

제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 내화성과 기계적 성질 *1

孫 廷 一 · 李 弼 宇 *2

Fire Retardancy and Mechanical Properties of Paper Sludge-Wood Particle Mixed Board *1

Jung-Il Son · Phil-Woo Lee *2

ABSTRACT

This research carried out to investigate the effects of inorganic materials in paper sludge on the thermal degradation and of paper sludge addition on physical and mechanical properties of paper sludge-wood particle mixed boards in comparison with unmodified particleboards. Also these unmodified particleboards and paper sludge-wood particle mixed boards were soaked in aqueous solutions of fire-retardant chemicals(diammonium phosphate and zinc chloride), and their fire retardancy were tested by oxygen index method and ISO ignition test to determine the feasibility of paper sludge, industrial waste, as a recyclable resource in fabrication of fire-resisting panels for building material. Since the redrying of fire-retardant-treated particleboards and paper sludge-wood particle mixed boards were made by press drying method, this process was a simple and effective method. On the other hand, flexural bending strength and internal bonding strength were also analysed to evaluate mechanical properties through standard method.

Keywords : Paper sludge, paper sludge-wood particle mixed board, oxygen index, ISO ignition test, ignition time

1. 서 론

현재 국내에서 건축의 내장재나 가구류의 재료로 가장 많이 이용되고 있는 목질재료의 하나로서 파티클보드를 들 수 있는데 지금까지 시도된 파티클보드의 내화처리방법에는 파티클 원료 자체에 내화제를 침지시키는 in-process treatment법과 파티클보드를 제조한 후 일정한 농도의 내화제 용액에 침지시켜 처리한 다음 재건조 방법으로 압력과 온도를 이용하여 열판 건조하는 pressure im-

pregnation post-treatment법의 두 가지가 있다. 전자의 방법이 파티클보드 내화처리시 주로 사용되는 것으로 파티클 원료 자체에 내화처리함으로써 보류량을 조절할 수 있으며 내화효과는 좋으나 내화제가 접착을 방해하여 강도 저하를 일으키고 내화처리한 파티클의 재건조비용이 많이 드는 단점이 있다. 후자의 방법은 건조비용이 절감되고 작업이 수월한 장점이 있으나 필요한 보류량을 정확히 주입시킬 수 없을 뿐만 아니라 보류량이 많아질 때는 강도 저하가 나타나기도 한다.^{1,2)}

*1 接受 1994年 2月 8日 Received February 8, 1994

*2 서울대학교 農業生命科學大學 College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

미국 임산물 연구소에서 목재의 내화처리에 관한 연구가 광범위하게 이루어져 왔으며 Arsenault¹⁾는 사시나무 플레이크에 내화제를 처리하여 내화처리 플레이크 보드를 제조한 후 각 내화약제에 따른 내화처리 플레이크 보드의 강도적 성질에 관해 비교 검토하였고, Shen과 Fung^{2,3)}은 내화처리 파티클 보드의 제조에 있어 보다 간편하고 효과적인 방법으로 파티클 표면에 내화제를 균일하게 도포하고 적절한 온도, 압력, 시간으로 압제하여 그 내화제가 파티클보드의 표면에서 중심부로 침투할 수 있도록 함으로써 내화효과를 얻는 방법을 보고한 바 있으며 수용성 인산암모늄 도료 및 열압방식(in line hot pressing technique)을 개발한 바 있다. White^{4,5)}는 소재와 함께 여러가지 목질관상제품인 합판, 경질섬유판, 석고보드 등의 열차단 효과를 비교하여 보고하였으며, 또한 calcium silicate board 및 aluminum foil을 표면에 적층한 플라스틱판의 열차단성에 관한 연구를 보고한 바 있다. Lee와 Schaffer⁶⁾는 borax-boric acid, chromated zinc chloride, minalith, pyresote 등과 같은 내화약제를 처리한 Douglas-fir 및 aspen 합판을 저, 중, 고온의 건조조건 하에서 열기 건조 및 열판건조특성 등에 관하여 언급한 바 있다. Winandy 등⁷⁾은 Douglas-fir와 aspen 합판에 내화제를 처리한 다음 재건조하여 기계적 성질을 조사하였고, 또한 LeVan과 Winandy⁸⁾는 내화처리시 소재와 목질관상재료의 강도에 미치는 영향 인자로 내화제, 열처리, 함수율 등을 들었으며, 그 강도적 성질을 조사한 바 있다. 그리고 Winandy 등⁹⁾은 내화처리 합판을 고온조건 하에 노출시킨 후 휨강도 및 인장강도를 구한 바 있다.

국내의 연구동향을 보면 **李**와 **權**¹⁰⁾은 합판의 표면에 난연수지를 처리한 후에 top-coating을 실시하고 building material combustibility tester (BMCT)와 inclined panel tester(IPT)를 이용하여 실험한 결과 BMCT 보다는 IPT가 중량감소율과 착염시간의 결과가 더 뚜렷하였으며, 착염 시간은 도포처리량의 증가에 따라 증가하는 경향이 있다고 보고한 바 있다. 또한 **李**와 **權**¹¹⁾은 파티클보드에 황산암모늄과 minalith를 내화약제로 사용하여 내화도를 측정된 결과 미나리스의 내화효과가 우수함을 보고하였으며, **鄭**과 **李**¹²⁾는 내화합판의 휨강도를 조사하여 합판 특유의 장점인 휨강도를 유지하는 내화합판의 제조 공정을 밝힌 바 있다. **權**과 **李**¹³⁾는 파티클보드와 comply-board에 여러 내화약제로 처리하여 조사한 결과 불꽃의 길

이, 탄화면적 및 중량감소율은 약제간의 차이에 따른 효과가 없음을 보고하였다. Lee¹⁴⁾는 ammonium sulfate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate, borax-boric acid, minalith를 얇은 합판에 침지하여 휨강도와 산소지수에 대하여 약제 간에 따른 차이를 비교 검토한 바 있다.

