

폐타이어를 이용한 목질고무 복합패널의 물성에 관한 연구^{*1}

- 원료혼합비율에 따른 복합패널의 재질변화 -

이 원 희^{*2} · 변 희 섭^{*3} · 배 현 미^{*4}

Studies on Physical Properties of Wood-based Composite Panel with Recycled Tire Chip^{*1}

- Change of Properties on Composite Panel
by Mixing Ratio of Combined Materials -

Weon-Hee Lee^{*2} · Hee-Seop Byeon^{*3} · Hyun-Mi Bae^{*4}

ABSTRACT

In this paper, the relationships between volumetric mixing ratio of rubber chip and physical and mechanical properties of wood/rubber composite panel was examined in order to investigate the mixture characteristics of wood and rubber chip. Because of the specific gravity of rubber differed from wood chip, physical properties of wood/rubber composite panel was shown very different values by mixing rate of chip element. Specific gravity in air-dry of composite panel was increased rapidly as volumetric percent of rubber chip was increased. Moisture content of composite panel was decreased as volumetric percent of rubber chip element was increased. This results was considered that wood weight is light and porosity material for moisture absorption. Compressive strength and modulus of rupture in bending test were decreased as volumetric percent of rubber chip increased. By mixing ratio control of chip elements, various wood/rubber composite panel can be applicable to every interior materials such as subfloor, playground, and exterior materials such as road blocks for recreational facilities in garden and forest and city parks.

Keywords : Wood/rubber composite panel, volumetric mixing ratio, physical & mechanical properties

1. 서 론

오늘날 자동차의 증가로 인하여 산업폐기물의 일

종인 폐타이어를 처리하는 문제는 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 폐타이어의 이용은 주로 열원으로서 이용하여 왔으며 공해유발 문제 등으로 많은 제약을

*1 접수 1998년 1월 19일 Received January 19, 1998

본 논문은 농림부 농림수산 특정연구사업(1996~1997)의 일환으로 수행되었음.

*2 경북대학교 농과대학 College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

*3 경상대학교 농과대학 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Jinju 660-300, Korea

*4 목포대학교 자연과학대학 College of Natural Science, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

받고 있는 현실이다. 산업폐기물인 폐타이어와 산지에서 벌채 및 육림작업에서 발생하는 임지폐잔재 등 폐목질자원의 효율적인 재활용을 위하여 목질계 고무복합 패널제품의 성질을 명확히 할 필요가 있다. 현재 임지폐잔재는 간벌, 가지치기, 공장부산물로 발생하며 전체의 14%만이 이용되는 실정이며, 폐타이어는 약 58%가 건설자재나 분말상으로 직접 수출되기도 한다. 폐자원의 재활용은 원자재수입에 의존하고 있는 국내산업의 수입대체효과 및 국제적 이슈로 대두되고 있는 환경오염방지와 매립지 선정등으로 야기되는 쓰레기문제의 해결이라는 3대 성과를 이룰 수 있는 매우 중요한 과제라 할 것이다.

폐타이어를 이용한 복합재에 관한 연구는 일본 북해도립 임산시험장의 堀江 등(1996)에 의해 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 연구내용은 고무와 목재의 원료 혼합비율을 8 : 1로 고정하여 있다고 하였으나, 본연구팀이 실제 북해도 현지산업체를 방문조사한 결과 거의 대부분 고무칩만으로 난방바닥재를 제조하고 있는 것으로 판단되었다. 그 이유는 이종재료인 고무와 목재를 복합화시키기에는 내부결합력이 너무 떨어지기 때문에 폐타이어의 수요촉진을 위하여 고무칩을 주원료로서 난방바닥재를 제조하여 패널의 현장적용 실험, 예를 들면 열전도율, 바닥충격음 흡수능력, 흡음성능 등에 연구를 집중하고 있어 원료 혼합비율에 따른 실험내용이 부족하므로 혼합비율을 세분화한 복합패널의 성질을 검토할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 이에 본 논문에서는 폐타이어와 목재칩의 원료 혼합비율에 따른 복합패널의 기초 물성과 휨강도 등을 조사하고, 목재와 고무칩 혼합비의 특성 및 원료혼합비율이 복합재의 재성질에 어떤 영향을 나타내는지를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

목재칩의 원료는 성창산업으로부터 제공받은 것으로서 일반 파티클보드 공장에서 생산하고 있는 표충용과 중충용 파티클(함수율 4%)을 사용하였다. 고무칩의 원료는 폐타이어를 기계적 분쇄법에 의해 제조한 것으로서 입자크기 2~3mm의 칩을 사용하였다. 구성원료는 전보(이·박, 1997)와 동일하며, 고무칩과 목재칩의 원료혼합 체적비율을 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20, 100 : 0으로 하여 복합판상제품을 제조하였다. 본 실험에서는 고형분

Table 1. Manufacturing conditions for rubber-based wood composites.

