

도계부산물인 닭털을 이용한 목재접착제의 내수성 평가¹

박 대 학² · 양 인² · 최 원 실³ · 오 세 창⁴ · 안 동 옥⁵ · 한 규 성^{2,†}

Evaluating The Water Resistance of Wood Adhesives Formulated with Chicken Feather Produced from Poultry Industry¹

Dae-Hak Park² · In Yang² · Won-Sil Choi³ · Sei Chang Oh⁴ · Dong-uk Ahn⁵ · Gyu-Seong Han^{2,†}

요 약

본 연구는 주원료로 도계부산물인 닭털의 NaOH 가수분해물, 경화제로 닭털의 H₂SO₄ 가수분해물 및 폼알데히드계 가교제를 반응시켜 접착제를 제조하고, 이에 대한 물성 및 내수성 실험을 통하여 닭털의 목질계 판상재용 접착제의 원료화 가능성을 확인하기 위하여 수행하였다. 닭털은 주로 케라틴계 단백질로 구성되어 있었으며, 중금속의 함유량이 매우 낮거나 검출되지 않았다. 알칼리에 대한 닭털의 가수분해율은 수용액 내의 NaOH 농도가 증가함에 따라 계속 증가하였으나, 과도한 가수분해에 따른 단백질 고유의 접착능 손실을 최소화하고 적절한 가수분해 조건을 찾기 위하여 닭털의 가수분해제 내의 NaOH 농도를 5%, 7.5%, 10%로 결정하였다. 접착제의 조성을 보면, 고형분 함량을 기준으로 70%의 닭털 NaOH 가수분해물 또는/그리고 경화제로 닭털의 H₂SO₄ 가수분해물 및 30%의 가교제로 조제하였는데, 이 접착제의 고형분 함량은 가수분해 조건 및 가교제의 종류에 따라 28.3 - 44.8% 범위에 존재하였다. 이 접착제의 점도는 상온에서 전반적으로 높았으나, 50℃에서 측정된 결과 분사형 접착제로서 적용이 가능한 것으로 조사되었다. 접착제의 내수성을 비교하기 위하여 측정된 열수 불용해율은 5% 농도의 NaOH 수용액에서 반응시킨 닭털의 알칼리 가수분해물(CF-AK-5%)에 경화제로 5% 농도의 H₂SO₄ 수용액에서 반응시킨 닭털의 산가수분해물(CF-AC-5%)을 고형분 함량 기준 10% 이상 첨가하여 제조하고 경화시킨 접착제에서 높았다. 또한 접착제 제조시 고형분 함량을 기준으로 30%가 첨가된 가교제별 열수 불용해율은 phenol-formaldehyde (PF), melamine-urea-formaldehyde (MUF), formalin 순으로 조사되었다. 닭털 접착제의 열수 불용해율을 섬유판 제조에 사용되고 있는 석유화학계 합성수지와 비교한 결과, CF-AC-5%에 가교제로 PF를 그리고 경화제로 CF-AC-5%를 첨가하여 조제한 접착제는 기존 멜라민-요소수지의 열수 불용해율과 통계학적으로 차이가 없었으며, 가교제로 PF를 사용한 모든 접착제와 고형분 함량을 기준으로 55%의 CF-AK-5%, 15%의 CF-AC-5% 그리고 가교제로 30%의 MUF와 함께 제조한 접착제는 기존 요소수지를 대체할 수 있는 것으로 조사되었다. 이 결과를 토대로 적절한 조건에서 가수분해한 닭털은 목질계 판상재용 접착제의 원료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

¹ Date Received December 9, 2016, Date Accepted January 9, 2017

² 충북대학교 농업생명환경대학 목재종이과학과. Department of Wood and Paper Science, College of Agriculture, Life & Environments Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

³ 서울대학교 농생명과학공동기기원. National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

⁴ 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과. Department of Forest Resources, College of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan, 38453, Korea

⁵ 아이오와주립대 동물과학과. Department of Animal Science, Iowa State University, Ames, 50011, U.S.A.

[†] 교신저자(Corresponding author): 한규성(e-mail: wood@chungbuk.ac.kr)

This study was conducted to investigate the potential of chicken feather (CF), which is a by-product in poultry industry, as a raw material of wood adhesives. For the purpose, adhesive resins were formulated with NaOH- and H₂SO₄-hydrolyzed CF as well as crosslinkers, and then the properties and water resistance of the adhesive resins against hot water were measured. CF was made of mainly keratin-type protein, and no or very low content of heavy metals was detected. Hydrolysis rate of CF increased as NaOH concentration in hydrolysis solutions increased. However, in order to minimize the loss of adhesive property of protein itself by the severe hydrolysis of CF and to seek its proper hydrolysis conditions, NaOH concentrations in hydrolysis solution determined to adjust to 5%, 7.5% and 10%. In the NaOH-hydrolyzed CF, H₂SO₄-hydrolyzed CF as a hardener and crosslinker were added to formulate CF-based adhesive resins. Solid content of the resins ranged from 28.3% to 44.8% depending on hydrolysis conditions and type of crosslinker. Viscosity of the resins at 25°C was very high. However, when the temperature of the resins was increased to 50°C, the viscosity decreased greatly and thus the resins could be applied as a sprayable resin. Retention rate measured to evaluate the water resistance of adhesive resins was the highest in the cured resin formulated with 5% NaOH-hydrolyzed CF and 5% H₂SO₄-hydrolyzed CF of 10% based on the solid weight as a hardener. Retention rate depending on crosslinkers added into adhesive resins was the highest phenol-formaldehyde (PF) followed by melamine-urea-formaldehyde (MUF) and formalin. The retention rate of CF-based adhesives formulated with 5% NaOH-hydrolyzed CF, PF and H₂SO₄-hydrolyzed CF of 10% and over did not differ statistically from that of commercial MUF resins. All of CF-based adhesives formulated with PF as a crosslinker and one with 5% NaOH-hydrolyzed CF of 55%, 5% H₂SO₄-hydrolyzed CF of 15%, and MUF of 30% on the basis of solid weight could be substituted for commercial urea-formaldehyde resins, From the results, CF can be used as a raw material of wood adhesives if hydrolyzed in proper conditions.

