

폐기 목질 재료로 제조한 학생용 책상 천판의 성능에 미치는 성형조건의 영향*¹

노정관*^{2†} · 김재경*² · 김사익*² · 조종수*² · 윤승락*² · 나종범*² · 도정락*³

Effect of Moulding Conditions on Properties of Table Top for Student Desk Manufactured by Wood Waste Materials*¹

Jeang-Kwan Roh*^{2†} · Jae-Kyung Kim*² · Sa-Ick Kim*² · Jong-Soo Jo*² ·

Seung-Lak Yoon*² · Jong-Bum Ra*² · Jeong-Lak Do*³

요약

폐기 목질재료를 사용하여 학생용 책상 천판의 성형시 각 제조조건에 따른 천판의 성능을 검토하였다.

책상 천판의 파티클 구성은 고운 파티클과 거친 파티클을 적절히 혼합한 것이 고운 파티클이나 거친 파티클만으로 제조한 것보다는 전체적으로 성능이 양호하였으며, 특히 표층에는 고운 파티클을 중층에는 거친 파티클을 구성하는 것이 표면 마감성이 가장 우수하였다. 그리고 밀도가 높을수록 박리강도, 휨 강도는 우수하나, 흡수두께 팽창율은 증가하였으며, 수지 도포량이 많을수록 박리강도, 흡수두께 팽창율은 양호하나, 폼알데히드의 방출량은 높았다. 가압온도는 높을수록 대부분의 성능이 향상되었으며, 190℃가 가장 적절하였다. 가압시간은 1단계 2분과 2단계 2분이 비교적 양호하나 2단계의 가압시간을 1분으로 단축하여도 성능에는 큰 문제가 없어 앞으로 생산성의 향상을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This research was performed to investigate the effect of moulding conditions on properties of the table top for student desk manufactured by wood waste materials.

The table top manufactured using the mat mixed properly with fine particles and coarse particles

*¹ 접수 2002년 7월 12일, 채택 2002년 12월 11일

본 연구는 우수산업대학 국고재정지원 산·학 협동개발 연구비에 의하여 수행되었음.

*² 진주산업대학교 이공대학, College of Sciences & Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

*³ 도림산업(주), D.L. Industry Co. Ltd, Yangsan 628-830, Korea

† 주저자(corresponding author) : 노정관(e-mail: arohjk@jinju.ac.kr)

generally showed better physical properties than those manufactured using either fine particles or coarse particles did. Especially, highest performance for overlaying was observed when fine particles were used for face layer and coarse particles were used for core layer. The internal bond (IB) strength, the bending strength and thickness swelling increased with the increase of density. Most of physical properties were improved with the increase of hot pressing temperature. The best physical properties were found at 190°C when the first hot pressing and the second hot pressing times were two minutes. However, the effect of the second hot pressing time of two minutes on the physical properties was not markedly different from that of one minute. This result suggests that the second hot pressing time of one minute is enough to increase the productivity in manufacturing the table top with the least decrease of the physical properties.

Keywords: wood waste materials, table top, student desk, internal bond strength, thickness swelling, MOR

