

내화처리 목재의 기계적 성질*1

이 현 미*2 · 김 종 만*3† · 변 희 섭*3

Mechanical Properties of Fire-Retardant Treated Wood*1

Hyun-Mi Lee*2 · Jong-Man Kim*3† · Hee-Seop Byeon*3

요 약

국내에서 성장하고 있는 소나무재(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc)와 이태리포플러재(*Populus euramericana* Guinier)에 제1인산암모늄(monoammonium phosphate, MAP)과 붕산(boric acid)을 혼합 약제로 처리하여, 난연재이면서 방부재인 처리재를 백색부후균(*Trametes versicolor*)과 갈색부후균(*Tyromyces palustris*)으로 부후시켜 처리재와 무처리재의 종압축강도를 측정하고 주사전자현미경으로 판독하였다. 무처리재보다 처리재의 비중과 압축강도가 높은 것을 알 수 있었고 수종별에 따르면 이태리포플러재보다 소나무재의 비중과 압축강도 역시 높은 것으로 나타났다. 그리고 주사전자현미경의 사진상에서 무처리재와 약품처리재에 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균으로 부후시킨 결과 부후가 진행됨에 따라 무처리재가 처리재보다 세포벽의 파괴가 현저함을 보여 주었고, 또한 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균의 부후성을 보면 *T. palustris*균의 목재 열화가 다소 증가하였다.

ABSTRACT

This study explored how simultaneous treatment of monoammonium phosphate (MAP) and boric acid for *Pinus densiflora* and *Populus euramericana* influenced the properties such as fire resistance, preservation against *Trametes versicolor* and *Tyromyces palustris*, and compressive strength of the treated woods. For specific gravity and compressive strength, the treated woods were higher than the non-treated ones. For the analytical features observed by SEM, the cell walls of the non-treated woods were extremely destructed by *T. palustris* and *T. versicolor* while the treated ones relatively remained intact. Especially, *P. euramericana* was more readily exposed to the attack of the rot fungi than *P. densiflora*.

*1 접수 2003년 12월 1일, 채택 2004년 7월 26일

*2 경상대학교 산림과학부 Faculty of Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju Korea

*3 경상대학교 산림과학부, 농업생명과학연구원 Faculty of Forest Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

† 주저자(corresponding author) : Jong-Man Kim(e-mail: jmkim@gsnu.ac.kr)

Keywords: monoammonium phosphate (MAP), boric acid, fire resistance, compressive strength, specific gravity

1. 서 론

현대 사회는 각종 기술개발로 인하여 건물 및 운송 수단 등이 고층화 되어가고 있다. 또한 이들의 내장 재료로는 환경오염 물질들이 인체에 미치는 영향을 고려하여 오랜 세월 동안 인간과 함께 하면서 검증된 친자연적이고 인체공학적으로 유익한 목재를 더욱 선호하게 되었다. 그러나 목재는 다른 소재에 비하여 강도, 가공성, 진동흡수, 물량전도체 및 미적가치 등 여러 가지 장점이 있는 반면 목재는 고분자 유기체이기 때문에 미생물 열화 및 연소 열화 등을 받기 쉬운 큰 결점도 갖고 있다(Karen *et al.* 1992). 목재는 미생물 열화에 의하여 강도가 저하되고 미관상 가치가 떨어질 뿐 아니라 결국에는 붕괴까지 이르게 된다. 그러므로 수분에 노출되는 옥실, 부엌 등 주위는 방부제를 사용하게 된다(Ohkoshi *et al.* 1999). 또한 목재는 가연성 물질로 구성되어 있어 화재가 발생하기 쉽고 또한 화재가 발생하였을 때는 많은 인명과 재산의 피해를 받게 된다. 따라서 건축물 및 운송수단 등의 벽, 바닥 및 내부 내장 재료는 내화재를 사용하도록 소방법에 규정하고 있다. 인류는 지금까지 연소 및 미생물에 대한 목재의 열화를 동시에 방지함으로써(Levan *et al.* 1996) 목재자원을 효율적으로 이용하여 인명과 재산을 보존 할 뿐만 아니라 지구촌의 자연 및 환경을 보존하는 방법을 추구하게 되었다. 따라서 이 분야의 연구가 더욱 절실하게 요구 되었다. 지금까지 미생물에 의한 열화와 연소에 의한 열화를 각각으로 연구된 바 있으나 두 가지를 동시에 충족하고자 하는 것을 시도한 것은 거의 없는 실정이다(Proctor *et al.* 1941).

