The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)
Vol. 6, No. 3, pp.449-456, August 31, 2020. pISSN 2384-0358, eISSN 2384-0366

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.449
JCCT 2020-8-56

새집증후군 현상 및 유해가스 제거방안 연구

Research on the phenomenon of sick house syndrome and how to remove harmful gases

최유화*

Yoowha Choe*

요 약 새 집으로 이사를 가거나 집, 사무실 등의 벽지나 바닥재를 바꿨을 때, 인테리어 공사를 한 뒤에 나타날 수 있는 코를 찌르는 매캐한 냄새와 눈이 따가워지는 등의 현상이 새집증후군으로 새집을 장만한 기쁨을 누리는 것도 잠시 뿐이다. 새 건축물이나 새 가구에 사용되는 건축자재, 접착제, 벽지, 페인트 등에서 나오는 휘발성 유기화합물들은 거주자들의 건강과 실내 생활의 불쾌감을 유발시킨다. 이 휘발성 유기화합물들은 대표적 물질인 포름알데히드를 비롯하여 벤젠, 톨루엔, 아세톤, 스틸렌 등이 포함되어 있고 이러한 물질들은 장시간에 걸쳐 서서히 방출되어 거주자들에게 급성 또는 만성적인 질환을 야기한다.

유기 휘발성 물질들의 제거 방법으로는 흡착을 이용한 물리적 방법과 휘발성 물질을 다른 물질로 전환시키는 화학적 방법 또는 두 가지가 혼합된 방법이 주로 사용된다.

본 논고에서는 반응물질의 반응속도와 생성물의 방출을 제어하는 방법으로 얻어지는 서방형의 이산화염소 젤팩과 최적화된 홀 경을 가진 제올라이트 흡착제를 혼용하여 공기 중에 부유하는 포름알데히드를 흡착, 분해시켜 제거하는 효과적인 방법에 대하여 제안하는 바이다.

주요어 : 새집증후군, 포름알데히드 흡착, 분해, 제올라이트 흡착제

Abstract When you move to a new home, or when you change the wallpaper or flooring of your home, office, etc., you can enjoy the joy of opening your new home with the sick house syndrome, such as the stinging smell and stinging eyes that may appear after the interior work. It is only a moment. Volatile organic compounds from building materials, adhesives, wallpaper, and paints used in new buildings or new furniture cause residents' health and discomfort in indoor life. These volatile organic compounds include benzene, toluene, acetone, and styrene, as well as the representative formaldehyde, and these substances are slowly released over a long period of time, causing acute or chronic diseases to residents.

As a method for removing organic volatile substances, physical methods using adsorption, chemical methods for converting volatile substances to other substances, or a mixture of the two are mainly used.

In this paper, a sustained release chlorine dioxide gel pack obtained by a method for controlling the reaction rate of a reactant and the release of a product is mixed with a zeolite adsorbent having an optimized hole diameter to adsorb and decompose and remove formaldehyde suspended in the air. I would suggest an effective method.

Key words : Sick house syndrome, formaldehyde adsorption, decomposition, zeolite adsorbent

*정회원, 초빙교수, 경기대학교 서비스경영전문대학원(제1저자)
접수일: 2020년 08월 03일, 수정완료일: 2020년 08월 10일
게재확정일: 2020년 08월 14일

Received: August 03, 2020/ Revised: August 10, 2020
Accepted: August 14, 2020
*Corresponding Author: paulchoe@kyonggi.ac.kr
Professor/Ph. D., department of Business Administration
Graduate School Kyonggi University

Ⅰ. 서 론

새집증후군은 주로 실내 건축자재 속에 포함된 포름알데히드, 톨루엔 같은 휘발성 유기물과 라돈 등의 오염물질이 공기 중으로 배출되면서 인체에 해를 끼치는데 천식 등 호흡기 질환과 아토피성 피부질환은 물론 암을 유발하는 원인으로도 지목되며, 새집의 실내공기가 오염되면서 발생한다.

실내공기 오염원은 대부분 실내에 있다. 벽지, 시멘트, 장판, 가구, 가전제품 등에 쓰인 접착제, 살충제, 세척제 등 수많은 화학물질에서 휘발성 유기물과 독성화합물이 나오기 때문이다. 그 중에서도 건축자재가 휘발성 유기물을 가장 많이 내뿜고 있는데 거의 모든 건자재에 오염원이 포함되어 있다.

가장 무서운 건 포름알데히드(HCHO)이다. 세계보건기구(WHO)는 포름알데히드를 1 급 발암물질로 분류할 정도지만, 건축마감재와 합판, 내화보드, 집성보드, 단열재 등 이 성분이 포함된 수지가 광범위하게 사용된다. 포름알데히드의 방출 수준이 절반으로 줄어드는 데 걸리는 기간은 무려 5~6 년이며, 특히 실내에서 방출되는 오염물질은 실외보다 폐에 전달될 확률이 1천 배나 높을 수 있어 더 위험하다.

