

온돌용 목질마루판의 표면물성

*1김종인 · *1박종영 · *2이병후 · *2김현중

Surface Properties of Wood-Based Floorings for Under Heating Systems (Ondol)

Jong-In Kim^{*1} · Jong-Young Park^{*1}
Byoung-Hoo Lee^{*2} · Hyun-Joong Kim^{*2}

목 차

1. 서론	3-2 표면물성
2. 재료 및 방법	3-3 내한성 및 습열성
2-1 공시재료	3-4 표면할랄
2-2 시험방법	3-5 축진내후성
3. 결과 및 고찰	4. 결론
3-1 도막의 두께	5. 참고문헌

ABSTRACT

This study was investigated with the surface properties such as physical and accelerated tests of wood-based floorings. In physical test, hardness and abrasion resistance values of laminate floorings were higher than those of others. The center line average surface roughness(R_a) of imported laminate flooring was highest value($1.34\mu m$) and that of imported solid wood flooring was lowest value($0.62\mu m$). In cold resistance and moist heat resistance, no defects were found on the surface of all flooring (crack, blistering, peeling, and gloss loss etc.) after testing. Wet-cold-dry cycle test showed that plywood flooring appeared some cracks. In accelerated weathering test, color difference increased with increasing Xenon arc light irradiation

*1 임업연구원 임산공학부 목재가공과 Korea Forest Research Institute, Forest Products Technology Div. 207 Cheongnyangri Dongdeamoon Gu, Seoul, 130-712

*2 서울대학교 생물자원공학부 School of Biological Resources & Materials Engineering, Seoul National University, 103 Seodun-Dong, Kwonsun-Gu, 441-744

1. 서 론

온돌용 목질마루판은 쾌적하고 인체친화적인 목질건축자재로 각광을 받으며 급속한 성장을 거듭하고 있다. 1990년대 중반부터 본격적으로 자리잡은 마루판 시장은 주택의 고급화 추세와 리모델링의 확산으로 꾸준히 수요가 확대되어 2002년 현재 4,000억원을 상회하는 방대한 시장규모를 형성하고 있으며, 국내 마루판산업은 치열한 경쟁이 이루어지고 있는 상황이다.

이와 같은 온돌마루판의 수요 증가는 천연 소재로서 우수한 특성을 지닌 목재에 대한 소비자의 선호도를 보여주고 있지만, 동시에 목질마루판의 신뢰성을 보다 향상시키기 위해서는 품질개선 및 결함발생의 억제, 내구성 및 기능성 향상을 위한 다양한 성능 평가, 품질인증 강화 및 신기술 개발의 노력을 기울여야만 할 것이다. 특히 수분이나 열에 대한 안정성과 내마모성, 경도 등 표면성능의 확보, VOC(휘발성유기화합물)의 저감 등을 위한 지속적인 연구 개발이 필요하다. 목질마루판은 합판 표면에 무늬단판 또는 무늬목을 접착한 합판마루판 또는 원목마루판, 목질보드류 표면에 멜라민수지합침지를 적층시킨 복합마루판으로 그 형태가 구분되며, 주거용 또는 온돌용 마루판과 상업용 또는 비온돌용 마루판으로 용도가 나뉘어진다. 따라서 이와 같은 마루판 소재의 종류와 사용 환경에 따라 제품 자체의 특성과 요구되는 성능이 달라지며, 이에 대응한 품질관리 및 기술개발이 요구된다.

최근 국내에서의 마루판에 대한 연구사례로서는 박 등(1997)은 마루판의 기계적 성질, 수분적 특성 및 열적 특성을 평가하고, 온돌모델시험을 실시하였으며, 정 등(2000)은 도장된 도료의 성능에 따라 내마모성 등에 차이가 나타남을 설명하였고, 박(1999)은 수지를 이용한 표면강화처리에 의해 낙엽송 마루판의 경도, 내마모성, 내충격성을 향상시킬

수 있다고 보고하였다. 또한 이 등(2001)은 목재마루판용 UV경화형 도료에 대한 도막의 물성을 평가하였으며, UV조사량 및 도료의 구성요소가 도막의 표면점탄성, 경도 등에 큰 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 그러나 아직 마루판에 대한 연구는 대체로 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 온돌용 목질마루판의 표면물성 구명을 위하여 국내에서 생산, 유통되고 있는 마루판을 수집하여, 표면경도, 내마모성, 표면거칠음, 도막할렬, 촉진내후성 등을 비교 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2-1 공시재료

