

++++ 셀룰로오스 성형 목재, CXP +++++

KICT 2022-203-9

셀룰로오스 성형 목재, CXP

셀룰로오스 성형 목재, CXP

연구책임자

김현수 한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구위원

KICT 연구진

박금성 한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구위원
문수영 한국건설기술연구원 건축연구본부 연구위원
장대회 한국건설기술연구원 건축연구본부 연구위원
김상헌 한국건설기술연구원 건축연구본부 수석연구위원
오근영 한국건설기술연구원 건축연구본부 전임연구위원

참여기관

스마트에코(주), (주)위드엠텍, (주)이가ACM건축사사무소,
서울대학교, 세명대학교, (주)부림산기, (주)부일건화, 동남리
얼라이즈, 에코앤하임, (주)클레이맥스, 수미개발

목차

제1장 국산 목재시장과 CXP 기술 04

1. CXP 목재의 개발 배경	04
2. 국내 목재 이용의 현실	05
3. 국내 건축용 목재시장의 현실	06
4. 건축에서의 국산 목재의 사용성	06
5. 데크시장에서의 WPC	07

제2장 CXP 데크 08

1. CXP 데크의 정의	08
2. CXP 데크의 특성	09

제3장 CXP 데크의 시범 적용 10

1. 대전 탄소창고 매장	10
2. 서울 노원구 원터근린공원	11

제4장 CXP 데크의 환경성 평가 12

1. CXP 데크의 무해성	12
2. CXP 데크의 탄소 저장	14

제5장 CXP 데크의 규격 17

제6장 활용 전망 17

1. CXP 데크의 활용 전망	17
2. CXP 소재의 활용 전망	18

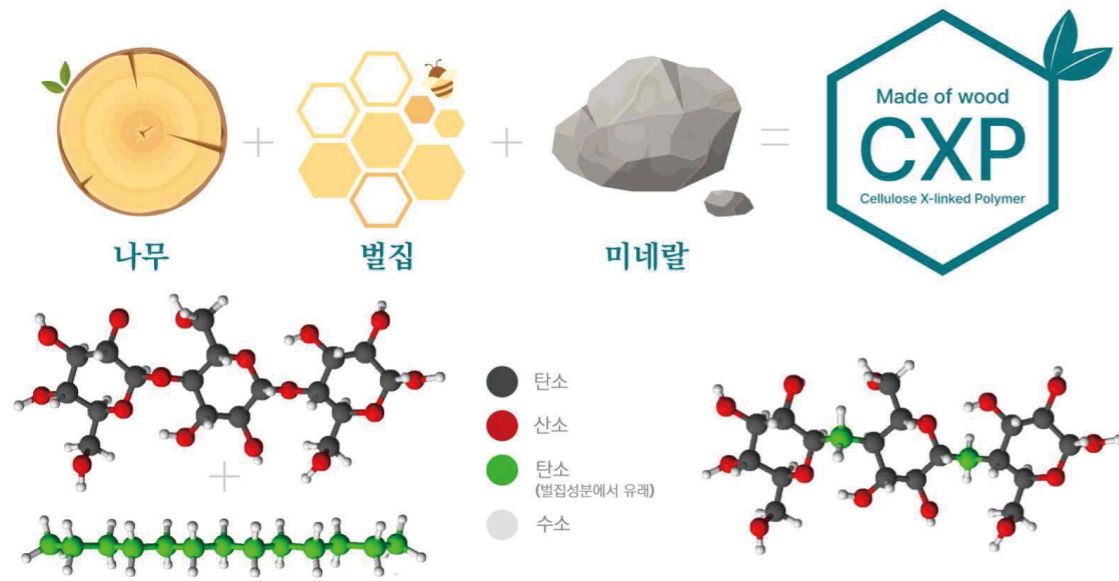
[참고문헌]	19
--------	----

제1장 국산 목재시장과 CXP 기술

1 CXP 목재의 개발 배경

☑ CXP 목재란

- 시장에서 익숙하지 않은 신소재로서, 본 연구에서는 CXP 목재에 대한 설명이 선행될 필요가 있다. CXP 목재는 셀룰로오스를 주 원료로 하며, 복잡한 공유결합으로 만들어진 열가소성 목재 소재이다.



[그림 1-1] CXP 목재의 결합구조

- 기타 합성 목재와 다르게 접착제, 혹은 플라스틱 수지를 함유하지 않는다. 셀룰로오스들끼리의 복잡한 공유결합으로 하나의 새로운 고분자를 만드는 형태로 결합하는 CXP 목재 소재는 그 고유한 결합구조로 인하여 기존의 이종 소재를 단순 믹싱해 반데르발스힘으로 붙어있는 다른 소재들(eg. WPC)에 비하여 훨씬 더 안정적이다.
- 특히 복잡한 결합구조와 사출/압출 등 압력을 통한 제품 생산 과정을 거치면서 가공이 거의 없이 결합된다. 이런 특성상 물이 침투할 공간이 거의 없어 물에 굉장히 강한 모습을 보인다. 나무 제품의 일상적 이용을 가장 크게 방해하는 수분에 대한 저항성이 매우 뛰어나다.
- 나무 외 첨가물들은 모두 나무보다 분자량이 낮거나 유사한 정도로, 이에 따라 원래의 셀룰로오스와 비슷하거나 빨리 분해될 것을 예측할 수 있다. 관리를 잘할 경우에 목재 제품들을 꽤 오랜 시간 이용할 수 있는 것을 생각한다면 CXP 목재 역시 관리에 따라 오랜 시간 이용할 수 있다.
- RoHS 26종, 중금속, 환경호르몬 등 40종에 달하는 독성 성분 검사에서 전 항목 불검출되었다.

