

## 목질 섬유판 제조에 있어 도계부산물인 닭털의 목섬유 부분적 대체화 탐색

양 인 · 박대학\* · 최원실\*\* · 오세창\*\*\* · 안동욱\*\*\*\* · 한규성\* · 오승원\*\*\*\*\*†

Sicon, Te Papa Tipu Innovation Park  
3046 New Zealand Rotorua, 49 Sala Street  
\*충북대학교 목재종이과학과  
28644 충청북도 청주시 서원구 충대로 1  
\*\*서울대학교 농생명과학공동기기원  
08826 서울특별시 관악구 관악로 1  
\*\*\*대구대학교 산림자원학과  
38453 경상북도 경산시 진량읍 대구대로 201  
\*\*\*\*아이오와주립대학교 동물학과  
50011 Iowa Ames, Kildee Hall 2276  
\*\*\*\*\*전북대학교 목재응용과학과  
54896 전북 전주시 덕진구 백제대로 567  
(2018년 4월 17일 접수, 2018년 6월 5일 수정본 접수, 2018년 6월 22일 채택)

### Investigating the Partial Substitution of Chicken Feather for Wood Fiber in the Production of Wood-based Fiberboard

In Yang, Dae-Hak Park\*, Won-Sil Choi\*\*, Sei Chang Oh\*\*\*, Dong-uk Ahn\*\*\*\*, Gyu-Seong Han\* and Seung Won Oh\*\*\*\*\*†

Sicon, Te Papa Tipu Innovation Park, 3046 New Zealand Rotorua, 49 Sala Street  
\*Department of Wood and Paper Science, College of Agriculture, Life & Environments Sciences, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 28644, Korea  
\*\*National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, 1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea  
\*\*\*Department of Forest Resources, College of Life and Environmental Science, Daegu University, 201, Daegudae-ro, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38453, Korea  
\*\*\*\*Department of Animal Science, Iowa State University, Ames, Iowa, 50011, U.S.A.  
\*\*\*\*\*Department of Wood Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences, 567, Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54896, Korea

(Received 17 April 2018; Received in revised form 5 June 2018; accepted 22 June 2018)

### 요 약

본 연구는 목질계 섬유판 제조에 있어 목섬유에 대한 도계부산물인 닭털의 부분적 대체화 가능성을 검토하기 위하여 수행하였다. 닭털은 주로 케라틴계 단백질로 구성되어 있으며, 외형적으로 목섬유와 큰 차이는 없었다. 닭털의 전처리 방법에 따른 폼알데히드 흡착능을 비교한 결과, 닭털을 고온/고압에서 처리하고 분쇄한 우모분에서 가장 높았다. 한편 일반 가위로 절단한 닭털과 이를 가정용 믹서로 고해시킨 닭털의 폼알데히드 흡착량을 dinitrophenylhydrazine 법으로 측정된 결과 차이는 없었다. 닭털, 고해 닭털, 우모분을 각각 목섬유의 전건무게를 기준으로 5 wt%로 혼합하여 제조한 중밀도섬유판(MDF)의 물성과 폼알데히드방출량은 닭털의 전처리 조건에 영향을 받지 않았다. 그러나 이 측정치를 목섬유만으로 제조한 MDF와 비교하였을 때, 두께팽윤율과 폼알데히드방출량은 크게 개선되었다. 따라서 현재 생산 현장에서 적용되고 있는 요소수지를 이용한 MDF 제조에 있어 목섬유와 함께 일정한 양의 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 첨가할 경우 치수안전성과 폼알데히드방출량이 개선된 MDF의 제조가 가능할 것으로 예상된다. 그러나 MDF 제조에 있어 닭털의 사용은 현재 상황에서 목섬유와 비교하여 원료 확보의 어려움과 높은 단가로 경제성이 낮은 것으로 조사되었다. 경제성 향상을 위하여 중소형 도계장에서 발생하는 닭털을 이용하거나, 동물성 사료의 금지에 대한 대비책 및 인플루엔자 감염 조류에 대한 환경적 처리 방안으로 닭털의 섬유판 원료에 대한 부분적 대체화 기술은 향후 사용 가능성이 충분할 것으로 판단된다.

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ohsw@jbnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract** – This study was conducted to investigate the potential of chicken feather (CF), which is a by-product in poultry industry, as a partial substitute of wood fiber in the production of wood-based fiberboard. Keratin-type protein constituted the majority of CF, and its appearance did not differ from that of wood fiber. When the formaldehyde (HCHO) adsorptivities of CF compared by its pretreatment type, feather meal (FM), which was pretreated CF with high temperature and pressure and then grounded, showed the highest HCHO adsorptivity. In addition, there was no difference between the adsorbed HCHO amounts, which was measured by dinitrophenylhydrazine method, of scissors-chopped CF and CF beaten with an electrical blender. Mechanical properties and HCHO emission of medium-density fiberboards (MDF), which were fabricated with wood fiber and 5 wt% CF, beaten CF or FM based on the oven-dried weight of wood fiber, were not influenced by the pretreatment type of CF. However, when the values compared with those of MDF made with just wood fiber, thickness swelling and HCHO emission of the MDF were improved greatly with the addition of CF, beaten CF or FM. Based on the results, it might be possible to produce MDF with improved dimensional stability and low HCHO emission if CF, beaten CF or FM is added partially as a substitute of wood fiber in the manufacturing process of MDF produced with the conventional urea-formaldehyde resin of E<sub>1</sub> grade. However, the use of CF or FM in the production of MDF has a low economic feasibility at the current situation due to the securing difficulty and high cost of CF. In order to enhance the economic feasibility, it requires to use CF produced at small to medium-sized chicken meat plants. More importantly, it is considered that the technology developed from this research has a great potential to make provision for the prohibition of animal-based feed and to dispose environmentally avian influenza-infected poultry.

**Key words:** Chicken feather, Medium-density fiberboard, Formaldehyde emission, Absorptivity, Mechanical strength

## 1. 서 론

국내에서 생산되고 있는 섬유관은 주로 중밀도섬유관(Medium-density fiberboard, 이하 MDF)으로서 그 생산량은 2014년 기준으로 약 2백만 m<sup>3</sup>이며, 이를 위하여 국내산 원목 및 가공부산물물을 이용하여 파쇄된 목섬유가 원료로 대부분 사용되고 있다[1]. 그러나 원료 공급에 있어 국내재에 대한 높은 의존도와 함께 계절별 공급량의 차이, 제재산업의 사양화 및 목재펠릿의 보급 확대에 따른 원료 시장의 중복 등으로 원료의 불안정한 수급과 이에 따른 가격 불안정이 예상된다. 또한 국내 생산 섬유관은 향후 중국, 동남아산 생산 제품의 수입에 의한 가격경쟁력 약화도 예상되며, 이에 대응하기 위하여 산림청에서는 국내의 산림자원 공급기반 조성, 목재자원의 효율적 순환이용체계 구축, 폐목재 재활용 제도 강화, 임목부산물 등 미이용 목질원료의 자원화 등과 같은 다양한 정책을 시행 및 추진하고 있다. 그러나 이를 통하여 공급된 원료를 국내산 섬유관 생산에 직접 이용하기까지는 해결해야 할 여러 과정 및 절차가 필요한 상황이다.

