

슬러지-파티클 보드의 製造 可能性 및 構成比率에 관한 基礎研究 *1

李弼宇 · 尹炯雲 · 金大俊 · 孫廷一 *2

Fundamental Study of Manufacture Possibility and Composition Ratio of Sludge-Particle Board *1

Phil-Woo Lee · Hyoung-Un Yoon · Dae-Jun Kim · Jung-Il Son *2

ABSTRACT

The aim of this research was to manufacture sludge-particle board using paper sludge with wood particle and to investigate physical and mechanical properties of various sludge-particle boards, fabricated with ratios of sludge to particle of 10 to 90, 20 to 80, 30 to 70, 40 to 60 and 50 to 50(oven dry weight based). Sludge-particle boards were manufactured by urea-formaldehyde resin, 0.8 target specific gravity, and 10mm thickness. It was possible to manufacture sludge-particle board as the same processing in the present particleboard manufacturing system. This sludge-particle board have different properties as composition ratios of sludge and particle. And sludge-particle board made from 10 percent to 20 percent of sludge mixing ratio have similar mechanical properties compared with control particleboard. Especially, the sludge-particle board made from 10 percent to 40 percent mixing ratios of sludge have superior to control particleboard in internal bond, screw withdrawal holding strength and modulus of elasticity. In the case of dimensional stability, water absorption was increased and thickness swelling was decreased as increased with sludge mixing proportion. The sludge-particle board made of different mixing ratios of our laboratory design was able to concluded that there is possibility of partial substitution of wood particle materials.

Keywords : Paper sludge, wood particle, sludge-particle board, composition ratio, physical properties, mechanical properties, dimensional stability

1. 緒 論

현재 국내 목질판상공업은 목질원료의 구득난과 가격상승으로 인해 제품생산에 상당한 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제는 시간이 경과할수록 더욱 심화될 것으로 예견된다. 특히 국내 합판공업은 원자재 확보의 어려움으로 인해 장기적 관점에서 파

티클보드나 중밀도섬유판 등의 재구성 판상재료로 대체될 전망이다. 따라서 기존의 목질재료와의 혼합이나 구성 등을 통하여 목질재료의 일부 또는 전부를 대체재료로 전환하고자 하는 필요성이 점차 증가되고 있으며 이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 이러한 대체재는 공급의 안정성 뿐만 아니라 재료적 적합성이 요구된다. 현재도 여러가지의 대

*1. 접수 1993년 4월 14일 Received April 14, 1993

*2. 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suweon, 441-744, Korea

체재료가 연구되고 있으며, 특히 선진국에서는 도시 쓰레기, 고지, 비목질계재료 등을 이용하여 판상재료나 복합재료로 개발하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1~5)}

본 연구에서는 국내 제지공장에서 처리문제로 고심하고 있는 제지 폐슬러지를 일부분이라도 대체재료로 이용하고자 목질 파티클과 혼합하여 보드 제조의 가능성을 실험적으로 규명하기 위해서 우수 혼합비율에 따라 슬러지-파티클 보드를 제조하고 그 적용 가능성을 분석 검토하고자 실시하였다. 산림청 입업통계연보⁶⁾에 의하면 제지슬러지는 전건기준으로 우리나라 제지공장의 연간 총생산량(4,922,200톤)의 약 5%인 25만여 톤에 달할 것으로 추정되며, 이러한 슬러지는 주로 폐기하거나 소각하는 처리가 대부분이며 일부에서는 소각을 통한 에너지 회수 등과 같은 처리가 이루어지고 있다.^{7,8)} 소규모의 제지공장이나 효율적인 연소로를 갖추지 않은 공장에서는 위탁 처리를 하거나 매립하는 방법으로 대부분의 슬러지를 처리하고 있다. 위와같은 폐기나 소각 등의 처리는 그 처리비용이 많이 들고 환경오염을 발생시킬 뿐만 아니라 매립에 의한 처리 역시 그 장소와 방법에 있어서 적지 않은 난관을 겪고 있는 실정에 있다. 가까운 일본에 있어서도 이러한 슬러지에 대한 유효 이용이 불과 10% 전후에 지나지 않는 실정을 감안하면 아직까지 슬러지의 처리에 관한 효과적인 이용이 이루어지지 않고 있다는 것을 알 수 있다.

이제까지 슬러지의 이용에 관한 연구를 간략히 살펴보면 국내에서는 한과 이⁹⁾가 슬러지의 비료화에 관한 연구를, 신과 임¹⁰⁾이 슬러지의 소각을 통한 에너지 절감에 관한 연구를 발표하였고, 온 등^{11,12,13,14)}이 슬러지의 가수분해에 의한 당화에 관한 연구를 발표하였다. 그리고 전과 김¹⁵⁾은 제지공장 슬러지의 가수분해와 메탄발효 특성에 관하여 연구를 하였으나 슬러지 이용에 있어서 획기적인 결과를 얻어내지 못하고 있다. 한편 구미에서는 Simpson 등¹⁶⁾과 Thiel 등,¹⁷⁾ 그리고 Steven 등¹⁸⁾이 슬러지의 토양개량 및 비료화에 대한 연구를 오랫동안 진행하였으며, Bradley 등¹⁹⁾, Ole 등²⁰⁾, Nancy 등²¹⁾, Carl 등²²⁾ 그리고 Kekki²³⁾가 슬러지의 연료화를 통하여 에너지회수 등에 관한 연구를 수행하였다. 이밖에도 슬러지의 폐기와 오염에 관하여 James 등²⁴⁾이 연구를 하였고, Mcgovern 등²⁵⁾에 의해 슬러지의 특성에 대한 연구가 심도있게 다루어진 바 있다. 가까운 일본에서는 이상과 같은 연구 이외에 슬러지의 이용 방안으로 Shimono²⁶⁾에 의해 시멘트원료로서 첨가, 건축용벽판 제조, 난연

