

# 생태학적 관점에 의한 환경친화적 건축 재료에 관한 연구

## A Study on Environment Friendly Building Materials from Ecological Perspectives

한경희\* / Han, Kyung-Hi  
김자경\*\* / Kim, Ja-Kyung

### Abstract

Environment friendly architecture, which will reduce shortcomings of current architectural culture, can be achieved by using natural energy and environment friendly building materials together with their environmental architecture techniques. Particularly, even though the overall building system is perfect, it cannot be considered as comfortable architectural space if the materials are polluted, harmful to human bodies and producing wastes. Therefore, in order to build environment friendly architecture, the selection of the materials is very important and necessary from the planning stage with careful reviews and concern.

This study tries to define what the environment friendly materials are, to investigate and to classify them, in order to provide some guidelines for selecting them at plans to build. For examples, the materials can be classified into natural materials, continuously usable materials, recycled materials from wastes, and less polluting materials mixed with natural matters.

Finally, this study reviews the existing products in the market and proposes to develop new ones in the future. It will present the circulation of resources in the 21century through recycled and reused materials.

키워드 : 환경친화적 건축재료, 지속가능성, 재활용, 재사용

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 목적 및 의의

21세기 들어선 오늘날 가장 큰 이슈는 인간과 자연의 지속 가능한 공존의 문제일 것이다. 이러한 관점에서 가장 부각되는 해결책으로 생태학이 새롭게 해석되면서 사회 전반에 이를 응용한 다각적인 접근법이 모색되고 있으며 건축에서는 환경 친화적 건축이 최선의 대안으로 소개되고 있다. 그리고 수많은 국가에서 자연과의 공생을 위한 건축을 장려하기 위해 친환경 건축제도들이 만들어지고 시행되고 있다. 그러나 이러한 친환경 건축제도들은 각각의 제품별로 얼마나 환경 친화적 인가로 표시하거나 옥내 공기 품질평가, 에너지 효율제도와 같이 이미 다 지어진 건물을 측정하여 인증하는 제도로 운영되고 있어 초기 건축이나 실내건축 계획 시 구체적으로 활용이 되는 기준이 되

지는 못하고 있다. 이에 본 연구는 환경 친화적 건축의 목표인 지구자원의 보존과 주변 자연환경과의 조화와 함께 건강하고 쾌적한 주생활 실천을 위해 직접적으로 가장 인간의 생활에 영향을 주는 건축 재료에 중점을 두어 생태학적 관점에서 환경 친화적인 재료에 대해 알아보려고 한다. 특히 최근 실내공기오염과 관련된 각종 건강장애와 증상을 호소하는 일명 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)과 같은 병리적 현상이 늘어남에 따라 친환경 건축자재의 사용이 요구되고 있으며 재료에 의한 실내 오염을 최소화하기 위한 계획과 자재의 선택이 중요함을 알 수 있다. 그러므로 본 연구는 건축재료에 의한 환경적 피해를 줄여 환경 친화적 건축의 목표를 달성하고 이에 부합되는 건축 재료의 선택을 위해서 환경 친화적 건축재료 의미와 많은 건축 재료들 중 생태학적 관점에서 그 종류를 분류하고 조사하여 제시해 보려고 한다. 이러한 과정을 통하여 건물 계획 초기의 재료선정에서 하나의 지침을 제시하고, 현재 개발되고 사용되는 환경 친화적 재료들을 조사하여 재료 개발의 가능성을 알아봄으로서 21세기의 재활용과 재사용에 의한 새로운 건축 재

\* 정회원, 신홍대학 실내디자인과 부교수

\*\* 정회원, 이화여자대학교 환경디자인과 시간강사

료에 의한 자원순환의 흐름을 고찰하는데 연구의 의의와 목적을 두고 있다.

## 12. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 현재 개발되거나 개발을 시도하는 다양한 환경 친화적 건축 내·외장 재료 및 실내 장식재 등으로 사용되는 기본 재료들을 각종 문헌이나 기사, 자재생산 회사의 자료들을 종합적으로 조사하여 생태학적 관점에서 항목을 분류하여 세부내용을 고찰하는 것으로 이루어진다. 그러므로 실제 각 재료의 사용방법을 제시한 다기보다는 현재 흠어져 환경 친화적 재료인지 아닌지 알 수 없는 재료들을 조사하여 항목별로 정리하여 제시함으로 건축이나 실내 디자인의 계획에서부터 친환경 재료를 선택·활용 할 수 있는 기본적인 개념 지침을 제시해 보려고 한다. 연구의 진행 방법은 생태학적 관점에서 건축재료 조건과 환경 친화적으로 건축 재료로 개발하기 위한 방법을 알아본다. 그리고 생태학적 관점에서 재활용, 재사용, 재생가능성이라는 조건을 만족하는 재료를 4가지로 분류하고 각각에 해당되는 재료들과 특성을 제시한다. 이에 기존 건축 재료 이외에도 우리주변의 다양한 재료들의 재활용, 재사용 가능성을 인식하여 건축 계획시 반영할 수 있는 계기를 마련하고자 한다.

목 표	방 법
	1. 재료의 경제적인 사용 : 이는 경제적인 건설방법의 채택으로 이루어 짐 - 적은 재료를 사용하는 구조와 공법 채택과 필요 이상으로 큰 건물을 지양 하고 적당한 크기의 건물을 지함
	2. 현장에서의 건축 재료의 낭비 감소 - 제품의 표준화 증대와 현장 생산 비중을 줄이고 공장생산을 늘린다 - 잘 계획된 현장관리(목재와 폐기물들의 분리수거, 건축과정 준수 등)를 통하여 재료의 손실을 50%이상 감소시킬 수 있음 - 재료의 포장에서 불필요한 포장을 줄이고 재활용이 가능한 포장재의 사용 - 재생 불가능한 자원으로 만들어진 재료는 마모와 손상이 심한 노출 부위에 사용을 피함
2. 건축하는 동안 중공 후 건물을 사용하는 동안 자원의 사용감소	3. 내구성을 확인하여 내구성이 높은 재료를 선택하여 건물의 수명을 연장시킴 - 재료의 수명은 재료의 물리적 구조와 화학적 구성, 건설방법, 재료의 설치 방법, 지역 환경의 기후태양광선, 온도, 공기압, 습기, 바람과 비, 지역 내 함유된 화학물질) 유지와 관리에 의해 결정된다. ex) 기와의 수명은 어떤 접도를 사용했는가, 어떻게 설치했는가와 함께 처해진 환경에 의해 좌우된다. 동절기 최고 품질의 기와도 지역의 습도가 높으면 도해를 유발하여 수명이 단축된다.
	4. 해체에서 발생하는 재료의 재사용과 재활용의 극대화 - 재사용 : 원래의 기능과 같은 기능으로 다시 사용하는 것으로 재료 및 각 구성부재의 수명에 의해 좌우되며 재료의 단순화와 표준화가 요구된다. - 재활용 : 재료의 구성요소를 녹이거나 부수어 새로운 생산과정을 거치므로 재료의 순수성에 달려있다고 할 수 있어 합성과 복합재료는 부적절함. 또 다른 방법으로 간단하게 낮은 단계로의 재활용도 고려할 수 있다. - 재 에너지화 : 제품을 태워서 에너지를 얻는 방법 · 재사용, 재활용을 위해서는 해체를 위한 ADISA이 이루어져야 한다. 이를 위해 활성화하기 위해 필요한 ADISA 법칙은 첫째, 시스템을 분리. 건물은 실내, 공간계획, 배관배선, 구조, 피부, 대지로 구성되어 각 시스템은 각기 다른 수명을 가져 독립적으로 교체가 되게 해야 함 / 둘째, 각 층내에서의 해체 가능성 / 셋째, 표준화 된 단일부재의 사용.
3. 건축산업에서의 에너지 소비감소	1. 건축재료 생산과정에서의 에너지 절약 - 지방으로의 생산 분산으로 운반에너지 줄임 - 높은 효율의 에너지원 사용 : 석유, 석탄, 원자력 이외의 다른 에너지원 활용 - 지역 에너지원의 사용 : 발전소와 사용시간 거리가 짧을수록 배선망에서의 에너지 손실을 줄일 수 있다. 2. 건축 과정 동안의 에너지 절약 - 지역 재료의 활용 / 낮은 에너지의 재료들 / 노동집약적인 공정 / 건물의 자연건조 / 재사용과 재활용을 선호하는 건축기술

## 2. 생태학적 관점에서의 건축재료

### 2.1. 건축 재료의 환경 친화적 개발 목표 및 활용

건축산업은 오늘날 식품생산 다음으로 지구 자원 중 원재료의 가장 큰 소비자라 할 수 있다. 그러므로 건축을 위한 원재료의 생산, 건설과정, 완성된 건물의 수명의 전체 라이프사이클을 통하여 자원의 낭비를 줄이고, 에너지의 절약과 환경오염의 피해를 줄이는 방향으로 재료의 개발과 사용이 이루어져야 한다. 그러면 건축과 관련하여 자원의 환경 친화적 활용을 위한 목표와 방법들을 알아보면 다음 <표 1>과 같이 정리할 수 있다.<sup>1)</sup>