2000년대 초반부터 사회적으로 큰 이슈가 되었던 새집 및 새가구중후군의 원인으로 목질관상재 제조에 이용되는 석유화학계 접착제인 요소수지에서 방출되는 비교적 높은 농도의 폼알데히드가 주요 원인 중에 하나로 밝혀졌다[2]. International Agency for Research on Cancer에서도 폼알데히드를 일급 발암물질로 규정하며, 사용의 최소화를 강력히 권고하고 있는 실정이다[3]. 따라서 새집 및 새가구중후군의 예방과 해결을 위하여 정부에서는 목질계 바닥재 등에 대한 폼알데히드방출량 규제기준의 강화 및 품질인증제와 같은 정책 시행을 통하여 목질계 판상재로부터 폼알데히드방출량을 최소화하는 노력을 경주하고 있으나[4], 기술적인 접근을 통한 해결방안 마련은 현재 상황에서 크게 미진한 실정이다. 따라서 폼알데히드 방산에 대한 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 기술적인 방안의 강구가 시급히 필요할 것으로 생각한다.

한편 요소수지 접착제로 제조한 목질관상재에서 발생하는 폼알데히드방출량을 저감시키는 기술적 방안으로 현재까지 개발된 것을 보면, 단백질[5-8], 탄수화물[9], 리그닌[10,11], 탄닌[12,13], 마늘[14] 등으로 제조한 천연계 접착제부터 접착제 제조시 폼알데히드 물비 저감[15], 다단 합성에 의한 접착제 제조[16], 포착제 첨가

[17,18] 등과 같은 화학적인 방법과 도장 및 overlay와 같은 물리적인 방법[19] 등 다양한 방안이 개발 또는 사용되고 있다. 그러나 이렇게 제조된 목질관상재는 높은 제조원가와 낮은 강도를 나타냈으며, 따라서 이 문제점의 해결과 함께 폼알데히드방출량을 저감시킬 수 있는 효율적인 방안에 대한 기술 개발이 필요한 실정이다. 상기의 목적들을 충족시킬 수 있는 방안을 탐색하는 과정에서 국내에서 대부분 사료 제조용 원료로 사용되고 있는 닭털을 목섬유와 함께 일정량 첨가하여 섬유관을 제조하는 방안을 모색하게 되었다.

국내에서 닭털의 확보 가능량을 추산한 결과, 한 수의 도계 생산시 부산물로서 발생하는 닭털의 양이 약 45 g이고 2014년을 기준으로 약 9억 수의 육계가 도살된 것으로 보고되어 매년 3만 톤 이상의 닭털 확보가 가능한 것으로 조사되었다[20]. 현재 닭털은 고압증기 처리, 건조 및 분쇄 공정을 통하여 우모분으로 가공되어 사료용 원료로 주로 사용되고 있으나, 아미노산의 불균형으로 소화이용율이 낮아 사료적 가치가 매우 낮은 것으로 보고되고 있다[21]. 또한 우모분으로 제조한 일부 국내산 사료에서 닭털이 발견됨에 따라 일부 소비자들이 고가의 수입산 사료를 구매함으로써 점차 국내산 사료의 수요량이 감소할 것으로 예상된다. 다음으로 우모분 생산을 위한 열처리 과정에서 과다한 에너지를 사용함으로써 기후변화 협약 이행을 위한 온실가스 감축에 역행하여 향후 우모분의 가격이 상승할 가능성이 매우 높을 것으로 예상된다[20]. 마지막으로 우모분과 같은 동물성 사료 및 비료의 사용에 따른 광우병(Bovine spongiform encephalopathy) 발생 가능성으로 미국과 호주에서는 동물성 사료의 사용을 법적으로 금지시켰으며, 이와 유사한 법적 제재가 선진국을 중심으로 향후 계속 시행될 것으로 예상된다. 그러나 국내의 경우 우모분과 같은 동물성 사료 사용에 대한 법적 제재는 아직 시행되고 있지 않다. 상기 사례를 토대로 국내에서도 우모분에 대한 사료용 원료로의 이용이 향후 법적으로 제한될 가능성은 충분할 것으로 판단된다. 따라서 닭털의 활용에 대한 연구 개발 및 이에 대한 상용화 방안의 확립이 필요할 것으로 사료된다.

닭털의 산업적 이용을 위한 최근 연구 동향을 보면, 닭털을 접착제[22-25], 바이오 플라스틱[26], 바이오 콤포지트[27-30], 파이버[31], 티슈[32], 흡착제[33] 등의 원료로 사용하는 방안이 검토되었다. 또한 목재 원료에 닭털을 부분적 첨가하여 파티클보드와 섬유관을 제조하였으며, 이에 대한 강도와 치수안전성 측정을 통하여

닭털의 목질판상재 원료화 가능성 결과도 보고되었다[34-36]. 그러나 폼알데히드계 접착제로 제조한 목질판상재에서 닭털의 첨가가 폼알데히드방출량에 미치는 영향과 닭털 자체의 폼알데히드 흡착에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 적절한 조건에서 준비된 닭털을 섬유판 제조에 있어 목섬유를 부분적으로 대체할 수 있는 원료로 사용하고, 이렇게 제조된 섬유판의 물성 및 폼알데히드방출량이 국내의 제품 기준을 만족시키는 결과가 나온다면 경제적 및 환경적인 측면에서 기여하는 바가 클 것으로 예상된다. 따라서 먼저 도계부산물인 닭털에 대한 폼알데히드 흡착능을 조사하고, 이 결과를 토대로 닭털과 함께 MDF를 제조하였다. 이렇게 제조된 MDF의 강도, 치수안전성 및 폼알데히드방출량 측정 결과를 통하여 닭털의 목섬유 대체화 가능성과 이에 따른 닭털의 효율적인 이용 방안을 제시하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1. 공시재료

본 연구에 사용된 닭털은 충청북도 청주에 있는 육거리시장의 소매 도계장에서 수거한 것을 사용하였다. 수거된 닭털에서 오염물질을 제거하기 위하여 물로 3-4회 세척을 실시한 후, 48시간동안 자연건조를 실시하였다. 이렇게 자연건조된 닭털을 일반 가위를 사용하여 일정한 크기로 절단하여 시료로 사용하였다. 다음으로 일정한 크기로 절단된 닭털을 가정용 믹서에 넣고 5분간 고해하였는데, 이는 믹서 칼날에 의한 닭털 표면의 자상 정도와 폼알데히드 흡착능과의 관계를 확인하기 위하여 실시하였다. 이 외에 닭털을 고온 및 고압에서 처리한 후, 분쇄한 우모분을 (주)울폼(경북, 상주)에서 무상으로 공급받아 폼알데히드 흡착능과 MDF 제조를 위한 원료로 사용하였다. 한편 닭털, 고해 닭털 및 우모분을 각각 50°C의 건조기(FO-450 M, 제이오텍)에 넣고 일정시간 건조를 실시하였는데 건조 시간 조절을 통하여 함수율을 6±1%로 유지하였다. 이 공시재료를 사용하기 전까지 지퍼백에 넣고 냉장보관하였다.

