

무기물처리 목재의 기초물성에 관한 연구

김 건 형*² · 오 태 경*^{2†} · 이 원 희*²

A Study on the Basic Properties of Wood Impregnated with Inorganic Compounds

Geon Hyoung Kim*² · Tae Kyung Oh*^{2†} · Weon Hee Lee*²

요 약

본 연구는 목재에 무기물인 규산나트륨과 붕산, 인산을 단독 또는 혼합 침지처리하여 시험편의 중량증가율 및 수축률, 흡습성과 휨강도와 압축강도 및 경도의 기계적 성질을 측정하였다. 또한, 300°C~500°C의 온도에서 시험편을 탄화시킨 후, 중량손실을 측정하여 무기물 처리재의 내열성에 대하여 조사하였다. 1) 물유리 침지 주입 시 중량증가율은 처리온도보다는 농도에 더 큰 영향을 받았으며, 물유리와 붕산 및 인산의 혼합처리가 단독 처리에 비해 높은 중량증가율을 나타내었다. 2) 무기물 처리재의 수축율은 물유리처리를 제외하고는 무처리재보다 낮은 수축률 값을 나타내었으며, 흡습성 실험 결과 물유리나 인산이 포함된 경우에 높은 흡습성을 나타내었다. 3) 기계적 성질에 있어 휨강도는 대부분의 무기물처리재가 무처리재보다 낮은 값을 보였으나, 압축강도와 표면경도는 물유리나 붕산이 처리된 시험편의 경우 무처리재와 비슷하거나 보다 높은 값을 나타내었다. 4) 무기물 처리재를 300°C~500°C에서 탄화시킨 결과, 중량손실율의 약 50~70% 정도를 나타내어 무처리재보다 우수한 내열성을 나타내었다. 특히, 400°C까지의 온도에서는 시험편의 형태가 그대로 유지되었다.

ABSTRACT

Composite materials were prepared by impregnating water glass into the wood, followed by soaking in solutions of boric acid or phosphoric acid. The effects of these treatments on the physical and mechanical properties of the specimens and especially on its heat resistance were investigated. 1) Weight Percent Gain (WPG)s increased with increase of concentrations of water glass. However, there

*¹ 접수 2006년 5월 26일, 채택 2006년 7월 12일

*² 경북대학교 임학·임산공학과군 Department Group of Forestry and Wood Science & Technology, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 오태경(e-mail: 3xeng@naver.com)

was little relationship between treatment temperatures and WPG. Generally, WPGs of double treated specimens were higher than single treated ones. 2) Percent shrinkages in each directions of the specimens treated with water glass had higher value than other specimens. Percent shrinkages of the specimens treated with boric acid or phosphoric acid were decreased as compared with untreated specimen. However, the specimens treated with water glass or phosphoric acid showed very high hygroscopicity. 3) The bending strengths of all specimens treated inorganic substances were slightly decreased. However, the values of compressive strength and hardness of most specimens treated with inorganic substances increased or similar to that of untreated specimen except for a phosphoric acid treated specimens. 4) The specimens had good heat resistance. Weight losses of all specimens treated inorganic substances were about 50~70%. In particular, the specimens treated at 300°C and 400°C almost kept their shapes.

Keywords: inorganic substances, water glass, heat resistance

1. 서 론

목재는 가볍고 비강도가 높고, 가공이 용이하며 전기나 열 등에 대하여 효율적인 성질을 나타낸다. 그러나 유기물이기 때문에 치수 불안정, 연소성, 부후 등의 단점도 동시에 가지고 있다. 따라서 이와 같은 단점을 개선시키기 위하여 다양한 목재의 개질처리 방법이 연구되어 왔다. 특히 목재의 무기화 처리는 목재의 대표적인 결점인 연소, 틀어짐 등을 개량시킬 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 따라서 목질 재료의 가공 이용 시 1차적인 무기물 처리는 최종가공에 앞서 목재의 결점을 보완 및 개선시킬 수 있을 것이다. 무기화 처리는 목재 자체를 무기화하는 방법과 무기물과 복합화하는 방법 등이 있다. 무기질 복합화에 관한 연구를 살펴보면 Furuno 등(1991, 1992, 1993)은 규산염을 이용하여 무기질 복합화목재를 제조하고, 재중에 생성된 반응 생성물 및 치수 안정성, 난연성, 내후성 등을 검토한 바 있다. Yamaguchi (1994)는 규산화합물을 이용하여 무기질복합화한 목재의 물리적 성질에 관하여 연구하였으며, Saka 등(1992, 1993, 1996)은 목재 세포벽 중에 결합수를 이용한 sol-gel process에 의한 세포벽 중에 실리카겔(SiO₂)을 생성함으로써 목재가 지닌 다공성을 유지한 무기질 복합화에 관하여 보고하였다. 국내에서는 도 등(1998, 2002)은 규산나트륨 수

