

合板分野의 研究動向과 展開方向*1

徐珍錫*2

Research Trends and Development Directions of Plywood and Similar Products*1

Jin-Suk Suh*2

1. 머리말

목재 접착제가 탄생하고, 발전해온 역사와 발맞추어 제일 오래된 '제 1세대'의 목질판상재료의 형태로 자리잡고, 발전해 온 합판은 이제 새로운 국면을 맞고 있다.

국내적으로, 해방이후 합성수지 접착제의 출현이 미처 따라가지 못했을 때 내수성과 내구성에 있어 그다지 성능이 뛰어나다고 할 수 없어 "단판에 카제인, 아교를 녹여 붙인 판넬"의 상식선에서, 합판에 대한 개념은 각 목재회사들의 접착제 성질개선 노력에 의해 내구성을 갖춘 접착목제품으로 재인식될 수 있는 기회를 가질 수 있게 되었으며, 현재와 같은 총체적인 관점에서 파악되어야 할 공학적인 기술집약체 개념을 진전시킬 수 있는 천연목제품으로서 자리바꿈할 수 있기에 이르렀다.

그러나, 주지하는 바와 같이 목재산업을 대변해온 합판산업은 현재 각종 보드류 산업(파티클보드, 섬유판(MDF), 집성재, 웨이퍼보드, 배향성 스트랜드보드 등)의 등장과 제품의 유입, 플라스틱, 철재, 무기질계 재료 등 대체재의 출현으로 본연의 역할을 도전받는 지경에 처해 있다.

원자재인 원목에의 치중도가 특히 크고 생산라인의 완전자동화가 어려운 합판산업의 특수성때문에 한정된 원목수급상황과 저급화함에 따른 합판제조체제의 개선이 부단히 요구되고 있으며, 이에 따라 합판업체에서는 1992년말 이후로 침엽수재를 본격적으로 합판용재로 사용하기에 이르러 기존

동남아시아 일원의 원목시장구조에서 탈피하여 소련, 중남미, 멀리 아프리카까지 도입선을 넓혀 원료를 구독하고자 하는 노력을 경주하고 있다. 또한 1968년이후 해외임지개발에 의한 목재자원의 확보와 현지 단판 및 합판공장 진출, 단판수입 등으로 다각적으로 원자재난에 대처하고 있다. 그러나, <표 1>에서 알 수 있듯이 1992년까지 백중하던 합판의 수입량이 1993년에는 국내 생산량을 앞지르게 된 사실로도 합판산업의 홀로서기의 여건이 날로 어려워짐을 가늠할 수 있게 한다.

한편, 현재 합판제조 및 사용형태에 있어서도 많은 구조적 변화를 목도하고 있는 바, 국내 합판업체에서 생산되고 있는 판넬이 70~80% 이상 '콘크리트 형틀'로서 단일 수요화하고 있다는 점이 주목되며, 박판형태로 종래 가구부문에 투입되던 합판이 평활성과 표면가공성이 용이한 MDF의 대체로 다량 전환되고, 치수안정성과 내구성능이 요구되는 건축부재로서 합판은 향후 그 용도확대를 전망하게 된다. 다시말해 가구 등 내장재료의 투입보다, 건축구조용으로서의 비중을 전망하여 앞으로 국민소득 향상과 더불어 용구가 팽배해질 수 있는 조립식 목조주택 및 전원목조가옥과 같은 대량의 목재수요처 개발을 기대해 보게 된다.

결국 합판제품의 경직성을 벗어나서, 다양하고도 합리적인 소비용구를 충족시킬 수 있고 자원절약적인 관점에서 융통성있는 제품과 성능형태로 탈바꿈할 수 있는 합판산업이 창출될 수 있도록 인식의 재고취가 필요하며 그러한 관점에서 합판산

*1 接受 1994年 9月 2日 September 2, 1994

*2 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

〈표 1〉 최근 국내 합판, PB, MDF의 연도별 생산량 및 수입량

단위: 1,000m³

연 도	생 산 량			수 입 량		
	합판	PB	MDF	합판	PB	MDF
1986	1,109	105	11	25	87	26
1987	1,177	119	43	22	152	14
1988	1,267	171	53	351	256	56
1989	1,180	164	74	589	274	90
1990	1,124	165	113	735	403	76
1991	1,134	155	242	999	493	55
1992	948	276	306	953	451	44
1993	898	435	268	1,153	516	102

자료: 산림청, 1994

업의 정립이 필요할 것이다.

우리나라도 2030년대에 가서는 국내 목재 자급율을 50%선까지 끌어올리겠다는 정부의 산림정책에 발맞추어 외국의 합리적이고도 집약적인 목재자원 이용시스템과 같은 우리현실에 부합되는 국산재 제조기술체계를 정비하는 것과, 신용도, 신수요 창출을 위한 경합 및 타재료와의 경쟁에서 이겨나갈 수 있는 고부가가치 창출로서의 부재개발 및 품질 향상이 '목재자원의 증식 및 재생산'의 적극적인 차원에서든 큰 의미를 지니게 될 것이다.

本稿는 이러한 맥락에서 선진 합판분야의 제조 기술체계를 알아보고, 연구동향을 점검함으로써 우리의 합판산업 현실을 직시할 수 있는 안목에 기여하고자 한다.

2. 침엽수재의 합판용재화 및 제조 공정별 특성

1990년대 초반에 들어서면서 우리나라 합판산업계가 제일 확연히 맞고있는 국면은 자원국수주의와 환경보호의 기치아래 전개된, 동남아시아 일원에 근거를 둔 양질의 남양재 원목의 불안정한 수급 상황일 것이다.

이는 필연적으로 그간 제재용 등으로 활용하는데 머문 저급재(MLH 등)와 중·소경 침엽수재를 합판 원자재화 하도록 하였다.

원자재 수급난이 가중되고, 임금이 높아지면서 자동화 체제를 구비하지 못한 일부 산업체는 채산성 악화로 생산을 그만두기도 하였으나, 현실여건에 맞추어 침엽수재를 합판 원자재로 적극 활용하는 것을 모토로 생산라인의 교체를 서두르고 있으며, 불원간 현재의 '침·활엽수 혼용합판'수준에

머물지 않고 침엽수 자원이 풍부한 구미각국의 '침엽수합판'의 면모를 갖추어 산업 및 건축용재로서 활용될 것이다.

침엽수재 합판제조는 활엽수재의 합판제조와 비교하여, 특유한 재질에서 비롯한 뚜렷한 가공특성을 지니고 있는 바, 그 제일 큰 특징으로서는 용이의 분포와 미성숙재의 강도 영향 및 일반적으로 재가 중·소경이므로 제조수율이 높지 않다는 점을 꼽는다. 침엽수재 합판제조기술은 이러한 문제의 해결로부터 시작된다.

2. 1. 단판 절삭^{1)~3)}

우선적으로 중·소경 침엽수재에 대처하여 구비해야할 기술의 요체는 1) 빠른 원목장착 및 荒削(round-up), 2) 정확한 원목 중심조준, 3) 박심의 치수감소, 4) 空轉(spin-out) 및 슬리버 끼임(sliwer plug-up)의 최소화로 집약된다. 1)을 위해 X-Y 장전기가 개발되었으며, 초음파 또는 레이저 광선을 사용하면서 원목의 형태와 크기를 走査하여 최대절삭할 수 있는 컴퓨터처리로써 正圓절삭의 토대가 마련되었다. 원목의 회전작동을 세분하면, 1) bolt를 회전시키는 동력이 bolt끝의 스피들을 통해서 전달되는 것, 2) 구동력이 bolt 외주상의 롤 또는 디스크를 통해서 전달되는 것, 또는 3) 이 양자의 조합이다.

우리가 현재 대응하고 있는 것은 위 3)의 부류에 속하는 스피들 및 외주구동 병용형태라고 할 수 있다.

스피들 구동의 단점은 취약한 수심포함재(박심)의 빈번한 공전과 최소목표 박심크기가 5인치 또는 그 이상이라는 데 있다. 미국에서는 1980년대 초에 구동백업롤(powered backup roll)과 구동노스바(powered nosebar)가 사용가능하게 되었다. 스피들은 여전히 동력의 대부분을 전달했으나, bolt 표면의 롤이 보조적인 회전모멘트(torque)를 부여했고, 이 방법으로 장치된 lathe는 4인치 이하로 bolt를 절삭하는 동안에 공전이 대폭 줄어들었다.

원목은 양단에 배치되는 척에 의해 고정된 칼날에 대해 회전한다. 척이 전달할 수 있는 회전모멘트의 양은 척의 크기와 양식 및 원목의 양단에서의 목재상태에 의존한다. 목재가 파괴되고 척이 공전할 때 원목은 더이상 깎이지 않는다.

또한 원목의 절삭불능 원인으로서 연결중심부, 공전 및 원목의 쪼개짐을 지목할 수 있다.

따라서 척이 더많은 회전모멘트를 전달하도록 고안되고, 또한 이중척이 사용되었다. 그러나 원목

이 공전없이 작은 박심으로 절삭될 수 있는 어떤 것도 확신되지 않기에 이르러, 단판원목을 회전하기 위한 보조동력을 제공함으로써 공전과 박심문제를 해결하려고 시도하게 되었다.

역사적으로 백업롤은 직경이 더 작아짐에 따라서 블록을 굽지않도록 하기 위해서 사용되었다. 합리적인 변형은 그것이 블록에 회전모멘트를 제공하는 데 있어 스피들롤을 돕도록 백업롤을 구동하는 것이었다.

최근에 bolt 외주상에서 전적으로 구동되는 lathe의 사용이 가능하게 되었다. spindleless lathe가 그러한 것 중의 하나이다.

