목재공학 30(1): 1~10, 2002
Mokchae Konghak 30(1): 1~10, 2002

제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 개발*1

이 필 우*2 · 이 영 규*2 · 김 현 중*2

A Study On Paper Sludge - Synthetic Fiber - Wood Fiber Composites* 1

Phil-Woo Lee*2 · Young-Kyu Lee*2 · Hyun-Joong Kim*2

요 약

제지 공정중에서 발생하는 슬러지의 효율적인 활용 방안중의 하나로써 목질보드 원료 대체 재료로써의 그 가능성을 평가하기 위하여 제지 슬러지, 합성 섬유, 목섬유의 혼합비를 각각 5:5:90, 15:15:70, 25:25:50으로 PMDI와 요소수지 접착제를 사용하여 목표비중 0.7, 0.8, 0.9인 복합재를 제작하여 물리적 및 기계적 성질을 측정한 결과 제지 슬러지와 합성 섬유를 30%~50%를 혼합하여 복합재를 제조하여도 기존의 보드와 비교하여 손색이 없는 제품을 생산할 수 있다고 판단되었다.

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the manufacturing possibility of the paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite. Three levels of the formulation of paper sludge, synthetic fiber and wood fiber (5:5:90, 15:15:70, 25:25:50), two types of adhesive (PMDI, urea-formaldehyde resin) and three levels of density(0.7, 0.8, 0.9) were designed. From the test result, composites with similar or better properties, when compared with commercial fiberboard, appeared to be possible by the addition of up to 30~50% paper sludge and synthetic fiber into wood fiber.

Keywords: paper sludge, synthetic fiber, wood fiber, composite, PMDI, urea-formaldehyde resin

* 1 접수 2001년 5월 23일, 2001년 9월 5일
본 연구는 1999년도 서울대 농업개발연구소 연구비 지원에 의해서 수행되었음.
* 2 서울대학교 생물자원공학부 바이오복합재료 및 접착과학연구실, School of Biological Resources & Materials Engineering, Lab. of Adhesion Science & Bio-Composites, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

1. 서 론

이 연구는 목질보드용 대체 원료로써 제지 슬러지 및 합성 섬유를 목재 섬유와 혼합하여 보드를 제조하고 물리적 · 기계적 특성을 조사하여 제조 가능성을 검토하는 데 목표가 있다.

현재 환경오염원으로 심각하게 취급되고 있는 제지 슬러지의 경우 펄프 및 제지 공장의 필연적인 산물로 대량 발생되고 있다. 이런 사정으로 제지업계에서는 초지과정에서 또는 고지 탈묵과정에서 발생하는 제지 슬러지의 재활용에 많은 관심을 나타내고 있다. 이것은 압축 또는 사출성형법을 이용한 목질-비목질 복합재의 개발에 있어 제지 슬러지에 다량 함유된 셀룰로오스성 미세섬유가 목질계 재료를 대체할 수 있는 가능성이 있는 것으로 생각되었기 때문이다.

따라서 이와 같은 문제를 해결하고자 수 년전부터 서울대 농생대 목질재료연구실에서는 슬러지를 목질 복합재 제조에 이용하기 위한 많은 노력을 기울여 온 바 있고 몇몇 연구[8,9,10,14,15,16,17]를 통해 그 가능성을 입증한 바 있다. 슬러지를 목질 복합재 제조에 이용하는 것은 목질자원을 대체한다는 경제적인 측면 뿐만 아니라 폐기물의 이용이라는 환경적인 측면에서도 매우 의미있는 일이라 할 수 있다.

본 연구에서는 일반 제지 슬러지의 단점을 극복하기 위해 합성 섬유를 혼합하였으며, 이는 기존의 제지 슬러지만을 이용한 보드보다 더 우수한 특성을 지닐 것으로 기대되며 제지 슬러지의 효율적인 처리의 일환으로 목질판상재료의 대체 원료 또는 복합재로의 이용 개발은 실현 가능한 효과적인 처리 방안이 될 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 목 섬유에 제지 슬러지와 합성 섬유를 혼합하여 복합재를 제조하고 그 특성을 시험하여 원료 자원으로서 제지 슬러지와 합성 섬유의 이용 가능성을 검토 고찰하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

2.1.1 제지 슬러지

본 연구에서 사용한 제지 슬러지는 국내 모 제지 공장에서 분말상의 것을 분양받아 사용하였다. 제지 슬러지는 함수율 70% 이상인 것을 천연건조를 통해 대략 함수율 30% 전후의 상태로 조정하고 1차 분쇄를 통하여 엉킨 섬유를 풀어준 후 다시 건조시켜 함수율 15~20% 상태에서 2차 분쇄를 통하여 단섬유화하였다. 그 후 체진동기를 이용하여 4~25 mesh로 선별하고 함수율 10% 정도로 건조한 다음 조정하여 사용하였다.