본 연구는 우리나라에 널리 분포되어 성장하고 있는 소나무와 이태리 포플러재를 효율적으로 이용하기 위하여, 이들 목재에 방부성과 난연성이 있는 붕산과 제1인산암모늄 약제를 혼합하여(Kim *et al.* 1992) 처리한 후 목재 부후균의 대표적이라고 하는 백색부후균인 구름버섯균과 갈색부후균인 부후개떡버섯균을 공시균으로(Karen *et al.* 1992) 처리하여 처리재와

무처리재의 물리적 성질을 구명하기 위하여 실시하였다(Yalinkilic *et al.* 1998).

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 공시목재

본 실험에 사용한 공시목재 소나무재(*Pinus densiflora Sieb. et Zucc*)는 경남 진주시 판문동에서 성장한 20~25년생 원목을 벌채하여 사용하였고, 이태리 포플러재(*Populus euramericana Guinier*)는 경남 거창군 주상면 도평리 신개명제재소에서 20~25년생 원목을 구입하여 사용하였다.

2.1.2. 공시균

본 실험에 사용한 균은 백색부후균인 구름버섯균(*Trametes versicolor*(FRI 20251)), 갈색부후균인 부후개떡버섯균(*Tyromyces palustris*(FRI 21055))을 임업연구원에서 분양 받아 사용하였다.

2.1.3. 공시배양기

액체배양기 조성은 glucose 25 g, malt extract 10 g, peptone 5 g, KH_2PO_4 0.3 g, MgSO_4 2 g을 증류수에 녹여 전량이 1,000 ml가 되도록 조정하였다.

석영사 배양기는 전용적 약 800 ml인 윗부분이 넓은 유리용기로서 여기에 잘 건조해서 말린 석영사 300 g을 넣고 위의 액체배양기에 사용된 배지 성분을 *T. palustris*는 78 ml, *T. versicolor*는 83 ml를 부은 다음, 뚜껑을 닫고 고압증기로 살균하여 사용하였다.

2.1.3.1. 압축강도용 부후재 실험 배양기

압축강도용 실험용 배양기는 20×40×10 cm 스텐

용기에 두께 2 cm의 석영사를 채우고 사용한 액체배양기에 배양액을 채우고, 고압증기로 멸균하여 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 시편제작

목재시편은 소나무와 이태리포플러의 변재로 동일한 목재를 사용하여 다음과 같이 제작하였다.

부후 시편 중에서 중량감소율과 흡습성 시험편은 KS F 2219, 2255에 의거하여 마구리면에서 2 cm×2 cm, 높이 1 cm로 하였고, 평균 함수율은 9.4~10.3%이다. 그리고 철부식성 시편은 KS F 2254에 의거하여 2 cm×2 cm, 높이 4.5 cm이고, 평균 함수율은 9.6~9.8%이다(한국산업규격, 1999).

종압축용 시편은 2 cm(T)×2 cm(R)×5 cm(L)로 제작하였다. 이 모든 시편은 치수가 부정확하거나 결점을 일으킨 것을 제외하고, 두께 온도 20±1°C, 상대습도 65±5%의 항온항습실에서 8주를 조습처리 하였다.

본 연구에서 사용한 시편 수는 총 1,000매를 제작하여 시편 선발을 위하여 미리 비중과 탄성계수를 측정하여 비중의 범위는 소나무가 0.43~0.57, 이태리포플러가 0.30~0.39이고 탄성계수는 55,000~70,000 kgf/cm²의 범위의 것을 사용하여 나온 결과를 기준으로 각 조건별로 비중과 탄성계수를 이용하여 선별하였다.

2.2.2. 약액처리

목재의 약액 처리는 방부제와 난연제로 널리 사용되고 있는 붕산(boric acid)과 난연제인 제1인산암모늄(monoammonium phosphate)을 사용하였다(Winandy 1997).

약액 조제는 붕산과 제1인산암모늄을 1:1(W/W)의 비율로 하여 항온수조를 60°C로 가열하여 증류수를 첨가, 용해시켜서 20%의 붕산·제1인산암모늄 혼합용액을 조제하였다.

