폐MDF의 해리와 고해처리를 통한 고밀도 Fiber Board제조

Manufacture of high density Fiberboard from disintergrated and beaten MDF Waste

이화형 · 서인수 · 조윤민 · 박한상

한국가구학회지 제17권 제1호(2006. 2)

폐MDF의 해리와 고해처리를 통한 고밀도 Fiber Board제조[*1]

이화형·서인수·조윤민·박한상[*2]

Manufacture of high density Fiberboard from disintergrated and beaten MDF Waste[*1]

Hwa-Hyoung Lee·In-Su Seo·Youn-Min Cho·Han-Sang Park[*2]

ABSTRACT

This study was carried out to resplace traditional virgin wood fiber by recycled MDF-waste fiber for the manufacture of high density fiberboard. For the recycling, MDF waste was disintegrated for 10 minutes and beaten for 15 minutes. There was no difference in formaldehyde emission by desiccator method between virgin wood fiber and disintergrated and beaten MDF-waste fiber. Fiberboard which was maded from 100% of disintergrated and beaten MDF-waste fiber showed similar physical and mechanical properties to those of virgin fiber . The yield of recycled fiber from MDF waste was 85%.

Keyword: MDF, MDF waste, disintergrated and beated MDF-waste fiber

* 1. 논문접수: 2005.12.20, 본 연구는 농림기술사업의 지원에 의하여 수행되었음
* 2. 충남대학교 임산공학과, Department of Forest. Chungnam National University, Daejeon 305-746, Korea

1. 서 론

한국의 목질보드 산업발전은 새로운 기술개발과 에너지 절약 공정 개발 및 생산성 향상, 그리고 안정적인 보드 산업을 위해서 원료확보가 무엇보다 시급히 필요하다.

더욱이 교토의 정서 기후 협약의 대비를 위해서는 산림 사업뿐만 아니라 목재 및 목질재료의 재활용을 통한 이산화탄소 절감방법이 무엇보다 필요하다.

현재 한국에서 하루에 폐기되는 목질 계 폐기물은 표 1과 같이 6000톤에 이른다. 이중에서 생활 계 폐목재는 2454톤 중 2%인 62톤만이 재활용되고 1.228톤이 매립되고 1163톤이 소각되고 있다.

<Table 1> Wood waste in 2004(ton/day)[1)]

	소각	매립	재활용	전체
생활분야	1228.7	1163	62.5	2454.2
산업분야	9.6	509.1	566.8	1085.5
건설분야	262.5	876.8	1394.4	2533.7
전체	1500.8	2548.9	2023.7	6073.4
퍼센트(%)	24.7%	42%	33.3%	100%

하지만 매립은 법적으로 금지되어 있으며, 소각 또한 타 쓰레기와 발열량 차이로 고비용의 로를 상하게 할 수 있어 실제로 외면되고 있는 실정이다. 이러한 폐기는 경제적, 환경적, 그리고 자원적인 측면에서 볼 때 크나큰 낭비이다. 폐기물의 재활용면에서 미국의 경우 접착제가 포함된 PB, MDF는 최대 2%까지만 허용한 것으로 목질 폐기물 가공업자들이 추정하고 있다.[2)]

지금까지 목질 폐기물의 재활용을 보면, 사업장에서 나온 Pallet등의 우수한 폐기물은 MDF나 PB용으로 사용되고 있으며, 외국에서는 Shaving이나 톱밥을 이용하여 MDF를 만드는 것이 보고되고 있다. 폐MDF폐잔재에 관한 연구는 MDF재단 공정에서 부산되는 폐재를 회수하여 다시 Chipping, 증기처리, 해섬 공정을 거쳐 제품화했지만, 질이 떨어진 것으로 보고하고 있으며, Chipping후 햄머밀로 2차 파쇄하여 재생보드를 만들었으나 휨강도는 반으로 감소됨을 보고하였다.[3)] 또한, 폐MDF를 Chipping후 폭쇄처리하여 재생보드를 제작하였으나, 역시 섬유의 절단에 의해 섬유장 길이가 감소하여 이에 따른 강도저하를 보였다.[4)]

