

페타이어를 이용한 목질계 복합판넬의 연구*1

- 열압조건에 의한 재질특성 -

이 원 희*2 · 박 상 진*2

Studies on Wood-based Composite Panel with Waste Tire*1

- Properties of Composite Boards in Relation
to Hot Pressing Conditions -

Weon-Hee Lee*2 · Sang-Jin Park*2

ABSTRACT

The effect and control of wood property of reconstituted composite panels for improved board properties by wood-waste materials and development of combination method for heterogeneous materials have been of interest to the wood science researchers. The purpose of this study is to consider the properties in relation to hot pressing conditions and to develop the optimum hot pressing condition with waste wood and waste tire for the manufacturing of composite boards. The study of composite boards for recycling of wood and waste tire is nothing up to the present. Physical and mechanical properties such as specific gravity, moisture content, swelling coefficient, modulus of rupture and modulus of elasticity in bending test were studied. The condition of 3-stage press time for the lowest moisture content of composite board was 4 → 3 → 3 minutes. Specific gravity of composite panels was affected mainly by the amount of rubber chip. Because of the low rigidity and high elasticity in rubber chip, it is considered the composite panel was adequate material in the place of compression load, but not bending load. Therefore, it was concluded that a use of rubber-based wood composite panel is proper to the interior materials such as floor a room than exterior materials. From the test results, the most optimum hot pressing conditions were 4 → 3 → 3 minutes for 3-stage press time and 45 → 20 → 5kg/cm² for 3-stage press pressure. The rubber-based wood composite panel was very excellent in elasticity by combination of rubber chip in comparison with existing other wood-based materials. Therefore, it was considered that rubber-based wood composites can be applicable to every interior materials such as floor a room and will be expected to effective reuse and recy-

*1 접수 1997년 9월 24일 Received September 24th, 1997

이 논문은 농림부 농림수산 특장연구사업(1996~1997)의 일환으로 수행되었음.

*2 경북대학교 농과대학 College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

cle of waste tires and wood-waste materials, and will be contribute to protection of environment pollution in earth.

Keywords : Composite panel, waste tire, hot pressing condition, physical & mechanical property, recycle.

1. 서 론

현대사회에 있어서 가장 큰 과제는 산업화에 의한 고도의 경제성장이며, 이에 동반하여 배출되는 쓰레기의 처리문제가 심각한 상태에 직면해 있다. 우리 주변의 생활쓰레기는 물론이고 산업체에서 배출되는 폐기물의 양은 더욱 많아 그 처리방법 때문에 엄청난 비용을 지불하고 있다. 폐기물 가운데서도 우리들의 일상생활속에 존재하는 자동차 관련 폐기물은 해가 갈수록 자동차산업의 고속 성장과 더불어 쓰레기 배출량도 증가일로에 있다. 전년도에 비해 올해의 자동차 수요는 지속적으로 증가하여 97년 7월중순 현재 자동차수 1천만대를 돌파하였고, 이에 동반한 자동차 산업 폐기물의 계속적인 증가는 피할 수 없는 현실이 되고 있다. 그중에서도 폐기 타이어의 숫자는 년간 약 1천 7백만개 수준으로서 그 처리가 심각하다고 할 수 있다. 특히 최근 국제적으로 환경관련회의가 자주 개최되고 있으며, 1차적으로 제품의 생산과정에서 배출되는 이산화탄소등의 유해가스 억제대책 등으로 개발도상국의 발전을 저해하는 선진국 위주의 환경보호운동이 확산일로에 있다. 쓰레기자원의 처리문제를 안고 있는 국가라면 어느곳을 막론하고 소각이나 매립에 의한 처리방법은 인류 후손에게 불확실한 장래를 제공하는 것이며, 효율적이고도 환경에 친화적인 처리방안이라고는 할 수 없을 것이다. 폐자원의 활용방안으로는 재사용(reuse), 재활용(recycle), 열원(heat energy)이용의 세가지로 크게 나눌수 있는데, 재생하여 활용하는 방안이 지구 환경보전과 사회경제적인 측면에서 얻을 수 있는 이익이 매우 클 것으로 판단된다. 가까운 일본의 경우에 있어서는 산업 폐기물의 재생 산업화에 많은 사람들이 관심을 가지고 정부의 강력한 지원아래 산학연이 일치가 되어 그 해결점을 모색하고 있다. 일본은 강력한 지방자치체로서 각 현마다 조례, 조항을 증가하는 폐기물의 대처 방안으로 해마다 개정 신설을 반복하고 있으며, 폐자원의 처리 문제 및 유효 활용방안에 대해서 매우 적극적으로 대처하고 있는 나라의 하나라고 할 수 있다. 미국의 경우에 있어서도 페타이어 리사이클화의 제품으로서 운동장 및 놀이장장의 바닥재나 loading-dock bumper, 경량 filler

제로서 페고무 칩을 건설현장에서 사용하고 있다. 물론 사용에 있어서 다양한 처리 및 칩의 크기 조절을 하고 있으며, 인터넷 정보로서 국제적으로 페타이어의 활용법에 대해 세계 각국의 관련자들과 정보 교환을 하고 있다. 우리나라에서는 현재 폴프장등 특수용도로서 극히 일부가 바닥재로서 사용되고 있다. 전남에 위치한 현진화학, 한국그린산업, 경북의 삼진사 등의 중소기업체에서는 페타이어를 기계적인 분쇄가공방법에 의해 수mm의 가루로 만들어 고무바닥재나 신발공장 등으로 판매를 하고 있으며, 일본에도 톤당 약 27만원의 저렴한 가격으로 수출하고 있다. 폐자원을 재가공하여 수출까지 할 수 있고, 특히 원료의 공급비용이 거의 들지 않는다는 점에서 오히려 재활용산업은 가장 경쟁력 있는 산업으로서 평가되기도 한다. 지금까지 폐기타이어의 대부분은 보일러의 열원재료로서 주로 사용해 왔기 때문에 공해유발의 원인을 제거해 왔다고 할 수 있다. 따라서 이러한 현실아래에서, 해마다 증가하는 페타이어의 처리방안으로서는 효율적인 리사이클 공업 제품화는 필수 불가결하며, 그 용도 개발에 적극적으로 대처 해야 할 연구분야라 할 수 있다.

