

변성 비닐계 접착제를 이용한 파티클보드의 포름알데히드/VOCs 방산특성

김기욱 · 이세나 · 백봉산 · 이병호 · 김현중[†] · 최윤미¹ · 장성욱¹

서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실, ¹(주)오공 연구소
(2008년 3월 7일 접수, 2008년 3월 19일 채택)

The Formaldehyde/VOCs Emission of Particleboard with Cross-linked Vinyl Resin

Ki-Wook Kim, Se Na Lee, Bong-San Baek, Byong-Ho Lee, Hyun-Joong Kim[†], Younmee Choi¹,
and Seong Wook Jang¹

Lab. of Adhesion & Bio-composites, Program in Environmental Materials Science, Dept., of Forest Sciences, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

¹Okong Corp., Namdong-gu, Incheon 405-846, Korea

(Received March 7, 2008; Accepted March 19, 2008)

요약: 요소 수지와 변성 비닐계 수지의 혼합비에 따라 200 : 0, 180 : 20, 140 : 60, 100 : 100 으로 파티클보드를 제작하였다. 제조된 파티클보드는 변성 비닐계 수지의 비율이 증가수록 함수율과 밀도가 약간 감소하였다. 기계적 특성은 휨강도의 경우 변성 비닐계 수지 첨가로 인해 파티클보드의 전체적인 휨강도는 증가하였으나 박리강도는 약간 감소하였다. VOC Analyzer를 이용하여 방산 실험을 한 결과 실험 종료 후, 4 VOCs의 값이 294 µg/L, 1435 µg/L, 1272 µg/L 정도로 저감되었다. 또한 FLEC을 이용하여 TVOC, 5 VOCs, 포름알데히드의 방산 실험 결과 요소수지만으로 만들어진 파티클보드의 방산값이 각각 1.392 mg/m²h, 0.0259 mg/m²h, 0.179 mg/m²h 정도를 나타내었다. 요소 수지와 변성 비닐계 수지의 혼합비를 동일하게 하여 제조된 파티클보드로부터 방산된 경우 0.235 mg/m²h, 0.0033 mg/m²h, 0.105 mg/m²h 로 저감되었다.

Abstract: This study was used particleboard with urea-formaldehyde resin and cross linking vinyl resin. Manufactured particleboard had high cross linking vinyl resin content that internal bonding strength was low value but flexural strength was increased. For emission test of particleboard using VOC Analyzer, it was confirmed that more cross linking vinyl resin had reduced 4 volatile organic compounds (Toluene, Ethylbenzen, Xylene, Styrene) but also TVOC (Total VOC), 5 VOCs (Benzene, Toluene, Ethylbenzen, Xylene, Styrene) and formaldehyde emissions from manufactured particleboard were also lower emission factor than particleboard with only urea formaldehyde resin.

Keywords: particleboard, FLEC, VOC Analyzer, formaldehyde, VOC

1. 서 론

요소수지(Urea-Formaldehyde resin)를 사용하여 결합시킨 목질복합재료는 인체의 건강을 위협하는 포름알데히드와 같은 독성 물질을 방산한다. 현재 전 세계인들이 환경에 관한 관심이 증가하고 있기 때문에 이를 방지하기 위한 방안 및 규제들이 생겨나고 있다. 이미 미국과 유럽에서는 가구용 목질 판상재료 및 건축자

재료부터 방산되는 포름알데히드의 방산량을 규제하고 있다[1]. 특히 실내에서 방산되는 포름알데히드는 건축용 자재에서 주로 방산된다고 알려져 있다[2]. 또한, 지난 십여 년 동안 건축자재에서 방산되는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds)의 측정법이 개발되어 왔으며 이러한 측정법들은 건축자재를 만드는 작업자들이나 실내공기 연구원들에게 아주 중요하다고 할 수 있다[3]. 이러한 측정법의 개발로 인해 목질 판상재료에서 방산되는 유해물질의 방산 수준이 측정되어 왔으며 이로 인해 왕겨 등과 같은 스케빈저가

