

최 종  
연구보고서

# 자원 재활용을 이용한 목질 복합재료의 실내 공기 오염 물질 저감법 개발

주관기관 : 서울대학교

협동기관 : 충남대학교, 경원대학교

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자원 재활용을 이용한 목질 복합재료의 실내 공기 오염 물질 저감법 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 5월 23일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 김 현 중

연 구 원 : 김 수 민

연 구 원 : 안 재 윤

연 구 원 : 김 기 욱

협동연구기관명 : 충남대학교

협동연구책임자 : 이 화 형

협동연구기관명 : 경원대학교

협동연구책임자 : 윤 동 원

# 요 약 문

## I. 제 목

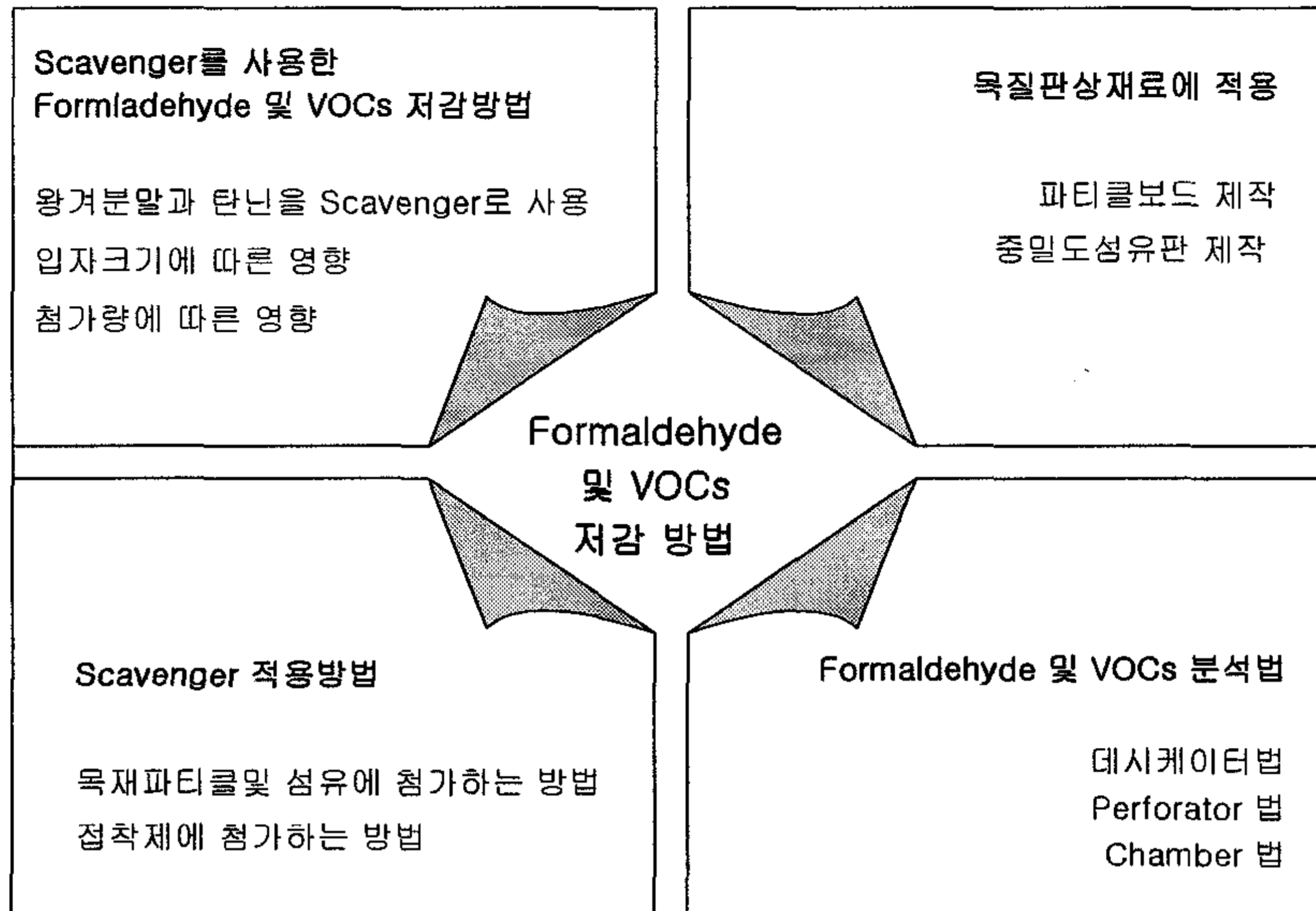
자원 재활용을 이용한 목질 복합 재료의 실내 공기 오염 물질 저감법 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 산업폐자원인 폐MDF와 농산부산물인 왕겨를 목질판상재료의 대체원료로써 그 적용성 평가와 제조된 목질판상재료에서 방산되는 formaldehyde와 VOCs를 측정하여 산업폐자원과 농산부산물이 formaldehyde와 VOCs를 저감하기 위한 scavenger로서의 가능성 평가와 함께 저감법을 연구하며, 또한 기존의 formaldehyde 측정법들 간의 상호관계를 분석하여 표준화를 제시하는데 있다. 궁극적으로 본연구의 목표는 실내건축자재인 목질판상재료로부터 방산되는 VOCs 물질과 formaldehyde 방산량을 평가하여 방산농도에 따른 재료의 분류를 하여 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 적용범위를 규정함으로써 실내 공기질 관리법에 대한 기준을 도출하고자 한다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

산업폐자원 , 농산부산물 등을 활용한 목질판상재료의 formaldehyde 및 VOCs 방산량 저감법을 연구하며, 탄닌분말 및 silica 등을 활용하여 효율적인 scavenger 발굴하였다.



또한 표면재 오버레이 처리를 통한 VOCs와 formaldehyde의 저감성을 확인하였다. 이를 배경으로 실제로 가정 및 학교에서 표면재 처리되어 사용되고 있는 가구류를 대형 챔버에 적용하여 VOCs와 formaldehyde 등의 실내공기 오염물질의 방산경향을 확인하였다.

자원의 재활용 측면에서 폐MDF를 폭쇄처리 방식을 이용하여 MDF 제품의 물리·기계적 성질을 규명함으로써 폐MDF의 폭쇄처리에 따른 그 이용범위를 규명하였으며, 저오염 목질재료의 제조를 위한 scavenger로서 숯을 선정하여 파이버에 도포하여 HCHO의 저감을 위한 경제적으로 이용가능한 이용적정 범위를 규명하였고 그 재료선정을 완료하였다.

그리고 그 선정된 폐기물의 이용방식의 문제점을 보완·개선하기 위한 다양한 재료·방식을 심도 있게 진행하였다. 그 결과 폐MDF를 고해와 해리를 통한 섬유판의 제조하기 위한 fiber의 제조방식을 선정하였으며 fiber의 열화와 그 활용가능성을 규명하였다. 그리고 기존의 목질목재폐기물을 탄화방식을 통한 숯보드로서의 재활용방안을 제시하면서, 기존의 숯보드보다 뛰어난 작업성을 본 연구를 통하여 알 수 있었다. 또한 기 연구에 이용 방식을 이용한 폐기물을 이용하면서 저오염 섬유판을 제조하기 위한 scavenger로 선정하여 HCHO의 저감으로의 이용방법을 제시하였고, 그 이용가능성을 KS 규격실험을 통하여 입증하였다.

이전 연구결과와 결부하여 저오염 MDF를 제조하기 위하여, 물리적인 방법이 아닌 화학적인 접근방법으로  $TiO_2$ 을 이용하여, 물리·기계적 성질뿐만 아니라 HCHO·TVOC를 조사하여 이산화티탄의 효과 및 그 이용방식을 입증하였고, 이를 현지에 이



용 가능한 방법을 제시하였으며 목재 폐기물을 재활용 한 숯보드가 인체친화적임에 에틸렌가스 흡착실험을 통하여 입증하였다. 또한 HCHO·TVOC를 조사를 어떠한 목질 재료보다 더 재료로서 인간에게 덜 유해함을 입증하였다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구를 통하여 제조된 파티클보드의 물리적 및 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 고려해 왕겨분말과 MDF 가공부산물을 첨가하여 파티클보드를 제조하는 경우 10%정도를 혼합하여 사용할 수 있다고 판단된다. Tannin 분말은 포름알데히드 방산량을 저감해주는 기능이 우수하며 파티클보드의 물리적·기계적 성질을 크게 변화시키지 않았다. 또한 표면재 오버레이 처리를 통해 실내에서 방산되는 인체 유해한 VOCs와 Formaldehyde를 저감을 확인할 수 있었으며 목질계 표면재가 플라스틱계 표면재에 비해 대체적으로 우수한 저감효과를 확인할 수 있었다. 따라서 자원재활용 측면과 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물의 저감효과를 위한 scavenger 역할에 앞으로 다양한 산업폐자원과 농산부산물이 첨가되어 연구되어야 할 필요성이 있으며 실내 내장재에 쓰이는 표면재의 친환경성과 물성 측면을 고려할 경우, 플라스틱계에 비해 우수한 물성을 가진 목질계 표면재의 개발 및 다양한 목질계 표면재 개발이 필요하다.

## Summary

The object of this research was to development of low indoor air contamination wood based composites with renewable materials. To attain above object, we have been work a series of research, including as follows;

1. Formaldehyde and VOCs emission concentration study of low indoor air contamination particleboard using the industrial wastes and agro-wastes ( I )
2. Formaldehyde and VOCs emission concentration study of low indoor air contamination particleboard using the industrial wastes and agro-wastes ( II )
3. Reduction of formaldehyde emission from particleboards by bio-scavengers
4. Reduction of TVOC and formaldehyde emission concentration with UV coating and surface treatment and correlation between desiccator method and 20L small chamber method
5. The study of TVOC and formaldehyde reduction for Wood-based composite panel by surface materials treated
6. The comparison of VOCs and HCHO emission concentration from the furnitures were conducted using the test chamber method
7. MDF manufacture using explored MDF waste fiber and charcoal for scavenger
8. Board manufacture using MDF waste, wood waste, scavenger application for low indoor air pollutant
9. Low indoor air pollutant wood composite manufacture and human-friendly life charcoal board manufacture using wood waste of municipal home life.

The followings were the detailed data and results obtained from each group.

In consideration for mechanical, physical characteristics and formaldehyde emission concentration of manufactured particleboard, there had a possibility add 10% of rice husk flour and MDF manufacturing by-products to particleboards. and Tannin flour was miles better easier superior about reduction of formaldehyde emission concentration.

The banding strength and internal bonding strength of the Particle boards with additives increased during hot press time. but, they were decreased through the increase of additives. The more hot press time, the more physical (thickness, linear expansion, absorptance) and mechanical (banding strength, internal bonding strength) characteristics. the particle board with tannin had the most physical and mechanical characteristics.

Through hot press time and additives was increased, formaldehyde emission concentration of the particle boards was decreased. in case add charcoals to particle board, the grade of formaldehyde emission concentration was F☆☆☆☆ and effectively reduced formaldehyde emission concentration.

To determine the formaldehyde emission levels, the peak areas of each wood-based composite were calculated from aldehyde chromatograms attained with the 20L small chamber. The order of peak areas of aldehyde. As expected, the formaldehyde EFs of MDF and PB were higher from flooring materials made as E1 grade, although engineered flooring was slightly higher than laminate, in contrast to the results obtained from typical methods with desiccator and perforator.

The propriety applied amounts of PVAc and EVA to overlay MDF as surface materials was 20g, and surface tension strength was  $1.50\text{N/mm}^2 \sim 3.0\text{N/mm}^2$ . It was suitable for the standard in KS F 3106. The surface characteristics of all overlaid MDF as surface materials were maintained through the results of heat and cool repetition test. Sampling period was from 1 day to 7 days to determine the formaldehyde and VOCs emission levels with the 20L small chamber method and FLEC method. In case VOCs, emission concentration of MDF overlaid the plastic surface materials was higher than MDF overlaid the lignocellulosic surface materials. so, the lignocellulosic surface materials were able to reduce TVOC emission from MDF. the lignocellulosic surface materials and the plastic surface materials had a effectively blocking characteristic for formaldehyde.

The measurements of VOCs and HCHO emission from the furnitures were conducted using the test chamber method. improving indoor air quality is to reduce the sources of air contaminants such as volatile organic compounds and formaldehyde. By controlling the selection of VOC emitting products or by substituting with those having lower emissions, indoor air pollution can be

reduced.

MDF wastes from municipal home life were fiberized by explosion method. MDF was manufactured of this exploded fiber, investigated on physical and mechanical properties, and examined in relations of proper ratio of raw virgin fiber and exploded recycled fiber.

Scavenging effect of charcoal powder was examined as a scavenger for decreasing HCHO release of MDF, and showed good results. Especially 5% of activated charcoal powder (#100~200) adding into the E1 UF resin gave good scavenging effect on MDF to meet the Eo.

MDF was manufactured of fibers from disintegrated and beaten MDF wastes, investigated on physical and mechanical properties, and examined on its recycling in relation with recycled fiber. This process gave the same results as virgin fiber both in physical and mechanical properties and formaldehyde emission, but fiber yield was 85%.

Activated black charcoal board was made of charcoal from wood waste of municipal home life and investigated on physical and mechanical properties. This charcoal board proved same properties as established white charcoal board and black charcoal board, and showed more workability for sawing, nailing and drilling than established charcoal board.

This activated charcoal powder from wood waste of municipal home life gave good scavenging effect on the formaldehyde emissions of MDF and PB. 100 mesh and 7% adding showed formaldehyde emission of near 0.3 mg/ℓ.

Wood composite made of UF resin which is treated with TiO<sub>2</sub> indicated the very best grade of Korean Air Cleaning Association. There are two ways of TiO<sub>2</sub> treatment, the one is TiO<sub>2</sub> adding(7%) into ready-made UF resin with radiation of UV-A lamp(over 1 hr), and the other is TiO<sub>2</sub> adding(1%) into the halfway of UF manufacture. the latter is much more effective than the former.

As a complementary experiment, activated black charcoal board from wood waste of municipal home life showed the very best grade which indicated below 0.01mg/ℓ of HCHO and 0.0028 mg/m<sup>3</sup>×h(charcoal board control), 0.0040 mg/m<sup>3</sup>×h(overlaid charcoal board)) of TVOC by small chamber test on 7th day. Ethylene gas adsorption gave the same value as those of white charcoal board and activated charcoal board.



# CONTENTS

Chapter 1 Introduction .....	1
Chapter 2 The present situation about these research in domestic and aboard ...	5
Chapter 3 Contents and results .....	6
Paragraph 1 Formaldehyde and VOCs emission concentration study of low indoor air contamination PB using the industrial wastes and agro-wastes ( I ) .....	6
Paragraph 2 Formaldehyde and VOCs emission concentration study of low indoor air contamination PB using the industrial wastes and agro-wastes ( II ) .....	18
Paragraph 3 Reduction of formaldehyde emission from particleboards by bio-scavengers .....	29
Paragraph 4 Reduction of TVOC and formaldehyde emission concentration with UV coating and surface treatment and correlation between desiccator method and 20L small chamber method. ....	44
Paragraph 5 The Study of TVOC and formaldehyde reduction for wood-based composite panel by surface materials treated .....	63
Paragraph 6 The comparison of VOCs and HCHO emission concentration from the furnitures were conducted using the test chamber method ...	79
Paragraph 7 MDF manufacture using explored MDF waste fiber and charcoal for scavenge .....	96
Paragraph 8 Board manufacture using MDF waste, wood waste, scavenger application for low indoor air pollutant .....	109

Paragraph 9 Low indoor air pollutant wood composite manufacture and human-friendly life charcoal board manufacture using wood waste of municipal home life .....	130
Chapter 4 An attainment and contribution .....	143
Chapter 5 A plan for practical use .....	145
Chapter 6 An information obtained from abroad about these research .....	146
Chapter 7 References .....	147

# 목 차

제 1 장 연구개발 과제의 개요 .....	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	5
제 3 장 연구 개발 수행내용 및 결과 .....	6
제 1 절 산업폐자원 및 농산 부산물을 활용한 저 실내공기질 오염 파티클 보드의 formaldehyde 및 VOCs 방산량 저감법 연구(I) .....	6
제 2 절 산업폐자원 및 농산 부산물을 활용한 저 실내공기질 오염 파티클 보드의 formaldehyde 및 VOCs 방산량 저감법 연구(II) .....	18
제 3 절 Scavenger를 이용한 파티클보드의 포름알데히드 방산량 저감법 연구 ...	29
제 4 절 UV 코팅 및 표면처리에 따른 TVOC 와 포름알데히드의 저감 및 측정법간의 상관관계 연구 .....	44
제 5 절 표면처리에 따른 목질복합재료의 TVOC 및 포름알데히드 저감연구 ...	63
제 6 절 가구 소재에 따른 오염물질 방산량 비교 .....	79
제 7 절 폐MDF폭쇄섬유를 이용한 MDF제조 및 Scavenger로서의 숯 이용 .....	96
제 8 절 폐MDF 및 목질폐잔재의 재활용 Board 제조 및 저오염 Board 제조를 위한 Scavenger로서의 활용 .....	109
제 9 절 Tio <sub>2</sub> 를 이용한 저오염 목질재료 제조 및 인체 친화적 생활폐잔재 숯보드 제조 .....	130
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	143
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획 .....	145
제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학 기술정보 .....	146
제 7 장 참고문헌 .....	147

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

현대사회에서의 가장 큰 관심은 자원의 재활용과 환경이다. 특히 주택의 구조나 건축 재료는 시대의 흐름에 따라 크게 바뀌어 왔다. 이러한 변화에 여러 가지 기술적 발전이 뒤따랐으며 목재산업의 경우도 예외는 아니었다. 가장 직접적인 목재의 이용인 제재목 이외에 목질보드 제조기술이 발전하였고 생활수준의 향상으로 목질보드 사용이 증가하였다. 특히 1980년대 중반부터 남양재 원목의 주요 수출국인 인도네시아가 원목수출을 금지하고, 1992년 리우선언 이후 UN에서 주도해 온 지구환경보호를 위한 열대림보호운동 및 지속 가능한 산림경영의 적용으로 남양재 원목의 공급이 감소함에 따라 소경재를 사용하여 제조할 수 있는 목재파티클보드 (PB: particleboard), 중밀도섬유판 (MDF: medium density fiberboard) 및 OSB (oriented strandboard) 등과 같은 목질재료의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이들 목질판상재료들은 목재를 파쇄하거나 섬유상으로 만들어 제조하기 때문에 어떤 형태의 목재도 사용 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이들 원료로 사용되는 목재파티클이나 목재섬유를 이용하여 목질판상재료를 제조하는 데는 필수적으로 접착제가 사용된다. 현재 사용되는 접착제는 주로 formaldehyde계 접착제가 사용되고 있다.

그러나 이와 같은 목질판상재료 사용량의 증가는 formaldehyde계 접착제에서 발생하는 formaldehyde 방산 문제를 야기 시켰고 최근에는 인체에 유해한 여러 가지 휘발성 유기화합물 (VOC: volatile organic compound)의 방산이 문제시 되고 있다. 특히 최근에 들어서 신축·개축 후의 주택, 사무실 등에서는 냉·난방, 단열 등 에너지 절약 대책의 이유로 실내공간의 고기밀화가 이루어지고 있다. 또한 실내 공간 내의 내장재, 가구 등에 다양한 화학물질이 사용됨에 따라 화학물질의 방산에 의한 실내공기 오염으로 거주자들에게 나타나는 다양한 건강 이상 증상에 대해서 보고되고 있다. 실내공기오염의 중요성은 인간이 실내에서 생활하는 시간이 하루 중 90% 이상을 차지하고 있으며, 실내 공기질은 재실자들의 건강에 직접적으로 영향을 미치기 때문이다. 이에 따라 우리나라에서는 2003년 4월 제238회 임시국회에서 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 통과됨에 따라 그동안 방치되어 왔던 아파트, 도서관, 터미널, 상가, 공동주택 등의 실내에서 발생하는 formaldehyde와 휘발성 유기화합물 (VOCs) 등 인체에 해로운 오염물질에 대한 규제가 이루어지게 됐다. 이 법안은 공포 후 1년 후인 2004년 5월에 시행됨에 따라 현재 목재산업은 여러 가지 변화를 겪고 있다. 합판 및 보드산업에서 인체에 무해한 제품생산과 해외에서 수입되는 합판과 보드류도 국내 규정에 적합한 것으로 수입되어야 하기 때문에 생산단가와 수입단가가 증가하고 있으며, 또한 목질 복합재 산업 전반에 걸쳐 사용하는 접착제에서 발생하는 formaldehyde 방산량을 줄여야 하는 문제가 발생하고 있다. 가구산업과 마루바닥재 산업 또한 예외가 될 수 없다.



그러나 현재까지의 연구는 공간적인 개념을 바탕으로 한 오염에 관한 연구가 주종을 이루고 있다. 또한 시행되는 규제에 따른 실내 재료들에 대한 오염물질의 방산량이나 규제방법, 측정법 그리고 기준 등이 아직까지 명확히 정해지고 있지 않은 상태다. 그러므로 본 연구는 실내공간에 사용되는 재료들 중에서 목질판상재료에 대한 formaldehyde 방산과 VOCs 방산량을 측정하여 앞으로 시행될 실내 공기질 관리법에 대한 대응책 및 기초자료로써 활용하고자 한다.

## 1) 기술적 측면

### o 폐자원의 활용도 증대

산업폐자원인 폐MDF와 농산부산물인 왕겨의 용도를 현행 저부가가치 재료에서 좀 더 고기능성, 고부가가치를 지닌 재료로의 전환을 꾀하기 위해, 파티클보드와 섬유판의 원료로 혼합하는 방안과, 접착제에 첨가되는 포름알데히드 방산을 저감시키기 위한 scavenger로서 사용하는 방안을 연구한다.

### o 목질 판상재료에서 방산되는 formaldehyde와 VOCs 방산 측정법 표준화

2004년 5월부터 시행예정인 “다중 이용 시설 등의 실내 공기질 관리법”에 대비하여 실내공기오염의 주된 오염원으로 알려진 목질 판상재료에서 방산되는 formaldehyde와 VOCs를 측정·평가 한다.

Formaldehyde 방산 측정법들 중에 대표적인 방법인 데시케이터 측정법과 perforator 측정법, 그리고 2003년 7월 JIS에서 채택되어 실내 공기질 관리법의 측정방법으로 선정될 가능성이 높은 20ℓ small chamber법과의 상호관계를 분석한다. 또한 20ℓ small chamber법을 사용하여 VOCs 방산량을 분석한다.

### o 목질 판상재료에서 방산되는 formaldehyde와 VOCs 저감법

Formaldehyde와 VOCs 방산 저감법으로 효율적인 scavenger 발굴과 그 적용법을 연구한다.

농산부산물인 왕겨분말과 왕겨분말에 다량으로 함유되어 있는 silica과 목재수피에 포함되어있는 tannin을 scavenger로 적용하였을 때 방산량 저감효과를 분석한다.

목질판상재료의 표면 가공처리법인 무늬목 접착 및 도료나 코팅에 의한 방법이 formaldehyde와 VOCs 방산량 저감에 미치는 영향을 분석한다.

## 2) 경제 · 산업적 측면

### ○ 목질판상재료의 원료로 산업 폐자원과 농산부산물의 활용 및 Formaldehyde 저감방법으로 산업 폐자원 및 농산부산물 활용한다.

우리나라의 2002년 MDF 총 생산량은 1,236,600m<sup>3</sup>이며 총 수입량은 447,000m<sup>3</sup> 총 수출량은 35,000m<sup>3</sup>이다. 그러므로 국내에서는 2002년을 기준으로 약 1,166,600m<sup>3</sup>의 MDF를 사용하고 있다. 그러나 현재까지 폐MDF를 재활용하는 방법에 대한 연구는 미비한 실정이다. 또한 농산 부산물인 왕겨는 쌀 생산량(96년 592만 톤)의 약 25%인 148 만 톤을 차지하고 있으나 마땅한 용도가 없이 대부분 정미소에서 무료로 퇴비제조용으로 양도되거나 폐기되고 있으며 그 중 일부는 특수용도로 매우 저렴하게 판매되고 있다. 이러한 산업폐자원인 폐MDF와 농산 부산물인 왕겨를 분말형태로 재가공하여 목질판상재료의 원료로 적용하는 방법을 개발한다면 부족한 산림자원과 자원의 재활용 측면에서 큰 효과를 기대 할 수 있다.

특히 기존의 목질판상재료의 원료로 사용되는 목분이나 목재섬유 등과 비교해 볼 때 그 생산에 있어서 왕겨분말은 1년생으로 원료 수급이 원활할 수 있을 뿐만 아니라 목분이나 목재섬유는 단일 수종의 원료확보가 어려워 복합재의 물성을 균일하게 조절할 수 없는 단점을 가지고 있는 반면, 왕겨분말은 단일 품종의 것을 지속적으로 확보할 수 있는 장점을 가지고 있어 원료 수급 면에서 매우 용이하고 또한 연구에 있어 좀더 체계적인 결과를 얻을 수 있다. 또한, MDF 제조 공정 중 재단 시 발생하는 폐MDF와 산업폐자원인 MDF의 경우 현행 전량 연료용으로 소각되고 있으며, 이를 재활용하여 목질판상재료의 원료로 이용하는 것은 원료의 효율적인 이용 면에서도 매우 바람직하다 할 수 있을 것이다.

## 3) 사회 · 문화적 측면

### ○ 다중 이용시설 등의 실내 공기질 관리법”의 기초자료 확보 및 실내공기오염과 실내 공기질에 대한 중요성 부각

우리나라와 같이 급속도로 산업화된 나라에서는 실내공기 오염의 문제가 선진 국가에서 보다 더욱 심각한 상태이지만 이에 대한 기술의 축적은 매우 미약한 실정이다. 우리나라에서 실내 공기환경에 관한 연구는 사무실, 지하철, 지하상가 등 특정한 공간을 대상으로 오염실태를 파악한 연구가 보고되고 있으나, 아직까지 실내공기오염에 대한 인식과 기술 자료의 축적이 미흡하고, 시공 후의 합리적인 유지관리나 성능평가를 위한 관련기술도 부족한 실정이다.

건축 설계 시 오염물질을 많이 방산하는 마감자재를 선정한 경우에 실내 환기량을 증가시켜 실내의 환경을 개선하려는 방법을 시도할 수 있으나 이러한 방법은 매우 불합리하며, 환경의 목표치를 달성하기에는 어려운 방법이라 할 수 있다. 일반적으로 필

요 환기량을 결정할 때 실내 건축자재로부터 방산되는 오염물질의 농도를 처리할 수 있도록 충분히 고려하기는 매우 어려운 상황이다. 왜냐하면, 건축 마감 재료의 선정은 대부분 건축공사 과정의 후기단계에서 이루어지는 경우가 많기 때문이다. 따라서 건축자재로부터 방산되는 오염물질의 특성과 실내공간에 미치는 영향을 조사 분석하여 이에 대한 합리적인 대책이 시급히 요구되며, 이에 대한 건축자재의 분류작업을 통한 데이터베이스를 구축하고 이를 활용한 설계지침과 유지관리방법 등을 제시하기 위한 체계적인 연구가 필요하다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

실내 공기환경에서 인체에 유해한 물질의 발생을 억제하고 제어하기 위해서는 건축 자재에 대한 실험결과로부터 각종오염물질의 방산량을 참조하여 적절한 건축자재의 선정과 시공방법을 검토하여야 한다. 우리나라에서는 이러한 점을 전혀 고려하지 않은 채, 건축자재의 선정과 시공이 이루어지고 있으며, 대표적인 건축 마감재료조차도 방산되는 오염물질의 종류와 특성이 파악되고 있지 않은 실정이다. 따라서 건축 재료의 종류에 따라 실내공기 중으로 방산되는 오염물질의 양과 특성을 정확히 파악하고 실내 환경 관리를 위하여 적절한 재료를 선정하는 것이 중요한 설계요소가 된다. 실내 공기질을 양호하게 유지하기 위하여 실내공간에 사용되는 건축 재료의 오염물질에 대한 방산강도를 파악하여 오염물질의 방산량이 낮은 재료의 사용을 유도할 필요가 있으며, 또한 자재 생산업체로 하여금 이러한 제품의 개발을 촉진시켜 실내 공기환경의 질을 향상시킬 수 있도록 유도하여야 한다.

국내에서는 실내공기환경에 대하여 소수의 연구자에 의해 주택과 사무소건물, 병원, 지하 공간 등의 오염농도들이 부분적으로 측정 조사되어 왔으나 아직 체계적인 연구가 미흡할 뿐만 아니라 건축자재와 연관된 오염물질의 측정 평가 등의 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 실내공기환경을 평가할 때 건축자재로부터 방산되는 실내오염물질의 종류와 특성, 합리적인 제거방안 등이 체계적으로 연구되어 실내 환경 제어를 위한 설계 자료의 정립과 실내공기환경에 대한 데이터베이스의 구축이 요구된다.

### ○ 국내 기술의 취약성-산업폐자원 및 농산부산물의 활용

MDF의 많은 사용량과 쌀 생산량에 비교하여 폐MDF의 활용과 왕겨분말활용에 대한 연구는 미비한 편이다.

### ○ 국내 기술의 취약성-Formaldehyde 및 VOCs 관련

건축 재료나 공업제품, 가구류 등에서 방산되는 formaldehyde와 휘발성 유기화합물질의 측정 및 분석기법의 확립이 요구된다.

### ○ 국내 건축자재 생산업체의 무관심

최근 세계적으로 관심이 고조되고 있는 무해성 건축자재의 새로운 개발의욕이 저조하며, 기존 건축자재에 대한 오염물질 방산량 평가에도 무관심한 실정이다. 실내공기 환경관리나 쾌적한 환경제어에 관한 기술개발과 오염물질을 효과적으로 제어 할 수 있는 기법의 개발이 필요하다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 산업폐자원 및 농산부산물을 활용한 저 실내공기질 오염 파티클 보드의 formaldehyde 및 VOCs 방산량 저감법 연구 (I)

#### 제 1 항 재료 및 방법

##### 1. 공시재료

###### 가. MDF 가공부산물

본 연구에서 사용한 MDF 가공 부산물은 국내 목질판상재료 제조 공장에서 완성된 MDF를 일정한 규격으로 제단 할 때 발생하는 분말상의 부산물을 수거하여 사용하였다. MDF 가공부산물의 함수율은 9.3%였으며 입자크기는  $25 \pm 6\mu\text{m}$  였다.

###### 나. 왕겨분말

왕겨분말은 왕겨를 사용목적에 따라 입자크기별로 가공하는 국내 S사 에서 분양받아 사용하였다. 왕겨분말의 함수율은 7.1%, 입자크기는  $300 \pm 15\mu\text{m}$ 를 나타냈다.

###### 다. Tannin 분말

Australia Bondtite에서 분양받은 wattle (*Acacia mearnsii*, mimosa)을 사용했으며 함수율은 8.8%, 입자크기는  $406 \pm 35\mu\text{m}$  였다.

###### 라. Silica 분말

거의 구형형태를 나타내는 silica 분말은 Beijing chemical Reagent사 제품으로 순도는 98.6% 였으며 입자크기는  $2.0 \pm 60\mu\text{m}$  였다.

###### 마. 목재파티클

목재 파티클은 파티클보드(particleboard)용으로써 표면부분에 사용되는 face용 목재파티클을 사용하였다. 목섬유로 모공장에서 분양받아 사용하였다. 동남아산 열대재 혼합수종에 의한 목섬유였으며 이 때의 함수율은 3.8% 였다.

###### 바. 접착제

본 연구에서 사용한 접착제는 formaldehyde 방산량 등급에 따라 E1과 E2용 요소 포



폼알데히드 수지로 국내 D사에서 분양받아 사용하였다. E1, E2 수지의 고형분량은 각각 54.5, 59.4% 였다.

#### 사. 경화제

경화제로는 요소수지 접착제의 경우 수지 고형분에 대하여 염화암모늄(10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 수용액을 10% 첨가하였다.

## 2. 실험방법

### 가. 제조 변수

본 연구에서는 MDF 부산물과 왕겨분말을 목재 파티클에 각각 5, 10% 혼합하여 파티클보드의 목표 비중을 0.75로 조절하여 제조하였다. Tannin과 silica 분말은 scavenger의 역할을 보기위하여 보드 전건 무게당 3, 7% 혼합하여 파티클보드를 제조하였다. 또한 E1과 E2의 요소수지를 보드 전건 무게 당 10% 첨가하였다. 목재 파티클만을 이용한 보드를 제조하여 대조보드로 하였다.

### 나. 파티클보드 제조

복합재의 크기는 길이, 폭, 두께가 32, 32, 0.7cm로 제조하였다. 파티클보드 제조를 위하여 드럼형 블랜더를 이용하여 균일하게 혼합한 후, 혼합된 원료에 요소수지를 파티클보드전건무게에 대하여 10%를 첨가하였다.

5kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 상온에서 2분 동안 예압을 실시 한 후 주 열압은 35kg/cm<sup>2</sup>으로 4분을 유지하였으며 열압온도는 160℃를 적용하였고 열압 후 2분간 2단계로 압력을 조절하였다. 제조된 보드는 온도 20 ± 1℃, 상대습도 65 ± 5%의 항온항습실에서 3 주간 조습 처리하였다. 각각의 혼합비에 따라 10매씩 제조하였다.

### 다. 파티클보드 물리적·기계적 성질 평가

파티클보드의 물리적 성질은 KS F 3104 에 의거하여 밀도, 함수율, 두께팽윤율, 물 흡수량을 측정하였다. 파티클보드의 기계적 성질 역시 KS F 3104에 의거하여 만능강도 시험기를 이용하여 휨강도와, 박리강도를 측정하였다.

### 라. 파티클보드의 포름알데히드 방산량 측정

#### 1) 데시케이터(desiccator) 방법

일본의 JIS (A1901)와 우리나라의 KS 3104에 규정된 24시간 데시케이터 방법을 적용하였다. 약 11.5ℓ 데시케이터에 1800cm<sup>2</sup>의 시편면적을 유지하고 300ml 증류수를 넣고

24 시간동안 20℃ 챔버에 방치한 후 formaldehyde가 포집된 증류수를 아세틸 아세톤과 아세트산암모늄을 사용하여 적정한 후 분광 광도계를 이용하여 formaldehyde 방산량을 측정하였다.

## 2) 퍼포레이트(perforator) 방법

EN 717-2 120에 의거하여 약 110g의 시편을 600mℓ의 톨루엔과 함께 둥근 바닥 플라스크안에 넣고 1,000mℓ의 증류수를 perforator 속에 충전시킨다. 시편의 formaldehyde를 흡착한 톨루엔 기체가 perforation 동안 1분당 70~80 방울의 속도로 회수되도록 조절하여 2시간동안 유지시킨다. 데시게이터와 같은 방법으로 formaldehyde가 포집된 증류수의 흡광도를 측정하고 검량선을 작성하여 formaldehyde양을 측정하였다.

## 제 2 항 결과 및 고찰

### 1. 파티클보드의 물리적 성질

#### 가. 비중, 함수율

Table 1과 같이 파티클 보드의 비중은 목표 비중 0.75보다 다소 높은 값을 나타냈다. E1 수지의 경우에는 0.73~0.78의 값을 나타냈으며 E2수지의 0.74~0.78의 비중을 나타냈다. 함수율은 E1수지를 사용한 파티클보드는 5.66~6.19%까지 나타났으며 E2수지를 사용한 파티클보드는 5.25~6.12%였고, 대조보드의 함수율은 5.66~5.38%의 범위를 나타냈다. 혼합비에 따라서 파티클보드별 차이는 크게 나타나지 않았다.

Table 1. 파티클보드의 물리적 성질

접착제 종류	PB 배합비	흡수율(%)	표준편차	비중	표준편차
E1	control	5.66	0.18	0.77	0.05
	왕겨분말 5%	5.80	0.18	0.79	0.02
	왕겨분말 10%	5.94	0.16	0.78	0.03
	MDF 부산물 5%	5.54	0.19	0.76	0.02
	MDF 부산물 10%	5.33	0.42	0.75	0.03
	tannin 분말 5%	5.77	0.40	0.73	0.07
	tannin 분말 10%	6.02	0.21	0.79	0.04
	silica 분말 5%	5.61	0.36	0.76	0.06
	silica 분말 10%	6.19	0.20	0.73	0.03
	E2	control	5.68	0.20	0.76
왕겨분말 5%		5.25	0.18	0.75	0.04
왕겨분말 10%		5.65	0.28	0.75	0.06
MDF 부산물 5%		5.39	0.26	0.78	0.04
MDF 부산물 10%		6.00	0.25	0.76	0.04
tannin 분말 5%		5.54	0.22	0.74	0.02
tannin 분말 10%		6.12	0.10	0.74	0.05
silica 분말 5%		5.94	0.41	0.79	0.04
silica 분말 10%		5.18	0.29	0.78	0.06

나. 두께팽윤율

파티클보드의 두께팽윤율은 Figure 1에 나타낸 바와 같다. E1 수지와 E2수지를 비교할 때 상대적으로 E2 수지로 제작한 파티클 보드의 두께팽윤율이 작은 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 요소수지의 특성을 나타낸 것으로 보인다. 일반적으로 목질판상 제조업에 사용되는 요소-포름알데히드 수지는 E2 수지가 접착력이 상대적으로 우수하다. 한편, 파티클보드에 왕겨분말과 MDF 부산물의 첨가량에 따른 결과는 왕겨분말을 첨가한 파티클보드의 두께팽윤율이 MDF부산물을 첨가한 파티클보드보다 크게 나타났다. 왕겨분말의 조성비와 MDF 부산물의 조성비를 비교 할 때 MDF 부산물에 포함되어 있는 접착제가 물흡수율을 감소시키는 역할을 하는 것으로 판단된다.

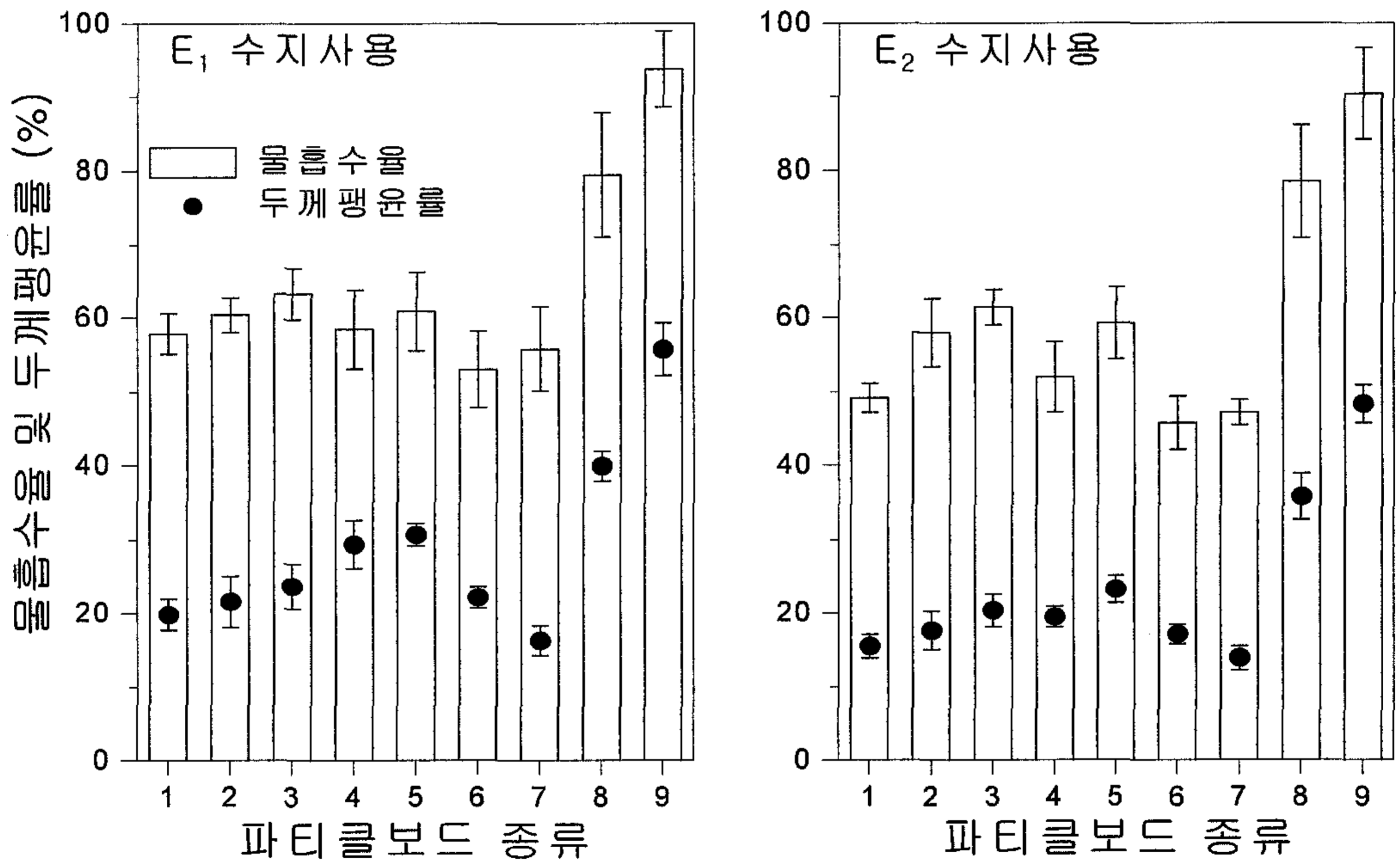
Silica powder와 tannin powder의 혼합비에 따른 결과는 tannin 분말을 첨가한 보드가 대조보드보다 우수한 성질을 타나냈다. 이와 같은 결과는 tannin 분말이 접착력을



더욱 더 강화시켜주었기에 물흡수율이 낮은 결과를 나타냈다. 반면 silica 분말의 첨가로 인해 비표면적이 증가하여 상대적으로 접착력이 감소했기 때문에 물에 대한 내수력이 가장 낮은 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 E2 수지도 유사한 경향을 나타냈다.

다. 물 흡수량

파티클보드의 물흡수량은 Figure 1에 나타낸 바와 같다. E1 수지를 사용한 파티클 보드의 물 흡수량은 control 보드가 57.9%를 나타냈고 왕겨분말 첨가 시에는 60.3~63.4%, MDF 부산물 첨가 시에는 55.9~60.52%를 나타냈다. MDF 부산물을 첨가한 경우가 왕겨분말을 첨가한 것보다 물흡수량에서 우수한 결과를 나타내고 있다.



(1:대조보드, 2:왕겨분말5%, 3:왕겨분말10%, 4:MDF부산물 5%, 5:MDF부산물 10%  
6:tannin 분말3%, 7:tannin 분말7%, 8:silica 분말3%, 9:silica 분말7%)

Figure 1. E1과 E2 수지로 제조한 파티클보드의 원료 혼합비에 따른 물흡수율과 두께팽윤률

Tannin 분말과 silica 분말을 첨가한 파티클보드의 물흡수량은 tannin 분말을 첨가한 파티클보드가 훨씬 우수한 성질을 나타냈으며 목재 파티클로만 제조한 대조보드와 비

교해서 더욱 우수한 성질을 나타냈다. 한편 silica의 경우에는 silica의 비중이 가벼워서 상대적으로 많은 양이 목재 파티클과 혼합되었으며 입자가 작을수록 비표면적이 증가하여 상대적으로 요소수지의 부족으로 인한 접착력의 감소현상이 생겼다.

이와 같은 경향은 E2 수지에서도 동일한 경향을 나타내고 있다.

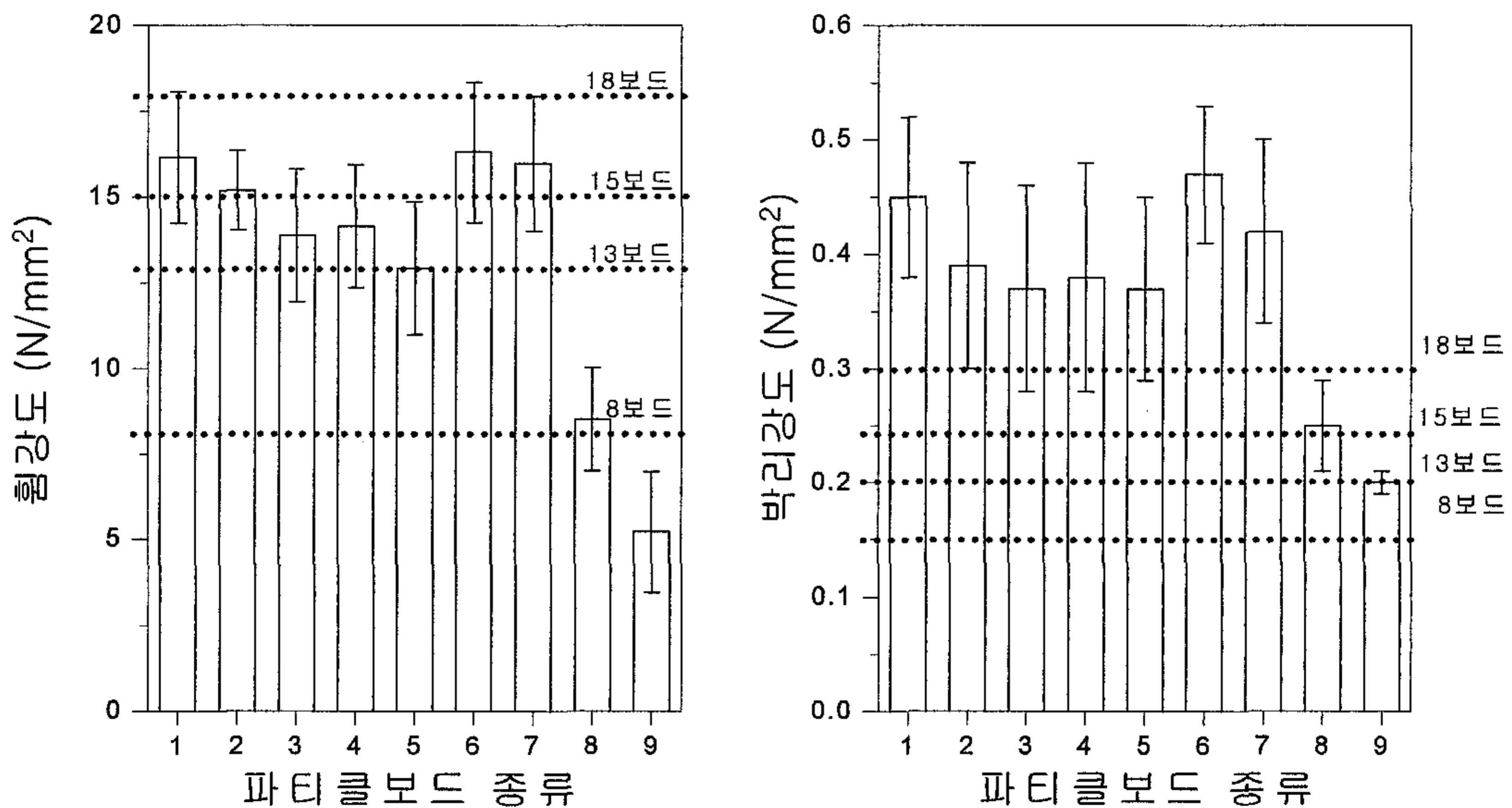
대조보드와 비교해 볼 때 tannin 분말을 첨가한 보드가 가장 우수한 성질을 나타냈으며 왕겨분말과 MDF 분말을 첨가한 보드는 비슷한 수치를 나타냈고 silica를 첨가한 보드가 물흡수량이 가장 높았다.

## 2. 파티클보드의 기계적 성질

### 가. 휨강도

파티클보드의 휨강도 측정 결과는 Figure 2와 3에 나타낸 바와 같다. E1과 E2의 대조 보드는 각각 15.2와 17.2 N/mm<sup>2</sup>으로 E2 수지를 사용한 보드가 휨강도가 높게 나타났다.

KS F 3104를 기준으로 할 때 E1과 E2 수지를 적용하였을 때 15형 파티클보드에 해당하는 값을 나타냈다.



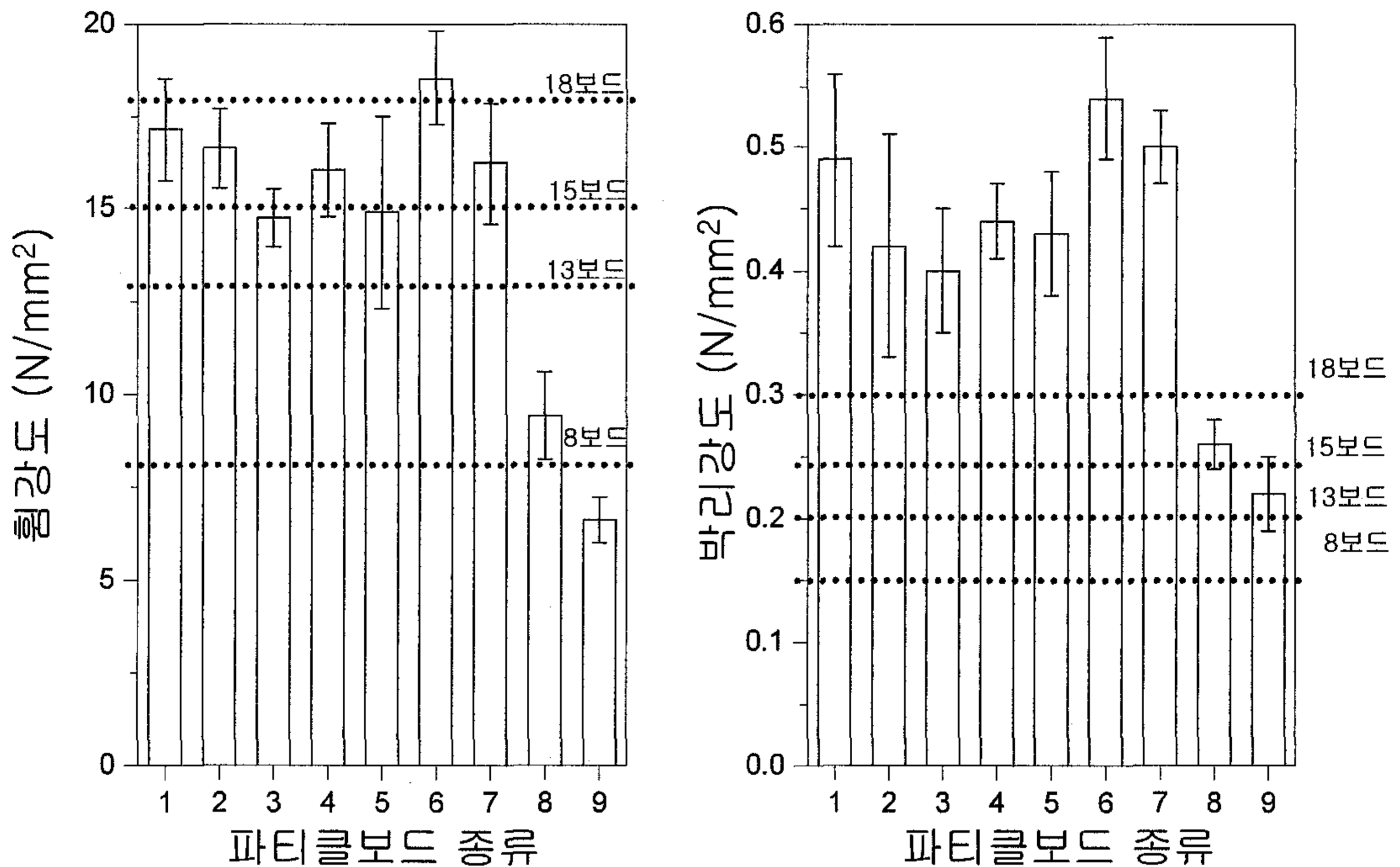
(1:대조보드, 2:왕겨분말5%, 3:왕겨분말10%, 4:MDF 부산물 5%, 5:MDF부산물 10% 6:tannin 분말3%, 7:tannin 분말7%, 8:silica 분말3%, 9:silica 분말7%)

Figure 2. E1 수지로 제조한 파티클보드의 원료혼합비에 따른 휨강도와 박리강도

E1 수지로 제조된 파티클보드의 경우 왕겨분말이 첨가량이 증가함에 따라 휨강도는 감소했다. (15.2, 13.9 N/mm<sup>2</sup>). 이와 같은 경향은 MDF분말 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향과 결과와 유사하게 나타났다 (14.2, 12.9. N/mm<sup>2</sup>). silica 분말을 첨가할 경우에는 상대적으로 급격한 감소를 나타냈다 (8.5, 5.2 N/mm<sup>2</sup>). 그러나 tannin 분말의 경우는 대조보드보다 휨강도가 증가하는 결과는 나타냈다 (15.98, 16.32 N/mm<sup>2</sup>). E2 수지로 제조한 파티클보드의 경우에도 E1의 수지와 유사한 경향을 나타냈다. 왕겨분말과 MDF 부산물의 첨가량에 따라 휨강도는 감소했으며 silica 분말 첨가 시에는 급격한 감소를 나타냈지만 tannin 분말을 첨가한 파티클보드는 대조보드보다 우수한 성질을 나타냈다. KS F 3104를 기준으로 할 때 E1과 E2의 대조보드는 모두 15형 보드의 휨강도 기준을 만족했다.

Tannin 분말의 첨가 시에는 휨강도가 증가함을 나타냈으며 이결과는 15형 보드의 기준에 해당하는 값을 나타냈다. 그러나 왕겨분말과 MDF 부산물을 첨가한 보드는 모두 13형 보드의 휨강도 기준에 해당했다. 급격한 휨강도 감소를 나타낸 silica 분말을 첨가한 보드는 silica 분말을 5% 첨가한 파티클 보드만 8형 보드의 기준에 해당했고 10% 첨가 시에는 8형 보드의 기준에 미치지 못하는 급격한 감소율을 나타냈다.

이 결과에 비교해 볼 때 목재 파티클과 MDF 가공부산물과 왕겨분말을 혼합한 파티클보드의 휨강도는 요소수지의 종류에 상관없이 비중 0.75의 파티클보드제조 시 13형 보드의 조건 기준에 만족한 파티클보드를 제조할 수 있고 scavenger로써 tannin 분말을 사용한 경우에도 13형 보드 기준을 만족하고 있음을 나타냈다.



(1:대조보드, 2:왕겨분말5%, 3:왕겨분말10%, 4:MDF부산물 5%, 5:MDF부산물 10% 6:tannin 분말3%, 7:tannin 분말7%, 8:silica 분말3%, 9:silica 분말7%)

Figure 3. E2 수지로 제조한 파티클보드의 원료혼합비에 따른 휨강도와 박리강도

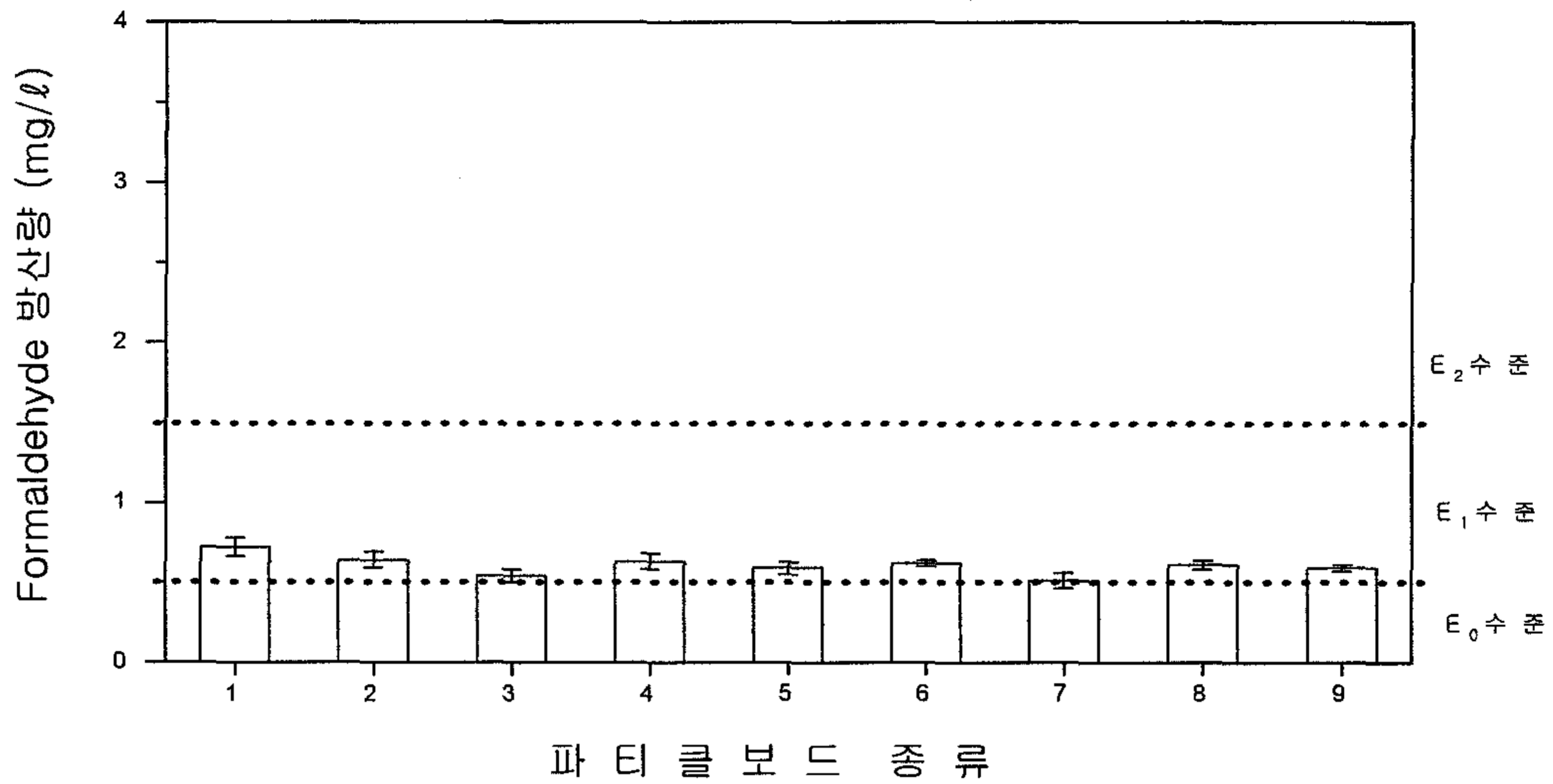
#### 나. 박리강도

E1과 E2로 제조한 대조보드의 경우 박리강도는 0.42, 0.45 N/mm<sup>2</sup> 였고 silica 분말을 제외한 MDF 부산물, 왕겨분말, tannin 분말을 첨가한 파티클보드에서 모두 18형 (0.30 N/mm<sup>2</sup>)기준에 해당되는 결과를 나타냈다. silica 분말을 첨가한 경우에는 13형에 해당하는 0.2 N/mm<sup>2</sup>을 나타냈다. KS F 3104를 기준으로 MDF 가공부산물과 왕겨분말, tannin 분말을 첨가한 파티클보드는 모두 18형 보드의 기준값을 만족하였다.

#### 3. 포름알데히드 방산량

E1, E2 수지로 제작한 대조보드의 포름알데히드 방산량은 각각 0.72, 3.0 mg/l 를 나타냈다. 포름알데히드 방산량 저감 효과는 tannin 분말을 첨가했을 경우가 가장 큰 효과를 나타냈으며 silica 분말, 왕겨분말, MDF 가공부산물 순으로 저감효과를 나타냈다. E2 수지의 경우에는 tannin과 silica 분말을 10% 첨가했을 경우 KS F 3104의 기준에 따라 포름알데히드 방산등급 E2 보드에서 E1보드로 저감되는 효과를 나타냈다.

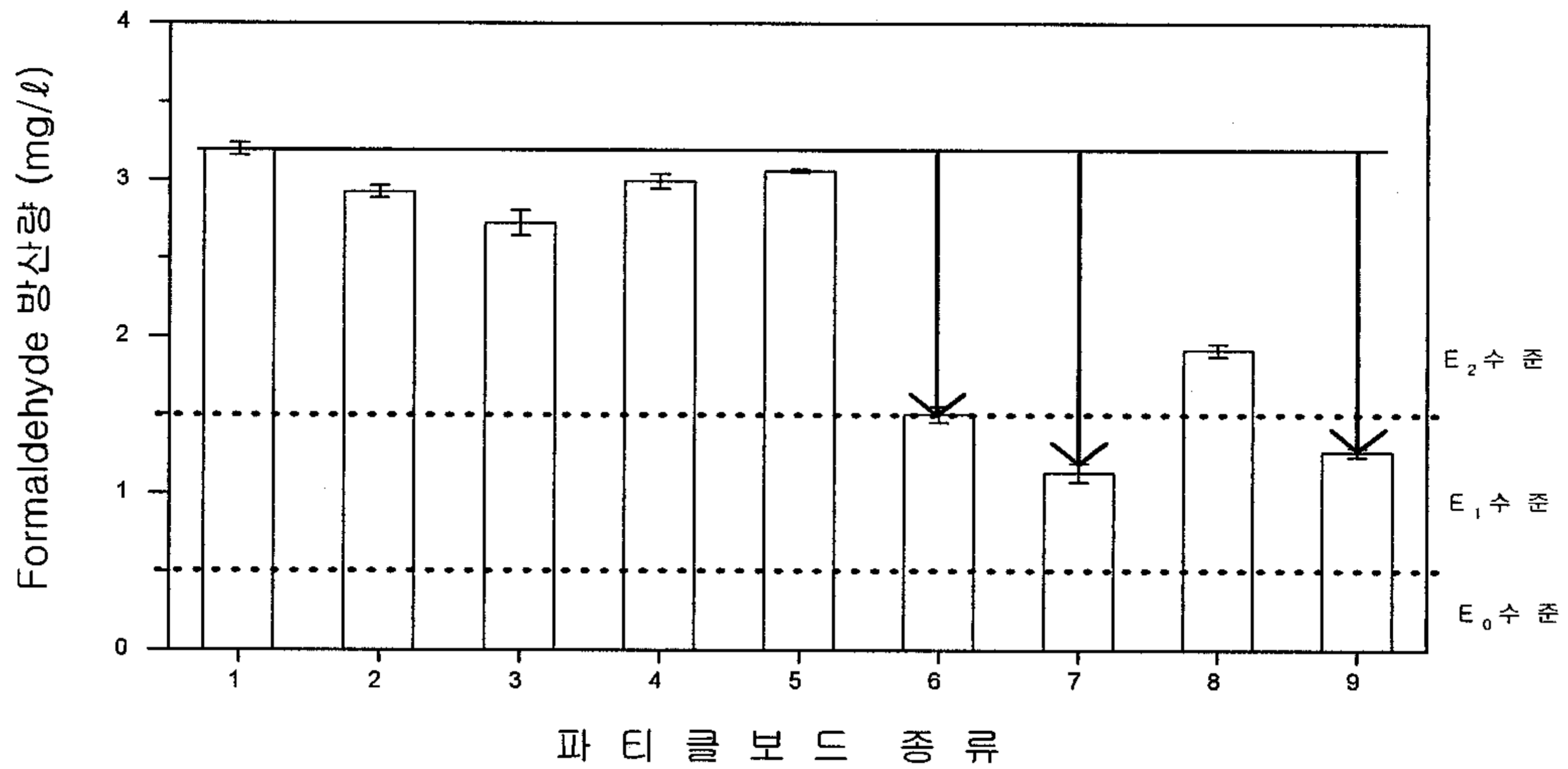
MDF 가공부산물과 왕겨분말은 목재 파티클의 대체 원료로써 가능성뿐만 아니라 일부 포름알데히드 방산의 저감 효과 까지 나타냈다(Figure 4, 5).



(1:대조보드, 2:왕겨분말5%, 3:왕겨분말10%, 4:MDF부산물 5%, 5:MDF부산물 10%,6:tannin 분말3%, 7:tannin 분말7%, 8:silica 분말3%, 9:silica 분말7%)

Figure 4. E1 수지로 제조한 파티클보드의 원료 혼합비에 따른 포름알데히드 방산량

특히 tannin 분말의 경우에는 파티클보드의 물리적·기계적 성질을 저하시키지 않으면서도 포름알데히드 저감효과가 매우 뛰어나기 때문에 scavenger로써의 매우 큰 기능을 가지고 있다고 판단되며 silica 분말의 경우 적절한 혼합비 연구에 따라 scavenger 기능을 부여 할 수 있음을 나타냈다.



(1:대조보드, 2:왕겨분말5%, 3:왕겨분말10%, 4:MDF부산물 5%, 5:MDF부산물 10%, 6:tannin 분말3%, 7:tannin 분말7%, 8:silica 분말3%, 9:silica 분말7%)

Figure 5. E2 수지로 제조한 파티클보드의 첨가량에 따른 포름알데히드 방산량

#### 4. 데시케이터 방법과 퍼포레이트 방법 간의 상호비교

Figure 6과 같이 목질판상재료 업체에서 생산된 MDF, PB, HDF와 연구실에서 제조한 대조보드 및 파티클보드를 데시케이터법을 이용한 formaldehyde 방산량과 perforator 방법을 이용한 formaldehyde 함유량과의 상관관계를 비교했다.



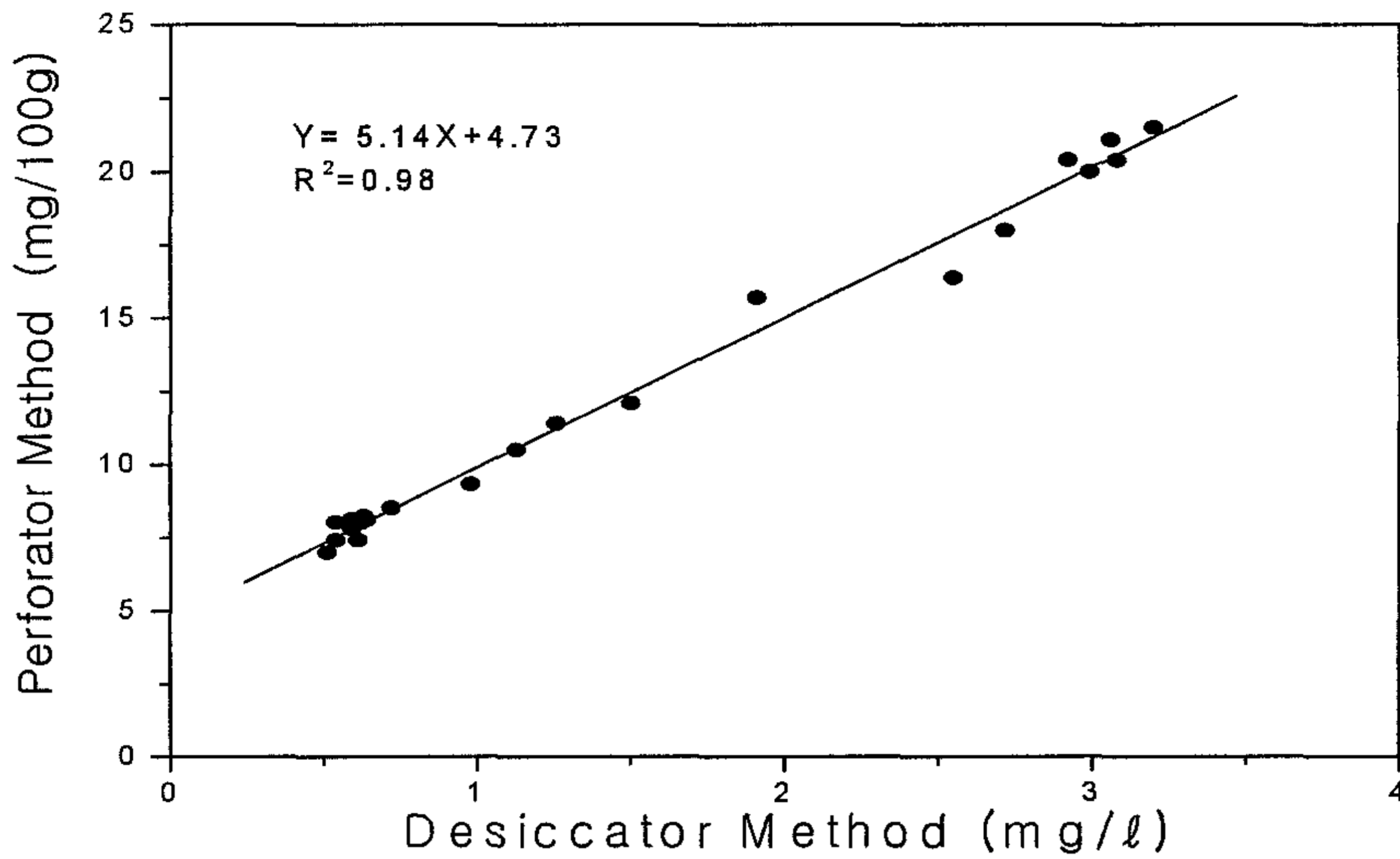


Figure 6. 데시케이터법과 퍼포레이터법의 상관관계

두 측정법간의 상관관계는 R2 값이 0.98을 나타낼 정도로 상호관계가 매우 밀접한 값을 나타냈다.