따라서 본 연구의 목적은 이러한 폐MDF를 기존의 방법과 달리 섬유의 절단을 최소로 하는 방안을 모색, 즉 파쇄나 분쇄가 아닌 해리 및 고해를 실시하여 Fiber board를 제조하여, 물리 · 기계적인 성질 및 포름알데히드 방산량을 알고 그 재활용의 가능성을 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 실험방법

2-1 공시 재료

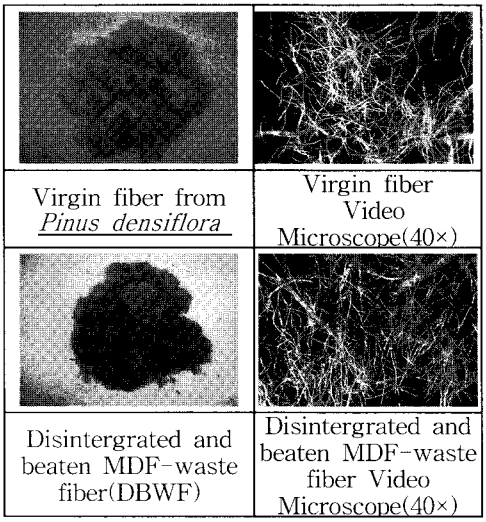
2-1-1 소나무Fiber(그림1)

MDF를 제조하기 위하여 사용한 천연 목재섬유는 인천소재D사에서 Defibrater로 제조한 소나무(*Pinus densiflora Sieb. et Zucc*)목재섬유(Fiber)를 분양받아 사용하였다. 천연 목재섬db(virgin fiber)의 길이는 2.5~3mm, 폭은 0.04~0.05mm이었고, 기건 함수율은 8%±0.32였다.

2-1-2 폐MDF 해리 및 고해처리 섬유

1) 2004년 환경부 폐기물(폐목재) 통계 자료
2) Clean washington Center에서 보고한 Best Practices in Wood Waste Recycling중 Wood Waste Feedstock Specification for Medium Density Fiberboard에서 보고
3) 2004년 목재 공학회 추계 학술 논문 발표집. 한태영등이 보고
4) 2005년 목재 공학회 춘계 학술 논문 발표집. 이화형등이 보고

시중에서 사용했던 가구용이나 판상용으로 사용했던 폐MDF를 5cm크기로 1차 파쇄한후 물에 포화 시킨 후 해리 10분, 고해 15분간 처리하여 사용하였다. 폐MDF섬유의 길이는 2~3mm, 폭은 0.03~0.05mm이었다.



<Fig. 1> virgin fiber and disintergrated and beaten MDF-waste fiber

2-1-3 접착제

E2형 요소수지(NVC55%)는 현재 인천소재 S사에서 분양받아 사용하였다.

2-1-4 경화제

경화제는 10%염화암모늄(NH_4Cl) 수용액을 제조하여 사용하였다.

2-1-5 내수제

제조된 MDF의 물리적 성질 등을 개선하기 위하여 Paraffin Wax Emulsion(NVC44%)을 사용하였다.

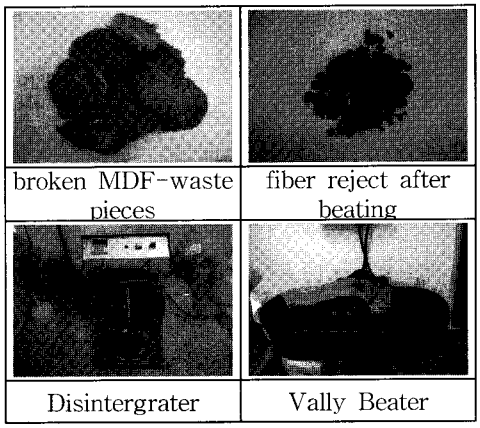
2-1-6 포름알데히드 방출 시험용 시약

포름알데히드 방산량 측정 시험용 시약으로 초산암모늄, 빙초산, 아세틸아세톤을 사용하였으며, 포름알데히드 표준원액의 검정에는 0.1N 요오드용액, 1N수산화칼륨, 1N황산수용액, 0.1N 티오황산나트륨을 사용하였다.

