



폐목재-플라스틱을 이용한 복합패널의 특성 연구

문경주*, 최낙운**, 최산호***
전북대학교*, 삼성정밀화학**, 호원대학교***
(2004년 9월 30일 접수, 200년 12월 3일 채택)

A Study on Properties of Waste Wood-Plastic Composite Panels

Kyoung-Ju Mun*, Nak-woon Choi**, San-Ho Choi***

Chonbuk National University*, Samsung Fine Chemicals**, Howon University***

ABSTRACT

Waste wood-plastic composite panels are made on different hot press molding conditions, and tested for apparent density, water absorption, expansion in thickness and flexural strength. From the test results, regardless of molding temperature and molding time, the apparent density of the composite panels is increased with an increase in the molding pressure, while their water absorption is decreased with an increase in the molding pressure. The flexural strength of the composite panels is markedly increased with increasing molding pressure, molding temperature and molding time, and tends to become nearly constant at a molding temperature of 120°C and a molding time of 15min.

Keywords : Waste expanded polystyrene, Waste wood, Composite panels, Hot press, Molding conditions, Flexural strength, Recycling

초 록

본 연구에서는 가연성 건설폐기물인 폐목재와 폐발포폴리스티렌의 유효이용을 목적으로 열압성형법에 의한 폐목재-플라스틱 복합패널을 제조하였다. 전열프레스를 이용하여 다양한 성형조건하에서 복합패널 공시체를 제조하였으며, 그 겉보기 밀도, 흡수율, 흡수에 의한 두께 팽창률, 휨강도 등에 관한 일련의 실험을 행하였다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 밀도는, 성형 온도 및 성형 시간에 관계없이, 성형 압력의 증가에 따라 높아지는 반면, 그 흡수율의 성형압력의 증가에 따라 작아진다. 복합패널의 흡수에 의한 두께 팽창률은, 성형 조건에 관계없이, 모두 1.2~2.0%의 범위에 있어, 높은 치수 안정성을 보인다. 복합패널의 휨강도는, 성형 온도 120°C, 성형 시간 15min에서 일정하게 되는 경향이 있으며, 성형 온도 및 성형 시간에 관

게없이, 성형 압력의 증가에 따라 현저하게 증가한다. 중합 반응과 성형을 동시에 하는 리액션프로세싱인 이 방법은, 그 제조 공정이 간단하고, 또한, 결합재로서 폐발포폴리스티렌 용액을, 골재로서 폐목재 칩을 이용하기 때문에, 공업 생산성이 있는 건설 발생 폐목재 및 폐발포폴리스티렌의 리사이클 방법으로서 지극히 유효하다고 생각된다.

핵심용어 : 페스치로폴, 폐목재, 복합패널, 열압, 성형 조건, 휨강도, 재활용

1. 서론

최근, 「건설 리사이클법」, 「용기 포장 리사이클법」 등의 리사이클 관련 법률의 제정 및 정비에 따라, 건설 발생 폐목재 및 폐발포폴리스티렌의 처리 대책이 시급해지고 있다. 한국에 있어서의 건설 폐기물의 발생량은 연간 약 4000만톤 정도이며, 이중 폐목재와 폐플라스틱이 대부분을 차지하는 가연성 폐기물은 약 6.2%를 차지하나 밀도가 작고, 사용 후 부풀려져 배출되는 것을 생각하면 방대한 양이라 할 수 있다. 건설 발생 폐목재는, 칩화하여, 연료로서 사용하거나, 파티클 보드, 골판지용 펄프, 목단, 목편 시멘트판 등의 공업용 원료로서 이용되고 있다.^{1~9)} 그러나, 연료용을 포함한 건설 발생 폐목재의 리사이클율은, 49%인데, 아스팔트 콘크리트나 시멘트 콘크리트가 95% 이상인 것과 비교해, 현저하게 낮은 상황에 있다. 한편, 건축단열재, 포장재, 보온재료, 완충재, 접시 등에 사용된 후, 부풀린 상태로 폐기되는 발포폴리스티렌에 있어서는, 예부터, 열이나 용제로 용적을 축소하거나, 기계적으로 분쇄한 후, 재생 펠릿, 재생발포폴리스티렌, 경량 골재 등을 제조하는 리사이클 방법이 실시되고 있다.^{10~18)} 폐발포폴리스티렌의 리사이클율은, 유통량(약 4만9529톤)의 약 59.2%로서 상당한 성과를 거두고 있으나, 재생 원료가 될 때까지의 공정이 길고, 처리 비용이 비싼 점과 재생