한편, 우리나라 산림은 1960년대부터 시작한 1, 2차 치산녹화사업의 성공으로 임목축적이 5배 가까이 늘어나는 성과를 거두었다. 산림청 통계자료에 의하면 우리나라 전체산림의 임목축적은 1995년말 현재 3억8백82만6천 m^3 으로 1960년대와 비교할 때 4.8배의 비약적인 성장을 가져왔다. 1ha당 임목축적은 48 m^3 으로 1960년 9.55 m^3 보다 5배이상 증가했으며 일제의 산림수탈이 본격화되기전인 1910년대의 43 m^3 을 훨씬 넘어섰다. 그러나 산림자원의 성장과 산림을 둘러싼 주변환경의 변화에도 불구하고 우리의 임업 및 임산공업분야가 경쟁력을 갖춘 산업으로 발전하기에는 많은 제약조건을 안고 있다. 우선 양질의 목재 및 부산물에 의한 소득기대 우량경제림의 비중이 전체 조림수종의 31%에 불과한 것이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 그나마 수종도 아까시, 오리나무, 리기다소나무 등 녹화와 연료림확보에 초점을 맞춘 속성수가 대부분이어서 양질의 목재생산에 대한 기대는 어려울 것으로 예상된다. 1995년말까지 조림면적중에서 우량경제림은 낙엽송 16.9%, 잣나무 9.2%, 삼나무

2.2% 등 31%에 그치고 있다. 따라서 국내목재수급량의 95%를 해외에 의존하고 있는 우리로서는 경제수종으로의 수종갱신 등, 당면과제가 산적해 있으나 육림과정에서 발생하는 간벌재의 유효활용이 무엇보다도 시급한 과제로 부상되고 있다. 왜냐하면 치산녹화이후 산지의 97%가 나무로 덮인 울창한 숲을 이뤘지만 조림기간이 20~30년생인 유령목이 전체의 89%를 차지하고 있기 때문에, 경제성있는 벌채령이 50~100년정도인 현실을 감안한다면, 육림과정에서 발생하는 막대한 양의 간벌재의 유효활용 문제해결은 심각한 경제적손실의 절감과 직결되기 때문이다.

지금까지 페타이어 고무칩만으로 된 판상재료는 이미 생산단계에 있지만 목재와의 복합화연구는 전무한 관계로, 본 연구에서는 목재와 폐고무의 복합화 기술탐색을 위한 제조가능성 검토 및 최적제조조건을 조사하고자 하였으며, 기초물성과 기계적 성질 평가를 통해 목재-고무칩 복합보드의 재질을 평가하는데 그 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

실험에 사용한 시료는 침엽수 목재칩으로써 함수율은 2%이며, 목재칩의 비중측정은 먼저 칩 중량을 측정후후 부정형의 부피는 메스실린더를 이용하여 가사비중으로서 산출하였다. 고무는 일반 페타이어로서 고무입자의 크기는 평균직경이 3~4mm 정도였다. 고무칩의 비중측정은 목재칩의 측정과 같은 방법으로 행하였으며 10회 측정평균값은 아래의 표 1과 같이 가사비중이 목재 약 0.2, 고무 약 0.5~0.6이었다. 또한 수분치환에 의한 엄밀한 체적측정에 있어서 실제 평균비중은 목재가 약 0.62, 고무

는 0.96의 값을 나타냈다.

접착제는 복합 보드 제조에서 고무를 사용하였기 때문에 폴리우레탄 수지접착제(고형분 99.9%)를 사용하였으며, 접착 수지량은 제조보드 총중량의 10%를 첨가하였다. 경화제는 접착제량의 10%를 첨가하였고, 고무칩과 목재칩(φ=3~4mm, l=2~4cm) 원료의 혼합비율은 중량비로써 1:1로 하여 호바트믹서기로 혼합하여, 크기 190mm×210mm×10mm(두께)인 복합 보드를 제조하였다. 중량비를 1:1로 고정한 이유는 아직까지 고무와 목재의 혼합보드제조에 관한 내용이 전무한 관계로 복합보드 제조가능성을 탐색하기 위해 우선적으로 설정한 것이다. 보드의 목표비중은 0.7로 산정하였고, 보드수는 각 조건당 2매씩으로서 열압스케줄을 표 2와 같이 변화시켜 열압성형조건을 검토하였다. 열압성형기는 30톤의 다단형프레스를 주문제작하였다. 예비실험에 있어서 열압온도는 접착제인 폴리우레탄수지의 적정경화온도가 120℃인 관계로 열판에서 성형매트간의 열전도시의 열손실을 감안하여 125℃로 고정하였다. 가압조건은 3단계 가압시스템을 적용하여 초기압력→중기압력→말기압력의 7종류를 설정하였고, 각 가압조건에서의 가압시간도 이에 맞추어 초기→중기→말기에 있어 4종류를 가압시간을 설정하여 모두 28가지의 열압스케줄에 대하여 실험, 검토하였다. 또한 예비실험에 있어서 20매씩 제조하여 휨실험한 결과, 물성실험의 최소단위인 4매의 시편으로서 실험을 해도 제조가능성과 경향치판단에는 문제가 없다고 판단되었으며, 이는 다량의 실험으로 인한 시간절약을 위한 것이었다. 따라서 공시재료로서는 각 열압스케줄로써 제조한 2매의 복합보드로부터 휨시험을 위한 시험편을 제작하였다. 먼저 기건상태 시험편은 35mm×210mm×10mm(두께)의 크기로서 각 가압시간과 압력조건당 4개

Table 1. Nominal specific gravity and volume per unit weight of wood and rubber chip.

Index	Wood chip		Rubber chip	
	Small pin-chip	Large pin-chip	2~3mm	3~4mm
Nominal SG	0.201	0.215	0.520	0.639
Standard Deviation	0.0058	0.0070	0.0069	0.0522
Volume(ml/g)	4.9349	4.6035	1.9170	1.5152

Table 2. Experimental conditions of hot pressing in rubber-based wood composite panels.