용액과 붕사, 붕산암모늄, 인산수소2암모늄을 사용한 무기혼합액을 주입시킨 무기질 목재와 합판을 제조하여 이들의 내화성능을 보고하였으며, 또한 규산나트륨 수용액과 붕사 및 인산수소이암모늄의 포화수용액을 혼합하여 감압주입한 파티클로 제조된 무기질 파티클보드의 난연성능에 대해 보고하였다. 윤 등(2001)은 탄산칼륨 포화용액을 감압주입한 후, 염화칼륨 포화용액으로 확산처리하여 제조한 무기질 복합화 목재의 무기염의 생성상태와 구성성분 및 이들 무기염이 생성된 목재의 방부성능에 대해 보고한 바 있다.

본 연구에서 무기물로서 액상 규산나트륨(물유리)과 인산 및 붕산을 사용하여 단독 또는 혼합처리하여 생성된 무기질 복합화 목재의 기초 물성과 열적 성질의 변화에 대해서 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에 사용된 공시목은 국립산림과학원에서 제공받은 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 사용하였으며, 공시목의 기건밀도는 0.42 g/cm³, 함수율은 10.1%, 평균 연륜폭은 5.5 mm였다. 이 재료를 이용하여 무기물처리에 의한 중량증가를 실험, 수축률 및 흡습성

실험, 휨강도 및 압축강도, 경도 그리고 내화성 실험을 위한 시편을 제작하였으며, 목재로부터 시편은 심재와 변재의 구분없이 채취한 것을 공시목재로 사용하였다. 무기물 처리의 중량증가를 측정하기 위한 시편은 10 mm (L)×20 mm (R)×20 mm (T)크기로 각 무기물 처리조건별로 10개씩 제작하였다. 수축률 시편은 접선 및 방사방향은 5 mm×20 mm×20 mm (L×R×T), 섬유방향은 60 mm×30 mm×5 mm (L×R×T), 흡습성 시편은 5 mm×30 mm×30 mm (L×R×T)로 제작하였으며, 강도 실험용 시편은 휨강도 실험용 시편은 150 mm×10 mm×10 mm (L×R×T), 압축강도는 40 mm×20 mm×20 mm (L×R×T)로 각각 10개씩 제작하였으며, 경도 실험용 시편은 15 mm×40 mm×40 mm (L×R×T)로 제작하였다. 그리고 내화성 실험용 시편은 20 mm×20 mm×20 mm (L×R×T) 크기로 탄화온도조건별 5개씩 제작하여 사용하였다. 한편, 목재에 무기물처리를 위해 주약제인 몰유리(Sodium Silicate: Na₂SiO₃)와 순도 95% 이상의 시약급인 붕산(Boric acid: H₃BO₃), 인산(Phosphoric acid: H₂PO₄)을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 목재의 무기물처리

주 무기물인 규산나트륨(몰유리)의 처리는 각각 20, 30, 40, 50, 60%의 5단계의 농도로 조절하여 48 시간동안 20, 50, 70, 100°C의 각 온도조건에서 상압 침지시켰다. 이후 50°C에서 24시간 건조시켜 중량의 변화를 계산하여 중량증가율을 측정하였다. 몰유리처리 후 2차 무기물처리를 위해 붕산은 가열한 물에 용해시킨 후 약 80°C를 유지한 상태에서 시편을 2차 침지처리 하였으며, 인산은 10% 농도로 조절하여 시편의 2차 처리용액으로 사용하였다. 2차 처리시간은 24시간으로 하였으며, 침지 후 시편은 50°C에서 24시간동안 건조한 후 사용하였다.

2.2.2. 수축률 및 흡습성 실험

수축률 측정은 표준시험방법인 KS F 2205에 준하

여 실시하였다. 시편들의 각 방향 즉, 섬유방향, 방사방향 및 접선방향별로 측정하였다. 흡습성 실험은 전체면의 흡습성을 측정하기 위하여 실시하였다. 각각의 무기물처리 시편을 20°C, 상대습도 80%의 항온 항습실에서 조습처리한 후, 질산칼륨(KNO₃) 포화 염용액을 사용하여 95% 상대습도로 조절된 데시케이터에 넣어 총 120시간 동안 흡습처리를 실시하였다.