[†]Corresponding author: e-mail: hjokim@snu.ac.kr

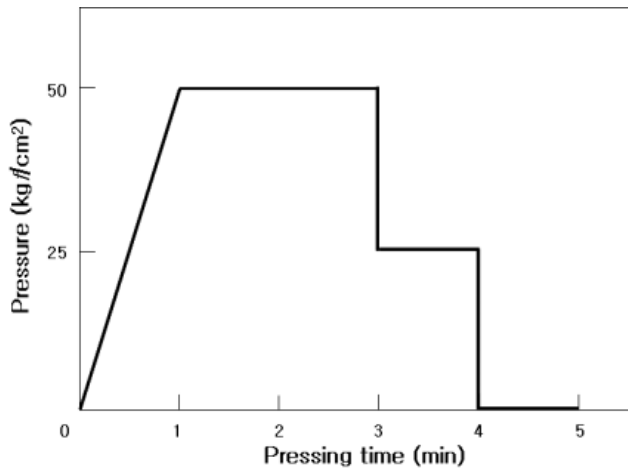


Figure 1. Hot-pressing schedule.

포함된 저방산 목질복합재료가 연구되었고 요수수지에 멜라민 수지나 초산비닐수지 등을 혼합하여 목질복합재료에 적용시킨 연구가 활발하게 진행되고 있다 [4-10].

2. 실험

2.1. 재료 및 제조

파티클보드(PB) 제조에 사용한 목재 파티클은 E사에서 분양받은 재생 파티클을 사용하였다. PB 제조시 수지는 Urea-Formaldehyde (UF) 수지와 O사에서 제공받은 변성 비닐계 접착제를 사용하였다.

UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 혼합비(wt%)는 200 : 0, 180 : 20, 140 : 60, 100 : 100의 4 종류로 실험을 진행하였다. UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 수지율(solid content)은 각각 52%와 50%를 나타내었으며 목질 전건 중량에 대하여 10%를 사용하였다. 경화제 및 왁스는 10% Na₄Cl 수용액과 파라핀 에멀전을 사용하였으며, 수지와 파티클 혼합 시 첨가하였다. PB는 350 × 350 × 11 mm 크기의 단층보드로 제작하였으며 목표밀도는 0.8 g/cm²로 하였다. 보드 제조 시 압력은 Figure 1과 같이 50 kgf/cm², 25 kgf/cm², 0 kgf/cm²으로 각각 3분, 1분, 1분씩 가하였고 온도는 180°C을 유지시켰다. 이후, 1분 정도 냉압(cold press)을 가하였다.

2.2. 보드의 성능시험

제조된 파티클보드는 한국 산업규격 KS F 3104 (파티클보드)에 의거하여 보드밀도, 함유율, 휨강도, 박리강도(IB)를 측정하였다.

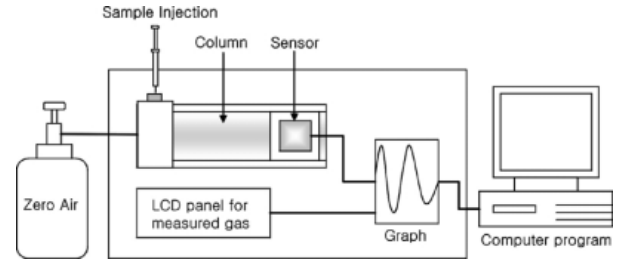
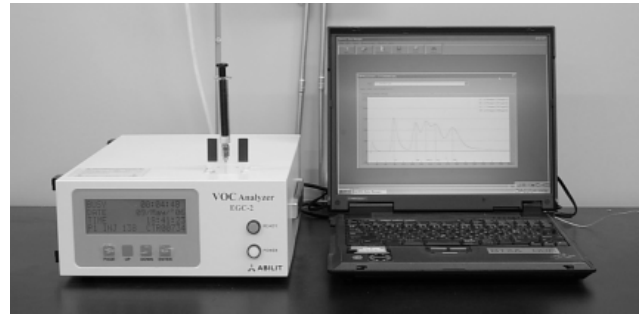


Figure 2. Schematic diagram of the VOC Analyzer.



Figure 3. VOC Analyzer method.