Parameter	Press conditions in hot pressing
Temperature(℃)	Constant (125℃)
Pressure(kg/cm ²)	3-stage pressure (35→15→5, 45→15→5, 45→20→5, 45→20→10, 45→20→15, 45→30→5, 55→15→5)
Press time(min)	3-stage press time (3→2→2, 4→3→3, 5→5→5, 7→6→6)

씩, 계 112개의 시험편을 제작하였다. 또 습윤상태시의 시험편도 동일한 조건으로 112개의 시험편을 제작하여 항온수조(25℃)에 24시간 침지한 후 시험편으로 제공하였다.

2.2 실험방법

본 논문에 있어서 행한 실험항목은 한국공업규격에 규정된 목재시험방법 통칙(KSFseries)에 의거하였다. 먼저 기건비중은 표 2의 열압조건으로부터 제조한 공시재료부터 측정하고, 함수율은 휨시험이 끝난 동시에 중량을 측정 한 후, 건조기에 넣어 전건법에 의해 산출하였다. 휨시험 조건은 하중속도 3mm/min, 스펠길이 150mm이며, 만능강도시험기(Hounsfield Co.)로써 중앙집중하중을 가하여 실행하였다. 상태시험과는 별도로 수분침지후의 함수율, 휨강도, 보드의 두께 팽윤율을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기건상태시의 비중과 함수율

표 3에는 복합보드 제조시의 열압조건과 제품의 함수율 및 비중을 기건상태와 24시간 증류수 흡수후의 습윤상태별로 나타내었다. 먼저 상태시험편을 보면, 복합보드 각 시편의 기건함수율 분포범위는 1.8~3.4%였으며, 목표 비중은 0.7이었으나 실제로 측정된 비중은 0.559~0.708의 범위로 나타났다. 이렇게 편차가 나타나는 원인은 고무칩의 비중이 목재에 비해 현저하게 크기 때문에 열압전 매트성형시에 고무칩이 목재칩과 고르게 혼합되지 않기 때문에 생긴 것으로 판단되었다. 압체시의 응력완화를 고려하여 가압압력의 크기를 3단계로 하였으나(예를 들면, 35→15→5kg/cm²로부터 55→15→5kg/cm²까지) 동일 가압시간에 있어서 비중과 함수율간에는 큰 차이를 볼 수 없었으며, 가압시간 역시 3단계로 하였으나 가장 짧은 7분(3→2→2분)과 가장 긴 19분(7→6→6분)의 모든범위에 있어서 비중과 함수율에 차이점을 발견할 수 없었다. 이것은 주어진 목재와 고무칩의 원료조건에만 의존하는 것으로 열압조건은 복합보드의 기건상태시 함수율과 비중에는 전혀 영향하지 못함을 나타내는 것이라 생각한다. 또한 목재와 고무의 중량비율이 1:1로써 수분흡수에 관여하는 다공질체인 목재의 함유량이 모든 복합보드에 있어서 똑 같기때문에 전 조건에서 함수율과 비중에는 차이가 없는 것으로 생각되었다. 또 그림1에 기건비중과 가압시간에 따른 제조보드의 함수율의 관계를 플롯하였다. 앞에서 논한 내용과 같이 목표비중 0.7 부근에서 넓게 분포하고 있음을 알 수 있는데, 이

는 열압압력의 차이에서 오는 원인으로 생각되었다. 전체적으로 비중과 함수율간에는 일정 상관관계는 보이지 않으며 열압시간에 의한 변이도 보이지 않았다. 그러나 시험편을 증류수에 24시간 흡수시키는 경우와 같은 습윤상태시에 있어서는 이와는 다른 결과를 나타내고 있다. 전채조건에 있어서 함수율의 분포범위는 49.7%(45→20→5kg/cm², 4→3→3분)~76.0%(35→15→5kg/cm², 3→2→2분)로서 약 26%라는 큰 차이가 있다. 따라서 수분을 흡수한 양만큼 중량의 변화 때문에 비중도 크게 변화하고 있으며, 전체적으로 0.86(45→15→5kg/cm², 5→5→5분)~1.19(45→15→5kg/cm², 4→3→3분)의 범위로서, 그 차이는 큰값의 약 30%, 작은값의 약 40%에 해당한다. 즉, 이런 차이점은 고무칩과 목재칩의 원료비율이 같은 점을 생각하면 열압공정에서 생긴 것으로 생각된다. 여기서 가압온도는 125℃로 일정하기 때문에, 열압압력과 가압시간이 수분흡수후의 물성변화의 근본원인이 됨을 추정할 수 있다. 수분의 흡수는 고무칩에서는 거의 일어나고 있지 않은 점을 미루어 볼 때, 다공질유기체인 목재칩의 열과 압력에 대한 상호작용을 생각해 볼 수 있다.

표 3으로부터 35→15→5kg/cm²와 45→20→5kg/cm²의 조건을 제외하면, 함수율이 전체적으로 가장 낮은 가압시간조건은 4→3→3분이며, 이때의 비중 또한 가장 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 목재는 가압압력의 영향보다는 가압시간에 의해 기초물성의 변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 톱쇄처리재나 고온고압속에서 처리한 목재와 같은 기존의 고온처리목재의 관련 연구결과(Tanahashi, 1989)를 참고해 볼때, 전체 가압시간 10분의 열압스케줄에 있어서 목재 구성성분인 셀룰로스나 헤미셀룰로스가 열처리에 의한 수분흡착표면의 소수화 및 리그닌의 용출에 의한 표면피복효과 등에 의해 수분의 흡수가 다른 가압시간대에 비하여 늦어졌음을 생각해 볼 수 있다. 따라서 이 결과들로부터 열압스케줄에 있어서 가압시간은 4→3→3분이 가장 적당한 복합보드 제조조건임을 확인할 수 있었다. 목재칩의 수분흡수에 의한 복합보드재료의 수축과 팽윤현상은 재료의 성능저하를 불러일으키므로 치수안정화를 위한 제조조건 규명은 극히 중요한 사항이라 할 수 있다.