실험용 목질마루판의 종류는, Table 1에 나타난 것과 같이, 합판마루판 12종(국산제품 8종, 수입제품 4종), 강화마루판(국산제품 2종, 수입제품 7종) 9종, 원목마루판 4종(수입제품) 등 총 25종으로서, 국내에서 생산하거나 수입, 유통되고 있는 제품이다. 여기에서 복합마루판이란 상업적으로 강화마루판으로 통용되고 있으며, KS규격의 치장목질플로어링보드(KS F 3126)에 포함되어 있는 마루판을 일컫는다.

2-2 시험방법

목질마루판에 대한 시험은 Table 2에 나타난 것과 같이 항목에 따라 KS, JIS, ASTM 규격의 시험방법에 의하여 실시하였으며, 규격이외의 시험항목은 관련 목질제품 시험방법에 의하였다.

2-2-1 표면경도측정

표면경도는 ASTM E 140에 의해 측정하였으며 경도시험기(Auto Rockwell Superfial Hardness Tester)를 이용하여 측정하였다. 시험하중 7kgf로 직경 12.7mm(H_RY scale)의 강구를 압입하여 측정하였다. 시험편의 크기는 100×100mm, 두께 8.0mm로 사용하였다.

2-2-2 내마모성

내마모성은 JIS K 5400을 적용하여 측정하였으며 마모시험기(TABER 5130 Abraser)를 이용하여 1200회전을 실시한 후 마모량(100회전당)을 산출하였다. 마모륜의 마모지는 크기는 12.6mm×160.0mm(AA180# 마모지)로 재단한 후, 접착력이 강한 양면테이프(폭 160 mm 이상)로 접착하여 시험하였으며, 200회전마다 새로운 마모지로 교체한 후 시험하였다. 100회전당 평균 마모량은 아래 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$\text{마모량 (g/100회전)} = (A-B) \times R/N \text{ ----(1)}$$

A : 시험전 시험편의 질량

B : 시험후 시험편의 질량

R : 규격회전수

N : 시험회전수

2-2-3 표면거칠음

표면거칠음을 측정하기 위해 표면거칠기 측정장치(Analyzer for SurfTest 402)를 이용하여 R_a (Average roughness), R_z (Mean peak-to-valley height)와 R_{max} (maximum individual peak-to-valley height)를 측정하였다.

2-2-3 내한·내습열성시험

내한성 시험은 KS F 3111의 내한성 시험 기준에 의하여 실시하였으며 시험편을 80±3℃의 항온기에서 2시간 방치시킨 다음 -20±3℃의 항온기에서 2시간 방치시키는 과정을 2회 반복하여 실온에 도달할 때까지 방치한 후 표면상태를 평가하였다. 내한성 시험 평가는 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 광택저하 등에 대하여 조사하였다.

내습열성 시험은 KS F 3111의 습열성 시험 기준에 의하여 실시하였으며 시험편을 수평으로 고정된 다음 시험편 표면에 끓는 물

을 떨어뜨리고 그 위에 0.5ℓ의 끓는 물을 넣은 1ℓ 용량의 알루미늄 용기를 20분간 방치한 다음 마른 수건으로 닦아내고 24시간 방치한 후 시험편의 표면상태를 평가하였다.

2-2-4 할렬시험

도막할렬시험은 가능한 뒷면 홈 가공이 되지 않은 부분에서 시험편을 채취하여 시험하였으며 입업시험요령의 할렬반복시험(도막할렬 A시험)을 기준으로 실시하였다. 시험편을 23℃, 95% RH 항온항습실에서 24시간 흡습 시킨 후 -20℃의 저온항온기에서 5시간 냉각시켜서 60℃의 건조기에서 19시간 건조시켰으며 이것을 1 cycle로 하여 30 cycle까지 시험한 후 시험편의 표면상태를 평가하였다.