Dimension of board	1.5cm × 21cm × 21cm
Element	Wood chip, rubber chip
	Adhesive : Polyurethane, solid portion 99.9%
	Curing solvent
Hot pressing conditions	Temperature : 120°C Press time : 600sec Pressure : 5kgf/cm ²

99.9%의 폴리우레탄 수지접착제와 우레탄경화제 등을 사용하였으며 열압공정을 제외한 혼합공정은 전보와 동일하였다(표 1).

보드의 예정밀도는 0.5와 0.7의 두가지이며, 열압프레스기의 제약으로 인하여 제조된 복합보드로부터 휨강도 시험편으로 폭 2cm, 높이 1.5cm, 스팬길이 17cm의 크기로 준비하고, 압축강도 시험편으로 가로 폭 2cm, 세로폭 1.5cm, 길이(높이) 4cm로 하였으며, 각 제조조건에 있어서 시험조건당 7개씩의 시편을 준비하였다.

2.2 실험방법

복합보드의 열압조건은 전보에서 밝힌 것처럼 일정 압체조건 이상이면 제조상에 이상이 없음에 따라 열압온도의 설정은 접착제 및 경화제 자체의 경화온도를 충분히 고려하여 설정하였으며, 보드제조시 성형재료의 혼합은 먼저 일정량의 폐목재와 폐타이어 분말을 충분히 혼합한 후, 경화제 및 접착제를 순차적으로 투입, 혼합하였다. 이를 21cm(가로)×21cm(세로) 스테인레스 재질의 정방형 성형틀에 투입한 다음 열압하였다. 이때 각 소재의 투입량은 최종 생산보드의 두께 및 밀도를 기준으로 미리 계산하여 결정하였다. 복합보드 제조시 열압압력은 보드 성형시 순간배기없이 영속적으로 초기의 일정압력 5kgf/cm²을 가하여 제조하였다. 이러한 이유는 예비 보드제조 실험시 순간적으로 배기를 한 결과 고무의 탄성회복 때문에 초기경화된 접착층이 유동, 파괴 된다는 사실을 미리 파악했기 때문이다. 최종적으로 보드의 제조가 완료되었을 때, 성형틀로부터 보드를 분리하는 과정에서 성형틀과 보드간에 접착제가 누출되어 강한 접착을 하고 있어서 완벽한 분리가 힘들었다. 그래서 본 실험에서는 이형제로서 2가지 시판제품을 사용하여 소재를 몰드에 투입하기 전에 미리 분무기를 사용하여 이형제를 충분히 분무한 결과, 최종

적으로 보드와 성형틀은 완벽하게 분리되었다. 실험방법은 우선 일정한 조건하에서 고무-목재 복합보드 제조 전단계로서 우선 고무칩과 목재칩의 가비중 및 배합비율에 따른 중량과 체적비율을 검토하였다. 목재와 고무칩의 원료배합비율을 0 : 100, 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20, 100 : 0로 하여 강도시험을 위한 시험편을 제작한 후 기간상태에서 강도시험을 하였으며, 시험이 끝난 직후에 밀도와 함수율을 측정하였다. 함수율은 전건법에 의거하였으며, 휨강도시험과 압축강도시험에서의 하중속도는 각각 1mm/min과 0.6mm/min로서 만능강도 시험기를 이용하여 실시하였다.

