

미 · 이용업 폐기물 인모의 목재접착제 원료화 가능성 탐색¹

양 인² · 안 세 희^{3,†}

Investigating The Potential of Human Hair Produced from The Beauty Parlor and Barbershop as a Raw Material of Wood Adhesives¹

In Yang² · Sye Hee Ahn^{3,†}

요 약

본 연구는 미 · 이용원에서 폐기물로 발생하는 인모(人毛)의 NaOH 가수분해물, 도계 폐기물인 닭피의 H₂SO₄ 가수분해물 그리고 phenol-formaldehyde prepolymer (PF)를 가교제로 혼합하여 접착제를 조제하고, 이에 대한 물성 및 열수불용해율 측정결과를 통하여 인모의 목질판상재용 접착제의 원료화 가능성을 확인하기 위하여 수행하였다. 인모는 80% 이상의 케라틴계 단백질로 구성되어 있으며, 회분 함유량이 0.1% 미만으로 매우 낮았다. 인모에 함유된 단백질의 아미노산 가운데 glutamic acid의 함량이 가장 높았으며, 다음으로 cysteine, serine, arginine, threonine 순으로 조사되었다. 인모를 이용하여 조제한 접착제의 고형분 함량은 인모의 가수분해 조건 및 PF의 종류에 따라 33 - 41%의 범위였으며, 접도는 상온에서 300-600 mPa · s로 분사형 접착제로서 사용이 가능한 것으로 조사되었다. 접착제의 내수성을 비교하기 위하여 측정된 열수불용해율은 5% 농도의 NaOH 수용액에서 반응시킨 인모의 가수분해물, 고형분 함량을 기준으로 5 wt%의 H₂SO₄를 닭피에 첨가하여 반응시켜 준비한 가수분해물을 첨가하여 제조하고 경화시킨 접착제에서 높았다. 한편, PF에서 F/P의 물비는 열수불용해율에 영향을 미치지 않았다. 이렇게 조제한 접착제의 열수불용해율을 현재 목질판상재 제조에 사용하고 있는 석유화학계 합성수지와 비교한 결과, 30 wt%의 PF로 조제한 인모 접착제는 전반적으로 요소 수지보다 낮은 것으로 조사되었다. 그러나 PF의 함량을 35 wt%까지 증가시켰을 때, 열수불용해율은 요소수지를 크게 상회하였으며, 멜리민-요소수지에 접근하는 것으로 조사되었다. 이와 같은 실험과 아울러 경제성을 분석한 결과, 적정조건에서 가수분해한 인모와 가교제로 35 wt%의 PF로 조제한 인모 접착제는 목질 판상재용 접착제로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Human hair (HH) is produced as a waste from beauty parlor and barbershop. HH-based adhesives were formulated with NaOH-hydrolyzed HH, H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood (CB) and PF as a crosslinking agent. Physicochemical

¹ Date Received August 15, 2017, Date Accepted August 31, 2017

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

³ 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과. Department of Forest Resources, College of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 안세희(e-mail: shahn@daegu.ac.kr)

properties and retention rate against hot water of the adhesives were measured to investigate the potential of HH as a raw material of wood adhesives. HH was composed of keratin-type protein of 80% and over. Ash of less than 0.1% was contained in HH. Among the amino acids included in HH, glutamic acid showed the highest content, followed by cysteine, serine, arginine and threonine. Solid content of the adhesives ranged from 33.2% to 41.8% depending on hydrolysis conditions of HH and PF type. Viscosity at 25°C ranged from 300 to 600 mPa · s resulting in a sprayable adhesive. Retention rate against hot water measured to evaluate the water resistance of adhesives was the highest in the cured resin formulated with 5% NaOH-hydrolyzed HH and 5% H₂SO₄-hydrolyzed CB. Meanwhile, the molar ratio of formaldehyde to phenol in PF did not have a significant impact on the retention rate of HH-based adhesives. When the retention rates of HH-based adhesives were compared to those of conventional wood adhesive resins used for the production of wood-based panels extensively, HH-based adhesives formulated with 30 wt% PF showed lower retention rate than commercial urea-formaldehyde resin. However, when PF content was increased to 35 wt%, the retention rate greatly increased and approached to that of commercial melamine-urea-formaldehyde resin. Except for the results mentioned above, the analysis of economic feasibility suggests that HH-based adhesives can be used for the production of wood-based panels if HH is hydrolyzed in proper conditions and then the HH-based adhesives are formulated by the HH hydrolyzates with 35 wt% PF.

Keywords : human hair, chicken blood, wood adhesives, crosslinking agent, retention rate against hot-water extraction

1. 서 론

국내에서 생산되는 합판, 파티클보드, 섬유판과 같은 목질판상재는 대부분 요소, 멜리민-요소, 페놀수지와 같은 석유화학계 접착제를 사용하고 있다. 그러나 국내 합판보드산업은 중국, 동남아 등으로부터의 제품수입 증가에 따른 가격경쟁력 약화, 폼알데하이드 방출문제에 대한 부정적인 인식 등 해결해야 할 당면과제가 있는 상황이다. 이러한 상황에서 목질계 바닥재 등에 대한 폼알데하이드 방출량 규제기준이 강화되면서(KATS, 2015), 접착제 제조비용은 상승될 것으로 예상된다. 또한 폼알데하이드 방출과 관련하여, International Agency for Research on Cancer에서는 폼알데하이드를 일급 발암물질로 규정하며 사용의 최소화를 강력히 권고하고 있는 실정이다(IARC, 2004). 이와 같이 국내 합판보드산업의 가격경쟁력 약화 및 목질판상재의 폼알데하이드 방출량 저감 등의 과제에 대응하기 위한 기술 개발이 필요한 시점에서 접착제 제조용 원료의 대량 확보가 용이하고, 이를 이용하여 제조한 목질판상재의 폼알데하이드 방출량 최소화가 가능한 접착제 개발에 대한 연구 필요성이 대두되고 있다.

상기 목적을 달성할 수 있는 여러 방안 가운데 재생가능자원, 산업 폐기물 및 부산물을 접착제의 원료로 이용하는 연구 및 기술개발이 선진국을 중심으로 1990년대 말부터 지속적으로 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; Moubarik 등, 2010)을 접착제 원료로 이용하는 방안이 주로 연구되었으나, 이 접착제는 석유화학계 접착제와 비교하여 낮은 접착 강도와 내수성 그리고 가격 경쟁력으로 리그닌, 탄닌과 같은 폐기물을 이용한 접착제만이 원료 수급이 용이한 일부 나라에서 상용화되어 있는 실정이다(Pizzi와 Scharfetter, 1978). 국내에서도 접착제 생산가의 절감을 위하여 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)과 같은 식품 및 농업 부산물을 원료로 접착제를 제조하는 기술이 개발되었다. 그러나 상기의 개발 기술에서 사용된 주

원료에 대한 대량 확보의 어려움으로 국내에서 이를 대체할 수 있는 새로운 대체원료의 개발이 필요한 상황이다.

