

# 국산 간벌재의 하천정비사업 활용 방안



**유 동 진 |**  
한국건설기술연구원 수석연구원  
dreamstone@kict.re.kr



**강 성 원 |**  
한국건설기술연구원 수석연구원  
kangsw93@kict.re.kr



**김 영 석 |**  
한국건설기술연구원 연구위원  
yskim@kict.re.kr

다. 생물종이 다양한 하천은 수생태계의 자연순환 고리를 회복할 수 있는 자생력을 갖추게 되며, 나아가 하천 고유의 자연정화능력을 회복할 수 있다. 일본의 경우 오래 전부터 하천생태계 복원을 위한 많은 노력을 하였으며, 우리나라 역시 치수 및 이수 위주의 하천관리에 환경, 문화, 역사, 경관 등 다양한 기능의 보전과 개선의 필요성이 증대됨에 따라 지자체를 중심으로 생태하천 조성 사업이 자연친화적 하천관리사업의 일환으로 추진되고 있다.

친환경 소재인 목재는 물속에 잠길 경우 별도의 방부처리 없이 장기간 보존이 가능하고, 자연석을 채운 목재방틀의 경우 하천 침식 방지가 가능한 구조 강도를 확보할 수 있어 하천복원 재료로의 활용이 가능하다(김상우 등, 2008). 실제로 그림 1에서와 같이 통일신라 경덕왕 19년(서기 760년)에 만들어진 월정교의 국립경주문화재연구소에 의한 발굴

## 1. 서론

하천생태계에서 필요로 하는 것은 다양한 생물체가 살아갈 수 있는 생물다양성이 풍부한 공간이며, 이러한 공간을 복원 또는 창출함에 있어 동·식물 플랑크톤의 증식이 가능한 재료를 선택하는 것이 중요하다. 천연소재는 인공소재보다 수생생물의 부착 및 증식이 용이한 환경을 제공할 수 있으며, 하천에서의 동·식물 플랑크톤의 증식에 의한 1차 생산성 증가는 다양한 생물종의 출현을 가능하게 한



그림 1. 월정교의 하상방틀

## 학술/기술기사

조사에서 옛 왕궁인 월성의 남단 통로의 교대 및 교각 하부구조에 석재와 더불어 사용한 하천바닥의 목재 방틀이 발견되었다. 이 격자로 된 목재방틀은 무려 1,200여년이 지난 1987년 발굴 당시의 사진에서 그 흔적이 비교적 명확하였으며 건전한 상태를 유지하고 있었다. 또한 1m<sup>3</sup> 당 약 225kg의 탄소를 저장하고 있는 목재의 사용연한을 획기적으로 늘리면서 이를 하천정비사업에 사용하는 것은 온실가스 저감과 동시에 탄소저장 기술의 구체적인 실천 방안이라 할 수 있다.

특히 하천복원 재료와 같은 토목시설물의 경우 구조강도에 영향이 없는 범위내에서 고급 목재를 사용하지 않아도 되므로 숲가꾸기 산물이자 온실가스 삭감 목표의 달성 수단이 될 수 있는 국산 간벌재의 활용가능성이 크다고 할 수 있다. 이에 본고에서는 간벌재의 국내·외 활용 현황과 국산 간벌재 활용시의 탄소저감 효과를 제시하고, 하천정비사업 활용 방안 및 적용사례를 살펴보고자 한다.