품의 품질이 낮다고 하는 문제가 있다. 본 연구에서는, 건설 발생 폐목재 및 폐발포폴리스티렌의 신규 리사이클 기술의 개발을 목적으로, 폐발포폴리스티렌을 스티렌에 용해한 용액을 결합재로서 이용해 이것에 건설 발생 폐목재의 칩을 가해 비빔하고, 전열프레스에 의해 성형하는 폐목재-플라스틱 복합패널의 제조법을 개발하고 있다. 이 때, 중요한 성형 조건인 성형 압력, 성형 온도 및 성형 시간이, 그 복합패널의 외관 밀도, 휨강도, 흡수율 및 흡수에 의한 두께 팽창률에 미치는 영향에 대해서 검토하고 있다.

2. 사용 재료

2.1 결합재용 재료

폐발포폴리스티렌(EPS)은, 실험의 편차를 줄이기 위하여 모조품으로서 KS M 3808(발포 폴리스티렌 보온재)에 규정하는 비즈법 발포폴리스티렌의 「보온판 4호」(밀도, 17kg/m³)을 사용하였다. 용제겸 결합재용 모노머로서는, KS M 3349(스티렌)에 규정하는 공업용 스티렌(ST)을, 가교제로서는, 3관능성 모노머인 트리메틸로프로판 트리메타크릴레이트(TMPTMA)를 사용하였다. 개시제로서는, 과산화벤조일을 50%포함한 프탈산디시클로헥실(BPO)을 사용하였다. 결합재용 모노머의 성질을 [Table 1]에 나타내었다.

[Table 1] Properties of Monomers for Binders

Type of Monomer	Molecular Weight	Density(20°C, g/cm ³)	Purity(%)
ST	104.1	0.91	99.8
TMPTMA	338.4	1.06	97.3

2.2 충전재

결합재의 증량 및 폐목재-플라스틱 복합패널의 성형성, 강도, 내열성 등의 성능 향상을 목적으로, 중질탄산칼슘을 충전재로서 사용하였다. 중질탄산칼슘의 성질을 [Table 2]에 나타내었다. 여기서 중질탄산칼슘에 대해서는, 105℃에서 48시간 건조해, 그 함수율을 0.1%이하로 하여 사용하였다.

2.3 건설 발생 폐목재

건설 발생 폐목재로서는, 목조 가옥 해체 시에 발생하는 해체 목재를 분쇄기로 칩화한 것(이하, 목재 칩이라 약칭)을 사용하였다. 덧붙여 목재 칩에 대해서는, 105℃에서 48시간 건조해, 그 함수율을 0.1%이하로서 사용하였다. 목재 칩의 입경 분포 및 성질을, 각각 [Fig. 1] 및 [Table 3]에 나타내었다. 목재 칩의 단위 용적 질량은, 500ml의 실린더(내경, 13.6mm)에 100g의 목재 칩을 10회로 나누어 넣어 지강을 30회 한 후의 체적과 질량

으로부터 산출하였다.

