

## 스트랜드/파티클 복합체의 기계적 성질에 관한 연구( I )<sup>\*1</sup>

- 단면구성이 기초물성에 미치는 영향 -

김 유 정<sup>\*2</sup> · 澁澤龍也<sup>\*3</sup>

## A Study on Mechanical Properties of Strand/Particle Composites( I )<sup>\*1</sup>

- Effect of Layer Constructions -

Yu-Jung Kim<sup>\*2</sup> · Tatsuya Shibusawa<sup>\*3</sup>

### 요 약

본 연구는 미이용 자원인 소경목(小經木)·조생수(早生樹) 등의 저질원료로부터 고성능을 지니는 구조용 보드를 제조하는 기술을 개발하는 것을 목적으로 하여 할렐 스트랜드(S)/파티클(P) 복합체의 층구조와 S와 P의 혼합비율을 바꾼 단면구성에 따른 기초적 물성을 검토했다.

그 결과 스트랜드층을 포함하고 있는 SP 복합체의 경우, 전체적으로 휨성능(MOR, MOE)이 매우 높았다. 또 S단층 보드는 현저한 이방성을 나타내었지만 층구조가 PB에 가까워질수록 이방성은 감소하여, 7층 구조의 복합체는 이방성이 적었으며 특히 SP7은 직교방향도 휨강도가 높았다. 습윤시 휨강도 성능도 같은 경향을 나타내었다. 박리강도(IB)는 PB가 가장 높았고, 스트랜드층을 가진 복합체는 거의 같은 값을 나타내었다. 두께팽창율(TS)은 PB가 가장 적은 값을 나타내었으며, 표층이 P층인 구조가 S표층구조보다 적은 경향을 나타내었다. 복합체의 표면특성은 표층 엘리먼트의 영향을 받아, 적고 미세한 엘리먼트인 P표층의 복합체가 크고 두꺼운 S표층 복합체보다 양호하였다.

S와 P의 혼합비율의 영향은, SP비를 증가시켜도 강도물성(MOR, MOE, IB)은 향상되지 않으며, 오히려 저하되는 것도 있었다. 두께팽창율(TS)은 SP 비 1:1 이상의 복합체에서는 S만으로 제조한 보드와 같은 정도의 값을 나타내었다.

### ABSTRACT

To develop the technology of producing structural board from low grade materials, an attempt was made to produce strand/particle composites from split wood strand(S) and particle(P) of (*Cryptomeria japonica* D. Don), which

\*1 접수 2000년 2월 3일, 채택 2000년 7월 14일

\*2 경북대학교 농업과학기술연구소 Institute of Agriculture Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

\*3 日本 農林水産省 森林總合研究所 Forestry & Forest Products Research Institute, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi-Nai, Ibaraki 305-8687, Japan

changed the layer construction and the ratio of S/P.

The influence of layer construction on board properties was determined, focusing on the number and alignment of the S layers. The effect of weight ratio of S/P (3:7, 1:1, 7:3) on mechanical properties was also discussed on seven layered panel.

Mechanical properties were determined from static bending tests to give parallel and perpendicular modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE), and the internal bond (IB) strength. In general, the surface strand layers contributed to the MOR and MOE. The parallel MOR and MOE values were the largest for the single layered S panel (only S layers: S1), but the perpendicular MOR and MOE was the smallest. Perpendicular MOR and MOE were the largest for seven layered composite that had two cross oriented strand layers (SPSPSPS: SP7). Specimens retained more than half of their MOE and MOR after two hours in boiling water and one hour soaking. IB was the largest for the panel having only P layers, however, differences in IB strength were not identified among the other multi-layered composite panels thus the effect of layer construction on IB strength was small. Thickness swelling (TS) and surface roughness were smaller for the composite having P layers on the surface than for those having S layers. The addition of strands did not enhance the mechanical properties (MOR, MOE, IB). TS values for the panels, with which the S/P ratio was over than 1:1, was the similar to the value for the single layered S panels.

**Keywords :** Strand/particle composites, layer construction, weight ratio of S/P, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), internal bond (IB) strength, thickness swelling (TS)

## 1. 서론

최근, 세계적인 목재 자원량의 감소와 함께 지구 환경보호의 관점으로부터 목질자원의 유효이용을 촉진할 필요가 높아지고 있다. 따라서, 저질원료를 이용하여 가공효율이 높으며, 제조상의 에너지를 절감시킬 수 있는 목질재료의 개발이 보다 요구되어지고 있다.