## 2. 국내·외 간벌재 활용 현황

우리나라는 세계 10위권의 에너지소비국이며서 에너지원의 97% 이상을 해외 수입에 의존하고 있다. 또한 2013년부터 교토 의정서 기후변화 협약의 의무당사국이 된다. 그러므로 다가올 미래에 대한 철저한 대비를 위해 우리보다 먼저 그 의무를 다하고 있는 선진국의 제도를 철저하게 분석하고 이를 실행으로 옮길 필요가 있다. 교토 의정서 기후변화 협약의 의무당사국인 일본은 제1 약속기간(2008~2012년)동안 1990년 대비 온실가스 배출량의 6%를 삭감해야 한다. 그러나 현 상태에서 화석자원의 감소는 에너지사용량 절감이 수반되어야 하므로 산업발전에 영향이 없는 범위에서 삭감목표를 달성하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 여러 정황을 고려하여 2005년 4월 28일 일본 각료회의에서는 이산화탄소 삭감 약속의 6% 중 3.9%에 해당하는 1,300

만톤/C을 일본 내의 산림을 이용하여 확보하도록 결정하였다. 이는 교토 의정서에서 지구온난화 방지를 위해서 산림에 의한 이산화탄소 흡수량을 온실가스 삭감 목표의 달성 수단에 포함할 수 있다고 하였기 때문이다.

그러나 일본도 국내와 마찬가지로 임업 재산성의 저하 등으로 산림 소유자의 산림 정비가 이루어지지 않아 현 상태로는 필요로 하는 이산화탄소 흡수량의 목표를 달성할 수 없다고 판단하여 산림의 순환을 촉진하는 범국민적 목재 사용하기 운동에 돌입하였다. 2005년도부터 목재이용확대 행동계획의 실천을 위하여 친환경상품 등의 조달 추진으로 공공사업에 간벌재 이용을 촉진하고 있다. 이는 국내에서 2006년 7월부터 시행하고 있는 '친환경상품 진흥촉진법'의 제도와 동일하지만, 친환경상품이나 우수재활용제품(GR마크)에서 인정해주는 품목에 간벌재가 포함되지 않는 것이 상이하다.

전체 국토면적(9,989,741ha)의 64%가 산림면적인 우리나라의 총 임목축적은 2009년 기준 약 697백만m<sup>3</sup>로 ha당 109.4m<sup>3</sup>로 추정되며, 이는 OECD 국가 평균인 104m<sup>3</sup>를 약간 상회하는 수준이다. 표 1에서와 같이 2004년에서 2009년까지의 국산 간벌재 수집 현황을 살펴보면, 매년 간벌재의 수집량이 증가하였으며, 국유림에 비하여 민유림에서 수집되는 양이 2004년에는 31,648m<sup>3</sup> 많으며, 2009년에는 474,730m<sup>3</sup>으로 5년 동안 약 15배 이상 민유림의 수집량이 증가하였다(산림청, 2010). 이는 임목축적량에 의한 결과로, 2009년을 기준으로 민유림의 임목축적량이 국유림에 비하여 ha당 약 73.4m<sup>3</sup> 많았기 때문이다.

숲가꾸기를 통하여 수집된 간벌재는 톱밥, 우드

표 1. 연도별 국산 간벌재 수집현황(산림청, 2010)

[단위 : m<sup>3</sup>]

구분	'04	'05	'06	'07	'08	'09
국유림	73,798	96,040	95,811	139,857	121,946	172,283
민유림	105,446	143,747	178,486	240,056	530,728	647,013
합계	179,244	239,787	274,297	379,913	652,916	819,296

\* 리기다소나무 기준

칩, 원목 등으로 매각 처리를 하거나, 축산농가 지원, 연료 등과 같은 지역주민의 활용, 양묘장, 비료, 목구조물 등 조경용으로 활용하고 있는 실정이다. 숲가꾸기 사업으로 인하여 간벌재의 매각 처리량이 꾸준히 증가하고 있으나 증가하는 매각 처리량 대비 원목 사용량이 감소하고 있는데, 이는 국산 원목의 가격이 수입재에 비하여 높기 때문이다. 국산낙엽송 원목의 가격은 직경 30cm 이상이 27만원, 직경 40cm 이상이 30만원이다. 이는 2010년말 거리가 추정 뉴송(15만 9천원, KSgrade), 햄록(23만 1천원, 직경 30~50cm), 적송(25만 5천원, 직경 30cm 이상) 등에 비하여 비싼 가격이다. 최근 치솟는 원자재 값과 국제유가로 인하여 점차 국산재 이용으로 눈을 돌리는 업체들이 증가하고 있으며, 업체들은 국산재가 충분한 품질을 갖고, 가격 경쟁력을 갖춘다면 이용할 의사를 보이고 있다. 그러나 비싼 가격으로 인하여 국산재 이용이 어려운 것이 현실이다.

