

고밀도 폴리에틸렌으로 접착한 합판의 접착성질과 해부학적 관찰*1

한기선*2 · 이화형*2

Adhesion Characteristics and Anatomic Scanning of Plywood Bonded by High Density Polyethylene*1

Kie-Sun Han*2 · Hwa-Hyoung Lee*2

ABSTRACT

This study was carried out to discuss feasibility of high density polyethylene(HDPE) as a new substitute for the conventional adhesives in plywood manufacture. Plywood was composed of radiata pine(*Pinus radiata*) and Malas(*Homallium feotidium*) veneers and bonded by HDPE. Adhesion characteristics and anatomical scanning has been examined through tensile-shear strength test and scanning electron microscopy(SEM).

The results are as follows:

1. Optimum loading quantity was 15g/(30.3×30.3)cm², and tensile-shear strength increased with the increase of loading quantity.
2. Even at the hot pressing time of 1 minute, tensile-shear strength met the value of KS(over the 7.5kgf/cm²), and tensile-shear strength increased with the increase of hot pressing time
3. Plywood composed of veneer at moisture content of 19.6% showed similar tensile-shear strength to that at air conditioned moisture content of 11.4%.
4. Under the same condition of hot pressing time, tensile-shear strength of plywood bonded by HDPE met the KS value of boil and wet test and proved the same group as phenol formaldehyde adhesive.
5. HDPE films showed mechanical adhesion through penetration into the lathe check and ray of veneer.

Keywords : High density polyethylene(HDPE), plywood adhesive, tensile-shear strength mechanical adhesion

*1 접수 1997년 4월 10일 Received April 10, 1997

*2 충남대학교 농과대학 College of agriculture Chungnam National University Taejeon 305-764, Korea

1. 서론

21세기가 눈앞에 다가선 지금, 전세계적으로 환경라운 (GR) 등 국제적으로 환경변화에 대한 의식이 새롭게 형성되는 현실을 감안해 볼 때, 우리나라 목질재료산업의 새로운 대응이 필요한 시점에 임해 있음이다. 특히 원목을 포함한 전체 목질 재료의 약 95%정도를 수입에 의존하는 우리나라로서는 목질재료의 효율적인 이용과 고부가가치 목질재료의 개발이 시급한 상황이다. 특히 합판은 목질판상제품중에서도 강도, 치수안정, 내수성, 경량성면에서 우수한 목질재료인데 우리나라의 경우 국내에서 생산되는 합판의 약 80%가 콘크리트 형틀등 건축용재나 콘테이너용으로 이용되고 있으며 PB(particle-board), MDF(medium density fiberboard)로는 대체가 어려운 실정이다(박·정, 1996).

이러한 생산배경속에서 국내합판산업의 경쟁력 제고를 위해서는 세계적인 환경규제와 환경오염을 줄이려는 변화속에서 무취화(無臭化), 고물성(高物性)을 필요로 하는 신접착제 개발이 무엇보다 시급한 시점이다(박, 1993).

특히 목재-열가소성 수지 복합재료에 대한 보고가, 세계적으로 80년대부터 지금까지 끊이지 않고 있는데 이러한 연구는 폐자원의 재이용과 환경파괴로부터의 환경우호적인 산업화를 위한 노력의 일환일 것이다. 국내의 경우 폴리프로필렌 섬유와 톱밥을 결합한 보드의 물리, 기계적 성질에 관해 연구, 보고되었으며(서·이, 1987·1988), 또한 목섬유와 열가소성 플라스틱의 복합재료를 제조하고 기계적 성질을 평가, 보고한 연구에서는 사출성형한 시편의 인장강도 및 휨강도는 목섬유의 혼합량에 따라 크게 향상되었으나, 인장시험에서 시편파괴점까지의 신장율과 파괴 에너지는 목섬유 혼합량이 증가함에 따라 감소하였다고 보고하였다(박 등, 1994).

