

# 韓紙 슬리지-木材 纖維 또는 木材 파티클 複合材의 引張强度

李弼宇 · 孫 廷 一 · 李永揆

## Tensile Strength of Composites from Hanji(Korean paper) Sludge Mixed with Wood Fiber or Particle

Phil-Woo Lee · Jung-Il. Son · Young-Kyu Lee\*<sup>1</sup>

### ABSTRACT

---

This research was carried out to investigate the Hanji sludge(black color)-wood fiber and wood particle composites applied by waste sludges arising from the making process of Hanji (Korean paper). In experimental design, four levels of the mixed ratio of Hanji sludge to wood fiber or wood particle(10:90, 20:80, 30:70 and 40:60), three kinds of the resin(PMDI, urea and phenol resin) and three kinds of the specific gravity(0.6, 0.75 and 0.9) were designed to determine the tensile strength of Hanji sludge-wood fiber and wood particle composites. From the results and discussion, it may be concluded as follows:

In Hanji sludge-wood fiber and wood particle composites, tensile strengths showed decreasing tendency absolutely by increasing Hanji sludge additive, but clearly increased with the increase of specific gravity.

In Hanji sludge-wood fiber composites, there were no differences between PMDI and urea resin-bonded composites, but phenol resin-boned composites were inferior to others in tensile strengths. Hanji sludge-wood fiber composites were made possibly until the addition of 30% Hanji sludge.

On the other hand, Hanji sludge-wood particle composites(SpGr=0.6) have very low tensile strength values. But they were made favorably until the addition of 20% Hanji sludge in Hanji sludge-wood particle composites(SpGr=0.9).

**Keywords** : Hanji sludge, Hanji(Korean paper), wood fiber, wood particle, tensile strength Hanji sludge-wood fiber composites, Hanji sludge-wood particle composites

---

\*1 서울대학교 임산공학과, Department of Forest Products, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

## 1. 緒 論

製紙過程 中에서 필연적으로 發生하는 슬러지는 環境을 汚染시키는 廢棄物質으로써 이를 處理하는 問題가 우리나라는 물론 全 世界的으로 重要的 研究課題로 다루어지고 있다(Scott and Smith 1995, Scott et al. 1995).

지금까지 廢슬러지의 處理方法으로 우리나라에서는 廢棄하거나 燒却處理가 대부분이며 대규모 工場에서는 부분적으로 燒却을 통한 에너지 回收을 하여 利用하고 있다. 그러나 소규모 工場에서는 위탁처리 또는 埋立의 方法을 취하고 있다. 이와 같은 處理方法은 모두 處理 費用이 많이 들고 環境을 汚染시키는 말할 나위가 없으며 埋立도 處理 場所를 찾지 못하여 難關에 처하고 있는 실정이다. 이밖에 農業의으로 지렁이 飼育과 造景用, 切開地 表地用으로 少量이 이용되고 있을 뿐이다.

서울大 農生大 木質材料研究室에서는 이와 같은 問題를 解決하기 위해서 多年間에 걸쳐 廢슬러지를 木材 纖維나 木材 파티클에 混合하여 複合材 製造에 活用하고자 그 製造技術을 發展시켜 왔다(金과 李 1994, 孫과 李 1994, 李와 孫 1993, 李 等 1993, 李와 尹 1993, 1996).

本 研究에서는 우리나라의 傳統 韓紙의 製造 過程에서 最終 處理 後에 發生하는 黑色 韓紙 슬러지를 슬러지와 木材 纖維 및 木材 파티클 混合比率, 複合材 比重, 接着劑, 木材 纖維와 木材 파티클 水準別 複合材를 製造하고 引張強度를 측정하여 이들 因子 사이에 나타나는 影響을 비교하고 分析 考察하고자 着手하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1. 材料

#### 2.1.1. 韓紙 슬러지

本 研究에서 사용한 韓紙 슬러지는 中小企業 廳山下 某 韓紙組合으로 부터 분양받아 사용하였다. 슬러지 發生 工程에 따라 最終 處理後 發生하는 粉末狀의 黑色 슬러지를 이용하였다.

黑色 슬러지는 분쇄한 다음 체진동기를 사용하

여 18~40mesh로 選別하여 含水率 10% 정도로 乾燥하여 사용하였다.