3. 시험 방법

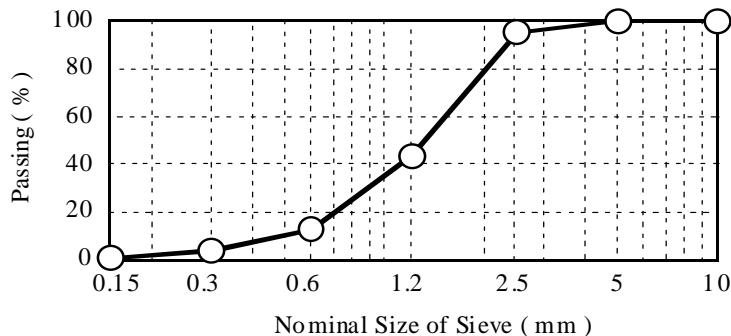
3.1 결합재의 제조

EPS가 용해하기 쉽게, 용제 겸 결합재용 모노머인 스티렌을 용기에 넣어, 70℃의 항온 수조에 침지해 가온하고, 유리봉으로 교반하면서 EPS를 용해 시켰다. 이 때, 가온에 의해 증발한 스티렌을 보충해, EPS 농도 40%의 EPS 용액을 제조했다. 다음에, EPS 용액에, 가교제를 첨가해 혼합해, 액상 레진으로서의 가교제 첨가 EPS 용액을 제조했다. 또, 그 액상 레진에 개시제를 첨가해, 잘 교반한 것을 결합재로 했다. [Table 4] 및 [Table 5]에는, 각각, 페발포폴리스티렌을 이용한 액상 레진의 성질 및 결합재의 배합을 나타낸다.

3.2 공시체의 제작

[Table2] Properties of Ground Calcium Carbonate

Size(μm)	Density(g/cm ³)	Water Content(%)	Organic Impurities
< 2.5	2.70	0.08	Nil



[Fig.1] Particle size distribution curve for wood chips.

[Table3] Properties of Waste Wood Chips

Maximum Size(mm)	Bulk Density(g/cm ³)	Water Content(%)	Aspect Ratio
2.5	0.31	0.09	<5.0

[Table4] Properties of Liquid Resin

Density(20°C, g/cm ³)	Viscosity(20°C, mPa · s)	TMPTMA Content(%)
0.99	8860	20

[Table5] Formulations of Binder

Formulations(%)			
Liquid Resin			BPO(phr*)
EPS	ST	TMPTMA	
32	48	20	2.0

Note, *phr: parts per hundred parts of liquid resin.

[Table6] Mix Proportions of Waste Wood Plastic Composite Panels

Mix Proportions (%)		
Binder	Filler	Wood Chips
30	35	35

[Table 6]에는, 폐목재-플라스틱 복합패널의 배합을 나타낸다. [Fig. 2]에는 열압성형법에 의한 폐목재-플라스틱 복합패널의 공시체 제조 공정을 나타낸다. 우선, 호바트 믹서를 이용해, 폐발포 폴리스티렌을 이용한 결합재와 충전재를, 2min 비빔해 공시paste를 조제하고, 여기에 목재 칩을 혼합해 3min 비빔한 후, [Fig. 3]에 나타내는 거푸집에 채웠다. 그 거푸집을 유압 실린더 방식의 전열프레스에 세팅 해, 성형 조건으로서 성형 온도를 100, 120 및 140°C, 성형 압력을 5, 15 및 25MPa, 성형 시간을 10, 15 및 20min로 바꾸어 열압성형을 한 후에 탈형 해, 24h건조(20°C, 60%(RH))양생하여 판 모양의 폐목재-플라스틱 복합패널을 제작했다. 폐목재-플라스틱 복합패널을 다이아몬드 커터를 이용해, 치수 40×160×(13±2)mm로 절단 한 것을 공시체로 하였다.

3.3 겉보기밀도 측정

KS F 3104 (파티클 보드)에 준해, 두께

0.05mm, 길이 및 폭은 0.1mm, 질량은 0.1g까지 측정해, 공시체의 겉보기밀도(0.01g/cm³까지)를 산출하였다.