2.2.3. 강도 및 내열성실험

강도 성능시험은 만능강도시험기(Hounsfield test equipment Ltd, H50K-S)를 이용하여 휨강도와 압축강도를 측정하였다. 이때 휨강도 시험의 스패(span) 간격은 140 mm이며, 휨강도와 압축강도의 하중속도는 3 mm/min이었다. 경도 측정은 브리넬 경도 측정법(Brinell hardness method)을 이용하여 횡단면 및 접선단면에 대해 실시하였다. 시편의 내열성 실험을 위해 회화로(Muffle Furnace)를 이용하였으며, 처리온도는 각각 300°C, 400°C, 500°C로 가열된 온도조건하에서 실시하였다. 탄화시간은 40분 동안 10분 간격으로 시편을 꺼내어 중량의 변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 무기물 처리재의 중량증가

처리제인 규산나트륨 용액을 침지하여 시편에 무기물을 생성시키기 위한 조건을 조사하기 위해 먼저 처리온도와 규산나트륨의 농도와와의 관계에 대해 Fig. 1에 나타내었다. 각 온도별 중량증가율을 살펴보면, 100°C의 경우를 제외하고는 다른 온도영역에서는 온도의 고저에 따른 중량증가율의 상관성이 크게 없는 것으로 나타났다. 이는 목재의 물질이동 경로인 세포내강이나 벽공과 같은 목재조직이 70°C 부근까지는 물질이동이 원활하게 이루어질 수 있는 조직적 변화가 거의 발생하지 않았기 때문으로 추측된다. 한편, 규산나트륨 용액의 농도는 높을수록 중량증가율이 증가하는 경향을 나타내어 70°C 범위까지의 중량증가율은 처리온도보다는 농도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나

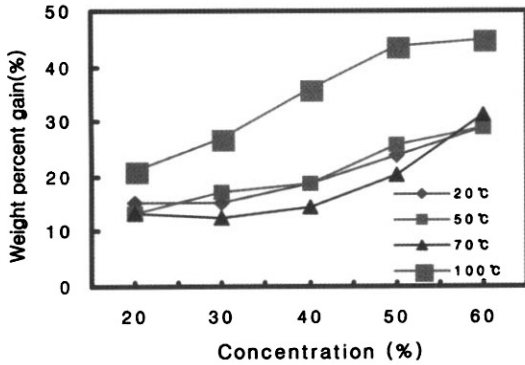


Fig. 1. Relationships between weight percent gains and concentrations of water glass at each treatment temperatures.

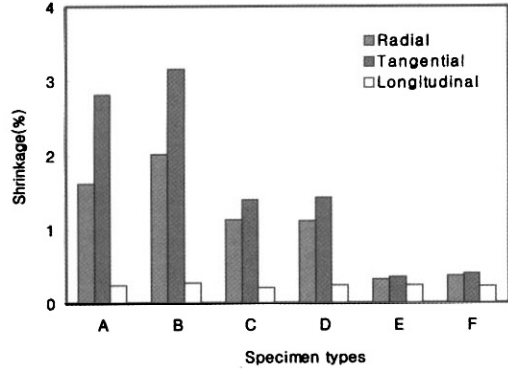
Table 1. Weight percent gains of the specimens treated with inorganic substances

Chemical type	WPG prior to dry (%)*		WPG [†] (%)
	impregnation time		
	24 hr	48 hr	
Boric acid	182.6	-	25.6
Water glass and Boric acid	59.5	75.5	27.9
Phosphoric acid	28.9	-	15.5
Water glass and Phosphoric acid	65.8	66.1	32.5

* : weight percent gain containing the water

† : final weight percent gain after drying at 50°C for 24 hr

타났다. Table 1은 물유리와 다른 무기물과 혼합처리한 시험편의 중량증가율에 대해서 나타내었다. 모든 시험편들의 중량증가율 값의 범위는 15.5~32.5%를 나타내었다. 붕산처리재의 경우 건조전의 중량증가율은 182.6%에 달했으나 최종 중량증가율은 25.6%를 나타냈다. 또한, 인산처리재의 중량증가율은 물유리와 혼합처리한 경우가 32.5%로 인산을 단독으로 처리했을 때의 15.5%보다 두 배정도 증가하였다. 이는 1차 처리시 시험편에 침투된 상당량의 물유리에 인산이 일부 더해졌기 때문인 것으로 보여진다. 전체적으로 무기물의 단독처리보다는 혼합처리시 중량증가율이 높았다.