Ⅱ. 문제점

새집증후군이 당장 눈에 띄는 심각한 해를 끼치는 건 아니지만 장기적으로는 인체에 치명적일 수 있습니다. 가려움과 두통, 메스꺼움, 피부질환에 이어 극히 드물지만 암에 걸릴 수도 있기 때문에 실내 공기질 개선의 근본적인 대책 마련이 시급한 실정이다. 법적으로 규제하는 방법이 있지만 이의제거가 쉽지 않은 상황에서 양질의 원료로만 건축을 한다는 건 원가 이외 에도 여러 문제를 야기하므로 새집증후군 문제는 어떻게든 해결해야 할 과제이다.

위 네 가지 일반적 방법을 적절히 시행한다 하더라도 독성물질인 유해가스(VOCs)-포름알데히드를 완전하게 제거 하는 것이 어려운 현실이기에 새집증후군 중 가장 위험하고 문제가 되는 유해가스-포름알데히드 등을 보다 확실하게 흡착하고, 흡착 후 어떤 매체와 반응을 통하여 포름알데하이드를 분해시킬 수 있다면 최고의 해법으로 각광 받을 수 있을 것이다.

Ⅲ. 새집증후군 해결방안

3.1 일반적 방안

현재까지 새집증후군 제거와 관련된 방법을 살펴보면 다음과 같은 방법을 제시할 수 있다.

가. 민간 요법적 방법 : 양파, 식물재배, 숯, 천연제올라이트 등을 이용한 방법들이 있는데 식물 재배는 정서상, 미관상 여러 가지 점에서 좋은 방법 이지만, 새집증후군 제거라는 효과는 아주 미약하다.

일반적인 숯이나 참숯은 숯불구이나 민간요법적인 항균, 습기제거 정도의 약한 효과가 있는 것으로 전문적인 흡착제라고 볼 수는 없다. 또한 천연제올라이트 또한, 그 이온교환성을 이용하여 농지개량이나 축산 시설의 오폐수 정화의 초기 단계에서 사용하는 물질로 새집증후군 제거에 적용될만한 전문적인 흡착제가 아니다.

나. 액체형 분사 방법 : 중화, 분해 방식 - 피톤치드, 광촉매, 화학적 중화, 분해액 살포, 고 용량 오존 및 플라즈마 이온 등. 액체형의 물질로 중화, 분해 등을 하는 것은 약한 의미에서 효과가 있습니다. 다만, 유해가스의 제거 능력은 피톤치드, 광촉매 등 그 방식이나 유해가스의 종류에 따라서 다르지만 대체로 1ppm 이하의 저농도의 유해가스 제거에만 약하게 효과가 있다.

특히, 새집증후군 시공을 하는 업체가 주로 사용하는 방법 중 피톤치드와 광촉매액의 분무, 살포가 많지만, 그 효과도 물질의 특성상 미미하다.

다. 다공성 물질을 이용한 흡착식 방법 : 합성제올라이트, 활성탄 등의 흡착재를 이용한 방법. 일반적으로 산업계에서 유해가스를 흡착, 제거하기 위해서 가장 많이 사용하는 것이 활성탄이다.

활성탄은 저렴한 가격과 일반적, 포괄적인 흡착능력, 즉, 가격 대비 상대적으로 우수한 흡착능력으로 인하여 많은 산업 현장에서 사용되고 있다. 다만, 활성탄의 경우 요오드흡착력 1,000 (mg/g) 의 고품질의 활성탄을 사용해야 제대로 유해가스를 흡착, 제거할 수 있다.

합성제올라이트는 활성탄과 비교하여 보다 정밀하고 보다 정확한 흡착 능력을 가지며 그 흡착량 또한, 뛰어나 전문적이고 정확한 가스 흡착이 필요한 곳에서 사용되고 있지만, 그 능력이 우수한만큼 그 가격이 고가(활성탄 대비 3~4 배 이상)이기에 일반화된 흡착재는

아니다.

새집증후군을 유발하는 유해가스 제거에 있어서 활성탄도 좋은 제품이기는 합지만, 특히 문제가 되는 포름알데히드와 같은 알데히드 계열 가스 같은 경우에는 그 흡착력이 상당히 약하다.

즉, 활성탄도 에틸벤젠 같은 가스의 흡착 성능은 상당히 좋은 편이지만, Formaldehyde, Acetaldehyde, Amines, Ammonia, Butane, dioxide, Ethane, Ethylene, , Hydrogen cyanide, Methyl mercaptan 등의 가스는 흡착력이 상당히 떨어지는 것이다.