한편 제지 슬러지의 성분 중 회분은 무기물로서 내화성을 부여하는 성분과 동일하거나 비슷한 성분으로 구성되어 있어서 이들 제지 슬러지를 이용하여 보드를 제조할 경우 내화효과를 나타낼 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 제지 슬러지를 목재 파티클과 구성비율을 달리하여 섞은 다음 보드를 제조하고 혼합된 제지 슬러지 내의 무기성분이 열에너지를 차단함으로써 가연물질인 보드의 열분해 방지 효과가 있음을 일차적으로 알아보고, 또한 이를 대조보드로 하여 내화제를 처리한 다음, 일정한 조건의 연소시험을 실시하여 그 내화효과를 측정함으로써 산업폐기물의 재활용 및 건축 내장재료의 이용가능성을 규명하고자 한다. 그리고 내화처리방법에 있어서 처리 후의 열판건조법을 이용함으로써 내화제 처리시간을 단축하고, 제지 슬러지 구성비율에 따른 내화처리시간의 효과를 규명하고 분석하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 목재 파티클

본 연구에서 보드를 제조하기 위해 사용한 파티클은 소나무 50%, 미송 30%, 그리고 가문비나무, 라왕, 기타 잡목이 혼합된 팔만칩을 사용하였으며, 파티클은 일정한 함수율(4~5%)까지 건조한 후 파티클 크기를 일정하게 하기 위하여 체 진동기를 사용하여 선별(-4~+14 메시)하였다.

2.1.2 제지 슬러지

본 연구에서 사용한 제지 슬러지는 국내 H 제지 회사로부터 분양받아 고지 탈묵 과정 중 발생한 제지 슬러지를 사용하였다. 분양받은 제지 슬러지는 제지 공장에서 탈수된 것으로 수 주일동안 건조하여 함수율 20~30%에 도달한 후 파쇄기를 사용하여 파쇄하고 일정한 크기로 선별(-4~+40 메시)한 다음 더욱 건조시켜 함수율 10%가 되도록 조정하였다.

2.1.3 접착제 및 첨가제

파티클보드와 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보

드 제조에 사용한 접착제는 수지 고형분이 56 %인 요소수지로 목재 파티클 및 제지 슬러지의 전건중량에 대하여 10 % 첨가하고, 경화제는 10 % 염화암모늄 수용액을 수지용액에 대하여 10 % 첨가하였다. 이밖에 wax(solid content 46.8 %)는 목재 파티클 및 제지 슬러지의 전건 중량에 대하여 1 %를 첨가하였다.

2. 1. 4 내화제

본 연구에서 사용한 내화제는 제 2 인산암모늄(diammonium phosphate), 염화아연(zinc chloride) 2 종류의 약제로써 30 % 수용액 상태로 제조하여 사용하였다.

2. 2 실험방법

2. 2. 1 보드의 제조

2. 2. 1. 1 크기와 구성 비율

본 연구에서 제조한 파티클보드, 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 크기는 32 cm(길이)×30 cm(폭)×0.80 cm(두께)이며, 제지 슬러지-목재 파티클의 중량비율은 0:100, 10:90, 20:80, 30:70으로 하였다. 이때 보드의 목표비중은 0.8로 고정하여 제조하였다.

2. 2. 2 보드의 내화 약액 처리 및 열판 건조

보드의 약액 처리는 파티클보드와 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드를 플라스틱 침지조에 30, 90, 150, 210 초 동안 침지시킨 후 열압기로 열판 건조하였다. 열판 건조시 열압온도는 170 ℃, 열압시간은 15 초, 압력은 10 kg/cm²로 하였다. 이때 조습처리한 보드의 함수율은 9.43~11.03 %의 분포를 보였다.

2. 2. 3 내화도 시험

2. 2. 3. 1 연소도 시험

본 실험에서 사용한 시험편의 규격은 ASTM D 2863-74의 규정¹⁵⁾에 의거하여 폭 6.5±0.5 mm, 두께 3.0±0.5 mm, 길이 70~150 mm로 20개씩 제작하였고 사용한 기기는 영국 Stanton Redcroft사의 연소도 측정기(Flammability Test Analyzer)를 사용하였다. 산소 농도를 임의로 조정된 후 필요에 따라 그 농도를 0.1~1 %씩 증가 또는 감소시키면서 연소시험을 실시하였으며, test column내의 gas flow rate는 4.2 cm/sec였다. 시험편에 부탄 가스 버너를 이용하여 5 cm 정도의 불꽃으로 10 초간 착화시킨 후 불꽃 지속시간인 잔염시간이 180 초에 접근하였을 때와 시험편 길이의 1/2(50 mm)이 연소되었을 때의 산소 농도를 산소지수로 하였다. 이때 180초 이하의 잔염시간, 혹

은 50 mm이하의 연소 범위를 가지면 X, 그 이상이면 O 라는 기호를 사용하여 20 개 시험편의 연소결과를 기록하고, 이를 근거로 하여 Dixon과 Massey¹⁶⁾가 제시한 식에 의해 계산하였다.

2. 2. 3. 2 ISO 착화성 시험기를 사용한 시험

ISO 착화성 기기는 일본 동양정밀소 제품으로 복사열에 의한 착화성을 평가하기 위하여 사용하였다. 시험편의 크기는 165 mm×165 mm로 하며 반복수는 5 회로 하였다. 이 시험에서는 착화시간과 4 초 미만의 화염이 생기는 최소 시간을 측정하였다.

2. 2. 4 박리강도 및 휨강도

박리강도는 KS F 3104의 규정에 의해 시험크기 5 cm×5 cm, 하중속도 2 mm/min으로 철판과 시험편을 hot-melt 접착제로 붙여 SHIMADZU사의 Universal Testing Machine(UTM)을 사용하여 5 반복 측정하였다. 그리고 휨강도는 KS F 3104의 규정에 의해 시험편의 크기 28.0 cm×5.0 cm×0.8 cm, 하중속도 10 mm/min, 스패น 15.0 cm의 조건으로 SHIMADZU사의 UTM을 사용하여 8 반복 측정하였다.

2. 2. 5 통계분석

본 실험의 통계처리는 대조보드인 무처리 파티클보드와 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드를 포함하여 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드에 대해 제지 슬러지의 구성비율과 내화처리 침지시간의 차이를 알아보기 위하여 각 시험방법에 따라 SAS(Statistical Analysis System) 통계 패키지를 이용하여 분산분석하고, 처리평균간의 비교를 Tukey's test로 검정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 비중과 함수율

각 구성 비율별로 제작한 무처리 파티클보드, 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드, 내화처리 파티클보드 그리고 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 전건 비중은 0.77~0.83의 분포를 나타내었으며 함수율에 있어서 무처리 파티클보드 및 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 8.52~9.42 %, 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 9.43~11.03 %의 분포로 내화처리한 보드의 함수율이 무처리 보드의 함수율보다 약간 높았다. 각 보드별 함수율과 비중은 표 1에 표시하였다.

Table 1. Moisture content and specific gravity of tested board.