패널재료개발의 대표적인 것으로 사시나무 등의 미이용 저질활엽수를 원료로 하여 북미에서 개발된 OSB가 합판의 대체재료로서 이미 그 수요가 눈부시게 급증하고 있다.

축재료 개발품으로서 캐나다 Trus Joist Macmoran사의 Parallam이 대표되며 Douglas-fir, southern pine 등의 저비중 침엽수를 원료로 한 고강도 구조용 목질재료이다.

이에 대등한 일본의 개발품으로서 SST(Succeeding Serviceable Timber)를 들 수 있다.

SST의 원료로는 삼나무, 버드나무 등 생장이 빠르고 연한 직경 10mm~50mm의 소경목, 임지잔재(林地殘材), 제재단재(製材端材), 건축폐재(建築廢材), 소지(小枝) 등이 이용된다. 이와 같은 미이

용 목질자원을 할렬장치로서 상하 one set로 구성된 롤러(小割장치 및 細片化장치) 사이에 끼워 넣어 가늘고 긴 스트랜드로 쪼개어 가르는 방법으로 엘리먼트인 스트랜드를 제조하여, 이들 스트랜드를 섬유주행 방향으로 적층·접착한 것이 SST 제품이다.

SSB<sup>4,5,10)</sup>는 SST와 동일한 저질원료로부터 얻어진 새로운 형상의 엘리먼트(할렬 스트랜드)를 이용하여 고성능을 가지는 보드를 제조하는 기술을 개발하는 것을 목적으로 하고 있으며, 본 연구에서는 그 첫 단계로서 할렬 스트랜드에 파티클을 복합시킨 복합체의 기초적인 물성을 조사하여 SSB 개발의 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시험 보드의 제조

#### 2.1.1 공시재료

본 실험에서 이용한 할렬 스트랜드(S)와 파티클(P)은 삼나무(*Cryptomeria japonica* D. Don) 간벌재로부터 제조하였다. 스트랜드의 크기는 두께 3~4mm, 나비 5~10mm, 길이 400mm이며, 파티클은 10 mesh screen on의 것을 이용했다. 공

시(供試) 할렬 스트랜드와 파티클의 함수율은 각각 7%, 3% 이하로 건조시켰다.

2.1.2 제조조건

2.1.2.1 층구조와 S와 P의 혼합비

보드의 층구조는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 단층(單層), 3층, 7층의 3종류의 층으로 크게 구성되어 있으며, S층과 P층을 교호로 배치했다.

즉, 단층(單層)구조는 표층과 심층이 스트랜드만으로 구성되어 있으며 스트랜드의 배향방향을 한 방향으로 배열한 S1과 표층과 심층을 P만으로 구성된 PB(파티클보드)의 2종류를 제조하였다. 3층 구조는 표층이 S이고 심층이 P인 SP3, 표층이 P이고 심층이 S인 PS3, 표층과 심층이 모두 S만으로 구성되어 있으며 표층과 심층의 스트랜드의 배향방향을 직교시킨 S3의 3종류를 제조했다. 7층 구조는

1, 3, 5, 7층이 S이고 2층과 4층, 6층과 8층의 배향방향이 각각 평행하며 1, 7층과 3, 5층의 배향방향을 직교시킨 SP7, 1, 3, 5, 7층이 P이고 2층과 4층의 배향방향이 평행하며 6층의 배향방향을 직교시킨 PS7의 2종류를 제조했다.

스트랜드와 파티클의 혼합비(SP 비)는 중량비로 해서 3층 구조(SP3, PS3)에서는 1:1, 7층 구조(SP7, PS7)에서는 3:7, 1:1, 7:3의 3종류로 제조했다.