2.3 고무칩과 목재칩의 가비중

원료로 이용한 고무칩과 목재칩의 가비중을 정리하여 체적기준 혼합비율과 중량기준 혼합비율로 써 계산한 공칭값은 폐타이어분말과 폐목재의 부피기준 혼합은 중량기준 혼합결과와 상당한 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 이것은 구성원료 소재의 가비중이 서로 다르기 때문인 것으로 추정된다. 만약 고무칩과 목재칩을 혼합하여 보드를 만들었을 때, 체적기준 혼합비율이 1 : 1이라면 중량기준으로는 25 : 6.5로 혼합되어 있는 것이다. 또한 각 소재를 동일한 중량기준 혼합비율 1 : 1로 투입하면 체적기준으로 고무칩 20%, 목재칩 80%로 혼합하여야만 균사치에 가깝게 됨을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원료칩비율에 의한 보드의 비중과 함수율

고무칩 원료의 체적비율에 대한 고무-목재 복합보드의 비중 및 함수율의 변화를 그림 1에 나타냈다. 고무칩이 목재칩에 비하여 가비중이 4배이상 크기 때문에 동일한 비중의 보드를 제조할 경우, 고무칩 비율이 높아질수록 복합보드의 비중은 클 것으로 생각되었으며 그림 1로부터 이런 예상이 사실로 확인되었다. 고무칩이 들어가게 되면 고무의 높은 탄성복원력으로 인해 보드의 두께가 경직적으로 늘어나게 되며, 또한 소성변형이 용이한 목재 때문에 목적하는 용도의 보드제조에는 치수안정성의 문제 등으로 어느 정도 한계가 있다고 할 것이다. 고무칩의 원료투입 체적비율에 대한 복합보드의 기간함수율은 고무칩의 체적비율 증가에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 고무칩이 약 100%정도인 복합보드에 있어서는 거의 0%

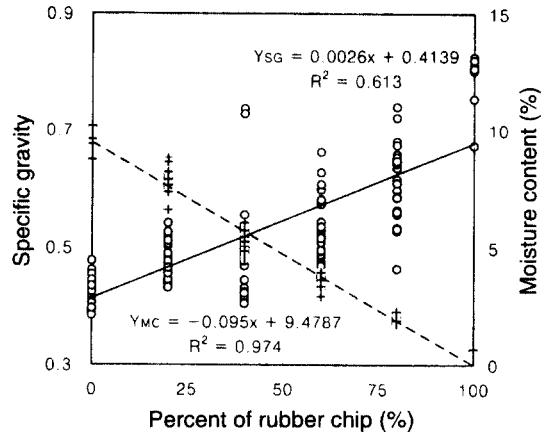


Fig. 1. Relationships between specific gravity(○) and moisture content(+) of rubber-based wood panels as a function of volumetric percentage of rubber chip.

에 가까운 함수율을 나타내고 있다. 이것은 원료고무의 수분흡수율이 거의 없으며, 반면에 다공질재료인 목재칩의 수분흡수에 의해 이런 현상이 나타난 것으로 생각된다. 이 결과로부터 목재칩과 고무칩 복합보드의 수분흡수에 따른 치수변동은 필연적으로 일어나는 현상이며, 고무칩과 목재칩의 원료 구성비율 조정에 의해 수분에 대한 흡방습성 조절이 가능할 것으로 판단되었다.

3.2 복합보드의 강도성능 및 과제

그림 2에 목재칩과 고무칩의 체적비율에 의한 복합보드의 기간비중과 휨강도와의 상관을 풀롯하였다. 이 그림으로부터 복합보드의 비중이 높아질수록 휨강도는 급격하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉, 비중이 높다는 것은 목재보다 무거운 고무칩의 체적비율이 그만큼 높으며 탄성회복이 뛰어난 고무의 휨작용에 대한 저항성이 크게 떨어지는 관계로 비중의 증가에 따른 탄성계수 및 강도의 급격한 저하가 필연적으로 동반되는 것으로 분석되었다. 비중 약 0.5 부근에서 강도의 급격한 저하는 복합보드 원료 중 목재칩의 감소에 기인하는 것으로 분석되었다. 즉 목재는 고무에 비하여 완충성을 뒤떨어지지만 휨에 대한 저항성능. 즉 휨탄성계수가 매우 크기 때문에 이런 현상이 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 일반적인 재료는 비중과 탄성계수는 정의 상관관계를 가짐이 상식이지만, 고무칩 복합보드는 이에 정반대의 값을 가

짐이 특징이라 할 수 있으며, 이로부터 제반 복합재료의 특성을 어느 정도 추정평가할 수 있을 것이다. 그럼 3에는 고무칩의 체적비율에 따른 휨강도를 플롯하였다. 같은 고무칩의 양임에도 불구하고 많은 편차가 생기는 것은 고무칩의 혼합상태가 균일하지 못한 결과로부터 기인되는 것으로 생각되며, 전체적으로 고무칩양이 증가할수록 휨강도는 급속하게 감소하는 결과를 나타냈다. 이를 결과로부터 휨강도가 다른 일 반재료에 비해 고무의 혼합 때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로서, 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단되었다.