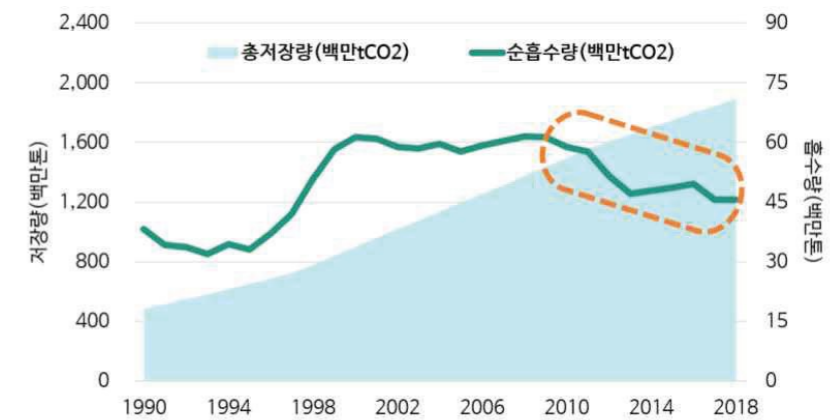


[그림 1-2] CXP 목재

- 이는 소재 자체의 특성이기 때문에 별도의 칠이나 보강 처리를 하지 않아도 지속적으로 유지된다. CLT 등의 발전한 목재 건축소재도 주기적인 칠이 필요하다는 점을 생각해보면 유지보수에 굉장히 유리하다는 것을 알 수 있다. 또한 공유결합의 특성상 결합 안정성이 굉장히 높아 잘 변형되지 않는다.

2 국내 목재 이용의 현실

- 2020년 산림청에서 발표한 “목재 이용 실태조사 보고서”에 의하면 우리나라에서 이용되는 목재 총량 중 국산 목재 이용량은 15.7%에 불과하다. 또한 이용되는 내용의 대부분이 합판보드용, 목재칩용 등으로 부가가치가 낮은 사업에 이용된다. 이는 우리나라의 숲에 나무 밀집도가 높고, 수종의 물성이 약하고, 함수율이 높아 가공이 어려운 등 다양한 이유가 있다. 이렇게 부가가치가 낮은 우리나라의 나무는 벨 가치가 낮아지고, 이는 지속적인 숲 관리를 어렵게 한다. 적극적으로 관리가 되지 않는 숲은 사실상 자연림과 다르지 않다. 현대의 인공림은 사람이 심어 가꾼 나무만 말하는 것이 아니라, 인위적인 개입이 있는 모든 숲을 의미하기 때문이다. 이런 관리가 제대로 이루어지지 않는 숲에서 지속적으로 낮은 부가가치의 나무들이 자라면서 국산 목재는 낮은 부가가치를 유지할 수밖에 없는 악순환이 계속된다.
- 이는 우리나라 숲의 경제적 가치 하락을 불러왔을 뿐 아니라 탄소를 흡수하는 능력 또한 하락하게 하였다. 우리나라 숲은 나무 개체수가 많아지며 탄소저장량은 지속적으로 증가하고 있으나, 2008년 이후 순탄소흡수량은 지속적으로 감소하는 추세이다.¹⁾



[그림 1.3] 우리나라 산림의 온실가스 저장량 및 흡수량 추이

1) 출처: 탄소중립을 위한 산림의 온실가스 흡수능력 강화 방안 및 향후과제 (국립산림과학원, 2022)

- 나이가 들수록 탄소의 흡수량이 줄어드는지 아닌지는 의견이 분분하나, 우리나라는 대부분의 나무가 산에 있고 우리나라 산은 바위가 많아 태생적으로 나무가 크기 어려운 지역이 많다. 나무의 이산화탄소 흡수량은 나무의 성장과 크게 연관이 있기 때문에, 최소한 우리나라의 상황에서는 어린 나무가 탄소를 더 많이 흡수하며, 이로 산림청은 지속적으로 숲 가꾸기의 중요성을 홍보해오고 있다, 우리나라 나무 중 새마을운동 때 식재한 인공림(전체의 약 15%)의 거의 벌기령(나무를 베어야 하는 연령)에 달했으며, 우리나라 나무의 77%가 31세 이상이다.
- 국가 주도로 이런 상황을 개선하기 위하여 숲 관리를 하기 위한 협상을 지역사회와 진행하고 있다. 하지만 대부분이 민간 산주에 의해 관리되는 사유지이다. 최소한 50년 이상의 기간으로 계획이 잡히는 숲 가꾸기 계획에서 정부와 산림청이 산주들에게 대여비용으로 지불할 수 있는 보상이 상기한 것처럼 낮은 부가가치를 지니고 있기 때문에, 적극적인 숲 가꾸기를 위한 첫 단추를 꿰기 쉽지 않다. 이렇게 양질의 목재를 얻을 수 있는 상황을 만들기 어려워, 우리나라 목재는 이용해야 하나 이용할 수 없는 딜레마를 겪고 있다.
- 이를 타파하기 위해 국내산 낙엽송을 이용한 목재건축물을 만들거나, 나이트가 조밀하고 또렷한 점을 이용해 인테리어 무늬목 등으로 이용하기도 한다. 하지만 이는 제한된 수종, 그리고 제한된 용도로 광범위하게 이용되기에는 어려움이 큰 현실이다.

- 산이 많고 숲이 많은 우리나라의 특성으로 보았을 때, 생활에 필요한 집을 흙벽보다 더 튼튼한 나무를 기반으로 하지 않았다는 것은 어폐가 있어 보인다. 이는 우리나라에서 옛날부터 자라온 나무들이 건축물을 짓기에는 적합하지 않았다는 뜻이다. 이는 함수율의 영향이 컸는데, 함수율이 큰 우리나라 나무들은 몇 년에 걸친 충분한 건조가 필요하다. 이 절차가 이루어지지 않은 상태에서 집을 짓고, 시간이 지나 표면만 건조되게 되면 겉부분이 깨지는 등의 문제가 쉽게 발생하였다. 또한 우리나라 건축물에 이용하는 대들보 등은 수치가 굉장히 두꺼운 목조건축의 구성품이다. 수치가 두터울수록 내부까지 건조하는 데 시간이 걸리게 되니 난이도가 올라간다. 대들보로 사용할 만한 두터운 나무를 구하기도 어렵다. 그렇기에 우리나라에서 이용한 목조건축물의 구성 특성, 나무의 성장 정도, 목재의 특성까지 맞물려 풍부한 자원인 나무는 쉽게 쓰기 어려운 건축 자재다.
- 최근에는 두터운 나무를 내부까지 빠르게 건조시키는 기술들이 개발되었으나, 근본적으로 활용할 수 있는 나무가 적다는 것은 변하지 않았다. 또한 목재 자체가 현재까지는 복잡한 성형가공이 어려운 상태로 소재 자체의 제한 또한 존재한다. 물론 지속적으로 목재를 이용하는 많은 방식들이 개발되고 있다.

