

최 종
연구보고서

소형 목제 사방댐 개발에 관한 연구

Development of Woody Erosion Control Dam

주관연구기관 : 강원대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “소형 목제 사방댐 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 10월 14일

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 전 근 우

(제1세부과제)

연구기관명 : 강원대학교
세부연구책임자 : 전 근 우

연구원 : 차 두 송, 박 완 근, 염 규 진, 유 종 덕
장 준 근, 송 철 훈, 안 영 상, 서 정 일
문 진 희, 김 석 우, 최 병 구, 김 홍 식

(제2세부과제)

연구기관명 : 강원대학교
협동연구책임자 : 홍 순 일

연구원 : 김 영 숙, 한 태 형, 박 준 철, 권 성 민

(참여기업)

참여기업명 : 세일산림기술사사무소

참여기업책임자 : 유 우 근

연구원 : 홍 순 걸, 최 덕 연, 전 경 업, 이 필 영
이 호

요 약 문

I. 제 목

소형 목제(木製) 사방댐 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

사방댐은 유역조건을 충분히 고려한 후 구조나 규모 및 시공재료를 선택해야 하지만, 최근에는 전체적으로 내용성(耐用性)을 중시하여 콘크리트 주체의 사방댐이 시공되고 있다. 그러나 콘크리트 사방댐은 주변 생태계 및 수질에 나쁜 영향을 미칠 뿐 아니라 경관면에서도 주변환경과 조화되지 못하므로 산지계류의 환경보전기능을 한층 발휘시킬 수 있는 목제 사방댐이 도입되어야 한다.

따라서 목제 사방댐의 외국의 사례분석을 기초로 우리나라 실정에 적합한 공법을 개발하기 위한 종합적 검토를 실시하여 적용기준과 효율적인 시공기술체계를 확립하고, 간벌제 및 소경재의 수요확대를 촉진시키기 위한 연구를 병행하여 안정성은 물론, 다양성, 지속성 및 지역성을 배려한 목제 사방댐을 개발하기 위해 연구를 진행하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 환경친화형 목제 사방댐 개발

- 가. 실태조사 : 목제 사방댐 시공사례 수집 및 분석, 일본에 있어서 하천·사방공사의 목재활용공법 가이드북
- 나. 환경친화적 목제 사방댐 개발 : 모형수로를 이용한 소형 목제 사방댐 개발(무시설시의 계상변동 특성, 저댐군의 배치에 따른 횡단면 변동, 세굴역과 퇴적역 변화, 유출토사량 변화), 소형 목제 사방댐의 배치기수 선정
- 다. 목제 사방댐의 현지적용 : 시공대상지 선정, 시공방법 결정, 제원, 설계, 시공

라. 소형목제사방댐이 계류환경에 미치는 영향 분석 : 강우자료 분석, 정점측량, 계상퇴적물의 특성 조사, 계류수질 분석, 계류생태조사, 식생조사

2. 목제사방댐용 목질재료 개발 및 내구화

가. 낙엽송 원목의 휨강도 성능 평가 : 낙엽송 원목의 MOE 비교, MOE와 MOR과의 관계, 원목의 파괴형상

나. 비파괴 방법을 통한 목재의 결점부위 판별 : 용이와 속도의 관계분석, 파단부위와 속도의 관계분석, 낙엽송재의 파단부위 평가, 파단 부위의 판별

다. 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부 처리성 : 원주상 공시목의 성상 및 활열특성, 원주상 공시목재의 방부처리 특성

라. 인사이징 처리 방부 원주목의 휨강도 성능 평가 : 낙엽송 원목의 가공 상태에 따른 MOE 비교, 원목가공에 따른 MOR 비교, 실측 영계수와 Es와의 관계, 원목 및 원주목의 파괴형상

마. 모형 목제사방댐의 수평 재하시험 : 강봉으로 접합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형, 어닐링 철선으로 접합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형

3. 목제사방댐의 현지 적용방안 개발

가. 목재의 특성을 활용한 사방댐의 채택방법 : 개론, 재질이 시간적으로 변화하는 성질의 활용, 우수한 환경성의 활용, 강도특성의 활용, 시공성의 활용, 경제성 평가

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 실태조사

목재 사방시설은 목재의 고유특성인 「부드럽다」, 「사람과 환경에 조화롭다」라는 점이 콘크리트나 철강재에 비해 우수하지만, 부후에 의한 내구성, 내용년수 등에 약점을 갖고 있다. 최근에 들어 환경을 고려한 사방공법에 대한 요구도가 높아지고 있고, 토목자재의 재활용면에서도 순환형 자재로서 목재가 우수하기 때문에 앞으로 목재의 적극적인 이용확대가 이루어져야 할 것이다.

2. 환경친화적 목재 사방댐 개발

산지계류에서 발생하고 있는 계상변동 기구의 특성을 파악하고, 토석류 대책 수립에 있어서 목재사방댐의 현지적용에 필요한 기초자료를 확보하기 위해 수리모형실험을 통하여 계상물매와 저댐의 방수로 형상 및 토사유입 유무의 차이에 따른 계상변동 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 무시설시 물매에 따른 계상변동은 중단물매가 급할수록 유로의 형태는 단순화하여 직선 형태를 나타내었으며, 세굴심은 증가하였고, 특히 상류로부터 토사가 유입할 경우 토사의 사력이 증가하여 세굴이 증가하였다. 따라서 산지계류에 사방사업을 실시할 때에는 유수만이 유입되는 경우와 토석류가 발생하는 경우를 구분하여 사업을 실시해야 할 것이다.
- 2) 저댐군의 배치시 물매에 따른 횡단면 변동량은 무시설시에 비해 저댐을 2기, 3기, 5기 배치함에 따라 하류의 횡단면 변동량이 감소하여 계상면이 점차 안정화하였다. 따라서 기존의 대형 사방댐에서는 기대할 수 없는 원하상면을 유지하는 저댐군의 준적기능에 의해 하도안정에 매우 효과적인 것으로 나타났다.
- 3) 저댐군의 준적 배치에 따라 세굴역은 점차 축소되고, 퇴적역은 확대되었으며, 유수만 유입하는 경우에는 중단물매가 급할수록 세굴역의 축소와 퇴적역의 확대에 효과적이었다. 또한 유수와 토사를 혼입한 중단물매 6%와 10%의 경우에는 모두 세굴역의 축소와 퇴적역의 확대에 효과적인 것으로 나타났다.
- 4) 저댐군의 배치시 물매에 따른 유출토사량 변화는 무시설시에 비해 저댐군을 배치함에 따라 감소하였으나, 2기 배치 이후에는 뚜렷한 증감현상이 나타나지 않았고, 중단물매 6%와 10% 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

5) 저댐군의 현지적용에 있어 효율적인 치산대책을 수립하기 위한 저댐군 배치기수를 파악하기 위해 하상변동량을 분석한 결과, 종단물매 6%의 경우 저댐 2기를 배치한 경우와 3기 및 전구간 배치 시에 거의 변화가 없는 것으로 나타나 2기 배치가 가장 효율적인 것으로 나타났으며, 종단물매 10%의 경우는 3기를 배치하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.

3. 목제 사방댐의 현지적용

강원대학교 학술림 내의 산지계류에 소형목제사방댐을 유기적으로 시공하여 기초지반조건이 나쁜 구간의 하도고정효과와 수질보전과 수서곤충, 어류 등 계류생태계의 유지기술 및 강우 시의 토사 이동량을 조사, 연구하고자 공사를 시행하였다.

현지에 시공된 사방댐은 일본잎갈나무 간벌재를 이용하여 제작한 목제사방댐으로 내부는 현지에서 구득한 전석을 충전하였으며, 목제사방댐 방수로의 천단과 계상이 동일한 높이를 가진 바닥막이 형식의 저댐으로서 3기를 계통적으로 시공하였다. 각 목제사방댐의 제원은 다음과 같다.

No.	댐			방수로		
	상장(m)	하장(m)	전고(m)	상장(m)	하장(m)	깊이(m)
1	14.00	9.00	1.60	6.88	4.96	0.96
2	13.00	7.00	1.60	6.88	4.96	0.96
3	17.00	11.00	1.92	8.96	7.04	0.96



〈각 지점에 시공된 소형목제사방댐 : 위로부터 소형목제사방댐 1, 2, 3〉

4. 소형목제사방댐이 계류환경에 미치는 영향 분석

일부 구간에서는 목제사방댐에 의해 분산·퇴적되어 있던 토석이 하류로 이동하여 소규모의 계상변동이 발생하기도 하였지만, 목제사방댐의 직하부 및 직상부에서는 계상변동이 거의 발생하지 않았다. 이는 소형목제사방댐의 계통적 시공에 의한 하도고

정효과에 기인한 것으로 현 계상유지에 3기의 소형목제사방댐이 효과적으로 작용한 것으로 판단된다.

목제사방댐 1과 2에 비해 하류의 목제사방댐 3 직상부의 계상퇴적물이 세립자를 많이 포함한 것으로 나타났고, 평균입경도 매우 작은 것으로 나타났다. 이는 계통적으로 시공된 목제사방댐 중 상류에 시공된 2기의 목제사방댐에 의해 이동·분산·퇴적·재이동의 과정을 거치면서 비교적 큰 입자의 계상재료가 퇴적하여 최하류의 목제사방댐 3의 직상부에는 상대적으로 세립질의 계상재료가 퇴적된 것으로 판단된다.

목제사방댐이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해 4회에 걸쳐 pH, EC 및 SS 등을 분석하였다. 분석결과, 목제사방댐은 계류수의 pH와 EC 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 부유물질농도는 123.0mm의 강우가 발생한 6월 27일에는 비교적 높게 나타났으나, 그 외의 부유물질농도는 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 이내였고, 지점별로도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

산지계류에 분포하는 수서곤충의 종류와 서식조건에 대한 기초자료를 파악하기 위해 매년 4월부터 9월까지 현지조사를 실시한 결과, 수서곤충의 생식조건이 다르기 때문에 지점별로는 개체수, 종다양도, 종풍부도에 큰 차이가 있는 것으로 나타났으나, 년도별로는 크게 차이가 나타나지 않아 목제사방댐의 시공이 수서곤충의 생육에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.

5. 낙엽송 원목의 휨강도 성능 평가

임업분야에서 구조용 목재의 기계적 특성을 평가하는데 여러 가지 비파괴 기술이 사용되고 있다. 초음파와 종진동의 고유진동수를 이용한 방법은 목재의 영계수를 평가하는데 사용된다. 본 연구의 목적은 이런 방법을 통하여 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 소경재 원목의 영계수와 파괴계수를 평가하는데 있다. 본 연구에서는 50본의 소경재 원목을 비파괴 방법으로 평가하였다. 첫 번째로 각각의 원목을 초음파의 통과속도를 이용한 동적 영계수(Eu)를 측정하였다. 초음파 시험 후 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수(Ev)를 측정하였고, 정적 휨강도 시험을 통해 원목들의 실측 영계수(Es)와 파괴계수를 측정하였다. 일반적으로 동적 영계수(Ev)와 실측 영계수는 높은 상관관계를 나타냈다. 실험 결과를 기초하여 낙엽송 소경재 원목의 경우 초음파와 종진동의 고유진동수를 이용한 방법으로 성공적인 평가가 가능하다고 결정할 수 있었다. 실험결과 초음파를 이용한 방법의 측정은 용이의 빈도에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있었다.

6. 비파괴 방법을 통한 목재의 결점부위 판별

초음파의 좋은 직진성과 속도는 목재의 결점과 품질을 판별하는데 좋다. 초음파는 재료의 길이에 제약을 받지 않고 온도변화에도 비교적 일정하다. 그러므로 초음파는 일반적으로 비파괴검사에 사용된다.

본 연구에서는 비파괴방법으로 목재의 결점을 판별하였다. 초음파의 통과속도는 무결점재와 비교해보면 많은 결점 부위에서 느려지는 경향을 보였다. 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 용이 크기가 증가할수록 초음파의 속도는 감소하였다.
- 2) 초음파가 목재의 파단부위를 통과할 때에는 속도가 감소하였다. 하지만, 초음파가 파단부위를 직접통과하지 않으면 파단부위를 판별하지 못하였다.
- 3) 목재의 파단부위 측정방법은 T4방법이 가장 좋았다. 하지만, 파단부위 부분 이외의 다른 부분에서는 파단을 판별하지 못하였다. T3방법은 T4보다 넓은 범위로 측정이 가능하였다. 그러므로, 우선 T3방법으로 목재내의 파단여부를 판별한 후, T4방법으로 정밀한 측정을 하면 정확한 파단부위를 판별할 수 있다.

7. 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부 처리성

국산목재시장에서 유통되는 낙엽송 원주상 소경목(직경 10cm 정도)의 목재 특성(연륜 특성, 심·변재 분포, 활열 분포 등)이 ACQ와 CCA의 처리특성에 미치는 영향에 대하여 조사, 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 시장에 유통되는 낙엽송 원주상 소경목은 약 13~16, 17~20개의 연륜수를 갖는 빈도가 가장 높았으며, 2~3과 4~5mm의 연륜폭을 갖는 원목의 빈도가 높은 것으로 나타났다. 원주상 소경목의 재면에 심, 변재가 혼재되어 나타나는 비율은 전체 공시목의 54%였으며, 나머지는 심재만이 재면에 노출된 것으로 밝혀졌다. 또한 원주 상 소경목에 발생하는 활열 수는 재면에 1~6개, 목구면에 1~4개의 빈도가 가장 높았으며, 활열의 크기는 재면에서 1~14mm, 목구면에서는 8~14mm의 빈도가 가장 높았다. 가압처리 결과, 재면에 심·변재가 혼재되어 나타날 때에는 방사방향의 평균침투도는 ACQ에서 $4.3 \pm 4.19\text{mm}$, CCA에서 $8.5 \pm 4.98\text{mm}$ 로 침투도에 변이가 심한 것으로 나타났다. 그러나 심재의 경우에는 ACQ에서 1.3mm, CCA에서 $1.1 \pm \text{mm}$ 로 매우 작은 침투도를 나타내 두 약제 모두 산림청 고시 사용환경 H3기준에 미달되는 결과를 나타냈다. 심재에 대해 인사이징 처리하고 가압 처리 하였을 때 인사이징 부위의 접선방향 침투도는 ACQ의 경우 약 0.7mm, CCA는 약 0.6mm로 두 약제 모두 인사이징의 침투도 개선 효과가 매우 낮은 결과를

보였다. 한편 심재에서 연륜수가 많을수록 약제의 평균 흡수량은 증가하는 경향을 보였으며 연륜수와 평균 흡수량 간에 상관관계가 인정되었다($r=0.5345$). 재면에 심재만이 노출된 경우에는 목구면과 재면의 할열수 및 할렬크기와 흡수량 사이에 상관계수가 각각 $r=0.1301$ 과 $r=0.1802$ 로 모두 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

8. 인사이징 처리 방부 원주목의 휨강도 성능 평가

원주가공에 따른 영계수는 원목상태에서 원주목으로 가공하였을 때에는 영계수의 차이가 크지 않았다. 그러나 인사이징 방부처리를 하였을 때에는 약 $20,000\text{kgf/cm}^2$ 정도 감소하였다. 휨강도시험을 통한 MOR을 비교해보면 원목의 MOR에 비해 원주목은 강도비 1.08배로 큰 차이를 나타내지 않았으나 인사이징 처리목의 강도비는 0.77로 약 23%정도 강도가 감소하였다. 파괴형상을 보면 인장응력을 받는 하단부위에서 파단이 시작되어 섬유주향을 따라 파단이 진행되었다. 특히, 용이를 포함하거나 용이의 직경이 클 경우 파단이 용이부터 시작되어 용이가 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

9. 모형 목재사방댐의 수평재하시험

강봉으로 접합된 사방댐 Type A와 Type B의 일정한 하중에 따른 변형을 화상처리를 통해 분석하여 본 결과, Type A, B 모두 하층부분보다 상층부분에서 변형이 크게 일어났다. Type A의 사방댐이 Type B 보다 상층부분은 1.55배, 하층부분은 2.58배의 변형을 보였다.

어닐링 철선으로 접합된 사방댐은 Type I 과 Type III은 동일하중에 비슷한 변형을 보였다. 그러나 중간부와 하단부의 종목 배열이 다른 Type II는 Type I 과 Type III에 비하여 변형이 0.5 배였다. 어닐링 철선 사방댐 역시 하중을 받는 상단부가 하단부보다 변형이 컸다.

사방댐의 하층부분보다 상층부분에서의 변형이 크게 일어나므로 하중의 영향을 받는 상층부분의 보강재 사용이 요구되어진다. 또한, 기초부분이 사방댐의 큰 역할을 하므로 기초부분의 보강도 필요하다. 접합구에 따른 강도를 비교해보면 강봉으로 접합된 사방댐이 어닐링 철선으로 접합된 사방댐보다 강도가 높았다. 그러나 강봉을 이용하는 방법은 사방댐 건설시 작업이 어려운 단점이 있어 강하면서 작업이 쉬운 횡목, 종목 부위의 접합구의 개발이 필요하다.

10. 목재의 특성을 활용한 사방댐의 채택방법

사방댐에 「목재」를 적극적으로 활용하기 위해 파악해야 할 목재 고유의 특성 중에서 특히 중요한 것은 ① 재질이 시간적으로 변화하는 성질, ② 우수한 환경성, ③ 강도 특성, ④ 시공성, ⑤ 경제성 등이다.

목제사방댐의 계획은 ① 채택 목적의 명확화(계획구상 만들기), ② 1차 선정(환경특성 평가), ③ 2차 선정(환경 이외의 특성 평가), ④ 채택할 목제사방댐 추출(목재특성을 살린 공법의 추출)의 순으로 진행하며, 구조물의 수면이나 산지계류의 변화에 대응한 관리를 해야 한다. 또한 앞으로는 목제사방댐의 계획에 주민이 참가하도록 해야 하며, 지역의 어린이들이 계류에 친숙해질 수 있도록, 그리고 학습장소로 활용할 수 있도록 해야 한다.