약액침투는 bethell법에 의해 실시하였다. 침투처리는 500 mmHg의 압력으로 30 분간 진공압박시켜

10 kgf/cm²의 압력까지 도달시킨 후 60 분간 유지한 다음 목재 시편을 분리하였다.

약액흡수량의 처리시편 내에 약액흡습율은 다음과 같이 계산하였다(Kim 1986).

$$Sa(\%) = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100$$

여기서, Sa(%) : 약액 흡습율

Wa : 약액 처리 전 시편중량

Wb : 약액 처리 후 시편중량

2.2.3. 종압축 시험

종압축 시험은 KS F 2206에 의거하여 일정 기간별 시편을 꺼내어 균사를 제거한 후 20±1°C, 65±5% RH로 조절된 강도실험실에서 일정기간 방치한 후, "Instron 피로검용 만능강도 시험기"로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 약제 흡수량

수종은 소나무, 이태리 포플러 변재를 기건 상태의 동일한 시편으로서 약제 처리는 방부제와 난연제로 널리 사용되고 있는 붕산과 난연제인 제1인산암모늄을 1:1(w/w)의 비율로 항온수조를 60°C로 가열하여 조제하였다.

시편에 대한 약제 보유량은 소나무재의 약제 보유량은 1.89 kg/30 cm³이었고, 이태리포플러재의 약제 보유량은 2.59 kg/30 cm³로서 이태리포플러재가 소나무재보다 0.7 kg/30 cm³ 높았다.

이는 미국인산물 연구소와 Koch, P.가 제시한 최저 보유량 1.125~2.250 kg/30 cm³을 초과하였으므로 난연제로서 인정받게 된다. 또한 이태리포플러재가 소나무재보다 약제보유량이 많은 것은 비중과 화학적 조성 물질이 원인인 것으로 생각된다.

3.2. 소나무재의 압축강도

무처리 및 처리소나무재와 이태리포플러재에 T.

Table 1. The effect of mixed boric acid and monoammonium phosphate on the compressive strength properties of *Pinus densiflora*

Contents		Non-decayed wood		Decayed wood			
		Control	Chemical treatment	<i>T. versicolor</i>		<i>T. palustris</i>	
				Non chemical treatment	Chemical treatment	Non chemical treatment	Chemical treatment
MOR (kgf/cm ²)	Average	303.3	341.9	198.8	221.3	167.4	204.9
	Max	386.4	352.6	226.6	221.9	179.8	232.2
	Min	226.2	328.1	152.8	220.7	154.9	187.0
	(S.D.)	(80)	(12)	(37)	(1.4)	(12)	(22)
MOE (tonf/cm ²)	Average	30.3	36.0	22.7	32.7	21.8	29.8
	Max	45.4	49.7	30.8	32.5	23.8	36.8
	Min	32.2	22.4	22.8	32.2	19.9	17.4
	(S.D.)	(8)	(13)	(4)	(1.2)	(2)	(9)
Specific gravity	Before treatment	0.55	0.45	0.57	0.47	0.53	0.49
	After treatment	0.55	0.43	0.56	0.45	0.52	0.47

Legend ; S.D : standard deviation

*versicolor*균과 *T. palustris*균으로 처리한 종압축강도를 나타낸 것이다.

부후된 소나무재의 종압축강도는 Table 1에 나타난 바와 같다.

소나무재의 종압축 강도 성능 시험에 사용한 시편 비중의 범위는 0.52~0.57 g/cm³이었고, 종압축 강도 및 탄성계수의 평균값은 무처리재가 303.3 kgf/cm², 30.3 tonf/cm²이었으며 약품처리재의 평균값은 341.9 kgf/cm², 36.0 tonf/cm²이었다. 따라서 약품처리를 함으로써 강도성능이 증가하였다는 것을 알 수 있었다. 그리고 무처리재를 *T. versicolor*균으로 처리한 소나무재의 그 평균값은 198.8 kgf/cm², 22.7 tonf/cm²이었고 약품처리재를 *T. versicolor*균으로 처리한 소나무재의 그 평균값은 221.3 kgf/cm², 32.7 tonf/cm²이었다.

이것은 약품처리가 압축강도 성능 증가에 약간 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있었다. 또한 무처리재의 *T. palustris*균 처리재 강도성능은 167.4 kgf/cm², 21.8 tonf/cm²이었고, 약품처리재의 *T. palustris*균 처리재 강도성능은 204.9 kgf/cm², 29.8 tonf/cm²으로써 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균이 강도적 성능 감소에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있었다.

