

플러쉬문의 심재구성에 따른 강성도 및 내충격성의 변화*1

장 상 식*2

Change of Stiffness and Impact-Resistance of Flush Door Depending on Core Composition*1

Sang Sik Jang*2

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the feasibility of using HDF as surface panels as well as core materials for flush door manufacturing. Several core compositions were developed and applied to manufacture door specimens. Core materials were tested under bending load, door manufacturing process was analysed to find better way of using HDF for door manufacturing, and door specimens were tested under bending, twisting and impact loads.

From this study, it was concluded that HDF can be used to manufacture quality flush doors. And it was desirable to use light color HDF as surface panels because dark color HDF caused a problem in manufacturing process by shadow shown through finishing veneer. HDF doors were light, and showed good quality and higher resistance against bending, twisting and impact loads.

Keywords : Flush door, Stiffness, Core, Impact-resistance, HDF

*1 본 연구는 한국과학재단 산학협력연구(97-2-15-02-01-2) 지원에 의하여 수행되었음.

*2 충남대학교 위산공학과. Dept. of For. Prod., Chungnam National Univ., Taeicon 305-764, Korea

1. 서 론

우리나라는 국내 목재수요의 90% 정도를 수입에 의존하고 있기 때문에 해외 목재시장의 변화에 따라서 국내의 목재산업도 큰 영향을 받는다. 특히 그동안은 주로 동남아시아의 열대림에 대한 의존도가 매우 높았기 때문에 열대활엽수의 시장 변화가 국내의 목재 공급량 및 가격을 결정하는 가장 중요한 변수로 작용하였다. 그러나 80년대 후반에 접어들면서 동남아시아에서의 열대림 벌채에 따른 지구환경의 파괴문제가 대두되고 또한 동남아시아 각국의 자국 자원 보호정책에 의하여 열대활엽수의 원목 수출이 규제됨에 따라서 국내의 목재시장에도 큰 변화가 초래되었다.

국내의 문 제조업체에서는 아직까지 남양활엽수 합판을 사용한 플러쉬 구조 제품이나 성형 섬유판을 이용한 스킨구조 제품을 주로 생산하고 있으며 문의 골조는 주로 남양활엽수재 또는 합판이나 PB, MDF 등의 재료들이 사용되고 있다. 최근에는 플라스틱 성형문이 제작되어 다량으로 아파트 건축에 사용되고 있다. 그러나 점차 고층화되어 가는 아파트의 건축 경향에 비추어 플라스틱문의 사용은 여러 가지 측면에서 결코 바람직하지 못하다. 그 이유로는 먼저 플라스틱 제품은 화재의 위험성이 매우 높다는 점을 들 수 있다. 플라스틱문은 화재에 노출 시 쉽게 불이 붙고 불꽃이 크게 발생하며 유독가스가 다량으로 발생하여 다른 곳으로 피할 곳이 없는 고층 아파트의 경우에는 인명피해가 발생할 가능성이 매우 높다. 또한 플라스틱문은 재활용이 어렵고 제조에 많은 에너지가 소모되며 폐기 시에 썩지 않는 환경문제를 발생시킨다. 가격의 측면에서도 목재문보다 비싸기 때문에 아파트의 가격경쟁력을 약화시키는 원인이 될 수 있다.

국내의 문 제조업체들이 경쟁력을 확보하기 위해서는 우리 주변에서 쉽게 구할 수 있으며 보다 값이 싼 재료들을 이용하여야 하며 이에 대한 활발한 연구가 필요한 시점이라고 할 수 있다. 플러쉬문은 현재 국내에서 가장 많이 제조 및 사용되고 있지만 아직까지 이에 대한 체계적인 연구는 매우 드문 실정이다. 국내에서는 목재문틀(KS F 3108)이나 문세트(KS F 3109) 그리고 문이나 창의 성능 시험 방법(KS F 2297) 등에 대한 KS규격이 제정되어 있으며 미국에서는 건축목공협회(Architectural Woodwork Institute)에서 창의 규격(1969)이나 마감품질(1988) 등에 관한 규격을 정하여 놓고 있다.