재료개발, 내한성기와 제조 등에 관한 연구가 진행되었다. 그리고 Nahamura²⁷⁾는 지렁이를 이용하여 슬러지를 영양원으로 하여 슬러지 처리를 하는 생물학적 실험에 관하여 발표하였다.

이상과 같이 여러 연구가 슬러지의 처리문제에 대하여 다루어져 왔으나 아직까지 만족할 만한 성과를 거두지 못하고 있는 실정이며 위와 같은 처리 방법은 아직도 여러 문제점 등을 낳고 있으며 그 적합성에 대한 검토가 진행 중이다. 슬러지 처리는 처리방법과 비용 그리고 환경영향 등을 고려하여 평가되어야 하기 때문에 그 실효성에 대해서 기존의 처리 방법이 우수하다고 인정되리라 상당한 시간이 필요할 것이다. 그러나 본 연구에서 다루어질 슬러지의 판상재료로서의 제조 가능성과 슬러지와 파티클의 혼합성형에 따른 보드제조 연구는 국내 외에서 아직껏 연구 보고한 바가 전무한 상태이며, 슬러지를 원료로 기존의 파티클보드 제조에 혼용하여 사용 가능하다면 지금까지의 폐기슬러지의 처리방법에 대해 발상의 전환을 가능하게 할 수 있는 방법이 될 수 있을 것으로 믿는다.

2. 材料 및 方法

2. 1 實驗材料

2. 1. 1 목질 파티클

본 연구에서 사용한 파티클은 국내 파티클보드 제조 회사에서 심판용 파티클을 분양받아 함수율을 8%로 건조 조습한 후 체진동기로 선별(-14~+40mesh)하여 사용하였으며 파티클의 원료수종은 남태평양산 침·활엽수종이 혼합된 팔만침이었다.

2. 1. 2 제지 슬러지

본 연구에서 사용한 슬러지는 J제지공장의 탈수기를 통과하여 함수율이 약 60~70%인 시료를 분양받아 수주일 동안 천연건조한 후 함수율 20~30%에서 파쇄기를 사용하여 파쇄한 후 함수율을 8%로 건조하여 사용하였다. 사용된 슬러지의 Mesh분석은 +30(20.43%), -30~+50(12.60%), -50~+100(17.40%), -100~+200(20.50%), -200(28.17%)으로 나타났다.

2. 1. 3 接着劑 및 添加劑

슬러지-파티클 보드의 제조에 사용된 수지는 요소수지(고형분 55%)를 파티클이나 슬러지의 전건 무게에 대해 10%, 경화제는 10%의 염화암모늄 수용액을 수지고형분에 대하여 10%, 이밖에 왁스를 파티클 전건중량에 대하여 1% 첨가하였다.

2. 2 構成比率

슬러지-파티클 보드의 구성비율은 슬러지 대 파티클의 비율이 전건기준으로 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50이 되게 설계하였다.

2. 3 슬러지-파티클 보드 製造

본 연구에서 제조한 슬러지-파티클 보드의 크기는 32cm(길이)×30cm(폭)×1.0cm(두께)이며, 열압조건은 열압압력 30kg/cm², 총열압시간 7min, 열압온도 150℃로 하여 목표비중을 0.8이 되게 설계하였다. 열압전에 상온에서 예비가압을 2kg/cm²의 압력으로 2분동안 실시하였다. 슬러지와 파티클은 함께 믹서에 넣고 완전히 섞은 후 접착제를 도포하였다. 제조한 보드는 각 구성 비율마다 8반복 제작하였다. 이밖에 대조보드로 순수 슬러지보드와 파티클보드를 같은 목표비중으로 8반복 제작하였다.

2. 4 보드의 調濕

각각의 구성 비율별로 제조된 슬러지-파티클 보드는 즉시 폴리에틸렌 백에 담아서 보관한 후 각각의 시험을 위해 조습처리를 하였다. 조습처리는 관계습도 50±3%, 온도 15±3℃의 실내에서 2주일간 조습한 후 보관하였다.

2. 5 物理的 및 機械的 性質調査

슬러지-파티클 보드의 물리적 및 기계적 성질을 조사하기 위해 함수율, 비중, 용적밀도, mesh분포를 조사하고 박리강도, 치수안정성, 휨강도, 나사못유지력 등을 시험하여 보드의 성능을 평가하기 위해 아래와 같은 조건으로 실험을 수행하였다.