Keywords : chicken feather, wood adhesives, crosslinker, hardener, water resistance

1. 서 론

2000년대 초반부터 사회적으로 큰 이슈가 되었던 새집 및 새가구증후군의 원인으로 목질계 판상재 생산에 이용되는 석유화학계 접착제인 요소수지에서 방출되는 비교적 높은 농도의 폼알데히드가 주요 원인 중에 하나로 밝혀졌다. 따라서 새집 및 새가구증후군의 예방과 해결을 위하여 정부에서는 규제 강화 및 품질인증제와 같은 정책을 시행 또는 추진 중에 있으며, 향후 한층 강화된 시행규칙이 계속적으로 나올 것으로 예상되고 있다(Ministry of Environment, 2003). 그러나 현재까지 정부 및 목재업계에서는 기술적인 대책을 준비하고 있지 않고 있으며, 따라서 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위한 기술개발이 필요하며, 그 방안의 하나로 폼알데히드 방산량이 낮은 친환경 또는 bio-based 접착제 개발에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

친환경 또는 bio-based 접착제 제조에 대한 연구 및 기술개발은 최근까지 원료의 수급이 안정적인 대

두와 같은 농작물, 산업 폐기물 및 부산물 등을 이용하는 연구 방안을 중심으로 선진국에서 주로 진행되고 있다. 예를 들면, 단백질(Kuo 등, 2001; Riebel 등, 1997; Steele 등, 1998; Yang 등, 2006a; Yang 등, 2006b; Yang 등, 2005), 탄수화물(Christiansen와 Gillespie, 1986), 리그닌(Oh 등, 1994; Yang 등, 2007; Olivares 등, 1995), 탄닌(Barbosa 등, 2000)과 같은 재생가능자원을 이용하는 방안이 주로 연구되었으나, 이를 이용하여 개발된 접착제는 석유화학계 접착제와 비교하여 낮은 접착 강도와 내수성 그리고 낮은 가격 경쟁력으로 리그닌, 탄닌과 같은 폐기물을 이용한 접착제만이 원료 수급이 용이한 일부 나라에서 상용화되어 있는 실정이다(Pizzi와 Scharfetter, 1978). 한편 국내에서도 2000년대 초반부터 폼알데히드 방산이 적은 친환경 또는 bio-based 접착제를 개발하기 위하여 다양한 시도가 있었으며, 이 가운데 제조비용의 절감을 위하여 식품 및 농업 부산물을 원재료로 이용하는 연구가 수행되었다. 예를 들면, 두부비지(Oh 등, 2008; Yang 등, 2009; Yang 등,

2009), 유채박(Yang 등, 2014; Yang 등, 2012a; Yang 등, 2012b; Yang 등, 2011a; Yang 등, 2011b; Yang 등, 2010a; Yang 등, 2010b), 커피부산물(Ahn, 2015; Yang 등, 2013) 등을 접착제 원료로 이용하거나 흡착제로 첨가하여 사용하는 기술이 개발되었다. 그러나 두부비지는 다른 용도의 원료로서 중복되고, 바이오오디젤 부산물로 국내에서 대량으로 확보가 용이할 것으로 예상했던 유채박은 바이오 수송연료에 대한 관심과 수요가 감소하면서 유채에 대한 국내 대량재배가 급감함으로써 각각의 원료에 대한 대량 확보의 어려움으로 목재접착제의 원료로 상용화에는 한계가 있었다. 한편 커피부산물의 경우, 대량 확보는 가능하나 수거를 위한 추가비용의 발생으로 이를 해결하기 위한 방안이 필요한 상황이다. 이에 대한 해결책으로 국내에서 대량으로 원료 확보가 가능한 재생가능자원을 탐색하는 과정에서 주성분이 단백질이며, 국내에서 대부분 사료 제조용 원료로 사용되고 있는 닭털을 bio-based 접착제의 원료로 사용하는 방안에 대하여 조사하게 되었다.

국내 닭고기 공급량을 보면, 2014년 기준으로 약 50만 톤의 닭고기가 유통되었으며, 이를 위하여 40개소의 도계공장에서 약 886백만 수의 육계가 도살된 것으로 보고되었다(Woo와 Kim, 2015). 한 수의 도계 생산시 도계부산물로서 발생하는 닭털의 양은 약 45 g 정도로 총생산량을 대비하여 매년 약 30,000톤 이상이 발생하는 것으로 추산할 수 있다. 현재 닭털은 랜더링 시설을 갖추고 있는 대형도계업체의 경우 고압증기, 건조 및 분쇄를 통하여 우모분으로 가공되고 있으며, 이를 애완동물 사료 원료로 제조하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 우모분을 사료로 사용할 경우 몇 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫 번째로 우모분은 85~90%가 keratin계 단백질로서 leucine, cysteine과 같은 아미노산은 풍부하나 methionine, lysine, histidine 등은 부족하고 결과적으로 아미노산의 균형이 좋지 않고 소화이용율도 낮아 사료적 가치가 매우 낮은 것으로 보고되고 있다(Lee와 Lee, 1998). 두 번째로 우모분을 이용하여 제조한 일부 사료에서 닭털이 발견됨에 따라 많은 소비자들이 국내에서 생산되는 사료보다 고가의 수입산 사료

를 주로 구매함으로써 점차 국내 생산 사료의 수요량이 감소할 것으로 예상된다. 세 번째로 닭털의 열처리를 통한 우모분 생산에 한 마리당 1,300원의 비용이 필요한데 이에 들어가는 에너지의 과다 사용에 따른 온실가스 발생이 향후 문제점으로 대두될 수 있다(Woo와 Kim, 2015). 이러한 우모분 생산을 위한 에너지의 과다 사용은 기후변화 협약 이행을 위한 온실가스 감축에 역행하는 처리 방법이 되고 따라서 우모분의 가격이 상승할 가능성이 매우 높을 것으로 예상되고 있다. 마지막으로 우모분과 같은 동물성 사료 및 비료의 사용에 따른 광우병(Bovine spongiform encephalopathy) 발생 가능성에 대한 연구 결과 및 관련 기사가 발표되며, 미국과 호주에서는 동물성 사료의 사용을 법적으로 금지시켰다. 이와 같은 법적 제재는 선진국을 중심으로 향후 계속 시행될 것으로 예상되고 있으나, 국내의 경우 우모분과 같은 동물성 사료 사용에 대한 법적 제재는 아직 시행되고 있지 않다. 그러나 상기 사례를 토대로 국내에서도 향후 우모분에 대한 사료용 원료로의 이용이 법적으로 제한될 가능성은 충분할 것으로 판단된다. 따라서 도계부산물인 닭털에 대한 목질계 판상재용 접착제의 원료로서 사용 가능성을 조사하고, 이를 통하여 닭털의 효율적인 이용 방안을 제시하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

닭털은 충청북도 청주 내에 있는 육거리시장의 도계장에서 수거하여 사용하였다. 수거된 닭털에서 오염물질을 제거하기 위하여 물로 3~4회 세척을 실시한 후, 48시간 동안 자연건조를 실시하였다. 이렇게 자연건조된 닭털 내에서 지방을 제거하기 위하여 닭털을 n-hexane에 1:50 (W/V)의 비율로 넣고 30분 동안 교반하고 정치시켜 상층액에 존재하는 지방을 제거하였다. 탈지된 닭털을 실온에서 24시간 동안 방치한 후, 50℃의 건조기(FO-450M, 제이오텍)에 넣고 24시간 동안 인공건조를 실시하여 닭털의 함수율

을 $7 \pm 1\%$ 로 유지하였다. 함수율이 조절된 닭털을 4,500 rpm으로 회전하는 분쇄기(MF 10 basic, IKA WERKE)에 넣고 분쇄를 하였으며, 표준체를 이용하여 2.0 mm 이하 크기의 닭털을 준비하여 접착제 원료로 사용하였다.