2-2 실험방법

2-2-1 폐MDF 고해처리 (그림 2)

시중에 사용했던 폐MDF를 5cm 크기로 1차 파쇄한 후 2일간 침지처리한 후, 이를 Mixer로 10분간 회전하여 해리를 촉진시킨 후 Vally Beater를 이용해 고해를 15분간 행하였다.



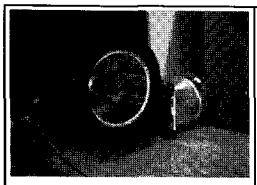
<Fig. 2> beaten MDF-waste fiber

2-2-2 Fiber board 제조(그림 5)

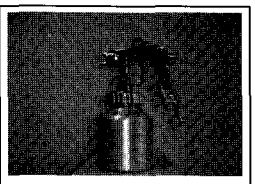
전건상태의 천연 목재섬유와 폐MDF 고해처리 섬유을 혼합하여 제조하였다. 이때 사용한 고해처리 섬유는 해리 10분, 고해 15분 처리의 섬유를 사용하였다. 처리조건은 천연목재섬유 : 폐MDF 고해처리 fiber 비를 100 : 0, 50 : 50, 0 : 100으로 하여 제조하였다. 또한 접착제는 요소수지(12%), 내수제 PWE(Paraffin Wax Emulsion, NVC 38%)는 접착제 고형분당 0.48%, 경화제(NH4Cl)는 접착제 고형분당 1.4%로 하였고 천연 목재섬유와 접착제가 충분히 결합할 수 있도록 매트의 최종함수율을 30%로 되게 하였다.

천연목재섬유와 폐MDF 고해처리 fiber 그리고 접착제를 잘 혼합하기 위하여 **그림 3, 4**에서 보는 바와 같이 실험실에서 자체 개발한

혼합기와 수지용 분무기를 사용하였다.



<Fig. 3> blower



<Fig. 4> sprayer

매트성형은 40cm×40cm 크기로 된 성형박스에 하였으며 열압 스케줄은 다음과 같다. 열압온도는 170℃, 압력은 40kg/㎠(8min) 의 건식 열압방법으로 목표 밀도 0.9(g/㎤)로 (40cm×40cm×0.7cm 크기의 파이버 보드(FB)로 제조하였다.

2-2-3 포름알데히드 방산량 측정

제조한 FB와 검하여 원목재섬유만으로 제조한 FB(control)와 원목재섬유와 폐MDF고해섬유를 혼합하여 제조한 FB를 KS F 3200에 의한 데시케이터법을 사용하여 100:0, 50:50, 0:100 3가지 조건으로 하여 측정하였다.

2-2-4 제조된 Board의 물리적 성질 조사

제조된 FB의 비중, 함수율, 흡수두께팽윤율과 같은 물리적 성질은 KS F 3200(섬유판)에 의거하여 측정하였다.

2-2-5 제조된 Board의 기계적 성질 조사

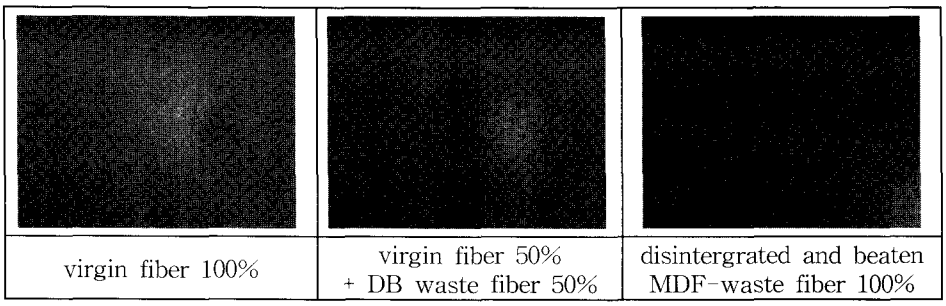
제조된 Board의 휨강도, 박리강도는 KS F 3200(섬유판)에 따라 영국Houndsfield사에서 제작한 만능강도시험기 QMAT를 사용하여 측정하였다.

2-2-6 포름알데히드 방산량 조사

포름알데히드 방산량은 데시케이터법을 이용하여 KS F 3200(섬유판)에 준하여 Shimadzu사의 UV-spectrophotometer를 사용하였다.