### 2-2. 화학적 조성

공시재료의 함수율은 105°C의 오븐에서 24시간 건조를 실시하여 측정하였으며, 회분 함량은 도가니에 1g의 시료를 넣고 회화로(최고온도: 600°C)에서 1시간 연소한 후, 도가니의 무게를 측정하여 얻었다[37]. 지방 함량은 전건된 닭털 또는 우모분을 n-hexane에 30분간 침지시킨 후, 상층액의 지방을 분리하여 제거하였다. 다음으로 지방이 제거된 닭털 또는 우모분을 증류수로 3-4회 세척 및 전건시킨 후, 무게를 측정하여 지방 제거 전후의 무게 차이로 지방 함량을 측정하였다. 조섬유 함량은 약산성(1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 약알칼리(5% NaOH)용액에 닭털 또는 우모분을 순차적으로 넣고 95°C의 온도에서 60분간 침지시켜 단백질을 완전히 제거하고 무게를 측정하였다. 이를 회화로에서 연소시켜 회분함량을 제거한 후, 조섬유 함량을 측정하였다. 단백질 함량은 킬달법에 의하여 50 mesh의 표준체로 분급한 공시재료 0.1~1g를 Micro Kjeldahl flask에 넣고 1.1g의 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 진한 황산 10 mL를 차례로 가한 후, 약 2시간동안 95°C에서 가열하고 증류수로 희석하였다. 이렇게 희석된 액을 단백질/질소 자동분석기(Kjeltec Auto 2400/8400 system, Foss Tecator AB, Sweden)을 이용하여 질소 함량이 측정된 후, 이 질소 함량 값에 6.25를 곱하여 단백질 함량을 얻었다.

### 2-3. 폼알데히드 흡착능

국립산림과학원에서 고시한 데시케이터법을 토대로 데시케이터 내에 5% 농도로 희석시킨 폼알데히드 용액 5 mL와 무시료, 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 각각 넣고 24시간을 방치한 후, 증류수에 결합한 폼알데히드 양을 아세틸아세톤 방법을 이용하여 적외선분광기로 측정하였다[38]. 이 측정 방법은 닭털 또는 우모분의 폼알데히드 흡착능이 증류수의 폼알데히드 농도에 반비례한다는 가정에서 각 시료 간에 폼알데히드 흡착능을 비교하기 위한 실험이다. 이 표준화 실험결과에 따라 닭털 또는 우모분의 양과 함수율을 10 g 및 6±1%로 고정하였으며, 데시케이터 내의 증류수 양은 10 mL로 정하였다.

아세틸아세톤을 이용한 실험 방법 외에 닭털 또는 우모분에 흡착된 실제 폼알데히드 양을 측정하기 위하여 폼알데히드 용액과 함께 60분간 데시케이터 내에서 방치하였던 시료 3 g를 실험의 종료 즉시 100 mL의 증류수가 담긴 250 mL의 비이커에 넣고 60분간 2.5 cm의 교반자석과 함께 격렬히 교반시켰다[18]. 교반이 완료된 용액을 filter paper (No. 2, Adventec, Kyoto, Japan)로 여과시킨 후, dinitrophenylhydrazine (이하 DNPH)를 이용하여 여과액 내에 함유된 폼알데히드를 유도체화하였다. 이를 위하여 35% 농도의 HCl 35.6 mL에 2,4-DNPH 0.1 g를 넣고 녹을 때까지 가열한 다음, 증류수를 추가적으로 넣어 100 mL로 조제한 0.1% DNPH 시액과 상기 여과액과 반응시킨 후, High Performance Liquid Chromatograph (이하 HPLC; HP 1100, Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA)로 시료에 흡착된 폼알데히드 양을 비교하였다[39]. HPLC 분석을 위한 조건으로 이동상은 acetonitrile과 증류수를 60:40의 비율로 혼합하여 사용하였다. Column은 Perkin Elmer Choice C18 (250 mm × 4.6 mm)을 사용하여 35°C의 온도에서 1 mL/min의 유속으로 분석을 실시하였으며, 검출 파장은 360 nm로 조정하였다.

### 2-4. MDF의 제조

중밀도섬유판(MDF) 내의 닭털 함량을 목섬유의 전건무게 대비 5%로 조절하기 위하여 전건무게 기준으로 855 g의 낙엽송 목섬유(한솔홈데코 무상제공)와 고해 닭털 또는 우모분 45 g를 60 리터의 플라스틱 통에 넣고 충분히 흔들어 혼합하였다. 다음으로 성장보드(주)에서 공급받은 요소수지(고형분 함량: 65%, 점도: 200 m·Pa·s)를 8%의 함지율로 맞추어 고점도 페인트용 분무기를 사용하여 골고루 분사하였다. 한편 제조될 MDF의 내수성 향상을 위하여 목섬유의 전건무게 대비 1%의 Wax emulsion(고형분 함량: 40%, 점도: 50 m·Pa·s)을 성장보드(주)에서 무상으로 공급받아 요소수지 접착제에 넣고 충분히 교반하여 사용하였다. 접착제 분사가 완료된 목섬유/닭털을 caul plate 위의 성형틀(350 mm × 350 mm)에 골고루 분산시키면서 성형하였으며, 성형된 매트 두께는 약 120 mm로 조사되었다. 이렇게 성형된 매트를 150°C의 온도, 40 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 5분간 열압을 실시하였다. 동일한 조건에서 목섬유만으로 제조된 MDF를 대조구로 사용하였다. MDF의 목표밀도는 600 kg/cm<sup>3</sup>으로 조절하였으며, 각 조건마다 3개씩의 두께 12 mm의 MDF를 제조하였다. MDF는 제조 즉시 비닐백에 넣어 24시간 이상 항온항습실에 방치한 후, 물성 및 폼알데히드방출량 측정에 이용하였다.

