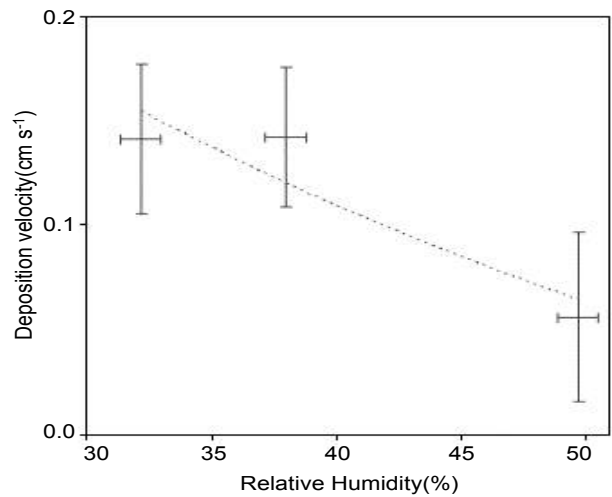


Fig. 5 Ozone deposition velocities on pine wood board without knots as a function of relative humidity at 165±5ppb ozone.⁽²³⁾

Table 1 Area specific emission rates(in $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) of aldehydes at 24 h in the “reference line” (Ref.) and in the “ozone line”(O₃)⁽²³⁾

Products	Formaldehyde		Acetaldehyde		Pentanal		Hexanal	
	Ref.	O ₃	Ref.	O ₃	Ref.	O ₃	Ref.	O ₃
Paint on polyester film	11.0	23.8	35.2	54.8	71.0	88.5	310.7	416.7
Linoleum	1.8	5.5	10.2	16.4	6.4	8.4	10.3	14.5
PVC flooring	1.7	7.1	1.4	4.1	0.9	4.1	0.5	15.7
Carpet/textile backing	7.0	10.0	5.8	6.8	1.8	2.1	0.9	2.9
Carpet/PVC backing	24.6	35.3	4.1	7.1	6.4	8.0	0.7	7.0
Polystyrene tile	0.5	14.3	1.8	1.7	27.5	34.3	0.7	n.d.
Gypsum board	17.8	17.3	2.1	3.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Wall paper 1	5.4	12.8	1.2	3.3	0.8	3.4	4.1	22.7
Pine wood board 2	25.6	23.7	7.6	6.0	17.3	7.6	16.7	52.2

소와 화학적으로 반응할 수 있는 면적이 줄어들기 때문에 오존 침착 속도가 점점 감소하는 것이다. Fig. 5는 온도 23±2°C, 오존 농도 165±5 ppb를 일정하게 유지하고, 상대습도를 50%까지 점차 높여 주었을 때 용이가 없는 소나무 목재 보드의 오존 침착 속도를 보여주고 있다. 상대습도가 높아질수록 오존 침착 속도가 감소하는 것을 관찰 할 수 있는데 Grøntoft et al.⁽²⁴⁾은 재료표면에 상대습도의 증가와 함께 오존 증착속도가 감소하는 것을 보고했다. 즉, 습기가 재료표면에 흡착되면 오존이 흡착 할 수 있는 공간이 줄어들기 때문에 상대습도와 오존농도가 높아질수록 오존이 잘 제거되지 않는 것이다. Table

1은 건축 자재에서 오존의 투입 유·무에 따라 “ozone line(O₃)”와 “reference line(Ref)”으로 나누어 24시간동안 발생하는 2차 오염물 방출률을 조사한 결과이다. ozone line은 건축자재에 오존을 투입하여 노출 시 킨 경우이고, reference line은 오존의 투입 없이 건축자재를 실험한 것이다. 일정한 실험조건에서 14개의 건축 자재에 오존을 투입하지 않았을 때보다 오존을 투입하였을 때 앞서 기술한바와 같이 오존의 산화력으로 인하여 건축자재표면에 에틸렌결합을 가진 불포화 유기화합물과 오존이 작용하면 오존의 첨가반응이 일어나 오존화물을 생성하게 되며, 오존화물이 가수분해 되면 원래의 이중결합 또는 삼중결

Table 2 VOC analysis specification⁽²⁵⁾

Component	Specifications and operating parameter
Analytical column	DB-624 GC 30 m×0.25 mm×1.4 μm
Carrier gas	Helium
GC-MS condition	Column temp program : 35°C, 10°C/min to 120°C with 10 min, 10°C/min to 220°C with 10 min, Scan range : 50~350 amu(EI)
ATD condition	Tube desorption temp : 280°C with 5 min, Cold trap low temp : -20°C, Cold trap high temp. : 300°C with 5 min