<표 1> 자원의 환경 친화적 개발목표 및 활용 방법

목 표	방 법
1. 재료의 생산 과정에서 원재료의 사용감소	1. 원재료를 더 작은 지역 단위 개발을 증가시킴. 이는 부존자원 활용의 극대화 운반에너지의 절감을 가능하도록 함 2. 기존에 사용되지 않았던 자원들의 재평가와 그 활용에 많은 관심을 가진. 그 예로는 흙, 낙엽수종의 목재류, 폐기물 등 3. 수요가 풍부하고 재료로서 잠재력을 가지고 있는 자원의 개발. 그 예로는 돌이나 점토가 있으며 환경에 미치는 지하수위의 변화, 지역생태계의 파괴 등 부작용을 반드시 고려한 후 개발해야 함 4. 재생 가능한 자원사용의 증가. 광물질(무기질)의 원재료로 만들어지는 재료를 유기질의 대체 재료로 사용 ex) 철을 목재류나 P. C류로 대체 5. 생산 중에 발생하는 부산물이나 폐기물의 재활용을 증가시킴

### 2.2. 환경 친화적 건축 재료의 조건

환경 친화적 건축 재료는 원료의 채취, 생산, 물품 제조에서 사용, 유지 관리, 폐기 처리에 이르는 Life-cycle상의 환경부하를 최소화 할 수 있고 사용자의 건강을 저해하지 않는 재료를 의미한다. 즉, 모든 과정에서 오염의 최소화, 에너지의 최소화, 비용의 최소화가 가능한 재료를 의미한다. 이러한 재료가 되기 위해서는 다음 <표 2>와 같은 조건을 갖추어야 한다.<sup>2)</sup>

<표 2> 환경 친화적 건축 재료의 조건

- 환경파괴나 자원고갈을 초래하지 않는 건축자재
- 생산 과정 시 물, 공기, 토양 등을 오염시키지 않는 자재
- 제조나 유통에 에너지를 적게 소비하는 건축자재
- 장기간 사용이 가능하고 폐기 처리가 용이하며 리사이클링이 용이한 건축 자재
- 접촉이나 흡입에 의해 건강에 장애를 초래하지 않으며 사람에게 편안함을 주는 건축자재
- 일상적인 때나 화재나 소각 시에 유해가스가 발생하지 않는 건축자재
- 오존층을 파괴하는 프레온 가스를 포함하지 않는 건축자재
- 실내 환경의 조정이나 건강을 증진하는 효과를 지닌 자재(조습제, 원적외선 방사제 등)
- 재료의 사용 기간 동안 유지관리를 위해 사용되는 재료들이 실내공기의 질과 건강에 영향을 주지 않는 자재
- 조습성이 있는 내장재

환경 친화적 건축을 위해서는 이러한 조건들을 각 공정에 사용되는 재료마다 꼼꼼히 체크를 해야 할 것이다. 그리고 마지막에 제시된 조습성이 있는 내장재의 사용은 직접적으로 실

1) Bjorn Berge, Filip Henley, Ecology of Building Materials, Architectural Press, 2000, pp.3-61.

2) Grazyna Pilatowicz, Eco-interiors : guide to environmentally conscious interior design, New York : Wiley, 1995, pp.90-93.

내환경의 질에 많은 영향을 주므로 재료 선택 시 세심한 주의가 필요하다.<sup>3)</sup>

앞에 제시된 조건들을 어느 정도 충족할 수 있고, 재활용과 재사용이 가능하여 순환성 있는 최근 건축 재료의 경향을 분류해 보면 천연 자연재료, 지속 가능한 재료, 폐자재 재활용 재료, 다양한 자연소재를 혼합하여 만든 환경 부하 저감재료와 같이 4가지 경향으로 분류해 볼 수 있다.

### 3. 환경 친화적 건축 재료의 종류 및 특성

#### 3.1. 천연자연 재료

천연 자연 재료는 흙이나 나무, 돌 같은 소재로, 원재료를 채취하여 절단, 연마 등 간단한 물리적 가공만을 가하여 사용할 수 있는 것을 의미한다. 그러므로 천연재는 재생 가능한 출처로부터 조달되고 제품화 과정이 덜 필요하여 그 생산에 공기나 물의 오염이 작게 관련되며 또한 적은 보유에너지를 소모하게 된다. 그리고 자연스러움과 친밀감을 주고 인간에게 무해하여 환경 친화적 건축에서 가장 좋은 재료가 된다. 그러나 모든 천연재가 인공재 보다 환경을 위해 더 좋은 재료가 되는 것은 아니다. 최종 재료를 얻기까지 전체 라이프사이클에서 보면 어느 정도의 환경적 대가를 치르게 되므로 선택 시 반드시 이를 고려해야 한다.

대표적인 천연 자연 재료는 목재, 흙, 석재, 천연직물을 들 수 있으며 범위를 좀더 확대하면 천연페인트도 포함시킬 수 있다. 각 재료별 특성과 장·단점 등을 살펴보면 다음과 같다.

##### (1) 목재(Wood)

목재는 환경 보존적이며 재에너지로 쓸 수 있는 가장 대표적인 재료이며, 보드(board), 규격목재(Dimension Lumber), 팀버(Timber)를 총괄적으로 일컫는다. 통나무를 톱질하여 1차 가공목재(Lumber)를 만들고 이것을 재순질하여 Board, Dimension Lumber, 그리고 Timber로 만든다. 이러한 목재의 전반적인 장점은 가볍고 강하며, 절단이나 못박기 등 가공이 편리하고, 유해 물질에 대한 흡입성, 흡수력을 지니고 평균수명도 다른 재료보다 길고, 습도조절 능력이 있고, 열이나 전기를 잘 전하지 않으며, 증·개축이 용이하고, 자연성, 자연색, 독특한 냄새와 좋은 분위기를 연출하고 쾌적한 느낌을 준다. 특히, 목재를 이용한 건축 중 경량 목구조(Light weight Wood Frame Construction)방식은 공업화 된 부재를 사용하여 짧은 공사 기간 내에 현장 조립이 가능하며, 구조체를 구성하는 각

3) 사람이 쾌적하게 느끼는 상대습도의 범위는 40-70%이기 때문에 어떤 수단을 동원하더라도 이 범위에 맞게 습도를 조절할 필요가 있는데, 생태적인 관점에서는 기계적인 조습보다는 건축 재료를 통한 즉, 내장재의 흡방습 능력에 의한 습도조절이 에너지 측면뿐만 아니라 건강이라는 측면에서도 아주 바람직하다고 할 수 있다.

부재들, 즉 장선, 스티드, 서까래 등은 기본적으로 가변성을 지니므로 증개축이 용이하고, 평면설계가 자유로워 환경 친화적 건축에서 많이 응용되어 이용되고 있다. 이러한 목구조 주택의 장점과 단점을 살펴보면 다음<표 3>과 같다.

<표 3> 환경 친화적 관점에서 경량 목구조 주택의 장점과 단점

장 점	단 점
1. 자연과 가장 잘 어울리며 건축공법에 의해 다른 구조 방식보다 신속하게 시공 할 수 있고, 4개월 어느 때라도 공사가 가능하다.	1. 불에 잘 타다
2. 하나의 공정이 다른 공정에 직접적인 영향이 없어 공기를 줄일 수 있다.	2. 벌레나 균의 침해가 있을 수 있다.
3. 모든 자재가 규격화되어 상대적으로 싼값에 자재 수급이 가능하고, 자재의 경량화로 시공이 쉬워 인건비도 최소화 할 수 있다. 4.목재의 장점을 특성으로 갖는데 특히, 낮은 열전도율로 에너지 효율이 높다.	3. 흠방습에 의해 치수 형상이 변한다.
5. 설계의 가변성과 응용성으로 부분적인 교체와 전면적인 개조, 리노베이션이 용이하므로 건축의 수명을 100년 이상 유지할 수 있다.	4. 목재를 건축재나 가구 용재로 사용하기 위한 가공과정 특히, 도장과 도금에서 많은 유해한 물질을 발생하게 되고, 합판 등은 많은 에너지를 사용하게 된다.
6. 목재 자체가 충격흡수력이 뛰어나 태풍과 지진에도 강하고, 차음 효과도 있어 장기적으로 볼 때 경제적이고 친환경적인 소재로 볼 수 있다.	

