

마이크로파 가열 목재의 방염·방충 복합 보존처리 특성*¹

김종근*²·박철우*³·윤태호*²·임남기*^{3†}

Characteristics of Flame Retardent and Mothproof Conservation of Microwave Heated wood*¹

Chong-Gun Kim*²·Cheul-Woo Park*³·Tae-Ho Yoon*⁴·Nam-Gi Lim*^{5†}

요 약

목조주택의 골조 및 실내·외 마감용으로 사용되는 침엽수 구조재를 대상으로 방염·방충 보존처리가 혼합된 약제에 마이크로파 가열 후 열기를 지닌채 침지하여 복합적인 기능화를 부여한 후 목재의 건조 스케줄, 방염 시험에 의한 화재 저항성과 흰개미에 의한 내충해성, 혼합 약제의 침투성 분석을 실시한 결과 마이크로파로 3 kW로 5분 급속 가열된 시험편은 목표 온도 및 함수율을 만족하는 것으로 나타났으며, 인산염과 헤테로고리화합물계가 혼합된 약제에 120분 침지할 경우 가장 높은 중량 증가율을 가지는 것으로 나타났다. 또한 방염 후 처리 물질 시험을 실시한 결과 인산염과 혼합된 약제는 방염기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 흰개미 투입 후 7일 사충율을 확인한 결과 인산염과 헤테로고리화합물계 혼합 약제 침투 시험편의 경우 96% 이상 높은 사충율을 나타냄으로서 가장 우수한 특성을 가지는 것으로 나타났다. 목재 내부로 약제 침투성 분석을 실시한 결과 목재 세포내부 전면에 있어 혼합약제가 침투된 것으로 나타나 목재의 방염성 및 방충 저항성 등에서 우수한 성능의 발현은 혼합 약제의 균일한 침투때문으로 판단된다.

ABSTRACT

It was found that test piece heated rapidly by 3 kW microwave for 5 minutes satisfies the targeted temperature and the percentage of moisture content, and the highest rate of weight increase is obtained in case of 120 minute immersion in the mixture of phosphates and heterocyclic compounds, from the result of such analysis as: kiln drying schedule, flame retardent by flammability test, insect

*¹ 접수 2012년 6월 22일, 채택 2013년 3월 31일

*² 창원대학교 건축공학과 박사과정. Department of Architectural Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

*³ 동명대학교 건축공학과 공학 박사. Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 임남기(e-mail: ing@tu.ac.kr)

resistance by termites, and permeability of combined penetrant for the wood after assigning multifunctional finish by immersing conifer structural frame, which is used for the frame work of wooden house and indoor/outdoor finishing in flame retardant and insect repellent materials mixture with the remaining heat of microwave. In addition, after a test of flame retardent treated item, it was identified that every mixture of phosphates corresponds with the standards of flame retardent, and upon investigation of moritality of 7 days after putting termites, it was showed that test piece immersed in the mixture of phosphates and heterocyclic compounds has the best characteristics, showing over 96% of high moritality. From the analysis of inward permeability of combined penetrant for the wood, it was decided that excellent performance in the flame retardent and insect resistance of the wood revealed due to full penetration of combined penetrant as it was found that combined penetrant penetrated through the whole inner cells of the wood.

Keywords: microwave, softwood lumber, flame retardent, insect resistance, mixed chemicals for wood preserving

1. 서 론

목재를 건축재료로서 적절하고 합리적으로 사용하기 위해서는 목재가 가지는 특성을 충분히 활용할 수 있는 응용성을 확보해야만 좋은 재료로 발전시킬 수 있다. 또한 고층이나 콘크리트 건물로 인하여 스트레스를 받는 현대인들의 삶을 쾌적하게 하기 위해서는 목재의 우수한 특성을 위주로 한 재료 개발을 도모할 필요가 있다.

한편, 국내의 경우 지난 반세기 동안 콘크리트 및 철강재료의 의존성과 복잡한 유통단계 및 사용성 결여 등으로 인해 건축재료로서 목재의 사용은 감소하기만 하였다. 다행히 최근들어 새로운 목재료 개발과 목조건축에 대한 관심이 높아지면서 단지 구축 및 전통가옥을 보존하는 활동과 노력이 실행되고 있다. 하지만 일반적인 합성 건축재료를 오랫동안 접한 사용자나 건축주는 목재의 취약점이라 할 수 있는 화재·충해·뒤틀림·갈라짐 등에 대한 불신감이 팽배해 있는 실정[1]이므로, 이러한 문제 해결과 인식전환을 위해 복합적인 특성을 가지는 단일 목재료 개발이 필요한 상황으로 판단된다.

또한, 현재 목재보존처리 시 주로 적용되는 감압·가압처리법은 감압 전 인사이징 처리, 가압 시 높은

압력으로 인해 섬유 손상 등이 우려되므로[2] 가공단계에서부터 피해 최소화화 약제 침투성 증대 및 제조 공정 단축이 가능한 보존처리방법 적용이 필요한 실정이다. 이에 마이크로파 가열 목재는 일반적인 열풍 가열 대비 반대의 수분확산·분포로 인해 가열로 인한 결함을 최소화 할 수 있으며, 가열 직 후 열기를 지닌 체 약제에 침지 시 기압차로 인한 대량의 약제 침투가 가능할 것으로 사료되므로[3], 가공단계에서의 피해 최소화화 감압·가압처리와 유사한 약제 침투량 확보가 가능할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 목조주택의 골조 및 실내·외 마감용으로 사용되는 침엽수 구조재를 대상으로 방염·방충 보존처리제가 혼합된 약제에 마이크로파 가열 후 열기를 지닌체 침지함으로써 복합적인 기능을 부여한 후 가열 및 침지 후 특성 분석을 통해 환경적 열화요인에 대한 저항성 검증을 실시하여 복합적인 열화저항성능 목재 개발을 위한 기초자료 도출을 목표로 한다.