2-2-7 통계처리

각 조건별로 4반복으로 제조한 제품의 물리·기계적 성질에 대하여 통계적인 유의성을 알아보기 위하여 던컨의 신 다중 검정 법(Duncan's new multiple range test)으로 통계 분석 하였다.



virgin fiber 100%	virgin fiber 50% + DB waste fiber 50%	disintergrated and beaten MDF-waste fiber 100%

<Fig. 5> Fiber Board from virgin fiber and waste fiber

3. 결과 및 고찰

3-1 폐MDF Fiber의 수율

실질적인 Fiber board의 제작에 앞서, 폐MDF 조각을 해리와 고해처리시간에 따른 섬유장의 변화와 이용할 수 있는 최대 수율이 나오는 시점을 알아보기 위한 실험을 실시했다. **Table 2**는 해리와 고해 시간에 따른 수율과 40# 스크린 통과분을 측정한 결과이다. 여기서 40#스크린 통과분을 사용한 목적은 천연 목재섬유의 섬유장과 40#스크린 미통과분된 fiber의 섬유장이 거의 같았고, 40#통과분은 섬유장이 대부분 천연 목재섬유의 섬유장

보다 크게 감소하는 추세를 보였다. 이에 40#스크린을 사용하여, 섬유장이 짧아지지 않으면서 이용수율이 가장 많이 나오는 시점을 알아보고자 하였다.

FB 제조후, 원 목재 섬유와 폐MDF고해처리 섬유의 비율에 따른 MDF의 물리적 성질은 **Table 3**과 같다.

<Table 2> Yield of waste fiber along with disintergrating- and beating- time

disintergrating time(min)	beating time(min)	40# pass(%)	6# reject(%)	40# reject(%)
5	5	5	90	5
	10	5	90	5
	15	5	90	5
	20	5	90	5
10	5	5	30	65
	10	5	25	70
	15	5	10	85
	20	5	10	85
15	5	20	0	80
	10	20	0	80
	15	30	0	70
	20	30	0	70
20	5	50	0	50
	10	50	0	50
	15	50	0	50
	20	50	0	50

실험의 목적에 맞게, 폐MDF고해처리섬유의 수율을 최대로 하기 위해서 다음과 같은 조건을 Table 2를 참고로 알 수가 있다. 해리 10분, 고해 15분으로 하였을 때 섬유장과 이용수율이 가장 용이하게 나타났다. 해리와 고해시간이 위의 조건보다 많아졌을 경우에는 40# 통과분이 많아짐으로서, 섬유장의 길이가 짧아짐을 알 수가 있었고, 시간을 적게 하였을 경우 미통과분이 많아서 섬유로 나타나지 않았다.

3-2 폐MDF고해섬유판의 물리적 성질

3-2-1 함수율

제조된 fiber board 모두가 KS F 3200(5~13%)를 만족하였고, 원 목재 섬유로만 제조한 board와 폐MDF고해처리섬유로만 재조한 board와 폐MDF고해처리섬유를 50% 첨가한 board의 함수율 차이는 없었다.

3-2-2 밀 도

제조된 fiber board는 두께 7mm이하의 밀도가 0.85g/㎤ 이상으로서 경질섬유판(KS F 3200)으로 분류되었다. 원 목재 섬유로만 제조한 board와 폐MDF고해처리섬유로만 제조한 board의 밀도차이는 없었다.

<Table 3> Physical properties of fiber board in relation with DB waste fiber content

조 건	density(g/㎤)		M.C(%)		T.S.(%)		W.A(%)	
	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN
virgin fiber100%	0.90±0.03	A	6.01±0.12	A	11.02±2.280	B	18.84±1.14	A
virgin fiber50%+ DB waste fiber50%	0.92±0.002	A	5.62±0.54	A	13.67±0.896	A	20.24±2.01	B
DB waste fiber100%	0.91±0.004	A	5.79±0.201	A	16.37±0.298	A	24.45±1.38	A