2.1.2 합성 섬유(폴리프로필렌 섬유)

본 연구에서 사용한 합성 섬유로는 폴리프로필렌 섬유를 국내 모 기업에서 토우(tow)상태의 섬유를 분양받아 종이재단기를 이용하여 섬유장이 1±0.2 cm[12]가 되게 절단하여 사용하였다. 이 폴리프로필렌 섬유는 MFI(melt flow index)가 12(g/10min.)이며 데니어는 7, 녹는점(melting point)은 165℃이었다.

2.1.3 목재 섬유

목재 섬유는 중밀도섬유판용 목섬유로 모공장에서 분양받아 사용하였다. 동남아산 열대재 혼합수종에 의한 목섬유였으며 이 때의 함수율은 8~10%였다.

2.1.4 접착제

본 연구에서 사용한 접착제는 고형분 63%의 요소수지(urea-formaldehyde resin)와 고형분 92%의 PMDI(polymeric methylene diphenyl diisocyanate) 수지를 사용하였다.

2.1.5 경화제

경화제로는 요소수지 접착제의 경우 수지 고형분

에 대하여 염화암모늄(10% NH_4Cl) 수용액을 10% 첨가하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 제조 변수

본 연구에서는 제지 슬러지 대 합성 섬유 대 목섬유 혼합 비율(5:5:90, 15:15:70, 25:25:50), 보드 비중(0.7, 0.8, 0.9), 그리고 접착제의 종류(요소, PMDI)를 변수로 하여 제조하였다. 또한 제지 슬러지, 합성 섬유, 그리고 목섬유 만을 이용한 보드를 제조하여 대조보드로 하였다.

2.2.2 복합재 제조

복합재의 크기는 길이, 폭, 두께가 25, 20, 0.5 cm로 제조하였다. 복합재 제조를 위하여 제지 슬러지, 합성 섬유와 목섬유를 난기류 혼합기[12]를 이용하여 균일하게 혼합한 후, 혼합된 원료를 동일한 조건에서 드럼형 블랜더를 이용하여 요소수지는 복합재 전건 무게에 대하여 10%, 그리고 PMDI는 2.5%를 첨가하였다.

열압온도는 190℃를 적용하였고 열압시간은 요소 6분, PMDI 5분을 적용하였다. 열압압력은 35 kg/cm^2으로 하였다(단, 비중 0.9의 PMDI 수지적용시 50 kg/cm^2, 6분을 적용함). 열압 후 2분간 냉압을 실시하였다. 제조된 보드는 온도 20±1℃, 상대습도 65 ±5%의 항온항습실에서 수주간 조습 처리하였다.

2.2.3 복합재의 물리적·기계적 성질 평가

복합재의 물리적 성질은 ASTM D 1037-1087 (1995)[1]에 의거하여 밀도, 함수율, 두께팽창율, 물 흡수량을 측정하였는데 시험편의 길이, 폭, 두께와 무게를 측정하여 각각 환산하였다. 복합재의 기계적 성질 역시 ASTM D 1037-1087(1995)[1]에 의거하여 휨강도(MOR, MOE), 인장강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 복합재의 물리적 성질

3.1.1 비중, 함수율

Table 1과 같이 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 실제 비중은 목표 비중 0.7, 0.8, 0.9와 거의 일치하는 값을 보였다.

함수율은 PMDI를 사용한 복합재는 비중에 따라 3.47~5.81%까지 나타났으며 요소수지를 사용한 복합재는 3.59~6.14%였고, 대조보드의 함수율은 5.17~5.85%의 범위를 보이고 있다. 복합재 보드별 큰 차이는 나타나지 않았다.

3.1.2 치수안정성

3.1.2.1 두께팽창율

제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 두께팽창율은 Table 1과 Fig. 1, 2, 3에 나타낸 바와 같다. PMDI와 요소수지를 사용한 복합재는 동일한 비중에서 제지 슬러지와 합성 섬유의 혼합 비율이 증가함에 따라 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타냈다. 접착제를 사용하지 않은 대조보드에서도 이와 같은 현상을 나타냈는데 이는 합성 섬유가 열압시 녹아서 목섬유와 제지 슬러지를 감싸는 encapsulation 효과를 보고한 Youngquist[5] 등과 윤[11]의 결과와 일치하는 것이다.

또한 제지 슬러지에 함유된 소량의 무기물과 섬유들이 수분의 흡수를 목섬유보다 빠르게 한다고 여겨지며, 두께팽창시에는 섬유의 배열 상태가 목섬유의 길이방향 배열상태와는 다른 상태, 즉 목섬유 사이의 공간이 주로 두께방향으로 배열되기 때문에 제지 슬러지에 함유된 섬유가 길이방향으로 배열되는 빈도가 목섬유보다 훨씬 낮아지게 되어 두께방향의 팽창에 덜 영향을 주는 것으로 생각된다.

한편 요소수지를 사용했을 때가 PMDI수지보다 두께팽창율이 약간 낮았는데 이는 PMDI는 2.5%를 첨가했고 요소수지는 10%를 첨가한 첨가량의 차이 때문이라 생각된다.