단점에서 4는 환경적인 점에서 특히 고려해야 할 부분이다. 그러므로 목재의 단점도 보완하고 가공 및 처리과정에서 오염물질의 배출을 적게 하는 방법의 개발과 줄어드는 목재의 수효로 양질의 목재 공급이 어려우므로 순수 목재를 대체할 수 있는 자재 개발이 이루어져야 진정한 환경친화적 자재가 될 수 있을 것이다. 환경 친화적 관점에서 목재의 종류와 특성을 간단히 살펴보면 다음 <표 4>와 같다.<sup>4)</sup>

<표 4> 환경친화적 관점에서 목재의 종류와 특성

일반적 분류	경재 (hard wood)
일반적 분류	<ul style="list-style-type: none"> <li>활엽수 : 경목이 많고 성질이 일정치 않다. 천천히 성장하며 수효의 급격한 증가에 대처하고 있지 못하고 있어 사용상 절제가 필요</li> <li>주로 가구재, 장식재로 사용 - 체리, 호두나무, 단풍나무, 오동나무 등</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>침엽수 : 직통 대목이 많고, 가벼우며, 가공이 용이하다.</li> <li>경재보다는 성장속도가 빠르며 건설용으로 구조재, 가설재, 장식재로 사용되고 휘발성 수지성분 때문에 알레르기 증상이 있는 사람에게 문제가 될 수 있다. 그리고 cedar, rosewood는 가장 느리게 재생되며 급속도로 멸종되고 있음.</li> </ul>
사용 목적에 따른 분류	<ul style="list-style-type: none"> <li>건설·건축용 목재</li> <li>크게 뼈대가 되는 구조재, 그를 둘러싸는 구조용 판재(합판, 집성패널 등) 그리고 외장을 마무리하는 사이딩 패널로 나눌 수 있다.</li> <li>파티클보드와 인조목재 패널을 포함한 건축용 목재류는 저품질 원재료를 이용하거나 재활용 목재로 제작이 가능</li> <li>건설용 목재는 운송 전 미가공 재목에 반-수액 오염처리와 유독성 구리 화합물을 섞어 처리하여 곰팡이의 성장을 억제시키는데 작업자들에게 큰 피해를 주므로 안정적인 대체물이 필요하다.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>가구용 목재</li> <li>가구용으로 많이 쓰이는 teak, rosewood, mahogany는 고가이며 고갈되고 있으므로 poplar, birch, cherry 등을 사용하여 무늬목을 사용하여 효과를 내도록 한다.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>무늬목</li> <li>무늬목은 작은 비용과 견고함으로 멸종 위기의 수종을 보호하기 위한 하나의 방법이며 원목의 질감을 그대로 살리고 원하는 무늬와 색도 자유 자재로 연출하므로 심미성이 있다.</li> </ul>

##### (2) 흙

흙이 건축재료로 이용된 것은 인류역사 발전과 시초를 같이 하여 원시 시대 토굴이나 동굴에서 생활한 것에서부터 시작되며, 기후에 따라 추운 지방에서는 땅속으로 파들어 간 움집 형태로, 더운 지방에서는 지상으로 올라온 흙집으로 점토를 쌓거

4) 조현미, 생태적 실내디자인 지침에 관한 연구, 한국실내디자인 학회지, 22호, 2000.3 / 오도엽 외2인, 실내건축재료, 도서출판지음, pp.51-68.

나 흙벽돌의 형태로 집을 지었다. 흙은 사계절이 뚜렷하고 기온변화가 큰 우리 나라에서도 최상의 건축자재로 건축 대부분에 사용되었다.

지금도 흙을 이용한 건축은 전 세계적으로 지역과 환경에 따라 다양하게 나타나고 있으며 그 축조법도 다양하다.<sup>5)</sup> 흙이 건축 재료로서 갖는 장점과 단점을 살펴보면 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 건축재료로서 흙의 장점과 단점

장 점	단 점
1. 습할 때 습기를 머금었다가 건조할 때 내뿜는 천연 습도 조절 기능인 조습 기능을 가짐으로 실내를 쾌적한 습도를 유지시켜 줌	1. 물에 약하다.
2. 열차단 효과가 높아 축열기능 즉, 단열보온 기능을 가짐으로 온도를 일정하게 유지하는 효과가 있다.	2. 구조상 고층이 어렵다.
3. 공기 정화 기능으로 미립자 틈틈이 바람을 통과시킬 수 있기 때문에 통풍이 잘되고 오염 물질 제거 효과가 있어 항상 신선한 공기를 유지시켜 준다.	3. 흙벽 또는 흙바닥의 크랙(틈)현상이 나타난다.
4. 항균·방충 효과를 가지고 있어 오랜 기간 축적된 토양 미생물과 효소작용에 의해 항균·방충·탈취 효과가 탁월하다.	4. 모양이 단조롭다.
5. 폐기 후에도 쓰레기를 남기지 않고 완벽히 자연의 흙으로 돌아가므로 건축의 폐기를 발생이 전혀 없다.	5. 현대인의 생활 방식에 따른 가능성이 떨어진다는 점을 들 수 있다.

무엇보다 흙은 주변에서 구하기 쉬운 생태적인 재료이다. 특히 현대에 들어 황토는 그 효능을 인정받고 있으며, 이를 실용화하기 위해 흙이 갖고 있는 단점을 보완한 재료들이 개발되면서, 과거 전통 흙집의 개념을 현대 주택문화와 접목시켜 새로운 건강 주택이 개발되고 있다. 현재 흙 재료의 단점인 시공 불편과 균열 및 분진, 내구성 부족 등의 문제는 압축·사출공법으로 해결하고 있으며 재료의 단조로움을 내장용 흙벽돌, 외장용 흙벽돌, 일반 벽체용, 나무무늬형 흙벽돌, 황토 인트로킹, 황토 블럭, 황토 타 일, 황토 몰탈 등 다양한 형태와 무늬로 개발하여 고층 건물에서 사용할 수 있도록 개발하고 있다.

### (3) 석재

석재가 건축재료로 사용되어진 것은 약 2~3천년 전부터이지만 철근콘크리트조가 들어오고 나서부터는 구조적으로 사용되어지기보다 치장재로 많이 사용되고, 외부 바닥재로 사용되고 있는 편이다. KS규격에서는 석재용 석재를 성인(成因)과 형상, 물리적 성질에 의해 분류하는데 성인에 의한 석재는 화성암, 수성암, 변성암으로 나뉘고 세부적으로 화강암류, 안산암류, 사암류, 점판암류, 응회암류, 대리석 및 사문암류가 있으나 국내에서 실제로 이용되는 석재는 화강암류, 사암류, 점판암류, 현무암류, 대리석 및 사문암류 등이다. 그리고 형상에 의해서는

잡석, 호박돌, 견치석, 각석, 사교석, 판석 등으로 분류하고 있고 물리적 성질인 압축강도, 흡수율, 겉보기 비중에 따라 경암, 준경암, 연암으로 분류하고 있으나 대부분의 암석이 경암에 속한다. 이러한 석재들은 비중이 클수록 강도가 크고 내부 공극이 적고, 석재의 공극율이 클수록 내화성이 크다.

대부분 자연석이 건축 재료로 갖는 특징은 훌륭한 압축강도, 열저장력, 내구성이 우수하며, 리사이클링이 가능하고, 자연과도 잘 조화된다는 점이다. 이러한 이유에서 그 소비도 점점 증가하는 추세이다. 그러나 석재를 사용하기 위해서는 폭파, 절단, 운송, 분쇄로 인한 환경파괴로 장기간의 사용은 지형의 구조를 변화시켜 바람직하지 못한 새로운 환경을 제공하고, 또한 가공 없이 바로 사용하는 경우가 드물어 세공과 광택 작업 시 소음과 분진 등 인체에 해로운 물질을 생산할 수 있다. 게다가 높은 운송비가 요구되므로 자연석을 환경친화적 건축자재로 활용하기 위해서는 오염물질을 배출하는 표면처리 작업을 최소화하고 접합재료만으로 쉽게 재사용 가능하게 제작해야 될 것이다.

최근 자연석 중 친환경, 친건강 자재로 주목받고 있는 것으로 맥반석이 있다. 이는 무수규산(SiO<sub>2</sub>), 산화질소(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)등을 주성분으로 하여 인체 및 생물체에 필요한 산화제이철, 칼슘, 망간, 마그네슘 등 45여종의 무기질(미네랄) 원소를 함유하고, 표면이 다공질로 되어 친건강적 특징을 지녀 석재공사, 실내공사, 토목공사, 건강아파트 시공 및 건축용 모래, 건축용 판재, 원석으로 개발되어 사용 빈도가 늘어나고 있다.

### (4) 천연직물

직물은 건축에서 보통 실내의 벽지나 커튼, 카펫, 쇼파나 의자등 가구의 커버 등 다양한 실내 장식재로 사용된다. 이들 직물은 식물성과 동물성, 광물성, 인조 섬유로 분류되며, 이 중에 천연자연재로 이루어진 것은 동물성과 식물성을 들 수 있으나 천연직물은 일반적으로 그 자체로 분해가 잘되는 순수한 자연적 재료로 이루어지는 식물성 섬유를 의미한다. 이는 섬유로부터 만들어지는 인공섬유들에 비해 훨씬 환경친화적이지만, 제작 시 모든 진행단계에서 물과 에너지의 막대한 소비가 되며 마무리 과정에서 염색, 접착, 착색, 구김방지를 위한 처리, 곰팡이 방지, 방염 및 방충 처리 등에서 유해한 약품이 포함되어 반작용을 일으키게 한다. 그러므로 천연섬유를 친환경적 소재로 사용하기 위해서는 이러한 섬유를 만드는 과정에서 대체 에너지를 사용하고 인체에 유해한 성분을 포함하는 염색, 착색의 원료를 과일이나 식물로부터 추출 해 내는 방법을 사용하는 것도 하나의 대안이 될 것이다. 이러한 방법은 과거 전통적 방식인 천연염색에서 그 아이디어를 얻을 수 있다. 천연 염색 재료들은 대부분 한약재로도 쓰이며, 방부·방충 성분이 있어 천을 오래 보존해 주는 역할까지 하므로 염색 과정에서 자연스럽게 2차 가공처리가 된다. 이러한 속성을 잘 개발하여 실내에 사용되는 직물들을 대체한다면 환경친화적이며 친건강적인 공간이