구동백업롤과 구동노스바로써 소경목 절삭이 더 효율적으로 이루어지면서 박심의 소직경화가 성취되었다. 그러나 또다른 장애요인은 lathe의 장착시간이다. 소경목을 장착하고 황박하는데 소비된 시간은 절삭사이클의 절반 이상에 달할 수 있는데, 이것이 생산성을 감소시킨다.

이 주요한 변혁의 기구를 소개하면, 기존 lathe가 양 마구리에 척으로써 원목을 지지하고 회전시키는데, 이 lathe는 세계의 수장 개별 구동롤 사이에 원목을 올려놓고, 하나는 노스바의 역할을, 두롤은 백업역할을 하면서 절삭하는 것으로서, 2초 이하로 장착시간을 최소화할 수 있다. 그러나, lathe가 원목의 표면을 구동시키므로 원목은 비교적 둥근형태로서 예비환박(prerounding)을 전제로 하게 되지만, 본절삭시의 황박시간을 단축할 수 있다.

이 일반적인 부류의 다른 lathe는 스파이크형 디스크 구동레이스(spiked disc-driven lathe), 소위 일본의 Meinan lathe이다. bolt가 구획된 고정노스바 사이에 약 2인치 간격으로 배열된 一團의 요철형디스크에 의해 구동된다. bolt를 구동시키고 저항하는 힘이 거의 상치되기 때문에, 공전 또는 원목파손을 일으키지 않고 덜한 응력이 bolt 부분에 주어진다. 원래 이것은 중판의 생산을 위해서 4피트 lathe로 고안되었다. 스파이크에 의해 야기된 刺傷(incision)의 또하나의 효과는 잇따르는 작업대에서 편평하게 놓여지도록 단판을 軟化(tenderizing)하는 것이다. 자상은 진조속도를 증가시켜 진조기 용량을 10~15% 증가시키고, 약제처리시 침투능을 개선시킬 수도 있다.

외주구동형 롤과 함께 또다른 변형은 구동형 노스바인데, 이는 칼날과 노스바틈에 슬리버가 끼는 것을 방지함으로써 기존의 고정형노스바(fixed nosebar)보다 양질의 단판을 얻을 수 있는데, 이는

플러노스바보다 한단계 진전된 형태로서, exit gap 저항의 감소에 의해 슬리버의 끼임 문제의 해소, 공전의 완화를 구축한다.

절삭의 또다른 국면은, 종전의 lathe와 관련된 문제의 하나로서 단판두께의 변이를 지적할 수 있다. 기어와 스크루가 마모됨에 따라 knife carriage의 헐거움이 이 변이를 증대시킨다. 따라서 목표두께는 치수가 부족한 합판을 최소화하기 위해 더 두껍게 조정이 되어야 하고, 이것이 단판생산에 차질을 일으킨다. 현재 많은 합판공장들이 이 문제를 해결하고자 기어박스콘트롤식 볼 & 스크루장치를 수압식조정구동장치(hydraulically controlled-drive)로 대체했다. 즉 digital linear knife positioner에 의해 절삭 융통성이 부여되고 단판두께의 변이가 감소되었다. 따라서, 이 기구에 의해 소경목의 절삭사이클이 현저히 단축되었다.

2. 2 단판재단^{2,8)}

단판재단은 예전에는 길로틴 타입의 재단기(guillotine-type clipper)가 사용되었으나, 고속의 절삭속도에 맞춘 '로타리 이중재단기(Rotary dual clipper)'가 핀란드의 Raute사 및 이탈리아의 Colombo & Cremona사에 의해 개발되어 있으며, 국내 일부회사는 장차 이 기능을 대폭 활용할 것이다. 기존의 길로틴타입 재단기는 단판유동을 순간적으로 멈추는 재단에 따라 칼날을 下向推進시키고, 정지(멈춤)는 단판의 유도측면을 아래에 걸치도록 하여, 양질단판의 손실 내지 다량의 단판 퇴적과 손실을 초래한다. 따라서, 고속에서의 재단精度的 제한과 손실때문에 생산단판 산출고(green-end output)를 제한하는 저속형인데 비해, 로타리재단기는 재단칼날이 정지한 대신에 단판의 흐름과 같은 방향으로 움직이면서, 재단신호가 접수될 때 칼날은 최저위치에서 ribbon을 깨끗이 자르면서 下向回轉한다. 이 방식에 의해 고속으로, 낮은 knife 질량과 관성에 의해 고정확도로서 재단이 이루어진다.

2. 3 단판건조^{2,9,10,11)}

단판 건조에 있어서 제일 중요한 기능은 단판접착성을 저해하지 않는 함수율수준으로의 조정이고, 그것이 신속·정확히 이루어져야 한다는 데 있으며, 특히 남양재가 잠목화되어 있어 그 공정조질이 어렵고, 침엽수재는 수지를 많이 함유하고, 용이가 특히 일정간격으로 배치되어 건조시 빠져 버리거나, 경사목리, 춘추재간의 밀도차이, 미숙재

(통상 隨로부터 10~20연륜, 5~10cm 거리) 등에 의해 파생되는 건조응력 차이로 기복심한 단판면 형성, 갈라짐 등이 발생하는데, 경험과 기술에 근거한 세심한 건조기술의 적용을 요구하고 있다. 외국에서 집중적으로 연구검토된 건조형태를 대별하면, 정형화된 열풍(열기) 건조 유형과 특수한 건조 장치와 메카니즘을 이용한 건조의 형태로 나눌 수 있다. 전자는 물, 벨트, 철망네트 등을 이송수단으로 하는 장치에 의해 열기흐름과 단판면 진행방향이 평행으로 형성되는 경우이고, 후자는 단판면과 직접 접촉하는 열판의 열전도에 의한 열판 건조 또는 단판면과 수직인 열기를 쓰임으로써 건조효과를 증폭하고자하는 제트식 건조, 고주파를 이용하여 단시간에 단판내부의 수분 증기압을 상승시켜 건조를 촉진하고, 완만한 수분경사를 유도하면서 건조하는 방식과 감압을 고주파와 병용함으로써, 비등점을 낮추어 수분증발을 낮은 온도에서 일어나도록 유도하는 방식 등이 채택되고 있으며, 건조장치도 상업화 되어 있다.

실제 건조에 있어 정확하고 일정한 단판건조는 원목의 심·변재에 따른 절삭단판 고유의 함수율 차이와 두께 변이에 따라 어렵다. 이 불균일성 때문에 단판은 부위별 다른 함수율 상태로 건조기를 통과하여 나온다. 그리고, 규정수준 이상 함수상태의 단판들은 재건조를 필요로 한다. 건조기 조절의 메카니즘은 건조과정의 습윤단판의 계산이다. 즉, 100이란 투입분으로부터 습윤단판의 비율이 설정된 수준과 다르면 건조기 속도가 조정된다.

재건조 비율을 낮추기 위하여 많은 공장들이 다량의 過乾단판을 생산하면서 적정치보다 더 낮은 속도로 건조기를 가동한다. 과건단판은 접착제의 파다침투(dry-out)를 방지하기 위하여 다량의 접착제 도포량을 요구한다.

새로운 건조기 개발은 건조기 내측 단판함수율을 모니터링한다. 열기온도는 열기가 단판위를 통과하기 전후에 기록되는데, 그 온도차이는 얼마나 많은 증발이 일어나고 있는지를 지시한다. 고로 그것은 단판내에 보유된 수분의 척도이다. 그 차이가 없다면 단판은 전건상태이고, 큰 온도차이는 단판이 여전히 상당량 습윤하다는 것을 의미한다. 목표점 약간 상하의 지시치는 마이크로프로세서가 건조기 속도를 자동적으로 변화시키도록 한다. 재건조 비율이 계속 집적되며, 이들이 목표치와 많이 다르면 목표온도는 마이크로프로세서내에서 변경된다. 이 시스템은 건조기가 함수율 변화에 따라 조정이 되도록 함으로써 단판 변이를 보상하게 된다.

2. 3. 1 고주파 재건조기(Radiofrequency(RF) redryer)

主乾燥機에 대한 생산고를 측면지원하는 의미에서 재건조가 필요하다. 그러나 높은 재건조량은 상당한 건조기 용량과 결부된다. 효과적인 대안은 RF재건조기이며, 분리적인 재건조기가 사용가능할 때 주건조기에 대한 적정 재건조율은 더욱 높아진다.

일정한 재건조 투입분이 체인으로 이동, 자동장전되며 약 15분간 고주파 가열된다. RF에너지는 약간의 수분을 방출하고 투입단판내 잔여수분을 재분포하며, 통상건조기에서와 같이 파손 또는 품질격하에 의한 재건조 손실은 최소화 된다.

2. 3. 2 고주파 진공건조기(RF vacuum dryer)

RF재건조기가 재건조만을 의도한 데 대해, 고주파 진공건조기는 주건조를 위한 것이다. 구조는, 7평방피트에 25~30피트 길이의 큰 진공실로 구성되어 있다. 잔적되지 않은 단판분이 짐차와 바퀴달린 내부에 장전되고, 진공펌프가 공기를 배제한다. 그리고 고주파 에너지가 열원으로서 사용된다. 물이 비등하지만, 온도는 진공때문에 약 50℃를 초과하지 않는다. 낮은 온도가 사용되고 취급이 최소화되기 때문에 건조열화는 없지만 전기비용이 높다. 산업목표함수율이 15~20%에 더 가까우므로 경제적으로 유리한 면이 있으나, 실용을 위해서는 건조용량과 속도면에서 개선되어야 할 것이다.

2. 3. 3 FPL Modular Veneer Press (MVP) dryer

미국 임산물연구소는 단판을 연속식 압체건조기를 통과하면서 편평하게 하는 새로운 건조방법을 고안하였다. 일반적으로 절삭시 양호해 보이던 단판이 건조기를 통과하게 되면 波狀으로 주름지거나, 취약해지는 불량형상을 지니게 된다. 이 현상은 정상재보다 섬유방향에 있어 더 수축하는 인장재 및 미속재를 포함하는 단판에서 더욱 심화된다.