2. 5. 1 剝離強度

ASTM D 1307-72의 규정에 의해 시편 크기 5×5cm, 하중속도 2mm/min으로 각각의 패널로부터 1매당 2개씩 절취하여 철판과 시편을 hot-melt 접착제로 붙여 Shimadzu 사의 Universal Testing Machine을 사용하여 8반복 측정하였다.

2. 5. 2 휨強度

JIS A 5089 규정에 의해 시편크기 31cm×5.0cm×1.0cm, 하중속도 5mm/min, span 28.8cm로 각각의 보드로부터 1매당 2개씩 재단하여 Universal Testing Machine을 사용하여 8반복 측정하였다. 시험편은 보드의 길이방향으로 재단하였으나 제조한 보드가 방향성을 주지 않은 보드인 관계로 한 방향으로 시험하였다.

2. 5. 3 치수安定性

JIS Z A 5907의 규정에 의거하여 각각의 보드 1

매마다 시험편을 5cm×5cm×1.0cm로 재단하여 25±1℃의 항온 수조에 시험재가 수면으로부터 3cm 잠기게 하여 24시간이 경과한 후 꺼내어 비스듬이 10분간 놓아 두어 표면의 물을 제거하고 그대로 남아있는 물은 수건으로 닦은 다음 흡수성(water absorption), 두께팽창, 선펡창의 세가지 시험을 8회 반복 측정하였다.

2. 5. 4 나사못維持力

ASTM D 1307-72의 규정에 의거하여 표면과 측면의 두 방향에서 하중속도 2mm/min 속도로 Universal Testing Machine을 사용하여 측정하였다. 이때 나사못의 유형은 A 타입, 지름은 4mm, 삽입깊이는 17mm, pilot hole은 지름의 80%로 하고 나사를 삽입한 직후 바로 시험을 하였다. 단 face쪽의 시험재는 두께방향으로 두장을 접착하여 8회 반복 측정하였다.

2. 6 統計分析

본 실험의 통계처리는 대조보드인 파티클보드와 슬러지보드를 포함하여 슬러지-파티클 보드에 대해 구성비율의 차이를 알아보기 위하여 각 시험방법에 따라 SAS(Statistical Analysis System) 통계 패키지를 이용하여 분산분석하고 처리평균간의 비교를 Tukey' test로 검정 분석하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1 比重, 含水率, 容積密度

각 구성 비율별로 제작된 슬러지-파티클 보드의 함수율은 7.16~7.86%의 분포를 나타내었으며, 비중은 0.73~0.79로 나타났다. 구성비율을 달리하여도 열압조건을 변화하지 않았기 때문에 구성비율에 따라 비중의 차이가 존재하였다. 이와 같은 현상은 슬러지와 파티클이 서로 다른 압축율을 보이기 때문이라 생각되며 실험적으로 슬러지의 압축율이 파티클보다 크지 않았기 때문에 슬러지의 구성비율이 높아질수록 실제비중이 높게 나타난다고 생각되었다. 대조보드인 파티클보드는 미소한 스폰링 백이 발생하여 비중이 다소 낮게 나타났다. 본 실험에서 사용한 슬러지의 용적밀도(bulk density)는 함수율 8%일때 0.2g/cm³이며 파티클은 0.17g/cm³ 이었다.

3. 2 機械的 性質

3. 2. 1 剝離強度

슬러지-파티클 보드의 박리강도는 Fig. 1 과 Table 2에 나타내었다. 슬러지-파티클 보드의 박리

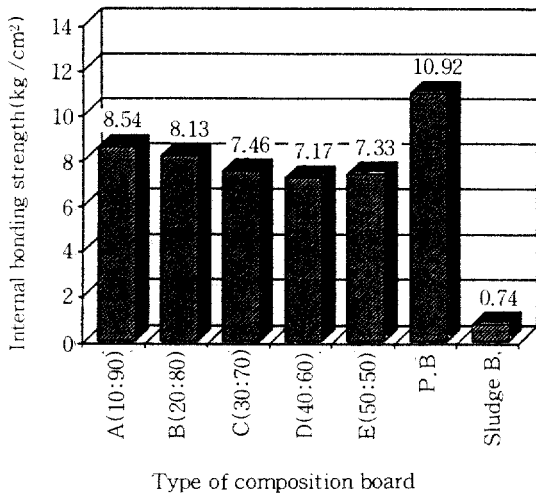


Fig. 1. Internal bonding strength of sludge-particle board.

Table 1. Moisture content and specific gravity of sludge-particle board

Board Type	M.C.(%)* ¹	Sp.Gr* ²	Sp.Gr* ³
A(10:90)* ^a	7.86	0.73	0.75
B(20:80)	7.33	0.76	0.79
C(30:70)	7.51	0.78	0.81
D(40:60)	7.16	0.79	0.82
E(50:50)	7.20	0.77	0.80
Particle B.	8.10	0.71	0.73
Sludge B.	6.05	0.78	0.81

*¹ based on oven dry weight

*² based on air-dry volume (R. H. 50±3%, Temp. 15±3°C)

*³ based on oven-dry volume

^a sludge weight to particle weight (oven dry based).

