

# 마이크로파 가열건조법에 의한 압축 구조용 목재의 방염 및 내구성

## Flame Resistance and Durability of Compressed Structural Wood through Microwave Heat Drying Method

임 남 기\*

Lim, Nam-Gi\*

Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Nam-Gu, Busan, 608-711, Korea

### Abstract

As the result of implementing a treated material test and durability test after quickly drying S.P.F. species, a type of softwood structural material, within a short period time, soaking it in liquid phosphate flame proof agent for an hour, microwave heating it, and compressing it from 3.8cm to 1cm, when setting the appropriate heating time of microwave heating at 7 minutes at 5kW, it is observed that it satisfies the target water content (4~5%). It is shown that in a water content measurement of the wood that is compressed after being softened by soaking in the flame proof agent, drying and heating at 3kW for 9 minutes, all specimens satisfied 12~14%, the appropriate water content for exterior wood. Also, it is shown that in terms of the flame performance obtained through a flame resistance treatment of the compressed wood and a treated material test, the specimen soaked in flame proof agent for 30 minutes was the most excellent, and that the performance test result of the compressed wood in all areas, such as nail withdrawal resistance, compression, bending strength, and shearing strength, were all improved in their mechanical features to twice to three times better performances.

Keywords : Flame Resistant Wood, Compressed Wood, Microwave, Structural Wood

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 국내 목재 수요 증가와 함께 다양한 실내외 목제품과 구조용 목재가 대량으로 수입생산유통되고 있으며 이에 따라 사용성과 내구성, 유지관리성 등 목재의 본질적 품질 향상 요구도 함께 증가되고 있다[1]. 특히 구조용 목재의 경우 화재저항성 향상 및 내구성 증대와 관련한 사항이 주를 이루고 있지만 대부분 열화요인에 무방비로 노출되어 있어 이에 대한 실질적인 대안이 필요한 실정이다.

한편 경량목조주택에 있어 구조용 목재는 화재 저항을 위한 방염처리를 실시하지 않은 채 석고보드의 추가 시공으로 구조물 내화처리를 실시하고 있으며, 복층 이상의 실내 콘크리트 온돌마루설치 등에 따른 구조물 자중 증가와 사용상 결함(건조수축, 뒤틀림 등)에 의한 내구성 감소 등 화재와 사용성의 문제가 지속적으로 제기되고 있는 실정이다. 따라서 경량목조주택의 주재료인 구조용 목재의 본질적 품질향상을 위해 시간과 공정단축이 가능한 방염처리로 화재저항에 대한 성능향상과 내구성 향상을 위해 고밀화된[2] 고강도 구조용 방염 목재 사용이 필수적일 것이다.

이에 본 연구에서는 마이크로파로 급속 가열건조된 일반 구조용 침엽수 규격재를 액상 인산염계 방염약제에 침지시켜 목재 내부로 방염성분의 침투를 자연적으로 유도하여 화재저항성을 확보한다. 또한 이를 내구성 향상 목적으로 일정 두께로 압축시킨 후 국내 표준 시험기준에 따른 역학적 특성 분석을 실시하여 복합적으로 내구성능이 향상된

Received : February 7, 2011

Revision received : April 4, 2011

Accepted : April 8, 2011

\* Corresponding author : Lim, Nam-Gi

[Tel: 82-51-629-2463, E-mail: ing@tu.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

구조용 압축 방염 목재 개발을 위한 기초적 자료를 도출하고자 한다.

**1.2 연구방법 및 범위**

침엽수 구조재를 방염 시험평가에 적합한 크기로 제재 한 후 전기저항식 수분 측정기로 초기 함수율을 측정하였으며, 마이크로파 장비를 통하여 적정 가열시간 및 가열 후 함수율을 도출한다. 건조된 목재는 액상의 인산염계 방염약제에 시간별로 침지시켜 액상이 목재 내부로 자연침투가 되도록 유도하며, 침지 후 건조된 목재를 다시 마이크로파 건조를 실시하여 목재 내부 방염약제 성분 이외의 수분을 제거한다. 가열로 인해 연화된 상태의 목재를 일정 두께로 압축시켜 방염성능 시험을 실시하며 가장 뛰어난 방염성능을 나타내는 침지시간대를 도출하고 이를 대상으로 국내 표준시험 규격[3]에 적합한 크기로 가공 하여 압축 방염 목재의 역학적 성능시험을 실시한다.

**2. 실험개요 및 순서**

**2.1 실험 조건**

목재의 수축팽윤 특성을 고려하여 외기온도와 습도 등이 일정한 실내에서 실험을 진행하였으며[4] 시험편의 방염 및 압축처리를 위해 1, 2차 마이크로파 가열에 따른 목표함수율과 온도를 설정하였다. 각 실험 조건 및 압축에 따른 시험편 부피 변화 기준은 Table 1과 같다.