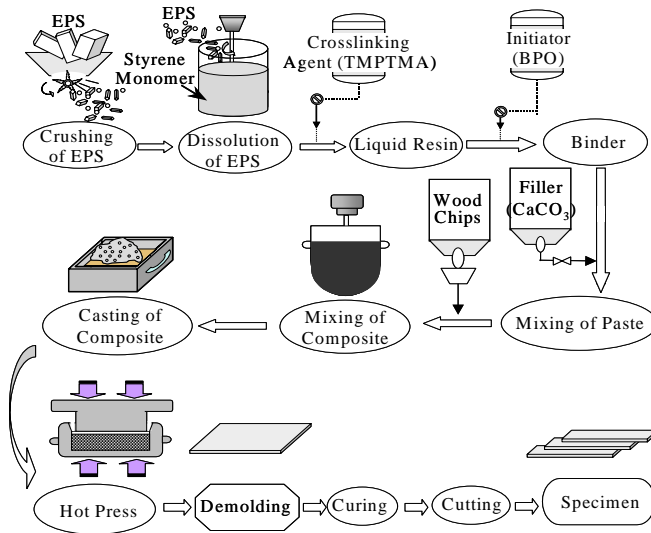
3.4 흡수율 및 흡수에 의한 두께 팽창률 시험

KS F 3104에 준해, 공시체의 흡수율 및 흡수에 의한 두께 팽창률 시험을 하였다. 공시체의 흡수율 및 흡수에 의한 두께 팽창률은, 수중 침지전과 24h 수중(20°C) 침지 후의 공시체의 질량 및 두께를 측정해 산출하였다.

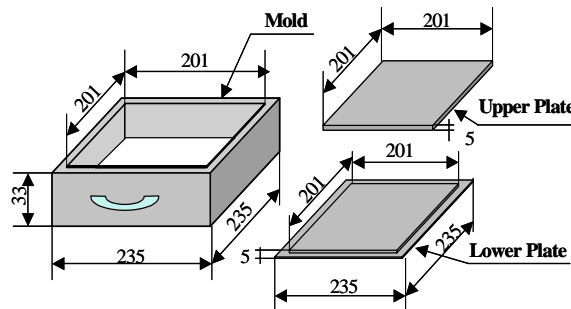
3.5 휨강도 시험

KS F 3104에 준해, 인스트롱 만능 시험기를 이용해, 크로스헤드 속도 0.5mm/min로 중앙집중재 하법에 의한 공시체의 휨강도 시험을 하였다.

본연구의 폐목재-플라스틱 복합패널은, 그 시험 방법을 KS F 3104에 준해 행하고 있지만, 그 사용 재료, 성형 조건, 물성 등이 범용의 파티클 보드



[Fig.2] Process for making specimens from waste wood-plastic composite panels.



[Fig.3] Shape of steel mold for specimens.

와 크게 달라, 파티클 보드의 개발을 목적으로 하고 있지 않다. 덧붙여 어느 시험에 있어서도 공시체수는 5개이고, 변동 계수는, 모두 5%이하였다.

4. 시험 결과 및 고찰

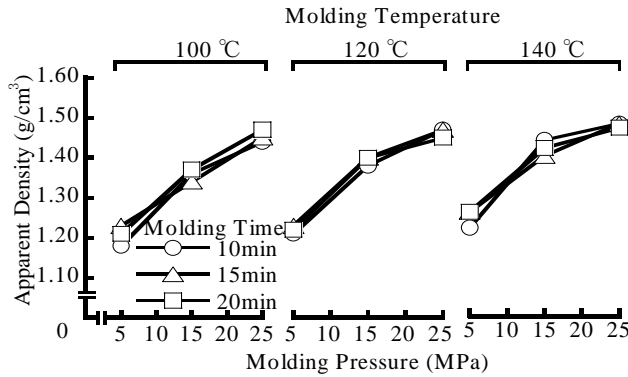
4.1 겉보기밀도

[Fig. 4]는 폐목재-플라스틱 복합패널의 외관 밀도와 성형 조건의 관계를 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 외관 밀도는, 성형 온도 및 성형 시간에 관계없이, 성형 압력의 증가에 따라 증