1. 서 론

목재는 친환경적이고 친인화적인 재료로서 재생산이 가능한 최대의 바이오매스 자원임과 동시에 재이용이 비교적 용이한 재료이다. 그러나, 국내에서 발생되고 있는 폐목재의 약 52%에 해당하는 건설 폐목재 중의 96%는 소각 또는 매립되고 있다. 또, 전체의 약 2%의 생활 폐목재는 88%가, 약 6%의 물류 폐목재는 33%가 소각이나 매립처리 되고 있다(김, 1999). 폐목재는 태우거나 매립될 경우 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소가 발생되기 때문에 이를 감소시키기 위해서는 목질재료의 재활용을 통해서 목재의 사용수명을 최대한 연장시켜 주는 것이 가장 합리적인 방안이다(河村, 1999. 大越, 1999). 특히 목재 자급율이 10%도 되지 않는 국내 현실을 고려할 때, 재활용되지 않는 자원의 효율적인 이용은 외화절약 뿐만이 아니라 환경문제와 관련에서도 매우 중요한 과제 중의 하나이며 일본에서는 이미 사용한 파티클 보드로부터 목질 파티클의 회수 및 재이용에 관해 많은 노력을 기울이고 있다(富永, 1999. 齊藤, 1999). 그러나, 이들 폐목질 자원을 이용한 재활용 제품의 성공적인 제조를 위해서는 해결해야 할 많은 문제점을 가지고 있다. 첫째는 폐기 목질 재료의 분리수거 및 집하, 둘째는 해체 및 분리에 의한 원료화, 그리고 셋째는 재활용 목질 제품의 제조기술 확립이다. 첫번째 문제의 해결은 환경보호의 차원에서 행정적인 지원에 의한 해결방법이 절실하고, 둘째는 현재의 기술로는 어느

정도는 가능하나 보다 효율적이고 생에너지적인 기술 개발이 요구된다. 그러나 위의 두 문제가 해결된다고 하여도 특히 소각 및 매립되는 천연목질재료를 효율적으로 재활용하기 위해서는 폐기 목질재료를 이용한 신제품의 개발과 그 제조기술의 확립이 시급하다.

현재 국내에서 사용되는 학교용 책상의 천판은 초·중·고등학생만 하여도 약 1,100만개 정도이며 대학 및 사설 학원까지 포함한다면 그 수는 거의 1,500~2,000만개에 이를 것으로 추정된다. 기존의 학생용 천판은 합판으로 대부분 수입되고 있으며, 그 비용으로 약 오천만달러라는 외화가 지불된 것으로 추산된다. 따라서, 합판에 의해 제조되고 있는 책상 천판을 폐기 목질재료에 의해 제조한 제품으로 대체할 수 있다면 환경 및 경제적 가치는 매우 높을 것으로 기대된다.

본 공동연구자는 기존의 합판을 대체할 수 있는 제품으로 폐목질 재료를 이용한 성형 천판을 개발하였다. 본 천판은 최근 학생들의 체격 증대를 고려하여 개정된 치수의 책상 천판으로 가로 650×세로 450×두께 20 mm이다. 몸쪽에는 체형에 맞게 둥근 곡선으로 마감함과 동시에 양단에는 팔의 받침대 역할을 하는 부분이 있어 피로를 줄여주도록 설계되어 있으며, 책상 둘레에 학습도구가 떨어지지 않도록 방지턱을 도입하여 학습능률 향상을 기하였으며, 표면 성형부에는 내마모성이 강한 수지함침 표면마감재를 접착가공하여 긁힘 등의 표면 손상이 없는 다기능성 제품이다. 따라서 본 연구에서는 100% 폐기되는 목질재료를 이용한 신제품으로서 학교 책상용 천판의 제조기술을

확립하기 위해 성형조건과 천판의 성능과의 관계를 검토하였다. 책상 천판의 표면에 적층하는 표면마감재의 내오염성, 내약품성, 내열성 등의 성능은 전문가 관에 의뢰해 시험한 결과 KS기준을 만족하였기에 본 실험에서는 생략하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 폐기목질 원료

책상 천판의 제조에 사용한 폐기목질 원료는 건설 폐재 및 산업폐재 등이 혼합된 파티클을 다시 분쇄기로 분쇄한 다음 직화가열식 드럼형 건조기에서 함수율 3~5%로 건조한 후 고운 파티클과 거친 파티클로 분별하여 사용하였다. 고운 파티클과 거친 파티클의 크기 및 구성비율은 Table 1과 같다.

