

家具 및 建築用 木製 플러시도어의 길이 굽음 變形發生 原因應力에 關한 研究*1

鄭 雨 陽 *2

A Study on the Stresses causing the Bowing of Wooden Flush Doors for Furnitures and Buildings *1

Woo - Yang Chung *2

ABSTRACT

Hollow core wood flush doors for wardrobes, and other general openings and bathroom were designed and fabricated to investigate the factors causing the bowing of them and to find out the countermeasure for the phenomena. Balance in grain orientation, thickness, specific gravity and M.C.(%) of face panel and symmetrical construction were the essential factors to prevent the deflection of flush doors just after manufacturing. Under one-sided severe service condition, the unbalance of M.C. between opposite face panels is inevitable. So the material as thick plywood with high stiffness is considered as an alternative for the stile. UF resin mixing into PVAc emulsion is preferred for bathroom.

Keywords : wood flush door, bowing, core, rails, stiles, face panel

1. 緒 論

목재 가구산업분야와 주거용 건축 건설업체(특히 아파트) 및 일반 목공품 가공업체에서 가구 부품 및 실내외 출입문으로 쓰이는 木製門(wood doors)은 주로 패널형 도어(panel type doors)와 플러시형 도어(flush type doors)의 형태로 제작, 사용되고 있는 바, 그 중에서도 경량화한 hollow core형 플러시도어가 주종을 이루고 있다.¹⁾

목재 플러시도어란 각종소재를 내부재(core)로 사용하거나 경량화를 위해 속이 빈(hollow core) 상태로 하여 표면재로서 wood veneer, 합판,

P/L(plastic laminate), 경질 섬유판 등을 복합된 형태로 사용하여 양면(표면과 이면)이 평편히 제작된 문을 일컫는다. 또 도어 내부의 구성 방법, 표면재 및 접착제의 선택은 도어의 사용 용도에 따라 결정되게 되며 이 경우 플러시도어 제조업자는 반드시 그 제품의 용도에 대한 언급을 하여야 한다. Table 1.은 미국 국가표준연구소(ANSI) 및 미국 목공품 제조업자협회(NWMA)에서 규정하는 목재 플러시도어의 표준규격이며 이 표에 포함되지 않은 규격에 대하여는 특별 주문에 의하거나 본 규격에 준하여 제작되어 진다. Fig.1.에서 Fig.8.은 복합 구성방식으로 제작되는 목재 플러시 도어의

*1. 接受 1992年 9月 18日 Received September 18, 1992.

本 研究는 1990年度 韓國科學財團 新進研究費 支援에 의하여 遂行되었음.

*2. 全南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

Table 1. Book sizes of wood flush doors

Usage	Interior flush doors		Exterior flush doors	
Core type	Solid	Hollow	solid	Hollow
Thick. (mm)	34.9 and 44.4	34.9 and 44.4	44.4 and 57.2	44.4
Size(mm ²)	457 × 2032	457 × 2032	711 × 2032	813 × 2032
	610 × 2032	457 × 2134	711 × 2134	813 × 2134
	610 × 2134	508 × 2032	762 × 2032	914 × 2032
	711 × 2032	508 × 2134	762 × 2134	914 × 2134
	711 × 2134	610 × 2032	813 × 2032	.....
	762 × 2032	610 × 2134	813 × 2134	.....
	762 × 2134	660 × 2032	914 × 2032	.....
	813 × 2032	660 × 2134	914 × 2134	.....
	813 × 2134	711 × 2032	1067 × 2032	.....
	914 × 2032	711 × 2134	1067 × 2134	.....
	914 × 2134	762 × 2032		
	.....	762 × 2134		
	.....	813 × 2032		
	.....	813 × 2134		
	.....	914 × 2032		
	.....	914 × 2134		

종류를 나타낸다.

그런데 이들 hollow core wood flush door는 공장에서의 제작 직후로부터 보관되는 동안 활 모양의 길이 굽음 현상(howing)이 발생하여 실제 사용 문틀(frame)에의 부착(fitting)시 어려움을 야기할 뿐 아니라 사용중에도 주위의 수분 및 습도조건 등의 영향에 의해 표, 리관용(face & back) 합판의 수축 팽윤의 불균형 상태로 인한 도어의 길이 방향의 굽음 변형 현상이 발생하게 됨으로써 도어 소비자들로부터의 불만(claim)의 대상이 되는 등의 문제가 빈발하고 있어 hollow core type의 도어를 포함한 wood flush doors의 bowing변형을 야기하는 응력의 발생 원인 규명에 관한 구체적이고도 해석적인 연구의 필요성이 대두되고 있다.^{2)~5)}

일반적으로 패널구조(플러시도어 포함)는 그것의 양 표면중 어느 한면이 다른 면에 비해 더 신장(길이 팽윤)됨에 따라 길이방향의 굽음변형(bowing)이 발생하게 된다. 따라서 통상적으로 패널구조의 길이굽음을 야기하는 양 표면간 상이한 칫수 변화는 그들의 구성방식(재료 및 구조)을 좌우대칭으로 함으로써 예방할 수 있다고 말할 수 있다. 즉 중심평면의 양측에 쓰이는 재료는 수축률, 두께, 목리주향 및 함수율등이 원칙적으로 동일해야 할 것이다. 그렇게하여 균형을 맞춰 구성된 패널구

조는 양측 표면을 둘러싸고 있는 대기조건이 동일한 한 제조당시의 곧바른 형상을 유지할 수 있을 것이다. 반면, 한쪽은 상대적으로 고온건조하고 다른 한쪽은 저온습윤한 주위조건인 경우에는 소위 길이굽음 현상의 발생은 불가피하게 될 것이다. 이러한 상황은 일반 주택의 출입문을 비롯, 외벽, 천장, 난방실과 비난방실간 파티션 그리고 욕실문 등에서 흔히 접할 수 있는 문제로서 목재관련분야 뿐 아니라 건축관련분야에서도 그 해결책을 모색해왔으나 완벽한 해답은 아직 제시되고 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 패널구조인 가구류 및 일반 건축용 목재 플러시도어의 길이굽음 변형방지를 위한 실용적이면서도 논리적인 해결책을 강구해 보고자 한다.

목재 플라쉬도어의 양측 표면판재들은 각각 주위의 대기조건과 평형을 이루게 되므로 주위조건차이는 양 판재간 함수율(평형 함수율) 차이를 야기하게 되며 행여 평형함수율이 같다 하더라도 플러시도어 내부의 온도경사가 존재할 경우 결국 도어내에는 함수율 경사(MC gradient)가 형성되게 된다. 이러한 도어내 함수율의 차이는 양표면재간 팽윤율의 차이를 초래하여 구성층간 미끄러짐이 허용되지 않는 플러시도어는 결국 길이방향의 굽음(bowing)이 발생하게 되는 것이다. 통상 플러시도

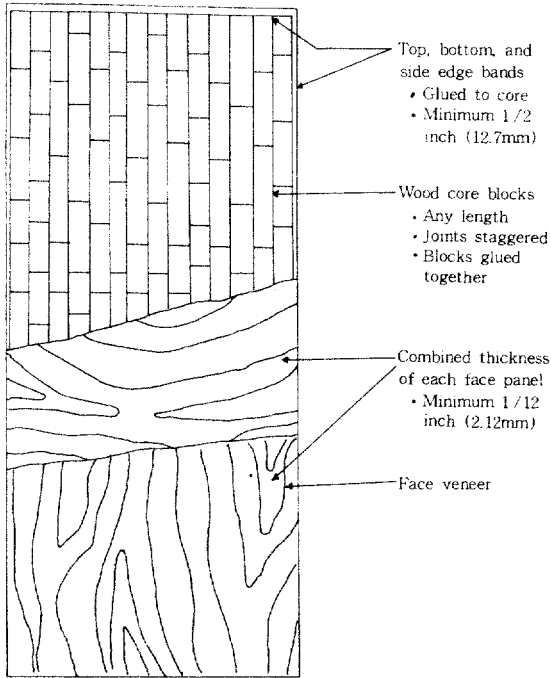


Fig. 1. Glued block core 5ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

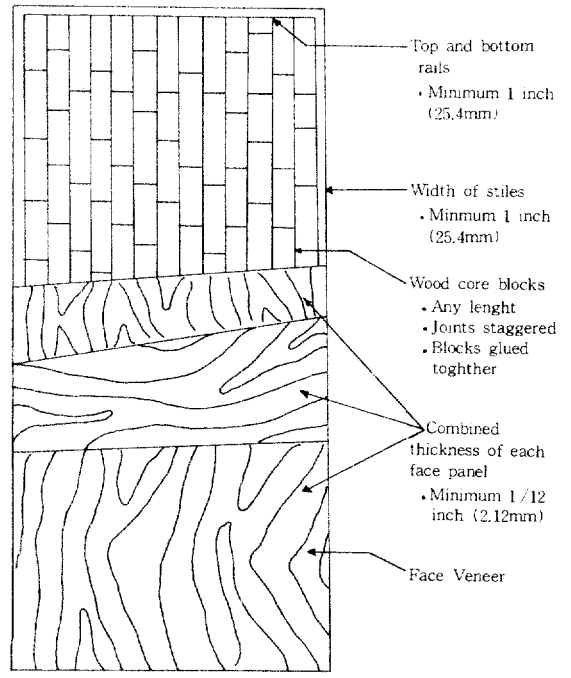


Fig. 2. Framed block glued core 7ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