라. 베이크 아웃 : 집안 전체에 열을 가하여 유해가스를 강제 배출시키는 방법인 베이크 아웃은 새집증후군 제거를 위한 가장 좋은 방법 중 하나이며 베이크 아웃을 실행하면 새집에서 발생하는 유해가스의 약 25% 이상을 초기에 제거할 수 있다. 다만, 실내 온도를 올리는 것에는 한계가 있으며 실행 시간에도 한계가 있기 때문에 베이크 아웃을 많이 시행한다고 해서 계속 유해가스가 없어지는 것은 아니다.

3.2 유해가스 제거 방안

1) 제품개요

최근 농산물 선도유지제로 주목을 받는 세진이앤피에서 개발한 서방형 이산화염소젤팩 기술을 응용한 새집증후군 유해가스 제거 프로그램을 주목해볼 필요가 있겠는데 이 기술은 이미 소형포장 용기로 유통되는 농,수산물 선도유지제에 적용되어 내수 및 수출되는 작물에 첨가되고 있는 Freshen이란 제품의 원천기술로 포도, 딸기, 방울토마토, 버섯 등에 적용 중이며, 새집증후군 유해가스 처리시 물리적인 흡착뿐 아니라 이산화염소와 포름알데히드를 직접 반응 분해시키는 기술로 이산화염소는 먹는물 소독제 뿐 아니라 식품첨가물(식첨물 화학적 합성품 186)에 등록되어 있고, WHO에서 최고안전등급 A-1 으로 분류된 안전한 물질로서 강한 산화력으로 포름알데히드를 분해시키는 것은 주지의 사실이나 이산화염소는 녹는점이 -59℃이고, 끓는점이 11℃인 가스상 물질로 이를 안정화 시키는 기술이 부족하여 사용이 제한적이었다.

표 1. 이산화염소 새집증후군 분해 과정
Table 1. Chlorine dioxide sick house syndrome decomposition process

구분	분해 과정
암모니아	$2NH_3 + 2ClO_2 + H_2O \rightarrow NH_4ClO_2$(암모늄크로라이트) + $NHClO_3$(암모늄염) $8NH_3 + 8HCl \rightarrow NH_4Cl$(염산염) $4NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$(황산염)
메르캅탄	$CH_3SH + ClO_2 \rightarrow CH_3SO_3HH$ $CH_3SO_3H + NH_3 \rightarrow CH_3SO_3NH_4$
황화수소	$5H_2S + 8ClO_2 + 4H_2O \rightarrow 5H_2SO_4 + 8HCl$ $NH_3 + 5H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$ $8NH_3 + 8HCl \rightarrow NH_4Cl$
황화메틸	$(CH_3)_2S + ClO_2 \rightarrow (CH_3)_2SO$ (Dimethylsulfoxide 무독,무취)
이황화메틸	$(CH_3)_2S_2 + ClO_2 \rightarrow (2CH_3)_2S_2O_2$ (무독,무취)
아민류	$(CH_3)_3N + HCl$(or H_2SO_4) $\rightarrow (CH_3)_3NHCl$ or $(CH_3)_3NHSO_4$ (아민염) $(CH_3)_3N + ClO_2 \rightarrow (CH_3)_3HClO_2$ (트리메탈암모늄크로라이트)
알데히드	Aldehyde + ClO_2 → Carboxyl 산으로 산화
아세트알데히드	Acetaldehyde $CH_3CHO + ClO_2 \rightarrow CH_3COOH$ (개미산, 무독,무취, 식용)

2) 시장 규모

우리나라의 주택공급현황을 지역별로 분석해 보면 아래와 같으며, 건강친화형 주택건설기준(국토부고시 제2015-998호)에 부합하게 건설하고, S사 동일 프로그램으로 30평형 아파트기준 @30만호/년에 새집증후군 유해가스 처리를 한다면 잠재시장 전규모는 년@45,000톤을 상회 할 것이다.(고,액상 포함, 첨부참조)

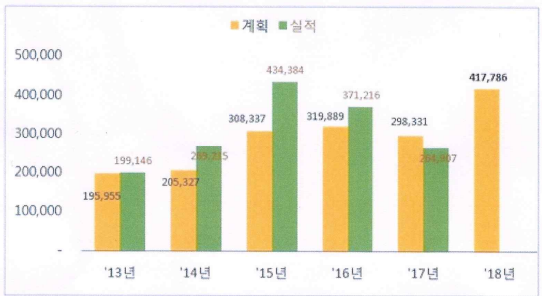

그림 1. 연도별 신규아파트 건설계획 및 실적
Figure 1. Construction plan and performance of new apartments by year