또 그림 2에 기건비중과 24시간 상온의 증류수에 침지한 후의 함수율과의 상관관계를 플롯하였다. 기건비중이 클수록 침지후의 함수율은 직선적으로 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 미묘한 차이이지만 고무칩량의 편차에 의한 것으로서, 수분이 흡수되는 부분은 고무칩보다는 다공질의 목재칩이므로 목재칩의 양이 많은 저비중의 시편

Table 3. Moisture contents(MC) and specific gravities(SG) in various hot pressing conditions.

Press time (3-steps, min)	Conditions of hot-press pressure (3-steps, kg/cm ²)													
	35→15→5		45→15→5		45→20→5		45→20→10		45→20→15		45→30→5		55→15→5	
	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG
3→2→2*	2.7	0.679	3.1	0.664	3.4	0.635	2.8	0.587	2.7	0.615	2.7	0.630	2.8	0.656
S.D.	0.1	0.067	0.3	0.067	0.5	0.047	0.4	0.023	0.5	0.016	0.1	0.012	0.2	0.025
4→3→3*	3.1	0.611	2.7	0.702	2.5	0.669	2.5	0.649	3.1	0.559	3.4	0.640	2.3	0.649
S.D.	0.2	0.027	0.1	0.069	0.5	0.065	0.2	0.036	0.3	0.032	0.2	0.031	0.5	0.036
5→5→5*	2.2	0.638	2.9	0.625	2.5	0.637	2.4	0.656	2.4	0.624	1.8	0.664	2.7	0.656
S.D.	0.2	0.031	0.1	0.017	0.3	0.013	0.3	0.014	0.1	0.022	0.9	0.026	0.1	0.009
7→6→6*	3.1	0.632	3.0	0.631	2.6	0.668	2.5	0.689	3.5	0.708	2.7	0.661	2.9	0.67
S.D.	0.3	0.009	0.2	0.013	0.1	0.035	0.1	0.032	2.5	0.073	0.2	0.050	0.2	0.018
3→2→2**	76.0	1.178	66.3	1.117	69.4	1.095	58.1	1.102	67.3	1.072	63.3	1.144	59.8	1.099
S.D.	8.7	0.024	10.7	0.066	4.1	0.025	6.6	0.065	5.7	0.061	10.4	0.035	2.4	0.013
4→3→3**	66.5	1.135	51.3	1.187	60.5	1.182	51.2	1.144	49.7	1.136	56.3	1.181	53.7	1.164
S.D.	2.0	0.016	12.9	0.055	10.1	1.136	4.8	0.46	2.7	0.028	3.6	0.031	3.9	0.085
5→5→5**	73.4	0.934	61.2	0.864	60.7	0.865	69.3	0.900	61.3	0.909	57.7	0.889	54.8	0.902
S.D.	5.9	0.036	2.5	0.065	3.7	0.015	5.7	0.046	6.4	0.018	3.6	0.018	8.4	0.037
7→6→6**	66.3	0.908	68.6	0.943	55.1	0.918	53.5	0.918	50.5	0.924	63.2	0.920	60.1	0.915
S.D.	5.2	0.024	6.9	0.070	5.9	0.031	8.2	0.026	7.7	0.023	10.0	0.029	5.6	0.022

Notes: * : air-dry conditions, ** : wet conditions after 24 hours absorption in distilled water, S.D. : standard deviation.

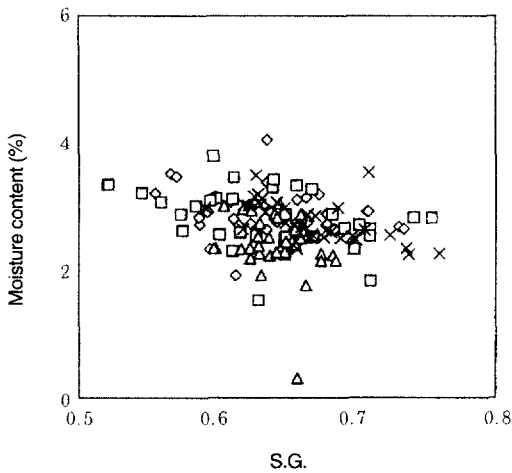


Fig. 1. Relationships between specific gravity(SG) in air dry and moisture content in bending test of rubber-based wood panels.

Legend; Press time(3-steps, min) ◇ : 3-2-2min, □ : 4-3-3min, △ : 5-5-5min, × : 7-6-6min.

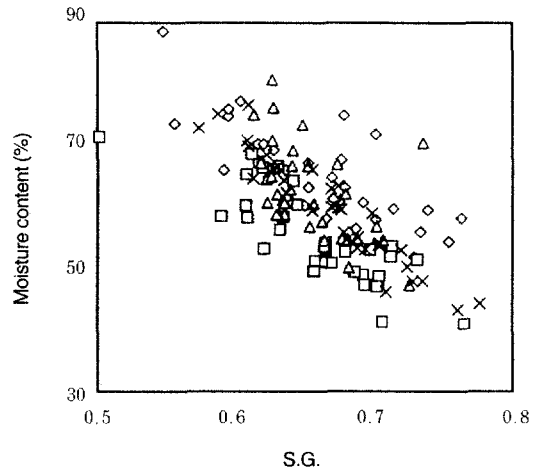


Fig. 2. Relationships between specific gravity(SG) in air dry and moisture content 24hours water absorption of rubber-based wood panels.

Legend; Press time(3-steps, min) ◇ : 3-2-2min, □ : 4-3-3min, △ : 5-5-5min, × : 7-6-6min.

에서 높은 함수율을 나타낸 것으로 생각되었다. 따라서 여기서 수분흡수량은 원료칩의 배합비율이 열압조건의 영향보다 크게 나타난 것으로 보이며, 함수율과 비중의 조절은 원료칩의 배합비율로써 어느정도 조정할 수 있음을 판단할 수 있었다. 이로부터 또한 목재와 고무혼합에 의한 복합보드의 제조가능성도 배제할 수 없음을 알 수 있었다.