Table 3 Pollutant concentrations given different ozone concentrations and reaction times⁽²⁵⁾

Gas-phase reactions with building materials in different ozone and reaction times(Units : μg/m ³)									
Building materials emission stage	Emission concentration			In ozone concentration			For ozone reaction times		
	Initial conc.	Max conc.	24 h conc.	In 10~12th hour			In 10~12th hour		
				50 ppb	100 ppb	200 ppb	1.0 h	1.5 h	2.0 h
Formaldehyde (Secondary)	25.3	129.6	49.9	129.6	136.8	197.4	80.8	136.8	245.5
Acetone (Secondary)	147.3	172.7	117.8	135.4	182.2	152.1	154.1	182.2	126.2
Toluene	54.9	137.2	40.1	60.8	59.2	48.5	38.4	59.2	30.0
Ethylbenzene	5.8	13.8	8.6	10.4	15.4	11.8	7.7	15.4	8.7
Limonene	408.5	408.5	46.4	54.1	66.1	52.5	185.2	66.1	47.6
Heptane	9.2	20.9	15.6	15.6	15.9	16.0	7.4	15.8	14.4
Decane	317.9	317.9	8.6	295.6	201.7	195.9	4.8	201.7	244.1
Undecane	171.7	301.3	11.6	26.8	734.	27.9	7.5	73.3	56.1

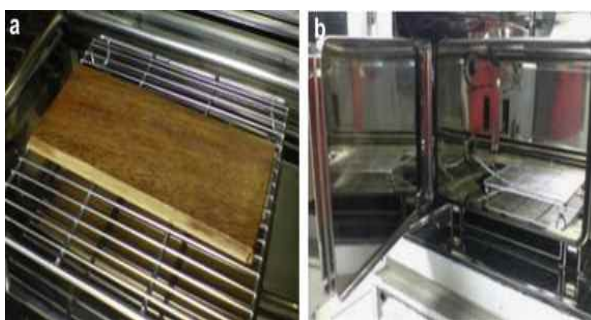


Fig. 6 Photographs of (a) painted GBM panel and (b) test chamber.

합이 끊어지는 화학적인 반응에 의하여 알데히드류와 유기 화합물 모두 발생량이 증가하였다. 건축 자재 표면에서 오존 제거 반응을 통하여 주로 생성되는 유해물질은 포름알데히드, 아세트알데히드, 벤젠알데히드 그리고 C₅-C₁₀ n-알데히드였다.^(23, 24)

위의 연구가 일반적으로 쓰이는 건축 자재에 대한 오존반응성 평가였다면, Chi, et al.⁽²⁵⁾의 연구에

서는 친환경 자재인 GBM(Green Building Material with EU-ECO label⁽²⁶⁾) 목재패널과 오존반응에 의한 주요 및 보조 오염물질 방출 종류 및 반응시간의 영향을 조사하였다. 실험시스템으로는 100 L 소규모 챔버를 사용한다. 챔버는 공기청정 시스템, 모니터링 및 제어 시스템, 실시간 샘플링 및 분석 시스템을 포함한다. 분석 절차의 세부 사항은 Table 2에 요약되었다. 실험재료는 칠이 된 목재 패널로서 Fig. 6 처럼 챔버 안에 넣고 24시간 동안 실험 하였다. 초기에 실험은 폐쇄적인 환기 조건에서 오존과 목재 패널의 반응으로 방출되는 휘발성 유기 화합물을 조사하였다. Table 3은 실험조건이 온도 25°C, 상대습도 50%, 환기횟수가 시간당 0.5회, 부하율 0.36 m²/m³에서 다른 오존 농도와 반응시간에 따른 오염물질 농도를 보여준다. GBM 패널에 의해 방출되는 주요 오염물질인 톨루엔, 에틸벤젠, 리모넨, 헵탄, 데칸 중 리모넨이 오존과 가장 강하게 반응하여 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 오존과 리모넨의 반응으로 생

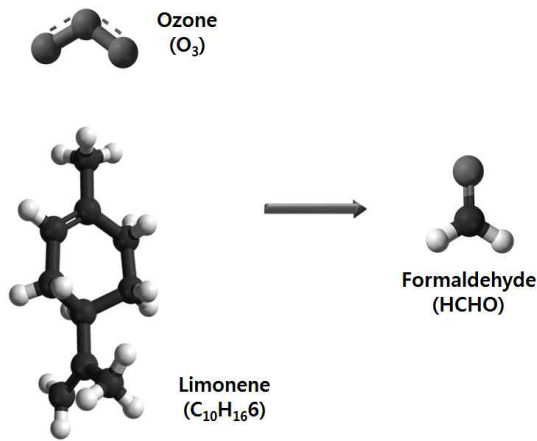


Fig 7 Secondary formaldehyde emission from ozone with limonene.