Table 1. Physical properties of paper sludge - synthetic fiber - wood fiber composite

Resin Type	Target SpGr	Mixing ratio[a] (%)	SpGr[b]	Moisture Content (%)	Thickness Swelling[c] (%)	Water Absorption[d] (%)
PMDI	0.7	5 : 5 : 90	0.70[e] ± 0.01[f]	5.72 ± 0.47	48.88 ± 4.37	53.23 ± 1.93
		15 : 15 : 70	0.70 ± 0.02	5.46 ± 0.40	20.69 ± 2.86	35.46 ± 4.62
		25 : 25 : 50	0.70 ± 0.04	4.73 ± 0.16	9.97 ± 2.87	27.06 ± 4.43
	0.8	5 : 5 : 90	0.81 ± 0.03	5.81 ± 0.35	56.63 ± 2.55	51.42 ± 3.52
		15 : 15 : 70	0.79 ± 0.02	4.75 ± 0.26	21.97 ± 7.57	32.75 ± 5.44
		25 : 25 : 50	0.80 ± 0.05	3.80 ± 0.31	8.46 ± 2.24	25.98 ± 2.23
	0.9	5 : 5 : 90	0.90 ± 0.02	5.09 ± 0.21	70.51 ± 7.74	48.27 ± 3.62
		15 : 15 : 70	0.89 ± 0.02	4.02 ± 0.16	21.30 ± 5.07	30.73 ± 8.08
		25 : 25 : 50	0.89 ± 0.02	3.47 ± 0.10	8.08 ± 0.91	21.11 ± 2.58
Urea	0.7	5 : 5 : 90	0.72 ± 0.01	5.86 ± 0.44	19.43 ± 6.04	48.51 ± 4.08
		15 : 15 : 70	0.68 ± 0.05	4.42 ± 0.19	10.80 ± 1.01	27.70 ± 2.28
		25 : 25 : 50	0.70 ± 0.03	3.66 ± 0.76	5.27 ± 1.29	24.27 ± 4.23
	0.8	5 : 5 : 90	0.82 ± 0.03	6.14 ± 0.50	28.09 ± 5.22	42.48 ± 4.76
		15 : 15 : 70	0.79 ± 0.05	4.00 ± 0.16	14.85 ± 1.67	26.63 ± 4.66
		25 : 25 : 50	0.82 ± 0.05	3.66 ± 0.37	7.20 ± 3.50	22.41 ± 3.06
	0.9	5 : 5 : 90	0.91 ± 0.03	5.21 ± 0.59	37.36 ± 5.20	35.15 ± 6.94
		15 : 15 : 70	0.92 ± 0.04	4.18 ± 0.20	17.15 ± 4.73	25.68 ± 6.39
		25 : 25 : 50	0.90 ± 0.05	3.59 ± 0.27	7.54 ± 1.27	18.51 ± 4.21
Control	0.8	5 : 5 : 90	0.78 ± 0.02	5.85 ± 1.02	70.09 ± 7.06	60.96 ± 1.45
	0.8	15 : 15 : 70	0.82 ± 0.05	5.31 ± 0.34	22.82 ± 4.86	36.62 ± 3.80
	0.8	25 : 25 : 50	0.82 ± 0.03	5.17 ± 1.44	19.38 ± 8.92	31.45 ± 9.56

a : Paper Sludge : PP Fiber : Wood Fiber (oven-dry basis) b : based on oven-dry volume
c : based on air-dry thickness d : based on air-dry weight
e : Mean value from 5 replications f : Standard deviation from 5 replications.

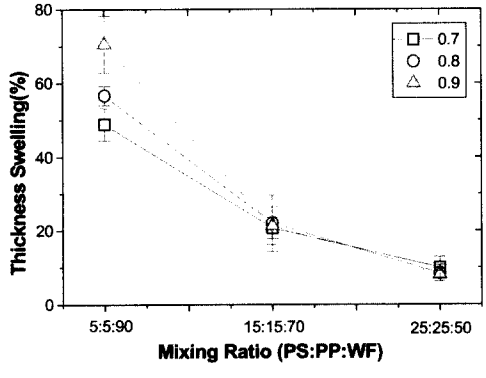

Fig. 1. Effect of PMDI on the thickness swelling of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

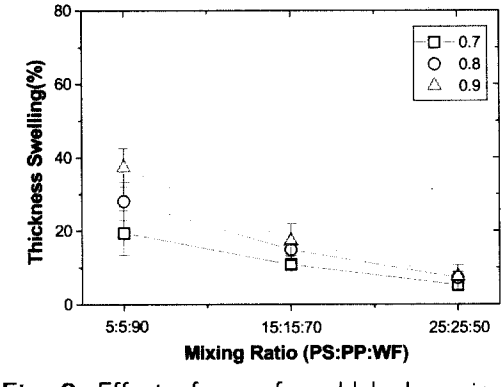

Fig. 2. Effect of urea formaldehyde resin on the thickness swelling of paper sludge - synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