2.3. 포름알데히드/VOCs 방산 특성

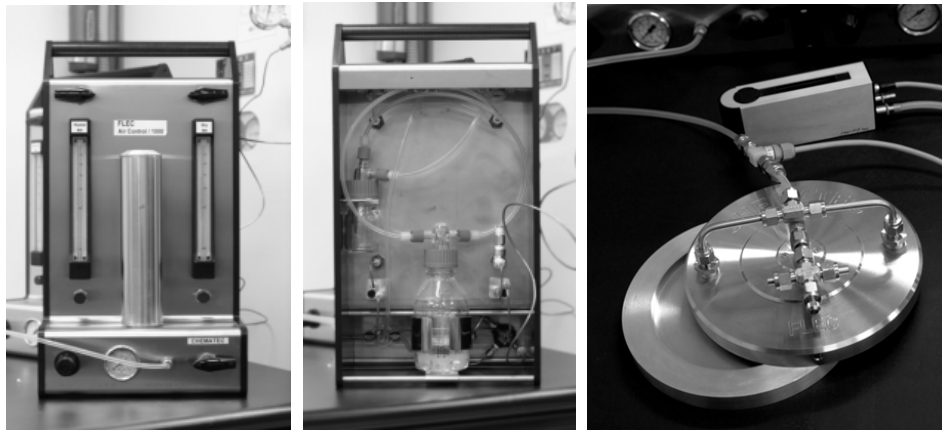
2.3.1. VOC Analyzer를 이용한 VOC 방산 측정

VOC Analyzer는 주로 toluene, ethylbenzene, xylene, styrene 4가지 방향족 탄화수소 가스를 측정하기 위한 휴대용 장비이다(Figure 2). VOC Analyzer는 초감도 반도체 가스 센서가 장착되어 전형적인 가스 포집기 또는 복잡한 장비 등이 필요 없으며, Abilit 사가 개발한 특수한 컬럼은 4가지 방향족 탄화수소 가스를 분리하는데 사용되고 고해상도의 반도체 센스는 분리된 가스를 검출하게 되어 있다[11].

제조된 파티클 보드를 향한 습도(온도 25°C ± 1, 습도 50 ± 5%)에 일주일 동안 보관하였다. 파티클 보드를 10 cm × 10 cm 시편으로 절삭한 후 하루 더 보관하였다. 그후, 3 L 폴리에스테르 봉지에 각 시편을

Table 1. The test condition of FLEC and 20 L small chamber

Test Condition	FLEC	20 L Small Chamber (환경부공정시험법기준)
Sample Area	0.0177 m ²	0.0392 m ²
Volume	0.035 L	20 L
Loading Factor (Area of sample/Volume, m ² /m ³)	505.71 m ² /m ³	1.96 m ² /m ³
Air Change Rate (h-1)	428.57/h	0.5 ± 0.05/h
Air Supply (mL/min)	250 mL/min	167 mL/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 : 50 mL/min, 1.5 L Formaldehyde : 150 mL/min, 4.5 L	VOC : 167 mL/min, 3.2 L Formaldehyde : 167 mL/min, 10 L
Inlet Air	High purity air	Room air
Background Concentration	VOC : 2 µg/m ³ TVOC : 20 µg/m ³	VOC : 2 µg/m ³ TVOC : 10 µg/m ³
Cleaning Process	Vacuum oven or cleaning by methylene then high purity air for 1 day	Cleaning by pure water then oven for above 15 min in 260°C
Analysis Method	VOC : GC/MS Formaldehyde : HPLC	VOC : GC/MS Formaldehyde : HPLC

**Figure 4.** Air supply and sampling pump of FLEC. (a) front view of air supply, (b) back view of air supply, (c) FLEC.

넣은 후, N₂가스로 봉지 안을 3번 정도 정화시키고 다시 N₂가스로 채워 넣었으며 빈 폴리에스테르 봉지에 N₂가스 주입하여 대조군을 측정하였다. 실린지를 이용하여 폴리에스테르 봉지의 공기의 1, 3, 6, 12, 24, 48, 96시간에 포집하였다. 포집된 공기를 VOC Analyzer에 주입하여 분석했다(Figure 3).