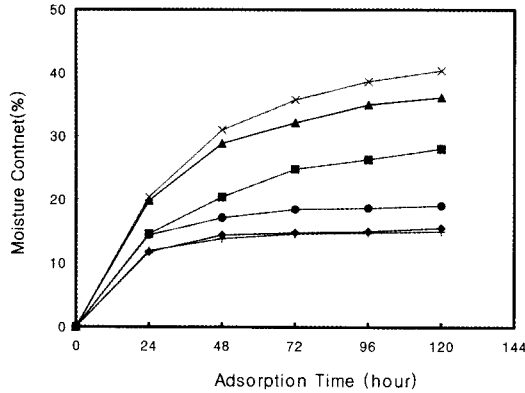
Legend : A: untreated, B: water glass, C: boric acid, D: boric acid and water glass, E: phosphoric acid, F: phosphoric acid and water glass.

Fig. 2. Shrinkage of wood inorganic composites.

3.2. 수축율 및 흡습율

각각의 무기물 처리조건에 따른 수축율의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 방사, 접선, 섬유방향별 평균치를 비교해 보면 물유리 처리재를 제외한 나머지 시험편들의 수축율은 모두 무처리재의 수축률보다 낮은 값을 보였다. 특히, 인산이 포함된 시험편의 방향별 수축율은 가장 큰 것이라 해도 0.4% 미만의 낮은 값을 나타내었으며, 모든 시험편의 섬유방향의 수축율은 0.3% 미만이었다. 물유리 처리재의 경우 수축율이 다소 증가한 것은 규산나트륨 용액의 알칼리의 영향으로 가도관의 찌그러짐의 발생과 헤미셀룰로오스의 알칼리에 의한 용출을 생각할 수 있다.

Fig. 3은 무기물 처리재의 흡습성을 나타낸 것이다. Furuno 등(1991)에 의하면 물유리와 다른 무기염과의 이중처리시 다른 무기염과의 미반응으로 cell lumen에 남아있는 물유리 성분 중 나트륨에 의한 것으로 흡습성이 매우 높다고 보고하였다. 본 실험결과도 마찬가지로 물유리가 포함된 시험편의 함수율이 28%로 무처리재의 15.5%보다 두 배정도 높게 나타났으며, 인산처리재의 경우도 마찬가지로 매우 높은 흡습성을 나타내었다. 반면 붕산이나 물유리와 붕산의 혼합처리재의 경우 최종함수율이 각각 15%, 19.1%를 나타내어 붕산이 포함된 시험편이 무처리재와 비슷한



Legend : ● : untreated, ■ : water glass, ▲ : boric acid, ◆ : boric acid and water glass, ▼ : phosphoric acid, × : phosphoric acid and water glass.

Fig. 3. Moisture absorption curves of the specimen types.

Table 2. Mechanical properties of specimen types

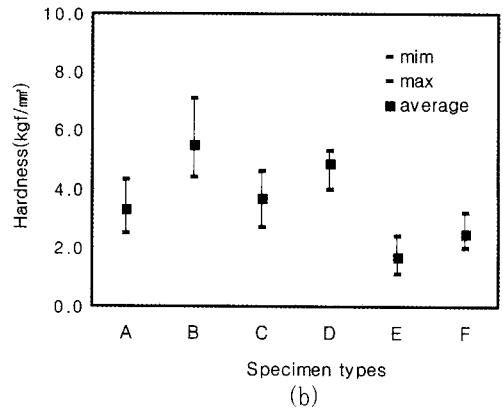
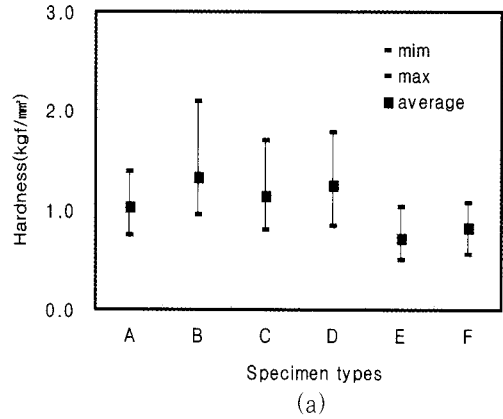
specimen types	WPG (%)	MOR (kgf/cm ²)	compressive strength (kgf/cm ²)
Untreated	-	961.9	405.8
Water glass	5.1 (7.7*)	915.4	471.2
boric acid	5.7(11.4)	899.0	404.8
boric acid and water glass	5.5(7.9)	882.2	452.9
phosphoric acid	6.8(7.5)	702.0	344.7
water glass and phosphoric acid	20.0(28.2)	754.5	374.3

* : WPG of compressive test specimens

최종흡수율을 나타내었다.