2.2. 화학적 조성 분석

닭털의 함수율은 A.O.A.C. (1990)에 의거하여 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 24시간 건조를 실시하여 측정하였으며, 닭털에 포함된 회분 함량은 도가니에 1 g의 시료를 넣고 회화로(최고온도: 600°C)에서 1시간 연소한 후, 도가니의 무게를 측정하여 얻었다(AOAC, 1990). 닭털에 함유된 회분의 정성분석은 국립산림과학원에서 고시한 “목재펠릿 품질규격”에 의거하여 실시하였으며, 구체적인 방법은 다음과 같다(KFRI, 2013). 분쇄 및 선별된 닭털을 65%의 질산용액(HNO_3)으로 회분을 제외한 모든 성분을 제거한 후, 증류수로 희석하고 이 용액을 각 원소의 검출 파장에 따라 Inductively coupled plasma (ICP) emission spectrometer (Perkin-Elmer Optima 4300 DV)로 수행하였다. 예를 들면, 구리의 함량은 324.8 nm의 파장에 탐지되는 양을 조사하여 얻었다.

닭털 내에 함유된 지방 함량은 2.1.절에서 언급한 바와 같이 먼저 전건된 닭털을 n-hexane에 침지시킨 후, 상층액의 지방을 분리하여 제거하였다. 지방이 제거된 닭털을 증류수로 3 - 4회 세척 및 전건시킨 후, 무게를 측정하여 지방 제거 전후의 무게 차이로 지방 함량을 측정하였다. 조섬유 함량은 농촌진흥청 국립축산과학원에 명시된 조섬유 측정 방법에 의거하여 약산성(1.25% 농도의 H_2SO_4 수용액)과 약알칼리성(5% 농도의 NaOH 수용액) 용액에 닭털을 순차적으로 넣고 95°C 의 온도에서 60분간 침지시켜 단백질을 완전히 제거하였다. 단백질이 제거된 시료의 무게를 측정하고, 이 시료를 회화로에서 연소시켜 회분 함량을 제거한 후, 조섬유의 함량을 측정하였다.

닭털에 존재하는 단백질 함량은 킬달법(Kjeldahl)을 이용하여 측정하였다. 즉, 50 mesh의 표준체로 분급한 닭털 분말 1 g을 Micro Kjeldahl flask에 넣고

1.1 g의 K_2SO_4 와 진한 황산 10 mL를 차례로 가한 후, 약 2시간 동안 95°C 에서 가열하고 증류수로 희석하였다. 이렇게 희석된 액을 단백질/질소 자동분석기(Kjeltec Auto 2400/8400 system, Foss Tecator AB, Sweden)를 이용하여 질소 함량을 측정 후, 이 질소 함량 값에 6.25를 곱하여 단백질 함량을 구하였다.

2.3. 닭털의 가수분해

접착제의 원료로 닭털을 사용하기 위하여 가수분해를 실시하였는데, 먼저 닭털의 적정 가수분해 조건을 조사하기 위하여 건조된 닭털 시료 1 g을 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 11% 농도의 NaOH 수용액(100 mL)에 넣고 95°C 에서 180분 동안 가수분해를 실시하였다. 가수분해가 완료된 용액에 대하여 부후너 깔대기를 이용하여 여과를 실시한 후, 여과지를 통과하지 않은 시료의 무게 측정을 통하여 가수분해율을 측정하였다.

2.4. 접착제 제조

닭털의 가수분해율을 조사한 결과를 토대로 접착제 제조를 위한 가수분해 조건으로 5%, 7.5%, 10% 농도의 NaOH 수용액을 사용하였으며, 이 가수분해물의 고형분 함량(이하 CF-AK)을 $38 \pm 1\%$ 기준으로 준비하였다.

닭털의 가수분해에 고농도의 NaOH 수용액이 사용된 관계로 pH가 매우 높아 경화제를 첨가하여 접착제를 조제하는 방안에 대한 필요성이 제기되었다. 따라서 경화제로 닭털을 5% 농도의 H_2SO_4 수용액으로 가수분해한 반응물(이하 CF-AC-5%)을 이용하여 접착제를 제조하였다.

가교제로 formalin (이하 HCHO), melamine-urea-formaldehyde prepolymer (이하 MUF), phenol-formaldehyde prepolymer (이하 PF)를 사용하였는데, HCHO는 화학실험용 시약을 구입하여 사용하였으며, MUF는 melamine/urea/formaldehyde의 몰비를 0.2/1.0/2.0로 그리고 PF는 formaldehyde/phenol 몰비를 2.0/1.0로 조절하여 제조하였다. 먼저 MUF의 제

조를 위하여 400 g의 formalin (37% formaldehyde)를 반응기에 넣고 50% 농도의 NaOH 용액으로 pH를 9.5로 조절하였다. 다음으로 129 g의 paraformaldehyde를 반응기에 넣고 교반한 후, 95 g의 melamine과 280 g의 urea를 그 반응기에 넣고 핫플레이트 위에서 교반을 실시하였다. 그 혼합물의 온도가 70℃가 될 때까지 반응시킨 후, 그 온도에서 30분간 추가적으로 반응시켰다. 다음으로 50% 농도의 formic acid를 이용하여 혼합액의 pH를 6.2로 조절한 후, 다시 30분간 반응시켰다. 마지막으로 50% 농도의 NaOH로 pH를 8.0으로 조절한 후, 25℃로 냉각시키는 것으로 MUF의 조제를 완료하였다. 이렇게 조제된 MUF는 25 m·Pa·s의 점도와 약 60%의 고형분 함량을 가진 것으로 조사되었다. PF는 반응기에 phenol, formalin, 50% 농도의 NaOH 용액을 넣고 75℃에서 90분간 교반하면서 1차 반응을 완료한 후, 50% 농도의 NaOH 용액을 다시 넣고 95℃에서 60분간 추가로 교반하여 제조하였다. 이 PF의 formaldehyde/phenol/NaOH 몰비는 2.0/1.0/0.1이었으며, 약 50 m·Pa·s의 점도와 50%의 고형분 함량을 가진 것으로 조사되었다.

본 연구를 위하여 조제된 접착제는 주원료인 CF-AK, 경화제인 CF-AC 그리고 가교제로 이루어져 있으며, 고형분 함량을 기준으로 70%의 CF-AK 또는/그리고 CF-AC, 30%의 가교제로 구성되어 있다. 접착제 조제를 위한 각 구성물의 혼합 공정을 보면, CF-AK에 CF-AC를 넣고 70 ± 5℃에서 5분간 충분히 교반한 후, 가교제를 넣고 그 온도를 유지시킨 상태에서 추가적으로 5분간 반응시켜 목질계 판상재 제조용 접착제로 사용하였다.