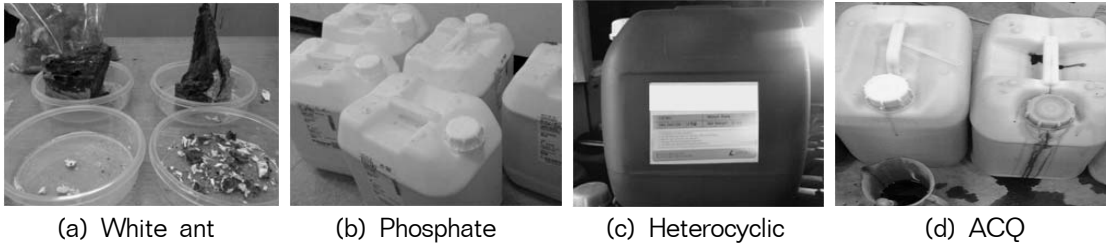


Fig. 1. Material for Use.

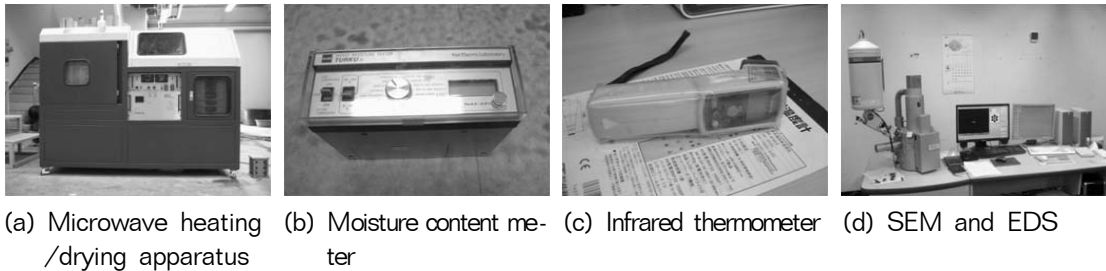


Fig. 2. Test devices & Equipment.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1. 사용재료 및 장비

본 실험에 사용된 재료는 침엽수 구조용재로서 SPF 혼합수종을 사용하였으며, 흰개미는 국내 G사에서 분양받은 것을 사용하였다. 방염약제는 국내 P사의 것을, 방충약제는 H사 및 A사의 것을 사용하였다. 이는 주로 목조 문화재 현장 방염 및 방충처리에 사용되는 약제로서 현장에서 사용법의 경우 방염약제는 원액을, 방충약제는 물에 희석하여 사용한다.

실험에 사용된 마이크로파 가열 장비는 2.45 GHz 로써 1~6 kW의 출력 가변형이며, 목재의 함수율 측정은 전기저항식 함수율 측정기로 기건상의 목재 표면을 10회 측정 후 평균값을 사용하였다. 적외선 온도 측정계를 이용하여 목재 표면 온도를 확인하였으며, 방염시험의 경우 45° 메켈버너를 이용하여 소방법에 준한 시험을 실시하였다. 조직 촬영 및 분석을 위해 SEM 및 EDS 장비를 사용하였으며, 실험 재료 및 장비는 Figs. 1 및 2와 같다.

2.2. 실험방법 및 인자

2.2.1. 실험방법

마이크로파로 목재 가열 시 가열 전·후의 목재 중량과 함수율을 측정하며, 가열 직후의 표면온도를 적외선 온도계로 측정한다. 이때 목재의 함수율 및 가열 후 온도가 목표치를 만족한 출력과 시간을 선정하여 적정 비율로 혼합된 방염·방충 약제에 일정 시간 별로 침지시킨다. 침지 후 목재의 중량 변화비를 바탕으로 약제가 대량 침투하는 침지시간을 선정하여 결과 분석용 시험편을 제조한다.

제조 후 기건상태의 시험편은 소방법에 의한 방염 후 처리물품 시험을 실시하여 화재지연 및 저항성을 분석하며, 흰개미를 시험편과 함께 7일간 보양하여 흰개미의 사충율[4] 확인 후 방충성에 대한 분석을 실시한다. 또한 SEM 촬영[5,6] 및 EDS 분석으로 목재 내부로 침투된 혼합약제의 결정화된 입자 및 침투성분을 분석[7]으로 방염 및 방충성능의 발현에 대한 검증을 실시한다. 실험방법은 Fig. 3과 같다.

마이크로파 가열 목재의 방염·방충 복합 보존처리 특성

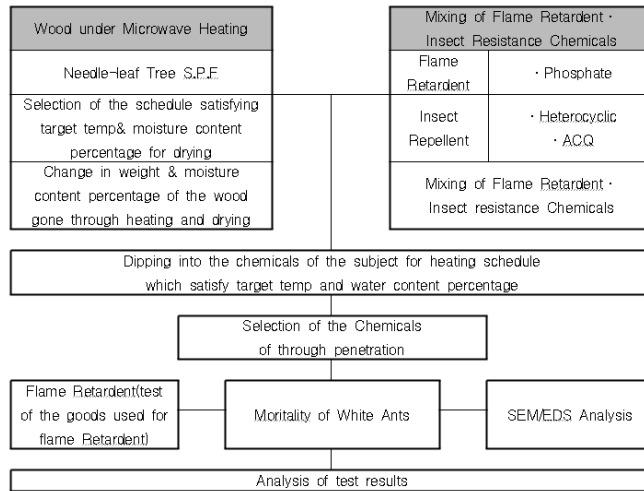


Fig. 3. Test methods.