강도는 대조 파티클보드에 비해 혼합비율에 따라 약 22.5%~32.8%의 감소를 나타냈다. 슬러지의 혼합양이 증가함에 따라 박리강도가 감소하는 경향을 보였으나 본 실험 결과에서 나타난 박리강도치는 KS F 3104 규정 (1.5~3kg/cm²)⁸⁾을 만족하고도 남는 수치로서 파티클과 슬러지의 혼합비율을 50%까지 하여도 박리강도에는 커다란 차이를 보이지 않을 뿐만 아니라 판상재료로서 박리강도가 우수한 보드임을 알 수 있다. 반면에 대조 슬러지보드의 박리강도는 0.74kg/cm²으로 아주 낮은 값을 나타냈다. 윤 등²⁹⁾이 파티클과 파이버를 80대 20으로 혼합하여 제조한 보드의 박리강도가 4.65kg

/cm²인 것과 비교하면 본 실험에서 구성비율 별로 제조한 슬러지-파티클 보드의 박리강도가 보다 우수함을 알 수 있다. 그 이유는 파티클의 용적밀도 (bulk density)에 비해 슬러지의 용적밀도가 보다 높으며 반면에 압축률 (compression ratio)은 슬러지가 낮으므로 인해 열압시에 압축저항이 파티클 보다 덜 발생되어 슬러지가 파티클 사이의 빈공간으로 유동이 쉽게되어 밀도분포가 균일한 보드를 형성하므로써 초래된 결과라 할 수 있다. 반면에 파이버의 용적밀도는 파티클보다 낮고 압축저항은 상대적으로 크기 때문에 열압시 유동이 자유롭지 않아 보드의 물성이 저하된다고 생각되었다. 이상과 같은 결과로 미루어 볼 때 본 실험조건에서는 슬러지 자체만으로 제조한 보드는 내부결합력이 현저히 낮으나 파티클과 혼합하면 파티클보드의 박리강도를 크게 저하시키지 않고도 내부결합력이 유지된다는 사실을 입증한다고 할 수 있다.

3. 2. 2 휨強度

Fig. 2와 3 그리고 Table 2는 슬러지-파티클 보드의 휨강도적 성질을 나타낸 것으로서 슬러지와 파티클의 혼합비율이 10:90 그리고 20:80인 경우 대조 파티클보드의 휨과파괴수와 거의 동일한 수준의 값을 나타내었으며 슬러지의 혼합비율이 30%, 40%, 50%로 커질때 휨과파괴수가 직선적으로 감소함을 볼 수 있다. 따라서 슬러지의 혼합비율이 파티클에 대해 30%가 될 때까지는 KS F 3104 150타입 보드의 기준 (130kg/cm²이상)을 만

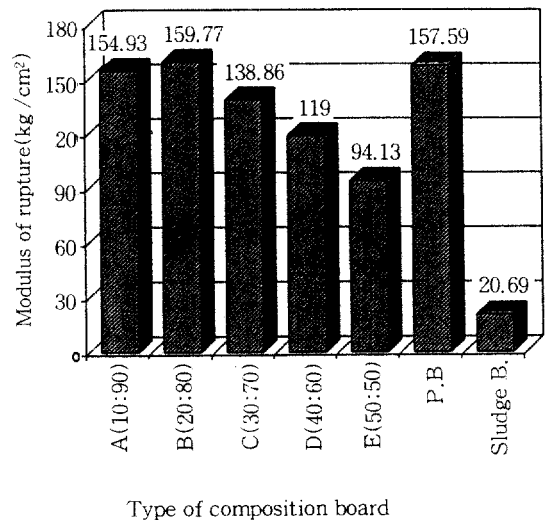


Fig. 2. Modulus of rupture of sludge-particle board in static bending test.

축하는 결과를 나타내었고 50%까지는 100타입 보드(80kg/cm²) 이상의 휨파괴계수를 갖는 것으로 나타났다. Stokke 등이 고지와 플레이크 및 파티클을 50:50으로 혼합하여 제조한 paper-flake board(Sp. Gr 0.72, phenol resin 5%)와 paper-particle board(Sp. Gr 0.59, urea resin 10%)의 휨파괴계수는 274.6kg/cm²과 97.96kg/cm² 이

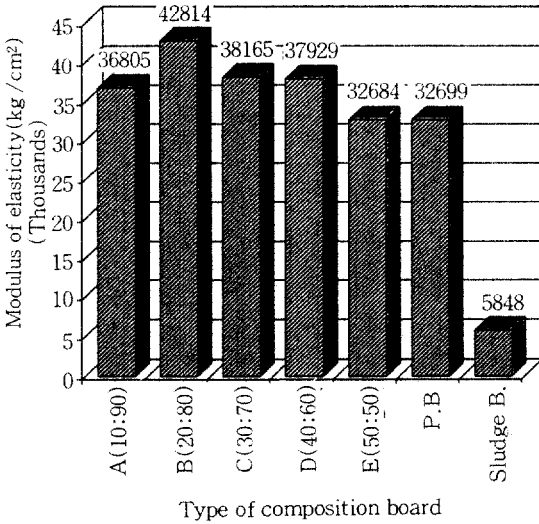


Fig. 3. Modulus of elasticity of sludge-particle board.