위 건조기의 개발동기로서, 막단판(1/32"미만)은 열압기가 결체되기 전에 건조가 시작되며, 완전히 편평하지 못한 열압체판을 가지고서는 올바른 건조가 어렵다. MVP건조기는 열판압체건조기의 단판구속(제어)과 열기건조기의 연속공정을 조합한 것으로서 연속하여 배치된 회전가열드럼체와 직접접촉함으로써 단판은 편평하게 건조된다. 단판은 연속드럼에 의해 한쪽 판면이 가열된다. 가열드럼은 벨트가 그 주위를 반쯤 감싸도록 공간배치되어 세 톨라상에서 운전되는 무한케도의 유연성벨트를 구비하게 된다. 벨트는 수압식 실린더에 의해 세

롤라의 하나를 운전함으로써 긴장을 유지하고, 단판을 충분한 압력으로 드럼에 대해 밀착 지지한다.

통상 열기건조방식에 비해 횡방향 수축 및 체적손실이 덜하고, 두께방향으로는 수축이 더 크나 평활성이 개선된다고 하였다. 열판압체와의 비교시험에서도 덜한 두께 및 체적감소율의 효과를 보였다.

MVP건조기는 열판압체건조기의 구속력과 열기건조기의 연속적인 작동을 조합함으로써 건조시 구겨짐이 대폭 예상되는 특수재 단판이나 천연무늬단판과 같은 것의 건조에 단판결함을 방지하면서 효과적으로 건조할 수 있을 것으로 예상되며, 단판의 가치를 그만큼 높일 수 있는 일종의 복합건조방식이라 할 수 있다.

2. 4 단판 집착^{2,12,13,14)}

침엽수재 합판용 집착으로서 가장 중요한 부분은 고함수율 집착 및 발포용 집착제의 사용시스템이라고 할 수 있다. 건조기의 용량과 기능상 다양한 원목에 기인한 불균일한 고함수율 상태에서 균일하고 낮은 최종 함수율과 양호한 집착품질을 기대하는 것이 다소 무리가 따를 것이나, 궁극적으로는 양자의 조화가 목표점이고, 생산성 제고측면에서도 그 중요성은 크다.

2. 4. 1 고함수율단판 집착

침엽수합판제조는 습윤재로부터 단판을 절삭하고, 낮은 함수율로 단판을 건조시키는 것이다. 그러나 단판을 이처럼 저함수율로 건조시키는 것은 여러 문제점을 지닐 수 있다.

- 대다수 공장에서 건조단계는 제한된 생산성을 보유한다.
- 집착제와 수분의 과도한 침투가 집착력을 약화시킬 수 있다.
- 과도한 건조가 표면 불활성 및 집착력 약화를 초래할 수 있다.
- 단판이 취약해지면서 파괴와 손실을 일으킬 수 있다.
- 열압기로부터의 낮은 함수율을 포함한 합판은 이후 수분흡수시 휘고 좌굴할 수 있다.

한편 고함수율 단판으로 합판을 제조하는 것 또한 문제점이 있다. 고함수율이 수지유동성, 침투거동을 변경시키고 경화를 저해하기 때문에 이를 개선하여 경화속도를 증진시킬 수 있는 페놀계 등 새로운 수지집착제가 개발되어야 하고, 그러한 수지가 더 가치있음이 인식될 필요가 있다. 이와 관련하여, 집착제 도포량에 영향을 미치는 단판표면의 거칠음을 정량화하는 기술과 수지도포의 계량 적

정화 프로그램이 필요하고, 단판 함수율을 모니터링할 수 있는 검측기계류가 요망된다.

이에 수반하여 더 높은 단판 함수율을 보상하기 위해 집착제 함수율을 저하하는 것과 함께 유동·침투성을 조절하기위해 증량제 또는 충전제를 최적화할 필요성도 있다.

2. 4. 2. 합판용 발포성집착제

비교적 새로운 합판집착기술은 발포성 페놀수지 집착제의 사출(extrusion)시스템이라 할 수 있다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖추었다.

- 1) 발포하기 위해 약 5배의 용량으로 공기가 혼합된 페놀수지집착제가 발포기로 유입된다.
- 2) 발포성집착제가 사출헤드 아래를 통과하는 단판 위에 놓인 160개 띠막(strand)으로 분리되어지는 헤드부위로 유입된다.
- 3) 다른 단판층이 제 위치에 놓인 후 조합단판이 mashing roll사이를 통과하는데, 이때 포말상 띠막이 단판과 긴밀한 접촉을 형성하는 연속성필름을 형성하면서 으깨어지게 된다.

집착제 폐기량은 커넨코터, 스프레더 또는 분무시스템보다도 낮고, 박막도포가 가능하여 도포량이 절약되며, 집착제가 노즐을 통해 직송되므로 증발손실이 없다.

발포성집착제는 전형적인 증량제를 덜 포함하고, 동물성단백질과 같은 助泡劑를 가진다. 이 시스템은 띠막이 단판과 단지 적은 접촉을 이루므로, 물과 집착제 침투는 mashing단계 전에 최소화된다. 따라서 mashing roll의 가압하에 얇고 균일한 집착제막이 롤 사이를 통과시 일어나게 되므로 결국 집착제사용량 절감을 기할 수 있다.

3. 콘크리트형틀재와 구비성능^{15~20)}

인류의 주거문화가 창출되면서 가장 흔하게 집할 수 있는 재료는 시멘트라고 할 수 있을 것이다. 시멘트는 <표 2>와 같은 성분으로써 구성되어 있는 알칼리성 무기재료이다. 콘크리트형틀은 일명 거푸집이라고도 하며, 아파트와 같은 주택, 교량의 건축시 시멘트혼합물을 부어 넣어 일정한 형태로 경화·양생하도록 유도하는 基材라고 할 수 있다.

콘크리트형틀로서는 일반적으로 목재와 합판이 사용되어오고 있는데, 현재 합판이 구입과 취급이 용이하므로 실용화되어 있다. 그러나, 합판을 콘크리트형틀로 사용함에 따른 문제로서는 콘크리트면이 합판과의 접촉에 의해 오염되거나 손으로 접촉하면 부서져내리는 현상이 있어, 마무리면에 현

〈표 2〉 포틀랜드시멘트의 주성분

성분	화합식	함량(%)
Tricalcium silicate	3CaO · SiO ₂	50
Dicalcium silicate	2CaO · SiO ₂	25
Tricalcium aluminate	3CaO · Al ₂ O ₃	12
Tetracalciumaluminoferrite	4CaO · Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	8
Calcium sulfate dihydrate	CaSO ₄ · 2H ₂ O	3

저히 결점을 초래하게 된다. 이러한 콘크리트면 경화불량의 원인으로서는 1) 합판의 접촉제, 2) 박리제, 3) Dry out(형틀표면의 수분부족), 4) 형틀재 자체에 의한 것으로 분류하고, 목재성분이 시멘트 경화에 미치는 영향으로서, 목재로부터 시멘트 혼화수에 추출되는 성분의 영향을 고려하고 있다. 우선 목재추출액(예: 목분 50g, 500cc의 2시간 자비수 추출, 50cc로 농축)을 만들어 시멘트와 혼합하고, 응결시간을 측정한다. Sandermann 등도 수종에 따른 수용성 성분량의 차이에 의해 경화불량 차이를 설명하고 있으며, 이들 수용성 물질로 이루어진 여러 화합물을 약 1% 농도로 시멘트첨가수중에 가하여, 시멘트 시험주를 제조하고, 일정시간 경과별로 휘강도 또는 압축강도를 측정하여 이러한 물질의 저해작용을 비교하고 있다.

그 결과, 특히 다가가수산기를 가진 당류·고분자 페놀류가 저해작용이 강하고, 카르복실기는 영향이 그다지 현저하지 않은데, 당류가 강한 경화저해작용을 나타내는 것은 그중의 알데히드기의 작용때문으로 알데히드기를 환원하여 당알콜로 유도하면 저해작용이 현저히 감소한다고 하였다.

일반적으로 관심있는 것은 경화불량상태의 정확한 判知라고 할 수 있는데, 시멘트의 수화과정에 있어서의 결정의 발달상황을 전자현미경으로 관찰하거나, 시멘트 경화표면을 칼로 긁어 부서져내리는 부분의 深度로써 간이적으로 판단하기도 한다. 전자에 있어, 재내에 함유된 유기물질이 시멘트의 결정 발달단계에 있어서 결정 주위에 부착하고 정상적인 결정의 성장을 저해하고 있는 것이 관찰되었다.

또한 시멘트는 수화결정 성장과정에 있어서 수화열을 발생하므로(시멘트의 경화과정이 발열반응이므로), 단열 조건하에서 정상적인 시멘트경화의 경우 수화온도가 보통 60~80℃에 달하게 되어 목질을 혼합한 목질·시멘트복합보드 또는 콘크리트 형틀과 같이 합판과 시멘트가 평면적으로 조합되는 경우, 그 경계면의 온도상승 정도로써 경화적

합성을 추정할 수 있다.

형틀의 경우, 콘크리트와 재면이 약간 접촉하기 때문에 목재성분의 영향에 있어서도 극히 침출도가 한정되고, 성분 중에 존재가 예상되는 유기화합물을 순수한 형으로 가한 실험으로부터 실제 목재성분을 추정하는 것이 반드시 정확하지 않을 수도 있어 다음과 같은 실험방법이 시도되고 있다.

첫째, 목재성분의 영향을 조사하는데는 목재편에서 핵산, 에테르, 클로로포름, 아세톤, 에탄올, 물, 冷0.1% NaOH, 冷1% NaOH로 각각 열 또는 냉추출을 한다. 그 추출을 마친 목편을 준비된 모르타르에 접하도록 끼우고, 모르타르 표면에 발생하는 경화불량심도를 측정하였다.