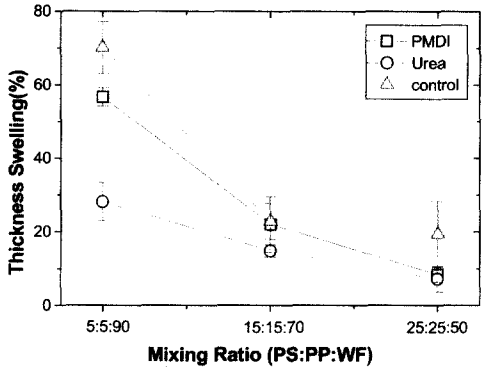

Fig. 3. Thickness swelling of paper sludge - synthetic fiber-wood fiber composite by content of wood fiber and resin types (Sp. Gr. 0.8).

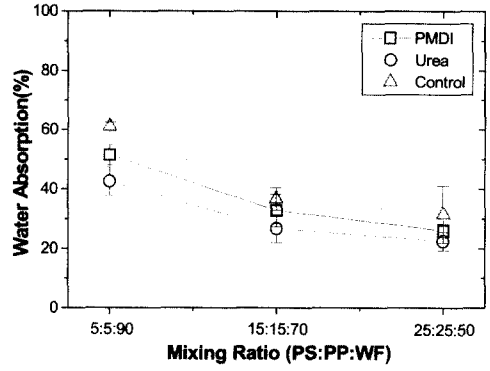

Fig. 4. Water absorption of paper sludge - synthetic fiber-wood fiber composite by content of wood fiber and resin types (Sp. Gr. 0.8).

PMDI를 적용한 경우에는 접착제의 특성과 적은 첨가량으로 인하여 제지 슬러지를 균등히 접착시키지 못했지만 반면에 요소수지의 경우에는 충분히 적셔주어 균등히 접착시킬 수가 있어 성형시에 나타난 결과로 믿어진다.

또 이 연구에서 복합재의 비중이 증가하면서 두께 팽창율이 증가하는 경향을 나타냈는데 이는 Youngquist 등[5]과 윤[11]의 보고와도 일치하고 있다.

2.1.2.2 물 흡수량

제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 물 흡수량은 Table 1과 Fig. 4, 5, 6에 나타낸 바와 같다. PMDI를 사용한 복합재의 물 흡수량은 비중 0.7, 0.8, 0.9에서 제지 슬러지와 합성 섬유의 혼합비가 증가함에 따라 각각 53.23~27.06%, 51.42~25.98%, 48.27~21.11%를 나타냈다. 요소수지 사용시에는 48.51~24.27%, 42.48~22.41%, 35.15~18.51%값을 보였다. 이처럼 제지 슬러지와 합성 섬유의 첨가량이 증가하면서 접착제의 종류에 상관없이 복합재의 물 흡수량은 감소하였으며 비중이 증가하면 동일한 혼합비에서 물 흡수량은 감소한다는 것을 알 수 있었다. 이것은 합성 섬유의 encapsulation 효과에 의한 영향, 즉 동일한 재료로 동일 두께의 보드 제조시 밀도가 증가할수록 더 많은 양의 재료가 사용되어야 하고 따라서 더 강한 압축이 필요해지기 때문에

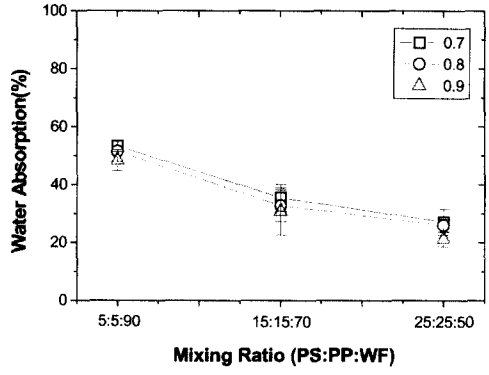

Fig. 5. Effect of PMDI on the water absorption of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

용융된 열가소성 섬유가 목섬유 주위를 둘러싸는 정도가 더욱 커지게 되면서 일종의 수분 차단막(water barrier)이 형성된 결과로 인해 목재 섬유가 수분과 접촉할 수 있는 기회를 잃게 만드는 것이라고 밝힌 윤[11]과 이[12], 그리고 Youngquist[5] 등의 보고와 같은 경향을 나타냈다.