3 국내 건축용 목재시장의 현실

- 일반적으로 건축에 이용되는 목재로는 집성목, 각목, 방부목, MDF(합판), WPC(목재-플라스틱 혼합체) 등 다양한 목재 및 합성목재들이 이용된다. 목조주택을 지을 때는 수입자재를 통하여 지어지는 경우가 대부분인데, 목조주택의 구조 자체가 서양식 목조주택이 많고, 최근 많이 도입된 중목구조의 목조주택 역시 일본식 구조를 차용한 경우가 많다. 우리나라식 중목구조 및 규격이 빠르게 도입되고 확산되고 있지만, 이 역시 제재수율이 나오지 않아 어려움이 많다. 또한 함수율이 높은 우리나라 목재들은 건축물을 짓기에 적합하지 않다는 의견 역시 다수 제시된다. 다양한 기업/건축가들이 우리나라 목재를 이용하여 건축물들을 짓고 있지만, 아직까지 국산 목재의 안정성에 대한 논란은 계속되고 있다.

4 건축에서의 국산 목재의 사용성

- 상기하였지만, 건축에 있어 우리나라 목재가 가지고 있는 문제점들에 대하여 정리해보면
 가. 개체가 큰 나무가 많이 없다.
 나. 물성이 약하다.
 다. 함수율이 높다.
- 수종마다 편차는 있을 수 있으나, 상기한 문제점들이 많은 부분을 차지하기에 나무로 건축하기에는 적합하지 않았다. 이는 단순히 현재의 상황이 아니다. 옛날에 제작된 서양의 나무집과 우리나라의 나무집을 비교해보면 확연히 우리나라의 나무들이 더 얇은 것을 알 수 있다. 서양의 나무꾼이라고 하면 통나무가 생각나고, 우리나라의 나무꾼이라 하면 지게를 지고 잔가지들을 옮기는 나무꾼이 쉬이 생각나는 것도 이유는 비슷하다.



[그림 1.4] 박금성, 「국산 목재를 활용한 목조 생태건축 시스템개발」, 2021

- CXP 데크를 비롯해 CXP 목재로 만든 제품들은 기존 목조 생태건축에 이용되지 않던 새로운 목재 이용 방법을 제시한다. 또한 제재목과 다르게 부산물 등을 이용할 수 있기에 개체가 작은 잔가지들도 건축에 이용할 수 있다. 제품의 높은 성형성이 나무뿐 아니라 플라스틱으로 제작하던 건축자재에도 이용될 수 있도록 한다. 이를 통해 건축물의 친환경성을 높일 수 있다.

5 데크시장에서의 WPC

- WPC는 플라스틱과 목재의 혼합을 통하여 유지력이 약한 목재를 플라스틱의 특성을 통해 보완해 내구성과 가공성, 미생물에 대한 저항력을 높인 건축 재료다. 데크, 울타리, 창틀, 외벽, 방음벽 등 다양한 곳에서 이용되고 있으며, 가격이 높고 유지관리가 어려운 방부목을 대신하여 데크시장에서 활발하게 이용되고 있다. 국내 생산업체 기준으로 400억원에 달하는 시장 규모이며, 매입 기준으로 플라스틱이 차지하는 비율은 약 25% 정도로, 적지 않은 양이 플라스틱으로 WPC에 포함되고 있다.

(단위 : 개소, 백만 원)

구분	업체 수	매출액(억 원)	
		총액	평균
2014년	9	369.6	41.1
2015년	7	243.5	34.8
2016년	6	165.4	27.6
2017년	6	141.6	23.6
2018년	13	355.7	27.4
2019년	14	282.4	20.2

구분	업체 수	매출액 분포							매출액	
		5억 미만	5~10억 미만	10~30억 미만	30~50억 미만	50~100억 미만	100억 이상	합계	총액	평균
2020년	20	2 (10.0)	4 (20.0)	9 (45.0)	4 (20.0)	1 (5.0)	-	20 (100.0)	40,391	2,020

※ 2020년부터 매출액 분포 구간 변경에 따라 별도 분석함
 ※ 총액 : 목재 플라스틱 복합재 생산업체의 총 매출액을 의미함
 ※ 평균 : 1개의 목재 플라스틱 복합재 생산업체가 차지하는 평균 매출액을 의미함(총액/업체 수)

[표 1.1] 목재 플라스틱 복합재 생산업체 매출 규모 (산림청, 2020년 기준 목재 이용 실태조사)

