

製紙 슬러지-시멘트보드의 製造可能性에 關한 研究(Ⅱ)*¹

— 物理·機械的 性質 및 SEM 測定 —

金思翼·吳正壽*²

Studies on Manufacturing Possibility of Paper Sludge-Cement Boards (Ⅱ)*¹

— Physical and Mechanical Properties and SEM Observation —

Sa-Ick Kim · Jung-Soo Oh*²

ABSTRACT

The possibility of reusing the paper sludge as a raw material of composition board mixed with cement was investigated.

For the measurement of physical and mechanical properties, wood-cement board and sludge combinend cement boards were fabricated with the three weigh ratios of paper sludge 10%(SⅠ), 20%(SⅡ) and 30%(SⅢ) to cement weight.

For adding the cement hardning, CaCl₂ was also added to each mixed paste with the ratio of 1%, 3% and 5% to cement weight, respectively.

Crystal formation in paper sludge-, wood-cement composites was observed by scanning electron microscope.

The results were summarized as follows.

1. Density and partial compressive strength of each specimens were relatively high in the order of sludge I, sludge Ⅱ, Korean pine, Italian poplar and sludge Ⅲ, sludge I, Korean pine, sludge Ⅱ, Italian poplar and sludge Ⅲ.
2. The mechanical properties of sludge-cement boards (SⅠ and Ⅱ) were higher than that of wood-cement boards prepared with Korean pine and Italian poplar. But the mechanical properties of wood-cement boards were improved by the adding of CaCl₂.
3. Water absorption and thickness swelling were increased with increase of sludge content to cement weight.
4. In SEM observation, sludge-cement composites showed sufficiently formed crystals but wood-cement composites showed poorly formed crystals.

Keywords : Paper sludge-cement boards, wood-cement boards, physical and mechanical properties, SEM-observation

*1. 接受 1994年 4月 11日 Received April 11, 1994

*2 東國大學校 農科大學 College of Agriculture, Dongguk University, 100-715, Korea

1. 緒 論

急速한 産業化와 人口增加 및 生活水準 向上으로 인한 消費量의 增大는 必然的으로 生活쓰레기와 産業廢棄物을 大量으로 發生시켰고, 이들 廢棄物에 의하여 招來되는 地球環境汚染은 深刻한 社會問題로 認識되고 있다. 이러한 諸問題들을 解決하기 위한 研究와 對策들이 여러 分野에서 檢討 樹立되고 있으나 아직은 未洽한 實情에 있다. 廢棄物의 가장 흔하고 손쉬운 處理方法은 埋立이지만 埋立地의 選擇은 날이 갈수록 어려워지고 있고 環境汚染 防止 側面에서도 制約事項이 너무 많은 形便이다. 따라서 貴重한 纖維資源이면서도 제대로 再活用되지 못하고 埋立 廢棄되고 있는 製紙 슬러지를 資源화한다면 廢棄物의 量을 줄임과 同時에 環境保護는 물론 附加價値 提高에 큰 寄與가 될 것이다. 이러한 趣旨下에서 시멘트 슬러리에 製紙 슬러지를 混合하여 建築資材用 패널을 製造코자 하였다. 一般的으로 木質原料를 混合하여 製造된 木質 시멘트보드는 難燃性 및 耐候性이 優秀하고 寸수安定性이 뛰어난 特徵이 있다. 그러나, 木材成分의 一部分이 시멘트의 水和反應에 障害要因으로 作用하여 結合力을 弱화시키기 때문에 諸般 物性이 떨어지는 問題點을 안고 있다. 그러므로 本 研究에서는 펄프化 過程에서 抽出物이 除去된 製紙 슬러지와 天然 組成成分을 損失없이 그대로 지니고 있는 針·闊葉樹 木粉을 시멘트와 混合하였을 때의 水和反應을 測定한 前報¹⁾에 이어 시멘트와의 보드製造의 可能性 與否를 밝히고자 하였다. 아울러 硬化促進劑의 添加效果를 究明하여 硬化障害 問題를 改善하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2. 1 供試보드의 製造 및 物性測定

2. 1. 1 供試보드의 製造

試驗片을 製造하기 위한 混合比率는 시멘트의 強度가 물/시멘트比, 슬러지 또는 木粉/시멘트比, 슬러지 또는 木粉의 成分, 養生期間에 따라 보드 物性이 變化되는 點을 考慮하여 물/시멘트比가 0.50~0.65가 되도록 實驗한 結果²⁾와 Weather-wax³⁾의 木粉 1 g 當 2.7 ml, 시멘트 1 g 當 0.25 ml의 蒸溜水를 添加하여 試驗片을 製造한 例를 參考하여 시멘트에 대한 比로 重量當 10%(S I), 20%(S II), 30%(S III) 添加하여, 15 ℓ用 500 rpm의 攪拌機로 充分히 攪拌, 均質化한 slurry를 製造

하였다. 이 slurry를 25×25 cm 크기의 試驗片을 製造하기 위하여 日本 KITAGWA SEIKI社의 VHI-305 TYPE 熱壓機를 利用하여 室溫狀態에서 壓縮, 成形하였다. 이 때, 基準 壓力은 30 kg/cm²로 하였으며, stopper를 插入하여 두께 1.2 cm의 매트가 되도록 調整하였다. 이 成型 매트를 一週日以上 養生하였다.