한편, 대한건설협회가 발표(2003. 9. 1.)한 인부임, 사방사업 단비표(산림청), 건설품셈 및 2003년 9월호 가격 정보지, 물가자료지와 시중가격 조사 단가를 적용한 결과 소형목제사방댐의 총사업비는 22,261,000원이었다.

SUMMARY

1. Research on the actual condition

Woody erosion control construction is soft and environment-friendly compared with concrete and steel, but it has weakness such as wood decay, life and so on. Recently, environment-friendly erosion control works is demand, and wood is excellent as cycle materials in recycling of construction materials, therefore wood use must be expand actively.

2. Hydraulic Model Experiment for development of environment-friendly woody erosion control dam

Sediment-related disasters caused by heavy rain, such as landslide, debris flow and so on, have happened every year, and the structured soil and the water conservation measures to secure life space are in demand, because the activity of human extends to the hazardous area in forest watershed where the sediment-related disasters occur. Especially, before the erosion control facilities are installed to prevent the sediment-related disasters, the microtopography of channel bed and the channel bed fixation by erosion control facilities must be predicted, and the effects of erosion control dam on channel bed fluctuation analyzed.

For this purpose, the effects of channel bed gradient, the outlet shape of low-dam and the existence of sediment inflow on channel bed fluctuation were analyzed with hydraulic model experiment. The results of this study are summarized as follows ;

- 1) When no facilities were installed, the deflection of discharge occurred more rapidly at upstream in 10% gradient, the scour depth increased as the degree of discharge concentration increased, and the channel shape was simple and straight.
- 2) Fluctuation area in cross-section by construction of low-dams is,
 - ① If only water was supplied into 104cm² of outlet at 6% gradient, the construction of 2, 3 and 5 of low-dam decreased the fluctuation area to

1/26, 1/8 and 1/9, respectively, than no facilities were installed. If water and inflow sediment were supplied, decreased to 1/13, 1/36 and 1/40, respectively.

② If only water was supplied into 200cm² of outlet at 6% gradient, the construction of 2, 3 and 5 of low-dam decreased the fluctuation area to 1/10, 1/9 and 1/18, respectively, than no facilities were installed, If water and inflow sediment were supplied, decreased to 1/14, 1/24 and 1/36, respectively.

③ If only water was into 104cm² of outlet at 10% gradient, the construction of 2, 3 and 5 of low-dam decreased the fluctuation area to 1/3, 1/23 and 1/14, respectively, than no facilities were installed, If water and inflow sediment were supplied, decreased to 1/6, 1/20 and 1/5, respectively.

④ If only water was supplied into 200cm² of outlet at 10% gradient, the construction of 2, 3 and 5 of low-dam decreased the fluctuation area to 1/4, 1/5 and 1/15, respectively, than no facilities were installed, If water and inflow sediment were supplied, decreased to 1/3, 1/14 and 1/31, respectively.

3) Scour area and deposit area variations by construction of low-dams are,

① If only water was supplied into 104cm² of outlet at 10% gradient, it was more effective on the reduction of scour area and the widening of deposit area.

② If only water was supplied into 200cm² of outlet at 10% gradient, it was more effective on the reduction of scour area and the widening of deposit area.

③ If water and inflow sediment were supplied into 104cm² of outlet, the reduction of scour area and the widening of deposit area in 10% gradient were similar to those in 6% gradient. It was most effective when the low-dams were constructed over the whole channel bed ($L'/L=1$).

④ If water and inflow sediment were supplied into 200cm² of outlet, the reduction of scour area and the increase of deposit area in 10% gradient were similar to those in 6% gradient. It was most effective when the 3

low-dams were constructed($L'/L=3/5$).

4) Sediment yield variations by construction of 2, 3 and 5 of low-dams are,

- ① If only water was supplied into 104cm² of outlet, the construction of 2, 3 and 5 of low-dams decreased the sediment yield to 1/20, 1/11 and 1/40, respectively, in 6% gradient than no facilities were installed, and 1/9, 1/18 and 1/54, respectively, in 10% gradient.
- ② If only water was supplied into 200cm² of outlet, the construction of 2, 3 and 5 of low-dams decreased the sediment yield to 1/17, 1/24 and 1/38, respectively, in 6% gradient than no facilities were installed, and 1/7, 1/20, 1/48, respectively, in 10% gradient.
- ③ If water and inflow sediment were supplied into 104cm² of outlet, the construction of 2, 3 and 5 of low-dams decreased the sediment yield to 1/26, 1/28 and 1/41, respectively, in 6% gradient than no facilities were installed, and 1/9, 1/19 and 1/52, respectively, in 10% gradient.
- ④ If water and inflow sediment were supplied into 200cm² of outlet, the construction of 2, 3 and 5 of low-dams decreased the sediment yield to 1/22, 1/24 and 1/74, respectively, in 6% gradient than no facilities were installed, and 1/8, 1/15 and 1/59, respectively, in 10% gradient.

3. Field application of woody erosion control dam

Small woody erosion control dam was constructed in mountainous stream, Experimental Forest, Kangwon National University for analysing influences of it on stream bed fixation and stream environment.

The dam is made of thinned logs of *Larix leptolepis* and it is low-dam series with a groundsels shape, three of low-dam was constructed methodically. The standard of each woody erosion control dam is as follows.

No.	Dam			Outlet		
	Upper strength(m)	Lower strength(m)	Height(m)	Upper strength(m)	Lower strength(m)	Depth(m)
1	14.00	9.00	1.60	6.88	4.96	0.96
2	13.00	7.00	1.60	6.88	4.96	0.96
3	17.00	11.00	1.92	8.96	7.04	0.96

4. Influences of woody erosion control dam on stream environment

This research was conducted to investigate influences of woody erosion control dam on stream bed fluctuation, stream water qualities and aquatic insects. The results of this research were summarized as follows; Woody erosion control dam was effective on stream bed fixation and pH, conductivity and suspended solids were not affected much by woody erosion control dam. Also, aquatic insects was not affected by construction of woody erosion control.

5. Bending strength assessment of Larix logs by nondestructive evaluation techniques

In forest products industry, a variety of nondestructive evaluation techniques are now being used to assess the mechanical properties of structural lumber. Ultrasonic and longitudinal vibration technique are frequently used to assess the modulus of elasticity(MOE) of lumber. The objective of this research was to evaluate the MOE and modulus of rupture(MOR) of small-diameter of Larix log(*Larix kaempferi* Carr.), using these techniques. In this study, 50 small-diameter logs were nondestructively evaluated. The dynamic modulus of elasticity(E_v) of the logs was first evaluated, using an ultrasonic method. After ultrasonic tests, the logs were measured using a longitudinal vibration technique(E_v). Static bending test was then performed on the logs to obtain the static modulus of elasticity(E_s) and modulus of rupture of these logs. In general, the dynamic MOE (E_v) of logs was closely correlated with the static MOE for log. Based on the results of these experiments, it can be concluded that small-diameter Larix logs can be successfully evaluated by Ultrasonic and longitudinal vibration technique. The experimental results indicated that the ultrasonic technique is effective to the log, which contains many knots. The longitudinal vibration technique is effective to the log, in which many cracks are included.

6. Determination of localized defects in wood by the transfer time of ultrasonic digital

The characteristics of ultrasonic wave are that the directivity is good, and the speed is constant if the quality of the lumber is same but is changed, if different. The ultrasonic wave transmits to a long distance in material and keeps a constant speed, even though temperature is changed. Therefore, the ultrasonic wave is generally used in the non-destruction test.

In this study the wood defects were investigated with the non-destruction test internal. The passing speed of ultrasonic wave in material is delayed by many different parts, and then compared with those in sound wood.

The experiment results are as follows;

- 1) The speeds of ultrasonic wave decrease, as the knot sizes increase.
- 2) When the ultrasonic wave passes the ruptured part of wood, the speeds decrease. However, the ruptured part can not be detected by the pundit, if the rupture was formed in the same direction as the ultrasonic wave passes.
- 3) T4 is the best in methods, which detect the ruptured part in wood. But there is a disadvantage that it can examine only the limited area like the rupture. T3 can examine a large area, differently from T4. therefore, T3 was used to detect the rupture in wood and then T4 to detect the exact place of the ruptured part.

7. Effects of Post Individualities on Treatability of Small Diameter Japanese Larch (*Larix leptolepis*) with ACQ and CCA

This study investigated how wood properties (i.e., annual rings, sapwood, heartwood, and cracks) might affect preservative treatment in Japanese larch (*Larix leptolepis*) round-wood product. We specially focused on small-diameter (~ 10 cm diameter) wood that is commercially sold in market. Among 100 wood samples, the groups of sample with 13-16, 17~20 annual rings represented 33 and 27 in each frequency, while 2~3 and 4~5 mm annual ring width accounted for 72 and 68 in frequency. More than a half (54%) of wood samples contained a mix of heartwood and sapwood in its surface. The rest (46%) had only heartwood exposed in the wood surface. A wide range of checks were showed in the wood samples, but the highest frequency was observed in samples with 1-6 surface

(1-14 mm in size) and 1-4 end-grain (8-14 mm in size) checks in each round-wood sample. Pressure treatment resulted in a wide range of penetration of ACQ into the wood, showing 4.3 ± 4.19 mm penetration in the wood samples contained a mix of heartwood and sapwood in its surface. However preservative treatment was much less effective for the heartwood only wood samples, ranging average 1.3 mm with ACQ and 1.1 mm with CCA. These penetration results shown in heartwood samples did not meet the penetration standard that is required for H3 by the Korean Forest Service in relation to wood preservation treatment. These low penetration results were not significantly improved even if we incised wood samples to improve treatment effect, showing only small increase of 0.7 mm with ACQ and 0.6 mm with CCA. When preservative treatment was tested with heartwood, penetration of preservatives decrease with increase of annual rings per a cross-section area ($r=0.5345$). We also found that the length and number of check had no effect on preservative treatment, showing $r=0.1301$ and $r=0.1802$, respectively.

8. Bending strength assessment of incising treated Larix peeled logs

MOE by peeled is not much different, when logs was processed into peeled logs. However, MOE decreases by 20,000 kgf/cm, when preserved by incising treated logs. If comparing MOR through bending test, MOR of logs is 1.08 and there is not much difference. but MOR of incising treated logs is 0.77 and the strength decreases by about 23%. In rupture starts at the lower part to which tensile strength was given and progresses following the grain. Expecially, when knot is included or the diameter of knot is large, rupture starts at knot. It is known that knot affects strength much. Therefore, it is necessary to complement the decrease of strength in incising treatment.

9. Deformation behavior of model log check dam with horizontal loading test

When deformation caused by constant load in the wood check dam Type A and Type B connected with an iron bar was analyzed with picture processing, upper part is deformed more. The log check dam Type A is deformed 1.55 times more

at the upper part and 2.58 at the lower than the wood check dam Type B is. In the log check dam connected with annealing wire Type I and Type III show the similar deformation at the same load. However, Type II which is different in stretcher combination at the middle and lower part shows 0.5 times lower strength, compared to that of Type I and Type III. If Type I was compared with Type III, the difference of deformation is not much, and stone does not affect deformation much.

Because in the log check dam the deformation occurs more at the upper part than at the lower, support member must be used at the upper part. Also, the base part is important in the log check dam and must be strengthened. If comparing strength according to connector, the wood check dam connected with an iron bar is stronger than that with annealing wire. However, because it is difficult to construct the log check dam is necessary to develop connector of header and stretcher which are strong and easy to work.

10. Adoption method of erosion control dam using wood characteristics

The most important thing of wood characteristics in use of wood on erosion control dam are ① properties of change by time, ② good environmental property, ③ strength properties, ④ workability, ⑤ economic efficiency and so on.

The plan of woody erosion control dam carry out in order of ① clarification of adoption purpose, ② first selection(assessment of environmental characteristics), ③ second selection(assessment except environmental characteristics), ④ extraction of woody erosion control dam, and it must manage in consideration of water surface of structure or change of mountainous stream. Also, plan of woody erosion control dam must be familiar with resident's life. Meanwhile total working expenses of woody erosion control dam was ₩22,261,000won.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the research	22
Chapter 2. Technological Innovation Present Condition of Korea and Foreign Nation	27
Chapter 3. Scope and Result of the Study and Development	30
Para. 1. Research on the actual condition	30
Para. 2. Development of environment-friendly woody erosion control dam	58
Para. 3. Field application of woody erosion control dam	90
Para. 4. Influences of small woody erosion control dam on stream environment	101
Para. 5. Bending strength assessment of Larix logs by nondestructive evaluation techniques	143
Para. 6. Determination of localized defects in wood by the transfer time of ultrasonic digital	154
Para. 7. Effects of Post Individualities on Treatability of Small Diameter Japanese Larch(<i>Larix leptolepis</i>) with ACQ and CCA	175
Para. 8. Bending strength assessment of incising treated Larix peeled logs	184
Para. 9. Deformation behavior of model log check dam with horizontal loading test	198

Para. 10. Development of field application of woody erosion control dam	225
Chapter 4. Goal attainment and contribution to related area	264
Chapter 5. Application plan of study result	268
Chapter 6. Science technology knowledge in study course	270
Chapter 7. References	294

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	22
제2장 국내외 기술개발 현황	27
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	30
제1절 실태조사	30
1. 목제 사방댐 시공사례 수집 및 분석	30
2. 일본에 있어서 하천·사방공사의 목재활용공법 가이드북	48
제2절 환경친화적 목제 사방댐 개발	58
1. 모형수로를 이용한 소형 목제 사방댐 개발	58
2. 무시설시의 계상변동 특성	63
3. 저댐군의 배치에 따른 횡단면 변동	65
4. 세굴역과 퇴적역 변화	78
5. 유출토사량 변화	83
6. 소형 목제 사방댐의 배치기수 선정	86
제3절 목제 사방댐의 현지적용	90
1. 시공대상지 선정	90
2. 시공방법 결정	94
3. 제원	95
4. 시공	95
5. 설계	97
제4절 소형목제사방댐이 계류환경에 미치는 영향 분석	101
1. 연구방법	101
2. 강우특성	107
3. 정점측량에 의한 계상변동 파악	111

4. 계상퇴적물의 입경분포 특성	120
5. 계류수질 분석	122
6. 계류생태 조사	124
7. 식생조사	127
제5절 낙엽송 원목의 휨강도 성능 평가	143
1. 낙엽송 원목의 MOE 비교	147
2. MOE와 MOR과의 관계	149
3. 원목의 파괴형상	151
제6절 비파괴 방법을 통한 목재의 결점부위 판별	154
1. 용이와 속도의 관계분석	157
2. 파단부위와 속도의 관계분석	160
3. 낙엽송재의 파단부위 평가	162
4. 파단 부위의 판별	167
제7절 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부 처리성	175
1. 원주상 공시목의 성상 및 할열특성	177
2. 원주상 공시목재의 방부처리 특성	180
제8절 인사이징 처리 방부 원주목의 휨강도 성능 평가	184
1. 낙엽송 원목의 가공 상태에 따른 MOE 비교	188
2. 원목가공에 따른 MOR 비교	189
3. 실축 영계수와 Es와의 관계	190
4. 원목 및 원주목의 파괴형상	191
제9절 모형 목제사방댐의 수평 재하시험	198
1. 강봉으로 접합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형	213
2. 어닐링 철선으로 접합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형	218
제10절 목제 사방댐의 현지 적용방안 개발	225
1. 목재의 특성을 활용한 사방댐의 채택방법	225
2. 목제사방댐의 계획	236

3. 목제사방댐의 관리	246
4. 각 공정별 기본 공사비 산출	250
5. 설계도면 작성	262
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	264
제5장 연구개발결과의 활용계획	268
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	270
제7장 참고문헌	294

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

산지에서 진행되고 있는 지속적인 개발에 의한 지형개변은 토사유출을 증대시키고 있으며, 도시화와 산업화에 의해 개발행위가 산지주변부까지 진행되므로 산지 내에서 이루어지는 지질학적 자연침식이 토사재해화하고 있다. 따라서 종래의 가옥이나 공공시설을 보전하는 국소적 방재대책보다는 면적(面的)인 측면에서 유역전체를 보전하는 사방대책이 강하게 요구되고 있으며, 사방댐은 산지계류를 면적으로 보전하는데 반듯이 필요한 보전시설이다.

한편 사방댐을 시공하기 위해서는 유역조건을 고려하여 구조나 규모 및 시공재료를의 선택하는 것이 중요하나, 최근에는 내용성(耐用性)을 중시하여 콘크리트 주체의 사방댐이 주로 도입되고 있다. 그러나 콘크리트사방댐은 주변 생태계 및 수질에 나쁜 영향을 미칠 뿐 아니라 경관면에서도 주변환경과 조화되지 못한다는 비판이 제기되고 있으므로 산지계류의 환경보전기능을 한층 발휘시킬 수 있는 목제사방댐이 적극적으로 도입되도록 국내·외에서 시공되고 있는 연구 및 시공사례를 모니터링하고, 우리나라 유역조건에 적합한 구조와 규모에 대한 연구가 진행되어야 한다.

따라서 목제사방댐의 외국의 사례분석을 기초로 우리나라 실정에 적합한 공법을 개발하기 위한 종합적 검토를 실시하여 적용기준과 효율적인 시공기술체계를 확립하고, 간벌재 및 소경재의 수요확대를 촉진시키기 위한 연구를 진행해야 하며, 이를 위해서는 안정성은 물론이고, 다양성, 지속성 및 지역성을 배려한 목제사방댐이 개발될 필요가 있다.