「2단계 숲가꾸기 5개년 추진계획」은 2009년부터 2013년까지 계획기간을 설정하고, 125만ha의 숲을 가꾸어 산림의 가치를 제고하고, 202천명의 녹색일자리 창출과 650만m<sup>3</sup>의 산물을 수집·활용하여 자원 순환형 사회구축에 기여하기 위한 계획이다. 연도별 추진 계획을 아래 표 2에 나타내었다.

표 2. 「2단계 숲가꾸기 5개년 추진계획」 중 연도별 추진 계획 현황(산림청, 2010)

구 분	계	'09	'10	'11	'12	'13
사업량(천ha)	1,250	235	240	256	258	261
산물수집(만m <sup>3</sup> )	650	80	110	130	150	180

「2단계 숲가꾸기 5개년 추진계획」을 통하여 간벌재의 발생량은 2009년 80만m<sup>3</sup>에서 2013년은 180만m<sup>3</sup>으로 2배 이상 증가할 것이다. 이처럼 간벌재의 발생량이 증가하게 되면 간벌재 사용에 가장 걸림돌이 되었던 가격 문제의 해결이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 국산 간벌재 활용시의 탄소저감 효과

하천정비사업에 간벌재를 적용했을 경우 탄소배출 저감 효과를 분석하기 위해서 간벌재를 사용했을 때와 콘크리트를 사용했을 때의 탄소 배출량과 저감효과를 분석하였다. 이를 위하여 최근 제조된 파주시의 목재 사방댐(그림 2. 참조)과 이와 같은 규모의 콘크리트 사방댐을 비교하였다.

목재 사방댐은 경기도 파주시 광탄면 마장리 계곡에서 댐 길이 35m의 거대한 사방댐으로 경기도 산림환경연구소와 파주시산림조합에서 축조하였다. 사방댐 건설에 사용한 목재는 리기다소나무 간벌재로 외부는 간벌재로 구조체를 형성하고, 내부는 자연석으로 채워 빗물이 잘 빠져나가는 다공성 구조로 제조하였다. 목재의 한본 한본은 약하지만 우물정(井)자 형태의 상자모양으로 만들면 아주 견고한 구조체가 된다.

목재 사방댐과 콘크리트 사방댐의 총 부피는 430m<sup>3</sup>이며, 각각의 사방댐에 사용된 주재료에 대한 탄소 저감 효과 분석을 실시하였다. (한 문장 삭제) 목재 사방댐의 주재료는 천연 건조재와 누름돌로 사용되었으며, 그 양은 각각 150m<sup>3</sup>과 325m<sup>3</sup>이었고, 콘크리트 사방댐의 주재료인 시멘트, 모래, 자갈의 사용된 양은 각각 96m<sup>3</sup>, 192m<sup>3</sup>, 383m<sup>3</sup>이었다.

두 사방댐에 사용된 주재료를 제조할 때 발생하는 이산화탄소의 발생량은 천연 건조재의 경우 54.67kg/m<sup>3</sup>, 시멘트의 경우 800kg/m<sup>3</sup>, 누름돌, 모



그림 2. 목재 사방댐

래, 자갈의 경우 0kg/m<sup>3</sup>이었으며, 시멘트의 경우 천연 건조재에 비하여 약 14배 이상의 이산화탄소 발생량을 나타내었다. 주재료별 이산화탄소 발생량을 토대로 목재 사방댐과 콘크리트 사방댐의 이산화탄소 발생량을 산정하면, 목재 사방댐의 경우 5,740kg-CO<sub>2</sub>, 콘크리트 사방댐의 경우 76,800kg-CO<sub>2</sub>의 이산화탄소가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 목재 사방댐에 비하여 콘크리트 사방댐이 약 13배 이상 이산화탄소가 발생되었다.