휘강도는 복합패널의 내부결합력과도 연관되어 있을 것으로 생각하며, 전보(양 등, 1997)에 의하면 그 결과는 다음과 같다. 목재칩이 그래뉼형태보다는 스트랜드형태가 강도발현에는 원료로서 좋았으며, 원료 칩의 치수나 형태별로의 엄밀한 평가는 별도의 실험 연구가 되따라야 할 것으로 생각한다. 또한 스트랜드 형태의 목재칩으로 제조한 복합패널의 내부결합력은 혼합비율에 있어서 목재칩 100%인 경우 또는 고무칩 100%일 경우에 높게 나타났으며, 목재와 고무칩의 혼합비율이 40 : 60일 경우에 내부결합력은 가장 낮은 값을 나타내었다. 전체적으로 내부결합력은 고무칩의 비율이 증가함에 따라서 고무칩 60%지점까지는 직선적으로 감소하다가 80%부터는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과로부터 목재와 고무의 이종 재료를 접착시키는데는 많은 어려움이 있으며, 새로 운 형태의 접착제 개발이나 접착방법에 관한 연구가 심도있게 이루어져야만 할 것으로 판단된다.

그림 4에는 고무칩의 체적비율과 최대 처짐량의 상관관계를 나타내었다. 전술한 바와 같이 고무의 혼합비율이 증가할수록 처짐량은 직선적으로 증가하였으며, 고무칩의 존재가 휨작용에 주도적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

그림 5에는 고무칩의 체적비율과 압축강도의 관계를 나타내었다. 압축강도는 고무칩의 체적비율이 증가 할수록 직선적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 목재 칩의 강성이 고무칩에 비하여 상당히 큰 관계로 목재 칩양이 적어질수록, 즉 고무칩의 양이 증가함에 따라 압축과괴강도는 매우 낮은 값을 나타냈다. 그럼에도 불구하고 고무칩의 탄성회복력은 목재에 비하여 우수한 관계로 반복하중에 대한 복합보드의 복원력은 매우 뛰어나다고 할 수 있다. 따라서 이 일련의 결과로부터

우리는 고무칩을 원료로 한 복합보드의 용도는 휨작용을 받는 곳보다는 압축하중을 받는 장소에 사용되는 것이 용도면에서 타당성이 있다고 판단된다.

특히 여기서는 일정한 원료칩의 배합비율로서 만든 재료의 강도성능의 경향만을 관찰하였으나, 앞으로 저가의 접착제 개발 및 다양한 원료칩의 형상에 따른 복합재의 성능연구 및 현장 적용성 검정이 이루어져야 할 것이 매우 중요한 사안으로 남아있다.

이상의 결과로부터 복합패널의 원료인 고무와 목재의 기초물성 파악에 의해 원료 혼합비율에 따른 복합패널의 재질을 집성재와 같은 일반 목질계 재료와 같이 총합적으로 평가할 수 방안이 마련되면 한걸음 더 나아가는 연구가 될 수 있을 것으로 기대해본다.