2.1.2.2 접착제 및 열압조건

접착제는 페놀수지접착제(大慶振興(株)製 PB-1310)를 사용하여 스트랜드와 파티클의 전건중량에 대해 10%의 비율로 스프레이 도포했다. 열압조건은 열판온도 180℃, 최대압력 55kg/cm<sup>2</sup>로 열압시간 총 15분을 주었다. 보드의 설계비중은 0.7이며,

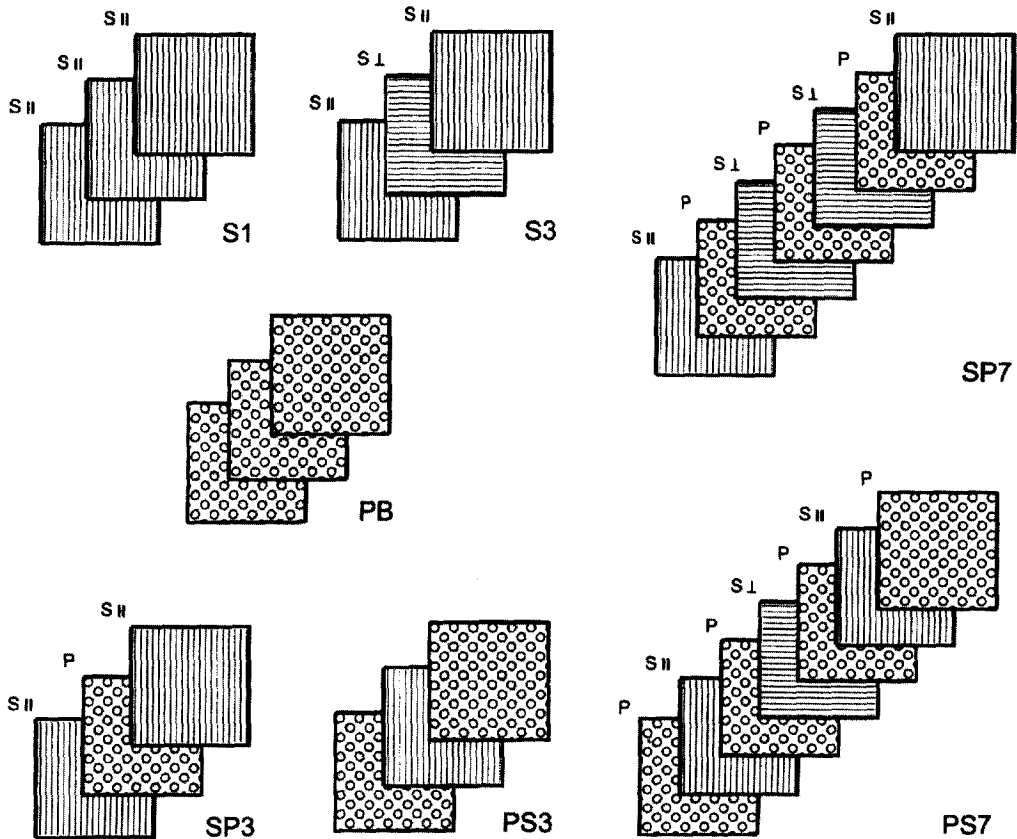


Fig. 1. Schematics of the seven layer constructions.

보드의 크기는 400mm×400mm, 12mm(두께)로 제조했다.

### 2.2 시험 보드의 재질평가

제조한 보드는 20℃, RH65%의 항온항습실에서 양생시킨 후, JIS A 5908<sup>2)</sup>에 준하여 휨(modulus of rupture: MOR, modulus of elasticity: MOE) 시험, 박리(internal bond: IB) 시험, 두께팽창율(thickness swelling: TS) 시험, 습윤시 휨강도 B시험을 했다. 휨 시험은 스펠(span)방향이 보드의 최외층(最外層) 스트랜드의 배향방향과 평행한 것(∥)과 직교하는 것(⊥)의 2 종류에 대해 행하였다. 또 보드의 표면평활도(surface roughness)를 조사하기 위하여 휨강도 시험체를 이용하여 강도 시험을 하기 이전에 양표면에 10점씩 다이얼게이지로 두께변동을 측정하여 표층의 요철(凹凸) 정도를 측정했다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 층구조의 영향

#### 3.1.1 보드의 강도성능

Figs. 2, 3에 나타낸 바와 같이 보드의 층구조에 따른 휨(MOR, MOE) 성능은 스트랜드층을 포함하고 있는 층구조의 경우 전체적으로 매우 높다. 또 표층 엘리먼트가 스트랜드층인 구조가 파티클