**2.2 방염 후 처리물품 시험 및 내구성 측정**

방염성능 측정은 “소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제2항”에 의거하여 방염 후 처리물품 시험을 실시하였으며 목재의 방염성능 기준은 Table 2, 시험방법은 Table 3과 같다. 압축된 목재의 내구성 측정은 경도, 못뽑기, 압축, 휨, 전단강도를 시험하며 시험 관련 표준은 Table 4와 같다.

**2.3 액상 인산염계 방염약제 및 구조용 침엽수**

액상의 인산염계 방염약제(이하 방염약제)의 색상은 무광 투명하며 방염대상물품에 방염처리를 실시할 경우 무늬나 질감이 그대로 표현 가능하다. 방염약제의 구성 성분은 Table 5와 같다. 사용 수종의 경우 경량목조주택에서 가장 많은 사용량을 나타내고 있는 S.P.F(Sprus, Pine, Fir) 혼

합 수종을 사용하였다.[5] 이는 생장이 빨라 수급이 쉽고 값이 저렴하며 환경의 변화에 대하여 물리역학적으로 안정된 상태를 유지할 수 있는 것이 장점이다. S.P.F 수종의 물리 및 역학적 특성은 Table 6과 같다.

**Table 1. Experimental Condition**

Ambient environment	Temperature(°C)	23~27
	Humidity(%)	55~85
Microwave Drying	1st Goal Water Content(%)	4~5
	2nd Goal Water Content(%)	10~12
	Goal Temperature(°C)	80~90
Specimen Volume	Before Compression	29×19×3.8cm = 2 094cm <sup>3</sup>
	After Compression	29×19×2.8cm = 1 543cm <sup>3</sup>
Measurement Value	Mean Value of 10 Specimens	

**Table 2. Standards of Wood Flame Resistant Performance**

After Flame Time	Within 10 sec
After Growing Time	Withing 30 sec
Char Area	Within 50cm <sup>2</sup>
Char Length	Within 20cm

**Table 3. Flame Resistant Performance Test Method**

Specimen Dimension	29×19cm
Flame Length	6.5cm
Heating Time	2 min
After Flame Time	after flame is removed until flame stops
After Growing Time	after flame stops, until smoke is completely removed
Char Area	measure the longest straight length at char area
Char Length	area calculation after recording char area

**Table 4. Wood Durability Measurement**

Wood Hardness Test Method	KS F 2212
Test Method for Withdrawal Resistance of Wire Nail of Wood	KS F ISO 9087
Wood Compression Test Method	KS F 2206
Wood Bending Strength Test Method	KS F 2208
Wood Shearing Strength Test Method	KS F 2209

**Table 5. Chemical Configuration of Phosphate Flame Proof Agent**

Components	Chemical Formula
Monobasic Sodium Phosphate	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O
Dibasic Ammonium Phosphate	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>
Borax	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O
Boric acid	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Water (thinner)	H <sub>2</sub> O

Table 6. Physical and Mechanical Features of S.P.F.

Division	Air Dry Density	Shrinkage (%)			Bending strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Shearing strength (MPa)
		Radial direction	Tangent direction	Volume shrinkage			
Spruce	0.42	3.9	7.1	11.7	70.3	40.1	7.5
Pine	0.47	3.9	6.5	10.5	70.4	40.3	7.4
Fir	0.43	4.1	7.8	11.4	71.4	38.8	8.1
Average	0.44	4.0	7.1	11.2	70.7	39.7	7.7

### 2.4 마이크로파 가열 장비 및 연소시험 장치

마이크로파 가열 장비는 1~6kW 까지 출력 조절이 가능하며 목재 종류나 건조전의 함수율 별로 적정 출력과 건조시간을 추정할 수 있도록 제조된 장비이다. 소형이므로 설치공간 확보가 용이하며, 기존의 목재 건조기에 비하여 유지비용이 저렴한 것이 장점이다. 2.450±30MHz 대의 주파수를 사용하며 정격전압은 480V로써 출력안정기(A.V.R)를 설치하여 안정적인 사용이 가능하다. 목재 방염시험을 위해 사용한 목재 연소시험 장치는 실험여건상 Figure 2와 같이 KS F 2819에 준하는 45° 메켈버너 시험장치를 방염 성능 시험 측정 기준에 부합하도록 제작하여 사용하였으며 시험에 사용한 연료는 KS M 2150(액화석유가스) 제4호에 적합한 것으로 하였다.