2.1.2. 수지 접착제

기존의 요소수지 접착제에 의해 제조한 책상 천판의 경우 포름알데히드의 방출량과 내수접착성능에 문제점을 가지고 있었다. 따라서, 요소·멜라민수지 접착제를 사용하여 책상 천판의 성형조건에 따른 성능을 검토하였다. 기본적으로 성형조건을 검토하기 위

해 사용한 요소·멜라민 수지는 요소 : 멜라민 : 포름알데히드의 몰비를 1 : 0.17 : 1.59로 조정하여 동시반응에 의해 제조하였다. 수지의 pH는 8.2, 고형분은 56%였다.

2.1.3. 표면 마감재

폐목질 재료로 성형한 책상 천판의 표면에는 목재 문양을 인쇄한 모양지를 적층하여 표면 마감하였다. 특히 3차원의 곡면부분에 있어서 표면마감재에 의한 적층마감에는 특별한 기술이 요구되었다.

2.2. 책상 천판 제조

2.2.1. 책상 천판의 제조공정 및 시험편 제작

본 성형 천판의 제조공정은 ① 폐기목질 원료 수거 → ② 분쇄 → ③ 건조 → ④ 선별 → ⑤ 접착제 제조 → ⑥ 접착제와 파티클의 혼합 → ⑦ 1단계 성형(이면에는 단판 적층) → ⑧ 멜라민 시트 적층 및 2단계 성형으로 되어 있다. 이들의 각각의 단계에 있어서 제조 조건에 따른 책상 천판의 성능을 구명하고, 최적 제조 조건을 도출하기 위해 특히 ④~⑧의 단계에 대해 조건을 달리한 책상 천판을 제조하였다.

책상 천판의 기본적인 성형조건은 Table 2와 같으며, 이와 같은 기본조건을 토대로 파티클의 구성, 밀도, 수지의 조합, 조성 및 도포량, 열압온도, 열압시간 등의 성형조건을 조절하였다.

파티클의 구성과 파티클의 양에 따른 책상 천판의 성능은 표면마감재를 적층하지 않은 목재 파티클만으로 성형한 책상 천판에 의해, 수지 조합조건 및 도포량, 열압조건(온도, 시간 등) 등은 표면마감재를 적층한 완제품 책상 천판으로 검토하였다.

2.2.2. 책상 천판의 성능평가

각 조건별 3매의 책상 천판을 제조한 후 포름알데히드 방출량 측정시료는 제조직후 상온까지 냉각시킨 후 바로 비닐로 밀봉하였다. 또, 각 성능을 평가하기 위한 시험편의 절단은 Photo 1과 같이 하나의 책상 천판에서 밀도 및 함수율 측정 시험편 2개, 흡수두께

Table 1. Distribution of particle size

Type of particle	Size	Rate of distribution (%)
Coarse	5.0 mm and more	23
	5.0~335 mm	23
	335~236 mm	23
	236~140 mm	21
	140 mm and less	10
Fine	14 mm and more	16
	14~1.0 mm	28
	1.0 mm~850 μm	10
	850~600 μm	19
	600~480 μm	13
	480 μm and less	14

Table 2. The manufacturing conditions of moulded table top for student desk

Items		Conditions	
Size of table top		650×450×20 mm	
Composition of particle	Face layer	Fine Particle : 1,400 g	
	Core layer	Coarse Particle : 3,000 g	
Target density		0.8 g/cm ³	
Resin spreading	Resin	Urea-Melamine (M/U molar ratio = 0.17)	
	Solid content	56%	
	Amount of spread	Face layer	103%
Core layer		9.7%	
Hot pressing	Temperature	190℃	
	Time	1st	160 sec.
		2nd	80 sec.
	Pressure	60 kgf/cm ²	

Photo 1. Preparation of test pieces from table top.

팽창율 시험편 2개, 박리강도 시험편 4개, 마모량 시험편 2개 및 포름알데히드 방출량 시험편 8개를 취하였다. 또한, 휨강도는 일반적으로 세로와 가로방향에 따라 차이가 있으며, 본 책상 천판의 경우 파괴는 주로 세로방향에서 나타날 수 있기 때문에 세로방향의

휨강도 시험편의 수를 가로방향보다 많은 5개를, 그리고 가로방향은 2개 취하였다.