전체적으로 보았을 때 무처리재의 종압축강도보다 약품처리재가 강도가 높았고 부후재의 경우 역시 약품처리재가 무처리재보다 강도적 성능이 높았다는 것을 알 수 있었다. *T. versicolor*균이 *T. palustris*균보다 강도적 성능 감소가 적다는 것을 알 수 있었다 (Lebow *et al.* 1999).

Wanzy는, 부후됨에 따라 목재의 물리적 성질에 영향을 끼치는 것은 정적 휨강도·압축강도·경도의 순이라고 보고하였다. 또한 백색부후와 갈색부후의 강도에 대한 영향을 보면 백색부후가 일반적으로 강도 감소가 적는데, 그 이유는 강도의 저하가 셀룰로오스나 헤미셀룰로오스의 분해에 의하여 일어나기 때문이라고 하였다. 그러므로 백색부후가 갈색부후보다 강도감소가 적다는 보고와 본 실험도 같은 경향을 보였다 (Wanzy *et al.* 1986).

3.3. 이태리포플러재의 압축강도

이태리포플러재의 종압축 강도 성능 시험에 사용한 시편 비중의 범위는 0.30~0.39이었고 종압축 강도 및 영률의 평균값은 무처리재가 255.0 kgf/cm², 22.5 tonf/cm²이었으며 약품처리재의 값은 277.2 kgf/cm²,

Table 2. The effect of mixed boric acid and monoammonium phosphate on the compressive strength properties of *Populus euramericana*

Contents		Non-decayed wood		Decayed wood			
		Control	Chemical treatment	<i>T. versicolor</i>		<i>T. palustris</i>	
				Non chemical treatment	Chemical treatment	Non chemical treatment	Chemical treatment
MOR (kgf/cm ²)	Average	255.0	277.2	21.9	160.6	18.5	178.1
	Max	270.0	379.8	21.5	188.2	24.1	189.2
	Min	242.5	237.6	14.2	158.9	18.6	164.9
	(S.D.)	(13)	(73)	(4)	(14)	(2)	(9)
MOE (tonf/cm ²)	Average	22.5	32.2	0.28	26.6	0.23	24.8
	Max	24.7	30.1	0.31	24.4	0.27	26.6
	Min	20.6	24.3	0.25	20.8	0.19	22.1
	(S.D.)	(2)	(17)	(0.03)	(2)	(0.04)	(1)
Specific gravity	Before treatment	0.36	0.33	0.34	0.35	0.39	0.36
	After treatment	0.37	0.30	0.33	0.35	0.39	0.34

Legend ; S.D : standard deviation

32.2 tonf/cm²이었다. 따라서 약품처리를 함으로 인하여 강도성능이 증가하였다는 것을 알 수 있었다. 그리고 약품 무처리재에 *T. versicolor*균으로 처리한 이태리포플러재의 평균값은 21.9 kgf/cm², 0.28 tonf/cm²이었고, 약품처리재를 *T. versicolor*균으로 처리한 소나무재의 평균값은 160.6 kgf/cm², 26.6 tonf/cm²이었다. 이것은 약품처리가 이태리 포플러재의 압축강도 성능 증가에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있었다. 또한 무처리재에 *T. palustris*균으로 처리한 처리재의 강도적 성능은 18.5 kgf/cm², 20.23 tonf/cm²이었고, 약품처리재의 *T. palustris*균 처리재의 강도성능은 178.1 kgf/cm², 24.8 tonf/cm²으로써 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균이 강도적 성능에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있었다.

이는 무처리재의 압축강도보다도 약품처리재가 강도가 크다고 생각되어지며 또한 부후재의 경우에도 약품처리재가 무처리재보다 강도는 크다는 것을 알 수 있었고, *T. versicolor*균이 *T. palustris*균보다 강도 감소가 적다는 것을 알 수 있었다. 그리고 이태리 포플러재는 소나무재보다 무처리재의 부후의 정도가 심하여 뚜렷한 강도의 감소를 보였다. 따라서 Table 1과 2, Fig. 1과 2에서 나타난 MOR과 MOE는 전체적

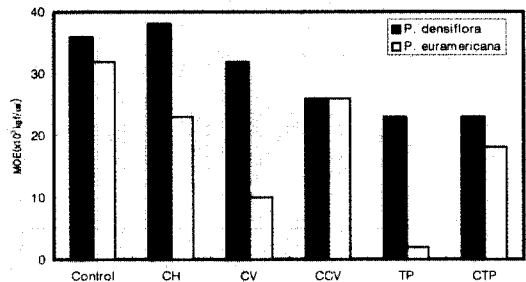


Fig. 1. The effect of boric acid and Monoammonium phosphate on the compressive strength properties of *P. densiflora* and *P. euramericana*.