또한 두 사방댐의 탄소 및 이산화탄소 저장량에 대하여 검토하였으며, 탄소 및 이산화탄소를 저장할 수 있는 재료는 천연 건조재뿐이며, 나머지 누름돌, 시멘트, 모래, 자갈 등은 이산화탄소 저장량이 제로이다. 천연 건조재의 탄소 및 이산화탄소 저장량의 계산 방식은 아래 식을 이용하여 산정하였다(한국건설기술연구원, 2010).

$$C_{HWP} = V \times WD \times CF$$

$$CO_{2HWP} = C_{HWP} \times (44/12)$$

$C_{HWP}$ : 수확된 목제품의 탄소 저장량

$CO_{2HWP}$ : 수확된 목제품의 이산화탄소 저장량

V: 목재(원목) 체적(m<sup>3</sup>)

WD: 수종별 목재 전건비중(ton/m<sup>3</sup>)

CF: 바이오매스 탄소전환계수

천연 건조재의 탄소 및 이산화탄소 저장량을 산정하기 위하여 필요한 인자는 목재 체적, 수종별 목재 전건비중, 바이오매스 탄소전환계수이다. 목재 체적의 경우 목재 사방댐에 사용된 목재 양인 105 m<sup>3</sup>을 이용하였으며, 「교토의정서대응 산림탄소계정 기반구축연구」에서 제시한 국산재 주요 수종별 탄소계정 인자 중 리기다소나무 수종의 인자를 이용하여 측정하였다. 리기다소나무의 전건비중은 0.51ton/m<sup>3</sup>이고, 탄소전환계수는 0.51로 천연 건조재의 탄소 및 이산화탄소 저장량을 산정하였다(산림청, 2010). 산정 결과, 콘크리트 사방댐의 경우 탄소와 이산화탄소 저장량이 0kg인 반면에, 목

표 3. 사방댐의 이산화탄소 저장량 [단위 : kg]

	CO <sub>2</sub> 발생량 (a)	CO <sub>2</sub> 저장량 (b)	CO <sub>2</sub> 저감량 (b-a)
목재 사방댐	5,700	54,600	+48,860
콘크리트 사방댐	76,800	0	-76,800

재 사방댐의 경우 탄소 저장량이 27.3ton, 이산화탄소 저장량이 54.6ton임을 알 수 있었다. 한편 두 사방댐의 이산화탄소 발생량과 저장량을 통하여 이산화탄소의 저감량을 산정하면 표 3과 같다. 또한 추후 사방댐 폐기시 목재의 경우 바이오매스 등의 연료로써 사용전환이 가능하여, 화석연료 사용시 발생하는 이산화탄소를 줄일 수 있는 장점이 있는 반면 콘크리트의 경우 사용 후 폐기 처분을 해야 하기 때문에 추가적인 비용 발생이 불가피한 약점이 있다.

#### 4. 하천정비사업 활용 방안 및 적용사례

최근 자연친화적 하천관리의 일환으로 우리 주변의 하천이 콘크리트 구조물에서 자연석을 쌓는 호안으로 변모해 가고 있다. 콘크리트의 경우 제조 에너지가 많이 소요되며, 석재의 경우 구조물로서 환경 부담을 가중시킬 수 있어 강도 성능에 문제가 되지 않는 간단한 구조물인 목재와 같은 친환경적 소재를 하천정비사업에 활용할 필요가 있다. 목재로 만든 하상방틀이나 호안방틀은 하천에서의 토합이나 우수흐름에 저항능력을 향상시킬 뿐 아니라 수생 동·식물의 서식처 및 먹이원을 공급하여 친환경적 하천 복원의 수단으로 이용될 수 있다(그림 3. 참조).