2-2-5 촉진내후성시험

목질마루판 도막의 내후성을 평가하기 위해 Atlas Electronic Device Co. (Ci 3000^{plus}, USA)의 Weather-O-Meter를 사용하여 XENOX arc 등을 사용한 시험방법 ASTM G 26-a 및 C 방식을 채용한 촉진내후성시험을 하였다. 이 장치는 자연 일광의 분광 분포(S.P.D.)와 거의 흡사한 수냉식 크세논 아크(Xenon Arc)방식을 이용하였으므로 광량은 0.35W/m²이었다.

Chamber내의 시험조건은 상대습도 50%, 온도 42℃로 조정하여 시험하였으며 일정시간마다 Weather-O-Meter로부터 시험편을 꺼내어 내후성 평가를 실시하였다. 전체의 폭로시간은 3000분 이었다.

Weather-O-meter내에서 시험편이 폭로되는 시간에 따른 도막의 성질 및 특성 변화를 평가하기 위해 도막색차 변화를 측정하였다.

도막의 색차 변화는 색차계(HunterLab-D25, Lamp/9.6v)를 사용하여 색차(ΔE), 명도(L), 색도좌표(a, b)를 측정하였다. L, a, b 표색계는 Hunter에 의해 고안된 것으로 색차(ΔE)는 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta E = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2} \text{ ----- (2)}$$

L: 명도(Lightness), a, b : 색도좌표 (Chromaticity coordinate)
 $\Delta L = L_t - L_i$, $\Delta a = a_t - a_i$, $\Delta b = b_t - b_i$ (i : 초기값, t : 일정시간(t)에서 값)
 +a : 붉은색(redness) -a : 녹색(greenness)
 +b : 노랑색(yellowness) -b : 파랑색(blueness)

3. 결과 및 고찰

3-1 도막두께

마루판의 도막두께는 초음파 도막두께 측정기(Positector 100)를 사용하여 측정하였으며 Table 3에 나타난 것과 같다.

합판마루판의 경우, 평균 도막두께는 국산 마루판 31.0 μ m, 수입마루판 45.0 μ m로 나타났으며, 수입 원목마루판의 경우 평균 도막두께는 51.0 μ m로 각각 나타나 수입마루판의 도막두께가 높았으며, 합판마루판보다 원목마루판의 도막두께가 크게 나타났다.

3-2 표면물성

목질마루판의 표면경도(HrY) 측정결과는 Table 4에 나타내었으며 대체로 복합마루판의 표면경도가 합판마루판 및 원목마루판 보다 높은 것으로 나타났다. 자세히 보면 국산 합판마루판의 평균 표면 경도는 59.3 HrY, 수입 합판마루판은 57.3 HrY로 거의 비슷한 경도를 나타냈으며 국산 복합마루판은 90.2 HrY, 수입 복합 마루판은 83.6 HrY 로 나타났다. 또한 수입 원목마루판은 65.8HrY 나타났다.

목질마루판의 내마모성 측정결과는 Table 5에 나타내었으며 표면경도(HrY) 측정결과 같이 대체로 복합마루판의 내마모성이 합판마루판 및 원목마루판 보다 높은 것으로 나타났다. 국산 합판마루판의 평균 마모량은 0.099g/100회전, 수입 합판마루판은 0.075g/100회전으로 수입 합판 마루판의 내마모성이 더 우수한 것으로 나타났으며 국산

복합마루판은 0.019g/100회전, 수입 강화 마루판은 0.016g/100회전으로 나타나, 비슷한 내마모성을 보여주었다. 또한 수입 원목마루판은 0.091g/100회전으로 나타나 국산 합판마루판과 비슷한 경향성을 보여주었다.

또한 목질마루판의 표면 거칠음을 측정하기 위해 표면거칠음 측정장치를 이용하여 R_a , R_z 와 R_{max} 를 조사하였으며 Table 6과 같이 나타났다. 시험결과 원목마루판에 비해 합판마루판 및 복합마루판이 더 거친 표면을 나타냈으며, 합판마루판과 복합마루판이 거의 유사한 거칠기를 나타냈다.