외국의 경우에도 목질재료의 다양한 형태에 따라 폴리프로필렌을 복합시켜 제조한 복합체의 성질을 조사하였고 특히 기계적 성질에 미치는 MAPP(maleic anhydride-grafted polypropylene)의 영향정도를 연구, 보고하였다(Myers *et al.*, 1991). 또 열가소성 수지에 신문고지 섬유를 복합시켜 복합재료의 성질을 조사하였으며(Sanadi *et al.*, 1994), 목재와 열가소성 수지의 결합에 분자량이 다른 E-43(maleic anhydride-grafted polypropylene)과 MAPP 등의 변성제가 복합재료의 기계·물리적 성질에 미치는 영향과 친수적인 목질재

료와 소수적인 열가소성 수지와와의 결합에 있어 상용성을 높이기 위한 변성제의 적정처리량과 그에 따른 물성변화에 대해서도 보고되었다(Geimer *et al.*, 1993).

특히 목재단판과 열가소성 수지에 대한 연구에 관해서는 hot-melt 접착제로써 폴리프로필렌의 이용에 관해서 보고되었는데, 비극성인 폴리프로필렌에 무수말레인산을 0.2%, 0.84% 처리한 MPP(maleic anhydride modified polypropylene)를 조제하여 MPP의 산무수물(acid anhydride)과 목재의 수산기(hydroxy group)가 에스테르 결합을 형성하여 접착력을 향상시킨다고 보고하였다.(Han & Shiraiishi, 1991).

한편 목재단판에 MAPP의 양을 각기 달리하여 폴리프로필렌 필름을 적층시켜 접착한 후 Peel test를 한 결과 MAPP의 처리량이 가장 적은 0.1g/sheet일때 처리하지 않은 폴리프로필렌보다 강도가 향상되었고, 그보다 많은 양을 처리한 0.4~1.5g/sheet에서는 폴리프로필렌 필름이 침투할 수 있는 목재내 공극에 MAPP가 봉쇄하고 있어 강도가 향상되지 않는다고 보고했다(Kolosick *et al.*, 1992). 또 비극성인 열가소성 수지에 극성을 부여하는 변성제의 적정량을 구하는 것이 합판의 기계적 성질에 영향을 미치며, 이에 대한 목재와 플라스틱간에 화학적 결합과 기계적 결합이 공존한다고 보고하였다. 또한 열압시간이 길어지면 폴리프로필렌 필름의 열유동성이 증가한다고 밝혔으며 시편의 파괴단면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 처리 및 무처리된 목재단판 모두 폴리프로필렌 필름이 활엽수 방사단면에서 도관의 세포내강에 침투한다고 주장하였으며 무처리재의 경우 세포간극(intercellular space)과 벽공으로도 침투하고 있다고 보고했다.

그러므로 본 연구에서는 HDPE로 복합재료가 아닌 침·활엽수 합판을 제조하고 그 물리적 성질 및 접착력에 대해 알아보고자 하였다. 특히 목재단판에 변성제나 촉매 처리없이 접착력이 높은 이유를 밝히기 위해서 HDPE가 침엽수재 심판(core)의 이할(lathe check)과 활엽수재 표판(face)의 방사조직에 침투하여 어떻게 기계적 결합을 형성하고 있는지 알아보기 위해서 주사전자현미경(SEM)과 화상분석기(image analyzer)로 해부학적인 관찰을 하였고, 이러한 접착력과 해부학적인 관찰을 통해 HDPE의 이용가능성 검토와 함께 대체수지 개발 및 HDPE의 재활용 방안을 모색하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2. 1 공시재료

2. 1. 1 목질재료

침·활엽수재 합판을 제조하기 위해 사용한 목재단판은 대성목재(주)에서 분양받아 사용하였다. 심판용 단판은 뉴질랜드산 라디에타 소나무(*Pinus radiata*)로 비중이 0.48, 두께가 2.4mm이며, 표판용 단판은 파푸아뉴기니산 Malas(*Homallium feotidium*)로 비중이 0.6, 두께가 1.2mm였다.

2. 1. 2 접착제

2. 1. 2. 1 HDPE

현재 광역포장(주)에서 식품포장용으로 제조하고 있는 HDPE(high density polyethylene, 이하 HDPE로 약기) 필름을 사용하였다. HDPE의 기본성질은 Table 1과 같다.

2. 1. 2. 2 요소-멜라민(UMF) 공축합 수지, 페놀(PF) 수지

요소-멜라민(urea-melamine formaldehyde, 이하 UMF로 약기)공축합수지는 동화기업(주)에서 사용하는 것을 분양받아 사용하였으며 불휘발분은 63%, 점도는 80cps였으며 pH는 6.7이었다.