3. 2 열압조건에 의한 기계적성질

표 4에 siga편 제조시의 가압시간, 가압압력 및 휨강도에 대한 상관 관계를 평균값으로 정리, 요약하였다. 그

림 3에는 기건상태시 휨시험결과를 가압압력에 대한 휨강도의 크기를 가압시간별로 도식화하였으며, 그림 4에는 습윤상태에서의 휨강도가 상대시험에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었기에 습윤후의 함수율에 대한 휨강도값으로 나타냈다. 그림3과 표4에서 기건상태시의 휨강도는 가압시간 3→2→2분, 가압압력 45→20→5kg/cm²에서 가장 높은 값을, 가압시간 5→5→5분과 가압압력 45→20→10kg/cm²에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 그리고, 전체적으로 7→6→6분에서는 프레스 압력조건 모두에 있어서 휨강도가 다른조건보다 크며, 변화도 없다. 그 반면 5→5→5분에서 전체적으로는 고른분포를

Table 4. Modulus of ruptures(MOR) in various hot pressing conditions by bending test.

Press time (3-steps, min)	Modulus of rupture (kgf/cm ²)						
	Conditions of hot-press pressure (3-steps, kg/cm ²)						
	35→15→5	45→15→5	45→20→5	45→20→10	45→20→15	45→30→5	55→15→5
3→2→2*	17.34(3.47)	11.50(2.45)	27.03(3.47)	10.81(0.20)	14.48(3.06)	10.10(2.45)	16.63(2.45)
4→3→3*	16.12(1.22)	12.75(3.98)	11.63(4.79)	13.97(1.84)	10.91(5.71)	13.97(2.55)	12.75(4.49)
5→5→5*	11.32(2.24)	12.75(3.77)	12.55(3.67)	10.00(0.53)	10.20(4.49)	12.65(3.06)	14.99(1.73)
7→6→6*	15.20(1.63)	14.79(0.73)	11.75(2.55)	17.65(2.24)	19.58(7.04)	11.42(1.33)	14.59(2.14)
3→2→2**	5.71(0.41)	5.81(1.94)	6.12(0.92)	7.34(1.43)	5.00(0.61)	5.61(1.20)	6.12(0.82)
4→3→3**	5.71(0.82)	4.49(1.33)	4.59(1.63)	10.81(3.26)	10.30(11.2)	4.90(1.53)	7.85(2.55)
5→5→5**	5.81(0.41)	6.16(1.33)	7.14(1.73)	5.61(0.71)	6.02(0.61)	7.24(0.82)	6.63(0.41)
7→6→6**	5.92(3.16)	7.24(2.65)	4.49(0.82)	7.04(2.65)	6.73(1.73)	4.79(1.84)	5.30(2.45)

Notes; *: air-dry conditions, **: wet conditions after 24 hours absorption in distilled water. The parentheses indicate standard deviations.

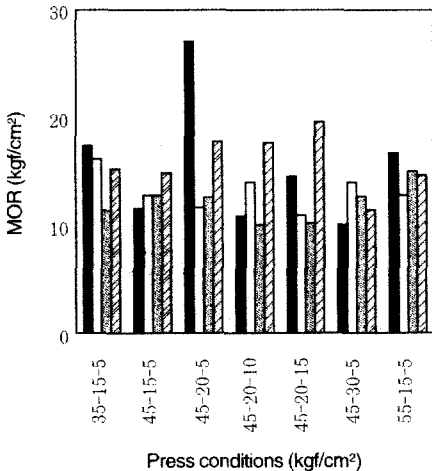


Fig. 3. Relationships between hot-pressing conditions and modulus of rupture(MOR) in air dry conditions.

Legend : Press time(3-steps, min.) ■: 3-2-2min, □: 4-3-3min, ▨: 5-5-5min, ▩: 7-6-6min.

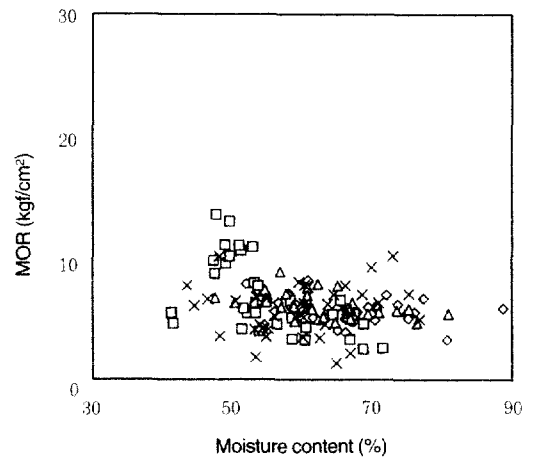


Fig. 4. Relationships between moisture content and modulus of rupture(MOR) in bending test of specimens after 24hours water absorption.

Legend : Press time(3-steps, min.) ◇: 3-2-2min, □: 4-3-3min, △: 5-5-5min, ×: 7-6-6min.

나타내나 다른 시간대와 비교해서 낮은 것으로 나타났고, 3→2→2분에서는 프레스조건에 따라 변화의 폭이 크다. 또한 가압압력을 시기별로 검토해 보면 초기압력이 35kg/cm²에서, 중기압력은 20kg/cm²에서, 말기압력은 5kg/cm²일때 파괴계수가 가장 크나 전체적으로 조건별 큰 편차는 보이지 않는다. 이 표로부터 복합보드의 휨강도는 3→2→2분의 45→20→5kg/cm²의 조건이 가장 큰 값으로 나타났다.