#### 2.1.2. 木材 纖維

木材 纖維는 MDF用 纖維로써 某 纖維板 製造 會社에서 분양 받은 것으로 樹種은 美國産 솔송나무(western hemlock, *Tsuga heterophylla*)이며 실내에서 含水率을 10%로 調整한 상태에서 폴리에틸렌 백에 담아 보관한 것을 사용하였다.

#### 2.1.3. 木材 파티클

三層 파티클보드의 表層用 판만칩으로 某 파티클보드 工場에서 직접 분양받아 사용하였다. 樹種은 東南아시아産 熱帶 混合樹種이며 含水率은 3~4%였다.

#### 2.1.4. 接着劑

本 研究에서 사용한 接着劑는 固形分 53%(木材 纖維 複合材用)와 63%(木材파티클 複合材用)의 尿素樹脂(urea-formaldehyde resin) 및 固形分 63%(木材纖維 複合材用)와 40%(木材파티클 複合材用)의 페놀樹脂(phenol-formaldehyde resin), 그리고 固形分 90%의 PMDI(Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate)樹脂였다.

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 製造變數

本 研究에서는 韓紙 슬러지 對 木材 纖維 및 木材 파티클 混合比率(10:90, 20:80, 30:70, 40:60), 보드 比重(0.6, 0.75, 0.9) 그리고 接着劑(尿素, 페놀, PMDI樹脂)를 製造 變數로 하여 試驗하였다. 또한 木材 纖維와 木材 파티클만을 사용해서 尿素樹脂, 페놀樹脂, PMDI樹脂를 添加하여 目標比重 0.75의 纖維板과 파티클보드를 製造하여 對照보드로 하였다.

#### 2.2.2. 複合材 製造

韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材의 크기는 0.5×20×25cm(두께×폭×길이), 그리고 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 1×20×25cm로 製造하였다. 複合材 製造를 위하여 韓紙 슬러지와 木材 纖

維는 空氣混合機를 사용하여 均一하게 混合한 後 混合된 原料를 동일한 조건에서 드럼블렌더를 이용하여 尿素樹脂는 纖維 全乾무게에 대하여 10%, 페놀樹脂는 5%, 그리고 PMDI樹脂는 2.5%를 添加하였다. 또 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材도 동일한 混合 및 樹脂조건으로 보드를 製造하였다.

韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材의 熱壓溫度는 尿素樹脂 120℃, 페놀樹脂 160℃, PMDI樹脂 170℃를 적용하였고 熱壓時間은 尿素樹脂 4분, 페놀樹脂 5분, PMDI樹脂 3분을 적용하였다. 熱壓壓力는 35kgf/cm<sup>2</sup>으로 하였다. 또한 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 熱壓溫度 尿素樹脂 140℃, 페놀樹脂 160℃, PMDI樹脂 170℃를 적용하였고 熱壓時間은 尿素樹脂 6분, 페놀樹脂 8분, PMDI樹脂 4분을 적용하였다. 熱壓壓力는 35kgf/cm<sup>2</sup>으로 하였다(단, 比重 0.9의 PMDI 보드는 50kgf/cm<sup>2</sup>, 5분을 적용함).

### 2.2.3. 複合材의 引張強度 測定

複合材의 引張強度는 ASTM D 1037(1993)에 의거하여 測定하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3.1. 比重, 含水率

韓紙 슬러지-木材 纖維 및 木材 파티클 複合材의 比重과 含水率 測定 結果는 Table 1에 나타난 바와 같다. 먼저 複合材의 比重은 目標比重 0.6, 0.75, 0.9에 있어 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材는 0.63~0.65, 0.71~0.80, 0.91~0.98의 범위를 보이고 있으며 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 0.58~0.65, 0.73~0.75, 0.88~0.90의 범위를 나타내고 있다. Table 1에서 알 수 있듯이 各 構成形態에 따른 目標比重과 실제 製造한 複合材의 比重 差異는 纖維板보다 파티클보드에서 그 誤差가 작음을 알 수 있었다. 이러한 현상의 원인으로써 韓紙 슬러지 중 黑色 슬러지는 纖維狀이 아니고 粒子狀으로 되어 있어 木材 纖維 보다 木材 파티클과 잘 混合되기 때문에 複合材의 比重에서 약간의 誤差가 發生될 수 있었다고 생각된다.

