

韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 製造研究*¹

II. 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 機械的 性質

李 弼 宇*^{2†} · 李 鶴 來*² · 孫 廷 一*² · 金 顯 中*²

Studies on Manufacture of Hanji(Korean Paper) Sludge · Wood Particle Composite*¹

II. Mechanical Properties of Hanji(Korean Paper) Sludge · Wood Particle Composite

Phil-Woo Lee*² · Hak-Lae Lee*² · Jungil Son*² · Hyun-Joong Kim*²

요 약

韓紙製造工程 中에서 發生하는 백색 슬러지와 흑색 슬러지를 각각 일정비율(10, 20, 30, 40%)로 木材 파티클 과 混合하고 PMDI, 요소 및 페놀수지를 이용하여 目標比重 0.60, 0.75, 0.90 별로 複合보드를 製造하여 機械的 性質을 측정한 결과 파티클보드에 韓紙 슬러지를 약 20%까지는 混合하여 複合材를 제조하여도 충분히 可能하리라 믿어진다.

ABSTRACT

This research was carried out to develop the Hanji(Korean paper) sludge · wood particle composite utilizing the waste sludges occurring from the making process of Hanji(Korean paper). At the research, four mixing ratios of white or black sludge to wood particle(10:90, 20:80, 30:70 and 40:60), three types of the resin adhesives(PMDI, urea and phenol resin) and three levels of the densities(0.60, 0.75 and 0.90) were designed to investigate the mechanical properties of Hanji(Korean paper) sludge · wood particle composite.

In the white and black sludge · wood particle composites, bending properties(MOR, MOE) showed the

*¹ 접수 2001년 11월 24일, 채택 2001년 12월 28일

본 논문은 통상산업부 기술개발사업 지원에 의한 연구결과임.

*² 서울대학교 생물자원공학부, School of Biological Resources & Materials Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

† 주저자(corresponding author) : Phil-Woo Lee (e-mail: hjokim@snu.ac.kr)

decreasing tendency according to the increase of sludge additive, but it was clearly increased with the increase of specific gravity. Also tensile strength had the same tendency as in these bending properties. The internal bond strength of white sludge · wood particle composite had no tendency, but that of black sludge · wood particle composite was decreased as an increase of Hanji sludge additive.

Keywords: Hanji(Korean paper) sludge, wood particle, black sludge, white sludge, bending properties, tensile strength, internal bond strength

1. 緒 論

본 研究는 廢棄物質인 韓紙 슬러지를 파티클보드에 混合하기 위한 연구로 第1報인 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 物理的 性質을 淸급한 바 있으며, 그 後續인 第2報로서 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 機械的 性質만을 다루었다. 環境오염원으로 심각하게 淸급하고 있는 韓紙 및 각종 製紙 슬러지는 製紙 과정에서 펄프 및 製紙 工場의 隣接적인 산물로 대량 발생되는 廢棄物質로서 이의 處理問題가 중요한 研究課題^{4,5,11,12}로 다루어져 왔다.

이와 같은 問題를 해결하기 위한 여러 研究^{7-10,15,16}가 서울大學校 農業生命科學大學 木質材料研究室에서 다년간에 걸쳐 수행되고 또한 여러 학회와 학술지를 통해 발표해 오고 있으며 國外에서도 第1報에서 밝힌 바 있듯이 이와 같은 研究^{2,3}가 실시된 바 있다. 한편 韓紙 슬러지는 이미 본 연구의 첫 번째 報告에서 韓紙製造過程에서 백색과 흑색 슬러지의 두 종류가 발생함을 기술한 바 있다.

따라서 본 研究에서는 백색과 흑색 슬러지별로 木材 파티클에 일정비율(10:90, 20:80, 30:70, 40:60)로 混合하여 比重(0.60, 0.75, 0.90)과 接着劑(PMDI 수지, 페놀수지, 요소수지)별로 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드를 製造한 후 韌破壞係數(Modulus of Rupture: MOR)와 韌彈性係數(Modulus of Elasticity: MOE), 그리고 引張強度(Tensile Strength: TS), 剝離強度(Internal Bond Strength: IB)를 측정하였다. 그리고 第1報에서 韓紙 슬러지가 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 物理的 性質에 미치는 영향을 分析, 考察한 바와 같이 본 研究에서도 韓紙 슬러지가 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 機械

的 性質에 어떠한 영향을 미치는가를 分析, 考察하고자 한다.