Board Type	Abbreviation	M.C.*1(%)	Sp.Gr.*2
Untreated P. B.	P(0:100)	9.42	0.77
Untreated paper	A(10:90)	9.32	0.77
sludge-wood	B(20:80)	9.29	0.80
particle mixed	C(30:70)	8.52	0.78
boards			
	P-AP-30	10.32	0.80
	P-AP-90	10.58	0.81
	P-AP-150	10.70	0.80
	P-AP-210	10.75	0.81
AP treated	A-AP-30	9.43	0.78
paper sludge-	A-AP-90	10.01	0.80
wood particle	A-AP-150	10.54	0.81
mixed boards	A-AP-210	10.93	0.82
	B-AP-30	10.23	0.81
	B-AP-90	10.29	0.81
	B-AP-150	10.74	0.82
	B-AP-210	10.82	0.80
	C-AP-30	10.13	0.78
	C-AP-90	10.47	0.81
	C-AP-150	10.42	0.81
	C-AP-210	10.53	0.82
	P-ZC-30	10.45	0.81
	P-ZC-90	10.58	0.82
	P-ZC-150	10.53	0.81
	P-ZC-210	10.74	0.82
ZC treated	A-ZC-30	10.85	0.80
paper sludge-	A-ZC-90	10.83	0.80
wood particle	A-ZC-150	10.94	0.82
mixed boards	A-ZC-210	11.03	0.83
	B-ZC-30	10.25	0.77
	B-ZC-90	10.32	0.79
	B-ZC-150	10.84	0.80
	B-ZC-210	10.93	0.82
	C-ZC-30	10.18	0.80
	C-ZC-90	10.53	0.80
	C-ZC-150	10.44	0.81
	C-ZC-210	10.67	0.79

*1 based on oven-dry weight,

*2 based on oven-dry volume.

A(10:90) : paper sludge weight to wood particle weight(oven-dry basis); AP:diammonium phosphate ; ZC:zinc chloride;30,90,150,210:soaking time(sec).

3. 2 약액 보류량

침지시간별 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 각 약제에 따른 약액 보류량은 표 2 와 같다. 표 2 에서 볼 수 있는 바와 같이 약액농도가 일정할 때 침지시간이 증가함에 따라 약액 보류량도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 제 2 인산암모늄에서는 제지 슬러지가

Table 2. Chemical retentions of treated particleboard and paper sludge-wood particle mixed board.

Board Type	Board Abbreviation	Chemical Retention (kg/ft ³)
	P-AP-30	1.03 *
	P-AP-90	1.13
	P-AP-150	1.25
	P-AP-210	1.30
	A-AP-30	0.78
	A-AP-90	0.85
AP treated	A-AP-150	0.95
paper sludge-	A-AP-210	1.01
wood particle	B-AP-30	0.65
mixed boards	B-AP-90	0.77
	B-AP-150	0.81
	B-AP-210	0.93
	C-AP-30	0.62
	C-AP-90	0.67
	C-AP-150	0.67
	C-AP-210	0.73
	P-ZC-30	0.90
	P-ZC-90	1.02
	P-ZC-150	1.09
	P-ZC-210	1.09
	A-ZC-30	0.72
	A-ZC-90	0.82
ZC treated	A-ZC-150	0.81
paper sludge-	A-ZC-210	0.82
wood particle	B-ZC-30	0.62
mixed boards	B-ZC-90	0.67
	B-ZC-150	0.66
	B-ZC-210	0.68
	C-ZC-30	0.58
	C-ZC-90	0.62
	C-ZC-150	0.62
	C-ZC-210	0.64

* Each mean value of specimens from 5 replications.

함유되지 않은 파티클보드를 210 초의 침지시간으로 처리하였을때 약액 보류량은 1.30 kg / ft³로써 가장 컸으며 제지 슬러지의 구성비율이 30 %인 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드를 30 초의 침지시간으로 처리하였을때 약액 보류량은 0.62 kg / ft³로써 가장 작은 값을 나타내었다. 염화아연에서도 역시 제지 슬러지가 함유되지 않은 파티클보드를 210 초의 침지시간으로 처리하였을때 약액 보류량은 1.10 kg / ft³로써 가장 컸으며 제지 슬러지의 구성비율이 30 %인 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드를 30 초의 침지시간으로 처리하였을때 약액 보류량은 0.56 kg / ft³로써 가장 작은 값을 나타내

었다. 그리고 침지시간이 일정할 때 제지 슬러지의 구성비율이 증가함에 따라 약액 보류량이 감소함을 알 수 있었다. 그러나 李 등¹⁷⁾이 발표한 슬러지-파티클보드의 제조 가능성에 대한 기초연구에서는 치수 안정성 시험시 24 시간을 물에 침지시킨 결과, 제지 슬러지의 구성비율이 높을수록 흡수량이 증가한다고 발표한 바 있다. 이 사실로 미루어 보아 침지시간이 짧을 경우에는 보드의 결합력을 깨뜨리기 어려워 약제가 침투되기 어렵지만, 어느 한계시간을 넘게 되면 슬러지의 구성비율이 높을수록 약액 보류량이 증가하여 정반대의 결과가 생길리라 추측된다.

3.3 연소도 측정기를 이용한 산소지수

무처리 파티클보드, 구성비율에 따른 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드 및 내화처리 파티클보드, 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드의 산소지수(oxygen index)를 측정된 결과를 나타내면 그림 1, 2 와 같다. 그림 1, 2 에서 보는 바와 같이 내화처리되지 않은 무처리 보드의 경우

산소지수는 제지 슬러지의 구성 비율이 30 %인 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드가 27.9 로 가장 높았으며 제지 슬러지의 구성 비율이 높을수록 산소지수가 높음을 알 수 있었다. 이는 제지 슬러지가 연소에 대한 저항성이 크다는 것을 증명하는 것으로 그 근거로는 田과 金¹⁸⁾이 발표한 제지 슬러지의 가수분해와 매탄발효특성에 관한 연구에서 제지 슬러지의 성분을 분석한 바 제지 슬러지의 성분 중 회분이 전체의 23.67 %를 차지하고 있고, 이 회분 성분은 SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Mg, Na, P, N 등의 무기성분으로 구성되어 있다는 결과로 미루어 볼 때 내화성이 높은 무기물의 함량이 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 산소지수의 상승 또는 내연소성의 향상에 크게 영향을 준 것으로 판단된다. 그리고 각 처리 간의 유의성을 검정하기 위하여 실행한 Tukey's test의 결과를 살펴보면 제지 슬러지 대 목재 파티클의 비율이 10:90 인 것과 20:80 인 것 그리고 20:80 인 것과 30:70 인 것을 제외하고는 5 % 수준에서 처리 효과간 유의성이 있었다. 이러한 결과로부터 파티클보드에 제지 슬러지를 혼합한다면 일반 파티클보드보다 내화성