목재를 썩히는 부후균류는 대부분이 호기성으로 생육에 적당한 산소가 필요하나, 수중에 잠기는 목재는 산소공급이 원활하지 못하기 때문에 별도의 방부처리를 하지 않아도 잘 썩지 않는다. 이산화탄소의 축적체인 목재를 오랫동안 썩지 않도록 하여 이용하는 것 역시 탄소저장 기술의 하나이며, 이는 목

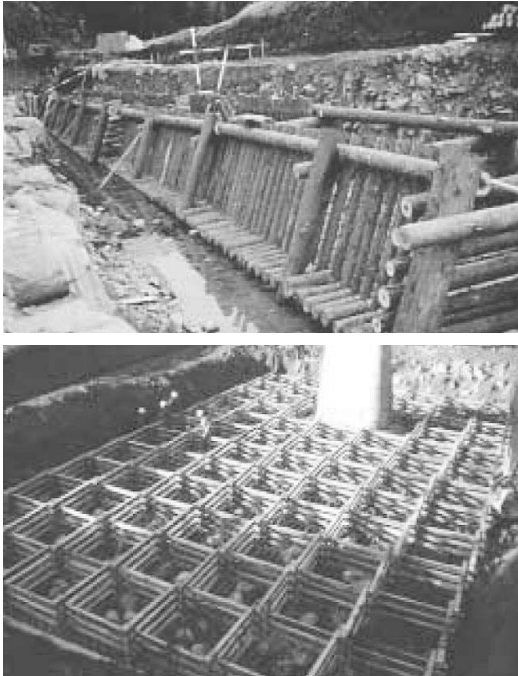


그림 3. 간벌재 활용사례(산림지, 2008)

재 옹벽 및 방틀 등 하천정비사업에 사용될 수 있는 간벌재의 대부분이 땅 또는 수중에 잠긴채로 사용될 수 있기 때문에 별도의 처리 없이 하천의 건전성을 회복하고 장기간 탄소 저장 효과를 얻을 수 있음을 의미한다. 또한 목재 방틀은 간벌재를 대량으로 이용하면서 별도의 목재의 가공, 방부 및 건조 처리가 불필요하므로, 간벌 현장에서 수집된 원목을 현장 제재 후 바로 이용할 수 있어 경제적이며, 별도의 콘크리트 사용없이 현장 수집된 채움돌만으로 시공이 가능하여 환경변화를 최소화 시킬 수 있다.

한편, 국산 간벌재는 댐호소와 같은 정수역에서 어초구조물로 활용될 수 있는데, 인공어초의 기본

적인 특성은 부착생물의 착생이 용이하여 어류에 먹이 제공이 가능한 재질로, 피난 및 산란 장소를 제공하고 외력에 대한 안정성이 확보되어야 한다(사쿠라이, 2006)는 측면에서 간벌재의 활용 가능성이 크다고 할 수 있다. 특히 집중호우와 같은 계절적 영향이나 댐 운영수위 조절과 같은 인위적 영향에 의하여 발생하는 댐호소에서의 호안 사면나대는 수생생물의 수변 산란처를 파괴하여 어족자원의 고갈뿐 아니라 수생태계 교란을 초래할 수 있다. 최근 개발된 복합형 인공어초는 기존의 수평적 서식처 제공방안과는 달리 댐호소에서의 수직적 서식처 제공방안 중 하나로, 크게 부도, 부유형 식재방틀, 하상형 어초방틀로 구성되어 정수식물과 침수·부엽식물의 생장이 가능하고 수생생물의 서식처 및 산란처를 동시에 제공할 수 있다(한국건설기술연구원, 2010). 또한 부도를 제외한 구조물이 상시 수중에 침수되는 구조로 간벌재를 현장 가공(2면제재), 조립 후 시공이 가능하여 목재 가공 단계에서 소요되는 비용(원목 생산원가 대비 약 13배)을 절감할 수 있다(그림 4. 참조).