그림 4와 표 4로부터 습윤상태시의 휨강도에서는 열압 조건에 상관없이 기건상태의 시험결과에 비하여 모두 매우 낮은 값을 나타냈다. 기건상태 시험결과와는 가압압력과 가압시간에 휨강도의 변이가 매우 크게 나타났지만, 습윤성시험에서는 말기압력 10kg/cm², 15kg/cm²인 경우의 3단계 가압시간 3분→2분→2분을 제외하면 휨강도의 크기는 약 5.1kg/cm²의 균일한 값을 보이고 있다. 이것은 다양한 가압압력과 가압시간에 관계없이 재료가 수분을 일단 흡수하게 되면 재료구성요소인 고무칩과 목재칩의 내부결합력이 현저하게 저하됨을 추정할 수 있다. 특히 고무와 목재는 성질이 매우 다른 이종재료인 관계로 수분에 의한 결합력의 저하는 필연적이며, 흡수성 재료인 목재칩 원료의 흡수에 의한 팽윤으로 원료간의 결합은 약해질 수밖에 없을 것으로 생각된다. 따라서 고무와 목재 복합보드재료는 폴리우레탄계의 접착제를 사용하는 경우에 있어서는, 수분이 존재하는 습윤상태에서의 사용은

부적당한 것으로 판단되었다. 또한 휨성능은 일반 목재나 목질판상재료에 비하여 고무칩의 영향으로 매우 낮고, 전술한 수분에 대한 취약성때문에 외장재보다는 내장재로서, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 바람직할 것으로 생각된다.

그림 5에는 기건비중과 휨강도와의 상관을 나타냈다.

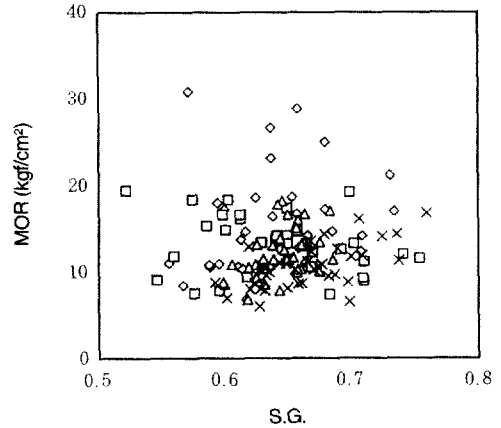


Fig. 5. Relationships between specific gravity(SG) in air dry and modulus of rupture(MOR) in bending test of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps) ◇: 3-2-2min,

□: 4-3-3min, △: 5-5-5min, ×: 7-6-6min.

Table 5. Modulus of elasticities(MOE) in various hot pressing conditions by bending test.

Press time (3-steps, min)	Modulus of elasticity (kg/cm ²)						
	Conditions of hot-press pressure (3-steps, kg/cm ²)						
	35→15→5	45→15→5	45→20→5	45→20→10	45→20→15	45→30→5	55→15→5
3→2→2*	706,117 (248,978)	469,384 (152,040)	2,081,616 (231,631)	610,199 (124,489)	627,546 (86,734)	479,588 (123,468)	1,012,237 (306,120)
4→3→3*	483,649 (105,101)	531,628 (151,019)	395,915 (74,489)	460,200 (119,387)	385,711 (66,326)	568,363 (108,162)	476,527 (115,305)
5→5→5*	533,669 (156,121)	632,648 (259,182)	622,444 (180,610)	452,037 (181,631)	55,477 (341,834)	557,138 (136,734)	681,627 (123,468)
7→6→6*	781,626 (285,712)	770,402 (239,794)	926,523 (148,978)	837,748 (142,856)	1,073,461 (514,282)	423,466 (66,326)	642,852 (221,427)
3→2→2**	233,672 (41,836)	226,529 (87,754)	254,080 (42,857)	258,161 (90,816)	162,244 (18,367)	299,998 (70,408)	164,284 (45,918)
4→3→3**	181,631 (14,286)	202,039 (65,306)	215,304 (82,652)	555,098 (149,999)	332,650 (38,775)	202,039 (46,938)	34,489 (82,652)
5→5→5**	281,630 (19,388)	280,610 (109,183)	384,691 (160,203)	265,304 (42,857)	299,998 (43,877)	321,426 (88,775)	283,671 (73,469)
7→6→6**	299,998 (95,918)	214,284 (145,917)	245,916 (43,877)	465,302 (153,060)	547,955 (138,774)	247,597 (29,592)	210,202 (65,122)

Notes; *: air-dry conditions, **: wet conditions after 24 hours absorption in distilled water. The parentheses indicate standard deviations.

3단계 열압시간인 3 → 2 → 2분, 4 → 3 → 3분인 경우에 약간의 편차가 보이긴 하지만, 전체적으로 비중과 파괴계수간에는 정의 상관관을 나타내며, 전체 열압시간이 길어질수록 파괴계수는 뚜렷한 정의 상관관을 나타내었다. 이것은 장시간의 열압에 의해 보드의 강도가 안정화되는 결과를 보여주고 있음을 나타내고 있다. 표 5에는 각 가압시간 및 가압압력에 대한 휨탄성계수(MOE)의 평균값을 계산하여 정리 요약하였다. 이 표로부터 기건상태시의 탄성계수는 전체적으로 가압시간 7 → 6 → 6(분)의 경우가 모든 가압압력조건에 있어서 가장 큰 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 탄성계수는 하중에 대한 변형의 저항성인 점을 생각해 볼 때, 단시간 가압하는 경우보다 장시간 가압하는 경우에 있어서 탄성계수도 크게 나타났다. 따라서 고압의 장시간 열처리가 성형매트원료간의 내부결합력과 재료의 강성향상에 어떤 영향을 미친 것으로 추정된다. 24시간 수분에 침지한 후의 탄성계수는 가압시간과 압력조건에 있어서 특정한 경향은 보이지 않았다. 이것은 습윤에 의해 고무칩과 목재칩 원료간의 결합력약화에 의해 복합보드의 하중에 대한 저항력이 제조조건에 관계없이 급격하게 떨어진 것에 기인하는 것으로 생각된다. 파괴계수와 마찬가지로 여기서도 가압시간 3 → 2 → 2(분), 가압압력 45 → 20 → 5(kg/cm²)에서 휨탄성계수의 값이 가장 크게 나타났고, 가압시간 3 → 2 → 2(분), 가압압력 45 → 20 → 15(kg/cm²)에서 가장 낮게 나타났다. 가압 조건별로 초기압력 55(kg/cm²), 중기압력 20(kg/cm²),

말기압력 5(kg/cm²)의 압력일 때 가장 큰 휨탄성계수를 나타냈고, 가압압력이 45 → 15 → 5(kg/cm²)에서는 가압시간이 증가할수록 휨탄성계수의 값이 증가하는 경향을 나타냈다. 전체적으로 상태시험이 습윤시험의 경우보다 탄성계수가 약 60%정도 큰 값을 나타냈으며, 이는 접착제에 의한 내수성이 목재와 고무간에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다.