3.3. 기계적 성질

Table 2는 무기물처리재의 휨강도 및 압축강도를 나타내었다. 휨강도의 경우 무기물 처리재가 무처리재에 비해 모두 낮은 값을 나타내었다. 특히, 인산 처리재의 경우는 무처리재에 비해 휨강도는 34.3%까지 감소하였고, 압축강도 역시 17.5% 감소하였다. 목재의 인산처리에는 목재를 암갈색으로 변색시켰으며, 조



Legend : A: untreated, B: water glass, C: boric acid, D: boric acid and water glass, E: phosphoric acid, F: phosphoric acid and water glass.

Fig. 4. The values of hardness of specimen types. (a) tangential section, (b) cross section.

직을 연화시켜 강도를 약화시키는 것으로 판단된다. 그리고 물유리 처리재의 휨강도는 무처리재에 비해 5% 정도로 약간 감소한 반면, 압축강도에 있어서는 오히려 강도가 증가하였다. 이는 하중방향이 섬유방향인 종압축 시험이므로 시험편이 알칼리에 의한 강도의 감소보다는 이를 보완할 수 있는 많은 양의 물유리가 횡단면상으로 침투되어 강도를 증가시킨 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 무기물처리재의 횡단면과 접선단면상의 표면경도를 보여주고 있다. 인산 및 인산과 물유리 혼합처리 시험편을 제외하고는 모두 무처리재보다 높은

Table 3. Weight losses of the specimen types with different treatment temperatures

Specimen types	WPG*	Treating temperature	Weight loss (%)			
			treatment time			
			10 min	20 min	30 min	40 min
A	-	300°C	38.7	49.3	61.0	69.7
		400°C	75.4	85.9	93.1	96.5
		500°C	84.2	91.1	96.0	98.2
B	14.5%	300°C	35.9	40.4	41.6	46.6
		400°C	55.8	59.6	62.8	64.2
		500°C	61.9	66.4	69.1	71.6
C	22.8%	300°C	40.9	44.6	47.6	49.6
		400°C	51.9	53.0	54.1	54.9
		500°C	60.9	63.3	65.1	67.1
D	24.7%	300°C	43.6	45.4	46.2	47.5
		400°C	52.2	54.1	56.6	60.1
		500°C	61.4	65.8	69.2	72.0
E	16.3%	300°C	40.7	41.7	42.1	42.8
		400°C	52.1	54.1	56.6	60.1
		500°C	61.3	64.3	68.3	72.3
F	27.9%	300°C	50.8	51.1	51.3	52.4
		400°C	50.3	51.1	52.4	53.5
		500°C	54.9	58.9	62.2	67.3

* : mean value of WPG

Legend : A : untreated, B : water glass, C : boric acid, D : boric acid and water glass, E : phosphoric acid, F : phosphoric acid and water glass.

경도를 나타내었다. 특히 물유리처리 시험편의 경도 값이 접선단면 30%, 횡단면은 66%의 증가를 나타내어 매우 높은 경도를 나타내었으며, 붕산과 물유리를 혼합처리한 시험편의 경우도 마찬가지로 접선단면과 횡단면의 경도가 각각 21%, 48% 증가하여 물유리 처리를 통한 표면경도의 개선효과를 확인할 수 있었다.

3.4. 무기물 처리재의 내열성

300°C, 400°C, 500°C의 온도에서 무기물 처리시험편의 시간에 따른 중량감소율은 Table 3에 나타내었다. 전반적으로 처리온도와 처리시간이 증가할수록 중량감소율은 증가하였다. 그러나 무기물 처리재의 중량감소율은 무처리재에 비해 상당히 낮았으며, 모