었고 휨탄성계수는 51617kg/cm²과 13924kg/cm² 이라고 발표한 자료를 비교하면 본 실험에서 제조한 슬러지-파티클 보드의 휨탄성계수는 아주 우수한 결과를 나타낸다고 할 수 있으며 휨파괴계수는 상당한 가능성을 내포한다고 생각되었다. Fig. 3과 Table 2의 휨탄성계수는 휨파괴계수와 다른 결과를 보였는데 대조 파티클보드보다 같은 수준이거나 오히려 높은 휨탄성계수를 나타냈다. 특히 파티클에 대해 슬러지를 20% 혼합한 보드의 휨탄성계수가 가장 높은 값을 보였다. 그러므로 슬러지의 혼합은 휨탄성계수를 증가시켜 준다고 할 수 있다. 이와같은 결과를 토대로 본 실험에서 제조한 슬러지-파티클 보드의 휨강도적 성질을 분석해보면 기존의 파티클보드 제조시 20~30%까지 사용할 수 있는 수준이라 생각되었다.

3. 2. 3 나사못維持力

Fig. 4와 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 슬러지-파티클 보드의 나사못유지력은 모든 구성비율에서 ANSI(1976, PB:101.9~113.25kgf)의 규정을 충분히 만족함을 알 수 있었다. 표면(face)방향에서 나사못유지력과 측면(edge)방향에서의 나사못유지력의 차이는 측면방향의 나사못유지력이 표면방향 나사못유지력의 80~90%의 수준임을 알 수 있다. 이러한 결과는 보통 일반 파티클보드나 중밀도섬유판의 방향별 차이가 약 75~80%³⁰⁾인 경우와 비교하면 본 실험의 슬러지-파티클 보드는

Table 2. Mechanical properties and dimensional stability of sludge-particle board

Type	Bending test		Internal bonding strength (kg/cm ²)	Screw withdrawal holding strength		Water Absorp. (%)	Thick. Swell. (%)	Linear Expan. (%)
	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)		face (kgf)	edge (kgf)			
A(10:90) ^c	154.9 ^a (19.6) ^b	36805.0 (8661.0)	8.5 (1.92)	173.1 (30.2)	154.3 (23.3)	50.3 (5.14)	29.8 (2.27)	0.80 (0.20)
B(20:80)	159.7 (20.7)	42813.8 (4481.6)	8.1 (1.58)	173.6 (15.1)	144.5 (29.3)	49.2 (5.55)	27.2 (3.12)	0.86 (0.10)
C(30:70)	138.8 (22.6)	38164.8 (5115.8)	7.4 (0.90)	135.3 (11.4)	122.7 (23.1)	55.4 (8.54)	26.9 (3.52)	0.75 (0.12)
D(40:60)	119.0 (13.9)	37929.1 (3045.9)	7.4 (1.57)	130.2 (14.5)	117.1 (16.8)	58.7 (4.24)	26.2 (1.81)	0.93 (0.09)
E(50:50)	94.1 (13.5)	32683.7 (5891.2)	7.3 (1.04)	124.5 (12.7)	102.2 (15.0)	55.1 (4.24)	22.2 (2.14)	0.84 (0.10)
Particle B	157.5 (15.8)	32699.1 (3456.9)	10.9 (2.97)	173.1 (30.2)	147.2 (18.4)	52.0 (3.48)	30.2 (3.84)	0.94 (0.11)
Sludge B.	20.6 (7.5)	5847.5 (3400.8)	0.7 (0.37)	42.8 (9.5)	17.2 (7.1)	71.0 (5.36)	12.3 (3.12)	1.17 (0.16)

a : Each mean value of specimens from 8 replications
b : the standard deviation of specimens from 8 replications
c : sludge weight to particle weight(oven dry based).

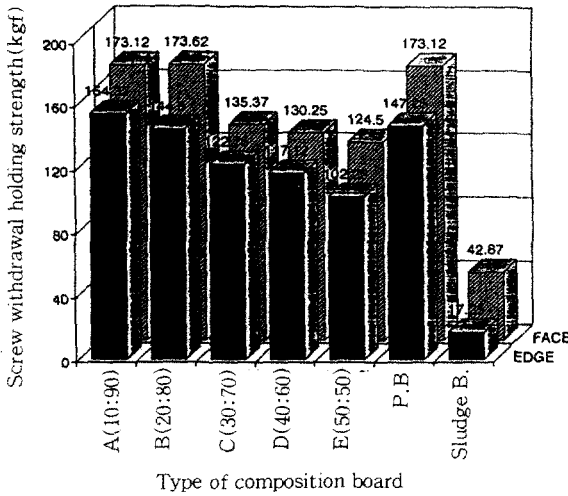


Fig. 4. Screw withdrawal holding strength of sludge-particle board.