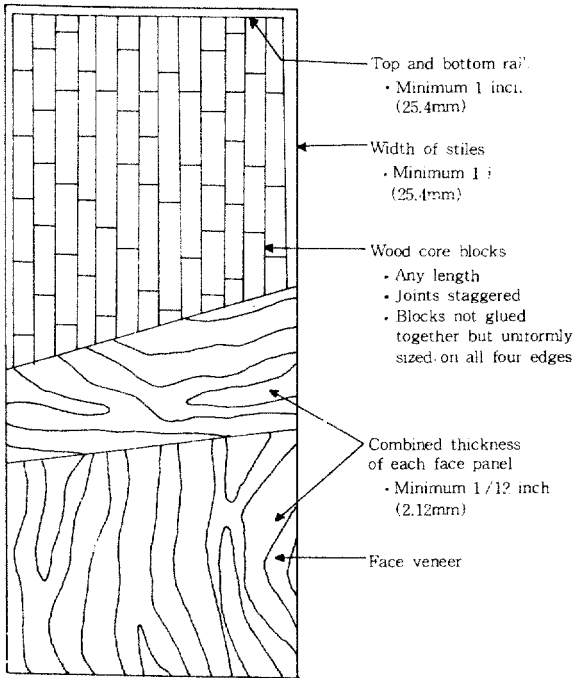


Fig. 3. Framed block non glued core 5ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

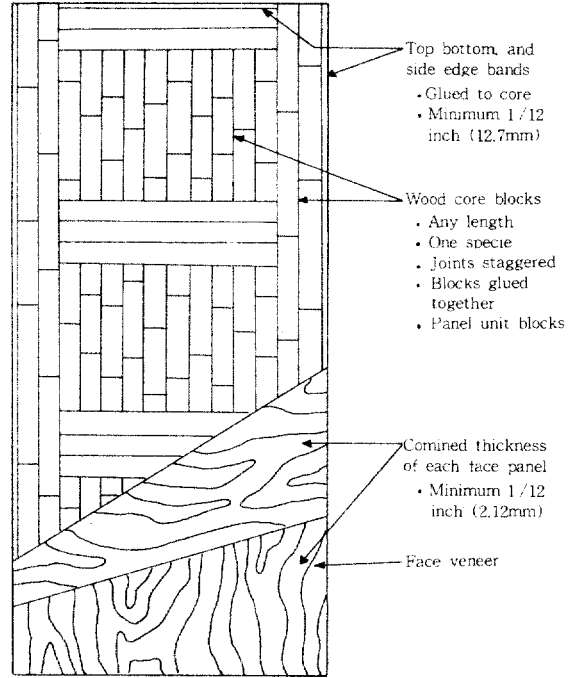


Fig. 4. Stile and rail core 5ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

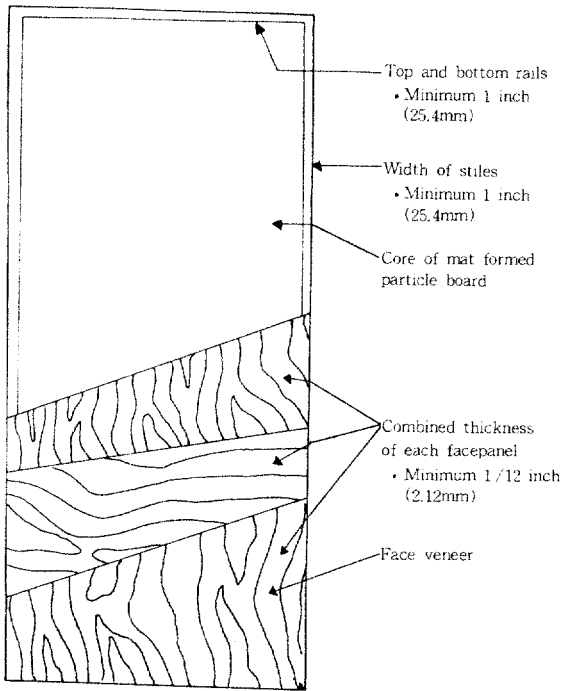


Fig. 5. Mat-Formed particle board core 7ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

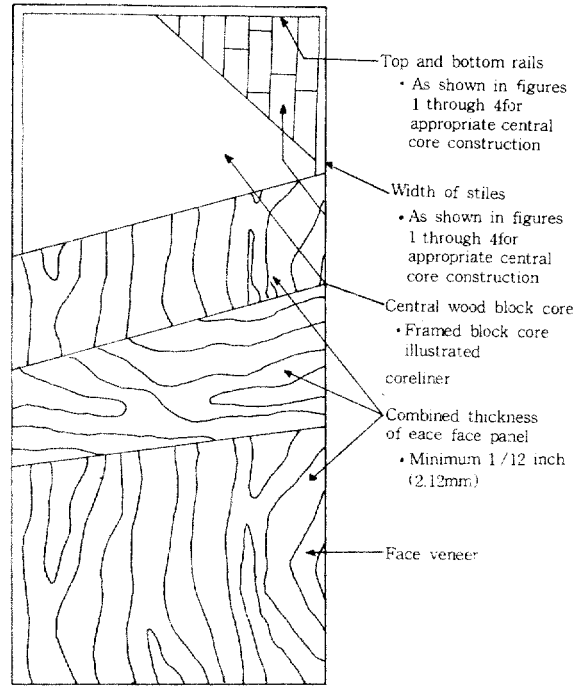


Fig. 6. Wood block lined core 7 ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

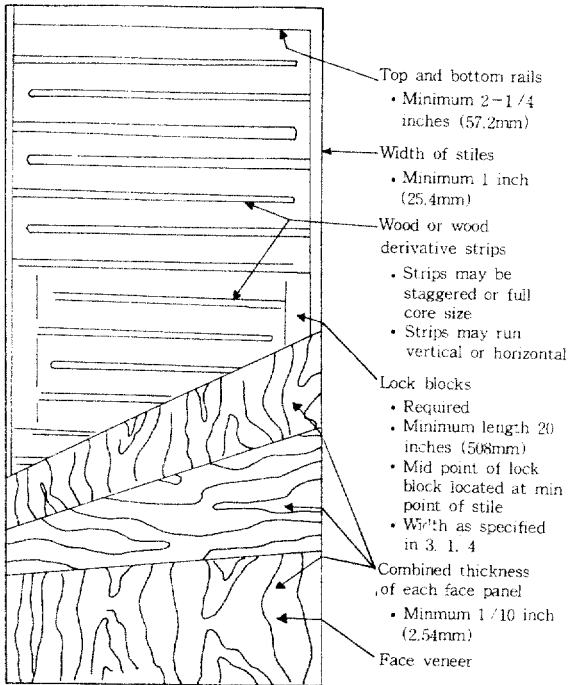


Fig. 7. Ladder core 7 ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

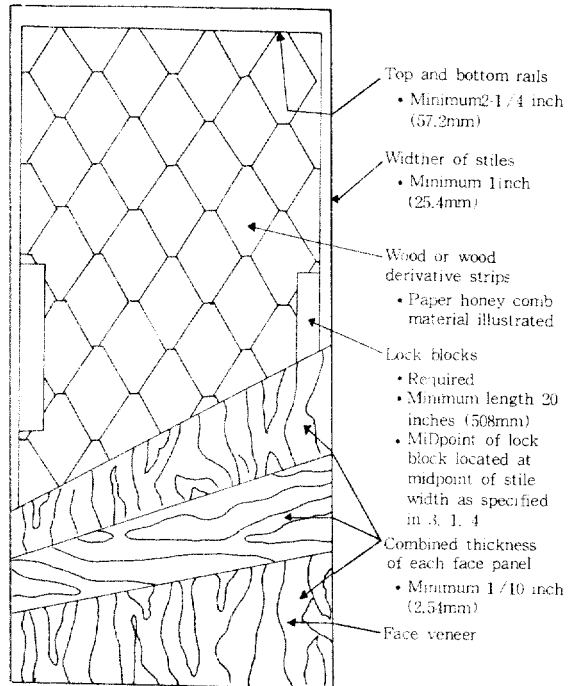


Fig. 8. Mesh or cellular core 7 ply construction illustrated (also available in other ply constructions)