### 제 3 항 결론

자원재활용을 이용하는 방법으로 MDF 가공 부산물과 왕겨분말을 이용한 파티클보드를 개발하기 위하여 MDF 가공부산물과 왕겨분말의 혼합비율과 요소-포름알데하이드 수지의 종류에 따라 파티클 보드를 제조하고 물리적 및 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 왕겨분말의 이용 - 왕겨분말을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클보드의 물리적 성질은 저하되는 경향을 나타냈다. 기계적 성질은 역시 다소 감소하였으나 KS 의 13보드 기준을 만족했다. 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 크지 않았다.
2. MDF 가공부산물의 이용 - MDF 가공부산물을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클보드의 물리적 성질은 저하되는 경향을 나타냈다. 기계적 성질은 역시 다소 감소하였으나 KS 의 13보드 기준을 만족했다. 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 크지 않았다. 왕겨분말과 비교하여 기계적 성질의 감소폭이 더 컸으며 포름알데히드 방산량 저감효과는 작았다.
3. Tannin 분말 이용 - tannin 분말을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파

티클보드의 물리적 성질은 크게 차이를 나타내지 않았다. 기계적 성질은 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 대조보드와 비교하여 기계적 성질이 감소하지 않는 경향을 나타냈으며 KS의 15보드 기준을 만족했다. 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 크게 저감시키는 결과를 나타냈다. 특히 E2 수지로 제조한 보드는 포름알데히드 방산등급을 E2수준에서 E1수준으로 낮추어주는 효과를 나타냈다.

4. Silica 분말 이용 - Silica 분말을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클보드의 물리적 성질과 기계적 성질이 급격하게 저하되는 결과를 나타냈다. 그러나 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 크게 감소시키는 결과를 나타냈으며 특히 7% 첨가할 경우는 특히 E2 수지로 제조한 보드는 포름알데히드 방산등급을 E2수준에서 E1수준으로 낮추어주는 효과를 나타냈다.

5. 결론적으로 본 연구에서 제조한 파티클보드의 물리적 및 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 고려해 왕겨분말과 MDF 가공부산물을 첨가하여 파티클보드를 제조하는 경우 10% 혼합하여 사용할 수 있다고 판단된다. Tannin과 silica 분말은 포름알데히드 방산량을 저감해주는 기능이 우수함을 나타냈다. 그러나 silica는 파티클보드의 물리적·기계적 성질을 급격하게 감소시킨다.



## 제 2 절 산업폐자원 및 농산부산물을 활용한 저 실내공기질 오염 파티클 보드의 formaldehyde 및 VOCs 방산량 저감법 연구 (II)

산업폐자원인 MDF 가공부산물과 농산부산물인 왕겨분말은 각각 목질복합재료의 대체 원료로써의 효과와 포름알데히드 방산을 감소시키는 결과를 얻었으며 탄닌 분말과 silica 분말을 scavenger로 사용하기 위한 예비 실험에서는 두 가지 물질 모두 포름알데히드 방산 저감효과가 뚜렷하게 나타났지만 silica의 경우 목질복합재의 물리적, 기계적 성질을 감소시키는 결과가 나타났다. 이전의 연구 결과를 바탕으로 MDF 가공부산물과 왕겨분말과 tannin 분말의 혼합비에 따른 파티클 보드를 제조하여 원료로써의 활용방안 뿐만 아니라 포름알데히드 저감 효과에 대하여 연구를 진행하였다.

### 제 1 항 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

##### 가. MDF 가공부산물

본 연구에서 사용한 MDF 가공 부산물은 국내 목질판상재료 제조 공장에서 완성된 MDF를 일정한 규격으로 제단 할 때 발생하는 분말상의 부산물을 수거하여 사용하였다. MDF 가공부산물의 함수율은 9.3%였으며 입자크기는  $25 \pm 6\mu\text{m}$  였다.

##### 나. 왕겨분말

왕겨분말은 왕겨를 사용목적에 따라 입자크기별로 가공하는 국내 S사 에서 분양받아 사용하였다. 왕겨분말의 함수율은 7.1%, 입자크기는  $300 \pm 15\mu\text{m}$ 를 나타냈다.

##### 다. Tannin 분말

Australia Bondtite에서 분양받은 wattle (*Acacia mearnsii*, mimosa)을 사용했으며 함수율은 8.8%, 입자크기는  $406 \pm 35\mu\text{m}$ 였다.

##### 라. 목재파티클

목재 파티클은 파티클보드(particleboard)용으로써 표면부분에 사용되는 face용 목재 파티클을 사용하였다. 목섬유로 모공장에서 분양받아 사용하였다. 동남아산 열대재 혼합수종에 의한 목섬유였으며 이 때의 함수율은 3.8%였다.

#### 마. 접착제

본 연구에서 사용한 접착제는 formaldehyde 방산량 등급에 따라 E1과 E2용 요소 포름알데히드 수지로 국내 D사에서 분양받아 사용하였다. E1, E2 수지의 고형분량은 각각 54.5, 59.4% 이었다.

#### 바. 경화제

경화제로는 요소수지 접착제의 경우 수지 고형분에 대하여 염화암모늄(10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 수용액을 10% 첨가하였다.

## 2. 실험방법

#### 가. 제조 변수

본 연구에서는 MDF 가공부산물과 왕겨분말을 목재파티클에 각각 5, 10% 혼합하여 파티클보드의 목표 비중을 0.75로 조절하여 제조하였다. MDF 가공부산물과 왕겨분말을 목재파티클에 혼합한 파티클보드에 tannin 분말을 전건무게 당 3, 7% 혼합하여 파티클보드를 제조하였다. 또한 E1과 E2의 요소수지를 보드 전건무게 당 10% 첨가하였다. 목재파티클 만을 이용한 보드를 제조하여 대조보드로 하였다.

#### 나. 파티클보드 제조

복합재의 크기는 길이, 폭, 두께가 32, 32, 0.7cm로 제조하였다. 파티클보드 제조를 위하여 드럼형 블랜더를 이용하여 균일하게 혼합한 후, 혼합된 원료에 요소수지를 파티클보드 전건무게에 대하여 10%를 첨가하였다.

$5\text{kg}/\text{cm}^2$  압력으로 상온에서 2분 동안 예압을 실시 한 후 주 열압은  $35\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 4분을 유지하였으며 열압온도는  $160^\circ\text{C}$ 를 적용하였고 열압 후 2분간 2단계로 압력을 조절 하였다. 제조된 보드는 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 5\%$ 의 항온항습실에서 수주간 조습 처리하였다. 각각의 혼합비에 따라 10매씩 제조하였다.

#### 다. 파티클보드 물리적·기계적 성질 평가

파티클보드의 물리적 성질은 KS F 3104 에 의거하여 밀도, 함수율, 두께팽윤율, 물 흡수량을 측정하였다. 파티클보드의 기계적 성질 역시 KS F 3104에 의거하여 만능강도 시험기를 이용하여 휨강도와, 박리강도를 측정하였다.

#### 라. 파티클보드의 포름알데히드 방산량 측정

##### 1) 데시케이터(desiccator) 방법

일본의 JIS (A1901)와 우리나라의 KS 3104에 규정된 24시간 데시케이터 방법을 적용

하였다. 약 11.5ℓ 데시게이터에 1800cm<sup>2</sup>의 시편면적을 유지하고 300ml 증류수를 넣고 24 시간동안 20℃ 챔버에 방치한 후 formaldehyde가 포집된 증류수를 아세틸 아세톤과 아세트산 암모늄을 사용하여 적정한 후 분광 광도계를 이용하여 formaldehyde 방산량을 측정하였다.

## 2) 퍼포레이터 (perforator) 방법

EN 717-2 120에 의거하여 약 110g의 시편을 600mℓ의 톨루엔과 함께 둥근 바닥 플라스크 안에 넣고 1,000mℓ의 증류수를 perforator 속에 충전시킨다. 시편의 formaldehyde를 흡착한 톨루엔 기체가 perforation 동안 1분당 70~80 방울의 속도로 회수되도록 조절하여 2시간동안 유지시킨다. 데시게이터와 같은 방법으로 formaldehyde가 포집된 증류수의 흡광도를 측정하고 검량선을 작성하여 formaldehyde양을 측정하였다.

## 제 2 항 결과 및 고찰

### 1. 파티클보드의 물리적 성질

#### 가. 비중, 함수율

파티클보드의 목표비중을 0.75로 설정하여 제작하였고 그 결과를 Table 2에 나타냈다. E1, E2 수지의 경우에는 각각 비중의 범위가 0.72~0.78 나타냈다.

함수율은 E1수지를 사용한 파티클보드는 따라 5.17~6.82%까지 나타났으며 E2수지를 사용한 파티클보드는 5.70~6.93%였고, 혼합비에 따라서 파티클보드별 차이는 크게 나타나지 않았다.

Table 2. 파티클보드의 물리적 성질

접착제 종류	PB 배합비	함수율(%)	표준 편차	비중	표준 편차	
E1	control	5.46	0.15	0.76	0.05	
	MDF 분말 5%	5.17	0.31	0.73	0.07	
	MDF 분말 5%	tannin 3%	5.71	0.21	0.76	0.04
		tannin 7%	5.81	0.28	0.72	0.05
	MDF 분말 10%	5.93	0.27	0.72	0.05	
	MDF 분말 10%	tannin 3%	6.65	0.18	0.76	0.05
		tannin 7%	5.81	0.30	0.77	0.03
	RHF 분말 5%	6.82	0.31	0.78	0.02	
	RHF 분말 5%	tannin 3%	6.03	0.34	0.77	0.03
		tannin 7%	6.64	0.28	0.74	0.04
	RHF 분말 10%	6.15	0.17	0.75	0.03	
	RHF 분말 10%	tannin 3%	5.91	0.15	0.75	0.04
		tannin 7%	5.84	0.15	0.74	0.02
	E2	control	5.81	0.14	0.76	0.04
MDF 분말 5%		5.74	0.25	0.74	0.02	
MDF 분말 5%		tannin 3%	6.01	0.20	0.74	0.05
		tannin 7%	6.55	0.98	0.72	0.04
MDF 분말 10%		6.72	0.34	0.78	0.06	
MDF 분말 10%		tannin 3%	5.70	0.30	0.77	0.06
		tannin 7%	5.98	0.18	0.73	0.10
RHF 분말 5%		6.56	0.14	0.72	0.08	
RHF 분말 5%		tannin 3%	6.92	0.36	0.77	0.05
		tannin 7%	6.15	0.17	0.75	0.03
RHF 분말 10%		6.93	0.29	0.72	0.05	
RHF 분말 10%		tannin 3%	5.94	0.14	0.73	0.04
		tannin 7%	5.48	0.21	0.74	0.03

나. 두께팽윤율

E1 수지를 사용하여 각각의 혼합비에 따라 제조한 파티클보드의 두께팽윤율은 Figure 7에 나타낸 바와 같다. 목재파티클 100%의 대조보드와 비교해 볼 때 혼합비에 따른 증감이 나타났지만 대조보드와 비교할 때 양호한 결과값을 나타내고 있다. 전반적으로 tannin 분말을 첨가한 보드에서 두께팽윤율이 작게 나타나는 경향을 나타냈으며 이와 같은 결과는 E2 수지를 사용한 Figure 8에서도 동일한 결과는 나타냈다.

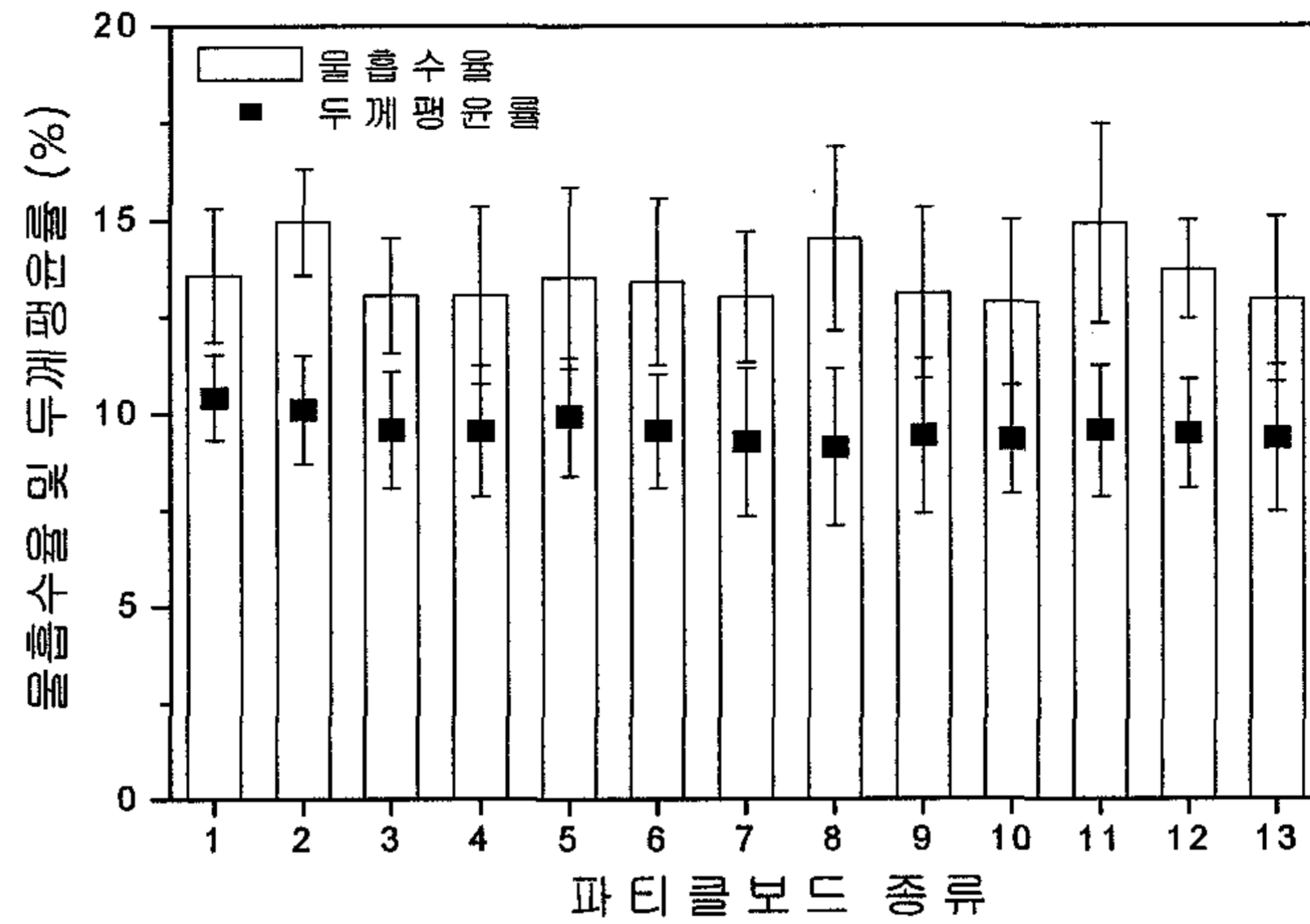
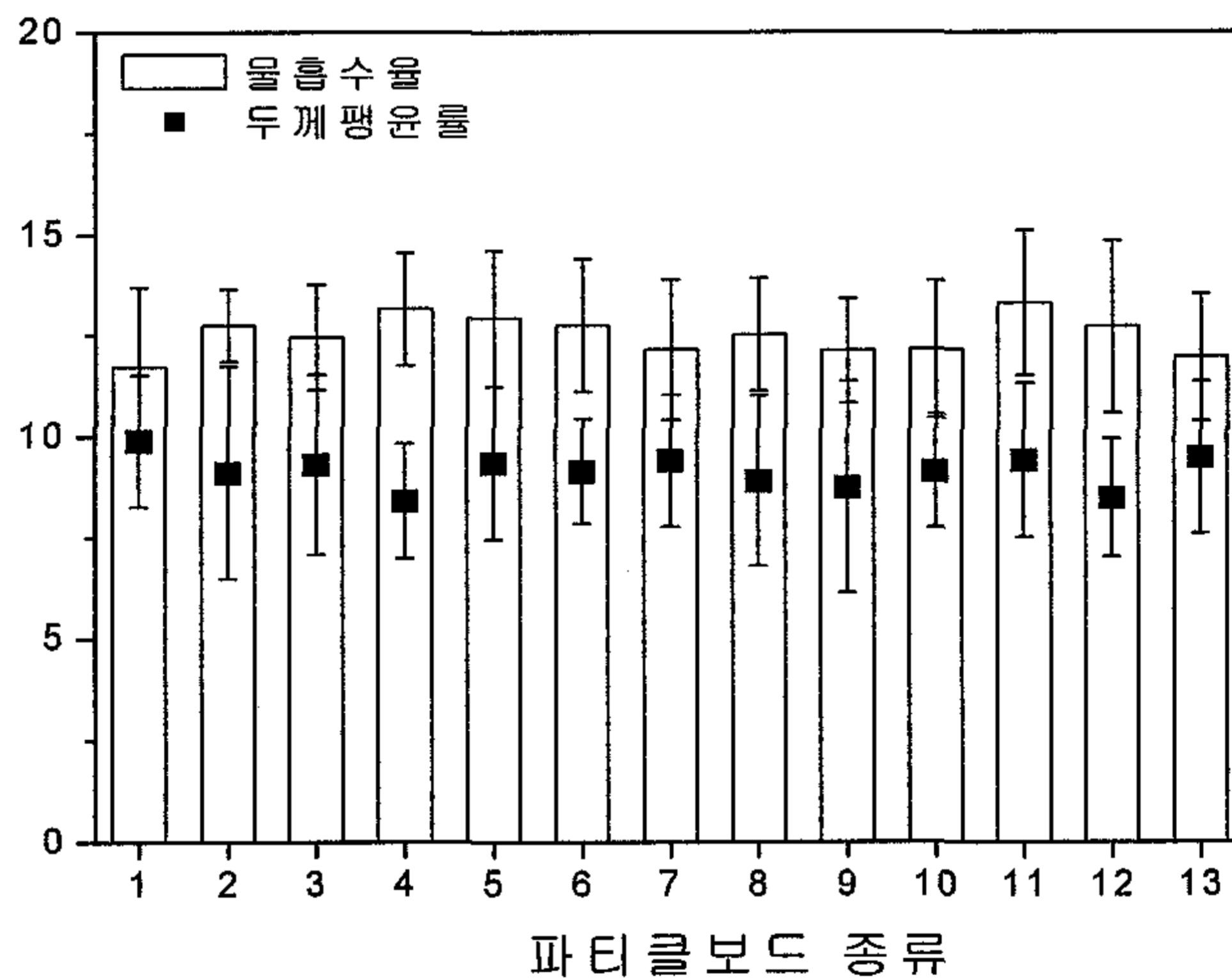


Figure 7. E1 수지로 제조한 파티클보드의 scavenger 첨가량에 따른 물흡수율과 두께팽윤률



- 1 : 목재 파티클 100%
- 2 : MDF 분말 5%
- 3 : MDF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 4 : MDF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 5 : MDF 분말 10%
- 6 : MDF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 7 : MDF 분말 10% + tannin 분말 7%
- 8 : RHF 5%
- 9 : RHF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 10 : RHF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 11 : RHF 분말 10%
- 12 : RHF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 13 : RHF 분말 10% + tannin 분말 7%

Figure 8. E2 수지로 제조한 파티클보드의 scavenger 첨가량에 따른 물흡수율과 두께 팽윤률



#### 다. 물 흡수량

파티클보드의 물흡수량은 Figure 7, 8에 나타낸 바와 같다. E1 수지를 사용한 파티클보드의 물 흡수량은 control 보드가 13.6%를 나타냈고 MDF 분말, 왕겨분말 첨가 시에는 13.5~14.9% 범위로 물 흡수량이 증가 했으며, tannin 분말을 scavenger로써 첨가 한 경우에는 12.8~13.5% 범위로 다소 감소하는 경향을 나타냈다.

E2 수지를 사용한 파티클보드의 물 흡수량은 E1 수지를 사용한 파티클 보드보다 작게 나타났으며 tannin 분말 첨가 시 물 흡수량이 감소하는 경향을 나타냈다.

파티클보드의 종류에 따라 물흡수율의 차이는 나타났지만 전체 보드물성에 큰 영향을 미치는 정도는 아니었다.

## 2. 파티클보드의 기계적 성질

### 가. 휨강도, 박리강도

파티클보드의 휨강도 및 박리강도 측정 결과는 Figure 9과 10에 나타낸 바와 같다. E1과 E2의 대조보드는 각각 16.2와 18.2 N/mm<sup>2</sup>으로 나타났다. KS F 3104를 기준으로 E1와 E2 수지를 적용하였을 때 15형 파티클보드에 해당하는 값을 나타냈다. E1과 E2 수지로 제조된 파티클보드의 경우 MDF 분말과 왕겨분말이 첨가량이 증가함에 따라 휨강도는 감소했다. 그러나 tannin 분말의 경우는 휨강도가 증가하는 결과는 나타났다. 첨가된 원료의 종류와 첨가량에 따라 휨강도의 감소와 증가는 부분적으로 나타났으나 E1으로 제조한 파티클보드는 13형 파티클보드의 기준을 충족시키는 범위내의 증감하였고 E2 수지로 제작한 파티클보드는 15형 파티클보드 기준을 유지했다.

E1과 E2로 제조한 대조보드의 경우 박리강도는 0.45, 0.49 N/mm<sup>2</sup> 이였고 MDF 부산물, 왕겨분말, tannin 분말을 첨가한 파티클보드에서 모두 18형 (0.30 N/mm<sup>2</sup>)기준에 해당되는 결과를 나타냈다. 다양한 재료들의 혼합비에도 파티클보드의 박리강도는 대조보드와 비교하여 감소하는 경향을 나타냈지만 보드의 등급을 낮출 정도의 급격한 감소는 나타나지 않았다.

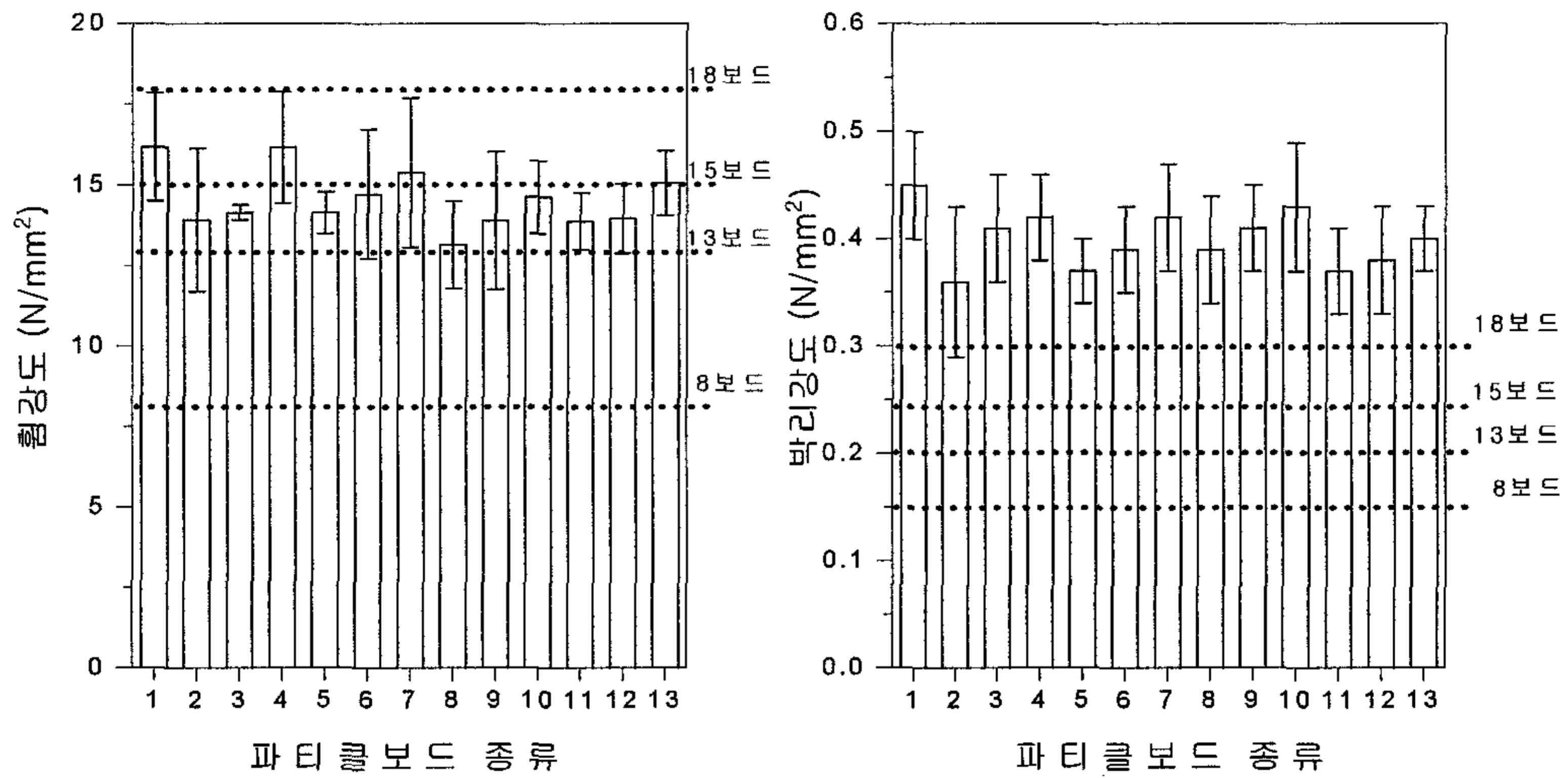
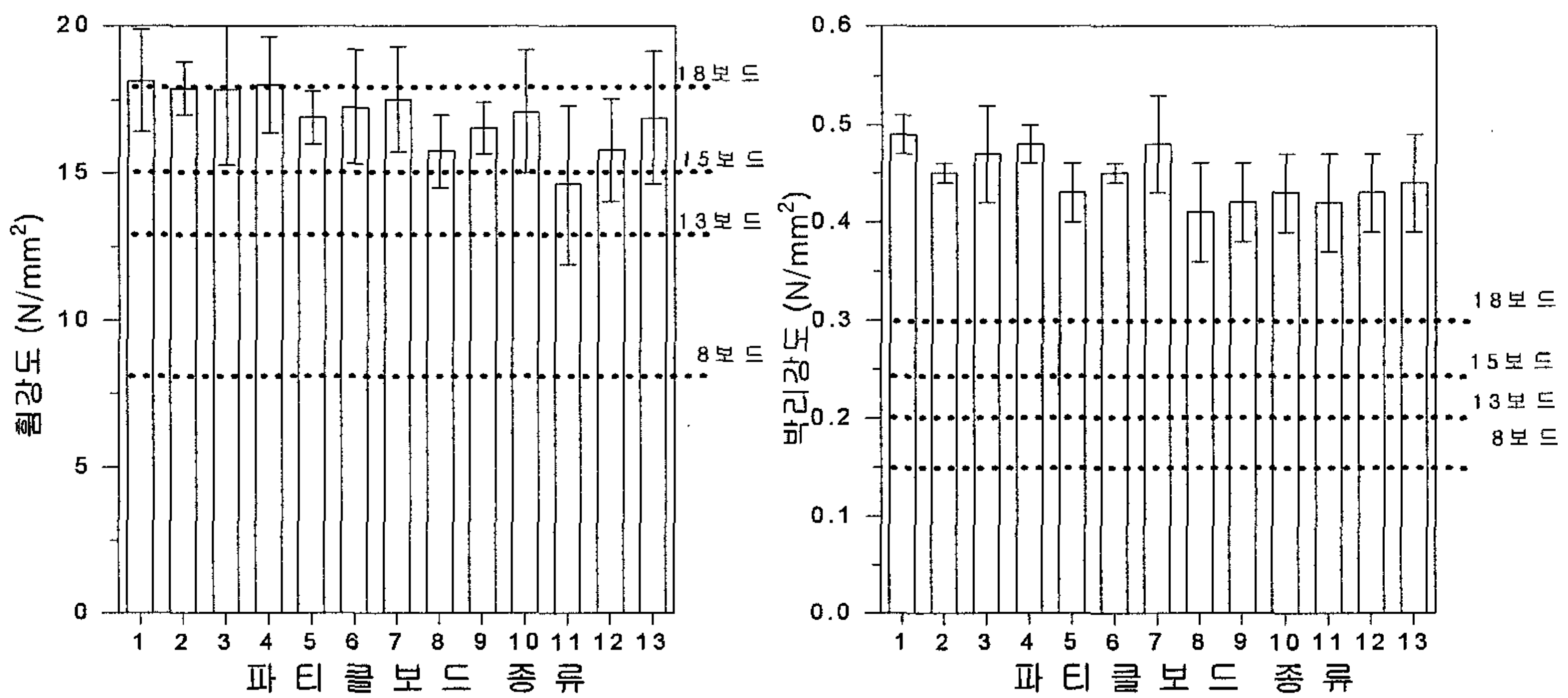


Figure 9. E1 수지로 제조한 파티클보드의 scavenger 첨가량에 따른 휨강도와 박리강도



- 1 : 목재파티클 100%
- 2 : MDF 분말 5%
- 3 : MDF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 4 : MDF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 5 : MDF 분말 10%
- 6 : MDF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 7 : MDF 분말 10% + tannin 분말 7%
- 8 : RHF 5%
- 9 : RHF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 10 : RHF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 11 : RHF 분말 10%
- 12 : RHF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 13 : RHF 분말 10% + tannin 분말 7%

Figure 10. E2 수지로 제조한 파티클보드의 scavenger 첨가량에 따른 휨강도와 박리강도

### 3. 포름알데히드 방산량

E1, E2 수지로 제작한 대조보드의 포름알데히드 방산량은 각각 0.72, 3.0 mg/ℓ를 나타냈다. MDF 가공부산물과 왕겨분말은 목재 파티클의 대체 원료로써 가능성뿐만 아니라 일부 포름알데히드 방산의 저감 효과 까지 나타냈다. 포름알데히드 방산량 저감 효과는 tannin 분말을 첨가했을 경우가 더 큰 효과를 나타냈다.

MDF 분말과 RHF 조성비는 달라도 기본적으로 cellulose와 hemicellulose, lignin 성분을 공통적으로 가지고 있지만 RHF 경우에는 표면에 무기물질이 20% 가량 함유되어 있으므로 무기 물질에 의해서 scavenger의 효과가 나타나고 있었다.

탄닌분말에 있는 -OH- 작용기에 요소-포름알데히드 접착제의 경화 과정 중 미반응된 포름알데히드가 결합 할 수 있기 때문에 MDF 분말과 RHF보다 큰 저감 효과가 나타났다.

특히 탄닌 분말이 7% 포함된 경우에는 포름알데히드 방산등급이 한 단계 저감되는 효과가 나타났다(Figure 11, 12).

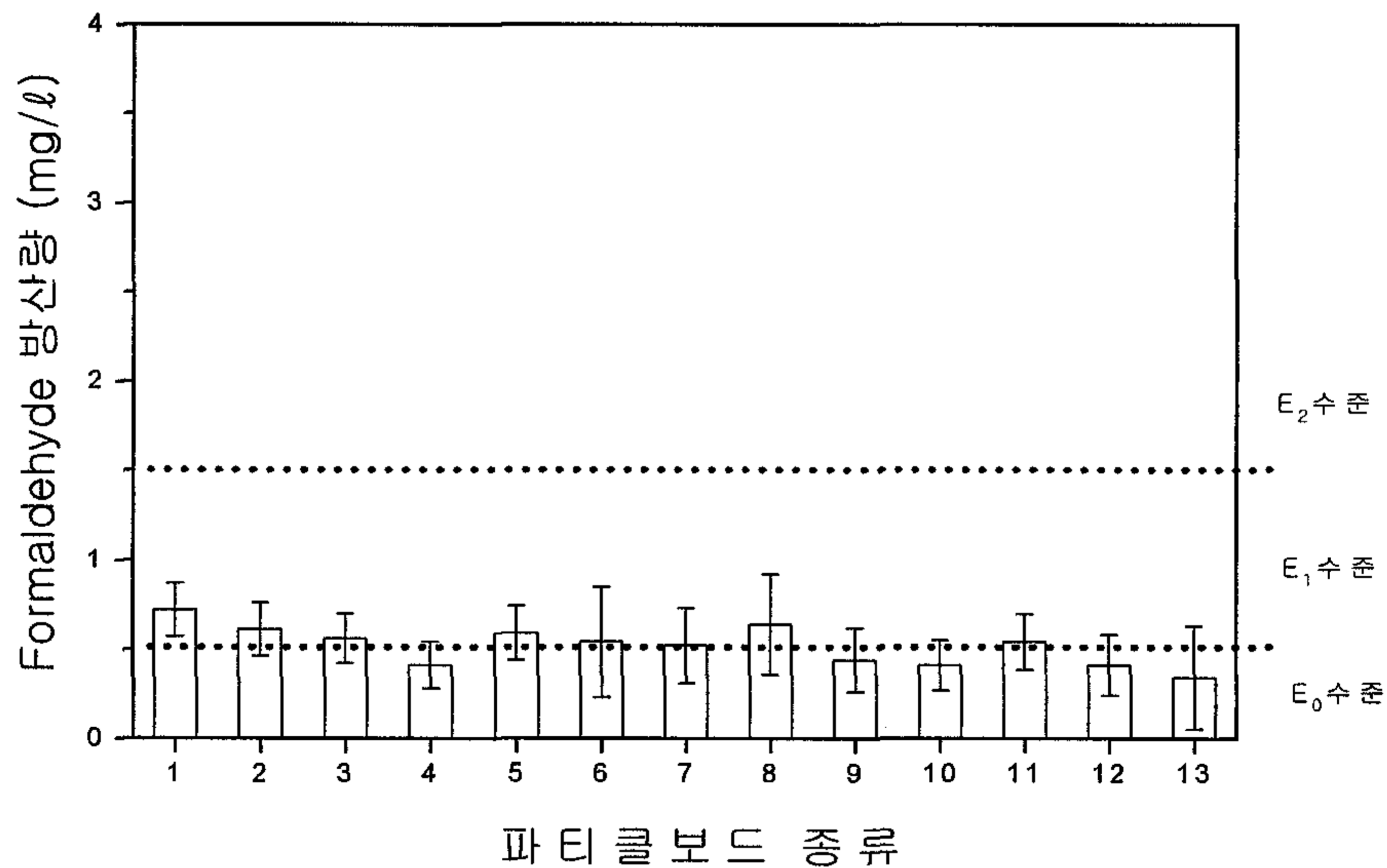
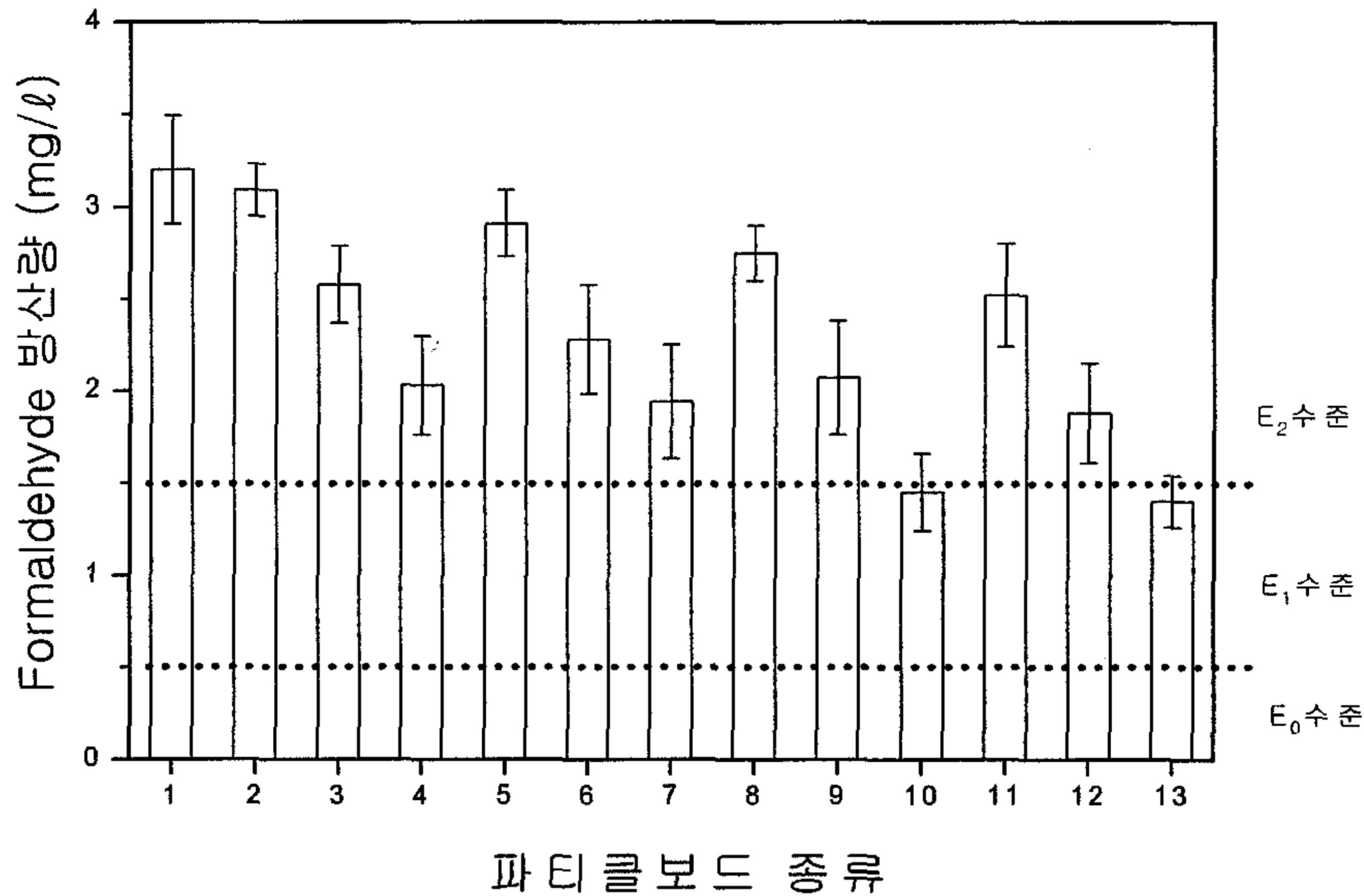


Figure 11. E1 수지로 제조한 파티클보드의 formaldehyde 방산량





- 1 : 목재 파티클 100%
- 2 : MDF 분말 5%
- 3 : MDF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 4 : MDF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 5 : MDF 분말 10%
- 6 : MDF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 7 : MDF 분말 10% + tannin 분말 7%
- 8 : RHF 5%
- 9 : RHF 분말 5% + tannin 분말 3%
- 10 : RHF 분말 5% + tannin 분말 7%
- 11 : RHF 분말 10%
- 12 : RHF 분말 10% + tannin 분말 3%
- 13 : RHF 분말 10% + tannin 분말 7%

Figure 12. E2 수지로 제조한 파티클보드의 formaldehyde 방산량

#### 4. 데시케이터 방법과 퍼포레이터 방법 간의 상호비교

목질판상재료 업체에서 생산된 MDF, PB, HDF와 연구실에서 제조한 대조보드 및 파티클보드를 데시케이터법을 이용한 formaldehyde 방산량과 perforator 방법을 이용한 formaldehyde 함유량과의 상관관계를 비교했다(Figure 13).

현재 보드생산업체에는 위의 두가지 방법을 이용해서 포름알데히드 방산량을 실험을 실시하고 있으며 데시케이터 방법은 KS방법으로 규정되어 있다. 현재 목질복합재료의 포름알데히드 방산량 측정방법은 데시케이터법, 퍼포레이터법, 챔버법 등으로 구분되어 질 수 있으며 각각의 측정방법에 대한 상호관계에 대한 연구가 진행 중에 있다.

두 측정법간의 상관관계는  $R^2$  값이 0.987을 나타내어 상호관계가 매우 밀접한 값을 나타냈다.

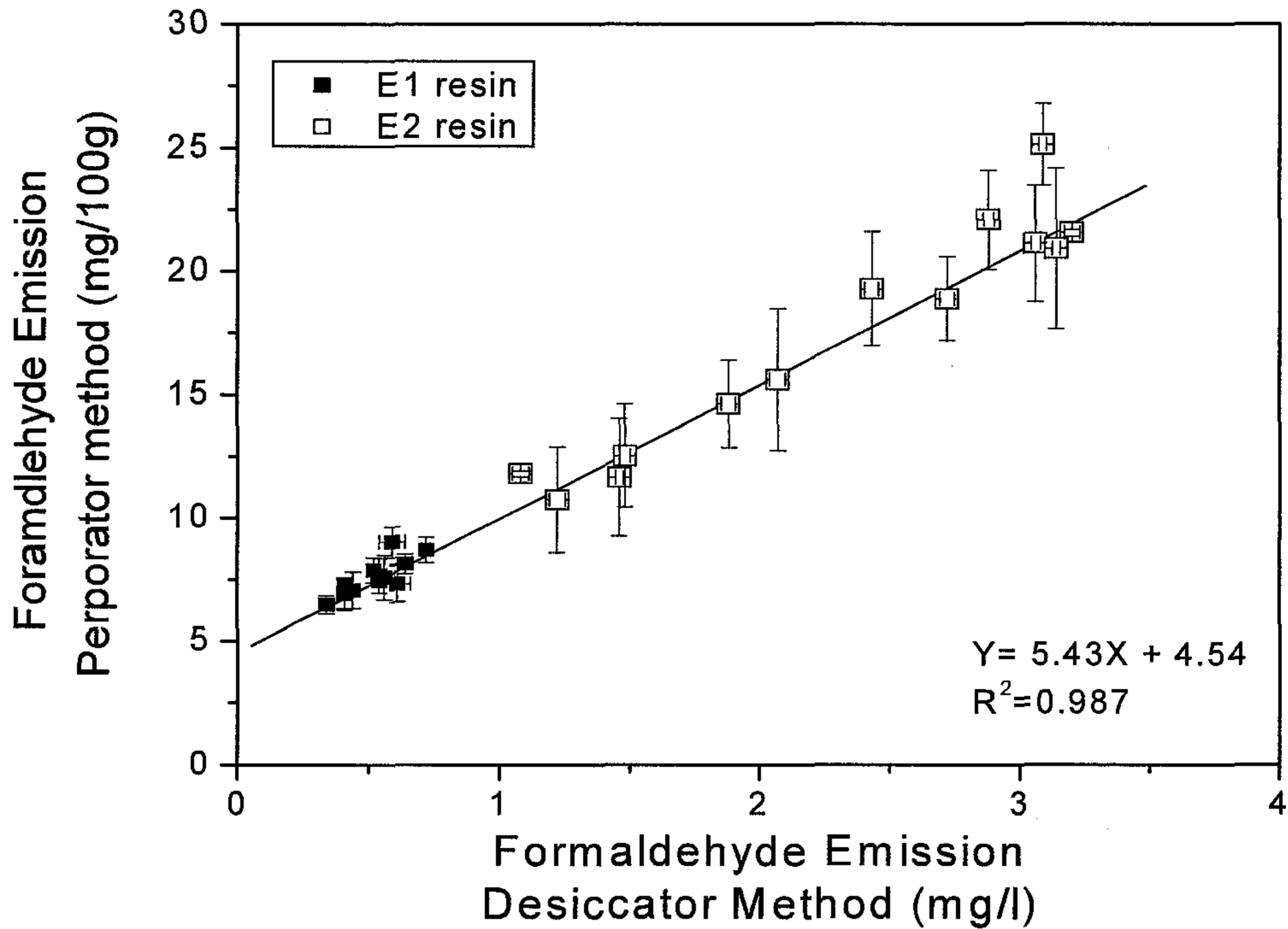


Figure 13. 24시간 데시케이터법과 퍼포레이터법의 상관관계

### 제 3 항 결 론

자원재활용을 이용하는 방법으로 MDF 가공부산물과 왕겨분말을 이용한 파티클보드를 개발하기위하여 MDF 가공부산물과 왕겨분말의 혼합비율과 scavenger로써 tannin 분말을 첨가하여 요소-포름알데하이드 수지의 종류에 따라 파티클 보드를 제조하고 물리적 및 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 왕겨분말의 이용 - 왕겨분말을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클 보드의 물리적 성질은 저하되는 경향을 나타냈다. 기계적 성질은 역시 다소 감소하였으나 E1 수지의 경우 KS 의 13보드 기준을 E2 수지의 경우 15보드 기준을 유지했다.

포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 감소하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 크지 않았다.

왕겨분말과 Tannin 분말 첨가 시 왕겨분말 첨가에 따른 보드의 물리적, 기계적 성질이 감소되는 것을 tannin 분말을 첨가함에 따라 다소 회복되는 결과를 나타냈으며 tannin 분말을 7% 포함시키면 포름알데히드 방산량 저감효과 뚜렷하게 나타났다.

2. MDF 가공부산물의 이용 - MDF 가공부산물을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클보드의 물리적 성질은 저하되는 경향을 나타냈다. 기계적 성질은 역시 다소 감소하였으나 KS 의 13보드 기준을 만족했다. 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 크지 않았다. 왕겨분말과 비교하여 기계적 성질의 감소폭은 다소 작았으며 포름알데히드 방산량 저감효과도 작았다.

MDF 분말과 Tannin 분말 첨가 시 tannin 분말에 의하여 물리적, 기계적 성질의 향상이 있었으며 포름알데히드 방산량의 저감효과도 나타났다.

3. Tannin 분말 이용 - tannin 분말을 이용한 파티클보드는 혼합비가 증가할수록 파티클보드의 물리적 성질은 크게 차이를 나타내지 않았다. 기계적 성질은 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 대조보드와 비교하여 기계적 성질이 감소하지 않는 경향을 나타냈으며 KS의 15보드 기준을 만족했다. 포름알데히드 방산량은 첨가량에 따라 크게 저감시키는 결과를 나타냈다. 특히 7% 포함한 보드는 포름알데히드 방산등급을 한단계 낮추는 저감 효과가 나타났다.

4. 결론적으로 본 연구에서 제조한 파티클보드의 물리적 및 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 고려해 왕겨분말과 MDF 가공부산물을 첨가하여 파티클보드를 제조하는 경우 10% 혼합하여 사용할 수 있다고 판단된다. Tannin분말은 포름알데히드 방산량을 저감해주는 기능이 우수함을 나타냈다.

## 제 3 절 Scavenger를 이용한 파티클보드의 포름알데히드 방 산량 저감법 연구

### 제 1 항 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

##### 가. 목재 파티클

파티클보드를 만들기 위해 준비된 파티클은 D사에서 제공받았으며 재생칩으로 이루어졌다. 파티클의 함수율은 6%이며 입자가 큰 파티클은 중층, 입자가 작은 파티클은 표리층에 사용되었다.

##### 나. 요소포름알데히드 수지

파티클 보드를 만들기 위해 사용한 요소포름알데히드 수지는 T사에서 공급받았으며 수지 고형분은 49%이다.

##### 다. Scavenger

스캐빈저로는 탄닌, 숯, 왕겨를 이용 하였으며, 탄닌은 현재 시판되는 것을 사용하였다. 숯의 함수율 4% 이며, 왕겨의 함수율은 6%이었다.

#### 2. 실험 방법

##### 가. 파티클보드 제조

파티클보드는 아래의 Table 3과 같이 요소포름알데히드 수지와 3가지의 스캐빈저를 이용하여 제작하였다. 파티클보드의 치수는 35cm×35cm×1cm 이다. 목재 파티클을 회전드럼 혼합기에 넣고 혼합기를 돌리면서 UF수지를 파티클에 분사하여 교반하였다.

스캐빈저의 양은 수지 고형분에 대해 탄닌, 숯, 왕겨 각각 5%, 10%, 15%로 각각 첨가 시켰으며, 경화제는 10% 염화암모늄 수용액을 사용하였으며, 수지 고형분의 10% 비율로 혼합시켰다. 접착제의 양은 파티클 전건무게의 10%로 하여 투입하였다. 접착제로 혼합된 파티클을 매트 안정성과 적절한 밀도를 가지기 위해 2kgf/cm<sup>2</sup>로 2분 동안 냉압을 하고 160℃에서 30kgf/cm<sup>2</sup>로 3~5분 동안 열압을 하고 해압한 상태에서 1분 동안 유지하였다. 열압된 파티클보드 2kgf/cm<sup>2</sup>에서 2분 동안 냉압한다. Figure 14에서 다단 열압 스케줄을 도식화 하였다.

Table 3. Total adhesive systems showing the additive content of the additive.

Adhesive	Additive	Content	Hardener
UF	No	100%	NH <sub>4</sub> Cl
	Tannin	5%	
		10%	
		15%	
	Rice Husk	5%	
		10%	
		15%	
	Charcoal	5%	
		10%	
		15%	

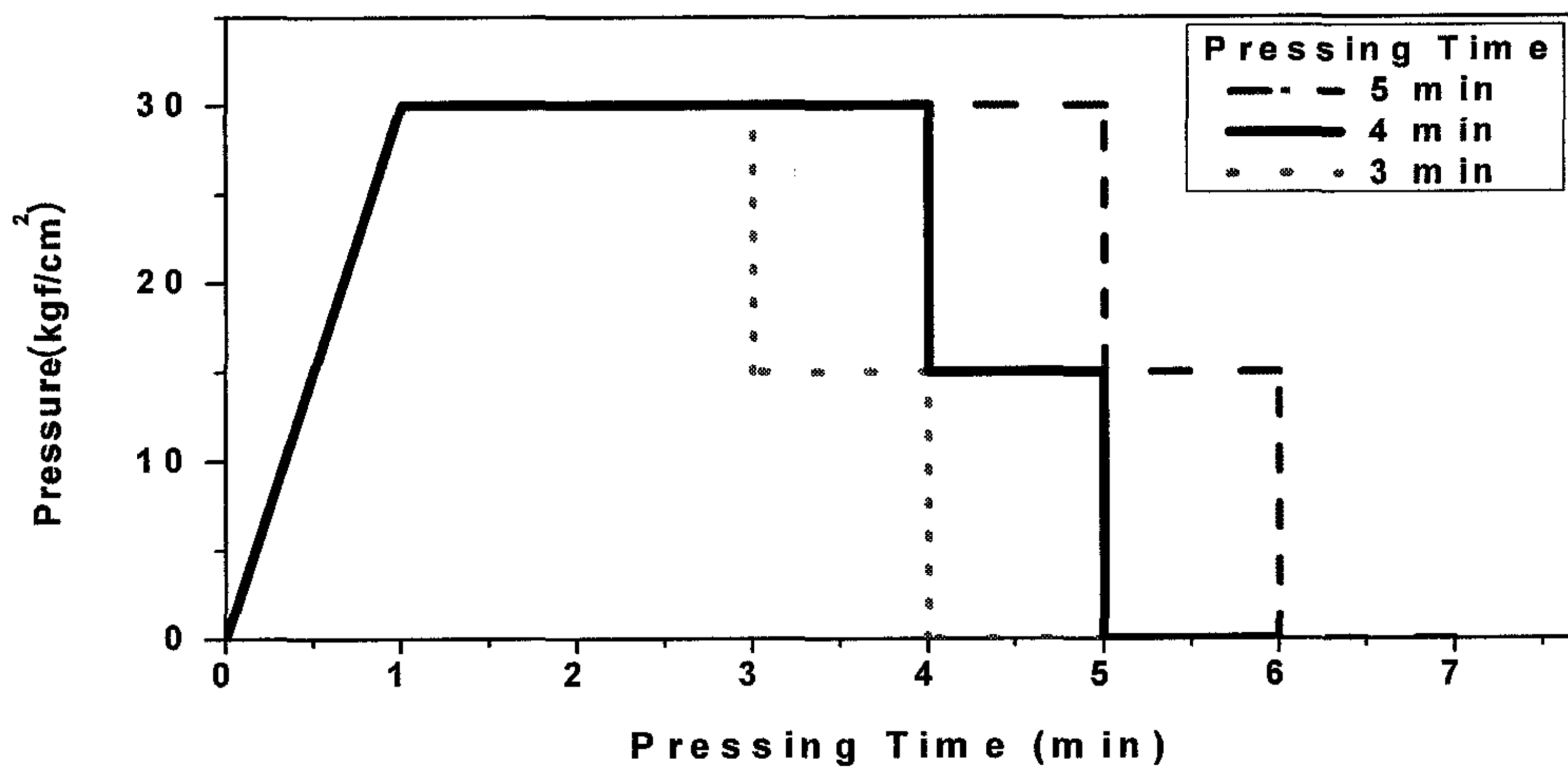


Figure 14. Multi-hot pressing schedule

나. 포름알데히드 방산 측정

포름알데히드 측정은 데시케이터법, 퍼포레이트법, 20L 소형 챔버법을 이용하였다. 포름알데히드 방산량에 따른 등급은 Table 4~6까지 나타내었다.

Table 4. Comparison of standard of formaldehyde emission with desiccator method between Korea and Japan

Test Method	Standard	Under 0.3	Under 0.5	Under 1.5	Under 5.0
Desiccator	KS*	S- E <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
(mg/l)	JIS*	F☆☆☆☆	F☆☆☆	F☆☆	F☆

\* KS : Korean Standard

\* JIS : Japanese Industrial Standard (JIS A 1460)

Table 5. Standard of formaldehyde emission with perforator method

Test Method	Standard	E <sub>0</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
Perforator (mg/100g panel)	EN 120*	-	Under 8.0	Under 30

\* DIN EN 120 : European Committee for Standardization

Table 6. Standard of formaldehyde emission with 20L-small chamber method

Test Method *	Excellent	Very good	Good	General 1	General 2
20L - Small Chamber (mg/m <sup>2</sup> h)	Under 0.03	0.03~0.05	0.05~0.12	0.12~0.60	0.60~1.25

\* Korea Air Cleaning Association (KACA)

1) 24시간 데시케이터법

JIS (Japanese Industrial Standard), KS (Korean Standard)의 데시케이터법을 이용하여 포름알데히드 방산량을 측정하였다. 제조된 파티클보드는 25℃, 상대습도 65%에 2주일 보관 후 실험하였다. 데시케이트 안에 5cm×15cm 시편을 면적 18000mm<sup>2</sup>되게 넣고 페트리디쉬에 300ml 증류수를 넣은 후, 24시간 뚜껑을 닫은 채 향은 향습이 되는 곳에 방치하였다. 포름알데히드는 증류수에 포집되고 이 증류수를 아세틸 아세톤과 아세틸산 암모늄을 처리하여 UV 분광 광도계를 이용하여 분석하였다.



## 2) 퍼포레이트법

유럽에 주로 사용되고 있는 퍼포레이트법의 포름알데히드 방산 측정은 DIN EN 120 (European Committee for Standardization, 1991) 방법을 사용하여 측정하였다. 110g의 시편을 둥근 플라스크에 넣은 뒤 플라스크에 600ml의 톨루엔을 첨가하였다. 또한 퍼포레이트 초자 기구에 증류수 100ml를 부었다. 톨루엔을 증류수 사이로 두 시간 동안 통과 시킨다. 이런 과정에서 증류수는 포름알데히드와 휘발성 유기 화합물을 흡수한다. 증류수에 포집한 포름알데히드를 아세틸 아세톤과 아세틸산 암모늄을 처리하여 UV 분광 광도계를 이용하여 정량분석 하였다.

## 3) 20L 소형챔버법

20L 소형챔버는 온도는  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 상대습도는  $50\pm 5\%$ 로 항온 항습 조건에서 실시하며 환기회수(N)는  $0.5\pm 0.1/\text{h}$ , 시료부하율은  $2.0\text{m}^2/\text{m}^3\pm 10\%$ 로 하고 샘플 표면의 환기량은  $0.1\sim 0.3\text{m/s}$ 로 하였다. 포름알데히드 흡수 카트리지는 2,4-DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine), VOC 흡착튜브는 TENAX TA을 사용하였다. 파티클 보드는  $150\text{mm}\times 150\text{mm}$  자르고 표면의 방산량을 측정하기 위하여 테프론으로 엣지를 실링하여 표면만을 노출 되게 하였다. 시험전체 지속일은 6일이고 샘플 채취는 1일, 3일, 5일, 7일로 하였다. 포집된 샘플은 즉시 잘 밀봉하고 몇 시간 이내에 분석하였다.

### 다. 물리적 특성

흡수율, 선팽윤, 두께팽윤, 흡수율은 ASTM D1037-99 (American Society for Testing and Materials)에 의해 측정하였다. 파티클보드의 각각의 샘플은 24시간 동안 물속에 침지시킨 후 측정하였으며, 데이터 수치는 5개의 샘플의 평균을 나타내었다.

### 라. 기계적 특성

3점 휨강도, 박리 강도는 ASTM D 1037-99 (American Society for Testing and materials)에 의해 만능간도시험기 (Hounsfield, 1999) 를 이용하여 측정하였다. 측정 결과는 ANSI A208.1-1999 (American National Standard)와 비교하였다. 각 결과는 5개의 샘플의 평균을 나타내었다.

## 제 2 항 결과 및 고찰

### 1. 물리적 특성

요소포름알데히드수지에 각각의 첨가제를 이용하여 만든 파티클보드의 물리적 특성

(두께팽윤율, 선팽윤, 흡수율)은 Figure 15~17에 나타내었다. Figure 2에서 요소포름알데히드로 만든 파티클보드의 두께팽윤율은 열압시간을 3분으로 하였을 때 13.14%이고 열압시간이 증가할수록 두께팽윤율은 감소하였다. 이런 경향은 탄닌, 왕겨, 숯을 첨가한 실험에서도 동일하였으며 첨가량에 따라 두께팽윤율은 차이가 있었다. 열압시간 증가와 첨가제인 탄닌, 왕겨, 숯의 순으로 두께팽윤율, 선 팽윤율, 흡수율도 감소하였다.

요소포름알데히드 수지 등의 열경화성 수지는 열압시간이 증가함에 따라 UF 프리폴리머 분자의 관능기간에 가교 일어나면서 경화가 일어난다. 열압시간이 길어지는 것은 분자들 간에 가교를 많이 시키며 열압시간과 비례해서 물리적 특성을 증가시킨다. 탄닌을 넣은 파티클보드는 좋은 물리적 특성을 보여주었지만 왕겨, 숯이 첨가된 파티클보드는 물리적 특성이 좋지 않았다. 탄닌은 열경화성 접착제로 열압시간이 증가하면 탄닌의 관능기는 가교가 일어나면서 경화된다.

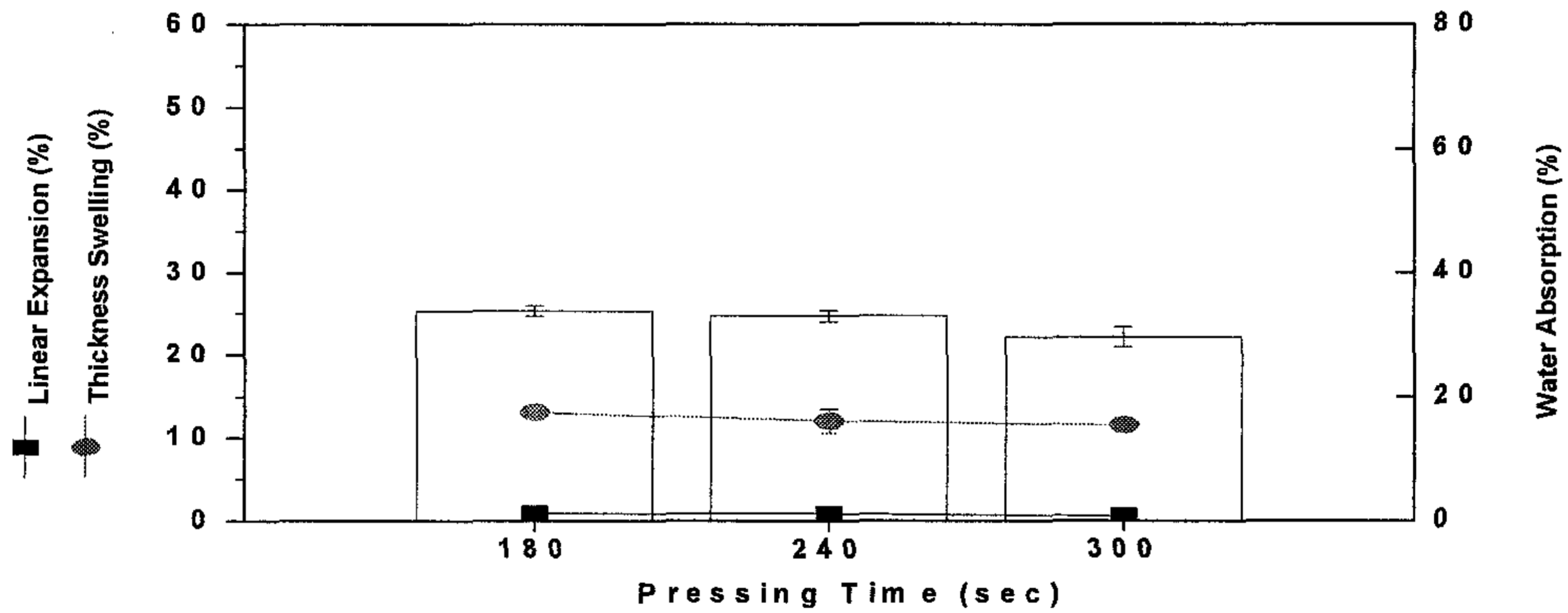


Figure 15. Physical properties of particleboards bonded with UF adhesive

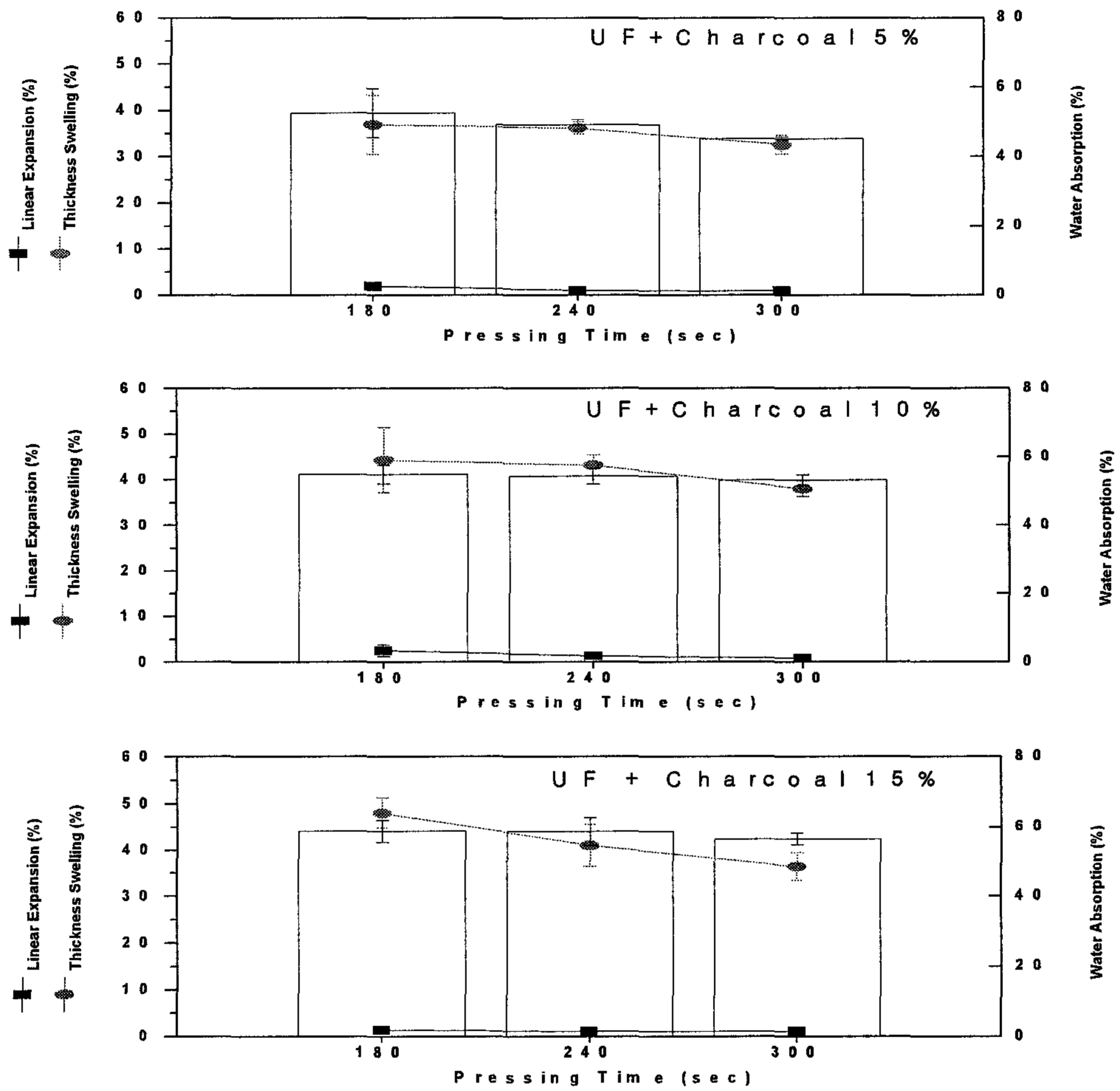


Figure 16. Physical properties of particleboards made using the UF adhesives and with charcoal

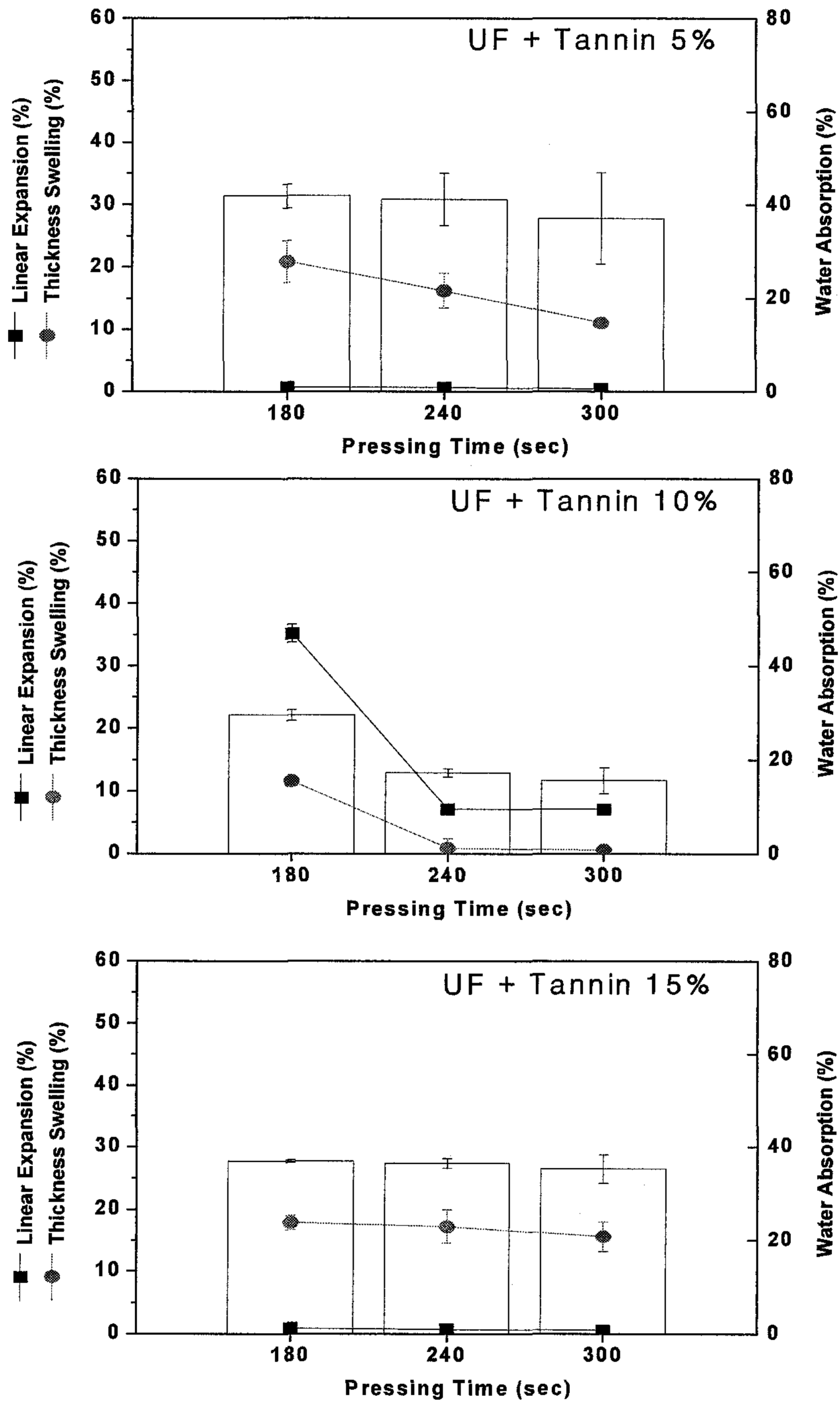


Figure 17. Physical properties of particleboards made using the UF adhesives and with rice husk

반면, Figure 18에서 나타낸 바와 같이 왕겨는 무기물질을 포함하며 목재와 비슷한 성분으로 구성 되어 있으며 숯 또한 무기질 물질으로 이루어져 있다. 이런 무기질은 파티클보드의 접착 강도를 저하 시켰다.