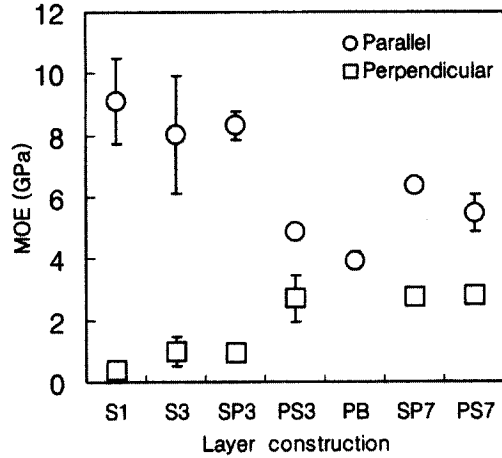


Fig. 3. Effect of layer construction on MOE.

표층구조보다 휨성능이 뛰어나므로, 크고 긴 엘리먼트인 스트랜드가 작고 미세한 파티클보다 휨성능의 향상에 기여하고 있음을 알 수가 있다. 이것은 보드의 휨성능에 긴 엘리먼트가 짧은 엘리먼트보다 높은 값을 나타내었다고 하는 Coleman III & Biblis(1976)<sup>1)</sup>와 Shuler & Kelly(1976)<sup>7)</sup>의 보고와도 일치한다. 그중에서 S단층(S1)의 평행방향이 가장 높은 값을 나타내며, 직교방향이 가장 낮은 값을 표시하여 이방성이 현저하게 크다. 그러나 층구조가 PB에 가까워질수록 평행방향의 강도는 낮

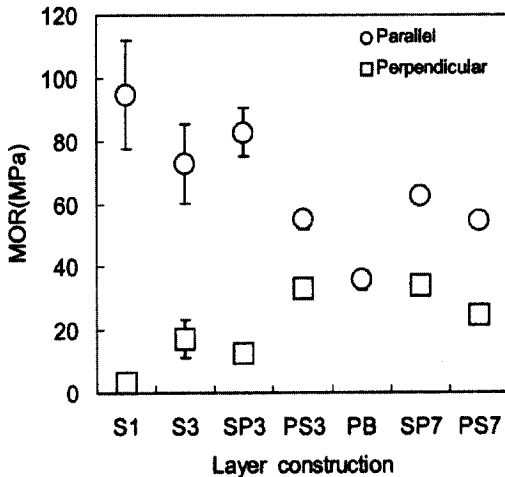


Fig. 2. Effect of layer construction on MOR.

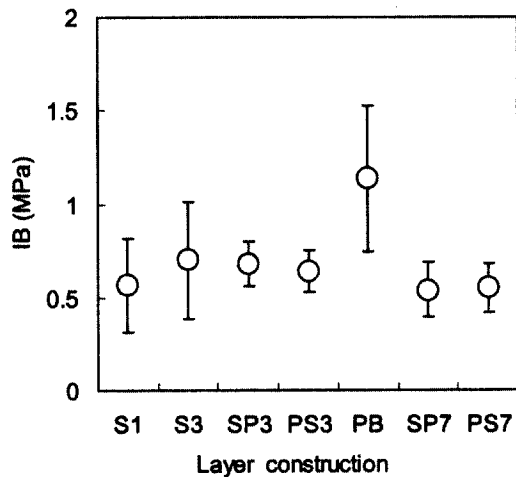


Fig. 4. Effect of layer construction on IB.

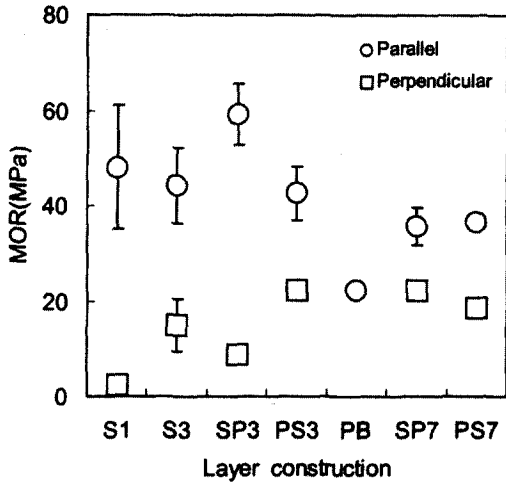


Fig. 5. Effect of layer construction on MOR after 2-hour boiling.