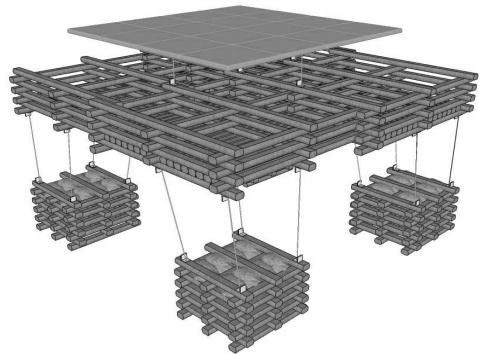


그림 4. 복합형 인공어초 개념도



그림 5. 국산 간벌재를 이용한 토목구조물 시공 사례

또한 국립산림과학원에서는 국산 간벌재를 이용한 토목 구조물 시범단지 조성을 목적으로 강원도 영월군 수주면 법흥리 일원 국유림 계곡 200m 구간에 총 사업비 약 5.2억원 규모로 목재틀골막이, 하상방틀 및 목재옹벽 등을 시공하였다. 이를 통하여 국립산림과학원은 리기다 소나무 등 국산 간벌재의 자연친화적 하천관리 사업에 적용방안을 모색하고 향후 간벌재를 활용한 토목구조물의 홍보 및 학습장으로 활용할 예정이다.

## 5. 결론

간벌재를 하천정비사업 등과 같은 토목용재로 활용하는 것은 친환경 소재로서의 기여도 뿐 아니라 온실가스 삭감 목표의 달성 수단으로 활용될 수 있으며, 처리·가공단계에서 발생하는 비용을 절감하여 목재의 토목용재로서의 경제성을 크게 제고할

수 있다. 또한 간벌재를 보드용 원료용재나 바이오 에너지 원료로 이용하는 것보다는 간벌재의 부가가치를 높여 임업 채산성을 높일 수 있고, 산림 소유자의 산림 정비에 대한 의욕을 북돋아 숲가꾸기 사업이 활성화 될 수 있다. 특히, 하천정비에 간벌재를 사용함으로써 산림생산물에서 최종 폐기물이 없도록 하는 제로에미션을 실현할 수 있어, 하천 생태계를 보호하고 생물다양성이 풍부한 수서공간을 만드는데 간벌재에 거는 기대가 매우 크다. 이를 위해서는 목재 구조물의 안정성 및 경제성에 대한 인식을 제고하고 현재 간벌재의 유통구조를 개선함과 동시에 현장 제재 및 조립 등 가공수율을 높일 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 또한 현재 산림부문의 온실가스 계정 작성 항목에서 목재를 제외한 산림생태계의 탄소저장량 변화만을 평가·보고하는 체계에서 목제품의 일정기간 탄소를 배출하지 않고 저장하는 효과를 온실가스 계정 작성 체계에 포함시키는 노력이 필요할 것으로 판단된다. ☞

## 참고문헌

1. 김상우, 박준철, 이동흡, 손동원, 홍순일 (2008). 국내산 리기다소나무를 이용한 목재 모형 사방댐의 강도 성능 평가 I, 목재공학, 한국목재공학회, 36(6), pp. 77-87.
2. 사쿠라이 요시오 (2006). 하천조성과 서식처 보전
3. 산림청 (2008). 다자연환경 하천만들기(4) 어초용 목재하상방틀
4. 산림청 (2010). 임업통계연보
5. 산림청 (2010). 교토의정서대응 산림탄소계정 기반구축연구
6. 한국건설기술연구원 (2010). 저탄소 녹색성장을 위한 간벌재의 하천정비사업 활용 기술 개발