2.3.2. Desiccator 법을 이용한 포름알데히드 측정

KS L 2303에 규정하는 내경 240 ± 15 mm, 부피 약 11.5 L의 데시케이터 밑부분에 300 ± 1 mL의 증류수를 넣은 내경 115 ± 1 mm, 높이 60 ± 2 mm의 결정 접시를 놓고 지지대를 설치한 후 50 mm × 150 mm의

시험편을 원판의 중앙부분에서 채취하여 그 지지대 위에 설치하였다. 이때 시험편은 전 표면적이 1800 cm²가 되도록 하였으며 채취된 시험편은 온도가 20 ± 2°C, 습도 65 ± 5%에서 일주일 동안 전처리를 하였다. 24시간동안 향온 향습실에 방치한 후 formaldehyde가 포집된 증류수를 아세틸 아세톤-아세트산 암모늄용액을 사용하여 적정한 후 분광 광도계를 이용하여 포름알데히드 방산량을 측정하였다.

2.3.3. FLEC을 이용한 포름알데히드/VOCs 방산 측정

FLEC을 이용한 측정 실험이 20 L 소형 챔버법에 비해 가지는 가장 큰 특징은 비교적 단시간에 가능하

Table 2. Physical and mechanical properties of manufactured particleboard

Mixture ratio (Urea Formaldehyde : Cross-linking vinyl)	Moisture content (%)	Density (g/cm ³)	Flexural strength (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
200 : 0	4.68	0.86	16.89	1.53
180 : 20	3.91	0.86	17.12	1.80
140 : 60	3.30	0.72	18.11	0.61
100 : 100	3.26	0.78	21.3	0.75

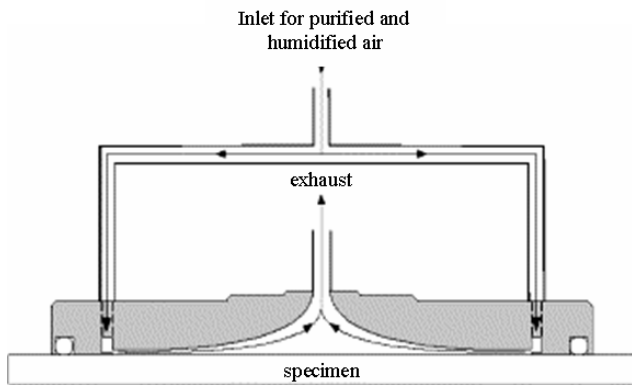


Figure 5. A schematic showing the flow geometry of the FLEC.

다는 것이다. 아래의 Table 1은 FLEC과 20 L 소형챔버의 시험 조건을 나타내었다.

FLEC의 emission cell 내부로의 공기유입과 온습도 조절을 Figure 4에 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 275 mL/min, 상대습도 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 5처럼 내부로 확산되어 재료 위를 흐르게 된다.

휘발성유기화합물의 측정은 Tenax-TA와 formaldehyde의 측정은 DNPH-cartridge를 이용하는데 오존의 제거를 위해 카트리지 앞에 오존 스크리버를 장착하여 포집하였다. 실험 재료를 emission cell에 세팅하기 전에 온습도가 안정된 것을 확인한 후 실험을 진행한다. 각 시험편들은 일주일정도 온도가 20 ± 2°C, 습도 65 ± 5%에서 전처리를 하였다. FLEC 아래에 설치한 뒤 30분 정도 고순도 공기를 흘려주는 작업을 한 후 포집을 하였다. FLEC법은 펌프를 이용하여 VOCs와 formaldehyde를 30분 동안 각각 1.5 L, 4.5 L를 포집하

였다. 총 주입되는 공기의 양은 275 mL/min이고 남은 55 mL/min은 air outlet을 통해 외부로 방출된다. 포집을 마친 튜브들은 은박지로 감은 후 지퍼 백에 밀봉되어 분석 전까지 4°C 이하로 냉장 보관되며 개봉 후 VOCs는 GC/MS로 Formaldehyde는 HPLC로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 파티클 보드의 물리/기계적 특성

Table 2는 UF와 변성 비닐계 접착제의 혼합비에 따라 제조된 PB의 물리/기계적 특성을 나타낸 표이다. 제조된 파티클 보드의 함수율은 혼합비에 따라 3.26~4.68% 정도를 나타내었다. UF 수지를 이용하여 제조된 파티클보드는 열압과정 후 공기 중에 있는 수증기와 경화되지 않은 유리 포름알데히드가 반응하여 강도가 저하되며 이를 방지하기 위해 냉압(cold press) 과정을 거친다. 따라서 UF 수지의 첨가량이 많은 파티클보드의 경우 미경화된 유리 포름알데히드가 공기 중의 수증기와 결합하여 함수율이 증가한 것으로 사료된다. 이로 인해 밀도 역시 0.72 g/cm³~0.86 g/cm³로 UF 수지의 첨가량이 많을수록 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