성되는 2차 오염물인 포름알데히드 생성과정이다. 특히 오존 농도와, 오존 반응 시간의 증가와 함께 2차 오염물 중 Fig. 7과 같은 과정으로 인하여 포름알데히드 농도가 가장 많이 증가 하였는데 오존농도 200 ppb, 반응 시간 3시간일 때에 최대 215.8%로 증가하는 것을 알 수 있었다.⁽²⁷⁾

친환경 건축 자재는 낮은 유독성, 최소 화학물질 방출, 재사용과 내구성을 가지면서, 환경과 우호적인 특성을 가지고 있어야 한다. 따라서 오염물의 형성 없이 오존을 제거할 수 있는 친환경 건축 자재를 선택하는 것뿐만 아니라 친환경 건축 자재 개발 시 오존과의 반응으로 생성되는 2차 오염물을 최소화하는 방향으로 연구가 이루어져야 할 것이다. 그러므로 이러한 기존 문헌연구를 기초로 하여 친환경 건축 자재를 개발할 때 오존과의 반응으로 생성되는 2차 오염물인 휘발성 유기화합물의 배출특성을 조사·연구한다면, 건축 자재를 통한 오존제거 및 2차 오염물 제어를 통한 친환경 건축 자재 제조에 기여할 수 있을 것이다.

4. 결 론

오늘날 우리 사회는 인구의 증가, 산업기술의 발달 및 경제생활 수준의 향상으로 말미암아 다양한 환경문제가 발생하고 있다. 더불어 산업발전으로 인하여 석유화학물질로 구성된 다양한 건축자재의 개발과 에너지 절감을 목표로 각종 산업 및 가정 분야에서 건물의 기밀화가 이루어지고 있다. 이러한 건축자재의 개발 및 사용이 증가하고, 건물의 기밀화가 이루어짐에 따라 대부분의 시간을 건물에서 보

내는 거주자들의 건강과 복지를 결정하는 중요한 요소로 실내공기질이 점차 인식되고 있다. 이러한 실내공기질을 결정하는 오염물질 중 하나인 오존은 1차 실내공기오염원으로 거주자에게 노출되었을 때 호흡기와 관련한 많은 질병을 일으키고 사망률도 높일 수 있다.

실내공기오염물질 중 하나인 오존은 우리가 흔히 사용하는 사무용기기에서 높은 전기 에너지와 온도 발생으로 자유 라디칼 연쇄 반응에 의해 오존이 발생하기도 하며 기타 오존살균 제품 및 기기 등을 통하여 실내에서 발생되고 있다.

환기 부족 시 실내에서 고농도로 존재하는 오존은 HVAC의 필터나 건축자재 기공 표면에 물리적으로 흡착됨으로써 오존이 제거되는 사례가 조사되었다. 그러나 이 과정에서 오존화물이 형성됨으로써 건축자재표면에 에틸렌결합을 가진 불포화 유기화합물과 오존이 작용하면 오존의 첨가반응이 일어나 오존화물을 생성하게 되며, 오존화물이 가수분해 되면 원래의 이중결합 또는 삼중결합이 끊어지는 화학적인 반응에 의하여 VOCs나 포름알데히드 등 2차 오염물이 생겨나는 것이 조사되었다.

따라서 국외에서는 실내건축자재와 오존반응으로 인한 오존 제거 및 이에 따라 발생하는 실내 공기오염물에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 국내 기존 문헌연구를 살펴보면, 실내 오염물질로서의 오존과 실내 건축자재와 오존반응으로 생기는 2차적인 오염물에 관련된 연구가 미비하다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 실내건축자재 표면에서 오존흡착으로 인한 오존제거 및 실내건축자재와 오존과 화학적 반응으로 인한 2차 오염물인 휘발성 유기 화합물 생성에 대한 연구사례를 몇 가지 소개 하였다. 이를 통해 오존을 제거할 수 있는 건축자재를 알 수 있었고, 건축 자재와 오존과의 반응으로 생기는 2차 오염물을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서는 국외문헌을 바탕으로 소개하였기 때문에 실험조건과 실험재료는 모두 국외의 기준이다. 따라서 국내에서 사용되는 실내 건축 자재와 기후와 습도 등의 실험조건은 국외와는 차이가 있을 것이다. 향후 이와 관련된 연구를 국내에서 수행 할 경우에는 국내에서 주로 사용되는 건축 재료와 국내에 맞는 실험조건을 가지고 실험이 수행되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원

으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011K000760).