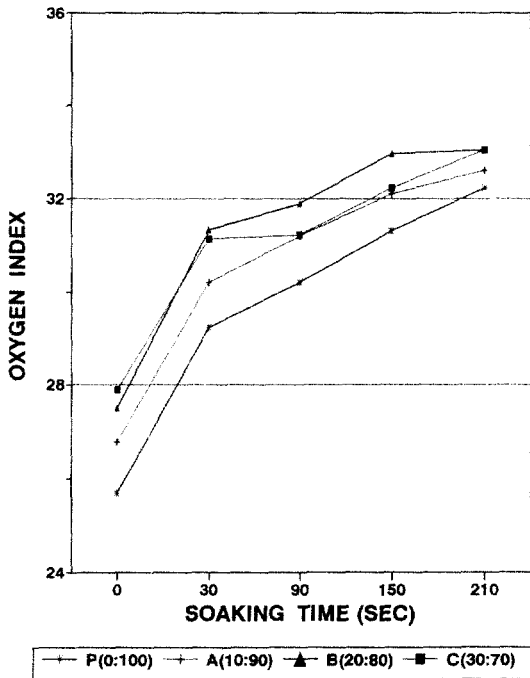


Fig. 1. Relationship between soaking time and oxygen index in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after diammonium phosphate solution treatment.

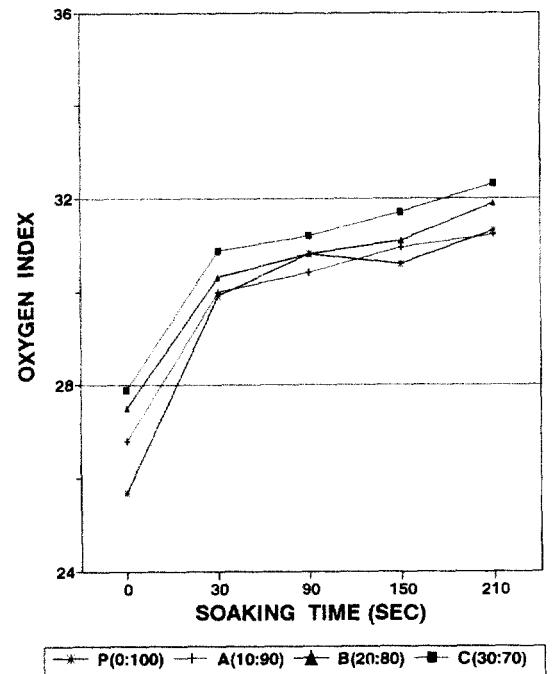


Fig. 2. Relationship between soaking time and oxygen index in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after zinc chloride solution treatment.

이 상당히 개선된 목질관상재료를 제조할 수 있을 뿐만 아니라 파티클보드의 원료인 원목의 가격상승과 구독난을 고려할 때 원가절감의 효과도 가져올 수 있으리라 기대된다.

내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 산소지수는 제 2 인산암모늄과 염화아연으로 처리한 보드의 경우 모든 타입의 보드들이 침지시간이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 우선 제 2 인산암모늄을 처리한 경우를 살펴보면 제지 슬러지의 구성비율이 높을수록 침지시간에 따른 산소지수의 증가폭이 감소함을 알 수 있다. 이는 슬러지의 구성비율이 높을수록 약액 보류량이 감소하기 때문이라 생각되며 또한, Tukey's test의 결과에서 볼 수 있듯이 내화처리 파티클보드는 침지시간별 유의성이 있음을 보였고, 제지 슬러지의 함량이 10%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 침지시간이 150초와 210초, 제지 슬러지의 함량이 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 30초와 90초, 90초와 210초, 제지 슬러지의 함량이 30%인 내

화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 30초와 90초 간의 유의성이 없음을 각각 보여 주고 있다. 한편 염화아연을 처리한 경우를 살펴보면 제 2 인산암모늄을 처리한 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 내화처리 파티클보드는 침지시간이 90초와 150초, 90초와 210초, 제지 슬러지의 함량이 10%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 30초와 90초, 90초와 150초, 150초와 210초, 제지 슬러지의 함량이 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 30초와 90초, 90초와 150초, 제지 슬러지의 함량이 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 30초와 90초, 90초와 150초, 그리고 150초와 210초 간의 유의성이 없음을 각각 보여 주고 있다.

3. 4 ISO 착화성 시험기를 사용한 측정

ISO 착화성 시험기를 사용하여 얻은 결과는 그림 3, 4와 같다. 내화처리되지 않은 무처리 보드의 착화시간은 파티클보드가 242.6초, A(10:90), B(20:80), C(30:70) 타입의 제지 슬러지-목재 파티

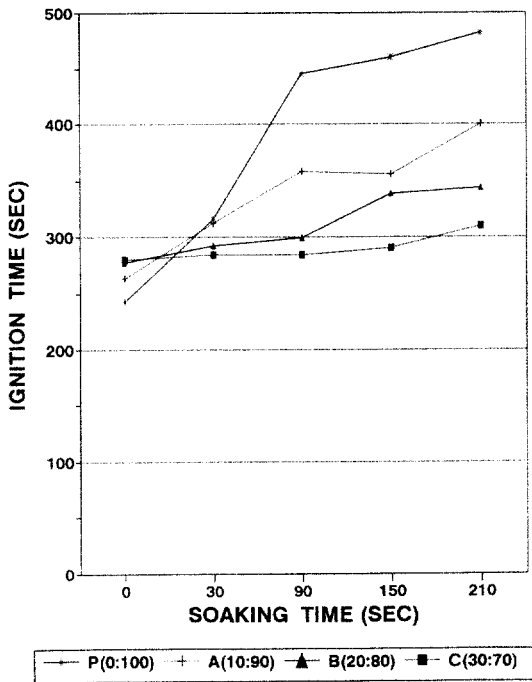


Fig. 3. Relationship between soaking time and ignition time in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after diammonium phosphate solution treatment.