국내에서는 플러쉬문의 길이방향 변형 발생원인에 대한 연구(정우양, 1992)를 수행한 바 있으며 최근에는 플러쉬문의 함수율 변동에 따른 틀어짐 예측 모델을 개발하여 그 정확성을 검증하고(강욱, 정희석, 1999) 이를 활용하는 방법에 대한 연구(강욱, 정희석, 2000)를 발표하였다. 비록 이와 같이 연구들이 진행되고 있지만 많은 양의 플러쉬문이 사용되고 있고 또 많은 하자가 발생하고 있는 현실에 비추어볼 때 이에 대한 연구가 절대적으로 부족하다고 할 수 있다.

플러쉬문의 제작을 위한 재료를 국내에서 조달하고자 하는 목적을 가지고 이 연구가 수행되었으며 심재의 구성을 기존의 제조업체에서 사용하던 관행과는 다르게 여러 가지 방법으로 구성하여 그 실용화 가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

목재문 제작용 재료의 선정에서는 다음과 같은 내용들이 고려되었다: ① 환경 부담이 적은 재료일 것. ② 국내에서 생산되는 재료일 것. ③ 재활용도가 높은 재료일 것. ④ 시중에서 쉽게 구할 수 있으며 가격이 저렴할 것. ⑤ 문의 생산과정에서 노동력의 소모가 적고 생산공정이 간단할

Table 1. Materials used for manufacture of wooden flush door

Location	Material
Core	Lauan, MDF, PB, HDF, Plywood, Corrugated cardboard
Surface	HDF, Hardwood and softwood veneer

것. 이상과 같은 요소들을 고려하여 표 1과 같은 재료들을 목재문의 제작을 위하여 선정하였다.

우선 목재문의 표판에는 국내에서 생산되는 내수성 HDF(high density fiberboard)를 사용하였는데 내수 HDF는 아직까지 용도가 많지 않고 내수성 수지로 만들기 때문에 수분에 대한 저항력이 높으며 표면 경도가 높다. 또한 HDF는 제재 폐잔재 및 다른 용도로는 사용할 수 없는 불규칙한 형상이나 직경이 작은 원목으로부터 생산되기 때문에 재료의 효율적인 활용이라는 측면에서도 매우 적합한 재료이다.

심재의 구성에서 문의 손잡이나 정첩을 다는 부분에는 높은 강도가 요구되기 때문에 라왕을 사용하였으며 그 외의 부분에는 가능하면 열대림 지역에서 생산되는 수종의 사용을 피하고 현재 국내에서 생산되고 있는 내수 PB와 내수 MDF, 합판 등을 사용하였다. 그리고 시중에서 제품의 포장을 위하여 사용된 후 폐기되는 포장용 골판지를 목재문의 제조에 사용하기 위하여 심재로 활용할 수 있는 방안을 강구하였다.

2.2 시험용 문의 제작

목재문에서 일반적인 심재의 배열 방법은 그림 1과 같다. 그림 1에서 심재의 양측면 및 양 끝면에는 높은 강도가 요구되기 때문에 모든 구성에서 라왕을 사용하고 중간의 손잡이 부분에도 라왕으로 보강하였다. 내부 심재의 구성에는 표 2와 같이 6가지 방법이 사용되었다.

표 2에서 격자심재는 두께 3mm의 HDF를 격자형으로 배치하고 상하면에 골판지를 접착하여

Table 2 Composition of cores for wooden doors

Kind	Material	Thickness
Single-type	Lauan	30mm
	MDF	20mm
	PB	20mm
Lattice-type	HDF, Corrugated cardboard	Panel type(23mm)
Composite-type	HDF(Plywood), Corrugated cardboard	20mm
	HDF(Plywood), Corrugated cardboard	23mm