둘째, 경화불량심도의 측정으로서, 시멘트 취약층을 칼날로 긁어 그 심도를 조사하고 직접적으로 경화불량을 관찰하였다.

전자의 실험방식에 의해, 시멘트 경화불량을 일으키는 참나무재에 대해 열수처리에 의해 경화저해가 나타나지 않고, 냉0.1% NaOH 추출처리에 의해 완전히 저해가 억제되는 것이 알려졌다. 즉, 이 측정에 의해 목재중의 친수성 물질이 모르타르면의 경화불량에 주요한 역할을 미치는 것이 입증되었다.

한편, H₂O에 폭로된 재면이 시멘트 경화불량을 일으키는 발견되었는데, 자외선을 照射한 결과, 일반적으로 활엽수재는 침엽수재에 비하여 경화불량심도가 컸다. 광조사에 의해 재면에 시멘트경화저해물질이 유기되고, 이들의 제거에 무극성용매는 효과가 없고, 열수 및 알칼리 용액에 의해 제거효과가 크다는 것을 나타내고 있다. 어느 광과장에서 어떠한 화학조성분이 분해되어 시멘트경화에 저해작용을 일으키는지에 대해서는 심층적인 연구가 필요하다.

이러한 콘크리트 경화성에 대처하는 형틀요건으로서 경화장해가 덜하거나 거의 없는 수종을 선별하여 단판으로 구성된 합판의 사용과 합판의 표면에 이형제(박리제)를 바르거나, 도장 또는 수지함 침지 오버레이를 실시하여 합판면과 콘크리트간의 경화장애요인을 차단하고 외부력에 대해 판면을 보호하는 매개처리가 한 방안이다.

위와 같이 우선적으로, 콘크리트형틀요건을 적절히 구비하는 것 이외에, 형틀의 시공조건을 공학적으로 설계하는 것이 무엇보다 중요하다.

이 성능을 시험하는데 고려되는 요소로는, 합판 종류(수종, 단판등급, 연마여부), 합판두께, 버팀대의 배치간격, 시멘트종류와 첨가물 형태 및 시공

높이에 따른 콘크리트주물의 압력, 콘크리트압력에 의한 합판의 최대변위를, 표면목리의 버팀대에 대한 직교 또는 평행 구성방향, 콘크리트표면과의 접촉에 기인한 합판의 습윤강도 등이 포함요소로서 유기적으로 관련된다.

시공시 형틀에 미치는 콘크리트 압력은 내부인자라고 할 수 있는 주물속도(pour rate), 콘크리트 온도, 콘크리트 슬럼프(slump), 시멘트 유형, 콘크리트 밀도, 진동방법 및 형틀높이와 같은 요소들에 영향을 받고, 형틀합판의 시공요소로서 stud, wales 및 form tie가 콘크리트압력에 견디면서 적절한 폭 및 간격(spacing) 형태로 합판본체를 결체하게 된다.

이를 위해 열거된 인자들이 공학적 요소로서 내력계산에 포함되는데, 실제 합판형틀 설계를 위한 두 방법으로서, 1) 콘크리트 압력을 결정하고 적절한 합판 유형, 두께 및 스패를 선택하기 위해 압력-스패 그래프의 사용에 기초한 단순화된 방법, 2) 콘크리트 압력 및 합판의 허용 부하능력(allowable load carrying capacities) 계산에 기초한 공학적인 방법이 있다.

합판의 시공자는 합판성능을 파악하고, 합판의 시공이 건축 안전성 및 경제성 측면에서 타당하게 이루어져야 하나, 실제로는 시공자의 판단이 주관에 흐르기 쉬운 현실적 어려움이 있을 것이므로, 형틀용 합판의 기준물성 및 표준시방서 작성과 같은 근거가 마련될 필요성이 있다.

콘크리트형틀은 이러한 내구적 요소외에 합판의 표면특성을 특히 조정할 필요가 있는데, 표면백화현상(dusting)이 과도한 油처리, 먼지, 스모그 때로는 높은 건조기후 조건 및 형틀표면과 콘크리트형틀간의 화학적반응에 기인하여 일어나며, 이때 미세한 水분무 또는 magnesium fluosilicate 또는 sodium silicate 약액처리가 효과적이라는 지침도 있다.

착색오염(staining)에 대해서는, 淸水분무에 따르는 sodium hypochlorite 5% 액의 처리가 효과적이며, 철염이 원인이 되어 일어나는 청변현상에 대해 탈형직후 과산화수소 적용이 특히 유리하다.

형틀표면에 대한 이형제의 적용은 탈형을 용이하게 하고, 형틀이 제거될 때 콘크리트표면의 비늘 벗겨짐(scaling)을 방지한다.

이형제는 일반적으로 콘크리트의 표면 마무리에 가상되는 것 보다 훨씬 큰 영향을 미친다. 이 적용을 위해 세범주, 즉, 1) 래커와 페인트, 2) 오일과 그리스 및 3) 에멀전형태로 세분이 가능한데, 내용

을 간략히 소개하면 다음과 같다.

- 1) 래커와 페인트는 액체로서 적용되고 여러정도의 경도를 지닌 방수, 내알칼리 필름으로 건조되며, 털솟음과 표면 할렬이 감소된다.
- 2) 오일 및 그리스는 대개 파라핀왁스 또는 무기오일基劑를 가진다. 오일을 적용하기 전에 판넬은 청결을 유지해야 하며, 콘크리트의 착색을 일으킬 수 있으므로 판넬 표면에 너무 많은 오일을 바르지 않도록 주의를 요한다. 또한 대부분의 오일은 건조를 일으키면서 산화하거나, 합판으로 흡수된다. 그러므로 오일은 형틀이 소요되기 훨씬 이전에 적용되어서는 안된다.
- 3) 에멀전으로는 유화가 가능한 오일 또는 왁스계 응축물이 사용가능하고, 일반적으로 적정량의 물 또는 케로신으로 희석된다. 향후, 소판과 Tego-film overlay에 국한되어 있는 국내 형틀사정이 고도의 합판표면가공처리를 통해 다양한 질감과 성능을 표출할 수도 있다.

또한, 외국의 경우처럼 칩엽수재를 사용하여 합판을 제조하는 경우, 강도와 강성에 근거한 수종분류와 용이 등 결점을 고려한 단판의 등급구분 사용, 연마정도에 유의하면서 사용내구성을 높이는 대책이 요구된다.

4. 기대되는 단판적층재의 출현^{21~26)}

역사적으로 LVL은 1944년 1/7인치 sitka spruce재 단판을 접착적층하여 항공기 부재를 생산하면서 시작되었다. 단판적층재는 합판과 유사한 형태로, 나무결(목리)이 같은 방향이 되도록 구성된 제품으로서 평행적층재(parallel laminated veneer (PLV))라고도 불리우며, 치수의 제한 없이 광폭, 긴 재장의 판재료나 축재료(기둥, 보 등)를 생산할 수 있는 과정이 합판제조공정과 흡사하다. 따라서, 합판제조라인의 일부를 변형, 또는 추가함으로써 국산 간벌재의 고도이용 측면에서도 설비할 가치가 충분히 있다. 적층공법으로서 통상의 열판압체가 이용되고, 단판두께가 표·리판 및 중판간에 달라지고, 직교구성을 취하므로 조판·접착에 신경을 써야하는 합판제조와 비교하여, 조판(스카프 및 핑거조인트 부여)－ 단판집결(assembly)－ 연속 또는 단계식 적층압체로 이어지는 LVL제조 시스템은 동일 엘리먼트를 이용하여 단순화 및 기계화할 수 있는 장점이 있다.

LVL은 소재와 제재목에는 내재하지 않는 여러 특징을 지니는데, 용이, 木理走向(slope of grain)

과 같이 제재목에 존재하는 천연특성들이 단판의 다수층들 사이에서 분산되어 이 결점들이 강도에 미치는 영향이 감소된다. 강도는 또한 두께, 등급, 압밀도, 수종의 조합 등에 의해 재료의 선택적인 배치에 의해 조정될 수 있다. 이러한 변수의 조작은 선별적이고 예측이 가능한 강도적 성질의 제품을 제조할 수 있도록 한다. 모든 이러한 인자들은 강도적 성질의 변이 감소에 기여하여 특수한 용도 요구치에 합당하도록 가공될 수 있는 신뢰성있는 균질제품을 생산하도록 한다.

단판에 내재하는 작은 이합은 Douglas-fir와 같은 난처리재에 있어서조차 방부제 및 난연제에 의한 용이하고 균일한 처리를 가능하게 한다. 뿐만 아니라, 연속공정은 무제한의 길이를 가진 제품을 생산하게 함으로써 각각적인 용도에 맞춰 치수재 단하여 사용할 수 있는 기회를 넓힌다.

효율적인 접착방법으로서, 개별 단판의 예열법 또는 고주파가열압착이 적용되는데 고주파가열에 적성이 맞는 접착제의 개발과 대체가 필요하기도 하다. 이를 위해 기존 페놀수지는 아크현상이 발생하는 등 고주파 적용의 어려움으로 리조시놀변성한 접착제를 이용하고 있다. 특히, 전자방식은 단제식 열압법이라 할 수 있는데, 목표두께의 적층을 위해 한 batch식으로 투여하여 한꺼번에 압착하는 것이 아니라 개별 단판을 열압 단계별로 양면에 추가적층하여 최종목표두께까지 압착하는데, 이전 적층두께분의 열을 이용하여, 표면단판만 가열하면 되므로 열압시간을 단축할 수 있다.