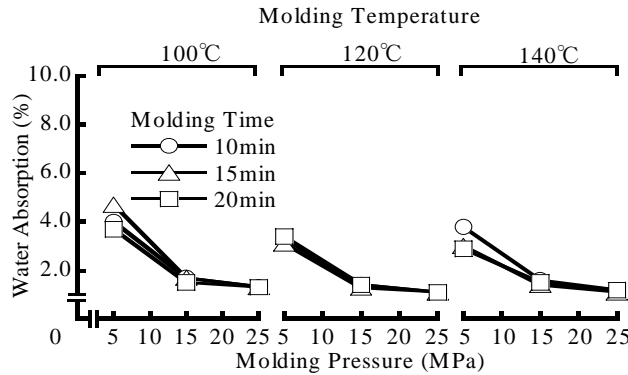
가한다. 이것은, 가압에 의해, 그 복합패널 내에 존재하는 공극이 배제되어 그 조직이 조밀하게 되기 때문으로 생각된다. 충전재로서 밀도가 높은 중질 탄산칼슘을 사용하고 있기 때문에, 그 복합패널의 외관 밀도는, 1.18~1.47g/cm³이고, 시판되는 파티클 보드나 섬유 보드의 약 2배가 된다.

4.2 흡수율 및 흡수에 의한 두께 팽창률

[Fig. 5]는 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수율과 성형 조건의 관계를 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수율은, 성형 온도 및 성형 시



[Fig. 4] Molding pressure vs. apparent density of waste wood-plastic composite panels, made with different molding temperatures and molding times.

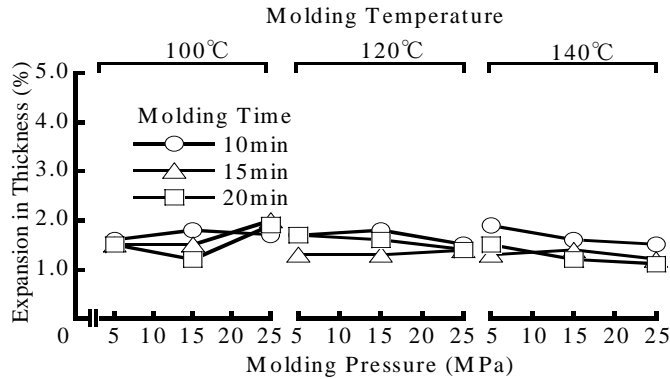


[Fig. 5] Molding pressure vs. water absorption of waste wood-plastic composite panels, made with different molding temperatures and molding times.

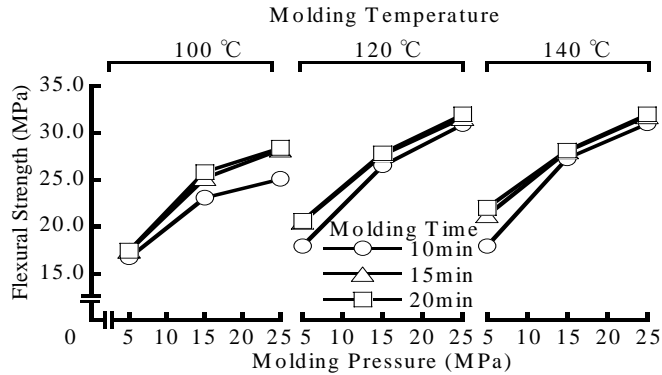
간에 관계없이, 성형 압력의 증가에 따라 감소한다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수는, 구성 재료간의 틈, 및 연속 공극의 다공체인 폐목재 칩에의 흡수에 의하는 것이다. 따라서, 성형 압력이 증가하면, 그 복합패널의 외관 밀도가 증가해, 그 표면에 균일한 결합재 층이 형성되기 때문에, 외부로부터의 물이 침투하기 어려워지기 때문에, 그 흡수율이 감소하는 것이라고 추측된다.

[Fig. 6]은 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수에 의한 두께 팽창률과 성형 조건의 관계를 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수에 의한 두께 팽창률은, 성형 조건과의 상관성이 현저하게 보

이지는 않으며, 성형 조건에 관계없이, 모두 1.2~2.0%의 범위에 있어, 높은 치수 안정성을 얻을 수 있으며 이것은, 높은 내수성을 가진다고도 말할 수 있다. 파티클 보드를 건축재료로서 사용하는 경우에는, 그 내수성이 지극히 중요해진다. 현재, 페놀 수지, 유레아수지 및 멜라민 수지를 결합재로서 이용한 파티클 보드는, 주택의 내력벽, 마루밀판, 지붕 기초 등의 용도에 사용되고 있지만, 그 내수성이 부족하기 때문에, 습기가 많은 곳, 건물 안에서 물을 사용하는 곳에서는, 그 사용이 제한되어 있다.¹⁹⁾ 폐목재-플라스틱 복합패널은, 높은 치수 안정성과 내수성을 가지기 때문에, 상업적



[Fig. 6] Molding pressure vs. expansion in thickness of waste wood-plastic composite panels, made with different molding temperatures and molding times.