1. 기술적 측면

- 최근의 사방댐은 안정성을 강조하여 콘크리트를 주체로 시공되고 있으나, 앞으로의 사방기술은 안정성과 함께 환경보전이 강하게 요구되므로 목제사방댐을 개발할 필요가 있다.
- 목제사방댐은 유기적으로 시공할 경우, 계상물매가 비교적 완만한 소계류나 기초

지반조건이 나쁜 구간의 하도고정에 효과적이며, 특히 수질보전과 수서곤충, 어류 등의 계류 생태계의 유지기술 확립이 필요하다.

- 목재는 콘크리트에 비해 강도나 내구성이 떨어지나 공작물이 시공목적이나 현지 조건을 감안하여 시공적부를 검토하면, 가공성이 우수할 뿐 아니라 시공이 용이하고, 특히 유기물 특유의 부드러움을 지닌 재료이기 때문에 수경보전지역에서는 반듯이 필요한 시공재료이다.
- 목제사방댐과 같이 하도의 유수이동에 방해가 되는 하상재료를 충전하여 불안정한 유수처리와 하도정비를 실시할 수 있는 공법개발이 필요하다.

2. 경제·산업적 측면

- 목제사방댐은 우리나라에서 생산되는 목재, 특히 간벌재와 소경재의 부가가치를 높여 산주의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 주변 삼림의 간벌을 촉진시켜 삼림 관리에 기여하게 된다.
- 목제사방댐은 콘크리트사방댐에 비해 시공 단가가 저렴하고, 시공기간이 짧을 뿐만 아니라 레미콘 등과 같이 대형기계류의 이동을 위한 접근로의 요구도가 낮으므로 시공비용 및 효율면에서 유리하다.
- 목제사방댐은 콘크리트사방댐의 개설에 따른 경관손상, 수질오염, 자연과의 접촉 기회 상실, 계류 생태계의 파괴 등이 적어 국민의 친수행위를 증대시키므로써 산지내의 레크리에이션 산업의 다양화에 의한 주민소득 향상에 기여한다.

3. 사회·문화적 측면

- 최근에 산지내에서 이루어지고 있는 콘크리트를 중심으로 하는 각종 산림토목사업에 대한 비판에 대해 목제사방댐이 대안이 될 수 있다.
- 목제사방댐은 다른 재료를 사용한 공법에 비해 심미성이 뛰어나고, 주변의 삼림에 잘 어울리는 공법이기 때문에 경관보전을 요구하는 장소에 시공할 경우 산림토목사업에 의한 심리적 이질감을 해소할 수 있다.
- 목제사방댐에 의해 계류 생태계가 유지되면, 국민의 친수행위를 증진시켜 산지계류가 제공하는 레크리에이션 기능을 증진하는 데에 크게 기여할 수 있게 된다.

제2절 연구범위 및 연구설계

1. 실태조사

- 국·내외의 목제사방댐 시공사례 수집 및 분석 : 현장사진, 구조도, 표준도, 설계 단가표, 경비명세표 등을 수집·분석하여 우리 나라 실정에 적합한 방안을 마련한다.
- 국내·외 사방관련 연구자 및 실무자 초청 자문 : 국내의 사방관련 대학교수, 산림청, 임업연구원, 각도 사방담당 공무원 및 산림조합 토목관련 종사자 등을 초청하여 자문을 받으며, 특히 일본사방학회 회장인 북해도대학의 아라야교수와 긴밀한 협조체제를 유지한다.

2. 연구대상지 선정 및 계류생태계 조사

- 목제사방댐 설치예정지 선정 : 강원대학교 산림과학대학 부속연습림내에 목제사방댐의 설치장소를 현지답사를 통해 선정한다.
- 하도특성 및 계류생태계 파악 : 목제사방댐 설치에 따른 하상변동 및 계류생태계의 변화과정을 파악하기 위해 설치 전·후의 하도의 종·횡단면도 및 평면도를 작성하고, 수목연대학에 의해 계상퇴적지를 해석한다. 또한 목제사방댐이 계류생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 설치 전·후의 수서곤충의 종류, 종수 및 개체수를 파악한다.

3. 목제사방댐 개발

- 모형수로 제작 : 연구대상 산지계류의 목제사방댐 설치구간을 중심으로 하도특성을 일정 축척의 모형수로를 제작하여 수리실험을 실시한다.
- 모형 목제사방댐 효과분석 : 목제사방댐의 크기, 형상, 위치 및 시공순위 등이 하상변동량, 유로변화 및 퇴적역 확대 등에 미치는 영향을 파악하기 위한 수리실험을 실시한다.
- 목제사방댐 개발 및 안정성 검토 : 모형실험에 근거하여 목제사방댐 개발하고, 댐의 안정성(전도에 대한 안정, 활동에 대한 안정, 제체의 파괴에 대한 안정, 기초지반의 지지력에 대한 안정)을 검토한다.
- 목제사방댐 현지적용 조사 : 현지적용 상황조사를 실시하고, 설계적산, 설계 실태에 대한 대비검토를 실시한다.

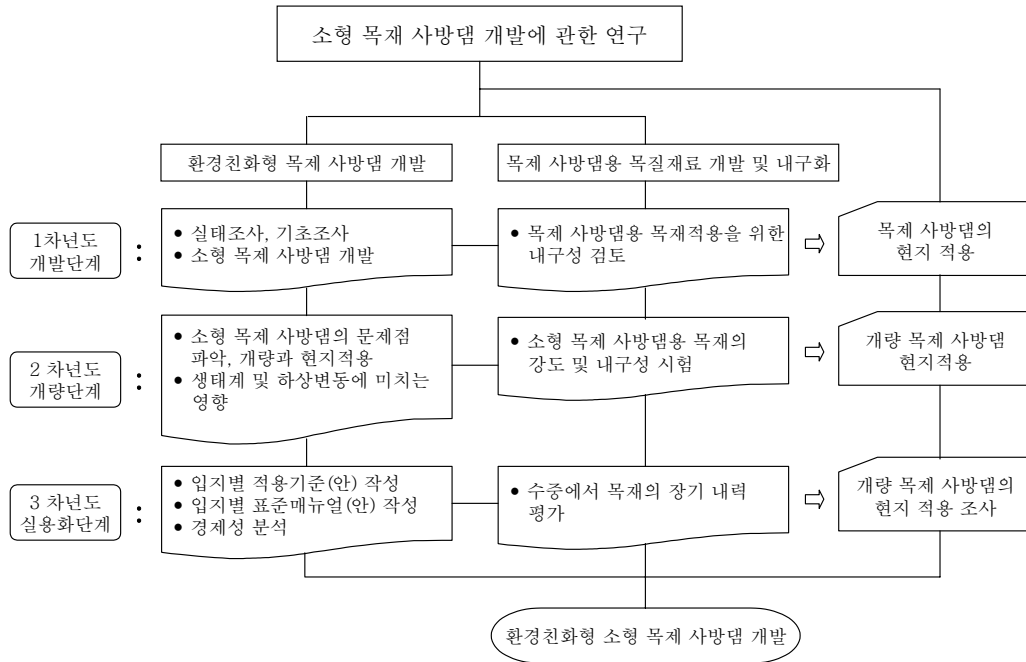
4. 목제사방댐용 목질재료 개발 및 내구화 연구

- 내구성 파악 : 수종 및 재종별 강도 비교평가와 기계적 등급구분을 통한 사용부재의 신뢰성 확보방안과 환경친화적인 목재의 형상의 한계(통직성)를 극복할 수 있는 다양한 곡선부재의 제작과 성능을 평가한다. 또한 현장에서 댐 건설시 목재부재의 접합방법 개발 및 구조내력시험을 실시한다. 수중에서의 목재의 장기 내력평가 및 비파괴 방법에 의한 사방댐 목재부재의 열화 진단방법 검토하여 지속적인 관리가 가능토록 한다.
- 목제 사방댐용 목재의 부후균 및 수중미생물에 대한 저항성 시험을 통하여 재료의 열화가능성을 예측하여 내구화기술의 기초자료로 사용하고, 대상목재의 수종 및 재종별 약제 처리성 및 적정방부기술을 구명하여 최적의 내구화 기술을 도출하도록 한다.

5. 목제사방댐의 적용기준(안)과 표준매뉴얼(안) 작성 및 경제성 분석

- 재료표와 각종 도면작성 : 규격, 단재적, 수량, 재적의 재료표와 정면도, 단면도, 측면도 등의 도면을 작성한다.
- 적용기준(안) 작성 : 목적(기획·조사, 계획·설계, 시공, 관리)에 관계하는 기술적 내용을 정리), 적용범위(하천미지형과 하상재료 등을 참조하여 결정) 및 구성(총론편, 시공기반정비기술편, 상세기술자료편)에 대하여 작성한다.
- 목제사방댐 표준매뉴얼(안) 작성 : 적용기준(안)에 근거하여 목제사방댐의 설계·시공표준 매뉴얼(안) 작성한다. 즉 기초조사(분류, 위치, 높이, 방향, 구조, 퇴사량 및 단면 계산), 설계(설계의 전제, 설계순서, 대상유량 결정, 본체설계, 기초설계, 댐어깨 설계, 부속물 설계 등) 및 시공표준 매뉴얼(시공순서, 제조, 운반, 기반)을 작성한다.
- 경제성 분석 : 시공단가 산출 및 타 공법과의 비교 분석한다. 즉 목제사방댐의 시공단가 산출(월간물가자료, 건설표준품셈 및 종합적산정보를 이용하여 재료비, 인건비 등을 산출), 타 사방댐과의 경제성 분석(콘크리트사방댐 및 철강재사방댐 등과 경제성 분석)을 실시한다.

6. 연구개발 추진체계



제2장 국내·외 기술개발 현황

제1절 기술개발 현황과 문제점

1. 일본의 기술개발 현황

- 일본의 경우 목제토목시설에 대한 연구는 목제시설의 치산분야에의 적용방안(北海道林務部治山科, 1992; 社團法人北海道治山協會, 1991; 社團法人全國森林土木建設業協會, 1995; 石川, 1999; 小川, 1994; 原秋, 2000; 春日, 1999; 治山研究會, 1994)을 비롯하여 구체적인 시공사례로는 붕괴지의 기초공(高橋, 1985), 비탈면 보호공(藤戶, 1984; 石川 등, 2000, 守田, 1984; 1986; 戶村와 中村, 1994), 노면배수공(北條 등, 1986; 1987; 阿部 등, 1987), 사방댐(唐牛, 1999a; 1999b; 北原, 1999; 濱田, 1999, 三輪, 2000, 石川, 1998; 小紫, 1992, 溱, 1984), 어도(森喜, 1992a), 호안공(柳井, 1999), 방풍·방설책(東 등, 1985; 坂原, 1992), 낙석방지책(木戶口, 1992) 등에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.
- 즉 일본의 친환경적 사방사업은 단순한 방재사업이 아니라 환경을 보전, 창출하는 사업으로 인식되어 수변에 생물자원이 풍부하고 인간과 친밀한 공간을 만들기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다.

2. 우리나라의 기술개발현황

- 우리나라의 경우에도 최근에 치산분야에의 목재이용에 대한 연구가 진행되기 시작하여 외국의 사례조사(山林廳, 1992), 간벌소경재를 이용한 비탈면 안정공법 개발(차두송 등, 1998; 1999; 2001) 등이 부분적으로 진행되고 있으나, 목제사방댐에 대한 연구는 진행되지 못하고 있다. 다만 우리나라의 친환경적 사방사업에 참고가 되는 외국의 사례분석(全權雨와 江崎, 1996; 全權雨 등, 1998; 禹保命, 1998; 박재현, 2000; 全權雨, 2001)이 부분적으로 진행되고 있다.
- 그러나 우리나라의 경우는 사회 전반적으로 친환경적 사방사업에 대한 인식이 부족하여 친환경적인 산지계류 공간조성에 역행하는 사업이 진행되고 있으며, 또한 지금까지 사방사업에 많이 사용해 왔던 자연소재에 의한 친환경적 사방사업이 경

시되고 있는 실정이다.

- 따라서 앞으로의 사방사업은 방재공간의 확보와 더불어 주변 환경에 잘 조화되고 생물자원이 풍부한 환경공간을 확보하는 사업이 되어야 하며, 이러한 맥락에서 목재를 이용한 사방댐에 대한 연구는 계류 생태계의 보전과 주변 환경과의 조화를 배려한 공법으로 그 의의가 크다고 할 수 있다.

제2절 앞으로의 전망

- 사방사업은 본래 산림이 갖고 있는 수원함양기능, 국토보전기능 및 휴양기능 등의 공익적 기능을 발휘시키는 사업이므로 당연히 자연과의 조화를 꾀하고, 자연과 위화감 없는 공법이 도입되어야 하나, 오히려 사방공사에 의해 사방시설 주변의 경관손상, 공사 중의 탁수 유출 및 소음, 자연과의 접촉기회 상실, 자연도 높은 계류 생태계에 악영향을 미치고 있다.
- 특히 대형 콘크리트 사방댐은 자연경관을 손상, 차단시킬 뿐 아니라 어류, 수생동·식물의 서식처 및 생육공간을 파괴하며, 또한 산지계류의 횡단을 방해하여 사람의 접근을 어렵게 하므로 외국의 경우 요철이 있는 자연석 쌓기, 색채 있는 자연석을 이용한 표면 처리(阿部 등, 1990), 댐 반수면에 그림과 조각 실시, 계단과 산책로 등과 같은 친수행위를 위한 시설을 설치하는 방안이 제시되고 있으나 이에 한계가 있다.
- 따라서 앞으로는 사방시설물의 높이, 기수, 형식 및 재료 등이 친환경적이 되도록 노력해야 하며, 특히 우리나라와 같이 중·소규모의 토사이드동이 빈번히 발생하고 있는 산지계류에서는 목제사방댐이 유효하게 이용될 것이다.

즉 목제사방댐은,

- 환경이나 경관 변화를 장기적 시점에서 생각할 것
- 개개의 토목시설만을 생각하지 말고, 전체 속에서의 조화를 생각할 것
- 전국적인 획일적 공사가 아닌 지역특성을 살린 사업이 되도록 할 것
- 시공후의 추이변화를 모니터링하여 적절한 환경평가를 실시할 것
- 환경평가 결과를 기초로 하여 적절한 유지관리를 시행할 것
- 지역계획, 지역진흥사업 등 타산업과의 관련도 충분히 고려할 것

등의 전제에 크게 기여할 것이다.

제3절 기술도입의 타당성

- 외국이 우리나라에 비해 이 분야의 연구가 진전되어 있는 것은 사실이나, 목제사방댐은 안전성과 함께 다양성, 연속성 및 지역성에 강하게 영향을 받으므로 우리나라의 실정에 알맞은 공법이 개발되어야 하기 때문에 기술도입의 타당성이 없다.
- 외국에서 목제사방댐 기술을 도입할 경우 각종 자재와 설비 전체를 수입해야 하므로 기술의 교육과 이전, A/S가 어렵고, 이 분야의 국내기술의 발전을 저해할 수 있으므로 기술도입은 곤란한 점이 많다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 실태조사

1. 목제 사방댐 시공사례 수집 및 분석

가. 목제 사방시설

1) 목제 사방댐

물매가 완만한 산지하천이나 유로가 확대하기 용이한 지질 및 경관보전이 필요한 장소를 중심으로 시공하고 있으며, 내부에는 현장에 분포하는 경량의 옥석이나 토석을 충전하고 있다.



그림 3-1-1. 목제 사방댐의 시공 장면

2) 목제 유로공

유연성이 풍부하여 시행지에 순응할 수 있고, 측면의 침투수가 동시에 배수할 수 있기 때문에 물매가 급한 곳과 수로부지가 침식될 우려가 있는 곳에 시공하고 있다.



그림 3-1-2. 목제 유로공의 시공 후의 모습

3) 목재 흙막이

기초지반에 대한 적응성이 높으며, 배면의 침투수를 배수하기 좋다. 충전재료는 현장의 토사·토석을 주로 사용하며, 주변 산림에 잘 어울리고, 경관의 보전·조화도 기대할 수 있다.



그림 3-1-3. 목재 흙막이의 시공 후의 모습

4) 목재 격자틀붙이기

비탈면을 작은 블록으로 구획하여 우수를 분산시키고 침식방지가 필요할 때 시공한다. 소재의 상태로 시공이 가능하며, 현지조건에 따라 절단 가공이 용이하다.



그림 3-1-4. 목재 격자틀붙이기의 시공 후의 모습

5) 목재 방풍편책

삼각형 구조로 할 경우에는 바람에 대한 저항력이 높으며, 직선형으로 할 경우에는 운반이 용이하다. 통나무의 길이를 조절하여 방풍편책의 높이를 자유롭게 변화시킬 수 있다.



그림 3-1-5. 목재 방풍편책의 시공 후의 모습

6) 목재 낙석방지책

목재가 응력에 대해 약한 성질을 반대로 이용하여 파괴시키므로서 완충효과의 역할을 하도록 한다. 기존의 낙석방지책에 완충재를 추가하여 시공하면 보다 효과적이다.



그림 3-1-6. 목재 낙석방지책의 시공 후의 모습

나. 목재 사방시설의 이용과 과제

목재 사방시설은 목재의 고유특성인 「부드럽다」, 「사람과 환경에 조화롭다」라는 점 등이 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트나 철강재에 비해 우수하지만, 부후에 의한 내구성, 내용년수 등에 약점을 갖고 있다. 최근에 들어 환경을 고려한 사방공법에 대한 요구도가 높아지고 있고, 토목자재의 재활용면에서도 순환형 자재로서 목재가 우수하기 때문에 앞으로 목재의 적극적인 이용확대가 이루어져야 할 것이다.