생활쓰레기 자원의 재활용화를 위하여 부자적인 원료로서 생각해 볼 수 있는 것으로는 신문지나 골판지, 사무실의 인쇄 백상지 등의 잡종고지와 PET병이나 플라스틱, 비닐류, 숯 등이 있다. 본 연구결과, 휨작용이 우수한 고무원료의 혼합비 조절에 의해 강도설계 및 최대 처짐량의 산정이 가능함을 시사해 주고 있으며, 일반 목재소재나 목질판상 재료에 비하여 고무칩의 영향으로 휨성능은 매우 낮게 나타났으며, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 타당할 것으로 판단되었다. 복합재료의 형태로서는 판재나 블록형태로서의 이용이 적합할 것으로 생각되며 그런 의미에서 고무의 완충성과 탄력성을 고려한다면 벽장재료보다는 온돌과 같은 마루바닥재, 실내체육관의 바닥재, 노인이나 어린이 수용시설내부의 바닥재, 상하로 연결되어 있는 아파트와 같은 집합주택의 바닥재, 주차장, 수목보호대, 도로분리대, 완충재, 도시생태공원의 조경시설물이나 산림휴양림 등의 산책로 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 폐자원의 효율적인 활용에 크게 기여할 것으로 예상되며, 고무와 목재의 혼합비율에 의한 다양한 복합보드의 제조가능성이 기대된다. 특히 안료의 도입이 용이한 관계로 영구적이지는 못하지만 다양한 색상발현에 따른 놀이시설, 휴양시설, 건설현장 등에서 다양한 적용성을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 특히 넓개는 도로분리대와 같은 콘크리트 시설물의 대체품으로서의 용도개발을 생각할 수 있으며, 고무가 목재에 비해 무겁기는 하지만 콘크리트에 비할 바가 못되기 때문에 고무 단독이든 목재나 기타 부자적인 폐자원과의 복합화에 의해 경량화할 수 있다는 점에서 큰 이점이 있어 차후 이에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

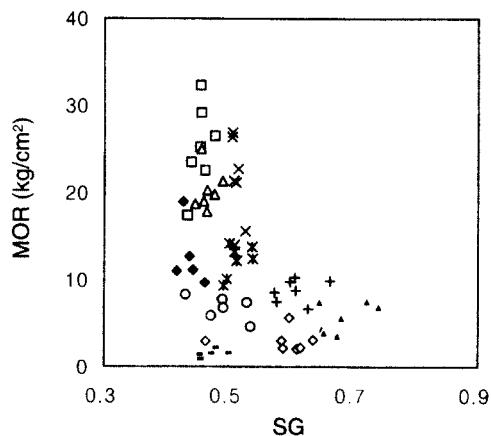


Fig. 2. Modulus of rupture(MOR) of wood-based composite panel as a function of specific gravity in air dry.

Legend: For instance, rp70100 means nominal specific gravity's 0.7, and percent of rubber chip versus pin type of wood chip is 0 : 100.

◆ : rp70100, □ : rp50100, △ : rp52080,
× : rp72080, * : rp74060, ○ : rp54060,
+ : rp76040, - : rp56040, ▲ : rp78020,
◇ : rp58020

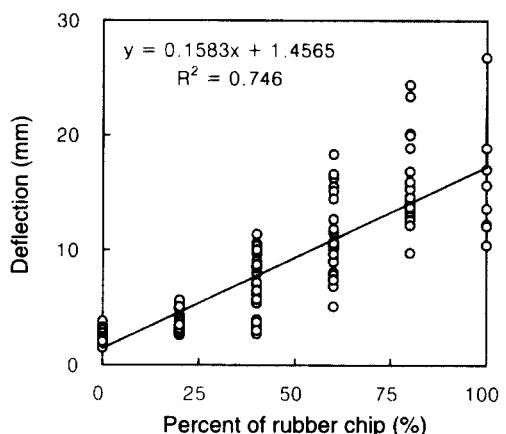


Fig. 4. Relationship between volumetric rate of rubber chip and maximum deflection of rubber-based wood panels in bending test.

4. 결론

산업부산물로서 폐타이어와 폐목재자원의 재활용

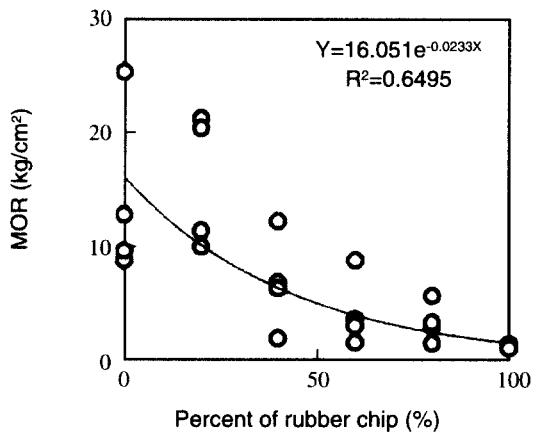


Fig. 3. Relationships between the volumetric mixing percent of rubber chip and modulus of rupture of rubber-based wood panels.