Table 1. Mixing ratio of sludge-, wood-cement boards.

Specimens	Sludge (g)	Cement (g)	Wood meal(g)	Distilled water(ml)
Sludge I (S I)	120	1,200		420
Sludge II (S II)	240	1,200		450
Sludge III (S III)	360	1,200		500
Korean pine(KP)		1,200	120	350
Italian poplar(IP)		1,200	120	350
Control(C)		1,200		270

* CaCl₂ was added 1, 3 and 5 percents to the weight of cement.

硬化促進을 위한 添加劑는 水和反應 測定時와 同一하게 CaCl₂ 를 使用하였으며, 시멘트에 대한 重量比로 1%, 3%, 5% 添加하였다. 試片은 2週日間 養生하였으며 對照區는 添加劑를 넣지 않았다.

2. 1. 2 供試보드의 物性測定

2. 1. 2. 1 密度

氣乾狀態의 供試體 重量을 測定하고 供試體를 24 時間 동안 常溫水에서 吸濕시킨 後 供試體의 부피를 測定하였다.

2. 1. 2. 2 部分壓縮強度

部分壓縮強度 測定은 美國 INSTRON社製 萬能材料試驗機를 使用하여 供試體의 20 mm×25 mm 面이 위로 향하게 놓고 丸棒의 斷面이 供試體 表面에 平行하게 壓縮, 供試體 表面으로부터 荷重點의 速度를 1 mm/분으로 하여 最大荷重을 測定하였다.

2. 1. 2. 3 휨 強度

KS F 3104와 KS F 4720 規定에 依하여 25 cm×5.0 cm×1.2 cm의 試片을 切取하여 日本 Shimadzu 社의 DCS-5000, Universal Testing Machine을 使用하여 3反復 測定하였다. 이 때 荷重速度는 5 mm/분으로 하였고, span은 200 mm로 하였다. 또한, 試驗片은 製造한 보드가 方向性이 없으므로 한 方向으로만 採取하였다.

2. 1. 2. 4 剝離強度

KS F 3104와 ASTM D1307-72의 規定에 依해 5 cm×5 cm×1.2 cm의 試片을 切取하여 鐵片과 試片을 环氧树脂系 接着劑로 붙여 日本 Shimadzu社의 DCS-5000, Universal Testing Machine을 使用하여 3反復 測定하였다. 이 때, 荷重速度는 1 mm/분으로 하였다.

2. 1. 2. 5 吸水率 및 두께 膨脹率

KS F 3104 와 JIS Z A5907 規定에 依據하여 試驗片을 25±1 °C의 물속에 水面에서 3 cm 程度 떨어져 水平으로 24 時間 담근 後 試驗片을 꺼내어 試驗片 中央部 두께를 精密度 0.05 mm까지 다이얼게이지로 測定하여, 그 平均値를 吸水率 및 두께 膨脹率로 하였다.

2. 1. 2. 6 SEM (Scanning electron microscope) 觀察

슬러지-시멘트間 및 木粉-시멘트間의 結合狀態와 微細構造를 살피기 위하여 SEM(AKASHI社製 ISI-SS130)으로 斷面을 觀察하였다. 試片 치수 供試試料를 導電性 接着劑로 供試帶에 定置한 後 ion sputter로 鍍金을 하고 加速電壓 15 kV, 倍率 3,500 倍의 條件으로 顯微鏡 寫眞攝影을 行하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1 供試보드의 品質特性

3. 1. 1 密度

Fig. 1 은 試驗片에 대한 密度 測定値를 나타낸

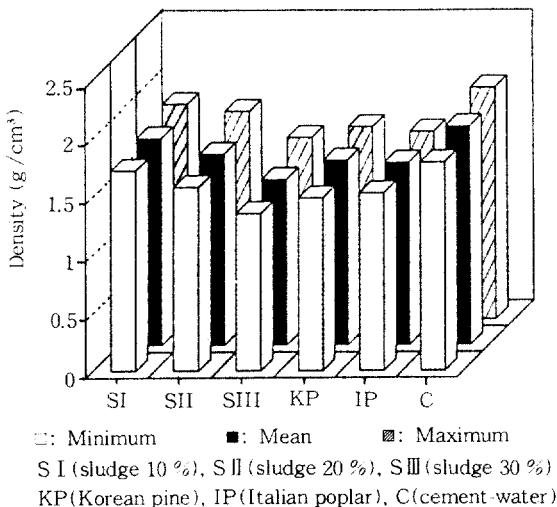


Fig 1. Density of sludge-, wood-cement boards.

것이다. 슬러지 I의 平均 密度는 1.79 g/cm³, 슬러지 II는 1.64 g/cm³, 슬러지 III은 1.47 g/cm³이었고 木粉混合試片을 보면 잣나무는 1.59 g/cm³, 이태리포플러는 1.57 g/cm³이었다. 단, 對照區의 값은 1.88 g/cm³이었다.