1) 목재 사방시설의 장점

- ① 가볍고 튼튼하여 가공하기 쉽고, 이산화탄소를 장기간 저장한다.
- ② 다른 자재에 비해 생산 에너지가 적게 들고, 화석연료의 대체에너지로서 이용가능하기 때문에 이산화탄소의 배출억제가 가능하다.
- ③ 일정량의 간벌재를 계획적으로 이용할 수 있으며, 경관·생태계에 조화롭고, 현지에 잘 적응할 수 있다.
- ④ 단기간에 저비용으로 설치하여 공사비 면에서 효율적이며, 설치에서 폐기까지 라이프 사이클 코스트가 낮다.

2) 목재 사방시설의 문제점

- ① 목재 사방댐 등은 목재의 부후진도가 구조물의 강도에 미치는 영향이 명확하지 않다.
- ② 임지의 조기식생회복을 목적으로 하는 목재침식방지공이나 통나무 흙막이 등은 목재의 부후진도와 식생회복 진도가 명확하지 않다.
- ③ 현지 상황을 감안한 설치 매뉴얼이 아직 확립되어 있지 않다.

다. 목재 사방댐의 구체적 시공사례

1) 콘크리트 댐 잔존형 틀

- ① 공법설명 : 콘크리트 댐을 시공할 경우 형틀로 목재를 이용하는 공법
- ② 설치목적 : 주변의 흙이나 식물에 조화로운 경관을 창출하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 부드러운 경관을 창출할 수 있으며, 형틀과 겸용하기 때문에 비용을 절감할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

	적용범위
계 반 지역	○
산록·산복	

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△ 유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

- ⑤ 비 고 : 본체, 부체, 측벽호안, 용벽류 등 콘크리트형 틀이 필요한 장소면 어느 곳이나 적용할 수 있다.

⑤ 주의사항

○ 계획

<ul style="list-style-type: none"> · 제내지나 주변 경관에 조화로운가를 고려하여 채택할 필요가 있다. · 급류부나 수층부에서는 수압이나 사력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 입을 가능성이 있다.
--

○ 설계

<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트를 타설할 때에는 측압에 대해 검토할 필요가 있다.
--

○ 시공

<ul style="list-style-type: none"> · 형틀의 리프트 높이는 2.0m 이하를 표준으로 하며, 0.75~1.5m 정도로 하면 시공하기가 쉽다.
--

○ 유지관리

<ul style="list-style-type: none"> · 목재의 부후·손상에 의해 경관성이 나빠질 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.
--

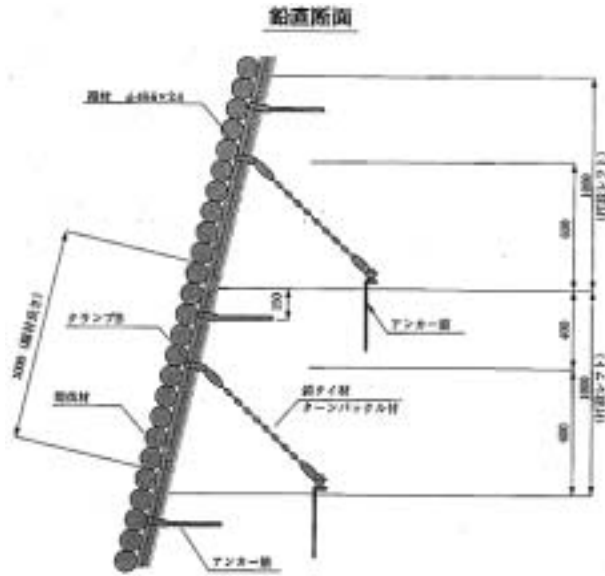


그림 3-1-7. 콘크리트 댐 잔존형 틀의 일반도



그림 3-1-8. 콘크리트 댐 잔존형 틀의 시공 모습

2) 목재틀형 골막이

- ① 공법설명 : H강형 틀에 통나무 또는 목재 판넬을 끼워 골막이를 만드는 공법
- ② 설치목적 : 소규모 골막이에 사용한다.
- ③ 특 징 : 시공기간을 단축할 수 있다.
주변에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.
소규모 골막이로 적용할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

	적용범위
계 반 지역	○
산록 · 산복	

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

⑤ 비 고 : 토석류의 영향이 적은 골막이 본체 등으로 적용할 수 있다.

⑥ 주의사항

○ 계획

<ul style="list-style-type: none"> · 인가 등의 보전대상으로부터 떨어진 장소에 적용한다. · 사력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받을 경우가 있다.

○ 설계

<ul style="list-style-type: none"> · 골막이로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다. · 하류 쪽에서는 교체 · 보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

<ul style="list-style-type: none"> · 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능(경관성도 포함)이 손상될 수가 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

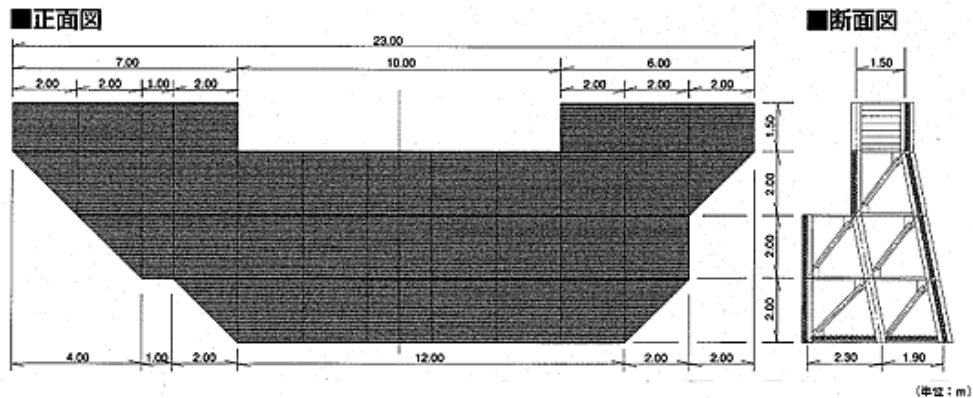


그림 3-1-9. 목제틀형 골막이의 일반도



施工中



完成

그림 3-1-10. 목제틀형 골막이의 시공 모습

3) 수경공

- ① 공법설명 : 사방댐 등의 경관성 향상을 위해 목재로 덮는 공법
- ② 설치목적 : 주변에 조화로운 경관을 창출하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 독특한 질감을 활용할 수 있고, 기존구조물의 경관성 향상에 유효하다.
- ④ 적용장소

○ 중단위치

	적용범위
계 반 지 역	
산 록	○
산 복 사 면	○

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

⑤ 주의사항

○ 계획

· 주변 경관에 조화로운가를 고려하여 채용할 필요가 있다.

○ 설계

· 기존 구조물에 부착방법을 충분히 검토한다.
· 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

· 목재의 부후·손상에 의해 경관성이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

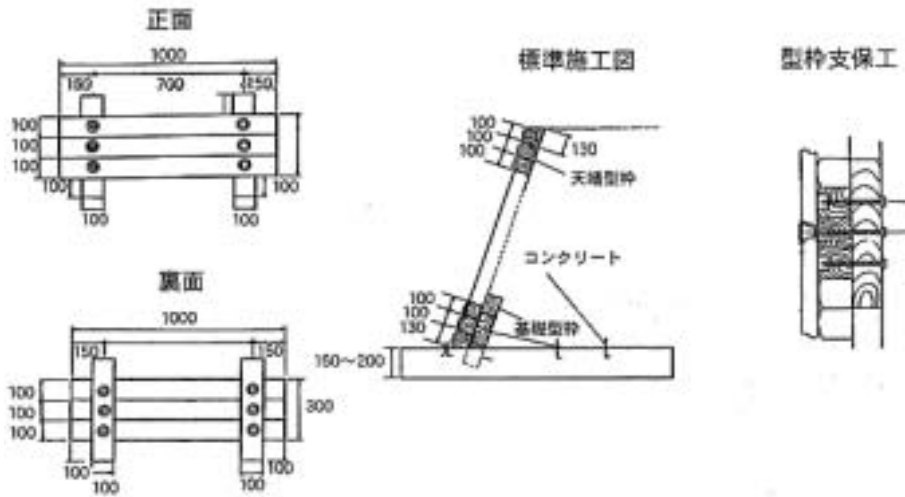


그림 3-1-11. 수경공의 일반도



그림 3-1-12. 수경공의 시공 후의 모습

4) 목재 낙차공

- ① 공법설명 : 목재 틀에 내부 충전용 석재를 쌓아 올린 골막이
- ② 설치목적 : 계상을 안정시키고, 계상의 침식을 방지하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 주변의 흙이나 식물에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.
 석력 사이를 이용하여 생물 등의 성장공간을 창출할 수 있다.
 소규모 낙차공에 적용할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 깊이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수중부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

- 인가 등의 보전대상으로부터 떨어진 장소에 적용한다.
- 석력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받는 경우가 있다.

○ 설계

- 낙차공으로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다.
- 하류 쪽에서는 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실되기도 하기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

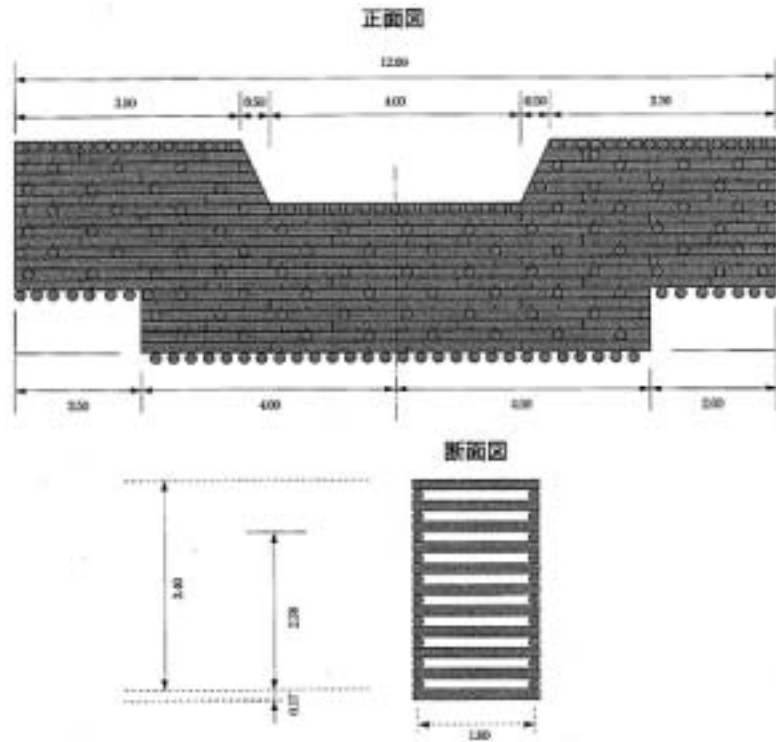


그림 3-1-13. 목제 낙차공의 일반도



그림 3-1-14. 목제 낙차공의 시공 후의 모습

5) 목탄충진 목공침상

- ① 공법설명 : 목공침상의 충전용 석재의 일부를 목탄으로 대체하여 목탄에 의한 정화효과를 기대하는 바닥막이
- ② 설치목적 : 호안 기초부의 세굴을 방지하기 위해 사용하며, 특히 수질정화가 필요한 장소에 사용한다.
- ③ 특 징 : 석력 사이를 이용하여 생물 등의 성장공간을 창출할 수 있다.
목탄에 의한 수질정화를 기대할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대 · 곡저평야	곡저평야 · 선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 깊이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

· 급류부나 수충부에서는 수압이나 석력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받을 가능성이 있다.

○ 설계

- 유속이 빠른 경우는 침식이 유출할 가능성이 있기 때문에 침석을 크게 한다.
- 목탄이 유출하지 않도록 강구한다.
- 하폭이 좁은 하천에서는 계상의 전면에 설치하여 계상저하의 방지와 수질정화를 기대할 수도 있다.

○시공

- 목재 틀을 제작하여 물 위에 띄운 후 돌을 투입하여 설치할 수 있으며, 현지 조건에 따라서는 임시로 가설할 필요가 있는 경우가 있다.

○유지관리

- 수층부에 항상 유수가 작용하는 경우는 접합부가 풀리는 경우가 있기 때문에 보수가 필요할 수 있다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적으로 점검·보수가 필요하다.
- 목탄이 부서져 막힐 경우 정화효과가 떨어지기 때문에 교환하는 것이 바람직하다.

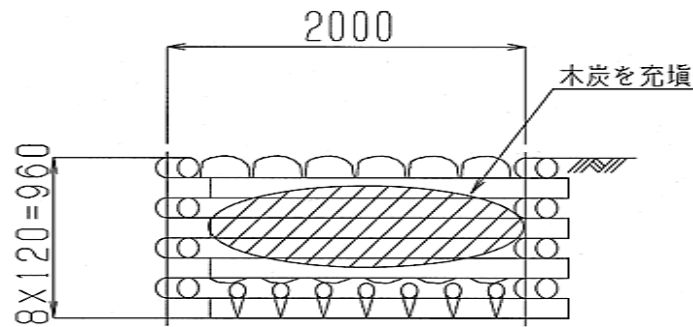


그림 3-1-15. 목탄충진 목공침상의 일반도



施工中



施工後

그림 3-1-16. 목탄충진 목공침상의 시공 중·후의 모습

6) 목재틀 낙차공

- ① 공법설명 : 돌쌓기 목재틀을 몇 단 쌓아 올린 낙차공
- ② 설치목적 : 소규모 하천의 계상안정을 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 주변에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.

석력 사이를 이용하여 어류 등의 생식장소를 창출할 수 있다.

④ 적용장소

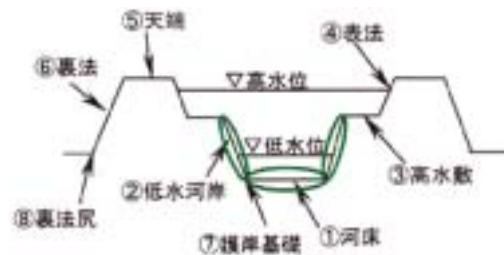
○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대 · 곡저평야	곡저평야 · 선상지
물매의 척도	수평 ~ 1/5,000	1/5,000 ~ 1/400	1/400 ~ 1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm ~ 3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 길이	3 ~ 8m	2 ~ 8m	0.5 ~ 3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	□
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

· 낙차고가 적은 것에 적합하다.

○ 설계

· 교체·보수가 용이한 구조로 한다.
 · 낙차공으로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다.
 · 부후에 의해 목재의 강도가 저하되는 것을 고려한다.

○ 유지관리

· 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능(경관성도 포함)이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

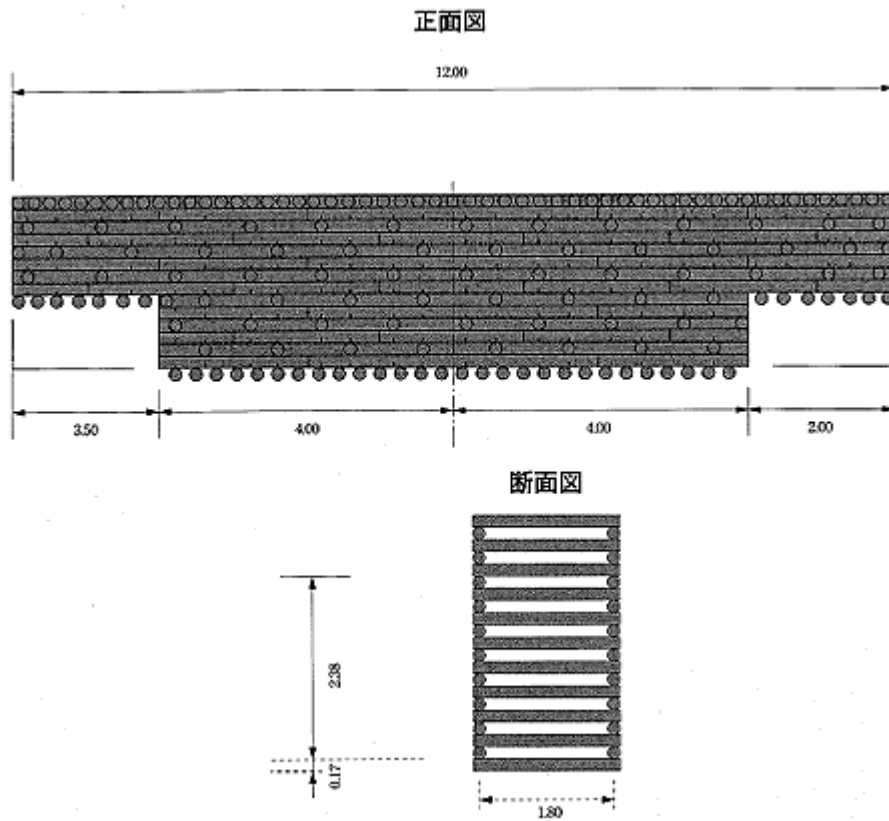


그림 3-1-17. 목제틀 낙차공의 일반도



그림 3-1-18. 목제틀 낙차공의 시공 후의 모습

7) 정화재

- ① 공법설명 : 목탄을 충전한 목재 틀을 수중에 설치하여 수질을 정화하는 공법
- ② 설치목적 : 목탄의 수질정화기능을 이용하여 하천수를 정화하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 목탄에 의한 수질정화작용을 기대할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 깊이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

- 소규모 하천, 수로, 본천에서 분류한 정화수로 등에서 계획한다.
- 급류하천과 같이 수세가 강한 개소에는 적용하지 않는다.

○ 설계

- 홍수에 대해 지장이 되지 않는 구조로 한다.
- 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 수질정화효과를 확인할 수 없을 때에는 목탄의 막힘을 고려할 수 있기 때문에 교환이 필요하다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

○시공

- 목탄의 부상에 의한 유실대책을 강구한다.
- 충전할 때에 목재가 손상받을 가능성이 있다.