휨강도와 휨탄성계수의 관계를 열압스케줄 조건에 의존하지 않고 전체에 대해 검토해 보면, 일반적인 탄성체와 마찬가지로 두 변수간에는 정의 상관관계가 인정되었다. 그림6에서 열압시간이 가장 짧은 스케줄에 있어서 가장 큰 값을, 그다음이 가장 긴 열압시간에서 나타났는데, 이 결과로부터 열압시간만으로는 강도와 탄성계수의 추이를 말할 수 없는 것으로 판단되었다. 열압시간 4 → 3 → 3분의 경우는 낮은 값을 나타내나 편차가 적으며, 3 → 2 → 2분과 같이 값은 크지만 편차가 큰 것은 열압시간보다는 열압압력의 영향이 편차로서 나타난 것으로 추정된다. 일반적으로 고무와 목재 복합보드재료의 휨강도가 다른 일반재료에 비해 탄력성이 뛰어난 고무의 혼합때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로서, 지점간 거리가 넓은 곳에서 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단된다. 여기서 제조조건에 따른 최적조건을 정확하게 평가하기란 매우 어려우나, 수분침지에 대한 함수율의 최소치가 가압시간 4 → 3 → 3(분)이고 파괴강도와 탄성계수의 값이 큰 경우가 가압압력 45 → 20 → 5(kg/cm²)인 점을 지적하여, 가압시간 4 → 3 → 3(분), 가압압력 45 → 20 → 5(kg/cm²)조건이 고무와 목재의 중량비율 1 : 1인 복합보드 제조에는 적당한 조건이라 판단되었다. 여기에는 현재 고무칩만으로 보드를 생산하는 현장에서 제조코스트를 고려한 시간대가 10분인 점도 고려된 것이며, 덧붙여 휨작용재로 사용되지 않고 구속된 상황하에서 압축반복 작용재로서 용도를 생각할 때 제조조건은 어느 단계를 선택해도 큰 문제가 없을 것으로 판단되었기 때문이다.

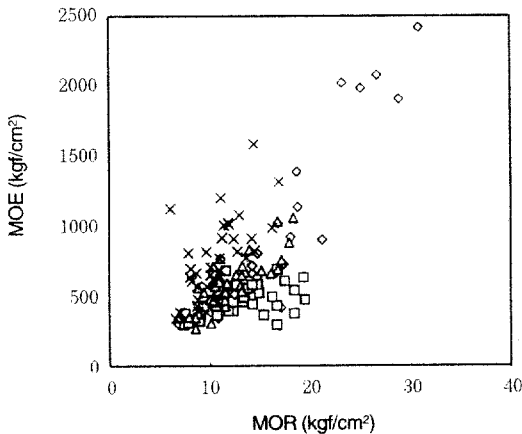


Fig. 6. Relationships between bending strength(MOR) and modulus of elasticity(MOE) of rubber-based wood panels in air-dry state.

Legend : Press time(3-steps, min) ◇ : 3-2-2min, □ : 4-3-3min, △ : 5-5-5min, × : 7-6-6min.

3.3 함수율과 두께팽윤율의 변화

그림 7에는 열압조건에 의한 24시간 수분침지후의 함수율의 변이를 각 열압조건별로 나타냈다. 열압압력조건이 초기-중기-말기의 3단계일 때, 열압시간별 변이는 초기압력이 클수록, 그리고 전체가압시간이 10분인 경우가 비교적 다른 시간대에 비하여 가장 낮은 함수율을 나타내는 경향을 보였다. 전체가압압력이 낮은 경우, 가압시간에 관계없이 수분흡수율은 높았으며, 가압압력을 높여갈 경우 전체적으로는 4 → 3 → 3분, 45 → 20 → 15kg/cm²

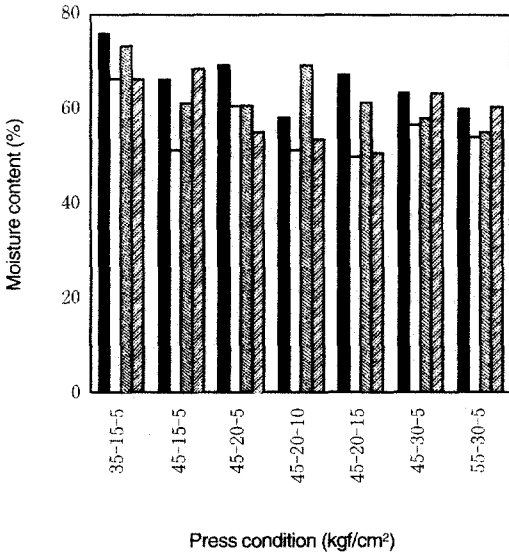


Fig. 7. Relationships between hot press condition and moisture content of specimens after 24hours water absorption as a function of press time.

Legend ; Press time(3-steps, min.) ■ : 3-2-2min, □ : 4-3-3min, ▨ : 5-5-5min, ▩ : 7-6-6min.

에서 가장 낮은 수분흡수율을 나타냈다.