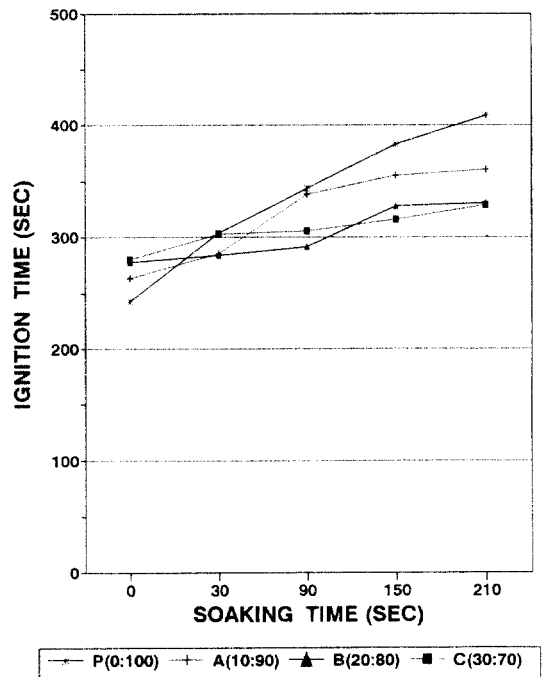


Fig. 4. Relationship between soaking time and ignition time in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after zinc chloride solution treatment.

클혼합보드가 각각 263.4초, 277.8초, 280.0 초였다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 제지 슬러지의 함량이 많을수록 늦게 착화됨을 알 수 있었다. 이는 연소도 측정기시험으로 얻은 산소지수의 결과와 일치하는 것으로 제지 슬러지가 내화성이 높은 물질임을 입증하는 중요한 자료로 볼 수 있다. 그리고 각 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 실행한 통계자료를 살펴보면 제지 슬러지 대 목재 파티클의 비율이 20:80과 30:70인 것을 제외하고는 5% 수준에서 처리효과 간 유의성이 있었다. 4 초 미만의 화염이 처음 생기는 시간을 최초 flash time이라 하는데 내화처리되지 않은 각 무처리 보드에 있어 파티클보드가 204.0초, A(10:90), B(20:80), C(30:70) 타입의 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드가 각각 220.4 초, 229.8 초, 237.2 초로 나타났다.

또한 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합 보드의 결과는 제 2 인산암 모늄을 처리한 경우 침지시간이 증가할수록 착화 시간 및 최초 flash time이 증가함을 볼 수 있었다. 제지 슬러지가 함유되지 않은 내화처리 파티클 보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 315.6 초, 445.4 초, 460.8 초, 482.2 초로 침지시간이 90 초와 150 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 제지 슬러지의 함량이 10%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 312.4 초, 358.4 초, 356.2 초, 400.6 초로 침지시간이 90 초와 150 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 제지 슬러지의 함량이 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 292.2 초, 299.4 초, 338.4 초, 344.0 초로 침지시간이 30 초와 90 초, 150 초와 210 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 제지 슬러지의 함량이 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 284.6 초, 284.8 초, 290.8 초, 309.6 초로 침지시간이 30 초, 90 초, 150 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 그리고 염화아연으로 처리한 경우 또한 침지시간이 길어질수록 착화 시간 및 최초 flash time이 증가함을 볼 수 있었다. 제지 슬러지가 함유되지 않은 내화처리 파티클 보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 303.4 초, 343.8 초, 382.6 초, 409.0 초로 침지시간별 모두 유의성이 있음을 보여 주고 있다. 제지 슬러지의 함량이 10%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 285.4 초, 338.0 초, 355.2 초, 360.0 초로 침지

시간이 150 초와 210 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 제지 슬러지의 함량이 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 283.2 초, 291.2 초, 328.2 초, 331.0 초로 침지시간이 30 초와 90 초, 150 초와 210 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 제지 슬러지의 함량이 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 그 착화시간이 침지시간에 따라 각각 303.0 초, 305.0 초, 315.6 초, 328.6 초로 침지시간이 30 초, 90 초 간에는 유의성이 인정되지 않았다.

3.5 기계적 성질

3.5.1 휨강도

내화처리되지 않은 무처리 파티클보드 및 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드, 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨파괴계수와 휨탄성계수는 그림 5, 6, 7, 8 에 나타내었다. 우선 내화처리되지 않은 무처리 보드의 결과를 살펴보면 제지 슬러지와 목재 파티클의 혼합비율이 10:90인 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 무처리 파티클보드의 휨파괴계수 및 휨탄성계수와 거의 동일한 수준의 값을 나타내었으며 제지 슬러지의 혼합비율이 20%, 30%로 증가하면 휨파괴계수와 휨탄성계수가 무처리 파티클보드나 제지 슬러지의 혼합비율이 10%인 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드보다 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 제지 슬러지의 혼합비율이 목재 파티클에 대하여 20%가 될 때까지는 KS F 3104 150 타입 보드의 기준(130 kgf/cm² 이상)을 만족하는 결과를 나타내었고, 제지 슬러지의 구성비율이 30%인 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 100 타입 보드의 기준(80 kgf/cm² 이상)을 만족하는 휨파괴계수를 갖는 것으로 나타났다. 또한 내화처리되지 않은 무처리 파티클보드 및 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 KS F 3104의 100 타입 탄성계수값 1.5×10⁴ kgf/cm²를 만족하는 휨탄성계수를 갖는 것으로 나타났다. Stokke 등¹⁹⁾이 고지와 플레이크 및 목재 파티클을 50:50으로 혼합하여 제조한 paper-particleboard(Sp. Gr. 0.72, phenol resin 5%)와 paper-particleboard(Sp. Gr. 0.59, urea resin 10%)의 휨파괴계수는 274.6 kgf/cm²와 97.96 kgf/cm²이었고, 휨탄성계수는 5.2×10⁴ kgf/cm²과 1.4×10⁴ kgf/cm²이라고 발표한 자료와 비교해 볼 때 본 실험에서 제조한 내화처리하지 않

은 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨 파괴계수와 휨탄성계수는 동일 접착제를 사용한 paper-particleboard의 휨파괴계수와 휨탄성계수에 비해 우수한 결과를 나타낸다고 할 수 있겠다. 한편, 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨파괴계수와 휨탄성계수를 살펴보면 제 2 인산암모늄이나 염화아연 모두 침지시간에 따라 휨파괴계수와 휨탄성계수가 조금씩 감소하는 경향을 보이거나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 제 2 인산암모늄으로 처리한 내화처리 파티클보드 및 제지 슬러지의 구성비율이 10%, 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 경우 Tukey's test시 침지시간에 따른 휨파괴계수에 대한 유의성은 인정되지 않았다. 휨탄성계수는 내화처리 파티클보드 및 제지 슬러지의 구성비율이 10%, 20%, 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 경우 Tukey's test시 침지시간에 따른 유의성은 없었다. 반면 염화아연으로 처리한 내화처리 파티클보