이처럼 sludge I에서 III으로 混入量이 높아짐에 따라 불력의 密度가 낮아지는 것은 高密度의 無機物인 시멘트의 量이 相對的으로 낮아지기 때문이다. 徐¹⁾는 CO₂ gas 注入方式으로 製造한 파이버-시멘트 보드의 密度 測定値는 1.44 g/cm³, particle-cement board 및 3% Al₂(SO₄)₃와 6% Al₂(SO₄)₃를 添加한 보드의 密度는 1.22~1.31 g/cm³이었다. 또, Lee²⁾는 針葉樹材의 cement/wood 比 4/1의 境遇 1.27 g/cm³, 5/1의 境遇 1.33 g/cm³, 7/1의 境遇 1.49 g/cm³, 10/1의 境遇 1.64 g/cm³, 13/1의 境遇 1.78 g/cm³의 密度 測定値를 報告하였다.

3. 1. 2 部分壓縮強度

Fig. 2 는 各 試驗片에 對한 部分壓縮強度 測定 結果를 나타낸 것이다. 슬러지 I은 593.2 kg/cm², 슬러지 II는 381.0 kg/cm², 슬러지 III은 165.1 kg/cm²로서 슬러지 量이 많아질수록 部分壓縮強度가 低下되었다. 또, 木粉混合試片을 보면 잣나무는 385.8 kg/cm², 이태리포플러는 241.5 kg/cm²의 部分壓縮強度를 보였다. 한편, 對照區는 714.0 kg/cm²이었다.

Tay^{3,7)}는 sludge ash를 10% 添加할 때 85.7 N/mm², 20% 添加時 80.0 N/mm², 30% 添加

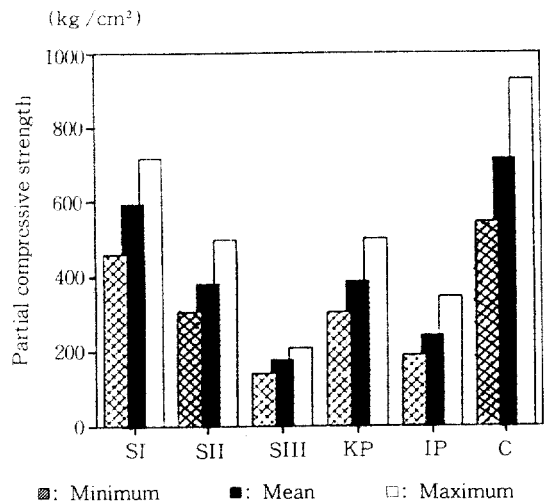


Fig 2. Partial compressive strength of sludge-, wood-cement boards.

時 70.7 N/mm²의 結果를 얻어 Ash 10 % 以上 添加時 強度가 急速히 低下됨을 報告하였다.

신 등^{9,10)}은 시멘트가 水和反應을 일으키면 體積이 增加해서 水和生成物이 粒子 사이의 孔隙를 채우게 되는데, 이 때 水和程度와 물/시멘트 比에 따라서 孔隙率이 달라지게 되고, 물/시멘트 比가 增加함에 따라 孔隙率도 커진다고 하였다. 또한 슬러지/시멘트 比의 境遇에서도 슬러지 量이 늘면 그만큼 시멘트 量이 줄어 들어서 水和를 일으킬 수 있는 物質이 줄어들기 때문에 強度가 低下된다고 하였다. 또, 尹¹¹⁾은 시멘트 固化體의 壓縮強度는 물/시멘트 比, 슬러지/시멘트 比, 슬러지의 成分 및 養生期間에 依해서 그 값이 變化하게 되는데 通常 물/시멘트 比가 높을수록, 슬러지/시멘트 比가 높을수록 壓縮強度는 떨어진다고 하였는데, 이러한 報告들과 本 實驗 結果의 傾向이 잘 一致하였다.

3. 2 供試보드의 強度의 特性

3. 2. 1 휨強度

휨強度에 測定結果는 Table 2 와 Fig. 3 과 같다. 슬러지 含量이 增加함에 따라 휨強度는 低下되었다. 또 樹種別로 보면 잣나무가 이태리포플러보다는 휨強度面에서 良好하였다. 波岡 等¹²⁾은 木片/시멘트 配合比 1/0.8 에서 58.0 kg/cm², 1/1.2 에서 60.2 kg/cm², 1/1.6 에서 51.1 kg/cm²의 값을 얻었으며, Kim¹³⁾은 슬러지 灰分을 添加한 鋪裝用 콘크리트製造 實驗에서 10 % 添加時 42.1 kg/cm², 20 % 添加時 36.5 kg/cm²의 값을 測定하여 슬러지 灰分의 含量이 增加함에 따라 휨強度가 低下됨을 報告하였다.