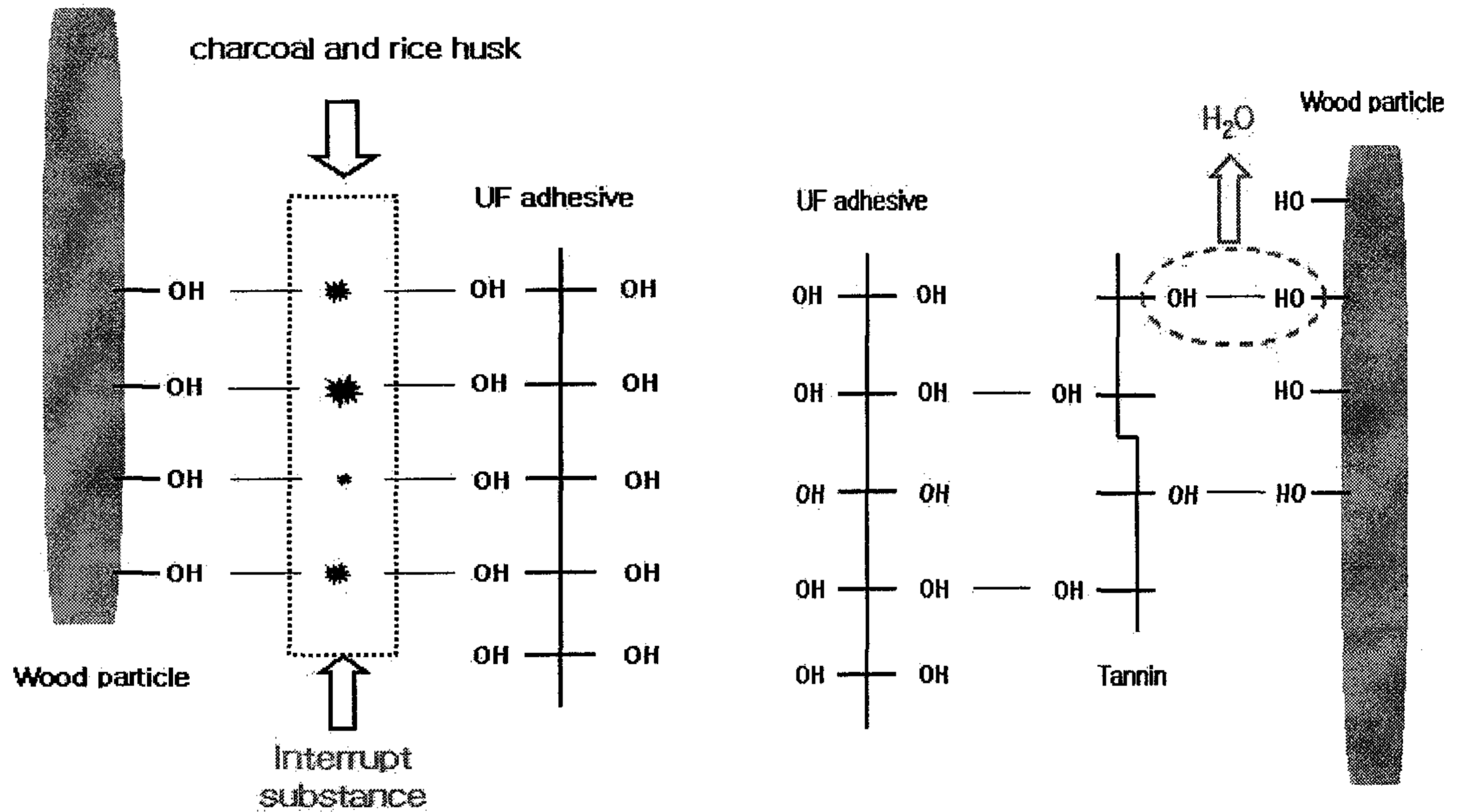


Figure 18. Schematic diagrams of adhesion between rice husk, charcoal and tannin with UF adhesive.

## 2. 기계적 특성

### 가. 휨 강도

요소포름알데히드와 각 첨가제를 넣어 만든 파티클 보드는 열압시간을 180, 240, 300초로 하여 만든 것은 Figure 19로 나타내었다. 첨가제의 첨가량이 증가함에 따라 파티클보드의 휨강도는 서서히 증가 하였고 열압시간이 증가도 파티클보드의 휨강도를 증가시켰다. ANSI (American National Standard)를 기준으로 파티클보드의 모든 종류는 M-3등급을 넘었다. 첨가제를 넣었을 때 휨강도는 탄닌 > 숯 ≥ 왕겨 순 이었다.

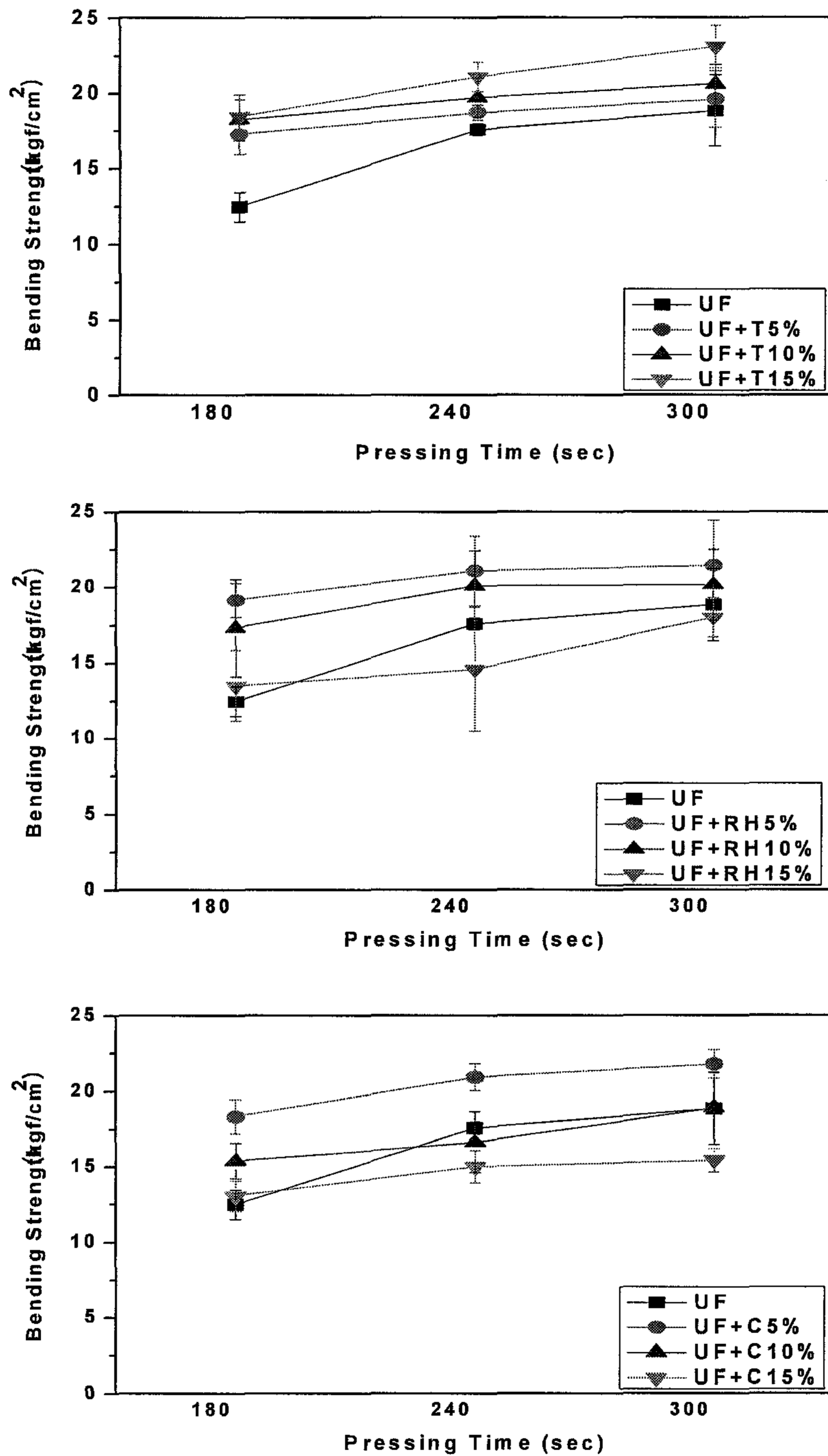


Figure 19. Bending strength of particleboards with urea-formaldehyde adhesives at various press times



이런 경향은 경화가 탄닌, 숯, 왕겨 순 이루어졌기 때문이다. 열압시간이 증가할수록 휨강도는 증가하였다. 휨강도는 물리적 특성과 같은 경향을 나타내었다. Figure 19에서와 같이 첨가제의 첨가량이 증가할수록 모든 샘플의 휨강도는 감소하였다. 열압시간이 증가할수록 물리적 특성은 개선되었고 열압시간이 증가하면 휨 강도는 조금 증가하였다.

#### 나. 박리강도

박리강도는 보드의 전체적 접착강도를 측정하기 위한 것이다. 원재료 형태, 파티클 형상, 수지 함량, 보드 밀도가 박리강도에 직접적으로 영향을 준다. 박리강도는 Figure 20처럼 나타났다. 대부분의 샘플은 M-3등급을 만족하였다. 특히 탄닌을 사용하는 경우는 다른 샘플보다 높게 나타났다. 열압시간이 3분에서 5분으로 증가함에 따라 파티클보드의 박리강도는 증가하였다. 반대로 숯, 왕겨를 첨가하였을 때 박리강도에 거의 영향을 미치지 않았다. 박리강도의 경향은 휨강도의 경향과 같았다. 160℃, 3분에서 5분으로 열압시간을 증가하면 모든 샘플의 박리강도는 증가하였다.

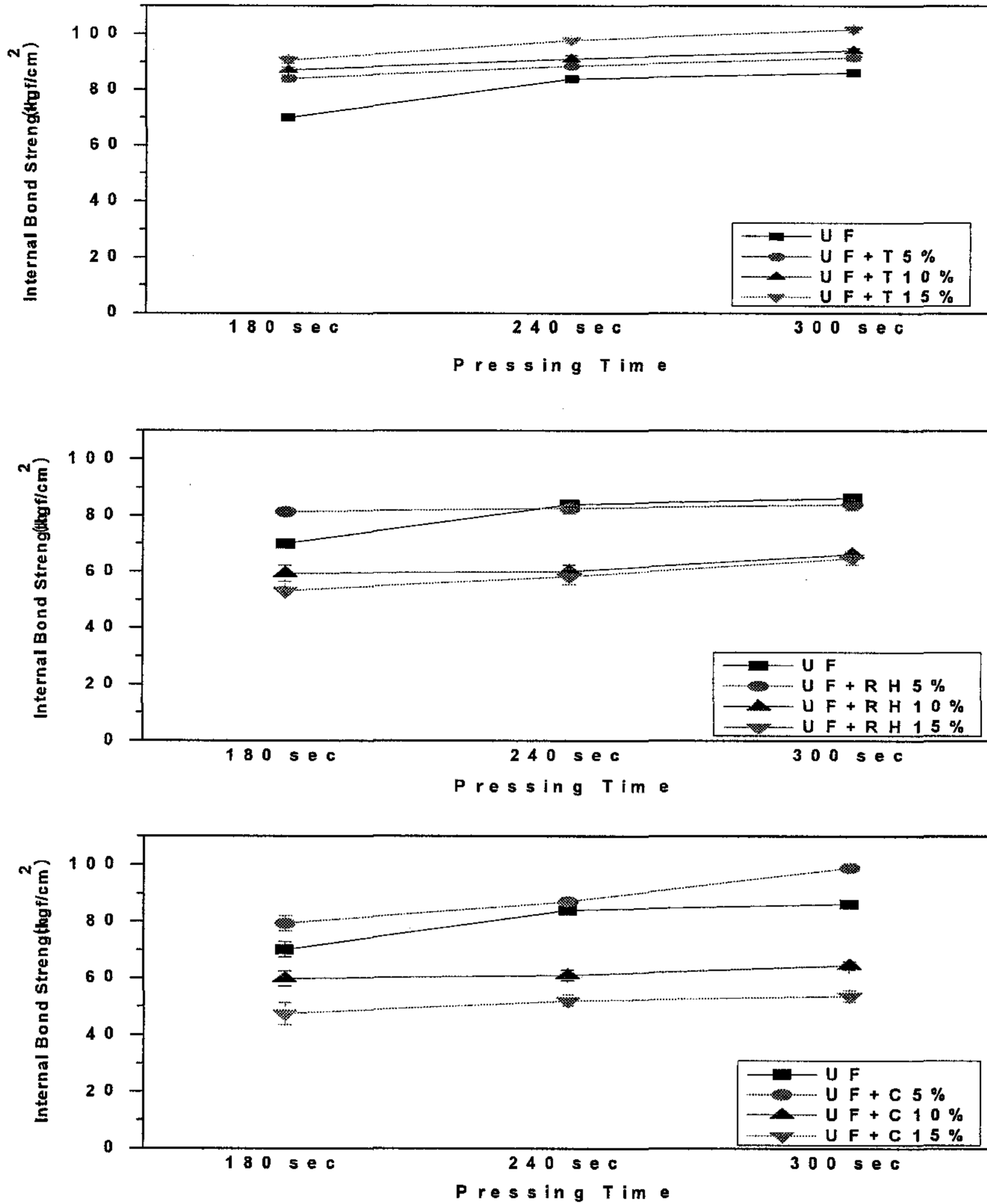


Figure 20. Internal bonding of particleboards with UF-based adhesives at various press time

#### 다. 포름알데히드방산 측정

##### 1) 데시케이터법

스캐빈저를 첨가한 파티클보드의 포름알데히드 방산량은 Figure 21에 나타내었다. 열압시간이 증가함에 따라 포름알데히드 방산량은 감소하였다. 요소포름알데히드접착제의 방산량은 열압시간을 3, 4, 5분으로 하였을 때 0.944mg/l, 0.859mg/l, 0.795mg/l을 방산하였다. 5분일 때 방산량이 적게 발생하였고 4분, 3분으로 열압시간이 줄어들면

방산량은 증가하였다. 열압시간이 줄어들수록 포름알데히드 방산량은 증가한다는 것을 알 수 있다.

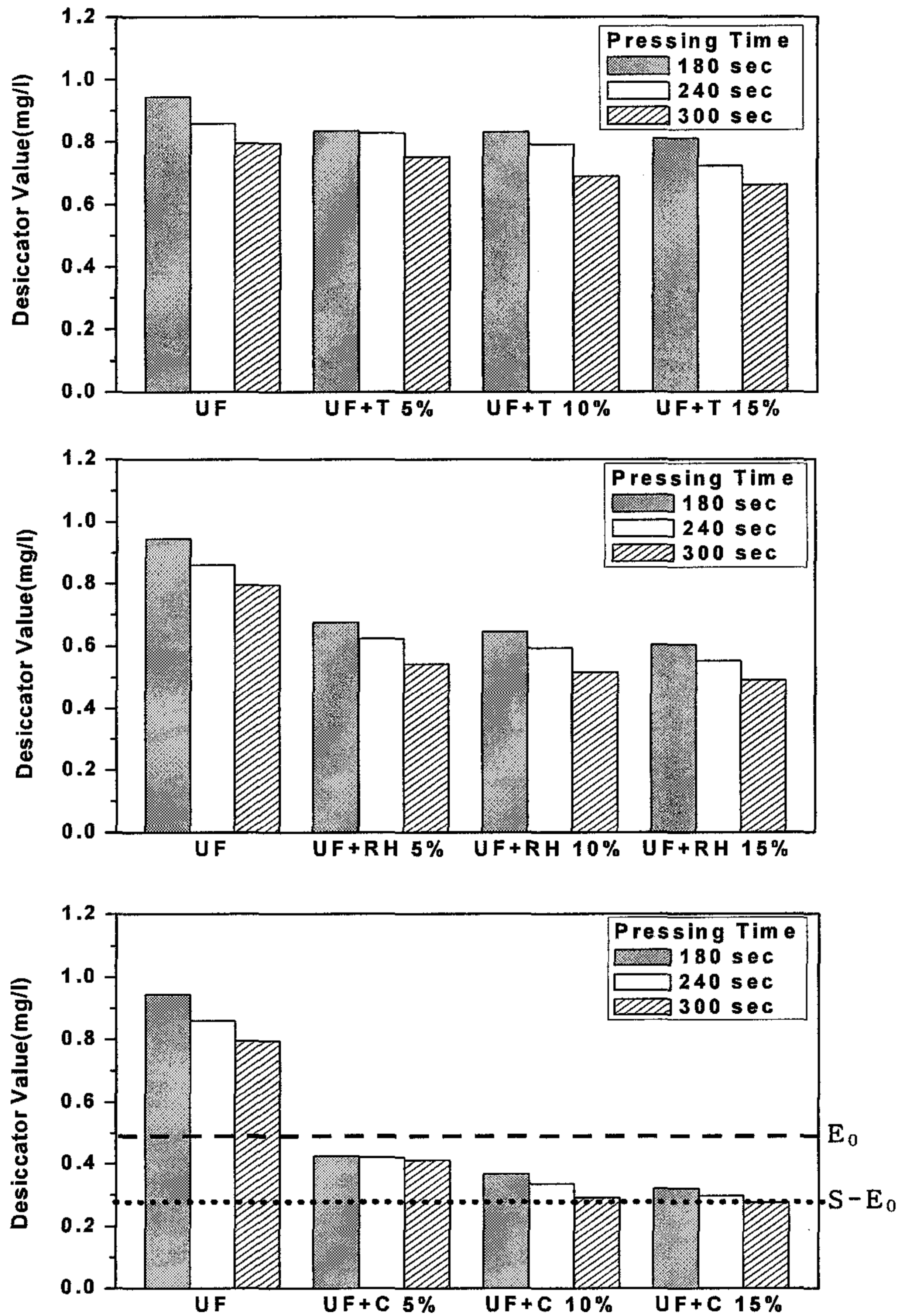


Figure 21. Desiccator values of particleboards by UF-based adhesives with bio-scavengers

또한 Figure 21처럼 첨가제량이 증가 할수록 포름알데히드 방산량이 줄어들었다. 더

육이나 요소포름알데히드, 탄닌을 첨가한 파티클보드 제외하고 첨가제량과 열압 시간이 증가하면 포름알데히드방산은 급격히 줄어든다. 숯을 첨가한 파티클보드는 JIS의 기준에 따르면 F☆☆☆☆(0.3mg/l)였다. 숯은 스캐빈저 중에 포름알데히드를 저감하는데 가장 효과적이였다. 실험결과에 따르면 첨가량, 열압시간을 늘리면 포름알데히드 저감하는데 효과적이었고 숯, 왕겨, 탄닌 순으로 포름알데히드가 저감이 많았다.

2) 소형 챔버법

Figure 22는 각 첨가제가 첨가된 파티클보드의 표면에서 방산되는 포름알데히드를 측정한 결과이다.

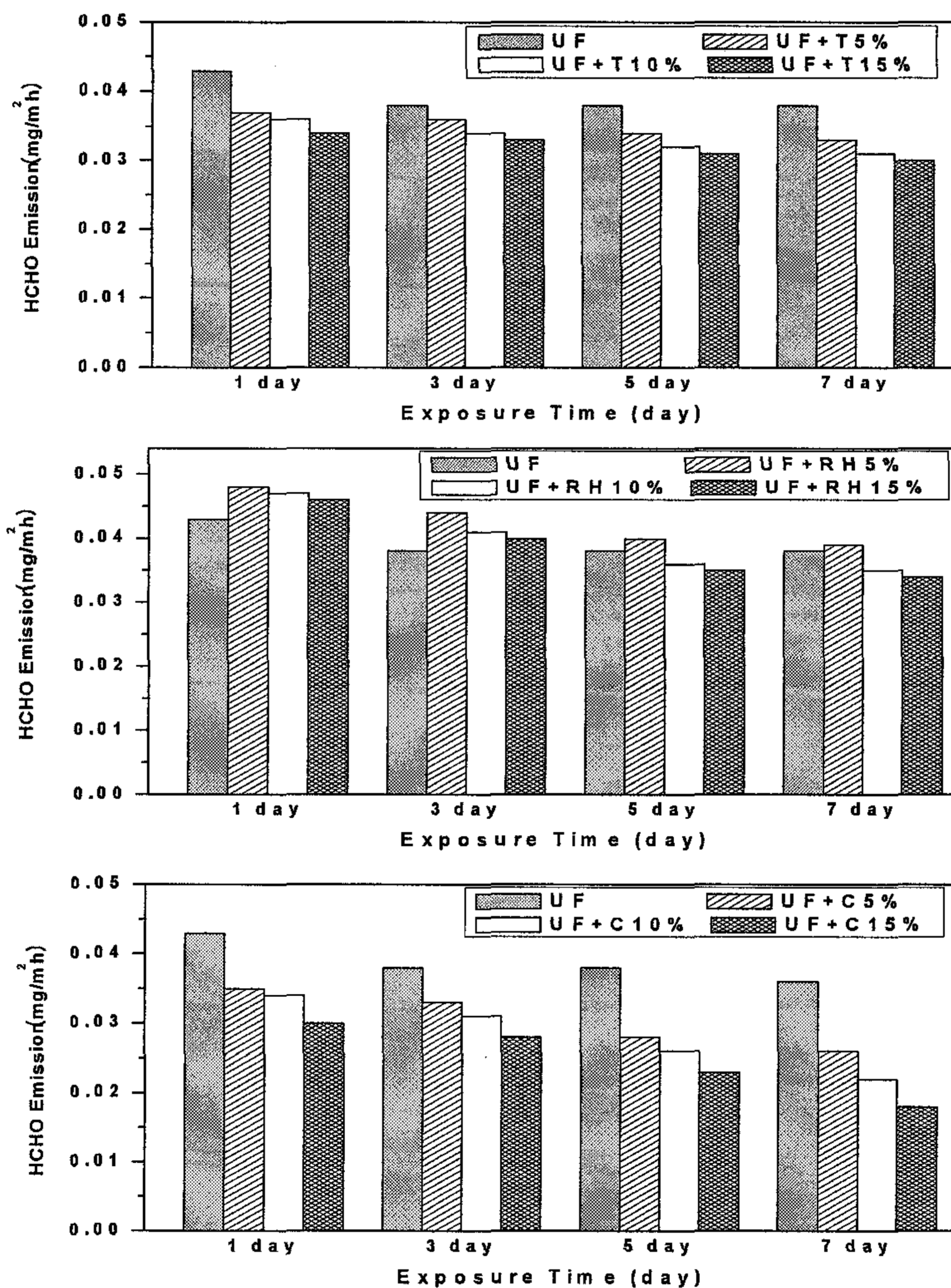


Figure 22. Formaldehyde emission of particleboards by small chamber method (UF adhesive with bio-scavengers)



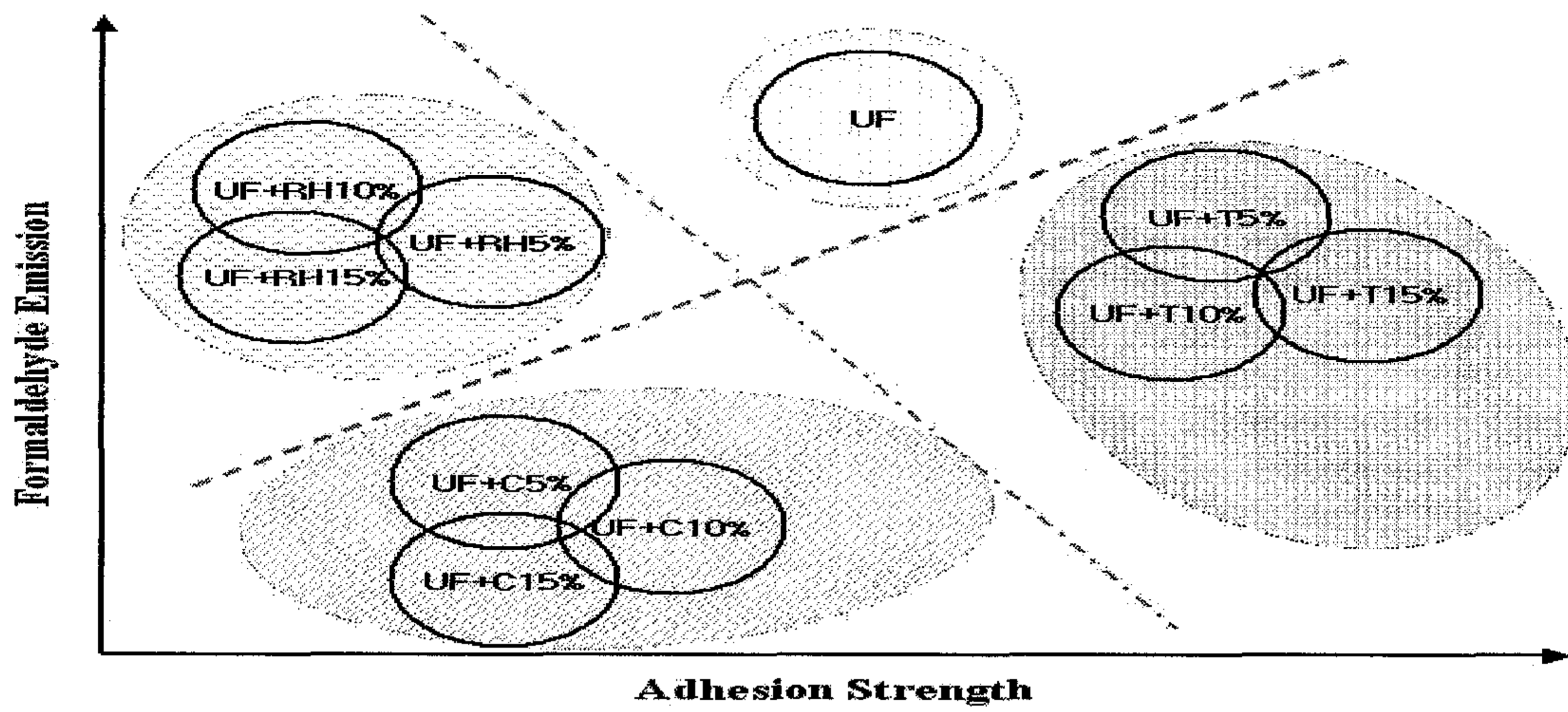
요소포름알데히드 수지만을 첨가한 경우 포름알데히드 방산율이 최초 0.43mg/m<sup>3</sup>h였고 3일후에는 약 12% 감소하였고 5일후에는 2.4% 감소하였고 7일후도 2.4%감소하였다. 7일째 포름알데히드 최종 누적 감소율은 16.8% (0.007mg/m<sup>3</sup>h)이다. 숯이 첨가된 파티클보드에서 포름알데히드 방산량이 가장 많이 감소하였다. 한국공기청정기협회(KACA: Korea Air Cleaning Association) 기준에 따르면 숯을 스캐빈저로 사용한 파티클보드의 등급은 Excellent(<0.03mg/m<sup>3</sup>h) 였다. 탄닌과 왕겨는 Excellent를 만족하지 못했다. 본 실험에서 숯이 포름알데히드 감소에 가장 효과가 있었고 다음은 탄닌, 왕겨 순이었다.

### 제 3 항 결론

각 첨가제가 첨가된 파티클보드는 열경화성 수지인 요소포름알데히드 접착제를 사용하였기 때문에 열압시간이 증가 할수록 휨강도, 박리강도가 증가하였고 첨가제 양이 증가하면 휨강도, 박리강도가 감소하는 경향을 각각의 샘플에 나타냈다. 물리적 특성(두께팽윤, 선팽윤, 흡수율)과 기계적 특성(휨강도, 박리강도)에 있어서 열압 시간이 길어지면 물리적 특성은 감소하고 기계적 특성은 증가하였고 첨가제 양이 증가하면 물리적 특성은 증가하였고 기계적 특성은 감소하였다. 그러나 탄닌을 첨가하여 만든 파티클 보드가 가장 높은 물리적, 기계적 특성을 가졌다. 첨가제를 첨가시킨 파티클보드의 성능은 첨가제가 함유하는 물질에 영향을 받는다. 탄닌은 열가소성 접착제로 열압을 할수록 관능기들 간에 가교를 하여 경화가 일어난다. 반대로 왕겨, 숯은 실리카 물질 같은 무기질은 파티클보드의 접착에 방해를 한다. 즉 첨가제 양이 증가하면 파티클보드의 접착강도는 감소한다.

데시케이트법에서 각 첨가제를 넣은 파티클보드의 열압시간과 첨가제양이 증가하면 포름알데히드방산은 감소하였다. 숯을 첨가한 경우 포름알데히드 방산은 F☆☆☆☆로 가장 효과적으로 포름알데히드를 저감시켰다. 소형 챔버법에서도 이런 경향을 발견할 수 있다. 탄닌을 첨가한 포름알데히드 수지의 포름알데히드 방산은 <0.03mg/m<sup>3</sup>h 이었다. 반면 탄닌과 왕겨가 첨가된 요소포름알데히드 수지의 방산량은 높았다.

이런 결과는 숯은 포름알데히드 방산에 있어 흡착으로 포름알데히드 방산을 저감하는 효과를 보여 주고 있다. 결론적으로 세 가지의 스캐빈저를 사용한 파티클보드는 포름알데히드 방산, 물리적 특성, 기계적 특성은 차이가 있었다. 이 결과는 Figure 23 에 모식 하였다.



- UF : Urea Formaldehyde
- WF : Wheat Flour
- T : Tannin Powder
- RH : Rice Husk Flour
- C : Charcoal Flour

Fig 23. Representation criterion bio-scavenger type for UF resin



## 제 4 절 UV 코팅 및 표면처리에 따른 TVOC 와 포름알데히드의 저감 및 측정법간의 상관관계 연구

### 제 1 항 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

##### 가. 마루판 (Flooring)

목질 복합 재료에 강화마루와 합판마루를 공시재료로 사용되었다. Figure 24와 같이 강화보드는 심층에 HDF (7.7mm)와 그 위에 멜라민 수지로 함침 된 모양지 (Deco-paper)와 오버레이지(OV paper) 시트가 처리 되어있으며 하부표층에는 역시 멜라민 수지로 함침 된 후면지 (Balancing paper)로 이루어졌다. 합판 보드는 7.2mm 두께의 합판 위에 무늬목(0.5mm)이 약 160℃정도에서 열압 되어졌으며 그 위에 UV 코팅되었다.

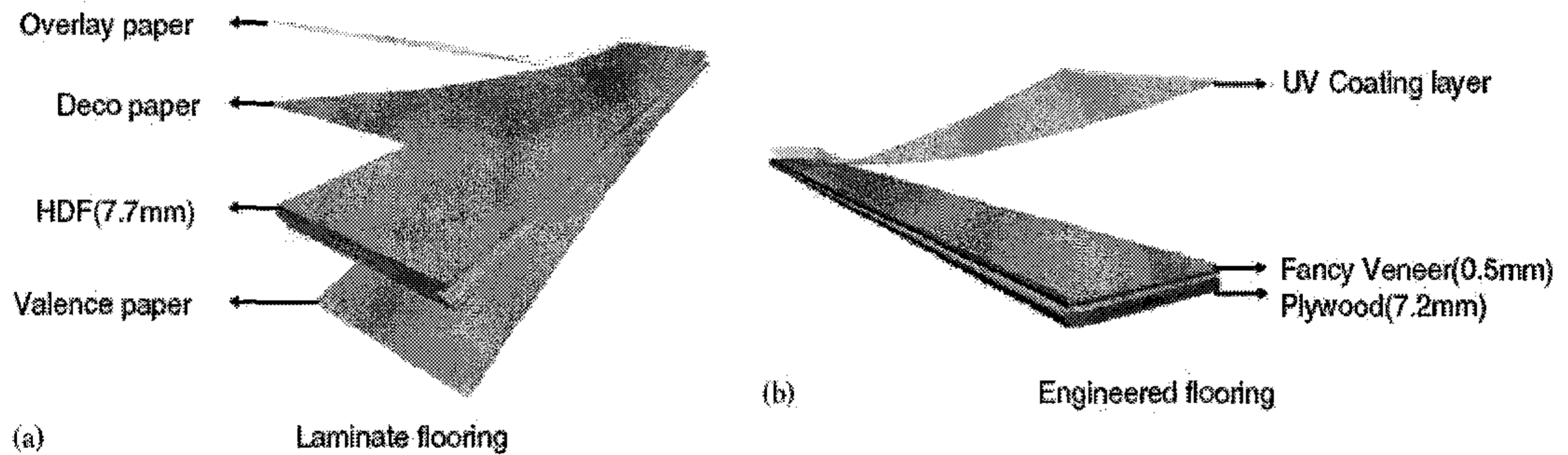


Figure 24. Structure of laminate and engineered floorings.

또한 무늬목 처리가 되어있지 않은 MDF와 PB를 대조군으로 사용하였다. 대조군의 두께는 18mm이며 공시재료의 함수율은 Table 7과 같다.

Table 7. Moisture contents of wood-based composites

Materials	Laminate flooring	Engineered flooring	MDF	PB
Moisture contents (%)	7.2±0.7	6.5±0.5	7.6±0.8	7.9±0.9

## 2. 실험 방법

### 가. 데시케이터 법

#### 1) 시험편 채취 및 전처리

시험편은 원판의 중앙부분에 50mm×150mm의 샘플을 채취하고 시험편의 개수는 전 표면적이 1800cm<sup>2</sup>가 되도록 하였다. 채취도니 시험편은 상온 상습(20±2℃, 65±5%)에서 7일 동안 전처리하였다.

#### 2) 포름알데히드 포집

KS L 2303에 규정하는 내경 240±15mm, 부피 11±의 데시케이터 밑부분에 300±1ml의 증류수를 넣은 내경 115±1mm, 높이 60±2mm의 결정 접시를 놓고 시험편틀에 시험편을 끼운 다음 24시간을 방치하여 방산되는 포름알데히드를 결정접시 안의 증류수에 흡수시켜 시료용액으로 하였다.

#### 3) 포름알데히드 농도의 정량방법

시료용액 중의 포름알데히드의 농도는 아세틸 아세톤법에 의해 UV spectrometer를 사용하여 412nm 부근의 파장을 이용해 비색 정량하였다.

### 나. 퍼포레이트 법

1) EN 717-2 120에 의거하여 약 110g의 시편을 600ml의 톨루엔과 함께 둥근 바닥 플라스크 안에 넣고 1,000ml의 증류수를 perforator 속에 충전시킨다. 시편의 formaldehyde를 흡착한 톨루엔 기체가 perforation 동안 1분당 70~80 방울의 속도로 회수되도록 조절하여 2시간동안 유지시킨다. 데시케이터와 같은 방법으로 formaldehyde가 포집된 증류수의 흡광도를 측정하고 검량선을 작성하여 formaldehyde양을 측정하였다.



## 다. 20L 소형 챔버법

### 1) 소형 챔버법의 기본 원리

소형 챔버를 활용한 건축자재의 오염물질 방산시험은 용적 20L의 급·배기 출구를 가진 방산 시험 챔버 내의 공기를 흡착관에 포집·분석하고, 통과한 공기유량 및 시험편의 표면적을 이용하여 시험대상이 된 건축 재료의 단위면적 당 VOCs (휘발성 유기화합물) 및 HCHO (포름알데하이드)의 방산강도를 결정하는 방법이다.

방산시험 챔버는 항상 온도( $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ), 상대습도( $50\pm 5\%$ ), 환기량( $0.5\text{회/hr}$ )이 일정하게 유지되어야 한다. 방산시험 챔버 내의 공기는 완전하게 혼합되어야 하며, 챔버 출구에서 채취된 시험편의 측정농도는 환기량( $0.5\text{회/hr}$ )을 파악하여 특정시간  $t$ 에 관한 표면적당의 화학물질의 방산강도를 계산한다.

### 2) 측정 및 분석 장비

#### 가) 방산시험 챔버

##### (1) 챔버의 형태

방산 시험 챔버는 오염물질의 흡착을 최소화하기 위해 표면을 전해 연마된 스테인리스로 제작되었으며, 용적은  $20\text{L}\pm 5\%$ 이다. 방산 시험 챔버는 난류의 방지와 내부의 공기가 확실하게 혼합될 수 있도록 챔버 하단 부에 다공관을 설치하였으며, 전체에서 부품이 분리 가능하여 부위별로 세정, 가열처리가 용이하도록 하였다. 또한 챔버 내부에 사용되는 시료 고정틀과 패킹재료는 스테인리스와 테플론과 같은 저흡착성 재료를 챔버 바탕농도에의 영향을 최소화하였다(Figure 25).

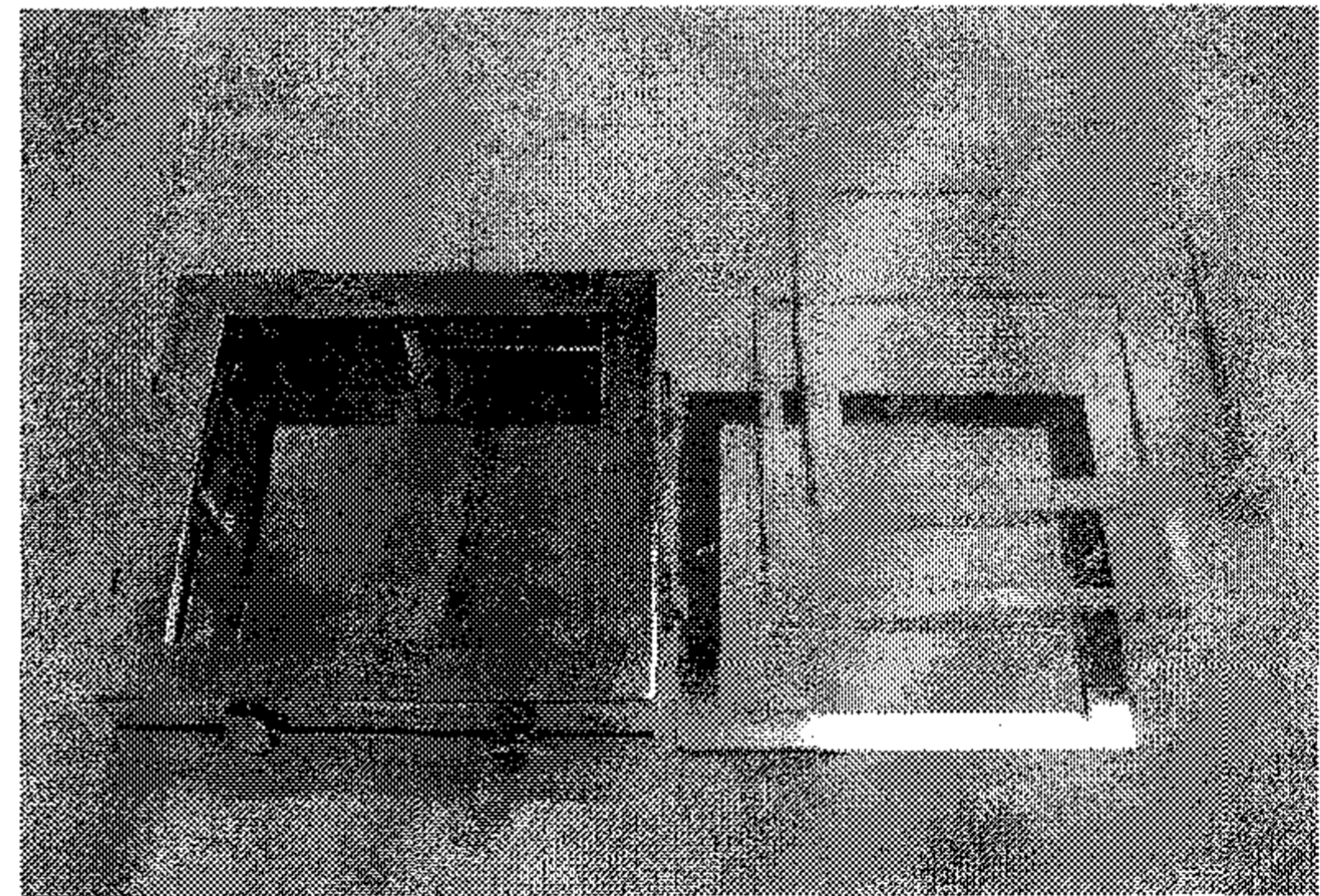
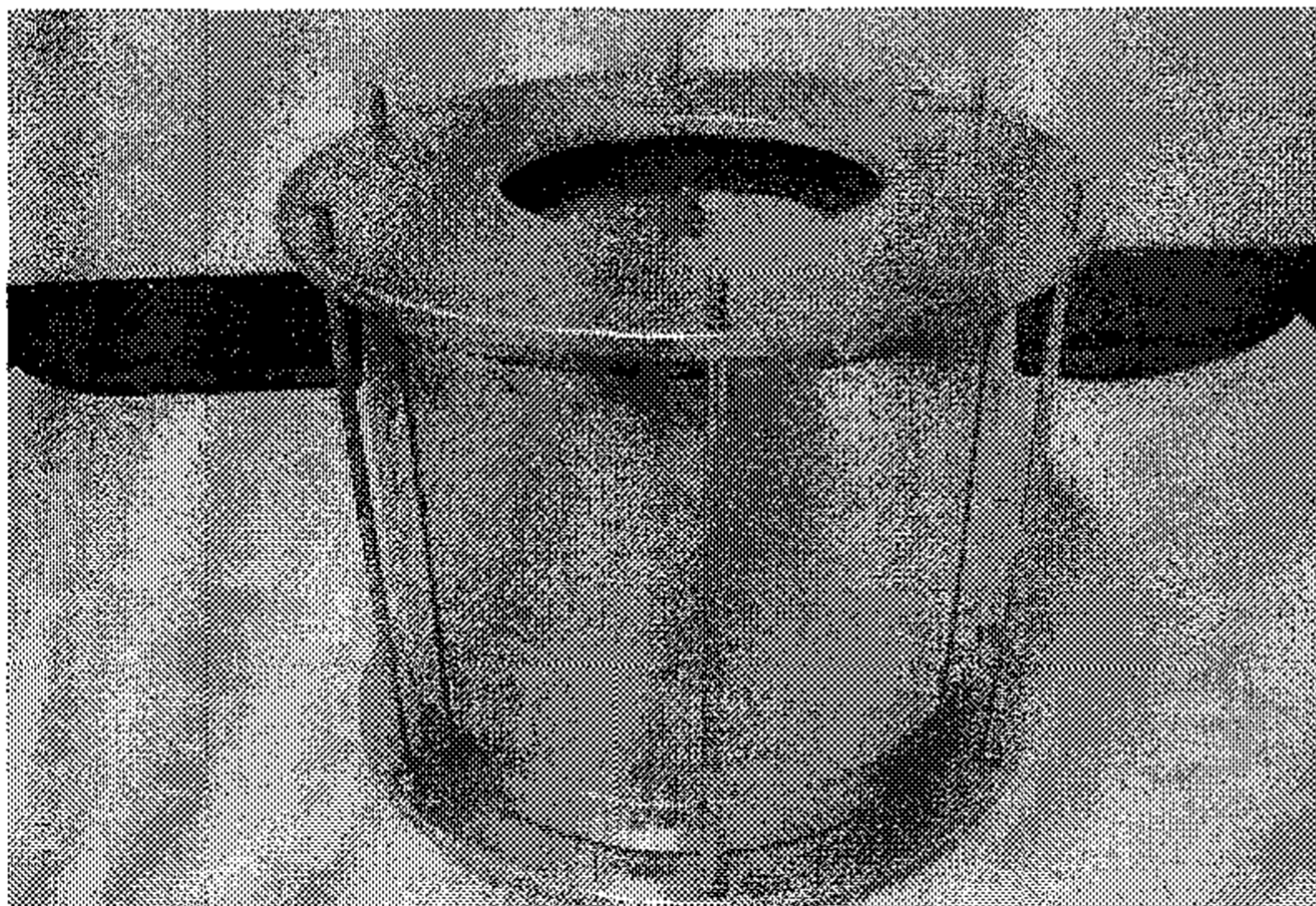


Figure 25. 20L Small Chamber



## (2) 기밀성

방산시험 챔버는 외기 유입에 의한 오염을 방지하기 위하여 기밀 상태를 유지하여야 한다. 방산시험 챔버 내부는 대기압보다 다소 높은 기압으로 조작하고, 시험 장소에 따라 영향을 저감할 수 있어야 한다. 방산시험 챔버는 아래의 조건 중 한 가지는 만족하면 충분한 기밀성이 있는 것으로 본다.

- 대기압보다 초과압력 1000Pa에서 분당 공기가 새는 양이 방산시험 챔버 용적의 0.5% 미만인 것.
- 공기가 새는 것이 급기량의 5% 미만인 것.

## (3) 공기 공급 장치

방산시험 챔버의 환기회수를 시간 당 0.5회로 연속적으로 조절할 수 있어야 한다. 유량제어장치로는 MFC(Mass Flow Controller) 를 사용하였다(Figure 26).

## (4) 온도, 습도 조절장치

온도의 조절은 방산시험 챔버를 필요 온도로 조절 된 항온조 내에 설치하여 시험하는 방법, 또는 방산 시험 챔버 내부에서 필요한 온도를 유지하는 방법을 사용한다. 상대습도 조절은 공급 공기를 필요 습도로 유지하는 방법을 원칙으로 한다. 온도와 상대습도는 온도·습도 조절 시스템과는 독립적으로 연속적으로 모니터링 할 수 있어야 한다. 방산시험 챔버 내에서 결로가 발생하지 않도록 하며, 물을 직접 분무하지 않도록 주의하였다.

## (5) 적산유량계

방산 시험 챔버 출구에 적산유량이 측정 가능한 Bubble 유량계(SF-2U)를 설치하여 방산 시험 챔버 출구의 유량을 측정하였으며, 이를 통해 정확한 환기횟수가 유지되고 있는지 확인하였다.



Figure 26. Air controller

3) 분석 장비

가) VOCs (휘발성 유기화합물) 분석 장비

(1) 열탈착 저온 농축 장비

Table 8과 Figure 27은 열탈착 저온 농축 장비의 기본 성능과 모식도를 나타낸 표이다.

Table 8. Specification of Thermal desorption/Low-temperature Conc. equipment

Company	MARKES
ULTRA TD	100 sorbent tubes
UNITY Thermal Desorber	splitless desorption
Tube	Tenax TA Tube

(2) GC/MS

Table 9과 Figure 28은 GC/MS의 기본 성능과 Tenax TA 튜브를 나타낸 표이다.

Table 9. Specification of GC/MS

GC	CP-3800
MS	SATURN-2000(ion-trap method)
COLUMN	VF-1(0.25mm×60m×1μm), max column temp : 320℃
carrier gas	He(99.999%)
Injectors	CP-1177 Split/Splitless, 50℃ ~ 450℃ isothermal
Valves	column switching application
Mass range	10 to 650u
Scan rate	Fixed at 5600 u/sec
DS102 Pump	Dual stage, rotary vane, oil mist eliminator
Column oven	28cm(W)×66cm(D)×28cm(H)
cool down rate	450℃ → 50℃ in 4.5 minutes



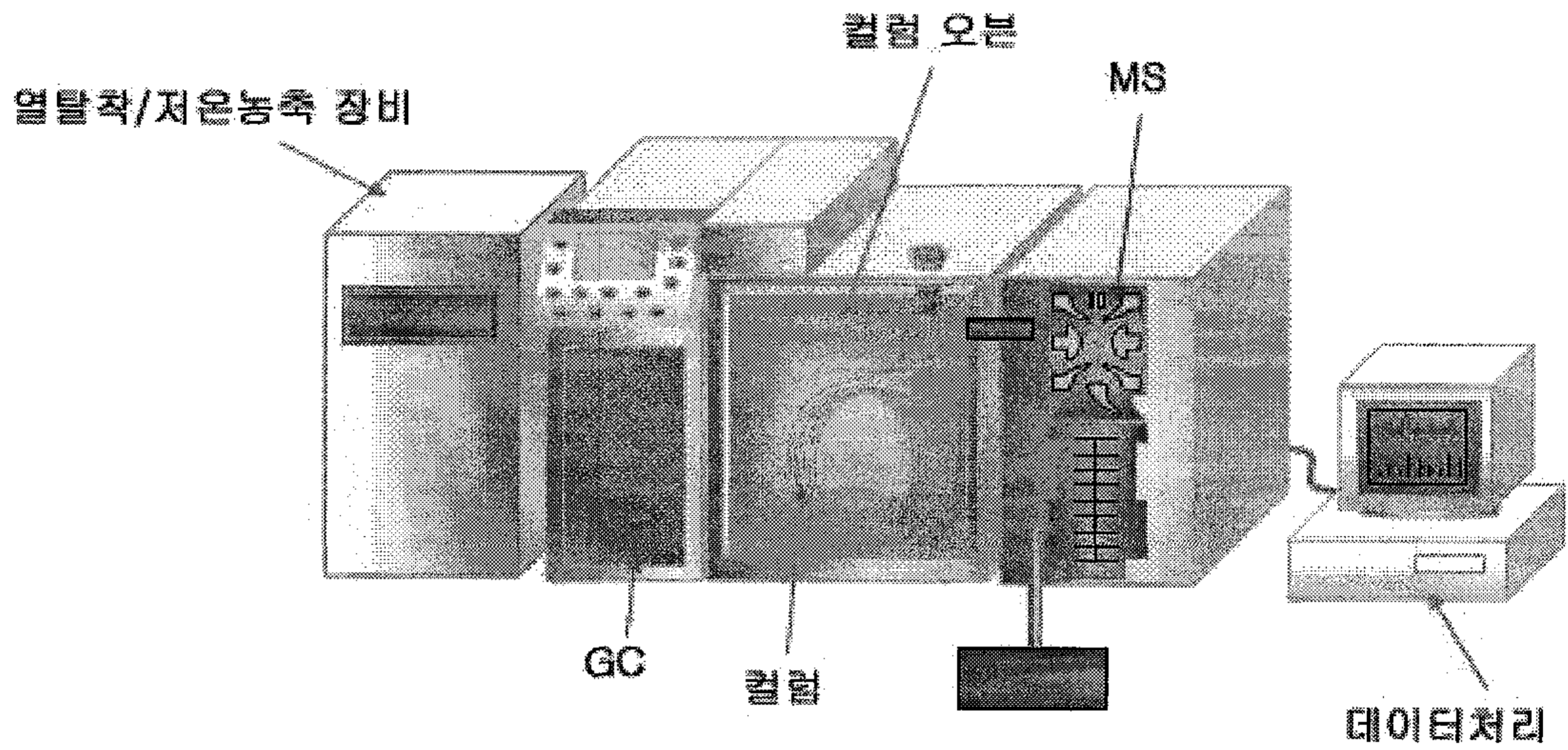


Figure 27. Schematic of Analytic Instrument

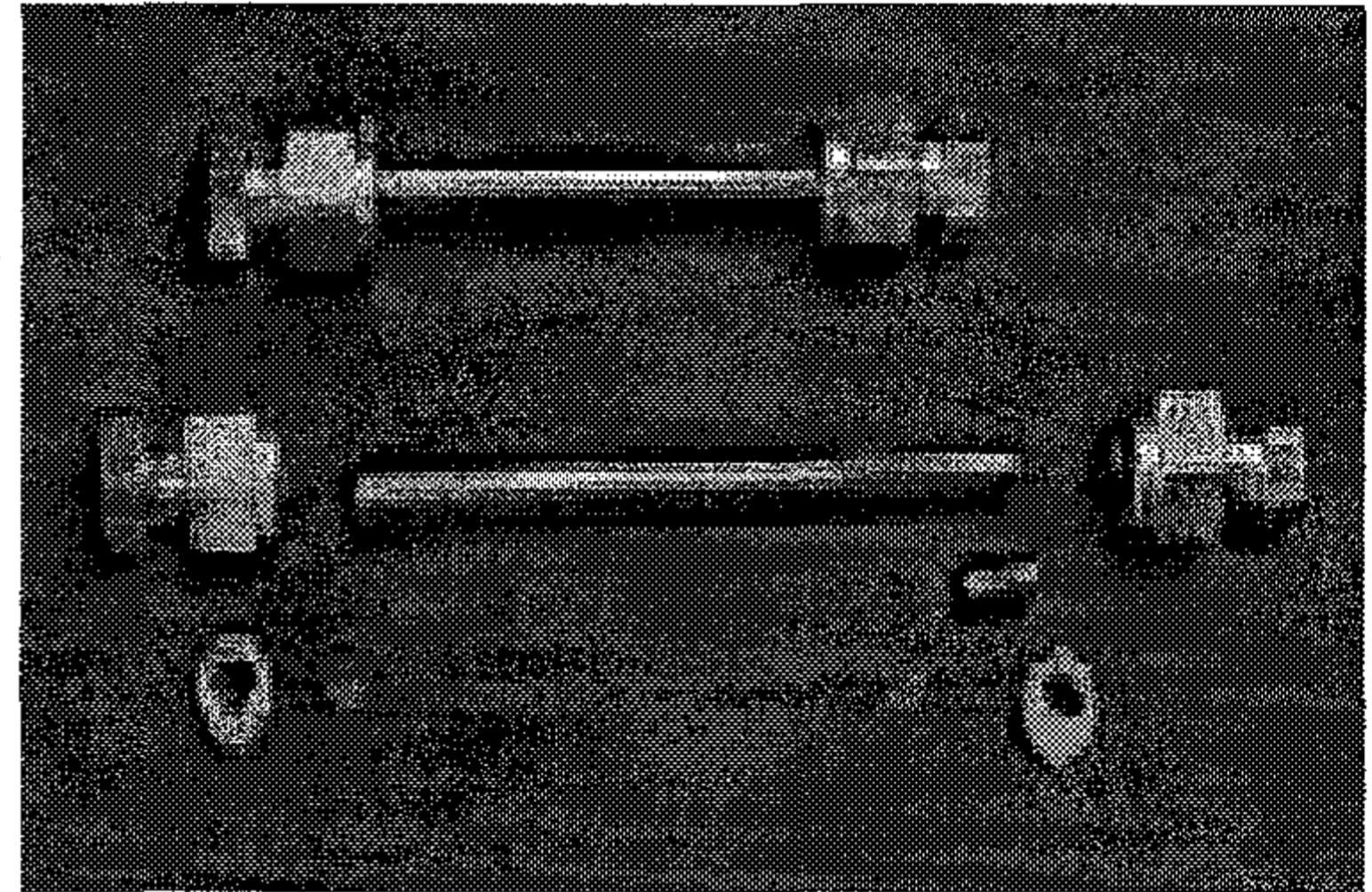
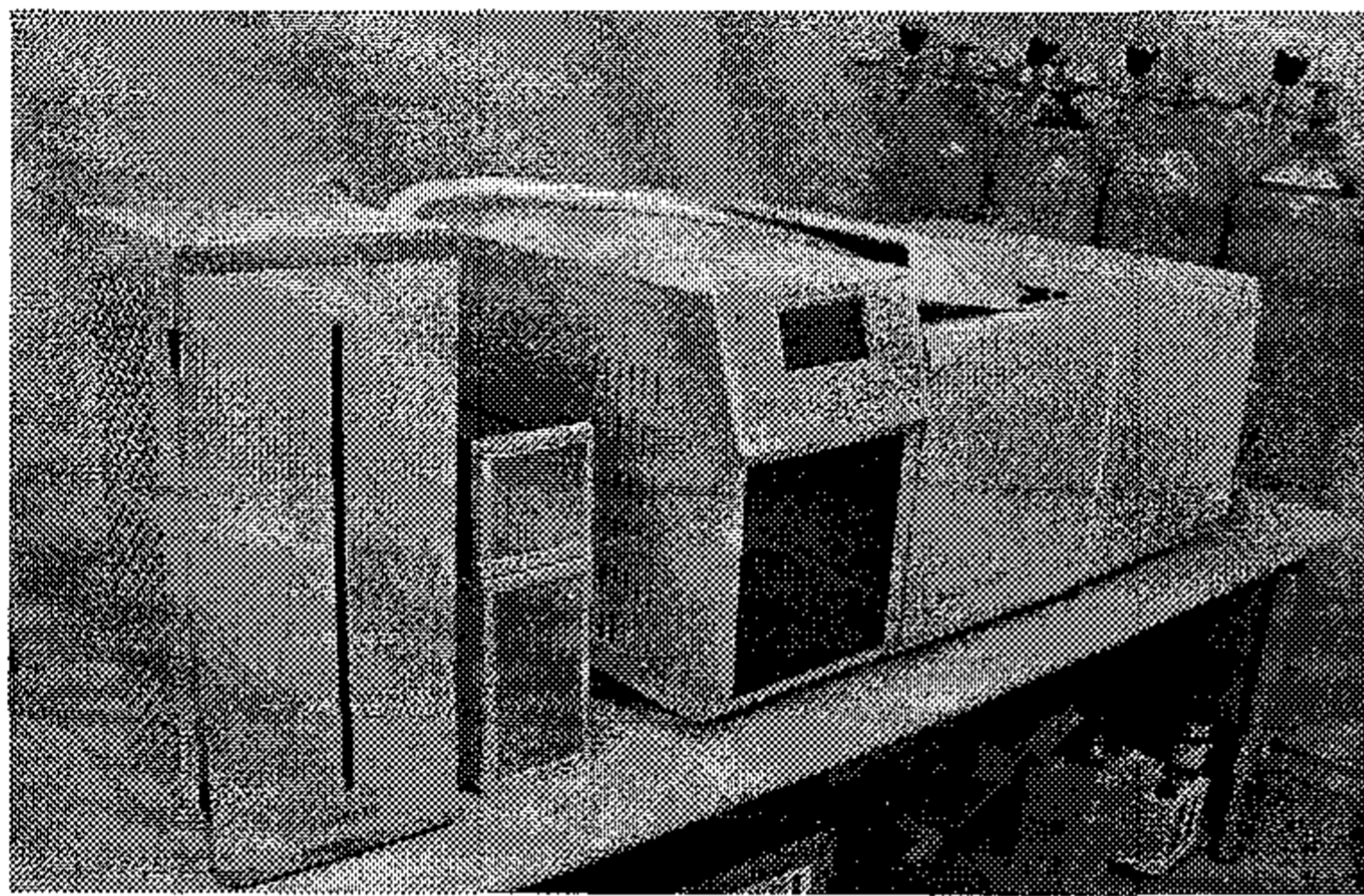


Figure 28. GC/MS and Tenex Ta tube

나) HCHO (포름알데하이드) 분석 장비

(1) HPLC (고성능액체크로마토그래피)의 규격

Table 10과 Figure 29에서 HPLC의 성능과 DNPH 카트리지를 나타내었다.



Table 10. Specification of HPLC

Auto sampler	Model410 (Automix sample preparation, VARIAN)
Detector	Model325 (UV/vis 360nm, VARIAN)
Prostar 230 gradient pump	flow range 0.01 ~ 10ml/min
Column	Omnispher 5 C18 column (250mm × 4.6mm)
Tube	OzoneScrubber(WAT054420,waters)+ LP-DNPH(21014, Supelco)

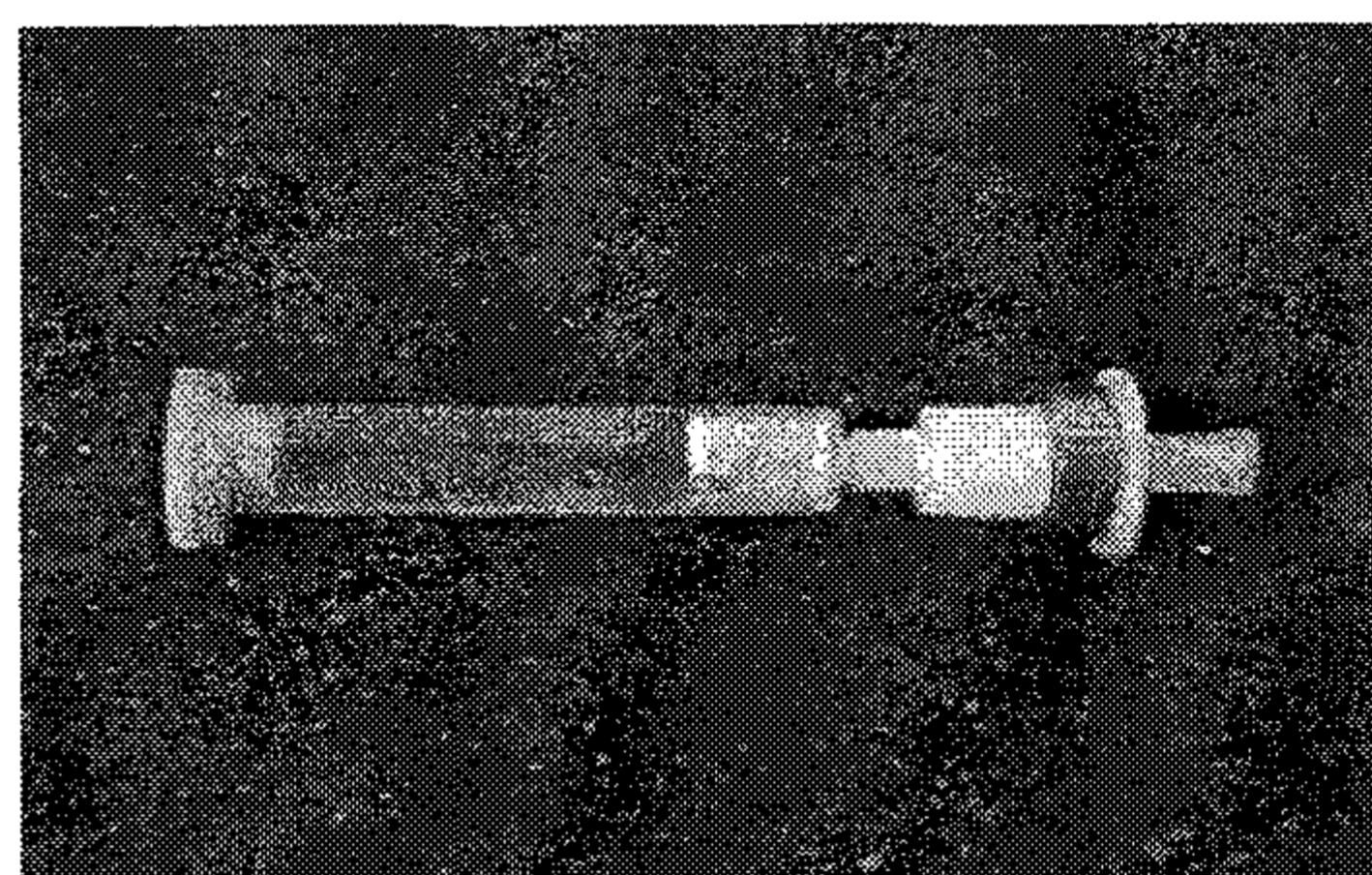
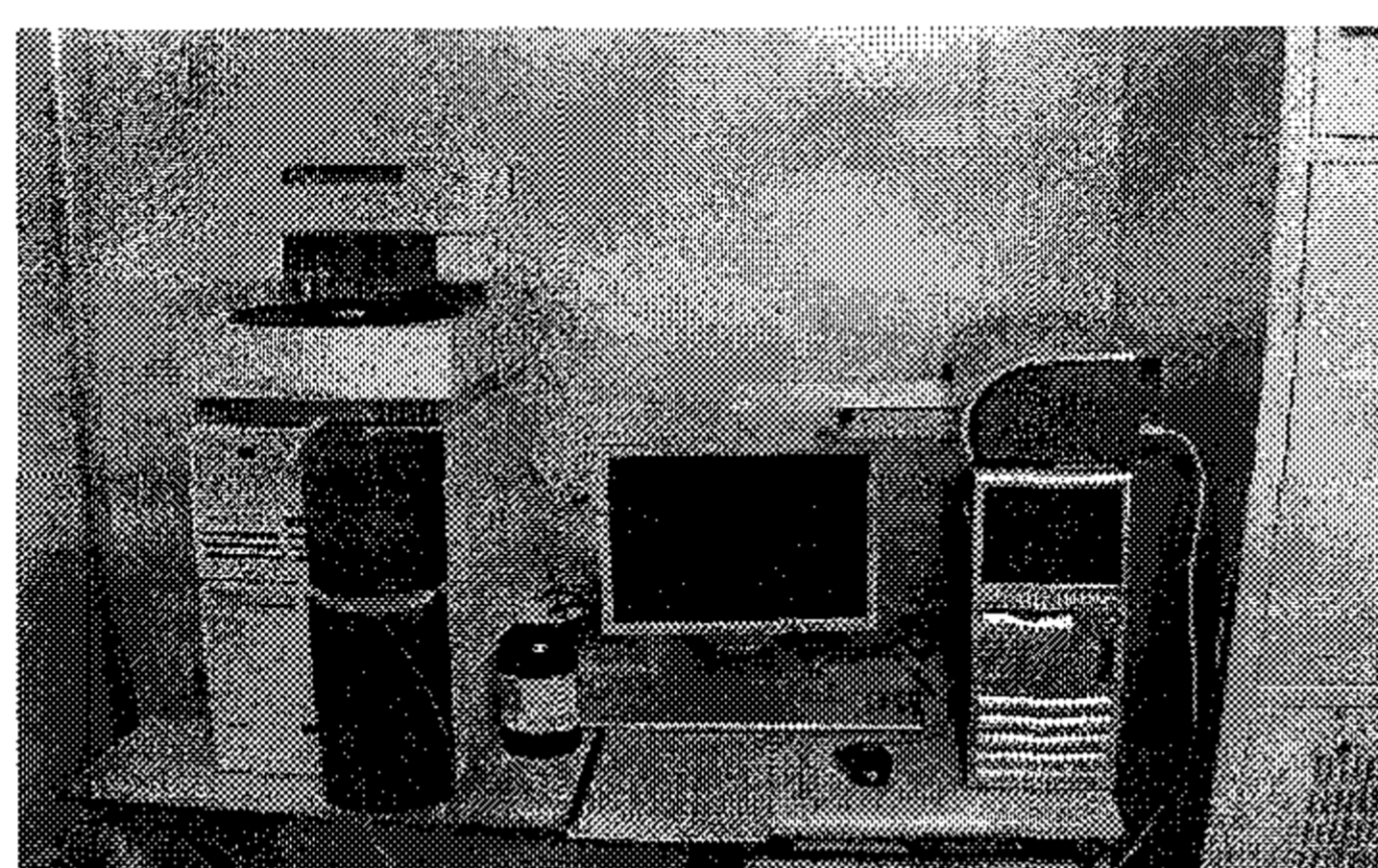


Fig 29. HPLC and DNPH Cartridge

#### 4) 측정 및 분석방법

##### 가) 측정 방법

##### (1) 챔버의 준비

시험 개시 전 챔버 및 시료 틀을 해체하여 에틸 알콜로 1차 세정한 후 초순수(3차 증류수)로 2차 세척한다. 챔버 내부 표면에 잔존하는 VOCs 및 HCHO 등 오염물질을 탈착시키기 위하여 온도를 260℃ 이상 올릴 수 있는 오븐을 이용하여 가열 처리하였다.

##### (2) 측정조건

측정 시 챔버 내부의 조건은 실제거주 공간과 동일하도록 하여야 한다. 온도와 습도는 실내에서 재실자가 쾌적함을 느끼는 범위에 준하도록 온도 25℃(오차범위 ±1℃), 습도 50%(오차범위 ±5%)로 설정하였으며 환기횟수는 시간당 0.5회(0.167L/min)이었다.

(3) 공급 공기질과 챔버의 Background 농도

공급 공기의 Background 농도는 방산시험에 영향을 미치지 않도록 하여야 하며, TVOC (총휘발성 유기화합물)의 농도는  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하 개별 VOC의 농도는  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하, HCHO (포름알데히드)는  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하여야 한다. 시료를 방산 시험 챔버에 투입하기 전에 Background 농도가 기준 이하인지 확인한 수 측정하였다.

(4) 시료보관 및 준비

시료는 화학 물질에 의한 오염, 또는 열과 습기 등에 의한 영향을 받지 않도록 알루미늄 재질의 포장재로 싸고 비닐 Bag에 밀봉하여 항온항습실에서 시험과 동일한 조건에서 보관을 하였다.