휨강도는 UF 수지로 제작된 파티클 보드의 휨강도는 16.89 N/mm²를 나타내었으나 변성 비닐계 접착제 수지를 혼합비율이 10, 30, 50%로 증가함에 따라 17.12, 18.11, 21.3 N/mm²로 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 박리강도(IB)값은 UF 수지에 첨가된 변성 비닐계 접착제 수지의 혼합비가 0에서 100으로 증가함에 따라 1.53 N/mm²에서 0.75 N/mm² 정도로 점차 떨어지는 경향을 나타내었다. 일반적으로 파티클보드의 열압공정은 3단계로 구분된다. 1단계는 승압시간 또는 폐쇄시간으로서 열판이 매트표면에 닿을 때부터 일정 예정두께에 도달할 때까지의 시간이며 2단계는 최대압력을 유지하는 시간 그리고 3단계는 매트의 응력완화가 이루어지는 감압시간을 말한다. 파티클 매트를 열압하면 가열된 수증기가 내부압력 경사에 의해 표층으로부터 중심층으로 이동하는 열전달이 이루어진다.

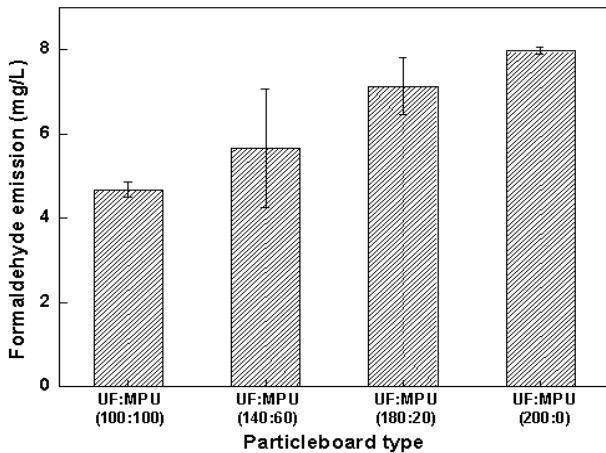


Figure 6. Formaldehyde emission from Particleboard type using desiccator.

표층의 함수율이 높은 파티클 매트를 고속으로 가압하면, 표층부분은 가스화되어 충분히 압축 경화되지만, 내층부분은 열전달이 늦어짐으로써 압축량이 적어지게 되며, 결과적으로 표층부분은 치밀하지만, 내층부분은 밀도가 낮고 취약한 보드가 만들어지게 된다. 이로 인해 보드의 내부접착력 즉 박리강도는 낮아지며, 휨강도는 높아진다.

즉, MPU의 혼합비가 증가함에 따라 동일한 열압시간 조건에서 경화속도가 조금 느리게 이루어졌다는 것을 확인할 수 있다. 그로 인해 내부의 경우 열전달이 원활하지 못하여 박리강도가 약해진 것을 확인할 수 있었다. 하지만 표층은 가스화되고 압축경화도 이루어진 것으로 사료되며 또한 변성 비닐계 접착제 첨가로 인해 파티클보드의 전체적인 휨강도는 증가하였다.

3.2. Desiccator 법 결과

Figure 6은 UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 혼합비에 따라 제조된 파티클 보드에서 방산되는 포름알데히드를 데시케이터 법을 이용하여 측정한 결과이다. UF 수지만으로 만들어진 파티클보드에서는 포름알데히드 방산량이 7.97 mg/L 정도로 나타났다. 하지만, 변성 비닐계 접착제의 혼합량이 20, 60, 100으로 증가함에 따라 포름알데히드 방산량은 각각 7.13~4.67 mg/L로 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 UF 수지와 변성 비닐계 접착제를 동일 비율로 혼합하여 제조된 파티클보드에서 방산되는 포름알데히드의 방산량은 UF 수지 단독으로만 사용된 파티클보드의 포름알데히드 방산량 보다 약 41% 정도의 포름알데히드 방산 저감효과가 있는 것으로 확인하였다.