芽原¹⁴⁾은 木質原料의 表面性狀이 木材와 시멘트와의 結合力에 直接 影響을 미치는데 一般的으로 表面性狀이 거친 쪽이 強度가 크다고 밝혔다. 톱밥은 거친 狀態이나 Wiley mill 木粉은 比較的 平滑한 狀態이므로 cement와의 結合에 있어서는 거친 表面을 갖는 톱밥이 有利하다고 하였다. 따라서, 本 實驗에서 使用한 供試 木質試料는 供히 Wiley mill을 使用하여 製造하였지만 슬러지는 털과 같이 보풀이 이는 거친 狀態였기 때문에 針·闊葉樹 木粉보다는 휨強度가 良好한 것으로 思料되며, 이 밖에도 本 實驗의 供試材料인 製紙슬러지는 漂白化學펄프를 原料로 한 試料이므로 시멘트와의 硬化 障害을 일으킬 수 있는 헤미셀룰로오스와 리그닌이 製造工程 中에 溶出되어 障害要因이 相當部分 除去되었기 때문에 잣나무와 이태리포플러보다 시멘트와의 硬化가 잘 이루어져 強度가 良好한 것으로

判斷된다. 이는 GP와 SCP 및 KP를 供試材料로 하여 펄프-시멘트板을 製造한 結果에서 GP와 SCP는 KP보다 強度가 低下됨을 報告한 木谷¹⁵⁾의 研究와도 一致한다. KS F 4030의 木片시멘트板에서 硬質 木片시멘트板의 휨強度는 60 kg/

Table 2. The mechanical and physical properties of sludge-, wood-cement boards.

Specimens	CaCl ₂	Bending strength (%) (kg/cm ²)	Internal bonding strength (kg/cm ²)	Water absorp. (%)	Thick. swell (%)
Sludge I	0	53.6	9.1	25.2	1.4
	1	54.3	9.8	23.3	1.2
	3	58.9	10.2	19.7	1.1
	5	57.4	9.9	20.4	1.1
Sludge II	0	52.8	8.8	28.1	1.7
	1	53.5	9.1	26.4	1.5
	3	55.3	9.3	22.1	1.3
	5	54.8	8.9	22.9	1.3
Sludge III	0	51.9	2.0	38.7	3.8
	1	52.0	3.1	38.1	3.9
	3	52.1	4.5	37.3	3.2
	5	52.1	4.4	39.0	4.0
Korean pine	0	41.1	3.9	32.4	1.8
	1	54.6	6.1	28.3	1.6
	3	56.4	8.8	22.7	1.3
	5	57.1	8.4	25.4	1.5
Italian poplar	0	36.0	1.9	38.6	3.0
	1	44.1	4.8	33.1	2.8
	3	53.8	5.7	30.3	2.4
	5	56.6	6.3	27.5	1.7
Control		81.2	10.8	16.2	0.9

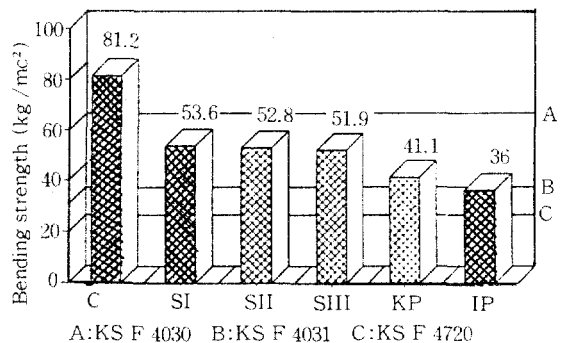


Fig 3. Bending strength of sludge-, wood-cement boards without CaCl₂ addition.

cm² 以上을 基準値로 하고 있다. 따라서, 木片 시멘트板의 휨強度 基準値에는 未達하지만 木毛, 또는 펄프시멘트板의 基準値는 上十하는것으로 나타났다.

또한 CaCl₂를 1, 3, 5 % 添加한 境遇의 휨強度를 보면 添加率이 增加함에 따라 약간씩 增加하였으나 슬러지Ⅲ에서는 影響이 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 4). 슬러지의 境遇는 添加劑인 CaCl₂가 시멘트와의 水和反應을 促進시키기 때문에 適定投入水準에서는 強度가 上昇되지만 過量 添加에서는 오히려 마이너스效果를 가져오는 것으로 判斷된다. 그러나, 잣나무와 이태리포플러의 境遇에서는 添加劑인 CaCl₂가 시멘트와의 水和反應에 硬化障害要因을 中和시키므로서 水和反應이 改善되기 때문에 슬러지 I, II보다 強度 改善效果가 큰 것으로 判斷된다. 이는 木質시멘트板의 境遇 添加劑에 의한 木材中 시멘트 硬化障害 成分의 中和效果를 나타내고 있는것으로 思料된다. 그리고 製紙슬러지와 木粉을 原料로 한 시멘트보드는 硬化促進劑의 添加與否와는 關係없이 各 試驗片 共히 KS 基準値를 滿足시켰다.