3-3 내한성 및 습열성

내한성 시험은 KS F 3111의 내한성 시험 기준에 의하여 실시하였으며 Table 7에 나타난 것과 같이 내한성 시험 후 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 현저한 광택저하 등의 조사에서 모두 이상이 없는 것으로 나타났다. 또한 습열성 시험의 경우 KS F 3111의 습열성 시험 기준에 의하여 실시하였으며 내한성 시험결과와 동일하게 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 현저한 광택저하 등의 조사에서 모두 이상 없는 것으로 나타났다.

3-4 표면할렬

본 시험은 저온에서 목질마루판의 도막성능을 평가하기 위하여 할렬 반복처리에 의한 도막할렬을 검토하였으며 측정결과 합판마루판의 경우 다수의 할렬이 발생하였고, 원목마루판의 경우 미미한 할렬이 있었으나 대부분의 조사에서 부풀음, 벗겨짐 및 광택저하는

뚜렷하게 나타나지 않았다.

3-5 촉진내후성

목질마루판의 촉진 내후성 측정결과는 Figure 1에 나타내었으며 색차변화(ΔE)는 Xenon arc light의 폭로시간이 경과함에 따라서 증가하는 경향을 보여주었으나 1800분 폭로시간 이후에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

도막에 빛을 조사했을 경우 도막표면에서 반사하는 빛, 도막을 투과하는 빛 및 도막에 흡수되는 빛의 3가지로 구분되는데 도막에 변화를 일으키게 하는 것은 흡수된 빛에 의해서이며 흡수광의 에너지가 도막성분의 해리 에너지보다 클 때 도막은 붕괴, 열화 되게 된다. 일반적으로 380~780nm의 가시광선은 에너지가 작기 때문에 도막에 흡수되어도 큰 영향력을 발휘하지 못하지만 10~380nm의 자외선(UV)은 비교적 큰 에너지를 갖기 때문에 도막성분을 해리시킬 수 있을 것이다. 예를 들면 300nm UV의 에너지는 약 95 kcal/mol정도이며 이 에너지는 대부분의 고분자결합에너지보다 큰 것으로 보고되고 있다. 도막의 열화는 태양광선(UV 등)만에 의한 영향뿐만 아니라 대기중의 산소가 같이 작용해서 도막을 열화시키며 광산화에 의한 도막의 열화는 도막 성분속의 -O-O-, C-Cl, C-N, C-O, C-C, C-H와 같은 결합에서 일어나기 쉽다.

또한 물질이 어떤 색을 갖는 것은 전자가 그 원인이지만 다양한 색을 갖는 것은 그 물질의 화학구조와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다. 색에 관계되는 원자단에는 발색단과 조색단이 있으며 UV조사에 따라 도막내의 고분자 결합구조가 파괴되어 발색단과 조색단을 발생시켜 변색을 일으킬 수 있다. 발색단(chromophores)에는 -N=N-(azo group), -NO₂(nitro group), >C=C<(ethenyl group), >C=O(carbonyl group), -N=O(nitroso group) 등으로서 방향환, 예를

들면 벤젠환 또는 하나 그이상의 복잡한 환 구조와 결합하고 있으며, 조색단은 -OH(hydroxyl group), -NH₂(primary amino group), -NR₂(tertiary amino group), -OCH₃(methoxyl group), -NHR (secondary amino group), -Cl (chloro group)등과 같이 발색단(auxochromes)에 결합하여 열은색과 짙은색의 효과를 나타내는 작용기를 말한다.

4. 결 론

국내에서 널리 유통되고 있는 합판마루판 12종, 복합마루판 9종, 원목마루판 4종 등 총 25종을 대상으로 표면경도, 내마모성, 표면거칠음, 내한·내습열성, 할렬시험 및 촉진내후성시험을 하였다. 표면경도, 내마모성의 시험결과 복합마루판이 다른 제품에 비해 다소 높은 값을 보여주었으며 표면거칠음 시험결과 평균거칠음(R_a)은 수입 복합마루판이 1.34 μ m로 가장 높고, 수입 원목마루판이 0.62 μ m로 가장 낮게 나타났다.

내한·내습열성시험 결과 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐 및 뚜렷한 광택저하 등이 나타나지 않았으며, 할렬시험 결과 합판마루판의 경우 다수의 할렬이 발생하였고, 원목마루판의 경우 미미하였지만 할렬이 있었으나 대부분의 조사에서 부풀음, 벗겨짐 및 광택저하는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 또한 목질마루판의 촉진 내후성 측정결과 색차변화 (ΔE)는 Xenon arc light의 조사시간이 경과함에 따라서 증가하는 경향을 보여주었으나 1800분 폭로시간 이후에서는 큰 변화가 없었다.