Table 1. Test factors

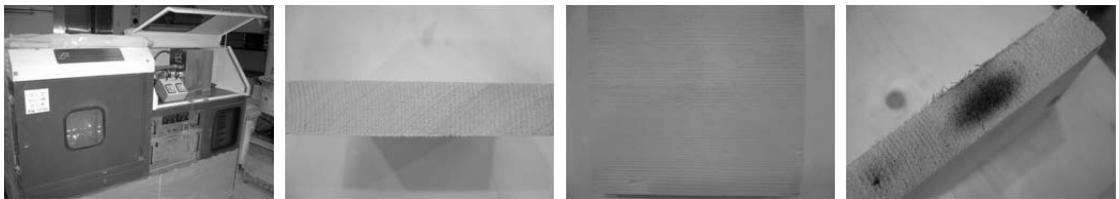
Lab	Average temp	18℃	Average humidity	58%
Setup of microwave heating & target value	Output	3, 4 kw	Heating time	3, 5, 7 min
	Traget moisture ratio%	6~7%	Target heating temp	80~90℃
Chemicals making & Dripping	Flame retardent	Fhosphate	Insect repellent	Heterocyclic ACQ
	Chemical mix ratio & Factors	Phosphate 100 (%wt) : Insect repellent 25 (%wt)		
		Water 100 (%wt) : Insect repellent 25 (%wt)		
	Dipping time	① phosphate, ② Water + Heterocyclic, ③ Water + ACQ, ④ phosphate + Heterocyclic, ⑤ Phosphate + ACQ		
Test specimen & Size	60, 90, 120 min			
	Needle-leaf tree SPF, 100 × 100 × 20 mm Flame retardent specimen 190 × 290 × 20 mm			
Control	Moisture content % SPF in the room temp			
Microwave heating schedule	pre-post heating weight (g) & water content % change (%)			
Moisture content meter (Electric resistance method)	TURKUH, moisture content limits 4~120%, pin: length 9 mm (4ea, a gap 10 mm)			
Dipping schedule for the wood to be heated	Wood weight change (g) & increase rate by mixed chemicals (%)			
Flame retardent	Test of the goods used for flame retardent (after flame. glow time, char length, area)			
Insect resistance	200 ants per test, strengthening them for 7 days			
Analysis of the components penetrated	SEM taking for cell lumen and inter-vessel pits and determinant components EDS analysis			

Table 2. Wood drying schedule with microwave

Before heating		Immediately after microwave heating				in 60 minutes in the room temp			Remark	
Size (mm)	MC* (%)	Weight (g)	Output (kW)	Heating time (min)	Weight (g)	Temp (°C)	MC* (%)	MC* (%)		Weight (g)
100 × 100 × 20	9.2	80.0		3	76.6	83	7.7	5.3	76.1	
		77.3	3	5	71.5	90	7.4	6.1	71.3	
		80.0		7	72.1	115	5.8	5.3	71.9	char
		79.5		3	74.3	103	7.2	6.1	74.0	
		80.4	4	5	73.6	116	5.5	5.4	73.3	char
		79.1		7	70.6	138	5.3	-	70.2	char

* moisture content measured by MC meter

* moisture content standard deviation: Before (±10), after (±0.5)



(a) Microwave heating (b) After heating(1) (c) After heating(2) (d) Char Test specimen
Fig. 4. After the microwave heating.

2.2.2. 실험인자

목재의 마이크로파 가열을 위한 출력과 시간을 우선 설정하여 출력과 시간별로 가열 후 목재 함수율과 온도에 적합한 스케줄[8]을 도출·선정한다. 혼합 제조된 약제에 60, 90, 120분간 침지하여 많은 양의 약제가 침투된 목재를 선정, Fig 3과 같은 시험을 실시한 후 결과를 분석한다. 실험 인자는 Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마이크로파 가열 스케줄

마이크로파로 가열된 침엽수의 건조스케줄은 Table 2와 같으며, 가열 전·후 시험편 형상은 Fig. 4와 같다. 시험편의 크기는 100 × 100 × 20 mm의 각형으로 하며, 마이크로파 가열 후 직 후 목재 표면 온도는 90°C, 가

열 후 60분 경과 시 목재 함수율은 6~7%로 한다. 가열 후 최종 값은 시험 조건별 10개의 결과를 평균으로 하며, 가열 목재온도와 건조 함수율을 만족하는 스케줄을 도출하여 침지 시험에 적용한다. 마이크로파 가열 스케줄 도출 결과는 Table 2 및 Figs. 5, 6과 같다.

Fig. 5와 같이 마이크로파로 가열 시험편의 표면 온도 변화 중 3 kW 3분 및 5분의 경우 80~100°C 이하로 나타났지만 7분 가열 시 100°C 이상으로 나타났으며, 시험편 내부가 탄화되는 것으로 나타났다. 또한 4 kW 3분 가열 시 100°C 이상 온도가 상승되었으며, 5분 및 7분 가열 시 탄화되는 것으로 나타났다. 이는 마이크로파 출력과 가열 시간이 높아질수록 목재 내부 수분자의 마찰열로 인해 온도가 급격히 높아져 빠른 수분확산 및 증발을 유도하여 목재의 빠른 열분해 반응을 유도하였기 때문으로 판단된다. 통상적으로 목재의 급격한 열분해는 약 250~350°C 이상

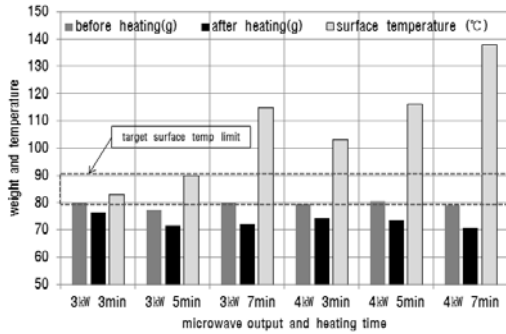


Fig. 5. Weight & surface temp changes according to microwave heating time.

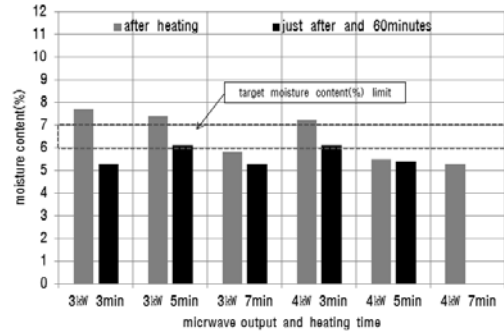


Fig. 6. Moisture content (%) change just after and 60 minutes after microwave heating.