2 CXP 데크의 특성

- 원자 단위의 결합
 CXP 데크는 그 근본이 되는 CXP 기술의 특성상 목재와 플라스틱의 단순 접착이나 혼합이 아닌 분자 단위의 결합에 의해 새로운 고분자를 생성하는 방식이다. 이로 인하여 안정화가 분자 단위에서 일어나 그 인력이 굉장히 강하다. 이로 인해 열 변화에 굉장히 강하며, 연교차가 큰 우리나라에서 특히 그 강점을 발한다.
- 친환경성
 CXP 소재 단독으로 만들었기 때문에 CXP 목재의 특성을 그대로 이용한다. 독성 성분이 포함되지 않았기 때문에 기본적으로 무해하며 사람이 먹어도 무해한 내용물로 이루어져 있다. 건축물은 세워져 오래 이용하는 것이 그 목적이지만, 파손되거나 파괴할 수도 있다. CXP 데크는 이용되는 경우 자연에 유해한 독성물질을 만들지 않아 그 처리가 용이하며, 폐기물은 일반 목재와 같이 처리할 수 있다.
- 재활용성
 이용한 뒤 파손된 데크를 분쇄, 다시 압출 성형이 가능하다. 이를 통해 주기적으로 교체 수요가 생기는 데크를 폐기할 필요 없이 다시 분쇄하여 재이용이 가능하며, 이는 일부를 깎아내고 재코팅하여 활용하는 것과 아예 다른 방식이다.
- 높은 강도
 CXP 소재는 결합방식 특성상 WPC에 비해 훨씬 강하며, 이로 인해 중공형 구조를 채용할 때 큰 이득이 있을 것으로 파악된다. 기존 중공형 데크가 높은 경제성에도 불구하고 실제 사용 시 다양한 문제, 특히 강도 문제로 인하여 사용하기 어려운 측면이 많았는데 CXP 데크는 그런 부분에서 더 개선되었다. 일반 WPC 소재보다 수축 팽창에 더 강한 부분도 CXP 데크의 장점이다.
- 높은 생산성
 기존 WPC 데크보다 생산성이 배 이상 좋으며, 이를 통하여 대량 생산 시에도 빠르게 대응할 수 있다. 또한 생산성이 높다는 것은 임가공비를 줄여 단가를 낮출 수 있는 이점이 되기 때문에 장기적으로는 WPC 데크와 가격이 비슷하거나 낮아질 것으로 예상된다.

제2장 CXP 데크

1 CXP 데크의 정의

- CXP 소재를 이용해 만든 데크재의 총칭이다. CXP 소재를 이용해 생산하며, 그 기능에 따라 첨가제가 일부 추가될 수 있다(난연, 항균 등). CXP 소재의 비율이 90% 미만으로 내려갈 경우 CXP 데크로 취급하지 아니하고 '혼합' 등의 단어로 명기한다.



- 기본형은 보조블록에 결합하여 이용할 수 있는 형태로 되어 있어 조립이 용이하며, 기존 데크 형태에 호환되는 슬리트 및 중공형 데크도 출시 예정이다. 색상은 다양하게 구현된다.

제3장 CXP 데크의 시범 적용

1 대전 탄소창고 매장

2022년 대전시 유성구 CXP 소재 제품을 취급하는 탄소창고 입구에 CXP 데크를 적용하였다.



- 조립형 CXP 데크인 DECK-C 계열을 이용하여 기존 CXP 소재로 제작된 RG 블록과 체결하여 데크를 시공했다. 별도의 피스를 이용하지 않고 간편하게 조립 체결하였으며 시연용으로 중간에 살을 많이 대지 않았으나, 블록을 더 사용해 살을 더 많이 댈 경우 더 견고하게 시공 가능하다.



시공 2주 경과하였으나 큰 문제 없이 형태 유지 중이다.

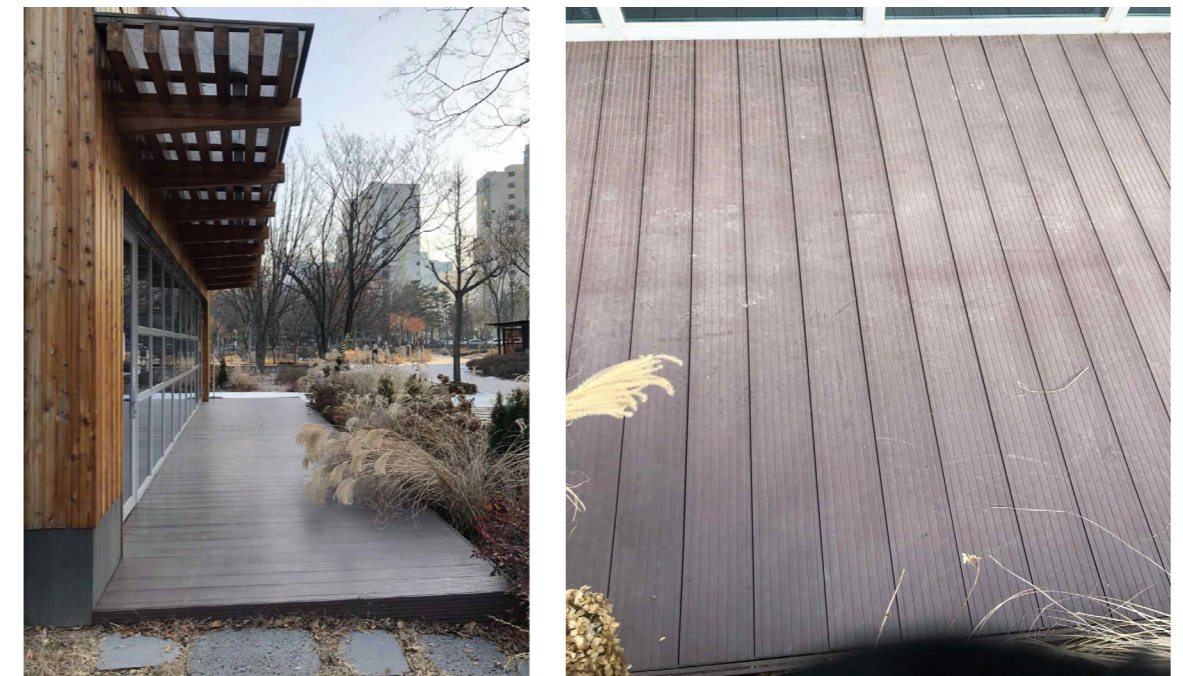
2 서울 노원구 원터근린공원

- 2021년 솔리드 형태의 압출을 통해 제작된 데크가 설치되어 있는 공간으로, 현재 생산 준비 중인 DECK-S와 다른 초창기 형태의 제품이다. 일반적인 WPC 데크와 같이 피스를 이용하여 각파이프에 시공하였다.