### 2.5 실험순서

방염 후 처리물품 시험 기준에 적합한 크기로 가공 후 최초 함수율 및 질량을 기록한 다음, 마이크로파로 시험편의 적정 함수율까지 저하시키는데 필요한 가열시간과 출력을 도출한다.[6] 도출된 가열시간과 출력에 따라 가열 후 건조된 시험편의 함수율과 질량을 측정 후 방염약제에 10, 20, 30분 동안 침지시키며 침지 후 함수율 변화와 질량을 측정한다. 침지시간별 방염약제 함유량을 계산하며 침지 후 건조된 시험편을 마이크로파로 2차 가열 직후 Table 1과 같이 압축된 상태로 1시간 방치한다. 방염 시험을 통하여 가장 우수한 성능을 나타내는 시험편을 선정 후 KS 표준에 준한 시험을 실시한다. 실험 순서는 Figure 3과 같다.

## 3. 실험결과

### 3.1 1차 마이크로파 가열 건조스케줄

1차 마이크로파 건조스케줄을 나타낸 결과는 Table 7 및 Figure 4, 5와 같다. 마이크로파 1차 가열 시 출력은 3, 4,

5kW로 고정하였으며 저출력일수록 가열시간을 높게 설정하였다. 이는 시험편의 건조 목표 함수율 4~5%를 만족하며 가열 시간에 따라 탄화되지 않는 범위에서 경제적인 건조스케줄을 도출하기 위함이다.[7]

5kW 7분 가열 시험편의 경우 함수율 저하는 3, 4kW 보다 높게 나타났으며 가열시간은 약 50% 절약 가능한 것으로 나타났다. 또한 건조 목표 함수율(4~5%)도 만족하는 것으로 나타났으며 가장 많은 질량감소량을 나타내었다. 이에 Table 1과 같은 압축 전 상태의 목재일 경우 마이크로파 1차 가열의 적정 건조스케줄은 함수율 감소량이 높으며 출력 대비 가열시간이 적정한 5kW 7분으로 설정하였다.



Figure 1. Microwave Dryer

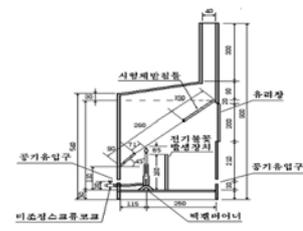


Figure 2. Combustion Test Apparatus(45° Meckel Burner)

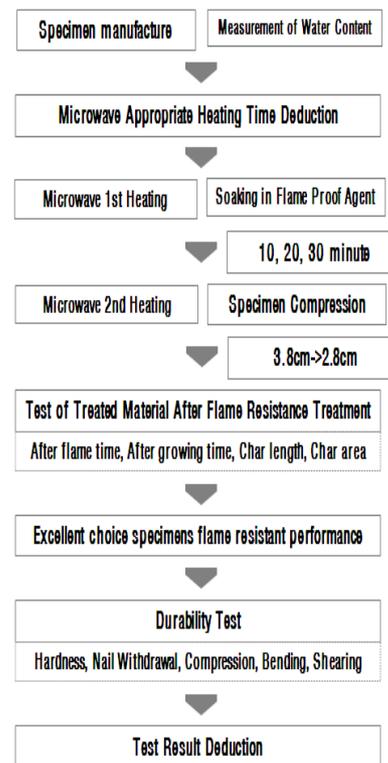


Figure 3. Flame Proof Treated Structural Wood Experiment Procedure

Table 7. 1<sup>st</sup> Microwave Heat Drying Schedule

Out put (kW)	Heating time (min)	Before heating		After heating		Reduction	
		Water content (%)	Mass (g)	Water content (%)	Mass (g)	Water content (%)	Mass (g)
3	15	10.2	829.4	5.7	749.9	4.5	79.5
4	13	10.8	837.0	5.3	751.8	5.5	85.2
5	7	10.4	826.9	4.1	731.1	6.3	95.8

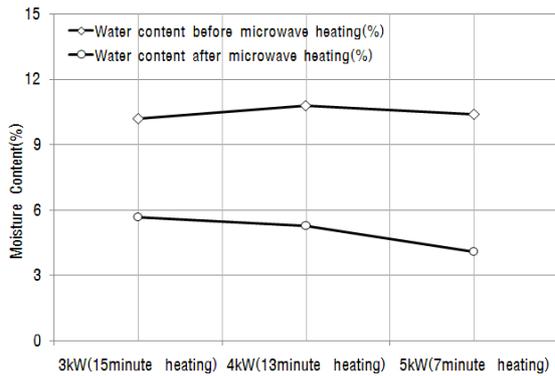


Figure 4. Water Content Change Before and After 1<sup>st</sup> Microwave Heating

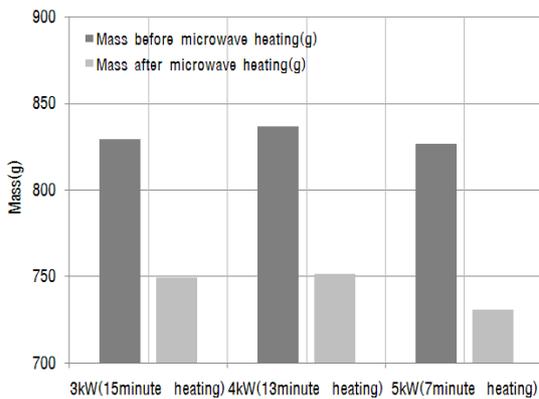


Figure 5. Mass Change Before and After 1<sup>st</sup> Microwave Heating

3.2 2차 마이크로파 가열 건조스케줄

2차 가열에 따른 마이크로파 출력 및 가열시간과 함수율 및 목재 가열 온도는 Table 8과 같다.