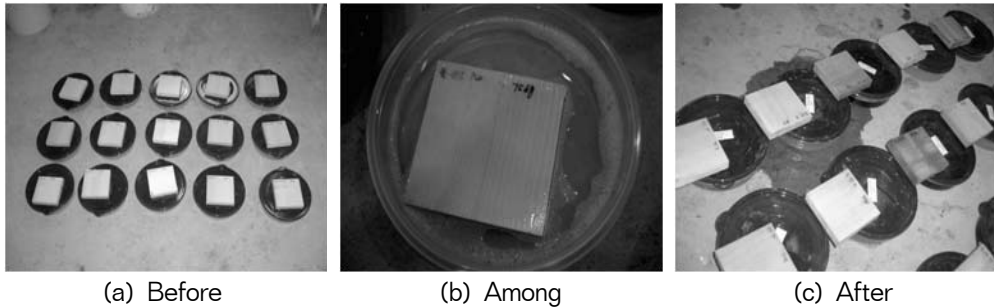


Fig. 7. Wood dipped in the mixed chemicals.

에서 발생하는데, 탄화 시험편의 경우 내부온도가 이에 도달하였기 때문에 판단되며, 표면온도가 내부온도와 상반되는 것은 설정된 마이크로파 가열 시간 이내에 내부의 높은 열이 표면까지 전달되지 못했기 때문으로 사료된다. 따라서 본 시험 결과에 의해 내부 탄화가 발생되지 않는 표면 온도는 100°C 이하인 것으로 나타났으며, 이를 만족하는 마이크로파 가열 스케줄은 3 kW 3분 및 5분 가열인 것으로 나타났다.

한편, Fig. 6과 같이 마이크로파 가열 직후의 시험편은 목표함수율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 내부 수분이 외부로 확산·증발 되고 있기 때문으로 판단되어 시험편 온도가 상온 평형이 된 이후 함수율을 측정, 목표 함수율 기준 적합 여부를 판정하였다. 그 결과 상온 60분 자연 건조 후 목표 함수율(6~7%)을 만족하는 시험편은 3 kW 5분 및 4 kW 3분인 것으로 나타났다. 4 kW 3분의 경우 목표 함수율은 만족하였지만, 목표 온도는 만족하지 못하므로

선정대상에서 제외하였다. 목표치를 모두 만족하는 3 kW 5분 가열 시험편을 대상으로 혼합약제 침지 시험에 적용하였으며, 침지 형상은 Fig. 7과 같다.

3.2. Control 목재의 혼합약제 침투량

마이크로파 가열을 실시하지 않은 상온에서 평형 함수율 상태의 목재를 혼합약제에 침지한 결과는 Table 3 및 Figs. 8, 9와 같다.

마이크로파 가열을 실시하지 않은 Control 목재를 대상으로 혼합 약제종류 및 침지 시간별로 중량 증가율을 확인한 결과는 다음과 같다. Fig. 8과 같이 침지 직후 목재는 60분 이상 침지할 경우 중량이 증가하는 것으로 나타났지만, 그 이상의 침지시간의 경우 더 이상 증가가 없거나 유사한 것으로 나타났다. 또한 침지시간별로 평균 8~11% 정도 중량이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3. Penetration characteristics of mixed chemicals into control wood

Mixed chemicals	Dipping time (min)	Weight before Dipping (g)	Just after dipping			In 7 days in the room temp		
			Weight (g)	Increase amount (g)	Increase rate (%)	Weight (g)	Increase amount (g)	Increase rate (%)
① Phosphate	60	735	811	7.6	103	751	1.6	2.2
	90	70.7	85.4	14.7	20.8	75.8	5.1	7.2
	120	725	86.7	14.2	19.6	78.4	5.9	8.1
② Water + Heterocyclic	60	76.4	82.1	5.7	7.5	78.1	1.7	2.2
	90	70.4	79.8	9.4	13.4	74.6	4.2	6.0
	120	74.3	83.1	8.8	11.8	77.6	3.3	4.4
③ Water + ACQ	60	70.4	77.1	6.7	9.5	74.5	4.1	5.8
	90	75.1	82.4	7.3	9.7	79.4	4.3	5.7
	120	74.3	81.5	7.2	9.7	78.2	3.9	5.2
④ Phosphate + Heterocyclic	60	72.5	81.4	8.9	12.3	75.1	2.6	3.6
	90	68.8	82.4	13.6	19.8	75.4	6.6	9.6
	120	73.3	87.1	13.8	18.8	80.2	6.9	9.4
⑤ Phosphate + ACQ	60	71.8	82.3	10.5	14.6	73.2	1.4	1.9
	90	73.8	85.5	11.7	15.9	77.7	3.9	5.3
	120	76.2	85.4	9.2	12.1	80.1	3.9	5.1

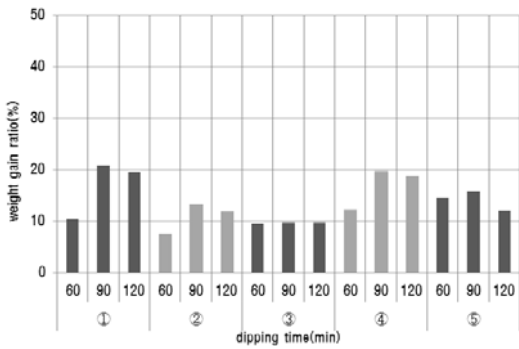


Fig. 8. Weight increase rate immediately after the dipping into mixed chemicals (control wood).

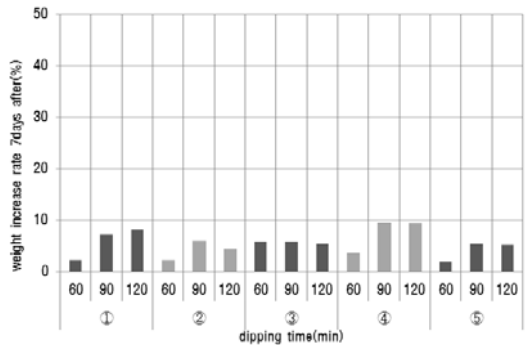


Fig. 9. Weight increase rate 7days after the dipping into mixed chemicals (control wood).