### 2-5. MDF에 대한 물성 및 폼알데히드방출량 평가

제조된 MDF는 “KS F 3200 섬유판” 기준에 따라 밀도, 함수율,

두께팽윤율, 휨강도, 박리강도를 측정하였다[40]. 예를 들면 휨강도는 시험편의 표면에 평균 10 mm/min의 속도로 하중을 가하여 구하였으며, 박리강도는 알루미늄 블록에 시험편을 에폭시 수지로 접착하고 시험편의 표면에 수직으로 인장하중을 가하여 최대하중을 측정하여 얻었다. 두께팽윤율은 두께를 미리 측정한 시험편을 냉수에 24시간 침지시킨 후, 증가한 두께를 측정하여 구하였다. 제조된 MDF로부터 방출되는 폼알데히드 양은 국립산림과학원 고시 24시간 데시케이터 법에 따라 증류수에 포집된 폼알데히드를 DNPH로 유도체화하여 HPLC로 2-3 절과 마찬가지로 측정하였다[38].

## 2-6. 실험설계 및 통계학적 분석

폼알데히드 흡착능은 닭털, 고해 닭털, 우모분 간의 차이를 비교하였으며, MDF의 물성 및 폼알데히드방출량은 MDF 제조에 사용된 원료인 목섬유, 목섬유/닭털, 목섬유/고해 닭털, 목섬유/우모분을 인자로 사용하여 비교하였다. 각 측정치는 Fisher's LSD (least significant different: 최소유의차) 검정을 이용한 Student t-test를 통하여 평균값 간의 차이가 유의한지를 통계학적으로 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 화학적 조성

Table 1은 닭털과 우모분의 화학적 조성을 조사한 결과이다. 닭털과 우모분은 자연건조 후, 일정 시간동안 오븐에서 추가적으로 건조를 실시한 관계로 각각 7.6%와 6.2%의 수분을 함유하고 있었다. 회분 함량은 우모분에서 높은 것으로 나타났는데, 이는 닭털을 우모분으로 분쇄하는 과정에서 발생한 것으로 생각한다. 닭털과 우모분에서 가장 많이 함유된 성분은 단백질이었으나, 우모분의 단백질 함량이 닭털보다 낮았다. 또한 두 시료는 약 9%의 지방/오일을 함유하고 있었으며, 우모분의 지방/오일 함량도 닭털보다 낮았다. 이와 같이 우모분의 단백질 및 지방/오일 함량이 닭털보다 낮은 이유는 고온 및 고압에서 닭털을 열처리하는 과정에서 단백질 및 지방/오일이 분해 및 분리되어 나타난 결과라 추정된다. 한편 닭털과 우모분의 화학적 조성을 타 연구와 비교한 결과, 단백질과 회분 함량은 큰 차이를 보이지 않았으나, 지방/오일이 많이 함유된 것으로 나타났다[20,41]. 이는 지방/오일을 추출하기 위하여 사용된 용매 및 추출 조건의 차이에서 기인한 것으로 생각한다.

### 3-2. 폼알데히드 흡착능

Fig. 1은 데시케이터 내에 5% 농도의 폼알데히드 용액 및 증류수와 함께 무시료, 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 각각 넣고 24시간을 방치한 후, 증류수에 아세틸아세톤 용액을 첨가하고 적외선분광기를 이용하여 폼알데히드 양을 측정하여 시료에 흡착된 폼알데히드 양을 상대적으로 얻은 결과이다. 폼알데히드 흡착량은 우모분,

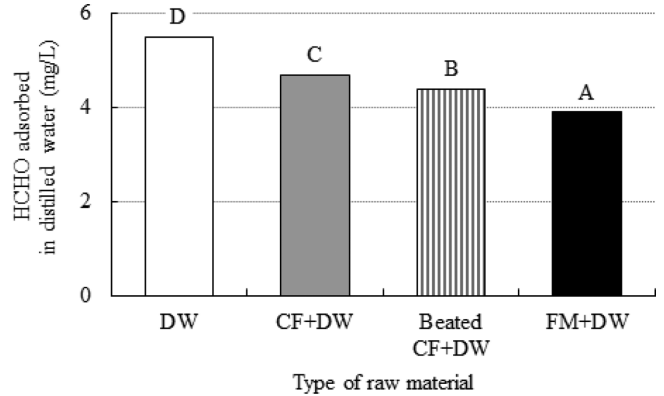


Fig. 1. Amount of formaldehyde adsorbed to distilled water solution (DW), which were placed with chicken feather (CF), beated CF and feather meal (FM) in desiccator for 24h. The adsorbed formaldehyde was measured by the procedure based on acetylacetone method. Different capital letters over columns are significantly different at the p value of 0.05 (least significance test).

고해 닭털, 닭털, 무시료 순으로 증가하였다( $p < 0.01$ ). 즉 우모분에서 가장 많은 양의 폼알데히드가 흡착됨으로서 증류수에 흡착된 폼알데히드 양이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 닭털의 고온/고압 처리 및 분쇄 과정을 통하여 닭털 표면에 폼알데히드가 흡착될 수 있는 관능기 양이 증가하여 나타난 결과라 생각한다. 또한 닭털에 대한 고해 처리도 폼알데히드 흡착을 위한 관능기 노출을 증가시켜 무처리 닭털보다 많은 양의 폼알데히드가 흡착된 것으로 추정된다[24]. 한편 무처리 닭털도 일정량의 폼알데히드를 흡착함으로써 데시케이터 내에 시료없이 증류수만의 폼알데히드 흡착량보다 낮았던 것으로 판단된다.