2. 材料 및 方法

2.1. 公시재료

2.1.1. 韓紙 슬러지

본 研究에서 사용한 韓紙 슬러지는 국내 某 韓紙 製造 工場들로부터 분양받아 사용하였다. 韓紙 슬러지는 製造 工程에서 최종처리 후 廢棄된 것을 그 색상에 따라 백색 슬러지와 흑색 슬러지로 나누어 사용하였다. 백색 슬러지는 C 韓紙 製造工場에서 최종처리 후 發生한 것으로 纖維狀이며 실제 색상은 황갈색이었다. 또 흑색 슬러지는 中小企業廳 산하 某 韓紙 組合에서 수거한 것을 분양받은 것으로 粉末狀이었다. 백색 슬러지는 함수율 70% 이상의 것을 天然乾燥를 시켜 대략 함수율 30% 전후의 상태에서 1차 분쇄를 통하여 영킨 纖維를 풀어준 후 다시 乾燥시켜 함수율 15~20% 상태에서 2차 분쇄를 통하여 短纖維化하였다. 그 후 체진동기를 이용하여 4~25 mesh로 選別하여 함수율 10% 정도로 乾燥 조정하여 사용하였다. 흑색슬러지 역시 백색슬러지와 똑같은 처리과정을 거친 다음 체진동기를 이용하여 5 mesh로 選別하여, 역시 함수율 10% 정도로 乾燥하여 사용하였다.

2.1.2. 木材 파티클

木材 파티클은 3層 파티클보드의 表層用 칩으로 某 파티클보드 工場에서 분양 받아 사용하였다. 樹種은

동남아산 열대재 混合 樹種이며 이 때의 함유율은 3~4%였다.

2.1.3. 接着劑

본 研究에서 사용한 接着劑는 고형분 63%의 요소수지(Urea-formaldehyde resin)와 고형분 40%의 페놀수지(Phenol formaldehyde resin), 그리고 고형분 92%의 PMDI(Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate) 수지를 사용하였다.

2.1.4. 硬化劑

硬化劑로는 요소수지 接着劑의 경우 수지 고형분에 대하여 염화암모늄(10% NH₄Cl) 수용액을 10%, 그리고 석탄산수지 접착제의 경우 수지 고형분에 대하여 염산(10% HCl) 수용액 10%를 添加하였다.

2.2. 實驗方法

2.2.1. 製造變數

본 研究에서는 韓紙 슬러지 對 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(요소, 페놀, PMDI)를 製造變數로 하여 製造하였다. 또한 木材 파티클만을 이용하고, 요소, 페놀, PMDI 수지를 이용하여 파티클 보드를 製造하여 對照보드로 하였다.

2.2.2. 複合材 製造

複合材의 크기는 길이, 폭, 두께가 25, 20, 1.0 cm로 製造하였다. 複合材 製造를 위하여 韓紙 슬러지와 木材 파티클을 均一하게 混合한 후, 混合된 原料를 동일한 조건에서 드럼브렌더를 이용하여 요소수지는 파티클 전건무게에 대하여 10%, 페놀수지는 5%, 그리고 PMDI는 2.5%를 첨가하였다. 熱壓溫度는 요소 140℃, 페놀 160℃, MDI 170℃를 적용하였고 熱壓時間은 요소 6분, 페놀 8분, MDI 4분을 적용하였다. 熱壓壓力는 35 kg/cm²으로 하였다(단, 비중 0.9의 MDI 수지적용시 50 kg/cm², 5분을 적용함). 제조

Fig. 1. Modulus of rupture of Hanji(Korean paper) white sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

된 보드는 溫度 20±1℃, 相對濕度 65±3%의 恒溫 恒濕室에서 수주간 調濕處理하였다.

2.2.3. 複合材의 機械的 性質 評價

複合材의 機械的 性質은 ASTM D 1037¹⁾에 의하여 휨強度(MOR, MOE), 引張強度(TS), 剝離強度(IB)를 측정, 계산하였다.

3. 結果 및 考察

3.1. 휨強度

韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 휨破壞係數와 휨彈性係數 측정결과는 Fig. 1~4에 나타난 바와 같다. 백색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 휨破壞係數는 接着劑 種類에 관계없이 比重이 증가함에 따라 증가함을 나타내고 있으며, 또한 휨彈性係數는 휨破壞係數의 경우와 같이 比重이 증가하면 휨彈性係數도 증가함을 뚜렷하게 나타냈다. 한편, 흑색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 휨破壞係數는 백색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 경우와 같이 比重

Fig. 2. Modulus of rupture Hanji(Korean paper) black sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

Fig. 3. Modulus of elasticity of Hanji(Korean paper) white sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

이 증가하면 휨破壞係數가 뚜렷하게 증가하였다. 또한 흑색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 휨彈性係數는 比重이 증가하면 휨彈性係數도 증가하는 경향이 뚜렷하였다.