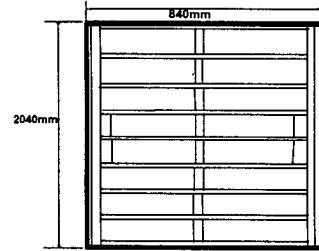
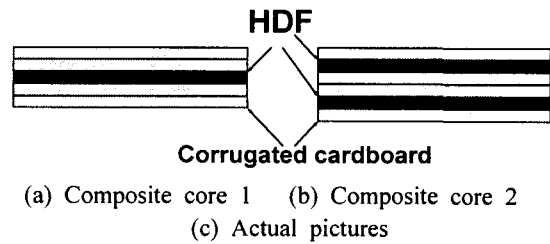


Figure 1. General core arrangement used to manufacture flush doors.

제작하였다. 복합심재는 그림 2와 같이 골판지와 HDF를 적층하여 나비 30mm로 잘라서 사용하였다. 이 때 중심층에 HDF(합판)을 사용하고 그 양측면에 골판지를 2매씩 적층한 구조를 복합심재 1(그림 2(a)) 그리고 중심에 골판지 2매와 그 양측면에 HDF(합판)를 각각 1매씩 적층하고 바깥쪽에 골판지를 다시 1매씩 적층한 구조를 복합심재 2(그림 2(b))로 하였다.



(a) Composite core 1 (b) Composite core 2
(c) Actual pictures

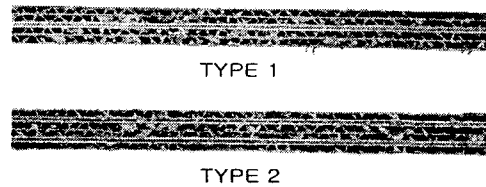


Figure 2 Corrugated cardboard-HDF composite core 1(a), 2(b) and actual pictures(c).

그림 2에서 복합심재 1은 두께 20mm와 비중 0.18 그리고 복합심재 2는 두께 23mm와 비중 0.23을 나타내었다. 라왕 심재에 비하여 HDF 격자 또는 복합심재는 문의 무게를 낮출 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 문의 가장 적합한 무게는 17kg 내외로 인식되고 있다. 이는 작업 현장에서

의 작업성과 문의 중량감 등이 고려된 수치이다. 너무 무거운 문은 작업성이 떨어지고 문의 정첩에 달리는 나사못에 과도한 하중이 작용함으로써 나사못이 뽑아지는 하자 발생의 가능성이 높아지며 닫히는 문에 손이 끼는 경우에 과도한 신체의 손상을 입을 수 있다. 반대로 너무 가벼운 문은 중량감이 떨어짐으로써 너무 가볍게 움직이며 값이 싼 느낌을 주게 된다.

위의 심재에 시중에서 구입한 초산비닐(PVA) 수지를 사용하여 HDF 표판을 접착한 후 경화 및 건조시키고 테두리 마감재를 접착하고 문의 표면에 무늬목을 접착하여 시험용 문을 제작하였다. 문의 제조공정은 다음과 같이 요약될 수 있다: ① 재료의 준비 ② 심재의 제작 ③ 표판의 준비 ④ 심재의 구성 ⑤ 표판 접착 ⑥ 경화 및 건조 ⑦ 테두리 마감재 접착 ⑧ 무늬목 접착 ⑨ 도장. 평판으로 제작된 문의 표면에는 여러 가지 무늬목들을 잘 조합하여 다양한 문양 및 효과를 나타낼 수 있다.

2.3 시험방법

복합심재의 휨강도를 측정하여 목재 심재와 비교하기 위하여 복합심재 1과 복합심재 2에 대하여 KS F 2208에 따른 휨시험을 실시하였다. 목재문의 휨하중 하에서의 변형을 측정하여 그 강성도를 계산하고 충격하중에 의한 변형의 정도를 측정하기 위하여 I빔으로 제작된 받침틀 위에 문을 올려놓고 문의 중앙에 10kg의 하중을 가한 후 1분, 5분, 15분, 30분, 45분, 60분, 75분 및 90분 경과시의 변형을 다이알게이지로 측정하였다. 이때 휨하중을 가하는 시간거리는 190cm로 하였으며 그 중앙부에서 변형을 측정하였다. 측정된 변형을 가지고 식 (1)에 의하여 강성도를 계산하고 각각의 심재 구성별로 이 값을 비교함으로써 문의 심재 구성에 따른 강성의 차이를 상호 비교하였다.