그러나 같은 비중에서 접착제 종류에 따른 결과를 비교하면 요소수지를 사용한 복합재가 PMDI를 사용한 복합재보다 물 흡수량을 작다는 것을 알 수 있는데 접착제 첨가량의 차이 때문에 의한 것으로 여겨졌

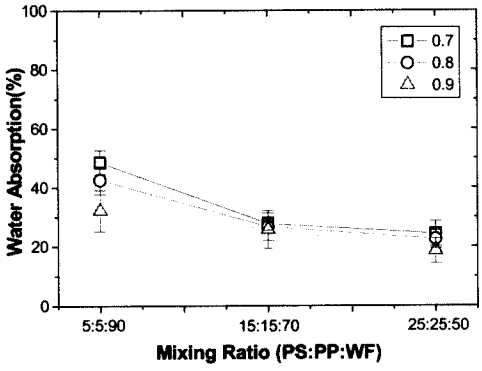

Fig. 6. Effect of urea formaldehyde resin on the water absorption of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

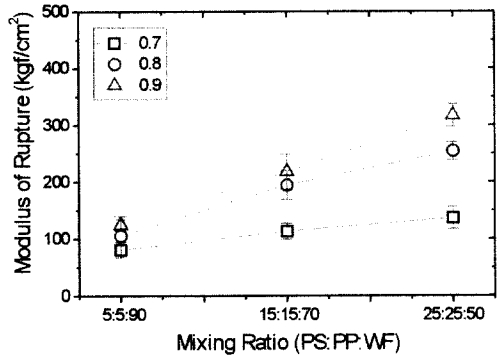

Fig. 7. Effect of PMDI on the modulus of rupture of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

다. PMDI와 요소수지를 복합재 전건 무게당 각각 2.5%, 10%첨가했으므로 접착제의 첨가량이 많은 요소수지가 보다 작은 물흡수량을 나타낸 것이다.

2.2 복합재의 기계적 성질

2.2.1 휨강도

제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 휨파괴계수와 휨탄성계수 측정 결과는 Table 2와 Fig. 7, 8, 9, 10, 11, 12에 나타낸 바와 같다. PMDI 수지를 적용하였을 때 비중이 0.7일 때 80.60~136.4 kgf/cm^2, 0.8일 때 105.4~254.2 kgf/cm^2, 0.9일 때 145.76~317.0 kgf/cm^{2}의 범위를 보이고 있으며 요소수지의 경우 비중이 0.7일 때 155.8~166.81 kgf/cm^2, 0.8일 때 210.7~310.04 kgf/cm^2, 0.9일 때 255.08~400.38 kgf/cm^{2}의 범위를 나타내고 있어 비중이 증가함에 따라 휨파괴계수가 증가함을 나타내고 있다.

이것은 이전의 연구들[5,11,12]에서와 같이 비중과 혼합 비율이 증가할수록 휨강도가 향상되는 결과를 나타냈다. KS에는 규정된 기준치가 없지만 Youngquist 등[5]이 보고한 자료에 의하면 연질섬유판의 휨파괴계수는 14~55 kgf/cm^2, 중밀도섬유판의 휨파괴계수는

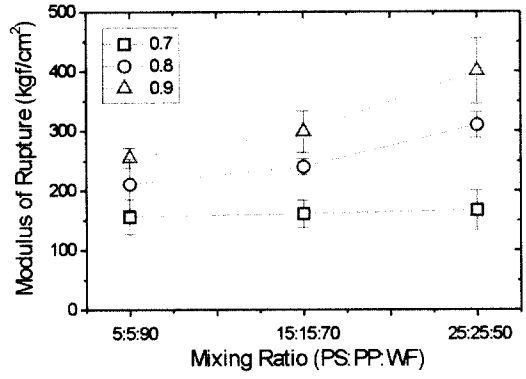

Fig. 8. Effect of urea formaldehyde resin on the modulus of rupture of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

131~414 kgf/cm^2, 그리고 경질섬유판의 휨파괴계수는 207~483 kgf/cm^2 의 범위내에 존재한다고 보고한 바 있다. 이 자료에 비교해 볼 때 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 휨강도는 요소수지를 사용한 경우에는 혼합비에 상관없이 비중 0.7, 0.8일 때는 중밀도 섬유판의 기준에 만족한 복합재를 제조할 수 있고 PMDI를 사용한 경우에도 비중 0.8인 복합재에서 혼합비를 30% 이상 사용한다면 중밀도 섬유판에 해당하는 휨강도를 얻을 수 있다고 생각된다.

Table 2. Mechanical properties of paper sludge - synthetic fiber - wood fiber composite.