이는 파티클보드 제조 시 혼합되는 UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 혼합량에 기인하는 것으로 생각되며

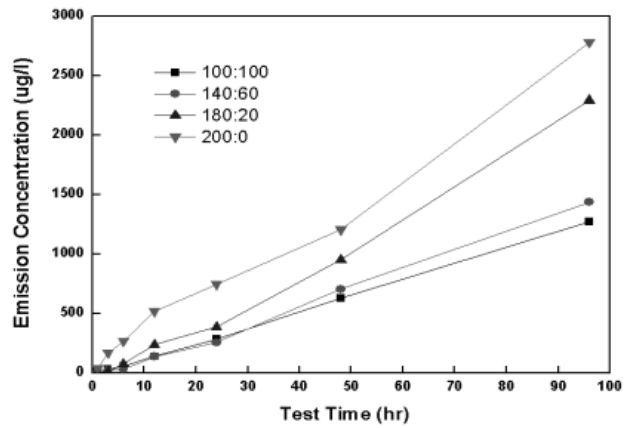


Figure 7. 4 VOCs emission concentration using VOC Analyzer.

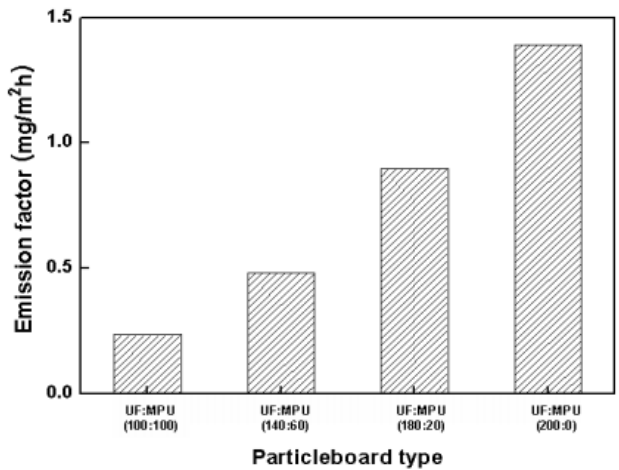


Figure 8. TVOC emission factor using FLEC.

UF 수지에 변성 비닐계 접착제의 첨가량이 증가함에 따라 포름알데히드 방산량이 저감되는 것으로 보아 제조된 파티클보드에서 방산되는 포름알데히드는 변성 비닐계 접착제보다는 주로 UF 수지량에 주로 영향을 받았으며 따라서 변성 비닐계 접착제를 첨가함에 따라 환경 친화적인 파티클보드의 생산이 가능할 것으로 사료된다.

3.3. VOC Analyzer 결과

Figure 7은 제조된 파티클 보드에서 방산된 4 VOCs (toluene, ethylbenzene, xylene, styrene)를 VOC Analyzer를 이용하여 측정한 결과이다. 실험 시작 후, 96시간 까지 UF 수지만 사용되어 제조된 파티클 보드의 4 VOCs 방산량은 2780 µg/L 정도로 가장 높은 VOC 방산량을 나타내었으며 변성 비닐계 접착제의 혼합비가 20에서 100으로 증가할수록 2294 µg/L, 1435 µg/L,

Table 3. 5 VOCs emission concentration

Unit : (mg/m²h)

Specimens (UF : MPU)	Benzene	Toluene	Etylbenzene	Xylene	Styrene	5VOCs
100 : 100	0.000	0.004	0.0016	0.0105	0.000	0.0033
140 : 60	0.000	0.008	0.0012	0.0100	0.000	0.0039
180 : 20	0.000	0.077	0.0184	0.0223	0.000	0.0237
200 : 0	0.000	0.081	0.0200	0.0273	0.000	0.0259

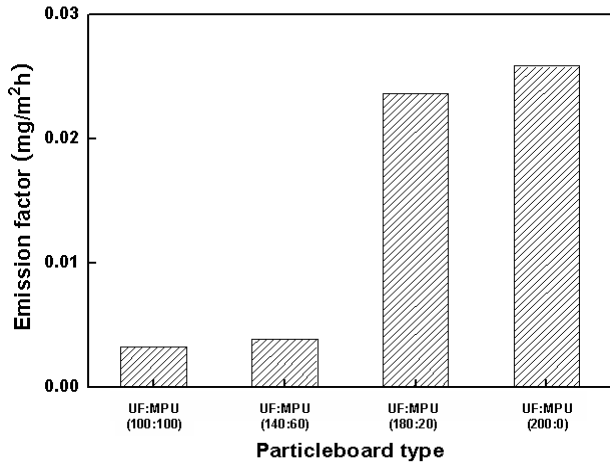


Figure 9. 5 VOCs emission factor using FLEC.