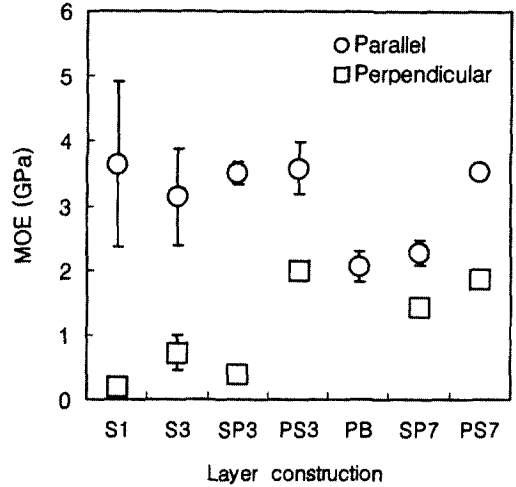


Fig. 6. Effect of layer construction on MOE after 2-hour boiling.

고, 직교방향의 강도는 높아져 이방성의 문제가 해결되어 감을 알 수 있다. 3층 구조와 7층 구조를 비교할 때에 스트랜드가 한 방향으로만 배향되어 있는 3층 구조는 스트랜드의 배향방향(∥)과 이것에 직교하는 방향(⊥)의 강도 차가 커서 이방성이 현저하다. 이에 비해 스트랜드의 직교층이 배치되어 있는 7층 구조는 평행방향 강도의 큰 손실이 없이 직교방향의 강도가 현저하게 향상되므로, 이방성이 완화된다. 특히 SP7의 직교방향은 PB와 같은 정도의 강도를 보유한다.

Fig. 4에 표시된 박리강도(IB)에서는 층구조의 영향이 보이지 않는다. PB가 가장 높은 값을 나타내며, 그 외 스트랜드층이 포함된 보드는 거의 같은 값을 나타낸다. 이러한 결과는 박리강도 시험시 박리시험체의 파괴면이 주로 스트랜드층에서 목파(木破)로 파괴되었기 때문에 제조시에 받는 스트랜드의 압축변형이 컸기 때문으로 추정된다. 그러나, 스트랜드 복합체의 박리강도가 JIS A 5908에 의한 기준치인 0.3 Mpa의 거의 2배 정도 크므로 구조용 패널재료로서 충분히 사용 가능하다.

### 3.1.2 보드의 내수성

비등수(沸騰水) 속에서 2시간 침지한 후, 다시 상온수 속에 1시간 침수시킨 후의 습윤상태에서의 휨(MOR, MOE) 성능은 Figs. 5, 6에 나타난 바

와 같다. 습윤시의 MOR과 MOE는 상태시의 휨 성능의 약 50% 이상을 보유하고 있다. 또, 전체적으로 S단층구조에서 7층 구조로 층구조가 PB에 가까워질수록 평행방향의 강도는 낮아지지만, 이방성 문제가 개선되어지고 있는 것은 상태시의 휨 성능과 같은 경향을 나타내고 있다.

상온수에서 24시간 침적시킨 후의 두께팽창율(TS)은 Fig. 7에 나타난 바와 같다. PB가 가장 적은 값을 나타내며, 스트랜드층을 포함하고 있는 모든 층구조는 JIS A 5908에 의한 기준치인 12%보다 더 큰 TS값을 나타내고 있다. 이것은 크고 두꺼운 봉상(棒狀) 형태를 갖는 스트랜드의 형상에 기인되는 것으로 간주된다. 즉, Kawai 등(1987)<sup>3,8)</sup>의 보고에서 언급된 바와 같이 긴 엘리먼트가 짧은 엘리먼트보다 접착제의 분포가 불균일하여 접착 성능이 떨어지기 때문에 IB와 TS가 감소하는 것으로 추정된다. 또 표층이 파티클층인 구조가 스트랜드 표층구조보다 두께팽창율이 적은 경향을 나타낸다. 스트랜드 표층구조 복합체는 거의 같은 값을 가지며, PB의 약 2배 정도 큰 값을 가진다. 스트랜드 표층구조는 보드 제조시에 받는 스트랜드의 압축 변형이 침수에 의해 스프링 백(spring back) 현상을 일으켜 급격히 팽윤하기 때문으로 추정된다. 이러한 결과로부터 스트랜드 복합체의 수분안정성을 향상