어와 같은 패널구조의 길이굽음의 크기는 변형으로 생기게 된 오목면의 시고(矢高)와 판넬의 길이등을 이용 다음과 같이 나타낼 수 있다고 알려지고 있다.⁶⁾

$$b = eL^2 / (8t) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, b : 오목면의 시고(矢高)(mm)
- L : 패널의 길이(mm)
- e : relative elongation (=ΔL / L)
- ΔL: 양 표면판재간 잠재적 팽윤량 차이 (mm)
- t : thickness of panel(mm)

한편 양 표면재간 온도의 차이는 양측의 선팽창의 차이로 인한 또 다른 형태의 길이굽음을 초래하는 요인으로 생각될 수 있다. 이러한 목질판넬의 열적변형은 수분에 의한 수축팽윤 및 그로 인한 길이굽음에 비해 훨씬 적고 대부분의 환경조건하에서 수분에 의한 길이굽음 변형과는 반대쪽 방향으로 길이굽음을 야기하는 특성이 있으나 주위조건 변화에 따른 반응속도가 빠르기 때문에 그 발생양상이 수분에 의한 변형과는 사뭇 판이하게 될 것이다. 즉 목재 플러시도어 표면의 온도는 1시간 이내에 주위의 온도에 근사하게 접근되는 반면 수분의 경우는 평형에 이르기까지는 수일이 소요되므로 주위의 대기조건이 급변할 경우 플러시도어는 일단 상대적으로 저온인 표면쪽이 오목하게 변형하나(열적 변형), 점차 그 크기가 줄어들면서 차후에는 고온의 건조한 쪽으로 그 변형양상이 반전되게 된다.⁷⁾

상기 (1)식에 의하면 플러시도어를 비롯한 구성패널의 길이굽음 변형은 그들의 두께에 반비례함을 알 수 있다. 하지만 패널의 두께가 두꺼울수록 수분 및 온도의 차단효과가 더 커지고 그로인해 패널 양측 표면간 함수율 차이가 커지게 되고 그에 따라 신장률 차이도 더 커지게 되므로 실제에 있어서의 패널 두께의 길이굽음 억제효과는 약간 감소된다고 볼 수 있다.^{6),8)}

또 (1)식에서 볼 수 있듯이 짧고 폭이 좁은 판넬이 길고 넓은 패널에 비해 길이 굽음변형이 적게되므로 커다란 패널일 경우 가능한한 유연한 접합방식을 채택, 실제의 유효길이를 줄이는 방법이 바람직할 것이다. 이를테면 벽판의 경우 수직지지부 간격을 줄인대거나, 플러시도어인 경우 정첩과 정첩사이의 간격을 줄여주거나 도어 받침턱(rebate

stop)을 오목면쪽에 오도록 설계함으로써 길이굽음 변형을 최소화 할 수 있다.

Flush type door의 변형과 관련된 분야의 연구동향은 국내의 경우 전무한 실정이고 외국에서도 미 임산물 연구소에서 샌드위치 패널(sandwich panel)의 합리적 표면재 선정을 위해 장기간 옥외 설치시험^{9),10)}을 수행한 바 있으나 이 경우 stressed skin panel이나 paper honeycomb core를 사용한 sandwich panel에 대한 연구가 주로 구조설계 및 내부 응력분포에 따른 구조적 강도해석에 관한 내용에 주안을 두고 있어 본연구에서 다루고자 하는 비구조용 플러시 도어(nonstructural flush doors)에 있어서의 자체적인 내부 응력 발생에 의한 변형(unrestrained deflection by internal stresses)에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 다만 Merrick등¹¹⁾이 각종 가구부재용 sandwich panel의 bowing 발생에 관한 연구를 수행한 이래, Kubler⁶⁾가 실내의 경계용 판넬류의 길이굽음 발생인자에 대한 연구를 수행한바 있고 Marck¹²⁾가 차고용 대형 플러시 도어 내부의 수분 불균형에 의한 bowing 현상 원인을 표면의 수분 차단재 및 내부(core) 재료별 수분 이동 방지효과를 비교함으로써 규명코자 시도한바 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 비구조용 stressed skin panel(또는 sandwich panel)로서의 목재 플러시도어를 기본 구성 형태에 따라 정확히 분류, 규정하고 각종 실용 플러시 도어(가구용 wardrobe door로부터 일반 건축용 플러시 문 특히 욕실용 출입문)의 길이굽음(bowing)현상을 야기하는 응력 발생인자에 대한 규명을 통해 stressed skin panel(또는 sandwich panel)의 bowing 변형을 극소화하기 위한 구체적이고도 실용적인 설계 및 시공 방안을 제시함으로써 국내 가구업체의 생산 기술 향상 및 각종 도어 제품의 품질 안정화를 통한 경쟁력 제고를 도모하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試材料

2.1.1. 표면패널 구성재료

2.1.1.1. 합판류

공시합판의 기본물성은 다음 Table 2.에 나타난 바와 같다.

○ 공칭두께 3.2mm 보통 합판 : 3'×7' 크기의 라와 단판 3매로 구성된 보통 합판을 총 80장을 구입하였다.

Table 2. Characteristics of ordinary plywoods, paper overlaid plywoods and red oak veneer overlaid plywoods.

Plywood	Species	Thick. (mm)	Sp. Gr.	M.C. (%)	Grain
Ordinary	Lauan	3.18	0.422	10.62	Straight
Paper O/L	Lauan	3.17	0.428	8.96	Straight
Veneer O/L	Lauan	3.48	0.484	8.12	Straight

○ 화장지 O/L 3.2mm 합판 : 3'×7' 크기의 라왕 보통합판에 목재의 무늬를 인쇄한 평량 35g/m²의 화장지를 오버레이하고 그 위에 불포화 폴리에스테르 수지 코팅처리를 한 제품을 총 80장 구입함.

○ 화장단판 O/L 3.2mm 합판 : 3'×7' 크기의 라왕 보통합판에 red oak 무늬목을 오버레이하고 폴리우레탄 도료도장(중도 마감)처리된 제품을 총 80장 구입하였다.

2.1.1.2. 塗料 및 接着劑

○ 통용 폴리우레탄 수지도료와의 수축응력 비교를 위해 니트로 셀룰로오스 레키(nitrocellulose lacquer) 수지도료, 에나멜(enamel) 수지도료, 불포화 폴리에스테르(unsaturated polyester) 수지도료, 방수용 조합페인트 등을 사용하였다.^{13),14)}

○ 표면판재와 프레임재의 접착에 사용되는 접착제의 종류별 배합 성능을 비교하기 위해 요소 수지접착제 및 초산비닐 수지접착제를 사용하였다. 또 내수성 접착제로서 멜라민 수지접착제를 이들 접착제들과 혼합하여 사용하였다.

2.1.2. 内部 構成材料

2.1.2.1. 가로대(Rails) 및 세로대(Stiles)용 재료

○ 가로대용 소재 : NWMA 규정에 정한 미송(hemlock)을 주종으로 사용하였고 그 이외에 라왕과 컨테이너용 합판을 사용하였다. 공칭 두께는 옷장용 소형 플러시도어용으로는 22mm, 일반 출입문용 플러시도어용으로는 29mm 짜리를 사용하였다.

○ 세로대용 재료 : 미송(hemlock)이외에 외부 표면판재로 부터의 변형응력(stress)에의 저항성을 높일 목적으로 비중 0.53인 라왕재 및 비중 0.72인 컨테이너용 합판을 사용하였다.(공칭 두께 : 22mm 및 29mm)

2.1.2.2. 종이 허니컴

셀(cell) 크기가 50mm인 시중 크라프트제품을 구입하여 셀의 높이가 각각 22.8mm 및 29.8mm(프

레이미재의 두께보다 0.8mm 높게함)되도록 재단하여 사용하였다.¹⁵⁾

2.1.3. 옛지밴드재

비중 0.53인 라왕 소재를 두께 6mm×폭 29.0mm(옷장용 소형 플러시도어용) 및 두께 9mm×폭 36.0mm(일반 출입문용) 크기로 가공하여 사용하였다.

2.2. 試驗方法

2.2.1. 세로대용 부재의 휨 강성 시험

기준 세로대(stile) 용재로 쓰이고 있는 미송과의 외부로부터의 변형응력에의 저항성 비교를 위해 라왕재와 컨테이너용 합판의 마구리 방향에서의 휨 강성시험을 5회 반복으로 수행하였다. 이때의 휨강성 시험용 시편의 크기는 폭 50mm×두께 30mm×길이 500mm(스팬 : 450mm)로 하여 이들의 강성을 비교, 일정변형(critical deflection)에 이르기까지 재료별로 요구되는 외력(load)의 크기를 측정 한 후 이를 다시 역산함으로써 실제 상황에서의 세로대 부재의 소요 치수(이는 도어 두께의 제한 때문에 결국 세로대의 폭으로 표현됨)을 추정코자 하였다. 또 이때 사용한 강도시험기는 항률 변형속도(constant straining)가 100mm/min로 조정된 Instron사의 Universal Testing Machine이다.