앞에서 언급한 접착제는 석유화학계 접착제의 prepolymer와 가수분해를 통하여 액화된 천연 고분자의 가교결합에 의하여 제조된 것으로 이를 통하여 생산단가의 절감, 우수한 접착성능 및 낮은 폼알데하이드 방출이 가능하게 되었다. 이와 같은 접착제 제조의 원료 확보 및 가교결합 측면에서 단백질 가수분해물이 다양한 관능기를 보유하고 있어 탄수화물 가수분해물보다 접착제 제조에 유리한 원료로서 판단되어 이에 대한 다양한 개발 및 상용화가 진행되었다. 예를 들면, 혈액, casein, 대두박이 목재 접착제 제조를 위한 copolymer로 사용되었다(Yang 등, 2006a; Yang 등, 2006b). 대두박의 경우, 저가 및 대량 확보가 가능하고 일정한 화학적 조성을 보유하고 있어 1990년대 말부터 생화학적으로 개량된 가수분해물을 다양한 석유화학계 prepolymer와 반응시켜 목재 접착제를 제조하였으며, 이에 대한 성공적인 결과가 보고되었다(Kalapaty 등, 1996; Sun과 Bian, 1999; Ghahri 등, 2016). 또한 이 연구결과에 따른 다양한 접착제가 합판 및 핑거조인트 제품 생산에 적용되고 있다(Frihart 등, 2010). 그러나 대두박 접착제의 상용화를 위해서는 여러 가지 해결해야 할 과제가 있다. 첫째, 대두박은 약 45%의 단백질과 함께 40% 이상의 탄수화물로 구성되어 있어 대두박의 수용성 분산액은 낮은 고형분 함량에서 점도가 높기 때문에 OSB (oriented strandboard), 파티클보드, 섬유판 등의 생산에 분사형 접착제로서 사용할 때 어려움이 있다(Frihart 등, 2014). 둘째, 폼알데하이드계 접착제와 비교하여 높은 열압온도 및 긴 열압시간이 요구된다. 셋째, 우수한 성능을 가진 접착제 생산을 위해서는 대두박 내의 단백질 함량을 soy isolates의 수준(> 90%)까지 증가시켜야 하며, 이 경우 접착제 제조비용은 10배 정도 증가하게 된다(Frihart, 2014). 따라서 분사형 목재 접착제의 조제를 위하여 90% 내외의 단백질 함량과 함께 저가로 대량 확보가 가능한 원료의 탐색이 필요하다.

이와 같은 조건을 만족시키는 원료를 탐색하는 과

정에서 도계업의 부산물이며, 주로 단백질로 구성된 육계의 털과 혈액을 이용하여 섬유판이나 파티클보드 생산이 가능한 분사형 접착제 제조 기술이 개발되었으며, 이를 통하여 닭털과 닭피의 목질판상재용 접착제 원료화 가능성을 확인하였다(Park 등, 2017; Yang 등, 2017a; Yang 등, 2017b). 그러나 이 접착제 제조의 주원료인 닭털을 국내에서 수급할 경우 고가(700 - 800원/kg)의 원료 구매비용으로 인하여 이를 대체할 수 있는 원료에 대한 탐색이 필요한 실정이다. 따라서 닭털과 화학적 조성이 유사하며 국내에서 저비용으로 대량 확보가 가능한 인모를 닭털의 대체 원료로 사용하는 방안을 착안하였다. 만약 인모와 닭피로 제조한 접착제 연구가 성공적으로 수행될 경우, 생산원가 절감과 함께 폼알데하이드 방출량이 매우 낮은 합판 및 보드류 생산이 가능할 것으로 생각한다.

국내에서 인모의 대량 공급처인 미용실과 이용실에 대한 현황을 조사한 결과, 2014년 기준 전국적으로 100,000개 이상의 미/이용실(미용실: 82,427개; 이용실: 28,847개)이 영업을 하고 있는 것으로 확인되었다(KOSTAT, 2015). 미용실 및 이용실에서 발생하는 인모의 양은 평균 0.5 kg/일 이상이며, 전량 쓰레기로 폐기처리되고 있는 것으로 방문조사를 통하여 확인되었다. 따라서 연간 최대 18,000톤 이상의 인모 확보가 가능하며, 이 양은 국내 대형 도계시설에서 연간 발생하는 닭털의 50%에 해당되는 양이다. 개발될 접착제의 고형분 함량을 50%라 가정할 때 최대 36,000톤 이상의 인모만을 이용한 접착제 생산이 가능하다. 또한 인모는 닭털과 달리 많은 양이 이미 작은 크기로 절단된 상태로 공급되어 닭털보다 온화한 조건에서 가수분해 반응이 가능하고, 닭털을 원료로 사용시 필요한 지방제거 공정을 생략할 수 있어 접착제 생산 비용 절감이 가능하다는 장점이 있으므로 접착제 원료로서 가치가 충분할 것으로 판단된다. 이에 미·이용실 폐기물인 인모에 대한 목질판상재용 접착제 원료로서의 가능성을 조사하고, 인모의 효율적인 처리 및 원료화 방안을 제시하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

인모는 충북대학교 인근 미·이용실 5곳에서 무상으로 공급받아 사용하였으며, 접착제 원료로 사용하기에 앞서 4 mesh (< 6 mm)의 표준체를 이용하여 길이별로 선별하였다. 이 선별과정에서 표준체를 통과한 길이가 짧은 인모는 추가적인 처리 없이 접착제 원료로 사용하였으며, 표준체 위에 남은 긴 인모는 일반 가위로 1 cm 정도의 크기로 절단하여 접착제 제조에 사용하였다. 닭피는 (주)하림(전북 익산시)에서 무상으로 공급받았으며, 추가공정 없이 접착제 원료로 사용하였다.

인모 및 닭피의 가수분해와 가교제 제조에 사용된 NaOH, H₂SO₄, phenol, formalin은 화학실험용 시약으로 진흥테크(충북 청주시)에서 구입하여 사용하였다. 조제된 인모접착제의 특성을 비교하기 위하여 대조구로 사용된 요소(이하 C-UF) 및 멜라민-요소 수지(이하 C-MUF)는 선창산업(주)와 한국종합목재(주)로부터 무상으로 공급받아 사용하였다.

2.2. 화학적 조성 분석

인모와 닭피의 함수율과 회분 함량은 ASTM D 4442-07 및 ASTM E 1755-01에 준하여 측정하였다(ASTM, 2005a; ASTM, 2005b). 단백질 함량은 킬달법(Kjeldahl)을 이용하여 측정하였는데, 일반 가위로 1 cm 이하로 절단한 인모 1 g을 Micro Kjeldahl flask에 넣고 1.1 g의 K₂SO₄와 진한 황산 10 mL를 차례로 가한 후, 약 2시간 동안 95°C에서 가열하고 증류수로 희석하였다. 이렇게 희석된 액을 단백질/질소 자동분석기(Kjeltec Auto 2400/8400 system, Foss Tecator AB, Sweden)를 이용하여 질소 함량이 측정된 후, 이 질소 함량 값에 6.25를 곱하여 단백질 함량을 얻었다(Garcia와 Phillips, 2009). 지방 함량은 무게가 측정된 인모를 n-hexane 용액에 1:50 (W/V)의 비율로 1시간을 침지시킨 후, 지방이 제거된 인모의 무게를 측정하여 지방 제거 전후의 무게 차이로

측정하였다(Tokimoto 등, 2005).