각종 책상 천판의 성능은 KS F 3104 및 GR(Good Recycled) 품질인정규격에 의해 평가하였으며, 주요 GR 품질기준은 밀도 0.55~0.85 g/cm³, 흡수율 5~13%, 휨강도 204 kgf/cm², 흡수두께 팽창율 12% 이하, 박리강도 3.1 kgf/cm², 포름알데히드 방산량 5 mg/L 이하이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 파티클의 구성과 투입량에 따른 책상 천판의 성능

먼저 책상 천판의 제조시 파티클의 크기와 구성에 따른 성능을 평가하기 위해 Table 2와 같은 기본조건으로 책상 천판을 제조하였다. 단 표면마감재는 적용하지 않았다. 건설폐재 및 산업폐재 등이 혼합된 파티클을 다시 분쇄기로 분쇄한 다음 직화가열식 드럼형 건조기에서 흡수율 3~5%로 건조한 후 고운 파티클과 거친 파티클로 분별하여 각각 고운 파티클(1.4 mm~480 μm가 70%)과 거친 파티클(5.0 mm 이상 23%, 5.0~1.4 mm가 67%)만으로 구성된 책상 천판, 양표층에는 고운 파티클을, 그리고 중층에는 거친 파티클을 요소·멜라민수지 접착제를 사용하여 제조한 후 그 성능을 평가한 결과, 박리강도는 고운 파티클만으로 구성된 책상 천판보다는 혼합구성과 거친 파티클이 우수하였고, 모두 KS F 3104의 파티클보드에 대한 기준이나 당초 목표성능의 3.1 kgf/cm²보다 양호하였다. 그러나, 흡수두께 팽창율은 그 반대의 경향을 나타내며, 모두 목표성능을 만족하지 못하였다. 또한, 가로방향의 휨 강도 및 휨 영계수는 고운 파티클이 우수하였으나, 실제 책상 천판에서 파괴가 일어나기 쉬운 세로방향의 휨 강도 및 휨 영계수는 거친 파티클과 고운 파티클을 복합구성한 책상 천판이 양호하였다.

이상의 결과와 책상 천판 표면마감재의 성형성 등을 고려할 때 표층에는 고운 파티클, 그리고 중층에는 거친 파티클을 구성하는 것이 효과적이라고 생각된다.

표층에 고운 파티클 38%, 중층에 거친 파티클 62%로 구성하고, 1개의 책상 천판 제조에 사용되는 파티클의 양(밀도)을 달리하여 표면마감재를 적층하지 않고 제조한 책상 천판의 성능을 비교한 결과는 Fig. 1, 2와 같다. 밀도 0.72에서 0.80 g/cm³ 사이에서 책상 천판의 박리강도는 밀도의 증가에 따라 다소 증가하나 밀도 0.76과 0.80 g/cm³간에는 큰 차이가 없었다. 그러나, 흡수두께 팽창율은 밀도의 증가에 따라 증가하였다.

또한 휨강도 및 휨영계수도 책상 천판 제조시 파티클의 투입량이 증가할수록 다소 증가하는 경향이 있으나, 투입량 4.4 kg(밀도 0.76 g/cm³) 이상에서는 큰 차이가 없고 오히려 4.6 kg(밀도 0.80 g/cm³)을 초과하면 성형조작시 작업성에 문제가 나타나며, 책상 천판이 너무 무거워지므로 최적의 목재 파티클 투입량은 4.4 kg 정도가 바람직하였다.