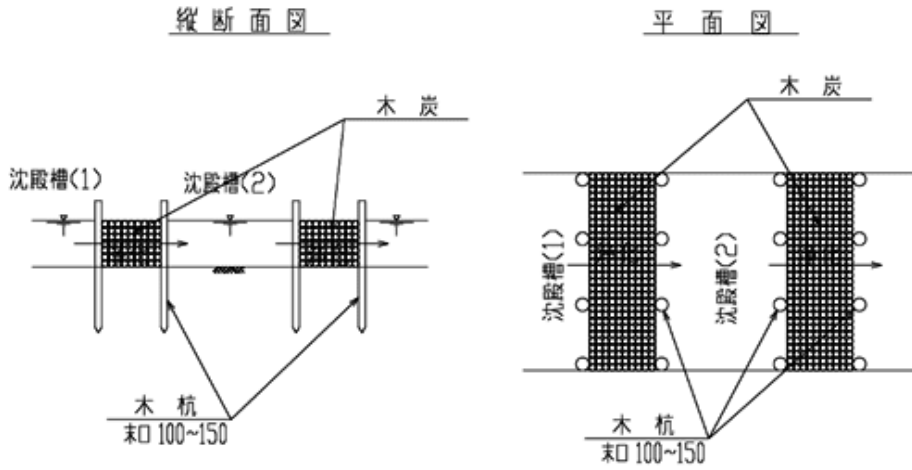


그림 3-1-19. 정화재의 일반도

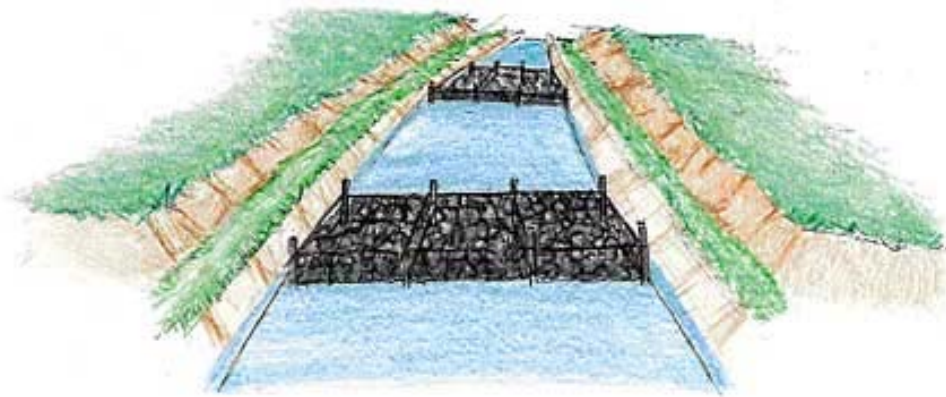


그림 3-1-20. 정화재의 시공 후의 모습

8) 목재 저사댐

- ① 공법설명 : 댐에 유입하는 계곡이나 토사유출이 많은 계곡 등에 석재를 충전한 목재 틀을 쌓아 댐의 유입토사를 일시적으로 저사하는 공법
- ② 설치목적 : 댐의 상류에서 유입하는 토사의 일시적인 저사기능을 하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 댐의 퇴사대책에 효과가 있다.
주변의 토지나 식물에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.
석력의 사이를 이용하여 생태환경을 창출할 수 있다.

④ 적용장소

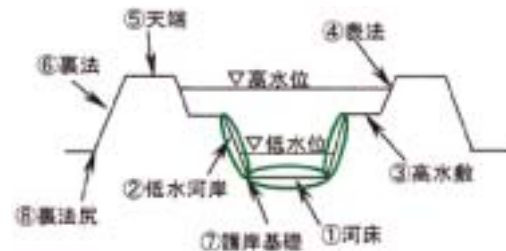
○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 길이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 설계

- 안정계산을 실시하여 안전성을 확인한 후에 적용한다.
- 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 상류 쪽에 토사가 퇴적하기 때문에 준설할 필요가 있는 경우도 있다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

○시공

- 나무말뚝 등에 의해 기초지반에 충분히 고정시킨다.
- 타설할 때에는 목재가 손상을 받을 가능성이 있다.

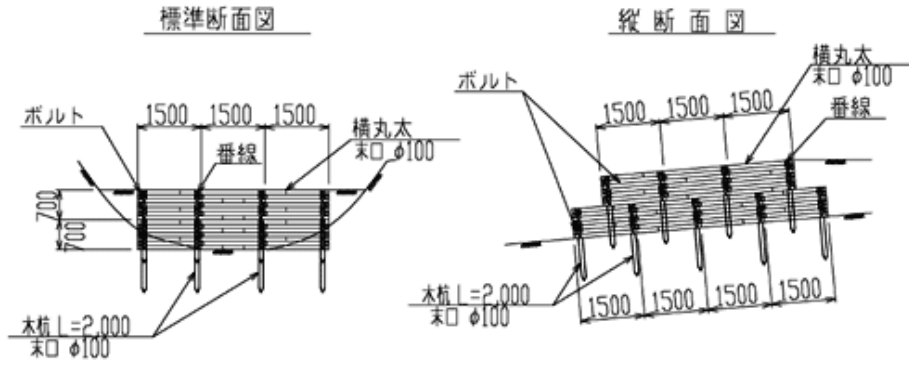


그림 3-1-21. 목제 저사댐의 일반도

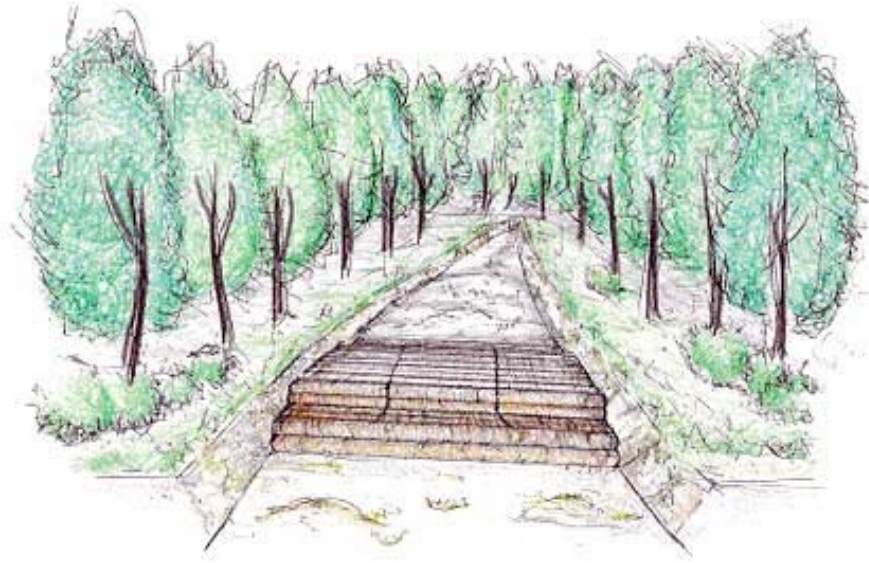


그림 3-1-22. 목제 저사댐의 시공 후의 모습

2. 일본에 있어서 하천·사방공사의 목재활용공법 가이드북

가. 가이드북의 목적

목재활용공법의 가이드북은 하천·사방분야에서 「목재를 적극적으로 이용·활용을 유도한다」라는 관점에서 목재활용공법의 채용방침과 구체적인 사례를 소개하는 것으로 채용목적은 다음과 같다.

- 1) 「국가 등에 의한 환경물품 등의 조달 추진 등에 관한 법률(통칭 : 그린구입법)」에 근거하여 적극적인 환경물품의 조달을 유도한다.
- 2) 하천을 홍수·고조로부터 방어(치수)하거나 수자원 확보(이수)기능을 갖는 장소로서 뿐 만 아니라 자연환경이나 하천경관 등을 포함한 다양한 기능이 발휘되고, 매력이 넘치는 장소가 되도록 노력한다.

1) 그린 구입법에 근거한 적극적인 환경물품의 조달(지구환경온난화방지를 위한 환경조달)

지구환경문제라는 말은 지금은 각 분야에서 사용되고 있지만, 「지구온난화」도 그 일환으로 널리 인식되고 있다. 이는 지구규모에서의 인구증가나 생활수준의 향상, 그것을 지탱하는 경제·산업활동의 확대 등에 의해 대기 중의 CO₂ 등의 온실가스농도가 증가함으로써 지구 전체의 평균기온이 상승하여 지구 규모에서의 기후변화가 생겨 여러 가지 장애가 발생하는 것에 대한 우려이다.

1997년에 교토에서 개최된 「제3차 기후변화협약 당사국총회」에서는 교토의정서가 채택되어 선진국의 온실가스의 배출삭감에 법적 구속력이 있는 수치 목표를 정하여 각국이 국가 사정에 따라 정책·대책을 실시하는 것 등이 정해졌다.

이 의정서에서는 일본에 대하여 온실효과가스의 총배출량을 2008년~2012년까지 1990년에 비해 6% 삭감하는 수치 목표 등이 담겨져 있다. 일본에서는 1990년에 지구온난화방지행동계획을 정하였고, 총배출량은 이들 목표를 상회하는 정세로 추이하고 있으며, 온실가스의 배출삭감을 촉진하는 계획이 포함된 사회를 구축하는 것이 과제로 되어 있다.

이를 근간으로 하여 「지구온난화문제나 폐기물문제 등 오늘날의 환경문제는 그 원인이 대량생산, 대량소비, 대량폐기를 전제로 한 생산과 소비구조에 기인하고 있으며, 그것을 해결하기 위해서는 경제사회의 본연의 상태를 환경부담이 적은 지속적 발전이 가능한 것으로 변혁해 가는 것이 필요하다(환경물품 등의 조달추진에 관한 기본방침에서 발췌)」고 하는 인식 하에 2001년에 「국가 등에 의한 환경물품

등의 조달 추진 등에 관한 법률」이 제정되어 적극적인 환경물품의 조달을 추진하는 것이 국가 등에 의무화되었다. 이 법률에 근거하여 국토교통성의 「환경물품 등의 조달을 추진하기 위한 방침」에는 공공공사의 자재에 목재(간벌재)를 사용하는 것이 표시되어 있다.

〈간벌재와 콘크리트 제품과의 환경부담비용 비교〉

목재는 토목재료 중에서 주요 온실가스의 하나인 CO₂의 배출량이 적은 특징을 갖고 있다. 탄소배출량 원단위로 비교하면, 목재의 탄소배출량 원단위는 탄소고정이 없더라도 시멘트의 1/30, 철과 동의 1/60정도로 대단히 적다(표 3-1-1 참조).

바닥막이에 적용하여 동일 기능을 갖는 「목공침상(3층)」과 「블록(1톤)」에 대한 환경부담 코스트 비교를 실시하였다(표 3-1-2). 환경부담

코스트 산출방법은 탄소배출량 원단위 비교에 의해 실시하였다. 그 결과, 목공침상은 환경부담이 바닥막이 블록의 약 1/500로 매우 적은 것을 알 수 있었다.

표 3-1-1. 주요 건설자재의 탄소배출량 원단위

건축자재		탄소배출량 (kg-C/kg)	
자갈·석재		0.0003	
목재	탄소고정 없음※	제재	0.0078
		합판	0.0487
	탄소고정 있음※	제재	-0.492
		합판	-0.447
합성유지제품		0.176	
유리	판	0.414	
	섬유	0.579	
시멘트	포트랜드	0.235	
	45% 슬러지 고로	0.138	
도자기(건설용)		0.114	
철강	봉강	0.173	
	강판	0.436	
동		0.280	
알루미늄(새시용)		1.765	

표 3-1-2. 목공침상과 바닥막이 블록의 탄소배출량의 금액환산 비교사례

목공침상	23엔/40m ²	블록	14,260엔/40m ²
------	----------------------	----	--------------------------

이상에서 알 수 있듯이 앞으로는 환경부담 코스트가 적은 목재를 활용한 공법에 대한 유효성이 더욱 평가받을 것으로 생각된다.

2) 목재를 활용한 하천조성 추진

일본은 가늘고 긴 국토를 척추와 같이 험준한 산맥이 종단하고 있다. 이 때문에

하천은 일반적으로 물매가 급하고 유로가 짧으며, 기후는 대체로 아시아 몬순대에 속하여 전선이나 태풍에 의해 가끔 단기간에 집중하는 강우에 휩싸이기 쉽다. 그리고 강우 시에는 하천의 유량이 급격히, 그리고 대폭적으로 증가하여 때로는 범람하여 주민의 생명이나 재산을 위협하고 있다.

일본에 있어서 치수는 이전부터 정치, 행정, 경제 상 중요과제로 취급하여 그 안정성을 높이기 위한 노력이 진행되어 왔지만, 2차 세계대전 이후에는 특히 대형태풍의 내습, 고도경제성장에 동반된 인구의 도시집중에 대한 대응 등으로 치수정비가 급하게 요구되어 주로 콘크리트를 사용하여 경제성, 효율성을 우선한 사업이 진행되어 왔다. 또한 1960년대는 인구의 도시집중화에 의한 오수의 유입으로 하천의 수질이 악화되는 등 환경에 관한 문제가 심각해 졌고, 하천의 생태계 등도 그 영향을 받아 빈약한 상태로 변화해 왔다.

그러나 국민이 경제적으로 풍요로워짐에 따라 윤택한 생활환경을 요구하게 되어 지금까지의 치수·이수를 주로 하는 하천정비, 하천관리에 대한 재평가가 요구받기에 이르렀다.

1990년에 하천국 치수과장 등으로부터 「특히 생물에 양호한 생식환경을 배려하고, 동시에 아름다운 자연경관을 보전 혹은 창출하는 「다자연형 하천조성」을 추진하는 것으로 한다」라는 통지가 제출되어 환경 등을 배려한 공법의 채용이 적극적으로 요구되게 되었다. 이것은 하천에 대한 국민 요구의 다양화 등을 고려한 새로운 과제로의 시도이다.

1995년 「앞으로의 하천환경의 방향에 대하여」의 하천심의회 의 답신에서는 이하의 내용이 나타나고 있다.

첫째로, 하천은 국민에게 있어서 원래 신변에 일상적으로 접할 수 있는 뛰어난 자연적 환경의 하나이기 때문에 하천이 갖는 자연적인 가치, 특히 다양한 생태계를 만든다고 하는 가치를 존중해야만 한다.

둘째로, 보다 나은 하천환경을 형성하기 위해서는 하천이 지역에 밀착한 재산이기 때문에 지역주민을 비롯한 지방공공단체 등과의 연계·협조를 도모해야만 한다.

셋째로, 종래에는 볼 수 없었던 하천의 이용형태 출현, 안전하고 맛있는 물의 기대나 하천에 관계된 지역고유의 문화를 귀하게 여기는 의식에 답해야만 한다.

- 뛰어난 하천환경의 보전이나 창출에 관한 시책이나 제언은 그 이후에도,
- 1996년의 하천법 개정에서 “하천환경의 증시에 관한 방침”
 - 1998년의 「하천에 있어서 앞으로의 정보화를 향한 시책은 어떻게 할 것인가」 (하천심의회 답신)에 있어서 “지역과 하천의 관계를 재구축하기 위한 정보제공”
 - 1999년의 「하천에 있어서 전통기술의 활용은 어떻게 할 것인가」 - 생활·문화를 포함한 하천전통기술의 승계와 발전 - (하천심의회 답신)에 있어서 “하천 전통기술은 일반적으로 말하는 「지역의 특성, 하천의 성격에 따른 기술」이며, 사용하는 재료도 나무나 돌과 같은 유역에 있는 천연소재가 주체이다. 따라서 하천 전통기술에 의해 만들어진 시설이 생태계에 크게 영향을 주는 일없이, 환경적으로도 주위와 조화되어야 한다. 하천사업에 있어서 환경에 영향이 우려되고 있는 현재, 환경과의 조화를 꾀하는 힌트를 주는 것이라고 생각된다.” 등이 있다.
- 목재를 활용한 하천조성은 이와 같이 환경면의 평가나 지역과 하천의 관계를 재구축하기 위한 계기가 될 것을 기대할 수 있다.

하천환경의 척도에 대하여 보편적인 가치, 표현법은 확립되어 있지 않은 상태이지만, 하천의 생태환경에 대하여 「하천생태환경의 잠재자연도」라는 개념을 이용하여 평가하는 것을 제안하고 있다.

이 가이드북에서는 이상을 참고로 하여 Y축은 환경수준의 고저로서 「환경포텐셜」을, X축은 「시간」으로 하여 환경 회복을 포함한 목재활용공법의 채용방법을 다음과 같이 하도록 한다.

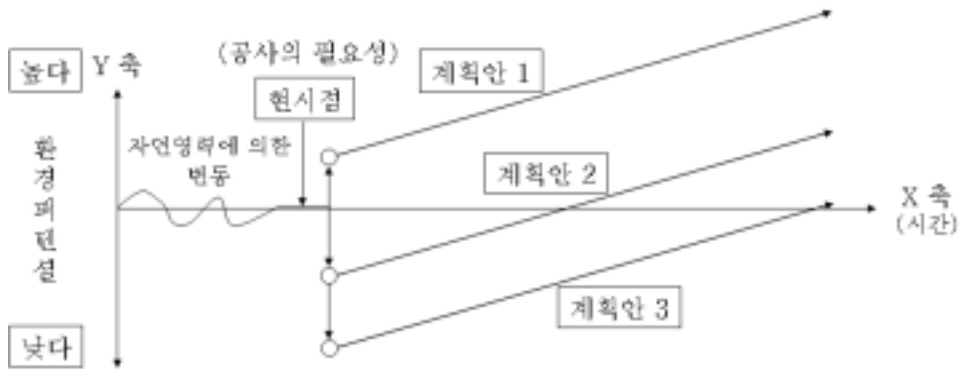


그림 3-1-23. 공법채용이 환경에 미치는 영향에 대한 개념도

주) 그림을 보는 방법과 가이드북에서의 환경 포착방식

이 그림은 인위적인 영향(3개의 계획안)에 의한 환경포텐셜의 변화를 나타내고 있다. 환경포텐셜의 개념은 「잠재자연도」가 아니라 인간이 본 「환경의 수준」으로 하였다(예를 들면 친수성의 향상). 이 때문에 인위적인 행위에 의해 반드시 저하하지는 않는다. 영향이나 효과의 초기 값을 정량화하고, 이것을 기본으로 계획안을 책정하며, 각 사례에 현 시점 이후의 천이를 추측하여 인위적인 영향·효과에 예측과 그것에 대응한 계획안 채용의 개념을 나타내고 있다.