감사의 글

본 연구를 위해 많은 도움을 주신 조광페인트(주) 기술연구소 이경인 차장님, 이현식 과장님, 이건산업(주) 기술연구소 직원들께 감사를 드립니다.

5. 참고문헌

1. 박상범. 2000. 낙엽송 마루판재의 표면강화 처리기술 개발(II). 목재공학 28(1): 28~35
2. 박종영, 조재성. 1997. 목질판재료 및 목질 마루판의 특성 평가(I). 한국목재공학회 97학술 발표논문집 : 63~73
3. 이병후, 김현중, 김종인, 김재성, 박종영. 2001. 마루판용 UV경화형 우레탄 아크릴 계 도료의 도막성능. 2001 추계학술발표논문집 B-18 : 107~109
4. 정연집, 엄영근, 윤형운. 2000. 마루바닥재. WIT 컨설팅. p. 13~324
5. 한국산업규격. 2001. 무늬목치장 합판플로어링보드. KS F 3111
6. 한국산업규격. 2001. 치장 목질플로어링보드. KS F 3126
7. American Society For Testing & Maerials. 1997. Standard Hardness Conversion Tables for Metals. ASTM E 140
8. Hamid, H. S. 2000. Handbook of Polymer Degradation, Marcel Dekker, Now York
9. Hiziroglu S. 1996. Surface roughness analysis of wood composites : a stylus method. Forest Prod. J. 46(7/8): 67-72
10. Japanese Standards Association. 1990. JIS K 5400-90
11. Kelen T. 1983. Polymer degradation. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York
12. Kim, H.-J., B. H. Lee. 2001. Surface Visco-elastic Properties of Coated Film of UV-Curable Polyurethane Coatings for Wood Flooring. Abstracts of the 51st Annual Meeting of the Japan Wood Research Society : 595
13. Lemaster, R. L. and Beall F. C. 1996. The use of an optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. Forest Prod. J. 46(11/12): 73-78
14. Turner, G. P. A. 1988. Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology. Chapman and Hall, New York

<Table 00> & <Fig. 00>

<Table 1> Wood-based flooring for test

<Table 2> Test lists for wood-based flooring

<Table 3> Film thickness for wood-based flooring

<Table 4> Auto Rockwell superficial hardness ($H_{R}Y$) for wood-based flooring

<Table 5> Abrasion weight for wood-based flooring

<Table 6> Film roughness for wood-based flooring

<Table 7> Cold resistance and moist-heat resistance for wood-based flooring

Table 1.

Flooring type		Decorated veneer	Substrate
Plywood	Domestic	Maple, Oak, Beech, Cherry	Plywood
	Import	Oak, Ash, Beech, Maple	Plywood
Laminate	Domestic	LPL ^{a)}	MDF
	Import	LPL	PB, MDF
Solid wood	Import	Maple, Cherry, Beech, Ash	Plywood, Oak + Plywood

^{a)} LPL : Low-pressure laminate

Table 2.

Test item		Flooring type		
		Plywood	Laminate	Solid wood
Physical test	Hardness	○ ^{a)}	○	○
	Abrasion resistance	○	○	○
	Roughness	○	○	○
Accelerated test	Cold resistance	○	○	○
	Moist-heat resistance	○	○	○
	Wet-cold-dry cycle test	○	-	○
	Accelerated ^{b)} weathering test	○	○	○

^{a)} ○ : measured in this study

^{b)} Accelerated : (Xenon arc) weathering test

Table 3.

Flooring type		Film thickness (μm)		Average film thickness (μm)
		Min	Max	
Plywood	Domestic	24.0	41.0	31.0(6) ^{a)}
	Imported	33.0	60.0	45.0(11)
Solid wood	Imported	31.0	70.0	51.0(15)

^{a)} Numbers in parentheses are standard deviation

Table 4.