3.2. 접착제의 조합 및 도포량에 따른 책상 천판의 성능

요소 : 멜라민 : 포름알데히드의 몰비를 1 : 0.17 :

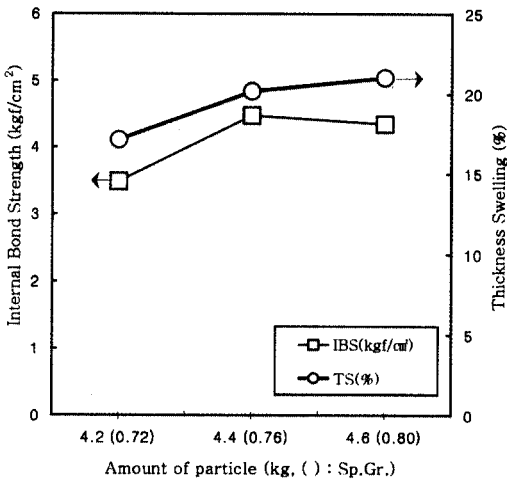


Fig. 1. Internal bond strength and thickness swelling of moulded table top with different amount of particles. Note : The manufacturing conditions except the amount of particles are the same as the Table 2.

1.59로 조정하여 동시반응에 의해 제조한 요소·멜라민수지를 사용하여 수지의 조합조건에 따른 책상 천판의 성능을 검토한 결과, 표면 마감재를 적층한 책상 천판에 대해 비중 0.8에서 비교한 흡수두께 팽창율은 왁스첨가제가 가장 우수하였으며, 왁스와 염화암모늄을 모두 첨가하지 않은 계는 당초 목표치인 12%를 만족하지 못하였다. 박리강도는 모두 목표치 3.1 kgf/cm²를 상회하였으며, 휨강도는 목표치의 204 kgf/cm²를 모두 만족하지 못하였다. 마모성은 왁스 미첨가제가 약간 양호하였으나 큰 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 경화제인 염화암모늄을 첨가하는 것이 휨 강도는 우수해지나 목재 파티클에 수지 도포 후 방치시간이 길어지면 수지의 조기경화로 인한 불량 발생 가능성이 높으므로 주의가 요구된다.

또한, 동일 수지를 사용하여 수지 도포량의 영향을 검토한 결과는 Fig. 3, 4와 같다. 전건 목재 파티클에 대해 수지의 도포량(고형분 기준)을 8.5%에서 10.3%까지 변화시켰을 때 수지의 도포량이 많아질수록 박리강도는 다소 증가하고 흡수두께 팽창율은 감소하는

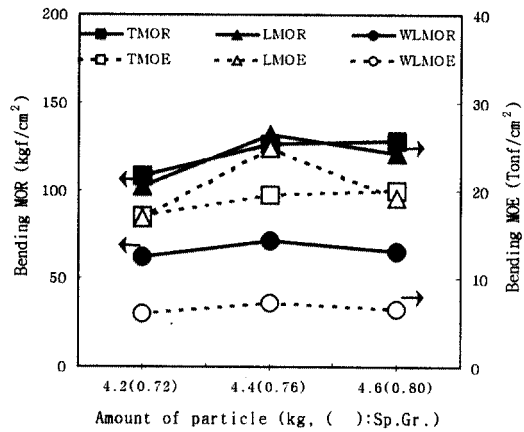


Fig. 2. Modulus of rupture and modulus of elasticity in bending of moulded table top with different amount of particles. Notes ; HMOR : MOR of transverse direction, LMOR : MOR of longitudinal direction, WLMOR : Wet MOR of longitudinal direction(soaking at 20°C water for 24 h).

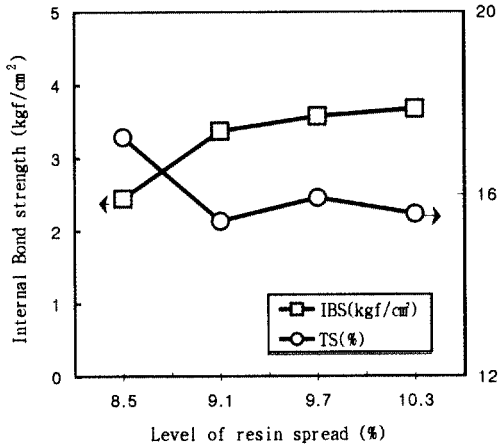


Fig. 3. Internal bond strength and thickness swelling of moulded-table top with various levels of resin spread. Note : The manufacturing conditions except the level of resin spread are the same as the Table 2.