1차 마이크로파 가열 후 방염약제에 침지 후 적정건조상태의 시험편을 만들기 위한 2차 건조에서는 물성변화 최소화를 위해 저출력의 3kW로, 가열시간은 7, 9, 12분으로 설정 하였다. 그 결과 12분 가열 시험편의 경우 가열직후 상

대적으로 온도가 높고 많은 함수율 저하를 나타내어 목재 내부에 침투된 방염약제의 물성변화가 우려되지만 9분 가열 시험편의 경우 가열직후 온도와 함수율 변화에 따라 목재 섬유 안정적인 연화와 침투된 방염약제의 변화가 없는 품질유지가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 방염 처리된 시험편의 압축을 위한 2차 마이크로파 건조스케줄의 적정 출력 및 가열 시간은 3kW 9분으로 설정하였다.

Table 8. Water Content and Temperature Change After 2<sup>nd</sup> Microwave Heating

Specimen Volume (cm <sup>3</sup> )	Out put (kW)	Before heating		After heating	
		Heating time (min)	Initial Water Content (%)	Surface Temperature (°C)	Water Content (%)
2 094 (29×19×3.8cm)	3	7	15~16	62	12.9
		9	15~16	83	10.5
		12	15~16	94	8.6

3.3 침지시간 별 함수율 및 방염약제 함유량

마이크로파 1차 가열 및 방염약제 침지 후 함수율 변화와 2차 가열 후 압축된 시험편의 함수율과 질량 변화는 Table 9, 10 및 Figure 6, 7과 같다.

방염약제에 침지된 5kW 7분 가열 시험편의 경우 침지시간이 늘어날수록 높은 함수율을 나타내었으며 목재내부에 침투된 방염약제 잔존 수분의 과도한 증발을 방지하기 위하여 2차 가열시 3kW 9분간 저출력 지속 가열된 시험편 모

Table 9. Water Content Feature of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Microwave Heating Specimen

Division	Out put (kW)	Heating time (min)	Soaking time (min)	Before heating (%)	After heating (%)	After soaking in liquid flame proof agent (%)	After heating /compression (%)
1st M/W heating /soaking	5	7	10	10.5	4.2	16.1	
			20	10.4	4.5	16.5	-
			30	10.7	4.4	17.4	
2nd M/W heating /soaking	3	9		16.1			12.5
				16.5	-	-	13.1
				17.4			13.4

Table 10. Mass Change According to Microwave Heating and Flame Proof Agent Penetration (g)

Soaking time (min)	1st Microwave Heating		Mass increase	2nd Microwave Heating		Mass reduction (1st-2nd)
	Before soaking	After soaking		After heating and compression		
10	788.4	823.5	35.1	817.2		6.3
20	784.1	820.8	36.7	814.3		6.5
30	796.7	839.5	42.8	833.1		6.4

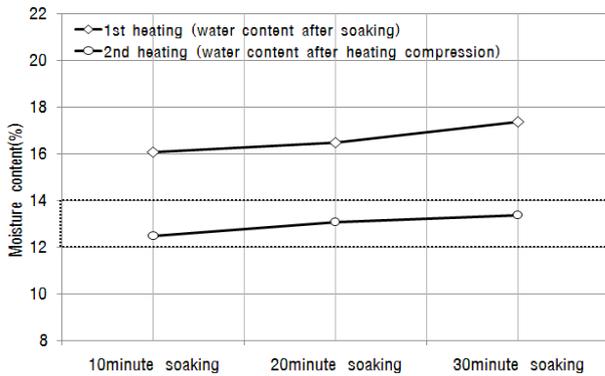


Figure 6. Water Content Change After 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Microwave Heating

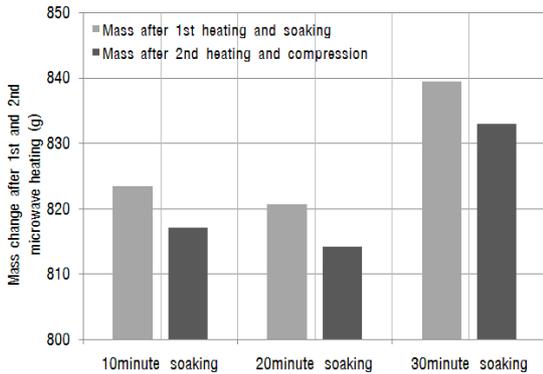


Figure 7. Mass Change After 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Microwave Heating

두 외부용으로 사용되는 구조용 목재의 적정 함수율인 12~14%의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

방염약제 함유량은 마이크로파 1차 가열 후 침지시간이 늘어날수록 증가되는 것으로 나타났는데 마이크로파 가열 후 시험편 가도관 내의 수분이동과 방염약제의 침투가 용이해 짐으로서 10분 침지 대비 30분 침지 시 20%이상의 함수

량이 증가된 것으로 사료된다.