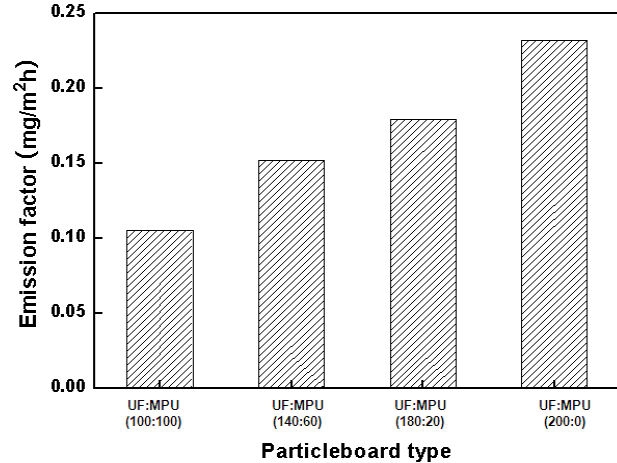


Figure 10. Formaldehyde emission factor using FLEC.

1272 µg/L로 점차 떨어지는 경향을 나타내었다. 이는 UF 수지에서 방산되는 VOC 양이 무프탈레이트계인 변성 비닐계 접착제 혼합이 증가함에 따라 제조된 파티클 보드에서 4 VOCs 양이 줄어든다는 것을 확인할 수 있다.

3.4. FLEC 결과

Figure 8은 각각의 혼합비로 제조된 파티클보드에서 방산되는 TVOC를 FLEC 실험을 통해 나타낸 그래프이다. UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 혼합비가 100 : 100, 140 : 60, 180 : 20, 200 : 0에 따라 TVOC 값이 0.235, 0.481, 0.898, 1.392 mg/m²h 로 각각 나타났다. 다시 말해 UF 수지 단독으로 사용하여 만들어진 파티클보드보다 변성 비닐계 접착제가 혼합된 수지를 이용하여 만들어진 파티클보드에서 방산되는 TVOC 가 더 낮다는 것을 확인할 수 있으며 이는 위의 VOC Analyzer의 결과와 일치하다는 것을 알 수 있다.

하지만 TVOC는 인체에 유해한 VOC뿐만 아니라 인체에 이롭거나 혹은 인체의 유해 유무가 판단되지 않은 미지의 VOC 값이 모두 포함된 수치이기 때문에 각각의 파티클보드에서 방산된 TVOC 수치 중 인체에 유해한 VOCs (benzene, toluene, etylbenzene, xylene, styrene) 만을 추출하여 Figure 9와 Table 3에 나타내었다.

5 VOCs의 방산정도는 Figure 9에서 살펴보는 것과

같이 각각 0.0033 mg/m²h~0.0259 mg/m²h 정도로 전체적으로 비교적 낮은 값을 나타내었으며 TVOC 방산 경향과 유사하게 나타내었다. 또한 변성 비닐계 접착제를 UF 수지와 동일하게 혼합한 경우 5 VOCs 방산량이 UF 수지 단독으로 사용된 파티클보드에서 방산되는 5 VOCs 수준의 12.7% 정도로 낮게 방산된다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3에서 살펴보면 모든 파티클보드에서 벤젠과 스티렌 값은 나타나지 않았으며 톨루엔의 방산 정도가 다른 VOC에 비해 높게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 UF 수지와 변성 비닐계 접착제의 혼합비가 동일하게 혼합된 파티클보드의 경우 UF 수지만 사용된 파티클보드에서의 톨루엔의 방산량에 비해 약 4.9% 수준으로 저감된 것을 확인할 수 있었다. 에틸벤젠과 자이렌의 저감정도는 대조군에 비해 8%와 38.5% 정도의 수준으로 각각 나타났다.