LVL용 단판두께와 관련하여, 저급·단척 침엽수 목재자원의 효과적인 가공차원에서 합판제조처럼 박단판(2.4mm이하)은 불필요하므로 후관화를 피할 수도 있다. 이때, 단판두께와 적층(접착층)수간의 상관관계는 강도와 연관성이 크고, 절삭속도와 건조시간과도 관련이 있을 뿐만 아니라 접착비용과 직결되므로 LVL제조를 위해 1차적으로 검토되어야 할 사항이다.

한편, 단판의 이합측(loose side)과 표합측(tight side)의 접착성이 강도에 영향하므로 이들의 적정한 조합에 대한 분석이 필요하고, 통상의 중첩합시 butt joint의 간격(spacing)에 따라 강도가 어떻게 변화하는지, 구조재로서 사용이 될 때는 여러 형태의 집합에 대한 연구가 더욱 필요하다. Fritz(1969)는 인접적층재와 butt joint에서의 응력집중의 상호관계를 평가한 시험결과, butt joint로부터 적층재 두께의 16배 이상 거리에서는 상관

이 존재하지 않음을 구명하였다.

목재는 오래동안 건축용 가공물질로서 사용되어 왔으나, 제재목은 그 자체 천연결점을 가지고 있어 기계적 성질에 변이를 부여한다. 이를 위해 사용응력은 안전하게 설계된 구조요소를 보충하기 위해 하한과피강도로서 시험으로부터 도출된다. 따라서 일시 해체된 엘리먼트를 재조합함으로써 저강도의 목재요소가 고강도화하며 변이를 줄이게된다. 즉 허용사용응력(allowable working stress)을 증가시키는 방식으로서 적층접착이 이용되어 American Institute of Timber Construction Manual로 출간된 자료에 의하면 다음 <표 3>과 같은 성질을 제시하고 있다.

제재목을 적층함으로써 허용 휨응력의 증가가 최고 50%까지 있었는데, 그 효과는 저급재 적층의 경우 더 컸다. 이러한 저급은 더 큰 강도감소특성, 예를 들면 더 큰 용이치수, 가파른 목리주향, 수지주머니, 단섬유 등을 포함한다. 이러한 강도감소효과는 각 적층재의 약한 부분이 대개 인접적층부위의 더 강한 물질에 의해 보강되기 때문에 적층함으로써 저감된다.

이와 같이, 제재에 접착개념이 수반되면서 집성재와 동격의 제품특성을 지닌 LVL은 수율향상, 제품의 균질성에 따른 신뢰성 확보가 기술측면에서 검토되어야 하고, 이를 적극 도입한 최종 수요처가 발굴되어야 한다.

보편적으로, 기계적 성질의 예측을 위해 구성재료의 비파괴적 강성시험(stress-wave timing) 및 육안적으로 단판등급을 매기는 방법이 채택되고 있다.

<표 3> 휨성능에 있어 Douglas-fir 제재와 적층재의 강도비교

시험편	성 질	제재목 등급기준		
		select	const- ruction	standard
제재목	휨허용단위 응력(psi)	1,900	1,500	1,200
수직적층재 2개 이상의 등급 부재를 수직적층	휨허용단위 응력(psi)	2,400	2,100	1,800
제재목의 적층에 의한 허용단위응력의 변화		+26%	+40%	+50%

미숙재 등을 포함하는 저급원목을 전체적으로 이용하고, LVL재료로서의 효율적인 배치를 위해 개별단판을 차별·등급화하는 수단으로서 위 파괴적 평가방법을 적용하여 단판 및 LVL의 성능 또한 경제성을 평가한 연구도 있다.

차제에, 우리 합판산업의 숙제라면 단판 조인트 부분의 미활용이다. 장척재 제조의 필요성이 아직까지는 없다고 하나 장차 고급·고내구 목재건축이나 구조부재가 요구되고, 원재료의 자원절약성에 입각하여 소재에 대비한 결체성능과 치수안정성 등의 평가를 비롯하여 LVL에 사용되는 조인트 양식-Butt joint, Lap joint, Scarf joint, Graphite-fiber reinforced butt joint 및 finger joint - 을 적극활용한 기계역학적 성질, 내구성 증진 연구와 제품의 보편화를 이룩하는 전제조건으로서 허용응력 설정에 대한 연구가 필요하다.

5. 특수단판제품과 요구성능

5. 1 내화처리 합판^{27~34)}

목재의 연소는 發炭燃燒와 無炭燃燒로 분류된다. 목재는 가열되면 분해하고, 타르, 고정가스, 탄을 생성한다. 가연성 가스는 주로 타르의 2차 분해에서 발생한다. 이 가연성 가스가 공기 등의 산화제와 혼합하고, 可燃性 混合氣로 되고 이것이 목재의 발염연소를 일으킨다. 이에 대해 赤熱(灼熱: glow)이라 불리우는 탄의 연소는 무염연소로 분류된다. 또한 가연성 혼합기가 발생하지 않고 열분해만이 진행되는 현상이 燻燒이고 무염연소의 일종이다. 목재는 열분해하면서 표면에 탄화층을 형성하면서 연소한다고 하는 특징이 있다. 이 탄화층의 구조는 열적으로 안정한 網目狀 3차원 구조라고 사료된다. 이와 같은 구조는 원래 망목구조인 리그닌의 축합열 분해에 의한 것만 아니라 셀룰로스의 가교나 방향족화 등에 의해서도 형성된다고 여겨진다. 이 탄화층은 열분해속도가 극히 작을 뿐만 아니라 열전도율이 목재의 1/3~1/2 정도이기 때문에 단열효과가 있다.

합판의 내화처리는 미국 임산물연구소에서 지붕덮개로서의 사용에 중점을 두어 내화약제의 조성에 따라 열화원인으로 지목되는 고온과 함수율의 조건하에서의 난연처리제의 강도성능에 대해 초점이 맞춰지고, 어떤 종류의 내화약제가 가속화된 열열화에 가장 민감하고 어느 온도에서 이 가속화가 일어나는지를 구명하였다. 일단 상승된 온도에 의

해 내화약제가 산성의 화학형태로 분해되면, 즉, 내화기구를 부여하는 형태로 되면, 목재의 열화율은 변화하지 않는다. 그와 같이, 대부분의 내화 화학시스템간의 실제적인 차이는 화학약제가 어떤 온도에서 산성의 화학형태로 분해하는데 요구되는 시간이다. 산성의 내화약제의 관건은 목재의 可燃性(flammability)을 줄이고 강도적 성질을 유지하는 양자간의 조화를 이루는데 있다. 또한, 열열화로서 화학성분의 변화가 초래되는데, 헤미셀룰로스 함량의 감소가 휨강도와 최대하중한도의 일량 등 기계적성질의 감소에 영향을 끼친다.

미국 FPL에서 여러 연구가 내화처리 합판의 현재 및 미래 사용성을 평가하는 것을 지향하는 바, 파괴평가에 대한 변수가 파괴시험방법으로부터 도출된 실제 기계적 성질에 상관되고 있으며, 재건온도, 함수율 및 여러 내화구성분과 같은 내화처리 목재의 열화에 영향하는 인자에 대한 연구가 있다.

내화처리방식의 연구로서 내화처리 목재의 열화, 목재 트러스 디자인을 위해 보증된 내화등급을 부여하기 위한 난연성 코팅의 사용 및 목재지붕널을 위한 조합된 방부성 내화처리의 개발을 포함한다. 후자의 경우, 약제의 누출저항성(leach-resistance)과 정착성이 효력면에서 중요시되어, 이를 위해 urea, dicyandiamide, phosphoric acid 및 formaldehyde로 구성되는 누출저항성 내화제(1:3:4:8의 몰비)가 연구개발되었으나, 문제는 수지를 고정하기 위한 열경화에도 불구하고 여전히 발생하는 누출성이었다. Gardner 등은 Pyro-guard H(UDPF와 특허 방부제 첨가제의 조합)로 처리된 목재를 조사하고, 약간의 누출이 특히 燻의 약한 결합성에서 비롯됨을 보고하고 있다.

목재용으로 가장 일반적으로 사용되는 내화처리는 무기계 또는 유기계의 두 부류이다. 무기계는 monoammonium phosphate, diammonium phosphate, ammonium sulfate, ammonium polyphosphate와 같은 암모늄염, 인산, 붕소 및 붕산으로 보통 구성되고, 유기계는 guanlyurea phosphate boric acid, dicyandiamide phosphoric acid formaldehyde, diethyl-N,N-bis(2-hydroxyethyl) amino methyl phosphate와 같은 약제를 포함한다. 이러한 염은 용이하게 가압침지시킬 수 있으며, 여러 방법으로 조합될 수 있다. 목재에 대해 대부분의 내화제 조제는 효과면에서 인 및 질소화합물을 조합한다. 따라서 인산암모늄이 특히 효과적이다. 어떤 조성물은 약제액의 산도를 줄이

기 위해 붕소로 완충될 수 있고, 부식방지제, 착색제 또는 방미제가 첨가될 수도 있다.

합판에 대한 내화처리는 함침, 재건조, 외부폭로에 적합한 접착을 수반하며, 처리후 함수율은 제재 19%이하, 합판 15%이하로 조절되어야 한다.

불용성 무기성분의 沈積분야에서 큰 진보가 있었다. 목재는 양이온 함유액으로 처리된 다음 소재 내에 침전응결하는 불용제품을 형성하는 음이온 함유액으로 처리되었다. Yasuda와 Ota는 불용성 calcium hydroxide를 형성하기 위해 목재를 calcium chloride용액으로, 그 다음 가성소다용액으로 처리하였다. 목재는 그때 sodium aluminate 및 sodium sulfate로 처리되어, ettringite($\text{Ca}_{12}\text{Al}_2(\text{OH})_{14}(\text{SO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)로서 알려진 광물질을 침전응결하였다. 이 침전물은 불용성이 있고, 처리재가 양호한 내충성과 내화성을 보인다고 하였다. Hirao와 다른 사람들은 목재를 calcium chloride로, 그다음 sodium carbonate로 처리함으로써 재내에 calcium carbonate를 침전응결하면서 내화성이 양호하게 됨을 주장하였다. Ota 등은 dibasic barium phosphate를 침전응결하면서 목재를 barium chloride로, 그 다음 diammonium phosphate로써 처리했다. 목재片이 Ishikawa와 Adachi에 의해 barium chloride 및 boric acid용액으로 처리되었다. 목재는 그때 diammonium phosphate 및 boric acid용액으로 함침되고 마지막으로 내수성 접착제로 결합되었다.