高橋¹⁰⁾은 無處理時 39.1 Kg/cm²의 휨強度가 CaCl₂ 1 % 添加에서 43.2 Kg/cm², 3 % 添加時 61.4 Kg/cm², 5 % 添加時 58.6 Kg/cm²로 變化되고 있어 적어도 3 % 投入까지의 強度가 크게 改善된다. 그 以上の 投入水準에서는 改善效果가 나타나지 않는다는 事實을 밝혔다. 本 實驗의 境遇 슬러지의 強度 增加率보다는 잣나무, 이태리포플러의 強度 增加率이 높았다. 이는 添加劑가 硬化障害物質을 不溶化시킴으로써 木粉을 利用한 보드의

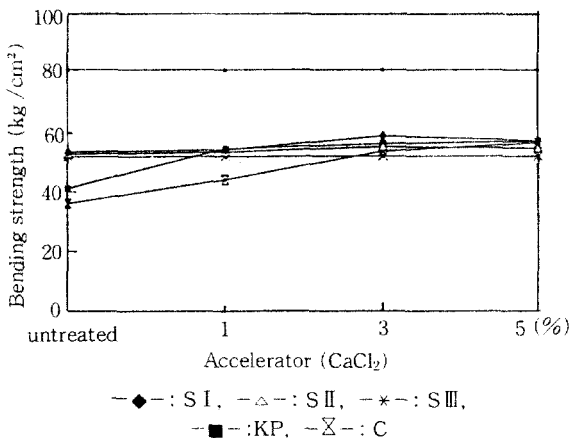


Fig. 4. A comparison of bending strength of untreated and treated specimens.

強度가 增加되었다고 思料된다. 그러나, 슬러지I의 휨 強度 平均値에는 미치지 못했다. 따라서, 無機鹽의 添加가 시멘트와의 硬化를 促進시키지만 機械의 性質에 미치는 影響은 樹種, 製造條件, 複合添加劑 等에 따라 變化되므로 實驗에 依해서 適定水準을 決定해야 될 것으로 判斷된다. 本 實驗의 境遇 슬러지 I, II에서는 3 % 以上の 添加는 오히려 마이너스效果를 가져오며 잣나무와 이태리포플러는 3~5 % 程度의 添加가 適定한 것으로 여겨진다.

3. 2. 2 剝離強度

Fig. 5는 剝離強度의 結果를 나타낸 것이다. 슬러지 I은 9.1 kg/cm² 슬러지 II는 8.8 kg/cm², 슬러지 III은 2.0 kg/cm², 잣나무는 3.9 kg/cm², 이태리포플러는 1.9 kg/cm²를 나타내므로 슬러지 I, II까지는 잣나무, 이태리포플러보다 剝離強度가 優勢한 것으로 나타났다. 이는 슬러지 I, II에서는 시멘트와의 水和反應이 良好한 때문인 것으로 思料된다. 그러나 슬러지 III에서 剝離強度가 急速히 低下된 것은 增加한 슬러지 量만큼 시멘트量이 줄어들어 水和反應이 不良한 것으로 여겨지며, 잣나무와 이태리포플러에서도 障害要因이 水和反應에 影響을 끼쳐 剝離強度가 低下된 것으로 여겨진다.

芽原¹¹⁾과 黃¹²⁾은 剝離強度에서도 試料의 表面이 거친 쪽이 剝離抵抗이 크다고 報告하였다. 이것은 投錯效果 等으로 結合력이 增加된 탓이다. 一般의 合成樹脂系 接着劑를 結合劑로 한 境遇에는 이와 같은 傾向이 반드시 適用되지 않지만, 木材-cement와 같이 披着物體와 結合體間의 凝集력이 弱한 境遇에는 뚜렷한 傾向을 나타낸다고 하였다

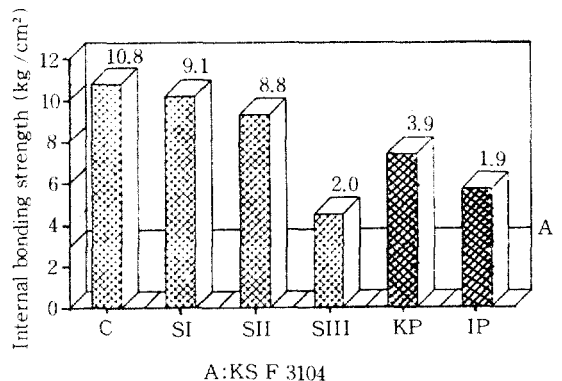


Fig. 5. Internal bonding strength of Sludge-, wood-cement boards without CaCl₂ addition.

¹⁰⁾ 그 결과 40# 試料의 剝離強度는 2.3 kg/cm², 80#의 境遇, 1.7 kg/cm², 400#의 境遇 1.4 kg/cm²로 나타났음을 報告하였다. 波岡 等¹²⁾은 木片/시멘트 配合比 1/0.8 은 5.3 kg/cm², 1/1.2은 6.0 kg/cm², 1:1.6 은 5.8 kg/cm²의 값을 報告하였으며, 李 等²¹⁾은 슬러지/파티클, 10/90의 比率에서 8.5 kg/cm², 20/80의 比率에서 8.1 kg/cm², 슬러지만의 보드에서는 0.74 kg/cm²의 剝離強度를 얻은 바 있다. KS 規格上의 PB 및 MDF의 剝離強度 基準値에 比하여 本 實驗에서의 슬러지 混合보드(I, II)는 剝離強度가 매우 優秀한 것으로 判斷된다.