Figure 10은 각각의 파티클보드로부터 방산되는 포름알데히드 농도를 나타낸 그래프이다. 포름알데히드 방산량은 UF 수지만 사용된 파티클보드의 경우 0.232 mg/m²h 정도를 나타내었으며, 변성 비닐계 접착제 첨가량에 따라 방산 정도가 0.179 mg/m²h, 0.152 mg/m²h, 0.105 mg/m²h로 점차 낮아졌다. 즉 대조군에 비해 UF 수지와 변성 비닐계 접착제가 동일한 양이 혼합될 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 54.7%의 포름알데히

드 저감효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 UF 수지에서 방산되는 포름알데히드의 양이 변성 비닐계 접착제가 혼합됨에 따라 그 방산 정도가 저감되었기 때문이라 사료된다.

4. 결 론

요소 수지와 변성 비닐계 수지를 혼합비에 따라 200 : 0, 180 : 20, 140 : 60, 100 : 100 하여 혼합하였고 이를 이용하여 파티클보드를 제작하였다.

파티클보드의 물리적 특성은 변성 비닐계 수지의 비율이 많은 파티클보드의 경우 함수율이 3.26% 정도로 감소하였다. 밀도 역시 0.72 g/cm^3 정도로 약간 감소하였다. 기계적 특성은 휨강도의 경우 변성 비닐계 수지 첨가로 인해 파티클보드의 전체적인 휨강도는 약 126% 정도 증가하였으나 박리강도는 오히려 약 51% 정도 감소하였다.

VOC Analyzer를 이용하여 방산 실험을 한 결과 실험 종료 후, 4 VOCs의 값이 $294 \mu\text{g/L}$, $1435 \mu\text{g/L}$, $1272 \mu\text{g/L}$ 정도로 저감됨을 확인하였다. 또한 FLEC을 이용하여 TVOC, 5 VOCs, 포름알데히드의 방산 실험 결과 요소수지만으로 만들어진 파티클보드의 방산값이 $1.392 \text{ mg/m}^2\text{h}$, $0.0259 \text{ mg/m}^2\text{h}$, $0.179 \text{ mg/m}^2\text{h}$ 정도를 나타내었지만 요소 수지와 변성 비닐계 수지의 혼합비를 동일하게 하여 제조된 파티클보드로부터 방산된 경우 $0.235 \text{ mg/m}^2\text{h}$, $0.0033 \text{ mg/m}^2\text{h}$, $0.105 \text{ mg/m}^2\text{h}$ 로 저감된 것을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발연구과제(506026-03-1-SB010)에 의해서 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. P. K. Kovvouras, D. Koniditsiotis, and J. Petinarakis, *Horzforschung*, **52**, 105 (1998).
2. J. A. Pickrell, L. C. Griffis, B. V. Mokler, C. H. Hobbs, G. M. Kanapilly, and A. Bathija, formaldehyde release rate coefficients from selected consumer products. In: Meyer, B., Andrews, B. and Reinhardt, R. M. (eds) Symposium Series, Formaldehyde Release from Wood Products, Washington, DC, American Chemical Society Symposium Series, **385**, 40 (1986).
3. A. Afshari, B. Lundgren, and L. E. Ekberg, *Indoor Air* **2003**, **13**, 156 (2003).
4. J.-S. Kim, Y. G. Eom, S. Kim, and H.-J Kim, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **21**, 211 (2007).
5. S. Kim, H.-J Kim, H.-S. Kim, and H. H. Lee, *Macromol. Mater. Eng.*, **291**, 1027 (2006).
6. S. Kim and H.-J Kim, *Macromol. Mater. Eng.*, **292**, 339 (2007).
7. S. Kim and H.-J Kim, *Thermochimica Acta*, **444**, 134 (2006).
8. S. Kim and H.-J Kim. *J. Adhesion Sci. Technol.*, **20**, 705 (2006).
9. S. Kim and H.-J Kim. *J. Adhesion Sci. Technol.*, **20**, 209 (2006).
10. S. Kim and H.-J Kim. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **25**, 456 (2005).
11. S. Kim, H.-J Kim, and S.-J. Moon, *Indoor Built. Environ.*, **15**, 511 (2006).