인모 단백질의 아미노산 조성을 분석하기 위하여 고분해능 액체 크로마토그래피(이하 HPLC, High Performance Liquid Chromatograph, Ultimate 3000, Dionex Corp., Sunnyvale, USA)를 사용하였으며, 그 방법은 다음과 같다. 분급된 인모 2 mg을 30 mL의 HCl 용액(6 N)에 넣고 130°C에서 24시간 가수분해를 실시하였으며, 가수분해물 전체가 100 mL가 되도록 증류수로 희석시킨 후, 0.45 µL의 수용성 syringe filter로 여과하였다. 필터링 후, 다시 가수분해된 시료를 증류수로 희석하고 HPLC로 아미노산을 분석하였다. HPLC는 이온-교환방법을 이용하여 수용성 완충액을 투입하면 아미노산의 구조에 따라 다른 속도로 유리관 아래쪽으로 이동하기 때문에 각각의 아미노산이 분리된다. 분리된 아미노산을 닌하이드린(ninhydrin)과 반응시키면 자주색을 나타내게 되고, 자주색의 세기를 자외선 검출기로 측정하여 아미노산의 정량분석에 사용하였다. 자외선 검출기는 338 nm의 흡광도에서 아미노 분석을 실시하였으며, Standard 용액으로 200 nm/µL의 아미노산 17종을 이용하였다. 인모의 화학적 조성과 아미노산 분석 결과는 3회 측정치의 평균값으로 표기하였다.

2.3. 인모 및 닭피의 가수분해

접착제 원료로 인모를 사용하기 위하여 액화공정이 필요하며, 이를 위하여 Park 등(2017)의 결과를 토대로 인모에 대한 알칼리 가수분해를 실시하였다. 즉, 5%, 7.5%, 10% 농도의 NaOH (AK) 수용액(350 mL)에 200 g의 인모를 천천히 투입하였으며, 95 ± 2.5°C에서 120분 동안 가수분해 반응을 진행하였다(HH-AK-5%, 7.5%, 10%). 가수분해 반응 중에 발생하는 거품을 제거하기 위하여 일산화화(경북 고령군)에서 제조한 소포제(상품명: Defoamer-NW)를 3 mL 용량의 플라스틱 스포이드를 이용하여 15 drop을 첨가하였다.

닭피의 가수분해 조건은 Yang 등(2017)에 의하여 수행된 것과 같이 2 g의 H₂SO₄ (농도: 99%)를 200 g의 닭피에 천천히 첨가하였으며, 강한 교반과 함께

90 ± 2℃에서 30분 동안 가수분해반응을 진행하였다. 이 가수분해물은 닭피의 고형분 함량을 기준으로 5%의 산(AC)을 반응시켜 얻은 관계로 CB-AC-5%로 명명하였다.

2.4. 접착제 제조

접착제 제조에 앞서 pH가 높은 HH-AK의 경화시간을 줄이기 위하여 2.3절에서 설명한 CB-AC-5%를 경화제로 사용하였다. 한편 인모의 가수분해물 간의 부가/축합 반응을 통한 결합을 위하여 가교제로 phenol-formaldehyde prepolymer (PF)를 접착제 제조에 사용하였다. PF의 제조는 아래와 같은 방법으로 하였다.

PF 제조를 위하여 반응기에 phenol, formalin, 50% 농도의 NaOH 용액을 일정량 넣고 75℃에서 90분간 교반하면서 1차 반응을 완료한 후, 다시 50% 농도의 NaOH 용액을 일정량 넣고 95℃에서 60분간 추가로 교반하여 제조하였다. 이 PF의 formaldehyde/phenol/NaOH 몰비는 2.0/1.0/0.1 및 2.5/1.0/0.1의 두 종류를 제조하였으며, 두 PF는 약 50 mPa·s의 점도와 50% 내외의 고형분 함량을 가진 것으로 조사되었다.

접착제 구성은 고형분 함량을 기준으로 65-70 wt%의 HH-AK 및 CB-AC 그리고 30-35 wt%의 PF를 혼합하여 조제하였다. 접착제 조제를 위한 각 조성물의 혼합공정을 보면, HH-AK에 CB-AC-5%를 넣고 70 ± 5℃에서 5분간 충분히 교반한 후, PF를 넣고 그 온도를 유지시킨 상태에서 추가적으로 5분간 반응하여 목질계 판상제 제조용 접착제로 사용하였다.

2.5. 접착제의 물성 측정

접착제의 고형분 함량은 pan solids technique 방법에 따라 측정하였다(ASTM, 1993). 점도는 상온에서 Brookfield사의 Digital Viscometer (DV-II, Middleboro, USA)를 이용하여 spindle number를 21로 그리고 10 rpm의 속도로 회전하며 측정하였다. 조제된 접착제의 pH는 Fisher Scientific사의 ACCUMET® Model 1600 pH meter로 측정하였다.

2.6. 열수불용해율 측정

조제된 인모 접착제를 목질판상제 제조에 적용하기에 앞서 접착제의 내수성을 비교하기 위하여 접착제별 열수불용해율을 측정하였다(Park 등, 2017). 이를 위하여 접착제를 oven에 24시간 넣고 완전히 경화시킨 후, 이를 가정용 믹서로 분쇄하였다. 이 분쇄된 분말을 20 mesh 표준체를 이용하여 선별하여 통과된 것을 시료로 이용하였다. 측정과정을 보면, 경화 및 선별된 접착제 1 g를 삼각플라스크에 넣고 100 ml 증류수와 함께 95℃의 열수에서 60분간 교반을 실시하였다. 교반이 완료된 플라스크 내의 액을 filter paper (No. 2)로 여과시킨 후, 여과지를 105℃ 오븐에서 24시간 건조하고 여과지에 남은 접착제의 중량을 이용하여 아래 식으로 열수불용해율을 얻었다.

Mass loss (%) =

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

2.7. 경제성 분석

인모의 접착제 원료화에 따른 경제성을 조사하기 위하여 서울특별시 중랑구를 선정하여 인모에 대한 목질판상제용 접착제 원료화를 위한 시물레이션을 수행하였다. 인모의 발생량 및 구체적 확보 방안에 대한 사례 연구는 구청 직원의 도움을 받아 자료조사 및 직접 방문을 통하여 실시하였다.