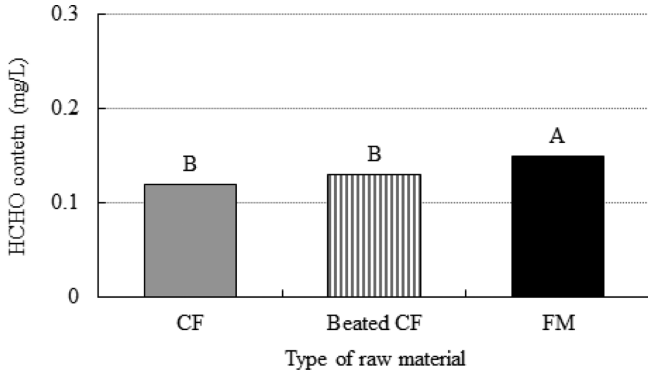
닭털, 고해 닭털, 우모분에 직접 흡착된 폼알데히드 양을 DNPH의 첨가와 함께 HPLC로 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 고해 닭털의 폼알데히드 흡착량이 무처리 닭털보다 높았으나 통계학적으로 차이는 없었다( $p = 0.11$ ). 우모분의 경우 가장 많은 폼알데히드를 흡착하고 있는 것으로 조사되었다( $p < 0.01$ ). 이 결과를 통하여 상지에서 언급한 닭털에 대한 고온/고압 처리 및 분쇄 공정이 닭털 표면에 폼알데히드가 흡착할 수 있는 관능기 노출을 증가시킨다는 추론을 확인할 수 있었다. 닭털, 고해 닭털, 우모분의 폼알데히드 흡착능 결과를 종합하면, 닭털에 대한 고해 또는 열분쇄 처리가 닭털의 중앙 부분에 있으며 전체 중량에서 많은 부분을 차지하는 우축근(quill, hollow shaft)에 자상과 함께 표면적의 증가를 동반함으로써 폼알데히드가 흡착할 수 있는 관능기 수가 증가하여 나타난 결과라 사려된다. 그러나 닭털의 섬유관 원료화 기술을 상용화시키기 위하여 경제성 분석 외에 닭털에 대한 다양한 고해 및 열/분쇄 처리가 폼알데히드 흡착능을 미치는 영향 등과 같은 추가 연구가 필요하며, 닭털을 약산

Table 1. Chemical composition of chicken feather and feather meal

|                              | Moisture | Ash | Protein | Crude fiber | Fat/oil |
|------------------------------|----------|-----|---------|-------------|---------|
| Chicken feather              | 7.6      | 1.3 | 81.1    | 2.2         | 9.7     |
| Feather meal                 | 6.2      | 2.5 | 78.2    | 2.1         | 9.4     |
| Chicken feather <sup>1</sup> | -        | 0.9 | 86.7    | -           | 2.9     |
| Chicken feather <sup>2</sup> | 9.0      | 0.5 | 83.3    | -           | 6.6     |

<sup>1</sup>This result was presented in the article of Lee and Lee (1998) [21].

<sup>2</sup>This result was presented in the article of Kim et al. (1998) [41].



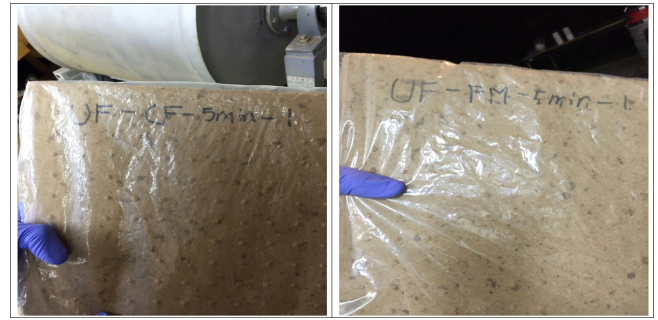
**Fig. 2.** Amount of formaldehyde adsorbed to chicken feather (CF), beated CF and feather meal (FM) placed in desiccator for 60 min. The adsorbed formaldehyde was measured by the procedure based on DNPH method. Different capital letters over columns are significantly different at the p values of 0.05 (least significance test).

또는 약알칼리 용액에 침지하는 등과 같은 화학적 처리에 대한 실험도 수행할만한 가치가 있다고 생각한다. 한편 이 결과를 토대로 무처리 닭털, 고해 닭털 및 우모분을 목섬유와 함께 섬유판 원료로 부분적으로 사용하는 실험을 진행하였으며, 그 결과는 다음 절에서 설명하였다.

**3-3. MDF의 물성 및 폼알데히드방출량**

목섬유에 닭털, 고해 닭털, 우모분을 부분적으로 첨가한 후, 현재 생산 공정에 투입되고 있는 요소수지를 이용하여 제조한 MDF의 외형은 Fig. 3과 같다. 먼저 제조된 MDF의 표면을 관찰한 결과 일부 닭털의 첨가 여부를 육안으로 확인할 수 있었으나, 목섬유만으로 제조한 MDF와 큰 차이는 보이지 않았다. 제조된 모든 MDF의 밀도는 581~656 kg/m<sup>3</sup>로 대부분 목표 밀도인 600 kg/m<sup>3</sup>보다 높았는데, 이는 성형과정에서 가장자리보다 중앙 부분에 많은 목섬유가 분포하거나 MDF 제조시 발생할 수 있는 목섬유의 손실을 대비하여 여분의 목섬유를 추가로 MDF 제조에 사용한 것에서 기인한 결과라 생각한다. 한편 MDF의 함수율은 7.6~8.2%로 측정되었으며, 함수율 결과와 함께 밀도는 KS F 3200의 기준(밀도: 350~850 kg/m<sup>3</sup>, 함수율: ≥ 10%)을 모두 만족하였다[40].

Table 2는 본 연구에서 제조된 MDF의 강도, 치수안정성 및 폼알데히드방출량을 측정된 결과이다. 먼저 제조된 MDF의 휨강도와



**Fig. 3.** Image of medium-density fiberboards fabricated with 95% wood fiber and 5% chicken feather (left) or feather meal (right) based on its dry weight. These fiberboards were bonded with urea-formaldehyde resin.

박리강도는 닭털의 첨가 여부 및 대체 섬유의 종류(닭털, 고해 닭털, 우모분)에 영향을 받지 않았다. 두께팽윤율의 경우 대체 섬유의 사용과 함께 감소하였으나(p<0.01), 대체 섬유의 종류에 따른 차이는 없었다. 이 결과는 닭털의 사용으로 MDF의 치수안정성이 향상된 것으로 닭털의 주성분인 단백질에서 alanine, valine, leucine, isoleucine 등과 같은 소수성의 side chain을 가진 아미노산의 존재에서 기인한 결과라 생각한다[36]. 폼알데히드방출량도 닭털, 고해 닭털, 우모분과 함께 제조한 MDF에서 크게 낮아졌으나(p<0.01), 대체 섬유의 종류에 따른 영향은 두께팽윤율과 마찬가지로 없었다. 이와 같은 감소는 닭털에 존재하는 노출된 친수성의 관능기에 폼알데히드가 흡착함으로써 나타난 결과라 생각한다. 한편 닭털의 고해 및 열/분쇄 처리에 따른 MDF의 폼알데히드방출량 간에는 차이가 없었다. 따라서 세분화된 조건에서의 고해, 열, 분쇄 처리된 닭털 섬유를 일부 첨가하여 제조한 MDF의 폼알데히드방출량에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단되며, 현재 이에 대한 실험을 진행하고 있다.