측정을 위해 시편은 고정틀에 맞도록  $16.5\text{cm}\times 16.5\text{cm}$ 의 크기로 자르며, 한 개의 자재 당 2개를 1 set를 준비한다. 알루미늄 재질의 포장재로 싸고 고정틀 내에 테프론 패키지를 넣어 시편의 표면 외 모서리 등에서 오염물질 방산이 없도록 하였다. 이렇게 측정을 위한 시험편의 준비가 끝나면 챔버 중앙에 위치시키고 챔버의 기밀성이 유지되도록 테프론 패키지와 함께 챔버의 뚜껑을 닫는다.

(5) 샘플링 방법

Sampling하는 동안에도 환기횟수가 유지되도록 공급유량과 동일한  $0.167\text{L}/\text{min}$ 으로 TVOC는 18분간 3L, HCHO는 41분간 7L를 포집하였다.

(6) 결과산출

측정 대상물을 방산시험 챔버에 넣은 후 측정을 시작하는 시간 t에서 방산률 EFa는 다음의 식과 같다. 방산시험 챔버 농도 Ct는 시간 t에서 대상 VOCs와 알데히드류, 혹은 TVOC의 농도를 나타낸다.

$$EFa = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{A}$$

A : 측정대상물의 면적( $\text{m}^2$ )

Ct : 시간 t에서의 방산시험 챔버 내 VOCs와 알데히드류의 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Ctb,t : 시간 t에서의 블랭크(비어있는 챔버) 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

n : 환기횟수(회/h)

Q : 방산 시험 챔버의 환기량( $\text{m}^3/\text{h}$ )

V : 방산 시험 챔버의 용적( $\text{m}^3$ )

나) 분석방법

(1) VOCs (휘발성유기화합물)의 분석

Table 11은 VOCs에 대한 분석조건에 관한 표이다.

Table 11. Analytical condition for VOCs

Items	Analytical condition of VOCs	
Split Ratio	10 : 1	
Detector	MS(Verian, U.S.A)	
Column	VF-1(0.25mm×60m×1μm)	
Carrier GAS and Flow	He(99.999%), 1~2ml/min	
Temperature program	Initial Temperature	35°C(5min)
	Temperature Program	3°C ↑/min
	Final Temperature	210°C(25min)
	transferline Temperature	210°C
	Ion trap Temperature	170°C
MS Condition	Mode	EI
	Electron energy	70ev
	Detection mode	TIC(scan), m/z: 35 ~ 350

Tenax TA 흡착관을 넣은 stainless steel 튜브를 가열탈착위치에 넣고, 열탈착 장치인 TD (Markers사)을 이용하여 열탈착 시킨 후 GC/MS를 통해 분석하는 tube 흡착법을 이용하였다. 각 흡착관과 칼럼의 특성에 따라 분석조건이 달라지는데 흡착관은 흡착제의 세기, 농축배수, 활성여부, 소수성, 간섭물질, 온도, 물리적인 힘 등의 특성을 갖고 있으며 다음과 같다. 흡착제의 세기는 시료를 채취/농축할 때 반드시 분석대상물질을 머물게 할 수 있고 탈착할 때 효과적으로 떨어질 수 있는 정도를 의미한다. 농축 배수는 흡착관의 머무름 세기(retentive strength) 즉, 파과 부피(breakthrough volume)에 따라 다르지만, 많게는 100-200 L정도의 대기 시료를 흡착관에 채취할 수 있다. 또한 흡착제는 제조과정에서 미량의 금속과 같은 화학적 활성이 있는 물질에 의해 오염되어 있으므로 활성이 없어야 한다.



Table 12. VOCs Characteristics of from n-hexane to n-hexadecane

COMPOUND(SYNONYM)	FORMULA	분자량	끓는점 (°C)	녹는점 (°C)
Chloroform (Trichloromethane)	CHCl <sub>3</sub>	119.38	61.7	-63.5
1,2-Dichloroethane (Ethylene dichloride)	ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	98.96	83.5	-35.3
Methyl chloroform (1,1,1-Trichloroethane)	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	133.41	74.1	-30.4
Benzene (Cyclohexatriene)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.12	80.1	5.5
Carbon tetrachloride (Tetrachloromethane)	CCl <sub>4</sub>	153.82	76.5	-23.0
1,2-Dichloropropane (Propylene dichloride)	CH <sub>3</sub> CHClCH <sub>2</sub> Cl	112.99	96.4	-100.4
Trichloroethylene (Trichloroethene)	ClCH=CCl <sub>2</sub>	131.29	87	-73.0
cis-1,3-Dichloropropene (Trans-1,3-Dichloropropylene)	CH <sub>3</sub> CCl=CHCl	110.97	104.3	-
trans-1,3-Dichloropropene (trans-1,3-Dichloropropylene)	ClCH <sub>2</sub> CH=CHCl	110.97	112.0	-
1,1,2-Trichloroethane (Vinyl trichloride)	CH <sub>2</sub> ClCHCl <sub>2</sub>	133.41	113.8	-36.5
Toluene (Methyl benzene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	92.15	110.6	-95.0
1,2-Dibromoethane (Ethylene dibromide)	BrCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Br	187.88	131.3	9.8
Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>	165.83	121.1	-19.0
Chlorobenzene (Phenyl chloride)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112.56	132.0	-45.6
Ethylbenzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	106.17	136.2	-95.0
m-Xylene (1,3-Dimethylbenzene)	1,3-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	139.1	-47.9
p-Xylene (1,4-Dimethylxylene)	1,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	138.3	13.3
Styrene (Vinyl benzene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	104.16	145.2	-30.6
1,1,2,2-Tetrachloroethane	CHCl <sub>2</sub> CHCl <sub>2</sub>	167.85	146.2	-36.0
o-Xylene (1,2-Dimethylbenzene)	1,2-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	144.4	-25.2
1,3,5-Trimethylbenzene (Mesitylene)	1,3,5-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	120.20	164.7	-44.7
1,2,4-Trimethylbenzene (Pseudocumene)	1,2,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	120.20	169.3	-43.8
m-Dichlorobenzene 1,3-Dichlorobenzene	1,3-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	173.0	-24.7
Benzyl chloride (Chlorotouene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> Cl	126.59	179.3	-39.0
o-Dichlorobenzene (1,2-dichlorobenzene)	1,2-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	180.5	-17.0
p-Dichlorobenzene (1,4-dichlorobenzene)	1,4-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	174.0	53.1
1,2,4-Trichlorobenzene	1,2,4-Cl <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>3</sub>	181.45	213.5	17.0
Hexachlorobutadiene (1,1,2,3,4,4-Hexachloro-1,3-butadiene)	C <sub>4</sub> Cl <sub>6</sub>	260.8	186	-21.0

대부분의 약한 흡착제나 중간 흡착제는 소수성을 갖고 있기 때문에, 습도가 높은 (>90%) 시료를 채취하더라도 흡착제의 세기에 영향을 거의 주지 않는다. 흡착제는 그 종류에 따라 고유하게 존재하는 불순물 양에 많은 차이가 있는데 Tenax TA의 경우

0.1~1ng 정도로 양호한 편이다. Tenax TA를 포함한 대부분의 흡착제는 350℃까지 안정하고, 많은 carbon 흡착제는 훨씬 높은 온도까지도 가능하다. 흡착제를 충전할 때에는 너무 무리한 힘을 가하지 않도록 주의해야 하며, 일단 충전을 한 후에는 심한 충격을 주지 않아야 하는데 Tanax TA의 경우 미세입자가 상당히 많이 만들어지기 때문에 사용하기 전에 체(sieve)로 미세입자를 제거하는 것이 필요하다. Table 12는 n-헥산에서 n-헥사데칸까지 범위의 VOC 물질의 특성을 나타내었다.

가) HCHO (포름알데히드)의 분석

(1) 시료의 전처리

DNPH와 반응하여 형성된 DNPH-카르보닐 유도체는 바이알을 이용하여 HPLC 등급 Acetonitrile 5ml로 추출하였으며 추출액은 갈색 바이알에 담은 후 Teflon cap으로 밀봉하여 바로 분석을 수행하였다. 추출시의 오염을 막기 위해 모든 유리 기구는 Acetonitrile로 세척한 후 70℃에서 건조하여 사용하였으며 공기 중 노출을 최소화하였다.

(2) 분석

시료가스의 일정량을 채취하여 시료중의 알데히드류를 2, 4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH 시약)으로 유도체화한 후 아세토 나이트릴로 용출 후 이 2,4-DNPH 유도체를 고속액체크로마토그래프(HPLC)에 도입하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360nm에서 검출되는 크로마토그램의 높이나 면적 등으로 포름알데히드 농도를 구한다. 다음 식은 포름알데히드와 DNPH와의 반응하여 하이드라존을 형성하는 유도체화 과정을 나타낸다(Figure 30).

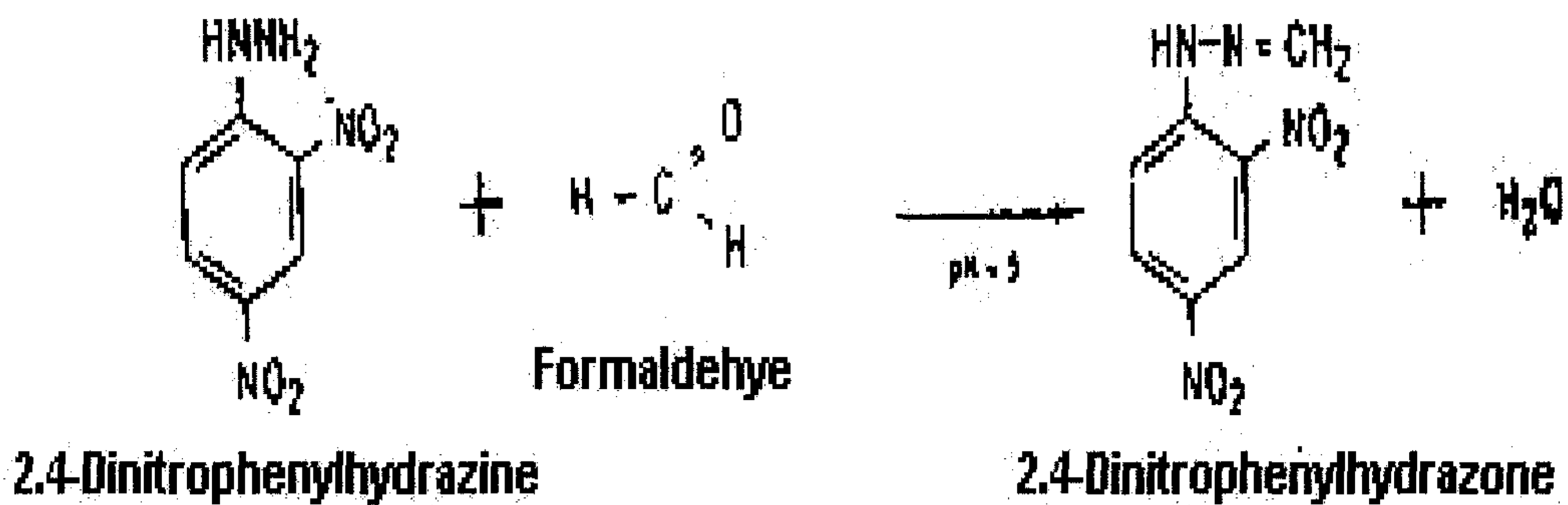


Figure 30. Schematic of derived 2,4-Dinitrophenylhydrazone from 2,4-Dinitrophenylhydrazine and Formaldehyde



HPLC 장치에 이동상을 준비한 후, 분석시스템의 안정을 위해, 최초 분석 전까지 약 20~30 분 동안 펌프를 유량 1.0 ml/min으로 가동하였다. 최초 분석 전 시스템의 안정도의 확인을 위해 적분기(Integrator) 또는 이에 상응하는 장치를 이용하여 시스템에서 나오는 신호가 평형상태에 이르렀는지를 확인하였다. 시스템이 평형화된 안정상태가 되면 시료를 자동시료주입장치를 이용하여 시료주입용 밸브에 주입하여 분석을 시작하였다(Table 13).

Table 13. Analytical conditions for formaldehyde

Items	HCHO 분석조건
Detector	UV/vis, 360nm
Column	Omnispher 5 C18 coloumn(250×4.6mm)
Mobile phase	ACN/Water(50/50 V/V)
Analysis Time	20min
Injection Volume	20 $\mu$ l
Column Temperature	25 $^{\circ}$ C
Flow Rate	1.0ml/min

#### 4)방산계수 (Emission Factor)

방산 계수 (Emission Factor)는 ASTM D5116에 기술된 바와 같이 계산하였다. 실내 내장재에서 방산되어 나오는 비율을 일반적으로 EF (Emission Factor)와 ER (Emission Rate)로 나타낸다. ER과 EF의 관계는 아래의 Figure 31의 식과 같이 나타낸다.

$$ER = A(EF)$$

- \* ER : Emission Rate (mg/h)
- \* EF : Emission Factor (mg/m<sup>2</sup>h)
- \* A : source area (m<sup>2</sup>)

Figure 31. Related both Emission Rate and Emission Factor  
따라서 ER는 표면적의 넓이가 고려되지 않은 반면에 EF는 단위시간과 표면적의 넓이에 따른 방산량을 나타낸다. 본 실험에서는 방산계수가 적용되었다.

## 제 2 항 결과 및 고찰

### 1. 데시케이터와 퍼포레이트 법

Figure 32는 강화마루, 합판마루와 무처리된 MDF, PB에 대한 데시케이터와 퍼포레이트의 포름알데히드 방산 실험 결과를 나타내었다.

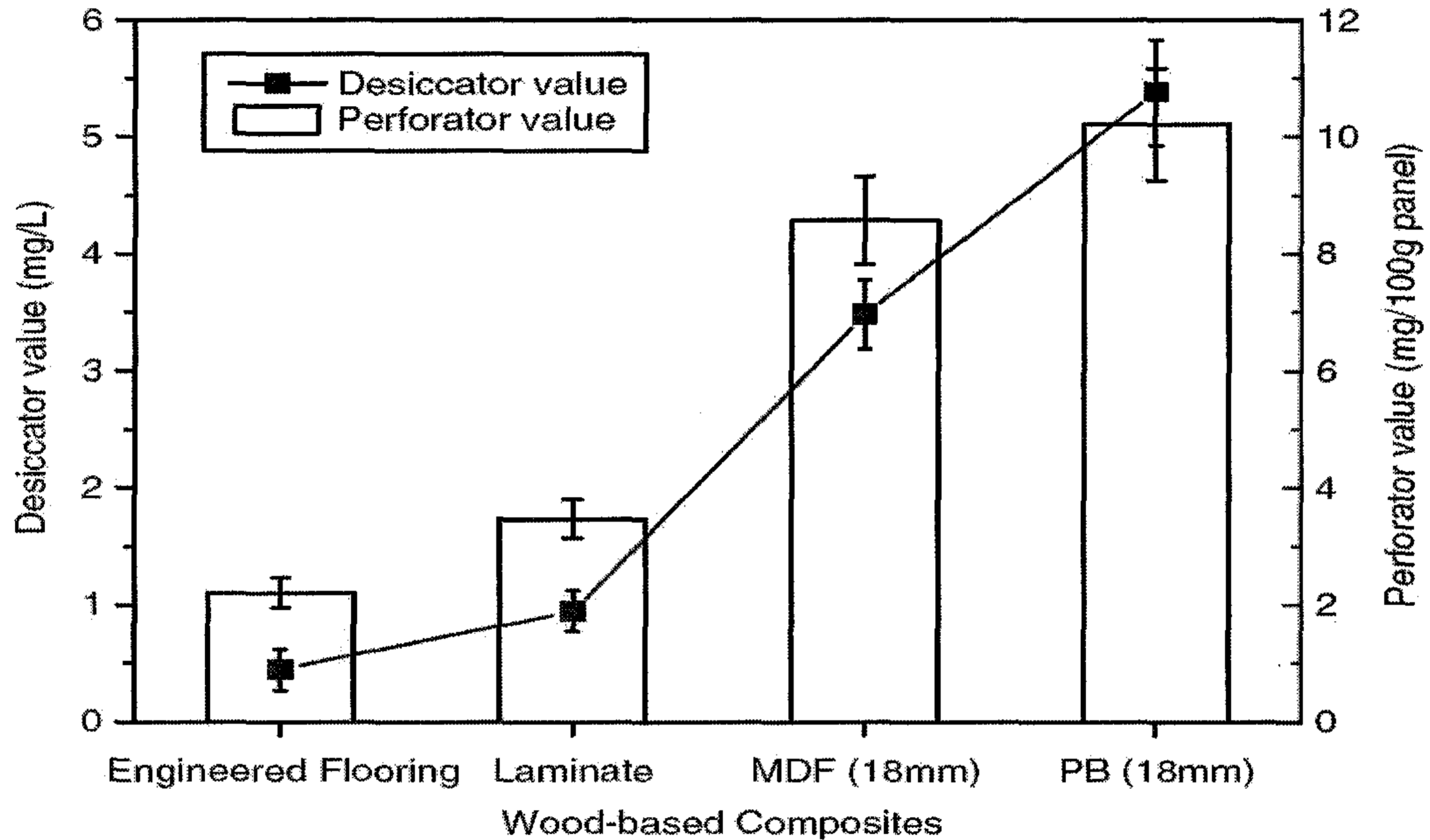


Figure 32. Comparison of desiccator and perforator values of formaldehyde emissions from wood-based composites.

데시케이터와 퍼포레이트 수치는 강화마루의 경우  $0.94\text{mg}/\ell$  와  $3.47\text{g}/100\text{g panel}$ , 합판마루  $0.44\text{mg}/\ell$ ,  $2.21\text{g}/100\text{g panel}$ 을 각각 나타내었다. 이와 같은 수치는 E1 등급 ( $\leq 1.5\text{mg}/\ell$ ) 이하의 등급을 나타내는 수치이다. 합판마루는 강화마루에 비해 포름알데히드 방산이 적었다.

이는 합판마루에 들어가는 심재인 합판은 제조 공정 시 포름알데히드 방산이 적은 PF 수지를 사용하여 접착하였기 때문이다. 반면 가구재로 사용되는 MDF와 PB의 방산 수치는 E2 등급을 나타내었다. MDF와 PB 데시케이터법 방산량은 각각  $3.48\text{mg}/\ell$  과  $5.38\text{mg}/\ell$ , 퍼포레이트의 방산량은 각각  $8.57\text{g}/100\text{g panel}$ ,  $10.21\text{g}/100\text{g}$ 이었으며, 이는 over E2 ( $5.0\text{mg}/\ell \leq$ )등급을 나타내었다.

2. 20L 소형 챔버 : 포름알데히드와 총 휘발성유기화합물

Figure 33은 실험에 사용된 4종의 목질재료를 HPLC를 이용하여 aldehyde chromatogram을 나타낸 결과이다. 이 결과는 실험개시 7일 후 포집된 샘플을 분석하였다.

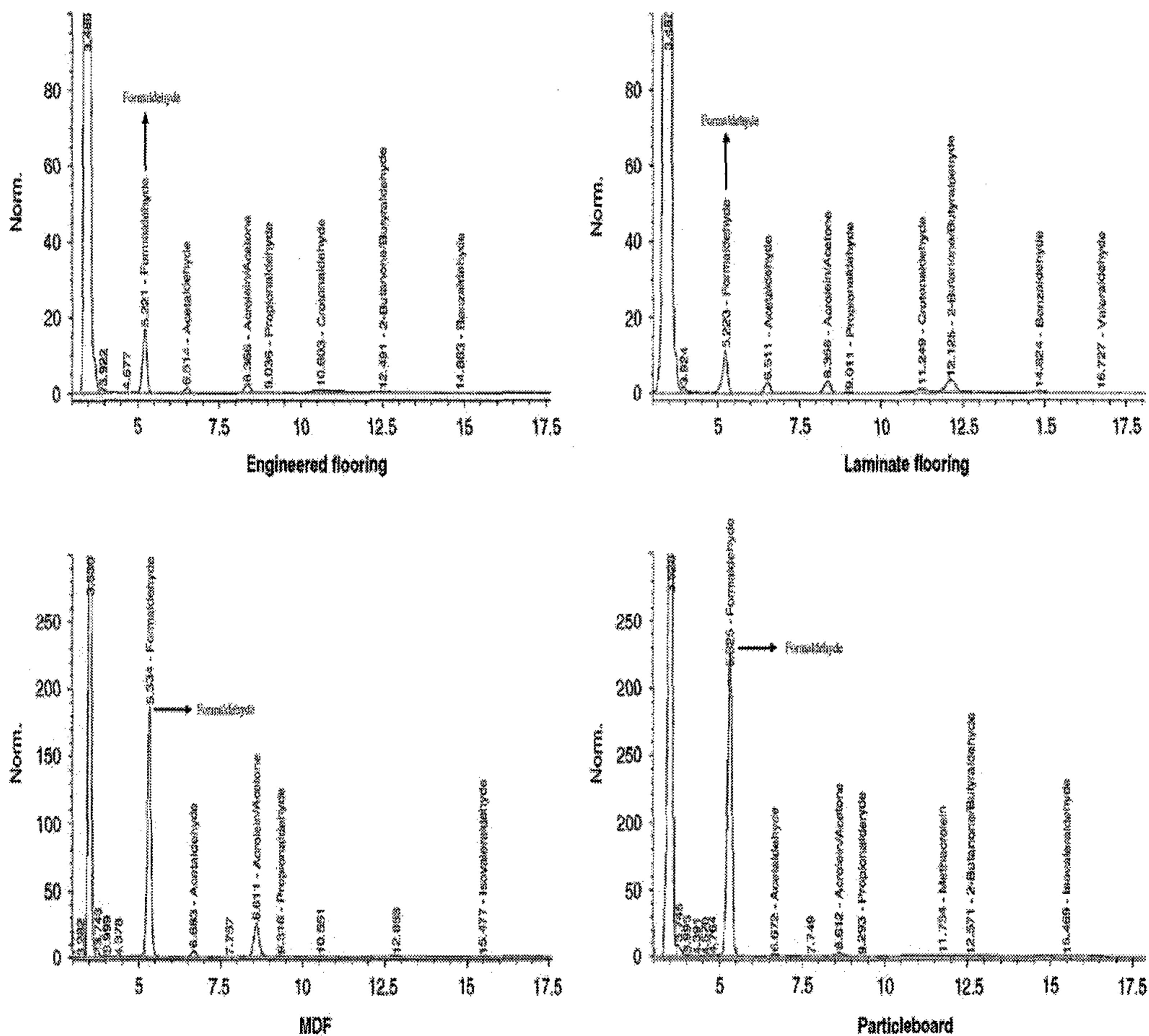


Figure 33. Aldehyde chromatogram of wood-based composites.

포름알데히드는 HPLC 분석 5.2분경에 확인되었고 aldehyde chromatogram에서 처음 확인되는 화합물이었다. Table 14는 chromatogram으로 확인되어진 peak를 나타낸 표이다.

포름알데히드는 목질재료에서 방산되는 알데히드류 중에서 가장 큰 방산량을 나타내었다. 이는 상업적으로 목질재료의 제조 공정에 포름알데히드를 베이스로 한 UF 수지나 PF 수지가 주로 사용되기 때문이다. 또한 포름알데히드는 단순한 분자구조 HCHO를 나타내기 때문에 HPLC 분석 후 5.2분에 확인될 수 있었다. 비단 포름알데히드 뿐만 아니라 Acetaldehyde, Acrolein/Acetone, Propionaldehyde, Crotonaldehyde, Methacrolein, 2-Buanone/butyraldehyde, Benzaldehyde, Isovaleraldehyde, Valeraldehyde, Hexaaldehyde 등의 알데히드 화합물을 확인할 수 있었다.

Table 14. Aldehyde detected by HPLC analysis of wood-based composites

Aldehyde	Retention time (min)	Peak area			
		Engineered flooring	Laminate flooring	MDF	PB
Formaldehyde	5.221	152.19	118.41	1567.11	2146.77
Acetaldehyde	6.514	14.15	34.49	56.37	24.20
Acrolein/Acetone	8.366	29.58	44.84	319.84	48.68
Propionaldehyde	9.036	3.57	5.43	12.35	4.04
Crotonaldehyde	10.603	48.10	27.00	ND	ND
Methacrolein	11.928	ND	ND	ND	35.37
2-Buanone/ butyaldehyde	12.491	30.66	76.98	ND	17.47
Benzaldehyde	14.863	2.26	8.05	ND	ND
Isovaleraldehyd e	15.962	ND	ND	11.93	3.55
Valeraldehyde	17.474	ND	1.85	17.06	ND
Hexaaldehyde	25.322	ND	ND	3.84	ND

이 피크에서 포름알데히드 EF값을 나타낸 수치는 Figure 34에 나타내었다.

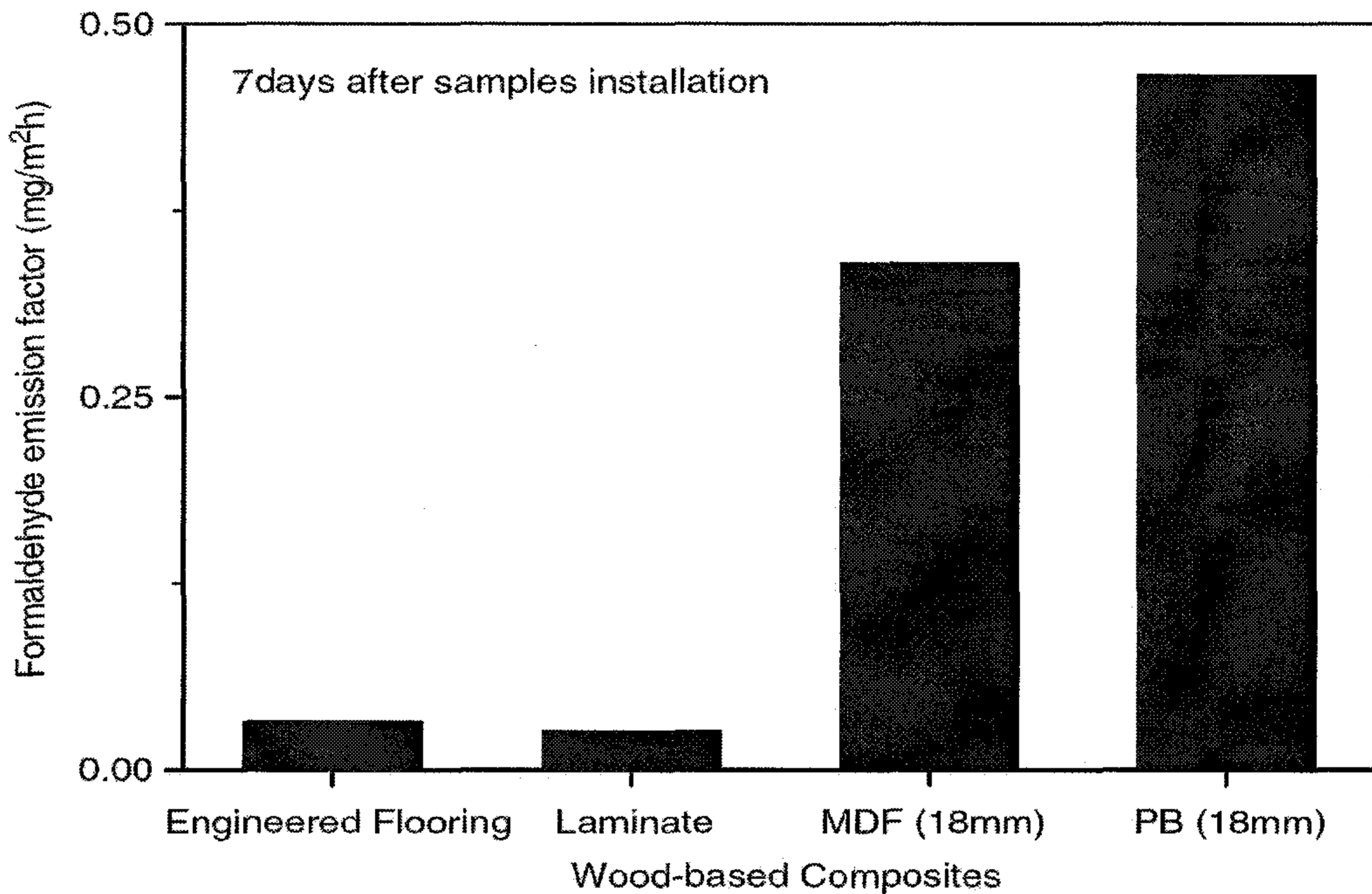


Figure 34 Formaldehyde emission factor of wood-based composites as determined by 20L small chamber

MDF와 PB의 EF 수치는 강화마루와 합판마루의 수치보다 높게 나타났으며 합판마루는 강화마루 보다 약간 높게 나타났으며 이것은 이전의 데시케이터법과 퍼포레이트법에서 얻어진 결과와는 대조적이다. 이와 같은 결과는 목질재료의 구조의 차이라고 할 수 있을 것이다. 데시케이터법은 외부로 노출되는 표면 전체에서 나오는 포름알데히드 방산량을 측정되며 퍼포레이트 역시 샘플을 톨루엔 속에 침지시켜 전체의 함유량을 나타내는 실험법임에 반해 20L 소형 챔버법은 제일 상단부의 표면에서 방산되어 나오는 포름알데히드를 포집하기 때문이다.

대조군인 MDF와 PB는 LPM (Laminated Pressure melamine), 코팅지, UV 경화형 바니쉬 (UV curable vanish) 등으로 표면 처리가 되어있지 않았기 때문에 상대적으로 높은 포름알데히드 방산량을 나타내었다고 할 수 있다. 달리 말하면 강화마루와 합판마루는 UV 코팅이 되어진 상태이거나 MF 수지가 함침된 종이 라미네이트 되어졌기 때문에 대조군보다 적은 방산량을 나타내어진다고 할 수 있다.



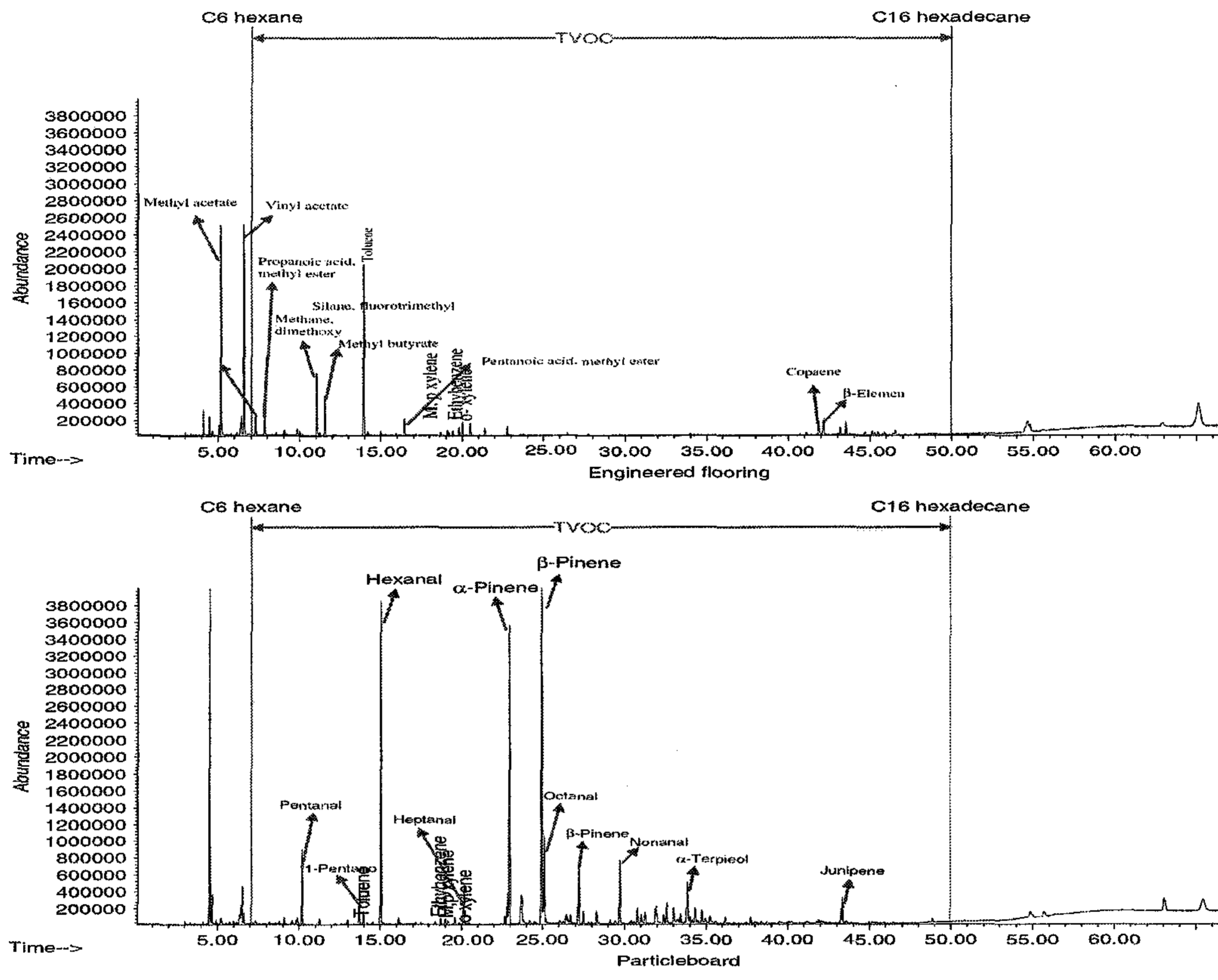


Figure 35. TVOC chromatogram of engineering flooring and particleboard

Figure 35는 실험개시 후 7일 제 포집된 샘플 중 합판마루와 파티클 보드의 TVOC 크로마토그램이다. Koontz와 Hong는 북미에서 제조된 PB와 MDF는 포름알데히드 뿐만 아니라 다량의 VOC가 방산되며 포름알데히드 보다 더 많은 농도가 검출되었다고 하였다. 주로 검출된 VOC는 acetome, hexanal, pentanal, benzaldehyde, pentanol, heptanal, pinenes, pentanalm nonanal, octanol 등 이었다. 본 실험에서 방산된 PB의 VOC의 종류는 hexanal, pinenes, pentanol, nonanal, heptanal, octanol, 등이었다. 이를 합판마루와 비교해 볼 수 있다. PB의 경우 표면처리가 되어있지 않은 반면에 합판마루는 UV코팅이 되어 있어 methyl acetate, vinyl acetate, toluene, methyl butyrate, pentanoic acid, ethyl ester, copaene 등이 방산되었다.

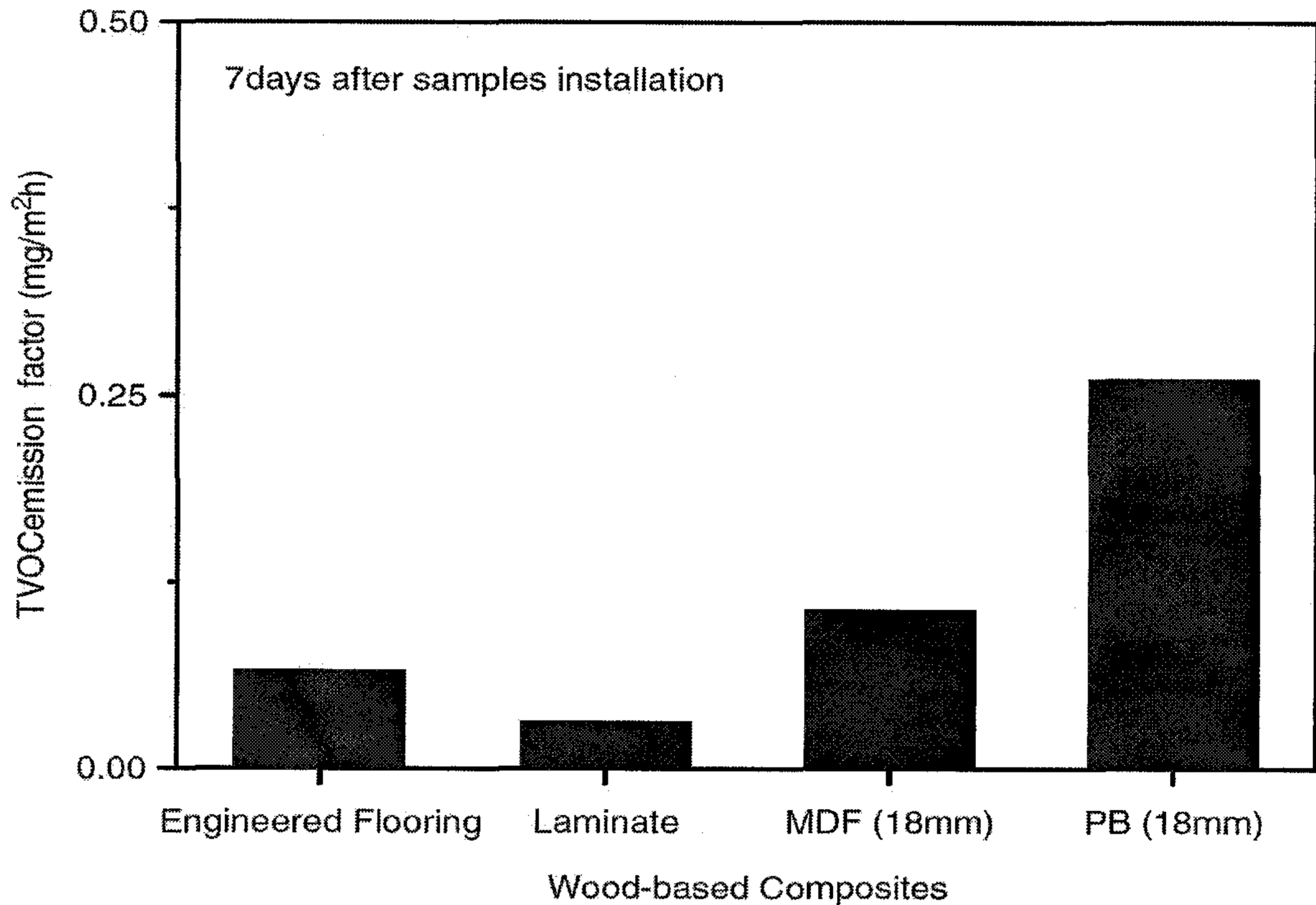


Figure 36 TVOC emission factor of wood-based composites as determined by 20L small chamber, 7 days after samples installation in the chamber

Figure 36는 C<sub>6</sub>~C<sub>16</sub> 사이의 TVOC를 나타낸 것이다. PB의 경우 다량의 VOC를 방산하였다. 이 같은 결과는 포름알데히드의 EF와 유사한 결과이다. 하지만, PB에서는 인체에 무해한 C<sub>6</sub>~C<sub>16</sub> 사이의 천연 VOC가 합판마루에 비해 다량으로 검출되었고 이는 합판마루에서 방산되는 VOC 보다 PB의 VOC가 더 많다는 것을 알 수 있다.

### 제 3 항 결론

20L 소형 챔버는 일본에서 개발되어 ASTM, ECA와 ENV 13419-1에 적용되어져 있는 오염물질 방산 시험방법이다. 목질재료에서 방산되는 포름알데히드의 방산수준을 측정하기 위해서 20L 소형 챔버에서 포집된 샘플을 HPLC를 통해 aldehyde chromatogram 을 얻을 수 있다. 20L 소형 챔버에서 방산되는 peak면적을 순서대로 정리하면 formaldehyde > acrolein/acetone > acetaldehyde > propionaldehyde 순 이었다. E1 등급 합판마루 제조공정에 사용되는 무처리 된 MDF와 PB의 포름알데히드 EF는 높게 나왔다. 20L 소형 챔버법에서 데시케이터 법과 퍼포레이트법과는 대조적으로 합판마루 포름알데히드 방산량이 강화마루의 방산량 보다 약간 높았다. 이는 실

험 과정 시 샘플의 크기, 포름알데히드 방산 포집 방법과 분석, 실험에 사용된 목질재료의 구조적 차이 등이 요인이며 앞으로 고려되어야 할 것이다.

TOVC 분석에서 MDF와 PB는 hexanal, pinenes, pentanal, nonanal, heptanal, octanol 등이 방산되었다. 하지만,  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene 과 같은 천연 VOC가 주로 포함되어있었다. 앞으로 C<sub>6</sub>~C<sub>16</sub> 사이에 존재하는 인체에 무해한 VOC가 고려되어야 할 것이다.

## 제 5 절 표면처리에 따른 목질복합재료의 TVOC 및 포름알데히드 저감 연구

### 제 1 항 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

##### 가. 표면재

##### 1) 건식 무늬목 (Fancy Veneer)

현대 내장재로 즐겨 사용되는 무늬목은 국내산과 수입산의 다양한 활엽수 원목이나 큰 각재로부터 1/25~1/50으로 얇게 슬라이싱 된 목재판을 말하며 무늬목의 종류로는 천연무늬목, 염색무늬목, 인조무늬목으로 구분한다. 본 연구에서는 원목에서 0.5mm~0.8mm의 두께로 슬라이싱 된 무늬목을 사용하였으며 D사로부터 공급받았다.

##### 2) HPM (High Pressure Melamine)

HPM은 HPL (High Pressure Laminate) 라고 불리기도 하며 종이나 섬유질의 기재에 멜라민 수지를 함침시킨 층과 크라프트 종이에 페놀수지를 함침한 층들로 구성된 표면지, 모양지, 심재지, 응력지 등을 적정한 열과 35~50kgf/cm<sup>2</sup>이상의 압력에서 성형시켜 단면에 인공무늬가 디자인 되어진 재료를 S사로부터 제공받아 실험하였다.

##### 3) LPM (Low Pressure Melamine)

LPM은 종이에 그라비아(gravure) 인쇄를 하여 모양지를 만들고 이 모양지에 멜라민 수지와 요소수지를 함침시킨 성형용 수지 시트를 말한다. LPM을 일반적으로 LPL(Low Pressure Laminate)이라고도 하며 HPM 성형과정에 비해 낮은 압력에서 (10~20kgf/cm<sup>2</sup>) 접착 성형되기 때문에 저압지라고 표현한다. 실험에 사용된 LPM은 D사에서 제공받았으며 LPM의 원지 평량은 함지율 60% 기준에 원지의 80g/m<sup>2</sup>이며, 함침 후 평량은 200g/m<sup>2</sup>이다.

##### 4) 코팅 페이퍼 (Coating Paper)

코팅 페이퍼는 25g~30g의 박엽지와 강화지 표면에 무늬결을 그라비아 인쇄하여 우레탄 수지를 도포하는 모양지를 말한다. 본 실험에서 박엽지에 4g의 우레탄 수지를 도포하여 만들어진 모양지를 사용하였다. 외국 뿐만이 아니라 우리나라에서도 코팅 페이퍼를 보드류에 접착하여 사용하는데 도장작업 없이 접착 가공으로만 사용이 가능하여 내장재용이나 저가용 가구에 외장재로 사용하기도 한다. 실험에 사용된 코팅 페

이퍼는 D사에서 공급받았으며 재원은 다음과 같다.

#### 5) 선함침지 (Pre-impregnated Finishing Foil)

본 실험에 사용된 선함침지는 펄프(Pulp)와 Resin(Acrylic, Melamine, Urea)을 혼합하여 함침원지를 제조한 후 함침된 원지에 인쇄 후 래커(lacquer)마감하여 Roll 단위로 생산한 제품이다. 일반적인 접착에는 Urea resin 이나 PVAc이 사용되며 랩핑용으로는 EVA등이 쓰이고 있다.

#### 6) 후함침지 (Post-impregnated Finishing Foil)

모양지를 수지로 함침 및 건조 후 래커(lacquer) 마감하여 Roll 단위로 생산한 제품을 말하며 가구 도어류, 몰딩류에 주로 사용되며 일반용으로는 선함침지 (Pre-impregnated Finishing Foil)와 동일한 방법으로 라미네이팅이 되며 랩핑용으로는 랩핑기를 사용한다. 접착제는 Urea가 일반적으로 사용되며 랩핑용으로는 EVA가 쓰이고 있다.

#### 7) PVC (Polyvinyl chloride)

일반적으로 현재 시판되고 있는 표면재 중에서 물성과 경제성 측면에서 가장 우수하다고 알려져 있으며 상업적으로 판매되고 있는 PVC를 수급하여 본 실험의 공시재료로 사용하였다.

#### 8) E 시트

H사에서 제공받은 제품으로서 작은 단량체를 결합시켜 수천 개의 연결고리를 가진 중합체로 구성된 고분자 소재이며 본 실험에 사용된 재료는 폴리프로필렌 계열이 여기에 사용되었다.

#### 나. 접착제

##### 1) EVA (Ethyl Vinyl Acetate)

고형분은 55.5%이며 점도는 25℃에서 2000~3000cps를 가지며 pH 4~5 정도가 되는 수지를 사용하였으며 O 사에서 공급받았다.

##### 2) 초산 비닐 수지 (PVAc)

초산 비닐 수지의 밀도는 1.1g/cm<sup>3</sup>, 고형분 55%, pH 5.0, 21℃에서 spindle No.6으로 점도 35,000 cPa 인 수지를 사용하였고 O 사에서 제공 받았다.



## 2. 실험방법

### 가. 제작 변수

본 연구에서는 시판하고 있는 MDF판을 구입하여 길이, 폭, 두께가 400mm, 400mm, 11mm가 되도록 절단하였다. 또한 시중에 시판되고 있는 표면재를 오버레이 처리하여 실제 주거환경에 사용되고 있는 가구 및 용 표면재 보드를 유사하게 만들었으며 기본 MDF판과 비교 하여 표면재 처리에 따른 통한 포름알데히드와 VOCs의 방산량 저감을 조사하였다.

### 나. 접착제 도포량 결정

포름알데히드와 VOCs의 방산량은 접착제의 도포량에 따라 크게 좌우되기 때문에 실제공정에 적용되고 있는 조건을 사용하였으나 실험실 규모에서는 접착제가 표면재로 쓰며 나오거나 에지(edge)로 흘러나오는 현상이 발생하였다. 이에 예비 실험을 거쳐 적정 도포량을 결정하였으며 이 조건이 KS F 3106 평면 인장 시험의 조건에 부합하는지를 확인하기 위해 제조된 샘플을 H사에 의뢰하여 Figure 37과 같은 실험방법으로 최적의 도포량을 확인하였다.

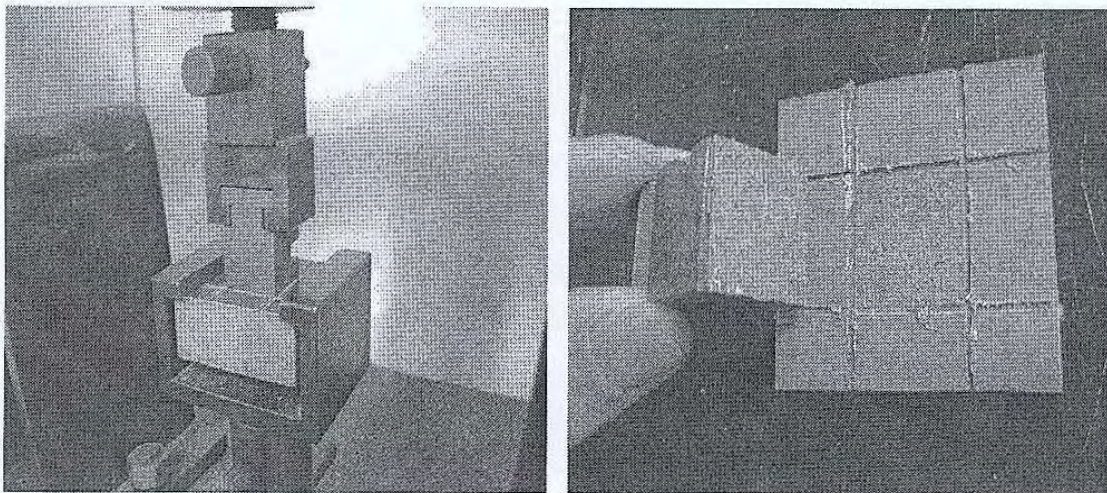


Figure 37. Surface tensile test

평면 인장 실험을 위해서 한변이 50mm인 정사각형인 시험편을 4개 채취하였으며 시험편 표면의 중앙에 한 변이 20mm인 정사각형의 접착면을 가진 금속판을 시아노 아크릴레이트계 접착제로 접착시킨 다음 주위를 MDF판이 나타나는 깊이까지 깎아내고 UTM을 이용해 접착면과 직각의 방향으로 당겨 박리 및 파괴시의 최대 하중을 측정하였다. 이때 하중속도는 2mm/min로 하였다.

또한 아래의 Figure 38에서와 같이 한 변이 150mm인 정사각형 시험편을 2개씩 채취하



여 중앙에 지름 3mm의 구멍을 뚫어서 시험편으로 하였다. 그리고  $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 챔버에서 2시간 방치한 다음  $-20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 챔버에서 2시간 방치하는 과정을 2회 반복하는 한열반복실험을 통해 표면재와 MDF의 접착유무를 확인하였다.

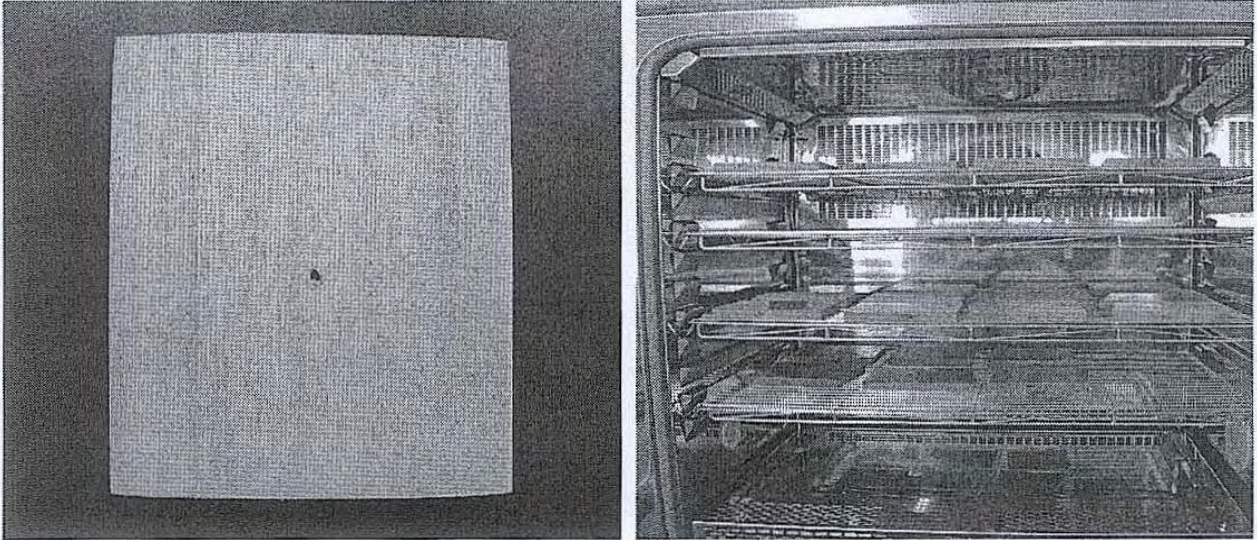


Figure 38. Heat and Cool repetition test

실험은 한국 전자재 시험 연구원에 있는 챔버(Weiss Umwelttechnik GmbH Simulationsanlagen, WEISS TECHNIK)를 사용하였다.

다. 표면재를 오버레이 처리한 MDF판 제작

길이, 폭, 두께가 400mm, 400mm, 11mm인 MDF판의 최적 도포량인 20g을 MDF 양면에 롤러를 이용하여 균일하게 도포하였으며 그 위에 표면재를 부착하여 HOT PRESS 를 사용하여 열압시켰다. 표면재와 접착제의 종류에 따라 열압시간과 압력조건을 달리 하였으며 제작공정 조건은 아래 Table 15와 같다.

Table 15. Press conditions and adhesives for surface materials

표면재의 종류	접착제의 종류	열압조건		
		온도(°C)	압력(kgf/cm <sup>2</sup> )	시간(sec)
무늬목	PVAc	120	200	60
HPM	PVAc	120	150	60
LPM	없음	90	100	60
코팅페이퍼	EVA	120	120	60
선함침지	EVA	120	120	60
후함침지	EVA	120	120	60
PVC	EVA	120	120	60
PP	EVA	120	120	60

제작된 보드는 온도 20±1°C, 상대습도 65±5°C의 항온 항습실에서 조습처리 하였다.

#### 라. 20L 소형 챔버법

소형 챔버법은 챔버 내부를 일정하게 환기하면서 건축자재에서 방산되는 오염물질의 양을 측정하는 방법으로서 가구 등의 큰 재료로부터 방산량을 측정할 수 있는 대형 챔버와 1000L이하의 챔버 체적을 가지는 소형 챔버가 있으며 본 실험에서는 스테인리스강 재질의 20L 챔버가 사용되었다. 실험 방법은 환경부 공정시험법인 오염물질 방산 건축자재 시험방법에 의거하여 실험하였다. 실험의 진행은 1일, 3일, 5일, 7일 4회 측정하여 치장판 별로 휘발성 유기화합물과 포름알데히드의 방산량 변화를 살펴보았다.

#### 마. FLEC 법

##### 1) FLEC의 개요

FLEC (Field and Laboratory Emission Cell)은 소형 이동식 기기로서 건축자재, 페인트, 목재, 인쇄물 등의 표면으로부터 방산되는 휘발성 유기화합물(VOCs) 및 반휘발성 유기화합물(SVOCs)의 측정을 위한 기기이다. FLEC법은 재료의 평평한 표면에 장치하는 부분이 열린 벽 EH는 면이라는 점에서 20L 소형 챔버법과 다르다. FLEC은 평평한 표면을 가진 재료나 생산품 그리고 액상의 재료에 사용할 수 있다. 기본적으로 마루바닥 재료, 목질제품, 실란트, 접착제, 페인트, 코팅, 플라스틱 구슬장식, 벽지 등에 적용이 가능하다. FLEC의 셀은 딱딱한 생산품의 표면에 직접 장치되며 봉합된 틈막이 또는 O자형 링에 셀 그자체로 눌러지는 무게로 표면에 장치된다. FLEC에 주입된 공기는 시험재료의 전체표면을 지나 오염물질을 포함한 공기는 좌우로 포집되고 중앙의 관을 통해 배출되게 설계되었다.



## 2) FLEC의 구조 및 특징

FLEC은 원모양의 광택이 있고 산에 강한 스테인리스 스틸로 만들어졌다. 이 스테인리스 스틸은 20L 소형 챔버의 재질인 전자 연마된 스테인리스 스틸보다 더 균일하게 손으로 연마된 것으로 오염물질의 흡착을 적게 한다. 또한 모든 튜브와 연결 부분도 양질의 스테인리스 스틸로 되어있다. 아래 Figure 39는 FLEC의 구조와 단면을 나타낸 것이다. 지름 15cm의 원으로 최대표면적과 부피는 각각  $0.0177\text{m}^2$ ,  $0.035\text{l}$ 이다.

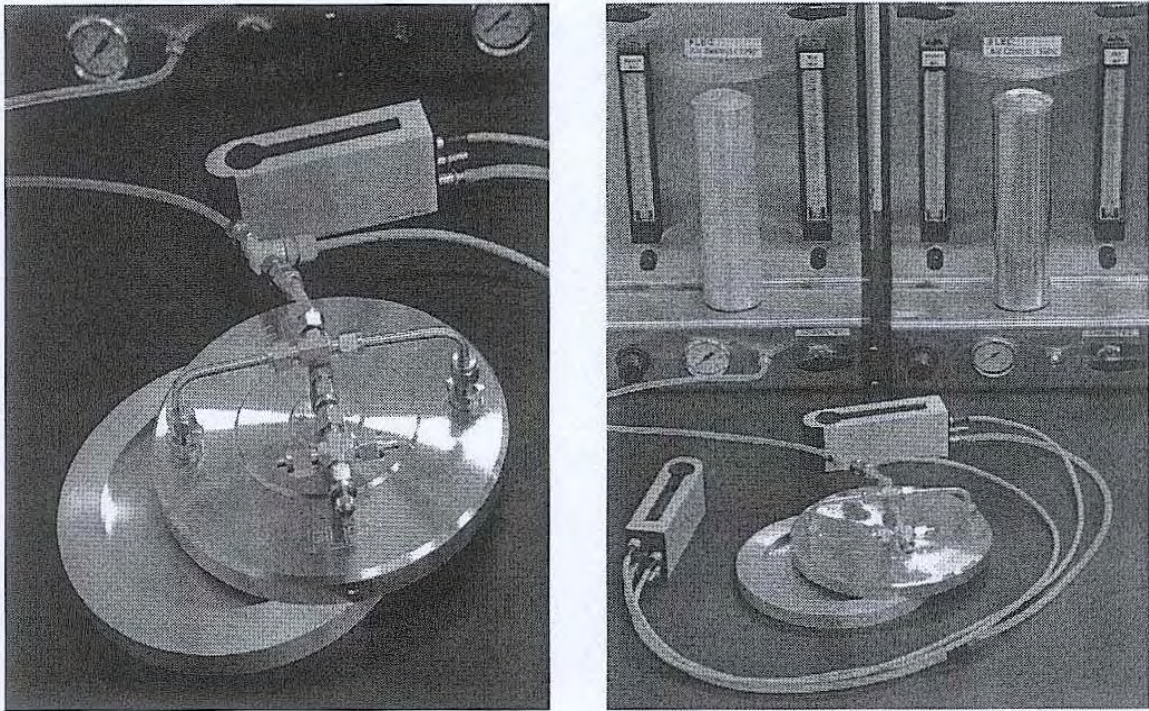


Figure 39. FLEC의 구조

재료 위에 FLEC을 놓으면 재료의 표면은 FLEC의 바닥이 된다. 시료 부하율(재료의 면적/FLEC의 부피)은 최대  $506\text{m}^2/\text{m}^3$ 이다. FLEC과 실험 재료 경계면의 연결부위는 이물질이 방산 되지 않는 실리콘 고무로 처리했다(R.Meinin호면, E.Uhde,2002 : A. Afshari et al, 2003). 특수 제작된 고순도 공기는 FLEC의 원형 둘레에 있는 관을 통해 FLEC 내부로 들어가 재료 표면에 흐르게 된다. FLEC의 공기주입은 공기가 중앙의 배출구를 통하여 나가기 전에 공기의 흐름이 시험재료의 전체표면을 지나도록 설계되었다.

## 3) FLEC을 이용한 측정방법

FLEC을 이용한 측정 실험의 가장 큰 특징은 간단하면서 단시간에 가능하다는 것이다. 아래의 Table 16은 FLEC과 20L 소형챔버의 시험 조건을 나타내었다.

20L 챔버와는 달리 FLEC의 세척은 간단하면서 단시간에 가능한데 세척법은 용매세



정과 열 세정으로 나눌 수 있다. 열 세정은 20L 소형 챔버와 마찬가지로 오븐에서 가령하여 잔존하는 화학물질을 휘발시키는 데 이때 재질의 변색을 막기 위해 진공오븐을 사용한다. 그리고 용매세척은 GC/MS에 검출되지 않는 Methylene으로 세척 후 배경 공기로 사용하는 고순도 공기를 1일정도만 흘려주면 FLEC 내부에서는 일정한 기류가 형성되는 구조로 되어있기 때문에 충분한 세척이 가능하다.

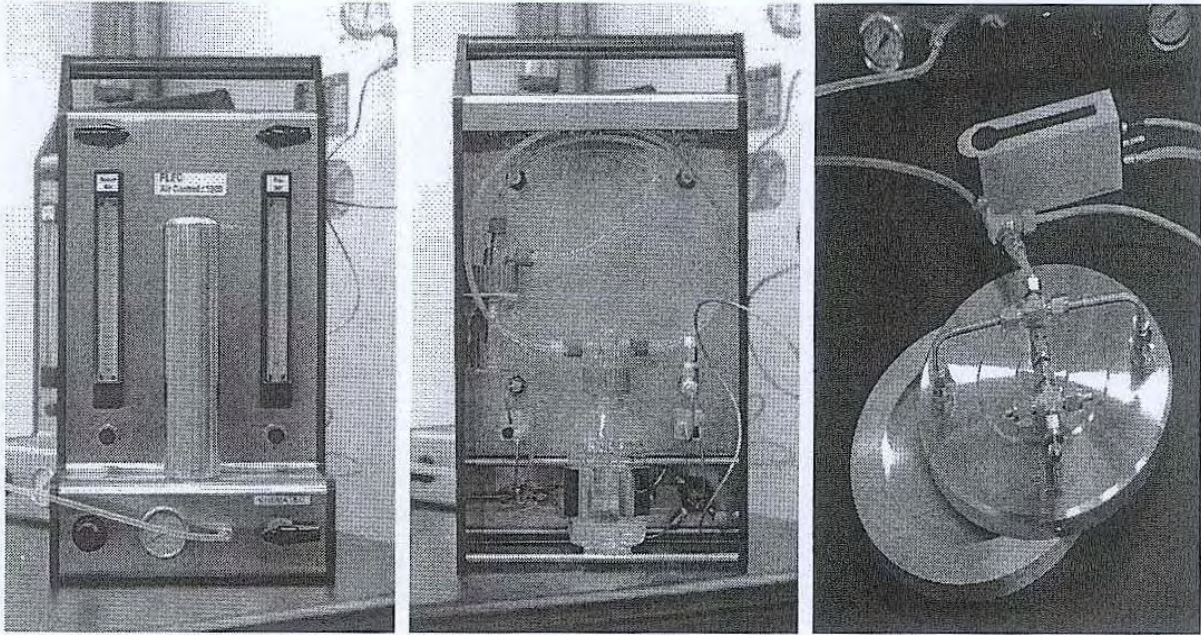
Table 16. The test condition of FLEC and 20L small chamber.

Test Condition	FLEC	20L Small Chamber (환경부공정시험법기준)
Sample Area	0.0177m <sup>2</sup>	0.0392m <sup>2</sup>
Volume	0.035L	20L
Loading Factor (Area of sample/Volume, m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	505.71m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1.96m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Air Change Rate(h-1)	428.57/h	0.5±0.05/h
Air Supply (ml/min)	250ml/min	167ml/min
Equilibration Time	sampling after 15-30 minutes	sampling after 7days
Temperature•Humidity	23±2.0°C•50±5%	25±1.0°C•50±5%
Compounds, Sampling Flow and Total Sampling	VOC: 50ml/min, 1.5ℓ Formaldehyde: 150ml/min, 4.5ℓ	VOC: 167ml/min, 3.2ℓ Formaldehyde: 167ml/min, 10ℓ
Inlet Air	High purity air	Room air
Background Concentration	VOC: 2μg/m <sup>3</sup> TVOC: 20μg/m <sup>3</sup>	VOC: 2μg/m <sup>3</sup> TVOC: 10μg/m <sup>3</sup>
Cleaning Process	Vacuum oven or cleaning by methylene then high purity air for 1 day	Cleaning by pure water then oven for above 15minutes in 260°C
Analysis Method	VOC: GC/MS Formaldehyde: HPLC	VOC: GC/MS Formaldehyde: HPLC

FLEC의 emission cell 내부로의 공기유입과 온습도 조절을 Figure 40에 나타내었다.



특수한 고순도 공기가 급기의 후면(b)을 지나 Dry Air와 초순수를 지나면서 Humid Air로 나뉘어져서 들어간다. 이렇게 유입된 공기는 전면(a)에 있는 Flowmeter에 의해 유량 250ml/min, 습도 50%으로 조절되어진다. 이러한 공기는 (c)에서 볼 수 있듯이 Teflon 관을 통해 FLEC Cell 내부로 들어간다. 온습도가 제대로 유지되고 있는가를 센서가 장착된 펌프가 실시간으로 수치를 나타내므로 즉시 조절이 가능하다. 들어간 공기는 FLEC의 둘레에 있는 관을 통해 Figure 41처럼 내부로 확산되어 재료 위를 흐르게 된다.



(a) front view of air supply (b) back view of air supply (c) FLEC  
Figure 40. Air supply and sampling pump of FLEC

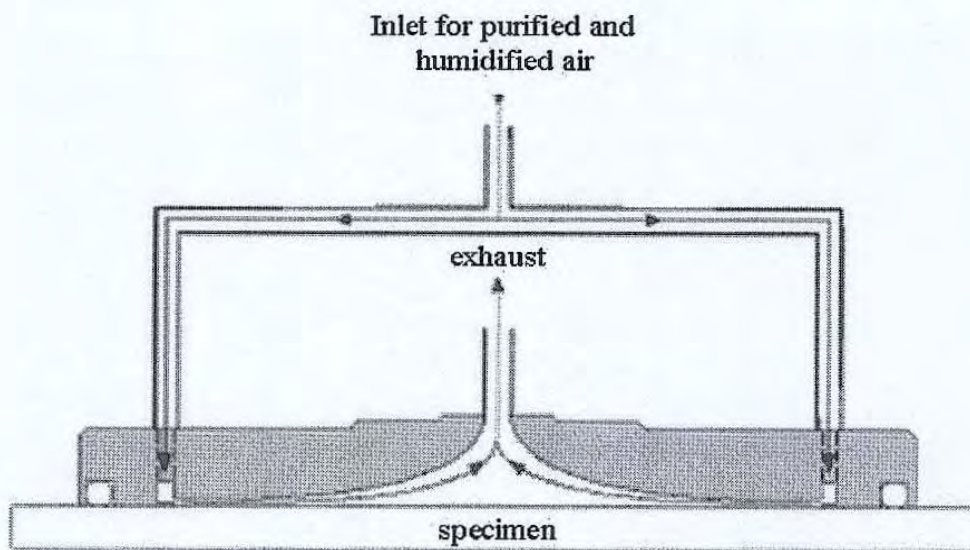


Figure 41. A schematic showing the flow geometry of the FLEC



휘발성 유기 화합물(VOC)은 Tenax-TA와 Formaldehyde는 DNPH-cartridge를 이용하는데 오존의 제거를 위해 카트리지가 앞에 오존 스크리버를 장착하여 포집한다. 실험 재료를 emission cell에 세팅하기 전에 온습도가 안정된 것을 확인한 후 실험을 진행한다. 20L 소형 챔버법은 재료를 세팅하고 7일이 경과한 뒤 포집을 하는데 반해, FLEC은 재료를 FLEC아래에 설치한 뒤 10~30분의 안정화 즉 재료 위에 고순도 공기를 흘려주는 작업을 한 후 포집을 하게 된다. 이처럼 단시간에 안정화가 이루어지는 이유는 배경공기로 특수 제작된 고순도 공기를 이용하고 FLEC은 상대적으로 적은 부피로 인한 높은 환기 횟수를 가지므로 공기순환이 20L 소형 챔버에 비해 잘 이루어지는 점, 그리고 FLEC 내부의 구조적으로 특징적인 난기류가 거의 없고 일정한 기류를 형성하므로 짧은 시간에도 충분히 공기 순환이 가능하다는 것이다. FLEC법은 펌프를 이용하여 VOCs와 Formaldehyde를 30분 동안 각각 1.5L, 4.5L를 포집한다. 총 주입되는 공기의 양은 250ml/min이므로 남은 50ml/min은 air outlet을 통해 외부로 방산된다. 포집을 마친 튜브들은 은박지로 감은 후 지퍼 백에 밀봉되어 분석 전까지 4°C이하로 냉장 보관되며 개봉 후 VOCs는 GC/MS로 Formaldehyde는 HPLC로 분석한다.

#### 바. Desiccator 법

KS L 2303에 규정하는 내경 240±15mm, 부피 약 11.5ℓ의 데시케이터 밑부분에 300±1ml의 증류수를 넣은 내경 115±1mm, 높이 60±2mm의 결정 접시를 놓고 지지대를 설치한 후 50mm×150mm의 시험편을 원판의 중앙부분에서 채취하여 그 지지대 위에 설치하였다. 이때 시험편은 전 표면적이 1800cm<sup>2</sup>가 되도록 하였으며 채취된 시험편은 온도가 20±2°C, 습도 65±5%에서 일주일 동안 전처리를 하였다. 24 시간동안 항온 항습실에 방치한 후 formaldehyde가 포집된 증류수를 아세틸 아세톤-아세트산 암모늄용액을 사용하여 적정한 후 분광 광도계를 이용하여 formaldehyde 방산량을 측정하였다.

#### 제 2항 결과 및 고찰

##### 1. MDF 치장판의 표면인장 실험 및 한열 반복 실험 결과

MDF 알판에 표면재를 오버레이 처리 시 적정 도포량을 결정하기 위한 표면인장 실험 결과는 아래의 Table 17과 같다.

Table 17. The surface tensile result of surface materials (unit: N/mm<sup>2</sup>)

Veneer		HPM		E-sheet		LPM	
20g	25g	20g	25g	20g	25g	1.75	
1.55	2.45	1.70	1.85	2.3	2.55		
PVC		Coating Paper		Finishing Foil (pre type)		Finishing Foil (post type)	
20g	25g	20g	25g	20g	25g	20g	25g
1.70	1.50	1.65	-	2.25	2.55	1.70	2.25

- : 인장 시 Paper 자체의 박리 현상이 나타남.