【칼럼】 바닥막이 블록 7개가 배출하는 CO₂의 양은 1세대가 연간 배출하는 양과 거의 같음

바닥막이 블록에 사용되는 콘크리트 1개(약 1t)가 배출하는 CO₂의 양(시멘트를 제조하기 위한 배출량)은 약 0.85t이다. 한편, 일본의 1세대 당 연간 CO₂ 배출량은 양은 약 6t이므로 바닥막이 10m²의 시공을 블록으로부터 목공침상으로 교환하는 것만으로(블록 7개 사용) 약 1세대가 연간 배출하는 CO₂의 양을 삭감할 수 있게 되는 것이다.

【칼럼】 삼림의 치수·이수기능과의 관계에 대하여

하천공사, 사방공사 등에 목재를 활용하는 것은 CO₂ 배출량의 삭감에 유효하다는 것은 전술한 바와 같다. 그 목재는 부근의 산림, 유역 내의 산림 등에서 발생하는 것을 사용하는 것이 비용면, 유역의 건전한 토양환경의 유지 등의 면에서 바람직한 것이며, 유역에 있어서의 건전한 산림의 존재가 해당 지역을 유역으로 하는 하천에 있어서 어떠한 효과, 영향을 미치는가를 파악해 두는 것은 중요한 일이다.

일본에서는 국토면적의 약 67%가 산림으로 구성된 세계에서도 유수의 산림대국이다. 산림은 고래로부터 용재나 연료의 공급원으로서 이용되어 왔다.

메이지·다이쇼·쇼와에 걸쳐 경제가 확대하는 중에 산림도 활용되어 왔지만, 쇼와 30년대의 석유 등에 의한 에너지 혁명이나 값싼 외재의 수입에 따른 목재 가격의 하락과 맞물려 임업은 급속하게 쇠퇴하게 되었다. 그와 함께 산림관리의 수준도 저하하여 왔다.

산림의 정비(간벌 등)가 충분히 이루어지지 않으면 수림이 성장하여 수관이 지표면을 덮어 지표면에 도달해야 할 햇빛이 차단되므로 하초의 생육을 저지하게 된다. 하초의 생육이 없으면 강우 시의 지표면의 유수(표면류)에 대한 토양의 내수식성이 저하되기 쉽다. 그 결과, 강우나 표면류 등이 수목의 고엽 등에 의해 형성된 포라스로 보수성이 풍부한 산림생육기반을 침식·유실시켜 산림토양의 보수능력을 저하시킨다. 즉, 간벌이 적절하게 실시되는 것은 양호한 산림토양형태가 유지되고, 산림토양의 유출이 방지되는 것이 된다.

이 산림토양과 물의 관계는 다음이 확인되고 있다.

- 1) 홍수 시의 침투유량의 저감
- 2) 우수유출의 지연화
- 3) 토사유출방지

이것에 의해 홍수나 토사유출에 의한 재해를 감소시키는 것을 기대할 수 있다. 물론 그 정량적인 특징은 유역의 지질이나 지형, 토지이용 등에 따라 다르기 때문에 그 특성을 충분히 검토한 이후의 산림관리의 실천이 필요하다.

※산림의 치수기능은 주로 산림의 생육기반(토양층)의 보수기능에 의한 것이 크다고 할 수 있다. 수목은 탄소동화작용(광합성)을 하여 뿌리에서 빨아올린 수분을 엽면 등에서 상시 증발시키고 있지만, 장기간 무강우가 지속되면 산림이 형성한 생육기반(토양층)의 보수능력이 갖고 있는 천천히 유출시키는 기능에 의한 저수유량의 증가 공헌분보다 증산량이 상회할 수 있다. 이 때문에 갈수 시에는 하천유량이 도리어 감소하는 일도 있다.

나. 하천특성의 사전조사와 대응방침

목재활용공법을 채용할 경우 하천의 기본특성을 정확히 이해할 필요가 있다.

- ① 하천은 다양한 기능을 갖고 있다.
- ② 하천의 특성은 하천별로, 그리고 장소에 따라 다르고, 더욱이 항상 변화하고 있다

1) 하천의 기본적 특성

하천은 종종 홍수를 만들어 인간의 생명이나 재산을 위협해 왔다. 수해의 위협이 없어지는 것은 범람지역에 살고 있는 사람들의 소원이다. 한편, 홍수는 관개용수나

도시용수 등으로 이용되고, 지역에 살고 있는 주민들에게는 없어서는 안되는 것이다. 더욱이 최근에는 하천이 스포츠가 가능한 공간, 도시의 상징으로서의 수변공간, 귀중한 생물의 생식기반으로 재인식되고 있다. 하천의 다양한 기능을 통해 인간과 하천의 관계, 지역과 하천과의 관계구축의 필요성에 대해 재인식되어 하천의 정비, 관리에도 지역의 관심이 높아지고 있다.

하천에는 유수가 있고, 그것은 항상 변화하고 있다. 변화의 내용은 수위(유량), 유로나 수층부, 수질 등 다양하며, 그 속도도 다양하다. 또한 하천을 흐르고 있는 것은 유수뿐만이 아니라 토사나 쓰레기, 화학물질 등도 있다. 이것들도 유수와 마찬가지로 시간에 따라 변화하고 있다. 시설을 건설할 경우, 예상해야 할 유하물은 유수는 물론 토사나 쓰레기, 화학물질(수질) 등도 고려해야 할 경우도 있다. 이들 하천의 실태나 변화를 정확하게 파악한 공법의 채용과 유지관리를 실시하여 개성있는 하천만들기를 진행할 필요가 있다. 특히 하천이 형성하는 다양한 지형, 그곳을 생식장소로 하는 식생이나 동물 등이 형성하는 생태계 등은 제내지의 개발이 진척됨에 따라 중요성·귀중성이 보다 높아지고 있다.

이 때문에 하천에 시설을 설치할 경우, 하천의 물리·화학적 변화나 실태, 하천 환경 등과 그 변화의 상황을 충분히 파악하고, 지역의 하천에 대한 주민인식 등의 정보에 대해서도 수집해 두는 것이 중요하다.

2) 공법채용을 위해 필요한 항목(사전조사)

목재활용공법뿐 만 아니라 하천·사방공법의 선정에 필요한 하천의 기본적인 특성 파악 및 공법을 계획할 때에 필요한 파악항목(사전조사항목)은 다음과 같다.

- ① 장소의 특성
- ② 채용하는 공법이나 재료의 기능, 성능 등
- ③ 채용하는 공법의 시공, 관리 등

각 항목의 내용은 다음과 같다. 단, ②는 ①과의 대응항목이다.

① 장소의 특성에 관한 항목	② 공법·재료 등에 관한 사전조사 항목
· 환경특성(경관)	↔ · 경관의 보전
· 환경특성(생태환경)	↔ · 생태환경의 보전
· 친수성	↔ · 친수성 배려
· 유수나 토사작용에 관한 특성	↔ · 유수나 토사작용에 관한 내성
· 기타	↔ · 재질의 시간적 변화(시설효과의 연속성)

③ 채용하는 공법의 시공, 관리 등에 관한 검토항목			
· 경제성	· 시공성	· 유지관리	· 재료의 공급조건

3) 사전조사항목별 대응방침

목재활용공법의 계획에 필요한 사전조사항목 및 그에 대한 관점과 대응방침은 다음과 같다.

○환경특성(경관의 보전)

[관점] 수변이나 수변의 녹지공간은 인간에게 편안함을 주는 공간으로서 높은 평가를 받는 경우가 많다. 따라서 1980년대 말부터 하천구조물에도 경관디자인을 하는 흐름이 채택되어 주변경관과의 조화 등을 배려한 설계가 도입되었다. 하천이용이 증가되는 가운데 경관은 하천공간을 평가하는 면에서 중요성이 고조되고 있다.

[방침] 수변을 포함한 지역의 경관이 역사적·문화적 가치나 「지역」 특유의 얼굴로서 기능하기 위해서는 지역에 사랑받고 친밀감 있는 하천 만들기라는 관점에서 검토하는 것이 중요하다.

○환경특성(생태환경의 보전)

[관점] 수변이나 수변의 녹지공간은 생태환경에 귀중한 공간이 되는 곳이 많다. 하천환경 등 하천의 다양한 기능이 중시되고, 주민의 의견이 하천정비에 반영되도록 1997년에 하천법이 개정되어 목적에 「환경의 보전·창출」이 부가되었다. 이러한 취지를 살려 환경면에서의 보전, 정비를 목적으로 한 하천 만들기의 활성화가 기대된다.

[방침] 환경특성은 하천수변의 국세조사, 하천환경관리계획책정 시의 조사 등에서 정보의 축적이 진행되고 있다. 또한 주민의 정보에도 귀중한 사항이 있으므로 그 활용을 꾀하는 일이 중요하다.

○친수성

[관점] 수변에 접근하기 쉽고, 물에 친할 수 있는 하천 만들기를 요구하는 목소리가 확산되고 있다. 인간이 하천으로부터 멀어지게 되면, 수질이나 하천공간의 환경을 악화시키는 악순환을 가져오고, 지역 만들기에 연결되는 하천, 마음을 온화하게 하는 수변공간의 제공 등을 적극적으로 이루어 본래의 하천의 모습을 되돌리려는 움직임이 각지에서 확산되고 있다.

[방침] 앞으로 친수성이나 경관을 배려한 공법을 채용함에 있어 장소의 특성에 적합하도록 지역과 일체가 되어 적극적으로 실시하는 것이 중요하다.

○유수나 토사작용에 관한 특징

[관점] 목재활용공법은 하천의 특성을 고려하여 경험적으로 사용되는 경우가 많다. 이 때문에 채택여부를 판단하기 위해 하도특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다.

[방침] 하천관리의 중요한 목적 중 「국민의 생명이나 재산을 보호하기 위한 치수의 안전성을 고양하는 것」에 변화가 없기 때문에 구조물에 필요한 강도를 산정할 수 있는 경우에는 필요에 따라 유수나 토사의 작용을 정량화하여 안전성을 평가하여야 한다. 이에 필요한 수문 데이터나 과거의 방재 데이터는 자료로 축적되어 있기 때문에 활용할 수 있다.

○기타의 장소 특성

[관점] 장소의 특성으로 중시되어야 하는 것은 「환경특성」과 「유수나 토사의 작용에 관한 특성」이다.

[방침] 이 외에도 공중에 따라서 고려해야 할 사항이 있다. 예를 들면 표식판으로 사용하는 경우에는 바람이나 지진, 기타 구조물이 받는 외력에 대하여 안전해야 한다. 또한 인간의 이용을 전제로 할 경우에는 안전한 구조인지, 그 구조물이 필요한 기간 동안 유지할 수 있는지 등에 유의할 필요가 있다.

○재질의 시간적 변화

[관점] 콘크리트나 철 구조물은 영구 구조물이라 하여 일단 건조하면 반영구적으로 기능이 유지되는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 시간의 경과나 부식, 열화에 의해 성능이 저하하는 것은 피할 수 없는 것이다.

[방침] 목재는 「부후」로 대표되는 열화가 일반적으로는 콘크리트 등에 비해 단기간에 나타나며, 그 정도가 설치장소의 조건(예를 들면 일조, 기온, 건습 등)에 따라 크게 다르기 때문에 재질의 시간적 변화에 대해서는 특히 유의해야 한다. 또한 그 변화를 강도면에서만 생각하는 경우가 많지만, 경관이나 생태환경 등에 관한 변화에도 유의할 필요가 있다.

○시공성

[관점] 시공성의 개선에 의한 위험작업으로부터의 해방이나 작업의 능률화는 토목공사에 있어서 중요한 테마이며, 기계화 등에 의해 큰 효과가 나타나고 있다. 목재활용공법도 시대의 요구에 따른 시공기술의 개량, 생산능률화에 의

한 비용절감 등이 요구되고 있다.

[방침] 목재활용공법에 대해서도 안정성이나 능률화가 요구된다. 특히 목재활용공법은 공사의 규모나 구조로부터 인력시공에 의지하는 공법이 많아 비용 상승 요인이 되기 때문에 그에 대한 개선이 중요과제이다. 이 과제는 목재활용공법의 보급에 의해 개선되는 면도 있지만, 보급이 확대되기까지는 다음과 같은 사항에 대하여 충분한 검토가 필요하다.

- ① 작업원 및 지도원의 확보와 육성
- ② 공법의 단위화 등(사례의 유무 확인이나 단위화 검토)
- ③ 시공방법 확립을 위한 연구(기계화에 의해 능률향상을 도모)
- ④ 자재 입수경로 확립(기본적인 부분을 자료편에 기술)

○경제성

[관점] 경제성의 평가는 공법채택에 있어 매우 중요한 조건이다. 앞으로는 이니셜 코스트나 런닝 코스트뿐만 아니라 라이프 사이클 코스트를 도입하는 것이 요구된다.

[방침] 목재활용공법을 추진할 때 중요한 것은 이 가이드북을 작성하는 계기가 된 환경부담에 관한 경제성을 적정하게 평가하는 것이며, 그에 대한 적극적 평가가 목재활용공법의 채택여부를 결정하는 중요한 요인이다.

○유지관리

[관점] 하천사업 전반에는 유지관리의 중요성이 높아지고 있다. 그 이유는 하천관리시설의 정비 등이 진척되어 유지·관리를 필요로 하는 시설 자체가 증가하고 있는 것이며, 제한된 예산 속에서 지금 있는 시설이 최대한으로 기능이 발휘되도록 요구되고 있기 때문이다.

[방침] 최근에 들어 지역의 요구를 적극적으로 수용하는 공사나 관리가 요구되고 있으며, 그와 같은 시도가 각지에서 일어나고 있다. 이 때문에 목재활용공법의 유지관리도 지역과의 관계구축 속에서 적절하게 검토되어야 한다.

○재료의 공급조건

[관점] 토목시설을 시공할 때에는 공사에 필요한 재료가 확실하게 입수되는 것이 중요한 조건이다.

[방침] 목재를 활용할 때에는 목재유통시스템이 공사에 지장이 되지 않도록 재료의 입수 등에 대하여 알아두는 것이 목재가 적극적으로 이용되고 있지 않은 현 단계에서는 필요하다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 실태조사

1. 목제 사방댐 시공사례 수집 및 분석

가. 목제 사방시설

1) 목제 사방댐

물매가 완만한 산지하천이나 유로가 확대하기 용이한 지질 및 경관보전이 필요한 장소를 중심으로 시공하고 있으며, 내부에는 현장에 분포하는 경량의 옥석이나 토석을 충전하고 있다.



그림 3-1-1. 목제 사방댐의 시공 장면

2) 목제 유로공

유연성이 풍부하여 시행지에 순응할 수 있고, 측면의 침투수가 동시에 배수할 수 있기 때문에 물매가 급한 곳과 수로부지가 침식될 우려가 있는 곳에 시공하고 있다.



그림 3-1-2. 목제 유로공의 시공 후의 모습

3) 목제 흙막이

기초지반에 대한 적응성이 높으며, 배면의 침투수를 배수하기 좋다. 충전재료는 현장의 토사·토석을 주로 사용하며, 주변 산림에 잘 어울리고, 경관의 보전·조화도 기대할 수 있다.



그림 3-1-3. 목제 흙막이의 시공 후의 모습

4) 목제 격자틀붙이기

비탈면을 작은 블록으로 구획하여 우수를 분산시키고 침식방지가 필요할 때 시공한다. 소재의 상태로 시공이 가능하며, 현지조건에 따라 절단 가공이 용이하다.



그림 3-1-4. 목제 격자틀붙이기의 시공 후의 모습

5) 목제 방풍편책

삼각형 구조로 할 경우에는 바람에 대한 저항력이 높으며, 직선형으로 할 경우에는 운반이 용이하다. 통나무의 길이를 조절하여 방풍편책의 높이를 자유롭게 변화시킬 수 있다.



그림 3-1-5. 목제 방풍편책의 시공 후의 모습

6) 목재 낙석방지책

목재가 응력에 대해 약한 성질을 반대로 이용하여 파괴시키므로서 완충효과의 역할을 하도록 한다. 기존의 낙석방지책에 완충재를 추가하여 시공하면 보다 효과적이다.



그림 3-1-6. 목재 낙석방지책의 시공 후의 모습

나. 목재 사방시설의 이용과 과제

목재 사방시설은 목재의 고유특성인 「부드럽다」, 「사람과 환경에 조화롭다」라는 점 등이 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트나 철강재에 비해 우수하지만, 부후에 의한 내구성, 내용년수 등에 약점을 갖고 있다. 최근에 들어 환경을 고려한 사방공법에 대한 요구도가 높아지고 있고, 토목자재의 재활용면에서도 순환형 자재로서 목재가 우수하기 때문에 앞으로 목재의 적극적인 이용확대가 이루어져야 할 것이다.

1) 목재 사방시설의 장점

- ① 가볍고 튼튼하여 가공하기 쉽고, 이산화탄소를 장기간 저장한다.
- ② 다른 자재에 비해 생산 에너지가 적게 들고, 화석연료의 대체에너지로서 이용가능하기 때문에 이산화탄소의 배출억제가 가능하다.
- ③ 일정량의 간벌재를 계획적으로 이용할 수 있으며, 경관·생태계에 조화롭고, 현지에 잘 적응할 수 있다.
- ④ 단기간에 저비용으로 설치하여 공사비 면에서 효율적이며, 설치에서 폐기까지 라이프 사이클 코스트가 낮다.