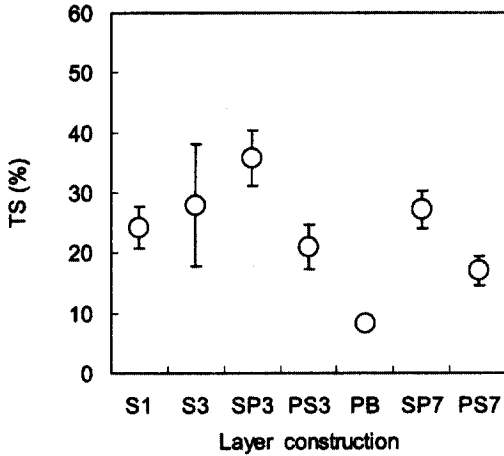


Fig. 7. Effect of layer construction on TS after 24-hour water boiling.

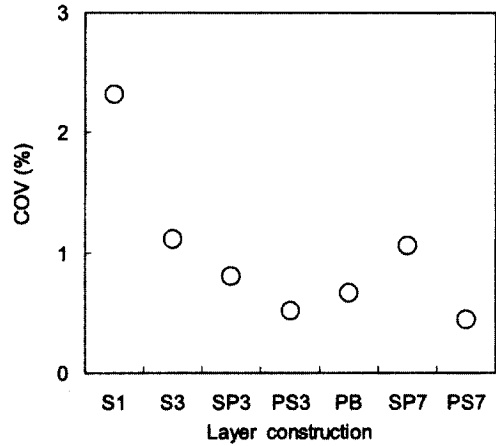


Fig. 8. Effect of layer construction on surface roughness.

note: COV(%): Coefficient of variation of thickness measured at 10 points.

시키기 위해서는 꼭 보드의 저비중화가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 3층 구조보다 7층 구조가 적은 TS값을 나타내고 있으므로 적층수를 늘림으로써 TS값을 낮추는 것이 가능한 것으로 판단된다.

### 3. 1. 3 복합체의 표면특성

Fig. 8은 복합체의 층구조에 따른 표층의 요철(凹凸) 정도를 다이얼게이지로 측정된 후 표면의 평

활도를 두께의 변동계수로 나타낸 것이다. S단층(S1) 보드는 열압체시에 엘리먼트간의 마찰이 적기 때문에 엘리먼트가 매트(mat)에 넓게 퍼지므로 압축변형량이 적어 표면평활도가 현저하게 저하된다. 그 외의 복합체의 표면성상(表面性狀)은 층구조보다 표층의 엘리먼트(element)에 영향을 받는 것을 알 수가 있다. 즉 표층이 스트랜드층인 것과 파티클층

Table 1. Properties of the seven-layer composites.\*

Layer construction	Direction	SP ratio	Dry condition			Wet condition		Thickness swelling(%)
			MOR(MPa)	MOE(GPa)	Internal bond(MPa)	MOR(MPa)	MOE(GPa)	
composite samples								
SP7	Parallel	3:7	61(4.5)	7.5(0.55)	0.68(0.049)	36(7.0)	2.7(0.567)	28(3.1)
		1:1	63(1.4)	6.4(0.17)	0.54(0.145)	36(4.0)	2.3(0.204)	27(4.7)
		7:3	59(1.3)	6.0(0.23)	0.62(0.080)	36(3.8)	2.6(0.304)	32(6.0)
	Perp.	3:7	36(5.6)	3.3(0.38)	0.68(0.049)	25(2.4)	1.7(0.277)	28(3.1)
		1:1	34(0.9)	2.7(0.24)	0.54(0.145)	22(2.1)	1.4(0.119)	27(4.7)
		7:3	39(2.4)	2.3(0.18)	0.62(0.080)	25(1.2)	1.6(0.335)	32(6.0)
PS7	Parallel	3:7	61(5.8)	6.2(0.58)	0.65(0.137)	33(2.1)	3.5(0.600)	20(4.5)
		1:1	54(7.6)	5.5(0.61)	0.55(0.043)	37(1.1)	3.5(0.002)	17(2.4)
		7:3	48(4.4)	5.6(0.68)	0.58(0.082)	28(8.1)	1.7(0.400)	30(3.8)
	Perp.	3:7	30(1.2)	3.5(0.08)	0.65(0.137)	22(1.2)	2.1(0.151)	20(4.5)
		1:1	25(1.1)	2.8(0.10)	0.55(0.043)	19(1.6)	1.9(0.119)	17(2.4)
		7:3	18(2.4)	1.8(0.16)	0.58(0.082)	12(1.6)	0.9(0.169)	30(3.8)

\* Values in parentheses are standard deviations.