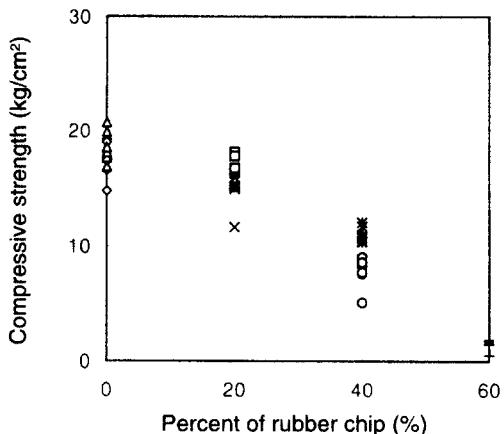


Fig. 5. Relationships between compressive strength and volumetric percent of rubber chip in wood-based composites.

Legend: For instance, 07RP4060 means specific gravity's 0.7, and volumetric percent of Rubber chip vs Pin type of wood chip is 40 vs 60.

◇ : 07RP0100, □ : 07RP2080,
△ : 05RP0100, × : 05RP2080,
* : 07RP4060, ○ : 05RP4060,
+ : 05RP6040

문제를 해결하기 위한 일련의 연구로서 고무칩과 목재칩 복합보드의 원료 체적비율과 제품의 제반성질과의 관계를 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 사실이 밝혀졌다.

- 고무칩원료의 체적비율에 대한 고무-목재 복합보드의 비중 및 함수율의 변화는 고무칩 비율이 증가할수록 복합보드의 비중은 증가되었으며, 고무칩의 원료 투입 체적 비율에 대한 복합보드의 기간함수율은 고무칩의 체적비율 증가에 따라 감소하는 경향을 나타냈다.
- 목재보다 무거운 고무칩의 체적비율이 많은 고비 중의 복합패널의 휨성능은 고무칩이 적고 목재칩이 많은 저비중의 복합패널보다 급격하게 저하하였다. 이것은 탄력성이 뛰어난 고무의 휨작용에 대한 저항성이 크게 떨어지는 관계이며, 고무가 목재보다 비중이 높기 때문에 목질고무 복합패널의 비중의 증가는 휨강도를 급격하게 감소시키는 경향을 나타내고 있다.

사 사

본 연구수행을 위해 협조해 준 경상대학교 부속 농어촌개발연구소에 감사드립니다.

참 고 문 현

- 양재경, 이원희, 박상진. 1997. 목질바이오매스를 이용한 복합판상제품의 제조. 한국폐기물학회지 14(7) : 632~639
- 양재경, 이원희, 박상진. 1997. 목질바이오매스를 이용한 복합판상제품의 제조(Ⅱ). 한국폐기물학회지 14(7) : 652~660
- 이원희, 박상진. 1997. 폐타이어를 이용한 목질계

- 복합판넬의 연구. 목재공학 25(4) : 29~38
- 日本木材學會. 1996. 木材의 科學과 利用技術Ⅳ. No. 2. 産業・生活廢棄物
- 堀江秀夫. 1996. 木質材料と異種材料の複合化技術. 北海道林產試驗場報告 10(4) : 19~27
- 日本住宅 & 木材技術センター. 1996. 木質廢棄物再資源化技術開發事業報告書
- (財)古紙再生促進センター. 1996. 事務室古紙リサイクルの現状と再生紙の利用について.
- 久報 宏. 1995. 自動車用古タイヤの用排水路票入め材への適用. 農業土木學會誌 63(5) : 467~470
- 久報 宏. 1995. 廃棄タイヤの建設材料への利用に関する研究. 開發論集 57 : 45~52
- 大澤清志 等. 1991. ゴムチップと成形パネルの床衝撃音遮音性能(第1報). 北海道林產試驗場報告 5(2) : 14~17
- 大澤清志 等. 1992. ゴムチップと成形パネルの床衝撃音遮音性能(第2報). 北海道林產試驗場報告 6(2) : 15~18
- Humphrey, D. N., and R. A. Eaton, 1993. Tire chips as insulation beneath gravel surfaced roads, Proc. of 2nd International Symposium on Frost in Geotechnical Engineering, Anchorage, USA : 137 ~ 149
- Newcomb, D.E., and A. Drescher. 1994. Engineering Properties of Shredded Tires in Light-weight Fill Applications. Transportation Research Board, 73rd Annual Meeting, Reprint. Washington D.C., USA