드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 경우 제지 슬러지가 함유되지 않은 내화처리 파티클보드의 휨파괴계수는 30 초와 90 초, 150 초와 210 초 간의 유의성이 없음을 볼 수 있었고, 제지 슬러지의 구성비율이 10%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨파괴계수는 침지시간에 따른 처리효과가 전혀 없었고, 제지 슬러지의 구성비율이 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨파괴계수는 30 초, 90 초와 210 초, 150 초와 210 초 간의 유의성이 인정되지 않았으며, 제지 슬러지의 구성비율이 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨파괴계수는 90 초와 150 초 간의 유의성이 인정되지 않았다. 또한 염화아연으로 처리한 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 경우 제지 슬러지가 함유되지 않은 내화처리 파티클보드와 제지 슬러지의 구성비율이 30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨탄성계수는 30 초, 90 초, 150 초와 90 초, 150 초, 210 초 간의 유의성이 없음을 볼 수 있었고 제지 슬러

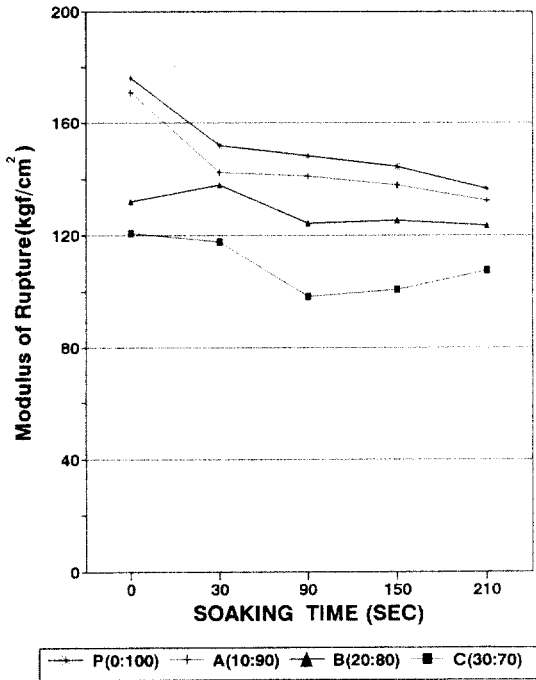


Fig. 5. Relationship between soaking time and modulus of rupture in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after diammonium phosphate solution treatment.

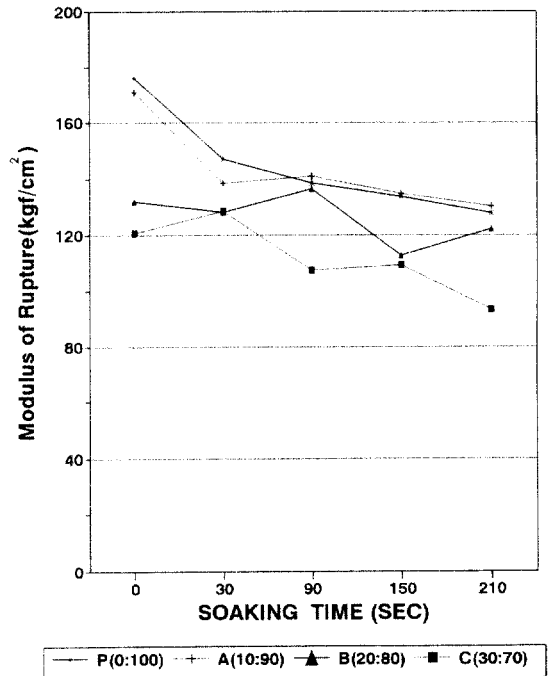


Fig. 6. Relationship between soaking time and modulus of rupture in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after zinc chloride solution treatment.

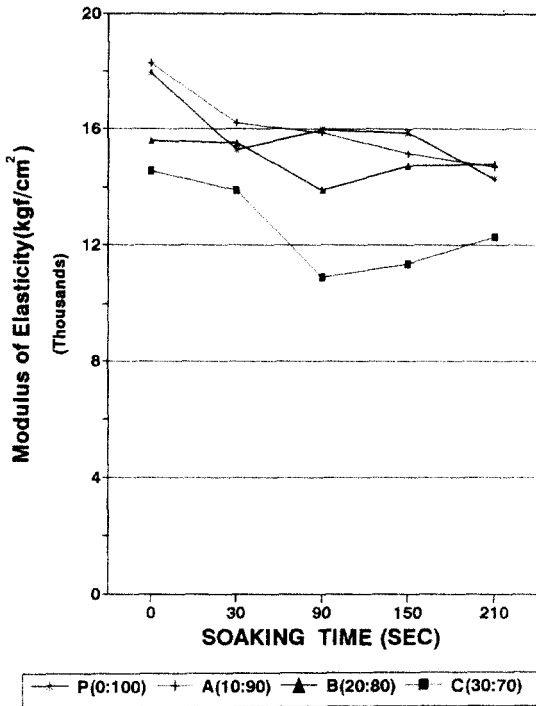


Fig. 7. Relationship between soaking time and modulus of elasticity in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after diammonium phosphate solution treatment.

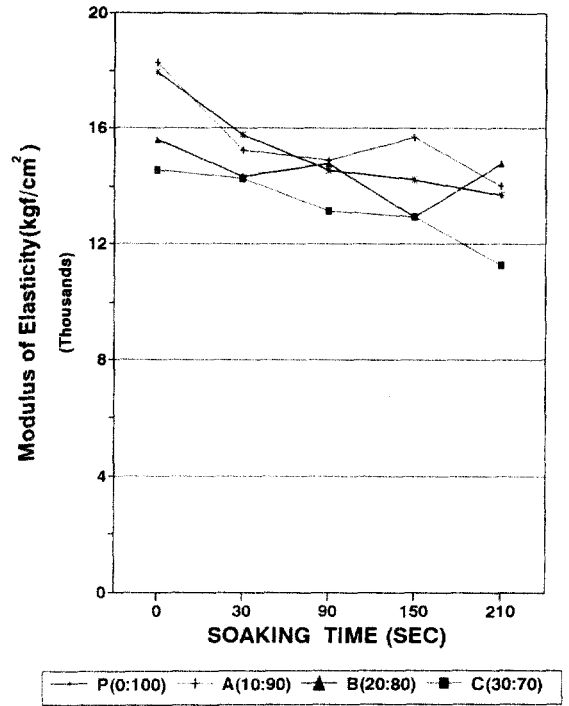


Fig. 8. Relationship between soaking time and modulus of elasticity in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after zinc chloride solution treatment.