페놀(phenol formaldehyde, 이하 PF로 약기)수지는 실험실에서 제조하여 사용하였는데 불휘발분은 50.2%였고, 점도는 200cps였으며, pH는 11이었다.

2. 2 실험방법

2. 2. 1 접착제 조제

HDPE는 크기 $250 \times 250 \times 0.03(\text{mm}^3)$ 으로 채단하여 심판과 표판 사이에 실험조건별 도포량에 준해서 적층시켰다. UMF 수지는 불휘발분이 63%이었으며, 증량제는 소맥분을 사용하여 수지 총무게에 대해 10% 첨가하였고, 경화제(hardener)는 10% 염화암모늄(NH_4Cl) 수용액을 수지 전건무게에 대해 10% 첨가하여 접착제로 사용하였다. PF수지는 제조몰비 페놀 대 포르마린(37% 수용액)을 1 : 1.63으로 하고 알카리 촉매를 사용하여 수용성 알카리 페놀수지를 실험실에서 제조하였고, 증량제는 목분을 사용하여 수지 총무게에 대해 10% 첨가하여 접착제로 사용하였다.

2. 2. 2 합판 제조

기건 함수율이 11.4%인 라디에타소나무를 심판으로 Malas를 표판으로 하여 표판과 심판이 서로 직교하도록 적층시켰으며, 열압온도는 예비실험 결과와 표 1에서처럼 HDPE는 용점 135℃이상에서 용융되는 특성이 있으므로 175℃로 고정시켰으며 열압 압력은 10kgf/cm²으로 하여 각 조건당 4반복하여 3매 합판으로 제조하였다. 열압후 60℃이하로 급히 냉각한 후 해압하였으며, 제조된 합판의 면적은 $250 \times 250(\text{mm}^2)$ 이었고 두께는 $0.46 \pm 0.02\text{cm}$ 였다.

HDPE수지로 합판을 제조할 경우, 적정 제조조건을 규명하기 위하여 도포량은 4조건(7, 15, 20, 25)/(30.3 × 30.3)cm², 열압시간은 5조건(1, 2, 3, 4, 5분)으로 정하여 실행하였으며 목재 단판의 건조비 절감효과를 보기 위하여 목재단판을 온도 26℃, 상대습도 85%에서 평형 함수율에 도달할때까지 처리한 후, 평형함수율 19.6%에서 열압시간을 3조건(1, 2, 3분)으로 합판을 제조하여 기건상태의 단판함수율인 11.4%에서 제조한 합판과 대비하였다. 그리고 현재 콘크리트 형틀 및 건축용재로 가장 많이 사용하고 있는 UMF수지와 PF수지와 접착력 비교를 위하여 4반복으로 3매 합판을 제조하였고, UMF수지로 합판제조시 열압조건은 온도 120℃, 압력 10kgf/cm², 열압시간은 일반적으로 요소수지나 요소-멜라민 공축합수지의 경우 20~30초/mm이므로 2분으로 하였고, 도포량은 30g/(30.3 × 30.3)cm²이었다. PF수지도 열압온도 140℃, 압력 10kgf/cm², 열압시간은 일반적으로 PF수지의 경우 심판 중심의 열압온도가 100℃에 도달한 후 2분을 열압하면 경화가 완료되므로 5분으로 하여 제조하였고, 도포량은 UMF 수지와 동일한 30g/(30.3 × 30.3)cm²으로 하였다.

2. 2. 3 합판의 물리적 성질 조사

제조된 합판의 물리적 성질인 비중, 함수율을 조사하기 위하여 각 시료 합판에서 2개씩 시편을 채취하여 시험편으로 하여 전건법과 치수법으로 함수율과 비중을 측정하였다(KS F 3101, 1987).

2. 2. 4 합판의 접착력 조사

제조된 합판의 기계적 성질을 조사하기 위하여 KS F

Table 1. Characteristics of HDPE.

HDPE	Specific gravity	Melting point (T _m)	Glass point (T _g)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Extention ratio (%)
	0.95	135℃	-120℃	220~320	250

Table 2. Physical properties and tensile-shear strength of plywood by the loading quantity of HDPE.