Resin Type	Target SpGr	Mixing ratio[a] (%)	Modulus of Rupture (kgf/cm^2)	Modulus of Elasticity (kgf/cm^2)	Tensile Strength (kgf/cm^2)
PMDI	0.7	5 : 5 : 90	80.60[b] ± 13.01[c]	8237 ± 985	70.66 ± 7.63
		15 : 15 : 70	113.2 ± 13.7	13578 ± 914	77.51 ± 14.73
		25 : 25 : 50	136.4 ± 19.41	15966 ± 991	121.95 ± 16.79
	0.8	5 : 5 : 90	105.4 ± 33.58	17703 ± 2976	80.80 ± 10.76
		15 : 15 : 70	194.0 ± 25.59	20490 ± 1543	109.76 ± 9.28
		25 : 25 : 50	254.2 ± 16.11	23581 ± 1377	141.47 ± 2.47
	0.9	5 : 5 : 90	145.76 ± 10.94	18524 ± 238	124.34 ± 9.77
		15 : 15 : 70	217.8 ± 30.93	25664 ± 1450	175.94 ± 17.73
		25 : 25 : 50	317.0 ± 19.84	30978 ± 1208	194.4 ± 9.21
Urea	0.7	5 : 5 : 90	155.8 ± 29.34	15820 ± 1232	90.46 ± 2.17
		15 : 15 : 70	160.9 ± 23.12	18176 ± 1568	95.11 ± 12.43
		25 : 25 : 50	166.8 ± 33.97	19908 ± 1021	112.51 ± 13.74
	0.8	5 : 5 : 90	210.7 ± 43.05	20672 ± 936	119.83 ± 18.19
		15 : 15 : 70	240.24 ± 13.38	22810 ± 1868	120.68 ± 15.33
		25 : 25 : 50	310.04 ± 21.43	25552 ± 1558	147.95 ± 16.34
	0.9	5 : 5 : 90	255.08 ± 16.39	22466 ± 1918	136.99 ± 7.28
		15 : 15 : 70	298.60 ± 34.52	28693 ± 1360	157.36 ± 3.93
		25 : 25 : 50	400.38 ± 55.03	37213 ± 6781	188.80 ± 18.99
Control	0.8	5 : 5 : 90	79.32 ± 7.27	8052 ± 1287	59.13 ± 10.54
	0.8	15 : 15 : 70	171.1 ± 22.04	18760 ± 2903	106.23 ± 12.85
	0.8	25 : 25 : 50	232.2 ± 34.51	20626 ± 2791	114.59 ± 18.45

a : Paper Sludge : PP Fiber : Wood Fiber (oven-dry based)
b : Mean value from 5 replications c : Standard deviation from 5 replications.

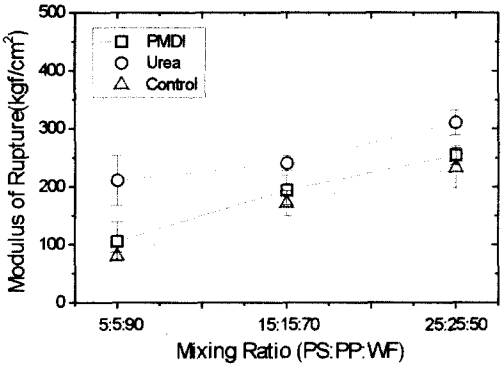

Fig. 9. Modulus of rupture of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of wood fiber and resin types (Sp.Gr. 0.8).

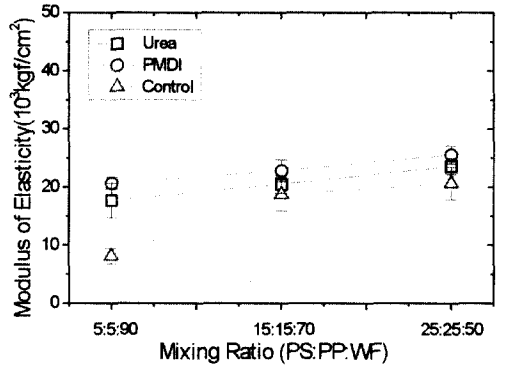

Fig. 10. Modulus of elasticity of paper sludge - synthetic fiber-wood fiber composite by content of wood fiber and resin types (Sp .Gr. 0.8).

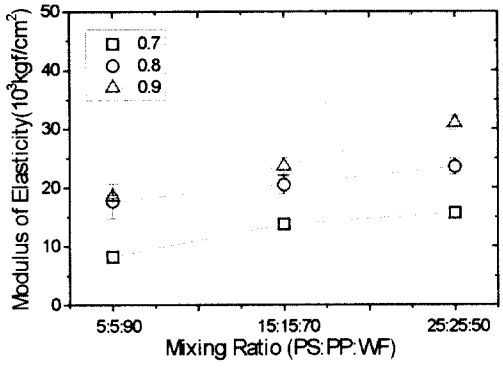

Fig. 11. Effect of PMDI on the modulus of elasticity of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

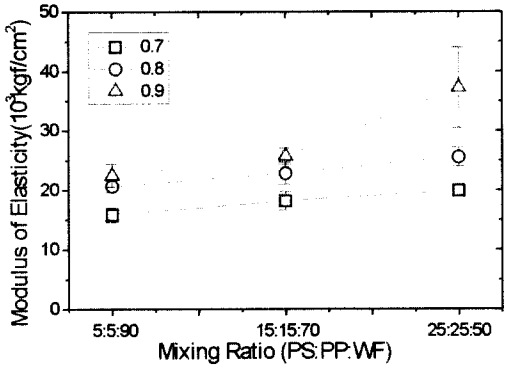

Fig. 12. Effect of urea formaldehyde resin on the modulus of elasticity of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

결과에서 볼 수 있듯이 복합재의 휨파괴계수는 대체적으로 요소수지를 적용한 복합재가 PMDI를 적용한 복합재보다 높은 값을 나타내었다. 그리고 휨탄성계수의 경우도 이와 비슷한 경향을 나타냈다.