미국에서의 현 연구는 FPL에서 누출저항성 내화제에 적합한 방부제를 찾아내기 위하여 진행되고 있다. 가장 유망한 조합은 아미노수지 내화제와 더불어 상업 가능한 방부제로 구성되었다. 한편, 야외사용을 위해 조합된 내화·방부제시스템이 큰 가치를 지니고, 가장 유망한 접근방식은 불용성 무기물 구성분과 질소와 인을 고분자사슬에 포함하는 유기고분자체의 침적이 될 수 있다.

내화제 처리합판의 성능을 현장평가(in-place assessment) 하기 위한 비파괴시험 기술에 관한 연구가 APA와 FPL에서 이루어졌다. APA는 비파괴적 평가법으로서 내화처리합판의 열열화와 관련하여 가시광선, 적외선, 화학분석 및 응력과 기술을 이용하는 가능성을 조사하였으며, FPL은 현장평가기술을 개발하고 내화처리합판 열화의 원인을 확인·검증하는데 집중되었다. 결과, 현재의 비파괴시험 기술은 휨보중 하중시험과 탐침·나사못 유지력시험이다. 이러한 기술은 현재 내화처리 합

판을 사용하는 지붕시스템을 검사하는 분야에 적용되고 있다.

우리나라의 경우, 내화합판 제조와 사용성은 그리 활발하지 않다고 할 수 있다. 내화처리합판의 연구와 개발에 즈음하여, 우리나라의 '목조건축 관련 건축법'을 살펴보면, 목조건축물의 높이와 면적은 건축법 제11조와 제15조에 '높이 13m 이상 또는 처마높이가 9m이상이거나 연면적이 3,000m² 이상인 건축물의 주요 구조부는 목조가 금지되며, 연면적이 1,000m²이상의 목조건축물의 외벽 및 처마 밑의 연소가 우려되는 부분은 방화구조로 하고 그 지붕은 불연재료로 해야한다.'고 규정하고 있다. 또한 건축물의 내화 및 차음성능에 대하여 건축법 시행령 제16조, 제20조에 규정된 것을 살펴보면, '400m²이상 면적의 건축물 2층과 공동주택 등으로 사용할 건축물의 3층은 주요 구조부를 내화구조로 해야하며, 공동주택의 세대간 경계벽은 50dB이상의 차음 성능구조로 하며 PC판인 경우 그 두께가 12cm이상인 것으로 해야한다.'고 명시하고 있다.

전통적으로 설계된 구조용 목재부재의 화재저항성은 목재의 낮은 열전도성, 그것이 연소될 때의 질연탄화층의 생성, 고체이고 일반적으로 직사각형인 목부재 횡단면, 그리고 전통적인 목조건축의 일반적으로 보수적인 특성때문에 코드요건에 합격하기에 충분하므로, 우리나라 실정에 적합한 진정한 내화제 제조와 내화성 구조부재 제조시스템에 대한 연구가 한층 필요한 시점이다.

5. 2 약기재료³⁵⁻³⁷⁾

방부·방충·치수안정효과를 이루는 목재에 대한 화학처리로써 최근 '아세틸화'가 거론되고 있다. 목재의 아세틸화 처리에 관한 연구는 1946년 미국의 Stamm 등에 의해 시작되었다.

목재의 아세틸화처리는 무수초산을 이용하여 액상으로 하는 경우가 많고, 반응에 의해 초산이 부생하며, 반응속도를 올리기 위해서 초산칼륨, 초산나트륨, 요소·황산암모늄, 트리플루오로초산, 피리딘, 염화아연, 디메틸포름아미드, 과염소산 마그네슘 등 촉매가 사용되고 있다. 그러나 반응액의 회수문제로 촉매를 이용하지 않는 쪽이 바람직하다고 생각하기도 한다. 촉매이외에, 처리재료부터의 반응액의 제거를 용이하게 하고 잔존하는 초산의 양을 가능한 한 작게하여 목재성분의 분해를 억제하는 것과 더불어, 반응액의 제거과정에서 발생하는 목재의 할렬을 방지하기 위해 희석제가 이용된다.

희석제로서는 목재를 팽윤시키지 않는 低沸點이 필요하고, 자일렌이 자주 이용되고, 이외에 벤젠, 톨루엔, 사염화탄소, 이염화에틸렌, 클로르벤젠, 쿠멘, 에틸벤젠, 트리클로로에틸렌, 사염화에틸렌 등이 이용되는데, 무수초산과 거의 동량으로 가하게 되고, 희석제를 이용하지 않는 경우도 있다.

한편 Rowell 등은 아세틸화 처리한 소편을 이용한 파티클보드의 연구를 진행하고 있는데, 특히 소편의 처리에 유효한 침지(dipping)법을 개발하였다. 방법은 다음과 같다.

건조한 소편을 스테인레스제의 망으로 만든 용기에 넣어 실온상태로 그것을 무수초산에 1분간 침지한 후 꺼내어 3분간 액을 차단한다. 그것을 120℃로 가열한 스테인레스제의 실린더에 넣어 소정시간 반응한 후 120℃로 2시간 진공건조후, 연속하여 105℃에서 12시간 열기건조하여 처리를 완결한다. 촉매나 희석제를 사용하지 않는다. 이 방법은 액상과 기상 양자를 포함한 반응인데 무수초산-자일렌계로 처리하는 경우에 비하여 반응시간이 1/3~1/5로 단축되고, 액의 회수, 회복이 용이한 잇점을 가지고 있다.

무수초산을 이용한 아세틸화 처리는 기상으로도 행하는 것이 가능하다. 그러나, 증기의 확산에 시간이 걸리므로 단판이나 소편의 처리에 이용된다.

아세틸화처리 목재의 성질로서는 무수초산에 의한 반응식 (목재-OH+CH₃COO(CH₃CO))(무수초산) → 목재-CH₃COO(아세틸화목재)+CH₃COOH(초산))으로부터 유추되듯이, 질량이 증가하고, 치수 및 비중이 증가한다. 동일한 중량증가율로 비교하면 치수나 비중의 증가는 수종에 따라 다르다.

처리에 의해 목재 성분의 친수성의 수산기가 소수성의 아세틸기로 치환되므로 처리목재의 흡습성은 감소하며, 전기절연성이 개선된다. 더우기, 흡습성의 감소에 덧붙여 아세틸기의 도입(bulking 효과)에 의해 수분에 의한 목재의 치수안정성이 개선된다.

예로부터, 피아노, 바이올린 등의 악기에 있어, 향관을 비롯한 많은 부재에 목재가 사용되고 있다. 향관에 이용되는 목재에는 뛰어난 음향적 성질이 요구되기 때문에, 수종의 제한이외에도 엄격히 많은 제한이 있다. 음향적 성질 중에 내부마찰(진동의 감쇠하는 속도를 나타내는 양)은 특히 중요하다. 악기향관용으로서 이 값이 작은 목재가 적합하다. sitka spruce, 독일 가문비나무 등이 이 값이 특히 작은 수종이고, 피아노향관, 바이올린이나 기

타의 표판으로서 이용되고 있다. 아세틸화처리에 따라 섬유 및 방사방향 어느 쪽에 있어서도 중량증가율이 크게 됨에 따라 내부마찰은 감소하고, 처리에 의해 목재는 잘 진동하게 된다.

흡방습과정에서도, 무처리재의 내부마찰은 현저히 변화한다. 이것이 악기의 악음이 변화하거나 울림(響)이 나쁘게 되거나 하는 원인인데, 중량증가율 20%의 아세틸화 처리재에서는 어느 평형함수율에 있어서도 무처리재에 비하여 내부마찰이 작은 값을 나타낼 뿐만 아니라 그 변동폭도 현저히 작게 된다.

한편, 현악기 등에서는 온도에 따라 樂譜이 변화한다고 한다. 그 원인은 습도에 따라 목재의 음향적 성질이 현저히 변화하는 것과 악기에 작용하고 있는 힘의 상태가 목재의 치수변화와 더불어 변화하기 때문이라 여겨진다. 따라서 화학처리에 의해 습도변화에 동반하는 목재의 음향적 성질의 변동이나 크리프변형(물체에 일정한 힘이 작용할 때, 물체의 변형이 시간과 더불어 증대하는 현상)을 억제하는 것이 가능하면 좋을 것이다.

무처리재에서는 습도의 변동에 따라 크리프변형은 부하직후 변화의 약 10배로 증대하는 것에 비해, 아세틸화처리재에서는 처리에 의해 현저한 크리프변형의 억제효과가 보여진다. 이 특성을 살린 악기부재적용의 하나로서 피아노 핀판이 있다. 핀판은 현의 一端을 지지하는 조율핀을 보지하는 목재블럭의 명칭으로 현재 합판이 많이 이용되고 있다. 핀판은 20톤에 가까운 현의 장력을 지탱하고 있으므로 핀판이 흡방습을 반복하면, 그것에 매입되어 있는 핀이 느슨해지거나 현의 조율 주파수의 변화가 일어난다. 실험결과, 무처리나 폴리에틸렌글리콜(PEG) 처리 핀판에 비하여 아세틸화 처리 핀판에서는 조율주파수의 변화가 현저히 작게 된다.