2.2.2. 플러시도어 제작

○ 옷장(wardrobe)용 플러시도어 제작 : 두께 22mm인 미송재 및 라왕재로된 프레임재(가로대 및 세로대를 접착제를 쓰지않고 에어 택킹(air tacking)으로 결합시킨 상태)의 내부에 높이 22.8mm인 종이허니컴을 역시 택커를 이용하여 부착한 후 초산비닐 수지 에멀전(PVAc emulsion) 접착제 도포용 롤러 코터(roller coater)를 통과시킨쪽 표면(옷장 외부)에는 red oak 단판을 오버레이한후 폴리우레탄도료로 중도 마감을 한 두께 3.5mm 합판을 다른표면(옷장 내부)에는 3.2mm 두

Table 3. Specification for the construction of a wardrobe flush door sample

Item(size)	Part	Material	Finished size(mm)	Q'ty
Flush door for wardrobe (1500×560×29)	Stile	Hemlock /lauan	1488 × 40 × 22	2
	Rail	Hemlock /lauan	468 × 40 × 22	4
	Lock block	Hemlock /lauan	400 × 40 × 22	3
	Honeycomb	KP paper	22.8(height)	3
	Outer panel	Oak fancy on P /W	1488 × 548 × 3.5	1
Asymmerrical	Inner panel	Ordinary P /W	1488 × 548 × 3.2	1
	Edge(long)	Lauan	1500 × 29 × 6.0	2
	Edge(short)	Lauan	548 × 29 × 6.0	2

Table 4. Specification for the construction of a general flush door sample

Item(size)	Part	Material	Finished size(mm)	Q'ty
Flush door for opening in bldg (2100×900×36)	Stile	Hemlock /lauan /P /W	2082 × 45 × 29	2
	Rail	Hemlock /lauan /P /W	792 × 45 × 29	6
	Lock block	Hemlock /lauan	500 × 45 × 29	4
	Honeycomb	KP paper	29.8(height)	3
	Front panel	Oak fancy on P /W	2082 × 882 × 3.5	1
Symmetrical	Back panel	Oak fancy on P /W	2082 × 882 × 3.5	1
	Edge(long)	Lauan	2100 × 36 × 9.0	2
	Edge(short)	Lauan	882 × 36 × 9.0	2

계의 보통합판을 냉압방식(cold pressing)으로 상온에서 7.5kgf/cm²의 압력으로 12시간 동안 집착하였다. 그런 후에 역시 초산비닐 수지접착제를 사용하여 엷지밴딩(두께 6mm×폭 28.4mm)을 실시하였다. 최종적인 상도 마감은 폴리우레탄 상도 도료를 사용하였다. Table 3.은 본 옷장용 소형 플러쉬도어의 구성 재원을 나타낸 것이다.(미송 프레임재 사용 도어 5짝, 라왕 프레임재 사용 도어 5짝하여 총 10짝의 소형 플러쉬도어를 제작하였음).

○ 일반 출입문용 플러쉬도어 제작 : 일반 주거용 건축물내의 실내 출입문용 플러쉬도어에 대한 모델로서 화장관(red oak veneer) 오버레이 합판을 양쪽 표면에 대칭구조로 사용하여 제작하였다. 총 도어 제작수량은 3종의 프레임재(미송, 라왕 및 컨테이너용 합판)별로 각각 5짝씩 총 15짝을 제작하였다. 최종 상도 마감은 역시 폴리우레탄 상도도료를 사용하였다. 이들 샘플 도어에 대한 구체적 구성사양은 Table 4.에 나타내었다.

○ 욕실용 플러쉬도어 제작 : 불규칙적이고 열악한 수분 및 온도조건이 일반적으로 작용하게 되는 일반 가정의 욕실용 플러쉬도어는 그 노출조건이 다른 어느 도어보다도 길이굽음을 야기하기 쉬우므

로 수분차단을 위한 표면도로(일반적으로 신축현장에서 욕실에 부착할때 도장됨), 내열 및 내수성을 지니는 접착제 그리고 사용중 필연적으로 발생하게 되는 도어 내부의 수분경사에 의해 야기되는 양 표면간 비대칭 변형응력에 저항할 수 있는 구조 등 시공 관련인자가 복잡한 편이나 본 연구에서는 일단 일반적인 플러쉬도어의 구성방식을 채택하여 도어 샘플을 제작하고 모의 시험(simulation)을 통해 발생하는 문제점을 파악하고 그 대책을 강구하는 원인추구형 분석방법을 적용코자 하였다. 그리고 욕실 내부에 해당하는 표면에는 조합 페인트를 도포하여 습기에 대한 차단성을 강화하고자 하였다. 총 도어 제작 수량은 3종의 프레임재 별로 각각 5짝씩 15짝이었다.

Table 5.는 본 연구에서 채택한 욕실용 플러쉬도어에 대한 구성사양을 나타낸 것이다.

2.2.3. 長期 模擬 調濕 試驗

앞에서 언급한 3가지 유형의 도어 샘플들의 실제 사용중의 외기 조건에 대한 거동(함수율 변화 및 길이굽음 양상)을 추정하기 위해 특별 제작한 모의 조습 챔버내에 도어 샘플들을 서로 접촉하지 않게

Table 5. Specification for the construction of a flush door for bathroom

Item (size)	Part	Material	Finished size (mm)	Qty
Flush door for bathroom in building (2100×900×36)	Stile	Hemlock /lauan /P /W	2082 × 45 × 29	2
	Rail	Hemlock /lauan /P /W	792 × 45 × 29	6
	Lock block	Hemlock /lauan	500 × 45 × 29	4
	Honeycomb	KP paper	29.8 (height)	3
	Inner panel	Ordinary P /W	2082 × 882 × 3.5	1
Asymmetrical	Outer panel	Paper O /L P /W	2082 × 882 × 3.5	1
	Edge (long)	Lauan	2100 × 36 × 9.0	2
	Edge (short)	Lauan	882 × 36 × 9.0	2

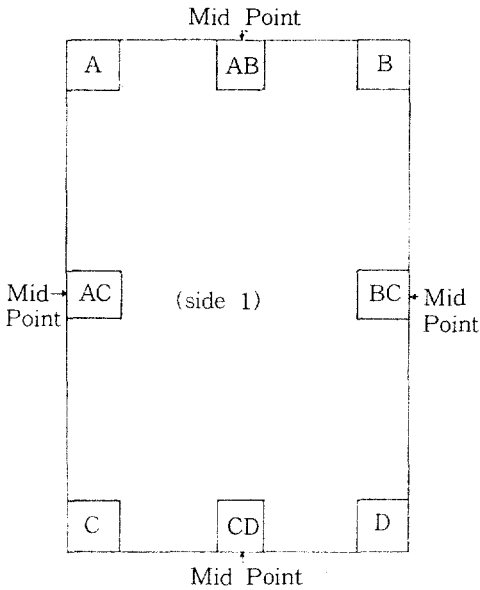


Fig. 9. Sampling and identification for 8 specimens of Type I and Type II doors.

설치하여 90일간 시험을 수행하였으며 특히 욕실용 플랫쉬도어에 대해서는 온도 및 수분 영향의 일반성을 고려하여 외부 해당표면(outer face panel)에 스티로폼과 PVC랩을 이용, 단열 및 방수처리를 하였다.

2.2.4. 플러시도어의 길이굽음 변형측정

3가지 유형으로 제작된 도어 샘플들에 대해 제작 직후로부터 보관증 및 실제 사용조건을 모사한 조급챔버내에서의 길이굽음 변형량을 별도로 제작한 변형측정 도구를 이용하여 좌우 세로대(stile) 방향을 따라 측정하여 이 두 측정치의 평균치를 위하여 길이굽음 변형치로 정하였다.

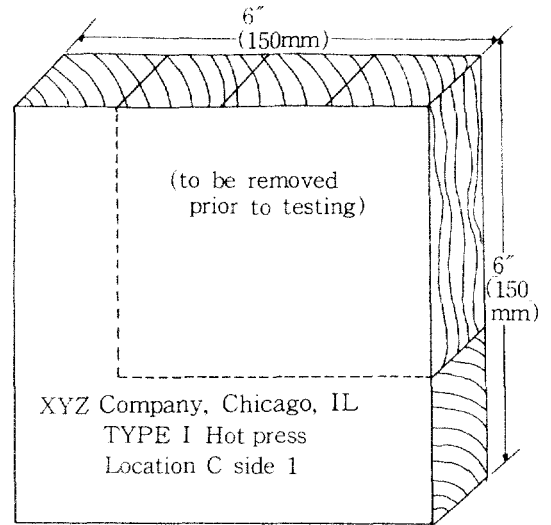


Fig. 10. Labelling for specimen tested.