한편, Fig. 9와 같이 7일 상온 자연 건조 후 중량 증가율을 확인한 결과 인산염(①)과 인산염 + 헤테로고리(④) 시험편만이 약 10%에 가까운 중량증가율을 보유한 것으로 나타났으며, 나머지 시험편의 경우 평균 5% 정도의 실질 증가율을 가지는 것으로 나

타났다. 따라서 마이크로파 가열을 실시하지 않고 상온 평형흡수상태의 목재를 혼합약제에 침지할 경우 목재로 침투되는 약제의 양은 중량대비 10% 이하인 것으로 나타났다.

Table 4. Penetration characteristics of mixed chemicals into wood (Microwave heating)

Mixed chemicals	Dipping time (min)	Weight before Dipping (g)	Just after dipping			In 7 days in the room temp		
			Weight (g)	Increase amount (g)	Increase rate (%)	Weight (g)	Increase amount (g)	Increase rate (%)
① Phosphate	60	753	1165	412	54.7	89.7	14.4	19.1
	90	738	1214	47.6	64.5	90.2	16.4	22.2
	120	785	133.9	55.4	70.6	99.6	21.1	26.9
② Water + Heterocyclic	60	761	1153	39.2	51.5	83.6	7.5	9.9
	90	683	116.1	47.8	70.0	76.6	8.3	12.2
	120	729	123.7	50.8	69.7	81.8	8.9	12.2
③ Water + ACQ	60	745	1129	38.4	51.5	82.1	7.6	10.2
	90	773	126.7	49.4	63.9	86.5	9.2	11.9
	120	75.7	124.6	48.9	64.6	82.8	7.1	9.4
④ Phosphate + Heterocyclic	60	691	1144	45.3	65.6	85.8	16.7	24.2
	90	70.4	125.3	54.9	78.0	91.5	21.1	30.0
	120	70.5	127.7	57.2	81.1	94.4	23.9	33.9
⑤ Phosphate + ACQ	60	68.6	116.5	47.9	69.8	85.1	16.5	24.1
	90	73.4	129.0	55.6	75.7	92.7	19.3	26.3
	120	74.5	132.4	57.9	77.7	96.4	21.9	29.4

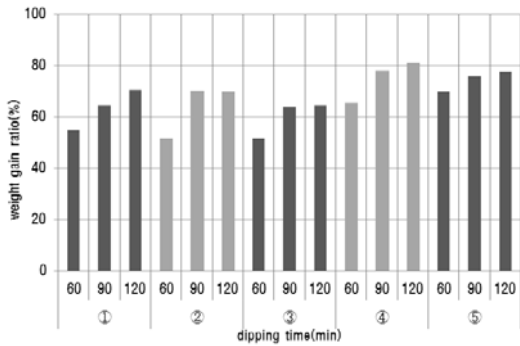


Fig. 10. Weight increase rate immediately after the dipping into mixed chemicals (Microwave Heating).

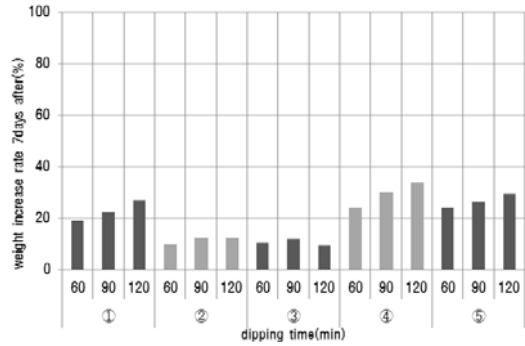


Fig. 11. Weight increase rate 7days after the dipping into mixed chemicals (Microwave Heating)

3.3. 마이크로파 가열 목재의 혼합약제 침투량

마이크로파 3 kW 5분 가열 직후 인자별로 약제에 침지된 시험편 중 침투량이 가장 많은 시험편을 도출하며, 이를 대상으로 방염 및 방충 특성과 섬유조직 및 침투성분 분석을 실시한다. 혼합약제의 목재 침투

특성은 Table 4 및 Figs. 10, 11과 같다.

마이크로파 가열로 인해 열기를 가지는 시험편을 혼합 제조된 약제에 바로 침지시켜 약제종류 및 침지 시간별로 중량 증가율을 확인한 결과는 다음과 같다. Fig. 10에 따르면, 침지시간이 높아질수록 중량 증가율은 높아지는 것으로 나타났으며, 약제별로 증가율

Table 5. The results of the flame retardent performance test for the wood dripped into mixed chemicals

Flame resistance test & Factors & Standards	After flame time (sec)	After glow time (sec)	Char length (cm)	Char Area (cm ²)
	10.0	30.0	20.0	50.0
Control	27.0	34.0	12.7	41.5
① Phosphate	-	9.2	8.4	25.5
② Water + Heterocyclic	4.1	9.8	10.8	36.6
③ Water + ACQ	6.9	14.5	9.8	35.7
④ phosphate + Heterocyclic	-	13.0	8.3	19.8
⑤ Phosphate + ACQ	5.6	12.1	8.4	36.2

이 다른 것으로 나타났다. 이 중 인산염 + 헤테로고리(④)에 침지된 시험편이 가장 높은 증가율을 가지는 것으로 나타났으며, 인산염 + 구리아킬암모늄(⑤), 인산염(①), 물 + 헤테로고리(②), 물 + 구리아킬암모늄(③) 순으로 나타났다. 액상의 물질이 목재와 같이 섬유상 다공성 시험편에 많은 침투가 이루어지기 위해서는 미세한 입자로 구성된 성분과 높은 분자량이 요구되는데, 인산 + 헤테로고리의 경우 물과 혼합된 약제 대비 주제인 인산염계 성분이 매우 미세한 입자로 구성되어 침투량이 증가되었기 때문에 판단된다.