$$S = \frac{PL^3}{4\delta b h^3} \text{----- (1)}$$

여기서 P=하중의 크기(10kgf), L=시간거리(1.9m),
 δ =변형량 (m), b = 문의 나비(0.84m),
 h=문의 두께(0.035m)

목재문의 뒤틀림에 대한 강성을 측정하기 위

하여 문의 세 모서리에 지점을 설치하고 지지되지 않은 나머지 모서리에 4kg의 하중을 가한 후 1분, 5분, 15분, 30분, 45분, 60분, 75분 및 90분의 변형을 측정하였다.

충격시험은 주택 내에서 아이들이 뛰어다니다가 문에 부딪히거나 바람에 의하여 문이 세계 닫히는 경우를 가정하여 실시하였다. 일정한 높이에서 떨어뜨리는 하중의 크기는 에너지 보존의 법칙에 의하여 계산하였다. 30kg 정도의 몸무게가 나가는 아이가 집안에서 6km/hr(1.67m/sec)의 속도로 뛰어다니다가 문에 부딪히면 문에 전달되는 운동에너지의 양은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = 0.5 \times 30 \times 1.67^2 \approx 42(Nm) \text{----- (2)}$$

여기서 E=운동에너지(Nm), m=질량(kg), v=속도(m/sec)

충격하중을 1m 높이에서 자유 낙하시킨다고 가정하면 필요한 하중의 크기는 식 (3) 및 (4)와 같이 계산될 수 있다.

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 \text{----- (3)}$$

$$m = \frac{42}{9.8} \approx 4.3kg \approx 4kg \text{----- (4)}$$

여기서 g = 중력가속도(9.8m/sec), h = 높이(1m)

이 연구에서는 가죽주머니에 모래를 담아서 4kg이 되도록 조절하였으며 충격하중의 시험 방법은 그림 3과 같다. 충격하중의 누적효과를 측정하기 위하여 하중을 반복적으로 가하면서 1회, 2회, 5회, 15회 30회 및 50회 이후에 변형을 측정하였다.

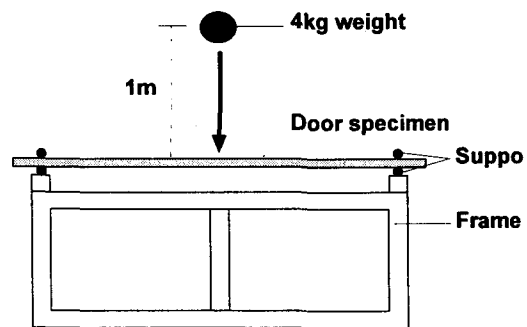


Figure 3. Experimental arrangement used for bending and impact tests.

3. 결과 및 고찰

3.1 심재의 휨강도

복합심재 1과 2, 미송 및 라왕심재의 휨강도를 측정된 결과는 표 3과 같다. 비록 복합심재의 강성 및 강도는 미송의 1/10 정도에 불과하지만 무게가 가볍고 가격 면에서 유리하기 때문에 만들어진 제품의 품질에 큰 하자가 없다면 목재심재에 대한 대안으로서 적합할 것으로 생각된다. 복합심재의 제작에서 HDF를 2층으로 사용한 복합심재 2가 1층으로 사용한 복합심재 1보다 강성은 약 2배정도 더 크고 강도는 약 30% 정도 더 높은 것으로 나타났다.