[Fig. 7] Molding pressure vs. flexural strength of waste wood-plastic composite panels, made with different molding temperatures and molding times.

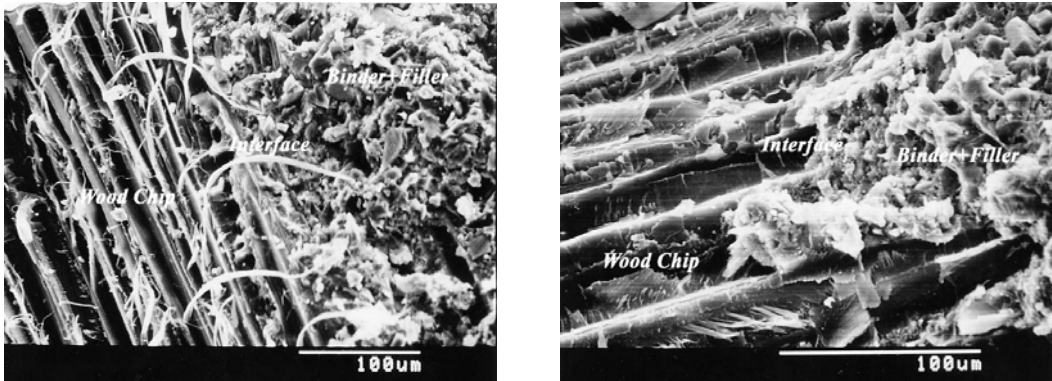
건축 용도에서의 사용이 기대된다.

4.3 휨강도

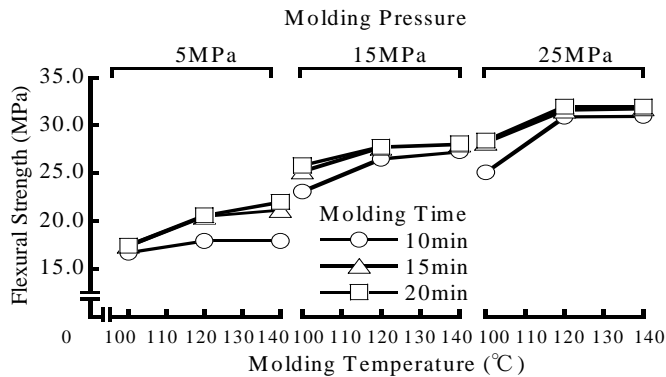
[Fig. 7]은 폐목재-플라스틱 복합패널이 휨강도에 미치는 성형 압력의 영향을 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 휨강도는, 성형 온도 및 성형 시간에 관계없이, 성형 압력의 증가에 따라 증가한다. 이것은 성형 압력의 증가에 의해, 복합패널의 밀도가 증가해, 목재 세포벽에의 모노머 함침률이 증가하여, 구성 재료 상호간의 접착력이 향상되기 때문으로 판단된다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 최대 휨강도는 32.0MPa으로, 구조적 용도에 사용할 수 있을 정도의 높은 휨강도를 발현한다.