Fig. 11과 같이 7일 상온 건조 후 중량 증가율을 확인한 결과 분포형태는 Fig. 10과 유사한 것으로 나타났지만, 인산염계 단독 및 인산염계와 혼합된 약제가 물과 혼합된 약제 대비 2.5배 이상 높은 것으로 나타났다. 인산염계와 함께 혼합된 약제의 경우 7일 자연 건조 상태에서 약제의 성분과 무관한 용매로서 수분의 증발이 대부분일 것으로 판단되며, 약제의 구성 입자는 시험편 세포 내강 및 외부에 결정화 되어 잔존함으로써 물과 혼합된 약제 대비 높은 실 증가율을 가진 것으로 사료된다. 따라서 마이크로파 3 kW 5분 가열 시험편의 경우 인산염 + 헤테로고리(④) 혼합 약제에 120분 침지 시 가장 우수한 침투성을 가지는 것으로 나타났다.

3.4. 방염 후 처리물품 시험

마이크로파 3 kW 5분 가열, 120분 침지 시험편을 대상으로 7일 상온건조 후 소방법에 의한 방염후 처

리물품 시험을 실시하였다. 45° 메켈버너를 이용하여 인자별 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하였으며, 결과는 Table 5 및 Figs. 12~14와 같다.

잔염 및 잔신시험 결과 control은 방염성능 기준에 미치지 못 하는 것으로 나타나 화재에 의한 연소지연 효과가 매우 낮은 것으로 나타났다. 한편, 인산염에 침지된 시험편의 경우 잔염이 없거나 잔신 10초 이내로서 기준에 적합하였으며, 시험편 중 가장 연소지연 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한 인산염 + 헤테로고리 시험편의 경우 인산염 단독 처리 시험편과 동일하게 잔염이 없는 것으로 나타나 화재 발생에 대한 초기 지연 및 차단 효과가 우수한 것으로 나타났다. 잔신의 경우 control을 제외한 모든 시험편이 기준을 상회하면서 만족하는 것으로 나타났지만, 화재 발생 시 가장 문제가 되는 연기의 발생량을 최소화 할 수 있는 처리방법 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다[9-11]. 탄화 길이 및 면적의 경우 인산염 및 인산염과 혼합 처리된 시험편이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이는 잔염 및 잔신 특성과 함께 순수 방염약제가 기타 방충약제와 혼합 시에도 방염성능의 저하 및 물성변화가 없었기 때문으로 판단된다. 따라서 방염성능 시험 결과 인산염과 혼합된 약제의 경우 방염 후 처리물품 시험 기준을 상회하는 우수한 방염성을 가지는 것으로 나타났으며, 방충약제와 혼합 후에도 우수한 방염특성을 가짐으로서 일반적인 방염 약제와 동일한 성능으로 화재 발생 시 대피시간 향상이 가능할 것으로 판단된다.

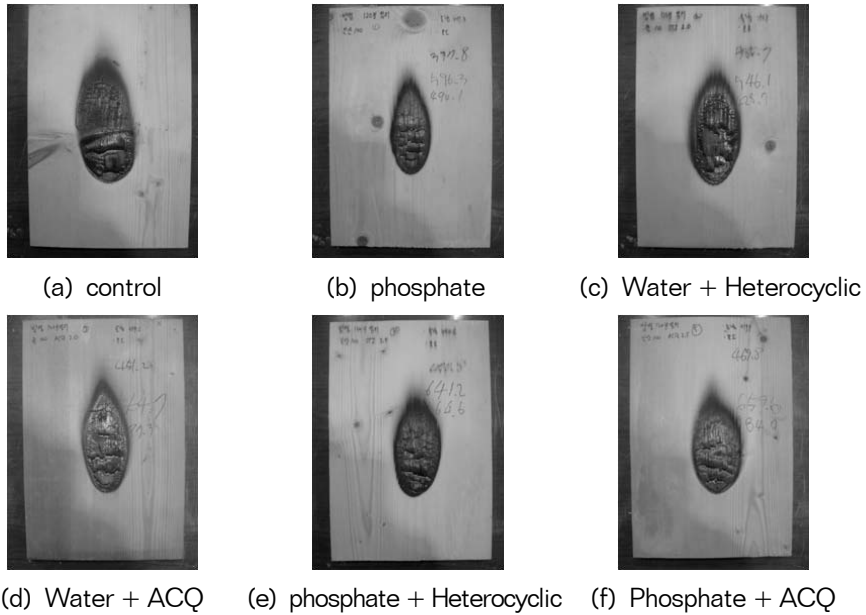


Fig. 12. The test specimen figure after flame retardant test.

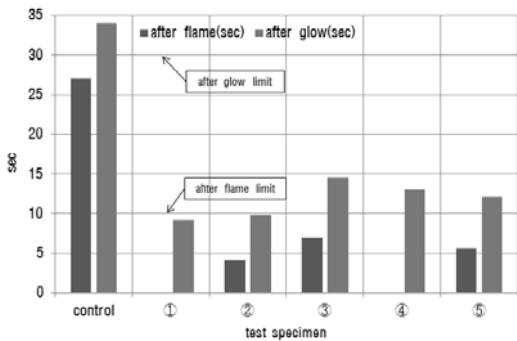


Fig. 13. After flame & glow time.

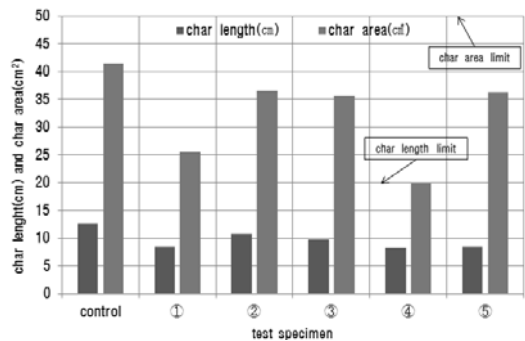


Fig. 14. Char length & Area.

3.5. 흰개미 사충

마이크로파 3 kW 5분 가열, 혼합약제별로 120분 침지 된 시험편을 대상으로 투명 플라스틱 용기에 인자별 시험편과 흰개미 200마리를 함께 투입하였다. 흰개미 배양은 투명 플라스틱 용기에 목재 시험편을 투입 후 항온항습기를 이용하여 외기는 30℃, 90%의 습도로 7일 간 육안 관찰하였으며, 사충 결과와 형상은 Table 6과 Figs. 15, 16과 같다.