Table 3 Bending stiffness and strength of core materials for wooden doors

Type	Specific Gravity	MOE(GPa)	MOR(MPa)
Composite 1	0.18	0.7	6.1
Composite 2	0.23	1.2	9.1
Douglas-fir	0.48	13.4	85.4
Apitong	0.61	16.2	111.6

3.2 문의 제조공정 분석

문의 제조공정은 크게 다음과 같이 3단계로 구분된다: ① 심재의 구성 ② 표판 접착 ③ 무늬목 접착 및 도장. 심재는 문에 강성과 강도를 부여하는 가장 중요한 기능을 갖는다. 심재는 웨브부재의 역할을 수행하며 표판은 플랜지부재의 기능을 갖는다. 두 가지 부재가 밀접하게 접착되어 하나의 구조로서 작용하게 되면 강도의 측면에서는 가장 이상적인 문이 된다고 할 수 있다. 심재는 문에 강도를 제공함과 동시에 수축 및 팽윤에 의한 뒤틀림 등의 변형을 방지하는 역할도 갖는다. 따라서 심재는 적절한 강성과 강도를 가져야 하지만 아직까지 어느 정도의 강성과 강도가 문의 심재로서 적절한 기준인지 명확한 값은 알려져 있지 않다.

복합심재나 격자형 심재는 목재 심재에 비하여 강성과 강도는 떨어지지만 함수율 변화로 인한 심

재 자체의 변형이 적으며 무게가 가벼운 장점이 있다. 복합심재의 강성과 강도가 목재에 비하여 떨어지는 단점을 보완하기 위하여 복합심재의 경우에는 그림 1과 같은 일반적인 심재의 배열방법을 따르지 않고 그림 4와 같이 W형 배열로 심재를 구성하였다.

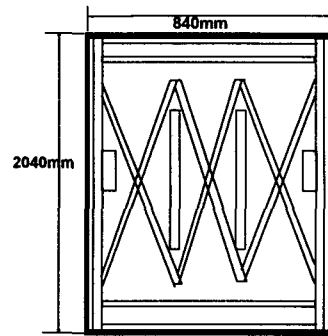


Figure 4. W-type cores used to manufacture flush door specimens for composite core (I) and (II).

문의 표판 접착을 비롯한 모든 접착공정에는 초산비닐수지 접착제가 사용되었다. 표판의 접착은 문을 여러 층으로 쌓아서 동시에 냉압접착이 가능하며 겨울에 기온이 낮을 경우에는 압착 시에 실내온도를 높여줌으로써 압착시간을 줄일 수 있다. HDF 표판은 합판보다는 함수율과 압력에 약하기 때문에 이에 관한 관리가 잘못되면 접착 후에 문의 표판에 주름이 잡히는 결함의 발생 가능성이 높아진다. 따라서 HDF 표판을 사용하는 경우에는 자재의 함수율과 표판에 가하는 압력의 조절에 세심한 주의를 기울여야 할 것이다.

HDF는 재료 자체의 색상이 검기 때문에 옅은 색상의 미송 무늬목을 바른 경우에 바탕의 짙은 색이 위로 배어 나와서 제품의 품질을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 HDF를 문의 표판으로 사용하는 경우에는 바탕이 되는 HDF의 색상이 미송 무늬목의 표면으로 배어 나오는 결함을 방지할 수 있는 대책의 마련이 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 무늬목을 이중으로 바르거나 종이를 합겹 덧입힌 후 접착하는 방법 그리고 흰색의 도료를 칠한 후 무늬목을 바르는 방법 등을 시도하였으나 어느 것도 공정 상 또는 경제적인 측면에서 만족할만한 결과를 나타내지 못하였다.

가장 바람직하고 근본적인 해결방법은 바탕이 되는 HDF의 색상을 보다 밝게 제조하는 방안이 될 것이다. HDF의 색상을 밝게 제조하기 위해서는 HDF 제조용 원자재로 제재 폐재보다는 원목을 많이 사용함으로써 수피의 함량을 줄여야 한다. 이와 같이 HDF의 색상을 개선하기 위하여 원목을 많이 사용하는 경우에는 HDF의 가격이 10% 정도 상승하는 요인이 발생한다. 그러나 HDF의 가격이 10% 정도 상승하더라도 밝은 색상의 HDF를 사용하는 것이 나중에 무늬목 위로 어두운 색상이 배어 나오는 것을 처리하는 것보다는 더욱 경제적인 것으로 생각된다.