3) 시장 상황

업태규모상 대형 건설사에서 직접 처리하는 경우는 드물고, 하청을 주어 선 시공 후 마감 처리하는 방법으로 새집증후군을 해결하고 있는데, 규모상 규조토, 제올라이트, 일라이트, 산화티탄 같은 고상 도료를 베이스로 이용하여 시멘트 마감후 직접미장, 스프레이 처리하는 업체가 가장 많지만 중소기업 수준을 벗어날 수 없었고, 두번째가 오존과 프라즈마 같은 공기를 태우는 방식의 기계업체가 있으며, 그외 합성제올라이트, 일라이트, 활성탄, 숯, 기타 흡착제를 단위 제조하여 피톤치드, 편백오일 등과 같은 방향제를 패키지화하여 판매하는 온라인 업체가 대다수이기에 큰 시장을 형성하지 못하고 있다.

또한, 일부 대기업에서 친환경 무VOCs 수성제품을 판매하고 있으나 새집증후군 문제가 페인트 국한된 것이 아니므로 크게 영향을 주지 못하고 있다.

하지만 위 첫번째 방법인 시멘트 마감후 직접미장 스프레이 하는 업체의 기술수준이 조금씩 향상되고, 복합 다단처리를 함으로서 시장규모는 커지고 있다. 일례로 고.액마감으로 30평형을 처리업체가 처리시 @170~250kg가 소요되며 비용은 @200~400만원 선이다.

일인가구와 미분양으로 인한 주택 분양경기 활황,침체와는 별도로 2015~6년 주택경기는 활황이었고, 중대형보다는 소형아파트가 주류를 이루었으며, 그 주류에 입주하는 연령대를 주목해 보면 중,장년의 증가세가 뚜렷했다. 중,장년의 인생관은 건강하게 살고픈 의지가 강하여 새집증후군 같은 인체에 미치는 영향에 주목하고 있어 제대로 된 VOCs-포름알데히드만 완벽제어 된다면 소비자의 요구가 폭발적으로 증가하여 온 주택시장 시멘트마감후 후처리제로 자리 잡을 것이다.

이를 산업화에 적용하는 경우 지금까지의 새집증후군의 원인물질중 최악이었던 VOCs-포름알데히드를 흡착-반응-분해시키는 기술을 Scale-up화 하여 실수요자인 주류아파트 주택시장에 자연스럽게 접목할 것으로 예상된다.

3.3 기술적 특징

포름알데히드를 분해 제거하는 새로운 방법은 서방형 이산화염소 젤팩과 제올라이트 흡착제를 이용한 포름알데히드 제거용 조성물과 이의 제조방법에 관한 것이다.

이를 가능하게 하는 제안을 구성하는 단계는 1) 일정한 양의 이산화염소를 생성하고 공기 중으로 방출시켜 공기 중에 부유하는 포름알데히드를 산화시켜 제거하는 기능을 가지는 서방형 이산화염소 젤팩의 제조단계 2) 포름알데히드를 흡착하는 기능을 가지는 최적의 홀 경을 가진 제올라이트 흡착제의 선별단계 3) 서방형 이산화염소 젤팩 단독 또는 이 젤팩과 제올라이트 흡착제를 혼용하여 이를 포장하는 단계로 이루어진다.

1) 제품개요

가. 제안 방법의 제조단계

1) 서방형 이산화염소 젤팩의 제조

이산화염소는 강력한 산화제로 표백, 탈취, 살균 및 소독제로 널리 알려진 화합물이다. 이산화염소는 공기 중에서 포름알데히드, 암모니아, 사이롤(-SH), 설파이드(R-S-R′), 페놀 등을 산화시켜 다른 물질로 전환시킨다. 특히 포름알데히드는 이산화염소에 의해 포름산으로 궁극적으로는 이산화탄소로 전환된다. 하지만 이산화염소의 뛰어난 효과에도 이산화염소의 물리적 성질, 즉 낮은 끓는점(bp : 11 ℃)으로 그 사용이 제한되어 있다.

회사에서는 이러한 이산화염소의 물리적 성질을 보완하고자 이산화염소의 생성을 위한 아염소산염과 무기 또는 유기산과의 반응 용액의 pH와 점도를 조절하여 이산화염소의 생성 및 방출되는 양을 일정하게 제어함으로써 (출원번호 : 10-2015-0171979) 공기 중에 존재하는 포름알데히드를 지속적으로 제거할 수 있음을 확인하였다. 또한 서방형 이산화염소 젤팩은 용액의 pH를 1.5~4.5를 유지시키나. 적절하게는 겔 용액의 pH를 2.5~3.5로 유지한다. 이를 위해 사용될 수 있는 유기, 무기산으로는 시트릭산, 포름산, 말레익산, 황산수소나트륨, 인산일수소나트륨을 단독 또는 이들 산과 그 짝 염으로 이루어진 완충용액을 이용 할 수 있다. 동시에 반응 용액의 점도는 3000-10.000cps로 유지한다. 반응용액의 점도를 유지시키는데 사용되는 증점제로는 카르복시메틸셀루로즈, 구아검 또는 합성된 아크릴계 고분자가 사용될 수 있다.