5) 다양한 축조법 중 대표적인 것은 담틀공법, 흙벽돌 방식, 심벽구조, 흙짚방식이 주로 쓰인다. 담틀공법은 목재나 철재 거푸집을 이용하여 거푸집 안에 흙을 채워 넣어 다져서 벽을 구축하는 방법으로 흙벽 자체가 내력벽으로 지붕의 하중을 전달하는 구조체가 되고, 흙벽돌은 네모난 틀 속에 형을 떠서 햇볕에 말려 만든 것으로 일반적으로 손벽돌과 아도브, 현재 개발된 압축 흙벽돌 등이 있다. 그리고 심벽은 목구조 사이에 대나무와 나뭇가지, 수수깡 등으로 심을 엮고 여기에다 진흙에 물과 짚을 넣어 이긴 흙을 안팎으로 바르는 것이고, 흙짚 방식은 짚을 점토를 개어 놓은 물 속에 하루 정도 담가 둔 다음 이를 거푸집 속에 채워나가는 방식이다. [http://www.architerre.com/menu03\\_01.php3](http://www.architerre.com/menu03_01.php3)

될 것이다. 그리고 또 다른 방안으로 목재와 각종 식물 섬유질 성분을 혼합하여 인공섬유를 대신하는 직물 등을 개발하고, 재활용 할 수 있게 개발하는 것도 중요한 방법이며 생산과정이 깨끗한 인공섬유와 자연재를 혼합한 섬유의 개발도 중요한 대체 방법이 될 것이다.<sup>6)</sup>

(5) 천연페인트

천연페인트는 순수 식물성 화학이라는 원칙 하에 식물 및 광물에서 인체 및 환경에 무해한 원료를 추출하여 만든다. 즉, 페인트를 구성하는 주원료인 수지, 용제, 안료를 무공해 순수 천연자원으로부터 최소한의 에너지를 투입하여 단순하고 포괄적인 과정들을 거쳐 유독 가스나 생태계를 오염시키는 폐기물들을 배출하지 않고 천연페인트로 변환된다. 그러므로 제조 과정에서도 도장 작업 중이나 도장 후, 폐기 과정을 통틀어 환경을 파괴하는 오염 물질을 발생시키지 않으며, 인체에 어떠한 악영향도 미치지 않는 새로운 기술의 환경 친화적 도료이다. 그러므로 천연 페인트는 인체 무독성·정전기 방지·항균성 등 건강과 생태학적 싸이클 안에서 생물학적 분해를 통하여 완전히 회복되므로 천연 자연 재료로 볼 수 있다.

천연자연 재료로 이루어진 천연페인트의 구성 성분과 주원료를 보면 다음 <표 6>과 같다.<sup>7)</sup>

<표 6> 천연페인트의 구성성분과 주원료

구성 성분	주원료
수 지	송진, 낙엽송수지, 코파이버수지, 페루수지, 프로폴리스 등
오 일	아마인유, 스토폰유, 동유, 잇꽃유, 피마자유 등
용 제	시츄러스 오일, 레몬껍질 오일, 터키레드 오일 등
왁 스	카나우바 왁스, 캔디릴라 왁스, 밀랍왁스, 미네랄 왁스, 파라핀 왁스 등
안 료	광물, 토양, 식물 등 천연자원으로부터 색소 추출
기능성첨가제	카세인, 콩 레시틴, 칼슘, 셀룰로오즈, 허브오일 등

이와 같이 천연 자연 재료들로 이루어진 천연페인트의 장점이자 특징을 살펴보면 다음 <표 7>과 같다.<sup>8)</sup>

<표 7> 천연페인트의 환경친화적 장점과 특성

건강적인 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 납, 카드뮴, 수은 등의 중금속과 휘발성 유기 화합물인 벤젠이나 톨루엔, 키시렌 등을 전혀 사용하지 않아 인체에 무해하다.</li> <li>• 정전기 방지 효과로 호흡기 질환방지나 도장 작업 중, 도장 후 유해 가스가 방출되지 않아 두통, 장애, 발암 성분으로부터 안전하고, 곰팡이, 세균, 해충의 번식을 막는 천연 살균, 방충 성분을 함유하고, 페인트의 역한 냄새가 나지 않아 위생적이고 쾌적한 생활 공간을 만들어 준다.</li> </ul>
기능적인 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내구성, 내알카리성, 내마모성, 발수성, 통기성이 우수하다. 이에 시공성이 우수하며 건축물의 수명을 단축시키는 기후 변화, 풍화 작용, 자외선에 대한 저항력이 우수하다.</li> <li>• 석유 화학계 인화성 물질이 없어 화재의 위험 방지와 유독 가스 배출로 인한 피해가 없다.</li> </ul>
환경적인 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생산과정은 물론 도장 작업 시, 사용 후 폐기 과정까지 전 과정에서 어떠한 환경 오염 물질도 발생시키지 않는다. 고갈성 자원이 아닌 생태 사이클 안에서 언제든지 얻을 수 있는 자원만을 사용하고 폐기 후에는 땅에서 분해되어 유용한 유기비료로 전환되므로 친환경적인 제품이라 할 수 있다.</li> </ul>
비용적인 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자체 가격은 기존 페인트보다 고가이나 도장 면적에 비해 적은양이 소모되므로 경제적이다. 그리고 내구성과 색상 보전력이 우수하여 잦은 보수가 발생하지 않아 장기적으로 보면 비용을 절감하는 효과가 있다.</li> </ul>

6)Grazyna Pilatowicz, Eco-interiors, pp.101-102.  
 7)http://www.biopaints.co.kr/bio.html  
 8)http://nop114.co.kr/text1.htm#top

이러한 천연페인트는 무엇보다 천연 안료를 사용하여 자연 색채가 그대로 살아나므로 친밀감을 더해주면서 아름다운 공간을 연출 할 수 있다는 점이 가장 큰 장점일 것이다.

3.2. 지속가능한 재료

지속가능한 재료는 재료 자체가 훼손이 되지 않고 썩지 않는 재료로 세대를 교체하여 영구히 사용할 수 있는 재료들을 말한다. 이러한 재료로 대표적인 것은 스틸과 동판, 알루미늄, 강철 등 금속재들이 대부분이다. 이들 제품은 깨질 위험이 없고, 다양한 형태를 연출할 수 있으며, 같은 용도로 지속적으로 재사용하거나 용도를 변경하여 재활용할 수 있다. 재생이나 재활용 시에는 소량의 에너지만 필요로 하므로 재생 불가능한 자원을 절약할 수 있다. 이에 폐기에 대한 환경부하가 없고 지속 가능한 사용이 가능하므로 장기적 안목에서 환경 친화적 재료로 볼 수 있다. 그러나 초기 생산 시 많은 에너지를 필요로 하고, 오염을 유발하고, 마감방식에서 유독성 물질을 사용하게 되므로 환경에 부하를 주게 되므로 생산 공정에서 오염물질 배출을 적게 하고 유독성 폐기물이 배출되지 않는 청정 생산 공정을 개발하여야 더욱 완벽한 환경친화적 자재가 될 수 있을 것이다.

최근 이러한 금속재가 주가 되어 조적조나 목조를 대체하는 새로운 구조 형태의 스틸하우스가 지속가능한 건축의 대안으로 오고 있다. 이는 기존 주택의 특징과 외관을 모두 가질 뿐만 아니라 시공이 간편하여 공사기간이 단축되고, 주요 구조부의 내진 성, 내구성이 우수하고, 특히 경량 구조로 개조 및 개축이 편하고 다양한 마감재를 활용한 구조변경이 용이하다. 그리고 무엇보다도 스틸을 사용함으로써 구조재의 재사용율이 60% 이상이며 분리 수거가 가능하여 쓰레기가 거의 없고, 시공 시 소음과 오염 발생이 적어 매우 환경 친화적이다. 그러므로 스틸하우스는 금속 재를 유용하게 가공하여 건축재로 사용하던, 환경적인 측면에서 나 경제적인면, 관리측면, 공간활용면 등 여러 가지로 이점이 발생함을 보여 주는 좋은 사례라 할 수 있다. 이에 이러한 지속가능한 소재를 개발하여 구조재로 사용하고, 내·외 마감재로 환경 부하가 없는 자연적인 소재를 사용하면 더욱 이상적인 환경 친화적 건축이 될 수 있음을 알 수 있다.