이렇게 제조된 닭털 접착제의 접착 특성을 비교하기 위하여 대조구로 요소 수지(이하 C-UF)와 멜라민-강화 요소수지(이하 C-MUF)를 각각 (주)선창보드와 (주)한국중합목재에서 공급받아 사용하였다.

2.5. 가수분해물 및 접착제의 물성 측정

닭털의 가수분해 조건 및 접착제 제조조건에 따른 물성 차이를 조사하기 위하여 CF-AK, CF-AC 또는/

그리고 가교제를 이용하여 조제된 접착제의 고형분 함량, 점도, pH를 각각 조사하였다. 먼저 가수분해물과 접착제의 고형분 함량은 ASTM에 명시된 pan solids technique 방법에 의거하여 측정하였다 (ASTM, 1993). 점도의 경우, 상온에서 Brookfield사의 Digital Viscometer (DV-II, Middleboro, USA)를 이용하여 spindle number를 21로 그리고 10 rpm의 속도로 회전하며 측정하였는데, 조제된 접착제가 상온에서 고점도인 관계로 50℃의 온도에서 상온에서 측정된 점도 측정 조건과 동일하게 점도를 측정하였다. pH는 Fisher Scientific사의 ACCUMET® Model 1600 pH meter로 측정하였다.

2.6. 열수 불용해율

제조된 접착제의 물성-특히 내수성-을 비교하기 위하여 접착제별 열수 불용해율을 측정하였다. 먼저 100 ± 5℃의 오븐에서 12시간 이상 경화된 접착제를 가정용 믹서기로 분쇄한 후, 20 mesh 표준체로 크기를 선별하였다. 경화 및 선별된 접착제 1 g을 삼각플라스크에 넣고 100 ml 증류수와 함께 95℃의 열수에서 60분간 교반을 실시하였다. 열수처리가 완료된 플라스크 내의 액을 filter paper (No. 2)로 여과시킨 후, 여과지를 100 ± 5℃ 오븐에서 24시간 동안 건조하고 여과지에 남은 접착제의 중량을 이용하여 아래 식으로 열수 불용해율을 얻었다.

Mass loss (%) =

$$\frac{\text{particle weight} - (\text{dryweight} - \text{filter weight})}{\text{particle weight}} \times 100$$

2.7. 실험설계 및 통계학적 분석

접착제 제조에 있어 사용된 인자인 가수분해에 사용된 NaOH 농도(5%, 7.5%, 10%), 가교제의 종류(HCHO, MUF, PF), 경화제의 고형분 함량 기준 첨가량(CF-AK/CF-AC = 65/5, 60/10, 55/15)이 경화 접착제의 열수 불용해율에 미치는 영향에 대하여 다원변량분석(3 × 3 × 3)을 이용하여 통계학적으로 분석

Table 1. Chemical composition of chicken feather

	Moisture	Ash	Protein	Crude fiber	Fat/oil
Chicken feather	7.6	1.3	81.1	2.2	9.7
Chicken feather ¹	-	0.9	86.7	-	2.9
Chicken feather ²	9.0	0.5	83.3	-	6.6

¹Lee (1997); ²Kim 등. (1998).

Table 2. Qualitative analysis of ashes contained in chicken feather

Type	Ca	K	Mg	Na	Cu	Zn	Cr
Content (mg/kg)	4,458	811	682	568	421	214	10
Type	Fe	Ni	P	Hg	As	Cd	Pb
Content (mg/kg)	243	5	2,073	ND	ND	ND	ND

* ND means that the component was not detected.

하였다. 상기 분석 결과가 $p < 0.05$ 범위에 있을 경우, Fisher's LSD (least significant different: 최소유의차) 검정을 이용한 Student t-test를 통하여 각 평균 값 간의 차이가 유의한지 추가적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 화학적 조성

Table 1은 닭털(이하 CF)의 화학적 조성을 측정된 결과이다. 먼저 CF의 함유율은 지방/오일을 제거한 후, 일정 시간을 오븐에서 건조한 것으로 7.6%의 수분을 함유하고 있었다. CF에서 가장 많이 함유된 조성분은 예상한대로 단백질이었으며, 다음으로 지방/오일 순으로 측정되었다. 한편 조섬유와 회분도 소량 함유하고 있었다. 이 측정치를 타 연구와 비교한 결과 단백질과 회분 함량은 큰 차이를 보이지 않았으나, 지방/오일은 많이 함유된 것으로 나타났다(Lee, 1997; Kim 등, 1998). 이와 같이 닭털의 높은 지방/오일 함량은 본 연구에서 지방/오일을 제거하기 위하여 사용된 용매인 n-hexane의 높은 지방/오일 용해력과 CF에 함유된 지방/오일이 닭털 접착제의 접착능에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상되어 용매 추출 시간을 연장한 결과에서 기인한 것으로 생각한다.

3.2. 회분의 정성분석

CF에 함유된 회분의 정성분석 결과는 Table 2와 같다. CF에는 칼슘의 함량이 가장 높았으며, 다음으로 인, 칼륨, 마그네슘, 나트륨, 구리, 철, 아연 순으로 함유되어 있는 것으로 나타났다. 또한 중금속인 크롬과 니켈을 소량 함유하고 있었으나, 수은, 비소, 카드뮴, 납 등은 검출되지 않았다. 결과를 종합하면, CF에 함유된 중금속의 양은 매우 적거나 검출되지 않아 접착제 원료로 이용할 경우 인체 및 환경 유해성은 전혀 없을 것으로 생각한다.

3.3. 닭털의 가수분해율

Fig. 1은 닭털의 가수분해를 위하여 사용된 가수분해액의 NaOH 농도에 대한 CF의 가수분해율을 나타낸 것으로, CF의 알칼리 가수분해 조건이 CF의 분자량 및 알칼리 가수분해물로 조제한 접착제의 접착능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행하였다.

CF의 가수분해율은 1%와 3%의 NaOH 농도에서 차이가 없었으나, 5%의 NaOH 농도부터 증가하기 시작하여 7%까지 계속 증가하였다. 이와 같은 결과는 NaOH 농도의 증가와 함께 CF의 분자량이 감소됨에 따라 가수분해액에서 여과지를 통과할 수 있는 적은 분자량의 가수분해물들이 증가하여 나타난 결

Table 3. Physical properties of chicken feather hydrolyzates

Hydrolysis condition	5% NaOH	7.5% NaOH	10% NaOH	5% H ₂ SO ₄
Solid content (%)	38.5	38.7	37.4	19.3
Viscosity at 25 °C (m·Pa·s)	3,500	850	650	4,500
pH	12.9	13.4	13.9	1.5

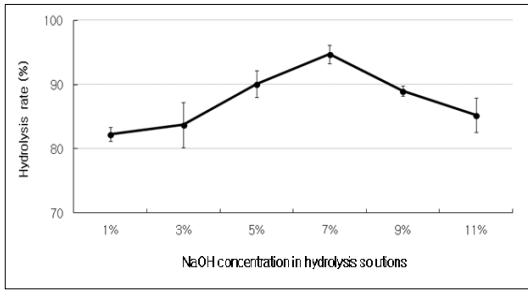


Fig. 1. Hydrolysis rate of chicken feather in NaOH solution.