그리고 이산화염소 생성 조성물을 PA/LDPE, PET/LDPE, 또는 Multi-LDPE로 밀봉하여 완성된 서방형 이산화염소 젤팩은 사용된 아염소산의 농도와 겔 용액의 pH, 그리고 점도에 따라 일정한 온도에서 장시간, 안정적인 상태로 0.1mg/day - 20mg/day 까지 이산

화염소를 방출시킬 수 있다. 이와 같은 방법으로 서방형 이산화염소 젤팩은 단독으로 또는 제올라이트와 혼용하여 밀폐된 공기 중에 부유하는 포름알데히드를 제거하는데 사용할 수 있다.

이 서방형 이산화염소 젤팩에 의한 포름알데히드의 제거능력은 시험 1과 2에 의해 실증적으로 확인된다.

시험 1과 2에서 이산화염소에 의한 포름알데히드의 제거능력은 이산화염소 젤팩에서 방출되는 이산화염소의 양에 의해 전적으로 영향을 받는다. 즉 일일 이산화염소 방출양이 높을수록 포름알데히드의 제거능력은 높아진다. 시험 1(이산화염소 일일 방출총량≒ 5.2 mg/day)과 2(이산화염소 일일 방출총량 ≒ 14.03 mg/day)의 비교에서 2시간 경과 후 포름알데히드 감소량은 대조구 대비 각각 28.8%, 54.20%로 측정되었다. 이의 결과는 공기 중에서 포름알데히드가 이산화염소에 의해 쉽게 산화됨을 보여준다.

포름알데히드의 제거 효율성은 이산화염소와 더불어 포름알데히드의 흡착에 적합한 홀 구경을 가진 제올라이트를 혼용함으로써 포름알데히드의 제거 효율성을 크게 높일 수 있다.

2) 제올라이트

새로운 제안 방법에서 사용되는 제올라이트는 포름알데히드를 특정하여 흡착할 수 있는 합성 다공성 결정성 알루미노 실리케이트 흡착제이다. 이 제올라이트는 콜로이달 실리케이트 수용액과 유기 셀룰로즈 화합물로 성형체를 제조하고, 이를 소성 처리하여 셀루로우즈계 화합물을 제거한 후, 알카리 금속 수용액과 알루민산나트륨 수용액 등으로 처리하여 무기계 결합제 성분인 실리카를 제올라이트로 직접 전환한 분말 또는 구형의 성형체로 이루어진 것을 특징으로 한다.

$$\underbrace{SiO_2}_{\text{결합체}} + \underbrace{NaAlO + NAOH + H_2O}_{\text{반응수용액}} \rightarrow \underbrace{Na_x(Si_yAl_xO_z)\cdot\ kH_2O}_{\text{NaX형 다공성제올라이트}}$$

위의 화학식에서 x , y 및 z는 결정구조에 따라 변화하는 상수이며, 실리카 성분이 결합제 역할을 하면서 대부분 제올라이트로 전환된 구형 성형체를 사용하며, 이온 교환된 구형 성형체를 350~600℃에서 1~3시간 소성시켜 포름알데히드 흡착에 적합한 제올라이트 성형체를 얻는다.

여기에서 제올라이트 성형체는 5~8Å 홀 경(Pore size, volume)과 4~9마이크로 분말, 또는 1~2mm 입자경을 가진 구형의 Bead 성형체를 다시 350~600℃ 소성하여 조절한 X형 또는 Y형 타입 제올라이트 흡착제를 특징으로 한다.

위의 특정 홀 구경을 가진 제올라이트의 포름알데히드의 흡착능력은 천연 제올라이트보다 우월하며, 제올라이트가 갖는 홀 구경이 포름알데히드를 제거하는데 중요한 요소임이 시험 3 - 13에서 잘 나타난다.

시험에서 제올라이트의 홀 구경은 3 - 8 Å에서 포름알데히드 제거 효과가 나타났으며, 더 바람직하게는 5-8Å의 홀 구경을 갖는 제올라이트이다. 실험 결과에서 제올라이트의 홀 경이 3Å의 경우 포름알데히드의 감소량은 대조구와 대비하여 2 시간 경과 후 약 30 - 40%로 측정되었다.