무늬목, HPM, E sheet, PVC, Coating Paper, Finishing Foil, LPM 모두 KS F 3106 기준에 만족하였다. MDF 판에 EVA 25g을 도포하여 코팅지를 접착한 표면재 판의 경우 표면인장 시험에서 코팅지 자체의 박리 현상이 일어났으며 접착제와 계면사이의 박리는 일어나지 않았다. 따라서 MDF 판에 20g의 접착제를 도포시킨 후 표면재를 오버레이 처리한 공정조건이 25g을 도포시켜 표면 처리한 치장판에 비해 20L 소형 챔버법과 FLEC 법의 VOCs, formaldehyde의 방산 실험결과가 낮을 것으로 사료되었다.

한열 반복 실험의 결과 치장판 모두 표면재와 MDF 판의 박리현상이 나타나지 않았으며 실험 전의 치장판의 상태와 동일하였다.

표면 인장 실험과 한열 반복 실험의 결과, MDF판에 표면재를 오버레이 처리 시 실험 공정에 가장 적합하며 효율적인 접착제 도포량은 20g 이라는 것을 알 수 있다.

## 2. 20L 소형 챔버법 실험 결과

### 가. 표면처리 된 MDF의 휘발성 유기화합물 (TVOC) 방산실험 결과

#### 1) 목질계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 TVOC 방산

아래의 Figure 42에서 보면 알 수 있듯이 목질계 표면재가 오버레이 처리된 MDF 치장판의 TVOC 수치는 실험 개시 후 1일 까지는 무처리 된 기본 MDF 알판의 TVOC 수치와 비교해 전체적으로 높은 값을 나타내었다. 실험 종료 시 4 종류의 목

질계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 TVOC 수치는 대조군의 수치와 유사하거나 낮은 값을 나타내었다. 코팅 페이퍼의 경우 우레탄 수지가 표면처리가 되어 있어 초기값이 높게 나타난 것으로 사료된다. 하지만 환기량이 증가함에 따라 코팅 페이퍼 표면에 있던 휘발성 유기화합물이 쉽게 방산되어 실험종료 시, 목질계 치장판의 TVOC 수치가 가장 낮았다는 것 알 수 있다. LPM과 HPM의 TVOC는 초기에 비해 점점 감소하는 경향을 나타내며 Urea-Formaldehyde 수지와 Melamine-Formaldehyde 수지를 함침 시켰기 때문에 TVOC 수치의 값은 기본 MDF 알판에서 방산되는 VOC를 감소시켰다고 생각된다. 건식 무늬목이 오버레이 되어진 MDF 치장판은 어느 정도 VOC 저감 시킬 수 있는 경향을 나타내었다.

따라서 전체적으로 건식 무늬목, HPM, 코팅 페이퍼, LPM 등의 목질계 표면재가 오버레이 처리된 MDF 치장판은 무처리 된 MDF 알판에서 방산되는 TVOC를 저감시킨다는 것을 알 수 있다.

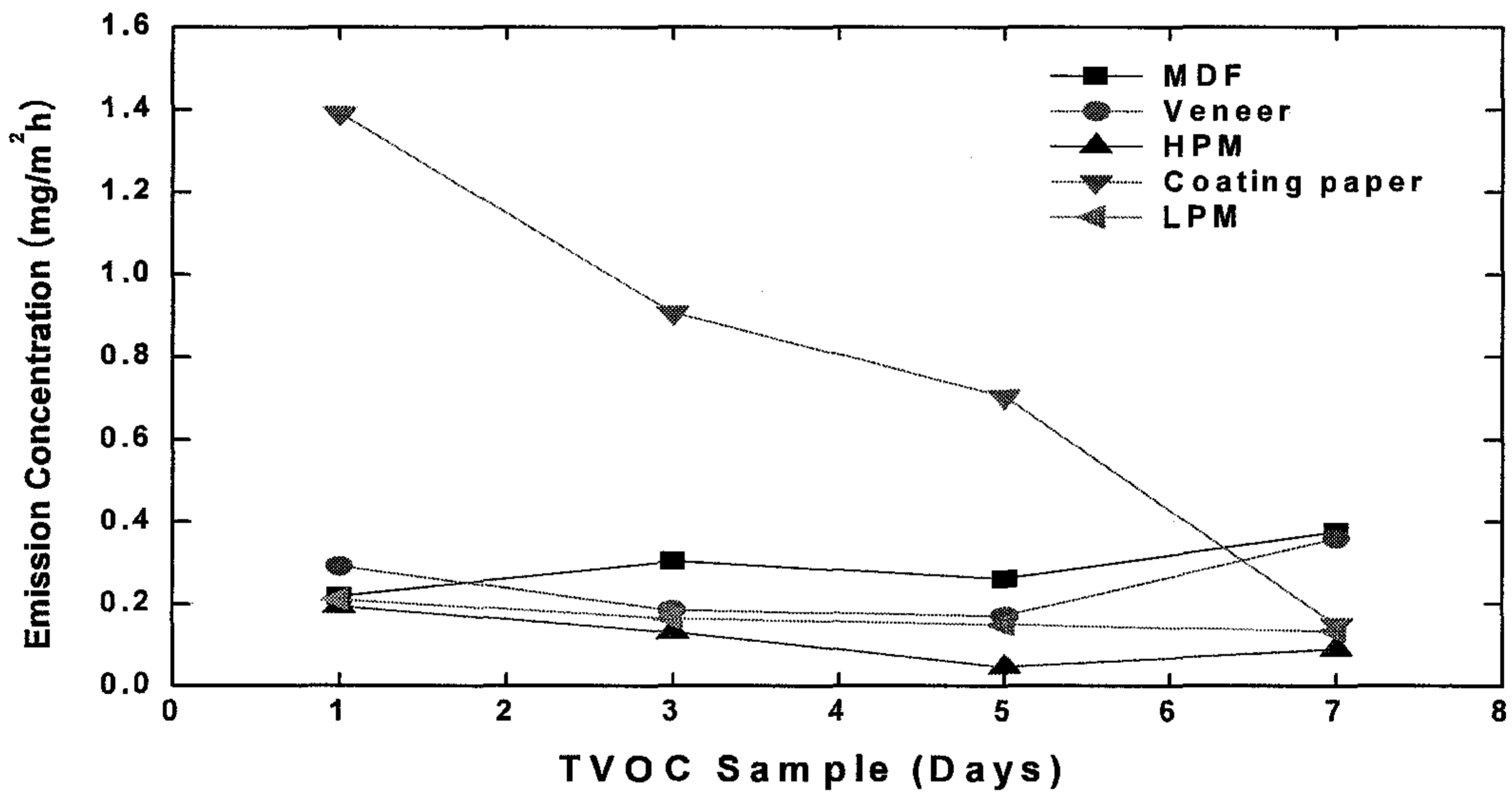
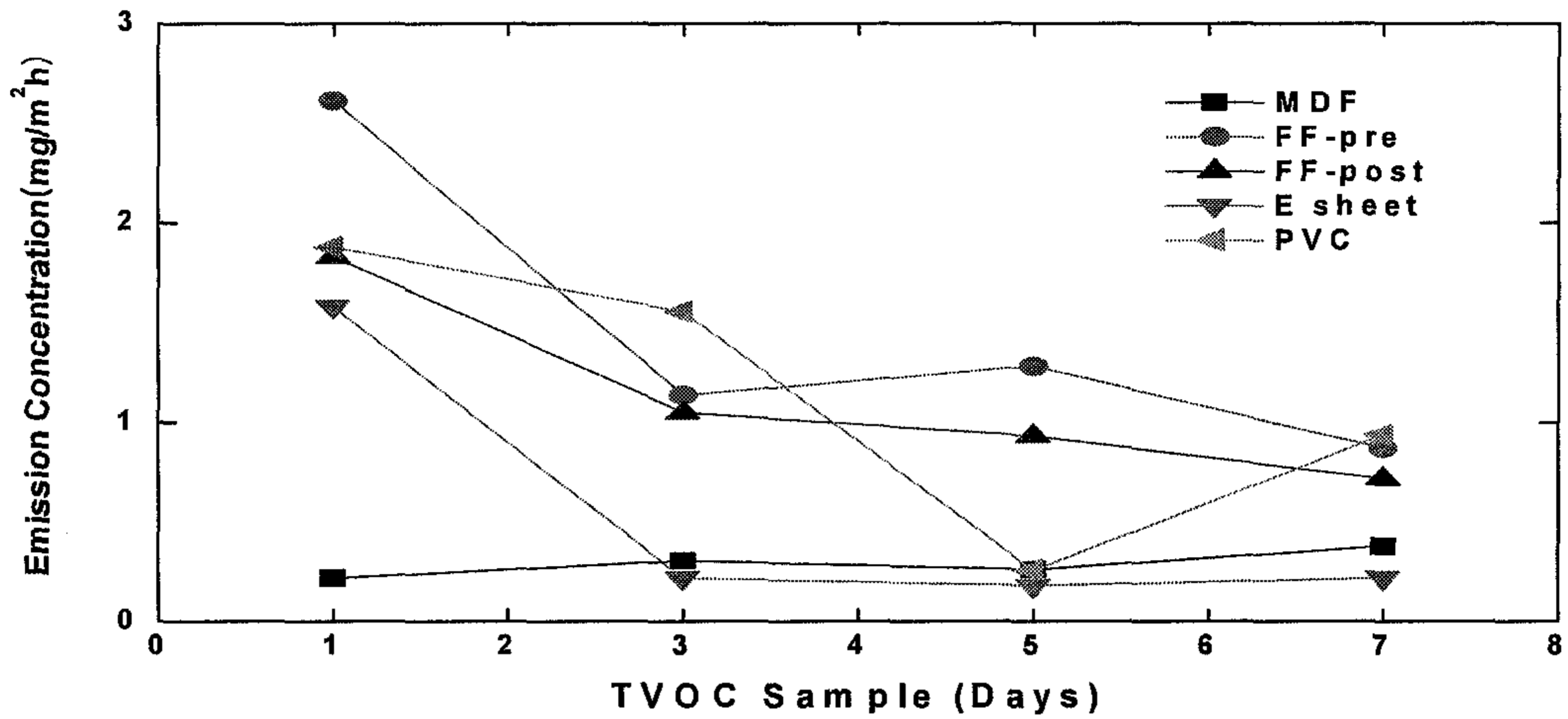


Figure 42. TVOC of lignocellulosic surface materials using 20L small chamber

## 2) 플라스틱계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 TVOC 방산

플라스틱계 표면재 처리된 치장판의 경우 TVOC의 방산량은 아래의 Figure 43에서 나타내었다. 플라스틱계 표면재 처리된 치장판의 TVOC는 기본 MDF알판에 비해 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 피니싱 포일의 경우 표면재 표면에 래커(Laquer)가 표면처리 되어 있어 다른 플라스틱계 표면재에 비해 비교적 높은 TVOC 방산량을 나타내었다고 사료된다.



\*FF-pre : Pre-impregnated Finishing Foil  
 \*FF-post : Post-impregnated Finishing Foil

Figure 43. TVOC of Plastic surface materials using 20L small chamber

PVC 표면재 처리된 치장판의 경우 제조과정 시 가소성을 높이기 위해 가소제 (Plasticized addition)이 첨가되었다. 이 가소제 성분에 의해 높은 TVOC 방산값이 나타났다고 보아진다. 반면에 E sheet는 필름을 구성하는 원료는 폴리올레핀 레진이며 제조과정 시 가소제 및 중금속 안정제를 사용하지 않기 때문에 상대적으로 적은 TVOC 방산량을 나타내었다. 대조군의 MDF TVOC 방산량에 비해 E sheet의 수치가 낮은 것으로 보아 높은 기밀성을 가진 E sheet가 MDF에서 방산되는 VOC를 차단해주는 효과가 있다고 할 수 있다.

#### 나. 표면처리 된 MDF의 포름알데히드 (HCHO) 방산실험 결과

##### 1) 목질계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 HCHO 방산

목질계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 HCHO 방산량은 아래의 Figure 44와 같은 경향을 나타내었다. LPM의 경우 원지에 함침된 Urea-Formaldehyde 수지와 Melamine-Formaldehyde 수지의 영향에 의해 실험 개시부터 종료일까지 일정한 양의 포름알데히드가 방산되었다는 것을 확인 할 수 있지만 대조군에 비해 그 양이 많지 않음을 알 수 있으며 이는 LPM이 MDF판에서 직접 방산되어 나오는 포름알데히드를 어느 정도 막아준다고 할 수 있다. 코팅 페이퍼와 HPM이 오버레이 된 치장판의 경우 거의 유사한 포름알데히드 방산량을 나타내었다. 코팅 페이퍼의 박엽지와 강화지의



높은 평량과 표면의 우레탄 수지 도포로 인해 포름알데히드의 차단성이 나타났다고 할 수 있으며, 또한 HPM은 표면지, 모양지, 응력지, 심재지 등의 구성 원지가 5~8장 멜라민 수지 등으로 함침되어 적층되어있기 때문에 MDF 표면이 공기와의 노출이 용이하지 않았기 때문에 높은 포름알데히드 차단성을 나타낼 수 있었다고 볼 수 있다. 건식 무늬목의 경우 초기의 높은 포름알데히드 방산량을 나타내었으며 시간이 경과할수록 그 양이 확연히 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 실험에 사용된 목질계 표면재는 모두 대조군에 비해 포름알데히드 방산을 저감시켰다는 것을 알 수 있다.

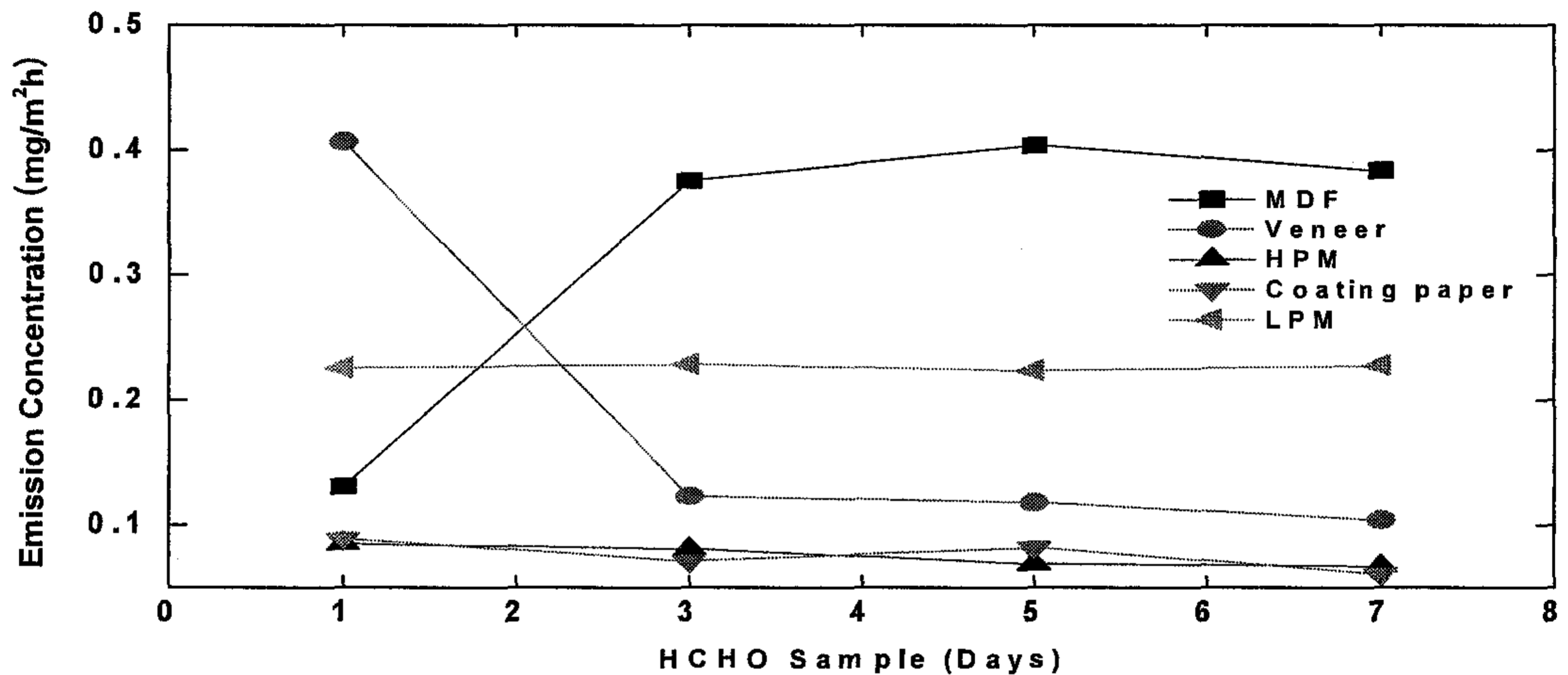
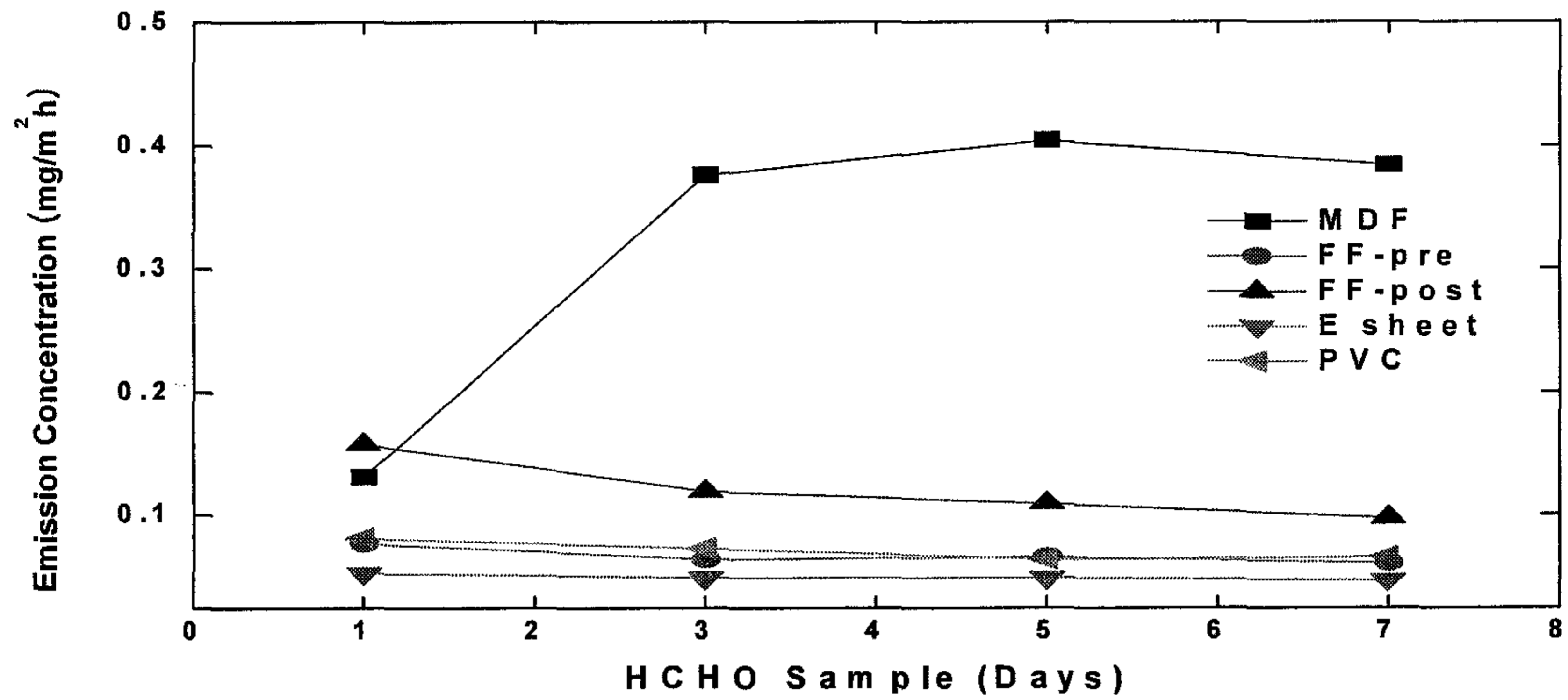


Figure 44. Formaldehyde of lignocellulosic surface materials using 20L small chamber

## 2) 플라스틱계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 HCHO 방산

플라스틱계 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 포름알데히드 방산량은 목질계 표면재 치장판의 방산량과 유사한 수치를 나타내었다. Figure 45에 나타난 바와 같이 선함침 피니싱 포일, 후함침 피니싱 포일, E sheet, PVC 모두 우수한 포름알데히드 차단성을 나타내었다. 이는 접착제로 저 포름알데히드 방산을 가지는 EVA를 사용하여 접착제에서 나오는 오차를 최소한으로 하였고 플라스틱계열 표면재 제조 시 HCHO를 유발되는 원료나 첨가제는 거의 사용되지 않았기 때문이라고 사료된다.



\*FF-pre : Pre-impregnated Finishing Foil  
 \*FF-post : Post-impregnated Finishing Foil

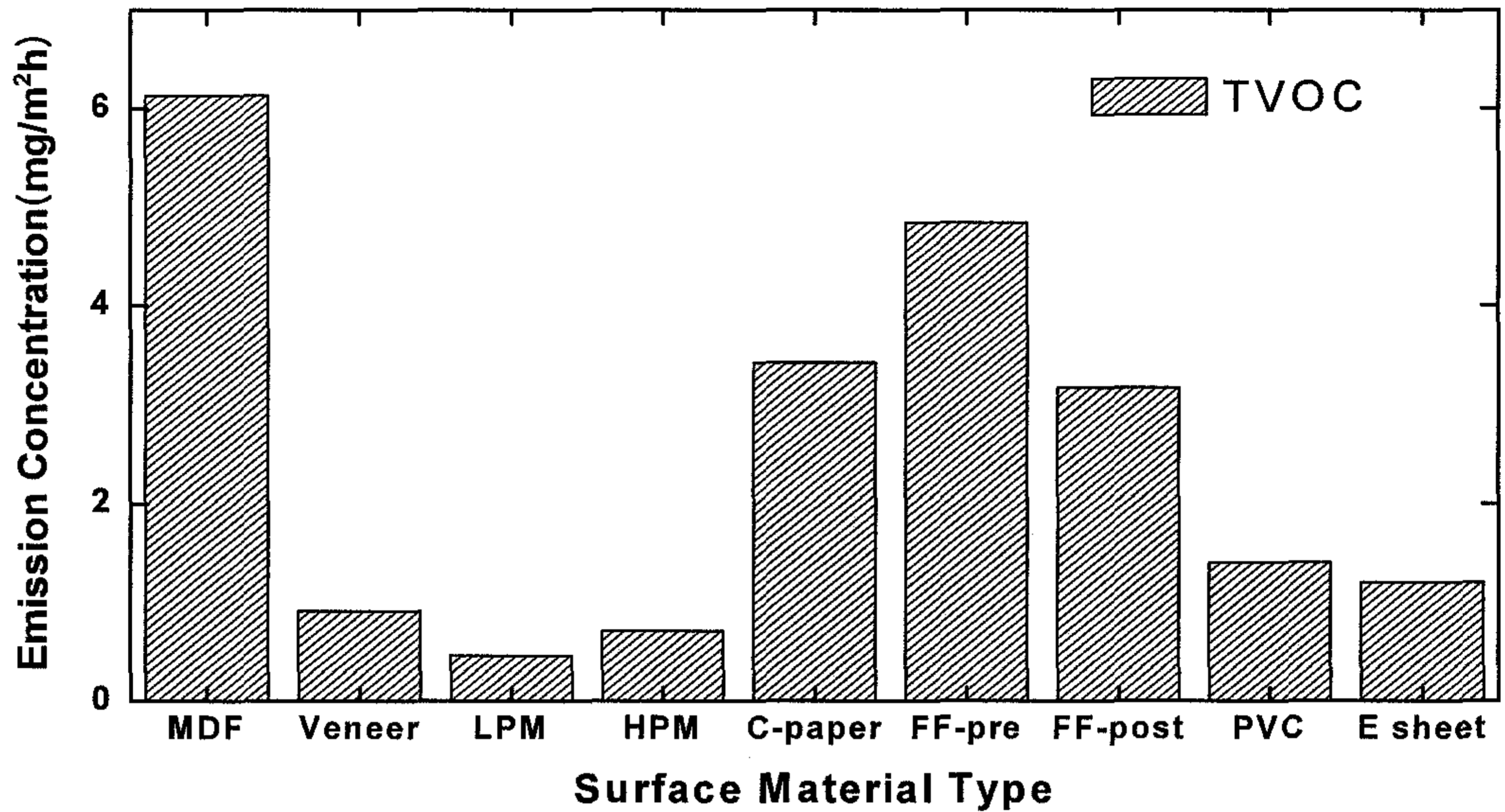
Figure 45 Formaldehyde of plastic surface materials using 20L small chamber

### 3. FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) 실험 결과

#### 가. 표면재 오버레이 처리된 휘발성 유기화합물 (TVOC) 방산량

##### 1) 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 TVOC 방산

FLEC 을 이용한 휘발성 유기 화합물 방산 실험의 결과는 Figure 46에 나타난 바와 같다. 무처리된 MDF 판의 휘발성 유기화합물의 방산량은 6.135 mg/m²h 를 나타내었다. 실험에 사용된 표면재 8종류 모두 대조군에 비해 0.461~4.832 mg/m²h 정도로 낮았다. 또한 전체적으로 목질계 표면재가 플라스틱계 표면재에 비해 휘발성 유기화합물의 방산을 효율적으로 저감시킨다는 것을 알 수 있다.



\*FF-pre : Pre-impregnated Finishing Foil  
 \*FF-post : Post-impregnated Finishing Foil

Figure 46. TVOC of Surface materials using FLEC

플라스틱계 표면재의 경우 20L 소형 챔버와 유사한 결과를 얻었으며 이는 가소제에 의한 영향이라고 생각되며 E sheet가 플라스틱계 표면재 중 가장 낮은 방산량을 나타내었다.

나. 표면재 오버레이 처리된 포름알데히드 (HCHO) 방산량

1) 표면재 오버레이 처리된 MDF 치장판의 HCHO 방산

표면재를 오버레이 처리된 치장판의 포름알데히드 방산 실험의 결과는 Figure 47에서 볼 수 있듯이 20L 소형 챔버 실험의 포름알데히드 방산결과와 유사하였다. LPM의 포름알데히드 방산량이 가장 큰 것으로 보아 LPM 제조과정 시 함침 용액으로 사용되는 Urea-Formaldehyde 수지와 Melamine-Formaldehyde 수지의 영향 때문인 것으로 사료되며 전반적으로 LPM을 제외한 표면재 7종 모두가 낮은 포름알데히드 방산수치를 나타내었다.

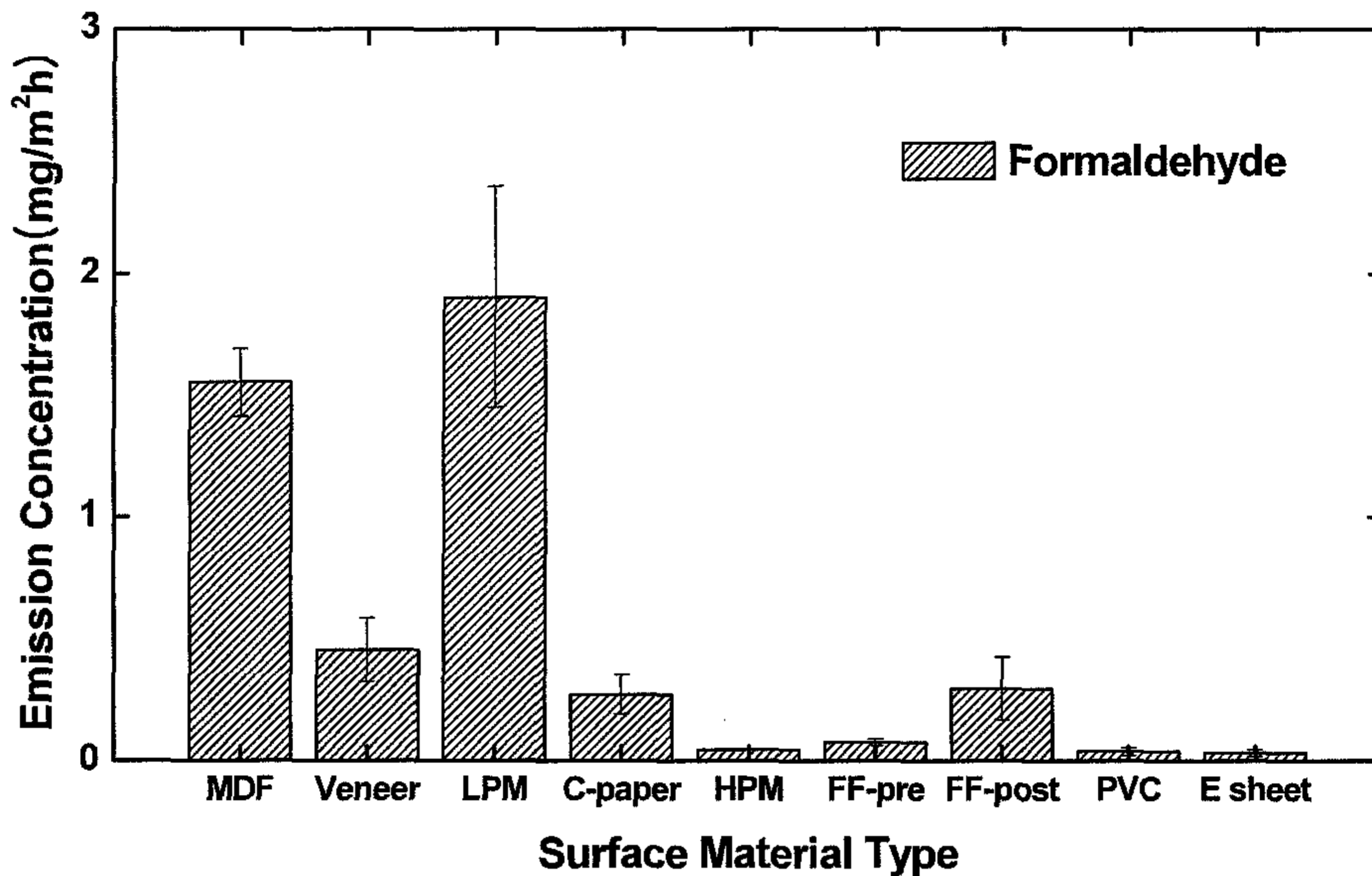


Figure 47. Formaldehyde of surface materials using FLEC

### 제 3 항 결론

MDF (400mm×400mm) 알판에 표면재를 오버레이 하기 위한 적정 도포량은 PVAc, EVA 모두 20g이었으며 표면인장력은 1.50N/mm<sup>2</sup>~3.0N/mm<sup>2</sup> 정도로 KS F 3106에 정하는 0.4N/mm<sup>2</sup>를 만족하였다. 한열반복 실험결과 모든 조건의 샘플이 박리현상이나 뒤틀림 없이 실험 전과 동일한 형상을 유지하였다.

20L 소형 챔버법에서 휘발성 유기화합물(VOCs)과 포름알데히드는 실험 개시 후 1, 3, 5, 7일 포집한 샘플을 이용하여 HPLC와 GC/MS를 이용하여 분석하였다. VOCs의 경우 플라스틱계 표면재 오버레이 처리된 MDF가 목질계 표면재 오버레이 처리된 MDF에 비해 다량의 VOC가 방산되었다. 또한 목질계 표면재 처리한 실험군은 대조군인 기본 MDF 알판에 비해 TVOC의 방산이 적었다. 이는 FLEC 실험에서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 목질계 표면재는 MDF에서 방산되는 TVOC를 차단시켜줄 수 있음을 알 수 있다. 플라스틱계 표면재는 표면재 자체의 가소제에 의해 다량의 TVOC가 방산됨을 확인하였다. 포름알데히드의 차단성은 목질계 표면재 중에서는 코팅페이퍼와 HPM이 우수하였고 E sheet가 플라스틱계 표면재 중 우수한 차단성을 나타내었다. 포름알데히드는 목질계와 플라스틱계 표면재 전부가 우수한 포름알데히드 차단성을 나타내었다. 하지만 LPM은 표면재 자체의 Urea-Formaldehyde 수지와 Melamine-Formaldehyde 수지의 함침으로 인해 다른 표면재에 비해 다량의 포름알데히드가 실험 종료일까지 꾸준히 방산되었다.



## 제 6 절 가구 소재에 따른 오염물질 방산량 비교

### 제 1 항 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

공시재료는 Figure 48과 같이 E0, E2소재의 사물함, 신발장, 컴퓨터 책상으로 하였으며, 이는 시중에 판매되고 있는 제품을 사용하였다.

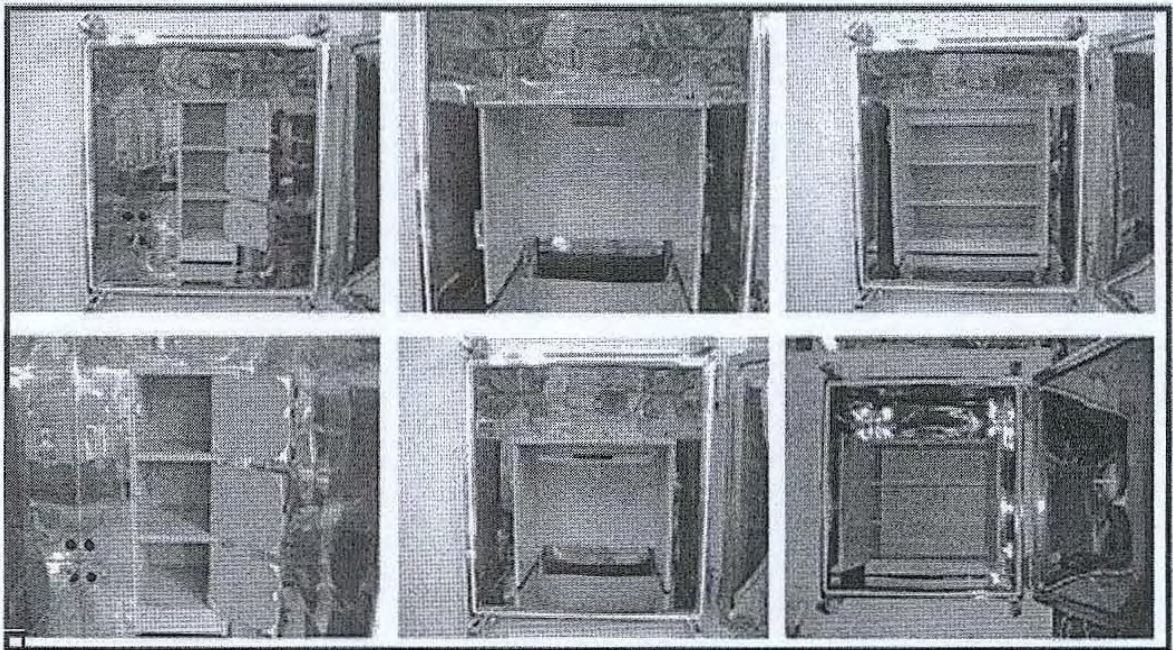


Figure 48. Furnitures with E0, E1 grade materials

#### 2. 실험 방법

##### 가. 1m<sup>3</sup> chamber

아래 Figure 49는 1m<sup>3</sup> 챔버의 모식도를 나타낸 것이며 Table 18은 본 연구에서 사용한 대형 챔버의 사양을 나타낸 것이다. 챔버의 내부는 스테인리스로 제작하여 표면은 전해연마처리 되었고, 측정 시 운전 가능한 최고 온도는 1m<sup>3</sup> 챔버는 120℃, 챔버 내부 오염물질의 bake-out 시 운전 가능한 최고 온도는 1m<sup>3</sup> 챔버는 120℃까지 운영이 가능하다. 습도조절범위는 40~80%이며, 유량은 1m<sup>3</sup> 챔버는 16.6~66.6 l/min(환기횟수 1~4회/n)의 범위 내에서 조절 가능하다. 측정조건은 온도 25±1℃, 습도 50%±5%, 환기횟수 1회/h이었으며, sampling은 1, 3, 5, 7일 간격으로 포집하였다. 이때 TVOC는 0.1 l/min × 20min = 2 l, HCHO는 0.3 l/min × 20min = 6 l 이었다.



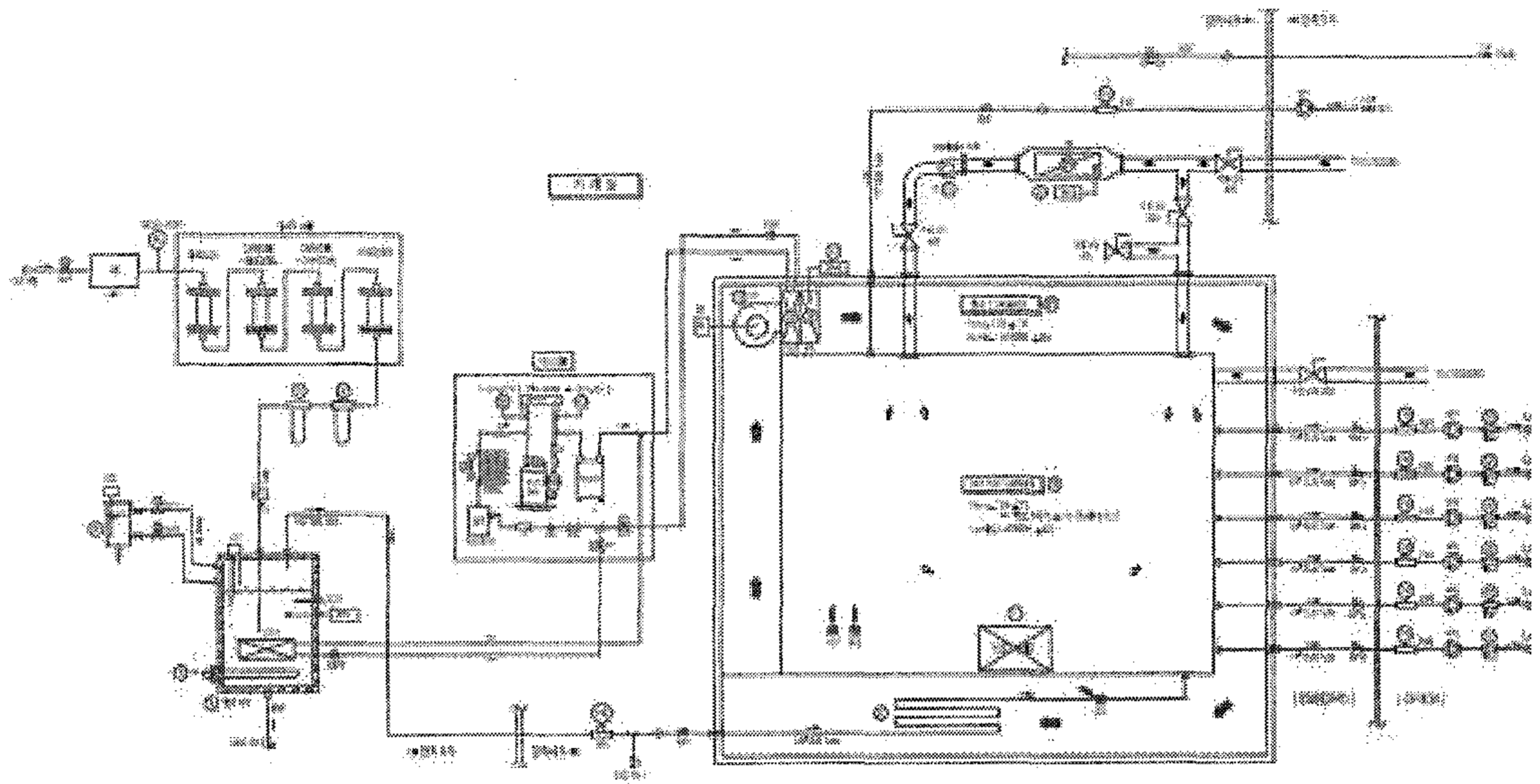


Figure 49. Schematic of 1m' chamber

Table 18. Specification of 1m' chamber

		1m' chamber
용적		1m'
온도조절 범위	측정 시	20~120 ± 1℃
	Bake-out 시	~120℃
습도조절 범위		40~80 ± 5%
유량조절범위		16.6~66.6l/min (환기횟수 1~4회/n)

#### 나. 실험방법

생활용품에서 방산되는 화학물질 측정 과정을 아래의 Figure 3에 도식화 하였다. 생활용품에서 방산되는 화학물질의 양을 측정하는 만큼 측정 대상 제품 외에서 발생하는 화학물질의 배제가 가장 중요하며 따라서 챔버 세척과 bake-out에 의한 챔버 Background 농도의 기준치 이하로의 최저화와 회수율의 평가가 중요시 된다. 여기서 회복율이란 챔버 방산시험 후에 챔버 내부 표면에 흡착 등의 이유로 남아 있는 화학물질과 같은 오염물질 및 분진과 같은 이물질을 내부 세척과 함께 Bake-out으로 열탈착하여 시험 전 최초의 청정한 상태로 돌아가는 정도를 말한다.

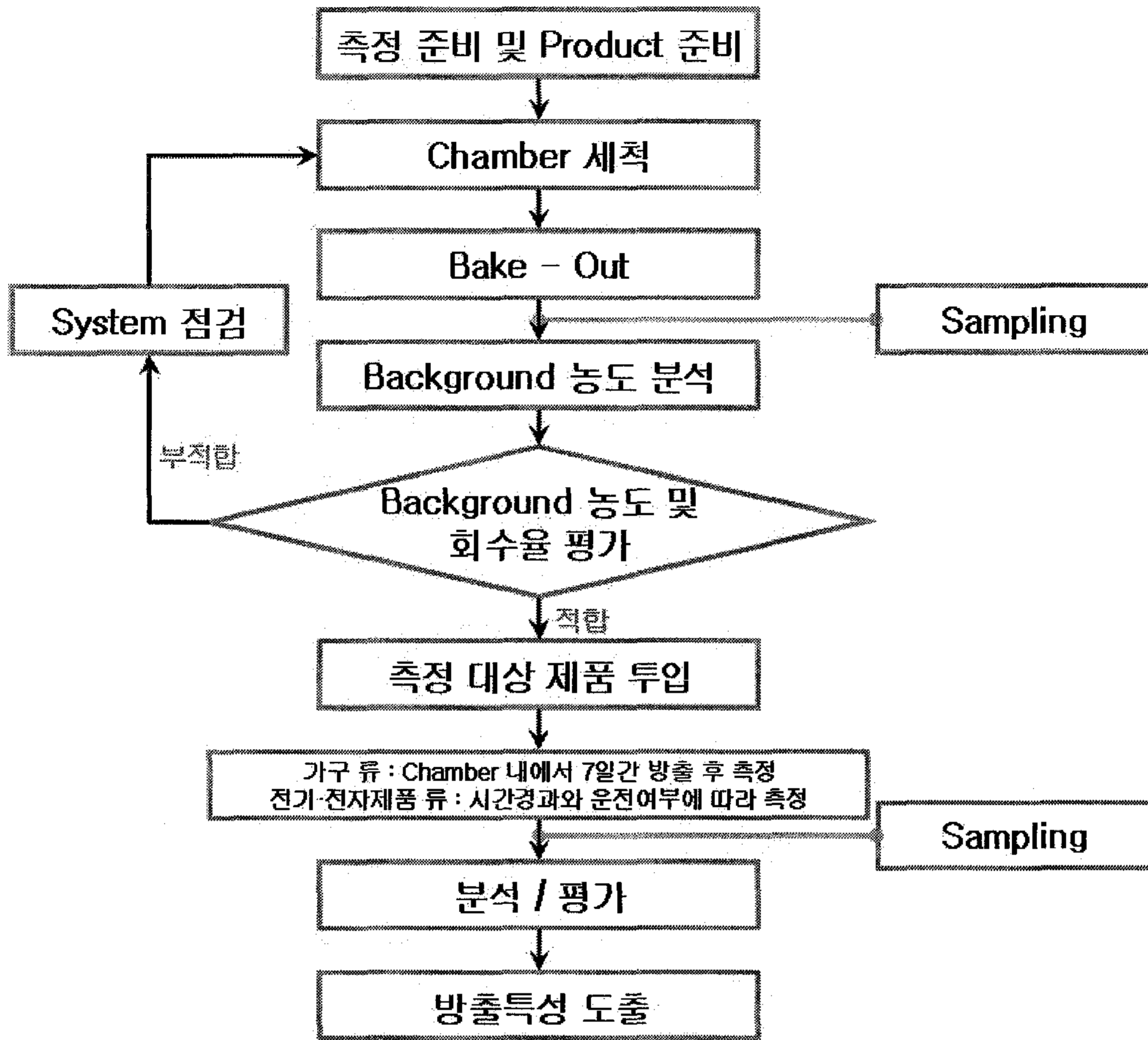


Figure 50. Schematic flow of chamber test

본 연구에서 생활용품에서 방산되는 오염물질을 측정하기 위한 순서 및 방법은 Figure 50과 같은 절차를 통해 실시하였다.

1) 측정 준비 및 Product 준비

방산 시험 챔버와 측정 대상 제품을 준비한다. 방산 시험 챔버는 측정 시의 조건(온도, 습도, 유량, 기밀도)을 만족시키고 있는지 점검하며, 측정 대상 제품은 포장 상태 그대로 두고 가능하면 항온항습이 가능한 공간에서 실제 보관하는 것과 동일한 상태에서 보관하도록 한다.

2) 챔버의 세척

챔버 내부의 흡착된 이물질과 오염물을 제거하기 위하여 소독용 에탄올을 이용하여 내부를 1차 세척한 뒤 초순수를 사용하여 2차 세척한다. 세척 시 잔여 소재물이나 제 2의 이상 물질이 남지 않는 클린룸용 와이퍼를 사용하였다.



### 3) Bake-Out

챔버 내부를 120℃로 6시간 이상 가열하여 챔버 내 표면에 흡착되어 있는 오염물질을 열탈착하여 제거하였다. 공기의 순환은 청정공기를 공급하면서 전공기 재순환 방식으로 온도를 상승시키고 목표 온도에 도달 후 배기라인을 개방하고 챔버 내부를 양압으로 유지하여 오염물질을 밖으로 배출한다.

### 4) Background 농도 점검

측정 가능 여부를 판단하기 위하여 바탕값이 확인된 Tenax TA와 DNPH 카트리지를 이용하여 챔버 내부의 공기를 Sampling한다. Sampling된 Tenax tube와 DNPH 카트리는 GC/MS와 HPLC로 분석하며 각각 TVOC 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 개별 VOC 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , HCHO 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 검출되는가를 확인한다. 측정 대상을 투입하기 전의 챔버의 농도 즉, Background 농도가 목표로 한 기준치 이하로 검출되는 확인한 후 시험을 진행하고, 그 이상의 농도가 검출되었을 시 Clean Air 공급 System의 오염여부와 필터의 교체시기가 되지는 않았는가를 점검하고 챔버의 세척과 Bake-Out의 과정을 다시 시행한다.

### 5) 측정 대상 제품 투입

Background 농도가 시험을 진행하기에 적합하다고 판단(TVOC : 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 HCHO : 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)될 때 측정 대상 제품을 투입한다. 측정 제품은 포장 상태로 수거하여 항온항습실에서 온도 25℃, 상대습도 50% 상태로 보관하며 측정 시작 바로 전에 포장을 개봉한다. 측정 대상 제품은 챔버 내에 투입 시 한가운데에 위치시키고 서랍이나 문 등이 있는 경우 모두 개방한 상태로 두었다.

### 6) 대상 제품의 측정 (Figure 51, 52)

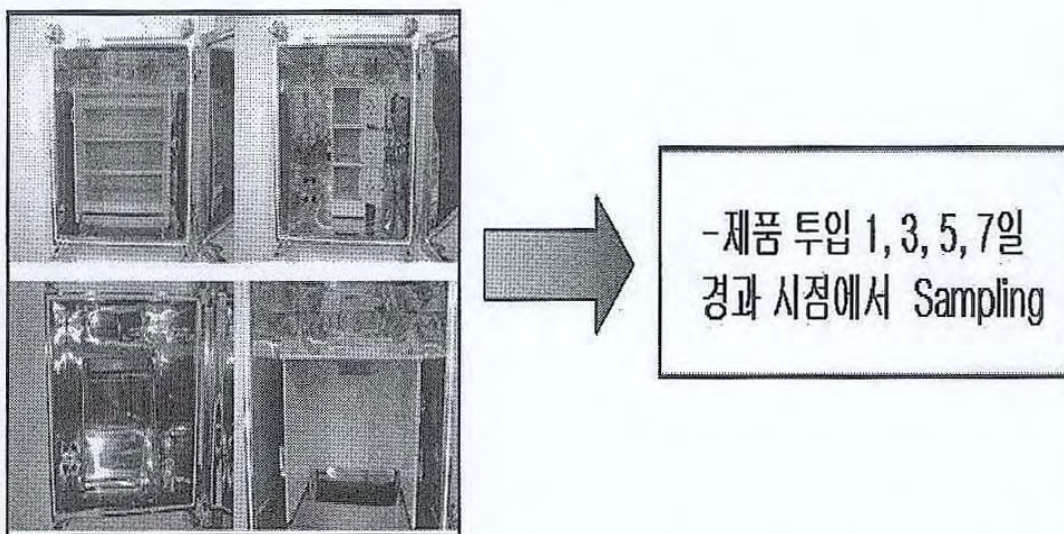


Figure 51. Sampling days of experimental



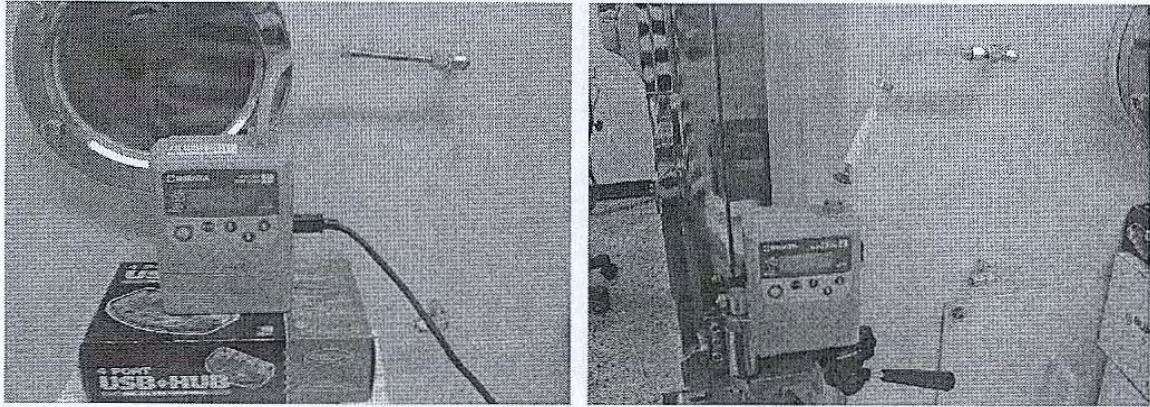


Figure 52. Sampling using Auto pump

다. 분석방법

1) VOCs(휘발성 유기화합물)의 분석

본 연구에서는 실내 환경 측정 시 일반적으로 많이 사용되어지고 있는 고체 흡착관을 이용한 GC/MS의 분석방법을 이용하였다.

2) Formaldehyde의 분석

HCHO는 DNPH cartridge에 포집한 후 HPLC (고성능액체크로마토그래피)를 이용하여 분석하였다.

우선, 측정 대상물을 방산시험 챔버에 넣은 후 측정을 시작하는 시간 t에서 방산률 EFa는 식(1)이된다. 방산시험 챔버 농도 Ct는 시간 t에서 대상 VOCs와 알데히드류, 혹은 TVOC의 농도를 나타낸다.

$$EFa = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{L \text{ or } A \text{ or } M} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times n V}{L \text{ or } A \text{ or } M} \dots \dots \dots \text{식(1)}$$

- L : 측정대상물의 길이(m)
- A : 측정대상물의 면적(m<sup>2</sup>)
- M : 측정대상물의 부피(m<sup>3</sup>)
- Ct : 시간 t에서의 방산시험 챔버 내 VOCs와 알데히드류의 농도(mg/m<sup>3</sup>)
- Ctb,t : 시간 t에서의 블랭크(비어있는 챔버) 농도(mg/m<sup>3</sup>)
- n : 환기횟수(회/h)
- Q : 방산 시험챔 버의 환기량(m<sup>3</sup>/h)
- V : 방산 시험 챔버의 용적(m<sup>3</sup>)

위 식에서 측정대상물의 길이, 면적, 부피 중 넣어주는 인자에 따라 단위 길이 당 방산률, 단위 면적당 방산률, 단위 부피당 방산률이 산출되게 된다. 그러나 가구와 같은 생활용품의 방산시험과 같이 시험편을 제조하는 것이 아닌 완제품에 대한 측정이므로

정확한 면적이나 부피의 측정이 용이하지 않다. 또한 완제품의 경우 한 set당 방산되는 화학물질을 측정·평가하는 것이 바람직하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 단위 면적이나 부피가 아닌 1EA 혹은 1unit에서 방산되는 화학물질을 측정하는 것으로 하여 방산되는 농도를 한 제품의 시간당 방산되는 농도로 아래와 같은 식(2)으로 표현하였으며 이에 단위 챔버가 될 수 있는 1m<sup>3</sup> 챔버를 선정하였고 환기횟수 또한 1회/h로 선정하여 시험하였다.

$$EFa[mg/h \cdot unit] = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{1 \text{ unit}} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{1 \text{ unit}} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

제 2 항 결과

1. 학생용 사물함 [E0등급 소재 사용]

가. VOCs

측정 대상 제품은 본 연구의 시험을 위해 제작한 학생용 사물함으로 KS에서 E0의 등급을 받은 소재를 사용하여 제작하였다. E0 등급이라 함은 포름알데히드의 방산농도가 0.5mg/ℓ 이하로 방산되는 목재 소재를 말한다. E0등급의 소재를 사용한 학생용 사물함을 측정한 결과 TVOC 0.1084 mg/h·unit이 검출되었으며 톨루엔이 전체 VOC 중 약 50%를 차지하는 0.0449 mg/h·unit이 검출되었고 에틸벤젠과 자일렌이 미량 검출되었다. 일별로 측정한 결과를 보면 1일 경과 후 측정된 농도가 0.2233 mg/h·unit 이었고 점차 방산량이 감소되어 7일 방산 후 1일 경과 후 방산량의 50% 정도로 방산량이 감소하였다. 그러나 톨루엔이나 에틸벤젠, 자일렌 등의 개별물질의 감소하는 성향은 나타나지 않았다(Figure 53, Table 19).

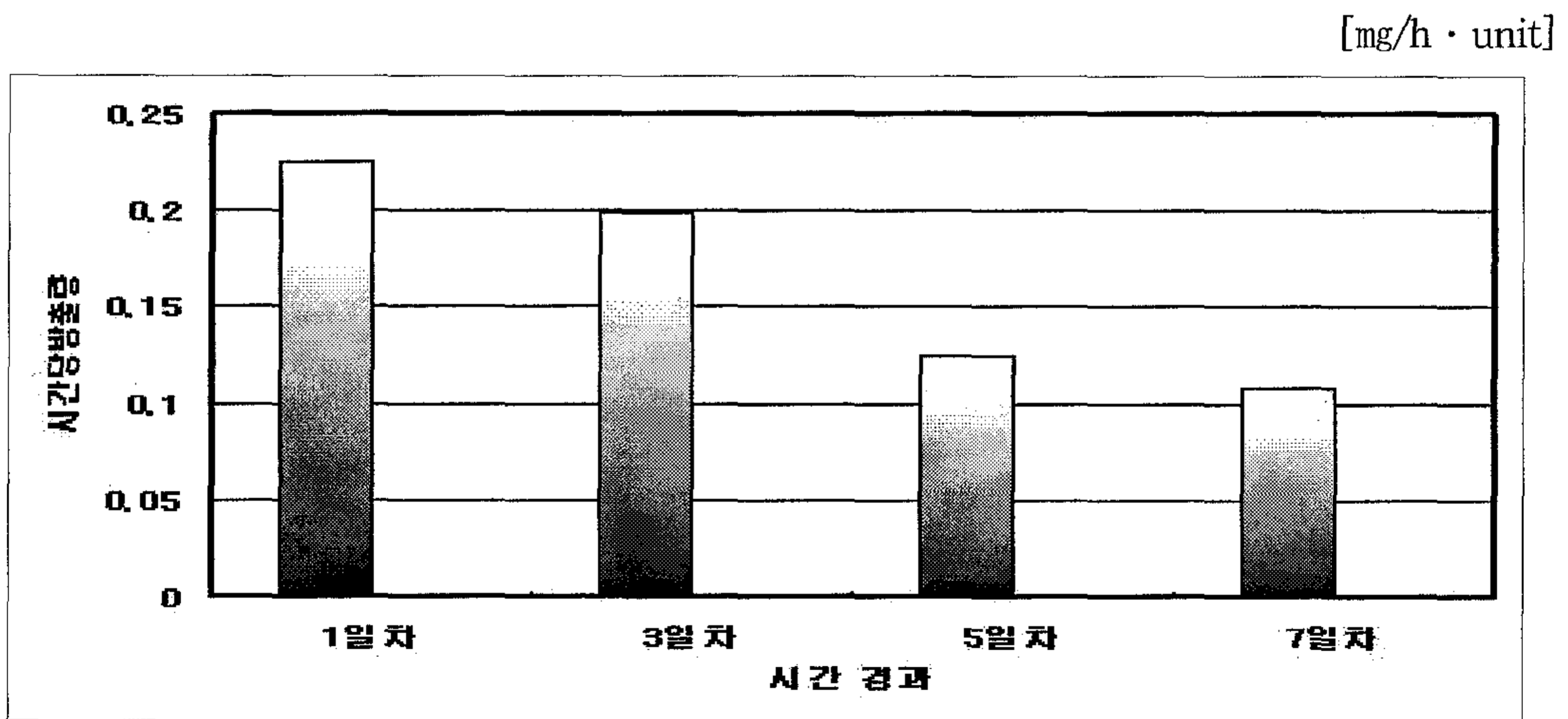


Figure 53. TVOC emission concentration of locker with EO boards.



Table 19. Main VOCs emission concentration of locker with EO boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
Toluene	0.0293	0.0532	0.0198	0.0499
Ethylbenzene	0.0027	0.0085	0.0025	0.0031
p-Xylene	0.0044	0.0105	0.0033	0.0035
o-Xylene	0.0016	0.0033	0.0012	0.0011
Unidentified	0.1853	0.1225	0.0955	0.0502
TVOC[ $\text{mg/h} \cdot \text{unit}$ ]	0.2243	0.1993	0.1244	0.1084

나. 포름알데히드

Figure 54에서 E0등급 소재를 사용한 학생용 사물함의 포름알데히드 방산량을 나타내었다. 7일 경과 후 측정된 결과  $0.0556 \text{ mg/h} \cdot \text{unit}$ 가 검출되었으며 일별로 측정된 방산농도가 거의 변화가 없이 유사한 수치의 농도가 검출된 것을 볼 수 있다.

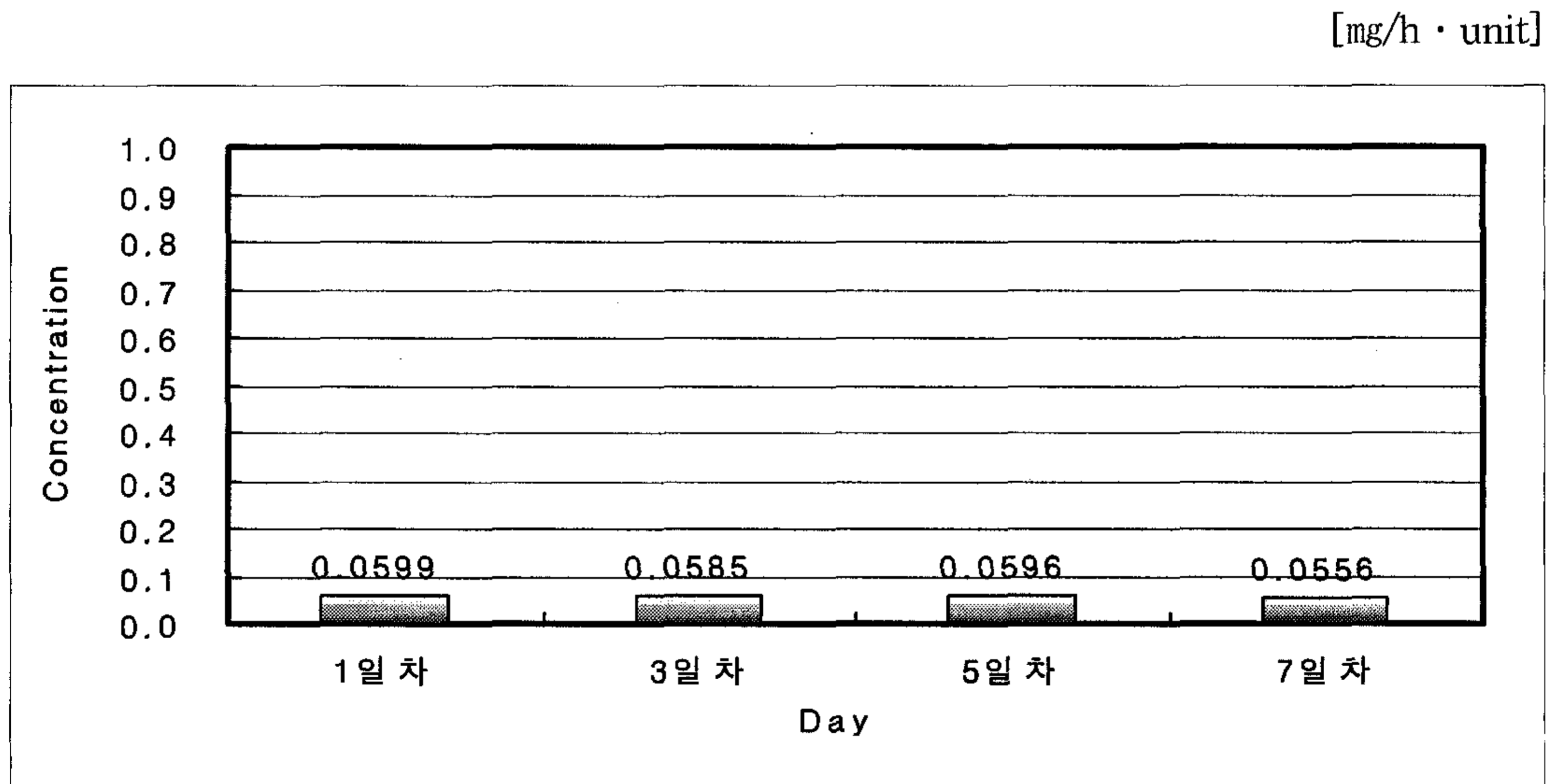


Figure 54. HCHO emission concentration of locker with EO boards.

2. 학생용 사물함 [E2등급 소재 사용]

가. VOCs

측정된 가구는 이전 실험의 학생용 사물함과 동일한 규격, 크기로 소재만 달리 제작한 것으로 3단으로 구성 되어 있으며 1m<sup>3</sup> 챔버에 투입 가능한 소형의 가구이다. 사용된 소재는 E2 등급의 소재로서 포름알데히드 방산량이 1.5 ~ 5 mg/ℓ 이하인 소재이다. 측정 결과 TVOC의 경우 0.3164 mg/h · unit가 검출되었고 그 중 톨루엔이 0.2015 mg/h · unit로 가장 많은 양을 차지하였다. VOCs 물질의 경우 사전에 소재의 등급여부는 확인되지 않았으나 포름알데히드 방산량을 저감한 소재 사용 가구가 그렇지 않은 가구에 비해 1/3 정도로 검출된 것으로 보아 소재 제작 시 VOCs 에 대한 방산 저감 조치를 취한 것으로 사료된다(Figure 55, Table 20).

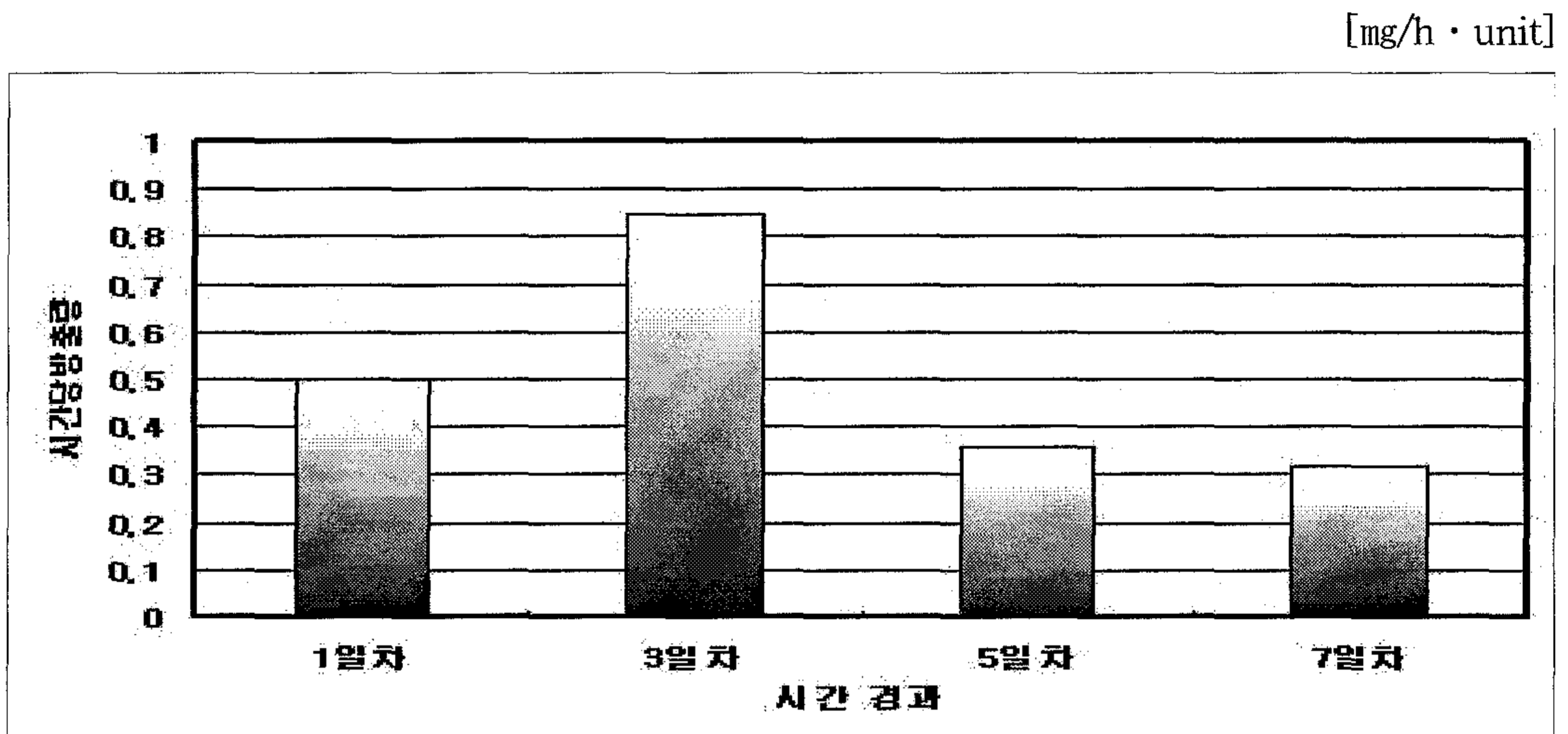


Figure 55. TVOC emission concentration of locker with E2 boards

Table 20. Main VOCs emission concentration of locker with E2 boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001
Toluene	0.3541	0.5979	0.2437	0.2015
Ethylbenzene	0.0016	0.0029	0.0014	0.0008
p-Xylene	0.0065	0.0112	0.0044	0.0033
o-Xylene	0.0033	0.0055	0.0022	0.0015
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.0002	0.0003	0.0001	0.0001
Unidetified	0.1362	0.2260	0.1052	0.1088
TVOC[mg/h · unit]	0.5025	0.8444	0.3574	0.3164



나. 포름알데히드

Figure 56에 E2등급 소재를 사용한 학생용 사물함의 포름알데히드 방산량을 나타내었다. 7일 경과 후의 방산량을 보면 0.2072 mg/h·unit로 나타난 것을 볼 수 있으며 포름알데히드의 경우 E0등급의 소재 사용에 비해 E2등급의 소재를 사용하여 제작 시 약 4배 정도가 검출되었다. 그래프를 보면 1일부터 7일까지 시간이 경과함에 따라 포름알데히드의 방산농도는 거의 일정하게 변화가 없음을 볼 수 있다. 이는 가구에서 나오는 화학물질 중 포름알데히드의 경우 VOCs에 비해 단기간에 방산량이 감소하지 않음을 보여준다.