그 차이가 매우 낮음을 알 수 있다. 이러한 이유는 슬러지의 원료자체의 특징인 압축율이 낮음에서 기인되는 것이거나 열압조건이 완만하여 보드의 밀도경사가 크지 않아서 나타난 결과라 판단된다. 대조 파티클보드에 비해 슬러지의 비율이 20, 30% 일때는 나사못유지력은 거의 동일한 수준이며 30%를 초과하는 경우에는 나사못유지력의 감소가 일어나는 것을 알 수 있었다. 역시 슬러지 자체만으로 만든 보드는 현저히 낮은 나사못유지력을 나타냈다. 결론적으로 슬러지-파티클 보드의 나사못유지력은 50%의 혼합비율까지 사용하여도 강도적 성질에 문제가 없는 것으로 판단되었으며 특히 측면방향에서 나사못을 많이 사용하는 곳에 적합하다고 생각되었다.

3.3 치수安定性

이상과 같이 슬러지-파티클 보드의 휨강도, 박리강도, 나사못유지력은 상당히 좋은 결과라 판단되었으나 보드의 사용시 적합성은 수분과의 영향이 매우 중요한 인자로 알려져 있다. 본 실험에서는 슬러지-파티클 보드의 치수안정적 성질을 평가하기 위해 흡수량, 선팽창 그리고 두께팽창의 실험을 수행하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

3.3.1 吸水量, 선膨脹, 두께膨脹

Fig. 5와 Table 2는 흡수량과 두께팽창을 나타내었고 Fig. 6과 Table 3은 선팽창을 나타내었다. 슬러지 자체만으로 제조한 보드의 흡수량(71.04%)은 다른 보드에 비해 흡수량이 많게 나타났으

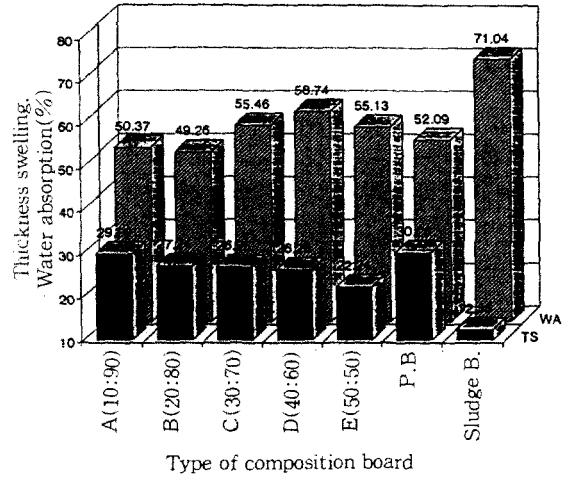


Fig. 5. Thickness swelling and water absorption of sludge-particle board

나 두께팽창은 파티클보드의 3분의 1 수준으로 오히려 가장 낮게 나타났다. 이러한 이유는 슬러지에 함유된 다량의 무기물과 리파이닝과 고해의 처리를 받은 섬유들이 수분의 흡수를 파티클보다 빠르게 한다고 여겨지며, 두께팽창시에는 섬유의 배열상태가 파티클의 길이방향 배열상태와는 다른 상태 즉, 파티클사이의 공간이 주로 두께방향으로 배열되기 때문에 슬러지에 함유된 섬유가 길이방향으로 배열되는 빈도가 파티클보다 훨씬 낮아지게 되어 두께방향의 팽창에 덜 영향을 주는 것으로 생각되며 전 등¹⁸⁾이 발표한 재료와 같은 공장의 슬러지원소분석의 데이터를 참고로 본 실험에 사용된 슬러지의 성분중 회분(23.67%)의 양과 성질로 인해 물의 흡수는 많이 하나 두께팽창은 파티클에 비해 상대적으로 낮아진다고 판단되었다. 이러한 이유로 인하여 두께팽창의 경우 슬러지의 비율이 높아질수록 두께팽창이 감소하고 흡수량은 증가함을 Fig. 5와 Table 2를 통하여 알 수 있다. 이와 같은 결과는 휨강도 부분에서 언급한 Stokke 등의 실험내용 중 요소수지를 10%로 사용하여 고지와 파티클을 50:50으로 혼합하여 제조한 보드의 두께팽창 실험결과가 31.8%인 것에 비교하여 보면 같은 비율의 슬러지-파티클 보드는 22.2%였으므로 슬러지의 사용은 두께방향의 팽창에 효과가 있는 것으로 판단되었다. Fig. 6에서 나타낸 바와같이 선팽창의 경우 슬러지만으로 구성된 보드가 가장 큰 선팽창(1.17%)을 나타내었으나 슬러지의 구성비율에 따라서는 일정한 경향을 볼 수 없었다. 이상과 같은

Table 3. Results for tukey's studentized range test for composition board

Type	Internal Bond	Static bending		Screw holding strength		Dimensional Stability		
		MOR	MOE	FACE	EDGE	WA	TS	LE
Particle B	A*	A	B	A	AB	BC	A	A
A(10:90)	AB	A	AB	A	A	BC	A	A
B(20:80)	B	A	A	A	AB	A	A	A
C(30:70)	B	AB	AB	B	ABC	BC	AB	A
D(40:60)	B	BC	AB	B	BC	B	AB	A
E(50:50)	B	C	B	B	C	BB	B	A
Sludge B	C	D	C	C	D	C	C	B

* Mean with the same letter are not significantly different. Significant differences were determined at the 5 percent level using tukey's test. the letters have been assigned in descending order according to the relative magnitude of the mean, but invert order in dimensional stability.