경향을 보였다. 그러나, 흡수두께 팽창율은 도포량을 증가하여도 목표치를 만족하지 못하였으며, 가로 방향의 휨 강도는 도포량의 증가에도 큰 차이가 없었다.

이상의 결과에서, 수지의 도포량과 조합 조건에 관계없이 휨성능, 박리강도, 흡수두께 팽창율 등은 목표 성능을 거의 만족하였다. 그러나, 본 실험에 사용한 조성의 요소·멜라민 수지에 의해 제조된 책상 천판의 포름알데히드 방출수준은 규격치를 만족하지 못하였으나 멜라민의 몰비를 0.3으로 높인 수지에 의해 제조된 제품은 규격치를 충분히 만족하였다.

3.3. 열압조건에 따른 책상 천판의 성능

Table 2의 기본조건 중 열압온도를 170℃에서 200℃로 변화시키면서 제조한 책상 천판의 박리강도와 흡수두께 팽창율의 측정 결과는 Fig. 5와 같다. 열압온도가 증가함에 따라 책상 천판의 흡수두께 팽창율은 감소하여 190℃ 이상에서 목표치(12%)를 만족시켰으며, 박리강도는 190℃에서 가장 양호한 4.5 kgf/cm²였다. 또한, Fig. 6에 휨강도 성능을 나타낸 바와 같이 온도가 증가함에 따라 전반적으로 휨성능도 양

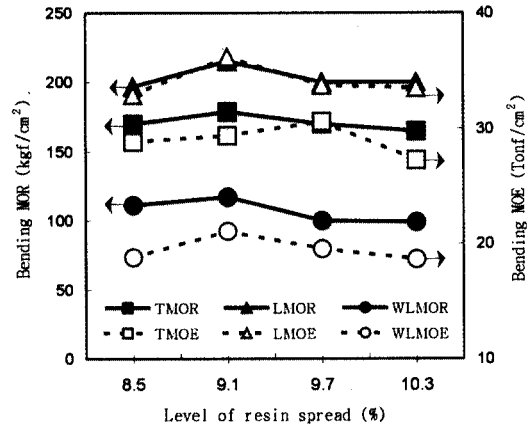


Fig. 4. Modulus of rupture and modulus of elasticity in bending of moulded-table top with various levels of resin spread.

호하였으며, 특히 가로 방향의 휨성능의 증가가 현저하였다. 190℃ 이상의 온도에서는 가로방향과 세로방향 모두 당초 목표치인 204 kgf/cm²을 상회하는 휨성능을 나타내 현재의 수지와 타임스케줄하에서의 열압온도는 190℃가 적절하였다.

열압온도 190℃에서 1단계의 파티클만에 대한 열압시간과 2단계의 표면마감재 적층 후의 열압시간으로 구분하여 전 열압시간을 240초로 고정하고 1, 2단계의 열압시간을 1단계 80초와 2단계 160초, 1단계 120초와 2단계 120초 및 1단계 160초와 2단계 80초로 조정하여 제조한 책상 천판의 성능은 Table 3과 같다. 위에서와 같이 1,2단계의 열압시간을 변화하여도 책상 천판의 비중, 함수율, 흡수두께 팽창율 및 마모량 등에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 휨강도는 1단계의 열압시간이 증가하고 2단계의 열압시간이 감소할수록 양호하였으며, 1단계 160초 2단계 80초의 타임스케줄에서 세로와 가로방향 모두에서 목표치의 휨성능을 초과하는 값을 얻었다.