複合材의 含水率은 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材는 7.7~10.5%였고, 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 5.1~15.6%의 범위를 보이고 있다.

### 3.2. 引張強度

#### 3.2.1 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材

韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材의 引張強度 測定 結果는 Table 1과 Fig. 1, 2, 3에 나타난 바와 같다. 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材의 引張強度는 PMDI樹脂를 적용하였을 때 比重에 따라 각각 56.4~92.3kgf/cm<sup>2</sup>, 92.9~140.3kgf/cm<sup>2</sup>, 134.0~211.4kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 보이고 있으며 尿素樹脂의 경우 比重에 따라 각각 67.8~92.6kgf/cm<sup>2</sup>, 111.8~178.8kgf/cm<sup>2</sup>, 142.8~227.0kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내고 있고 페놀樹脂를 적용하였을 때는 比重에 따라 각각 38.6~56.3kgf/cm<sup>2</sup>, 51.0~64.5kgf/cm<sup>2</sup>, 68.1~118.3kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 보이고 있다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 韓紙 슬러지의 混合比率이 增加함에 따라 接着劑 種類에 관계없이 引張強度가 減少함을 알 수 있었고 또한 比重이 增加함에 따라 引張強度가 增加하는 현상을 뚜렷하게 보여 주었다. 接着劑 種類別로 비교해 보면 複合材 比重이 0.6일 경우 페놀樹脂가 다소 떨어지는 경향을 보이고 있으며 PMDI樹脂와 尿素樹脂 間에는 큰 差異를 볼 수 없었다. 比重 0.75와 0.9일 경우는 尿素樹脂 接着劑가 가장 우수하였고 그 다음 PMDI樹脂, 페놀樹脂 順이었다. 이는 接着劑 間添加量を 달리 塗布하였기 때문이라 판단되며 결국 複合材의 引張強度는 接着劑 자체의 고유 物性보다 添加量의 影響이 더 크게 미치기 때문이라 생각된다.

한편 Youngquist(1981)가 발표한 결과를 보면 軟質纖維板의 引張強度는 14~55kgf/cm<sup>2</sup>, 中密度纖維板의 引張強度는 69~276kgf/cm<sup>2</sup> 그리고 硬質纖維板의 引張強度는 207~414kgf/cm<sup>2</sup>의 범위 내에 存在한다고 보고한 바와 같다. 이 결과와 비교해 볼 때 本 研究에서 製造한 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材는 全 比重에 걸쳐 만족할 만한 引張強度를 지녔다고 볼 수 있으며 다만 韓紙 슬러지 混合比率이 40%일 경우는 다소 引張強度가 큰 幅으로 떨어진다고 볼 수 있다.

Table 1. Specific gravity, moisture content and tensile strength of Hanji(black) sludge-wood fiber and wood particle composites.