2차 가열 후 압축된 시험편의 질량을 측정한 결과 방염약제 침지 후 시험편 대비 평균 6.4g의 질량이 감소되는 것으로 나타났지만 이는 2차 가열에 의한 약간의 방염약제 손실로 판단되며 방염약제의 구성 비율 중 가장 많은 수분의 증발이 대부분일 것이라 사료된다. 또한 압축된 목재 내에는 방염성능을 유지할 수 있는 순수 약제만이 목재와 같이 고밀회를 이룬 것으로 판단된다.

### 3.4 방염 후 처리물품 시험

마이크로파 건조 후 방염처리 압축 시험편의 방염성능 시험 결과는 Table 11 및 Figure 9, 10, 11과 같다.

잔염시간은 Plain 및 방염처리 압축 S.P.F 모두 10초 이내의 기준을 만족하는 것으로 나타났지만 20분, 30분 침지된 시험편은 잔염이 나타나지 않았다. 잔신시간은 Plain 및 방염처리 압축 S.P.F 모두 30초 이내에 포함되는 것으로 나타났으며 30분 동안 침지시킨 시험편은 불꽃 조사 후 연기가 일어나지 않는 것으로 나타났다. 탄화길이는 시험편 모두 20cm 이내에 포함되는 것으로 나타났으며 탄화면적은 Plain 대비 50% 이상의 감소를 나타냈으며 또한 침지시간이 늘어날수록 탄화면적은 줄어드는 것으로 나타났다.

이상 방염처리 압축 시험편의 방염성능은 전 조건에 있어 Plain 대비 성능이 우수한 것으로 나타났으며 액상의 방염약제는 건조된 목재 내의 빈 공극 속으로 균등히 침투되어 방염성능 향상에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 침지시간에 따른 방염성능은 30분 침지된 시험편이 가장 우수한 것으로 나타나 본 시험편과 같은 조건의 목재일 경우 방염약제 침지시간은 30분이 적정할 것으로 판단된다.

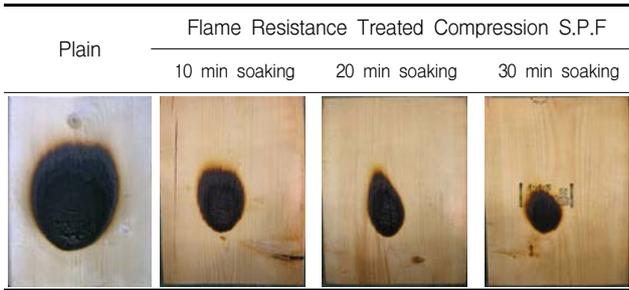
### 3.5 역학적 특성 시험 결과

#### 3.5.1 경도 및 못 뽑기 저항 시험 결과

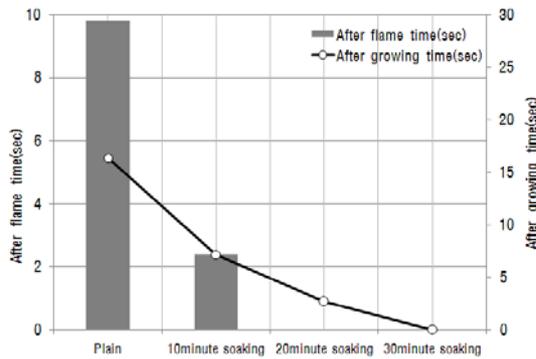
방염처리 압축 시험편의 경도 및 못 뽑기 저항 시험 결과는 Table 12, 13 및 Figure 12, 13, 14와 같다. 측정 결과 쇠구슬을 제거한 부분에 탄성회복이 있었으며 접선단면을 제외한 단면에서 약간의 갈라짐 현상만이 나타났다. 경도는 Plain에 비하여 접선단면은 62%, 방사단면은 60%, 횡단면은 23% 이상의 향상이 나타났다.