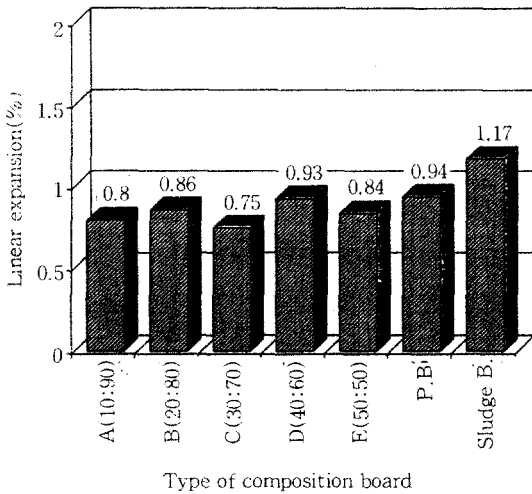


Fig. 6. Linear expansion of sludge-particle board

치수안정성 시험을 통하여 첫째, 슬러지의 구성비율이 높아질수록 흡수량은 많아지며 둘째, 슬러지의 구성비율이 높아짐에 따라 두께팽창이 줄어든다고 할 수 있으며 그 효과는 고지를 이용한 보드 보다는 우수하다고 할 수 있다.

3.4 統計分析과 評價

Table 3은 구성비율을 달리한 슬러지-파티클 보드의 Tukey's test를 나타낸 표로서 각 시험항목마다 구성비율간의 유의성이 있는지를 나타낸 것이다. 대조보드를 포함하여 가장 좋은 물성을 지닌 유형은 슬러지와 파티클이 20:80으로 혼합된 타입 B 보드였다. 대조 파티클보드와 타입 A, B 보드는 모든 시험항목에서 거의 동일한 강도적, 치수안정적 성질을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 그러므로

기존의 파티클공장에서 제지슬러지의 20%까지 혼합하여 제조하여도 물성의 차이가 발생하지 않으리라고 예상되며 제품의 원가절감에도 기여하리라 믿는다. 본 실험에서 제작한 슬러지-파티클 보드의 특징은 대조 파티클보드에 비해 횡탄성계수가 증가하고 측면방향 나사못유지력이 우수하며, 두께 팽창이 다소감소하는 등의 우수한 물성을 지니는 보드로 판단되나, 침수시험시에 슬러지와 파티클의 내부잔존용력의 차이로 인해 수분이 침투하면 공유접촉면이 분리되는 현상이 슬러지의 비율이 높은 경우(40~50%)에 나타나 강도적 저하를 초래할 수 있다는 점과 슬러지를 보드화 했을때 슬러지 성분이 인체에 해로운 영향을 끼치지 않을까 하는 점이 해결되어야 할 것으로 본다.

본 연구에서 제조한 슬러지-파티클 보드가 산업적으로 적용될 경우 그 기대효과는 제지산업과 목질관상공업에 지대한 영향을 미칠 것으로 기대된다. 그러한 근거로서 현재 제지산업에서 발생하는 슬러지는 연간 25만톤(전건기준)에 달하며, 목질 파티클보드는 연간 국내생산량은 약 15만 입방미터 정도되고 목질파이버보드의 연간 국내생산량(1992년)은 26만 입방미터에 달해서 국내목질보드의 생산량이 총 40만 입방미터 정도로 추정된다. 이를 톤으로 환산하면 대략 30여만톤에 달한다. 목질관상재료의 원료에 대하여 본 연구의 결과에 따라 제지슬러지를 약 10~30%정도를 혼합하여 사용할 수 있다면 연간 3~9만톤의 원료 대체효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 더 나아가서 슬러지만으로 된 슬러지보드나 슬러지와 단판 또는 합판으로 된 슬러지-폼플라이와 슬러지-난연보드 제조 등이 가능하게 된다면 폐기하여야 할 모든 제지슬러지를 부족한 목질관상재료의 원료로 대체이용이 가능하게 될 것이다.

4. 結 論

본 연구는 파티클보드에 대한 제지폐슬러지의 혼합비율을 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50으로 하여 보드를 제조하고 슬러지-파티클 보드의 제조가능성과 물리적 및 기계적성질을 조사하여 제지폐슬러지의 이용화의 방안을 제시하고자 실시하였다. 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 슬러지-파티클 보드는 기존의 파티클제조 공정과 같은 방법으로 제조가능하며 혼합비율에 따른 물성은 차이를 보였다. 슬러지의 혼합비율이 20%가 될 때까지 모든 시험에서 파티클보드와 비슷한 강도적 성질을 보였다. 나사못유지력, 박리강도, 휨탄성을 시험에서는 슬러지의 비율이 30%~50%까지 혼합 가능한 것으로 판단되었다. 특히 나사못유지력 시험에서 측면방향 나사못유지력이 우수하게 나타났다. 치수안정성의 경우 슬러지의 비율이 높아감에 따라 흡수량이 많아지며 두께팽창은 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서 제조한 슬러지-파티클 보드는 일부분의 파티클에 대하여 원료대체의 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대되며 그 가능성이 충분하다고 사료되었다.