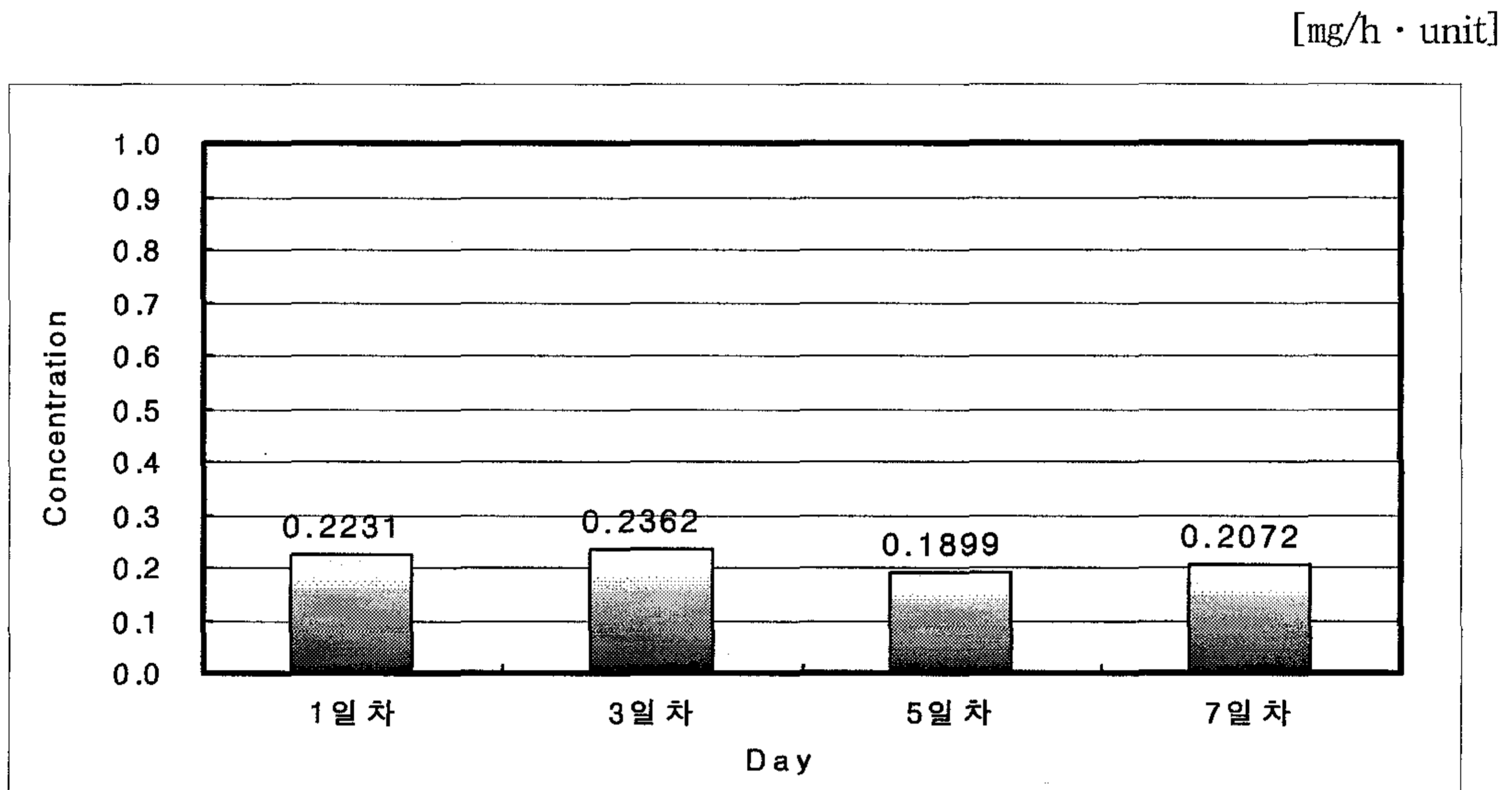


Figure 56. Formaldehyde emission concentration of locker with E2 boards

3. 사무용/컴퓨터 책상 [E0등급 소재 사용]

가. VOCs

측정에 쓰인 사무용/컴퓨터 책상은 1m<sup>3</sup> 챔버에 투입 가능한 소형 책상으로 E0 등급의 소재를 사용하여 제작한 책상이다. 측정 및 분석결과 TVOC 방산량이 0.0704 mg/h·unit로 검출되었고 미량의 톨루엔과 에틸벤젠, 자일렌 등이 검출되었다. Fig 10에서 알 수 있듯이 시간이 경과함에 따른 TVOC 방산량이 나타나 있다. 그래프를 보면 시간이 경과함에 따라 방산량이 점차 감소하는 모습을 보이며 7일 경과 후 1일 경과 후 측정된 방산량에 비해 20% 정도로 1/5로 감소한 모습을 보였다. 그러나 개별 물질 중 톨루엔이나 에틸벤젠, 자일렌 등은 시간이 경과해도 방산량이 줄어들지 않는 모습을 보였다(Figure 57, Table 21).

[mg/h · unit]

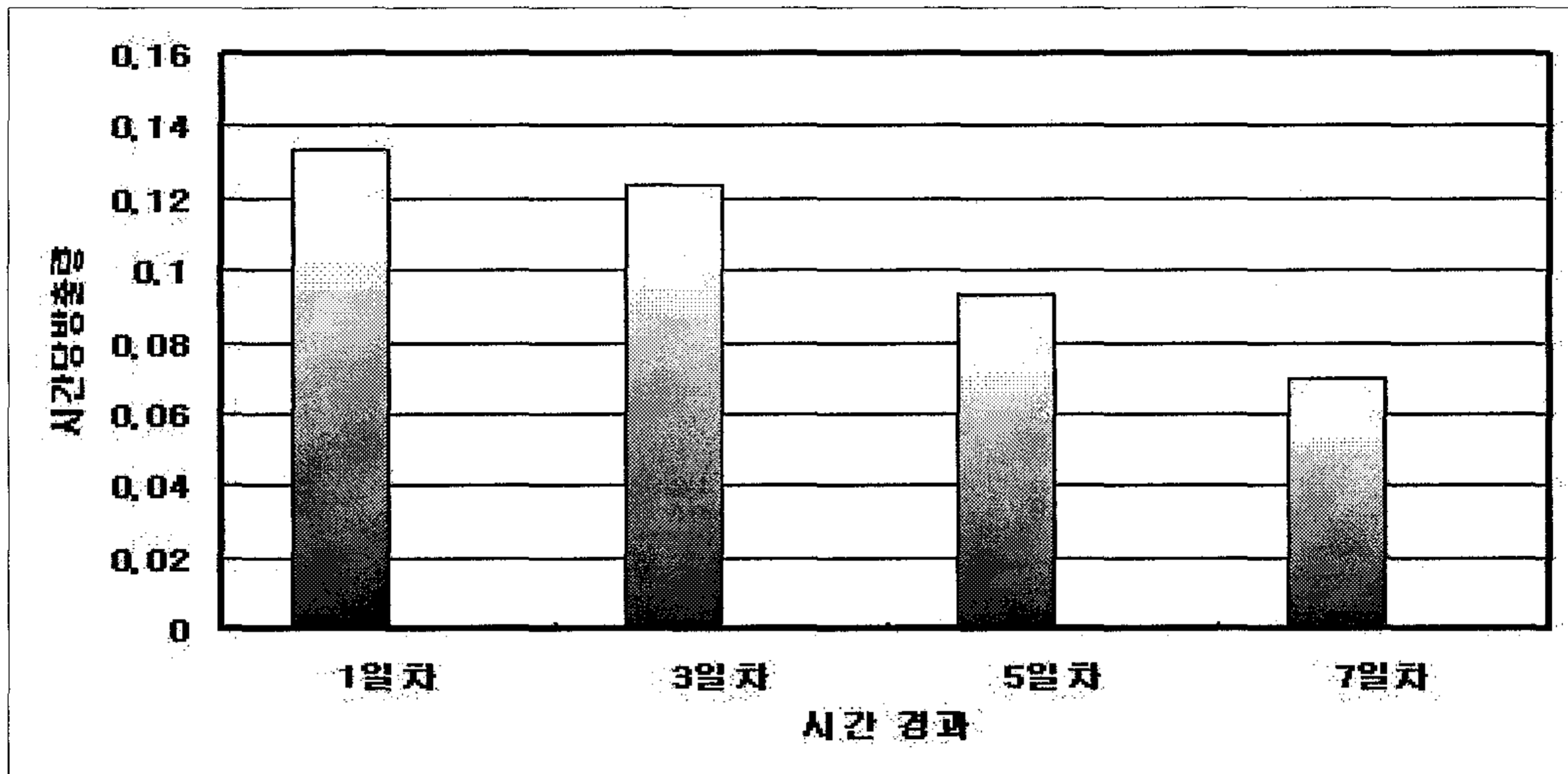


Figure 57. TVOC emission concentration of official desk with E0 boards

Table 21. Main VOCs emission concentration of official desk with E0 boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Toluene	0.0085	0.0102	0.0083	0.0131
Ethylbenzene	0.0002	0.0004	0.0003	0.0005
p-Xylene	0.0005	0.0008	0.0006	0.0009
o-Xylene	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
Unidentified	0.1241	0.1116	0.0834	0.0552
TVOC[mg/h · unit]	0.1338	0.1238	0.0933	0.0704

나. 포름알데히드

Figure 58에 일별로 측정된 포름알데히드 방산량을 나타내었다. 7일 경과 후의 방산 농도는 0.0578 mg/h · unit로 검출되었으며 TVOC 방산량과는 다르게 시간이 경과해도 포름알데히드의 방산량은 거의 일정하게 변화가 없는 것을 알 수 있다.

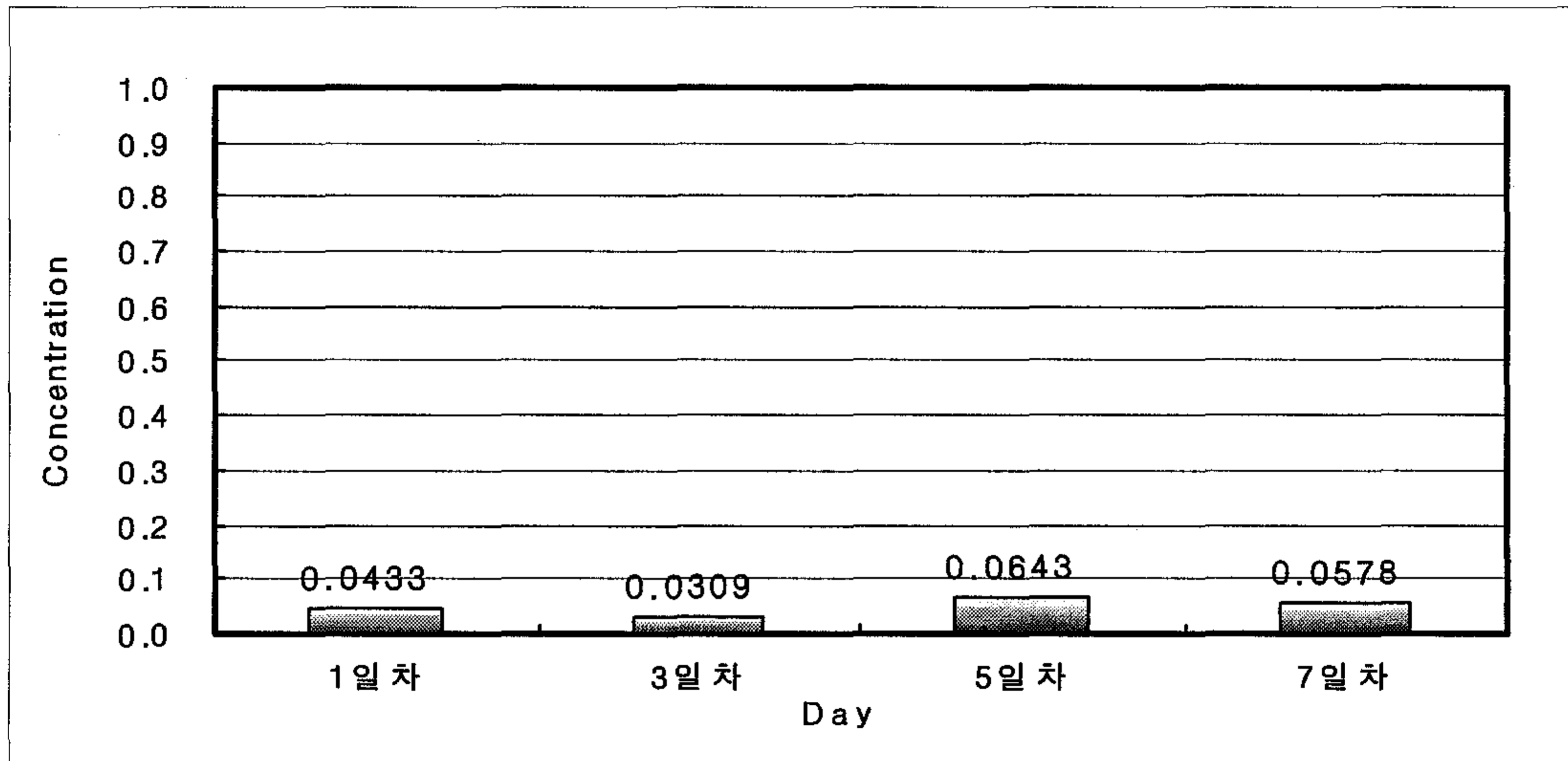


Figure 58. Formaldehyde emission concentration of official desk with E0 boards

#### 4. 사무용/컴퓨터 책상 [E2등급 소재 사용]

##### 가. VOCs

측정용 가구는 위 항목의 사무용/컴퓨터 책상과 소재만 달리하여 동일한 크기와 규격으로 제작한 가구이다. 일차별로 측정한 VOCs 방산량을 Figure 59에 나타내었다. 7일 경과 후 TVOC 방산량은 0.3371 mg/h · unit로 검출되었으며 이는 E0 등급의 소재를 사용한 가구에 비해 약 5배의 수치이다. 사용한 소재의 등급이 포름알데히드에 대한 등급이나 VOCs 방산량을 비교해 볼 때 소재의 포름알데히드 방산 저감뿐만 아니라 VOCs에 대한 저감 조치를 행했다고 판단된다. 방산된 개별 물질 중 가장 많이 방산된 물질은 톨루엔으로 0.0298 mg/h · unit로 검출되었으며 이는 E0등급의 소재를 사용한 가구의 2배가 넘는 방산량이다(Table 22).

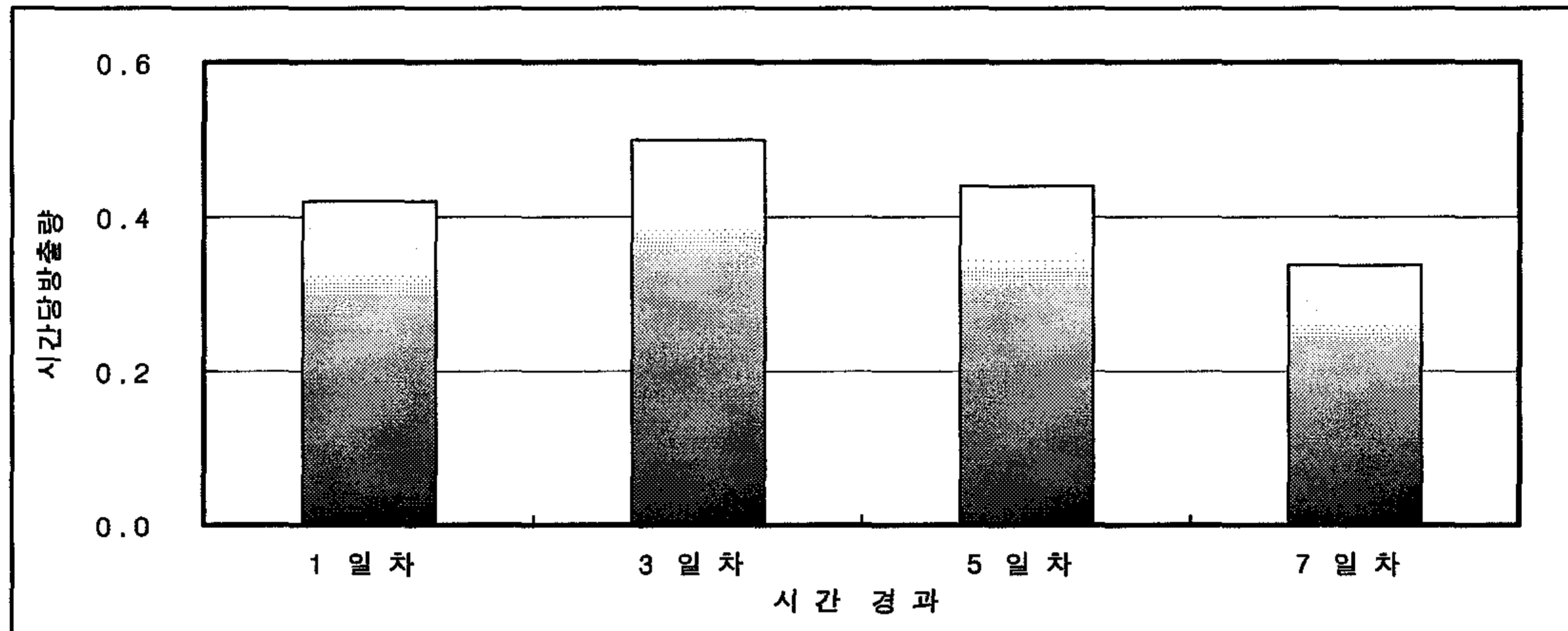


Figure 59. TVOC emission concentration of official desk with E2 boards

Table 22. Main VOCs emission concentration of official desk with E2 boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0004	0.0007	0.0005	0.0002
Toluene	0.1076	0.1379	0.1232	0.0298
Ethylbenzene	0.0040	0.0069	0.0041	0.0026
p-Xylene	0.0040	0.0072	0.0042	0.0023
Styrene	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
o-Xylene	0.0014	0.0022	0.0016	0.0010
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.0005	0.0006	0.0003	0.0003
Unidentified	0.3022	0.3429	0.3070	0.3006
TVOC [mg/m <sup>3</sup> ]	0.4203	0.4991	0.4413	0.3371

#### 나. 포름알데히드

Figure 60에 일별로 측정된 포름알데히드 방출량을 나타내었다. 7일 방출 후 방출량은 0.3011 mg/h · unit로 E0 등급의 소재를 사용한 가구에 비해 5배가 넘는 수치였다. 또한 그래프에서 보여주듯이 포름알데히드의 농도는 시간이 경과함에 따라 방출량이 감소하는 모습은 보이지 않았으며 방출기간으로 설정한 7일까지 거의 일정한 수치를 나타내었다.



[mg/h · unit]

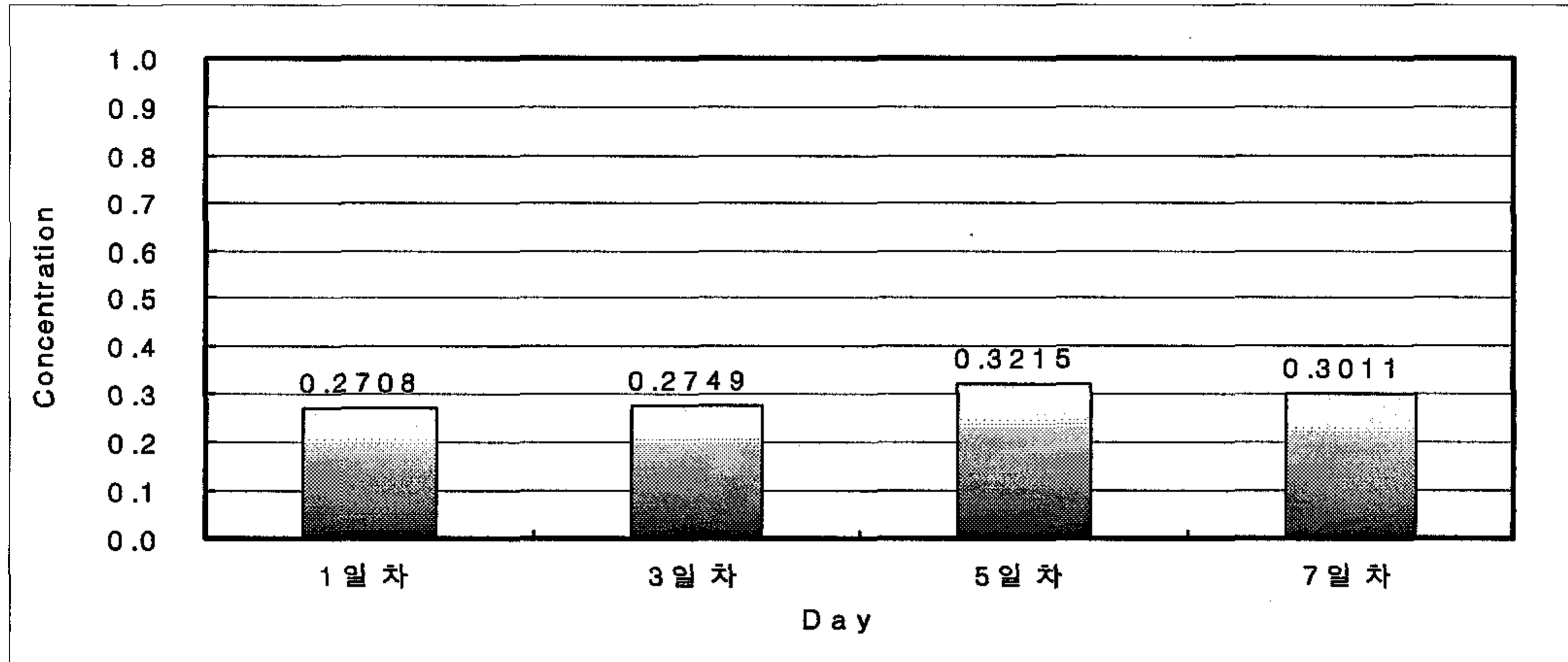


Figure 60. Formaldehyde emission concentration of official desk with E2 boards

#### 5. 학생용 신발장 [E0등급 소재 사용]

##### 가. VOCs

측정된 가구는 3단으로 구성된 학생용 신발장으로 E0등급의 소재를 사용하여 제작한 가구이다. 7일간 방산 후 측정 및 분석한 결과 TVOC 0.1631 mg/h · unit로 검출되었으며 개별 물질 중 톨루엔이 0.0163 mg/h · unit로 10%를 차지하였고 자일렌류와 에틸벤젠이 미량 검출되었다. Figure 61에서 보여주듯이 측정된 다른 가구와 유사하게 7일까지 경과함에 따라 VOCs의 방산량이 점차 감소하는 것을 알 수 있다(Table 23).

[mg/h · unit]

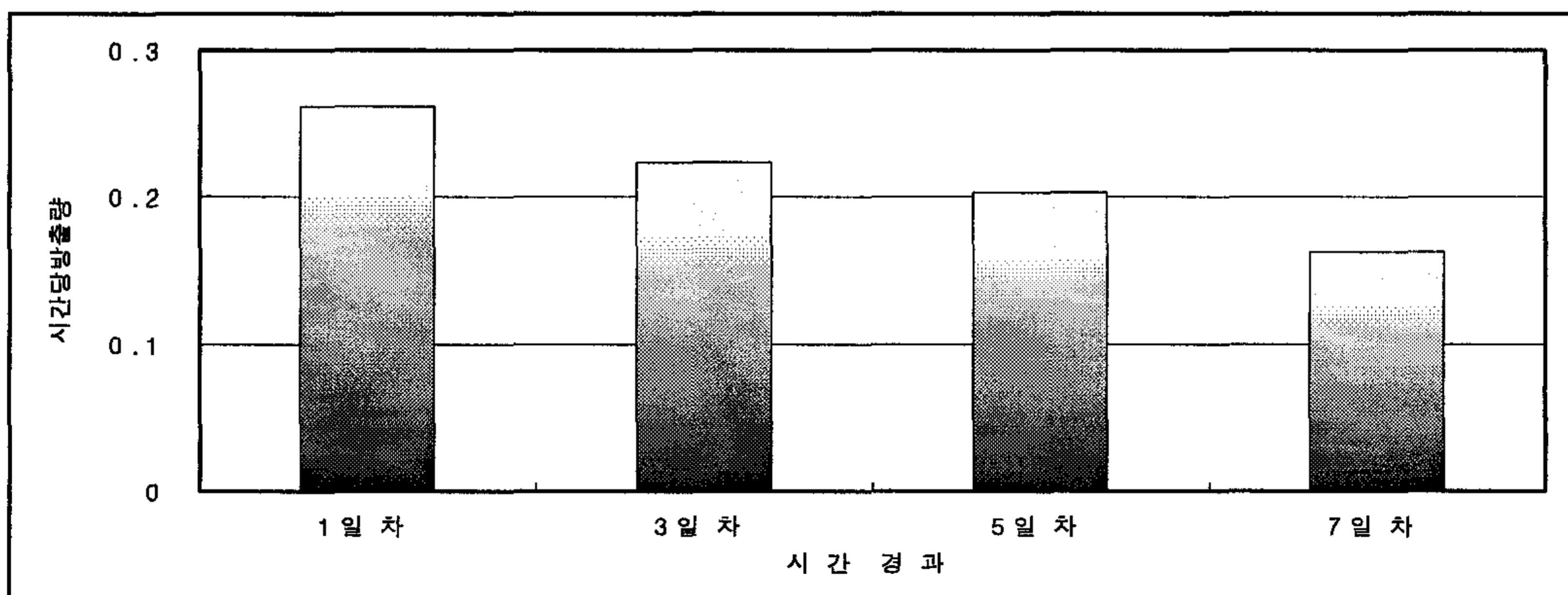


Figure 61. TVOC emission concentration of shoes chest with E0 boards

Table 23. Main VOCs emission concentration of shoes chest with E0 boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
Toluene	0.0444	0.0266	0.0190	0.0163
Ethylbenzene	0.0024	0.0021	0.0012	0.0009
p-Xylene	0.0058	0.0055	0.0041	0.0034
o-Xylene	0.0029	0.0028	0.0023	0.0028
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001
Unidetified	0.2047	0.1861	0.1756	0.1392
TVOC[ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	0.2611	0.2237	0.2027	0.1631

나. 포름알데히드

Figure 62는 일별로 측정, 분석한 포름알데히드의 방산량이 나타나 있다. 포름알데히드의 경우 7일 경과 후 방산량은  $0.0581 \text{ mg}/\text{h} \cdot \text{unit}$ 로 검출되었으며 1일차에 비해 감소는 하였으나 방산량이 크게 저감 되지는 않았다.

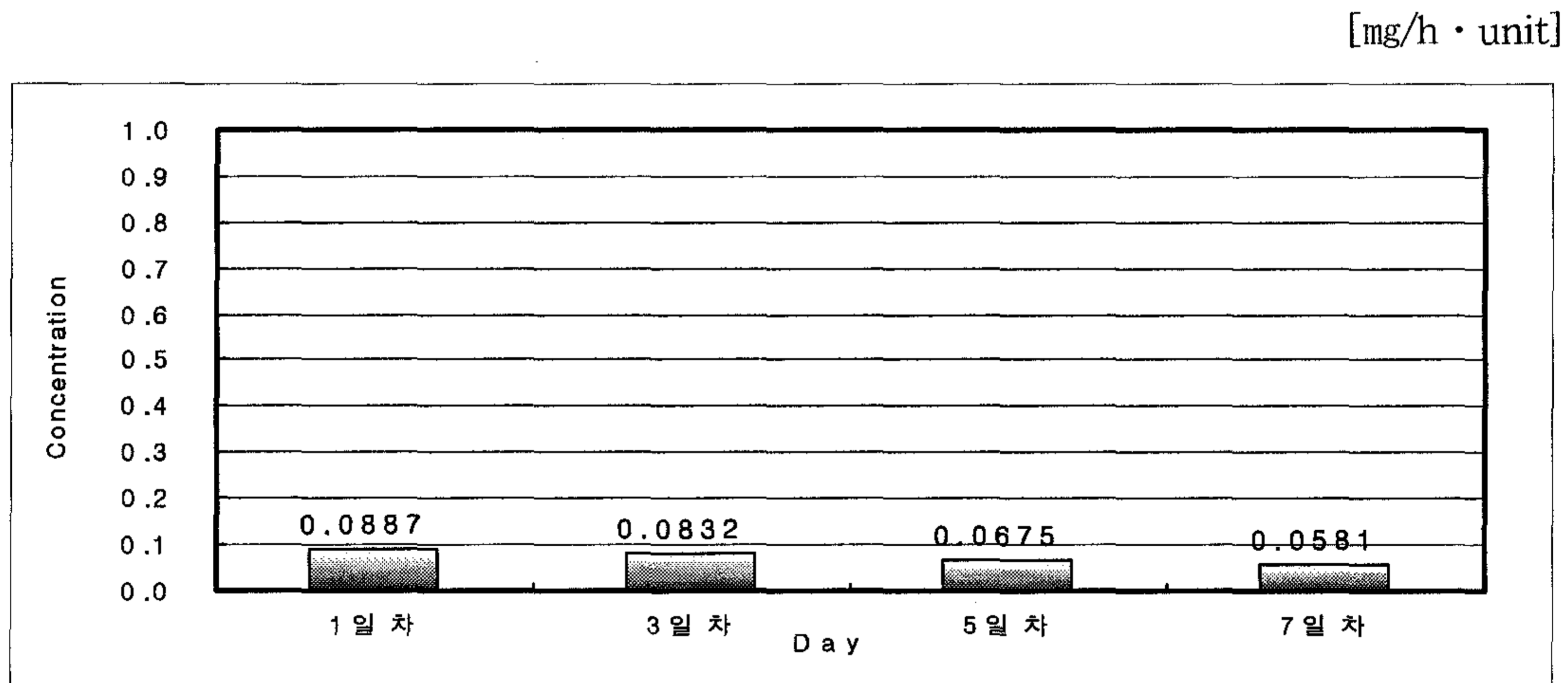


Figure 62. Formaldehyde emission concentration of shoes chest with E0 boards

## 6. 학생용 신발장 [E2등급 소재 사용]

### 가. VOCs

측정된 학생용 신발장은 위 항목의 신발장과 동일한 크기와 규격이며 제작 소재만 E2 등급의 소재를 사용한 가구이다. 7일간 방산 후 TVOC 방산량은 0.4758 mg/h · unit로 검출되었으며 E0 등급 소재를 사용한 가구에 비해서는 TVOC의 방산량이 약 3배정도로 방산되었다. 개별 물질 중 톨루엔이 0.3725 mg/h · unit로 전체 VOC 방산량의 70%를 차지하였고 톨루엔이외에도 자일렌류와 에틸벤젠 등이 검출되었다. Figure 63에서 일별로 측정된 TVOC 방산량을 나타내었으며 그래프에서 보여주듯이 시간이 경과함에 따라 점차 감소하여 7일경과 후 방산량이 1일 경과 후 방산량에 비해 50% 감소됨을 알 수 있다(Table 24).

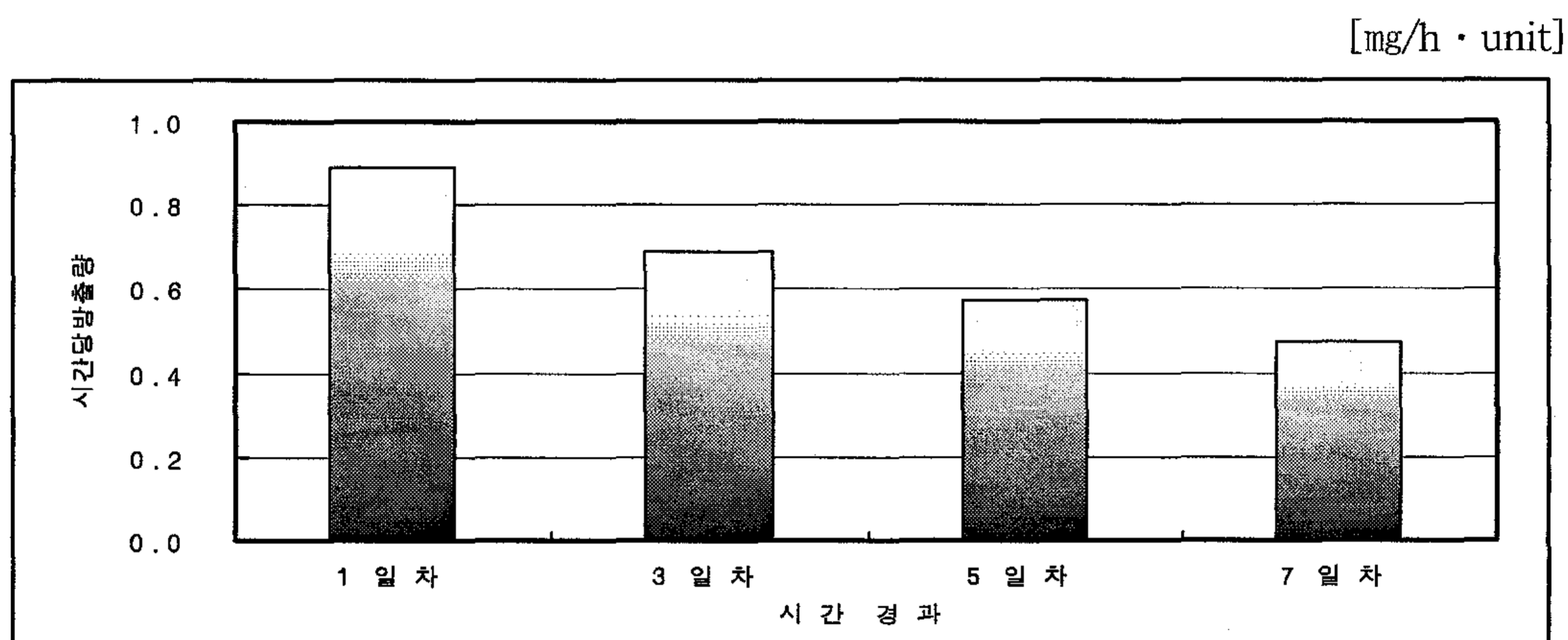


Figure 63. TVOC emission concentration of shoes chest with E2 boards

Table 24. Main VOCs emission concentration of shoes chest with E2 boards.

Compound Name	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0001	0.0001	0.0002	0.0003
Toluene	0.7598	0.5706	0.4711	0.3725
Ethylbenzene	0.0016	0.0012	0.0015	0.0014
p-Xylene	0.0047	0.0037	0.0036	0.0034
Styrene	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
o-Xylene	0.0023	0.0018	0.0017	0.0017
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007
Unidentified	0.1216	0.1104	0.0925	0.0954
TVOC(mg/m <sup>3</sup> )	0.8912	0.6889	0.5715	0.4758

나. 포름알데히드

Figure 64는 E2 등급 소재 사용 학생용 신발장의 일별로 측정된 방산량을 보여준다. 그래프에서 볼 수 있듯이 7일간 방산 후 포름알데히드의 방산량은 0.2350 mg/h·unit 으로 나타났으며 이는 E0등급의 소재를 사용하였을 때보다 약 4배가 되는 수치이다. 또한 1일, 3일, 5일, 7일의 각 일별로 방산량을 비교해 볼 때 감소량이 적음을 볼 수 있다.

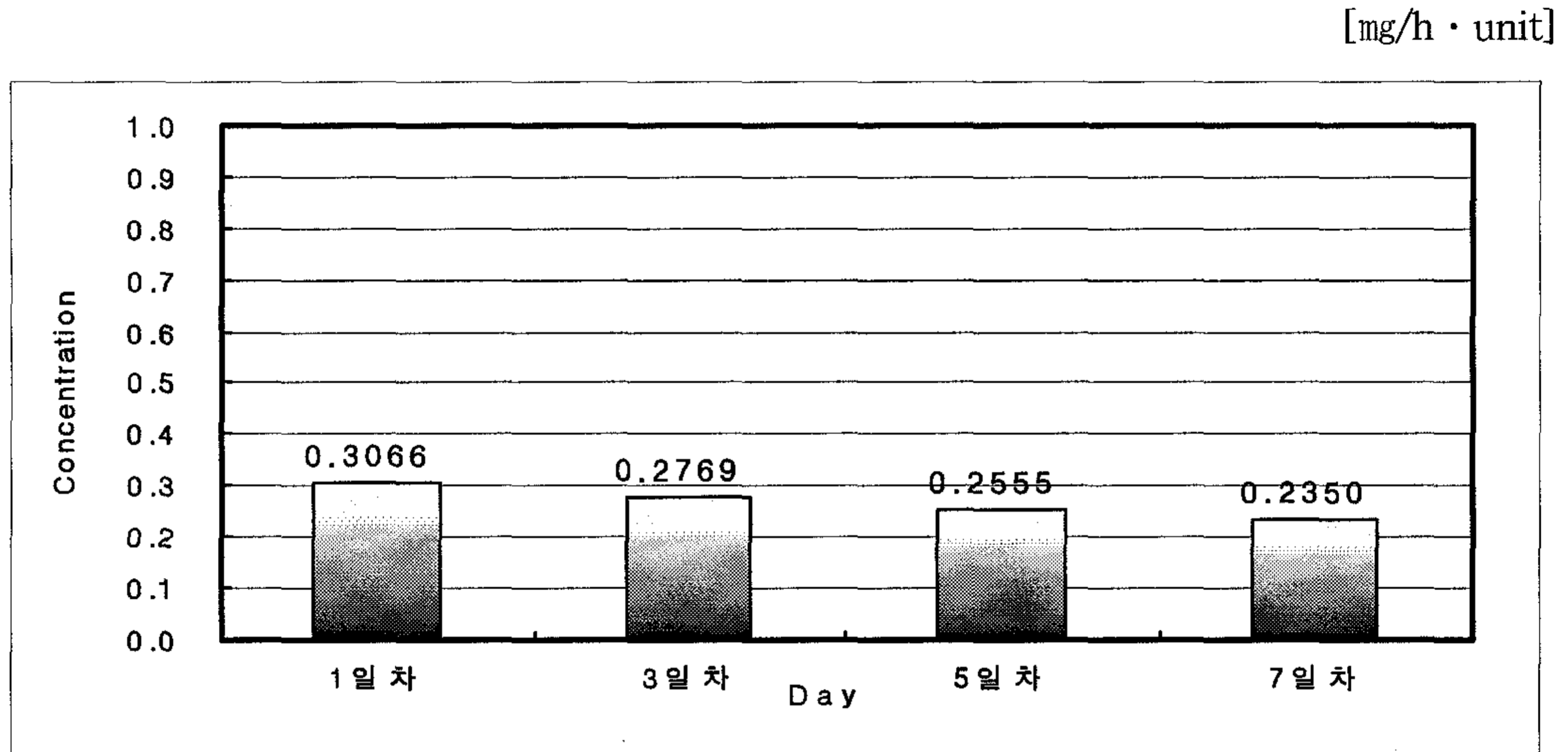


Figure 64. Formaldehyde emission concentration of shoes chest with E2 boards

제 3 항 결 론

Figure 64와 Table 25에서 알 수 있듯이 사용 종류 및 규격 등이 동일하고 사용 소재만 상이한 제품을 각각 측정 후 비교하여 나타낸 그래프를 보면 육안으로 구분이 확인할 수 있을 정도로 차이가 남을 알 수 있다. 시험용으로 제작하여 측정한 E0등급 소재 사용 가구와 E2등급 소재 사용 가구를 보면 TVOC의 경우 평균 3배정도의 방산량 차이가 있었으며 포름알데히드의 경우 작게는 4배에서 크게는 6배 까지 방산량의 차이가 있었다. 또한 가구 별 측정된 결과의 공통점은 시간의 경과에 따른 방산량의 변화 특성이다. VOCs의 경우 측정 기간인 7일간 방산함에 따라 다소 차이는 있으나 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 포름알데히드의 경우 측정한 7일간은 방산량이 거의 변하지 않고 일정한 모습을 볼 수 있다. 이는 건강한 실내 환경을 위해서 가구를 만드는 제조업체의 올바른 지향성을 말해준다.

일반적으로 주택이나 사무실은 옷장, 책상, 책장, 침대, 의자, 서랍장 등 가구들로 들어차게 된다. 최근 활발하게 진행되고 있는 건축자재에서의 화학물질 방산시험을 통



한 등급제 못 지 않게 가구와 같이 사용되는 수가 많은 생활용품에서의 화학물질 방산문제도 중요시 되어야 할 것이다.

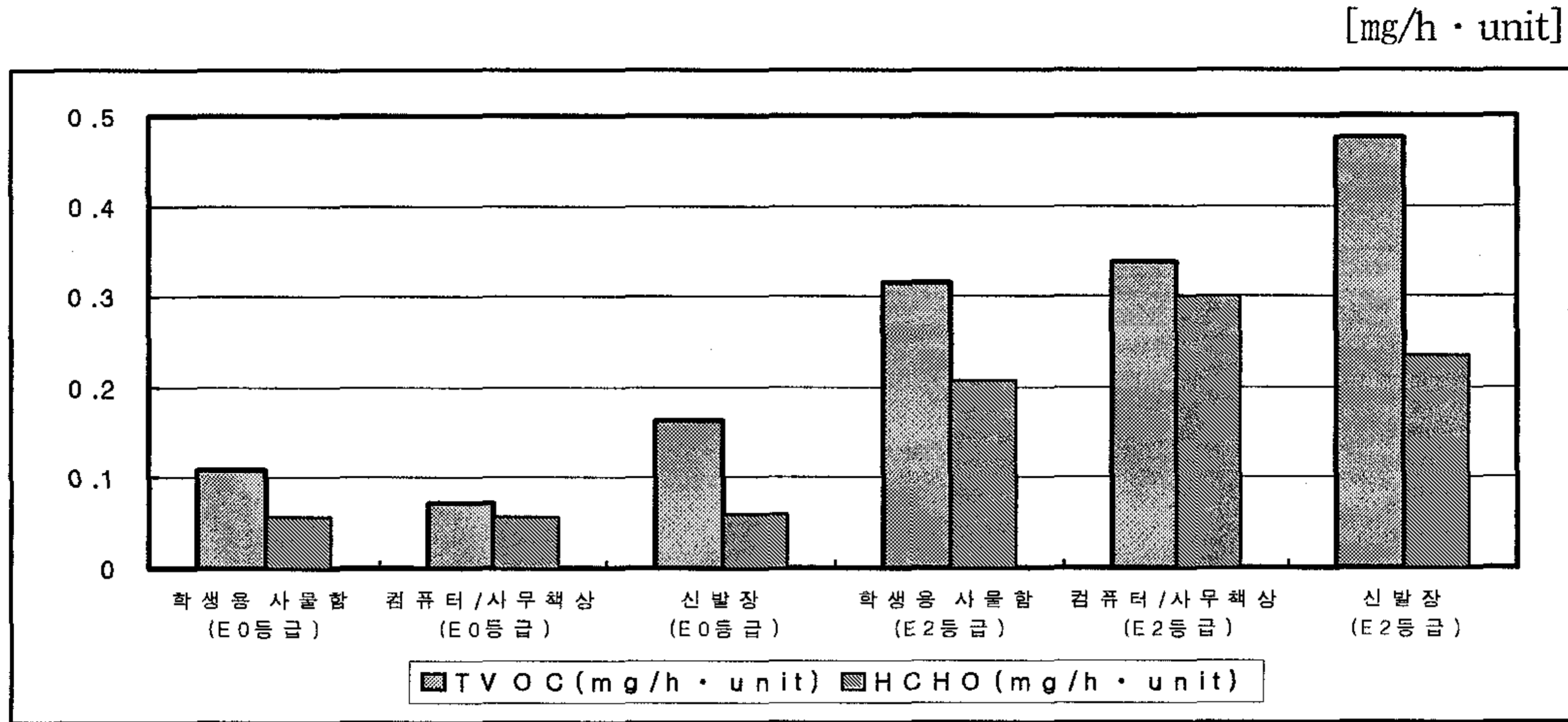


Figure 65. TVOC and Formaldehyde emission concentration of furnitures using E0, E2

Table 25. TVOC and Formaldehyde emission concentration of furnitures using E0, E2

종류	TVOC (mg/h·unit)		HCHO (mg/h·unit)	
	E0등급	E2등급	E0등급	E2등급
학생용 사물함	0.1084	0.3164	0.0556	0.2072
컴퓨터/사무책상	0.0704	0.3372	0.0578	0.3011
신발장	0.1631	0.4758	0.0581	0.2350

# 제 7 절 폐MDF폭쇄섬유를 이용한 MDF제조 및 Scavener로 서의 숯이용

## 제 1항 재료및 방법

### 1. 공시 재료

#### 가. 공시목질재료

목탄-목재섬유 혼합보드를 제조하기 위하여 사용한 목재섬유는 현재 인천소재 D사에서 Defibrater로 제조한 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)를 분양받아 사용하였으며 이때 목재섬유의 기건 함수율은  $8\% \pm 0.32$ 였다.

#### 나. MDF 폐잔재

시중에서 사용했던 가구용이나 판상용으로 사용되었던 MDF를 폭쇄처리(240℃, 2시간, 40mesh이하 통과분)를 하여 사용하였다.

#### 다. 접착제

MDF의 제조시 사용된 E1, E2용 요소수지는 NVC(Non volatile content)가 각각 58.5%, 52%로 현재 인천소재S사에서 분양받아 사용하였다.

#### 라. 경화제

경화제는 10%염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )수용액을 실험실에서 제조하여 사용하였다.

#### 마. 내수제

MDF의 물리적 성질 등을 개선하기 위하여 Paraffin Wax Emulsion(NVC44%)을 인천소재 S사에서 분양받아 사용하였다.

#### 바. 첨가제

##### 1) 활성탄

활성탄은 국내에 가장 많이 보급되는 야자수활성탄을 사용하였으며 탄입의 크기는 6~18메쉬 정도였다.

##### 2) 백탄

백탄은 강원도 홍천산 25년생 이상의 굴참나무(*Quercus variabilis* BI.)로 제조된 원료를 사용하였다.



### 3) 대나무 숲

대나무 숲은 경상남도 남부 일대에 자생하는 왕죽을 600~800℃로 소성한 경남 산청군 단성면 길리의 K사에서 구입하여 사용하였다.

### 4) 생활폐잔재 흑탄

생활폐잔재 흑탄은 생활물질 폐기물(MDF40%, PB30%, 합판 15%, 목재 15%)을 600~800℃로 건류한 흑탄을 경북 김천의 S사에서 분양받아 사용하였다.

## 사. 포름알데히드 방산 시험용 시약

포름알데히드 방산량 측정 시험용 시약으로 초산암모늄, 빙초산, 아세틸아세톤을 사용하였으며, 포름알데히드 표준원액의 검정에는 0.1N 요오드용액, 1N수산화칼륨, 1N 황산수용액, 0.1N 티오황산나트륨을 사용하였다.

## 2. 실험방법

### 가. MDF 폐재의 폭쇄처리

폐잔재를 이용한 MDF를 제조하기 위하여 MDF 폐잔재를 폭쇄처리하였다.

MDF 폐잔재를 Chipper를 이용해서 칩으로 만든 후 240℃, 2hr으로 폭쇄처리를 하여 40mesh screen 이하 통과분(Figure 66)을 사용하였다.

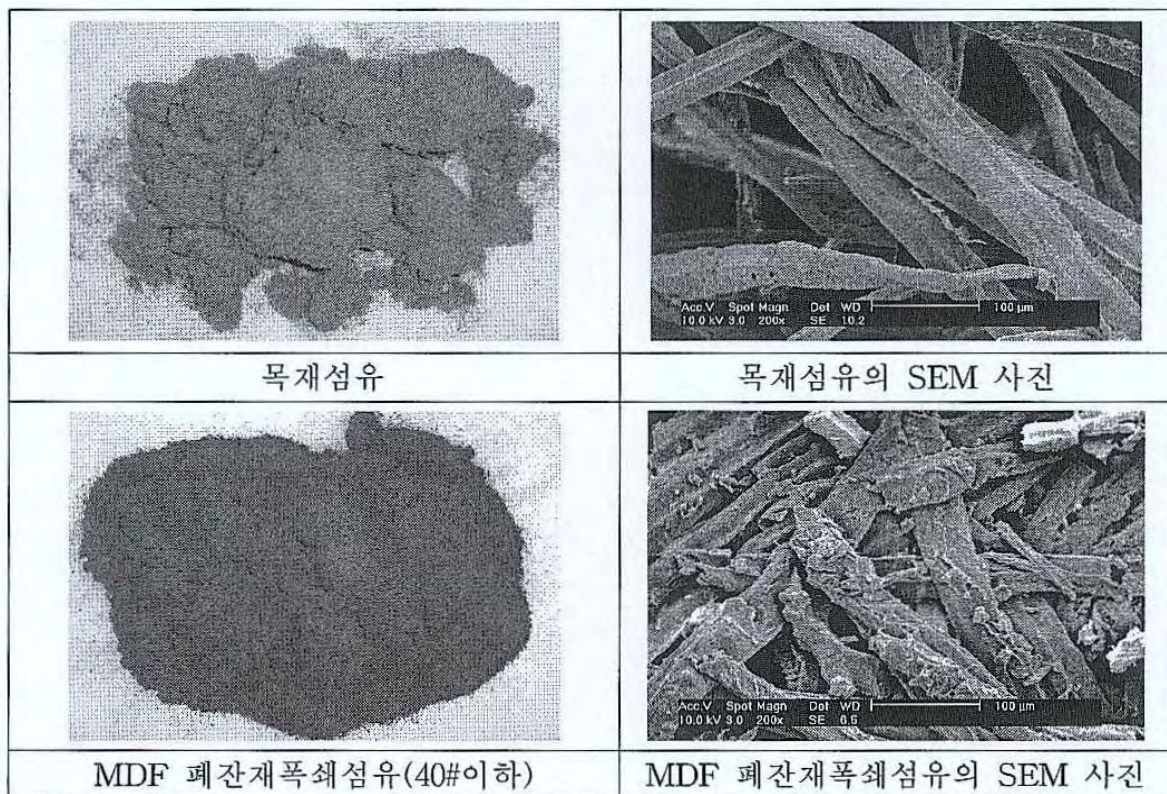


Figure 66. 목재섬유와 MDF 폐잔재 폭쇄섬유



나. 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 혼합보드의 제조

목질섬유와 MDF폐재폭쇄섬유의 혼합보드를 제조하기 위하여 건식공정으로 Fiber와 MDF폐재폭쇄섬유를 혼합하여 보드를 제조하였다. 목재섬유와 MDF폐재폭쇄섬유를 Oven-dry(105℃, 24hr)에서 전건 시킨 후 목재섬유와 MDF폐재폭쇄섬유 혼합비를 100:0, 90:10, 75:25, 50:50 4조건으로 하여 접착제는 목재섬유의 전건중량당(13%), 내수제(Paraffin Wax Emulsion)는 접착제 요소수지의 고형분당 4%, 경화제(NH<sub>4</sub>Cl)은 접착제 요소수지 고형분당 1.4%로 하였다.

목재섬유와 MDF폐재폭쇄섬유 그리고 접착제를 잘 혼합하기 위하여 실험실에서 자체 개발한 파이버 분산기 Blower(Figure 67)를 사용하였다.

분산기로 혼합 한 목재섬유와 MDF폐재폭쇄섬유를 40cm×40cm 크기로 된 Forming box에 넣어 성형을 하여 최종매트함수율 30%에서 다음과 같은 3단계열압공정으로 열압하였다. 열압온도 170℃, 압력(시간)은 30kg/cm<sup>2</sup>(120sec)-20kg/cm<sup>2</sup>(180sec)으로 건식 열압 방법으로 MDF를 제조 하였다.

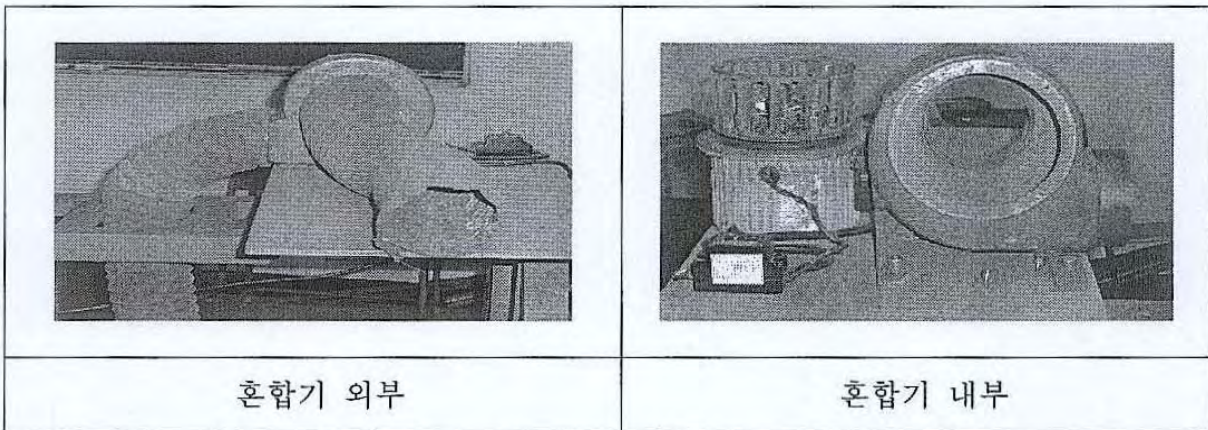


Figure67. 파이버 분산용 Blower

다. 목질섬유-숯 보드 제작

E1수지를 사용한 숯(활성탄, 백탄, 대나무 숯, 생활폐잔재 흑탄)을 첨가한 MDF는 열압온도 170℃, 압력(시간)은 40kg/cm<sup>2</sup>(120sec)-30kg/cm<sup>2</sup>(180sec)으로 건식열압 방법으로 MDF를 제조 하였다.

라. MDF의 물리적 성질 조사

제조된 MDF의 물리적 성질은 KS F 3200(섬유판)에 의거하여 측정하였다.

마. MDF의 기계적 성질 조사

제조된 MDF의 기계적 성질은 KS F 3200(섬유판)에 의거하여 영국 Houndsfield사에



서 제작한 만능강도시험기 QMAT를 사용하여 측정하였다.

#### 바. 포름알데히드 방산량 조사

포름알데히드 방산량을 측정하기 위하여 KS F 3200(섬유판)에 준하여 Shimadzu사의 UV-spectrophotometer를 사용하였다. 실험 방법으로 포름알데히드 측정 방법 중 24hr-데시게이터 법으로 약 10ℓ 용량의 데시게이터 바닥에 300ml의 증류수가 들어 있는 직경120mm, 높이 60mm의 결정접시를 놓는다. 그 위에 50×150mm<sup>2</sup> 크기의 시험편 10개를 놓는다. 데시게이터 20℃의 온도에서 24시간 방치한다. 그 후 결정접시 내의 물중에 포함되어 있는 포름알데히드를 아세틸아세톤법에 의한 분광광도계를 사용하여 비색 정량한다. 이 방법에 의해 측정된 포름알데히드는 수중농도로서 mg/ℓ로 표시하였다.

#### 사. 통계처리

각 조건별로 제조한 제품의 물리·기계적 성질에 대하여 통계적인 유의성을 알아보기 위하여 던컨의 신다중검정법(Duncan's new multiple range test)으로 통계분석 하였다.

### 제 2 항 연구수행 내용 및 결과

#### 1. 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 혼합보드와 숯을 첨가한 MDF의 제조

목재섬유와 MDF폐재폭쇄섬유 혼합비를 100:0, 90:10, 75:25, 50:50 4조건으로 하여 40cm×40cm×1cm의 크기로 열압온도 170℃, 30kg/cm<sup>2</sup>(3분)-20kg/cm<sup>2</sup>(2분)의 건식열압방법으로 E2수지를 사용하여 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 혼합보드의 제조를 성공하였다.

또한 E1수지에 숯(활성탄, 백탄, 대나무 숯, 생활폐잔재 흑탄)을 첨가하여 열압온도 170℃, 40kg/cm<sup>2</sup>(3분)-30kg/cm<sup>2</sup>(2분)의 건식 열압방법으로 MDF를 제조 하였다.

제조된 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드와 숯을 첨가한 MDF는 Figure 68, 69와 같다.

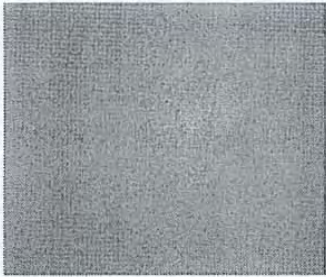
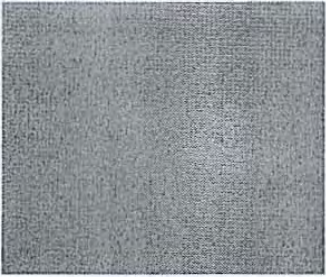
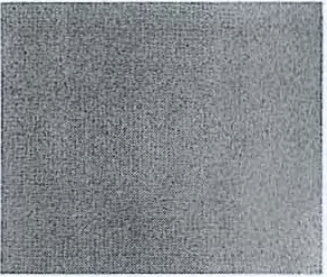
		
Fiber 100% (E2형)	Fiber75%+폐 잔재25% (E2형)	Fiber50%+폐 잔재50% (E2형)

Figure 68. 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드

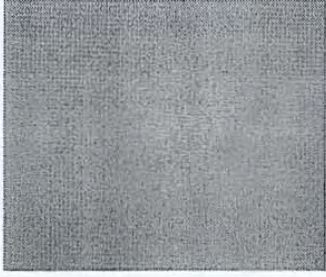


		
Fiber 100% (E1형)	Fiber 100%(E1형) + 흑탄(40~60#, 5%)	Fiber 100%(E1형) + 활성탄(100~200#,5%)

Figure 69. MDF(숯 첨가)

## 2. 제조된 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 보드의 물리적 성질

MDF 제조시, 목재 섬유와 MDF폐잔재폭쇄섬유의 비율에 따른 MDF의 물리적 성질은 Table 1과 같다. MDF폐잔재폭쇄섬유 첨가시 물리적 성질의 변화는 거의 없었으나 폐잔재폭쇄섬유를 50%를 첨가 하였을 시 밀도가 0.72로 밀도의 감소가 나타났으며 폐잔재폭쇄섬유의 첨가는 흡습율을 약간 증가시키는 경향을 나타냈다.



Table 26. 제조된 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드의 물리적 성질

처리조건	밀도		흡수율		두께팽윤율		흡수율	
	(g/cm <sup>3</sup> )		(%)		(%)		(%)	
	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN
Fiber100% (E2형)	0.85±0.03	B	6.64±0.12	B	11.02±2.280	A	14.64±2.145	A
Fiber90%+ 폐폭쇄섬유10%(E2형)	0.83±0.005	B	5.83±0.54	A	11.76±1.993	A	26.39±0.896	B
Fiber75%+ 폐폭쇄섬유25%(E2형)	0.82±0.007	B	5.79±0.201	A	10.78±2.331	A	22.58±6.298	A
Fiber50%+ 폐폭쇄섬유50%(E2형)	0.72±0.014	A	5.46±0.375	A	10.71±1.211	A	25.45±2.736	AB

가. 밀도

제조된 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 보드 모두가 KS F 3200(0.35~0.85)의 중밀도 섬유판 제조 조건과 맞게 제조 되었다. Figure 70은 MDF의 제조 조건에 따른 밀도를 나타낸 것이다. MDF폐잔재폭쇄섬유를 이용한 경우를 보면 MDF폐잔재폭쇄섬유를 25% 이용했을 때까지는 밀도의 차이가 거의 없었지만, 50%로 활용하였을 경우에는 0.1에 가까운 밀도의 감소를 보였다.

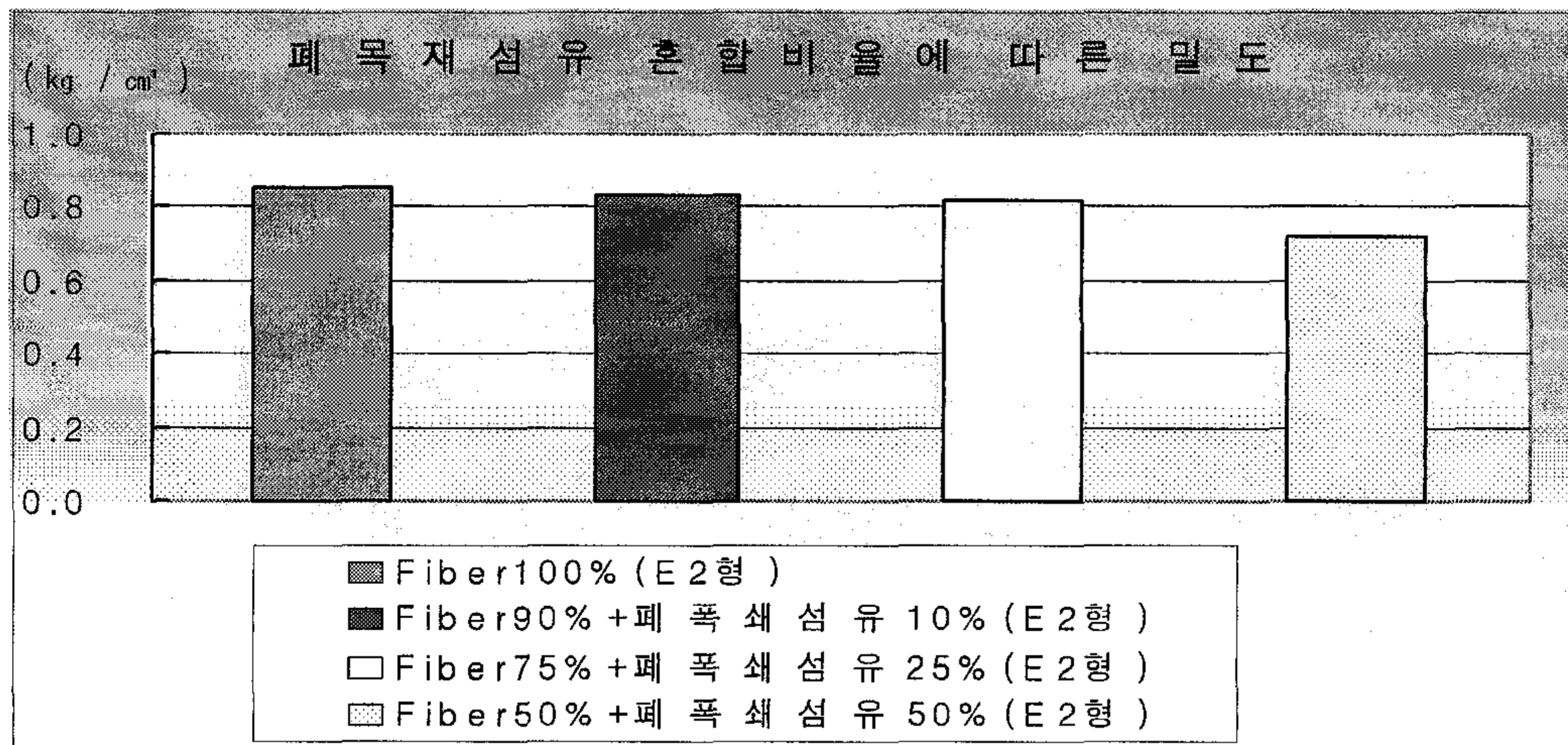


Figure 70. 제조된 MDF의 밀도

나. 흡수율

Figure 71은 MDF의 제조조건에 따른 흡수율의 결과를 나타낸 것이다. KS F 3200 (섬유판)의 규격인 5~13%를 보여 모두 만족하였다. MDF폐잔재폭쇄섬유의 경우 함량이 많아질수록 흡수율은 낮아지는 경향을 나타내었다.

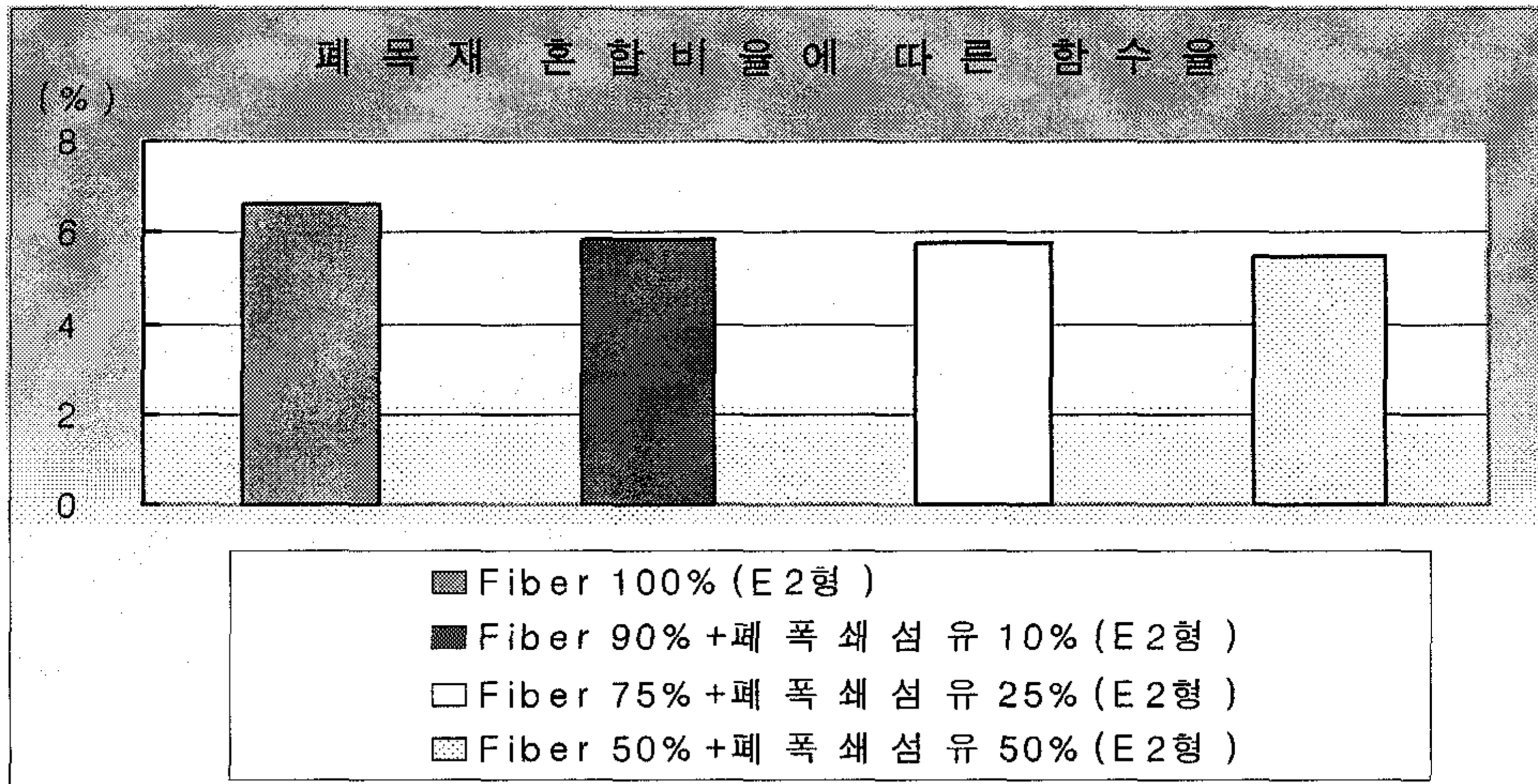


Figure 71. 제조된 MDF의 함수율

다. 함수율과 두께팽윤율

Table 26에서 두께팽윤율은 모두 KS F 3200(12%이하)을 만족하였다. 오리지널 Fiber100%로 만든 MDF의 함수율은 낮고 두께팽윤율은 약간 높았다. 이는 MDF폐잔재폭쇄섬유가 절단되고 폭쇄되어 수분 흡수가 잘 되나 밀도가 낮아짐으로서 야기된 것으로 판단된다.

3. 제조된 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 보드의 기계적 성질

목질섬유와 MDF폐잔재폭쇄섬유 혼합보드의 기계적 성질은 Table 27에서 보여진다. Control(Fiber 100%)에 비해 MDF폐잔재폭쇄섬유의 혼합비율에 따른 휨강도를 보면 혼합비가 9:1, 7.5:2.5, 5:5가 됨에 따라 휨강도, 박리강도의 저하가 현격히 나타나는 경향을 볼 수가 있었다.