표 6에는 각 열압조건에 있어서 24시간 수분침지시 보드의 두께팽윤율을 정리하였다. 가압압력 4-3-3분과 7-6-6분의 경우에 있어서 두께팽윤율은 비교적 낮은 값을 보이고 있으며, 이는 24시간 수분침지후의 함수율과 잘 대응하고 있음을 알 수 있다. 가압시간이 5-5-5분인 경우가 전반적으로 높은 값을 나타내고 있으며, 가압압력이 두께팽윤율에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 전체 가압시간이 4-3-3분에 비해 5분이나 길지만 수분흡수는 오히려 더 많이 일어나고 있음이 그 사실을 말해주고 있

다. 가압압력에 있어서도 미묘한 차이이긴 하지만 45-20-15kgf/cm²에서 다른 조건에 비해 전체 가압시간대에 있어서 비교적 낮은 값을 나타내고 있다. 이 사실로부터 수축율은 팽윤율과 정반대현상이나 수치의 대소는 상응하는 관계이므로, 적절한 열압조건이 모색되어야 할 것으로 판단된다. 단, 수분흡수를 하게 되는 경우에는 반복되는 수축-팽윤으로 인한 재료의 열화가 우려되며, 이종 재료간의 결합력에도 영향을 미칠 것으로 생각되므로 이에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

고무의 뛰어난 탄성회복력을 생각해 볼 때, 우리는 고무칩을 원료로 한 복합보드의 용도는 힘작용을 받는 곳보다는 압축하중을 받는 장소에 사용되는 것이, 용도면에서 매우 타당성이 있다고 판단된다. 그런 의미에서 고무의 완충성과 탄력성을 고려한다면, 판상재료로서 벽장재료보다는 온돌과 같은 마루바닥재, 실내체육관의 바닥재, 노인이나 어린이 수용시설내부의 바닥재, 상하로 연결되어 있는 아파트와 같은 집합주택의 바닥재 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 폐자원의 효율적인 활용이 되리라 생각된다. 그러므로 목재-고무칩 복합보드는 산업화와 연계하여 그 기능성을 살리기 위해서는 원료의 배합비 조절에 관한 면밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 소재의 장점만을 이용한 새로운 복합판상제품이 생산된다면, 처리에 고심하는 산업폐기물의 일종인 페타이어를 효과적으로 재활용함으로써 자원대체효과와 산업폐기물의 재활용 기술개발의 파급효과는 물론 공해문제 해결 등에 따른 상당한 사회적 및 경제적 기대효과는 물론, 지구 환경보호라는 시대적 요청에도 크게 부응하는 결과를 가져올 것으로 기대된다.

4. 결론

산업폐기물인 페타이어자원의 효율적인 재활용을 위한

Table 6. Coefficients of swelling of specimens in various hot-pressing conditions.

Press time(min)	Pressure conditions (kgf/cm ²)						
	35-15-5	45-15-5	45-20-5	45-20-10	45-20-15	45-30-5	45-15-5
3-2-2	8.8	5.3	6.7	7.1	4.5	6.4	6.0
S.D.	1.0	1.1	1.9	0.9	2.0	3.5	2.2
4-3-3	7.2	5.0	5.2	9.5	5.1	6.5	5.8
S.D.	1.1	2.3	2.2	5.1	2.1	1.7	3.8
5-5-5	10.1	8.8	9.0	8.7	7.7	9.6	9.3
S.D.	1.9	0.5	0.9	2.3	0.5	1.3	0.4
6-7-7	5.1	4.8	4.8	5.3	4.8	7.4	4.0
S.D.	1.5	1.7	0.7	1.3	1.2	5.9	0.7

고무칩과 목재칩을 혼합하여 제조한 복합재료 제조가능성 검토를 위하여 원료를 1 : 1 중량비율로 하고, 열압 온도 125℃ 일정조건에서 다양한 열압조건하에서 제조한 복합보드를 기초물성 및 휨시험에 의한 재질평가를 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. 복합보드의 제조가능성을 확인할 수 있었으며, 복합보드의 함수율이 가장 낮은 열압시간조건은 다단계 가압시간 4→3→3분이었다.
2. 습윤상태시의 휨강도는 열압조건에 상관없이 모두 매우 낮은 값을 나타냈으며, 접착제를 바꾸지 않는 한 복합보드는 건축물 등의 내장용으로서 사용함이 적당할 것으로 판단되었다.
3. 열압시간과 가압압력에 따라 24시간 수분침지후의 팽윤율은 차이가 나타났으며, 열압조건이 절대적으로 재료의 물성에 영향을 미치고 있음이 확인되었다.
4. 중량비율 1:1인 혼합비의 경우에 있어서 수분흡수 시험과 휨성능평가에 의한 공통인자로서의 복합보드 제조조건은 가압시간 4→3→3분, 가압압력 45→20→5kg/cm²가 가장 우수하였으나, 다른 조건에서와 매우 큰 차이는 보이지 않았다.
5. 목재소재등에 비하여 고무칩의 영향으로 휨성능은 매우 낮게 평가되었으며, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 타당할 것으로 생각된다. 따라서 고무의 탄력성에 의해 판상재료로서 안전성이 고려된 바닥재 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 페타이어 자원의 효율적인 활용에 크게 기여할 것으로 예상되며, 고무와 목재의 혼합비율에 의한 다양한 복합보드의 제조가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Hokkaido Forest Products Research Institute. 1995. Research and Development for Combination of Wood and the Other Materials. *J. Hokkaido Forest Products Research Institute* 9(4) : 24~26
2. Tanahashi, M., T. Goto, F. Horii, A. Hirai, and T. Higuchi. 1989. Characterization of steam -exploded wood Ⅲ. *Mokuzai Gakkaishi* 35(7) : 654~662
3. Wood Research Institute Kyoto University, 1996. Japan and R & D Center for Applied Physics, LIPI, Indonesia Core University Program. Proceedings of the First International Wood Science Seminar. Kyoto, Japan
4. WoodMic. 1997(8). 産業廢棄物, 木質廢棄物の新利用技術. 名古屋, 日本
5. 木質新素材技術研究組合. 1996. 木質新素材技術研究成果報告書. 東京, 日本
6. 이종윤·박상진·조남석·조병목. 1993. 목재과학 실험서. 광일문화사, 서울
7. 이필우. 1997. 목질과 비목질계섬유를 활용한 복합재 연구. *목재공학* 25(2) : 33~44
8. 이필우·강경택·양한승. 1994. 저질칩으로 제조한 3층 및 단층 파티클보드의 물리적·기계적 성질. *한국가구학회지* 5(1) : 21~28
9. 日本木材學會編. 1996. 木材の科學と利用技術Ⅳ. 二. 産業・生活廢棄物. 東京, 日本