지의 구성비율이 10%, 20%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 휨탄성계수는 모든 침지시간에 대하여 유의성이 없었다. 이러한 경향을 고찰하여 보면 내화제의 종류는 다르지만 Arsenault¹¹가 연구한 논문에서 미나리스와 파이레스트를 in-process treatment법으로 처리하여 플레이트 보드를 제조했을 때 휨과괴계수가 대조보드에 비해 33%가 감소했고 휨탄성계수는 대조보드에 비해 5.5%의 감소를 나타내고 있으며, 李와 權¹¹⁾의 연구에서는 휨과괴계수가 대조보드에 비해 약 41%의 감소를 나타냈고 휨탄성계수는 약 25%의 감소를 나타내고 있다. 그러나 본 실험에서는 앞에서 언급했듯이 휨과괴계수의 감소는 작은 폭으로 나타났고 휨탄성계수의 감소폭은 거의 변화가 없었으며 제 2 인산암모늄, 염화아연으로 내화처리한 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드 모두 모든 침지시간에서 KS F 3104 100 타입 휨과괴계수값 80 kgf/cm²를 능가하고 있고 제지 슬러지의 구성비율이

30%인 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드를 제외한 모든 타입의 보드가 KS F 3104 100 타입 휨탄성계수값 1.5×10⁴ kgf/cm²를 능가하고 있어 본 실험에서 채택한 내화처리 방법은 상당한 가능성이 있으리라 기대된다.

3.5.2 박리강도

내화처리하지 않은 무처리 파티클보드와 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드, 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 박리강도는 그림 9, 10에 나타내었다. 먼저 내화처리하지 않은 무처리 보드의 박리강도를 살펴보면 무처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 박리강도는 제지 슬러지가 함유되지 않은 무처리 파티클보드에 비해 구성비율에 따라 약 13.1~29.9%의 감소를 나타내었다. 제지 슬러지의 혼합량이 증가함에 따라 박리강도가 감소하는 경향을 보였으나, 본 실험 결과에서 나타난 박리강도치는 KS F 3104 규정(1.5~3kgf/cm²)을 만족하고도

남는 수치로서 박리강도가 우수한 보드임을 알 수 있다. 이는 **李 등¹⁷⁾**이 발표한 결과와 일치하는 것으로 파티클의 용적밀도에 비해 제지 슬러지의 용적 밀도가 보다 높은 반면에 압축률은 제지 슬러지가 낮으므로 인해 열압시에 압축저항이 파티클보다 덜 발생되어 제지 슬러지가 파티클 사이의 빈 공간으로 유동이 쉽게 되어 밀도분포가 균일한 보드를 형성함으로써 초래된 결과라 할 수 있다. 한편, 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 박리강도를 살펴보면 침지시간이 길어질수록 박리강도가 감소하는 경향을 보였다. 휨강도의 결과와는 달리 제지 슬러지의 구성비율이 감소할수록 박리강도의 현격한 저하를 보여 주고 있는데, 이는 제지 슬러지가 파티클과 파티클 사이의 공극을 잘 메워 주고 있기 때문에 내화제가 침투할 수 있는 공극이 그만큼 작아져서 박리강도의 감소를 억제하는 것이라 여겨진다. 그리고 제지 슬러지의 구성비율이 낮을수록 공극이 많이 발생하여 내화제가 보드의 표면 방향보다 모서리 방향으로 많이 침투하여 보드의 접착력을 깨뜨려 박리

강도의 저하가 발생된 것으로 생각된다. 따라서 **李 등¹⁷⁾**이 발표한 제지 슬러지-파티클보드의 제조가능성에 관한 기초연구에서 보듯이 제지 슬러지의 구성비율이 높아질수록 두께 팽창이 줄어든다는 결과와 비교해 보면 본 실험의 결과와 일맥 상통한다고 볼 수 있다. 이렇게 내화처리한 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 박리강도가 제지 슬러지의 구성비율에 낮을수록 감소하지만 한국 공업 규격 KS F 3104 규정(1.5~3 kgf/cm²)을 모두 능가하고 있다. 그런데 **Arsenault¹¹⁾**가 연구한 플레이크보드의 미나리스와 파이레스트 처리 결과는 대조구에 비해 약 60%, 58%가 감소하였고, 내화처리 파티클보드에 대한 연구로써 **황산암모늄과 미나리스 처리를 연구한 **李와 權¹¹⁾**의 연구 결과에서는 44%가 감소하여 박리강도의 감소폭이 작은 본 실험의 결과와는 다소 차이를 보였다.**

따라서 본 연구에서 채택한 pressure impregnation post-treatment법이 **Arsenault¹¹⁾**나 **李와 權¹¹⁾**이 사용한 in-process treatment법에 비해 박

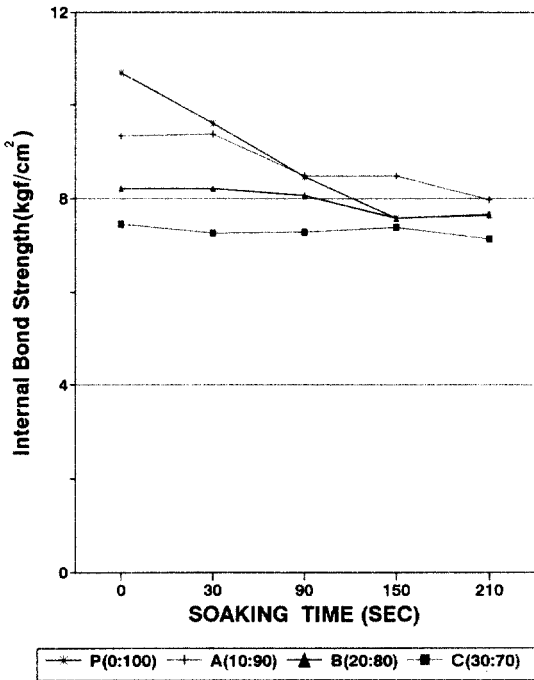


Fig. 9. Relationship between soaking time and internal bonding strength in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after diammonium phosphate solution treatment.