악기재 또는 음향재(오디오, 스피커 등)로서의 적합성을 지닌 악기용재가 수급이 어려워지거나, 물성저하로 그 변형이 불가피해질 때를 대비하여, 합판 또는 단판적 층재의 아세틸화 등 화학처리기법에 대한 연구가 요망된다.

5. 3 가구재료^{38~42)}

가구재는 형태면에서 건축재와 마찬가지로 통직 및 만곡형태를 띌 수 있다. 단판은 얇고 섬유가 연속된 '엘리먼트'이므로 압축변형을 신속하고 용이하게 가할 수 있다. 만곡성형압착법으로는 가구에

적용할 수 있는 입체적 압체법의 형태로서 백 진공 압체법(bag vacuum molding), 두께가 두꺼운 부재의 성형에 적합한 고주파 가열압체법 등이 이용될 수 있으며, 가구상판제조 및 건구(아파트의 아치형 문틀)에 후자의 방식이 널리 채택되고 있다. 현재 집성가구가 판로를 넓혀 가고 있어, 단판을 이용한 적층품도 그 고유한 특성을 성형가구재료 측면에서 부합시킬 필요성이 있다.

또다른 소재이용 형태로서, 침엽수 천연무늬단판 절삭이용 및 조각 집성재의 슬라이스드단판 절삭·적층이용을 고려할 수 있다.

후자 제품의 예로서 stick-board 또는 stick-ply 가 있고, LVL과 유사한 것으로 단판적층판(LVB: Laminated veneer board)이 개발되어 있다.

국산 간벌재나 저급재는 일반적으로 단적재이고 결점이 많은데, 이것을 원료로 하여 합판제조보다 LVL로 제조하면, 그 정목면에서는 종접합(butt joint)이 분산하게 된다. 따라서 원래의 LVL 측면을 재단하여 얻어지는 정목슬라이스드단판은 장적재이고 재질의 변이가 작게 되는데, 이 판을 stick-board라고 하며, 어느 의미에서는 배향성 파아티클보드와 같은 제품양상을 띤다.

더우기 이 정목단판을 폭접합하여 폭이 넓은 것으로 가공하고 그것을 원료단판으로서 합판구성방식으로 적층접착한 것은 합판에 필적하는 가벼움, 강도성능과 치수안정성을 겸비하게 되고, 이것을 stick-ply라 하여 금후 합판에 대체 가능성을 가진 재료로 간주하고 있다.

단판적층판은 치수 900mm×900mm 정도의 단판을 적층접착하여 만드는 일종의 접합합판이다. 2층이상의 단판 평행적층부와 침심합(cross band)으로 구성되어, 평행적층부에 있어서의 단판의 종접합부가 계단상으로 어긋나게 배치되는 것이 특징이다. LVL과의 차이는 두께가 얇고 폭방향으로 비교적 긴 제품으로 주된 용도를 판재료화 하는 경우이다. 생산성 향상을 위해 공정상 단판적층물을 자동적으로 열압기로 移載하는 로봇과 3대를 직렬 연결한 열압기로 주골격이 형성된 연속생산시스템을 갖추고 있다.

가구재료의 평가연구로서는, 가구틀재료로서의 적합성 평가를 위해 LVL로 휨, 전단, 할렬시험 및 다우얼 뿔기저항, 다우얼 휨강도시험이 실시되고, 이외에 목재의 자 조인트성능에 대한 시험이 이루어지고 있다.

5. 4 건축재료^{15,16)}

합판과 LVL은 창, 문틀, 지붕틀보의 가옥건축, 또한 I-빔, Box-빔 구성과 같은 복합빔재료로서의 이용가치가 크다.

대개 flange는 LVL로부터 만들어지고, I-beam web는 구조용합판이 사용되어 두 부재간에 내구성 접착제로 압체고정된다. 다른 I-beam 설치물에서, 배향성 스트랜드보드(OSB)의 web, 鋼製管모양의 트러스(double chord Warren truss)가 LVL 弦材와 조합되어 경량이면서도 바람직한 강도를 제공하기위해서 설계될 수 있다.

건축재료로서, 상·하부위의 flange와 합판web을 가진 빔은 요구되는 강성, 耐翳모멘트 및 耐전단력 및 좌굴저항성을 제공하기 위해 설계될 수 있다. 이와 유사한 표면보강재 성격으로서, 목재 세로보(stringer)에 접착된 합판skin으로 구성된 구조물(stressed-skin panel)이 마루판, 벽체 및 지붕 구성을 위한 효율적 건축물로서 역할할 수 있다. 이 방식은 샌드위치구조의 '플러쉬도어'제조양식과 흡사한 형태를 구사하게 되는데, 이때, 합판skin은 휨모멘트를 저항하고 목재 세로보는 耐전단력을 부여하게 된다.

미국의 FPL에서는 정형화된 단판적층법(일명 Press-Lam법)을 이미 개발하고, Trus-Joist사에서는 Douglas fir로타리 단판(두께2.5~3.2mm)을 crushed lap joint방식으로 연속적층한 제품(MICRO=LAM)을 상업화하여 트러스 弦材, I-빔의 flange, 공사용 받침틀, 트럭 하직대 등구조용재료로서 시판하고 있다. 즉 단판이 길이방향으로 종접합되고, 동일한 섬유방향으로 적층·접착되어 제품화되므로 PB나 MDF처럼 연속압체시스템(무한궤도형벨트부착 rotary hot press)의 적용으로 생산성을 대폭 높일 수 있는 제조공정상의 장점을 실현하고 있으며, 조립식 건축용 부재 생산시 이 흐름에 수반되는 '프리컷(pre-cut)시스템'의 도입도 그만큼 쉬워 질 것이다.

따라서, 대형 목조건축이 예견되는 경우, 위 적층방식을 도입하여 단판적층품을 부재로 활용한 축조시연이 가능할 것이다.

5. 5 수지함침재 및 압축강화목^{43~45)}

목재는 극도로 불안정한 열과 습기 상태에서 연화되고 쉽게 압축될 수 있다. 두꺼운 단판적층재 제조시 예를 들면, 단기 증기분사식 압체기(short cycle steam-injection press)로써 이 조건이 성취

될 수 있는데, 적정량의 압축세트(영구변형)를 부여하고 압체시 소정 두께로 단판을 압밀화함으로써 최종제품의 물리 및 기계적 성질을 향상·조절할 수 있다.

그러나, 압축세트의 대부분은 압축제품이 촉진 열화시험에서 자비하거나 열화될 때 회복될 수 있음이 알려져 있다. 따라서, 초기에 저분자량을 지닌 고도의 수용성 페놀수지로서 재의 세포벽을 함침한 것은 이 스프링백을 억제하고 압축제품의 치수를 안정화하도록 한다. 'compreg'로 알려진 이러한 수치처리 압축제품은 우수한 강도적 성질, 치수안정성 및 개선된 내충, 방부 및 내화성을 부여할 것이며 전기절연재료나 소형 집기류, 운동구 등으로서 특성을 제고시킬 수 있다.

실제, 단판을 저분자량의 페놀수지에 함침시켜 소정두께의 압축LVL을 제조하여 기계적 및 물리적 성질을 개선하였는데, 결과는 1) 단판에 대한 수치증량증가율(percent weight gain)이 단판의 심·반재부위별, 초기함수율과 침지시간에 영향을 받았으며, 2) 압축LVL의 치수안정성은 증량증가율에 의해 영향받았고, 페놀수지에 대해 약 40%의 증량증가율이 약 50%의 압축율(compressive ratio)으로써 압축LVL의 양호한 치수안정성을 얻기 위하여 필요했다.

6. 기타 연구^{46~58)}

단판가공 기술연구와 시각을 달리하여 단판절삭 또는 합판제조공정의 경제성 제고를 목적으로 한 적정화 모델, 예를 들면 'Veneer mill improvement program', 'PLYMAP' 및 'VENVAL'이 있으며, 국산 간벌재 및 임지폐잔재의 LVL전용을 위해 현지(산지)공장 가동체제라 할 수 있는 'MOVAMIL', 즉 이동식 LVL제조공장(Movable LVL mill)시스템이 제안되어 있다.

비단 국산재의 이용에 머물지 않고, 국가적 차원에서 도입재의 용도확대 기술을 적립하고 규격제정에 대비하여, 합판 및 LVL의 성능을 중점적으로 분석한 목적연구의 사례도 있다.

또한 기능을 증시하여, 편방향으로만 습기가 투습되도록 한다거나, 기존재료와는 형태와 물성을 달리하는 새로운 형태의 목질재료의 변신도 추구하고 있다.

7. 맺음 말

합판분야의 연구는 한부분이 전체에 직결되는

연관성이 깊은 여러 학문으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 즉, 절삭, 건조, 접착, 물리·화학적인 재처리에 이르는 가공과 실용적인 분석을 위한 구조역학과 최종제품의 디자인에까지 이르는 과정이 총체적인 기술집약체이다. 이것은 합판이라는 품목이 다루기 쉬운듯 하면서도 어려운 공학적 요소를 내재하는 전형적이고 가장 오래된 목제품이라는 사실을 시인하게 한다.

사회 및 산업적으로는 기초 생활용품, 원자재 공급원으로서 그 영역을 넓혀왔으며 향후 수요 패턴에 대처한 잠재성은 크다. 어찌면 원목이라는 대상체가 존재하는 한, 합판이라는 투영물이 목재산업부문에 있어 고유한 영역을 지속해 나갈 것이다.

지금 우리나라는 세계적인 환경보호론의 대두, 개방주의무역의 영향하에서 원료(원목) 수급 및 제품의 활로 타개가 그 어느때보다도 막중한 시기에 처해있다.

그러나, 국산재의 자원화가 가속화되고, 우리 산업체의 기술수준이 더욱 발달됨에 따라, 고도의 성능과 기능을 겸비한 단판제품 등 목제품이 출현하고, 이러한 수요충족의 시대에 대비한 연구의 신면모를 기대해 본다.