Resin Type	Target SpGr	Mixed Ratio (%)	Fiberboard			Particleboard				
			SpGr <sup>1)</sup>	Moisture Content <sup>2)</sup> (%)	Tensile Strength <sup>3)</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	SpGr	Moisture Content (%)	Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
PMDI	0.6	10	0.63±0.02*	8.2±0.38	92.3±7.6	A**	0.58±0.02	5.7±0.44	34.0±4.6	A
		20	0.64±0.04	9.2±0.37	84.6±6.5	B	0.60±0.03	6.2±0.37	26.6±2.8	B
		30	0.65±0.04	9.9±0.51	67.8±9.6	C	0.59±0.02	6.3±0.97	15.8±1.2	C
		40	0.64±0.06	10.5±0.31	56.4±7.6	D	0.59±0.01	7.0±0.58	13.7±2.8	C
	0.75	10	0.75±0.04	8.4±0.16	140.3±11.0	A	0.73±0.03	5.8±0.97	39.2±6.5	A
		20	0.71±0.02	9.7±0.39	114.7±15.7	B	0.74±0.02	5.9±0.31	28.5±4.9	B
		30	0.78±0.06	9.5±0.86	103.6±0.5	B	0.74±0.04	6.2±0.54	21.7±3.7	BC
		40	0.76±0.05	9.2±0.39	92.9±11.9	C	0.75±0.01	6.3±0.62	18.6±2.3	C
	0.9	10	0.91±0.20	8.6±0.58	211.4±16.2	A	0.90±0.03	5.9±0.59	88.8±6.4	A
		20	0.91±0.02	8.3±0.23	210.2±12.9	A	0.90±0.03	5.9±0.63	77.3±9.9	A
		30	0.93±0.04	9.0±0.07	170.2±13.0	B	0.88±0.02	5.1±1.22	49.4±6.7	B
		40	0.95±0.05	9.4±0.32	134.0±0.5	C	0.88±0.02	6.0±0.57	39.5±8.0	B
Urea	0.6	10	0.65±0.03	8.1±0.15	92.6±7.5	A	0.62±0.02	6.1±0.44	45.3±7.7	A
		20	0.63±0.01	9.3±0.38	91.0±3.0	A	0.64±0.01	6.9±2.30	28.2±5.1	B
		30	0.64±0.05	9.2±0.14	85.0±9.1	A	0.62±0.05	15.6±8.30	24.9±3.5	B
		40	0.65±0.04	9.0±0.36	67.8±6.2	B	0.65±0.01	8.6±0.54	19.1±5.1	B
	0.75	10	0.80±0.03	8.1±0.21	175.1±18.8	A	0.75±0.01	7.6±1.15	66.2±8.6	A
		20	0.77±0.04	8.8±0.63	178.8±12.3	A	0.74±0.04	7.9±0.35	51.9±3.2	B
		30	0.76±0.03	9.3±0.33	126.0±8.3	B	0.73±0.02	8.3±0.42	47.6±8.8	B
		40	0.76±0.03	9.1±0.36	111.8±11.8	B	0.74±0.02	8.8±0.65	33.7±4.2	C
	0.9	10	0.94±0.03	8.5±0.84	227.0±5.3	A	0.90±0.04	7.3±1.04	86.6±3.1	A
		20	0.91±0.04	7.9±0.12	218.2±13.3	A	0.89±0.02	7.6±0.85	79.6±7.2	A
		30	0.93±0.06	9.1±0.55	174.6±12.0	B	0.89±0.02	9.2±1.22	53.2±3.4	B
		40	0.94±0.03	9.4±0.26	142.8±12.2	C	0.88±0.02	8.8±0.33	35.6±3.0	C
Phenol	0.6	10	0.63±0.05	7.0±0.34	56.3±1.2	A	0.61±0.03	6.4±0.40	27.0±3.5	A
		20	0.65±0.04	8.0±0.42	51.0±7.8	A	0.58±0.03	6.4±0.48	15.4±4.1	B
		30	0.63±0.02	8.8±0.56	42.0±7.1	AB	0.58±0.03	6.9±0.45	10.3±2.4	BC
		40	0.64±0.10	9.7±0.53	38.6±7.9	B	0.58±0.03	7.7±0.73	9.7±2.5	C
	0.75	10	0.79±0.03	9.5±2.59	64.5±7.9	A	0.75±0.01	6.2±0.34	43.6±3.9	A
		20	0.79±0.05	8.4±0.53	63.7±7.3	A	0.74±0.01	6.0±0.57	21.1±2.4	B
		30	0.75±0.05	8.1±0.11	54.1±8.7	B	0.75±0.04	6.5±0.58	20.4±4.6	B
		40	0.74±0.08	8.8±0.37	51.0±5.7	B	0.75±0.03	5.6±2.38	19.2±3.5	B
	0.9	10	0.98±0.03	7.0±0.19	118.3±24.5	A	0.86±0.01	6.1±0.43	79.1±8.7	A
		20	0.97±0.04	8.0±0.13	99.4±10.4	B	0.90±0.01	6.2±0.70	77.0±11.3	A
		30	0.91±0.06	7.7±0.50	83.4±3.5	C	0.90±0.03	7.5±1.25	64.6±5.8	AB
		40	0.94±0.05	8.7±0.53	68.1±10.2	C	0.90±0.02	6.2±0.57	51.0±15.5	B
PMDI	0.75	0	0.74±0.02	7.8±0.51	186.6±11.0		0.75±0.01	4.9±0.43	60.6±7.3	
Urea	0.75	0	0.76±0.04	7.7±0.57	158.9±14.7		0.74±0.04	7.4±2.11	37.5±3.2	
Phenol	0.75	0	0.71±0.03	7.2±0.13	86.2±0.7		6.95±3.10	1.6±0.48	36.0±4.8	

<sup>1)</sup> Based on oven-dry volume

<sup>2)</sup> Based on oven-dry weight

<sup>3)</sup> Each mean value of specimens from 5 replication

\* Standard deviation

\*\* Means with the same letter are not significantly different at the 5% level Tukey's test.