또한, 책상 천판의 생산성과 관련해서 전체 열압시간의 단축은 매우 중요하기 때문에 1단계 열압시간은 120초로 고정하고, 2단계 열압시간을 60초에서 120초로 변화하여 제조한 책상 천판의 성능은 Fig. 7, 8과 같다. 2단계 열압시간이 120초에서 60초로 단축되면 박리강도는 감소되고 흡수두께 팽창율은 증가되지

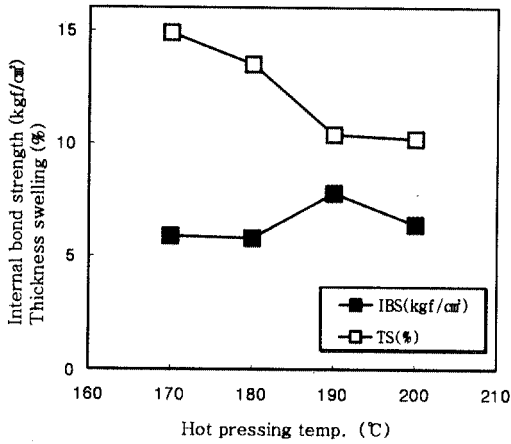


Fig. 5. Internal bond strength and thickness swelling of moulded-table top at different hot pressing temperature.

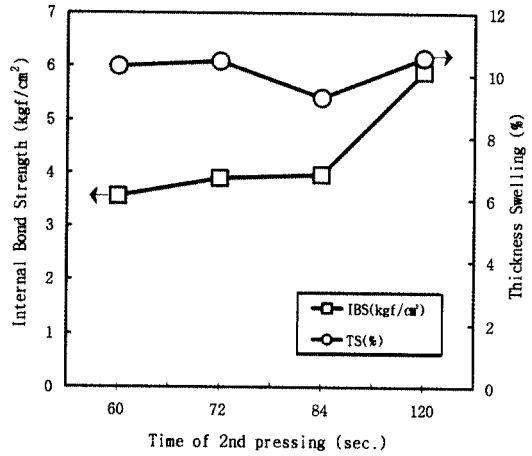


Fig. 7. Internal bond strength and thickness swelling of moulded-table top according to times of 2nd pressing (after 2min. of 1st pressing).

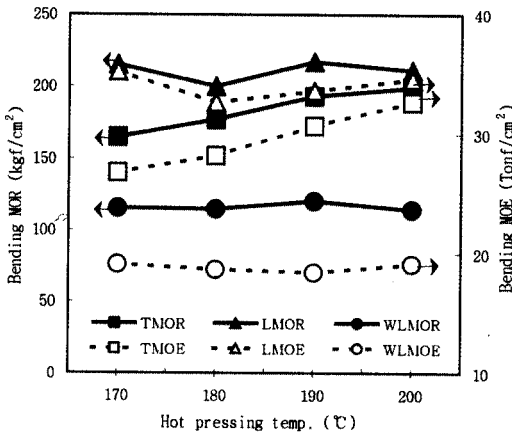


Fig. 6. Modulus of rupture and modulus of elasticity in bending of moulded-table top at different hot pressing temperature.

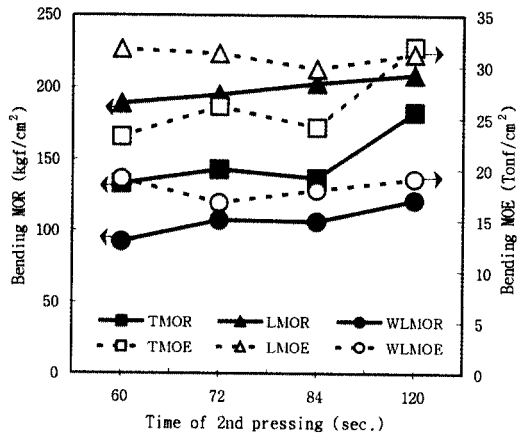


Fig. 8. Modulus of rupture and modulus of elasticity in bending of moulded-table top according to times of 2nd pressing (after 2 min. of 1st pressing).