제지 슬러지를 20~30% 첨가하여도 휨파괴계수와 휨탄성계수에는 큰 영향없이 복합재를 제조할 수 있었다는 보고[13,14,15,16]에서와 같이 본 연구에서도 제지 슬러지와 합성 섬유를 목섬유에 혼합할 경우에 접착

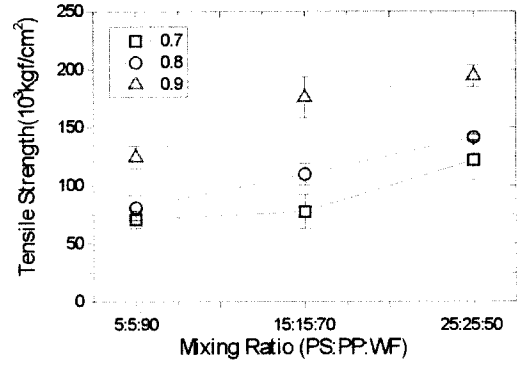

Fig. 13. Effect of PMDI on the tensile strength of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

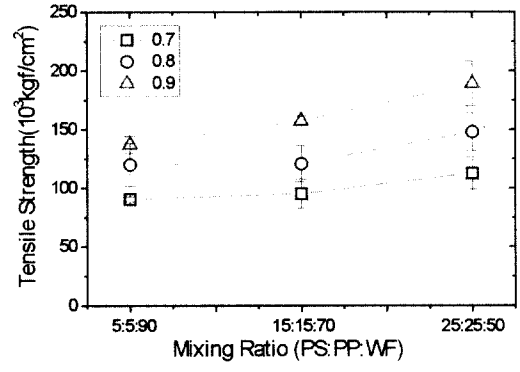

Fig. 14. Effect of urea formaldehyde resin on the tensile strength of paper sludge-synthetic fiber-wood fiber composite by content of paper sludge and synthetic fiber.

제 종류에 관계없이 비중을 높여서 0.7 이상인 복합재를 제조한다면 제지 슬러지와 합성 섬유를 50%까지는 혼합 가능하리라고 판단된다.

2.2.2 인장강도

제지 슬러지-합성 섬유-목섬유 복합재의 인장강도 측정결과는 Table 2와 Fig. 13, 14, 15와 같다. PMDI 수지를 적용하였을 때 비중이 0.7일 때 70.66 ~121.95 kgf/cm^2, 0.8일 때 80.80~141.47 kgf/cm^2,

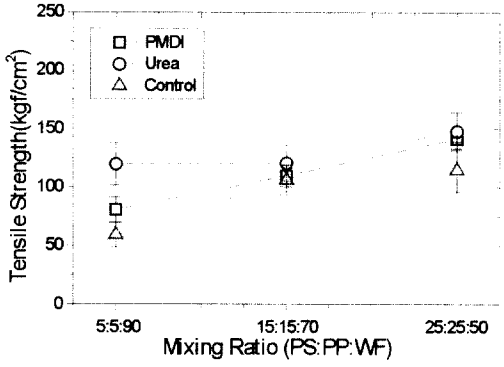

Fig. 15. Tensile strength of paper sludge - synthetic fiber-wood fiber composite by content of wood fiber and resin types (Sp. Gr. 0.8).

0.9일 때 124.34~194.4 kgf/cm^{2}의 범위를 보이고 있으며, 요소수지를 적용하였을 때는 비중이 0.7인 경우 90.46~112.51 kgf/cm^2, 0.8인 경우 119.83~147.95 kgf/cm^2, 0.9인 경우 136.99~188.80 kgf/cm^{2}의 범위를 보이고 있다. 이처럼 폴리프로필렌 섬유의 혼합비 증가와 비중의 증가에 따른 인장강도의 현격한 증가는 이전의 연구들[5,7]과 일치한다.

KS에는 규정된 기준치가 없지만 Youngquist[5] 등이 보고한 자료에 의하면 연질섬유판의 인장강도는 14~34 kgf/cm^2, 중밀도섬유판의 인장강도는 69~276 kgf/cm^2, 그리고 경질섬유판의 인장강도는 207~414 kgf/cm^{2}의 범위내에 존재한다고 보고한 바 있다. 인장강도만으로 이 결과와 비교해 볼 때 본 연구에서 제조한 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재는 비중이 0.7, 0.8일 경우 제지 슬러지와 합성 섬유의 첨가량에 관계없이 중밀도 섬유판의 조건을 만족할만한 결과를 얻었다고 볼 수 있다.

또한 Laminated paperboard의 인장강도는 대략 117~145 kgf/cm^{2}을 가지고 있는데 이 값과 비교해 볼 때 접착제는 PMDI 수지나 요소수지를 적용하고 복합재의 비중을 0.7로 하여 제지 슬러지와 합성 섬유의 혼합비율을 50%까지 혼합하여도 복합재로서의 인장강도는 충족시킬 수 있으리라 기대된다.