그러나 이 경우에는 제올라이트에 의한 포름알데히드의 흡착 능력보다는 혼용된 서방형 이산화염소 젤팩에 의한 작용이 크게 나타났을 것으로 판단된다.

또한 홀 경이 5Å와 8Å의 제올라이트의 경우에는 2 시간 경과 후 포름알데히드의 감소량은 각각 70%와 83%로 홀 구경이 3Å인 제올라이트보다 약 2배 증가되었다. 이는 투입한 서방형 이산화염소 젤팩의 능력을 초과한 결과로 제올라이트의 홀 구경이 포름알데히드의 제거에 중요한 요소임을 암시한다.

서방형 이산화염소 젤팩과 특정 홀 구경을 갖는 제올라이트는 각각 단독으로 사용하여도 포름알데히드의 제거에 효과적임이 실험적으로 확인되었다. 즉 서방형 이산화염소의 젤팩의 특징은 지속적으로 장기간 공기 중으로 이산화염소를 방출시킨다. 따라서 이 젤팩의 사용은 밀폐 공간 안에서 포름알데히드가 낮은 농도로 지속적으로 방출되는 곳에 적용할 수 있다. 제올라이트의 단독 사용은 포름알데히드를 흡착하여 제거하는 기능과 동시에 이탈도 가능한 단점을 지닌다. 이러한 문제는 서방형 이산화염소 젤팩과의 혼용 사용하여 해결할 수 있다. 즉 서방형 이산화염소 젤팩과 제올라이트가 혼용된 조성물은 공기 중에 존재하는 포름알데히드가 제올라이트에 의해 흡착과 이탈이 반복되어도 조성물에서 발생되는 이산화염소에 의해 포름알데히드가 산화되어 포름산으로 전환되고 생성된 산은 알카리, 또는 알카리토금속 염기에 의해 염으로 되어 그 휘발성이 사라짐으로 포름알데히드를 제거하는 효

과를 증대시킨다.

위의 포름알데히드 제거 조성물에서 이산화염소 젤팩과 제올라이트의 혼합비율은, 중량비로 이산화염소 젤팩 10중량% : 제올라이트 성형체 90중량% 또는 이산화염소 젤팩 90중량% : 제올라이트 성형체 10중량% 내에서 이산화염소 젤팩과 제올라이트 성형체를 혼용하여 사용될 수 있다. 생성된 포름산의 염의 형성에 사용되는 염기로는 수산화나트륨, 수산화리튬, 수산화칼륨, 수산화칼슘, 수산화마그네슘, 탄산나트륨, 탄산수소나트륨들 중 하나를 사용할 수 있다.

3) 서방형 이산화염소 젤팩과 제올라이트의 포장

1)과 2)의 과정에서 준비된 이산화염소 젤팩과 제올라이트 성형체를 내용기에 담고 입구를 Tyvek, PE, 부직포 중 어느 하나로 이루어지고 투기도가 5,000~10,000cc/m2 .24hrs를 갖는 필름지로 포장하고 이산화염소의 방출 및 포름알데히드의 흡착이 가능하게 윗면 및 옆면의 공간이 확보된 뚜껑이 달린 PP, PET의 재질의 외포장 용기를 사용하여 새로운 제품을 완성한다.

이하에서는, 새로운 제안방법의 이해를 돕기 위하여 바람직한 시험 종류를 제시한다. 그러나 아래에서 설명하는 시험종류는 새로운 제안방법을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것으로서, 새로운 제안방법의 내용이 한정되는 것은 아니다.

Ⅳ. 실험 및 결과

이산화염소의 일일 방출량의 측정은 한국 상하수도협회 (KWWA)의 수도용 약품 평가시험방법 부속서 17 이산화염소 및 아염소산이온의 분석 방법 2. 1. 19의 항에 의거하여 측정하였다.

제조한 이산화염소 팩을 300ml의 플라스크에 넣고 여기에 정제수 300ml를 넣고 마개로 막는다. 이 용액을 빛을 차단하여 25℃ 에 방치하고 24시간 경과 후 정제수에 용해된 이산화염소의 농도를 측정하였다. 24시간 경과 후에는 이 액을 따라내고 새로운 정제수 300ml를 다시 넣고 24시간 지난 후 이 용액의 이산화염소의 농도를 같은 방법으로 측정하였다. 1일 경과 시 마다 새로운 정제수로 교체하여 방출된 이산화염소의 농도를 측정하여 결과를 얻었다.

이산화염소의 젤팩이 큰 경우에는 1000 mL 용기를 사용하여 상기 같은 방법으로 이산화염소 방출량을 측정하였다.