2.8. 실험설계 및 통계학적 분석

접착제 제조실험의 요인으로서 인모의 가수분해에 사용된 NaOH 농도(5%, 7.5%, 10%), PF의 formaldehyde/phenol 몰비(2.0, 2.5), 접착제 조성비(HH-AK/CB-AC/PF = 65/5/30, 60/10/30, 60/5/35, 55/10/35)가 경화 접착제의 열수불용해율에 미치는 영향을 통계학적으로 분석하였다. 이와 같은 분석 결과, p < 0.05 범위에 있을 경우 Fisher's LSD (least significant different: 최소유의차) 검정을 이용한 Student

Table 1. Chemical Composition of Human Hair And Chicken Blood (Unit: %)

	Moisture	Ash	Protein	Fat/oil	Crude fiber
Human hair	7.0	0.1	86.7	6.2	-
Chicken blood	80.2	0.2	15.8	0.8	-
Chicken feather ¹	7.6	1.3	81.1	9.7	2.2

¹ Park *et al.* (2017).

t-test를 통하여 각 평균값의 차이에 유의성이 있는지를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 화학적 조성

Table 1은 인모와 닭피의 화학적 조성을 측정된 결과이다. 인모는 수거와 함께 24시간 동안 오븐에서 건조한 것으로 7.0%의 수분을 함유하고 있으며, 예상대로 주로 단백질로 구성되어 있다. 한편 인모는 일정한 양의 지방/오일과 극소량의 회분을 함유하고 있다. 이 측정치를 인모와 화학적 조성이 유사한 케라틴계 단백질로 구성된 닭털과 비교한 결과, 단백질 함량은 닭털보다 높았으며, 지방/오일 및 회분 함량은 낮았다(Park 등, 2017). 화학적 조성 측면에서 인모는 단백질 함량이 높아 접착제의 원료로서 사용이 가능하고, 인모의 낮은 지방/오일 함량으로 닭털을 이용한 접착제 조제시 사용된 지방/오일을 제거하는 추가적인 공정이 필요치 않다는 결론을 얻었다. 따라서 인모를 이용한 접착제 조제에 있어 지방/오일을 제거하는 공정을 제외시켰고, 이를 통하여 접착제 생산단가의 절감이 가능할 것으로 판단된다. 닭피는 약 80%가 수분으로 구성되어 있었는데, 이는 도계시 방혈 과정에서 세척수와 혼합되어 나타난 결과인 것을 도계공장의 직접 방문을 통하여 확인할 수 있었다. 닭피의 고형분 중에서는 단백질 함량이 가장 높았으며, 소량의 지방/오일과 회분을 함유하고 있었다. 화학적 조성 결과를 종합하면, 인모와 닭피는 단백질 함량이 높아 목질판상제 제조를 위한 단백질계 접착제의 원료로서 가능성을 확인하였다.

인모의 주성분인 단백질의 아미노산 조성을 측정

한 결과는 Table 2와 같다. 인모의 아미노산 가운데 glutamic acid의 함량이 가장 높았으며, 다음으로 cysteine, serine, arginine, threonine, leucine, aspartic acid, proline, valine, glycine 순으로 조사되었다. 이 측정결과는 Robbins와 Kelly (1970)의 인모에 대한 아미노산 측정결과와 큰 차이가 없었다. 한편 닭털의 아미노산 조성을 보면, serine, proline, glutamic acid, leucine, valine, glycine, arginine, aspartic acid, isoleucine, phenylalanine, threonine 순으로 나타났는데 (Yang 등, 2017b), 여기에서 조사되지 않은 cysteine 함량을 제외하고 인모는 닭털과 유사한 아미노산 함량을 가진 것으로 나타났다. Yang 등(2017b)은 닭털/닭혈 접착제에서 폼알데하이드 가교제와 결합반응을 하는 주요 아미노산으로 수산기, 페놀기, cyclic 관능기를 side chain으로 가진 serine, proline, threonine, phenylalanine, tyrosine이라고 보고하였다. 인모의 경우, 상기의 아미노산을 많이 함유한 것으로 조사되어 폼알데하이드 가교제와 함께 목질 판상재용 접착제의 원료로서 사용이 가능할 것으로 생각한다.

3.2. 인모 접착제의 물성

인모의 NaOH 수용액을 이용한 가수분해물의 점도를 보면, 고형분 함량에 따라 차이는 있었으나 가수분해 반응에 사용된 수용액에서 NaOH의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 즉, 5% 농도의 NaOH 수용액에서 가수분해한 인모(HH-AK-5%)의 점도는 평균 2,850 mPa · s이었으며, HH-AK-7.5%와 HH-AK-10%의 평균 점도는 각각 1,530 mPa · s 및 1,470 mPa · s로 측정되었다. 이 측정결과에 대한 통계학적 분석결과를 보면 HH-AK-5%의 점도가 가장 높았으며, HH-AK-7.5%와 HH-AK-10% 간에는 차이가 없

Table 2. Amino Acids Contained Qualitative in Human Hair (Unit: %)

Amino acid	Human hair	Chicken feather ¹
Aspartic acid	6.34	6.86
Glutamic acid	17.07	11.95
Serine	11.03	13.82
Histidine	1.05	0.32
Glycine	3.73	7.75
Threonine	7.40	4.93
Arginine	9.37	7.24
Alanine	3.81	4.73
Tyrosine	2.75	2.26
Valine	4.30	7.82
Methionine	0.55	0.32
Phenylalanine	2.66	5.14
Isoleucine	2.49	5.26
Leucine	6.91	8.62
Lysine	2.60	1.02
Proline	5.66	11.97
Cysteine	12.28	-
Total	100	100

¹ Yang *et al.* (2017b).

는 것으로 나타났다. 한편 CB-AC의 점도는 본 연구에서 사용된 점도계로 측정이 불가능하였는데, 이는 산성 조건에서 닭피 내에 존재하는 단백질의 응집현상에 의한 것으로 생각된다(Lucey, 2006). HH-AK와 CB-AC의 pH 측정 결과를 보면, 가수분해에 사용된 NaOH와 H₂SO₄에 의하여 각각 12.9~13.9와 1.5로 측정되었으며, 높은 알칼리 및 산 조건에서 가수분해를 실시한 관계로 매우 높거나 낮았다.

Table 3은 HH-AK와 경화제로 사용된 CB-AC 그리고 PF를 가교제로 첨가하여 조제한 접착제의 물성을 나타낸 것이다. 조제된 접착제의 물성을 보면, 접착제에서 전체 고형분 함량을 기준으로 60~65 wt%를 차지하고 있는 HH-AK의 물성에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 즉 조제된 접착제의 고형분 함량과 pH는 각각 34.4%~41.3%와 11.74~13.19로 인모의 가수분해를 위하여 사용된 수용액에서 NaOH의 농도가 증가함에 따라 고형분 함량은 감소하고 pH는 증가하였다. 또한 인모접착제의 점도의 경우, 인모

의 가수분해에 사용된 수용액의 NaOH 농도가 증가함에 따라 감소하였다. HH-AK-7.5%와 HH-AK-10%의 경우, HH-AK-5%보다 낮은 고형분 함량이 점도에 영향을 미친 것으로 판단되나, 이와 함께 NaOH 농도의 증가에 따른 인모의 분자량 감소도 점도에 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