Fig. 6 은 硬化促進劑 添加率에 따른 보드의 剝離強度를 나타낸 것이다. 各 試驗片 供히 無處理時보다 CaCl₂ 添加率이 增加됨에 따라 剝離강도 또한 增加되었다. 高橋 等¹⁰⁾은 無處理時의 剝離強度가 4.2 kg/cm²이 MgCl₂ 1 % 添加에선 6.2 kg/cm², 3 % 添加에서 6.0 kg/cm², 5 % 添加에서 5.9 kg/cm²로 그 強度值가 改善되었고, KCl 1 % 添加時엔 4.6 kg/cm², 3 % 添加에서 6.6 kg/cm², 5 % 添加에서 6.0 kg/cm²로 變化되어 3 % 添加 水準까지는 強度가 크게 改善되나 그 以上의 水準에서는 뚜렷하지 않음을 報告한 바 있다. 그러나, CaCl₂ 1 % 添加時 5.8 kg/cm², 3 % 添加時 8.8 kg/cm², 10 % 添加時 10 kg/cm² 以上의 값을 보여 剝離強度에서는 CaCl₂ 添加가 強度改善에 效果的이라고 밝혔는데, 本 實驗에서의 잣나무와 이태리포플러의 剝離強度가 CaCl₂ 添加로 急速

히 上昇되는 事實과 一致하였다.

3. 2. 3 吸水率 및 두께 膨脹率

Fig. 7 은 吸水率과 두께 膨脹率을 나타낸 것이다. 一般적으로 슬러지 含量이 增加할수록 吸水率이 높아가는 傾向이었으며, 잣나무보다는 이태리포플러가 吸水率이 컸다. KS F 4030에 依하면 木質시멘트板의 吸水率은 25~34 %를 基準値로 하고 있으며, KS F 4031의 펄프 시멘트板의 吸水率은 50 % 以下를 基準値로 하고 있어 各 試驗片 供히 KS의 基準値를 滿足시킬 수 있었다.

두께 膨脹率은 슬러지 I, II의 境遇 1 % 정도로서 두 試片 모두 cement paste間의 結着이 잘 이루어져 比較的 치수가 安定된 形態를 취한 것으로 判斷할 수 있다. 그러나, 슬러지 III는 3.8 %로서 두께 膨脹이 크게 나타났다.

Fig. 8 과 9 는 硬化促進劑 添加가 供試片의 吸水率 및 두께 膨脹率에 미치는 影響을 나타낸 것이다. 吸水率의 境遇 100 % 시멘트만의 control이 16 % 水準으로 添加率 變化에 전혀 影響을 받지 않음에 반해 슬러지 I, 슬러지 II는 3 % 添加 水準까지는 減少되어 以後 5 % 水準으로 過量 添加하면 오히려 약간 커지는 傾向을 보이면서 大略 20~28 % 範圍의 값이었다. 반면에 슬러지 含量이 가장 많아 40 % 水準의 吸水率을 지닌 슬러지 III에서는 control과 마찬가지로 硬化促進劑 添加가 吸水率 減少에 아무런 影響을 미치지 못하는 結果를 나타냈다.

木粉-시멘트 보드는 두 樹種 모두 슬러지 I, II 보다 높은 吸水率을 보였으나 슬러지 III 보다 낮은 吸水率을 나타냈다. Fig. 9의 두께 膨脹率 變化를 보면 全體적으로 1.2~4.0 %의 水準이었는데

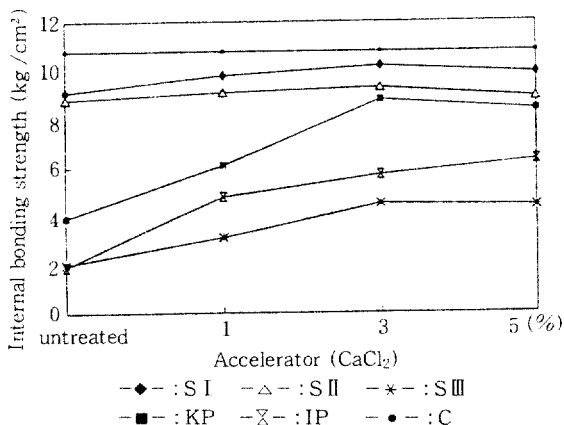


Fig. 6. A comparison of internal bonding strength of untreated and treated specimens.

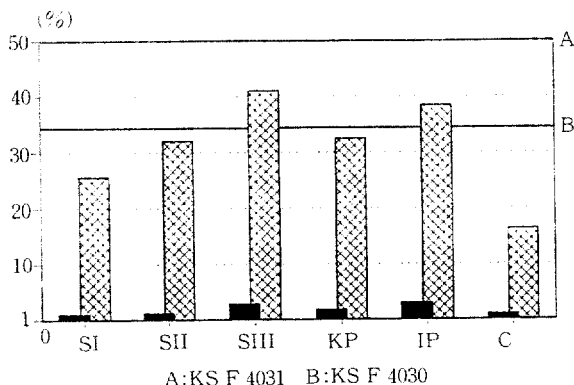


Fig. 7. Thickness swelling and water absorption of sludge-, wood-cement boards without CaCl₂ addition.