Loading quantity	Physical properties		Tensile-shear strength								
	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Dry* ¹ (F=7.26**)			Wet* ² (F=13.76**)			Boil* ³ (F=98.2**)		
			Strength (kgf/cm ²)	WF* ⁴ (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test
7g/A* ⁵	0.64±0.01	7.18±0.32	14.44±1.42	62.5	C	7.50±0.44	35.0	C	6.70±1.38	20	C
15g/A	0.66±0.02	6.77±0.22	17.58±1.42	95.0	BC	15.18±0.81	57.5	A	14.49±0.64	85	B
20g/A	0.65±0.01	6.83±0.13	19.71±1.14	75.0	AB	12.54±1.54	60.0	B	13.88±1.07	80	B
25g/A	0.65±0.01	6.83±0.37	21.79±4.05	100.0	A	14.11±3.19	87.5	AB	18.50±0.68	100	A

Notes: KS value of tensile-shear strength : over 7.5kgf/cm².

*¹ Dry : Tensile-shear strength of dry test.

*² Wet : Tensile-shear strength of wet test after immersing in water for 3hr at 60℃.

*³ Boil : Tensile-shear strength of wet test after cyclic boiling in water.

*⁴ WF : Wood failure.

*⁵ A : (30.3×30.3)cm².

3101(1987)에 준하여 비내수 인장전단 접착력 시험, 준내수 인장전단 접착력 시험, 내수 인장전단 접착력 시험을 하였으며 시험편은 각 제조된 합판에서 4개씩을 채취하여 시험편의 크기를 75mm×25mm로 재단하였고 인장응력을 받는 접착단면의 길이를 13mm로 하였다.

제조한 시험편의 인장전단 접착력은 일본 Simadzu사의 만능 측정기(universal testing machine) AG-5000B로 측정하였다.

2.2.5 통계처리

제조된 합판의 비내수 인장전단 접착력 시험, 준내수 인장전단 접착력 시험, 내수 인장전단 접착력 시험을 통해 얻은 제조조건별 측정된 접착력을 항목별로 각 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

2.2.6 이할 조사

합판제조에 사용된 심판용 라디에타 소나무의 접선단면에 존재하는 이할의 깊이 및 분포와 HDPE 필름과 목재단판과의 결합형태를 관찰하기 위하여 화상분석기를 이용하여 분석하였다.

2.2.7 해부학적 관찰

인장전단 접착력 시험을 하고난 후 파괴된 접착면의 시편을 심판과 표판에서 채취하여 목재단판과 HDPE와의 결합형태와 HDPE 필름의 침투형상을 알아 보기 위하여 주사전자현미경과 화상분석기로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리적 성질 및 접착력

3.1.1 적정조건 조사

3.1.1.1 적정 도포량 조건

HDPE로 합판을 제조할 경우의 적정 도포량을 규명하기 위해 예비실험을 통해 얻은 압체압력 10kgf/cm³, 열압시간 5분으로 고정시키고 도포량을 5조건(7, 15, 20, 25g)/(30.3×30.3)cm²으로 하였는데, 측정된 물리적 성질 및 접착력은 Table 2와 같다. 특히 도포량은 제조된 합판의 생산비와 직결되는 문제이므로 적정조건을 찾는것이 중요한데 Table 2에서 보면 제조된 합판의 도포량이 증가할수록 접착력과 목부과단율은 향상되었다. 또 도포량에 따른 합판의 비중과 함수율은 차이가 없었으며 도포량이 가장 적은 7g/(30.3×30.3)cm²에서 내수 인장전단 접착력만이 KS기준을 만족시키지 못했고, 그 외의 조건에서 모두 KS 규격인 7.5kgf/cm²를 만족시켰다.

이 결과를 토대로 HDPE의 적정 도포량은 15g/(30.3×30.3)cm²으로 정하였으며, 이 도포량은 UMF수지와 PF수지 도포량의 1/2수준이지만 내수 및 비내수의 접착력이 KS기준을 만족시켜 생산비 절감효과를 기대할 수 있다.

3.1.1.2 적정 열압시간 조건

합판제조시 적정열압시간을 효율적으로 정하는 것은 생산성 향상을 위해서도 중요하기 때문에 열압조건을 175℃, 10kgf/cm², 도포량을 15g/(30.3×30.3)cm²으로 고정시켜 열압시간을 1분에서 5분까지 1분간격으로 합판을 제조하고 합판의 성질을 측정하였는데 그 결과는 Table

Table 3. Physical properties and tensile-shear strength of HDPE-bonded plywood by the hot press time.