Flooring type		Auto rockwell superficial hardness (H _R Y)		Average auto rockwell superficial hardness (H _R Y)
		Min	Max	
Plywood	Domestic	47.3	77.3	59.3(9.1) ^{a)}
	Imported	46.7	65.5	57.3(8.1)
Laminate	Domestic	89.8	89.7	90.2(0.7)
	Imported	74.9	95.1	83.6(9.4)
Solid wood	Imported	31.0	70.0	65.8(5.3)

^{a)} Numbers in parentheses are standard deviation

Fig. 5

Flooring type		Abrasion weight (g/100 revolutions)		Average abrasion weight (g/100 revolutions)
		Min	Max	
Plywood	Domestic	0.904	1.395	0.099(0.013) ^{a)}
	Imported	0.827	1.105	0.075(0.011)
Laminate	Domestic	0.018	0.020	0.019(0.002)
	Imported	0.116	1.525	0.016(0.005)
Solid wood	Imported	0.068	1.257	0.091(0.017)

^{a)} Numbers in parentheses are standard deviation

Table 6.

Flooring type			Roughness (μm)		Average roughness (μm)
			Min	Max	
Plywood	Domestic	$R_a^{\text{a)}$	0.62	1.74	1.09(0.43) ^{d)}
		$R_z^{\text{b)}$	2.62	8.07	4.25(1.80)
		$R_{\text{max}}^{\text{c)}$	3.57	10.50	5.53(2.29)
	Imported	R_a	0.83	1.78	1.22(0.41)
		R_z	3.87	6.25	4.85(1.18)
		R_{max}	7.98	4.85	6.29(0.46)
Laminate	Domestic	R_a	1.58	0.79	1.19(0.56)
		R_z	3.27	6.60	4.98(2.36)
		R_{max}	4.95	9.73	7.34(3.38)
	Imported	R_a	0.67	1.97	1.34(0.49)
		R_z	2.53	7.45	5.31(1.72)
		R_{max}	3.22	10.30	7.43(2.50)
Solid wood	Imported	R_a	0.08	1.63	0.62(0.69)
		R_z	1.47	6.45	3.31(2.23)
		R_{max}	1.77	8.00	4.11(0.72)

$R_a^{\text{a)}$ = center-line-average surface roughness

$R_z^{\text{b)}$ = mean peak-to-valley height

$R_{\text{max}}^{\text{c)}$ = maximum individual peak-to-valley height

^{d)} Numbers in parentheses are standard deviation

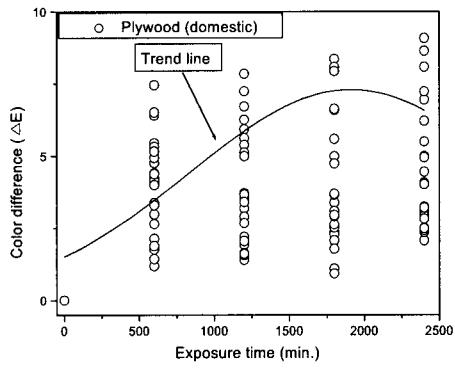
Table 7.

Flooring type		size (cm)	Accelerated test ^{a)}	
			Cold resistance	Moist heat resistance
Plywood	Domestic	7.5×15	- No crack - No blistering	- No crack - No blistering
	Imported	7.5×15		
Laminate	Domestic	7.5×15	- No peeling - No gloss loss	- No peeling - No gloss loss
	Imported	7.5×15		
Solid wood	Imported	7.5×15		

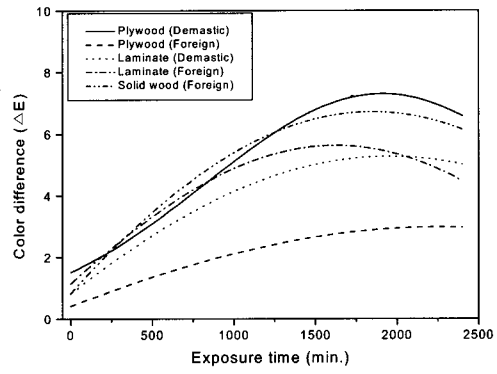
^{a)} All tests were measured by KS F 3111

<Fig. 1> Color change of wood-based flooring as a function of Xenon arc exposure time

Fig. 1



a) Trend for color difference



b) Color difference