폐목재-플라스틱 복합패널의 경화는, 스티렌 및 TMPTMA의 중합 반응에 의하는 것이고, 동시에 모노머의 소비에 수반하는, 페발포폴리스티렌의 탄성회복이 일어난다. 이 때, 모노머인 스티렌 및 TMPTMA는 목재 칩의 세포벽 내부까지 함침되고 계속해서 중합·고분자화하기 때문에, 폐목재-플라스틱 복합패널의 매트릭스는 목재의 세포벽 표면만이 아니고, 세포벽 내부에서도 목재와의 상호작용이 일어나게 되어, 높은 휨강도를 발현하는 것으로 생각된다.²⁰⁾

[Photo. 1]은 폐목재-플라스틱 복합패널의 파괴 단면을 주사형 전자현미경(히타치 제작소제: S-220형태)을 이용해 촬영한 것이다. 이 전자현



[Photo. 1] Microstructures of fracture surfaces of waste wood-plastic composite panels, made with molding temperature of 120°C and molding pressure of 25MPa and molding time of 20min.



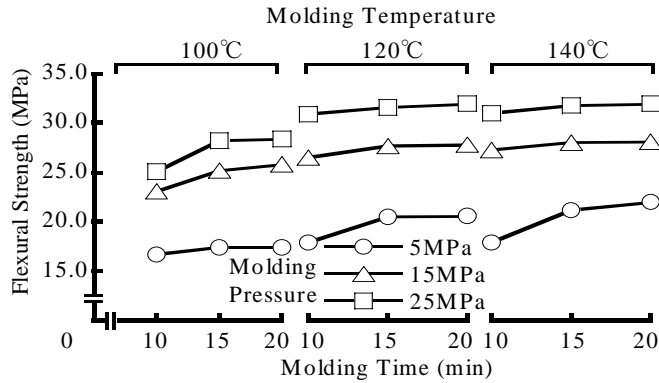
[Fig. 8] Molding temperature vs. flexural strength of waste wood-plastic composite panels, made with different molding pressures and molding times.

미경 사진으로 알 수 있듯이, 목재 칩과 충전재를 포함한 결합재와의 계면은, 지극히 긴밀히 결합된 상태에 있어, 복합패널의 파괴는 거의 목재 칩 내부에서 일어난다는 것을 알 수 있다.

[Fig. 8]은 폐목재-플라스틱 복합패널의 휨강도에 미치는 성형 온도의 영향을 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 휨강도는 일정한 성형 압력 및 성형 시간에서, 성형 온도의 상승에 따라 증가하며, 성형 온도 120°C에서 일정하게 되는 경향에 있다. 100°C로 성형한 복합패널이 낮은 휨강도를 갖는 것은, 100°C에서는 결합재의 경화가 완료되지 않고, 저분자량 성분이 잔류하고 있어, 휨강도

에 악영향을 주기 때문이라 생각된다. 120°C로 성형한 복합패널에서는, 미반응 또는 저분자량 성분의 경화 반응이 충분히 진행해 그 휨강도가 증가한다. 그러나 120°C이상의 온도영역에서 성형한 복합패널은, 온도의 상승에 따른 휨강도 증가는 현저하지 않다.

[Fig. 9]는 폐목재-플라스틱 복합패널의 휨강도에 미치는 성형 시간의 영향을 나타낸다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 휨강도는, 일정한 성형 압력 및 성형 온도에서, 성형 시간을 길게 함에 따라 증가해, 성형 시간 15min에서 일정 값에 이르는 경향에 있다. 성형 시간은 성형품의 성질이나 제조



[Fig. 9] Molding time vs. flexural strength of waste wood-plastic composite panels, made with different molding temperatures and molding pressures.

시간을 좌우 하며, 나아가서는 비용에도 영향을 주기 때문에, 그 제어는 지극히 중요하다. 폐목재-플라스틱 복합패널의 충분한 경화에는, 성형 시간 15min을 필요로 하기 때문에, 그 제조 시간을 보다 짧게 하기 위해서는, 원재료의 예비 가열을 고려 할 필요가 있다고 생각된다.