상기 결과를 종합하면, 일정량의 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 목섬유의 대체 원료로 사용하여 제조한 MDF의 기계적 강도 및 치수안정성은 목섬유만으로 제조한 MDF와 비교하여 향상되거나 차이가 없었으며, 폼알데히드방출량은 크게 감소하는 것으로 조사되었다. 한편 이 측정치를 KS 기준과 비교한 결과, 박리강도는 모든 제조 조건에서 최소 기준(0.3 N/mm<sup>2</sup>)을 만족시켰으나, 휨강도(≥15 N/mm<sup>2</sup>)와 두께팽윤율(≤12%)은 최소 기준을 만족시키지 못하였다[40]. 그러나 휨강도는 MDF 제조시 보드의 밀도를 700 kg/m<sup>3</sup> 이상으로 조절하거나 접착제의 함지율을 10%까지 높일 경우 기준을 상

**Table 2.** Mechanical properties and formaldehyde emission of medium-density fiberboard<sup>1</sup> bonded with wood fiber (WF) and chicken feather (CF), which was beated by electrical mixer, or feather meal (FM)

| Fiber type                | MOR <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) | IB <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) | 24h TS <sup>3</sup> (%) | HCHO <sup>3</sup> (μg/L) |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| WF                        | 11.2 (A)                              | 0.3 (A)                              | 21.2 (B)                | 19,015 (B)               |
| WF/CF <sup>2</sup>        | 11.5 (A)                              | 0.4 (A)                              | 15.8 (A)                | 3,543 (A)                |
| WF/Beated CF <sup>2</sup> | 12.3 (A)                              | 0.4 (A)                              | 16.3 (A)                | 3,192 (A)                |
| WF/FM <sup>2</sup>        | 11.6 (A)                              | 0.3 (A)                              | 14.6 (A)                | 3,622 (A)                |
| KS F 3200                 | ≥ 15.0                                | ≥ 0.3                                | ≤ 12                    | -                        |

Means with the same capital letter in parentheses are not significantly different from each other at the p value of 0.05 (least significance test).

<sup>1</sup> These fiberboards were bonded with urea-formaldehyde resin, which is currently used for the production of medium-density fiberboard and was obtained from Sungchang Ltd. (Ulsan, South Korea). Resin content was adjusted to 8% based on dry weight of wood fiber and chicken feather/feather meal.

<sup>2</sup> These fiberboards were composed of 95% wood fiber and 5% chicken feather/feather meal based on its dry weight.

<sup>3</sup> MOR: modulus of rupture; IB: internal bonding strength; 24 TS: 24-hour thickness swelling in cold water; HCHO: formaldehyde emission measured by the 24-hour desiccator method.

회할 것으로 생각한다. 두께 팽윤율의 경우, MDF 제조 공정에서 내수성을 향상시키기 위하여 첨가하는 왁스의 양을 목섬유의 전건 무게 기준으로 1.5~2%까지 증가시킬 경우 KS 규격의 최소 기준을 만족시킬 것으로 생각한다.

### 3-4. 닭털 섬유판의 경제성 분석

국내에서 확보할 수 있는 닭털의 양은 전건무게를 기준으로 매년 30,000톤 이상 가능한 것으로 조사되었다[42]. 현재 대형 도계장에서 발생하는 닭털은 랜더링 설비를 통하여 대부분 우모분으로 가공되어 사료용 원료로 700원/kg에 판매되고 있으며, 결과적으로 우모분을 MDF 제조에 사용할 경우 80원/kg에 확보가 가능한 목섬유를 부분적으로 대체하는 것은 현재 상황에서 경제성이 없을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구를 통하여 개발된 기술의 경제성 확보는 원료 확보, 기술적, 환경적 측면의 접근을 통하여 향후 충분히 가능할 것으로 생각한다.

예를 들면, 랜더링 시설을 갖추지 못한 중소형 도계장이 전국에 분포하고 있으며, 여기에서 발생하는 닭털을 원료로 이용하는 방안이다. 현재 중소형 도계장에서 발생하는 닭털은 보관, 운송 및 취급으로 인한 추가비용의 발생으로 인하여 많은 양이 폐기물로 매립되고 있으며, 이에 대한 처리비용의 지속적인 상승 그리고 매립의 대체 방안으로 사용하고 있는 해양투기의 금지로 효율적인 처리 방안이 절실히 필요한 상황에서 닭털의 이용은 산업적 및 환경적인 측면에서 충분히 제고할만한 해결책이 될 수 있을 것으로 생각한다. 한편 광우병 발생 가능성으로 동물성 사료 및 비료의 사용이 선진국을 중심으로 금지 또는 시행 예정인 상황에서 국내에서도 향후 우모분과 같은 동물성 사료의 사용이 법적으로 제한될 가능성이 있으므로 이에 대한 대비책 마련으로 닭털의 산업적 이용에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다[43-46]. 다음으로 AI (Avian Influenza) 감염 조류에 대한 살처분 비용의 발생과 살처분 조류의 매립에 따른 토양 및 지하수 오염이 사회적으로 이슈화되고 있는 상황에서 멸균처리된 AI-감염 조류에 대한 활용은 경제적 및 환경적 측면에서 개발할 여지가 있는 기술이라 판단된다[43]. 기술적인 측면에서 접근하면, 현재 E<sub>1</sub> 등급의 요소수지를 이용한 MDF 제조에 있어 닭털을 소량 첨가할 경우 폼알데히드방출량의 감소와 함께 치수안정성이 향상된 E<sub>0</sub> 등급의 MDF 생산이 가능할 것이며, 따라서 이를 통한 낮은 경제성의 상쇄가 가능할 것으로 기대된다.

현재까지 본 연구의 진행상황을 종합하면, MDF 제조에 있어 닭털의 목섬유 대체화 가능성과 이에 따른 치수안정성의 향상 및 폼알데히드방출량의 저감 효과를 확인한 단계이다. 따라서 지금까지 개발된 기술의 현장 적용 및 상용화 단계로 진행을 위하여 기술적인 측면에서 다각도의 접근 및 확인이 필요할 것으로 생각한다. 예를 들면 닭털의 다양한 전처리 조건(고해, 화학적 처리 등), MDF 제조에 있어 전처리 닭털의 첨가량 및 형상 등이 MDF의 물성 및 폼알데히드방출량에 미치는 영향, 그리고 이를 통하여 제조된 MDF의 생물학적 저항성 및 소비자 선호도 등에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 먼저 닭털, 고해 닭털, 우모분의 화학적 조성과 폼알데히드 흡착능을 아세틸아세톤법과 DNPH법으로 측정하였다.

다음으로 목섬유와 함께 일정한 양의 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 각각 첨가하여 MDF를 제조하였으며, 이에 대한 물성 및 폼알데히드방출량 측정을 통하여 섬유판 제조에 있어 도계부산물인 닭털의 목섬유 대체화 가능성을 조사하였다.