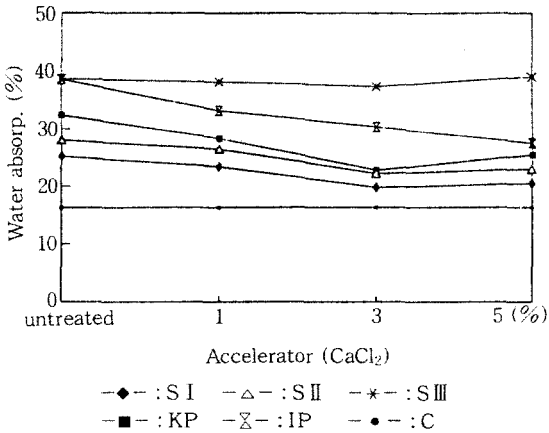


Fig. 8. A comparison of water absorption of untreated and treated specimens.

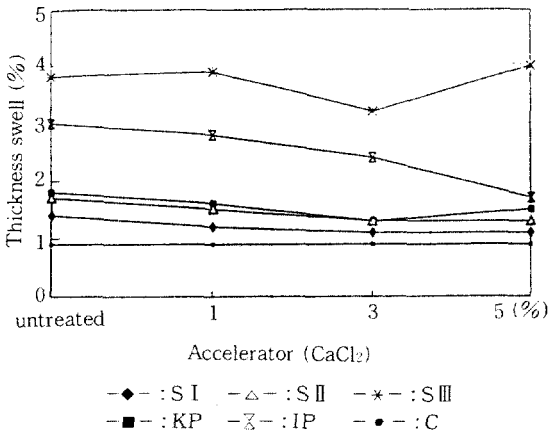


Fig. 9. A comparison of thickness swelling of untreated and treated specimens.



Pho. 1. Scanning electron micrograph of the hydrated portland cement.

역시 슬러지 함량이 높은 슬러지Ⅲ가 제일 높았고 슬러지Ⅰ은 添加劑 投入量과는 관계없이 1.2~1.4 % 두께 膨脹率의 치수安定性を 나타냈다.

3. 2. 4 製紙슬러지-, 木粉-시멘트 混合狀의 SEM 觀察

슬러지-시멘트間 및 木粉-시멘트間의 結合狀態와 超微細構造를 살피기 위하여 加速電壓 15 kv, 倍率 3,500 倍의 條件으로 顯微鏡 寫眞을 撮影한 結果는 Photo. 1, 2, 3과 같다.

Photo. 1 과 같이 시멘트는 自體의 volume에 의한 充填機能과 接着性能을 內包하고 있는 無機質로서 물과 發熱反應을 하여 結晶體를 形成하는 硬化體系를 지니고 있음을 볼 수 있으며, 引接된 結晶體들과 기계적으로 맞물려 있어 계속 接觸을 하고 있는 것으로 나타났다. 바로 이것이 硬化된 시멘트의 全般的인 強度에 이바지하게 된다.

Photo. 2는 이태리포폴러의 木粉-시멘트間의 硬化狀態를 나타낸 것이다. wood-cement-water의 混合系에서는 mannose, galactose, fructose, glucose, xylose와 arabinose 같은 糖類들이 시멘트속의 結晶形成을 妨害하는 것으로 알려져 있듯이 사진에서 보는 바와 같이 심한 硬化不良 現象을 보였다. 바로 이 硬化不良이 強度低下의 原因이 되기도 한다. 그러나, 슬러지-시멘트間의 結合狀態는 良好한 硬化狀態를 볼 수 있다(Photo. 3). 이는 木粉-시멘트의 水和反應에서 나타난 障害要因이 펄프화 過程中에 溶出되어 事前 除去되었기 때문인 것으로 보여지며, 슬러지의 cellulose fiber는 스스로 리그닌과 分離되어 길이로 갈라져 나와 微小纖維를 만들게 된다. 바로 이러한 點이 시멘트 matrix에 機械的인 結合을 增加시키는데 重要한



Pho. 2. Scanning electron micrograph of the hydrated portland cement with *Populus euramericana* Guinier.



Pho. 3. Scanning electron micrograph of the hydrated portland cement with paper sludge.

寄與를 하는 것으로 判斷된다.

4. 結 論

製紙工場에서 發生되는 슬러지를 建築用 複合보드의 原料로서 再活用하기 위한 方案을 檢討하기 위하여 제지슬러지-시멘트 複合體의 物理·機械的 性質을 木質-시멘트 複合體와 比較 究明하였다.