Legend ; Control : Non-treated wood
 CH : Chemical treated wood
 CV : *T. versicolor* treated wood
 CCV : Chemical treated wood decayed by *T. versicolor*
 TP : *T. palustris* treated wood
 CTP : Chemical treated wood decayed by *T. palustris*

으로 이태리포플러재가 소나무재보다 부후의 정도가 심하여 강도적 성능의 감소가 크게 나타났다.

Fig. 3과 4는 시편의 종압축강도와 비중과의 관계

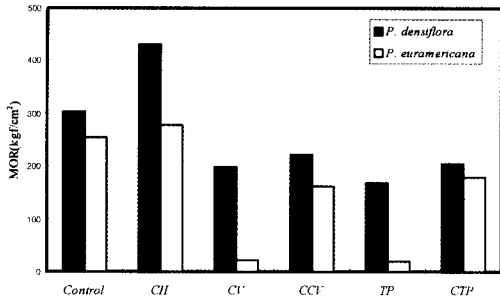


Fig. 2. The effect of boric acid and monoammonium phosphate on the compressive strength of *P. densiflora* and *P. euramericana*.

Legend ; Control : Non-treated wood
 CH : Chemical treated wood
 CV : *T. versicolor* treated wood
 CCV : Chemical treated wood decayed by *T. versicolor*
 TP : *T. palustris* treated wood
 CTP : Chemical treated wood decayed by *T. palustris*

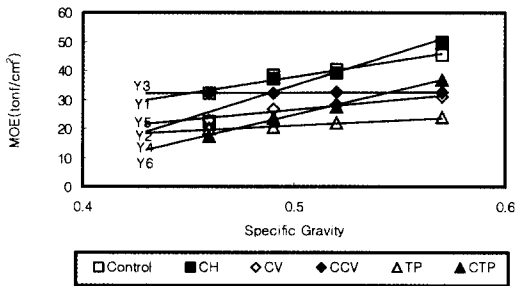


Fig. 3. Relationship between specific gravity and MOE of *Pinus densiflora*.

Notes : $Y_1 = 113.48x - 18.802$ $R^2 = 0.953^{**}$
 $Y_2 = 228.79x - 79.482$ $R^2 = 0.909^{**}$
 $Y_3 = 70x - 8.575$ $R^2 = 0.945^{**}$
 $Y_4 = 2.7273x + 30.959$ $R^2 = 0.982^{**}$
 $Y_5 = 37.273x + 2.4659$ $R^2 = 0.971^{**}$
 $Y_6 = 173.33x - 62.075$ $R^2 = 0.997^{**}$
 **: significant at 1% level.

를 나타내었다. 소나무재의 경우 종압축강도와 비중과의 높은 상관관계로 1%의 유의성을 보였고, MOE는 상관계수가 0.909로 나타났었고, MOR은 0.813이

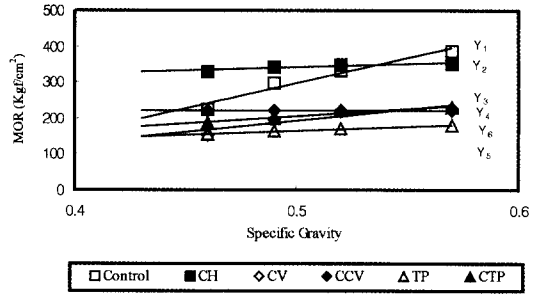


Fig. 4. Relationship between specific gravity and MOR of *Pinus densiflora*.

Notes : $Y_1 = 197.42x + 242.86$ $R^2 = 0.850^{**}$
 $Y_2 = 11.364x + 215.43$ $R^2 = 0.982^{**}$
 $Y_3 = 1397.7x - 401.89$ $R^2 = 0.956^{**}$
 $Y_4 = 421.82x - 5.0523$ $R^2 = 0.953^{**}$
 $Y_5 = 636.67x - 125.88$ $R^2 = 0.813^{**}$
 $Y_6 = 234.39x + 47.859$ $R^2 = 0.996^{**}$
 **: significant at 1% level.