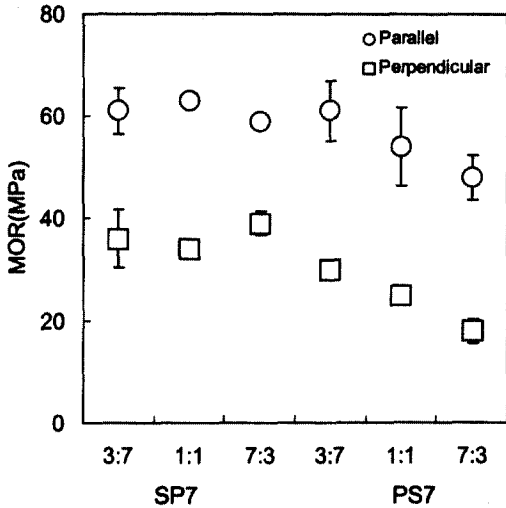


Fig. 9. Effect of S:P ratio on MOR.

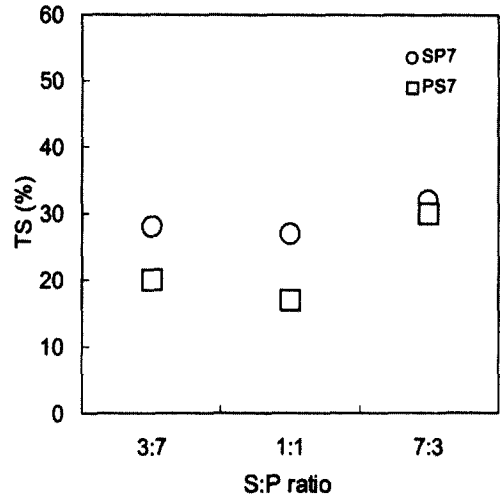


Fig. 10. Effect of S:P ratio on TS after 24-hour water soaking.

인 것으로 분류되어 각각 같은 정도의 값을 나타낸다. 또 PS7의 값으로부터 30% 정도의 적은 파티클의 혼합물에서도 표층에 파티클층을 배치하면 표면성상의 향상에 충분히 효과적인 것을 알 수가 있다.

### 3.2 SP 比의 영향

7층 구조(SP7, PS7)에서는 SP 比 3:7, 1:1, 7:3의 3종류를 제조한 후 스트랜드와 파티클의 혼합비에 따른 복합체의 재질 특성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 SP 比를 증가시켜도 강도물성(MOR, MOE, IB)은 향상되지 않으며, 오히려 저하되는 것도 있다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 휨강도(MOR)는 스트랜드 표층(SP7), 파티클 표층(PS7) 모두 SP 比의 증가와 함께 감소되는 경향이다. 이것은 섬유방향이 긴 봉상의 엘리먼트가 휨강도에 유리한 장점을 가지고 있지만, 일정량을 초과할 경우는 Walter 등(1977)<sup>9)</sup>의 보고에서와 같이 미세하고 적은 형상을 가진 엘리먼트보다 접착성능이 떨어져 오히려 강도에 마이너스 효과를 초래하는 것으로 추측된다.

또 습윤시의 강도(MOR)는 상채시 휨강도 값의 약 60~70% 정도를 보유하고 있으며, SP 比의 영

향은 거의 보이지 않는다.

Fig. 10에 SP 比의 증가에 따르는 두께팽창율(TS)을 파티클만으로 제조한 보드(P)와 스트랜드만으로 제조한 보드(S)의 값과 함께 나타내었다. SP 比 1:1 이하에서는 파티클 표층구조가 스트랜드 표층구조보다 TS가 적어 수분에 대해 안정된 것을 알 수가 있다. 그러나 SP 比 7:3에서는 표층구조와 관계없이 높은 TS값을 나타내고 있어 스트랜드의 총압축량의 증가가 원인이 되고 있기 때문으로 보인다. 한편 스트랜드만으로 제조한 보드의 TS와는 차이가 없어 열압체시에 스트랜드가 선택적으로 압축변형을 받고 있는 것으로 추정된다.