Press time	Physical properties			Tensile-shear strength							
	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Dry (F=1.43 ^{ns})			Wet(F=11.13 ^{**})			Boil (F=16.03 ^{**})		
			Strength (kgf/cm ²)	WF ^{**4} (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test
1	0.64±0.01	6.80±0.34	16.54±1.59	67.5		10.59±1.20	60.0	C	8.97±0.49	57.5	C
2	0.64±0.03	6.97±0.42	15.39±0.95	90.0		9.02±1.31	70.0	BC	9.15±0.80	52.5	C
3	0.66±0.03	6.79±0.37	17.41±1.90	70.0		12.01±3.28	50.0	B	9.37±2.54	45.0	C
4	0.65±0.01	6.80±0.31	16.64±1.11	92.5		16.21±1.40	85.0	A	12.89±0.59	60.0	B
5	0.66±0.02	6.77±0.38	17.58±1.42	95.0		15.18±0.81	67.5	A	14.49±0.64	85.0	A

Notes: See legend in Table 2.

3과 같다.

열압시간에 따른 합판의 비중과 함수율은 차이가 없었으며, 합판의 접착력 시험결과, 열압시간 1분에서도 KS의 비내수 및 내수를 만족시켰는데, 이는 UMF수지가 2분, PF수지가 5분 열압하는 것과 비교해서 열압시간 단축효과를 나타내었다. 이러한 결과는 HDPE로 합판을 생산할 경우그에 따른 생산성과 경제성을 동시에 향상시킬 수 있는 좋은 결과를 보였으며, 열압시간이 증가할수록 접착력과 목부과단율은 비례적으로 증가하였다.

3. 1. 1. 3 함수율과 열압시간과의 관계

원목을 단판으로 절삭한 후 소요되는 건조비용은 합판의 생산단가를 높이는 요인으로 작용하기 때문에, 함수율

과 열압시간과의 관계를 알아보기 위하여 기건상태의 단판을 HDPE로 접착, 제조한 합판의 접착력과 목재단판을 온도 26℃, 상대습도 85%에서 처리, 형평함수율에 도달한 후 제조한 합판의 접착력과 비교하여 목재단판의 함수율에 따른 접착력과의 상관관계를 규명하고자 하였다.

측정된 합판의 물리적 성질 및 접착력은 Table 4와 같은데, 열압시간 2분에서 준내수 인장전단 접착력 시험의 경우만 통계처리 결과 유의성이 인정되어 목재단판의 함수율이 19.6%일 때 더 높은 접착력을 나타내었지만, 나머지 열압시간에서 목재단판의 함수율 19.6%일 때의 비내수 및 준내수, 내수 인장전단 접착력이 기건상태의 접착력과 동등 이상의 결과를 보였다. 이러한 결과를 종합

Table 4. Effects of moisture content and hot press time on the tensile-shear strength of HDPE-bonded plywood.

Press time (min.)	MC (%)	Tensile-shear strength								
		Dry			Wet			Boil		
		Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test
1		(F=0.22 ^{ns})			(F=0.35 ^{ns})			(F=0.03 ^{ns})		
	11.4	16.54±1.59	67.5	ns	10.60±1.20	60	ns	8.97±0.50	60	ns
	19.6	16.99±1.09	60		11.64±3.32	50		8.92±0.22	50	2
2		(F=0.048 ^{ns})			(F=13.83 ^{**})			(F=1.14 ^{ns})		
	11.4	16.79±1.28	90	ns	9.02±1.31	70	B	9.15±0.80	52.5	ns
	19.6	16.99±1.31	70		11.80±0.73	50	A	9.78±0.87	40	
3		(F=0.48 ^{ns})			(F=0.074 ^{ns})			(F=2.77 ^{ns})		
	11.4	17.41±1.90	70	ns	12.01±3.28	50	ns	9.37±2.53	45	ns
	19.6	18.26±1.53	90		12.46±0.28	60		11.53±0.57	65	

Notes: See legend in Table 2.

Table 5. Physical properties and tensile-shear strength of plywood by the adhesive type.