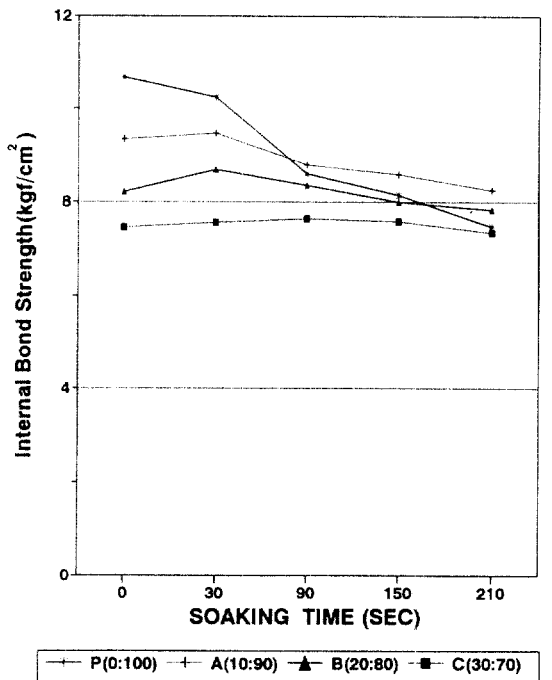


Fig. 10. Relationship between soaking time and internal bonding strength in particleboard and paper sludge-wood particle mixed board after zinc chloride solution treatment.

리강도 및 휨강도의 감소폭이 작기 때문에 보다 간편하고 효과적인 방법이라 생각된다.

4. 결 론

제지 슬러지를 혼합하지 않은 무처리 파티클보드 및 제지 슬러지와 목재 파티클의 혼합구성비율을 10:90, 20:80, 30:70 으로 하여 내화처리를 하지 않은 무처리 제지슬러지-목재파티클 혼합보드를 제조하였고, 또 이들 무처리 보드에 대하여 내화효과를 보강하기 위하여 내화처리제로 제 2 인산암모늄과 염화아연의 30 % 수용액으로 침지 처리한 후 그 내화성능과 기계적 성질을 조사한 바, 침지시간별 내화처리 파티클보드 및 내화처리 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드의 약제별 약액 보류량은 침지시간이 증가함에 따라 증가하였고, 침지시간이 일정할 때 제지 슬러지의 구성비율이 증가할수록 약액 보류량은 감소하였다. 그리고 연소도 시험에 있어서, 제지 슬러지의 구성비율이 높을수록 산소지수가 증가하였고, 내화처리 침지시간이 길수록 산소지수가 증가함을 나타내었다. ISO 착화성 시험에 있어서도 제지 슬러지의 구성비율이 높을수록 착화시간이 증가하였고 내화처리 침지시간이 길수록 착화시간이 증가함을 나타내어 제지 슬러지가 연소에 대한 저항성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

또한 내화처리하지 않은 무처리 보드의 경우 제지 슬러지의 혼합비율이 10 %인 제지 슬러지-목재 파티클 혼합보드는 제지 슬러지를 혼합하지 않은 파티클보드의 휨강도와 거의 동일한 수준의 값을 나타내었고, 내화 처리시 침지시간별 휨강도의 감소폭은 아주 작았다. 그리고 내화처리하지 않은 무처리 보드의 경우 제지 슬러지의 구성비율이 증가할수록 박리강도는 감소하였고, 무처리 보드에 내화처리시 박리강도는 침지시간이 길어질수록 감소함을 나타내었다. 따라서 단시간 내에 내화효과를 볼 수 있고, 침지시간에 따른 강도의 감소폭이 작음을 볼때 내화처리 보드의 열판건조방식은 파티클 원료 자체에 내화처리하는 방법보다 건조비용이 절감되며 또한 간편하고 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Arsenault, R. D. 1964. Fire-retardant particleboard from treated flakes. *Forest Prod. J.* 14(1):33-39

2. Shen, K. C. and D. P. C. Fung. 1972. A new method for making particleboard fireretardant. *Forest Prod. J.* 22(8):47~52
3. Shen, N. C. and D. P. C. Fung. 1975. New method for improving fire retardancy of plywood. *Forest Prod. J.* 25(4):36~38
4. White, R. H. 1979. Oxygen index evaluation of fire-retardant treated wood. *Wood Sci.* 12(2):113~121
5. White, R. H. 1982. Effect of calcium silicate substrate on thermal barrier fire testing. *Forest Prod. J.* 32(7):25~27
6. Lee, P. W. and E. L. Schaffer. 1982. Redrying fire-retardant-treated structural plywood. *Wood and Fiber* 14(3):178~199
7. Winandy, J. E., S. L. LeVan., E. L. Schaffer., and P. W. Lee. 1988. Effect of fireretardant treatment and redrying on the mechanical properties of Douglas-fir and aspen plywood. USDA Forest. Serv. Res. Paper FPL-RP-485
8. LeVan, S. L. and J. E. Winandy. 1990. Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review. *Wood and Fiber Sci.* 22(1):113~131
9. Winandy, J. E., S. L. LeVan., R. J. Ross., S. P. Hoffman., and C. R. McIntyre. 1991. Thermal degradation of fire-retardant-treated plywood. USDA Forest. Serv. Res. Paper FPL-RP-501
10. 이필우, 권진현. 1982. 건축재료 연소시험기와 경사판시험기를 이용한 합판의 내화도 측정 비교. *목재공학* 10(2):22~27
11. 이필우, 권진현. 1983. 내화처리 파티클보드의 내화도에 미치는 약제의 영향. *목재공학* 11(5):16~22
12. 정우양, 이필우. 1984. 제2인산암모늄에 의한 합판의 내화처리(2) -열판건조가 처리합판의 곡강도에 미치는 영향-. *목재공학* 12(2):3~9
13. 권진현, 이필우. 1985. 내화처리가 파티클보드와 콤포라이보오드의 기계적 성질 및 내화도에 미치는 영향. *목재공학* 13(4):3~57
14. Lee, P. W. 1990. Studies on bending properties and oxygen indices of thin plywoods treated with commercial fire-retardant chemicals. The 3rd international sym-

- posium on forest products industry in the 21st century-Timber Resources, Energy Savings, and New Wood-based Material
15. ASTM. 1974. Standard method of test for flammability of plastics using the oxygen index method. Stand. Desig. ASTM D 2863-74
 16. Dixon, W. J. and F. J. Massey, Jr. 1957. Introduction to statistical analysis 2nd ed., McGraw-Hill, New York
 17. 이필우, 윤형운, 김대준, 손정일. 1993. 슬러지-파티클보드의 제조 가능성 및 구성비율에 관한 기초연구. 목재공학 21(2):57~66
 18. 전병관, 김윤섭. 1992. 산업폐기물의 미세 섬유소 처리에 관한 연구 -제지공장 슬러지의 가수분해와 메탄발효특성-. 펄프·종이 기술 24(2):22~28
 19. Stokke, D. D. and B. H. Liang. 1991. Potential for recycling mixed grade waste paper into wood composite. Adhesive and Bonded Wood Products Symp. Seattle in Nov.