위의 결과에서 볼 수 있듯이 複合材의 휨破壞係數는 대체적으로 백색 슬러지를 적용한 複合材가 흑색

Fig. 4. Modulus of elasticity of Hanji(Korean paper) black sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

슬러지를 적용한 複合材보다 높은 값을 나타내었다. 그러나 휨彈性係數의 경우는 일정한 경향없이 나타났다. 그리고 백색 슬러지와 흑색 슬러지 복합 보드 모두 슬러지의 혼합비율이 증가함에 따라 接着劑 종류에 관계없이 휨破壞係數 및 휨彈性係數가 감소함을 알 수 있었으며 반면에 比重이 증가함에 따라 複合材의 휨强度的 性質이 증가함을 알 수 있었다.

본 研究에서 韓紙 슬러지 백색과 흑색 · 木材 파티클 複合보드는 전반적으로 韓紙 슬러지 배합비율을 높이면 휨彈性係數와 휨破壞係數가 저하하지만 보드밀도가 낮으면 強度는 현저하게 떨어지게 된다는 것을 뚜렷하게 나타내었다. 따라서 比重 0.6일 경우 휨强度的 性質이 매우 낮아 KS¹⁷⁾가 규정하는 보드 타입에 만족하지 못하였으나 비중 0.75일 때는 백색 슬러지 및 흑색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드 모두 요소수지를 적용하여 30%까지 한지 슬러지를 혼합하면 KS 규정¹⁷⁾의 100타입 보드 이상의 강도를 나타내었다. 그리고 백색 슬러지만 혼합한 경우를 보면 比重 0.75에서 PMDI 수치 및 페놀수지를 적용하였을 때 슬러지 混合比率를 20%까지 에서 100타입 보드를 만족시킬 수 있었다. 또한 비중 0.9일 경우는 韓紙 슬러지 및 接着劑 종류에 관계없이 韓紙 슬러지 混合比率가 30%까지는 100타입 보드를 만족시킬 수 있었

Fig. 5. Tensile strength of Hanji(Korean paper) white sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

으며 10, 20%까지 混合하였을 때는 150타입 보드를 만족시킬 수 있다고 믿어진다.

이전의 研究¹¹⁻¹⁴⁾ 등에서의 같이 製紙 슬러지를 20~30% 첨가하여도 韌破壞係數와 韌彈性係數에는 큰 영향없이 複合보드를 製造할 수 있었다는 저자 등의 보고에서와 같이 본 研究에서도 韓紙 슬러지를 木材 파티클에 혼합할 경우에 接着劑 종류에 관계없이 比重을 높여서 0.75 이상의 複合材를 製造한다면 韓紙 슬러지 30%까지는 혼합 가능하리라고 판단된다. 특히 PMDI와 요소수지를 각 재료에 알맞게 적용한다면 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 믿어진다.

3.2. 引張強度

韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 引張強度 측정결과는 Fig. 5, 6과 같다. 결과에서 알 수 있듯이 引張強度에서도 韌強度的 性質과 같이 대체적으로 백색 슬러지를 적용한 複合材가 흑색 슬러지를 적용한 複合材보다 높은 값을 나타내었다. 韌強度的 性質일 경우는 몇몇 인자에 한하여 이런 현상을 보이거나 引張強度는 전 인자에 걸쳐 백색 슬러지 複合보드가 흑색 슬러지 複合보드보다 높음을 알 수 있었다. 이

Fig. 6. Tensile strength of Hanji(Korean paper) black sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

는 백색 슬러지가 纖維狀이기 때문에 일정한 방향으로 배열되어 引張強度的 性質에 영향을 준 것으로 생각된다.