3.3. 폐자재 재활용 재료

기존 건축의 주재료인 벽돌이나 콘크리트는 모래와 석분을 원료로 하여 제조되는데, 이 원료들도 자연의 일부분에서 얻어 야하므로 지속적인 사용은 자연과 생태계를 파괴하게 되고, 원료들이 점점 고갈되고 있다. 그러므로 이를 대체할 수 있는 자재를 개발하거나 폐자재를 하나의 자원으로 보고 새로운 재료

를 개발·활용할 때이다. 폐자재 재활용은 주로 콘크리트나 아스팔트, 타일, 벽돌 등 석재, 소각 잔재물, 유리, 고철, 목재류의 자재들을 선별 처리하여 부수고 산화 처리하거나 새로운 경화제 등을 혼합하여 새로운 형태의 콘크리트나 아스팔트, 유리, 벽돌 폐기물 재료의 성분특성을 분석하여 다른 용도나 다른 형태의 재료로 사용하는 것이 주가 된다. 그러므로 수없이 많은 건축물들과 폐기물들이 다시 원료가 되는 것이므로 자연에서 원료를 다시 채취할 필요 없이 건축이 가능해 진다. 또한 매립지 확보나 자원채취 등을 줄임으로 환경오염을 막을 수가 있고, 자원을 오래도록 순환해서 사용 할 수가 있다. 그리고 우리나라와 같이 지하자원 매장량이 없는 나라에서는 자원 수입을 줄임으로 많은 외화를 절감할 수 있다. 현재 이러한 취지를 살려 폐자재를 재활용하여 사용되고 있거나 개발 중인 건축 재료들을 폐자재 종류에 따라 살펴보면 다음<표 8>과 같다.9)

<표 8> 폐자재에 따른 재활용 건축 재료의 종류

폐자재	재활용 건축자재 종류 및 용도
페콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단순활용: 대지조성재, 기초 매립재, 노반재, 아스팔트 혼합재로 이용</li> <li>• 분리 수거한 조골재(5~25mm), 세골재(0.15~5mm), 콘크리트 가루(0.15mm이하)로 분리 회수하여 이물질을 제거한 재생골재로 투수성 및 비투수 콘크리트 만들거나 건축용 2차제품(벽돌, 각종 블럭류 등)의 생산에 활용</li> </ul>
페석고 폐석회	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석고보드, 테라조</li> <li>• 폐석고 및 폐석회를 이용한 인터록킹 블럭, 벽돌 제조</li> <li>• 석회, 유기질 비료, 옥상조경토 등 조경재료와 기능성 경량건축재: 폐석고, 폐석회인 무기성 자원과 음식물쓰레기, 폐지 등 유기성 자원을 혼합하여 활성탄 화재와 미생물 유기산과 혼합하여 만든 재활용 재료들</li> </ul>
페목재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐목재 보도블록: 목질폐기를 중에서도 지금까지 재활용되지 못하고 매립 또는 소각 처리되어 온 저질 목재류를 적은 비용으로 지원한 것으로 목재와 시멘트의 특성을 결합함으로써 일반 시멘트블록보다 강도나 내충격성이 뛰어나고 자연친화적인 목재의 성질을 나타내고 제조 공정이 단순하고 설비비용이 적게 들며, 실용성도 매우 높아 앞으로 다양하게 활용될 전망</li> <li>- 보도용 및 차도용 블록, 건축용 블록을 비롯해 인테리어용, 조경소재로 이용</li> <li>• 폐목재를 이용한 거푸집 데크 보드: 원목 수입 비용을 절감하고 합판과 달리 나무결이 없기 때문에 표면의 매끄러움이 오래가 재활용 횟수를 늘릴 수 있음</li> <li>• 목재재생 문틀, 목재재생 방화문, 목재재생도어</li> <li>• 중질섬유판, 파티클(성형목재), 파티클보드 재료로 쓰여 목재흡음재, 책상이나 식탁 등 가구의 목질재료 상관재료, 재생블럭아장, 의자용 목질재료등판과 좌판 등 가구에 재활용</li> </ul>
페유리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재생 유리면 보온재, 건축내·외장재용 인조석, 재활용 결정화 유리대리석판, 재활용 유리 대리석, 건축 마감재용 성형물, 재활용 발포 유리블럭, 재활용 도로 표지도료용 유리알, 페유리 재생타일, 페유리 재생벽돌</li> <li>• 전자파 흡수형 발포유리 내장재: 분말 페유리와 스테인리스 섬유를 혼합한 후 800℃의 고온에서 굽고 발포시켜 일체화한 것으로 전자파 흡수 기능을 갖는 재활용 건축 재료 - 표면에 유색의 페유리 컬릿(Cullet)을 흠어 놓아 석재풍이 나는 의장성이 실현됐고, 실내의 벽이나 칸막이로 이용</li> </ul>
페금속	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주로 페캔 등을 재활용하여 페알루미늄 재생흡음 방음재</li> </ul>
페지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐지를 재활용하면 순수 우드펄프를 생산할 때 보다 톤당 대기중 열방출은 73% 감소되며 물소비는 40~70%, 에너지는 70% 감소된다.</li> <li>• 크라프트 방식지, 제지슬러지를 이용한 황토보드 - 신문용지, 글판지, 백상지 등을 제조할 때 발생하는 제지슬러지를 이용하여 건축용 외벽 패널과 이중 바닥재의 기판 등으로 활용가능 함</li> <li>• 페글판지를 이용한 창틀, 보드</li> <li>• N.C.F.R. Homasote : 다목적 실내·외장재로서 내화물질을 첨가하면 습기, 소음 그리고 화염을 차단하는 효과가 뛰어남</li> <li>• ShetkaBoard 재활용된 폐지로 만든 표면 마감재</li> <li>• Thermo-ply : 미국의 Simplex Products에서 만든 것으로 마분지, 사무실 쓰레기, 제본소 쓰레기와 인쇄소 쓰레기 등이 포함된 100% 재활용된 재료로 만든 섬유 보드로 다시 재활용 가능</li> </ul>
페섬유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다른 재생섬유로 이용: 재생셀룰로오스, 재생 폴리에스테르 스테이플 섬유</li> <li>• 건축자재로: 재생섬유 흡음재, 재생흡착재, 재활용 섬유판재, 콘크리트 거푸집용 재생 섬유 판넬, 쇠섬유아스팔트 혼합용 재활용 셀룰로오스 섬유</li> </ul>

<표 8> 폐자재에 따른 재활용 건축 재료의 종류

폐자재	재활용 건축자재 종류 및 용도
페비닐	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설 골재화: 농업용 폐비닐을 자갈이나 모래대신 건설골재나 아파트 축대의 건설 재료로 재활용함. 이는 도로의 동상 방지용 자갈이나 옹벽 또는 아파트 축대 등의 건설 재료로 활용이 가능 → 향후 천연골재 고갈에 대응 할 수 있는 소재</li> </ul>
페플라스틱	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 단순재활용: 균일한 페플라스틱을 원료로 하여 재활용하는 것을 말하며 플라스틱의 성형과정, 가공과정 등에서 발생한 페플라스틱을 원료로 재이용하는 것</li> <li>2. 복합재활용: 산업 또는 생활폐기물중 이물질을 함유하는 혼합플라스틱폐기물을 그대로 또는 다른 물질과 혼합해서 재활용 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재생플라스틱 온돌배관 판넬, 거푸집용 재생플라스틱 판넬</li> <li>• 재생플라스틱 도로용 빗물받이, 배수로, 쓰레기 분리 수거통, 수도계량기보호통, 보관함, 재생플라스틱 도로경계 블럭, 비탈면 보호블럭, 수목보호판, 차막 이용 경계 블럭, 가로화단 경계판, 오·우수 분리벽</li> <li>• 재생플라스틱제 충전제, 경량복합단열골재, 경량 압출판재(창호문틀용단열심재), 복합 창호용 재생발포폴리스티렌 단열재, 거푸집용 재생플라스틱 판넬, 충격방지 바닥 차음재, 수평핏트, 배기구, 재생플라스틱 통신케이블 커바·재생플라스틱 PVC(비닐)계 바닥재, 재생 연질염화비닐수지, 마루바닥재, 재생 플라스틱 창틀, 문틀과 실내장식용 액자, 팬스, 욕실발판, 의류 수집함 등</li> </ul> </li> </ol>
페고무	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외부공간 재료: 페타이어를 이용한 고무블럭, 재생고무 경계블럭, 재생고무아스팔트, 재생고무 바ラスト매트, 배관받침목, 재생고무 안전분리대, 재생고무 주차보호대, 시선 유도 표지용 재생고무 반사체물, 고무수목보호판, 재생고무 가로화분, 재생인조잔디매트 - 이중에 페타이어를 이용한 고무블럭은 년간 증가하는 페타이어에 의한 환경오염 문제를 해결하는 환경친화적 제품이고 제품 자체도 탄력성이 우수하고, 다양한 색상연출이 가능하고, 안전성이 탁월하며 시공과 보수가 간편, 용이한 장점을 가지고 있어 인도, 산책로, 공원, 놀이터, 골프장, 장애인시설 등 주요시설에 이용하기에 적합하다.</li> <li>• 마감재: 재생고무 바닥재, 재생고무 어린이 놀이터용 바닥재, 재생우레탄타일, 재생폴리우레탄 루핑시트, 재생고무매트</li> <li>• 기타 건축 자재: 방음·단열 물갈, 고무지붕재, 고무차음재, 재생고무 단열재, 재생 도막방수재, 재생 우레탄 분말, 재활용 차음재</li> </ul>
페요업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재활용 기포콘크리트, 재활용골재 콘크리트벽돌, 속빈콘크리트 블록, 재활용 콘크리트 고로슬래그 시멘트, 재활용골재 보차도용 콘크린터록킹블록, 재활용골재 콘크리트 경계블록, 재활용 골재 콘크리트 호안블록, 재생가열·역청 포장혼합물, 철근콘크리트 품질 및 벤치마크, 재활용 골재 철근콘크리트 케이블트 로프 재활용 골재 콘크리트 맨홀 블럭, 재활용 골재 보도용 맨홀 뚜껑 및틀, 재활용골재 보도용 콘크리트판, 재활용 골재 콘크리트 중앙분리대, 재활용 골재 출입차단용지콘크리트 분말형 방수재, 상온 재생아스콘</li> <li>• 재활용 도자기질 타일, 재활용 점토벽돌, 재활용재 타일</li> </ul>

<표 8>에 제시된 재료들 외에도 여러 가지 재활용 재료들이 개발 중에 있으며, 이러한 개발은 가능한 한 많이 이루어져야 한다. 표에 제시되지는 않았지만 연소재 벽돌10)과 같이 연소재와 각종 재활용 폐자재를 주원료로 하고 경화제를 혼합하여 진동·압축성형하고 상온에서 양생 또는 수증기 양생으로 제조한 재활용 제품들도 있다. 이러한 사실에서 다양한 폐기물 합해서도 새로운 자재를 만들 수 있음을 알 수 있다. 그리고 복잡한 공정 없이도 우리 일상생활에서 버려지는 항아리나 타일, 색유리 등의 파편들을 별다른 합성재료 없이 그대로 지붕소재나 바닥재, 인테리어 장식재 등으로 이용하는 낮은 단계의 재활용도 있다. 단, 재활용을 위해 행해지는 모든 행위와 공정이 오염물질이나 유독성 약품이 사용되어 환경에 부하를 주거나 많은 에너지를 필요로 한다면 이 또한 환경친화적인 재료가 될 수 없으므로 이를 최소화하면서 재활용이 이루어져야 한다.