과라 생각한다. 그러나 9% 이상의 NaOH 농도에서 다시 가수분해율은 감소하였는데, 이는 9% 이상의 가수분해 농도에서 전체적으로 CF 가수분해물의 분자량이 급격히 감소하였으며 이 가수분해물이 여과지 표면의 흡을 막으면서 여과지를 통과하지 못하여 나타난 결과라 추정된다. Lambuth (1989)는 단백질계 접착제에서 원료에 대한 가혹한 조건에서의 가수분해는 단백질이 가지고 있는 고유의 접착능에 부정적인 영향을 미친다고 언급하였다(Lambuth, 1989). 따라서 본 연구에서는 이 실험 결과를 토대로 CF의 접착제 원료화를 위한 가수분해액의 NaOH 농도를 5%, 7.5%, 10%로 정하였으며, 이 가수분해물에 다양한 종류의 가교제와 경화제를 사용하여 접착제를 조제하고 이에 대한 물성과 열수 불용해율에 대한 측정을 수행하였다.

3.4. 닭털 가수분해물 및 이를 이용하여 제조된 접착제의 물성

CF의 NaOH 및 H₂SO₄ 가수분해물(이하 CF-AK & CF-AC)의 물성은 Table 3과 같다. CF-AK의 고형분

함량을 38 ± 1%로 유지한 상태에서 점도를 측정된 결과, 5%의 NaOH 농도 조건에서 3,500 m·Pa·s로 가장 높았다. 그러나 7.5% 및 10% NaOH 농도의 가수분해제를 이용하여 준비된 CF-AK의 점도는 급격히 감소하였으며, 두 농도 조건에서 점도의 차이는 크지 않았다. 이 결과를 토대로 7% 이상 NaOH 농도에서 cysteine을 포함한 닭털 단백질 내의 아미노산이 본격적으로 가수분해되는 것으로 추정된다. CF-AC의 점도는 4,500 m·Pa·s로 매우 높았는데, 일반적으로 단백질의 산 가수분해는 알칼리에 의한 무작위 peptide 결합의 절단보다 말단기 아미노산의 분해가 많이 발생하는 것으로 알려져 있으며, 결과적으로 분자량이 높은 단백질과 아미노산 단량체의 함량이 증가함으로써 점도가 증가한 것으로 생각한다. CF-AK와 CF-AC의 pH 측정 결과를 보면, CF의 가수분해에 사용된 가수분해제에 따라 상이한 pH를 나타냈으며, 높은 알칼리 및 산 조건에서 가수분해를 실시한 관계로 매우 높거나 낮은 것으로 측정되었다.

Table 4는 CF-AK와 경화제로 사용된 CF-AC 그리고 각 가교제로 제조한 접착제의 물성을 나타낸 것이다. 제조된 접착제의 물성을 보면, 접착제에서 전체 고형분 함량을 기준으로 70%를 차지하고 있는 CF-AK의 물성에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 가교제별로 접착제의 물성을 비교한 결과, HCHO를 사용하여 조제한 접착제는 HCHO가 액체이고 낮은 pH를 가지고 있는 관계로 고형분 함량이 가장 낮았으며, pH는 감소하였다. MUF와 PF를 가교제로 사용하여 제조한 접착제는 가교제 자체의 높은 고형분 함량으로 인하여 고형분 함량은 증가하였으며, pH는 MUF와 PF의 pH가 8.5~10인 관계로 약간 감소하는 것으로 측정되었다. 마지막으로 제조된 접착제는 상온에서 4,000 m·Pa·s 이상의 높은 점도를

Table 4. Physical properties of adhesive resins formulated with chicken feather hydrolyzates and crosslinkers

Adhesive resins		Solid content (%)	pH	Viscosity at 50°C (m·Pa·s)
CF ¹	Crosslinker			
5%	No addition	38.5	12.9	400
	HCHO ²	28.3	9.1	300
	MUF	42.4	10.9	550
	PF	41.4	10.9	600
7.5%	No addition	38.7	13.4	350
	HCHO	29.2	10.0	300
	MUF	43.8	11.3	350
	PF	42.8	11.0	350
10%	No addition	37.4	13.9	400
	HCHO	30.9	10.8	300
	MUF	44.8	11.7	300
	PF	43.7	11.2	300

¹ It means the concentration of alkali for the hydrolysis of chicken feather.

² Formalin solution (37% formaldehyde).

The adhesive resins were formulated with 65% NaOH-hydrolyzed chicken feather, 5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken feather and 30% crosslinker on the basis of solid weight.

보였으며, 점도를 낮추기 위하여 접착제의 온도를 50℃까지 올렸다. 이 온도에서 측정된 점도는 가수분해물 및 가교제의 종류와 상관없이 300~600 m·Pa·s로 측정되어 낮은 점도를 요구하는 분사형 접착제로 사용이 충분히 가능한 것으로 조사되었다.

3.5. 경화 접착제의 열수 불용해율

3.5.1. 닭털의 가수분해에 사용된 알칼리 농도 및 가교제의 영향

열수 불용해율의 측정은 조제한 접착제의 접착능과 내수성을 비교하기 위하여 수행되었다. Fig. 2는 CF-AK, CF-AC 그리고 가교제로 HCHO, MUF, PF로 조제한 접착제의 열수 처리 후에 여과지에 남은 접착제의 양을 측정된 결과이다. 먼저 CF의 가수분해에 사용된 NaOH 농도에 따른 열수 불용해율을 비교한 결과, NaOH 농도를 5%에서 7.5% 및 10%로 증가시켰을 때 열수 불용해율은 감소하였다. 이는 높은 알칼리 농도에서 반응시킨 CF 가수분해물을 이용하여 조제한 접착제의 내수성이 낮다는 것을 의미하

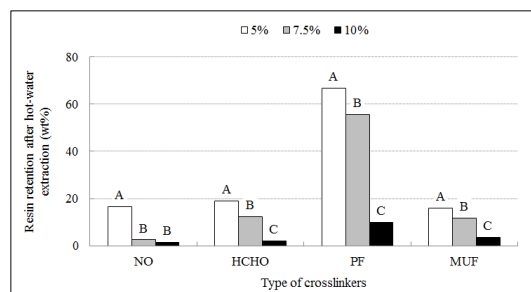


Fig. 2. Retention rate of the adhesive resins, which were formulated with NaOH-hydrolyzed, 5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken feather and crosslinkers, existed on the filter paper after hot-water treatment. Different capital letters over columns are significantly different at a *p* value of 0.05 (least significance difference test).