2.2.5. 플러시도어의 접착성능 검사

플러시도어의 용도별(室內 또는 室外) 접착 성능 검사는 원칙적으로 NWMA에서 정하는 바에 따라 시험편 제작 및 시험방법을 적용하여 실시해야하나 본 연구에서는 길이 굽음 변형 양상을 추적하기 위한 長期조습시험을 수행하였으므로 조습 및 길이 측정이 끝난 후 외관에 대한 肉眼검사와 도어 내부 구성 재료에 대한 관찰로써 접착 작업 상태 및 접착제의 성능에 대한 평가의 기준을 삼았다.

Fig. 9., Fig. 10. 및 Fig. 11.은 MWMA에서 규정하는 플랫쉬 도어의 접착 성능 시험용 시편의 채취방법과 그 표기 방식 및 접착 부위의 박리도 측정용구에 대한 참고도이다.

3. 結果 및 考察

3.1. 세로대(帶)용 부재별 휨 강성 및 해석

Table 6. 및 Fig. 12. 는 50mm×30mm×50mm 크기의 시편을 이용해서 본 연구에서 채택한 3종류의 세로대(stile) 용재에 대한 휨 강성 시험 결과이다.

이들 3종의 재료간 휨 강성 시험결과에서 보는바와 같이 재료별로 일정 변형시 응력이 차이가 있음을 알 수 있다. 예를들어 2mm의 휨 변형시 미송은 105.1kgf, 라왕재는 131.9kgf 그리고 컨테이너용 합판의 경우 154.4kgf로 응력의 차이를 보여주고 있다.

따라서 플러시도어의 길이굽음을 야기하는 표면 관재간 수축(또는 팽윤)응력에 저항하는 세로대(stile)용 부재의 강성차이를 이용하여 플러시도어의 변형저항성을 극대화 할 수 있는 설계 및 시공 방안을 강구할 수 있게된다. 바꾸어 말해서 모서리 쪽을 도어의 포면재와 접합되도록 설계한 합판의 강성에 비해 상대적으로 약한 미송재나 라왕재의 경우 세로대의 폭을 증가시켜줌으로써 도어의 내변형력을 증대시킬 수 있을 것이다.¹⁶⁾ 이를테면 재료 역학적 측면에서 볼 때 합판(모서리쪽 배열)을 세로대로 사용했을 때와 비교해서 라왕재 사용시는 폭을 약 1.2배(154.4kgf / 131.9kgf)로 늘려주거나 미송재를 사용했을 경우는 약 1.5배(154.4kgf / 105.1kgf) 정도로 폭을 넓혀주므로써 플러시도어의 강성(stiffness)을 증진시킬 수 있다고 말할 수 있다. 물론 이 경우 자재의 추가소요량(라왕 및 미송재)을 최소화하기 위해 소폭재(小幅材)를 사용하는 방안을 강구해야 하며 이러한 상황에서는 표, 리판과의 접착에 문제를 야기시키지 않는 조건에서 접착제보다는 에어택킹(air-tacking) 작업을 채택함으로써 추가 공정소요를 최소화하도록 해야할 것이다.

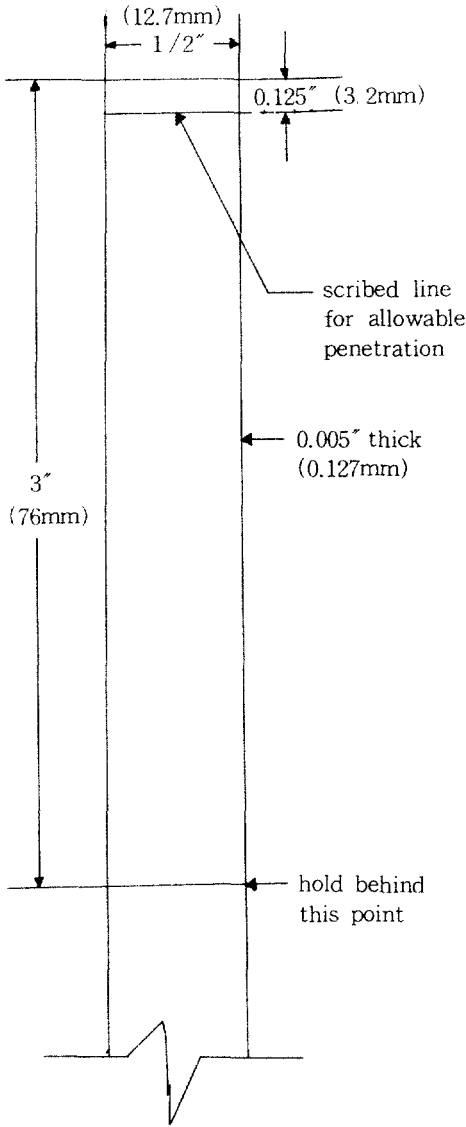


Fig. 11. Detail of the evaluation probe.

Table 6. Reaction forces of materials for stile to contant straining

Unit : kgf

Deflection(mm)	1	2	3	4	5	6	7	Broken
Hemlock	49.2	105.1	163.0	217.5	270.8	318.4	362.1	452.2
Lauan	62.5	131.9	203.9	276.6	347.8	411.7	472.6	622.0
P / W(edge)	78.5	154.4	229.8	306.8	382.7	454.8	518.6	669.3

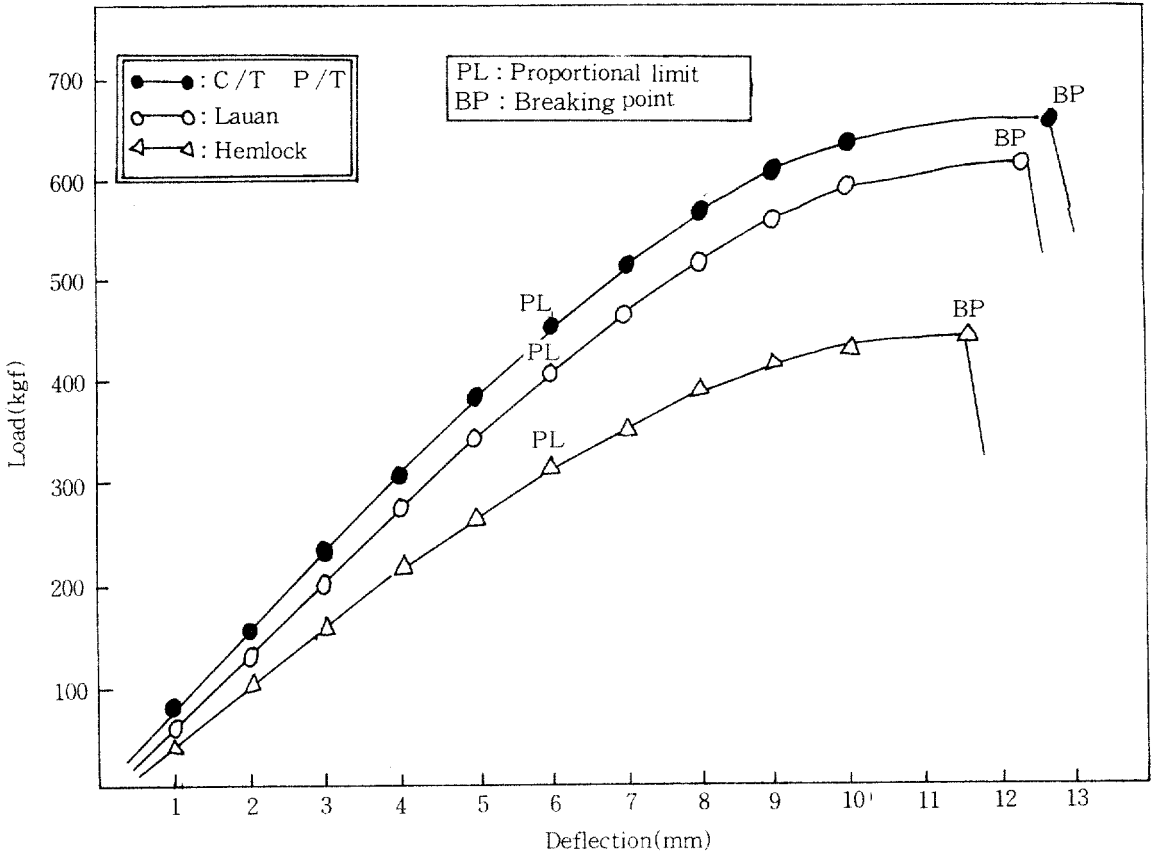


Fig. 12. Load-deflection curves for each stile materials.