3-2-3 흡수율과 두께 팽창률

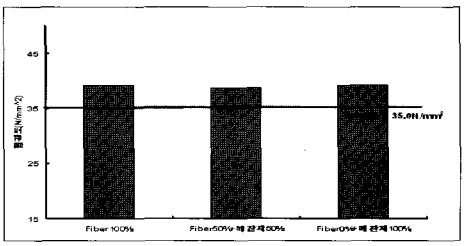
흡수율과 두께 팽창률은 폐MDF고해처리섬유의 비율이 높아짐에 따라 증가하였다. 이는 폐MDF의 고해과정에서 섬유의 피브릴화가 일어난 것으로 추정된다. 하지만 섬유판의 규격(KS F 3200)의 고밀도 섬유판의 흡수율에 충분히 만족하였고, 두께팽창율 역시 규정을 벗어나지 않았다.[5)]

3-3 폐MDF고해섬유판의 기계적 성질

FB 제조시 목재 섬유와 폐MDF고해섬유의 비율에 따른 기계적 성질의 변화는 아래 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 강도적인 성질 부분에서는 원 목질 섬유로만 제조한 Board에 비하여 감소가 전혀 나타나지가 않았다.

3-3-1 휨강도 시험

그림 6은 휨강도 시험 결과를 나타낸 것으로, 제조된 FB 모두 KS F 3200에 따라 강화경질판 35형(휨강도35.0N/mm² 이상)을 만족한다. 또한 폐MDF고해섬유의 첨가비율에 따른 강도변화는 나타나지 않았다.



<Fig. 6> MOR of fiber board in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content. (unit: N/㎟)

<Table 4> Mechanical properties of fiber board in relation with DB waste fiber content

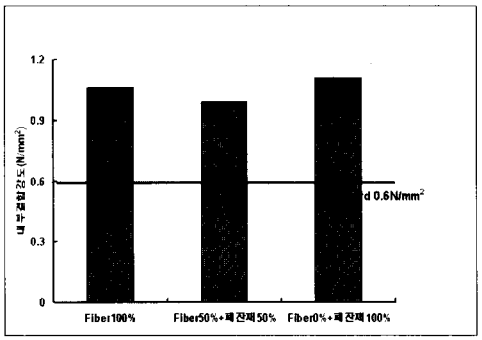
조 건	MOR (N/㎟)		MOE (N/㎟)		IB (N/㎟)	
	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN	AVERAGE	DUN
virgin fiber100%	39.32±3.92	B	2735±91.82	A	1.06±0.02	A
virgin fiber50%+ DB waste fiber50%	38.74±2.64	A	2657±148.3	B	0.99±0.021	A
DB waste fiber100%	39.16±1.392	A	2711±38.85	A	1.11±0.045	A

5) KS F 3200에 따르면 경질판의 측정 조건에서 두께 팽창율은 해당되지 않지만, 중밀도 섬유판의 규정(7mm이하의 판-17%이하)에 만족했고, 흡수율 역시 보통 경질판 25%(S35형)이하에 만족하였다.

3-3-2 내부결합강도 시험

그림 7은 내부결합강도(박리강도) 시험결과를 나타낸 것이다. 내부결합강도는 섬유판 중

에서 중밀도판의 품질검사기준이며, 연질판이나 경질판은 품질항목에서 제외된다. 따라서 이 실험에서의 내부결합강도 측정은 품질에 대한 적합성 보다는 제조한 섬유판이 가지는 형태의 충실성을 보기 위한 것이라 할 수 있다. 참고로 제조된 섬유판 모두의 내부결합강도는 KS F 3200에 따른 중밀도판의 품질(0.6N/mm^{2}이상, 중밀도판의 내부 결합강도 최고 수치값)을 훨씬 초과하였고, 휨강도와 마찬가지로 폐MDF고해섬유의 첨가비율에 따른 강도변화는 나타나지 않았다.



<Fig. 7> Internal bonding stregnth of fiber board in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content. (unit: N/㎟)

3-3 포름알데히드 방산량

제조된 FB의 포름알데히드 방산량은 포름알데히드 검량선에 의해 측정된 값이다. 표 5에서 보는 바와 같이 폐잔재의 비율에 따른 포름알데히드 방산량의 변화는 없었다. 포름알데히드 방산량이 KS F 3200에 의하면 현재 경질판에 대한 규정은 없으나, 측정한 값은 모두 E2급으로 나왔다. 이는 위의 2-1-3에서 본 바와 같이 E2형 수지를 사용하였기 때문이다. 본 연구에서 E2형 수지를 사용한 것은 섬유판에 Scavenger의 효과를 실험하기 위한 대조구 실험으로서 수행하였기 때문이며, E1형 수지를 이용하여 천연 목재섬유로 FB를 제조하여 방산량을 측정하였을 경우 0.83(E1) 정도의 수치가 나타났다.