[그림 3.1] CXP 데크 설치 모습(좌), 시공 완료 모습(우)

- 시간이 지난 2023년 현재 아래와 같이 정상적인 상태를 유지하고 있다. 특히 플라스틱이 섞인 WPC였다면 바인더로 쓰이는 PP/PE가 자외선에 붕괴되어 평면 부분이 파괴/변성이 발생했을 수 있는데, 훨씬 안정적으로 유지되는 모습을 볼 수 있다.

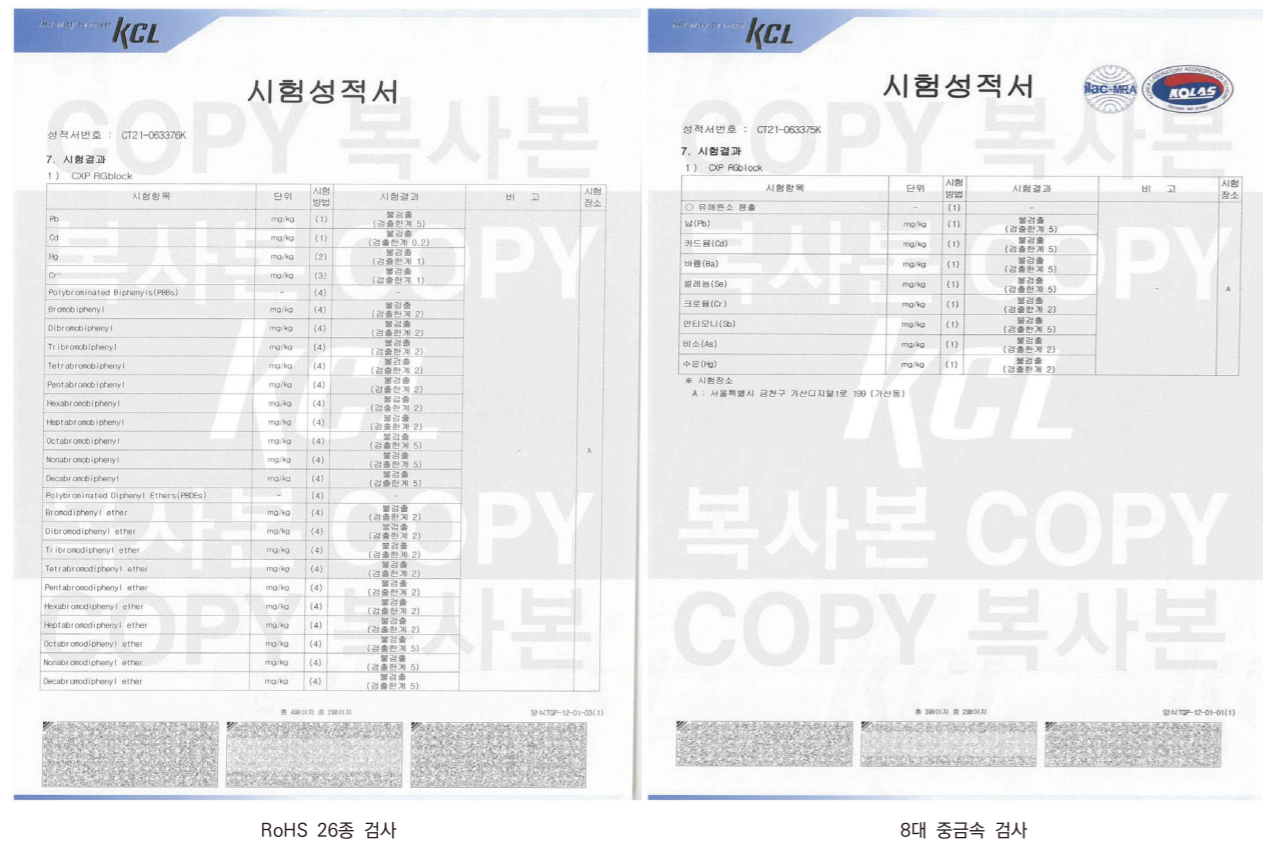


[그림 3.2] 시공 후 현재 모습

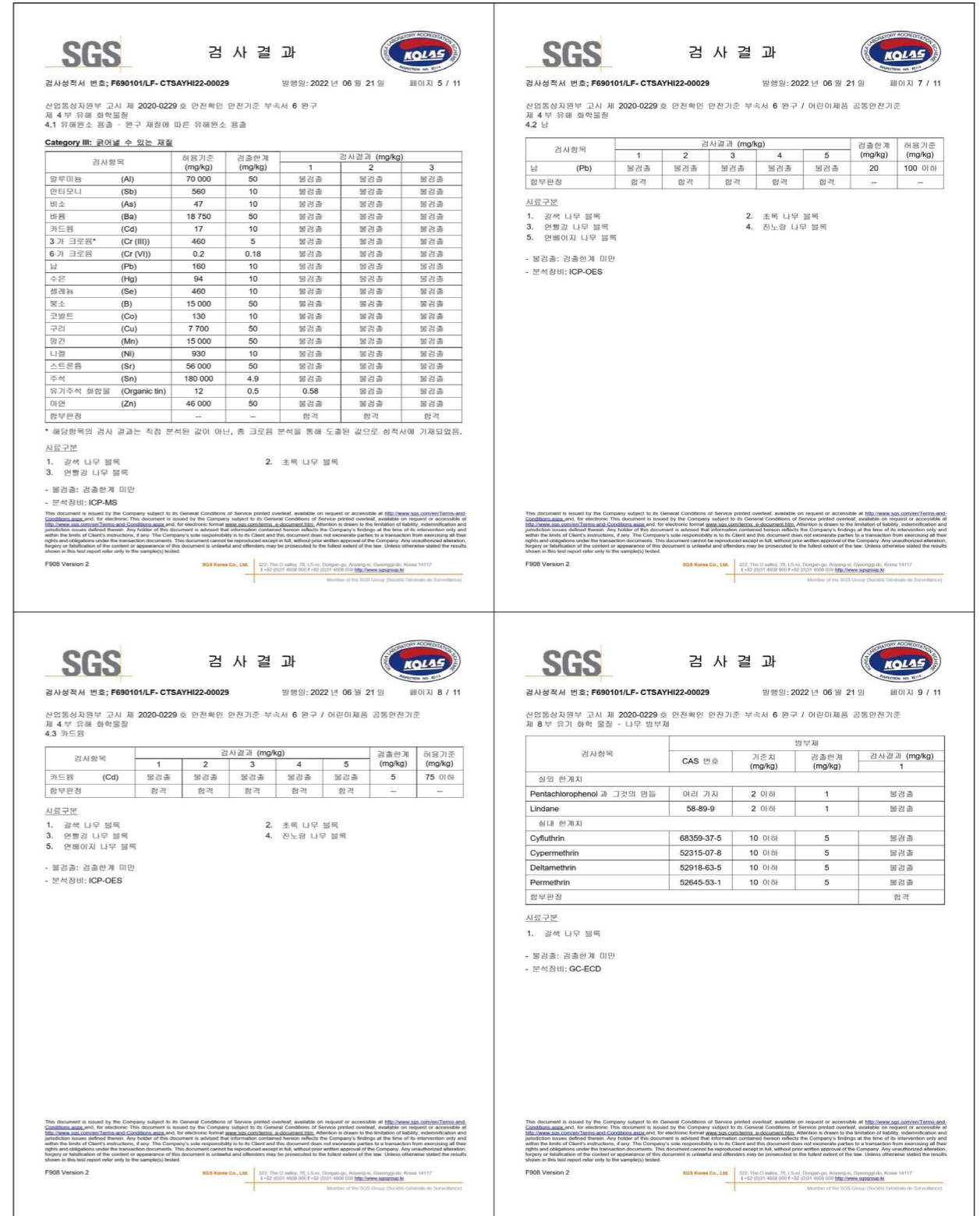
제4장 CXP 데크의 환경성 평가

1 CXP 데크의 무해성

- CXP 데크를 구성하는 소재인 CXP 목재는 약 40종 정도의 독성 성분에 대해 불검출 결과를 받았으며, 식기 및 3세 이하 아이도 이용할 수 있는 표준 테스트를 통과하였다. 소재 자체에 대해 검사가 진행되지 않는 항목들이 있어 검사 결과는 동일한 소재를 이용한 다른 제품이 받은 검사 결과로 같음한다.



[그림 4.1] CXP 목재 독성 성분 시험성적서



[그림 4.2] 3세 이상 이용 검사 결과 (동일 소재 아동용 완구 블록 결과)

2 CXP 데크의 탄소 저장

- CXP 데크는 거의 단일 소재로 이루어진 제품으로서, 제조과정의 탄소 발생을 제외하면 CXP 소재의 특성에 준하는 탄소 저장 능력을 가지고 있다.
- CXP 목재 소재 이용에 따른 탄소 감축 내용은 임업적(임업 부산물과 간벌재 이용 및 숲 가꾸기에 기여), 산업적(플라스틱 소재 대체)으로 나눌 수 있다.
- CXP 목재 제품의 투입 바이오매스의 중량비를 z%라 하고, 투입 바이오매스의 함수율을 x%, 100년간 제품 내후기한이 t년(단 t≤100)이라 할 때 제품 1kg당 이산화탄소 흡수량은 다음과 같이 계산한다.

$$CXP \text{ 제품 이산화탄소 흡수상당량} = 0.01629z/(x+100)*t[kg] = 16.29z(x+100)*t[g]$$

- 이는 제품 이용 무게에 기반한 가장 기초적인 수준의 탄소 감소이며, 아래와 같은 연구를 통하여 제품의 흡수상당량+a(적극적 흡수상당량)를 추정할 수 있다.