3.2. 도어 유형별 길이굽음(bowing) 거동 및 원인 분석

3.2.1. 옷장용 소형 플랫쉬도어의 길이굽음 변형

Table 3.에 나타난 구성사양에 의해 제작된 10짜 (미송 프레임재 사용도어 5짝과 라왕 프레임재 사용 도어 5짝)의 소형 플러시도어에 대해 폴리우레탄 수지로 상도마감을 한 제조직후로부터 실제 사용조건(동절기 실내조건 : EMC 6%, 하절기 실내조건 : EMC 15%)에서 약 90일간 길이굽음(bowing)을 측정된 결과를 Table 7.에 나타내었다.

Table 7.에 의하면 제조직후 공장에 대기중인 상태에서 이미 옷장의 안쪽에 해당하는 표면이 오목해지는 길이굽음 현상이 발생하고 있는바 이는 내부 구성부재에 도포된 초산비닐 수치접착제로부터 수분을 흡수함으로써 상대적으로 초기흡수율이 낮았던 바깥쪽 해당표면패널(무늬목 오버레이 합판)의 흡수정도가 더 큼으로써 팽윤의 정도가 상대적

으로 적은 도어 안쪽으로 오목한 길이굽음 변형을 야기한 것으로 사료된다.

따라서 옷장용 도어의 제작시는 양쪽 표면패널용 합판의 흡수율이 가급적 동일한 상태로 유지되도록 유의하여야 할 것이다. 또 동절기 사용조건하에서는 오히려 바깥쪽으로 오목해지는 하절기 사용조건하에서는 다시 반전되어 원래의 안쪽방향으로 길이굽음이 발생하고 있음으로 보아 본 연구에서 채택한 폴리우레탄 마감도장 만으로는 외부수분의 차단을 완벽하게 기대할 수 없으며 그에 따라 무늬목을 오버레이한 합판이 본 플랫쉬도어의 수분에 의한 변형의 주도 요인으로 생각할 수 있다. 따라서 폴리우레탄 도장시 도장회수를 늘여서 수분차단능력을 극대화하는 것도 중요하지만 우선적으로 양 표면패널의 구성요소를 최대한 동일하게 하는 것이 바람직한 시공방법이라고 생각된다. 물론 옷장 내부까지 고가의 화장 무늬목을 사용할 수는 없을 터이므로 해당 무늬목과 흡사한 비중을 지니면서 비

Table 7. Bowing behavior of wardrobe doors under service condition for 90 days

Material for frame	Part	At factory		Winter condi. (EMC:6%)		Summer condi. (EMC:15%)	
		MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)
Hemlock	O/F* ¹	12.1	-* ³	7.3	1.5	14.5	-
	I/F* ²	12.6	2.1	7.4	-	14.3	2.8
Lauan	O/F* ¹	13.1	-	7.5	2.1	14.3	-
	I/F* ²	12.7	1.7	7.5	-	14.7	2.5

*¹ : outer face panel(oak veneer fancy on plywood)

*² : inner face panel(ordinary plywood)

*³ : convex side

Table 8. Bowing behavior of general wood flush doors under service condition for 90 days

Material for frame	Part	At factory		Winter condi. (EMC:6%)		Summer condi. (EMC:15%)	
		MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)
Hemlock	F/F* ¹	12.3	-* ³	6.9	-	14.3	-
	B/F* ²	12.5	2.8	7.0	3.0	14.4	2.6
Lauan	F/F* ¹	12.1	-	7.1	-	13.8	-
	B/F* ²	11.9	2.7	7.0	2.6	14.0	2.5
P/W (edge)	F/F* ¹	12.7	0.1	7.3	0.3	14.4	0.3
	B/F* ²	12.8	-	7.2	-	14.2	-

*¹ : front face panel(oak veneer fancy on plywood)

*² : back face panel(oak veneer fancy on plywood)

*³ : convex side

스한 수축팽윤 특성을 지니는 유사 슈종을 오버레이하여 양표면간 균형을 맞춰야 할 것이다. 한편 제조업체에 따라서는 외관에 대한 배려로써 폴리우레탄 마감도장시 무늬목을 오버레이한 바깥쪽 패널에 훨씬 더 많은 도포량을 도포하는 경우가 많으나 이는 도료의 수축응력에 의한 또 다른 변형 발생을 야기할 위험이 크므로 원칙적으로 안쪽과 바깥쪽의 도포량의 차이를 없게함으로써 명실공히 완벽한 좌우대칭 구조를 형성하도록 하는 것이 이상적인 실내 옷장용 도어의 설계방안일 것으로 판단한다.

한편 소형 플러시도어의 경우 프레임재의 차이에 의한 길이굽음 변형발생 양상의 유의적 차이는 없는 것으로 나타남으로써 두께 22mm 정도의 얇은 세로대의 변형억제 효과는 그다지 뚜렷하지 않은 것으로 사료된다.

3.2.2. 對稱型 一般 플러시도어의 길이굽음 변형

일반주거용 건물의 출입문의 길이굽음 거동을 추정하기 위해 Table 4.에서 규정한 표, 리 동일형(대칭형) 일반 플러시 도어에 대해 실시한 장기(長期) 모의시험 결과는 Table 8.에 나타난 바와 같다.

위 실험결과에 따르면 주위 수분조건에 따라 플러시도어의 표면패널의 함수율이 같은 양상으로 변하고 있음을 알 수 있다. 즉 앞에서도 언급했듯이 폴리우레탄 수지도료를 상도용 마감재로 사용한 플러시도어의 경우 장기간의 수분노출시 완전한 수분 차단은 불가능한 것임을 볼 수 있다. 그러나 세가지 타입의 플러시도어들은 공히 초기 변형량이 주위수분의 조건에 관계없이 90일간의 조습시험기간 내내 거의 일정한 변형량을 유지하고 있는 이는

표, 리판의 함수율 거동과 더불어 이른바 '대칭형' 플랫쉬도어 구조의 장점을 일관적으로 나타내고 있는 것으로서 플랫쉬도어 좌우의 대기조건이 어느정도 균일할 것으로 예상되는 경우 내부 구성재료 및 표면 판넬재 뿐 아니라 도료에 이르기까지 좌우 대칭적인 도어 설계를 하는 이 바람직하다는 사실을 웅변적으로 입증하는 결과라 사료되는 바이다.

물론 여기서 합판(모서리 배열)사용의 경우를 제외하고 일반 소재를 프레임용 소재로 사용했을 경우 도어 제조직후 초기에 일정량의 변형이 발생한 사실에 유의할 필요가 있다. 이는 우선 제조당시 플랫쉬도어를 구성하는 부재들 특히 양 표면판넬내에 존재하는 잠재적인 변형발생 요인, 즉 목리 방향이나 무늬목 및 단판의 두께 및 비중 차이등 외형적인 대칭구조임에도 불구하고 천연재료로서 존재할 수 밖에 없는 불균질성으로 인한 불가항력적인 변형으로 간주할 수 밖에 없을 것이다. 본 실험에서 나타난 3mm 이내의 변형은 사실 NWMA 규정등에서 허용하는 길이굽음 변형한계인 6.4mm 보다는 훨씬 적은 편이나 플랫쉬 도어의 좌우 수분 조건이 일치하지 않는 경계 노출될 경우 그 변형량은 사뭇 증대될 것으로 예상할 수 있으므로 합판의

모서리면을 휨 변형응력에 저항하는 세로대로 채택한 도어의 구성방식이 거의 0에 가까운 변형을 나타낸점에 착안하여 그 활용 타당성 및 실용성을 분석해볼 필요가 있을 것으로 판단한다.

3.2.3. 욕실용 플랫쉬도어의 길이굽음 변형거동

Table 6.에 의하여 제조된 총 15쌍의 욕실용 플랫쉬도어에 대한 모의 조습 시험은 자동 온습도 기록장치가 내장된 조습 챔버에서 주간(오전 9시-오후 7시)에는 실제 욕실 사용조건(고온 고습 → EMC 25%이상)으로하고 야간(오후 7시-오전 9시)에는 비사용조건(EMC : 15% 내외)을 적용하면서 총 90여일간 실시하면서 1일 1회씩 최소 변형치(오전 9시)와 최대 변형치(오후 7시)를 측정하여 Table 9.에 나타내었다.