닭털의 주성분은 케라틴계 단백질이었으며, 지방/오일, 조섬유, 회분도 소량 함유하고 있었다. 아세틸아세톤법을 이용하여 간접적으로 측정된 각 시료의 폼알데히드 흡착능은 우모분에서 가장 높았으며, 고해 닭털, 닭털 순으로 나타났다. DNPH법으로 측정된 결과, 우모분에 가장 많은 폼알데히드가 흡착된 것으로 조사되었으며, 고해 닭털과 무처리 닭털 간에는 차이가 없었다. 한편, 닭털, 고해 닭털, 우모분을 각각 혼합하여 제조한 MDF의 물성과 폼알데히드방출량은 닭털의 고해 및 열처리에 영향을 받지 않았다. 그러나 이 측정치를 목섬유만으로 제조한 MDF와 비교하였을 때, 두께팽윤율과 폼알데히드방출량은 크게 향상하였다. 따라서 현재 생산 현장에서 적용되고 있는 요소수지를 이용한 E<sub>1</sub> 등급의 MDF 제조에 있어 목섬유와 함께 닭털, 고해 닭털 또는 우모분을 첨가할 경우 E<sub>0</sub> 등급의 MDF 제조가 가능할 것으로 예상된다. 한편 이 측정치에 대한 KS 기준과의 비교에서 밀도, 함수율, 박리강도는 모든 제조 조건에서 최소 기준 범위에 있었으나, 휨강도와 두께팽윤율은 만족시키지 못하였다. 그러나 이는 보드의 밀도 및 접착제의 함지율 증가를 통하여 개선이 가능할 것으로 생각한다.

MDF 생산에 있어 닭털 사용에 대한 경제성을 검토한 결과, 목섬유와 비교하여 원료의 확보 및 단가 측면에서 불리한 닭털을 첨가하는 것은 현재 상황에서 불가한 것으로 나타났다. 그러나 중소형 도계장에서 발생하는 닭털을 이용하거나, 동물성 사료의 금지에 대한 대비책 및 AI-감염 조류에 대한 환경적 해결 방안으로 향후 가능성이 충분한 기술로 판단된다. 따라서 이 기술의 현장 적용 및 상용화 단계로의 진행을 위하여 닭털의 다양한 전처리 조건, MDF 제조에 있어 전처리 닭털의 첨가량 및 형상 등이 MDF의 물성 및 폼알데히드방출량에 미치는 영향, 그리고 이를 통하여 제조된 MDF의 생물학적 저항성 및 소비자 선호도 등에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

## 감 사

본 연구는 중소기업청의 “산학협력연구개발사업”의 연구비 지원사업으로 수행되었습니다. 이 연구에서 섬유판 제조에 많은 도움을 준 대구대학교 산림자원학과 학부생들께 감사드립니다.

## References

1. Korea Wood Panel Association, “Current Status and Task of Plywood & Board Industries,” 8<sup>th</sup> Symposium for Plywood, MDF and Particleboard of South Korea, September, Seoul(2015).
2. Ministry of Environment, Policy for managing the indoor air-quality of public facilities, ME No. 6911, Sejong(2003).
3. International Agency for Research on Cancer, IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans, <http://www.iarc.fr/en/mediacentre/pr/2004/pr153.html>(2004).
4. Korean Agency for Technology and Standards, Safety standards for the voluntary safety control of manufacturing products. KATS No. 2015-0123, Eumseong(2015).