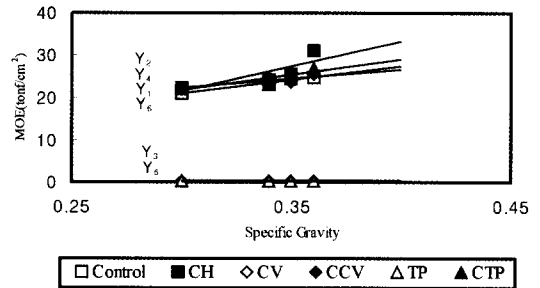


Fig. 5. Relationship between specific gravity and compressive MOE of *Populus euramericana*.

Notes : $Y_1 = 64.94x + 1.3578$ $R^2 = 0.976^{**}$
 $Y_2 = 118.55x - 14.212$ $R^2 = 0.658^*$
 $Y_3 = -0.0723x + 0.3094$ $R^2 = 0.005$
 $Y_4 = 42.048x + 9.6337$ $R^2 = 0.810^{**}$
 $Y_5 = 0.1084x + 0.1659$ $R^2 = 0.051$
 $Y_6 = 72.53x - 0.1289$ $R^2 = 0.778^*$
 **: significant at 1% level.
 *: significant at 5% level.

상으로 나타났었다.

Fig. 5와 6에서 보여주는 바와같이 소나무재에 비해 이태리포플러재의 경우 압축강도와 비중과의 상관

Fig. 6. Relationship between specific gravity and MOR of *Populus euramericana*.

Notes : $Y_1 = 413.86x + 117.6 \quad R^2 = 0.782^*$
 $Y_2 = 2177.5x - 419.07 \quad R^2 = 0.948^{**}$
 $Y_3 = 71.928x - 6.8506 \quad R^2 = 0.437$
 $Y_4 = 395.42x + 33.495 \quad R^2 = 0.511$
 $Y_5 = -52.289x + 38.198 \quad R^2 = 0.561$
 $Y_6 = 337.59x + 60.913 \quad R^2 = 0.69^*$

** : significant at 1% level.

* : significant at 5% level.

관계는 조금 낮았다. 무처리재에 *T. versicolor*균을 처리한 MOE는 심하게 부후가 되어 상관계수는 유의성이 없었다.

따라서, Fig. 7과 8에서 소나무재와 이태리포플러재의 전체적인 MOE와 MOR의 압축강도를 나타내었다. MOE와 MOR의 상관관계는 압축강도와 비중에서 소나무재와 이태리포플러재 모두 고도의 유의성을 보였다.

그러므로 약품처리에 의한 소나무재와 이태리포플러재의 압축강도는 무처리재의 압축강도에 비해서 강도가 크다는 것을 알 수 있었다.

3.4. 부후재의 주사전자현미경 관찰

소나무재와 이태리포플러재의 *T. versicolor* 및 *T. palustris*균을 배양하여 그 균에 의한 목재조직의 부후형태를 SEM으로 관찰하였다. 균사의 이동에 관해 Proctor는 균사가 벽공막(pit membrane)과 벽공구(pit aperture)를 통하거나 또는 bore hole을 통해 인접 세포로 직접 침투한다고 주장하였으며 bore hole의 생성은 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균을 다른 균과 구별시켜주는 가장 큰 특징이라는 것이 본 실험

Fig. 7 Relationship between MOE and MOR of *Pinus densiflora*.

*: significant at 5% level.

Fig. 8. Relationship between MOE and MOR of *Populus euramericana*.

** : significant at 1% level.

Photo. 1. SEM of *Pinus densiflora* specimen ($\times 500$)

과 유사한 결과를 보여주었다.

Photo. 1~6은 무처리재와 처리재에 대한 부후의 주사전자현미경 관찰을 나타내는 것으로 Photo. 1은

Photo. 2. SEM of *C. versicolor* take after 12 weeks of inoculation on treated and non-treated *P. densiflora* ($\times 500$, $\times 700$).

Photo. 3. SEM of *T. palustris* take after 12 weeks of inoculation on treated and non-treated *P. densiflora* ($\times 500$, $\times 700$).

처리하지 않은 부후 시편의 횡단면을 SEM으로 촬영한 것이다.