참고문헌

1. Youngquist, J. A. 1981. Powered back-up roll- An improved veneer peeling technology. Southern Lumberman
2. Spelter, H. and G. Sleet. 1989. Review of technological developments - Potential reductions in plywood manufacturing costs resulting from improved technology. *FPLJ* 39(1):8~15
3. Fronczak, F. J. and R. A. Patzer, 1982. Influence of chuck design on spin-out torque in softwood veneer peeling blocks. USDA Forest Service FPL 427
4. Fronczak, F. J. and S. P. Loehnertz. 1982. Powered back-up roll-New technology for peeling veneer. USDA Forest Service FPL 428
5. Loehnertz, S. P. 1982. Laboratory performance of a powered back-up roll for peeling veneer. USDA Forest Service FPL 429
6. Loehnertz, S. P. 1982. Industrial perform-

- ance of powered back-up roll for peeling veneer. USDA Forest Service FPL 430
7. Spelter, H. 1988. New panel technologies and their potential impact. In: Hamel, Margaret P., ed. Structural wood composites
 8. Funck, J. W. and T. H. Sheffield. 1985. Veneer recovery and losses through the green-end clipper. *Forest Prod. J.* 35(11/12):30~34
 9. Loehnertz, S. P. 1988. A continuous press dryer for veneer. *Forest Prod. J.* 38(9):61~63
 10. Loehnertz, S. P. 1988. How to save face (veneer) with the Lab's MVP dryer. Wood based panels North America:32~33
 11. Tschernitz, J. L. 1985. Empirical equations for estimating drying times of thick rotary-cut veneer in press and jet dryers. FPL Research paper 453
 12. Faust, T. D. and J. T. Rice. 1986. Characterizing the roughness of southern pine veneer surfaces. *Forest Prod. J.* 36(11/12):75~81
 13. Faust, T. D. 1987. Real time measurement of veneer surface roughness by image analysis. *Forest Prod. J.* 37(6):34~40
 14. Faust, T. D. 1988. Real time adjustment of plywood glue application with a computer-controlled sprayline. *Forest Prod. J.* 38(1):35~41
 15. Simatupang, M. H. and R. L. Geimer. 1990. Inorganic binder for wood composites: feasibility and limitations. Wood Adhesives 1990, Proceedings of a symposium sponsored by USDA Forest Service FPL and FPRS
 16. 南 享二. 1968. 木材型巻のコンクリート表面に対する影響. *木材工業* 24(2):30~35
 17. 北村維朗, W. C. Wong. 1983. マレーシア製合板の性能評価-コンクリート型わく合板の曲げ性能試験(その1). *北海道林産試験場月報* 374:1~11
 18. 北村維朗, W. C. Wong. 1984. マレーシア製合板の性能評価(第3報)-コンクリート型わく合板の曲げ性能試験(その2). *北海道林産試験場月報* 387:6~13
 19. COFI exterior plywood for concrete formwork - Reference and Design Manual. Council of Forest Industries of British Columbia
 20. Concrete Forming-APA Design/Construction guide. American Plywood Association
 21. Laminated Wood-based Composites: Reprinted from Kirk-Othmer: Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 14, Third Edition. 1981. John Wiley & Sons Inc.
 22. Kunesh, R. H. 1978. Micro=Lam: Structural Laminated Veneer Lumber. *Forest Prod. J.* 28(7):41~44
 23. Bohlen, J. C. 1972. LVL Laminated Veneer Lumber- Development and Economics. *Forest Prod. J.* 22(1):18~26
 24. Laufenberg, T. L. 1983. Parallellaminated veneer: Processing and performance. *Forest Prod. J.* 33(9):21~28
 25. Kretschmann, D. E., R. C. Moody, R. F. Pellerin, B. A. Bendtsen, J. M. Cahill, R. H. McAlister and D. W. Sharp. 1993. Effect of various properties of juvenile wood on laminated veneer lumber. USDA Forest Service FPL Research Paper 521
 26. Logan P. E. and D. James 1993. Continuous ultrasonic veneer testing: Sorting veneer for structural application
 27. 平田利美. 1989. 木材難燃化のメカニズム. *木材工業* 44(5):2~7
 28. LeVan, S. and M. Collet. 1989. Choosing and applying fire-retardant-treated plywood and lumber for roof designs. USDA Forest Service FPL General Technical Report 62
 29. LeVan, S. L., R. J. Ross and Winandy, J. E. 1990. Effects of fire retardant chemicals on the bending properties of wood at elevated temperatures. USDA Forest Service FPL General Technical Report 498
 30. White, R. H. 1984. Use of coatings to improve fire resistance of wood. Standard Technical Publication 826 Copyright American Society for Testing and Materials 1916 Race Street, Philadelphia, PA

19103

31. White, R. H. and Sweet, M. S. 1992. Flame retardancy of wood: Present status, Recent problems, and future fields. In: Proceedings of 3rd annual BCC conference on flame retardance
32. White, R. H. 1990. Fire endurance research at the Forest Products Laboratory. Wood Design Focus
33. Lee, P. W. and E. L. Schaffer. 1982. Redrying fire-retardant-treated structural plywood. *Wood and Fiber* 14(3):178~199
34. 朴文在, 金畏政, 韓甲俊. 1991. 우리나라의住宅市場構造와 木造住宅開發. *木材工學* 19(3):45~52
35. 則元 京. 1988. アセチル化木材の現況. WOODMIC Vol. 6:33
36. 矢野浩之, 椋代純輔, 則元 京. 1988. ピアノピン板の改良. *木材學會誌* 34(2):94~99
37. Akitsu, H., M. Norimoto, T. Morooka, R. M. Rowell. 1993. Effect of humidity on vibrational properties of chemically modified wood. *Wood and Fiber Sci.* 25(3):250~260
38. 谷口 和彦. 1993. 木質材料用接着劑の最近の動向
39. 田口 崇, 新岡輝一, 安藤康光. 1994. 針葉樹化粧合板の製造. *北海道林産試験場月報* 8(2):17~20
40. 佐佐木 光. 1985. 間伐材のLVL化システムの開發. 1984年度科學研究費補助金(試驗研究 1) 研究成果報告書:105
41. 大熊幹章. 1989. LVB 開發 - 合板工業の展開の方向を探る. *木材學會誌* 35(11):959~965
42. 綿貫幸宏, 田栗 匡, 中村勝男. 1982. 道産廣葉樹單板積層材の家具への利用. *木材學會誌* 29(5):375~381
43. Kawai, S., H. Sasaki, H. Inui and K. Nakata. 1991. Phenolic resin-treated compressed laminated veneer lumber. Proceedings of the International symposium on chemical Modification of wood, May 17~18. Kyoto:118~123
44. 板垣直行, 三橋博三, 伊藤彦紀, 鈴木 登. 1993. スギLVLの壓密化による改質に関する研究. 第44回 日本木材學會大會 研究發表要旨集:115
45. 伊藤彦紀, 三橋博三, 板垣直行, 近 和榮. 1993. スギLVLの材質改善 I. MG含浸處理と壓密化處理による材質改善. 第44回 日本木材學會大會 研究發表要旨集:114
46. Danielson, J. D. 1984. The veneer mill improvent program. *Interfaces* 14(5):59~66
47. Danielson, J. D. 1986. Tighten up your mill with veneer improvement program. *Plywood & Panel World* / June-July 27(3)
48. Spelter, H. 1990. PLYMAP-A computer simulation model of the rotary peeled softwood plywood manufacturing process. USDA Forest Service FPL General Technical Report 65
49. Spelter, H. 1991. VENVAL-A plywood mill cost accounting program. USDA Forest Service FPL General Technical Report 65
50. Wang, Q., Y. Imamura and H. Sasaki. 1992. Utilization of laminated veneer lumber from Sabah plantation thinnings as beam flanges II. Adhesion of particleboard web and laminated veneer lumber flanges. *Mokuzai Gakkaishi* 38(4):364~373
51. Wang, Q., H. Sasaki, P. Yang and S. Kawai. 1992. Utilization of laminated veneer lumber from Sabah plantation thinnings as beam flanges III. Production of composite beam and its properties. *Mokuzai Gakkaishi* 38(10):914~922
52. Wang, Q., H. T. Hayashi, H. Sasaki and Y. Nagaya. 1990. Utilization of laminated veneer lumber from Sabah plantation thinnings as beam flanges I. Increasing confidence limits in properties by processing into laminated-veneer-lumber. *Mokuzai Gakkaishi* 36:924~631
53. Khaidzir, M. O. and J. A. Youngquist. 1990. Structural plywood from Malaysian hardwoods. In: Proceedings, 19th IUFRO world congress, division 5: 1990 August 5~11:Montreal, Canada
54. 日本合板工業組合聯合會. 1982~1984. 南洋材等對替原料開發促進事業報告書:118, 120, 123 號
55. 梅村啓志郎, 信田聰. 1993. 片方向濕氣にのみ流す木質材料の試作. 第44回 日本木材學會大

- 會 研究發表要旨集:111
56. 藤井 毅, 宮武 敦. 1993. SST(Superposed Strand Timber)の製造と性能(II)- 小徑木を用いたSSTの性能. 第 44回 日本木材學會大會 研究發表要旨集:116
57. 董 志浩, 大熊幹章. 1993. 新しい構造用板材料 LSB(long stick board)の開発(第4報)- 割り箸をエレメントとしたボ-ドの比重, 含脂率及び構造方法と材質との關係. 第44回 日本木材學會大會 研究發表要旨集:118
58. 金柔延, 大熊幹章. 1993. ゼファ-細斷束をエレメントとする板材料の開発(II)- パーティクルボ-ド用チップの混合による材質向上. 第44回 日本木材學會大會 研究發表要旨集:120