인모접착제의 상용화 가능성을 확인하기 위하여 현재 분사형 접착제로 사용되고 있는 C-UF 및 C-MUF의 물성과 비교한 결과, 인모접착제의 고형분 함량은 낮았고, pH와 점도는 높았다. 인모접착제의 점도는 HH-AK 및 PF의 종류와 상관없이 300~890 mPa·s로 측정되어 낮은 점도를 요구하는 분사형 접착제로 사용이 충분히 가능한 것으로 조사되었다. 그러나 전반적으로 인모접착제의 고형분 함량이 C-UF와 비교하여 낮으므로 목질판상재 제조에 적용할 때는 높은 열압온도 또는 긴 열압시간이 필요할 것으로 생각한다. 현재 HH-AK의 고형분 함량을 40% 이상으로 유지한 상태에서 접착제를 조제하고 이에 대

Table 3. Physical Properties of Adhesive Resins Formulated with NaOH-hydrolyzed Human Hair, Chicken Blood Hydrolyzed with H₂SO₄ of 5% Concentration And Phenol-formaldehyde Prepolymer

Adhesive resins		Solid weight of HH-AK/CB- AC-5%/PF (%/%/%)	Solid content (%)	pH	Viscosity (mPa · s)
Human hair hydrolyzates ¹	Crosslinking agent				
HH-AK-5%	PF-2.0	65/5/30	41.3	12.12	650
		60/10/30	38.4	11.87	400
	PF-2.5	65/5/30	40.2	11.98	550
		60/10/30	37.1	11.74	350
HH-AK-7.5%	PF-2.0	65/5/30	36.9	12.61	890
		60/10/30	35.3	12.22	710
	PF-2.5	65/5/30	34.4	12.59	330
		60/10/30	35.1	12.19	380
HH-AK-10%	PF-2.0	65/5/30	36.4	13.00	300
		60/10/30	37.1	12.53	310
	PF-2.5	65/5/30	36.3	13.19	300
		60/10/30	35.4	12.53	300
Commercial urea-formaldehyde			65.6	9.1	200
Commercial melamine-urea-formaldehyde			60.8	8.9	240

¹ It means the concentration of NaOH used for the hydrolysis of human hair.

한 점도 측정과 파티클보드 제조에 적용하는 연구를 수행하고 있으며, 따라서 상기 여러 추론들에 대한 내용을 다음 논문에서 증명할 예정이다. 한편 pH의 경우도 경화제로 사용된 CB-AC의 첨가량 증가와 함께 감소하였는데 CB-AC 첨가량을 10 wt% 이상으로 증가시켰을 때 접착제의 물성에 미치는 영향에 대한 연구도 추후 진행할 예정이다.

3.3. 경화 접착제의 열수불용해율

열수불용해율의 측정은 조제된 접착제의 접착성과 내수성을 비교하기 위하여 수행하였다. HH-AK, CB-AC 그리고 PF로 조제하고 경화시킨 접착제의 열수처리 후, 여과지에 남은 접착제의 양을 측정된 열수불용해율의 결과는 Fig. 1과 같다. 먼저 인모의 가수분해에 사용된 NaOH 농도에 따른 열수불용해율을 비교한 결과, NaOH 농도가 5%에서 7.5%로 증가시켰을 때 열수불용해율은 감소하였고($p < 0.01$), 10%의 농도에서는 7.5% 농도의 열수불용해율과 차이가 없

었다($p = 0.13$). 이는 7.5% 또는 10% NaOH 농도의 수용액에서 반응시킨 인모 가수분해물을 이용하여 조제한 접착제의 내수성이 낮다는 것을 의미하는 것으로, 과도한 가수분해로 인모의 분자량이 크게 감소됨으로써 단백질이 보유하고 있는 고유의 접착성능 손실에서 나타난 결과라 생각한다(Lambuth, 1998).

가교제로 사용된 PF의 formaldehyde/phenol (이하 F/P) 몰비가 열수불용해율에 미치는 영향을 분석한 결과를 보면(Fig. 1), 2.0 몰비의 PF (이하 PF-2.0)로 조제한 인모접착제의 열수불용해율이 2.5 몰비의 PF (이하 PF-2.5)로 조제한 인모접착제의 열수불용해율보다 높았다($p < 0.01$). F/P 몰비의 증가와 함께 접착제 제조를 위하여 첨가된 formaldehyde 양이 증가함으로써 접착제의 혼합 반응시 인모 가수분해물의 관능기에 methylation 반응이 일반적으로 증가하게 된다. 이렇게 methylol화 된 인모 가수분해물이 경화과정에서 축합반응을 통하여 가교결합이 증가됨으로써 열수불용해율이 증가할 것으로 예상했었다. 그러나 결과는 반대로 나타났고, 이는 PF의 F/P 몰비보

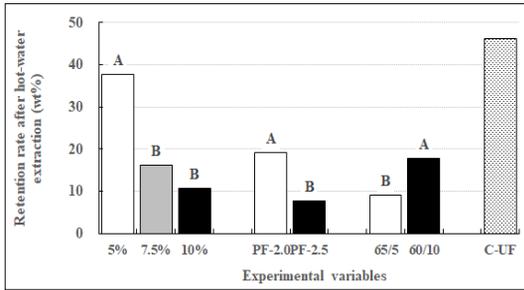


Fig. 1. Effect of experimental variables on the retention rate of the cured adhesives, which were formulated with NaOH-hydrolyzed human hair (5%, 7.5%, 10%), phenol-formaldehyde prepolymer (PF-2.0, PF-2.5) and 5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood (65/5, 60/10), existed on the filter paper after hot-water treatment. Adhesives used for this experiment were formulated with 70 wt% hydrolyzates of human hair and chicken blood and 30 wt% phenol-formaldehyde prepolymer. Different capital letters over columns are significantly different at a *p* value of 0.05 (least significance difference test).

다 인모 가수분해에 사용된 NaOH의 농도가 열수불용해율에 더 많은 영향을 미친다는 것을 의미한다. 다음으로 HH-AK의 준비 과정에서 NaOH 수용액의 높은 pH로 인하여 2.4에서 언급한 바와 같이 경화제로 CB-AC-5%를 첨가하여 인모접착제를 조제하였으며, 그 양을 고형분 함량 기준으로 5 wt% 및 10 wt%로 조절하여 CB-AC-5%의 첨가량이 경화된 인모접착제의 열수불용해율에 미치는 영향을 분석하였다 (Fig. 1). 인모접착제에서 CB-AK-5%의 조성비를 10 wt%까지 증가시키에 따라 열수불용해율은 향상되었다(*p* = 0.03). 동일한 조건에서 인모접착제를 경화시켰기 때문에 인모접착제의 열수불용해율이 경화제로 사용된 CB-AC-5%의 조성비 증가와 함께 증가하였다는 결론을 내릴 수 없지만, 인모접착제 내에서 HH-AK 양의 감소 그리고 CB-AC-5% 양의 증가와 함께 향상된다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 각 PF의 F/P 몰비에서 인모접착제의 열수불용해율에 대한 인모의 가수분해에 사용된 수용액의 NaOH 농도와 CB-AC-5% 조성비의 상호영향을 나타낸 것이다. 먼저 가교제로 PF-2.0을 사용하고