흰개미 투입 7일 사충 수(사충률) 확인 결과 control은 97마리(48.5%), 인산염은 167마리(83.5%), 물 + 헤테로고리 154마리(77.0%), 물 + 구리알킬 178마리(89.0%), 인산염+헤테로고리 192마리(96.0%), 인산염 + 구리알킬 183마리(91.5%)로 나타났다. 한편 물과 혼합된 약제가 침투된 목재의 평균 사충율은 83.0%, 인산염과 혼합된 약제 침투 시험편의 경우 93.8%로 나타나 인산염과 혼합된 약제가 약 10% 이상 높은 사충율을 가짐으로서 일반적인 방부·방충처리

Table 6. The mortality of white ants 7 days after being inputted into the wood treated with the mixed chemicals

	Section	Throwing in (a head)	Death (a head)	Death ratio (%)
	Control		97	48.5
①	Phosphate		167	83.5
②	Water + Heterocyclic	200	154	77.0
③	Water + ACQ		178	89.0
④	Phosphate + Heterocyclic		192	96.0
⑤	Phosphate + ACQ		183	91.5

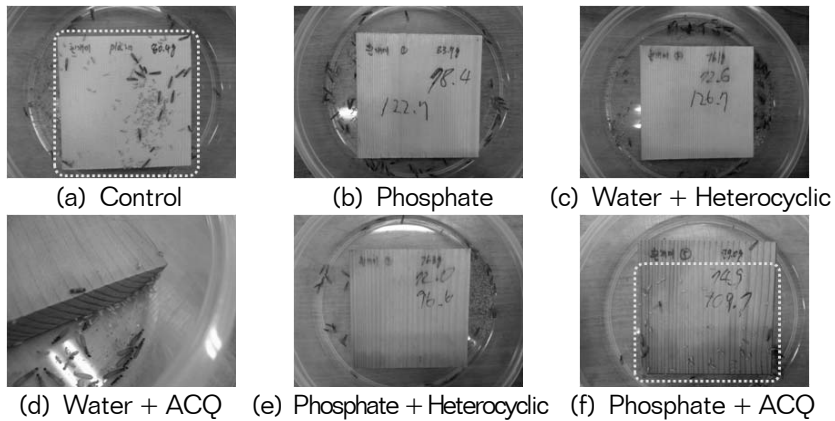


Fig. 15. The figure of test specimen after input of white ants (on the 3rd day).

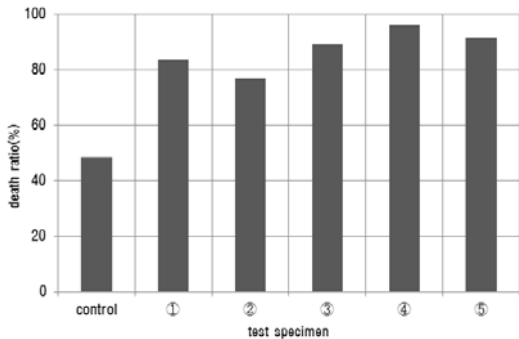


Fig. 16. The mortality of white ants inputted into the wood treated with chemical.

약제보다 흰개미 저항성이 높은 것으로 나타났다.

따라서 흰개미를 투입하여 시험편의 내충해성을 확인한 결과 인산염과 혼합된 약제는 방충성이 우수한 것으로 나타났으며, 혼합으로 인한 방충성 저하는

나타나지 않은 것으로 판단된다. 하지만, 본 실험 조건의 경우 흰개미 서식환경 변화와 지속적으로 동일한 온도 및 습도 공급이 원활하지 못한 것에 대한 사충 개체도 있는 것으로 사료되므로 실험환경 변화 등에 따른 사충률에 대한 비교분석이 필요할 것으로 판단된다.

3.6. 섬유 침투성분

혼합약제가 침투된 목재 내부의 섬유조직과 침투성분의 결정 등을 분석하기 위해 SEM 및 EDS 분석을 실시하였다. 분석 대상으로는 마이크로파 3 kW 5분 가열, 120분간 인자별로 혼합된 약제에 침지된 시험편을 대상으로 7일 상온 건조 후 방사면에서 3 × 3 × 1 mm 크기의 시료를 채취하였으며, 세포내강의 벽공을 중심으로 촬영, 주변 결정상을 대상으로 성분을