☑ 제품 자체의 온실가스 저장량 연구

- 목분을 분말 형태로 가공할 때 분말의 질량비로 계산되어 가공되며, 수분은 가공과정에서 방해로 작용하기에 완전 건조된 상태로 가공된다. 목재는 수분과 목질부로 나뉘는데, 수분이 완전 제거되면 목질부인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스, 리그닌이 남게 된다. 이 세 성분 모두 천연탄소를 함유하며, 그 분자식은 C6H10O5에 수렴한다. 이러한 사실에 따라 단순 질량비 계산으로도 이산화탄소 저장량을 계산할 수 있다는 것을 유추할 수 있다.
- 이 계산을 위해 목질계 원료(왕겨 등의 농업 바이오매스 포함)의 전건중량을 먼저 도출해야 한다. 전건중량이란 목질계 원료 자체의 중량으로 100~105℃에서 완전 건조되었을 때의 중량을 말한다. 이때 함수율은 전 중량에 대한 수분량의 분율을 나타내는 경우와 무수물의 중량에 대한 수분량의 분율로 나타내는 경우가 있다. 전자를 습량함수율, 후자를 건량함수율이라 하는데, 전자는 함수율이 변화하면 계산 기준이 바뀌므로 후자를 기준으로 계산한다.

$$\begin{aligned} & \text{건량함수율} \\ & = (\text{실제 투입되는 목질계 원료의 중량 } Bw - \text{목질계 원료의 전건중량}) / (\text{목질계 원료의 전건중량}) * 100 \end{aligned}$$

- 함수율 x[%]의 목질계 원료를 사용할 경우 이 원료의 전건중량은 다음과 같다.

$$\text{전건중량} = 100 * Bw / (x + 100)$$

- 목질계 재료는 탄소 6 : 수소 10 : 산소 5의 비율로 구성되는데, 목질계 재료의 전체 질량 중 탄소의 비율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{목질계 재료의 전체 질량 중 탄소의 비율 } C_{rate}(\%) \\ & = (\text{탄소 6개의 질량}) / (\text{탄소 6개의 질량} + \text{수소 10개의 질량} + \text{산소 5개의 질량}) * 100 \end{aligned}$$