4. 결 론

제지 슬러지와 합성 섬유를 이용한 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재를 개발하기 위하여 제지 슬러지, 합성 섬유, 목섬유의 혼합 비율, 접착제 종류, 비중 등을 달리하여 복합재를 제조하고 물리적 및 기계적 성질을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 두께팽창율은 제지 슬러지와 합성 섬유의 혼합비율이 증가할수록 복합재의 두께팽창율은 뚜렷하게 감소하였고, 동일한 혼합비에서는 비중이 증가할수록 두께팽창율이 증가하는 경향을 보였다. 동일조건에서는 요소수지가 PMDI보다 우수한 성질을 나타내었다.

2. 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 비중이 증가할수록 동일한 혼합비에서 물 흡수량이 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 제지 슬러지 - 합성 섬유 - 목섬유 복합재의 휨강도는 제지 슬러지와 합성 섬유의 첨가량이 증가할수록, 그리고 복합재의 비중이 증가할수록 증가함을 알 수 있었다.

4. 인장강를 살펴보면 제지 슬러지와 합성 섬유의 혼합비율이 증가함에 따라 접착제 종류에 관계없이 증가하고 또한 비중이 증가함에 따라 증가하는 현상이 뚜렷하였다.

5. 결론적으로 본 연구에서 제조한 복합재의 물리적 및 기계적 성질을 고려해볼 때 제지 슬러지와 합성 섬유를 첨가하여 복합재를 제조하는 경우 접착제의 적용시 제지 슬러지와 합성 섬유를 30~50% 혼합하여도 기존 보드와 비교하여 손색이 없는 제품을 생산할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. ASTM. 1993. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Materials.
2. Phil-Woo Lee, 1999. Effects of Density, Resin and Particle Type on Properties of Composites from

Wood Particle Mixed with Coating Paper, Korean Society of Wood Science and Technology Vol. 27 No. 4. pp. 57-64.

3. Woodhams, R. T., G. T. Thomas, and D. K. Rodgers. 1984. Wood fibers as reinforcing fillers for polyolefins. Polymer Eng. Sci. 24(15): 1166-1171.
4. Woodhams, R. T., S. Law, and J. J. Balatinecz. 1990. Properties and possible applications of wood fiber-polypropylene composites. In: Proc. Symp. Wood Adhesives 1990-Wood/nonwood composites. Conner, A. H., A. W. Christiansen., G. E. Myers., B. H. River., C. B. Vick., and H. N. Spelter, eds., USDA Forest Serv., Forest Products Laboratory, Madison, Wis., pp. 177-182.
5. Youngquist J. A. and A. M. Krzysik. 1991. Bonding of air-formed wood-fiber / polymer-fiber composites. INT. J. Adhesion and Adhesives 11(4): 235-240.
6. Youngquist, J. A. 1981. Laminated wood-based composites. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 14, 3rd Edition.
7. Youngquist, J. A., A. M. Krzysik., J. H. Muehl, and C. Carll. 1992. Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites. For. Prod. J. 42(6): 42-48.
8. 金大俊, 李弼宇. 1994. 제지 슬러지의 첨가가 요소수지 파티클보드의 포름알데히드 방산 및 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향. 목재공학 22(3) : 44~53.
9. 孫廷一, 李弼宇. 1994. 슬러지-파티클 보드의 난연성과 기계적 성질. 목재공학 22(3) : 54~65.
10. 孫廷一, 李弼宇. 1994. 내화처리 구성형태에 따른 삼층 및 혼합 슬러지-파티클보드의 내화성. 한국목재공학회 학술논문발표요지집(추계). 67~71.
11. 尹炯雲. 1996. 목섬유 - 열가소성 섬유 복합재의 성질과 공정 변수에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
12. 李弼宇. 1997. 6. 목질과 비목질계 섬유를 활용한 복합재 연구 - 폴리프로필렌의 섬유장과 공정변수의 영향을 중심으로- 한국목재공학회지 25(2): 33-44
13. 李弼宇, 徐珍錫. 1987. 플라스틱칩 결체 톱밥보드의 機械的 및 物理的 性質에 관한 연구. 목재공학 15(3): 44-55.
14. 李弼宇, 孫廷一. 1993. 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드의 산소지수. 서울대농학연구 18(1) : 7~12.
15. 李弼宇, 尹炯雲, 金大俊, 孫廷一. 1993. 슬러지-파티클 보드의 제조 가능성 및 구성비율에 관한 기초연구. 목재공학 21(2) : 57~65.
16. 李弼宇, 尹炯雲. 1993. 삼층 슬러지-파티클 보드의 제조와 물성. 한국가구학회지 5(2) : 50~61.
17. 李弼宇, 尹炯雲. 1996. 구성형태와 구성비율별로 제조한 슬러지-파티클보드의 물리적 및 기계적 성질. 목재공학 24(1) : 17~26.
18. 李弼宇, 李喆周. 1996. PMDI(Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate)수지를 이용한 신문고지섬유-목재 섬유 혼합 하드보드의 물리적 및 기계적 성질. 서울대농학연구 21(2) : 95~103.