이것은 사진에서 보는 바와 같이 표면이 매끄럽지는 않지만 세포벽이 그대로 남아 있으나 균처리제에 서는 볼 수 없는 것이다.

Photo. 2는 무처리제와 처리제의 소나무 시편에 *T. versicolor*을 12주 배양한 횡단면 사진이다.

사진에서 a는 무처리제이고 b는 처리제이다. 소나무제의 무처리제 a에서 *T. versicolor*균은 세포내강에서 균사로부터 분비된 효소에 의해 세포벽을 파괴시키는데 부분적인 차이는 있지만 전체적으로 S₃층부터 S₂층, S₁층으로 공격이 진행되며 세포벽은 내강쪽으로부터 점차 얇아져가는 것을 무처리제 a를 통해 볼 수 있으나 약품처리제 b는 세포벽이 원형 그대로

Photo. 4. SEM of *Populus euramericana* specimen ($\times 500$).

Photo. 5. SEM of *C. versicolor* take after 12 weeks of inoculation on treated and non-treated *P. euramericana* ($\times 1300$, $\times 500$).

남아 있는 것을 볼 수 있었다.

Photo. 3는 무처리재와 처리재의 소나무 시편에 *T. palustris*를 12주 배양한 횡단면 사진이다. 무처리재 a에서 *T. palustris*의 균사의 공격은 효소를 분비하여 cellulose와 hemicellulose를 분해하고 주로 S₂층에서 분해가 집중되어 일어나면서 S₁층도 파괴되는데 S₃층은 마지막까지 잔존하였다. 주사전자현미경으로 관찰된 S₂층의 파괴는 균사 주변에서 일어나는 것이 아니라 균사로부터 일정한 거리가 떨어진 장소에서도 일어나므로 이와 같은 불규칙한 세포벽과 세포간층의 파괴로 인해 무처리재에서 수축과 균열이 일어났으나, 처리재 b는 일부 세포벽이 파괴된 것은 관찰되었지만 전체적으로 세포벽이 남아 있었다. 따라서 소나무 무재에 있어서 Photo. 3의 *T. versicolor*균과 Photo.

Photo. 6. SEM of *T. palustris* take after 12 weeks of inoculation on treated and non-treated *P. euramericana* ($\times 500$).

4의 *T. palustris*균을 비교하면 *T. palustris*균 무처리재의 세포벽 침입이 크다는 것을 알 수 있었다.

Photo. 4는 처리하지 않은 부후시편의 횡단면을 SEM으로 촬영한 것이다.

좌·우에 큰 도관이 관찰되고 그 사이에 위치한 세포벽은 그대로 살아 있었다.

Photo. 5는 무처리재와 처리재의 이태리포플러재 시편에 *T. versicolor*균을 12주 배양한 횡단면 사진이다. 무처리재 a는 세포벽의 파괴가 크게 변형되지 않은 형태이며, 처리재 b도 a와 비슷한 형태를 보인다. 그렇지만 처리재 b보다 무처리재 a의 조직이 약간 손상되었다는 것을 볼 수 있었다.

*T. versicolor*균을 처리한 결과 무처리재는 목재조직의 손상이 있었지만, 약제 처리재는 별다른 손상이

나타나지 않은 것으로 보아 약제처리재가 방부효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

Photo. 6은 무처리재와 처리재의 이태리포플러제 시편에 *T. palustris*균을 12주 배양한 횡단면 사진이다. 무처리재 a의 세포벽은 *T. palustris*균의 특징으로 뚜렷이 붕괴된 형태를 보였고 세포벽이 그대로 남아 있어 사진에서 실 모양으로 나타난 것은 균사로 생각 되어진다.

*T. palustris*균을 처리한 Photo. 6을 Photo. 5와 비교해보면 소나무재와 같이 이태리포플러제 또한 *T. palustris*균에서 무처리재가 세포벽의 침입을 크게 받는다는 것을 알 수 있었다.

따라서 목재부후는 미생물의 열화에서는 어느 정도 제한적이고, 미생물의 효소작용에 의해 물리·화학적 성질에도 변화가 나타난다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

1. 소나무재와 이태리포플러제의 약제보유량은 1.89 kg/30 cm³와 2.59 kg/30 cm³으로서 약제보유량은 이태리포플러제가 높았다.