**Table 11. Result of Performance Test of Treated Material After Flame Resistance Treatment**

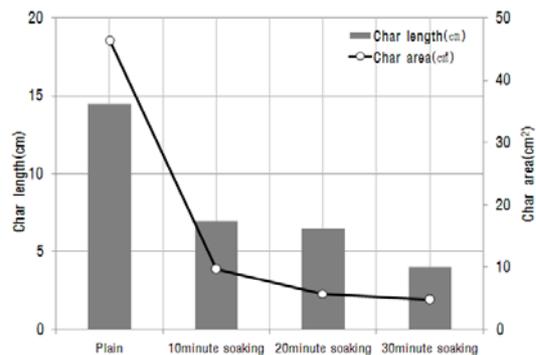
Division	Soaking time (min)	After lame time (sec)	After growing time (sec)	Char area (cm <sup>2</sup> )	Char length (cm)
Plain		9.8	16.4	14.5	46.3
Flame Resistance Treated	10	2.4	7.2	7.0	9.7
Compression S.P.F	20	-	2.7	6.5	5.8
	30	-	-	4.0	4.8



**Figure 9. Char Appearance After Flame Resistance Test**



**Figure 10. Flame Resistance Performance Comparison (After Flame Time, After Growing Time)**



**Figure 11. Flame Resistance Performance Comparison (Char Area, Char Length)**

이는 압축된 S.P.F의 표면 및 내부 섬유들의 결속이 Plain에 비하여 고밀화가 이루어졌기 때문에 사료된다. 못 뽑기 저항 시험은 시험편의 두께 차이를 감안하여 횡단면과 방사단면은 길이 5cm, 방사단면은 3cm의 못을 2/3씩 박아 넣어 못 뽑기 저항 시험을 실시하였다. 방염처리 압축 S.P.F의 접선단면 저항은 81[σ<sub>W</sub>]로써 42.6[σ<sub>W</sub>]의 Plain에 비하여 2배 정도의 저항성능 향상을 나타내었다. 방사단면도 접선단면과 비슷한 저항성능을 나타내었다. 하지만 횡단면의 경우 다른 두 단면에 비하여 저항성이 작게 나타났는데 수직으로 곧게 배열된 침엽수의 세포 및 조직상[8] 방사단면 및 접선단면에 비하여 못이 뽑히는 저항이 부족한 때문으로 사료된다.

**Table 12. Hardness Test Result of Flame Resistance Treated Compressed S.P.F.**

Division	Specimen dimension (cm)	Steel ball indentation speed (mm/mins)	Indentation length (mm)	Hardness[ <i>H<sub>c</sub></i> ] (MPa)		
				Tangent section	Radial section	Cross section
Plain	3×3×3.8			100.6	95.4	271.2
Flame Resistance Treated Compression S.P.F	3×3×2.8	0.5	0.32	272.6	236.6	353.0

**Table 13. Nail Withdrawal Resistance Test Result of Flame Resistance Treated Compressed S.P.F.**

Division	Specimen dimension (cm)	Ratio of loading (mm/mins)	Resistance (σ <sub>W</sub> )		
			Tangent section	Radial section	Cross section
Plain	15×5×3.8		42.6	65.3	47.5
Flame Resistance Treated Compression S.P.F	15×5×2.8	4	81.0	109.9	65.3