든 무기물처리 조건에서 대체적으로 비슷한 중량감소율을 나타내었다. 300°C의 온도조건에서 중량감소율은 무처리재의 69.7%에 비해 50% 내외로 우수한 내열성을 가졌으며, 특히 400°C와 500°C의 온도에서 무처리재의 최종 중량감소율이 모두 95%를 초과한 반면, 무기물처리재의 경우에는 53.5~72% 범위의 중량감소율을 나타내어 최고 25% 정도의 중량손실의 감소효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 400°C의 처리온도에서는 시험편은 약간의 틀어짐과 크랙이 발생할 뿐 전체적인 형태를 그대로 유지하였다. 500°C에서는 발생한 크랙으로 인해 시험편이 두세개의 부분으로 갈라지는 형태를 나타내었으나, 무기물이 침투한 부분까지는 연소하지 않고 탄화층이 형성되어 시험편의 형태를 유지하였다. 그리고 연소되는 과정

에 있어서 400°C 이상의 조건에서는 연기 및 유독가스가 거의 발생하지 않았다. 이상의 결과를 종합하여 불 때 실험에 사용된 무기물을 단독 또는 혼합처리하여 목재에 처리한다면 난연제로서의 목재의 점화를 지연시키고 열방출과 화염전파속도를 감소시키는 역할을 할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 결 론

무기물인 규산나트륨과 붕산, 인산을 단독 또는 혼합처리하여 시험편의 기초 물성 및 내열성 실험의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 물유리 침지 주입 시 중량증가율은 처리온도보다는 농도에 더 큰 영향을 받았으며, 13.1~44.9% 사이의 중량증가율을 나타내었다. 물유리와 붕산 및 인산의 단독 또는 혼합처리시 혼합처리의 경우가 다소 높은 중량증가율을 나타내었다.

2) 무기물 처리재의 수축율은 물유리처리를 제외하고는 무처리재보다 낮은 수축을 값을 나타내었으며, 흡습성 실험 결과 물유리나 인산이 포함된 경우에 높은 흡습성을 나타내었다.

3) 기계적 성질에 있어 휨강도는 대부분의 무기물처리재가 무처리재보다 낮은 값을 보였으나, 압축강도와 표면경도는 물유리나 붕산이 처리된 시험편의 경우 무처리재와 비슷하거나 보다 높은 값을 나타내었다.

4) 내열성 실험결과, 모든 무기물 처리재의 중량손실율의 약 50~70% 정도를 나타내었다. 특히, 400°C 까지의 온도에서는 시험편의 형태가 그대로 유지되어 무기물 처리재가 우수한 내열성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Korean Standard. 1999. Method of shrinkage test for wood. KS F 2205.

2. 도금현, 공영토, 강은창. 1998. 무기질 처리 목재의 특성과 합판. 산림과학논문집 59: 36~44.

3. 도금현, 강인애, 박병수. 2002. 무기질 주입 파티클보드의 제조 및 내화 특성. 산림과학논문집 65: 80~86.

4. 윤선미, 이종신. 2001. 탄산칼륨과 염화칼슘을 이용한 무기질 복합화 목재 중에 있어서 무기염의 생성과 방부효력. 목재공학 29(2): 126~132.

5. Furuno, T., T. Uehara, and S. Jodai. 1991. Combinations of wood and silicate I. Impregnation by water glass and applications of aluminum sulfite and calcium chloride as reactants. Mokuzaï Gakkaishi 37(5): 462~472.

6. Furuno, T., K. Shimada, T. Uehara, and S. Jodai. 1992. Combinations of wood and silicate II. Wood mineral composites using water glass and reactants of barium chloride, boric acid and borax, and their properties. Mokuzaï Gakkaishi 38(5): 448~457.

7. Furuno, T., T. Uehara, and S. Jodai. 1993. Combinations of wood and silicate III. Some properties of wood mineral composites using the water glass-boron compound system. Mokuzaï Gakkaishi 39(5): 561~570.

8. Saka, S., M. Sasaki, and M. Tanahashi. 1992. Wood-Inorganic Composites prepared by Sol-Gel process I. Wood-Inorganic Composites with porous structure. Mokuzaï Gakkaishi 38(11): 1043~1049.

9. Saka, S. and Y. Yakake. 1993. Wood-Inorganic Composites prepared by Sol-Gel process III. Chemically modified wood-Inorganic Composites. Mokuzaï Gakkaishi 39(3): 308~314.

10. Saka, S. and F. Tanno. 1996. Wood-Inorganic Composites prepared by Sol-Gel process IV. Effects of a property-enhancer on fire-resistance in SiO₂-P₂O₅ and SiO₂-B₂O₃ wood-Inorganic Composites. Mokuzaï Gakkaishi 42(1): 81~86.

11. Yamaguchi, H. 1994. Preparation and physical properties of wood fixed with silicic acid compounds. Mokuzaï Gakkaishi 40(8): 838~845.