## 4. 결론

할랄 스트랜드(S)/파티클(P) 복합체의 단면구성에 있어서 스트랜드층을 포함하고 있는 층구조는 대체적으로 높은 휨성능을 보유했다. 또 층구조를 늘림으로써 이방성이 완화되었으며, 수분안정성도 향상되었다. 박리강도는 층구조의 영향을 받지 않았으며, 스트랜드층이 포함된 보드는 거의 같은 값을 나타내었다. SP 복합체의 표면성상(表面性狀)은 층구조보다 표층 엘리먼트(element)의 영향을 받았으며, 파티클 표층의 복합체가 스트랜드 표층의 것보

다 양호한 표면성상을 나타내었다.

또 SP 比를 바꾼 단면구성에서는 SP 比를 증가시켜도 강도물성은 향상되지 않았으며, 오히려 저하되는 것도 있었다. TS는 SP 比 1:1을 넘으면 표층 엘리먼트와 관계없이 스트랜드만으로 제조한 보드와 같은 정도의 값을 나타내었다.

이상의 결과로부터, 전체적인 결론은 층구조의 효과에 의해 강도가 높고 이방성이 적은 구조용 보드로서의 할랄 스트랜드와 파티클 복합체의 개발이 가능한 것으로 확인되었다. 또 할랄 스트랜드와 파티클의 혼합비는 3:7의 적은 양의 스트랜드를 혼합시켜도 충분히 강도물성이 뛰어난 것으로 평가되었다. 금후, 수분안정성을 향상시키기 위해서는 보드의 저비중화가 검토되어야 할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 일본 농림수산성 大型別卒 研究「新需要創出のための生物機能の開発・利用技術の開発に関する總合研究」프로젝트인「차세대목재(次世代木材, SST)의 개발」의 일환으로서 구조용 패널재료인 SSB(Succeeding Serviceable Board)의 개발을 시도한 것으로, 일본 농림수산성 삼림총합연구소에서 수행한 연구의 일부이다. 본 연구개발에 적극적으로 협력해 주신 일본 농림수산성 삼림총합연구소 복합화연구실 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Coleman III, G. E. and E. J. Biblis. 1976. Properties of particleboard from southern yellow pine and cottonwood mixtures. For. Prod. Journal. 26(1) : 48~51.
2. Japanese Industrial Standard. 1994. JIS standard

- specification for particleboards, JIS A 5908.
3. Kawai, S., M. Nakaji, and H. Sasaki. 1987. Production technology for low-density particleboard V. Influence of size and shape of chips fed into a knifing flaker. Mokuzai Gakkaishi. 33(9) : 702~707.
4. Shibusawa, T., S. Kawamoto., H. Korai, and T. Fujii. 1996. Wood composite layered material and manufacturing method thereof. U.S. Pat. App. 08/753, 897.
5. Shibusawa, T., H. Korai., S. Sueyoshi, and Y-J. Kim. 1996. Mechanical properties of split wood strand/discarded polyvinyl chloride composite produce for sound absorption. Proc. of International Symposium on The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Madison, Wisconsin. : 205~210.
6. 澁澤龍也, 金柔姪, 川元スミレ, 高麗秀昭. 1996. 割裂ストランドを用いた面材料(SSB)の開発(Ⅰ) - 스트ランド/パーティクル複合體の層構造と基礎的物性 -. 第46回 日本木材學會大會研究發表要旨集. p. 249.
7. Shuler, C. E. and R. A. Kelly. 1976. Effect of flake geometry on mechanical properties of eastern spruce flake-type particleboard. For. Prod. Journal. 26(6) : 24~28.
8. Suda, H., S. Kawai, and H. Sasaki. 1987. Production technology for low-density particleboard III. Effect of particle geometry on board properties. Mokuzai Gakkaishi. 33(5) : 376~384.
9. Walter, K., J. Kieser, and T. Wittke. 1977. Effect of chip size on some strength properties of oriented structural board. Holz als Rohund Werkst. 35 : 183~188.
10. 일본 농림수산성 大型別卒 研究「新需要創出」産業素材開發チーム 연구성과 보고서. 1998.