한편, 백색 슬러지와 흑색 슬러지 複合보드 모두 슬러지의 混合比率이 증가함에 따라 接着劑 種類에 관계없이 引張強度가 감소함을 알 수 있었으며 반면에 比重이 증가함에 따라 引張強度가 증가하는 현상을 뚜렷하게 보여 주고 있다. KS에는 규정된 기준치가 없지만 Youngquist⁶⁾가 보고한 자료에 의하면 medium density particleboard(비중 0.6~0.8)의 引張強度는 34~276 kgf/cm², high density particleboard(비중 0.8~1.12)의 引張強度는 69~345 kgf/cm²의 범위 내에 존재한다고 보고한 바 있다. 다만 引張強度만으로 이 결과와 비교해 볼 때 본 研究에서 제조한 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드는 저비중일 경우 만족할 만한 引張強度를 지녔다고 볼 수는 없지만 고비중일 경우 위 세 종류의 接着劑를 적용하여 韓紙 슬러지 混合비율이 20%까지는 대체로 만족할 만한 결과를 얻었다고 볼 수 있다. 또한 Laminated paperboard의 引張強度는 대략 117~145 kgf/cm²을 가지고 있는데 이 값과 비교해 볼 때 接着劑는 PMDI 수지나 요소수지를 적용하여 複合材의

Fig. 7. Internal bond strength of Hanji(Korean paper) white sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

比重은 0.75~0.9로 하여 韓紙 슬러지의 혼합비율을 30%까지 혼합한다면 複合材로서의 製造可能性이 있으리라 기대된다.

3.3. 剝離強度

韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 剝離強度는 Fig. 7, 8에 나타낸 바와 같다. 백색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 剝離強度는 PMDI 수지를 적용하였을 때 比重에 따라 각각 0.60일 때 1.54~1.87 kgf/cm², 0.75일 때 1.83~3.96 kgf/cm², 0.90일 때 3.69~6.21 kgf/cm²의 범위를 보이고 있으며 페놀수지의 경우 比重에 따라 각각 1.20~1.27 kgf/cm², 1.38~2.31 kgf/cm², 1.56~3.57 kgf/cm²의 범위를 나타내고 있고 요소수지를 적용하였을 때는 比重에 따라 각각 2.08~3.63 kgf/cm², 2.54~9.25 kgf/cm², 6.81~10.02 kgf/cm²의 범위를 보이고 있다. 반면에 흑색 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 剝離強度는 PMDI 수지를 적용하였을 때 比重에 따라 각각 0.60일 때 0.75일 때 1.03~1.69 kgf/cm², 0.90일 때 1.91~2.73 kgf/cm², 2.98~5.10 kgf/cm²의 범위를 보이고 있으며 페놀수지의 경우 比重에 따라 각각 1.12~

Fig. 8. Internal bond strength of Hanji(Korean paper) black sludge · wood particle composite by mixing ratio of sludge, specific gravities and resin types.

2.16 kgf/cm², 1.11~1.75 kgf/cm², 2.26~4.28 kgf/cm²의 범위를 나타내고 있고 요소수지를 적용하였을 때는 比重에 따라 각각 1.62~4.81 kgf/cm², 3.04~6.06 kgf/cm², 3.41~7.02 kgf/cm²의 범위를 보이고 있다. 剝離強度의 경우 KS 규정¹⁷⁾에 의하면 1.5~3.0 kgf/cm²(比重 0.6~0.9)으로 규정하고 있는데 이 값과 비교해 보면 PMDI 수지와 요소수지를 적용한 複合材의 경우 모든 인자에 대해 만족할 만한 결과를 나타낸 것으로 믿어진다. 또, 백색 슬러지의 경우 混合比率이 증가할수록 剝離強度의 경향이 일정한 경향없이 나타난데 반해 흑색 슬러지는 混合比率이 증가할수록 剝離強度가 다소 감소하는 경향이 있음을 알 수 있었다. 특히 요소수지를 첨가한 韓紙 슬러지 · 木材 파티클 複合보드의 剝離強度가 다른 接着劑를 첨가한 複合材의 剝離強度보다 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있었는데 이는 요소수지의 添加量이 다른 수지에 비해 많기 때문에 木材 파티클을 충분히 적셔주어 韓紙 슬러지를 균등히 접착시킬 수 있어 성형시에 나타난 결과로 생각되고 있으며 이러한 현상으로부터 유추해 볼 때 결국 複合材의 剝離強度는 接着劑 자체의 고유 물성보다 添加量의 영향이 더 크게 미쳤기 때문이라 추측된다.