**Figure 12. After Durability Test of Flame Resistance Treated Compressed S.P.F.**

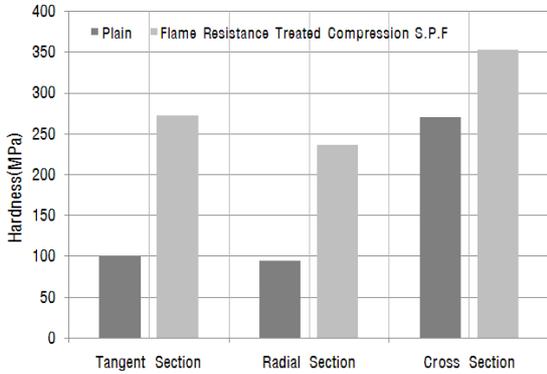


Figure 13. Hardness Test Result

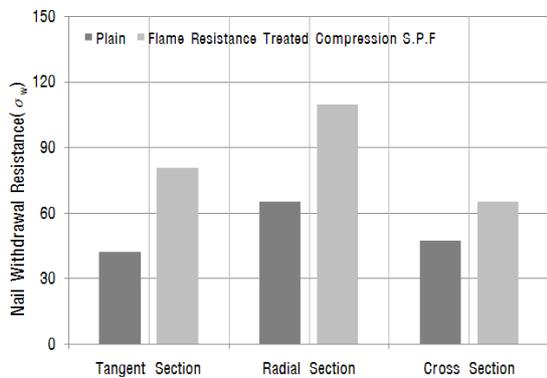


Figure 14. Result of Nail Withdrawal Resistance Test

### 3.5.2 압축 시험 결과

방염처리 압축 시험편의 압축시험(섬유직각방향) 결과는 Table 14 및 Figure 15와 같다. 구조용 부재 사용 시 섬유 방향(축방향)보다 섬유 직각 방향(횡방향)의 높은 이용율을 감안하여 본 시험에서는 섬유 직각 방향으로 압축 시험을 실시하였다. 시험 결과 Plain은 쉽게 압축변형이 일어났으며 낮은 강도를 나타내었지만 방염 처리된 압축 S.P.F는 시험 전 이미 압축이 되어있는 상태인 관계로 압축으로 인한 변형은 크게 나타나지 않았으며 강도는 Plain에 비하여 약 4배 가량 높은 압축강도 향상 효과를 나타내었다. 비례한도 응력은 압축강도에 비하여 큰 폭은 아니지만 방염처리 압축 S.P.F가 Plain보다 2.5배 정도의 응력 향상을 나타내었다. 이는 목재에 압축력이 가해질 경우 하중에 대한 변형율이 일차적으로 비례관계를 가지게 되는데 방염처리 압축 S.P.F의 경우 무거운 하중에도 수축율이 작은 상태에서 큰 응력의 비례관계가 형성이 되었다는 것을 알 수 있다. 또한 섬유 직각 방향에서의 압축 탄성 계수를 측정된 결과 방염처리

압축 S.P.F가 Plain에 비하여 3.5배 이상 높은 수치를 나타내었다. 따라서 방염 처리된 압축 S.P.F가 Plain에 비하여 탄성회복 및 응력에서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 판단된다. 한편 압축 시험 후 부분적으로 미소하게 갈라지는 현상이 발생하였는데 이는 압축시험 시 시험편 부피에 따른 최대밀도 범위를 벗어났기 때문으로 사료된다.

Table 14. Result of Compression Test of Flame Resistance Treated Compressed S.P.F.

Division	Specimen dimension (cm)	Ratio of loading (mm/mins)	Compression time (min)	Perpendicular to fibers(lateral)		
				Compressive strength (MPa)	Compressive proportional limit stress (MPa)	Elastic modulus of compressibility [ $E_c$ ]
Plain	2×5×3.8			13.6	8.6	14.3
Flame Resistance Treated Compression S.P.F	2×5×2.8	4	2	52.2	21.7	50.6

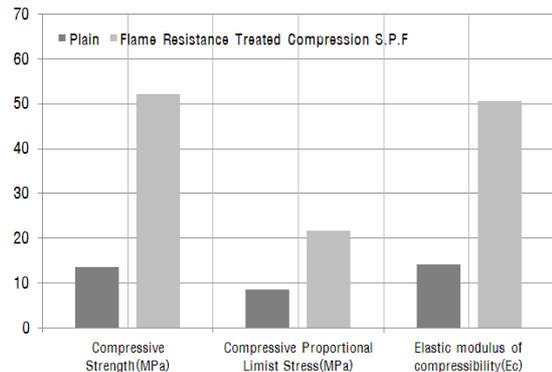


Figure 15. Compression Test Result

### 3.5.3 휨 및 전단 시험 결과

방염처리 압축 시험편의 휨 및 전단시험 결과는 Table 15 및 Figure 16, 17과 같다. 휨 시험의 파괴형상은 섬유 직각방향으로(하중의 가력방향) 일직선형태의 파괴형상으로 나타났으며 갑작스런 취성파괴의 성질이 강하게 나타났다. 전단시험의 파괴형상은 Plain의 경우 전단면적이 완전 탈락되었지만 10mm 압축 시험편은 완전탈락은 발생하지 않았다. 이는 압축으로 인한 섬유들 간의 조직 결성이 두터워져 응집된 것으로 섬유들의 조직 결성 치밀도 증가로 조직성이 두터워졌기 때문으로 사료된다.

상기 목재의 내구성 측정 결과 압축상태에 따라 고밀화된 목재의 단위밀도가 증가하게 되어 줄어드는 부피에 대한 세포

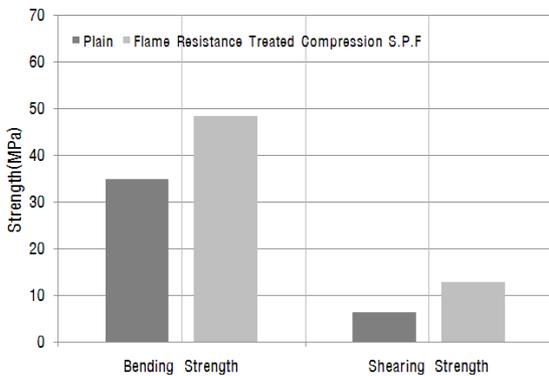
양이 많아져서 강도도 증가하게 되며 더욱 우수한 내구성을 발휘할 수 있게 된 것으로 판단된다.