3.3 목재문의 강성

여러 가지 심재 구성의 목재문에 대한 휨강성과 뒤틀림 강성을 측정하기 위하여 이 연구에서 제조된 문들과 함께 일반적인 스킨문에 대해서도 휨 및 뒤틀림 시험을 실시하였다. 문의 중앙부에 10kg의 하중을 가한 후 시간의 경과에 따라서 변형을 측정한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 보면 하중을 가한 후 시간이 경과함에 따라서 전반적으로 문의 변형이 서서히 증가하는 경향을 나타내었으나 스킨문의 경우에 특히 변형이 큰 것으로 나타났다.

MDF와 PB를 심재로 사용한 문은 초기 변형은 다른 문들과 비슷하였지만 시간이 지남에 따라서 변형이 점차 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 복합심재 1 및 2, 목재 심재, HDF 격자 심재 등으로 제조된 문은 시간이 경과하여도 변형의 증가가 적었으며 전체적으로 변형량이 1.5mm 이내로 제한되었다.

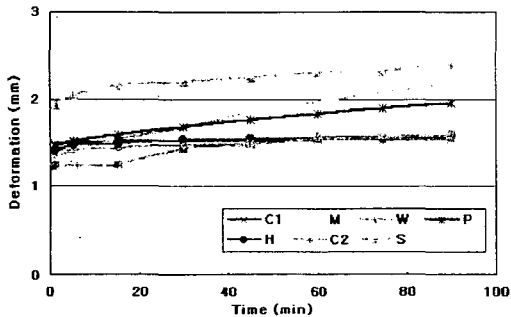


Figure 5. Deformation of doors under center loading: C1 = Composite type 1, M = Wood, P = PB, H = HDF lattice, C2 = Composite type 2, S = Skin door.

그림 5의 결과를 강성도로 환산하면 표 4와 같다. 스킨문을 제외하고 모든 문들의 초기 강성이 3GPa을 넘었으며 시간이 경과함에 따라서 MDF 및 목재 심재를 사용한 문의 강성을 빠르게 감소하였으나 복합심재 1 및 2, 목재 심재, HDF 격자 심재 등을 사용한 문들은 휨하중이 계속 작용하는 상태에서도 비교적 높은 강성을 유지하였다.

Table 4. Bending stiffness of doors under center loading (unit: GPa)

Time(min)	C1 ¹⁾	M ²⁾	W ³⁾	P ⁴⁾	H ⁵⁾	C2 ⁶⁾	S ⁷⁾
1	3.12	3.50	3.29	3.17	3.29	3.79	2.41
5	3.07	3.31	3.26	3.06	3.15	3.79	2.28
15	3.06	3.03	3.23	2.93	3.10	3.73	2.17
30	3.06	2.79	3.15	2.77	3.02	3.24	2.12
45	3.05	2.52	3.11	2.64	2.99	3.13	2.07
60	3.04	2.36	3.03	2.54	2.97	3.01	2.02
75	3.03	2.24	3.01	2.46	2.97	2.97	2.01
90	3.01	2.15	2.98	2.38	2.95	2.93	1.94

- 1) C1 = Composite type 1 core flush door
- 2) M = MDF core flush door
- 3) W = Wood core flush door
- 4) P = PB core flush door
- 5) H = HDF lattice core flush door
- 6) C2 = Composite type 2 flush door
- 7) S = skin door

목재문의 뒤틀림 강성은 그림 6과 같다. 그림 6에서 보면 스킨문의 뒤틀림 변형이 가장 크고 증가속도도 가장 높음을 알 수 있다. 나머지 문들은 복합심재 1, HDF 격자심재, 목재 심재, PB 심재, 복합심재 2 및 MDF 심재의 순이었지만 이들 사이의 차이는 크지 않았고 대부분의 문들이 2mm~3mm의 뒤틀림 변형을 나타내었다.