위의 Table 9.에 나타난 바와같이 욕실의 바깥쪽 표면에 비해 안쪽 표면의 함수율 상승이 뚜렷한 것으로 보아 수분 차단 목적으로 안쪽 표면에 도포한 enamel painting 역시 완벽한 수분 차단재(vapor barrier)로서의 역할에는 한계가 있음을 밝혀졌다. 다시말해 단순히 도막만으로 욕실용 플랫쉬도어 내부의 함수율 균형을 유지시키는 것은 사

Table 10. Bowing behavior of wood flush doors for bathroom under half-a-day service condition for 90 days

Material for frame	Days Part	0		30		60		90	
		MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)	MC(%)	Bow(mm)
Hemlock	I / F ^{*1}	12.3 ^M	1.8	13.9	-	15.7	-	17.2	-
		12.8 ^E	1.3	14.3	-	16.1	-	17.4	-
	O / F ^{*2}	12.4 ^M	- ^{*3}	12.5	3.2	12.7	7.5	13.1	7.8
		12.4 ^E	-	12.5	3.5	12.8	7.7	13.2	7.8
Lauan	I / F ^{*1}	12.2 ^M	-	13.9	-	15.5	-	16.9	-
		12.8 ^E	-	14.5	-	16.0	-	17.3	-
	O / F ^{*2}	11.9 ^M	1.7	12.0	3.6	12.3	5.5	12.6	5.7
		11.8 ^E	1.8	12.0	3.9	12.4	5.7	12.8	5.8
P / W (edge)	I / F ^{*1}	12.5 ^M	0.0	14.0	-	15.3	-	16.8	-
		12.9 ^E	0.0	14.3	-	15.7	-	17.1	-
	O / F ^{*2}	11.7 ^M	0.0	11.8	1.5	12.2	0.5	12.5	0.2
		11.8 ^E	0.0	11.8	1.6	12.3	0.5	12.6	0.3

*1 : inner face panel (enamel paint + ordinary plywood)

*2 : outer face panel (UP resin + paper overlaid on plywood)

*3 : convex side. M: low EMC in the morning, E : high EMC in the evening.

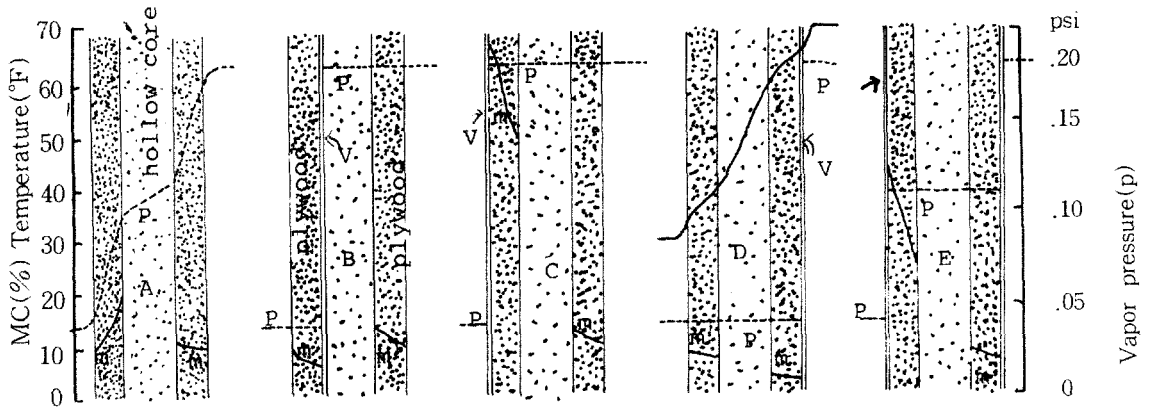


Fig. 13. Cross sections of hollow core panels between warm(70° F., right side) and Cool(30° F., left side) atmospheres at 50 percent relative humidity.

v ; practical vapor barrier.
m ; moisture content(%)

실상 불가능함을 나타내고 있다. kubler²⁾에 의하면 내부를 경량화한 플라쉬도어는 좌우표면을 둘러싼 온도 및 습도조건에 의해 도어의 양쪽 표면판넬에는 함수율의 불균형이 발생하게 되므로 이를 효과적으로 방지하기 위해서는 Fig. 13.에 나타난 바와 같이 수분 차단재(vapor barrier)를 온도와 습도조건을 고려하여 표면판넬 내외에 적절히 배치하므로써 거의 완벽한 함수율 균형을 유지하는 것이 가능하다고 주장한 바 있으나 그가 채택한 소위 수분 차단재의 재질은 얇은 알루미늄판 또는 플라스틱 판 등이 주종을 이루고 있어 본 연구에서 채택한 표면 마감재와의 직접적인 수분차단효과의 비교는 적절하지 못할 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 표면판넬 자체의 함수율 불균일 및 시공상 불완전한 엷벤딩 가공에 기인한 수분의 도어내부로의 침투 가능성등을 고려할 때 완벽한 내부 수분 균형을 이룬 플라쉬도어를 제작하고 육실과 같은 일방적인 수분 및 온도 조건이 작용하는 상황에서의 사용기간 중 계속해서 이러한 함수율 균형을 유지시킨다는 것은 단연코 쉬운 문제가 아님을 인식해야 할 것이다. 따라서 목재 플라쉬도어(특히 육실용 도어)의 제조업자들은 최초 도어 자체적으로 함수율 균형을 이룬 설계 및 시공을 하는 것도 중요하겠지만 사용기간중에 이균형이 깨짐으로써 발생하는 응력에 대항하여 변형을 최소화할 수 있는 대책도 아울러 강구해야하는 필요성이 대두될 것이다.

그러한 차원에서 합판의 모서리면을 휘응력 작용방향에 배열한 플라쉬도어의 장기(90일간) 조습

시험에서의 적은 변형(길이 굽음) 측정결과는 매우 중요한 의미를 시사하고 있다고 볼 수 있다. 물론 비중이 높아 취급상 약간의 어려움이 있다거나 새로운 재료에 대한 작업자들의 이질감 및 이에 따른 불평사항 등을 감안하여야겠지만 길이굽음 변형이 플라쉬도어 제품의 품질을 좌우하는 결정적 요소임을 고려할 때 이러한 설계 및 시공방법은 긍정적으로 검토되어야 할 가치가 충분하다고 판단된다.

한편 조습 시일이 경과함에 따라 길이굽음 변형이 계속 증가하다가 어느 정도 시점에 이르러서는 변형량의 증가량이 둔화되면서 수분조건의 급변전이 없는 한 임의의 일정한 변형량에 점근되어 버리는 일종의 영구변형(setting)과 같은 변형의 양상을 나타내는 소재(미송 및 라왕재) 프레임재를 사용한 경우와는 대조적으로 조습 초반에는 일시적인 변형(물론 그 크기는 매우 적은 편임)을 나타냈다가 시일이 경과하면서 양쪽 표면판넬의 함수율이 높아지게 되자 도어의 변형이 원래의 상태(변형량: 0)에 수렴하는 양상을 나타낸 합판 프레임재를 사용한 도어의 변형 거동을 분석해 볼 때 이는 함수율이 높아짐에 따라 자체 강성이 약화되어 버린 표면판넬의 변형하고자 하는 성향을 고강성의 세로대(합판)가 억제시킴으로써 발생한 현상으로 사료된다.

Fig. 14.는 프레임재의 강성시험 결과에 따라 동등한 변형억제력을 발휘할 수 있도록 고려하여 프레임 부재별로 폭을 달리하여 설계한 가상의 플라