**Table 15. Result of Bending and Shearing Test of Flame Resistance Treated Compressed S.P.F.**

Measuring Item	Measured part	Ratio of loading (mm/mins)	Compression time (min)	Plain	Flame Resistance Treated Compression S.P.F
Bending strength (MPa)	Perpendicular ar to fibers (tangent) direction	4	2	35.0	48.5
Shearing Strength (MPa)	Fiber (lateral) direction			6.4	13.0



a) Bending Break Behavior b) Shearing Break Behavior  
**Figure 16. Bending and Shearing Break Behavior**



**Figure 17. Bending and Shearing Test Result**

#### 4. 결 론

목조주택의 주요 구조재료인 침엽수 규격재(S.P.F)를 대상으로 마이크로파로 단시간에 가열·건조시켜 액상의 인산염계 방염약제에 시간별로 침지시킨 후 2차 마이크로파로 가열한 후 압축하여 생산된 시험체에 대한 방염처리물품 시험과 KS 표준에 의한 역학적 특성시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 마이크로파 적정 가열시간은 5kW에서 7분 동안 가열할 경우 초기 목표 함수율(4~5%)을 만족하는 것으로 나타났으며 방염약제 침지 후 압축을 위한 2차 가열시 3kW로 9분 가열할 경우 2차 목표 함수율(12~14%)의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 방염처리 후 압축된 시험편의 방염성능은 방염약제에 30분간 침지된 시험편이 가장 우수한 것으로 나타났으며 2차 마이크로파 가열시 질량 감소가 나타났지만 방염약제의 구성 비율 중 가장 높은 수분의 증발이 대부분일 것으로 사료되며 방염성능을 유지할 수 있는 순수 약제만이 압축된 목재와 함께 고밀화 되어 방염 성능 향상에 기여한 것으로 판단된다.
- 3) 방염처리 압축 시험편의 내구성 시험 결과 경도는 Plain 대비 접선단면과 방사단면은 60%, 횡단면은 23% 이상 성능이 향상되는 것으로 나타났으며 섬유 방향 압축 시험에서 강도는 4배, 비례한도 응력은 2.5배, 탄성계수는 3.5배, 휨강도는 1.3배, 못뽑기 저항과 전단강도는 2배 이상 향상되는 것으로 나타났다.

이상의 결과에 따라 목재의 복합적인 성능향상으로 본질적 품질향상 요구에 적합한 기능성 목재 개발이 가능할 것으로 판단된다. 이에 본 연구를 바탕으로 장기적 성능 및 인장, 충격 휨, 압축률에 따른 데이터 등을 축적한다면 보다 우수한 성능과 경제성 향상이 가능한 구조용 목재 개발을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 요 약

침엽수 구조재인 S.P.F 수종을 마이크로파로 단시간에 급속 건조시켜 액상의 인산염계 방염약제에 시간별로 침지시킨 후 2차 마이크로파 가열을 한 다음 3.8cm의 두께에서 1cm를 압축시켜 방염 후 처리물품 시험과 내구성 시험을 실시한 결과 1차 마이크로파 적정 가열시간은 5kW에서 7분 동안 가열할 경우 목표 함수율(4~5%)을 만족하는 것으로 나타났다. 인산염계 방염약제에 침지, 건조 후 3kW로 9분 동안 가열시켜 연화된 상태에서 압축된 목재의 함수율 측정결과 시험편 모두 외부용 목재의 적정 함수율인 12~14%의 범위를 만족하는 것으로 나타났다 또한 압축된 목재의 방염 후 처리물품 시험을 통한 방염성능은 방염약제에 30분간 침

---

지된 시험편이 가장 우수한 것으로 나타났으며 압축된 목재의 성능 시험 결과 경도, 못뽑기 저항, 압축, 휨강도, 전단강도 모두 약 2~3배 이상 역학적 특성이 향상되었다.

**키워드** : 방염목재, 압축목재, 마이크로파, 구조용 목재

## Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(No.2010-0012327)

## References

1. Lim NG, Domestic Architectural Wood Research and Current Situation of Industry and Advanced Wood Material Development Tendency, Journal of the Korea Institute of Building Construction 2010;10(6):6-15.
2. Lim NG, A Basic Study on Intensity Characteristics of Dimension Lumber of Coniferous Tree Heated by Microwave by Compressibility, Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure 2009;29(1):491-495.
3. Korea Industrial Standards, KS F 2201 General Rules of Wood Test Methods.
4. Park CW, Experimental Study for High Durability Structural Wood Treated with Microwave and Phosphate Flame Proof Agent [MA dissertation]. Busan: Tongmyung University; 2009.
5. Cho JM, Illustrated world wood, Goyang: Sunjin-munwhasa; 1998. p.85-97
6. Lim NG, Basic Study for Water Resistant, Flame Resistant Wood Development Applying Dielectric Heating Microwave, Proceedings of the Journal of Architectural Institute of Korea, Spring Conference 2008;8(1):35-42.
7. Lee PW, Wood Engineering, Seoul: Hyangmum; 1981. p.170
8. Um YG, Wood Encyclopedia, Seoul: Wood Korea; 2005. p.15