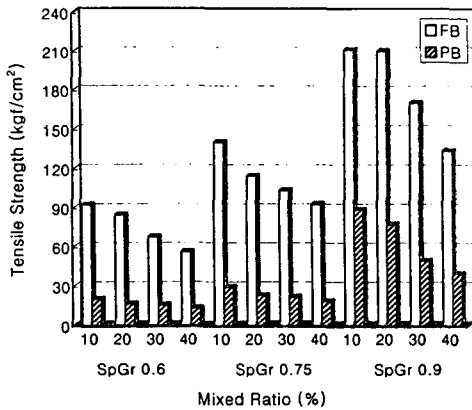


Fig. 1 Tensile strength of Hanji sludge-wood fiber and wood particle composites(PMDI resin).

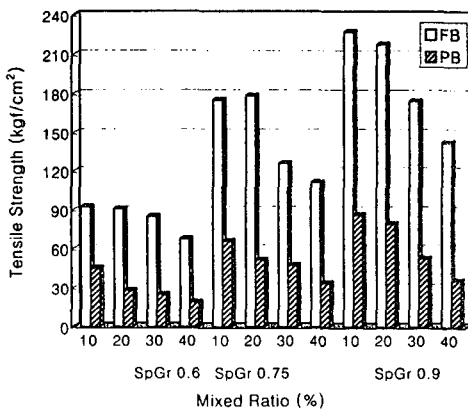


Fig. 2 Tensile strength of Hanji sludge-wood fiber and wood particle composites(UF resin).

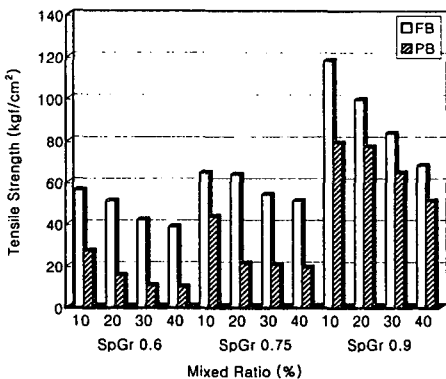


Fig. 3 Tensile strength of Hanji sludge-wood fiber and wood particle composites(PF resin).

또한 laminated paperboard의 引張強度는 대략 117~145kgf/cm<sup>2</sup>을 가지고 있는데 이 값과 비교해 볼 때 接着劑는 PMDI樹脂나 尿素樹脂를 적용하고 複合材의 比重은 0.75~0.9로 하며 韓紙 슬러지의 混合比率을 30%까지 混合한다면 複合材로서 그 可能性이 있으리라 기대된다.

### 3.2.2. 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材

韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材의 引張強度는 Table 1과 Fig. 1, 2, 3과 같았다. 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材의 引張強度는 PMDI樹脂를 添加하였을 때 세 目標比重別로 13.7~34.0kgf/cm<sup>2</sup>, 18.6~39.2kgf/cm<sup>2</sup>, 39.5~88.8kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내었고 尿素樹脂는 각각 19.1~45.3kgf/cm<sup>2</sup>, 33.7~66.2kgf/cm<sup>2</sup>, 35.6~86.6kgf/cm<sup>2</sup>, 페놀樹脂의 경우는 각각 9.7~27.0kgf/cm<sup>2</sup>, 19.2~43.6kgf/cm<sup>2</sup>, 51.0~79.1kgf/cm<sup>2</sup>의 범위를 보여주고 있다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 木材 纖維 複合材와 같이 韓紙 슬러지의 混合比率이 增加함에 따라 接着劑 種類에 관계없이 引張強度가 減少함을 알 수 있었고 또한 比重이 增加함에 따라 引張強度가 增加하는 현상을 뚜렷하게 보여 주고 있다.