Table 27. 제조된 목질섬유-MDF폐잔재폭쇄섬유 보드의 기계적 성질

처리조건	MOR (N/mm <sup>2</sup> )		MOE (N/mm <sup>2</sup> )		IB (N/mm <sup>2</sup> )	
	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN
Fiber100% (E2형)	27.06±3.920	C	1675±91.82	B	0.329±0.02	B
Fiber90%+폐 목재 섬유 10%(E2형)	22.74±2.64	BC	1467±148.3	B	0.32±0.021	B
Fiber75%+폐 목재 섬유 25%(E2형)	19.18±0.392	B	1341±38.85	AB	0.314±0.045	B
Fiber50%+폐 목재 섬유 50%(E2형)	12.47±0.459	A	1196±72.02	A	0.234±0.028	A



가. 휨강도 시험

Figure 72는 휨강도 시험 결과를 나타낸 것으로, Control과 폐폭쇄섬유 25%첨가까지 KS F 3200 15형(15N/mm<sup>2</sup>이상)을 만족하였다. MDF폐잔재폭쇄섬유를 첨가 할수록 휨강도가 현저히 떨어지는 경향을 나타내었으며 이는 그림1에서 보는바와 같이 MDF폐잔재폭쇄섬유는 길이가 많이 절단된 상태로 되어 있기 때문인 것으로 추정된다.

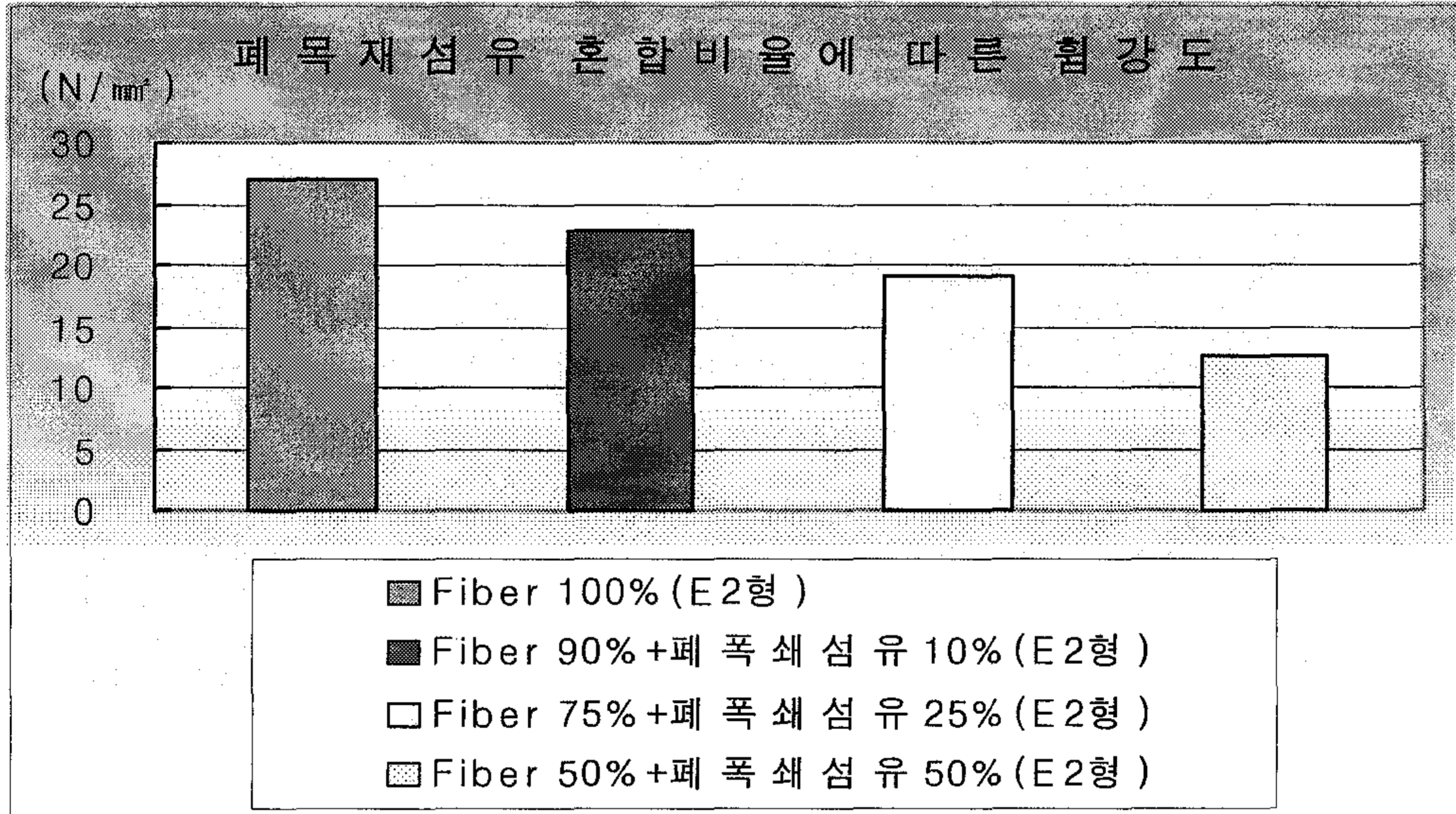


Figure 72. 제조된 MDF의 휨강도(N/mm<sup>2</sup>)

나. 박리 강도 시험

Figure 73은 MDF의 박리 강도를 나타 낸 것으로, 휨강도와 마찬가지로 Control과 폐폭쇄섬유 25%첨가까지 KS F 3200 15형(0.3N/mm<sup>2</sup>이상)을 모두 만족시켰다. MDF폐잔재폭쇄섬유를 첨가하였을 경우 휨강도와 마찬가지로 박리강도 또한 저하되는 경향을 나타내었다.

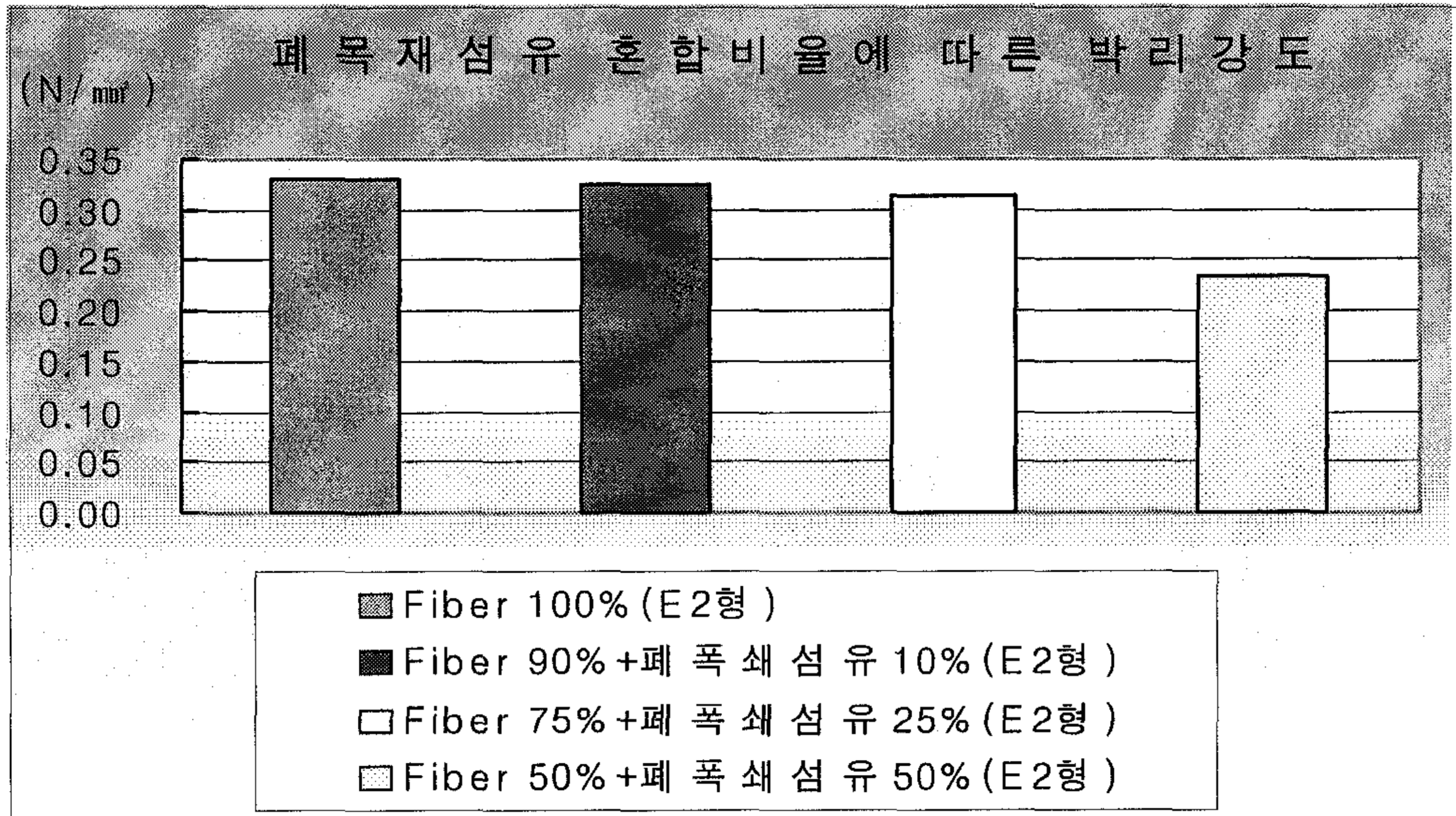


Figure 73. 제조된 MDF의 박리강도(N/mm<sup>2</sup>)

4. 제조된 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드의 포름알데히드 방산량

제조된 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드의 포름알데히드 방산량은 Table 28과 같다. Table 28에서 보는 바와 같이 MDF폐재폭쇄섬유의 첨가량에 따른 포름알데히드 방산량은 변화가 거의 없었다.

Table 28. 제조된 목질섬유-MDF폐재폭쇄섬유 보드의 포름알데히드 방산량

처리조건	흡광도	포름알데히드 방산량(mg/l)
Fiber 100%(E2형)	0.469	1.970
Fiber 90%+폐목쇄섬유10%(E2형)	0.446	1.944
Fiber 75%+폐목쇄섬유25%(E2형)	0.441	1.922
Fiber 50%+폐목쇄섬유50%(E2형)	0.450	1.960

5. 숯필러를 첨가하여 제조된 MDF의 물리적 성질

숯을 첨가하여 제조된 MDF의 물리적 성질은 Table 29와 같다. Table 29에서 보는 바와 같이 숯의 5%까지의 첨가는 MDF의 물리적 성질에 어떠한 영향도 끼치지 않는다



다는 것을 알 수 있다. 제조된 MDF(숯 첨가)의 밀도는 압력을 40 kg/cm<sup>2</sup>으로 다소 높게 주어 중밀도보다 약간 상회하였다.

Table 29. 제조된 MDF(숯 첨가)의 물리적 성질

처리조건	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )		함수율 (%)		두께팽윤율 (%)		흡수율 (%)	
	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN
Fiber100% (E1형)	0.89±0.11	A	6.43±0.255	A	11.04±0.955	A	24.59±1.317	A
Fiber100%(E1형) +흑탄(40~60#,5%)	0.89±0.008	A	6.79±0.453	A	11.02±0.914	A	24.59±2.770	A
Fiber100%(E1형)+ 활성탄(100~200#,5%)	0.87±0.025	A	5.97±0.606	A	10.96±1.288	A	26.41±2.665	A

#### 6. 제조된 MDF(숯 첨가)의 기계적 성질

첨가된 숯(활성탄, 생활 폐잔재 흑탄)은 보드의 기계적 성질에 큰 영향을 주지 않아 제조된 MDF 모두 KS F 3200(섬유판)의 규격(중밀도섬유판25형: 휨강도-25N/mm<sup>2</sup>, 박리강도-0.4N/mm<sup>2</sup>)을 충분히 만족시켰다(Table 30).

Table 30. 제조된 MDF(숯 첨가)의 기계적 성질

처리조건	MOR (N/mm <sup>2</sup> )		MOE (N/mm <sup>2</sup> )		IB (N/mm <sup>2</sup> )	
	평균	DUN	평균	DUN	평균	DUN
Fiber100% (E1형)	39.28±3.365	B	2629±23.54	A	0.509±0.164	A
Fiber100%(E1형) +흑탄(40~60#, 5%)	28.72±2.464	A	2331±102.2	A	0.460±0.076	A
Fiber100%(E1형) + 활성탄(100~200#,5%)	35.72±6.101	AB	2518±276.6	A	0.438±0.093	A

가) 휨강도 시험

제조된 MDF(숯 첨가)의 휨강도는 KS F 3200(섬유판)의 규격인 25N/mm<sup>2</sup>(25형)을 모두 만족시켰다. 이는 숯의 첨가가 휨강도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다(Figure 74).

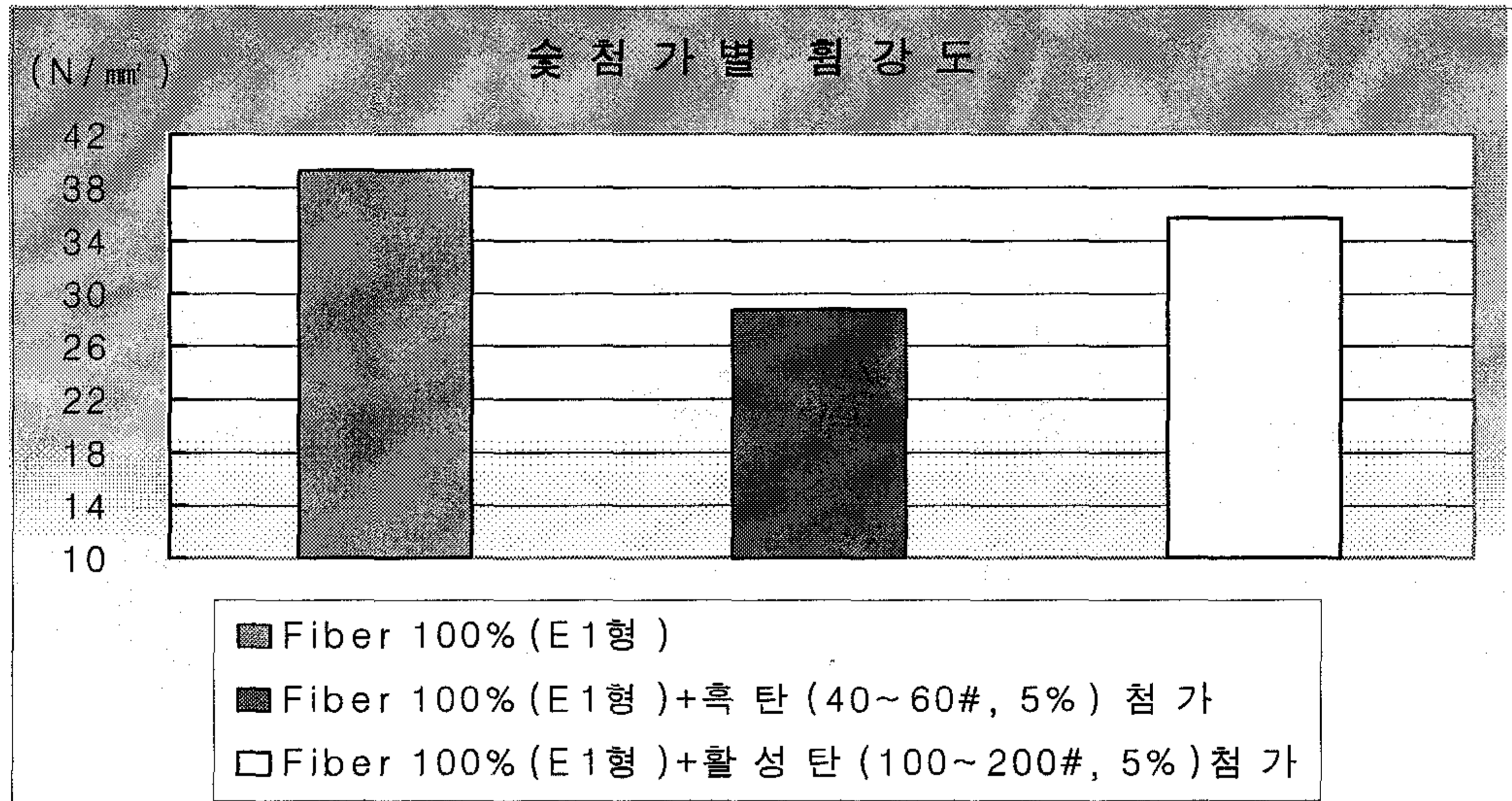


Figure 74. 제조된 MDF(숯 첨가)의 휨강도

나) 박리강도 시험

제조된 MDF(숯 첨가)의 박리강도는 KS F 3200(섬유판)의 규격인 0.4N/mm<sup>2</sup>(25형)을 모두 만족시켰다. 이는 숯의 첨가가 박리강도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다 (Figure 75).

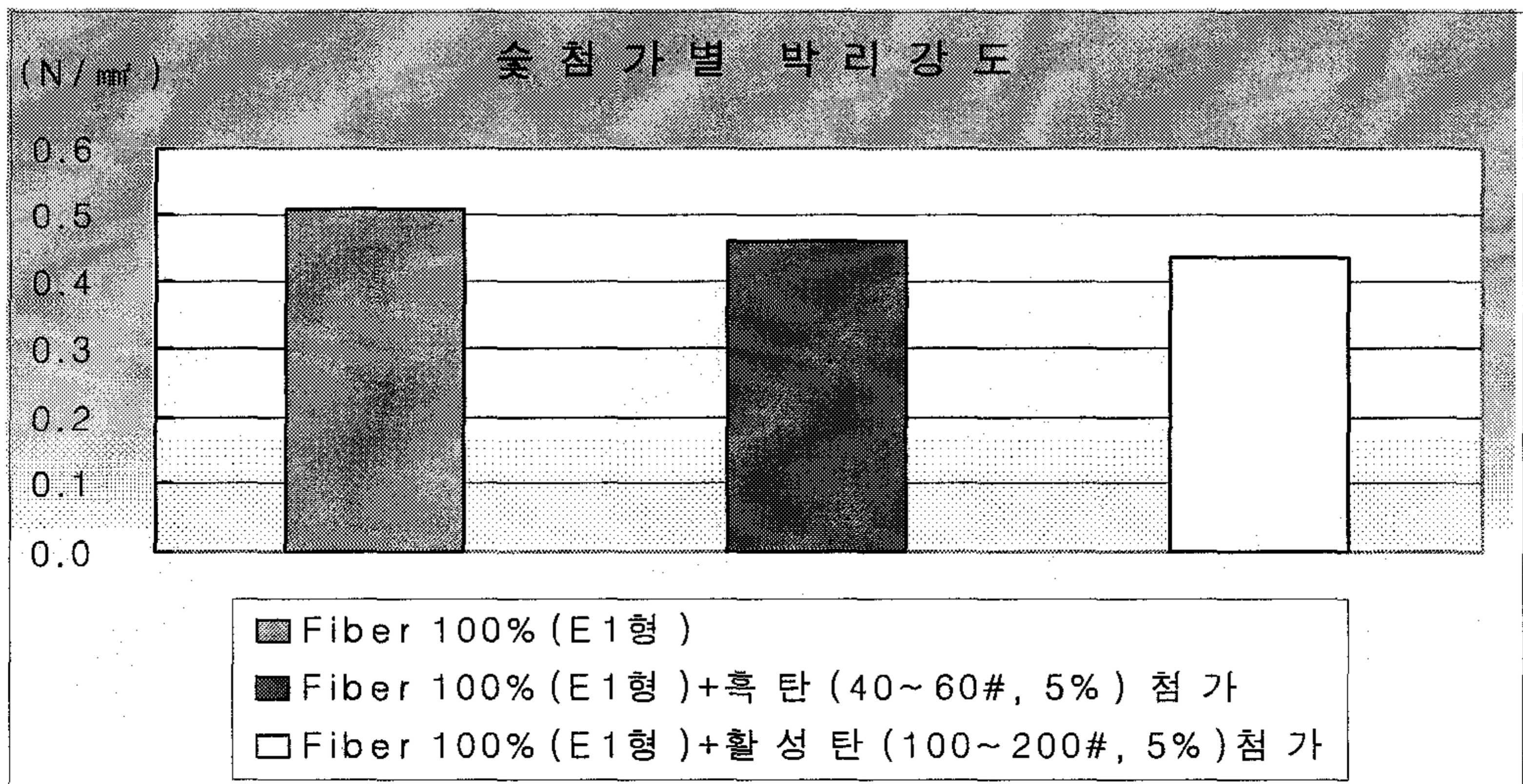


Figure 75. 제조된 MDF(숯 첨가)의 박리강도



다) 포름알데히드 방산량

숯을 첨가한 MDF는 포름알데히드 방산량을 감소시키는 경향을 나타내었다. 이 중 대나무 숯(40~60#, 3%)은 우수한 흡착성능을 보여 E1수지를 E0형으로 방산량을 급격히 감소시켰고 활성탄(100~200#, 5%)도 E1수지를 E0형으로 방산량을 감소시켰다 (Table 31). 또한 활성탄(100~200#, 3%)과 생활 폐잔재 흑탄(40~60#, 5%)도 E0형에 근접하게 방산량을 감소시켰다(Figure 76). 그러나 산림과학원이 개발한 대나무숯필러는 우수한 포름알데히드제거제로 입증되었으나 단가가 높아 경제력이 다소 떨어지는 결점을 갖고 있다. 따라서 경제성을 고려해 볼 때 활성탄이나 생활 폐잔재 흑탄이 저실내공기 오염물질 MDF의 제조에 아주 우수한 스카벤저로서의 역할을 할 수가 있음을 알 수 있었다.

Table 31. 제조된 MDF(숯 첨가)의 포름알데히드 방산량

처리조건	흡광도	포름알데히드 방산량(mg/l)
Fiber 100%	0.202	0.880
Fiber 100% +대나무 숯(40~60#, 3%) 첨가	0.070	0.305
Fiber 100% +흑탄(40~60#, 3%) 첨가	0.141	0.615
Fiber 100% +활성탄(100~200#, 3%)첨가	0.118	0.514
Fiber 100% +흑탄(40~60#, 5%) 첨가	0.119	0.518
Fiber 100% +활성탄(100~200#, 5%)첨가	0.113	0.492

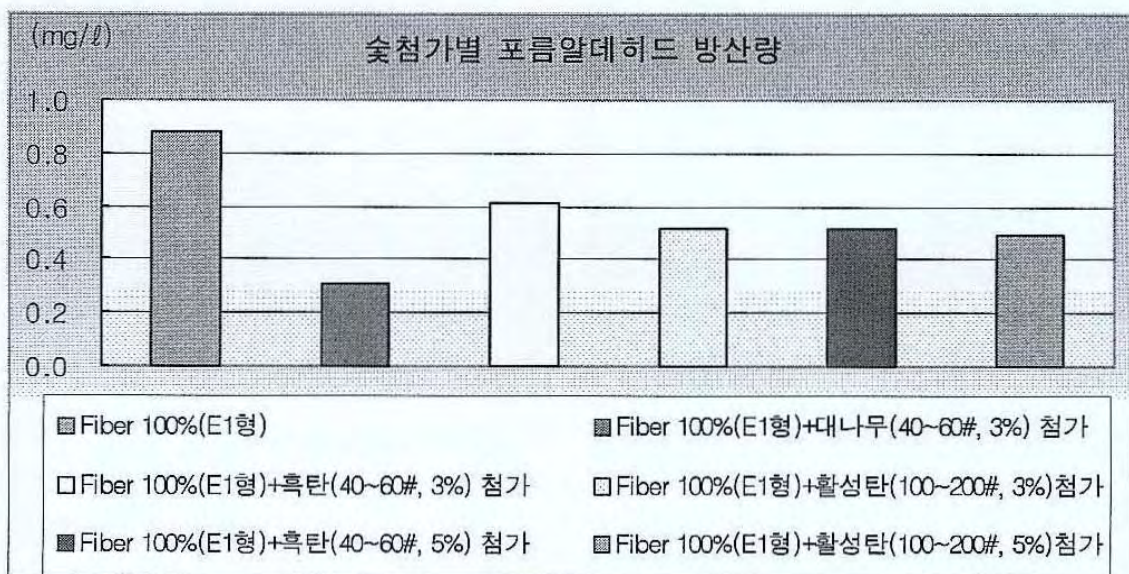


Figure 76. 포름알데히드 방산량

### 제 3항 결 론

본 연구에서는 MDF폐재 폭쇄섬유의 재활용과 포름알데히드 방산량을 감소하기 위하여 대나무숯가루와 활성탄 및 생활목질폐잔재로부터 건류한 흑탄을 사용했을 경우 MDF의 물리적, 기계적 성질과 포름알데히드 방산량을 측정한 결과는 아래와 같다.

1. MDF폐재 폭쇄섬유의 이용 - MDF폐재 폭쇄섬유를 사용하면 MDF폐재폭쇄섬유의 첨가율이 증가함에 따라 물리적 성질은 큰 차이가 없었지만 파쇄과정에서 섬유장이 원래길이보다 짧아짐으로 인해서 기계적 성질이 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 포름알데히드 방산량은 MDF폐재 폭쇄섬유의 첨가율에 따라 방산량의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

2. 활성탄의 이용 - E1수지에 활성탄을 5%첨가 하였을 경우 섬유판의 물리·기계적 성질에 큰 영향을 주지 않았으며 활성탄 자체의 뛰어난 흡착력으로 인해 섬유판의 포름알데히드 방산량을 E0형으로 낮출 수가 있었다. 이는 활성탄이 저 실내공기 오염물질 MDF의 제조에 첨가제로서의 역할을 훌륭히 할 수가 있음을 나타내었다.

3. 생활목재폐기물로부터의 건류 흑탄의 이용 - E1수지에 흑탄을 5% 첨가 하였을 경우 섬유판의 물리·기계적 성질에 약간의 저하가 있었다. 그러나 포름알데히드 방산량을 활성탄과 마찬가지로 E0급에 근접하게 낮출 수가 있었으며 활성탄과의 가격대 성능비로 볼 때 생활목재폐기물로부터의 건류흑탄은 아주 우수한 첨가제로서의 역할을 할 수가 있음을 알 수 있었다.



## 제 8절 폐MDF 및 목질폐잔재의 재활용 Board 제조 및 저오염 Board 제조를 위한 Scavenger로서의 활용

제 1항 폐MDF의 해리와 고해처리를 통한 고밀도 Fiber Board제조

### 1. 서론

한국의 목질보드 산업발전은 새로운 기술개발과 에너지 절약 공정 개발 및 생산성 향상, 그리고 안정적인 보드 산업을 위해서 원료확보가 무엇보다 시급히 필요하다. 더욱이 교토의 정서 기후 협약의 대비를 위해서는 산림 사업뿐만 아니라 목재 및 목질 재료의 재활용을 통한 이산화탄소 절감방법이 무엇보다 필요하다.

현재 한국에서 하루에 폐기되는 목질 계 폐기물은 Table 32와 같이 6000톤에 이른다. 이 중에서 생활 계 폐목재는 2454톤 중 2%인 62톤만이 재활용되고 1.228톤이 매립되고 1163톤이 소각되고 있다. 하지만 매립은 법적으로 금지되어 있으며, 소각 또한 타 쓰레기와 발열량 차이로 고비용의 로를 상하게 할 수 있어 실제로 외면되고 있는 실정이다. 이러한 폐기는 경제적, 환경적, 그리고 자원적인 측면에서 볼 때 크나큰 낭비이다. 폐기물의 재활용면에서 미국의 경우 접착제가 포함된 PB, MDF는 최대 2%까지만 허용한 것으로 목질 폐기물 가공업자들이 추정하고 있다<sup>140</sup>.

Table 32. Wood waste in 2004(ton/day)<sup>141</sup>

	incineration	reclamation	recycle	total
livelihood	1228.7	1163	62.5	2454.2
Industry	9.6	509.1	566.8	1085.5
Building	262.5	876.8	1394.4	2533.7
total	1500.8	2548.9	2023.7	6073.4
percent(%)	24.7%	42%	33.3%	100%

지금까지 목질 폐기물의 재활용을 보면, 사업장에서 나온 Pallet등의 우수한 폐기물은 MDF나 PB용으로 사용되고 있으며, 외국에서는 Shaving이나 톱밥을 이용하여 MDF를 만드는 것이 보고되고 있다. 폐MDF폐잔재에 관한 연구는 MDF재단 공정에서 부산되는 폐재를 회수하여 다시 Chipping, 증기처리, 해섬 공정을 거쳐 제품화했지만, 질이 떨어진 것으로 보고하고 있으며, Chipping후 햄머밀로 2차 파쇄하여 재생보드를 만들었으나 힘강도는 반으로 감소됨을 보고하였다.<sup>142</sup> 또한, 폐MDF를 Chipping후 폭쇄



처리하여 재생보드를 제작하였으나, 역시 섬유 절단에 의해 섬유장 길이가 감소하여 이에 따른 강도저하를 보였다.<sup>143</sup>

따라서 본 연구의 목적은 이러한 폐MDF를 기존의 방법과 달리 섬유의 절단을 최소로 하는 방안을 모색, 즉 파쇄나 분쇄가 아닌 해리 및 고해를 실시하여 Fiber board를 제조하여, 물리·기계적인 성질 및 포름알데히드 방산량을 알고 그 재활용의 가능성을 알아보고자 하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 가. 공시 재료

#### 1) 소나무Fiber (Figure 77)

MDF를 제조하기 위하여 사용한 천연 목재섬유는 인천소재D사에서 Defibrater로 제조한 소나무(*Pinus densiflora Sieb. et Zucc*)목재섬유(Fiber)를 분양받아 사용하였다. 천연 목재섬db(virgin fiber)의 길이는 2.5~3mm, 폭은 0.04~0.05mm이었고, 기건 함수율은 8%±0.32였다.

#### 2) 폐MDF 해리 및 고해처리 섬유

시중에서 사용했던 가구용이나 판상용으로 사용했던 폐MDF를 5cm크기로 1차 파쇄한후 물에 포화 시킨 후 해리 10분, 고해 15분간 처리하여 사용하였다. 폐MDF섬유의 길이는 2~3mm, 폭은 0.03~0.05mm이었다.

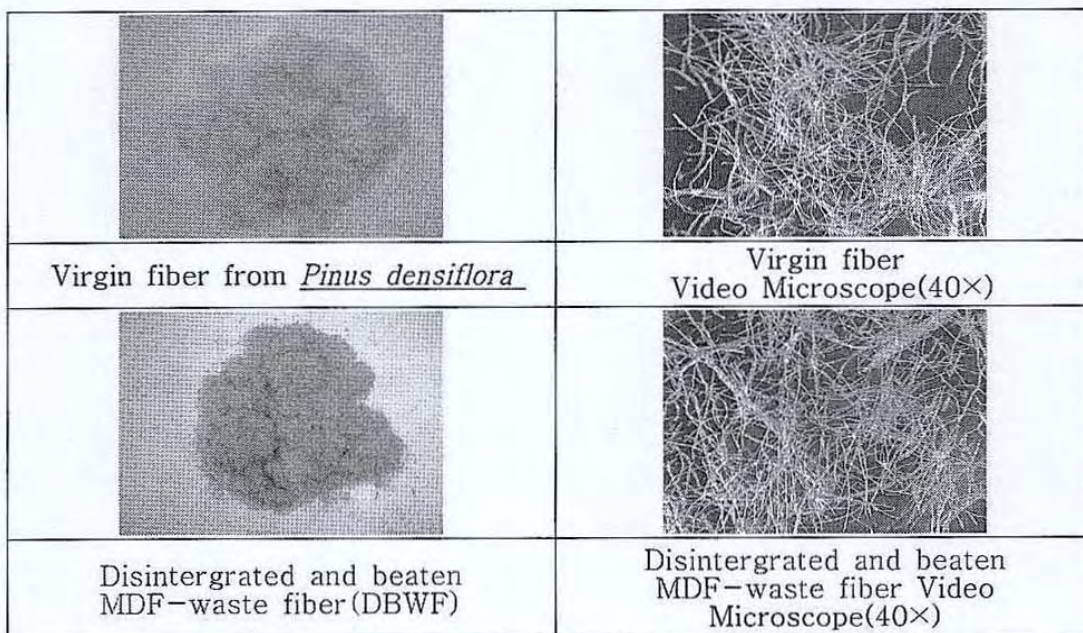


Figure 77. virgin fiber and disintergrated and beaten MDF-waste fiber

### 3) 접착제

E2형 요소수지(NVC 55%)는 현재 인천소재S사에서 분양받아 사용하였다.

### 4) 경화제

경화제는 10%염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 수용액을 제조하여 사용하였다.

### 5) 내수제

제조된 MDF의 물리적 성질 등을 개선하기 위하여 Paraffin Wax Emulsion(NVC44%)을 사용하였다.

### 6) 포름알데히드 방산 시험용 시약

포름알데히드 방산량 측정 시험용 시약으로 초산암모늄, 빙초산, 아세틸아세톤을 사용하였으며, 포름알데히드 표준원액의 검정에는 0.1N 요오드용액, 1N수산화칼륨, 1N 황산수용액, 0.1N 티오황산나트륨을 사용하였다.

## 나. 실험방법

### 1) 폐MDF 고해처리 (Figure 78)

시중에 사용했던 폐MDF를 5cm 크기로 1차 파쇄한 후 2일간 침지처리한 후, 이를 Mixer로 10분간 회전하여 해리를 촉진시킨 후 Vally Beater를 이용해 고해를 15분간 행하였다.

### 2) Fiber board 제조 (Figure 81)

전건상태의 천연 목재섬유와 폐MDF 고해처리 섬유를 혼합하여 제조하였다. 이때 사용한 고해처리 섬유는 해리 10분, 고해 15분 처리의 섬유를 사용하였다. 처리조건은 천연목재섬유 : 폐MDF 고해처리 fiber 비를 100 : 0, 50 : 50, 0 : 100으로 하여 제조하였다. 또한 접착제는 요소수지(12%), 내수제 PWE(Paraffin Wax Emulsion, NVC 38%)는 접착제 고형분당 0.48%, 경화제( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )는 접착제 고형분당 1.4%로 하였고 천연 목재섬유와 접착제가 충분히 결합할 수 있도록 매트와 최종함수율을 30%로 되게 하였다. 천연목재섬유와 폐MDF 고해처리 fiber 그리고 접착제를 잘 혼합하기 위하여 Figure 79, 80 에서 보는 바와 같이 실험실에서 자체 개발한 혼합기와 수지용 분무기를 사용하였다. 매트성형은 40cm×40cm 크기로 된 성형박스에 하였으며 열압 스케줄은 다음과 같다. 열압온도는 170℃, 압력은 40kg/cm<sup>2</sup>(8min) 의 건식 열압방법으로 목표 밀도 0.9(g/cm<sup>3</sup>)로 (40cm×40cm×0.7cm 크기의 파이버 보드(FB)로 제조하였다.



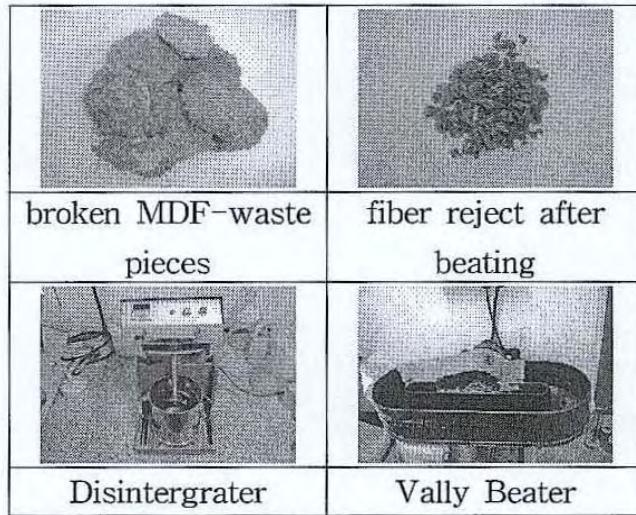


Figure 78. beaten MDF-waste fiber

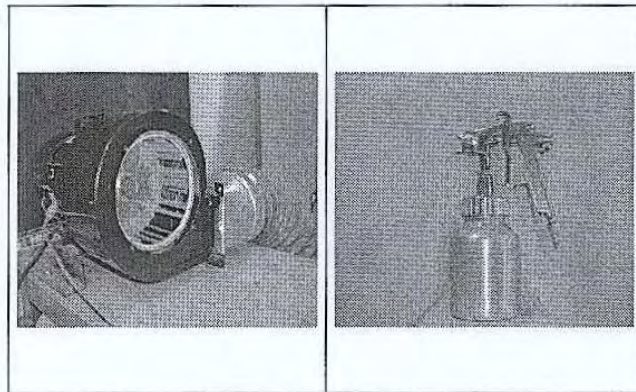


Figure 79. blower

Figure 80. sprayer

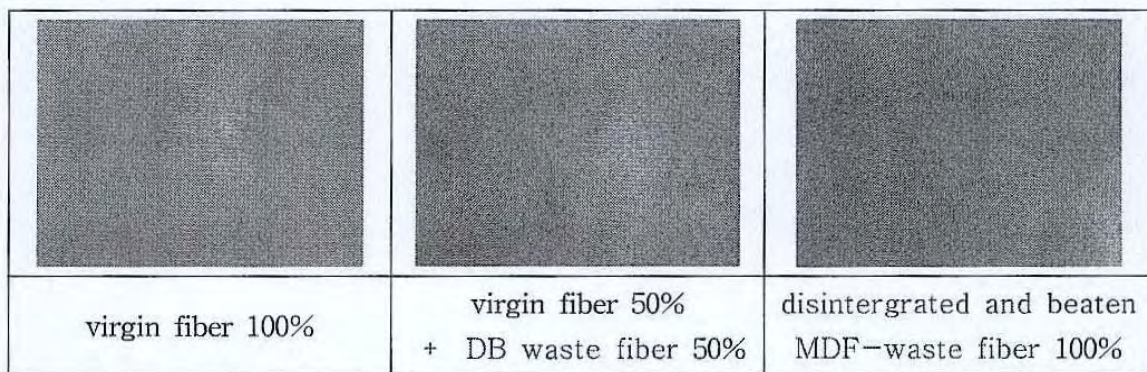


Figure 81 Fiber Board from virgin fiber and waste fiber

### 3) 포름알데히드 방산량 측정

제조한 FB와 곁하여 원목재섬유만으로 제조한 FB(control)와 원목재섬유와 폐MDF고



해섬유를 혼합하여 제조한 FB를 KS F 3200에 의한 데시케이터법을 사용하여 100:0, 50:50, 0:100 3가지 조건으로 하여 측정하였다.

#### 4) 제조된 Board의 물리적 성질 조사

제조된 FB의 비중, 함수율, 흡수두께팽윤율과 같은 물리적 성질은 KS F 3200(섬유판)에 의거하여 측정하였다.

#### 5) 제조된 Board의 기계적 성질 조사

제조된 Board의 휨강도, 박리강도는 KS F 3200(섬유판)에 따라 영국Houndsfield사에서 제작한 만능강도시험기 QMAT를 사용하여 측정하였다.

#### 6) 포름알데히드 방산량 조사

포름알데히드 방산량은 데시케이터법을 이용하여 KS F 3200(섬유판)에 준하여 Shimadzu사의 UV-spectrophotometer를 사용하였다.

#### 7) 통계처리

각 조건별로 4반복으로 제조한 제품의 물리·기계적 성질에 대하여 통계적인 유의성을 알아보기 위하여 던컨의 신 다중 검정 법(Duncan's new multiple range test)으로 통계 분석 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 폐MDF Fiber의 수율

실질적인 Fiber board의 제작에 앞서, 폐 MDF 조각을 해리와 고해처리시간에 따른 섬유장의 변화와 이용할 수 있는 최대 수율이 나오는 시점을 알아보기 위한 실험을 실시했다. Table 2는 해리와 고해 시간에 따른 수율과 40# 스크린 통과분을 측정된 결과이다. 여기서 40#스크린 통과분을 사용한 목적은 천연 목재섬유의 섬유장과 40#스크린 미통과분된 fiber의 섬유장이 거의 같았고, 40#통과분은 섬유장이 대부분 천연 목재섬유의 섬유장보다 크게 감소하는 추세를 보였다. 이에 40#스크린을 사용하여, 섬유장이 짧아지지 않으면서 이용수율이 가장 많이 나오는 시점을 알아보려고 하였다. 실험의 목적에 맞게, 폐MDF고해처리섬유의 수율을 최대로 하기 위해서 다음과 같은 조건을 Table 33을 참고로 알 수가 있다. 해리 10분, 고해 15분으로 하였을 때 섬유장과 이용수율이 가장 용이하게 나타났다. 해리와 고해시간이 위의 조건보다 많아졌을 경우에는 40# 통과분이 많아짐으로서, 섬유장의 길이가 짧아짐을 알 수가 있었고, 시간을 적게 하였을 경우 미통과분이 많아서 섬유로 나타나지 않았다.

Table 33. Yield of waste fiber along with disintergrating- and beating- time

disintergrating time(min)	beating time(min)	40# pass(%)	6# reject(%)	40# reject(%)
5	5	5	90	5
	10	5	90	5
	15	5	90	5
	20	5	90	5
10	5	5	30	65
	10	5	25	70
	15	5	10	85
	20	5	10	85
15	5	20	0	80
	10	20	0	80
	15	30	0	70
	20	30	0	70
20	5	50	0	50
	10	50	0	50
	15	50	0	50
	20	50	0	50

나. 폐MDF고해섬유판의 물리적 성질

FB 제조후, 원 목재 섬유와 폐MDF고해처리 섬유의 비율에 따른 MDF의 물리적 성질은 Table 34와 같다.

Table 34. Physical properties of fiber board in relation with DB waste fiber.

조건	density(g/cm <sup>3</sup> )		M.C(%)		T.S.(%)		W.A(%)	
	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN
virgin fiber 100%	0.90±0.03	A	6.01±0.12	A	11.02±2.280	B	18.84±1.14	A
virgin fiber 50%+ DB waste fiber 50%	0.92±0.002	A	5.62±0.54	A	13.67±0.896	A	20.24±2.01	B
DB waste fiber 100%	0.91±0.004	A	5.79±0.201	A	16.37±0.298	A	24.45±1.38	A

\*DB: Disintergrated and beaten, TS: Thickness Swelling, WA: Water Absorption

1) 함수율

제조된 fiber board 모두가 KS F 3200(5~13%)를 만족하였고, 원 목재 섬유로만 제조한 board와 폐MDF고해처리섬유로만 제조한 board와 폐MDF고해처리섬유를 50% 첨가한 board의 함수율 차이는 없었다.

2) 밀 도

제조된 fiber board는 두께 7mm이하의 밀도가 0.85g/cm<sup>3</sup> 이상으로서 경질섬유판(KS F 3200)으로 분류되었다. 원 목재 섬유로만 제조한 board와 폐MDF고해처리섬유로만 제조한 board의 밀도차이는 없었다.

3) 흡수율과 두께 팽윤률

흡수율과 두께 팽윤률은 폐MDF고해처리섬유의 비율이 높아짐에 따라 증가하였다. 이는 폐MDF의 고해과정에서 섬유의 피브릴화가 일어난 것으로 추정된다. 하지만 섬유판의 규격(KS F 3200)의 고밀도 섬유판의 흡수율에 충분히 만족하였고, 두께팽윤율 역시 규정을 벗어나지 않았다.<sup>144</sup>

다. 폐MDF고해섬유판의 기계적 성질

FB 제조시 목재 섬유와 폐MDF고해섬유의 비율에 따른 기계적 성질의 변화는 아래 Table 35와 같다. Table 35에서 보는 바와 같이 강도적인 성질 부분에서는 원 목질 섬유로만 제조한 Board에 비하여 감소가 전혀 나타나지가 않았다.

Table 35. Mechanical properties of fiber board in relation with DB waste fiber.

조건	MOR (N/mm <sup>2</sup> )		MOE (N/mm <sup>2</sup> )		IB (N/mm <sup>2</sup> )	
	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN
	virginfiber100%	39.32±3.92	B	2735±91.82	A	1.06±0.02
virginfiber50%+ DBwastefiber50%	38.74±2.64	A	2657±148.3	B	0.99±0.021	A
DBwastefiber100%	39.16±1.392	A	2711±38.85	A	1.11±0.045	A

1) 휨강도 시험

Figure 82는 휨강도 시험 결과를 나타낸 것으로, 제조된 FB 모두 KS F 3200에 따라 강화경질판 35형(휨강도35.0N/mm<sup>2</sup> 이상)을 만족한다. 또한 폐MDF고해섬유의 첨가비율에 따른 강도변화는 나타나지 않았다.



2) 내부결합강도 시험

Figure 83은 내부결합강도(박리강도) 시험결과를 나타낸 것이다. 내부결합강도는 섬유판 중에서 중밀도판의 품질검사기준이며, 연질판이나 경질판은 품질항목에서 제외된다. 따라서 이 실험에서의 내부결합강도 측정은 품질에 대한 적합성 보다는 제조한 섬유판이 가지는 형태의 충실성을 보기 위한 것이라 할 수 있다. 참고로 제조된 섬유판 모두의 내부결합강도는 KS F 3200에 따른 중밀도판의 품질( $0.6\text{N}/\text{mm}^2$ 이상, 중밀도판의 내부 결합강도 최고 수치값)을 훨씬 초과하였고, 휨강도와 마찬가지로 폐MDF고해섬유의 첨가비율에 따른 강도변화는 나타나지 않았다.

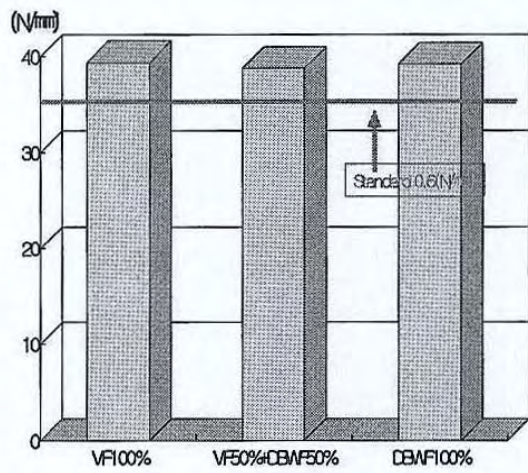


Figure 82. MOR of fiber board in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content. (unit: N/mm)

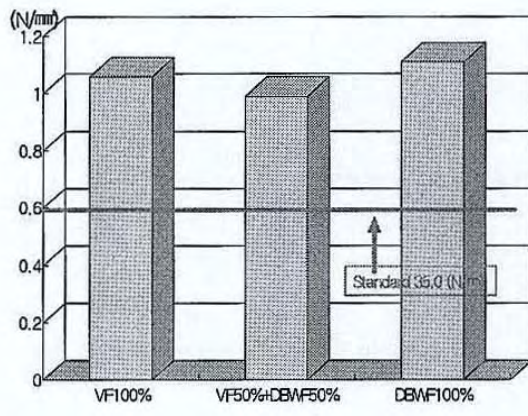


Figure 83. Internal bonding strength of fiber board in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content. (unit: N/mm²)

#### 라. 포름알데히드 방산량

제조된 FB의 포름알데히드 방산량은 포름알데히드 검량선에 의해 측정된 값이다. Table 36에서 보는 바와 같이 폐잔재의 비율에 따른 포름알데히드 방산량의 변화는 없었다. 포름알데히드 방산량이 KS F 3200에 의하면 현재 경질판에 대한 규정은 없으나, 측정된 값은 모두 E2급으로 나왔다. 이는 위의 2-1-3에서 본 바와 같이 E2형 수지를 사용하였기 때문이다. 본 연구에서 E2형 수지를 사용한 것은 섬유판에 scavenger의 효과를 실험하기 위한 대조구 실험으로서 수행하였기 때문이며, E1형 수지를 이용하여 천연 목재섬유로 FB를 제조하여 방산량을 측정하였을 경우 0.83(E1) 정도의 수치가 나타났다.

Table 36. Formaldehyde emission in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content.

	Formaldehyde emission (mg/l)
virgin fiber 100%	2.00
virgin fiber 50%+ DB waste fiber 50%	1.974
virgin fiber 75%+ DB waste fiber 25%	1.991

#### 4. 결론

본 연구는 폐MDF고해섬유를 이용하여 fiber board를 제조함으로써 목질계 폐기물 중 MDF 폐자재의 재활용 가능성을 알아보려고 하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

가. 폐MDF를 고해처리를 함으로써 섬유의 절단에 의한 강도저하를 막을 수 있었다. 이는 위의 2-1에서 보는 바와 같이 고해 처리를 했을 경우 섬유장의 감소가 적었기 때문이라 할 수 있다.

나. 폐MDF고해섬유는 위의 3-1에서 보는바와 같이 해리 10분와 고해 15분의 시간을 적용함으로써 최대 이용 수율을 85%까지 올릴 수 있었다.

다. MDF제조 원료인 목재섬유를 폐MDF고해섬유로 100% 대체하여도 물리적 · 기계적 성질 및 포름알데히드 방산량에 영향을 미치지 않았다.

위와 같이 Fiber Board제조에 원료인 천연 목재섬유를 폐MDF를 고해 · 처리하여 100% 대체해도 성질에는 변화가 없으며 충분히 이용가능하다는 결론을 내렸다. 차후 지금까지 말한 목질 폐기물의 활용방안만이 아니라, 공기질 관리를 위하여 포름알데히드 방산량을 감소시키는 방안도 모색되어야 할 것이다.



## 제 2 항 생활목질폐기물로부터의 작업성이 뛰어난 기능성 숯보드의 제조

### 1. 서 론

목탄의 연료로서 이용은 50만년전 인류가 불을 사용하면서부터라고 할 수 있으며 널리 이용되기 시작한 것은 약 1만년전 빙하기가 끝날 무렵 농경시대로 알려져 있다. 그러다가 청동기, 철기시대로 이어지면서 야금용의 양질의 숯이 개발되었다. 목탄의 흡착기능은 18세기에 들어서서 알려져 제당공업에 사용되기 시작하였고 이어 1862년 Lipscombe의 음료수 정화용 활성탄의 사용시도가 있었으며 비슷한 시기에 Stenhouse는 가스마스크에 활성탄을 사용하였다(구, 2003). 전통적인 흑탄은 숯을 주목적으로 하는 경우, 적당한 흙을 사용하여 흑탄로를 만들어 탄재를 넣고 350-400°C로 탄화시키고 최후에 약 700°C로 온도를 높혀 목탄을 정련시킨 후 노입구 통풍구, 연통구등을 밀폐시키고 2-3일동안 방치하여 냉각시킨 다음 출탄한다(신 등, 1983). 이러한 요내소화법과 달리 900-1000°C로 목탄을 충분히 정련시켜 백열시킨 것을 가마 밖으로 조금씩 꺼내어 급히 소화하고 냉각시킨 요외소외법에 의해 제조된 목탄이 백탄이다. 다공성의 탄소재료인 숯은 높은 비표면적에 의한 우수한 흡착능력과 원적외선방산, 고알칼리성, 풍부한 미네랄 함유, 조습능력, 살균력, 탈취능력, 방부력, 전자파차단 등의 효능을 가지고 있어 현재 많은 관심의 대상이 되고 있다. 또한 현재 농업용 토양 개량제로 과수·농작물·논·시설원예에 토양 활성화 및 식물 성장촉진제로 사용되며, 청과물 및 화훼의 선도 유지용 자재 등의 식품선도 보존재로 사용되고 있다(서 등, 2003, Bao 등, 2001). 게다가 원적외선과 음이온 방산효과를 이용한 숯베개, 숯장판 등에 이용하는 등 그 이용이 현재 매우 다양하다(Bao 등 2001). 이로 인해 최근에 국내 사용량은 연간 666 M/T이 증가하고 있으며, 2002년 국내 백탄 생산량은 7,761 M/T에 달하였다(통계청 2002). 또한 이 등(2003)은 점토목재세라믹과 목탄과 목재섬유복합재료의 에틸렌가스 흡착과 과일의 보관성 효과를 구명하였다. 에틸렌가스는 과일의 성숙과 노화를 촉진시키는 성숙호르몬으로 알려져 있다(Elger 1999, Serek 1994, Serek 2001, Son 1999). 이 등(2003)은 여기서 목탄목재섬유 복합재료의 에틸렌가스 흡착량이 목탄의 혼합비가 증가할수록 증가하였고 목탄입자가 작을수록 높은 에틸렌가스 흡착력을 나타냈다고 하였다. 또한 목탄의 혼합비가 높을수록 과일의 보관성 효과가 뛰어나다고 하였다. 건류에 의한 탄화는 액체생성물을 주목적으로 하기 때문에 건류목탄은 숯을 주목적으로 하는 양질제탄의 목탄과 구분한다. 그런데 건류법에 따라 배치식과 연속식이 있는데 배기가스를 모두 열원으로 사용하고 보조연료로서 중유등을 이용하며 부산물을 채취하지않는 방법과 목초액과 목타르를 모두 채취하는 방식이 있다. 그런데 2004년에 배출된 생활목질폐잔재의 쓰레기는 매일 2500톤씩 배출되는데 재활용이 2.5%밖에 되지 않고 50%가 매립 47.4%가 소각이 되었고 금년부터는 실제로 매립은 불법으로 이루어질 수 없으므로 거의 모든 생활목질폐잔재는 소각되어질 수밖에 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이와같은 MDF와 PB가 주류인 생활목질쓰레기를 이용하여 숯을 만들어 주거환경재료로서 활용하기 위하여 접착제는 비포름알데히드계 접착제로서 수성비닐계 접착제 및 이소시아네이트계 접착제를 사용하여 실내공기질에 문제가 되는 포름알데히드방산문

제를 해결하고 숯파티클의 크기와 관련한 최종매트함수율은 이(2005)가 개발한 방법을 적용하여 제조된 흑탄보드의 물리·기계적 성질을 검토하여 건강과 주거환경 개선을 위한 생활목재쓰레기로부터의 흑탄의 특성을 활용한 특수재료의 용도로 사용할 수 있도록 개발되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### 1) 생활목재쓰레기 흑탄

MDF40%, PB30%, 합판 15%, 원목 15%으로 구성되어 있는 생활목재쓰레기를 파쇄기에 넣고 50mmx50mm 구멍을 통과한 크기로 파쇄하여 건류제탄로에 투입하여 800℃로 20분간 제조된 흑탄을 사용하였다. 건류흑탄은 경북 S사에서 제조된 것을 사용하였다. 50mmx50mm 구멍을 통과한 크기로 파쇄하여 제탄한 크기의 숯파티클로는 보드의 제조가 열등하여 제원을 낼 수가 없었다. 따라서 파쇄된 파티클이 10mm의 스크린 통과분을 제탄한 숯파티클을 오리지널형 「(Original Type: #6이상(33.8%), #6-40(55.4%), #40-100(9.0%) and below #100 (1.8%)」으로 하고 이 오리지널형을 다시 백탄보드를 만들 때를 기준으로 다시 파쇄하여 파쇄형 「(Fine crushed Type: #6-12 (16.9%), #12-40(63.9%), #40-60(9.5%), #60-100(5.8%)」으로 만들어 실험하였다.

#### 2) 접착제

비포르마린계 접착제로서 수성비닐계접착제(PVA:초산비닐수지에말존,약자로 P,원액의 불휘발분 <NVC는 42%>)와 이소시아네이트계(MDI, 4,4'-diphenylmethane diisocyanate, 불휘발분 100%)수지를 혼합하여 접착제로 사용하였다.

### 나. 실험방법

#### 1) 흑탄보드의 제조

흑탄보드의 제조는 흑탄전건중량당 PVA 15%와 MDI수지 5%를 사용하여 총수지첨가율은 20%였다. 매트의 최종함수율은 36%로서 열압온도 170℃, 40-10-40kgf/cm<sup>2</sup>(1분-2.5분-5분)의 3단계 열압스케줄을 사용하였다. 각 조건당 4반복씩 가로20cm×세로20cm×두께1cm의 크기로 제조하였다.

#### 2) 흑탄보드의 물리·기계적 성질 조사

흑탄보드의 물리·기계적 성질은 KS F 3104(1997)에 의거하여 측정하였으며 전기전도도는 601 Multimeter(제조사: HongChang)를 사용하여 측정하였다. 열전도율은 Quick Thermal Conductivity Meter(QTM-500, 제조사: KYOTO ELECTRONICS)를 사용하여 측정하였다.



3) 제품의 에틸렌가스(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 흡착량 측정

에틸렌가스(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 흡착량은 Gas chromatograph (DC-14B, 제조사: SHIMADZU)를 사용하여 측정하였다.

4) 통계처리

통계처리는 던컨의 신다중검정법(Duncan's new multiple range test)으로 분석하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 흑탄보드의 물리적 성질

숯파티클 크기별로 제조된 숯보드(Figure 84)의 물리기계적 성질을 측정한 결과는 Table 37과 같다. 이에 의하여 기 연구된 백탄보드의 경우는 두께팽윤율이 0%로서 완벽한 치수안정을 나타내고 있었는데 흑탄보드의 경우 흡수율도 82%로 매우 높아 조습작용을 충분히 하면서도 두께팽윤율은 1.5%를 나타내어 백탄보드보다는 약간 높으나 중밀도규격 두께 15mm이하에서 두께팽윤율은 12%이하로 규정하고 있고 A급 연질판 A-IB에서는 10%이하 인 것에 비하면 매우 만족한 치수안정 효과를 보이고 있다.

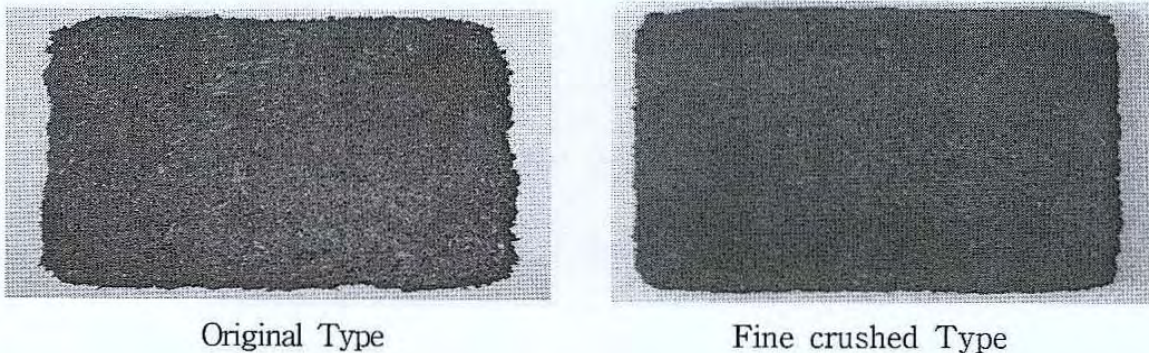


Figure 84. Charcoal board type

Table 37. 흑탄보드의 물리적 성질

숯크기 메쉬	접착제조조건	밀도(g/cm <sup>3</sup> )	함수율(%)	두께팽윤율(%)	흡수율(%)
		Mean± SD	Mean± SD	Mean± SD	Mean± SD
O type* <sup>1</sup>	PVA 15%, MDI 5%, MC 36%	0.575±0.054	6.86± 0.23	0.76±0.31	75.47±1.64
FC type* <sup>2</sup>	PVA 15%, MDI 5%, MC 36%	0.58±0.022	6.52±0.04	1.50±0.30	82.136±6.8

\*1:오리지널형 「Original Type: #6이상(33.8%), #6-40(55.4%), #40-100(9.0%) and below #100(1.8%)」

\*2:파쇄형 「(Fine crushed Type: #6-12 (16.9%), #12-40(63.9%), #40-60(9.5%),



#60-100(5.8%)」

2) 흑탄보드의 기계적 성질(Table 38)

이가 발표한 백탄보드의 경우는 휨강도가 43.96 kgf/cm<sup>2</sup>을 보여 우수한 강도를 나타냈고 혼합형 M25%, MC20%의 경우에는 70.6kgf/cm<sup>2</sup>의 휨강도를 나타내어 KS F 3200(1997)의 연질판 최고 수준인 3.0 N/mm<sup>2</sup>(30.6 kgf/cm<sup>2</sup>) 이상으로의 우수한 휨강도를 나타냈으나 목질폐기물로 만든 흑탄보드는 표2와 같이 17 kgf/cm<sup>2</sup>을 보여 [KS규격 T급연질판(KS F 3200)의 1.0N/mm<sup>2</sup>(10.2kgf/cm<sup>2</sup>)] 를 KS F 3200(1997)의 T급연질판의 휨강도를 만족시켰다. 이 강도는 내장재로서 시공하는데 어려움이 없는 강도이다. 박리강도도 PB 100타입이 1.5 kgf/cm<sup>2</sup>인데 이 정도 수준이면 기능성을 갖는 벽재로서는 충분하리라 생각한다. 백탄보드는 8.6kgf/cm<sup>2</sup>정도의 높은 박리강도를 나타내었다.

Table 38. 흑탄보드의 기계적 성질

숫크기 메쉬	접착제조건	M O R	M O E	박리강도
		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )
		Mean± SD	Mean± SD	Mean± SD
O type <sup>*1</sup>	PVA 15%, MDI 5%, MC 36%	11.62±0.17	1142.15± 83.57	0.27±0.05
FC type <sup>*2</sup>	PVA 15%, MDI 5%, MC 36%	17.03±0.56	1793.53± 54.39	1.18±0.26

\*1:오리지널형 「Original Type: #6이상(33.8%), #6-40(55.4%), #40-100(9.0%) and below #100 (1.8%)」

\*2:파쇄형 「(Fine crushed Type: #6-12 (16.9%), #12-40(63.9%), #40-60(9.5%), #60-100(5.8%)」

[KS규격 T급연질판(KS F 3200)의 1.0N/mm<sup>2</sup>(10.2kgf/cm<sup>2</sup>)]

3) 흑탄보드의 못 인발 저항 시험

Table 39는 생활목질폐기물로부터 제조된 흑탄보드의 수직못인발저항시험(Figure 85) 결과이다. 오리지널타입과 파쇄형과의 차이는 없었다. 다음에 설명하는 것과 같이 목 박음성과 톱재단성, 드릴구멍뚫기 등 가공성이 매우 양호하였다. 흑탄보드의 수직못인발저항력은 소나무의 1/5 수준으로 생각보다 좋았다(15).

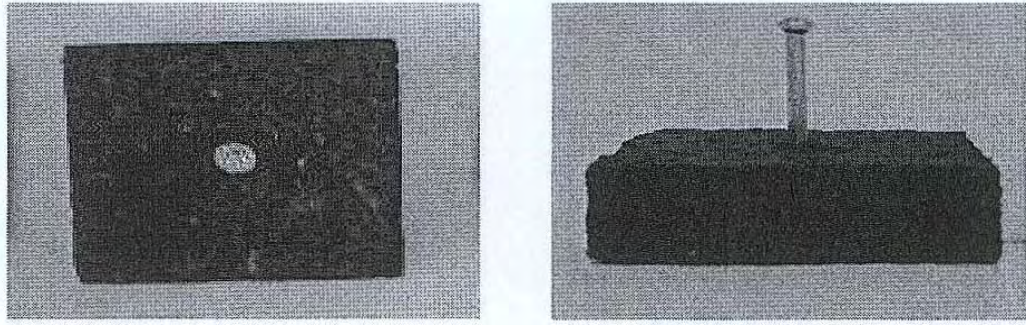


Figure 85. Specimen of nail withdrawal test

Table 39. 흑탄보드의 못 인발 저항 시험

Particle Type	Adhesive content (Final mat MC)	Nail withdrawal resistance(N/mm)	
		Mean± SD	DUN
Original Type	P15%, M5%, MC 36%	3.14±1.37	B
FC Type	P15%, M5%, MC 36%	2.65±0.79	AB

4) 흑탄보드의 전기전도도 및 열전도도

흑탄숯보드의 전기전도도와 열전도도는 Table 40과 같다. 제조된 흑탄숯보드는 전기를 잘 통하였으며 백탄보다 전기를 더 잘 통하였다. 일반적으로 12%의 기건재인 침엽수 목재는 0.1-to 1.4W/(m.K)(16)를 나타내는데 알미늄은 216, 콘크리트는 0.9 단열재로 사용하는 미네랄 울은 0.036이다. 이에 비하여 흑탄보드는 0.1·38로서 좋은 단열성능을 보이고 있다. 오리지널과 파쇄형 모두 흑탄보드는 전기전도도와 열전도도에서는 비슷한 결과를 보였다.

Table 40. 흑탄보드의 전기전도도 및 열전도도

Particle Type	열전도도 ( W/mK )	전기전도도 (Ωm.)
	Mean± SD	Mean± SD
Original	0.129±0.014	15.81±1.05
FC Type	0.138±0.007	13.33±1.15

5) 흑탄보드의 원적외선 방사율

일반적으로 숯은 원적외선이 높은 재료로 알려져 있으며 제조된 흑탄숯보드 파쇄형은 Table 41과 같이 백탄보드와 별차이가 없이 92% 이상의 방사율을 보였다.

Table 41. 흑탄보드의 원적외선 방사율

	Far infrared emissivity(%)	Emission power
백탄	92.9	4.31 X 100
흑탄	92.2	3.72 X 100

Temperature at test: 40°C, Wave length at test: 5-20 $\mu$ m, Apparatus: FT-IR Spectrometer, Specimen thickness: 4mm.

6) 흑탄보드의 가스흡착율

생활목적폐기물로부터 제조된 흑탄보드의 가스흡착율은 Table 42와 같이 백탄보드와 비슷한 결과를 보이고 있으며 백탄보드는 참나무 백탄 그 자체보다 흡착효과가 다소 높았다. 활성탄은 활성탄보와 같이 흡착능력이 다소 높았고 흡착 속도가 매우 빨랐다.

Table 42. 생활목적폐기물로부터 제조된 흑탄보드의 가스흡착율

시간(hr)	대조구*1	활성탄 *2	백탄보드 (Mx type)*2	흑탄보드 *2
0	21.324	15.94	17.90	19.95
3	20.26	2.29	7.72	5.79
6	20.76	1.26	5.59	4.9
12	20.95	1.23	4.33	3.52
24	20.36	0.82	2.54	3.44
Adsorption rate(%)	-	94.85	85.8	82.76

\*1:Ethylene gas concentration of blank vessel in ppm

\*2:Remaining ethylene gas concentration of vessel

4. 결론

위의 결과를 요약하면 일반적으로 생활목적폐기물로부터 제조된 흑탄파티클의 크기가 크면 힘 강도가 떨어지는 것을 알 수 있었고 이러한 경향은 백탄보드에서도 나타났었다. 50mmx50mm 구멍을 통과한 크기로 파쇄하여 제탄한 크기의 숯파티클로는 보드의 제조가 열등하였으며 파쇄



된 파티클이 10mm의 스크린 통과분을 제탄한 숯파티클을 오리지널형 「(Original Type: #6이상(33.8%), #6-40(55.4%), #40-100(9.0%) and below #100 (1.8%）」 과 오리지널형을 다시 백탄보드를 만들 때를 기준으로 다시 파쇄한 파쇄형 「(Fine crushed Type: #6-12(16.9%), #12-40(63.9%), #40-60(9.5%), #60-100(5.8%）」 으로 만든 것을 비교하면 파쇄형이 훨씬 우수한 결과를 나타냈다. 이러한 생활목질폐잔재로부터 제조된 파쇄형 흑탄보드는 82%의 아주 높은 흡수율을 나타내어 조습작용이 크게 기대되며 두께팽윤율은 1.5% 정도로서 최고의 치수안정성을 나타냈다. 휨강도는 17 kgf/cm<sup>2</sup>이고 박리강도는 1.18kgf/cm<sup>2</sup>으로서 인슈레이손보드 이상의 성질을 나타내어 내장재로서 사용하는데 문제점이 전혀 없고 톱재단성과 드릴구멍뚫기가 우수하고, 못박음에 의한 할렬저항성이 크고 못인발저항력이 2.65N/mm로서 작업성이 매우 우수하고 92% 이상의 원적외선방사율과 가스흡착도 매우 높아 백탄보드와 동등한 흡착율을 나타내고 있다. 열전도도도 0.138 W/mK로서 목재 중에서도 아주 좋은 목재의 단열성능과 같은 정도의 아주 좋은 단열성능을 나타내고 있다.

## 제 3 항 생활 폐잔재 흑탄을 이용한 PB, MDF의 포름알데히드방산 제거효과

### 1. 서론

본 연구는 생활 폐잔재로 폐기된 폐MDF, 폐PB, 폐합판 등을 파쇄하여 흑탄을 제조하여, 이를 목질재료 제조시에 첨가함으로써 그 포름알데히드를 잡아주는 스카벤징 효과를 알아보려고 하였으며 아울러 첨가된 흑탄이 목질 재료의 물리적인 성질과 기계적인 성질에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하였다.

### 2. 재료 및 실험방법

#### 가. 공시 재료

##### 1) 소나무파이버 및 목재 Particle

MDF를 제조하기 위하여 사용한 목재섬유는 인천소재D사에서 Defibrater 로 제조한 소나무(*Pinus densiflora Sieb. et Zucc*)목재섬유와 폐패리트로부터 얻은 목재파티클을 분양받아 사용하였다. 목재섬유의 길이는 2.5~3mm, 폭은 40~60um이었고, 기건 함수율은 8%±0.32였다.