2) 목재 사방시설의 문제점

- ① 목재 사방댐 등은 목재의 부후진도가 구조물의 강도에 미치는 영향이 명확하지 않다.
- ② 임지의 조기식생회복을 목적으로 하는 목재침식방지공이나 통나무 흙막이 등은 목재의 부후진도와 식생회복 진도가 명확하지 않다.
- ③ 현지 상황을 감안한 설치 매뉴얼이 아직 확립되어 있지 않다.

다. 목재 사방댐의 구체적 시공사례

1) 콘크리트 댐 잔존형 틀

- ① 공법설명 : 콘크리트 댐을 시공할 경우 형틀로 목재를 이용하는 공법
- ② 설치목적 : 주변의 흙이나 식물에 조화로운 경관을 창출하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 부드러운 경관을 창출할 수 있으며, 형틀과 겸용하기 때문에 비용을 절감할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

	적용범위
계 반 지역	○
산록·산복	

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△ 유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

- ⑤ 비 고 : 본체, 부체, 측벽호안, 용벽류 등 콘크리트형 틀이 필요한 장소면 어느 곳이나 적용할 수 있다.

⑤ 주의사항

○ 계획

<ul style="list-style-type: none"> · 제내지나 주변 경관에 조화로운가를 고려하여 채택할 필요가 있다. · 급류부나 수층부에서는 수압이나 사력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 입을 가능성이 있다.
--

○ 설계

<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트를 타설할 때에는 측압에 대해 검토할 필요가 있다.
--

○ 시공

<ul style="list-style-type: none"> · 형틀의 리프트 높이는 2.0m 이하를 표준으로 하며, 0.75~1.5m 정도로 하면 시공하기가 쉽다.
--

○ 유지관리

<ul style="list-style-type: none"> · 목재의 부후·손상에 의해 경관성이 나빠질 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.
--

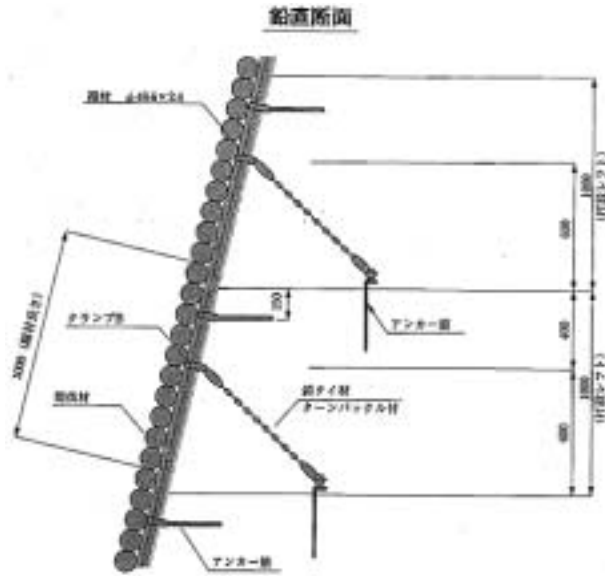


그림 3-1-7. 콘크리트 댐 잔존형 틀의 일반도



그림 3-1-8. 콘크리트 댐 잔존형 틀의 시공 모습

2) 목재틀형 골막이

① 공법설명 : H강형 틀에 통나무 또는 목재 판넬을 끼워 골막이를 만드는 공법

② 설치목적 : 소규모 골막이에 사용한다.

③ 특 징 : 시공기간을 단축할 수 있다.

주변에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.

소규모 골막이로 적용할 수 있다.

④ 적용장소

○ 중단위치

	적용범위
계 반 지역	○
산록·산복	

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

⑤ 비 고 : 토석류의 영향이 적은 골막이 본체 등으로 적용할 수 있다.

⑥ 주의사항

○ 계획

<ul style="list-style-type: none"> · 인가 등의 보전대상으로부터 떨어진 장소에 적용한다. · 사력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받을 경우가 있다.

○ 설계

<ul style="list-style-type: none"> · 골막이로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다. · 하류 쪽에서는 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

<ul style="list-style-type: none"> · 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능(경관성도 포함)이 손상될 수가 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

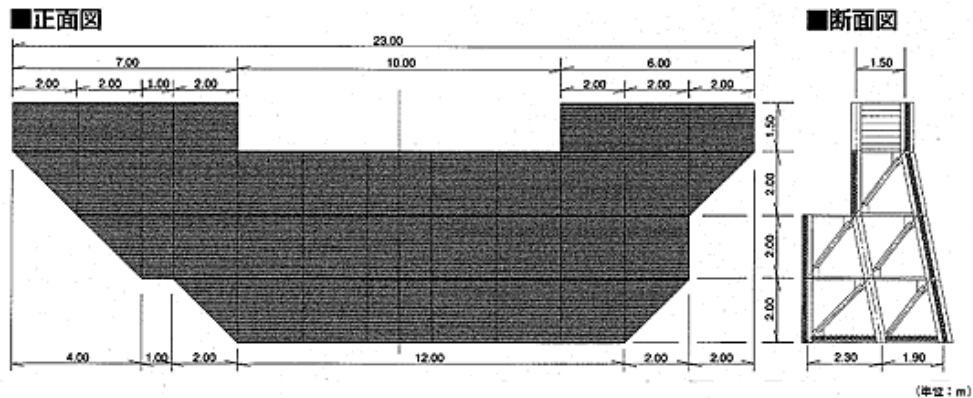


그림 3-1-9. 목제틀형 골막이의 일반도



施工中



完成

그림 3-1-10. 목제틀형 골막이의 시공 모습

3) 수경공

- ① 공법설명 : 사방댐 등의 경관성 향상을 위해 목재로 덮는 공법
- ② 설치목적 : 주변에 조화로운 경관을 창출하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 독특한 질감을 활용할 수 있고, 기존구조물의 경관성 향상에 유효하다.
- ④ 적용장소

○ 중단위치

	적용범위
계 반 지 역	
산 록	○
산 복 사 면	○

○ 계상물매(계반지역)

	○ 퇴적	△유하	발생
계상물매	$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq \theta$
토석류의 영향	없음 (토사류)	조금 적음	직접 받음

⑤ 주의사항

○ 계획

· 주변 경관에 조화로운가를 고려하여 채용할 필요가 있다.

○ 설계

· 기존 구조물에 부착방법을 충분히 검토한다.
· 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

· 목재의 부후·손상에 의해 경관성이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

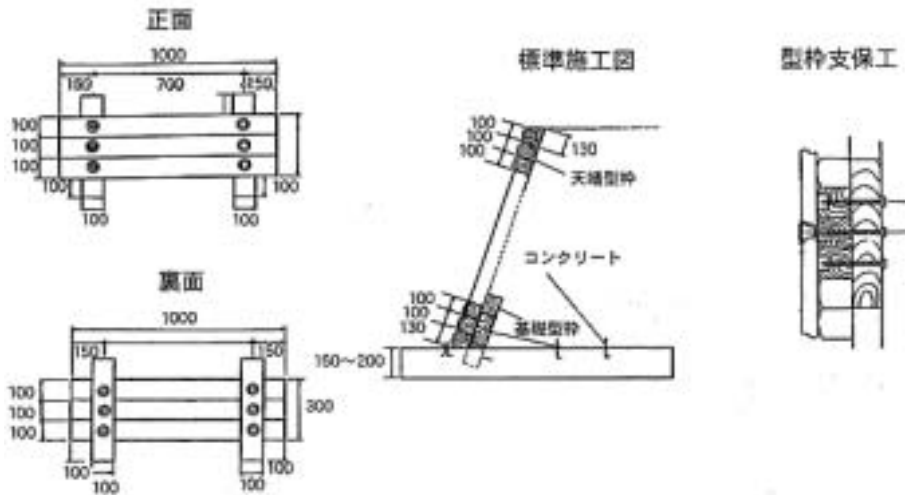


그림 3-1-11. 수경공의 일반도



그림 3-1-12. 수경공의 시공 후의 모습

4) 목재 낙차공

- ① 공법설명 : 목재 틀에 내부 충전용 석재를 쌓아 올린 골막이
- ② 설치목적 : 계상을 안정시키고, 계상의 침식을 방지하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 주변의 흙이나 식물에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.
 석력 사이를 이용하여 생물 등의 성장공간을 창출할 수 있다.
 소규모 낙차공에 적용할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 길이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수중부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

- 인가 등의 보전대상으로부터 떨어진 장소에 적용한다.
- 석력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받는 경우가 있다.

○ 설계

- 낙차공으로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다.
- 하류 쪽에서는 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실되기도 하기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

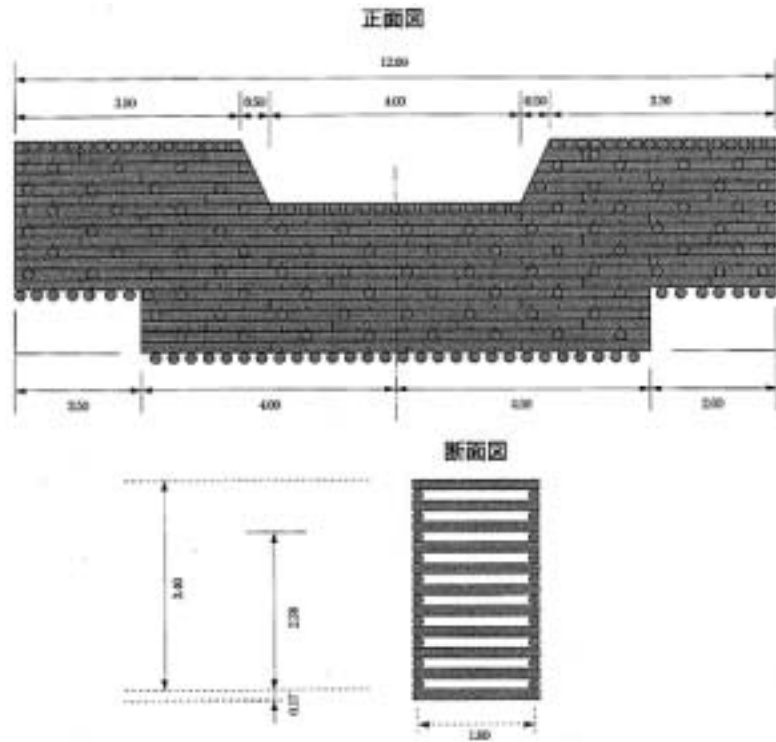


그림 3-1-13. 목제 낙차공의 일반도



그림 3-1-14. 목제 낙차공의 시공 후의 모습

5) 목탄충진 목공침상

- ① 공법설명 : 목공침상의 충전용 석재의 일부를 목탄으로 대체하여 목탄에 의한 정화효과를 기대하는 바닥막이
- ② 설치목적 : 호안 기초부의 세굴을 방지하기 위해 사용하며, 특히 수질정화가 필요한 장소에 사용한다.
- ③ 특 징 : 석력 사이를 이용하여 생물 등의 성장공간을 창출할 수 있다.
목탄에 의한 수질정화를 기대할 수 있다.

④ 적용장소

○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대 · 곡저평야	곡저평야 · 선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 깊이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

· 급류부나 수충부에서는 수압이나 석력 등의 충돌에 의해 목재가 손상을 받을 가능성이 있다.

○ 설계

- 유속이 빠른 경우는 침식이 유출할 가능성이 있기 때문에 침석을 크게 한다.
- 목탄이 유출하지 않도록 강구한다.
- 하폭이 좁은 하천에서는 계상의 전면에 설치하여 계상저하의 방지와 수질정화를 기대할 수도 있다.

○시공

- 목재 틀을 제작하여 물 위에 띄운 후 돌을 투입하여 설치할 수 있으며, 현지 조건에 따라서는 임시로 가설할 필요가 있는 경우가 있다.

○유지관리

- 수층부에 항상 유수가 작용하는 경우는 접합부가 풀리는 경우가 있기 때문에 보수가 필요할 수 있다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적으로 점검·보수가 필요하다.
- 목탄이 부서져 막힐 경우 정화효과가 떨어지기 때문에 교환하는 것이 바람직하다.

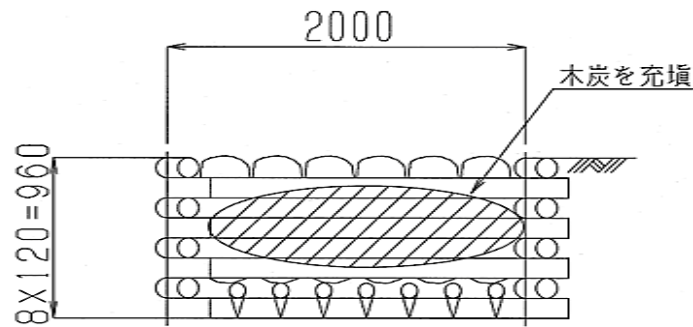


그림 3-1-15. 목탄충진 목공침상의 일반도



施工中



施工後

그림 3-1-16. 목탄충진 목공침상의 시공 중·후의 모습

6) 목재틀 낙차공

- ① 공법설명 : 돌쌓기 목재틀을 몇 단 쌓아 올린 낙차공
- ② 설치목적 : 소규모 하천의 계상안정을 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 주변에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.

석력 사이를 이용하여 어류 등의 생식장소를 창출할 수 있다.

④ 적용장소

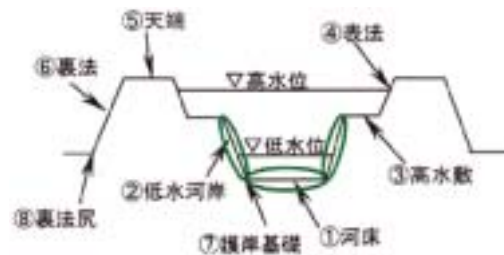
○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대 · 곡저평야	곡저평야 · 선상지
물매의 척도	수평 ~ 1/5,000	1/5,000 ~ 1/400	1/400 ~ 1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm ~ 3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 길이	3 ~ 8m	2 ~ 8m	0.5 ~ 3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	□
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

· 낙차고가 적은 것에 적합하다.

○ 설계

· 교체·보수가 용이한 구조로 한다.
 · 낙차공으로서 안정된 구조가 되도록 계산을 실시한다.
 · 부후에 의해 목재의 강도가 저하되는 것을 고려한다.

○ 유지관리

· 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능(경관성도 포함)이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

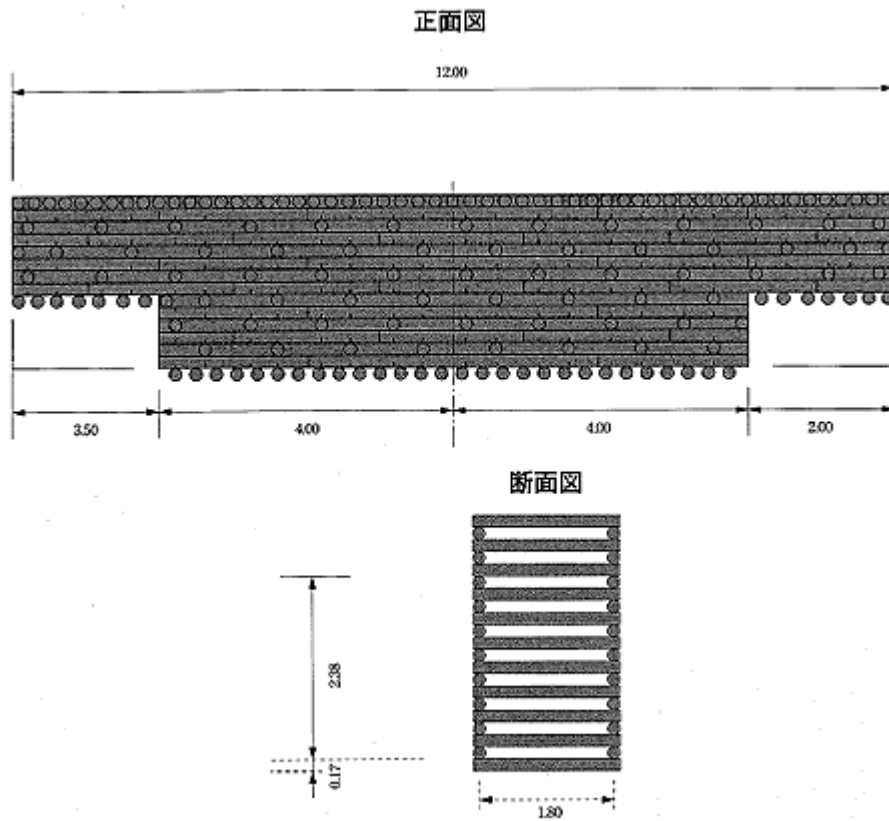


그림 3-1-17. 목제틀 낙차공의 일반도



그림 3-1-18. 목제틀 낙차공의 시공 후의 모습

7) 정화재

- ① 공법설명 : 목탄을 충전한 목재 틀을 수중에 설치하여 수질을 정화하는 공법
- ② 설치목적 : 목탄의 수질정화기능을 이용하여 하천수를 정화하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 목탄에 의한 수질정화작용을 기대할 수 있다.

④ 적용장소

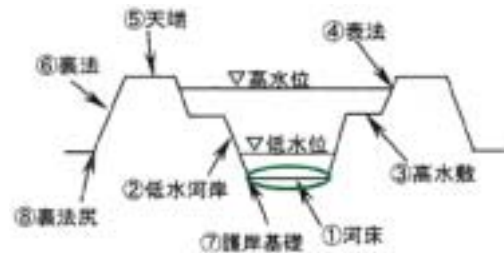
○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 깊이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 계획

- 소규모 하천, 수로, 본천에서 분류한 정화수로 등에서 계획한다.
- 급류하천과 같이 수세가 강한 개소에는 적용하지 않는다.