는 것으로 이는 과도한 가수분해로 CF의 분자량이 크게 감소됨으로써 나타난 결과라 생각한다.

가교제별 닭털 접착제의 열수 불용해율을 측정된 결과를 보면, 가교제로 HCHO와 MUF의 첨가는 열수 불용해율에 영향을 미치지 않았다(Fig. 2). 그러나

PF로 조제한 접착제에서 열수 불용해율은 크게 증가하였는데, 이는 PF 자체의 우수한 내수성 및 PF와 CF 가수분해물 간의 가교결합에서 기인한 것으로 추정된다(Yang 등, 2017). 이 결과들을 종합하면, 닭털 접착제의 내수성은 가교제 종류에 따라 차이가 있으며, PF를 사용할 경우 가장 우수한 내수성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

3.5.2. 경화제의 영향

CF-AK의 높은 pH로 인하여 경화제를 첨가하여 접착제를 조제하는 방안에 대한 필요성이 제기되었고, 따라서 경화제로 닭털을 5% 농도의 H₂SO₄ 수용액으로 가수분해한 반응물을 이용하여 접착제를 제조하였다. 이 경화제를 고형분 함량 기준으로 5%, 10%, 15%를 첨가하여 접착제를 조제하였고, 이렇게 조제된 접착제를 경화시킨 후, 이에 대한 열수 불용해율을 측정하였다(Fig. 3). 먼저 CF-AK-5%로 조제한 접착제에서는 경화제로서 CF-AC-5%의 첨가량을 10%까지 증가시키기에 따라 내수성이 계속 증가하였으나, 10%의 첨가량과 15%의 첨가량 간에는 차이가 없었다. 반면, CF-AK-7.5%와 CF-AK-10%로 조제한 접착제에서는 경화제의 첨가량이 10%까지 경화제를 첨가하지 않고 조제한 접착제의 내수성과 차이가 없었으나, 15% 첨가량에서는 크게 증가하였다. 그러나 그 결과 값은 CF-AK-5%에 고형분 함량 기준으로 5%의 CF-AC-5%를 첨가하여 조제한 접착제의 내수성보다 낮았다. 따라서 CF-AK를 이용한 접착제 조제시 CF-AK-5%에 CF-AC-5%를 경화제로 첨가하는 것이 최적의 접착제 조제 조건이라 생각한다.

3.5.3. 가교제와 경화제의 상호영향

Fig. 4는 닭털 접착제의 열수 불용해율에 대한 가교제의 종류 및 경화제 양의 상호영향을 나타낸 것이다. 먼저 CF-AK-5%에 HCHO를 가교제로 사용한 접착제에서 경화제로 사용된 CF-AC-5%의 양을 10%로 조절하여 첨가했을 경우 열수 불용해율이 증가하였으며, 그 이상의 첨가량에서도 계속 증가하였다. 반면 CF-AK-7.5%와 HCHO로 조제한 접착제에서 CF-AC-5%의 양을 5% 첨가함에 따라 열수 불용

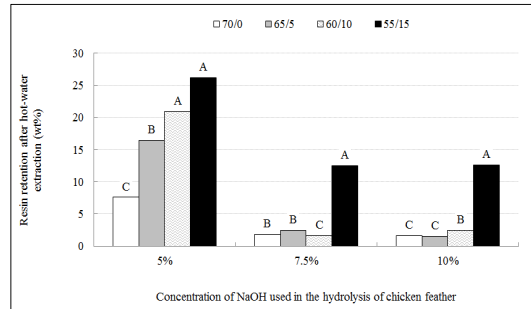


Fig. 3. Retention rate of the adhesive resins, which were formulated with NaOH- and H₂SO₄-hydrolyzed chicken feather, existed on the filter paper after hot-water treatment. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

해율이 증가하였으나, 10%의 첨가량에서는 다시 감소하였으며 15%의 첨가량에서는 차이가 없었다. 한편, 대조구로 사용된 C-UF의 열수 불용해율과 비교한 결과, 55%의 CF-AK-5%, 15%의 CF-AC-5%, 30%의 HCHO로 제조한 접착제를 제외하고 모든 조건에서 통계학적으로 낮은 것으로 나타나 HCHO를 가교제로 사용하는 것은 적합하지 않을 것으로 생각한다.

다음으로 MUF를 가교제로 조제한 접착제의 경우, CF-AK-5%에 경화제로 CF-AC-5%의 사용은 열수 불용해율을 향상시켰으며, 그 첨가량의 증가와 함께 계속 증가하였다(Fig. 4). 그러나 CF-AK-7.5%에 경화제로 CF-AC-5%의 사용은 열수 불용해율에 영향을 미치지 않았으며, 오히려 10% 이상의 첨가량에서 감소하였다. 이와 같은 결과는 닭털의 가수분해물과 MUF 간의 가교결합 정도가 낮거나 MUF 자체의 낮은 내수성에서 기인한 것으로 판단된다. 한편, C-UF의 열수 불용해율과의 비교에서 HCHO를 가교제로 사용한 접착제와 유사하게 55%의 CF-AK-5%, 15%의 CF-AC-5%, 30%의 MUF로 제조한 접착제를 제외하고 모든 조건에서 통계학적으로 낮은 것으로 나타나 MUF를 가교제로 사용하는 것은 적합하지 않을 것으로 생각하며, 이에 대한 개선 방안으로 향후 MUF 제조에 있어 melamine 또는 formaldehyde 양을

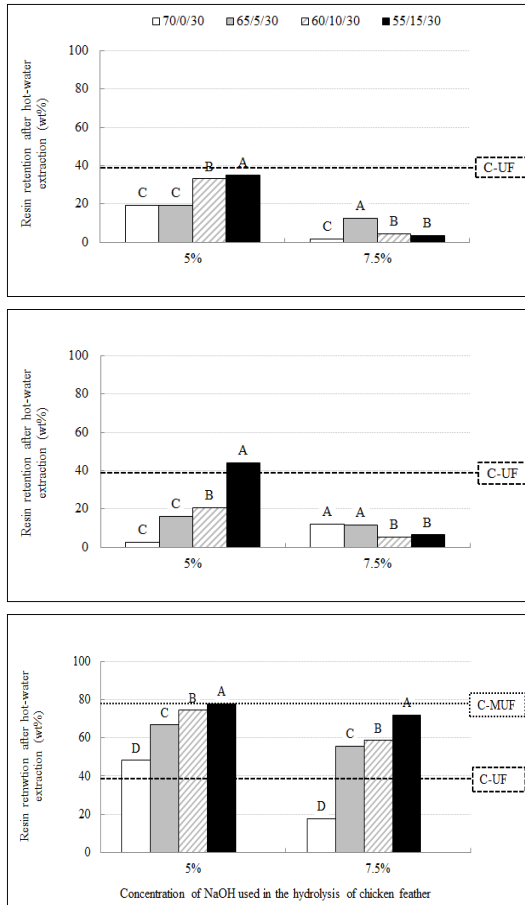


Fig. 4. Interactive effect of crosslinker and hardener on the retention rate of the chicken feather-based adhesive resins which were formulated with formalin (top), melamine-urea-formaldehyde prepolymer (middle) and phenol-formaldehyde prepolymer (bottom) as a crosslinker. C-UF and C-MUF mean commercial urea- and melamine-urea-formaldehyde resins. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significance difference test).