5. 결론

1. 폐목재-플라스틱 복합패널의 밀도는, 성형 온도 및 성형 시간에 관계없이, 성형 압력의 증가에 따라 높아진다.
2. 폐목재-플라스틱 복합패널의 흡수에 의한 두께 팽창률은, 성형 조건에 관계없이, 모두 1.2-2.0%의 범위에 있어, 높은 치수 안정성을 갖는다.
3. 폐목재-플라스틱 복합패널이 휨강도는, 성형 온도 120°C, 성형 시간 15min로 일정하게 되는 경향에 있었으며 성형 압력의 증가에 따라 현저하게 증가한다.
4. 폐목재-플라스틱 복합패널은, 높은 휨강도 및 내수성을 가지고 있으므로, 철근 콘크리트용 거푸집, 내벽재, 목조 주택용 바닥재나 산자판 등의 각종 건축재료로의 이용이 기대된다

1. 秋山俊夫, “木材のリサイクル”, 産調出版 (1998).
2. 庄了幹雄, “建設業界における木質廃棄物リサイクルへの取組み”, 廃棄物學會誌, 11(2), pp 134-141 (2000).
3. 野城智也, “戸建住宅の解体からみた解体材再利用阻害要因”, 廃棄物學會誌, 11(2), pp 117-125 (2000).
4. Y. Shao, S. Moras, N.Ulkem and G. Kube. “Wood-Fibre Cement Composites by Extrusion”, Canadian Journal of Civil Engineering, 27(3), pp 543-552 (2000).
5. 澁谷和久, “再利用率が低い混廢, 汚泥, 木材”, 日経アーキテクチャ, No.661, pp 31-33 (2000).
6. S. Suzuki, “Particleboards Made from Recycled Wood”, Proceedings of the International RILEM Workshop on Disposal and Recycling of Organic and Polymeric Construction Materials, E&FN Spon, pp 223-234 (1995).
7. Y. Tomimura, K. Shimada and K. Suzuki, “Particleboard Manufactured from Wood Chips Used in Garbage Decomposer”, Transactions of the

참고문헌

- Materials Research Society of Japan, 25(3), pp 693-696 (2000).
8. T. Ono, S. Ono and T. Kumano, "Development of Formwork Material Made of Scrap Lumber", Proceedings of the International RILEM Workshop on Disposal and Recycling of Organic and Polymeric Construction Materials, E&FN Spon, pp 235-234 (1995).
 9. T. Sakuno, J. V. Pablo and S. G. Kang, "Production and Properties of Boards Made from Kenaf and Sugi Chips Mixture", Transactions of the Materials Research Society of Japan, 25(3), pp 689-692 (2000).
 10. 永瀬昇三, "使用済み発泡スチロールの再資源化技術, 産業と環境", 24(11), pp 86-88 (1995).
 11. 飯島康司, 前澤英一, "発泡スチロールの再生・再利用", eX'Mook, No.14, pp 132-134 (1993).
 12. 発泡スチロール再資源化協會, "発泡スチロールの回収及び再資源化の現状と動向", 産業と環境, 25(12), pp 53-57 (1996).
 13. 北尾建, "日本における主な環境対策の現状とトレンド, PSPトレーの回収と処理", プラスチックスエージ, 38(454), pp 143-147 (1992).
 14. 今井茂博, "リモネンによる発泡ポリスチロール再生回収装置", プラスチックス, 47(8), pp 83-86 (1996).
 15. T. Noguchi, Y. Inagaki, M. Miyashita and H. Watanabe, "A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent. Part 1. A New Recycling Technique", Packaging Technology and Science, 11(1), pp 19-27 (1998).
 16. T. Noguchi, Y. Inagaki, M. Miyashita and H. Watanabe, "A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent. Part 2. Development of a Prototype Production System", Packaging Technology and Science, 11(1), pp 29-37 (1998).
 17. 來住宣剛, 寺下敬次郎, 宮南啓, "発泡ポリスチレンのマテリアルリサイクルに関する基礎的研究", 第9回廢棄物學會研究發表會講演論文集, pp 283-285 (1998).
 18. 西元研了, 仮屋園廣幸, 濱石和人, "溶劑減容物からの發泡性ビーズの調製", 鹿兒島工業技術センター研究報告, No.13, pp 35-37 (1999).
 19. 木材活用事典編集委員會, "木材活用事典", 産業調査會 (1996).
 20. 木質新素材ハンドブック編集委員會編, "木質新素材ハンドブック", 技報堂出版 (1996). 