Adhesive type	Physical properties		Tensile-shear strength								
	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Dry (F=20.63**)			Wet (F=14.68**)			Boil (F=202.63**)		
			Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test	Strength (kgf/cm ²)	WF (%)	Duncan test
UMF	0.62±0.03	8.34±0.35	17.90±0.61	25	A	12.04±0.29	25	C	0	0	B
PF	0.63±0.02	5.50±0.37	13.95±0.63	65	B	18.30±2.69	55	A	14.22±1.91	65	A
HDPE	0.66±0.02	6.77±0.26	17.58±1.42	95	A	15.18±0.81	67.5	B	14.49±0.64	85	A

Notes: See legend in Table 2.

해보면, 목재 단판의 함수율이 19.6%일때 기건상태와 동등이상의 접착성능을 나타내었는데 합판 제조시 그에 따른 건조비 절감의 효과를 기대할 수 있다.

3. 1. 1. 4 UMF, PF 수지와 HDPE의 접착력 비교

현재 콘크리트 형틀 및 대부분의 건축용재에 사용되고 있는 합판에 대표적으로 쓰이는 UMF, PF 수지로 접착 제조한 합판과 HDPE로 접착 제조한 합판과의 물성을 비교하였는데, 제조한 합판의 물리적 성질과 접착력은 Table 5와 같다. 비중은 UMF와 PF사이엔 차이가 없으며 HDPE는 두 수지와 다소 차이가 있다. 함수율의 경우는 UMF, PF, HDPE 수지 모두 KS 함수율 규격(13%이하)을 만족하지만 다소 차이가 드러났는데, 함수율의 이런 차이는 수지의 고휘분량이 각기 다르고, 목재 단판의 함수율도 PF의 경우 목재단판을 5%로 건조후에 합판을 제조하므로 함수율의 차이가 생기며, 열압조건도 UMF와는 달리 PF는 5분을 열압하기 때문에 상대적으로 낮은 함수율을 보이고 있는 것이다. 표 5에서 UMF로 접착 제조한 합판은 비내수 인장전단 접착력 시험에서 HDPE로 접착 제조한 합판의 접착성능과 동일그룹으로 판명되었으나, 내수 인장 전단 접착력 시험에선 KS를 만족시키지 못했다. 이와는 반대로 HDPE로 접착 제조한 합판의 경우, UMF, PF수지 도포량의 1/2인 15g/(30.3×30.3)cm² 만 도포해도 열압시간 1분에서 KS 내수시험에 통과하였고, 5분인 경우 PF수지와 동등한 접착성능을 나타냈다. 따라서 UMF, PF 수지보다 절반 가량만 도포하였음에도 우수한 접착성능과 내수성을 보여주었다.

3. 2 이할 조사

화상분석기로 분석한 결과, 목재단판의 횡단면상에서 단판표면과 수직방향으로 측정된 이할의 평균길이는 2.33±0.288mm이며, 횡단면상에서 단판표면과 수평방향으로 측정된 이할의 평균간격은 2.85±0.34mm이었고, 목

재 단판의 횡단면상의 길이 1cm에 4개의 이할이 존재하였다. Han 등(1991)은 비극성인 PP에 무수말레인산을 처리하여 극성을 부여한 MPP를 조제하여 슬라이스 단판(sliced veneer)으로 합판을 제조하였는데, 본 실험에서 변성제를 목재단판에 처리하지 않고도 높은 접착력을 나타낸 이유를 이와 비교하여 본다면 로우터리 단판은 슬라이스 단판보다 이할율이 높고 또한 할렬수(1cm에 평균 4개씩 존재)도 그보다 많아 이할과 방사조직으로 HDPE가 침투하여 interlocking network를 보다 많이 형성하여 기계적 결합을 높혀주고 있기 때문이라고 생각된다. 이러한 이할율에 대해 Terry(1985)는 로우터리 절삭시 절삭응력에 의해 이할이 발생하며, 이할의 깊이나 빈도에 영향을 주는 인자로는 원목의 가열온도, 절삭기의 절삭각과 sharpness, nose bar의 압력등이라고 보고한 바 있다. 특히 Paul 등(1992)은 knife-cut 단판에 변성제를 처리할 경우 PP와 목재단판사이엔 기계적 결합과 화학적 결합이 공존하며, 적정 처리농도까지는 접착력을 향상시키나 그 이상에서는 mechanical interlocking을 위한 PP의 침투공간을 변성제가 봉쇄하여 기계적 결합력을 감소한다고 보고하였다. 그러므로 본 연구에서 변성제의 처리없이 높은 접착력을 나타낸것은 슬라이스단판이나 knife-cut 단판보다 이할율이 높은 로우터리 단판에 존재하는 이할과 방사조직에 HDPE가 interlocking network을 형성하여 기계적 결합을 하고 있기 때문이라고 사료된다.