만, 2단계 열압시간 60초에서도 흡수두께 팽창율 및 박리강도 모두 목표치를 만족하였다. 또, 가로 및 세로방향 모두 2단계 열압시간이 길어짐에 따라 MOR은 증가하는 경향을 나타냈다. 2단계 열압시간이 60초까지 단축되어도 세로방향의 휨 강도는 목표치를 만족하지만 가로 방향은 만족하지 못하였다.

4. 결 론

요소에 대한 멜라민의 몰비 0.17, 요소와 멜라민에 대한 포름알데히드의 몰비 1.35의 요소·멜라민 수지와 폐기 목질재료를 사용하여 학생용 책상 천판의 제조시 각 성형조건에 따른 성능을 검토한 결과는 다음

Table 3. Properties of moulded table top by first and second pressing time

Pressing time (sec.)		Sp. Gr.	Moisture content (%)	Thickness swelling (%)	Internal strength (kgf/cm ²)	Bending properties ¹						Amount of wear (g/100 rev.) ²
1st	2nd					MOR(kgf/cm ²)			MOE(Tonf/cm ²)			
						T	L	WL	T	L	WL	
80	160	0.8	7.6	10.9	7.2	164.7	206.0	120.9	27.5	34.0	20.1	0.1027
120	120	0.8	7.1	10.6	5.9	183.4	209.0	121.5	32.0	33.4	19.1	0.0990
160	80	0.8	7.2	10.4	7.8	193.3	216.9	120.4	30.7	33.6	18.4	0.1000

Notes * 1 T : Transverse Direction, L : Longitudinal Direction, WL : Wet Longitudinal Direction of wet test
 * 2 Amount of wear after each 100 revolutions averaged to 1200 revolutions

과 같다.

책상 천판의 파티클 구성은 고운 파티클과 거친 파티클을 적절히 혼합한 것이 고운 파티클이나 거친 파티클만으로 제조한 것보다는 전체적으로 성능이 양호하였다. 표면마감성 등을 고려할 때 최적의 파티클 구성은 양표층에 고운 파티클을 약 40%, 그리고 중층에 거친 파티클을 약 60%로 하는 것이 가장 양호하였으며 적정 밀도는 약 0.8 g/cm³였다.

수지 도포량은 많을수록 박리강도, 흡수두께 팽창율은 양호하였으나, 포름알데히드의 방출량은 높았으며, 표층의 고운 파티클에는 약 11%, 내층의 거친 파티클에는 9~10% 정도가 적절하였다. 열압온도가 높을수록 대부분의 성능이 향상되었으며, 190℃가 적절하였다. 가압시간은 1단계 2분과 2단계 2분에서 비교적 양호한 성능의 천판제조가 가능하나, 2단계의 가압시간을 1분으로 단축하여도 성능에는 큰 문제가 없었다.

참 고 문 헌

1. 河村文郎. 1999. 木質系廢棄物燒却處理. 木材工業, 54(11): 551~553.
2. 김의정. 1999. 폐목재 발생실태 및 재활용 촉진방안. '제 2 회 99 합판·MDF·파티클보드 심포지엄', pp. 101~121.
3. 齊藤吉之. 1999. 리사이클(파티클보드)의 이용. 木材工業, 54(11): 572~574.
4. 齊藤吉之. 1999. 파티클보드工場に一事例. 第 15 回 木質보드·木質複合材料シンポジウム 要旨集, pp. 46~52.
5. 大越誠. 1999. 木材利用と環境影響物質. 木材工業, 54(11): 516~520.
6. 富永洋司, 小林直子, 近江正陽. 1999. 파티클보드からの木材チップの回収とパーティ클보드からの再生. 木材工業, 54(10): 473~477.