參 考 文 獻

1. Rowell, R. M., J. A. Youngquist., and D. McNatt. 1991. Composites from recycled materials. proceedings of the 25th international particleboard/composite material symposium : 301-313
2. Krzysik, A. M. and J. A. youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood fibre/polypropylene fibre composites. *Int. J. Adhesion and adhesives*. 11(4):235-240
3. Myers, G. E., I. S. Chahyadi., C. A. Coberly and D. S. Ermer. 1991. Wood flour/polypropylene Composites:Influence of maleated polypropylene and process and composition variables on mechanical properties. *Intern. J. Polymeric Mater.* vol 15 : 21-44
4. 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. *Forest Prod. J.* 42(6):42-48

5. Stokke, D. D and B. H. Liang. 1991. Potential for recycling mixed grade waste paper into wood composite. Adhesives and bonded wood products symposium. Seattle in November.
6. 산림청임업통계연보. 1992. 22호 : 390
7. 박영성, 한근희, 손재익, 정태호. 1990. 제지슬러지의 유동층 건조장치의 적용시험연구(상-하). *제지계*. 193(10):27-34
8. 대왕제지 산업폐기물 연소로반. 1987. 슬러지 보일러에 의한 에너지절감의 추진. *제지계*. 175(4):60-65
9. 한순교, 이화형. 1987. 제지 슬러지 비료화 연구. *펄프·종이 기술*. 19(2):56-63
10. 신강식, 임덕순. 1988. 제지슬러지 건조 및 소각을 통한 에너지 절감. *제지계*. 193(10):27-34
11. 온두현, 전병관, 여길상. 1984. 지·Pulp공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구(I) - sludge의 성분분석 및 산가수분해에 관하여-. *펄프·종이기술* 16(2):15-19
12. 온두현, 전병관, 심규섭. 1985. 지·Pulp공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구(II) - 산에 의한 sludge의 가수분해에 관하여-. *펄프·종이기술*. 17(1):38-44
13. 온두현, 전병관. 1985. 지·Pulp공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구(III) - sludge의 효소가수분해에 관하여-. *펄프·종이기술*. 17(2):10-17
14. 온두현, 전병관, 이태원. 1986. 지·Pulp공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구(IV) - sludge의 효소가수분해에 대한 속도론적 고찰 -. *펄프·종이기술*. 18(1):35-42
15. 전병관, 김윤섭. 1992. 산업폐기물의 미세 섬유소 처리에 관한 연구 -제지공장 슬러지의 가수분해와 메탄발효특성-. *펄프·종이기술*. 24(2):22-28
16. Simpson, G. G., L. D. King., B. L. Carlile., and P. S. Blickensderfer. 1983. Paper mill sludges, coal fly ash, and surplus lime mud as soil amendments in crop production. *TAPPI*. 66(7):71-74
17. Thiel, D. A., S. G. Martin., J. W. Duncan., and W. R. Lance. 1989. The effects of a sludge containing dioxin on wildlife in pine plantations. *TAPPI*. 72(1):94-99

18. Steven, S., M. Nessman., T. Charles., and D. Ulrich. 1988. Paper sludge land application studies for three Wisconsin mills. *TAPPI*. 71(9):101-107
19. Bradley, A. J., and P. W. Kane. 1991. Sludge dewatering and incineration at Westvaco, North Charleston, S. C. *TAPPI*. 74(5):131-1.7
20. Ole, N., O. Lehtonen., and J. Mullen. 1991. Burning mill sludge in a fluidized-bed incinerator and waste-heat-recovery system. *TAPPI* 74(3)119-122
21. Nancy, J. S. and T. H. McIntosh. 1988. Technical and economic feasibility of briquetting mill sludge for boiler fuel. *TAPPI*. 71(3):135-139
22. Carl, E. L. 1989. Paper mill sludge as valuable fuel. *TAPPI*. 72(12):139-141
23. Kekki, R. M. 1981. Incineration and heat recovery of primary clarifier sludge. *TAPPI*. 64(9):149-151
24. James, A. S. 1981. Remedial action controls groundwater contamination at a paper mill sludge disposal site. *TAPPI*. 64(8):41-43
25. McGovern, J. N., J. G. Bockheim., and A. J. Baker. 1983. Characteristics of combined effluent treatment sludges from several types of pulp and paper mills. *TAPPI*. 66(3):115-118
26. Shimono, K. 1981. Recent utilizations and progress of developments for resource of paper sludge. *紙ノ技術協誌*. 35(9):1-12
27. Nahamura J. 1988. 지렁이를 이용한 펄프 슬러지의 처리방법. *제지계*. 185(2):41-45
28. KS F 3104. 1987.
29. 윤형운, 이필우. 1992. 구성형태에 따른 파티클과 파이버로 제조한 패널의 물리적 및 기계적 성질. *목재공학*. 20(6):9-22
30. McNatt, J. D. 1989. Screw-holding, internal bond, and related properties of composite board products for furniture and cabinet manufacture:a survey of the literature. *Forest Prod. Research Society* :30-35
31. 박명도. 1992. 국내 목질판상재 산업의 현황과 전망. *목재공학*. 20(9):79-88