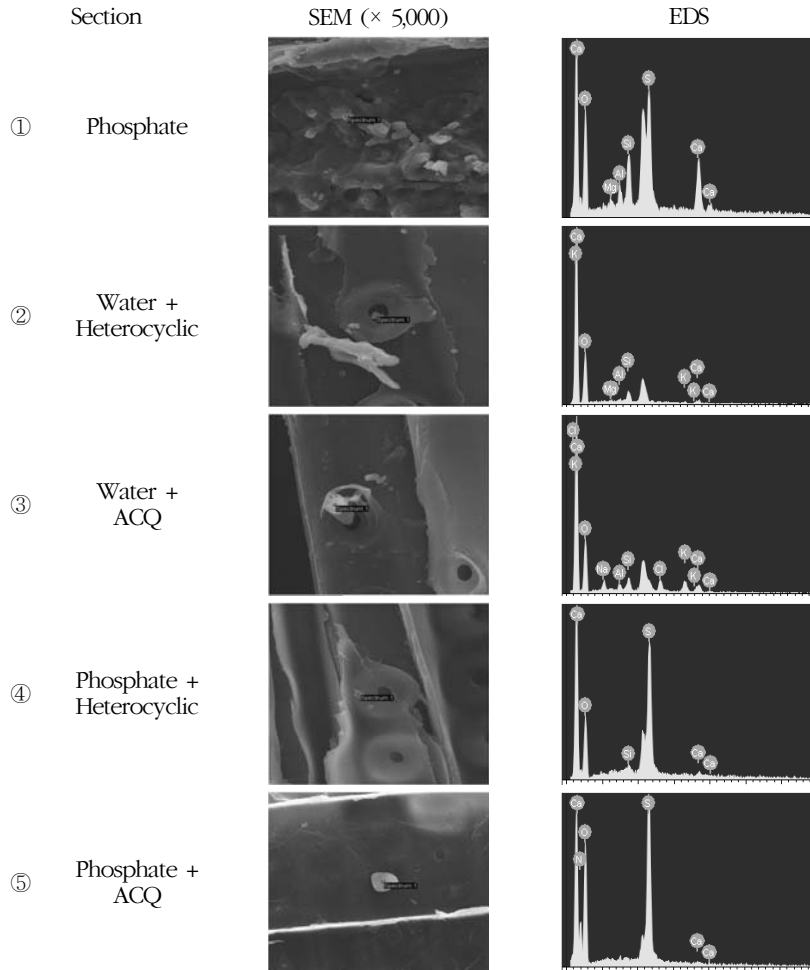


Fig. 17. The mixed chemical components penetrating around the inter-vessel pits.

분석하였다. SEM 및 EDS 분석결과는 Fig. 17과 같다.

벽공 주변을 5,000배 확대하여 촬영 후 임의의 지점을 선정하여 분석한 결과 목재의 기본적인 조성물인 탄소(C), 산소(O), 질소(N) 이 외에 방염 및 방충약제 제조 시 사용되는 화학조성물인 S(황), Ca(칼슘), Si(규소), K(칼륨), Na(나트륨), Al(알루미늄) 등이 혼합 및 목재 침투 후에도 내부에 존재하는 것으로 나타났다. 이는 목재 세포내부 전면에 있어 혼합약제가 균일하게 침투되어 결정화 및 흡수로 안정적인 안착이 가능하였기 때문으로 사료되며, 마이크로파 가열 후 목재를 혼합 약제에 침지할 경우 목재 내부에 액

상 보존처리제의 고른 침투로 인해 방염 및 방충성에 있어 우수한 특성이 발현된 것으로 판단된다.

4. 결 론

방염 및 방충의 복합 저항성을 가지는 목재 개발을 위해 마이크로파 건조 스케줄, 혼합된 보존처리제가 침투된 목재의 방염시험에 의한 화재 저항성과 흰개미에 의한 내충해성, 약제의 침투성 분석을 위해 SEM 및 EDS분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 마이크로파로 3 kW로 5분 급속 가열된 시험편은 목표 표면 온도(90℃) 및 가열 후 60분 상온 건조 시 목표 함수율(6~7%)을 만족하는 것으로 나타났으며, 이 중 인산염 + 헤테로고리화합물계 약제 120분 침지할 경우 최대 30% 이상의 실질 증량 증가율을 가지는 것으로 나타났다. 하지만 마이크로파 가열을 실시하지 않은 목재의 경우 실질 증량 증가율은 최대 10% 이하로써 마이크로파 가열 목재 대비 증가율이 낮은 것으로 나타났다.

2) 혼합약제별 120분 침지 후 평형함수율에 도달한 목재의 방염성 시험을 실시한 결과 인산염과 혼합된 약제는 잔염, 잔신, 탄화길이, 탄화면적 등 전 부분에서 우수한 방염성을 가지는 것으로 나타났으며, 방염 및 방충약제의 혼합이 방염성능에 미치는 영향은 없는 것으로 사료된다.

3) 혼합약제가 침투된 목재에 흰개미 투입 7일 후 사충율을 확인한 결과 인산염 + 헤테로고리 혼합 약제 침투 시험편의 경우 96% 이상 높은 사충율을 나타냄으로서 가장 우수한 흰개미 저항성을 가지는 것으로 나타났으며, 약제 혼합으로 인한 방충성 저하는 나타나지 않은 것으로 판단된다.

4) 목재 내부로 약제 침투성 분석을 위해 SEM 및 EDS 분석을 실시한 결과 목재 세포내부 전면에 있어 혼합약제가 침투된 것으로 나타났으며, 목재의 방염성, 흰개미 저항성 등에서 우수한 성능 발현은 목재 내부로 약제의 균일한 침투 때문으로 판단된다.

따라서 본 연구를 기초로하여 액상의 복합 보존처리제 제조 및 마이크로파 가열 후 목재 수종과 부피별로 액상의 내부 침투 및 확산 등에 관한 추가적인 실험 등을 진행할 경우 복합적인 열화요인 저항이 가능한 목재료 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 임남기. 2010. 12. 국내의 건축용 목재연구 및 산업현황과 첨단 목재료 개발 동향. 한국건축시공학회지 10(6): 6~15.
2. 정희석. 2005. 7. 최신목재건축학. 서울대학교출판부. pp. 162~163.
3. 박철우, 허재원, 임남기. 2011. 4. 마이크로파를 이용한 목재의 액상방염약제 침투효과 연구, 한국건축시공학회 논문집 11(3).
4. 이규식. 2004. 목조문화재 보존을 위한 국산 흰개미의 생태적 특성 및 방제에 관한 연구. 중앙대학교 박사학위 논문. p. 49.
5. B. G. Butterfield, B. A. Meylan, 엄영근. 2000. 2. 목재의 3차원적 구조. WIT 컨설팅. pp. 22~23.
6. 김남훈. 2008. 국내산 주요 침엽수 3종간 수간 내 목재셀룰로오스의 미세구조변이. 한국목재공학회 36(1): 12~20.
7. 일본경도대학 목질과학연구소. 2005. 9. 목재의 비밀. (주) 한국목재신문사, pp. 157~158.
8. 紫田吉郎. 1999. 12. 공업용 마이크로파 응용기술. 기전연구사, pp. 114~115.
9. 여인환, 윤명호, 윤정배. 2009. 4. 표준화제에 노출된 증량 목재의 연소특성. 대한건축학회 25(2).
10. White, R. H, and E. V. Nordheim. 1992. Charring rate of Wood for ASTM E 119 exposure. Fire Technology 28(1): 5~30.
11. White, R. H. 2000. Charring rate of composite timber products. The proceedings of Wood and Fire Safety 2000, Part 1, 4th International Scientific Conference, May pp. 14~19.