### 3.4. 자연소재를 혼합한 환경부하 저감재료

천연 자연재료처럼 하나의 자연재료를 단순한 공정을 통하

10)연소재 벽돌은 건축용 내장 벽돌에 사용되고 있으며 원료로 사용되는 연 소재는 소성 온도 500℃ 이상의 연소 된 잔재물로서 연탄재, 석탄재 등을 말하며, 무게의 10%이상 사용하여야 한다. <http://jjinc.co.kr>

9)<http://recycling.ats.go.kr>, <http://www.kict.re.kr> 종합 제인용

여 건축 재료에 이용 할 수도 있지만, 기존에 건축 재료로 이용되지 않았던 무공해의 여러 가지 자연 소재들을 혼합하여 다양한 환경 친화적 건축 재료를 만들 수도 있다. 이는 건축에서 쓰이는 다양한 인공 재료나 공급량이 부족한 천연재료를 대신하여 환경에 부하 없이 사용할 수 있는 재료가 될 수 있다. 이 범주에는 여러 가지 천연 소재를 혼합하거나 천연소재와 인공 재료, 자연재와 폐자재 일부를 합성해서 유독물질이 배출되지 않고 인체에 이로운 건축 재료들이 이에 해당된다. 이러한 재료들은 부족하기 쉬운 목재 등의 천연 재료를 대체 할 수 있고, 지금까지 쓰레기로 여겼던 폐자재와 경작물 등의 찌꺼기를 활용함으로써 쓰레기 배출도 줄이는 효과를 준다. 현재 개발된 재료들을 보면 주로 복합판재나 특수목재, 종이 류, 단열재, 화학적으로 분해 가능한 생화학 물질인 플라스틱이나 페인트, 바니시, 섬유 등이 있다. 앞의 천연 자연 재료에서 소개 한 천연 페인트와 섬유는 순수한 식물성 자연재료만 구성된 것을 의미하고 여기서는 인공재를 비롯한 복합적인 재료를 혼합하여 재활용이 되고, 자연에 순환되는 제품들을 의미한다. 그러면 현재 시판되거나 개발 된 제품들을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 복합판재(Board and Composites)

복합판재는 주로 벗집과 사탕수수 찌꺼기나 줄기 등과 같은 식물성 수지와 페지나 목재 찌꺼기 등을 혼합하여 만든 경량의 합판이나 다용도 판재들이 이에 해당된다. 이들 재료는 다재생이나 재활용이 가능하며 제작과정도 청정공정이며 제작 후, 제품 사용 후에도 환경에 부하를 주지 않는 제품들이다. 특히, 복합판넬 제작에 주로 사용되는 벗집은 매년 발생하는 경작 잔여물로서 그것을 태우게 되면 환경문제가 발생한다. 하지만 벗집이 복합판넬 제조의 원재료로 사용되면 농부들에게는 제2의 수입원 이 될 수 있으므로 사회 경제적인 면에서 여러 가지 효과를 기대 할 수 있다. 현재 개발되어 사용되고 있으며 대표적인 제품들을 보면 다음<표 9>와 같다.11)

<표 9> 다양한 식물성수지들과 폐자원 목재류를 혼합한 복합 판재 종류

기본 재료	제품 및 특성
밀과 벗집, 목화줄기, 사탕수수 찌꺼기, 사탕수수 줄기 등과 같은 경작 찌꺼기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General-purpose panels : 포르말데히드가 첨가 되지 않은 수지로 접합하여 만든 패널</li> <li>• DuraCane : 경화 패널로 실내용으로 가구에서 바닥 재료까지 내장재에 다양하게 활용</li> <li>• Meadowood panels and sheeting : yegrass 짚을 압축한 판넬</li> <li>• Isobord : 탄력성이 있는 고밀도 보드로 파티클보드에 대한 대체 재료로 가구용, 건축용 자재로 적합</li> <li>• Pacific Gold Board : 지푸라기를 원재료로 한 건축 판넬, 실내용</li> <li>• Pacific board, General-purpose particleboard, WheatboardTM : 밀짚을 원료로 한 파티클 보드로 가구, 실내장식, 건축에 두루 쓰임</li> <li>• Stramit : 밀짚을 재생용지 사이에 샌드위치 형식으로 삽입부착하여 만든 패널</li> </ul>
톱밥	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resnmore : 톱밥을 페놀수지와 왁스를 결합하여 만든 파티클 보드</li> </ul>
침엽수 껍질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kucospan Life: 주 재료를 황균처리하여 만든 판지이며 여기에 중량 대비 5% 정도의 폴리카보나이드 (PMDI), 폴리우레탄 수지가 첨가되어 만든 포르말데히드가 없는 판재</li> </ul>

11)Alastair Fuad-Lake, ecoDesign THE SOURCE-BOOK, chronicle books, US, 2002, pp.278-280.

<표 9> 다양한 식물성수지들과 폐자원 목재류를 혼합한 복합 판재 종류

기본 재료	제품 및 특성
양마와 대마	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FlexFormTM : 합성폴리머와 주재료가 혼합된 판넬</li> <li>• GridcoreTM : 양마와 황마, 마분지나 신문지, 목재찌꺼기 같은 100% 재활용 섬유 물질들을 원재료로 제조된 경량의 벌집형태의 판넬</li> </ul>
천연 셀룰로오스, 목재 섬유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oiltmpered hardboard : 주재료인 들을 섬유질에서 나오는 천연 접착제로 접합한 경화보드</li> <li>• Medite ZF: 연한 목재 섬유를 포르말데히드가 없는 합성 수지로 결합하여 제조된 실내용 중밀도 섬유보드(MDF)</li> </ul>
재생 용지, 폐지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EnvironTM : 재생용지와 공가루를 접합한 최초로 대량생산된 마루바닥 널형태의 판재</li> <li>• Eco Panel : 목재로 제조된 베니어판들 사이에 벌집모양의 폐지 혼합물로 만든 판인 Gridcore 층으로 구성된 경량의 합판</li> </ul>
아몬드 껍질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maderon: 주재료를 수지와 섞어서 만든 경도와 내구성이 높은 복합판재</li> </ul>

(2) 특수목재(Specialist Timber)

특수목재는 지금까지 건축용 구조재 등으로 사용되지 않았던 목재들을 활용하여 재생이나 재활용이 가능한 목재로 개발한 목재를 의미한다. 이러한 사례로는 세계적으로 경작지 분포가 많은 고무나무(Rubberwood)를 들 수 있다. 고무나무는 제배 후 25년 내지 30년이 지나면 라텍스 생산량이 감소하면서 제 기능을 발휘하지 못하므로, 오래된 나무들은 베어내고 다시 새로운 고무나무로 대체되는데, 이 잘라 내버린 나무를 이용하는 방법이다. 시범적으로 1990년에 ASEM에서는 이러한 오래된 고무나무를 1700만㎡를 마루 바닥재, 파티클보드, 주방 용구와 가구용재나 목공예 재료로 적합하고 재활용이 가능한 특수목재로 개발되었다. 현재 이러한 개념으로 개발된 특수목재들을 보면 다음 <표 10>과 같다.12)

<표 10> 재활용 가능하게 개발된 특수 목재들

제품명	제품 원료 및 특성
Bamboo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대나무를 주재료로 한 재활용이 가능한 강화 마루바닥재(Laminated Flooring)</li> </ul>
Willows	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영국에서 영국과 유럽기후에 적합한 버드나무 품종과 변종을 재배하여 136종이 넘는 품종, 아종과 변종을 생산하여 재활용이 가능하게 만든 특수 목재</li> </ul>
Microllam and Intrallam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사시나무 층들을 수지로 결합하여 만든 고강도 목재 복합재료로 공정 시 폐기를 배출이 거의 없으며 얇고 평평한 층으로 구성된 제품은 Microllam이며 보다 불규칙한 층들과 조각들로 구성된 제품은 Intrallam</li> </ul>
Timber-stand LSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고온 고압하에서 접착제나 수지로 베니어 판들을 접합하여 만든 특수 목재</li> <li>• LSL은 복합목재로 자원 활용도가 높고 일반 구조용 목재로 사용된다.</li> </ul>
Certified timber	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아자나무를 원재료로 한 고밀도 전 처리 보드로 화학물질의 함량이 전혀 없으며 구조재, 바닥재 마루나 가구용으로 사용</li> </ul>

(3) 자연소재 혼합 벽지 및 장판지

기존의 합성수지 벽지를 대신하기 위하여 전통적인 한지와 장판지의 원리를 이용하여 다양한 자연소재를 혼합한 천연 벽지와 장판지를 개발하였다. 이들 자재는 종이를 주재료로 하여 그 위에 소나무 목분, 참숯, 쑥, 녹차, 향나무, 질석, 천연옥 등 인체에 해롭지 않은 천연 재료와 황토를 혼합하여 특수처리하고 천연접착제 및 천연 색소를 도포하여 어떠한 화학적 물질도 사용하지 않고 만든 벽지와 장판지이다. 현재 이들 자재들은 자연을 그대로 느낄 수 있는 건강벽지나 장판지로 소개되고 있

12)Alastair Fuad-Lake, p.281.