4. 結 論

韓紙 슬러지를 이용한 韓紙 슬러지·木材 파티클 복합보드를 개발하기 위하여 韓紙 슬러지 對 木材 파티클의 混合比率, 樹脂의 種類, 比重 등을 달리하여 複合材를 製造한 후 機械的 性質을 측정한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 韓紙 슬러지·木材 파티클 복합보드의 韌破壞係數는 대체적으로 백색 슬러지를 적용한 複合材가 흑색 슬러지를 混合한 複合材보다 높은 값을 나타내었다. 그러나 韌彈性係數의 경우는 일정한 경향없이 나타났다. 백색 슬러지와 흑색 슬러지 複合보드 모두 슬러지의 混合比率이 증가함에 따라 接着劑 種類에 관계없이 韌破壞係數 및 韌彈性係數가 감소함을 알 수 있었으며 또한 比重이 증가함에 따라 複合材의 韌强度的 性質도 증가함을 알 수 있었다.

2) 引張强度的 性質을 살펴보면 대체로 백색 슬러지를 적용한 複合材가 흑색 슬러지를 적용한 複合材보다 높은 값을 나타내었다. 백색 슬러지와 흑색 슬러지 複合보드 모두 슬러지의 混合比率이 증가함에 따라 接着劑 종류에 관계없이 引張强度가 감소함을 알 수 있었으며 또한 比重이 증가함에 따라 引張强度가 증가하는 현상이 뚜렷하게 보여 주었다.

3) 剝離强度的 경우 백색 슬러지의 混合比率이 증가할수록 剝離强度的 경향이 일정한 규칙없이 임의로 변화하는데 반해 흑색 슬러지는 混合比率이 증가할수록 剝離强度가 다소 감소하였다.

4) 결론적으로 본 研究에서 製造한 複合材의 機械的 性質을 고려해 판단할 때 파티클보드에 韓紙 슬러지를 약 20%까지는 혼합하여 複合材를 製造하여도 충분히 가능하리라 믿어진다.

參 考 文 獻

1. ASTM. 1993. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Materials.
2. Krzysik, A. M., J. A. Youngquist, R. M. Rowell, J. H. Muehl, P. Chow, and S. R. Shook. 1993. Feasibility

- of using recycled newspapers as a fiber source for dry-process hardboards, Forest Products Journal 43(7/8): 53~58.
3. Rowell, R. M. and S. Harrison. 1992. Fiber based composites from recycled mixed paper and magazine stock. 1992. Materials Research Society Symp. Proc. Vol. 266: 65~72.
4. Tay, J. H. 1986. Potential use of sludge ash as construction material. Resource & Conservation. 13: 53~58.
5. Tay, J. H. 1989. Sludge ash as filler for portland cement concrete. J. Environmental Engineering. 113(2): 345~351.
6. Youngquist, J. A. 1981. Laminated wood-based composites. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 14, 3rd Edition.
7. 金大俊, 李弼宇. 1994. 제지 슬러지의 첨가가 요소수지 파티클보드의 폼알데히드 방산 및 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향. 木材工學 22(3): 44~53.
8. 孫廷一, 李弼宇. 1994. 슬러지-파티클 보드의 難燃性和 機械的 性質. 木材工學 22(3): 54~65.
9. 孫廷一, 李弼宇. 1994. 내화처리 구성형태에 따른 삼층 및 혼합 슬러지-파티클 보드의 耐火性. 韓國木材工學會 학술논문발표요지집(추계). 67~71.
10. 李弼宇, 孫廷一. 1993. 製紙 슬러지-木材 파티클 混合보드의 酸素指數. 서울大 農學研究 18(1): 7~12.
11. 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.
12. 李弼宇, 尹炯雲. 1993. 삼층 슬러지-파티클 보드의 製造와 物性. 韓國家具學會誌 5(2): 50~61.
13. 李弼宇, 尹炯雲. 1996. 구성형태와 구성비율별로 제조한 슬러지-파티클보드의 物理的 및 機械的 性質. 木材工學 24(1): 17~26.
14. 李弼宇, 李喆周. 1996. PMDI(Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate)수지를 이용한 신문고지纖維-木纖維 混合 하드보드의 物理的 및 機械的 性質. 서울大 農學研究 21(2): 95~103.
15. 李弼宇, 李鶴來. 1999. 韓紙 슬러지-木材纖維 複合보드의 製造研究 I. 韓紙슬러지-木材纖維 複合보드의 物理的 性質. 木材工學 27(2): 23~30.
16. 李弼宇, 李鶴來. 1999. 韓紙 슬러지-木材纖維 複合보드의 製造研究 II. 韓紙슬러지-木材纖維 複合보드의 機械的 性質. 木材工學 27(2): 31~37.
17. 韓國工業規格. 1987. 파티클보드(KS F 3104).