<Table 5> Formaldehyde emission in relation with disintergrated and beaten MDF-waste fiber content.

	Formaldehyde emission (mg/ℓ)
virginfiber100%	2.00
virginfiber50%+ DBwastefiber50%	1.974
virginfiber75%+ DBwastefiber25%	1.991

4. 결 론

본 연구는 폐MDF고해섬유를 이용하여 fiber board를 제조함으로써 목질계 폐기물 중 MDF 폐자재의 재활용 가능성을 알아보고자 하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 폐MDF를 고해처리를 함으로써 섬유의 절단에 의한 강도저하를 막을 수 있었다. 이는 위의 2-1에서 보는 바와 같이 고해 처리를 했을 경우 섬유장의 감소가 적었기 때문이라 할 수 있다.

2. 폐MDF고해섬유는 위의 3-1에서 보는바와 같이 해리 10분와 고해 15분의 시간을 적용함으로써 최대 이용 수율을 85%까지 올릴 수 있었다.

3. MDF제조 원료인 목재섬유를 폐MDF고해섬유로 100% 대체하여도 물리적 · 기계적 성질 및 포름알데히드 방산량에 영향을 미치지 않았다.

위와 같이 Fiber Board제조에 원료인 천연 목재섬유를 폐MDF를 고해·처리하여 100% 대체해도 성질에는 변화가 없으며 충분히 이

용가능하다는 결론을 내렸다. 차후 지금까지 말한 목질 폐기물의 활용방안만이 아니라, 공기질 관리를 위하여 포름알데히드 방산량을 감소시키는 방안도 모색되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. 신동소. 이화형. 임기표. 조남석. 조병묵. 1983. 임산화학. 향문사: p316
2. 이화형, 1992. 가구제조를 위한 MDI접착제의 MDF와 PB제조에 대한 비교 효과, 한국가구학회지 3(1): 1-7
3. 이화형, 1993. 표층파이버와 내층 미세파티클복합보드의 물리·기계적 성능에 관한 연구, 한국가구학회지 4(1):41-47
4. 한국공업규격 KS F 3200(섬유판) :1997
5. 한국합판공업협회. 1997. 한국 합판, MDF, 파티클보드 심포지엄: p125-157
6. 한태형, 서진석, 박종영, 2004 한국목재공학회 추계 학술 발표논문집. 폐목질원료 유형별 파쇄 특성 및 재생보드의 물성. 2004. 10. 22-10.23 한국목재공학회 (84-87)
7. 김외정. 1999. 폐목재 발생실태 및 재활용 촉진방안 "99한국 합판, MDF, 파티클보드 심포지엄" : p101-122
8. 오승원, 박규성. 간벌재로 제조된 톱밥보드의 물성. 2002 한국목재공학회: p288-291
9. 이화형, 한기선 폭쇄 전처리 왕겨로 제조한 보드의 물리·기계적 성질에 관한 연구. 1999 한국목재공학회: p19-24
10. 노정상, 이종상, 도정락. 폐기 목질재료를 이용한 컴퓨터 책상판의 성형. 2002 한국목재공학회: p269-272
11. 이화형, 2005 목재공학회 춘계 발표 논문. "폐MDF폭쇄섬유로부터의 MDF제조"
12. 2004 환경부 폐기물(폐목재)통계 자료 http://lib.me.go.kr/lib/imginfo/imagemanager/imgview.asp?gubuncode=J6
13. T. M. Malonry. 1993 Modern particle & Dry-Process Fiberboard Manufacturing: Miller Freeman. Inc
14. Wood Waste Feedstock Specification for Medium Density Fiberboard: Clean washington Center http://www.cwc.org/wd_bp/wbp3-0202.htm
15. Investigation of Alternative Markets for Recycled Wood: International Resources Unlimited, Inc. Portland Metropolitan Service District; 1992.
16. Kollmann F.F.P, 1975 Principles of Wood Science and Technology Vol.2 p593