는데, 탈취기능과 향균기능, 습도 조절기능, 천연 음이온 방사로 인해 숙면과 집중력 향상을 도와주고 혈액순환을 촉진시켜 피로를 회복시켜주며, 아토피성 피부염, 기관지 천식, 알러지, 안구 건조증 등의 환경성 질환이 완화된다고 한다. 그리고 재활용 가능하고, 소각 시 천연 나무를 소각하는 것과 동일하여 환경호르몬 방출이 없으므로 환경친화적인 재료라 할 수 있다. 최근 황토나 기타 식물성 성분을 혼합한 벽지들과 장판지 등이 등장하고 있는데, 현재 개발되어 시판되고 있는 천연벽지와 장판을 보면 한지벽지, 소나무벽지, 산소벽지, 숯벽지, 향나무벽지, 녹차벽지, 썩벽지, 옥벽지, 한지 황토벽지, 질석벽지, 한지 황토 옥장판, 황토은장판, 게르마늄 황토지사 장판 등을 들 수 있다.

(4) 자연소재 혼합 단열재

자연소재 혼합 단열재는 지금까지 사용해 온 단열재들의 환경과 인체에 유해한 단점을 보완하기 위하여 자연재료를 원료로 재활용이 가능하게 개발된 혼합 단열재이다. 대표적으로 폴리에스터(Polyester)보드나 판넬을 들 수 있다. 또한 유럽과 미국 등에서는 대마나 아마와 셀룰로오스 섬유를 혼합하여 재생과 재활용이 가능한 단열재나 폐신문지를 원료로 하는 종이솜 단열재, 폐 목재를 재활용한 목섬유 단열재 등도 만들어 시판하고 있다. 이러한 개념의 무자극성이며 재활용, 재생가능한 단열재 제품들을 살펴보면 다음<표 11>과 같다.<sup>13)</sup>

<표 11> 자연 소재를 혼합하여 만든 재활용이 가능하게 개발된 단열재

제품명	제품 원료 및 특성
Charvisol, Charviline, Mehabit	• 셀룰로오스 섬유와 대마 섬유를 혼합하여 만든 단열재로 Charvisol은 loose-셀식 단열재이고, Charviline은 블랭킷식 단열재이며 Mehabit는 마루바닥 밀감개이다.
Woolbloc	• 양모에 아크릴 용액과 천연 봉소 염을 혼합하여 만든 낮은 열전도율을 갖는 단열 속습으로 두께는 50, 75, 100mm 이며 끝이 사각면으로 처리된 단열재 • 제조 시 사용되는 에너지가 제곱미터당 150MJ(메가주울)로 유리섬유 단열재를 만들 때의 에너지의 4분의 1로 생산시 에너지를 절약할 수 있고, 또 한 건축에 사용되었을 때 여분의 수증기를 흡수할 수 있고 또한 방출할 수 있는 습도조절 기능이 있고, 다른 건축 재료에서 방출되는 포름알데히드를 흡수하고 방음성과 불연성을 띠고 있다.
Thermo Hanf	• 삼의 섬유를 추출하여 강도를 유지하기 위한 15%의 폴리에스테르와 불연성을 띄게 하기 위한 3%의 소다를 혼합하여 단열 판넬로 재가공한 제품으로 간주벽과 천정 목재 사이의 단열에 적합하다.
Hypodown	• 저자극성 제품으로 원재료는 유액을 분비하는 식물에서 추출한 섬유들의 결합으로 이루어진다. 이들 제품은 건축 토대나 실내장식재료로 적합하다.
Heratflax	• 아마의 단섬유와 폴리에스테르 섬유들과 결합하여 60mm 또는 80mm 두께를 표준으로 만든 단열재
ISORLOC (종이솜 단열재)	• "isoloc"이란 "isolation"(단열)과 "flock"(솜털물치)의 합성어로 단열용도로 쓸 수 있는 솜털형상의 건축재(이하 단열솜)를 말하고 셀룰로오스 섬유와 폐신문지를 가공해서 만들어, 이미 60여년 전부터 북미와 스칸디나비아 반도 등 전 세계에 백만호 이상의 주택건설에 사용되어 왔다. • 분리수거 된 폐신문지를 기계적으로 분쇄하여 종이솜 상태로 만드는데 이 과정에서 방염, 해충의 서식방지, 곰팡이균 번식방지를 위해 붕산염(Borsalz)으로 처리하고, 물성이 우수하고 시공이 용이하며 Recycling 재료여서 타재료에 비해 경제성과 환경측면에서 장점이 크다. • 조습(潮濕)기능이 있는 자연섬유로서 쾌적한 실내기후를 만들고, 유해 물질을 함유하지 않으며 전기적 전자기적으로 중성이다. 그러므로 부드럽고 신축성이 뛰어나 어떤 형태의 단열층에도 밀실 시공이 가능하며 냄새가 없다.

13)Alastair Fuad-Lake, p284, <http://www.kict.re.kr> 종합 재인용

(5) 분해성 플라스틱

플라스틱은 20세기의 최고 히트 상품으로 다양한 방법으로 변신하여 우리생활에서 없어서는 안 될 중요한 물질로 여러 가지 생활 물품과 벽지, 카펫, 패딩, 배관전선, 절연체 등 건축자재로 사용되고 있다. 하지만 플라스틱의 원재료는 재생이 불가능한 석유를 이용해 만들고, 상당량의 화석 연료가 사용된다. 그러므로 플라스틱의 생산은 환경을 파괴하고, 한정된 화석원료를 고갈시키고, 제조하는 과정에서 유해한 화학 물질을 내뿜고, 사용 후 수 백년동안 분해되지 않으므로 환경오염 문제를 야기하고 있다. 이에 플라스틱의 가장 큰 단점을 보완하는 방법은 재활용과 사용 후 붕괴 또는 분해되어 자연의 순환 사이클로 흡수됨으로 환경오염 문제를 배제할 수 있는 "분해성 플라스틱"이라는 새로운 기능을 가진 고분자 물질을 개발하는 것이다.

미생물이나 빛에 의해 썩거나 분해되는 고분자를 "생분해성 고분자" 또는 협의로 "생분해성 플라스틱" 이라고 하는데, 현재 국제적으로도 용어 정의나 분해도 평가방법 등이 통일되지 않은 가운데 각 개별국가에서는 독자적으로 분해성 플라스틱에 대한 연구 개발과 산업화가 추진되고 있다. 그러나 아직 그 종류와 기능이 제한되어 있어 기존의 플라스틱을 완전히 대체할 수 있는 단계는 아니다. 80년대 초 기존의 플라스틱에 전분 등을 첨가한 '생분괴성 플라스틱'이나 광분해 촉진제를 첨가한 '광분해성 플라스틱'이 기존의 플라스틱 대체품으로 등장하여 각광을 받아 왔으나 전자는 사용 후 분해되지 않고 미세하게 붕괴만 되므로 분해에 한계가 있고, 후자는 광분해 촉진제의 성분인 중금속 등의 첨가로 인한 2차 오염의 우려와 매립 시 광선 차단으로 분해되지 않는 경우도 있기 때문에 선진국에서는 그 사용을 제한하는 추세에 있다. 그러므로 현재 가장 관심을 끌고 있는 것은 '생분해성 플라스틱'이다. 현재 이 고분자 재료를 형성하고 있는 것은 미생물이 생산하는 바이오폐리머(biopolymer),<sup>14)</sup> lactic acid와 같은 바이오케미컬(biochemical)을 합성 원료로 한 고분자, 그리고 천연 화합물을 원료로 한 생분해성 천연고분자<sup>15)</sup> 등이 있다. 이러한 생분해성 플라스틱류 중에 특히, 완전 생분해성 플라스틱의 하나로 물성이 폴리에틸렌과 거의 유사하고 대량생산이 가능한 PLA(Poly Lactic Acid)

14)바이오폐리머는 살아 있는 생물체로부터 합성되는 거대 분자를 총칭하는 용어로서 미생물이 만들어 내는 생고분자를 말하며 이를 활용하여 플라스틱과 같은 기능을 갖는 물질을 말하기도 한다. 이들 중 몇몇은 음식가공, 제약산업 등에 유용하게 사용될 수 있는 화학적, 물리적 특성을 가지고 있다. 그리고 미생물, 식물, 동물로부터 생명공학 기법을 이용하여 새로운 특성을 가진 바이오 폴리머를 생산할 수 있으며, 이들은 합성 폴리머를 대신하여 생분해성 플라스틱 등을 제조하는데 사용된다.