5. Yang, I., Kuo, M. L. and Myers, D. J., "Bond Quality of Soy-based Phenolic Adhesives in Southern Pine Plywood," *J. American Oil Chemists' Society*, **83**(3), 231-237(2006).
6. Yang, I., Kuo, M. L., Myers, D. J. and Pu, A. B., "Comparison of Protein-based Adhesive Resins for Wood Composites," *J. Wood Science*, **52**(6), 503-508(2006).
7. Yang, I., Ahn, S. H., Choi, I. G., Kim, H. Y. and Oh, S. C., "Adhesives Formulated with Chemically Modified Okara and Phenol-resorcinol-formaldehyde for Bonding Fancy Veneer onto High-density Fiberboard," *J. Industrial and Eng. Chem.*, **15**(3), 398-402(2009).
8. Yang, I., Han, G. S., Ahn, S. H., Choi, I. G., Kim, Y. H. and Oh, S. C., "Adhesive Properties of Medium-density Fiberboards Fabricated with Rapeseed Flour-based Adhesives," *J. Adhesion*, **90**(4), 279-295(2014).
9. Christiansen, A. W. and Gillespie, R. H., "Potential of Carbohydrates for Exterior-type Adhesives," *For. Prod. J.*, **36**(7/8), 20-28(1986).
10. Oh, Y., Sellar Jr., T., Kim, M. G. and Strickland, R. C., "Evaluation of Phenol-formaldehyde OSB Resins Modified with Lignin Residues from Acid-hydrolyzed Waste Newsprint," *For. Prod. J.*, **44**(2), 25-29(1994).
11. Olivares, M., Aceituno, H., Neiman, G., Rivera, E. and Sellar Jr., T., "Lignin-modified Phenolic Adhesives for Bonding Radiata Pine Plywood," *For. Prod. J.*, **45**(1), 63-67(1995).
12. Barbosa, A. P., Mano, E. B. and Andrade, C. T., "Tannin-based Resins Modified to Reduce Wood Adhesive Brittleness," *For. Prod. J.*, **50**(9), 89-92(2000).
13. Pizzi, A. and Scharfetter, H. O., "The Chemistry and Development of Tannin-based Adhesives for Exterior Plywood," *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**(6), 1745-1761(1978).
14. Rho, J. and Lee, J., "Preparation and Bonding Properties of Natural Garlic Adhesives for Wallpaper," *J. Adhesion and Interface*, **12**(4), 125-134(2011).
15. Que, Z., Furuno, T., Katoh, S. and Nishino, Y., "Evaluation of Three Test Methods in Determination of Formaldehyde Emission from Particleboard Bonded with Different Mole Ratio in the Urea-formaldehyde Resin," *Building and Environment*, **42**(3), 1242-1249(2007).
16. Lee, S. M., Park, J. Y., Park, S. B. and Park, B. D., "Development of Technology and Syntheses of Melamine-urea-formaldehyde Resin Adhesives," Research report of Korea Forest Research Institute, Seoul, 10-20(2010).
17. Kim, K. W., Lee, S. N., Baek, B. S., Lee, B. H., Kim, H. J., Choi, Y. M. and Jang, S. W., "The Formaldehyde VOCs Emission of Particleboard with Cross Linked Vinyl Resin," *Adhesion and interface*, **9**(1), 28-34(2008).
18. Ahn, S. H., "Effect of Heating Temperature and Time of Coffee Waste on the Adsorptivity of Formaldehyde," *J. Korean Wood Sci. Technol.*, **43**(3), 390-399(2015).
19. Park, B. D., Kang, E. C. and Park, J. Y., "Formaldehyde Emission of Wood Panel Products with Different Surface Finishing Materials," *Journal of Forest Science*, **67**, 112-116(2004).
20. Woo, B. J. and Kim, H. J., Imbalance of supply and demand for chicken meat and its spread effect, Korea Rural Economic Institute, Seoul, Republic of Korea(2015).
21. Lee, J. G. and Lee, S. M., "Evaluation of Soybean Meal or Feather Meal as a Partial Substitute for Fish Meal in Formulated Diets for Fat Cod," *J. Aquaculture*, **11**(4), 421-428(1998).
22. Jiang, Z., Qin, D. Hse, C. Kuo, M. L., Luo, Z., Wang, G. and Yu, Y., "Preliminary Study on Chicken Feather Protein-based Wood Adhesives," *J. Wood Chemistry and Technology*, **28**, 240-246(2008).
23. Park, D. H., Yang, I., Choi, W. S., Oh, S. C., Ahn, D. U. and Han, G. S., "Evaluating the Water Resistance of Wood Adhesives Formulated with Chicken Feather Produced from Poultry Industry," *J. Korean Wood Sci. Technol.*, **45**(1), 126-138(2017).
24. Yang, I., Park, D. H., Choi, W. S., Oh, S. C., Ahn, D. U. and Han, G. S., "Reaction Mechanism and Curing Characteristics of Chicken Feather-based Adhesives and Adhesive Properties of Medium-density Fiberboard Bonded with the Adhesive Resins," *Korean Chem. Eng. Res.*, **55**(3), 385-394(2017).
25. Yang, I., Park, D. H., Choi, W. S., Ahn, D. U., Oh, S. C. and Han, G. S., "Adhesive and Curing Properties of Chicken Feather/blood-based Adhesives for the Fabrication of Medium-density Fiberboards," *J. of Adhesion*, online(2018).
26. Kota, K. P., Shaik, S. S., Kota, R. K. and Karlapudi, A. P., "Bioplastic from Chicken Feather Waste," *Int. J. Rev. Res.*, **27**(2), 373-375(2014).
27. Oladele, I. O., Omotoyimbo, J. A. and Ayemidejor, S. H., "Mechanical Properties of Chicken Feather and Cow Hair Fibre Reinforced High Density Polyethylene Composites," *Int. J. Sci. Technol.* **3**(1), 66-72(2014).
28. Gagan, B., Singh, V. K., Patil, P. P. and Shweta, R., "Water Absorption and Thickness Swelling Characterization of Chicken Feather Fiber and Extracted Fish Residue Powder Filled Epoxy Based Hybrid Biocomposite," *Int. J. Waste Resour.*, **6**(3), 1-6(2016).
29. Cañavate, J., Aymerich, J., Garrido, N., Colom, X., Macanás, J., Molins, G., Alvarez, M. D. and Carrillo, F., "Properties and Optimal Manufacturing Conditions of Chicken Feathers/poly(lactic acid) Biocomposites," *Composite Materials*, **50**(12), 1671-1683(2016).
30. Manpreet, K. M., "Bio-based Nanocomposites from Poultry Feather Keratin," M. S. Thesis, Univ. of Alberta, Edmonton, Alberta(2017).
31. Bardelline, J., "Researchers Turn Chicken Feathers Into Fiber," [https://www.greenbiz.com/news/2009/05/08/researchers-turn-chicken-feathers-fiber\(2009\)](https://www.greenbiz.com/news/2009/05/08/researchers-turn-chicken-feathers-fiber(2009)).
32. Shi, B., Shannon, T. G. and Pelky, E., "Novel Use of Waste Keratin and Cotton Linter Fibers for Prototype Tissue Papers and Their Evaluation," *Bioresources*, **5**(3), 1425-1435(2010).
33. Chakraborty, S., Chowdhury, S. and Saha, P.D., "Biosorption of Hazardous Textile Dyes from Aqueous Solutions by Hen Feathers: Batch and Column Studies," *Korean J. Chem. Eng.*, **29**(11), 1567-1576(2012).
34. Winandy, J. E., Muehl, J. H., Glaeser, J. A. and Schmidt, W., "Chicken Feather Fiber as an Additive in MDF Composites," *J. Natural Fibers*, **4**(1), 35-48(2007).
35. Taghiyari, H. R., Bari, E., Schmidt, O., Ghanbary, M. A. T., Karimi, A. and Tahir, P., "Effects of Nanowollastonite on Biological Resistance of Particleboard Made from Wood Chips and Chicken Feather Against *Antrodia Vaillantii*," *International Biodeterioration & Biodegradation*, **90**, 93-98(2014).
36. Taghiyari, H. R., Mohammad-Panah, B. and Morrell, J., "Effects of Wollastonite on the Properties of Medium-density Fiberboard (MDF) Made from Wood Fibers and Camel-thorn," *Maderas Cienc.*

- Tecnol.*, **18**(1), 157-166(2016).
37. Association of Official Analytical Chemists, Analytical methods for chemical composition, 15<sup>th</sup> ed., Academic Press, Inc., Arlington, TX(1990).
  38. National Institute of Forest Science, Determination of formaldehyde emission for wood-based panels, NIFOS, Seoul, Republic of Korea(2014).
  39. Yi, G. H., Yun, I. C., Kim, Y. K., Kim, C. C., Choi, G. J. and Lee, T. S., "Comparison of ACFAS Method and DNPH-LC Method for Quantitative Analysis of Formaldehyde in Drinking Water," *J. Korean Soc. Water and Wastewater*, **27**(6), 827-836(2013).
  40. Korean Agency for Technology and Standards, Fiberboards, KSC, KS F 3200, Eumseong, Chungbuk, Republic of Korea(2011).
  41. Kim, Y. B., Lee, K. S. and Lee, N. H., "Effects of Physical Processing on Protein Content and Pepsin-digestibility of Feather Meals," *J. Korean Anim. Sci.*, **40**(1), 103-110(1998).
  42. Nam, K. C., "Current Status and Prospect of Chicken Industry," Personal communication(2016).
  43. Ahn, H. J., "Spread of Avian Influenza and Cost Required for Solving the Disease," Korean Newspaper for farmers and fishermen, <http://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=149582> (2016).
  44. [http://ec.europa.eu/food/food/biosafety/tse\\_bse/docs/roadmap\\_2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/food/biosafety/tse_bse/docs/roadmap_2_en.pdf).
  45. <https://www.daera-ni.gov.uk/articles/bse-feed-controls>.
  46. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFR-Search.cfm?CFRPart=589&showFR=1>.