3. 3 해부학적 관찰

Fig. 1은 화상분석기로 합판의 단면을 시편으로 제작하여 관찰하였는데 심판의 방사조직에 HDPE 필름이 침투한 것을 횡단면상에서 관찰할 수 있으며, Fig. 2를 보면 단판절삭시 발생하는 이할에도 침투하고 있는 것을 횡단면과 접착면을 통해 볼 수 있었다. 이런점을 미루어 열가소성 수지인 HDPE는 목재단판과 강한 기계적 결합을

형성하고 있어 우수한 내수 접착력을 나타내었는데, 지금까지 연구보고(Kolosick *et al.*, 1992)에 의하면 열압 시간이 길어지면 폴리프로필렌 필름의 경우, 열유동성이 증가하며, 시편의 파괴단면을 주사전자현미경으로 관찰하면 처리 및 무처리된 목재단판 모두 폴리프로필렌 필름이 활엽수 방사단면에서 도관의 세포내강에 침투한다고 주장하였으며, 무처리재의 경우 세포간극과 벽공으로도 침투하고 있다고 보고했다.

목재 단판과 기계적 결합을 형성하는 HDPE는 선형 사슬 고분자로서 열압온도에 의해 유리고무 전이온도에 도달하면 고분자 사슬이 자유롭게 크랭크축 운동을 하며 열유동성과 침투성이 향상되며, 융점에 도달하면 목재단판내 공극인 방사단면과 이할에 침투하여 급냉과 동시에 고화되어 interlocking network의 기계적 결합을 형성한다고 사료된다. 열가소성 수지는 열유동성이 우수하기 때문에 열압에 의해 융점이상으로 가열이 되면 활발한

분자운동으로 목재내 공극으로의 침투성이 용이해진다. 이러한 HDPE의 침투성을 구체적으로 관찰하기 위하여 접착력 시험을 하고 난 후 파괴된 접착면을 주사전자현미경으로 관찰하였다.

그림 3을 보면 HDPE films이 심판의 횡단면상에 나타난 이할과 목재내 공극으로 침투하여 기계적 결합을 하고 있는 것을 볼 수 있으며, Fig. 4를 보면 접착력 시험 후 목부과단된 접선단면인데, HDPE films이 목부과단된 표판의 다열방사조직으로부터 실과 같은 형태로 길게 늘어진 모습을 볼 수 있는데, 이는 목부과단전에 HDPE films이 표판의 다열방사조직과 결합하고 있다가 접착력 시험후에 접착부위에서 떨어지면서 나타난 형상이라고 보여진다.

주사전자현미경 관찰을 통해서 친수성인 목재와 소수성인 HDPE가 기계적 결합을 하고 있는 결합형태 관찰은 HDPE films의 소수적인 성질에 의한 합판의 내수



Fig. 1. Mechanical interlocking through penetration of HDPE into ray.

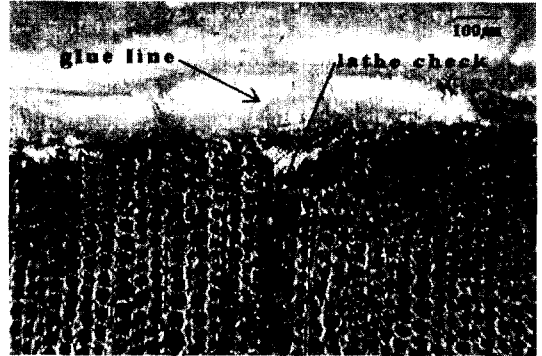


Fig. 2. Mechanical interlocking through penetration of HDPE into the lathe check.

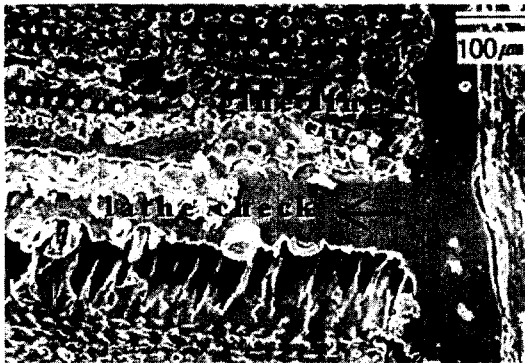


Fig. 3. Penetration of HDPE into the lathe check.