15)cellulose, hemicellulose, pectin, lignin 및 저장 탄수화물인 전분 등 식물에서 추출하는 것과 새우, 게 등의 껍질을 포함한 chitin질을 기초로 한 동물에서 추출한 것이 있다.



d)16)는 환경친화적이어서 많은 관심을 받고 있다. 그리고 최근에는 바이오폴리머를 PHB 외에 녹말이나 섬유질을 이용한 접시 등의 개발이 이루어지고, 플라스틱의 주원료인 폴리프로필렌(polypropylene) 등의 수지에 전분 등을 첨가한 생분해성 플라스틱도 실용화되고 있다. 단, 이들 제품의 가격이 기존 제품에 비해 1.6~4배로 고가이므로 현시점에서는 가격 경쟁이 약하다. 그러나 지속적인 기술개발을 통한 대량 생산이 가능하여 질 것으로 예상되므로 기존의 플라스틱을 대체하는 범용 플라스틱이 될 수 있고 이에 따라, 건축 재료나 실내 마감재도 이를 응용한 제품들이 사용 될 것으로 전망된다. 현재 개발되어 사용되는 제품들을 보면<표 12>와 같다.<sup>17)</sup>

<표 12> 현재 개발되어 사용되는 생분해성 플라스틱 제품들

제품명	제품 원료 및 특성
BioFoam	•순수 녹말로 만든 포장재로 미생물에 의해 분해 가능한 재료
Bioplast and Biopur	•식물성 녹말을 주원료로 한 미생물에 의해 분해 가능한 플라스틱으로 폴리스티렌과 특성이 유사하다. 그래서 이들 제품은 자동 판매기용 일회용 컵을 만드는 데 적합하다
Capa	•폴리프로페렌으로 만들어지는 미생물에 의해 분해 가능한 열가소성 재료
Eco-Flow	•밀 전분을 주원료로 한 압출성형된 포장재
Eco-Foam	•폴리스티렌을 대신하여 녹말 폴리머의 조밀한 포상(泡狀) 물질로 85%가 옥수수 전분을 이용하여 만들, 생물분해성, 수용성이며 재활용 가능하고 정전기가 없어서 패키징 공정을 용이하게 함
EnviroFill	•녹말을 주재료로 하고 압출성형되고 생물분해가능하고 loose-fill( 쏟아 부어 채워 넣는)포장 완충재
depart	•폴리비닐 알콜에서 얻어진 것으로 수용성이며 미생물에 의해 분해 가능한 플라스틱
Flo-Pak Bio8	•주 원료는 옥수수, 밀 또는 감자 전분으로 loose-형식의 포장 완충재
PHA	•PHA들은 생물분해성의 플라스틱으로 식물이나 박테리아에서 추출되며 수용성이고 쉽게 재활용된다. 주로 의료용으로 음식 포장용으로 적합하다.
MAZIN	•주원료는 옥수수에서 추출한 폴리머로 주로 전화카드와 ID카드 등의 유사제품을 위해 압출된 판 형태로 사용되고 그 외에 다양도로 쓰인다.

#### 4. 결론

21세기 건축 패러다임의 하나인 환경친화적 건축을 위한 최우선의 실천 목표는 건물을 구성하는 각 요소들이 재활용(recycle)과 재사용(reuse), 재생가능성(renewable)이 이루어져야한다. 이는 환경 친화적 재료의 사용과 조립화를 위한 건축 설계, 최대한의 자연에너지 사용을 통해 원천 자원의 절약과 유해 물질의 통제로 환경의 피해를 줄이고 건강한 주생활을 가능하게 하는 것이다.

이에 본 연구는 세 요소 중 재활용과 재사용을 실천하기 위한 가장 기본적인 요소인 재료를 중심으로 다루어 보았다. 환경친화적 건축의 기본 이념이 생태학으로 출발하므로 이를 구성하는 재료의 분류도 생태학적 관점에서 4가지로 나누어 재료

16)옥수수 전분을 발효하여 나온 젖산을 중합하여 생산하는 PLA는 대량 생산이 가능하여 PE를 대체하는 범용 플라스틱으로 발전 될 것으로 예상된다.

17)Alastair Fuad-Lake, pp.282-284.

들의 생태적 특성과 장점과 단점 등을 알아보았다. 우선 천연 자연재료는 생태학적으로 가장 자연과 조화를 잘 이루며 대부분 재활용, 재사용이 가능하며 이것이 불가능한 경우 분해가 가능하므로 가장 좋은 재료임이 틀림없다. 그러나 최종 건축자재가 되기까지 환경적 대가를 치러야하고 자연과 파괴 행위가 따르므로 이를 고려한 제품을 선택적으로 사용해야 함을 알 수 있다. 둘째, 지속가능한 재료는 기존의 이미 사용된 재료들의 재사용에 초점을 둔 재료로 새로 금속재를 만들어 활용하는 것보다 이미 만들어진 금속재들을 활용하는 것에 비중을 두고 새롭게 생산을 하더라도 부품의 교체가 가능한 구조설계 공간에 사용되는 재료로 활용해야함을 알 수 있다. 셋째, 폐자재 재활용 재료는 기술 개발로 현재의 이미 사용된 물자를 이용하여 얼마든지 다양한 새로운 건축 재료를 만들 수 있음을 제시하였다. 이로서 기존에 분해가 안 되거나 쓰레기로 환경의 피해가 되던 물건들이 새로운 재료로 재순환이 가능함을 알 수 있다. 이에 건축가나 디자이너들도 이러한 자원의 흐름이 가능한 재료를 선택사용하거나 새로운 자원의 이용 아이디어를 내어 디자인시 반영하도록 노력해야 할 것이다. 넷째, 자연소재를 혼합한 환경부하 저감재료는 본 연구자가 새롭게 개발된 환경친화적 재료들을 조사하여 분류하다 보니 이들 재료의 특징이 재활용과 재사용이 가능하고, 기존에 사용되지 않았던 자연재를 여러 가지로 혼합하여 만들어낸 것을 보고 한 항목으로 묶어 본 것이다. 이들 재료의 이용은 고갈되는 자연재를 보호하고 분해가 되므로 환경의 피해가 없이 자연스런 순환흐름을 만들고 기존의 자연쓰레기를 활용함으로 쓰레기를 줄일 수 있으므로 환경적으로 훌륭한 재료라 할 수 있다. 그러므로 본 연구는 현재 사용되는 건축 재료의 문제점과 심각성을 출발로 하여 환경친화적 재료의 활용을 위해 재료를 만들기 전·후의 활용법과 생태적 특성에 따른 재료의 종류와 특성을 제시함으로 재료선택의 범위를 확장시키고, 새로운 재료의 개발 가능성을 찾아 이의 활용의 도모하고자 하였다. 그리고 기존에 사용되던 재료에 아이디어를 부여함으로 자원순환이 가능함을 증명함으로 21세기의 건축 재료에서 새로운 자원의 순환사이클을 찾아보려고 하였다. 단, 본 연구에서는 제시된 재료들을 활용하여 건축부위별 세부 재료의 사용지침을 지면 여건상 다루지는 못하였으나 수많은 재료들 중 환경 친화적 재료들이 어떤 것인지 제시하고 소개함으로 디자인 과정시 실제 재료선택과 활용의 아이디어를 제공하고자 한 것에 의의를 두고자 한다.

#### 참고문헌

1. 김국연, 남궁곤 공저, 건축디자인 재료, 서울:서우, 2001
2. 윤영선 외4인 공저, 실내건축재료학, 서울:광문각, 2002
3. 오도엽 외2인 공저, 실내건축재료, 서울:도서출판지음,2003
4. Alastair Fuad-Lake, ecoDesign THE SOURCEBOOK, chronicle books, USA : San Francisco, 2002

5. Bjorn Berge, Filip Henley, Ecology of Building Materials, Arch-itectural Press, 2000
6. Grazyna Pilatowicz, Eco-interiors : guide to environmentally conscious interior design, New York : Wiley, 1995
7. Klaus Daniels, The Technology of Ecological Building, Basel · Boston · Berlin, Germany, 1997
8. Lynne Elizabeth & Cassandra Adams, Alternative Construction, John Wiley & Sons, inc., 2000
9. 김애선, 우리나라 건설폐기물의 유통현황, 한국그린빌딩협회지, 0103 Vol.4 No.1, 2003
10. 조현미, 생태적 실내건축 디자인 지침에 관한 연구, 한국 실내 디자인 학회지, 22호, 2000.3
11. 이웅직, 생태건축의 설비시스템, 한국에너지기술연구원 제4회 생태건축 세미나 논문집, 2002
12. 이현수, 재료의 친환경 성능평가와 친환경주거의 사례분석, 한국에너지기술연구원 제4회 생태건축 세미나 논문집, 2002
13. 채창우외, 친환경 건축자재 평가 및 순환재활용 기술, 한국 건설기술연구원, 2000
14. 한국기술정보건설팀, 분해성 플라스틱 기술개발 및 활용, 1991
15. 한국환경과학연구협의회, 폐합성수지 감량화 및 처리 재활용 방안에 관한 연구, 1993
16. <http://www.ajincc.co.kr>
17. <http://www.architerre.com>
18. <http://www.auro.co.kr>
19. <http://www.kict.re.kr>

<접수 : 2003. 10. 30>