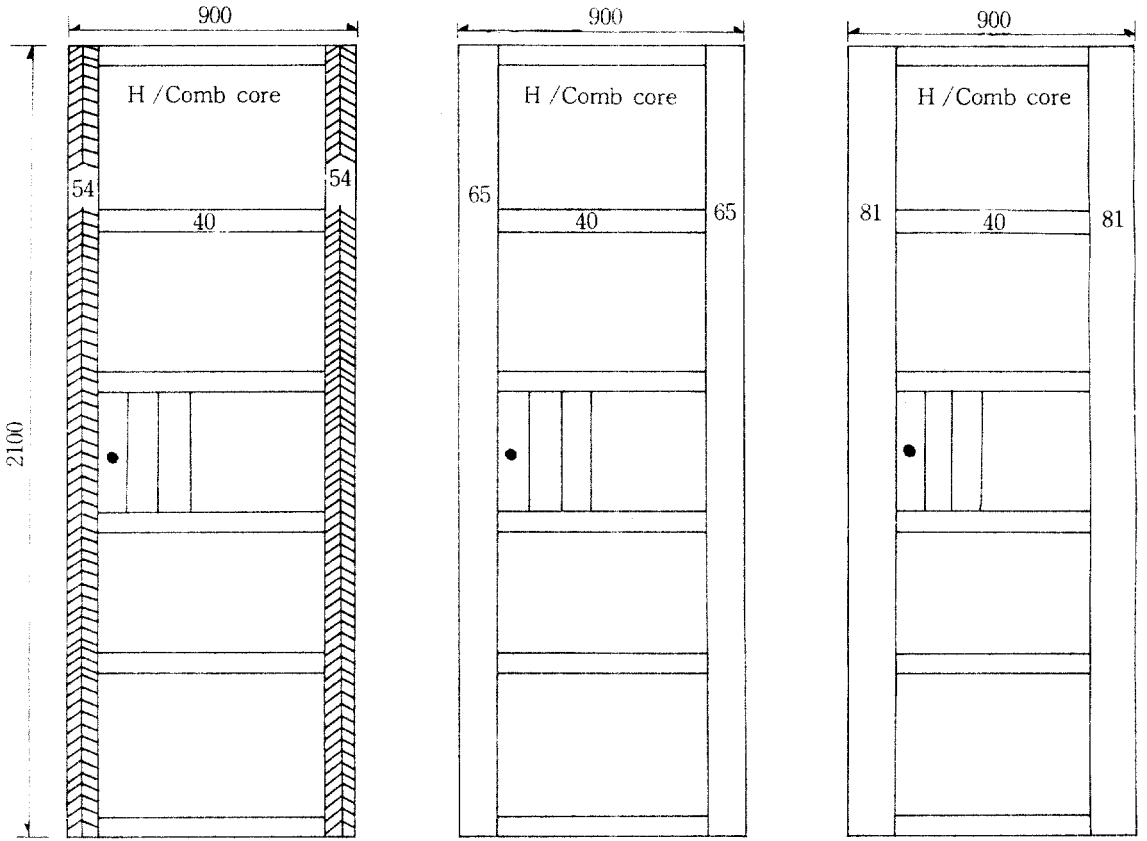


Fig. 14. Dimension of sample door with different stile material.

쉬 도어의 내부구조에 대한 도면이다.

3.3. 플러시도어의 접착성능 평가

총 40쪽의 플러시도어의 접착성능에 대한 평가는 장기간의 조습시험을 거친후이기 때문에 NWMA 규정에 의한 정규의 Type I 플러쉬 도어에 대한 접착 품질 검사시험을 하지 않고 조습 시험후 도어를 해체할 때의 옛지밴드재 및 표면재의 목과여부를 육안으로 평가하였으며 내부의 종이 허니컴의 표면패널에의 접착 상태(결국 이 부분도 표면패널 제거시 패널 안쪽에 붙어 떨어져나온 허니컴의 상태로 판단됨)도 함께 조사하였다. 그 결과 옷장용 도어와 일반 실내 출입문용 플러시도어의 경우는 프레임재의 종류에 관계없이 대체로 양호한 접착작업 상태 및 접착성능이 지속적으로 유지되고 있음을 나타내었으나 욕실용 플러시도어의 경우 옛지밴드재의 일부 부위에서 박리(delamination) 현상을 나타내었는 바 이는 근본적으로 내수성이 떨

어지는 초산비닐 수지 에멀전형 접착제를 사용한 데에도 그 원인이 있겠으나 NWMA 규정에서 제시하는 설계 및 시공사양, 즉 옛지밴딩을 먼저하고 최종적으로 양 표면재를 접착하여 보다 수분에 안전한 구조를 채택하지 않고 현장에서의 도어 부착 등의 편의를 고려하여 옛지밴딩을 최종적으로 실시하는 국내의 제작방식에도 기인한다고 볼 수 있다. 우려했던 합판의 모서리면의 접착상태는 별 문제가 없는 것으로 나타났는 바 이는 초산비닐 수지의 뛰어난 충전성(gap filling)으로 인한 것으로 판단된다. 단 내수성 및 내열성을 제고시키기 위해 요소-멜라민 공축합 수지 접착제를 적절한 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

욕실용 플러시도어의 내부에 사용된 종이허니컴의 대부분이 해체 결과 내부수분에 의해 강성(stiffness)이 약화되어 있는 것으로 보아 허니컴용 크라프트지의 재질 향상 특히 욕실도어의 경우 내수성 증진을 위한 수지처리 등의 보완이 요구된

다.

4. 結 論

가구 및 건축용으로 쓰이는 경량화(hollow) 목재 플러시도어의 길이굽음(bowing)변형 발생요인을 구명하고 변형응력을 억제하여 변형을 최소화할 수 있는 설계 및 시공 방안을 강구하고자 수행한 연구로부터 얻은 중요한 결론은 다음과 같다.

1. 외형상 비대치인 옷장용 도어의 길이굽음 변형억제를 위해서는 양쪽 대판합판의 제조전 초기함수를 동일화 및 무늬목의 재질적 대칭화가 필수적이며 가급적 도장횟수(도막 두께)도 균형을 맞추어야 한다. 또 세로대의 길이굽음 변형억제 효과는 두께가 얇아 미약하였다.

2. 일반 주거용건물 실내의 출입문용 플러시도어는 통상적으로 재료 및 구성이 양면 대칭형이므로 양쪽 대판합판의 목리 주향 및 함수율의 동일여부가 초기 변형을 좌우한다. 이때 모서리면을 표면재와 접합시킨 합판 프레임재(세로대)의 강성은 합판 함수율의 불균형으로 인한 초기변형을 억제시키기에 충분하였으며 추가적인 길이굽음 변형 발생요인은 없었다.

3. 욕실용 플러시도어의 경우 욕실내부로부터의 일방적인 수분침투가 불가피하여 욕실 내, 외 표면재간 함수율의 차이가 시일이 갈수록 현저하였으며 이에 따라 소재(미송 및 라왕재)를 프레임재로 사용한 도어의 경우 최대 변형량에 접근하는 양상을 보였으나 합판을 세로대로 사용한 경우 표면재의 흡수가 진행될수록 변형량 0인 원상으로 회귀, 수렴하는 바람직한 양상을 나타내었다.

한편 초산비닐수지 접착제 단독사용보다는 내열, 내수성의 보강을 위해 요소수지 접착제의 혼합사용이 요구되었다.

4. 결론적으로 실제 사용시 플러시도어 양쪽의 주위 조건(특히 수분 조건)이 균일한 경우에는 재료의 물성 및 구성방식의 대칭성 확보에 주력해야 하며, 주위조건이 불균일하고 일방적일 경우 이론적으로는 수분차단재(vapor barrier)를 사용하는 것이 바람직하나 목재 플러시도어의 경우, 마감도장만으로는 완벽한 수분차단이 불가능하므로 실제로는 수분을 흡수한 표면재로부터의 길이굽음 변형응력에 저항할 수 있는 재료(본 연구에서는 모서리면으로 배열한 합판)로써 프레임(세로대)을 구성하는 방법이 검토되어야 할 것이다.

아울러 플러시도어로 하여금 일정량의 변형에

저항할 수 있도록 소재별 세로대의 폭을 조정(확대)시키는 설계방안도 경제성이나 작업성에 대한 검토와 병행하여 추후 계속 연구되어야 할 것으로 생각한다.

參 考 文 獻

1. Allen, H. G. 1969. Analysis and Design of Structural Sandwich Panels. Pergamon Press, New York.
2. Annon, 1976. Wood Handbook : Wood as an engineering material. U.S.D.A. Forest Agri. Handbook No. 72.
3. Clarke, S. H. 1930. The differential shrinkage of Wood. *Forestry*. 4(2) : 93-104.
4. FPL. 1960. Longitudinal shrinkage of wood. U.S. For. Serv. FPL Rept. 1093.
5. Heebink, B. G., E. W. Kuenzi, and A. C. Maki, 1964. Linear movement of plywood and flakeboards as related to the longitudinal movement of wood. U.S. For. Serv. FPL Res. Note 073.
6. Kubler, H. 1969. Bowing of panels in one-sided atmospheres. *For. Prod. J.* 19(11) : 43-49.
7. Teesdale, L. V. 1948. Bowing of sandwich panels in laboratory test unit. Unpublished investigation.
8. Kubler, H., and A. Geissen. 1967. Studie uber das Stehvermoegeen von Tuerenbei einseitiger Klimaeinwirkung. *Holz als Roh und Werkstoff* 25(11) : 429-435.
9. Anderson, L. O., and L. W. Wood. 1964. Performance of sandwich panels in FPL experimental unit. U.S. For. Serv. FPL Res. Paper 12.
10. Sherwood, C. G. 1970. Longtime performance of sandwich panels in FPL experimental unit. Res. Pap. FPL 144.
11. Merrick, M. J., and A. B. Knapp. 1968. The bowing of panels, The Furniture Industry Research Association, London.
12. Marck, R. C. 1972. Moisture problems in flush garage doors. *For. Prod. J.* 22(10) : 17-21.
13. FPL. 1960. Coatings for minimizing changes in the moisture content of wood. U.S. For.

Serv. FPL Tech. Note 181.

14. FPL. 1962. Applying a polyurethane resin finish to wood. U.S. For. Serv. FPL Wood Finishing Leaflet 24.
15. Seidl, R. J. 1952. Paper honeycomb cores for structural sandwich panels. FPL Report

R1918. U.S.D.A. FPL.

16. Chui, Y. H., and I. Smith. 1991. The use of bending and shear moduli for predicting bending strength of wood. *For Prod. J.* 41 (4) : 49--52.