- 이때 각 원소의 원자량은 아래와 같다.
탄소의 원자량 : 12.011
수소의 원자량 : 1.00794
산소의 원자량 : 15.9994
- 이를 위 식으로 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{rate} & = (12.011 * 6) / (12.011 * 6 + 1.00794 * 10 + 15.9994 * 5) * 100 \\ & = 72.066 / (72.066 + 10.0794 + 79.997) * 100 \\ & = 72.066 / 162.1424 * 100 \\ & = 44.4461165(\%) \end{aligned}$$

- 전건재료는 투입재료의 완전 건조에 의해 얻어진다. 이때 건조되는 것은 수분으로서 탄소와는 관련이 없다. 따라서 탄소중량은 동일하므로 투입재료의 탄소중량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{투입 바이오매스 재료의 탄소중량 } [B_{cw}] \\ & = \text{전건재료의 탄소중량} \\ & = y * C_{rate} / 100 \\ & = y * 44.4461165 / 100 [kg] \\ & = 100 * B_w / (x + 100) * 44.4461165 / 100 \\ & = B_w / (x + 100) * 44.4461165 \end{aligned}$$

- 그런데 제품을 생산할 때 바이오매스뿐만 아니라 용착, 색깔 등 제품의 가공성 또는 특성 부여를 위해 다른 재료도 사용된다. 이때 투입 바이오매스의 중량비를 z%라고 할 때 제품 1kg당 투입 바이오매스는 1*z/100[kg]이다.
- 따라서 투입 바이오매스 함수율 x%, 투입 바이오매스 중량비 z%인 제품의 1kg당 탄소 저장량[P_{cw}]은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{cw} & = B_w / (x + 100) * 44.4461165 \\ & = 1 * z / 100 / (x + 100) * 44.4461165 \\ & = z / (x + 100) * 0.444461165 \end{aligned}$$

- 탄소는 산화되어 이산화탄소의 형태를 띤다. 탄소의 원자량은 12.011, 산소의 원자량은 15.9994이므로 이산화탄소의 분자량은 44.0098이다. 즉 탄소 12.011g은 산화되어 44.0098의 이산화탄소가 된다. 따라서 제품의 이산화탄소 흡수량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{제품 1kg당 이산화탄소 흡수량 } [kg] \\ & == P_{cw} * 44.0098 / 12.011 \\ & == z / (x + 100) * 0.444461165 * 44.0098 / 12.011 \\ & == z / (x + 100) * 1.629 \\ & == 1.629z / (x + 100) \end{aligned}$$

- 어떤 제품이 t년(年)간 분해되지 않고 유지되며 탄소 저장의 목표 기한을 100년이라고 할 때, 제품 1kg당 이산화탄소 흡수 유지량은 다음과 같다.

$$100\text{년간 제품 1kg당 이산화탄소 흡수 유지량} = 1.629z / (x + 100) * t / 100 \text{ (단, } t \leq 100)$$

☑ **임업적 탄소 감축 연구**

- 서론에 이야기한 것과 같이, 우리나라의 임목저장량은 지속해서 늘어나는 반면 산림 면적은 계속해서 줄어들고 있다. 이런 현상으로 나무의 생장에 방해가 일어나, 2008년부터 우리나라 숲의 순탄소흡수량은 지속적으로 감소 추세이다. 그런데 충분한 공간이 없이 가늘고 구불구불하게 자란 우리나라의 목재는 부가가치가 낮아 저렴한 나무펠릿, 우드칩 형태로 많이 이용된다. 따라서 경제적 유인성이 따르지 않아 숲 가꾸기의 부산물을 처리하기 어렵고, 산림경영을 적극적으로 수행하기 어렵다. 이로 인해 나무의 생장은 계속 어려운 상태로 유지되고, 부정적 순환이 반복된다.
- 열가소성 목재 CXP는 목재 이용에 훨씬 높은 부가가치를 부가함으로써 숲 가꾸기로 생긴 부산물에 상업성을 부여한다. 이를 통해 이윤에 의한 적극적 산림경영을 진행할 수 있다. 생장 가능성이 낮은 나무를 가치 있게 소비하는 새로운 방법이 생기는 것이다. 위와 같은 내용들의 실효성을 인정받아 현재 산림청, 한국임업진흥원과 밀접한 관계를 유지하고 있으며 PEFC 인증 및 지자체와의 산림경영 협업과 관련한 많은 논의가 이루어지고 있다. 특히 민간인 산주에게 제공할 수 있는 편익을 늘려 국가사업 진행 시 설득력을 높여준다.
- 숲 가꾸기를 하는 간벌에는 다양한 형태가 있지만 현재 우리나라에는 도태 간벌(잘 자라지 못했거나 못할 나무를 간벌하는 것) 위주로 진행될 수밖에 없는 상황이다. CXP 목재 생산을 통해 간벌재가 높은 부가가치를 형성하게 되면 장기적으로 계획적인 열(列)식 간벌이 가능해, 간벌에 드는 에너지를 줄이고 나무들이 더 계획적으로 크게 자라게 할 수 있다. 이는 우리나라 숲의 탄소 흡수량을 굉장히 높일 수 있는 방법이 될 것이다.
- 또한 부가적으로 숲 가꾸기를 통해 숲의 수종을 다양화하면 더 많은 생명체들이 살 수 있는 환경을 만들 수 있다. 이는 탄소 포집과 나무 자체의 성장뿐 아니라 더 다양한 동식물이 살 수 있는 환경을 조성해 생태계에 기여하는 가치가 크다.