1. 시험사례 1

시트릭산 0.2g, 아염소산 나트륨 0.100g, 카르복시메칠셀루로즈 0.300g, 용액의 pH = 3.2, 점도 5000 cps , 25℃), 증류수를 넣어 20g으로 PA/PE 필름으로 밀봉하였다. 이 팩의 일일 이산화염소의 방출량을 25℃에서 측정하였다.

표 2. 일일 이산화염소 방출량 시험사례1
Table 2. Daily Chlorine Dioxide Emission Test Case 1

일	방출량	일	방출량	일	방출량
1	0.38	2	0.56	6	0.81
7	0.81	8	0.73	9	0.73
13	0.68	14	0.66	15	0.61
20	0.53	21	0.61	22	0.43

2. 시험사례 2

아염소산나트륨 0.10g, 시트릭산 0.2g, 카르복시메틸셀루로즈 0.10g과 증류수 9mL를 사용하여 10g을 PA/PE 필름으로 밀봉하여 이산화염소 생성 젤팩을 만들고 이 팩의 일일 이산화염소의 방출량을 25℃에서 측정하였다.(점도 3,000 cps)

표 3. 일일 이산화염소 방출량 시험사례2
Table 3. Daily Chlorine Dioxide Emission Test Case 2

일	방출량(mg)	일	방출량(mg)	일	방출량(mg)
1	0.67	2	0.56	8	0.58
15	0.88	22	0.61	27	0.67
35	0.52				

3. 시험사례 3

아염소산나트륨 2.00g, 시트릭산 3.50g, 카르복시메틸셀루로즈 2.00g과 증류수 195mL를 10 x 10 cm면적의 용기에 넣고 PA/PE 필름으로 밀봉하여 이산화염소 생성 젤팩을 만들고 이 팩의 일일 이산화염소의 방출량을 측정하였다.

표 4. 일일 이산화염소 방출량 시험사례3
Table 4. Daily Chlorine Dioxide Emission Test Case 3

일	방출량(mg)	일	방출량(mg)	일	방출량(mg)
1	2.67	2	7.10	3	7.28
6	14.03	7	14.30	8	11.47
9	12.95	10	11.20	11	11.74

4. 포름알데히드 제거 시험

이상과 같이 기술된 이산화염소 젤팩과 수산화칼슘(1.0g)을 단독으로 또는 제올라이트와 함께 그림 1의 용기에 담는다. 이 용기를 그림6과 같이 간이 테들러백(용량 4.5liter, 사각 투명pp)에 넣은 후, 포름알데히드 35% 용액을 간이 테들러 백에 1.988~1.999ppmv(max 1.999ppmv)되게 주사기를 이용하여 주입하고, 20℃에서 시간 변화에 따른 포름알데히드와 VOCs를 Professional Air Tester 사의 Formaldehyde gas detector WP-6000으로 측정하였다.

1) 시험 1

제조된 지 6일 이 경과한 이산화염소 젤팩 (10g/팩, 이산화염소 일일 방출량 : ≒ 0.52 mg/day) 10개 사용하였다.

2) 시험 2

제조된 지 6일 이 경과한 이산화염소 젤팩 (200g/팩, 이산화염소 일일 방출량 : ≒ 14.03 mg/day) 한 개를 사용하였다.

표 5. 시간 경과에 따른 포름알데히드와 VOCs 측정값 (ppm)
Table 5. Measurements of formaldehyde and VOCs over time

구분	시험1		시험2	
	포름알데히드	VOCs	포름알데히드	VOCs
Blank	1.989	9.999	1.992	9.999
30분후	1.909	9.999	1.727	9.999
1시간 후	1.705	8.921	1.206	8.123
2시간 후	1.415	8.521	0.913	5.126

3) 시험 3 - 12

이산화염소 젤팩은 제올라이트 흡착제를 포함하는 내 용기에 들어가고, 그 위에는 Tyvek 혹은, pp부직포/LLDpe로 된 양면필름으로 밀봉하여, 각각 이산화염소 젤팩 (10g/팩, 이산화염소 일일 방출량 ≒ 0.5 mg/day)을 3개씩 투입하고, 홀경과 입자의 크기가 다른 여러 가지 제올라이트를 같이 투입하여 시간경과에 따른 포름알데히드의 양과 VOCs 양을 시험 1과 같은 방법으로 측정하였다. 시험 12와 13은 천연 제올라이트를 사용한 상태에서의 실험이다.

표 6. 시험에 사용된 제올라이트의 홀경, 입자의 크기, 투입량과 이산화염소 젤팩.
Table 6. Zeolite hole diameter, particle size, dosage and chlorine dioxide gel pack used for the test.