##### 2) 생활 폐잔재 흑탄

시중에서 사용했던 가구용이나 판상용 사용했던 생활계목질폐기물(MDF 40%, PB 15%, Plywood 15%, 목재 15%)을 파쇄기에 넣고 10mmx10mm 구멍을 통과한 크기로 파쇄하여 건류제탄로에 투입하여 800℃로 20분간 제조된 흑탄을 사용하였다. 흑탄을 40~60#와 100#이하의 두 가지 Type 통과분을 scavenger로 이용하였다.

##### 3) 접착제

E1용 요소수지(NVC55%)는 현재 인천소재S사에서 분양받아 사용하였다.

##### 4) 경화제

경화제는 10%염화암모늄(NH<sub>4</sub>CL)수용액을 제조하여 사용하였다.

##### 5) 내수제

제조된 MDF의 물리적 성질등을 개선하기 위하여 Paraffin Wax Emulsion(NVC44%)을 사용하였다.

## 6) 포름알데히드 방산 시험용 시약

포름알데히드 방산량 측정 시험용 시약으로 초산암모늄, 빙초산, 아세틸아세톤을 사용하였으며, 포름알데히드 표준원액의 검정에는 0.1N 요오드용액, 1N수산화칼륨, 1N 황산수용액, 0.1N 티오황산나트륨을 사용하였다.

## 나. 실험방법

### 1) 목질계 보드 제조

보드 제조에 이용된 접착제는 목재섬유의 전건중량당 13%, 내수제(Paraffin Wax Emulsion)는 접착제 요소수지의 고형분당 8%, 경화제(NH<sub>4</sub>Cl)는 접착제 요소수지 고형분당 2.8%로 하였다.

원료와 접착제를 잘 혼합하기 위하여 실험실에서 자체 개발한 파이버 분산기 Blower를 사용하였다. 분산기로 혼합 한 원료를 40cm×40cm 크기로 된 Forming box에 넣어 열압온도 170℃, 압력(시간)은 30kg/cm<sup>2</sup>(120sec) - 20kg/cm<sup>2</sup>(180sec)의 건식열압 방법으로 보드를 제조 하였다. PB제도시 표층과 코어층의 비율은 Face: Core: face=1:2:1로 하였다.

제조 시 비교 조건으로 흑탄을 첨가하지 않은 CON과 흑탄을 첨가한 비교 조건으로 제조하였다. 흑탄의 첨가 조건은 40~60#와 100#이하 크기의 흑탄을 원료의 전건무게의 5%, 7%를 각각 첨가하였다.

### 2) 포름알데히드 방산량 측정

흑탄을 첨가한 보드와 겹하여 원재료만으로 제조한 보드(control)를 KS F 3200(섬유판)과 3120(파아티클 보드)에 의한 데시게이터법을 위의 각각의 조건으로하여 Shimadzu사의 UV-spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

### 3) MDF의 물리적·기계적 성질 조사

제조된 보드의 물리적·기계적 성질은 KS F 3200(섬유판)에 의거하여 측정하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 물리적 성질

Table 43, 44에서 보는 바와 같이 숯을 첨가한 보드의 물리적인 성질에는 변화가 없었다. 그리고 섬유판의 경우 밀도는 중밀도 섬유판에 만족하였고, KS F 3200 25형(휨강도에 따른 구분)을 충분히 만족하였다. 파아티클 보드의 경우 역시도 섬유판 마찬가지로 밀도를 보였으며, KS F 3120 15형(휨강도에 따른 구분)을 만족하였다.



2) 기계적 성질

기계적인 성질에서도 물리적인 성질과 마찬가지로 숯을 첨가한 보드에서 기계적인 성질에는 변화가 없었다. 그리고 KS F 3200(섬유판 25형)과 3120(15형)의 강도를 충분히 만족 하였다.

3) 포름알데히드 방산량

Table 43, 44를 보면 숯을 첨가한 MDF, PB방산량과 숯을 첨가하지 않은 각각의 CON의 방산량을 비교하였을 때, 숯을 첨가할수록 MDF, PB 모두 일정한 감소 경향을 보였다. 두 조건 모두 40~60#의 통과분보다 100#의 방산량이 더 낮았으며, MDF와 PB 모두 40~60# 7%, 100# 5%이상을 첨가하였을 경우 E0형까지 낮아졌고, 100#, 7%의 경우 0.3(mg/ℓ)에 근접한 감소 효과를 보였다.

Table 43. Properties of MDF along with black coal.

Control	Density (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	TS (%)	WA (%)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	IB (N/mm <sup>2</sup> )	FE (mg/ℓ)
CON	0.83 ± 0.03	6.64 ± 0.12	10.02 ± 2.28	18.64 ± 2.15	28.06 ± 3.92	21775 ± 91.8	0.429 ± 0.04	1.350
CON+ BC#40~60,5%	0.82 ± 0.01	6.83 ± 0.54	11.76 ± 1.99	20.19 ± 0.89	26.74 ± 2.64	2667 ± 88.7	0.411 ± 0.02	0.531
CON+ BC#100,5%	0.83 ± 0.02	5.79 ± 0.20	10.78 ± 2.33	19.58 ± 6.30	29.18 ± 4.39	2841 ± 108.8	0.443 ± 0.11	0.486
CON+ BC#40~60,7%	0.84 ± 0.05	6.46 ± 0.37	11.71 ± 1.21	20.45 ± 2.74	25.47 ± 0.45	2596 ± 32.0	0.414 ± 0.02	0.411
CON+ BC#100,7%	0.82 ± 0.02	6.27 ± 0.41	10.96 ± 1.76	20.34 ± 1.02	30.32 ± 1.68	2921 ± 51.3	0.449 ± 0.09	0.312

\*BC\*:Black charcoal, TS:Thickness Swlling, WA:Water Asorption, AV:AVerage, FE:Formaldehyde emission

Table 44. Properties of PB along with black coal.

Control	Density (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	TS (%)	WA (%)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	IB (N/mm <sup>2</sup> )	FE (mg/ℓ)
CON	0.74 ± 0.01	7.21 ± 0.21	9.30 ± 2.11	15.44 ± 1.25	19.24 ± 2.92	2114 ± 89.7	0.312 ± 0.02	1.412
CON+ BC#40~60,5%	0.75 ± 0.05	6.46 ± 0.34	10.35 ± 1.39	16.10 ± 0.93	19.74 ± 1.64	1967 ± 90.4	0.314 ± 0.03	0.634
CON+ BC#100,5%	0.74 ± 0.05	6.55 ± 0.11	9.86 ± 2.02	13.58 ± 4.20	21.01 ± 3.24	2341 ± 107.5	0.324 ± 0.09	0.478
CON+ BC#40~60,7%	0.73 ± 0.02	5.96 ± 0.28	8.97 ± 2.94	14.54 ± 3.25	20.55 ± 3.33	2296 ± 162.0	0.334 ± 0.08	0.389
CON+ BC#100#7%	0.77 ± 0.03	6.14 ± 0.34	8.96 ± 1.67	15.34 ± 0.57	18.99 ± 0.54	2021 ± 65.4	0.309 ± 0.07	0.330

\*BC\*:Black charcoal, TS:Thickness Swlling, WA:Water Asorption, AV:AVerage, FE:Formaldehyde emission

## 라. 결 론

본 연구는 생활 목질계 폐기물로부터 제조된 흑탄을 목질재료 제조 시 첨가하여 포름알데히드계 접착제에서 방산되는 포름알데히드를 흡착하여 scavenger로서의 숯의 효과를 측정하였다. 연구결과 생활목질계 폐기물로부터 제조된 흑탄 첨가는 포름알데히드의 방산저감 효과를 나타냈으며, 숯 입자크기에 따라 40~60#보다는 100#가 더 큰 효과를 보였다. 100# 5%이상을 첨가하였을 경우 E0형까지 낮아졌고, 100#, 7%의 경우 0.3(mg/l)에 근접한 감소 효과를 보였다.

## 제 9 절 TiO<sub>2</sub>를 이용한 저오염 목질재료 제조 및 인체친화적 생활폐잔재 숯보드 제조

### 제 1항 TiO<sub>2</sub>를 이용한 저오염 PB, MDF의 제조

#### 1. 공시 재료

##### 가. 공시 목질 재료

본 연구에 사용된 목질재료는 인천 소재의 D사로부터 분양 받은 PB 중층(core)용 chip으로써, 채취당시 함수율 조건은 약 8%이었으며, 보드의 제조 전에 2%이하로 건조하여 함수율을 조정한 후 board 제조를 실시하였다. 원재료로 사용된 PB 중층(core)용 chip은 가구 폐재 및 폐 파렛트용재를 Crushing, Chipping 공정을 거쳐 중층 코어용 chip으로 선별하여 사용하였다. MDF를 제조하기 위한 Fiber 또한 인천 소재의 D사로부터 분양 받은 Fiber를 이용하였으며, board 제조전 함수율은 2%이하로 건조하여 사용하였다.

##### 나. 목재 접착제

접착제로는 요소(분자량 60)와 38% 공업용 포름알데히드 수용액(분자량 30)을 사용하여 실험실에서 직접 제조하여 사용하였고 시중의 접착제와 비교 시험하기 위하여 인천 소재의 S사로부터 E1 및 E2급의 요소수지(NVC 48%)를 분양받아 사용하였다.

##### 다. 이산화티탄 (포름알데히드 catch제)

대전 소재의 N사로부터 분양 받은 TiO<sub>2</sub>(3% 수용액)를 사용하여 접착제의 제조 및 포름알데히드의 catch제로 사용하였다.

##### 다. TiO<sub>2</sub>의 광원

이산화티탄인 TiO<sub>2</sub>의 광원으로는 315~400nm의 자외선을 방사하는 UV-A 램프를 사용하여 빛을 조사하였다.

##### 라. 기타 첨가제 및 내수제

요소수지의 제조 과정 중에 요소수지의 PH를 조절하기 위하여 10% sodium hydroxide solution(이하 NaOH)와 10% formic acid solution(이하 HCOOH)을 사용하였으며, 내수제로써 PWE(paraffin wax emulsion, NVC 38%)를 수지 고형분 대비 0.5%를 사용하였다.



## 2. 실험방법

### 가. MDF제조를 통한 요소수지에 이산화티탄( $TiO_2$ )의 첨가법

본 연구에서는 1차 실험으로 이산화티탄의 포름알데히드 catch제로서의 효과를 보기 위하여 MDF제조시 인천소재의 D사에서 분양 받은 E1 및 E2형 요소수지에 이산화티탄제인  $TiO_2$ 를 요소수지의 고형분함량(NVC)에 이산화티탄( $TiO_2$ )의 함유량 비율을 1%, 3%, 5%로 E1급 요소수지에, 7%로 E2급 요소수지에 첨가 하여 UV-A 램프의 빛 조사시간을 1시간, 3시간으로 MDF를 제조하였다.

MDF의 제조조건으로는 전건상태의 소나무 목재섬유와 접착제는 요소수지(13%), 내수제로 PWE(Paraffin Wax Emulsion)는 파이버 전건양의 0.5%, 경화제( $NH_4Cl$ )는 접착제 고형분당 0.5%로 하였고 목재섬유와 접착제가 충분히 결합 할 수 있도록 매트와 최종함수율을 40%로 되게 하였다. 매트성형은  $40 \times 40 \times 40$  크기로 된 성형박스에 하였으며 열압 스케줄은 다음과 같다. 열압온도는  $170^\circ C$ , 압력은  $30kg/cm^2(1min) - 0kg/cm^2(110sec) - 30kg/cm^2(5min)$ 으로 총 3단계의 습식열압 방법으로 MDF를 제조 하였다. MDF의 크기는 가로 $40cm \times$  세로 $40cm \times$  두께  $1cm$ 로 제조하였다 (Figure 86).

### 나. 요소수지 제법

위의 MDF제조 시 이용한 요소수지는 현재 시중에서 이용되는 접착제에  $TiO_2$ 를 첨가하여 결과를 얻었다. 위의 연구와 결부하여 요소수지의 제조과정에서  $TiO_2$ 의 catch제로서의 효과를 보기위하여 본 실험실 자체에서 요소수지를 제조하였다. 보통 요소수지의 제법에는 1차 첨가법과 2차 첨가법이 있는데 본 실험실에서는 2차 첨가법으로 요소수지를 제조하였다. 1차요소(분자량60)에 공업용 포르말린(분자량30 37% 수용액)의 몰비를 계산하여 삼각플라스크에 투입한 후 pH9.0으로 조절(NaOH 10%수용액)하고  $85 \sim 90^\circ C$ 에서 50Min반응시킨 후  $90 \sim 95^\circ C$ 에서 10Min반응시킨 다음 pH5.0으로 조절(10%수산=개미산)하고  $85 \sim 90^\circ C$ 에서 30분 동안 Min반응시킨 후 pH7.5(NaOH 10%수용액)로 조절 후  $20^\circ C$ 물에서 백탁을 확인한 후  $85 \sim 90^\circ C$ 에서 2차요소와  $TiO_2(0.5\%, 1\%, 3\%, 5\%)$ 를 투입 후  $TiO_2$ 의 광원으로 315~400nm의 자외선을 방사하는 UV-A 램프를 사용하여 빛을 조사하면서 30Min 반응시킨 후 pH7.5로 조절하여 60Min반응시킨 후 수지를  $60^\circ C$ 이하로 냉각 후 30Min 동안 감압탈수를 하여 NVC 48~50%정도의 요소수지를 제조하였다.



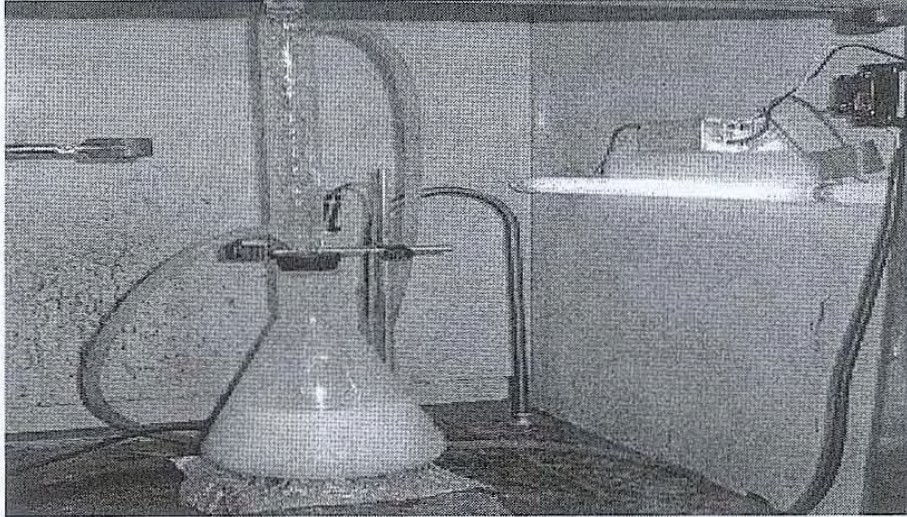


Figure 86. Illumination of titanium dioxide

#### 다. PB제조

위에서  $\text{TiO}_2$ 을 첨가하여 제조한 요소수지의 그 효과를 알아보기 위하여 Particle Board를 본 실험에서 제조하였다. Particle Board의 제조는 인천 소재의 D사로부터 분양 받은 PB용 chip으로 제조하였으며 face : core의 비율은 6:4로 하여 제조된  $\text{TiO}_2$ 가 첨가(5%, 1%, 3%, 5%)된 요소수지를 chip전건 중량당 13%로 하여 경화제로 10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 과 내수제로 PWE(paraffin wax emulsion, NVC 38%)를 수지 고형분 대비 0.5% 사용하였다. 보드의 제조는 실험실 교반기를 이용한 혼합방식의 도포방법을 이용하였으며, 보드의 제조를 위해 실험실용 열압기를 이용하였다. 보드 열압시 열압 Schedule은 온도는  $170^\circ\text{C}$ , 압력은  $30\text{kg}/\text{cm}^2$ , 시간은  $15\text{sec}/\text{mm}$ 로 하여 실험실용 열압기를 이용하여 제조하였다. 제조된 PB의 규격은  $400 \times 400 \times 10\text{mm}^3$ (L×W×T)의 규격으로 3반복으로 보드를 제조하였다(Figure 87).

#### 라. 포름알데히드 방산량 및 TVOC 측정

제조된 Particle Board의 유리 포름알데히드 방산량 측정은 KS F 3104 및 KS F 3200에 의거하여 24hr 데시게이터법으로 측정하였다. 240mm의 데시게이터(내용량 9~11ℓ)내에 300ml의 증류수를 정확히 채운 직경 120mm, 높이 60mm의 결정접시를 데시게이터 바닥에 넣은 후, 5×15cm 크기로 자른 시편10개를 넣고 고정시킨 후 상온( $20 \sim 25^\circ\text{C}$ )에서 24시간 방치하여 방산된 포름알데히드를 증류수에 흡수시킨다. 방치 후 결정접시 내의 증류수에 포집되어 있는 포름알데히드를 아세틸 아세톤법에 의한 분광광도계(UV-spectrophotometer)를 사용하여 농도를 측정하였다. 그 후 측정된 농도를 포름알데히드 검량선을 이용하여 그 값을 구하였다. TVOC는 20ℓ 소형챔버법을 이용



하여, 24hr 데시케이터법을 통하여 포름알데히드 방산량의 가장 좋은 조건에 대하여 TVOC를 측정하였다.

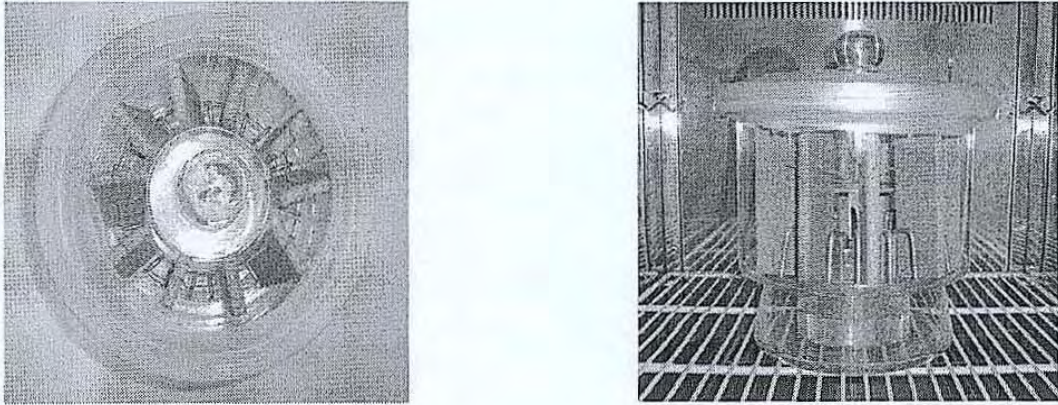


Figure 87. A method of measurement of formaldehyde emission

#### 마. PB보드 오버레이

포름알데히드 방산량 결과를 통하여 가장 좋은 조건의 보드를 무늬목으로 20×20cm<sup>2</sup>의 면적당 6.7g의 PVA를 도포하여 120℃에서 10kg/cm<sup>2</sup>의 30sec로 가압한 후에 위의 포름알데히드 방산량 및 TVOC를 측정하였다.

#### 바. 물리적 성질 조사

제조된 Board의 물리적 성질은 KS F 3104, KS F 3200에 의거하여 밀도, 흡수율, 흡수 두께팽윤율, 흡수율을 제조된 시료 보드에서 시료를 각각 500×500×10mm<sup>3</sup>의 크기의 시편을 5개씩 채취하여 그 값을 측정하였다.

#### 사. PB의 기계적 성질 조사

제조된 Board의 기계적 성질은 KS F 3104, KS F 3200에 의거하여 휨강도(MOR), 박리강도(IB), 휨영계수(MOE)를 제조된 시료 보드에서 시료를 각각 5개씩 채취하여 그 값을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. MDF의 물리 · 기계적 성질

포름알데히드 방산량 측정을 위해 제조된 MDF에 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)의 첨가에 따른 물리적 · 기계적 성질의 변화를 규명하기 위해 이 실험을 실시하였다. 이 실험으로 이산화티탄이 MDF의 기계적 · 물리적 성질에 어떠한 영향을 미치는지와 이용가능성에 대해 규명하고자 하였다. Table 1은 이산화티탄에 따른 물리적 · 기계적 성질을 나타낸 것으



로, 이산화티탄 (TiO<sub>2</sub>)비율을 1%, 3%, 5%, 7% 첨가하여 수은등(15W)에 1h, 3h 동안 조사 후 실험 결과는 아래 Table 45와 같다.

Table 45. MDF와 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)혼합 비율에 따른 물리·기계적 성질

조건	함수율 (%)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	두께 팽윤율 (%)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	IB (N/mm <sup>2</sup> )
ControlE1	6.49	0.71	38.33	8.45	25.74	1821	0.52
TiO <sub>2</sub> 1% 1h	9.76	0.71	34.12	9.21	32.54	2303	0.45
TiO <sub>2</sub> 1% 3h	8.55	0.69	30.21	8.48	29.21	2067	0.56
TiO <sub>2</sub> 3% 1h	5.90	0.81	21.44	6.98	27.26	1929	0.58
TiO <sub>2</sub> 3% 3h	6.94	0.82	23.05	10.27	27.11	1918	0.87
TiO <sub>2</sub> 5% 1h	9.24	0.65	23.12	9.25	27.88	1973	0.54
TiO <sub>2</sub> 5% 3h	8.21	0.57	23.24	9.55	29.31	2074	0.62
ControlE2	7.20	0.72	37.22	11.35	27.49	1946	0.68
TiO <sub>2</sub> 7% 1h	6.37	0.82	20.08	5.57	30.26	2141	0.64
TiO <sub>2</sub> 7% 3h	6.77	0.77	20.44	6.86	26.68	1888	0.62

1) 밀도

위의 제조된 MDF 모두가 KS F 3200(0.35~0.85)의 중밀도 섬유판 제조 목적과 맞게 제조 되었다. 위의 결과에서 보듯이 이산화티탄 (TiO<sub>2</sub>)비율이 보드의 밀도에 영향을 주지 않음을 알 수가 있었다.

2) 함수율

제조된 MDF 모두가 KSF 3200(5~13%)를 만족하였다. 이 또한 밀도와 마찬가지로 이산화티탄 (TiO<sub>2</sub>)비율이 보드의 밀도에 영향을 주지 않음을 알 수가 있었다.

3) 두께팽윤율

밀도와 함수율과 마찬가지로 제조된 MDF 모두가 KSF 3200(12%이하)를 만족하였다. 이 또한 밀도와 마찬가지로 이산화티탄 (TiO<sub>2</sub>)비율이 보드의 두께팽윤율에 영향을 주지 않음을 알 수가 있었다.

#### 4) 휨강도와 박리강도

제조된 MDF 모두가 KS F 3200에 만족하는 조건(15N/mm<sup>2</sup>이상)의 휨강도를 모두 나타내 주고 있으며, 박리강도에서도 KS F 3200에 만족하는 조건(0.3N/mm<sup>2</sup>이상)을 나타내었다. 이는 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)을 첨가하여도 충분한 강도의 MDF를 제조할 수 있음을 알 수 있다.

#### 나. MDF의 포름알데히드 방산량

제조된 MDF의 포름알데히드 방산량 Table 2는 KS F 3200에 의해 측정된 값이다. 포름알데히드 방산량 값을 보면 1%, 3%를 첨가 하였을 시에 빛 조사의 시간과 관계없이 여전히 E1(0.5~1.5)등급임을 알 수 있고 5%첨가 시부터 E0(0.5이하) 급으로 떨어짐을 알 수 있다. 또 7% 사용 시에는 이산화티탄의 포름알데히드의 악취, 유해성분을 흡착, 분해하는 성질이 가장 높게 나타남을 알 수 있는데 이러한 사실로 첨가량과 빛 조사 시간이 늘어날수록 방산량이 떨어짐을 알 수 있다(Table 46).

Table 46. 포름알데히드 방산량 및 KS규제

	포름알데히드 방산량(mg/l)	KS규제
Control E1 수지	1.116	E1
TiO <sub>2</sub> 1% 1h	0.91	E1
TiO <sub>2</sub> 1% 3h	0.629	E1
TiO <sub>2</sub> 3% 1h	0.808	E1
TiO <sub>2</sub> 3% 3h	0.535	E1
TiO <sub>2</sub> 5% 1h	0.382	E0
TiO <sub>2</sub> 5% 3h	0.354	E0
Control E2 수지	2.48	E2
TiO <sub>2</sub> 7% 1h	0.248	E0
TiO <sub>2</sub> 7% 3h	0.224	E0

#### 다. PB의 물리적 성질

2차 첨가법으로 제조한 요소수지를 4조건(TiO<sub>2</sub>의 첨가량에 따라 0%-con로 명기,

0.5%, 1%, 3%)과 시중에 이용되는 D사의 E1형 요소수지(con1로 명기)로 하여 PB를 제조하여 실행하였는데 측정된 PB의 물리적 성질은 다음 Table 47과 같다. Table 47에서 보는 바와 같이 TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따른 PB의 밀도, 함수율, 두께팽윤율은 차이가 없었으며 측정된 모든 항목들은 PB의 KS규격인 KS F 3104에 모두 만족하였다.

Table 47. Physical properties of Particle Boards

	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	DUN	함수율 (%)	DUN	흡수율 (%)	DUN	두께 팽윤율 (%)	DUN
con1	0.73±0.018	A	6.49±0.33	A	21.44±1.78	A	10.45±0.52	A
con	0.75±0.025	A	6.6±0.27	A	22.45±1.07	A	10.05±0.41	A
TiO <sub>2</sub> 0.5%	0.74±0.04	A	6.5±0.39	A	24.05±1.65	A	10.29±0.31	A
TiO <sub>2</sub> 1%	0.78±0.012	A	6.37±0.31	A	26.23±2.03	AB	10.16±0.33	A
TiO <sub>2</sub> 3%	0.72±0.015	A	6.23±0.08	A	28.11±0.19	B	11.24±1.79	AB

#### 라. PB의 기계적 성질

제조된 PB의 기계적 성질은 KS F 3104에 의거하여 측정하였으며 측정된 PB의 기계적 성질은 다음 Table 48과 같다. 표에서 보는바와 같이 TiO<sub>2</sub> 첨가량이 증가 할수록 PB의 휨강도 및 박리강도, 탄성계수는 약간 떨어지는 경향을 보였으나, 제작한 PB 모두 KS F 3104 규격에 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

Table 48. Mechanical properties of Particle Boards

	MOR(N/mm <sup>2</sup> )	DUN	IB(N/mm <sup>2</sup> )	DUN	MOE(N/mm <sup>2</sup> )	DUN
con1	25.74±0.53	A	0.34±0.05	A	2303±34.17	A
con	23.69±1.06	B	0.35±0.04	A	1940±27.62	B
TiO <sub>2</sub> 0.5%	22.61±0.38	B	0.38±0.04	B	1556.67±34.12	C
TiO <sub>2</sub> 1%	20.66±0.48	B	0.36±0.05	B	1427.67±87.21	C
TiO <sub>2</sub> 3%	19.94±0.31	C	0.29±0.02	C	1331±79.87	D



마. PB의 포름알데히드 방산량

제조한 수지로 PB를 제조하여 그에 따른 포름알데히드 방산량을 KS F 3104에 의거하여 24hr 데시케이터법으로 측정하였으며 그 측정 값은 다음 Table 49와 같다. 제조한 control 요소수지는 포름알데히드 방산량 측정 결과 E1급으로 나타났으며 TiO<sub>2</sub> 첨가량에 따라 0.5%를 제외(E1급)한 1%, 3%는 모두 E0급으로 나타났다.

Table 49. Formaldehyde emission of Particle Boards

	Formaldehyde emission (mg/ℓ)	Grade
con1	1.116	E1
con	1.3	E1
TiO <sub>2</sub> 0.5%	0.71	E1
TiO <sub>2</sub> 1%	0.33	E0
TiO <sub>2</sub> 3%	0.32	E0

사. PB의 TVOC

위의 포름알데히드 방산량을 가장 적게 방산한 PB(TiO<sub>2</sub> 1% 첨가, TiO<sub>2</sub>의 3%와 1% 첨가량의 포름알데히드 방산량이 거의 같음)와 여기에 무늬목을 PVA로 도포하여 오버레이 한 2가지의 TVOC의 방산량을 측정하였을 때, Table 50과 같이 나왔다. Table 50에서 보는 바와 같이 한국공기청정협회에 건축자재 인정 등급 최우수 구분에 속하는 0.1mg/m<sup>3</sup>hr의 방산량 이상의 등급이 나왔음을 알 수가 있고, 나머지 다른 6가지의 VOCs 역시 거의 방산되지 않음을 알 수가 있었다.

Table 50. TVOC emission of Particle Boards

Compounds (mg/m <sup>3</sup> *h)	PB(표면오버레이처리안함)				PB(표면오버레이처리함)			
	1일차	3일차	5일차	7일차	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Toluene	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0005	0.0004	0.0002	0.0004
Ethylbenzene	0.0004	0.0003	0.0002	0.0006	0.0007	0.0003	0.0002	0.0005
p-Xylene	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001	0.0001	0.0003
Styrene	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
o-Xylene	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
TVOC	0.0319	0.0211	0.0178	0.0282	0.0121	0.0086	0.0072	0.0096

#### 4. 결론

이상의 결과를 바탕으로 요소수지의 이용 및 제법에 있어서 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )의 첨가가 요소수지의 포름알데히드 방산량 저하에 미치는 영향과 요소수지에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )의 첨가로 인하여 제조된 목질재료의 물리·기계적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과를 토대로 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )을 이용한 E0형 요소수지의 이용 및 제법을 규명하였다. 특히 현재 사회적 Issue로 대두되고 있는 새집증후군(Sick house syndrome)의 문제점 중에서 목재제품의 접착제로 사용되는 요소수지의 포름알데히드 방산량 저하라는 측면에서 목질재료산업에 적용가능성을 제시하였다. 이번 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )의 이산화티탄 반응에 의한 요소수지의 MDF제조를 통한 포름알데히드 방산량 감소의 효과가 확인 되었다. 즉, E1 UF수지에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ ) 5% 1h 수은등 조사처리는 E0급의 제품, 그리고 E2 UF수지에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ ) 7% 1h 동안 이산화티탄반응으로 물리적·기계적 성질의 변화 없이 E0급의 제품으로 제조할 수 있었다.

나. 시중에 이용되는 요소수지에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )을 첨가하는 방법 이외에 요소 수지 제조에서 있어서 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )의 첨가량이 증가할수록 Particle Board의 포름알데히드 방산량이 감소하는 경향을 보였는데, 특히 요소수지 제조시에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )을 수지 고형분 함량에 1%만 첨가 하여도 포름알데히드의 방산량이 0.33mg/L로 본 연구에서 원하는 E0형 요소수지를 제조할 수 있었다.

다. 요소수지 제조 시에 이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )을 수지 고형분 함량에 1%만 첨가한 PB와 이를 PVA를 토포하여 무늬목으로 오버레이한 제품의 TVOC의 방산량도 현격히 감소함을 알수가 있었다.

이산화티탄( $\text{TiO}_2$ )을 기존에 유통되는 요소수지뿐 만 아니라, 요소수지의 제조과정에서 위에서 언급한 일정량을 첨가와 일정 시간동안 광원을 조사할 경우 포름알데히드와 TVOC의 방산량 감소에 큰 효과를 알수가 있었다.

## 제 2 항 생활목질폐기물로부터의 제조된 숯보드의 에칠렌 가스 흡착 실험

### 1. 서론

본 연구는 본 과제의 2차년도 시행하였던 생활목질폐기물로부터 얻어진 숯보드의 숯 자체의 정화능력을 보드로 적용하였을 때의 그 효과를 알아보고자 시행하였다. 숯의 흡착기능은 18세기에 들어서서 알려져 제당공업에 사용되기 시작하였고 이어 1862년 Lipscombe의 음료수 정화용 활성탄의 사용시도가 있었으며 비슷한 시기에 Stenhouse는 가스마스크에 활성탄을 사용하였다.(구, 2003) 전통적인 흑탄은 숯을 주목적으로 하는 경우, 적당한 흙을 사용하여 흑탄로를 만들어 탄재를 넣고 350-400°C로 탄화시키고 최후에 약 700°C로 온도를 높혀 목탄을 정련시킨 후 노입구 통풍구, 연통구등을 밀폐시키고 2-3일동안 방치하여 냉각시킨 다음 출탄한다(신 등, 1983). 이러한 요내소화법과 달리 900-1000°C로 목탄을 충분히 정련시켜 백열시킨 것을 가마 밖으로 조금씩 꺼내어 급히 소화하고 냉각시킨 요외소외법에 의해 제조된 목탄이 백탄이다. 다공성의 탄소재료인 숯은 높은 비표면적에 의한 우수한 흡착능력과 원적외선방산, 고알칼리성, 풍부한 미네랄 함유, 조습능력, 살균력, 탈취능력, 방부력, 전자파차단 등의 효능을 가지고 있어 현재 많은 관심의 대상이 되고 있다. 또한 현재 농업용 토양 개량제로 과수·농작물·논·시설원예에 토양 활성화 및 식물 성장촉진제로 사용되며, 청과물 및 화훼의 선도 유지용 자재 등의 식품선도 보존제로 사용되고 있다(서 등, 2003, Bao 등, 2001). 게다가 원적외선과 음이온 방산효과를 이용한 숯베개, 숯장판 등에 이용하는 등 그 이용이 현재 매우 다양하다(Bao 등 2001). 이로 인해 최근에 국내 사용량은 연간 666 M/T이 증가하고 있으며, 2002년 국내 백탄 생산량은 7,761 M/T에 달하였다(통계청 2002). 또한 이 등(2003)은 점토목재 세라믹과 목탄과 목재섬유복합재료의 에칠렌가스 흡착과 과일의 보관성 효과를 구명하였다. 에칠렌가스는 과일의 성숙과 노화를 촉진시키는 성숙호르몬으로 알려져 있다(Elger 1999, Serek 1994, Serek 2001, Son 1999). 이 등(2003)은 여기서 목탄목재섬유 복합재료의 에칠렌가스 흡착량이 목탄의 혼합비가 증가할수록 증가하였고 목탄입자가 작을수록 높은 에칠렌가스 흡착력을 나타냈다고 하였다. 이러한 목탄중에서 생활폐기물을 흑탄으로 가공 보드로서 재활용하였을 경우, 우리 인체에 기존의 목탄 만큼 충분히 인체 친화적일 수가 있는 지를 본 실험을 통하여 규명하고자 한다.

### 2. 공시 재료

#### 가. 공시 재료

기존의 2년차 연구에서 이용하였던 생활목재쓰레기를 파쇄기에 넣고 50mmx50mm 구멍을 통과한 크기로 파쇄하여 건류제탄로에 투입하여 800°C로 20분간 제조된 흑탄을 사용하였다.



## 나. 접착제

비포르마린계 접착제로서 수성비닐계접착제(PVA:초산비닐수지에말존,약자로 P,원액의 불휘발분 <NVC는 42%>)와 이소시아네이트계(MDI, 4,4'-diphenylmethane diisocyanate, 불휘발분 100%)수지를 혼합하여 접착제로 사용하였다.

## 3. 실험방법

### 가. 흑탄보드의 제조

흑탄보드의 제조는 흑탄전건중량당 PVA 15%와 MDI수지 5%를 사용하여 총수지첨가율은 20%였다. 매트와 최종함수율은 36%로서 열압온도 170℃, 40-10-40kgf/cm<sup>2</sup>(1분-2.5분-5분)의 3단계 열압스케줄을 사용하였다. 각 조건당 4반복씩 가로20cm×세로20cm×두께1cm의 크기로 제조하였다. 이용되었던 숯 파티클의 크기는 2차년도 실험 결과에서 더 좋은 강도를 나타낸 파쇄형 「(Fine crushed Type: #6-12 (16.9%), #12-40(63.9%), #40-60(9.5%), #60-100(5.8%)」 타입으로 보드를 제조하였다.

### 나. 에틸렌가스(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 흡착량 측정

흡착 실험에 이용되었던 숯보드의 크기는 가로5cm×세로5cm×두께1cm의 크기의 2개의 시편을 940ml의 필폐 용기에 일정량의 에틸렌가스를 주입하여 이용하였다. 제조된 940ml의 필폐 용기에 1ml 주사기를 이용하여 Gas chromatograph (DC-14B, 제조사: SHIMADZU)를 사용하여 에틸렌가스(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 흡착량을 측정하였다. 시간에 따른 흡착량을 알아보기 위하여 빈병에 같은 양의 에틸렌 가스를 주입하여 같은 방법으로 측정하였다.

### 다. 포름알데히드 방산량 및 TVOC 측정

제조된 숯보드의 유리 포름알데히드 방산량 측정은 KS F 3104에 의거하여 24hr 데시게이터법으로 측정하였다. 240mm의 데시게이터(내용량 9~11ℓ)내에 300ml의 증류수를 정확히 채운 직경 120mm, 높이 60mm의 결정접시를 데시게이터 바닥에 넣은 후, 5×15cm 크기로 자른 시편10개를 넣고 고정시킨 후 상온(20~25℃)에서 24시간 방치하여 방산된 포름알데히드를 증류수에 흡수시킨다. 방치 후 결정접시 내의 증류수에 포집되어 있는 포름알데히드를 아세틸 아세톤법에 의한 분광광도계(UV-spectrophotometer)를 사용하여 농도를 측정하였다. 그 후 측정된 농도를 포름알데히드 검량선을 이용하여 그 값을 구하였다. TVOC는 20ℓ 소형챔버법을 이용하였다.

라. PB보드 오버레이

제조된 숯보드를 무늬목으로 20×20cm<sup>2</sup>의 면적당 6.7g의 PVA를 도포하여 120℃에서 10kg/cm<sup>2</sup>의 30sec로 가압한 후에 위의 포름알데히드방산량 및 TVOC를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 에칠렌 가스 흡착량

제조된 숯보드의 에칠렌 가스 흡착량은 Table 51에서 보는 바와 같다. 흡착량은 기존의 백탄의 흡착율과 거의 동일하였고, 흡착속도는 3hr에 에칠렌 가스의 70%를 흡수하였다.

Table 51. 시간에 따른 에칠렌 가스 흡착량(PPM)

시 간	빈 병(PPM)	숯보드(PPM)	숯보드의 흡착율(%)
0hr	180.2	177.4	0
3hr	181.77	55.05	68.97
6hr	177.5	42.91	75.81
12hr	185.91	30.5	82.81
24hr	187.25	21.31	87.99
48hr	190.6	20.2	88.61

나. 숯보드의 포름알데히드 방산량 및 TVOC

제조된 숯 보드의 경우 표면에 오버레이 처리를 한 경우와 안한 경우 모두가 0.01(mg/ℓ)이하의 방산량을 나타내었다. 이는 접착제부터 비포름알데히드 수지일 뿐만 아니라 숯 자체의 흡착능력으로 기인한 것으로 보인다. Table 52는 제조된 숯보드를 오버레이 했을 경우와 안 했을 경우의 TVOC 방산량을 나타낸 것으로, 이의 두 경우 모두가 한국공기청정협회에 건축자재 인정 등급 최우수 구분에 속하는 0.1mg/m<sup>3</sup> hr의 방산량 이상의 등급이 나왔음을 알 수가 있고, 나머지 다른 6가지의 VOCs 역시 거의 방산되지 않음을 알 수가 있었다.

Table 52. 숯보드의 TVOC 방산량

Compounds (mg/m <sup>3</sup> *h)	숯보드(표면오버레이처리안함)				숯보드(표면오버레이처리함)			
	1일차	3일차	5일차	7일차	1일차	3일차	5일차	7일차
Benzene	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
Toluene	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0002	0.0001	0.0002
Ethylbenzene	0.0002	0.0002	0.0001	0.0003	0.0010	0.0003	0.0001	0.0004
p-Xylene	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
Styrene	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
o-Xylene	0.0109	0.0075	0.0085	0.0115	0.0108	0.0076	0.0077	0.0096
TVOC	0.0041	0.0029	0.0063	0.0028	0.0016	0.0032	0.0053	0.0040

### 5. 결론

위의 결과에서 보듯이 생활폐기물에서 제조된 숯보드 또한 백탄이나 활성탄 이상의 가스흡착능력이 나타났음을 알 수가 있었고, 방산되는 포름알데히드나 TVOC가 거의 없음을 알 수가 있었다. 이는 위의 방식으로 제조된 숯보드가 충분히 우리 인체에 친화적이며 유효한 영향을 끼칠 수 있는 재료로서의 가능성이 있음 알 수가 있었다. 또한 생활폐기물을 재활용 측면만 보더라도 경제적으로나 환경적으로 자원 재수급의 효과가 기대되는 목질재료로서의 그 가능성을 보였다고 할 수 있다.



## 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

구 분	평가의 착안점 및 척도		
	연구 목표	달성도	기 여 도
1차년도 (2004)	○산업폐자원(폐MDF) 및 농산부산물(왕겨분말, 미사용 탄닌분말)의 목질판상재료 원료로서의 적용가능성 평가 - 물리적 및 기계적 성질 평가	100	
	○산업폐자원 및 농산부산물의 formaldehyde 및 VOCs 방산 저감용 scavenger의 효과 - formaldehyde 및 VOCs 방산량 측정	100	
	○Formaldehyde 측정법들 간의 상호관계 분석	100	
2차년도 (2005)	○Scavenger 첨가 시 목질판상재료의 성능평가 - 물리적 및 기계적 성질 평가	100	
	○Scavenger 적용 방법 및 formaldehyde 및 VOCs 저감 효과 평가 - formaldehyde 및 VOCs 방산량 측정	100	
	○Formaldehyde 측정법들 간의 상호관계 분석	100	
3차년도 (2006)	○목질판상재료의 표면가공을 이용한 formaldehyde 및 VOCs 저감 효과 평가 - 무늬목 접착, 무늬목 접착 후 UV coating - formaldehyde 및 VOCs 방산량 측정	100	
	○Formaldehyde 측정법들 간의 상호관계 분석	100	
최종 평가	○산업폐자원(폐 MDF) 및 농산부산물(왕겨분말, 미사용 탄닌 분말)의 목질판상재료 원료로서의 적용가능성 평가	80	
	○산업폐자원 및 농산부산물의 formaldehyde 및 VOCs 방산 저감용 scavenger의 효과	100	
	○Scavenger 적용 방법 및 formaldehyde 및 VOCs 저감 효과 평가	100	
	○목질판상재료의 표면가공을 이용한 formaldehyde 및 VOCs 저감 효과 평가	100	
	○Formaldehyde 측정법들 간의 상호관계 분석	100	

## 1. 기술적 측면

가. Tannin과 silica 분말은 포름알데히드 방산량을 저감해주는 기능이 우수함을 나타냈다. 그러나 silica는 파티클보드의 물리적·기계적 성질을 급격하게 감소시키는 단점이 있다. 왕겨분말과 MDF 가공부산물을 첨가하여 파티클보드를 제조하는 경우 10% 혼합하여 사용할 수 있다고 판단된다. Tannin분말은 포름알데히드 방산량을 저감해주는 기능이 우수하였다.

나. 산업폐자원을 이용하여 particleboard 제조 시 탄닌 분말을 사용할 경우, 무처리된 particle board 에 비해 기계적 물리적 물성이 저하되지 않고 유사한 강도를 나타냈으며 첨가량이 particle board의 포름알데히드 방산량이 저감되어 우수한 환경친화성 재료로 사용될 수 있을 것이다.

다. 20L 소형 챔버법에서 데시케이터 법과 퍼포레이트법의 결과와는 대조적으로 UV 코팅처리된 합판마루의 포름알데히드 방산량이 강화마루의 방산량보다 약간 높게 나타났으며, 목질계 표면재 오버레이 처리가 플라스틱계 표면재 오버레이 처리에 비해 포름알데히드와 VOCs의 효율적인 저감성을 나타내었다.

## 2. 경제, 산업적 측면

우리나라의 2002년 목질 판상제품의 총수요는 6,036,000m<sup>3</sup>이며 MDF의 수요는 2,043,000m<sup>3</sup>이고 국내생산량은 1,236,600m<sup>3</sup>이다. 이와 같이 많은 수요를 갖고 있는 목질판상제품을 제조하는 접착제로부터 방산되는 포름알데히드방산을 감소하기 위한 방안으로서는 E0접착제를 제조하여 사용하거나 scavenger나 케처제의 개발을 통하여 해결할 수 있다. Scavenger의 개발로 접착제의 20%에 해당하는 원가 상승을 상쇄시킬 수 있을 것으로 생각되며 그 경제적 가치는 매우 크다 할 것이다. 따라서, 목질 판상재료로서 산업폐자원과 농산부산물을 활용하여 부족한 산림자원과 자원재활용 측면에서 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다. 또한 목질계 표면재의 뛰어난 포름알데히드와 VOCs 저감성을 통해 현재보다 더 많은 목재 소비의 동기화를 이끌어 낼 수 있다.

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 탄닌을 활용하여 포르말린 방산을 저감시키기 위한 scavenger로서의 기술을 이용함으로써 “다중 이용시설 등의 실내 공기질 관리법”에 대비하여 실내공기오염의 주된 오염원으로 알려진 목질 판상재료에서 방산되는 formaldehyde 문제를 해결할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 개발된 산업폐자원 및 농산부산물을 목질판상재료 원료와 formaldehyde 및 VOCs 방산을 저감시키는 scavenger를 활용하여 목질판상재료 산업에 적극 활용하여 생산라인에 반영하며 원료의 사용효율 극대화와 함께 보다 환경 친화적인 산업으로의 변화를 도모할 수 있을 것이다. 또한, 건축내장재 산업에서 실내 공기질 및 삶의 질과 관련한 부분에서 미래지향적이고 환경 친화적인 재료로서 각광받을 수 있을 것으로 보인다.



## 제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학 기술정도

해당없음

## 제 7 장 참고문헌

1. 김대준, 이필우. 1994. 제지 슬러지의 첨가가 요소수지 파티클보드의 포름알데히드 방산 및 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향. 목재공학 22(3) : 44~53.
2. 이필우, 윤희운, 김대준, 손정일. 1993. 슬러지-파티클 보드의 제조 가능성 및 구성 비율에 관한 기초연구. 목재공학 21(2) : 57~65.
3. 이필우, 윤희운. 1996. 구성형태와 구성비율별로 제조한 슬러지-파티클보드의 물리적 및 기계적 성질. 목재공학 24(1) : 17~26.
4. 윤동원, 2001, 건축재료의 VOCs 방산농도의 측정평가 방법, 제17회공기청정기술세미나'2001 자료집.
5. 윤동원, 2000, 주거용건물의 화학물질에 관한 고찰, 주택 제 66호, 대한주택공사
6. 김신도, 2000, 건축 자재에서의 VOCs 방산량 측정, 실내 VOCs 토론회 자료집, 한국공기청정협회
7. 환경부, 2001, 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사
8. 한국공기청정협회, 1999, 국제공기청정심포지움 '99 자료집.
9. 한국공기청정협회, 2000, 제17회 공기청정 기술세미나 '2000 자료집.
10. 신동소. 이화형. 임기표. 조남석. 조병묵. 1983. 임산화학. 향문사: 316
11. 이영규, 양한승, 김현중, 2003. 목질복합재료와 실내공기질. 한국목재공학회지 31(5):1~14
12. 이종규, 오용성. 2004. 요소-멜라민수지로 접착된 파티클보드의 열압동안 포름알데히드 배출량 측정. 한국목재공학회지 32(2):65~72.
13. 이화형, 1992. 가구제조를 위한 MDI접착제의 MDF와 PB제조에 대한 비교 효과, 한국가구학회지 3(1):1~7

14. 이화형, 1993. 표층파이버와 내층 미세파티클복합보드의 물리, 기계적 성능에 관한 연구, 한국가구학회지 4(1):41~47
15. 오용성. 1998. 요소수지로 접착된 파티클보드의 포름알데히드 방산량과 성능평가. 한국목재공학회지 26(4):92~97
16. 오승원, 변희섭. 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 성질. 30(2):115~120
17. 한국공업규격 KS F 3200 :1997
18. 한국합판공업협회. 1997. 한국 합판, MDF, 파티클보드 심포지엄:125~157
19. 한태형, 서진석, 박종영, 2004 추계 학술 발표논문집. 2004.10.22-10.23 한국목재공학회 (84~87)
20. 한국공업규격 KS F 3200(섬유판) :1997
21. 한국합판공업협회. 1997. 한국 합판, MDF, 파티클보드 심포지엄: p125~157
22. 김외정. 1999. 폐목재 발생실태 및 재활용 촉진방안 “99한국 합판, MDF, 파티클보드 심포지엄” :p101-122
23. 오승원, 박규성. 간벌재로 제조된 톱밥보드의 물성. 2002 한국목재공학회: p288~291
24. 이화형, 한기선 폭쇄 전처리 왕겨로 제조한 보드의 물리·기계적 성질에 관한 연구. 1999 한국목재공학회: p19~24
25. 노정상, 이종상, 도정락. 폐기 목질재료를 이용한 컴퓨터 책상판의 성형. 2002 한국목재공학회:p269-272
26. 이화형, 2005 목재공학회 춘계 발표 논문. “폐MDF폭쇄섬유로부터의 MDF제조”
27. 2004 환경부 폐기물(폐목재)통계 자료  
<http://lib.me.go.kr/lib/imaginfo/imagemanager/imgview.asp?gubuncode=J6>



28. 구자운. 2003. 한국의 숯과 목초액. 소호산림문화과학 연구보고서 제5집,p93.재단법인 소호문화재단 산림문화연구원 발행
29. 서영범, 전양, 이화형, 정태영, 이종석. 2003. 숯을 활용한 포장재 개발에 관한 연구(제1보). 한국펄프종이공학회 35(2): 46~51.
30. 석현덕, 장철수. 1999. 소경목, 불량목등 목질계 폐자원을 이용하여 가공된 목탄,목초액의 농수축산업에서의 실용화 및 산업화 연구. 한국농촌 경제연구원 연구보고.
31. 이동욱, 김병로. 2002. 목질폐잔재 탄화 물의 수질 정화효과. 목재공학30(1): 34~39.
32. 이화형, 김관의. 2003. 습식공법으로 제조한 목탄-목재섬유복합재료의 에틸렌가스 흡착력과 과일신선도 유지효과. 한국가구학회지 14(1): 1~10.
33. 이화형, 김관의. 2003. 점토목재파티클보드로 제조된 Clay-Woodceramics의 성질. 목재공학 31(5) 80~87.
34. 이화형 외. 2003. “숯을 활용한 신소재 포장재, 농업용자재, 건축용복합체 제품개발” 농업기술관리센터 첨단연구과제 2차년도 연구보고.
35. 이화형, 조윤민. 박한상. 2005. “백탄파티클 크기와 최종매트함수율에 따른 백탄보등의 제조와 성능” 목재공학 33(3):22~29
36. 신동소, 이화형, 임기표, 조남석, 조병묵. 1983. 임산화학. 향문사.
37. 통계청. 2002. 임산물 생산량
38. 김대준. 1994. 제지 슬러지의 첨가가 요소수지 파티클보드의 포름알데히드 방산 및 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향.서울대학교 대학원 석사학위 논문.
39. 김수민, 김현중. 2002 탄닌접착제의 화학과 응용 접착 및 계면. 3(5): 41~50.
40. 김신도 외. 2001. 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사. 환경부.
41. 김윤신 외. 1999. 실내공기질 관리방안에 관한 연구. 환경부.
42. 김윤신 외. 1997. 휘발성유기화합물질 규제대상 설정 및 관리방안에 관한연구. 환

경부.

43. 이영웅 외. 2002. 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법연구. 환경부.
44. 유선희. 이산화티탄의 기술 및 특허동향 기술정보분석시리즈 / 1999-BW110.
45. 한국공기청정협회. 2000. 실내 VOCs 오염물질의 방산 특성 및 실태조사. 한국환경 민간단체진흥회.
46. 한국대기보전학회. 1998. 대기환경과 휘발성유기화합물질.
47. 한국표준협회. 2002. 파티클보드. 한국산업규격. KS F 3104.
48. 한화진. 1994. 유해대기오염물질구제에 관한 국내 대응방안 연구. 한국환경개발연구원.
49. 환경부. 1998. 대기환경보전법.
50. 산림청. 1996. 임업통계연보. 제26호, 서울. p.413~417
51. 화학경제연구원. 1996. '96 화학연감. 2nd edition, 화학경제연구원, 서울. p159~170.
52. Della, V. P., I. Kuhn and D. Hotza, 2002. Rice husk ash as an alternate source for activesilica production. *Materials Letters*. 57(4): 818~821.
53. Kim, H.J., and Y. G. Eom, 2001. Thermogravimetric analysis of rice husk flour for a new material of lignocellulosic fiber-thermoplastic polymer composites. *Mokchae Konghak*, 29(3): 59~67.
54. Kim, S., Y.-K. Lee and H.-J. Kim, 2004. Evaluation of Formaldehyde Emission of Pine & Wattle Tannin-based Adhesives by Gas Chromatography. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 62(2). 101~106.
55. Kim, S., Y.-K. Lee, H.-J. Kim and H.W, Lee, 2003. Physico-mechanical properties of particle boards bonded with pine and wattle tannin-based adhesives *Journal of Adhesion Science & Technology*, 17(14)1863~1875.

56. Koutsky J. A., Myers G. E., 1987. Procedure for measuring formaldehyde liberation from formaldehyde-based resins. *Forest Prod. J.* 37(9) 56~60.
57. Lee H.-H. and C.-W. Kang. 1998. Development of rice hull insulation board using urea formaldehyde resin. *Mokchae Konghak.* 26(4): 50~55.
58. Lee H.-H. and K.-S. Han. 2000. Study on the optimum pre-treatment condition for manufacture of rice hull board. *Mokchae Konghak.* 28(3): 9~13.
59. Lee Y.-K. S. Kim, H.-S. Yang and H.-J. Kim, 2003. Mechanical Properties of Rice Husk Flour-Wood Particleboard by Urea-Formaldehyde Resin *Mokchae Konghak.* 31(3): 42~49.
60. Myers, G. E., 1984. How mole ratio of UF resin affects formaldehyde emission and other properties: A literature critique. *Forest Prod. J.* 34(5): 35~41.
61. Myers, G. E., 1985. Effect of separate additions to furnish or veneer on formaldehyde emission and other properties: a literature review (1960-1984). *Forest Prod. J.* 35(6):57~62.
62. Myers, G.E., 1986. Effects of post-manufacture board treatments on formaldehyde emission: a literature review (1960-1984). *Forest Prod. J.* 36(6):41~51.
63. Myers G. E., 1990. Formaldehyde liberation and cure behavior of urea-formaldehyde resins. *Holzforschung.* 44, 117~126.
64. Sundin, B., 1982. Present status of formaldehyde problems and regulations. Wash. State Univ., Pullman, Washington. pp. 3~20.
65. Talcin, N. and V. Sevinc. 2001. Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics International.* 27: 219~224.
66. Tomita, B. and Y. Hirose 1980. How chemical structure of UF resin affects formaldehyde emission *Mokuzai Kogyo* 35(5):193~199.



67. Velikonja, S., I. Jarc, L. Zupancic-Kralj, and J., Marsel, (1995) Comparison of gas chromatographic and spectrophotometric techniques for the determination of formaldehyde in water. *J Chromatography A* 704(2): 449~454.
68. S. Kim, H.-J. Kim, Evaluation of formaldehyde emission of pine & wattle tannin-based adhesives by gas chromatography, *Holz. Roh. Werkst.* 62(2004) 101.
69. S. Kim, H.-J. Kim, Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bounded with formaldehyde-based resins, *Bioresource Technol.* 96 (2005) 1457
70. S. Kim, H.-J. Kim, Effect of addition of polyvinyl Acetate to melamine-formaldehyde resin on the adhesion and formaldehyde emission in engineered flooring. *Int. J. Adhes. Adhes.* 26 (2006) 456
71. R. Otson, P. Rellin, Characterization and cycling, in: J.O. Nriagu (Ed.), *Gaseous Pollutants*, Wiley, New York, 1992, p.335
72. T.J. Kelly, D.L. Smith, J. Satola, Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes, *Environ. Sci. Technol.* 33 (1999) 81.
73. P.K. Kavvouras, D. Koniditsiotis, J. Petinarakis, Resistance of cured urea-aldehyde resins to hydrolysis: a method of evaluation, *Holz. Roh. Werkst.* 52 (1998) 105
74. B.A. Tichenor, Organic emission measurements via small chamber testing, *Proceeding of Indoor Air '87*, Vol.1, 1987, p. 8
75. P. Wolkoff, P. A. Clausen, P.A. Nielsen, H. Gustafsson, B. Jonsoon, E. Rasmusen, Field and Laboratory Emission Cell:FLEC, *Proceeding of Healthy Building'91*, 1991. p.160
76. S.K. Brown, Chamber assessment of formaldehyde and VOC emission from wood-based panels, *Indoor Air* 9 (1999) 209.

77. L. Gunnarsen, P.A. Nielsen, P. Wolkoff Design and characterization of the CLIMPAQ, chamber for laboratory investigation of materials, *Poll. Air Quality. Indoor Air* 4(1994) 56.
78. R. Funaki, S. Tanabe, Chemical emission rates from building materials measured by a small chamber, *J. Asian Architect. Build. Eng.* 1 (2) (2002) 93.
79. A. Afshari, B. Lundgren, L.E. Ekberg, Comparison of three small chamber test methods for the measurement of VOC emission rates from paint, *Indoor Air* 13 (2) (2003) 156.
80. M. Risholm-Sundman, N. Wallin, Comparison of different laboratory methods for determining the formaldehyde emission from three-layer parquet floors, *Holz. Roh. Werkst.* 57 (5) (1999) 319.
81. S.K. Brown, Occurring of volatile organic compounds in indoor air, in: T. Salthammer (Ed.). *Organic indoor air pollutants, occurrence, measurement, evaluation*, Wiley-VCH, Weinheim, 1999, p.171
82. H. Rothweiler, P.A. Wager, C. Schlatter, Volatile organic compounds and some very volatile organic compounds in new and recently renovated buildings in Switzerland, *Atmos. Environ.* 26 (1992) 2219.
83. M. Tuomaninen, A.-L. Pasanen, A. Tuomninen, J. Liesivuori. P. Juvonen, Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction of indoor climate between two blocks of flats in Finland, *Atmos. Environ.* 35(2001) 305.
84. P. Wolkoff, P.A. Clausen, P.A. Nielsen, L. Molhave, The Danish twin apartment study: part I: formaldehyde and long-term VOC measurements, *Indoor Air* 4 (1991) 478.
85. S. Kim, H.-J. Kim, Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperatures in under heating system: ONDOL, *Indoor Air* 15(2005) 317.
86. ASTM-D5116-97, Standard Guide for Small-scale Environmental Chamber

Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/products, 1997.

87. ASTM-D6007096, Standard Test Methods for Determining Formaldehyde Concentrations in Air from Wood Products Using a Small Scale Chamber, 1996.
88. ECA-IAQ Report No.2, Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers, Luxembourg, 1989.
89. ECA-IAQ Report No.8, Guideline for the characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers, Brussels, 1991.
90. ECA-IAQ Reprt No.13, Determination of VOCs emitted from indoor materials and products-inter laboratory comparison of small chamber measurements, Brussels, 1995.
91. ECA-IAQ Reprt No.16, Determination of VOCs emitted from indoor materials and products-second inter laboratory comparison of small chamber measurements, Brussels, 1995.
92. ENV 13419-1, building products-determination of the emission of volatile organic compounds-Part I :emission test chamber methods, Brussels, European Committee for Standardization, 1999.
93. M.D.Koontz, M.L. Hoag, Volatile organic compound emissions from particleboard and medium density fiberboard, in:Proceedings No. 7301:measuring and controlling Volatile Organic Compound and Particulate Emissions from Wood Processing Operations and Wood-Based Products, Madison, WI, Forest Products Society, 1995, 76.
94. American National Standards Institute. 1989. ANSI/A208.1-1989, Wood Particleboard, New York.
95. American Society for Testing and Materials. 1994. Standard Test Method for Determining Formaldehyde Levels from Wood Products Using a Desiccator. ASTM D 5582. Philadelphia, PA.



96. Barringer. E. A.; Bowen. H. K.; T. Am. Ceram. Soc., 1982, 65, C199
97. Ciccioi, P. E, M. Brancaleoni, S. Frattoni, A. Marta, M. Brachetti and M. Vitullo. 2003. Relaxed eddy accumulation, a new technique for measuring emission and deposition fluxes of volatile organic compounds by capillary. J. Chromatography A, 85: 283~296
98. European Committee for Standardization. 1991 perforator Method, EN 120.
99. Formaldehyde Institute. 1992. Formaldehyde Q&A. Formaldehyde Institute, Washington, D.C. 9p.
100. Fujishima. A.; Hashimoto. K.; Watanabe. T.; TiO<sub>2</sub> PHOTOCATALYSIS Fundamentals and Applications; 1999. pp 127~129.
101. Fujishima. A.; Hashimoto. K.; Watanabe. T.; TiO<sub>2</sub> PHOTOCATALYSIS Fundamentals and Applications; 1999. pp 70~73.
102. Guo, H. F., Murray and S.-C. Lee. 2002 Emission of total volatile organic compounds from pressed wood products in an environmental chamber. Building and Environmental chamber Building and Environment 37:1117~1126.
103. Kim, S. and H.-J. Kim. 2003. Curing Behaviors and Viscoelastic Properties of Wattle & Pine Tannin-based Adhesives by dynamic Mechanical Thermal Analysis & Microscopes FTIR-ATR Study. Journal of Adhesion Science & Technology 2003 in printing.
104. Kim, S, Y.-K. Lee and H.-J. Kim 2003. Evaluation of formaldehyde emission of pine & wattle tannin-based adhesives by gas chromatography. Holz als Roh-und Werkstoff 2003. in printing.
105. Komiyama. H.; Kanai. T.; Inoue. H.; Chem. Lett., 1984, pp.1283
106. Lee, Y.-K, S. Kim, H.-S. Yang and H.-J. Kim. 2003. Formaldehyde content of rice husk flour filled wood-particleboard bonded with urea-formaldehyde resin by perforator and gas chromatography methods. Bioresource Technolohg 2003. on printing
107. Lorenz, L.F., A. H. Conner and A. W. Christiansen. 1999. The effect of soy

- protein additions on the reactivity and formaldehyde emission of urea formaldehyde adhesive resins. *Forest Products Journal* 49(3): 73~78.
108. MYers, G. E. 1990. Formaldehyde liberation and cure behavior of urea-formaldehyde resins. *Holzforschung* 44(2): 117~126.
109. MYers, G. E. 1985. The effects of temperature and humidity on formaldehyde emission from UF-bonded boards. *Forest Products Journal*. 35(9): 20~31.
110. MYers, G. E. 1984. How mole ratio of UF resin affects formaldehyde emission and other properties *Forest Products Journal* 34(5): 35~41.
111. National Particleboard Association. 1994. 1993 U.S. Annual Shipments & Production: Particleboard and Medium Density Fiberboard Industry. NPA, Gaithersburg, MD.
112. Nishiwaki.; Kakuta. t.; Ueno. A.; Nakabayashi. H.; *J. Catal.*, 1989, pp.118, pp.498
113. Pizzi A. 1989. *Wood adhesives chemistry and technology volume 2*, MARCLE EKKER INC, New York. pp. 343.
114. Santos, F. J., M. T. Galcern. 2002. The application of gas chromatography to environmental analysis. *Trends in analytical chemistry* 21(9+10): 672~685.
115. Shannon. R. D.; Pask. J. A.; *J. Am. Cer. Soc.* 48(1965) pp.1149.
116. Wallace, P.D. 1983. *Urea-Formaldehyde Resins*. Reichhold Chemicals, Inc.. White Fields, N.C. 6p.
117. Wolkoff. P. and G. D. Nielsen. 2001. Organic compounds in indoor air-their relevance for perceived indoor air quality. *Atmospheric Environment* 35: 4407~4417.
118. Wiglusz, R., E. Stitko, G. Nikel, I. Jarnuszkiewicz and B. LgIelska. 2002. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds(VOCs) from laminate flooring case study. *Building and Environment* 37:41~44.

119. Zinn, T. W., D. Cline and W. F. Lehmann. 1990. Long-term study of formaldehyde emission decay from particleboard. *Forest Products Journal* 40(6): 15~28.
120. T. M. Malonry. 1993 *Modern particle & Dry-Process Fiberboard Manufacturing*: Miller Freeman. Inc
121. Wood Waste Feedstock Specification for Medium Density Fiberboard: Clean washington Center. [http://www.cwc.org/wd\\_bp/wbp3-0202.htm](http://www.cwc.org/wd_bp/wbp3-0202.htm)
122. Investigation of Alternative Markets for Recycled Wood: International Resources Unlimited, Inc. Portland Metropolitan Service District; 1992.
123. Kollmann F.F.P, 1975 *Principles of Wood Science and Technology Vol.2* p593
124. Bao, M, Q., M. Morita, and M. Higuchi, 2001. Utilization of Charcoal from Wood Waste Properties of charcoal-cement composite boards. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 46(1): 93~102.
125. Elgar. H J., A. B. Woolf., R. L. Bieleski. 1999. Ethylene production by three lily species and their response to ethylene exposure. *Postharvest Biology and Technology*. 16: 257~267
126. Korea Standard Association. 1997. KS F 3200. Fiberboard.
127. Korea Standard Association. 1997. KS F 3200. Particle boards.
128. Lee H.H. and S. G. Kang. 2003. Ethylene Gas Adsorption of Clay-Woodceramics from 3 layers-clay-woodparticleboard. *Mokchae Konghak* 31(6): 83~87.
129. Oh, S. W., Hirose T. and Okabe T.2000. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(I)(II). *Mokchae Konhak* 28(4):50~60
130. Park, S.B., and Kwon, S.D. New use of bamboo (II). 1998. Development of carbonizing furnace and carbonizing schedule for bamboo, *Forest Science Technical Report* 59: 17~24  
외 ( I),(IV)



131. Serek. M., E. C. Sisler., M. S. Reid. 1994. Novel Gaseous Ethylene binding Inhibitor Prevents Ethylene Effects in Potted Flowering plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(6): 1230~1233
132. Serek. M., E. C. Sisler. 2001. Efficacy of inhibitors of ethylene binding in improvement of the postharvest characteristics of potted flowering plants. *Postharvest Biology and Technology.* 23: 161~166.
133. Son. K. C., J. N. Suh. 1999. Ethylene Production in Liliun Oriental Hybrid 'Casa Blanca' Florets during the Vase Life. *J, Kor. Soc. Hort. Sci.* 40(4): 467~469.
134. 壁紙材料協會, 2000, 放散試験チャンバー法, 建築材料の揮発性有機化合物(VOC)及びアルデヒド類放散測定
135. Bruce A. Tichenor, Mark A. Mason, 1988, Organic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the indoor Environment, *JAPCA*, Vol. 38, No, 3, pp. 264~268.
136. K Levsen, E Iigen, J Angerer, P Schneider and J Heinrich, 1999, HUMAN'S EXPOSURE TO BENZENE AND OTHER AROMATIC HYDROCARBONS : INDOOR AND OUTDOOR SOURCES, *Indoor Air 99*, Vol. 5, pp. 312~317.
137. J.S.Park, S.Fujii, 1999, EVALUATION OF VOC EMISSION FROM SOLID BUILDING MATERIALS BY DIFFUSION MODEL, *Indoor Air*, Vol. 5, pp. 161~166
138. L.Molhave, G.Clausen, B.Berglund, J.DE Ceaurriz, A.Kettrup, T.Lindvall, M.Maroni, A.C.Pickering, U.Risse, H. Rothweiler, B.Seifert and M. Younes. (1997), Total Volatile Organic Compounds(TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, *Indoor Air*, (7) 225~240.
139. H.N.Knudsen, U. D. Kjacr, P. A. Nielsen, P. Wolkoff.(1999), Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products : impact of concentration and air velocity, *Atmospheric Environment*, 1217~1230.

140. Clean washington Center에서 보고한 Best Practices in Wood Waste Recycling중 Wood Waste Feedstock Specification for Medium Density Fiberboard에서 보고
141. 2004년 환경부 폐기물(폐목재) 통계 자료
142. 2004년 목재 공학회 추계 학술 논문 발표집. 한태영 등이 보고
143. 2005년 목재 공학회 춘계 학술 논문 발표집. 이화형 등이 보고
144. KS F 3200에 따르면 경질판의 측정 조건에서 두께팽윤율은 해당되지 않지만, 중밀도 섬유판의 규정 (7mm이하의 판-17%이하)에 만족했고, 흡수율 역시 보통 경질판 25%(S35형)이하에 만족하였다.