2. 무처리 소나무재에 *T. versicolor*균을 부후시킨 결과 MOR과 MOE의 값은 198.8 kgf/cm², 22.7×10³ kgf/cm²이었고, 약품처리재에서는 221.3 kgf/cm², 32.7 tonf/cm²이었다. 또한 *T. palustris*균을 부후시킨 결과 MOR과 MOE의 값은 167.4 kgf/cm², 21.8 tonf/cm²이었고 약품처리재에서는 204.9 kgf/cm², 29.8 tonf/cm²으로서 처리재의 압축강도가 무처리재의 강도보다 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 *T. versicolor*균이 *T. palustris*균보다 강도감소가 적다는 것을 알 수 있었다. 무처리 이태리포플러제에 *T. versicolor*균을 부후시킨 결과 MOR과 MOE의 값은 21.9 kgf/cm², 0.28 tonf/cm²이었고, 약품처리재에서는 160.6 kgf/cm², 26.6 tonf/cm²이었다. 또한 *T. palustris*균을 부후시킨 결과 MOR과 MOE의 값은 18.5 kgf/cm², 20.23 tonf/cm²이었고, 약품처리재에서는 178.1 kgf/cm², 24.8 tonf/cm²으로써 처리재의 압축강도가 무처리재의 강도보다 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 *T. versicolor*균이 *T. palustris*보다 강도감소가 적다는 것을 알 수 있었다.

3. 주사전자현미경의 사진상에서 무처리재와 약품처리재에 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균으로 부후시킨 결과 부후가 진행됨에 따라 무처리재가 처리재보다 세포벽의 파괴가 현저함을 보여 주었고, 소나무재와 이태리포플러제의 부후를 비교하면 이태리포플러제가 훨씬 빠른 속도로 부후되었다. 또한 *T. versicolor*균과 *T. palustris*균의 부후성을 비교하면, *T. palustris*균에 의한 목재 열화가 약간 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Karen, E. A., A. H. Conner, and T. K. Kirk. 1992. Changes in molecular size distribution of cellulose during attack by white rot and brown fungi. *Applied and environment microbiology* 58(4): 1266~1270.
2. Kim, J. M. 1986. Studies on plywood treated fire-retardant. III. The fire-retardant degree of monoammonium phosphate treated plywood. *Wood Sci.&Tech.* 14(4): 21~28.
3. Kim, Y. S., J. H. Choi, and H. J. Bae. 1992. Ultrastructural localization of extracellular fungal metabolites from *Tyromyces Palustris* using TEM and immunogold labelling. *Mokuzai Gakkaishi* 38(5): 490~494.
4. Koch, P. 1972. Utilization of Southern pines. Part II, p.1111-1128, Agriculture HBK, No. 420, USGPO, Washington, D.C.
5. Lebow, S. T. and J. E. Winandy. 1999. Effect of fire-retardant treated on plywood pH and the relationship of pH to strength properties. *Wood Science and Technology* 33: 285~298.
6. Levan, S. L., J. M. Kim, R. J. nager., and J. W. Evans. 1996. Mechanical properties of fire-retardant-treated plywood after cyclic temperature exposure. *Forest Prod. J.* 46(5): 64~71.
7. Proctor, P. 1941. Penetration of the walls of wood cells by the hyphae of wood-destroying fungi. *Bull. No. 47, Yale Univ., School of Forestry, New Haven, Conn.*
8. Ohkoshi, A. K., K. Suzuki, N. Hayashi, and M. Ishihara. 1999. Characterization of acetylated

- wood decayed by brown-rot and white-rot fungi. *J. Wood Sci.* 45: 69~75. 47(6): 79~86.
9. Wanzy, J. and J. D. Thornton. 1986. Comparative laboratory testing of strains of the dry rot fungus. (Schum. Ex. Fr.) S. F. Gray, *Holzforschung* 40. 383~388.
 10. Winandy, J. E. 1997. Effects of fire-retardant retention, borate buffers, and redrying temperature after treatment on thermal-induced degradation. *Forest Prod. J.* 47(6): 79~86.
 11. Yalinkilic, Su. W. Y., Y. Imamura, M. Takahashi, Z. Demirci, and A. C. Yalinkilic. 1998. Boron effect on decay resistance of some fire-retardant coatings applied on plywood surface. *Holz als Roh* 56(5): 347~353.
 12. 한국산업규격. 1999. 한국표준협회. KS F 2206, 2219, 2255, 2254.