구분	제올라이트				이산화염소 젤팩
	형태	홀 구경(Å)	입자 크기(㎛)	투입량 (g)	투입 수 (10g/팩)
시험 3	X	3	3-5	70	3
시험 4	X	3	8-9.5	70	3
시험 5	A	4.2	3-5	70	3
시험 6	A	4.2	8-9.5	70	3
시험 7	X	5	3-5	70	3
시험 8	X	5	8-9.5	70	3
시험 9	X	8	1-2 mm	70	3
시험 10	X	8	3-5	70	3
시험 11	X	8	8-9.5	70	3
시험 12	천연		325 mesh	70	3

각 시험 3-12의 포름알데히드의 제거 실험 결과는 아래의 결과로 나타났다.

표 7. 시간 경과에 따른 포름알데히드와 VOCs의 측정값
Table 7. Measurements of formaldehyde and VOCs over time

구분	초기		2시간 후	
	포름알데히드	VOCs	포름알데히드	VOCs
시험 3	1.955	9.999	1.184	8.806
시험 4	1.996	9.999	1.025	7.182
시험 5	1.976	9.999	1.498	7.925
시험 6	1.984	9.999	1.559	8.123
시험 7	1.988	9.999	0.493	5.253
시험 8	1.992	9.999	0.505	6.108
시험 9	1.998	9.999	0.288	2.194
시험 10	1.967	9.999	0.326	2.415
시험 11	1.981	9.999	0.292	3.256
시험 12	1.986	9.999	0.988	5.125

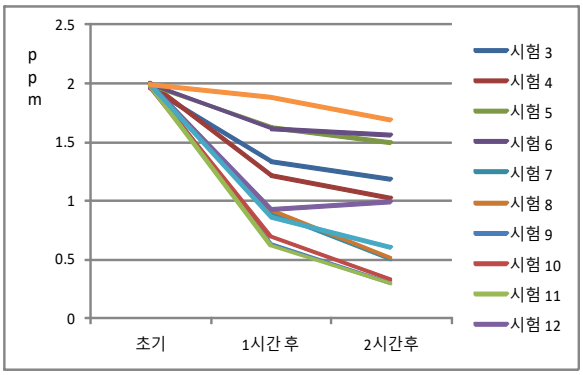

그림 2. 시간경과에 따른 포름알데히드 농도 변화
Figure 2. Changes in formaldehyde concentration over time

V. 결 론

이산화염소 액상 안정화 기술을 개발, 서방형으로 지속방출 시키는 기술과 특수한 흡착재를 접목하여 유해가스-포름알데히드 가스를 지속적으로 흡착하고, 반응하여 카르복실산으로 바뀌어 안전하게 분해시키는 구조의 포름알데히드-VOCs를 효과적으로 제거하는 도료를 개발하여 시중에 선보이게 된 것이다.

이산화염소를 기본 반응 기제로 사용하여 포름알데히드를 흡착, 분해하는 새로운 제안 방법은 서방형 이산화염소 젤팩과 제올라이트 흡착제를 이용한 포름알데히드 제거용 조성물과 이를 제조하는 방법에 관한 것으로서 이 조성물은 지속적으로 산화제인 이산화염소를 생성하여, 공기 중으로 방출할 수 있는 서방형 이산화염소 젤팩과 포름알데히드 흡착을 위한 최적의 홀 경을 갖는 제올라이트로 이루어진 조성물로 밀폐된 공간 내에 새집증후군을 유발하는 대표적 물질인 포름알데히드를 장기간, 지속적으로 흡착, 분해시켜 제거하는 효과를 나타낸다는 것을 실증적으로 확인할 수 있다.

References

[1] Seonghyun Park. Janghoo Seo, A Study on Economics and Reduction of Pollutant Concentration According to Application of Sorptive Building Material During Bake-out, The Korean Solar Energy Society, Spring Annual Conference, 2018

[2] Soonkwon Park, Characteristics of Indoor Air Quality in the Public Facilities, Ulsan, University of Ulsan, 2011

[3] Youngshin Cho, Study on the Indoor Air Quality Status at Chungcheongnam-do Area of Childcare Facilities, Soonchunhyang University, 2013

[4] Yeoneun Suk, Ki-Cheul Naml. Young-Han Lee, An Analysis on the Chracteristics of HCHO, TVOC, PM in Apartment Underground Parking Lot, KIEAE Journal Vol.17 No.6. 2017

[5] Ki-Cheul Naml. Young-Han Lee, An Analysis on HCHO, TVOC, CO_2 Concentration of Existing-Housing Indoor-Air in Summer, KIEAE Journal, Vol.16 No. 6, 2016.12

[6] Myung-Gyu Lee, A study on improvements of living harmful environment management system of apartment houses, Kwangun-University, Doctorate Thesis, 2015