Youngquist(1981)는 medium density particleboard(比重 0.6~0.8)의 引張強度는 34~276kgf/cm<sup>2</sup>, high density particleboard(比重 0.8~1.12)의 引張強度는 69~345kgf/cm<sup>2</sup>의 범위내에 存在한다고 보고한 바와 있다. 다만 引張強度만으로 이 결과와 비교해 볼 때 本研究에서 製造한 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 低比重일 경우 만족할 만한 引張強度를 지녔다고 볼 수는 없지만 高比重일 경우 위 세 種類의 接着劑를 적용하여 韓紙 슬러지 混合比率이 20%일 경우는 대체로 만족할 만한 結果를 얻었다.

結論적으로 韓紙 슬러지를 木材 纖維와 木材 파티클에 混合하였을 경우 木材 纖維 複合材가 木材 파티클 複合材보다 引張強度면에서 더 우수한 결과를 보이고 있는데 이는 韓紙 슬러지가 粉末狀이라 成形工程時에는 木材 파티클과 잘 混合되어 있어 보이나 실제로 複合材 內에 添加될 때 韓紙 슬러지의 充填劑인 役割보다는 木材 纖維와 纖維 사이의 物理的인 架橋結合이 木材 파티클과 파티

클 사이의 架橋結合보다 더 크기 때문에 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材가 韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材보다 더 큰 引張強度를 나타낸 것이라 생각된다.

#### 4. 結 論

韓紙 슬러지를 이용한 韓紙 슬러지-木材 纖維 및 木材 파티클 複合材를 開發하기 위하여 韓紙 슬러지의 混合比率, 接着劑의 種類, 複合材의 比重을 달리하여 各 複合材의 引張強度를 측정 한 결과 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

韓紙 슬러지-木材 纖維 및 木材 파티클 複合材 모두 韓紙 슬러지의 混合比率이 10, 20, 30, 40%로 增加함에 따라 接着劑 種類에 관계없이 引張強度가 減少함을 알 수 있었고, 比重이 增加함에 따라 引張強度가 增加하는 현상을 뚜렷하게 보여 주었다.

韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材보다도 引張強度가 큰 韓紙 슬러지-木材 纖維 複合材의 경우, 接着劑 種類別로 비교해 보면 複合材 比重이 0.6일 경우 페놀樹脂 도포시 引張強度가 다소 떨어지는 경향을 보이고 있으며 PMDI樹脂와 尿素樹脂間에는 큰 差異를 볼 수 없었다. 比重 0.75와 0.9일 경우는 尿素樹脂와 PMDI樹脂 도포가 良好한 引張強度를 나타내었고 페놀樹脂는 不良하였다.

韓紙 슬러지-木材 파티클 複合材는 低比重일 경우 만족할 만한 引張強度를 지녔다고 볼 수는 없지만 高比重일 경우 위 세 種類의 接着劑를 사용하여 韓紙 슬러지 混合比率을 20% 정도까지 적용할 경우 대체로 만족할 만한 結果를 얻었다.

#### 5. 引用文獻

1. ASTM. 1993. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. pp 141-142.
2. Scott, G. M. and A. Smith. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for recycled fiber plants. Recycling Symposium Proceedings: 239-249.
3. Scott, G. M., S. Abubakr and A. Smith. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. International Environmental Conference Proceedings: 269-279.
4. Youngquist, J. A. 1981. Laminated wood-based composites. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 14, 3rd Edition.
5. 金大俊, 李弼宇. 1994. 製紙 슬러지의 添加가 尿素樹脂 파티클보드의 포름알데히드 放散 및 物理的, 機械的 性質에 미치는 影響. 木材工學 22(1): 44-53.
6. 孫廷一, 李弼宇. 1994. 製紙 슬러지-木材 파티클 混合보드의 내화성과 機械的 性質. 木材工學 22(1): 54-65.
7. 李弼宇, 孫廷一. 1993. 製紙 슬러지와 木材 파티클 混合 보드의 酸素指數. 서울大 農 學研究 18(1): 7-12.
8. 李弼宇, 尹炯雲. 1993. 三層 슬러지-파티클 보드의 製造와 物性. 韓國家具學會紙 4(2): 17-24.
9. 李弼宇, 尹炯雲. 1996. 構成形態와 構成比率別로 製造한 슬러지-파티클보드의 物理的 및 機械的 性質. 木材工學 24(1): 17-26.
10. 李弼宇, 尹炯雲, 金大俊, 孫廷一. 1993. 슬러지-파티클 보드의 製造 可能性 및 構成比率에 관한 基礎研究. 木材工學 21(2): 57-65.