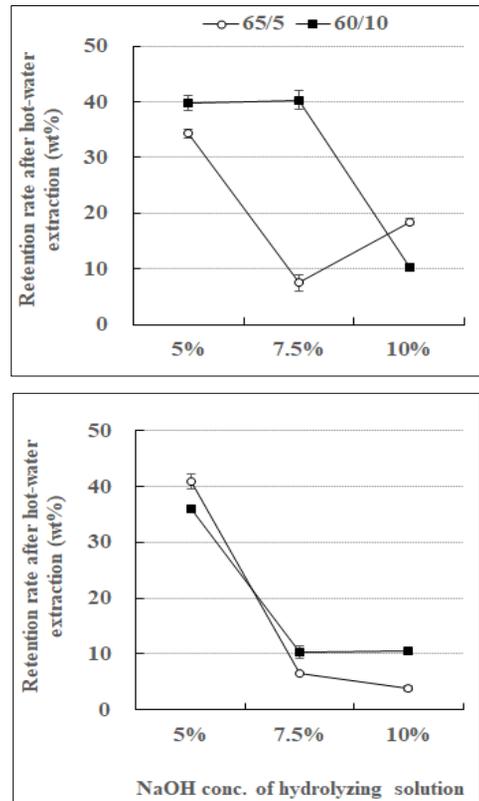


Fig. 2. Interaction effect of the addition level of 5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood and the concentration of NaOH used for the hydrolysis of human hair on the retention rate of the adhesives, which were formulated with NaOH-hydrolyzed human hair, 5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood and phenol-formaldehyde prepolymer of 2.0 (top) and 2.5 (bottom) formaldehyde/phenol mole ratio, existed on the filter paper after hot-water treatment.

HH-AK/CB-AC-5%의 조성비를 65 wt%/5 wt%로 하였을 때, 인모의 가수분해에 사용된 NaOH 농도가 5%에서 7.5%로 증가함에 따라 인모접착제의 열수불용해율은 크게 감소하였다. HH-AK/CB-AC-5%의 조성비가 60 wt%/10 wt%에서는 5%와 7.5%의 NaOH 농도에서의 열수불용해율 간에는 차이가 없었으나, 10%의 NaOH 농도에서 크게 감소하였다. 다음으로 PF-2.5로 조제한 인모접착제의 열수불용해율은 두 조건의 HH-AK/CB-AC-5% 조성비에서 모두 인모의

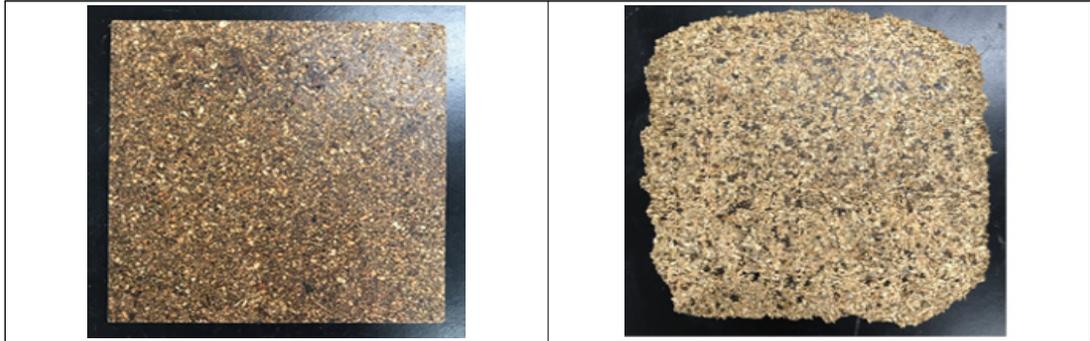


Fig. 3. Images of particleboards fabricated with the adhesives formulated with 7.5% NaOH-hydrolyzed human hair/phenol-formaldehyde prepolymer/5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood of 55 wt%/10 wt%/35 wt% (left) and 5% NaOH-hydrolyzed human hair/phenol-formaldehyde prepolymer/5% H₂SO₄-hydrolyzed chicken blood of 60 wt%/5 wt%/35 wt% (right).

가수분해에 사용된 NaOH의 농도가 5%에서 7.5%로 증가함에 따라 크게 감소하였으며, 10%의 NaOH 농도에서는 7.5%의 NaOH 농도와 차이가 없거나 약간 감소하는 것으로 나타났다. 열수불용해율 측정결과를 토대로, 목질판상재 제조용 접착제로서는 PF-2.0과 HH-AK-5%에 CB-AC-5%를 10 wt%로 첨가하거나 또는 PF-2.5와 HH-AK-7.5%에 CB-AC-5%의 첨가량을 5 wt%로 조절하여 조절하는 것이 최적조건이라고 판단된다.

한편, 인모접착제의 열수불용해율을 현재 현장에서 섬유판 및 파티클보드 생산에 적용되고 있는 C-UF (46.1 ± 1.7%)와 C-MUF (80.8 ± 1.4%)의 열수불용해율과 비교하였을 때, 상기에서 제시한 최적 조건에서 조제한 인모접착제의 열수불용해율은 C-UF의 열수불용해율에 접근하였으나, C-MUF의 열수불용해율과 비교하여 크게 낮았다. 따라서 55 wt%의 HH-AK-7.5%, 10 wt%의 CB-AC-5%, 35 wt%의 PF-2.0 또는 60 wt%의 HH-AH-5%, 5 wt%의 CB-AC-5%, 35 wt%의 PF-2.5로 인모접착제를 조제하였다. 이 접착제에 대한 물성을 측정된 결과 각각 11.46과 11.48의 pH, 37.3%와 39.1%의 고형분 함량에서 300 mPa·s와 350 mPa·s의 점도를 가짐으로써 분사형 접착제로서 사용이 가능한 것으로 조사되었다. 한편 경화시킨 이 접착제의 열수불용해율은 각각 64.9 ± 0.6%와 73.7 ± 0.4%로 두 조건에서 모두 C-UF의 열

수불용해율을 크게 상회하였으며, C-MUF의 열수불용해율에 근접하는 결과를 보였다. 따라서 이 조건에서 조제한 인모접착제는 C-UF의 대체접착제로 사용이 충분히 가능할 것으로 판단되며, 접착제 생산단가의 절감을 위하여 가교제로 사용된 PF를 30~35 wt% 범위로 줄이는 연구가 필요할 것으로 생각한다.

선정된 최적 조건을 토대로 두 종류의 인모접착제를 조제하였는데, 이 접착제의 고형분 함량을 43 ± 0.5%로 조절하였다. 이 접착제는 분사가 가능한 정도로 점도가 충분히 낮았으며, 이를 적용하여 190℃의 온도, 40 kg/cm²의 압력에서 5분간 열압을 실시하여 제조한 파티클보드는 Fig. 3과 같다. 이렇게 제조된 파티클보드의 표면을 육안으로 확인한 결과, 현재 시판 중에 있는 파티클보드와 유사한 것으로 나타났다. 현재 이 파티클보드의 접착강도, 치수안전성 및 폼알데하이드 방출량을 측정하고 있으며, 이 결과에 대하여 추후 발표할 예정이다.