증가시키는 연구가 수행되어야 할 것으로 생각한다.

마지막으로 PF를 가교제로 사용한 접착제에서는 CF-AK-5%와 CF-AK-7.5%에 상관없이 경화제의 첨가량 증가와 함께 열수 불용해율은 계속 증가하였다 (Fig. 4). 이는 PF가 CF 가수분해물과 많은 가교결합이 이루어졌거나 PF의 높은 내수성에서 기인한 결과

라 생각한다. 이렇게 PF와 조제한 접착제를 현재 섬유판 제조에 사용되고 있는 C-UF와 C-MUF의 열수 불용해율과 비교하였을 때, CF-AK-5%로 제조한 접착제에서는 경화제 첨가량과 상관없이 모든 조건에서 C-UF의 열수 불용해율보다 크게 높았으며, 10% 이상의 경화제를 첨가하여 제조한 접착제에서는 C-MUF의 열수 불용해율과 통계학적으로 차이가 없는 것으로 조사되었다. 심지어 CF-AK-7.5%에서도 경화제의 첨가와 함께 C-UF의 열수 불용해율을 상회하는 결과를 보였다. 그러나 그 값들은 C-MUF의 열수 불용해율보다 낮았다.

상기 결과를 종합하면, CF-AK-5%에 가교제로 PF 그리고 10% 이상의 CF-AC-5%를 경화제로 첨가하여 조제한 접착제는 MUF의 대체접착제로 사용이 가능할 것으로 판단되며, 가교제로 PF를 사용한 모든 접착제와 고형분 함량을 기준으로 55%의 CF-AK-5%, 15%의 CF-AC-5% 및 30%의 MUF로 제조한 접착제는 C-UF를 대체할 수 있을 것으로 생각한다. 한편, C-UF의 대체 접착제로서 CF-AK-5%와 PF로 제조한 접착제에서 제조비용이 높은 가교제인 PF의 첨가량을 30% 이하로 줄이는 연구가 향후 필요할 것으로 생각한다.

4. 결 론

본 연구는 도계부산물인 닭털에 대한 목질계 판상재용 접착제의 원료화 가능성을 조사하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 먼저 닭털을 알칼리 및 산 수용액에 가수분해한 후, 이 가수분해물에 가교제로 HCHO, MUF, PF를 반응시켜 접착제를 제조하였다. 이렇게 제조된 접착제를 완전경화시킨 후, 이에 대한 열수처리를 통하여 각 접착제별 열수 불용해율을 측정하였다. 열수 불용해율은 닭털 접착제의 내수성을 비교하기 위하여 수행하였으며, 이를 통하여 최적의 접착제 제조조건을 얻었다.

닭털은 케라틴계 단백질로 대부분 구성되어 있으며, 지방/오일, 조섬유, 회분도 함유하고 있었다. 회분의 정성분석 결과, 칼슘의 함량이 가장 높았으며 중금속인 크롬과 니켈을 소량 함유하고 있었으나, 수

은, 비소, 카드뮴, 납 등은 검출되지 않아 접착제 원료로 이용할 경우 인체 및 환경 유해성은 전혀 없을 것으로 생각한다. 닭털의 NaOH에 대한 가수분해율을 측정할 결과, 가수분해 수용액에 사용된 NaOH의 농도가 7%까지 증가하다가 9% 이상에서 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과를 토대로 닭털의 가수분해를 위한 수용액 내의 NaOH 농도를 5%, 7.5%, 10%로 결정하였으며, 이 가수분해물을 주원료로 가교제와 경화제를 첨가하여 접착제를 제조하였다. 제조된 접착제의 고형분 함량은 가수분해 조건 및 가교제의 종류에 따라 28.3 - 44.8% 범위에 있었으나, 상온에서 전반적으로 점도가 높아 50℃에서 점도를 측정하였다. 그 결과 가수분해물 및 가교제의 종류와 상관없이 300~600 m·Pa·s로 측정되어 낮은 점도를 요구하는 분사형 접착제로 사용이 충분히 가능한 것으로 조사되었다. 경화된 접착제의 내수성을 비교하기 위하여 측정된 열수 불용해율 결과를 보면, CF-AK-5%와 PF로 제조한 접착제에서 가장 높았으며, 경화제인 CF-AC-5%의 첨가량이 고형분 함량 기준 10% 이상에서 증가하는 경향을 나타냈다. 닭털 접착제의 열수 불용해율을 섬유판 제조에 사용되고 있는 C-UF와 C-MUF와 비교한 결과, 가교제로 PF를 그리고 10% 이상의 CF-AC-5%를 경화제로 첨가하여 조제한 접착제는 C-MUF의 열수 불용해율과 통계학적으로 차이가 없었으며, 가교제로 PF를 사용한 모든 접착제와 고형분 함량을 기준으로 55%의 CF-AK-5%, 15%의 CF-AC-5% 그리고 가교제로 30%의 MUF와 함께 제조한 접착제는 C-UF 접착제를 대체할 수 있는 것으로 조사되었다. 이 결과를 토대로 적절한 조건에서 가수분해한 닭털은 목질계 판상재용 접착제의 원료로 사용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 적용하여 제조한 섬유판의 물성 및 폼알데히드 방산량에 대한 측정결과를 추후 발표할 예정이다.