☑ **플라스틱 대체를 통한 탄소 감축 연구**

- 플라스틱은 그 분자구조가 명확하다. 분자식에 따라 탄소의 함량비를 계산 후 탄소전환계수를 곱해주면 이산화탄소 배출량을 계산할 수 있다. 대한민국의 플라스틱 물질 재활용율은 22.7%로 플라스틱 생산량의 77.3%는 열병합발전 또는 소각을 통해 이산화탄소를 배출하게 된다. 이때 온실가스 배출 또는 저감은 별도의 방법론으로 다루게 되므로 본 연구에는 포함하지 않는다.
- 각 원소의 원자량은 다음과 같다.
탄소의 원자량 : 12.011
수소의 원자량 : 1.00794
염소의 원자량 : 35.453
- 먼저 플라스틱 사용량 중 가장 많은 양을 차지하는 범용 플라스틱인 올레핀계 플라스틱은 C_nH_{2n}의 분자식으로 표현된다. 즉 탄소 하나에 수소 두 개꼴의 결합구조로 되어 있다. 따라서 올레핀계 화합물(PP, PE 등)의 탄소 함유량은 다음과 같다.

$$\text{올레핀계 화합물의 탄소 함유량} = 12.011 / (12.011 + 1.00794 * 2) * 100 = 85.63\%$$

- 그리고 대표적인 범용 플라스틱 중 하나인 PVC는 C₂H₃Cl로 표현된다. 따라서 PVC의 탄소 함유량은 다음과 같다.

$$\text{PVC의 탄소 함유량} = 12.011 * 2 / (12.011 * 2 + 1.00794 * 3 + 35.453) * 100 = 38.44\%$$

- CXP 소재로 많은 플라스틱이 대체된다면 건축 현장에서 많은 부품들이 목재 부품으로 대체될 수 있고, 이는 상기한 탄소 감축에 대한 부가 효과들을 다방면으로 누리는 방법이 될 것이다.

제5장 CXP 데크의 규격

- 2023년 1월 현재 조립형 1종의 제품 규격으로 되어 있다. 색상은 자연 색상으로서 변동이 있을 수 있고, 지속적으로 추가되는 등의 변화가 있을 수 있으므로 참고로 활용한다.

번호	품목번호	명칭	규격	사진	기타
1	CXP-DECKC-##	조립형 CXP 데크	145*25*n (mm)		식별자 ##은 컬러 코드로 세부 컬러 코드는 아래 기재
2	CXP-DECK-S-##	솔리드형 CXP 데크(출시 예정)	145*25*n (mm)		
3	CXP-DECK-B-##	중공형 CXP 데크(출시 예정)	145*25*n (mm)		

- 상기된 목록 이외에 추가되는 데크는 처음 CXP 데크를 정의한 것과 같이 단일 CXP 소재의 함유량이 90%를 초과할 경우 CXP 데크로 칭할 수 있도록 하며, 혼합 가능한 항목은 특정한 기능을 위한 첨가제 혹은 색상을 내기 위한 무기안료에 한한다.

제6장 활용 전망

1 CXP 데크의 활용 전망

☑ **WPC 대체재로서의 전망**

- CXP 데크는 기존 WPC 데크에 비해 시공적으로 높은 안정성이 가장 큰 장점이다. 특히 시공 후 재시공이 어려운 교통혼잡지역이나 환경 변화가 커서 소재의 붕괴가 우려되는 곳에 추천할 만하다.
- 사실상 높은 생산량은 곧 소비재 단가의 절감을 불러오고, 장기적으로는 환경적·기술적으로 모두 우수한 CXP 데크가 대부분의 WPC 데크를 대체할 수 있을 것으로 파악되며, 이에 따라 압출 금형이 다양해지거나 고급형 제품들이 등장하게 되면 고급시장인 방부목 시장도 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

✓ 정책 방향상의 전망

- 현재 범국가적인 친환경 및 플라스틱 줄이기 니즈로 인하여 미세플라스틱이 발생하지 않는 CXP 데크가 WPC 데크를 대체할 상황은 충분하다. 규제가 더 심하고 친환경 니즈가 높은 국가일수록 기존 WPC는 더 빠르게 대체될 것이다.

2 CXP 소재의 활용 전망

- CXP 데크는 플라스틱을 대체할 수 있는 CXP 목재 소재로 제작되어, RG블록뿐 아니라 CXP로 제조한 다른 많은 제품들의 건축자재로서의 기능과 환경성을 인정받는 초석이 된다. 다수의 플라스틱 부품들을 나무 부품들로 대체할 수 있는 것으로, 이는 친환경 플라스틱으로 대체하는 것보다 더 환경적이다. 기존에 나무로 성형할 수 없었던 복잡한 부품을 이용하고도 목재건축물로 인정받을 수 있다. 기존 목재 건축물은 이용할 수 있는 형태가 한정적이어서, 만들 수 있는 구조 자체도 한정적이었다. 하지만 CXP 데크를 구성한 CXP 목재는 성형성이 우수하여 플라스틱 제품을 만들듯 사출 공정에서 틀을 통해 만들어낼 수 있다.
- CXP 소재의 연구 및 사용은 결과적으로 목조주택의 생산성을 높이고, 가능한 목조주택의 범위를 늘리는 등 다양하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 산림청, 「목재 이용 실태조사 보고서」, 2020
2. 국립산림과학원, 「탄소중립을 위한 산림의 온실가스 흡수능력 강화 방안 및 향후 과제」, 2021
3. 한국건설기술연구원, 「국산 목재를 활용한 목조 생태건축 시스템 개발」, 2021
4. 그린피스, 「2021 플라스틱 집콕조사: 일회용의 민낯」, 2021

셀룰로오스 성형 목재, CXP



연구책임자

김현수 (한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구위원)

KICT 연구진

박금성(한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구위원)

문수영(한국건설기술연구원 건축연구본부 연구위원)

장대회(한국건설기술연구원 건축연구본부 연구위원)

김상헌(한국건설기술연구원 건축연구본부 수석연구원)

오근영(한국건설기술연구원 건축연구본부 전임연구원)

참여기관

스마트에코(주)

(주)위드엠텍

(주)이가ACM건축사사무소

서울대학교

세명대학교

(주)부림산기

(주)부일건화

동남리얼라이즈

에코앤하임

(주)클레이맥스

수미개발