3.4. 인모의 접착제 원료화를 위한 경제성 분석

사례 연구를 위한 지역으로 선정된 서울시 중랑구의 거주인구는 2016년 12월 기준으로 411,005명(남: 204,900명; 여: 206,105명)이며, 중랑구 구내에서 858업소의 미용실과 138업소의 이용실이 영업 중인 것으로 조사되었다. 따라서 매달 15톤(0.5톤/일)의 인모

수거가 가능하며, 구매비용을 70원/kg으로 가정하면 매월 1,050,000원이 원료 구매비용으로 소요되는 것으로 추산할 수 있다.

중량구는 총 16개 동으로 구성되어 있어 각 동마다 평균 63개 업체의 미·이용실이 영업 중에 있는 것으로 가정한다면 중량구청 복지과에서 일정 구역별로 1-2명의 기초생활수급자를 선정하여 인모를 수집할 경우, 매월 1인당 33,000-65,000원/인을 지급하는 공공근로효과가 있을 것으로 예상된다.

인모의 수거 방법은 폐지·박스의 수거와 동일한 방법을 적용할 수 있다. 즉 기초생활수급자들이 수집한 인모를 재활용품 중간수거업체에서 50-80원/kg에 수매하여 일정량이 확보되면, 접착제 생산업체가 재활용품 수거업체로부터 직접구매 또는 위탁방식으로 인모를 구매함으로써 접착제 생산에 필요한 대량의 원료 확보가 가능할 것으로 판단된다(현재 폐지 박스 구매비: 85원/kg). 또한 재활용품 수거업체에 대한 직접 방문과 담당자 면담을 통하여 인모는 폐지·박스와 달리 부피가 작고, 부패의 위험성도 없으며, 강우나 햇빛에 전혀 영향을 받지 않아 보관이 용이하므로 재활용 수거품목으로는 최상의 조건을 가진 것으로 평가되었다. 또한 인모를 접착제 원료로

재활용할 경우, 지방자치단체에서는 쓰레기 감량 효과 및 기초생활수급자들 위한 일자리 또는 소득 제공도 가능할 것이다.

인모를 이용하여 접착제를 조제할 경우 상세한 생산단가를 조사한 결과는 아래 표와 같다. 주원료로 사용될 인모와 무상으로 확보가 가능한 닭피의 구매단가에는 수거, 운반 및 취급비용까지 포함된 예상단가이다. 또한 인모와 닭피의 가수분해, PF의 합성에 필요한 화학약품도 지역, 용도, 구매량, 유가 및 수급 상황에 따라 변동 폭이 크므로 정확한 생산단가를 얻기는 어렵지만, E₁ 등급의 C-UF와 생산단가에서 차이가 없거나, E₀ 등급의 C-UF 및 C-MUF보다는 크게 저렴할 것으로 추정된다. 또한 닭털/닭털 접착제를 적용하여 제조한 파티클보드와 섬유판의 연구결과(Yang 등, 2017b)와 인모접착제에 대한 예비실험 결과, 인모접착제는 보드류 제조에 적합한 점도를 유지하고 있으며, 이를 적용하여 제조한 섬유판 및 파티클보드의 접착강도, 치수안전성 그리고 폼알데하이드 방출량이 KS 기준을 충분히 만족할 것으로 예상되어, 목질판상재용 접착제로서 사용이 가능할 것으로 판단한다.

석유화학계 접착제	인모접착제
<ul style="list-style-type: none"> - 요소: 236,000원/톤(2017년 4월 기준) - 멜라민: 2,307,000원/톤(2012년 4월 기준) - 페놀: 2,536,000원/톤(2015년 11월 기준) - 포르말린: 109,000원/톤(2015년 4월 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> - 인모(가정): 300,000원/톤 - 닭피(가정): 100,000원/톤 - NaOH (98% 고형분): 800,000원/톤(2015년 12월 기준) - H₂SO₄ (99% 농도): 611,000원/톤(2015년 12월 기준) - 공업용수: 80,000원/톤(2017년 5월 기준)
<ul style="list-style-type: none"> - E1 등급 요소 액상수지(65% 고형분): 300,000원/톤(2016년 11월 기준) - E0 등급 요소 액상수지(65% 고형분): 748,000원/톤(2016년 1월 기준) - 멜라민-요소 액상수지(50% 고형분): 926,000원/톤(2015년 1월 기준) - 페놀 액상수지(50% 고형분): 1,730,000원/톤(2015년 1월 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> - 접착제 구성: 인모/닭피/가교제 = 65/5/30 (45% 고형분) - 1톤의 접착제 내의 구성비: 인모(293 kg) + 닭피(23 kg) + 가교제(135 kg) + 물(550 kg) - 인모 알칼리 가수분해물(HH-AK, 5% 농도 NaOH, 40% 고형분): 인모(293 kg, 87,900원) + NaOH (15 kg, 12,000원) + 공업용수(462 kg, 36,960원) = 136,860원 - 닭피 산 가수분해물(CB-AC, 5% 농도 H₂SO₄, 30% 고형분): 닭피(23 kg, 2,300원) + H₂SO₄ (1.2 kg, 733원) + 공업용수(88 kg, 7,040원) = 10,073원 - 가교제(PF, 50% 고형분): 페놀(52 kg, 131,872원) + 포르말린(82 kg, 8,938원) + NaOH (1 kg, 800원) = 141,610원 - 제조원가: HH-AK + CB-AC + PF + 생산비용 = 288,543원 + 11,000원 = 299,543원/톤

4. 결 론

본 연구에서는 미·이용원에서 폐기물로 발생되는 인모를 주원료로 하여 도계 폐기물인 닭피와 폼알데하이드계 가교제를 사용한 접착제를 조제하고, 접착제에 대한 물성 및 열수불용해율을 조사하여 인모의 목질판상재용 접착제의 원료화 가능성을 탐색하기 위하여 수행하였다. 화학적 조성의 분석결과, 인모와 닭피는 전체 고형분 가운데 80% 이상의 단백질을 함유하고 있으며, 폼알데하이드계 가교제와 결합반응을 할 것으로 추정되는 관능기를 side chain으로 가진 serine, proline, threonine 등이 인모의 주요 아미노산인 관계로 목질판상재 제조용 단백질계 접착제의 원료로서 가능성을 확인하였다. 인모접착제의 조제는 인모의 NaOH 가수분해물에 경화제로 닭피의 H₂SO₄ 가수분해물과 가교제로 PF를 이용하였다. 이렇게 조제된 접착제는 인모의 가수분해조건, 경화제의 조성비, PF의 종류에 따라 33-41%의 고형분 함량에 상온에서 300-600 mPa·s의 점도를 가진 것으로 나타나 분사형 접착제로서 적용이 가능한 것으로 파악되었다. 경화된 인모접착제의 내수성을 비교하기 위하여 측정된 열수불용해율 결과를 보면, 5% 농도의 NaOH 수용액에서 반응시킨 인모의 가수분해물로 조제한 접착제에서 가장 높았으며, 가교제로 사용된 PF에서 F/P의 몰비는 열수불용해율에 영향을 미치지 않았다. 또한 경화제인 CB-AC-5%의 조성비가 5 wt%보다 10 wt%에서 높았다. 이렇게 조제된 접착제의 열수불용해율을 현재 사용되고 있는 석유화학계 합성수지와 비교한 결과, 30 wt%의 PF로 조제한 인모접착제는 C-UF보다 낮았다. 그러나 PF의 함량을 35 wt%까지 증가시켰을 때, 열수불용해율은 C-UF를 크게 상회하였으며, C-MUF에 접근하는 것으로 조사되었다. 이 결과를 토대로 적정한 조건에서 가수분해한 인모는 가교제로 35 wt%의 PF와 함께 목질판상재용 접착제의 주원료로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 아울러, 인모접착제의 경제성을 분석한 결과, 폐지·박스를 수거와 같은 방식을 채택할 경우 주원료인 인모를 저렴한 가격으로 대량 확보할 수 있을 것으로 파악된다. 결과적으로 인모접착