製紙슬러지를 시멘트에 대한 重量比로 10 % (SⅠ), 20 % (SⅡ), 30 % (SⅢ) 混合하여 成形 製板한 後, 物理的 및 機械的 性質을 測定하였고, CaCl₂를 시멘트에 대한 重量比로 1.0 %, 3.0 %, 0 % 添加하였을때 보드의 性能에 미치는 影響을 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 密度는 슬러지 I > 슬러지 II > 잣나무 > 이태리 포플러 > 슬러지 III 순으로, 部分壓縮強度는 슬러지 I > 잣나무 > 슬러지 II > 이태리 포플러 > 슬러지 III 순으로 나타났다.
2. 複合보드의 슬러지 含量이 增加할수록 韌強度가 低下되어 슬러지 I의 경우 53.6 kg/cm², 슬러지 II는 52.8 kg/cm², 슬러지 III는 51.9 kg/cm²를 나타냈으며 잣나무나 이태리 포플러의 木粉混合보드보다 良好하였다.
3. 各 試驗片에 對한 剝離強度는 슬러지 I : 9.1 Kg/cm², 슬러지 II : 8.8 Kg/cm², 슬러지 III : 2.0 Kg/cm², 잣나무 : 3.9 Kg/cm², 이태리 포플러 : 1.9 Kg/cm²의 값을 보였다.
4. 보드의 슬러지 含量이 增加할수록 보드의 吸水率이 높게 나타났으나 두께膨脹은 슬러지와 cement paste간의 結着이 잘 이루어져 變化가 거의 없이 安定한 形態를 갖는 것으로 나타났다.

5. CaCl₂를 硬化劑로 添加하였을때, 슬러지의 複合보드는 잣나무와 이태리 포플러에서의 機械的 性質이 크게 向上되었다. 그러나, 硬化促進劑를 添加하지 않아도 製紙슬러지를 20 % 까지 混合한 보드는 木質시멘트보다도 諸性質이 優秀하였다.
6. SEM 觀察을 한 結果, 木質-시멘트 間의 硬化狀態에서는 障害要因들이 結晶形成을 妨害하는 것을 볼 수 있으며 製紙슬러지-시멘트 間에서는 슬러지의 cellulose fiber가 리그닌과 分離되어 길이가 갈라져 나와 微小纖維를 만들게 되어 시멘트 matrix의 機械的 結合을 增加시키는데 重要な 寄與를 하는 것으로 判斷된다.

參 考 文 獻

1. 金思翼, 吳正壽. 1993. 製紙슬러지-시멘트 보드의 製造可能性에 關한 研究 -水化反應에 의한 硬化障害指數 測定-. 木材工學 21(3):74~81
2. 文한영. 1984. 建築재료학. 동명사
3. Weatherwax, R. C. and H. Tarkow. 1964. Effect of Wood on Setting of Portland Cement. *Forest Prod. J.* 14(12):567~570
4. 徐珍錫. 1993. 韓國產 樹種의 시멘트보드 및 石膏보드複合體의 製造 適性. 林業研究院. 公務海外研修歸國報告書
5. Lee, A. W. C. and Z. Hong. 1986. *Forest Prod. J.* 36(11/12):87~90
6. Tay, J. H. 1986. Potential Use of Sludge Ash As Construction Material. *Resources and Conservation.* 13:53-58
7. _____. 1989. Sludge Ash As Filler for Portland Cement Concrete. *J. Environmental Eng.* 113(2):345~351
8. _____ and W. K. Yip. 1989. Sludge ash as light weight concrete material. *J. Environmental Eng.* 115(1):56~64
9. Shin, H. S., N. R. Her and J. K. Koo. 1988. Design Optimization for Solidification of Hazardous Wastes. *Hazardous Waste and Hazardous Materials.* 5(3):239~250
10. 신향식. 수지와와타나. 1988. 유해성 폐기물 고형화의 영향인자에 관한 연구. *유해폐기물학.* 5(1):21~26
11. 윤석표. 1989. 고형화된 중금속 슬러지의 해수

- 에 의한 용출 특성. 한국과학기술원, 석사학위 논문
12. 波岡保夫, 穴澤 忠, 北澤正幸, 高橋利男. 1972. 木質セメントボードの製造に関する研究(2). 林産試月報
 13. Kim, H. G. 1990. Sludge Ash Reuse of Paper Industry. The 7th International Symposium on Environmental Techniques Development, October, 18-19. Dong-A University:145~168
 14. 芽原正毅, 田近克司, 中川宏. 1979. 木質セメント 板の強度増加について. 木材學會誌 25(8):552~557
 15. 木谷良明. 1985. パルプセメント板の 品質に及ぼすパルプの 種類の 影響. 木材工業 41(1):20~23
 16. 高橋利男, 穴澤 忠, 北澤正幸, 波岡保夫. 1972. 木質セメントボードの製造に関する研究(5)-養生期間と 無機鹽添加の 影響. 林試年譜:7~12
 17. 城基義, 永富 辨, 円下淳子, 安田征市, 寺島典二. 1987. 木質セメント板の製造(第1報). 林試年譜:879~883
 18. 川村惠洋, 繼田視明, 屋代 眞. セメント木材水系水和熱とチップセメント板について. 23回 日本木材學會 大會要旨:124
 19. 黃箝雲. 1975. 接着化學實際. 高分子刊行會:55
 20. 山岸宏一, 葛西 章, 駒澤克己, 布村昭夫. 1980. 硬化不良樹種による木質セメント板の製造(第1報). 林産試月報 7:342
 21. 이필우, 윤형운, 김대준, 손정일. 1993. 슬러지-파티클 보드의 제조가능성 및 구조 비율에 관한 연구. 목재공학 21(2):57~65