참고문헌

1. Lee, J. H. and Kim, S. M., 2010, A Study on U.S CARB's Regulation and the Certification System about Composite Wood Products to Improve IAQ and the Comparison between CARB and Korean Certification System, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 127-186.
2. Yun, J. S. et al., 2010, Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from Building Flooring Materials, Korean society of environmental engineers, Vol. 32, No. 10, pp. 973-978.
3. Kang, Y. K. et al., 2008, A Study on VOCs and HCHO Emission of Building Materials Using the 20L Test Chamber, Korean Society for Indoor Environment, Vol. 5, No. 3, pp. 185-195.
4. Nicole F., 2003, Chemistry : The Central Science, 9th ed, Pearson Education, pp. 882-883.
5. Calabress, E. J. and Gilbert, C. E., 1990, Ozone Risk Communication and Management, Lewis Publishers.
6. Michelle, L. et al., 2010, Atopic asthmatic subjects but not atopic subjects without asthma have enhanced inflammatory response to ozone, Journal of Allergy and Clinical Immunology, Vol. 126, No. 3, pp. 537-544.
7. Ewers, U. and Nowak, D., 2006, Health hazards caused by emissions of laser printers and copiers, Gefahrstoffe-Reinhalt. Luft, Vol. 66, pp. 203-210(Translated German).
8. Seo, S. C. et al., 2011, Characterization of airborne pollutants emitted from a laser printer, Korean Society for Indoor Environment, Vol. 8, No. 4, pp. 251-262.
9. Chi, P. et al., 2009, Ozone removal by green building materials, Building and Environment, Vol. 44, No. 8, pp. 1627-1633.
10. Anh, J. Y., 2005, Metropolitan Air Pollution In-formation, 5th ed., Ministry Environment, Seoul, pp. 1-66.
11. Kim, S. R., 2010, The impact of climate elements on the ozone concentration over the Seoul metropolitan area, Graduation of education Konkuk University, Seoul, Korea.
12. Lamble, S. P. et al., 2011, Ozone deposition velocities, reaction probabilities and product yields for green building materials, Atmospheric Environment, Vol. 45, No. 38, pp. 6965-6972.
13. Lee, S. C. et al., 2001, Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber, Building and Environment, Vol. 36, No. 7, pp. 837-842.
14. Black M. S. and Worthan A. G., 1999, Emission from office equipment, The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, Scotland, Air Quality Sciences, INC. 7.
15. Hugo, D. et al., 2008, Indoor pollutants emitted by office equipment : A review of reported data and information needs Review Article, Atmospheric Environment, Vol. 42, No. 7, pp. 1371-1388.
16. He, C. et al., 2007, Particle emission characteristics of office printers, Environ Sci. Technol, Vol. 41, pp. 6039-6045.
17. Leland, S., 2004, Oxygen, oxysterols, ouabain, and ozone : a cautionary tale, Free Radical Biology and Medicine, Vol. 37, No. 3, pp. 318-324.
18. T-gate, 2011, Ozone emissions during product use, such as ozone sterilizer attention, Korea Consumer Agency.
19. Elliott, T. G. et al., 2011, Barriers and opportunities for passive removal of indoor ozone, Atmospheric Environment, Vol. 45, No. 19, pp. 3338-3341.
20. Taisuke A. and Shin-ichi Tanabe, 2007, Generation of sub-micron particles and secondary pollutants from building materials by ozone reaction, Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 15, pp. 3139-3150.
21. Zhao, P. et al., 2007, Ozone removal by HVAC

- filters, Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 15, pp. 3151-3160.
22. Hugo, D. et al., 2011, Secondary pollutants from ozone reactions with ventilation filters and degradation of filter media additives, Atmospheric Environment, Vol. 45, No. 21, pp. 3561-3568.
 23. Mélanie, N. et al., 2007, Reactions between ozone and building products : Impact on primary and secondary emissions, Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 15, pp. 3129-3138.
 24. Grøntoft, et al., 2004, The humidity dependence of ozone deposition onto a variety of building surfaces, Atmospheric Environment, Vol. 38, pp. 59-68.
 25. Chi, P. et al., 2009, Ozone removal by green building materials, Building and Environment, Vol. 44, No. 8, pp. 135-140.
 26. EU Low-emission floor covering adhesives and other installation materials RAL-UZ113, 2003, Basic criteria for award of the environmental label.
 27. Yung, T. H. et al., 2012, Environmental test chamber elucidation of Ozone-initiated secondary pollutant emissions from painted wooden panels in buildings a Department, Building and Environment, Vol. 50, pp. 135-140.