제는 생산단가 측면에서 E₁ 등급의 C-UF와 차이가 없었고, E₀ 등급의 C-UF 및 C-MUF보다는 크게 저렴할 것으로 추정된다. 또한 인모 수거에 따른 쓰레기 감량효과 및 기초생활수급자들을 위한 일자리 제공 또는 소득원 확보도 가능할 것이다. 이와 같은 결과를 토대로, 현재 다양한 조건에서 조제한 인모접착제를 파티클보드 제조실험에 적용하고 있다. 인모접착제로 제조한 파티클보드의 접착강도 및 폼알데하이드 방출량이 목질판상재의 품질기준을 충족한다면, 인모접착제의 상용화와 함께 새집증후군 문제를 해소할 수 있는 혁신적인 기술개발이 될 것으로 기대한다.

사 사

본 논문은 2014학년도 대구대학교 학술연구비에 의하여 수행되었습니다. 이 연구에서 인모의 아미노산 분석에 도움을 주신 서울대학교 농생명과학공동기기원의 최원실 박사님, 원료의 확보에서 파티클보드의 제조까지 많은 도움을 준 충북대학교 목재종이과학과의 이준서, 최효석, 정현우 학부생, 실험 공간 및 설비를 대가없이 제공하고, 여러 제안과 도움을 주신 한규성 교수님에게 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

REFERENCES

- American Society for Testing and Materials. 2005. Standard test method for ash in biomass. ASTM International, West Conshohocken, USA, ASTM E 1755-01.
- 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, Philadelphia, USA, ASTM D 4426.
- American Society for Testing and Materials. 2005. Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials.

- ASTM International, West Conshohocken, USA, ASTM D 4442-07.
- Barbosa, A.P., Mano, E.B., Andrade, C.T. 2000. Tannin-based resins modified to reduce wood adhesive brittleness. *Forest Products Journal* 50(9): 89-92.
- Christiansen, A.W., Gillespie, R.H. 1986. Potential of carbohydrates for exterior-type adhesives. *Forest Products Journal* 36(7/8): 20-28.
- Frihart, C.R. 2014. Wood adhesion and adhesives. In *Adhesion Science and Technology*. VSP International Science Publishers, Zeist, Netherlands, pp. 271-284.
- Frihart, C.R., Satori, H., Zhu, R., Birkeland, M.J. 2014. Ovalbumin as a Wood Adhesive. http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2014/fpl_2014_frihart002.pdf? (Accessed at January 11, 2017).
- Frihart, C.R., Birkeland, M.J., Allen, A.J., James, M., Wescott, M.J. 2010. Soy adhesives that can form durable bonds for plywood, laminated wood flooring, and particleboard. *International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe - Timber Committee 2010*, Geneva, Switzerland.
- Garcia, R.A., Phillips, J.G. 2009. Physical distribution and characteristics of meat and bone meal protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 326-336.
- Ghahri, S., Pizzi, A., Mohebbi, B., Mirshokraie, A., Mansouri, H.R. 2016. Soy-based, tannin-modified plywood adhesives. *Journal of Adhesion online*: 1-20.
- International Agency for Research on Cancer. 2004. IARC Classifies Formaldehyde as Carcinogenic to Humans. <https://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html> [accessed July, 28, 2017].
- Kalapaty, U., Hettiarachchy, N.S., Myers, D., Rhee, K.C. 1996. Alkali-modified soy proteins: effect of salts and disulfide bond cleavage on adhesion and viscosity. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73(8): 1063-1066.
- Korean Agency for Technology and Standards. 2015. Safety standards for the voluntary safety control of manufacturing products. KATS No. 2015-0123, Eumseong, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea.
- Korea Statistics. 2015. Wholesale & Retail Trade and Service Industry. KOSTAT, Daejeon, South 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.
- Lucey, J.A. 2016. Acid coagulation of milk. In *Advanced Dairy Chemistry*. Springer, New York, NY, USA. pp. 309-328.
- Moubarik, A., Allal, A., Pizzi, A., Charrier, F., Charrier, B. 2010. Characterization of a formaldehyde-free cornstarch-tannin wood adhesive for interior plywood. *European Journal of Wood and Wood Products* 68(4): 427-433.
- 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. *Forest Products Journal* 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. *Forest Products Journal* 45(1): 63-67.
- Park, D.H., Yang, I., Choi, W.S., Oh, S.C., Ahn, D.U., Han, G.S. 2017. Evaluating the water resistance of wood adhesives formulated with

- chicken feather produced from poultry Industry. *Journal of the Korean Wood Science & Technology* 45(1): 126-138.
- Pizzi, A., Scharfetter H.O. 1978. The chemistry and development of tannin-based adhesives for exterior plywood. *Journal 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.
- Robbins, C.R., Kelly, C.H. 1970. Amino acid composition of human hair. *Textile Research J.* 40(10): 891-896.
- 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.
- Sun, X., Bian, K. 1999. Shear strength and water resistance of modified soy protein adhesives. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76(8): 977-980.
- Tokimoto, T., Kawasaki, N., Nakamura, T., Akutagawa, J., Tanada, S. 2005. Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. *Journal of Colloid and Interface Science* 281: 56-61.
- Yang, I., Kuo, M.L., Myers, D.J. 2006. Bond quality of soy-based phenolic adhesives in southern pine plywood. *Journal 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. *Journal of the 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. *Journal of Wood Science* 52(6): 503-508.
- 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 resins. *Korean Chemical Engineering Research* 55(3): 385-394.
- Yang, I., Park, D.H., Choi, W.S., Oh, S.C., Ahn, D.U., Han, G.S. 2017. Adhesive and curing properties of chicken feather/blood-based adhesives for the fabrication of medium-density fiberboards. *Journal of Adhesion* (In press).
- Yang, K.K., Wang, X.L., Wang, Y.Z. 2007. Progress nanocomposite of biodegradable polymer. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 13(4): 485-500.