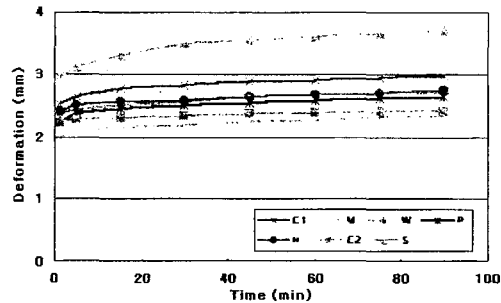


Figure 6. Deformation of doors under corner loading: C1 = Composite type 1, M = MDF, W = Wood, P = PB, H = HDF lattice, C2 = Composite type 2, S = Skin door.

3.4 목재문의 내충격성

반복되는 충격하중 하에서 목재문들의 변형량의 변화는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보면 충격하중의 반복수가 증가될수록 복합심재 1 및 2 그리고 PB 심재를 사용한 문에서 변형이 증가되었고 스킨문과 MDF 심재, 목재 심재 및 HDF 격자 심재 등을 사용한 문은 거의 일정한 변형을 나타내었다. 그러나 50회의 충격하중이 작용하는 경우에도 모든 문들의 변형은 1mm 이내로 제한되었으며 이를 통하여 모든 플러쉬문 들의 내충격성은 매우 양호함을 알 수 있다.

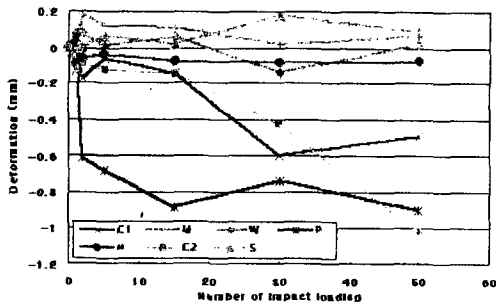


Figure 7. Deformation of doors under repeated impact loading: C1 = Composite type 1, M = MDF, W = Wood, P = PB, H = HDF lattice, C2 = Composite type 2, S = Skin door.

4. 결 론

이 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다:

- 1) 플러쉬문을 제조하는데 기존의 합판 대신에 HDF를 활용하여 좋은 품질의 문을 제조할 수 있었다.
- 2) HDF의 색상을 밝은 색으로 하는 것이 문의 제조에 유리하다.
- 3) HDF와 골판지를 이용하여 플러쉬문의 심재를 제작하면 무게가 가볍고 품질 면에서도 우수하며 자원의 재활용 측면에서도 많은 장점을 지니고 있다.
- 4) HDF와 골판지의 복합심재 또는 HDF 격자 심재로 제작된 문은 강성도, 비틀림 및 내충격성 시험에서 스킨문보다 우수한 품질을 나타내었다.

5. 참 고 문 헌

1. 강욱, 정희석. 1999. 목재 프러쉬 문의 함수율 변동에 따른 틀어짐과 좌굴 예측모델(I): 예측 모델과 실측치 비교. 목재공학 27(3):99-116.
2. 강욱, 정희석. 2000. 목재 프러쉬 문의 함수율 변동에 따른 틀어짐과 좌굴 예측모델(II): 치수 변동과 탄성계수의 간이측정법과 불량률 예측 Monte Carlo 시뮬레이션. 목재공학 28(1):18-27.
3. 정우양. 1992. 가구 및 건축용 목재 프러시도어의 길이급음 변형 발생 원인 응력에 관한 연구. 목재공학 20(3):39-54.
4. 한국공업표준협회. 1997. 문세트. KS F 31095. 한국공업표준협회. 1997. 창문의 목재틀재. KS F 3108
6. 한국공업표준협회. 1984. 창 및 문의 성능시험 통칙. KS F 2297
7. Architectural Wood Work Institute. 1969. Contemporary wood window concepts. Virginia, USA.
8. Architectural Wood Work Institute. 1988. Architectural woodwork quality standards. Virginia, USA.