사 사

본 연구는 중소기업청의 산학연협력연구개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, S.H. 2015. Effect of heating temperature and time of coffee waste on the adsorptivity of formaldehyde. *J. of Korean Wood Science & Technology* 43(3): 390-399.
- American Society for Testing and Materials. 1993. Standard test methods for determination of percent nonvolatile content of liquid phenolic resins used for wood laminating. ASTM, ASTM D 4426, Philadelphia, PA, USA.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Analytical methods for chemical composition, 15th ed. Academic Press, Inc., Arlington, TX, USA.
- Barbosa, A.P., Mano, E.B., Andrade, C.T. 2000. Tannin-based resins modified to reduce wood adhesive brittleness. *For. Prod. J.* 50(9): 89-92.
- Christiansen, A.W., Gillespie, R.H. 1986. Potential of carbohydrates for exterior-type adhesives. *For. Prod. J.* 36(7/8): 20-28.
- Kim, Y.B., Lee, K.S., Lee, N.H. 1998. Effects of physical processing on protein content and pepsin-digestibility of feather meals. *J. of Korean Anim. Sci.* 40(1): 103-110.
- Korea Forest Research Institute. 2013. Standard for the quality of wood pellets. Seoul, Republic of Korea.
- Kuo, M.L., Myers, D.J., Heemstra, H., Curry D., Adams, D.O., Stokke, D.D. 2001. Soybean-based adhesive resins and composite products utilizing such adhesives. U.S. Patent No. 6,306,997.
- Lambuth, A.L. 1989. Protein adhesives for wood. In *Wood adhesives: Chemistry and Technology*, Vol. II. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA.
- Lee, J.G., Lee, S.M. 1998. Evaluation of soybean meal or feather meal as a partial substitute for fish meal in formulated diets for fat cod. *J. of*

- Aquaculture 11(4): 421-428.
- Lee, K.H. 1997. Chemical composition and biological feed value of autoclaved poultry by-products for poultry. Korea J, Poult. Sci. 24(4): 185-191.
- Ministry of Environment. 2003. Policy for managing the indoor air-quality of public facilities. ME No. 6911, Sejong, Republic of Korea.
- Oh, S.C., Ahn, S.H., Choi, I.G., Jeong, H.S., Yoon, Y.H., Yang, I. 2008. Development and application of okara-based adhesives for plywood panels. J. of Korean Wood Science & Technology 36(3): 30-38.
- Oh, Y., Sellar Jr., T., Kim, M.G., Strickland, R.C. 1994. Evaluation of phenol-formaldehyde OSB resins modified with lignin residues from acid-hydrolyzed waste newsprint. For. Prod. J. 44(2): 25-29.
- Olivares, M., Aceituno, H., Neiman, G., Rivera, E., Sellar Jr., T. 1995. Lignin-modified phenolic adhesives for bonding Radiata pine plywood. For. Prod. J. 45(1): 63-67.
- Pizzi, A., Scharfetter H.O. 1978. The chemistry and development of tannin-based adhesives for exterior plywood. J. of Applied Polymer Science 22(6): 1745-1761.
- Riebel, M.J., Torgusen, P.L., Roos, K.D., Anderson, D.E., Gruber, C. 1997. Bio-composite material and method of making. U.S. Patent No. 5,635,123.
- Steele, P.H., Kreibich, R.E., Steynberg, P.J., Hemingway, R.W. 1998. Finger jointing green southern yellow pine with a soy-based adhesive. Adhesive Age 8: 49-54.
- Yang, I., Ahn, S.H., Choi, I.G., Han, G.S., Choi, W.S., Oh, S.C. 2011. Preliminary study of rapeseed flour-based wood adhesives for making wood flooring. J. of Korean Wood Science & Technology 39(5): 451-458.
- Yang, I., Ahn, S.H., Choi, I.G., Kim, H.Y., Oh, S.C. 2009. Adhesives formulated with chemically modified okara and phenol-resorcinol-formaldehyde for bonding fancy veneer onto high-density fiberboard. J. of Industrial and Engineering Chemistry 15(3): 398-402.
- Yang, I., Ahn, S.H., Choi, W.S., Kim, S.S., Oh, S.C. 2009. Bonding quality of adhesives formulated with okara hydrolyzates and phenol-formaldehyde resins for bonding fancy veneer onto high-density fiberboard. J. of Korean Wood Science & Technology 37(4): 388-396.
- Yang, I., Han, G.S., Ahn, S.H., Choi, I.G., Kim, Y.H., Oh, S.C. 2014. Adhesive properties of medium-density fiberboards fabricated with rapeseed flour-based adhesives. J. of Adhesion 90(4): 279-295.
- Yang, I., Han, G.S., Choi, I.G., Ahn, S.H., Oh, S.C. 2012. Properties of plywood bonded with adhesive resins formulated with enzymatically hydrolyzed rapeseed flour. J. of Korean Wood Science & Technology 40(3): 164-176.
- Yang, I., Han, G.S., Choi, I.G., Kim, Y.H., Ahn, S.H., Oh, S.C. 2011. Development of adhesive resins formulated with rapeseed flour hydrolyzates for laminated veneer lumber and its performance evaluation. J. of Korean Wood Science & Technology 39(3): 221-229.
- Yang, I., Han, G.S., Choi, I.G., Kim, Y.H., Ahn, S.H., Oh, S.C. 2012. Development of adhesive resins formulated with rapeseed flour hydrolyzates for medium-density fiberboard (MDF). J. of Korean Wood Science & Technology 40(3): 177-185.
- Yang, I., Jeong, J.H., Han, G.S., Choi, I.G., Ahn, S.H., Oh, S.C. 2010. Development of adhesive resins formulated with rapeseed flour hydrolyzates for plywood panels. J. of Korean Wood Science & Technology 38(4): 392-401.

- Yang, I., Kuo, M.L., Myers, D.J. 2006. Bond quality of soy-based phenolic adhesives in southern pine plywood. *J. of the American Oil Chemists' Society* 83(3): 231-237.
- Yang, I., Kuo, M.L., Myers, D.J. 2005. Physical properties of hybrid poplar flakeboard bonded with alkaline phenolic soy adhesives. *J. of Korean Wood Science and Technology* 33(5): 66-75.
- Yang, I., Kuo, M.L., Myers, D.J., Pu, A.B. 2006. Comparison of protein-based adhesive resins for wood composites. *J. of Wood Science* 52(6): 503-508.
- Yang, K.K., Wang, X.L., Wang, Y.Z. 2007. Progress nanocomposite of biodegradable polymer. *J. of Industrial and Engineering Chemistry* 13(4): 485-500.
- Yang, I., Lee, K.H., Oh, S.C. 2013. Manufacture and performance evaluation of medium-density fiberboard made with coffee bean residue-wood fiber. *J. of Korean Wood Science & Technology* 41(4): 293-301.
- Yang, I., Jeong, J.H., Jeon, M.J., Han, G.S., Ahn, S.H., Han, I.G., Kim, Y.H., Oh, S.C. 2010. Development of Environmentally friendly adhesives formulated with rapeseed flour obtained from the production of bio-diesel. *J. of Korea Society of Waste Management* 27(3): 234-242.
- Yang, I., Park, D.H., Choi, W.S., Oh, S.C., Ahn, D.U., Han, G.S. 2017. Reaction mechanism and curing characteristics of chicken feather-based adhesives and adhesive properties of medium-density fiberboard bonded with the adhesive resin. *Korean Chemical Engineering Research* (Submitted).
- Woo, B.J., Kim, H.J. 2015. Imbalance of supply and demand for chicken meat and its spread effect. *Korea Rural Economic Institute, Seoul, Republic of Korea.*