Fig. 4. Long thread like-HDPE stretching out from the ray after tensile-shear strength test.

성 향상과 뛰어난 열유동성에 의한 강한 접착력을 나타내는 결과를 해부학적으로 뒷받침하고 있는 것이다.

4. 결 론

앞으로 직면하게 될 자원고갈과 환경보존을 위한 폐플라스틱 재활용을 위하여 HDPE가 합판의 접착력에 미치는 영향과, 목재단판과 HDPE와의 결합형태에 있어 HDPE의 열유동성과 목재내 침투작용에 의한 목재단판과 HDPE의 기계적 결합형태를 밝혀 새로운 접착제로써 목질 재료산업에 적용가능성을 제시할 수 있었다.

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. HDPE의 도포량이 증가하면 접착력은 향상되었으며, 적정도포량은 PF, UMF수지 도포량의 1/2수준인 $15\text{g}/(30.3 \times 30.3)\text{cm}^2$ 이었으며, 도포량 $15\text{g}/(30.3 \times 30.3)\text{cm}^2$ 이상에서 비내수 및 내수 접착력 모두 KS규격을 만족시켰다.
2. HDPE로 합판을 접착, 제조할 때 열압시간이 길어질수록 접착력이 향상되며 열압시간 1분 에서도 KS 규격을 만족시켰다.
3. HDPE로 목재단판의 함수율이 19.6%일 때 제조한 합판의 접착력과 기건상태의 단판 함수율 조건에서 제조한 합판의 접착력 비교시험에서 동등 이상의 비내수, 준내수, 내수 인장전단접착력을 나타내어 건조비 절감을 기대할 수 있었다.
4. 열압시간 조건이 같을 경우, UMF수지는 KS 내수시험에 통과하지 못한 반면, HDPE는 만족시켰으며, PF와는 동일한 그룹으로 판명되어 동등한 접착력을 나타내었다.
5. HDPE 필름은 침·활습수 단판의 이합과 방사조작을 침투하여 기계적 결합을 형성하였다.

참 고 문 헌

1. Geimer, R. L., C. Clemons, and J. E. Wood. 1993. Density range of compression-molded polypropylene-wood composites. *Wood & Fiber Sci.* 25(2) : 163~169
2. Han, G. S., and N. Shiraishi. 1991. Polypropylene as Hot-melt adhesives. *Mokuzai Gakkaishi* 37 : 39~43.
3. Kolosick, P. C., G. E. Myers, and J. A. Koutsky. 1992. Polypropylene crystallization on maleated polypropylene-treat wood surfaces : Effects on interfacial adhesion in wood polypropylene composites. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 226 : 137~154
4. Myers, G. E., I. S. Chahyadi, C. A. Coberly, and D. S. Ermer. 1991. Wood flour/polypropylene composites : Influence and process and composition variables on mechanical properties. *Inter. J. Poly. Mater.* 15 : 21~44
5. Sanadi, A. R., R. A. Young, C. Celmons, and R. M. Rowell. 1994. Recycled newspaper fibers as reinforcing fillers in thermoplastics: Part I -Analysis of tensile and impact properties in polypropylene. *J. Rein. Plastics & Composites* 13 : 54~67
6. Terry, S. Jr. 1985. Plywood and adhesive technology. Marcel Dekker, Inc., New York
7. 박병대·임기표·김병수. 1994. 목섬유와 열가소성 플라스틱 복합재료의 기계적 성질. *목재공학* 22(2) : 46~53
8. 박종영. 1993. 목질보드시대의 전개와 기술개발전략. *목재공학* 21(4) : 79~89
9. 박용배·정상기. 1996. 목재수요 및 공급실태. 임업연구원 연구자료 118 : 3~39
10. 서진석·이필우. 1987. 플라스틱칩 결체 톱밥보드의 기계적 및 물리적 성질에 관한 연구. *목재공학* 15(3) : 44~55.
11. 서진석·이필우. 1988. 폴리프로필렌사칩과 배향사를 결체한 톱밥보드의 물리적 및 기계적 성질에 관한 연구. *목재공학* 16(2) : 1~41.
12. 한국공업규격. 1987. F 3101 : 1~13