○ 설계

- 홍수에 대해 지장이 되지 않는 구조로 한다.
- 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 수질정화효과를 확인할 수 없을 때에는 목탄의 막힘을 고려할 수 있기 때문에 교환이 필요하다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

○시공

- 목탄의 부상에 의한 유실대책을 강구한다.
- 충전할 때에 목재가 손상받을 가능성이 있다.

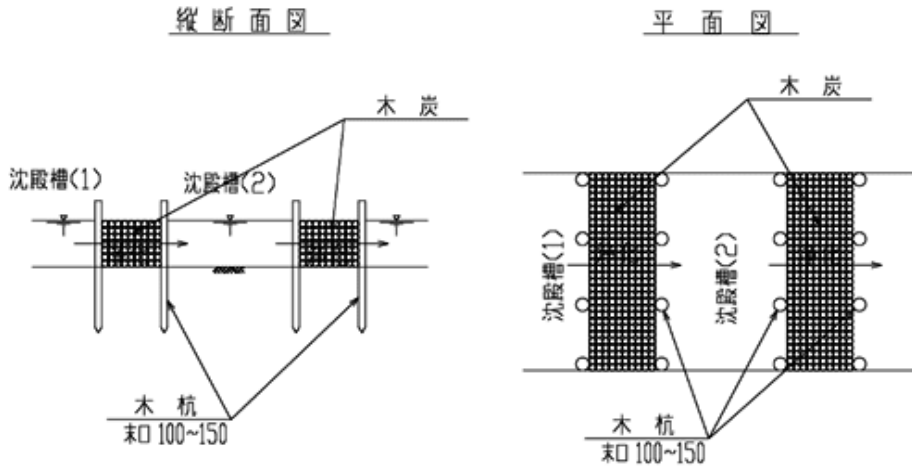


그림 3-1-19. 정화재의 일반도

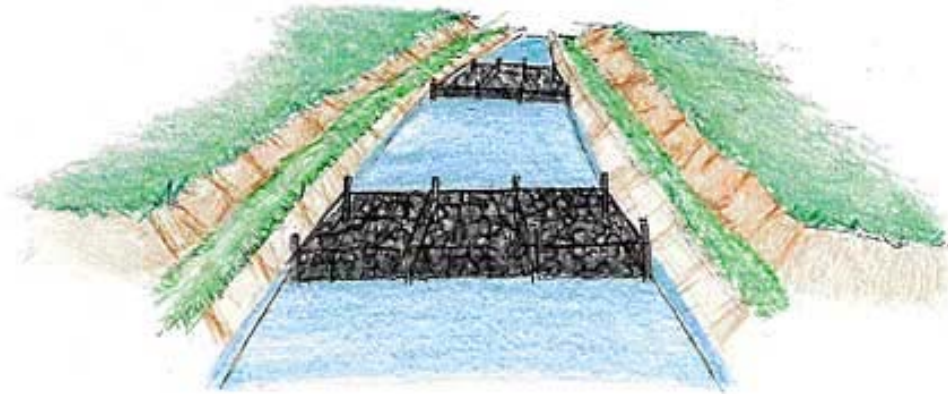


그림 3-1-20. 정화재의 시공 후의 모습

8) 목재 저사댐

- ① 공법설명 : 댐에 유입하는 계곡이나 토사유출이 많은 계곡 등에 석재를 충진한 목재 틀을 쌓아 댐의 유입토사를 일시적으로 저사하는 공법
- ② 설치목적 : 댐의 상류에서 유입하는 토사의 일시적인 저사기능을 하기 위해 사용한다.
- ③ 특 징 : 댐의 퇴사대책에 효과가 있다.
주변의 토지나 식물에 조화로운 경관을 창출할 수 있다.
석력의 사이를 이용하여 생태환경을 창출할 수 있다.

④ 적용장소

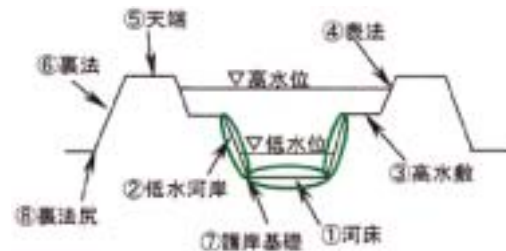
○ 종단위치

지형구분	델타	자연제방대·곡저평야	곡저평야·선상지
물매의 척도	수평~1/5,000	1/5,000~1/400	1/400~1/60
하상재료의 대표입경	0.3mm 이하	0.3mm~3cm	3cm 이상
하상침식 정도	약	중	강
저수로의 평균 길이	3~8m	2~8m	0.5~3m

○ 평면위치

	주로 적용하는 장소
직선부	○
수충부	○
수리부	○

○ 종단위치



⑤ 주의사항

○ 설계

- 안정계산을 실시하여 안전성을 확인한 후에 적용한다.
- 교체·보수가 용이한 구조로 한다.

○ 유지관리

- 상류 쪽에 토사가 퇴적하기 때문에 준설할 필요가 있는 경우도 있다.
- 목재의 부후·손상에 의해 시설로서의 기능이 상실될 수 있기 때문에 정기적인 점검·보수·교환이 필요하다.

○시공

- 나무말뚝 등에 의해 기초지반에 충분히 고정시킨다.
- 타설할 때에는 목재가 손상을 받을 가능성이 있다.

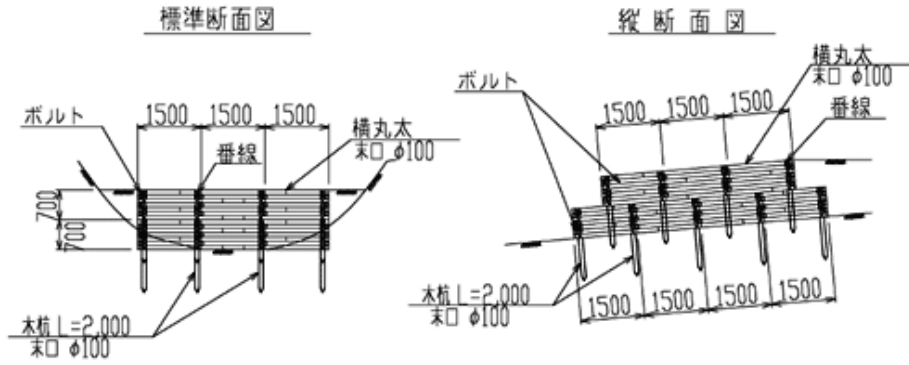


그림 3-1-21. 목제 저사댐의 일반도

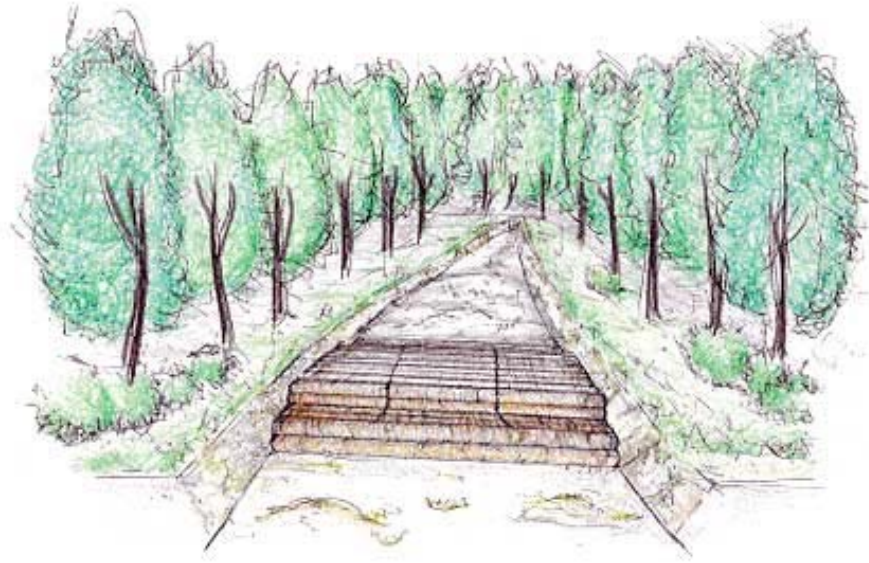


그림 3-1-22. 목제 저사댐의 시공 후의 모습

2. 일본에 있어서 하천·사방공사의 목재활용공법 가이드북

가. 가이드북의 목적

목재활용공법의 가이드북은 하천·사방분야에서 「목재를 적극적으로 이용·활용을 유도한다」라는 관점에서 목재활용공법의 채용방침과 구체적인 사례를 소개하는 것으로 채용목적은 다음과 같다.

- 1) 「국가 등에 의한 환경물품 등의 조달 추진 등에 관한 법률(통칭 : 그린구입법)」에 근거하여 적극적인 환경물품의 조달을 유도한다.
- 2) 하천을 홍수·고조로부터 방어(치수)하거나 수자원 확보(이수)기능을 갖는 장소로서 뿐 만 아니라 자연환경이나 하천경관 등을 포함한 다양한 기능이 발휘되고, 매력이 넘치는 장소가 되도록 노력한다.

1) 그린 구입법에 근거한 적극적인 환경물품의 조달(지구환경온난화방지를 위한 환경조달)

지구환경문제라는 말은 지금은 각 방면에서 사용되고 있지만, 「지구온난화」도 그 일환으로 널리 인식되고 있다. 이는 지구규모에서의 인구증가나 생활수준의 향상, 그것을 지탱하는 경제·산업활동의 확대 등에 의해 대기 중의 CO₂ 등의 온실가스농도가 증가함으로써 지구 전체의 평균기온이 상승하여 지구 규모에서의 기후변화가 생겨 여러 가지 장애가 발생하는 것에 대한 우려이다.

1997년에 교토에서 개최된 「제3차 기후변화협약 당사국총회」에서는 교토의정서가 채택되어 선진국의 온실가스의 배출삭감에 법적 구속력이 있는 수치 목표를 정하여 각국이 국가 사정에 따라 정책·대책을 실시하는 것 등이 정해졌다.

이 의정서에서는 일본에 대하여 온실효과가스의 총배출량을 2008년~2012년까지 1990년에 비해 6% 삭감하는 수치 목표 등이 담겨져 있다. 일본에서는 1990년에 지구온난화방지행동계획을 정하였고, 총배출량은 이들 목표를 상회하는 정세로 추이하고 있으며, 온실가스의 배출삭감을 촉진하는 계획이 포함된 사회를 구축하는 것이 과제로 되어 있다.

이를 근간으로 하여 「지구온난화문제나 폐기물문제 등 오늘날의 환경문제는 그 원인이 대량생산, 대량소비, 대량폐기를 전제로 한 생산과 소비구조에 기인하고 있으며, 그것을 해결하기 위해서는 경제사회의 본연의 상태를 환경부담이 적은 지속적 발전이 가능한 것으로 변혁해 가는 것이 필요하다(환경물품 등의 조달추진에 관한 기본방침에서 발췌)」고 하는 인식 하에 2001년에 「국가 등에 의한 환경물품

등의 조달 추진 등에 관한 법률」이 제정되어 적극적인 환경물품의 조달을 추진하는 것이 국가 등에 의무화되었다. 이 법률에 근거하여 국토교통성의 「환경물품 등의 조달을 추진하기 위한 방침」에는 공공공사의 자재에 목재(간벌재)를 사용하는 것이 표시되어 있다.

〈간벌재와 콘크리트 제품과의 환경부담비용 비교〉

목재는 토목재료 중에서 주요 온실가스의 하나인 CO₂의 배출량이 적은 특징을 갖고 있다. 탄소배출량 원단위로 비교하면, 목재의 탄소배출량 원단위는 탄소고정이 없더라도 시멘트의 1/30, 철과 동의 1/60정도로 대단히 적다(표 3-1-1 참조).

바닥막이에 적용하여 동일 기능을 갖는 「목공침상(3층)」과 「블록(1톤)」에 대한 환경부담 코스트 비교를 실시하였다(표 3-1-2). 환경부담

코스트 산출방법은 탄소배출량 원단위 비교에 의해 실시하였다. 그 결과, 목공침상은 환경부담이 바닥막이 블록의 약 1/500로 매우 적은 것을 알 수 있었다.

표 3-1-1. 주요 건설자재의 탄소배출량 원단위

건축자재		탄소배출량 (kg-C/kg)	
자갈·석재		0.0003	
목재	탄소고정 없음※	제재	0.0078
		합판	0.0487
	탄소고정 있음※	제재	-0.492
		합판	-0.447
합성유지제품		0.176	
유리	판	0.414	
	섬유	0.579	
시멘트	포트랜드	0.235	
	45% 슬러지 고로	0.138	
도자기(건설용)		0.114	
철강	봉강	0.173	
	강판	0.436	
동		0.280	
알루미늄(새시용)		1.765	

표 3-1-2. 목공침상과 바닥막이 블록의 탄소배출량의 금액환산 비교사례

목공침상	23엔/40m ²	블록	14,260엔/40m ²
------	----------------------	----	--------------------------

이상에서 알 수 있듯이 앞으로는 환경부담 코스트가 적은 목재를 활용한 공법에 대한 유효성이 더욱 평가받을 것으로 생각된다.

2) 목재를 활용한 하천조성 추진

일본은 가늘고 긴 국토를 최추와 같이 험준한 산맥이 종단하고 있다. 이 때문에

하천은 일반적으로 물매가 급하고 유로가 짧으며, 기후는 대체로 아시아 몬순대에 속하여 전선이나 태풍에 의해 가끔 단기간에 집중하는 강우에 휩싸이기 쉽다. 그리고 강우 시에는 하천의 유량이 급격히, 그리고 대폭적으로 증가하여 때로는 범람하여 주민의 생명이나 재산을 위협하고 있다.

일본에 있어서 치수는 이전부터 정치, 행정, 경제 상 중요과제로 취급하여 그 안정성을 높이기 위한 노력이 진행되어 왔지만, 2차 세계대전 이후에는 특히 대형태풍의 내습, 고도경제성장에 동반된 인구의 도시집중에 대한 대응 등으로 치수정비가 급하게 요구되어 주로 콘크리트를 사용하여 경제성, 효율성을 우선한 사업이 진행되어 왔다. 또한 1960년대는 인구의 도시집중화에 의한 오수의 유입으로 하천의 수질이 악화되는 등 환경에 관한 문제가 심각해 졌고, 하천의 생태계 등도 그 영향을 받아 빈약한 상태로 변화해 왔다.

그러나 국민이 경제적으로 풍요로워짐에 따라 윤택한 생활환경을 요구하게 되어 지금까지의 치수·이수를 주로 하는 하천정비, 하천관리에 대한 재평가가 요구받기에 이르렀다.

1990년에 하천국 치수과장 등으로부터 「특히 생물에 양호한 생식환경을 배려하고, 동시에 아름다운 자연경관을 보전 혹은 창출하는 「다자연형 하천조성」을 추진하는 것으로 한다」라는 통지가 제출되어 환경 등을 배려한 공법의 채용이 적극적으로 요구되게 되었다. 이것은 하천에 대한 국민 요구의 다양화 등을 고려한 새로운 과제로의 시도이다.

1995년 「앞으로의 하천환경의 방향에 대하여」의 하천심의회 의 답신에서는 이하의 내용이 나타나고 있다.

첫째로, 하천은 국민에게 있어서 원래 신변에 일상적으로 접할 수 있는 뛰어난 자연적 환경의 하나이기 때문에 하천이 갖는 자연적인 가치, 특히 다양한 생태계를 만든다고 하는 가치를 존중해야만 한다.

둘째로, 보다 나은 하천환경을 형성하기 위해서는 하천이 지역에 밀착한 재산이기 때문에 지역주민을 비롯한 지방공공단체 등과의 연계·협조를 도모해야만 한다.

셋째로, 종래에는 볼 수 없었던 하천의 이용형태 출현, 안전하고 맛있는 물의 기대나 하천에 관계된 지역고유의 문화를 귀하게 여기는 의식에 답해야만 한다.

- 뛰어난 하천환경의 보전이나 창출에 관한 시책이나 제언은 그 이후에도,
- 1996년의 하천법 개정에서 “하천환경의 증시에 관한 방침”
 - 1998년의 「하천에 있어서 앞으로의 정보화를 향한 시책은 어떻게 할 것인가」 (하천심의회 답신)에 있어서 “지역과 하천의 관계를 재구축하기 위한 정보제공”
 - 1999년의 「하천에 있어서 전통기술의 활용은 어떻게 할 것인가」 - 생활·문화를 포함한 하천전통기술의 승계와 발전 - (하천심의회 답신)에 있어서 “하천 전통기술은 일반적으로 말하는 「지역의 특성, 하천의 성격에 따른 기술」이며, 사용하는 재료도 나무나 돌과 같은 유역에 있는 천연소재가 주체이다. 따라서 하천 전통기술에 의해 만들어진 시설이 생태계에 크게 영향을 주는 일없이, 환경적으로도 주위와 조화되어야 한다. 하천사업에 있어서 환경에 영향이 우려되고 있는 현재, 환경과의 조화를 꾀하는 힌트를 주는 것이라고 생각된다.” 등이 있다.
- 목재를 활용한 하천조성은 이와 같이 환경면의 평가나 지역과 하천의 관계를 재구축하기 위한 계기가 될 것을 기대할 수 있다.

하천환경의 척도에 대하여 보편적인 가치, 표현법은 확립되어 있지 않은 상태이지만, 하천의 생태환경에 대하여 「하천생태환경의 잠재자연도」라는 개념을 이용하여 평가하는 것을 제안하고 있다.

이 가이드북에서는 이상을 참고로 하여 Y축은 환경수준의 고저로서 「환경포텐셜」을, X축은 「시간」으로 하여 환경 회복을 포함한 목재활용공법의 채용방법을 다음과 같이 하도록 한다.

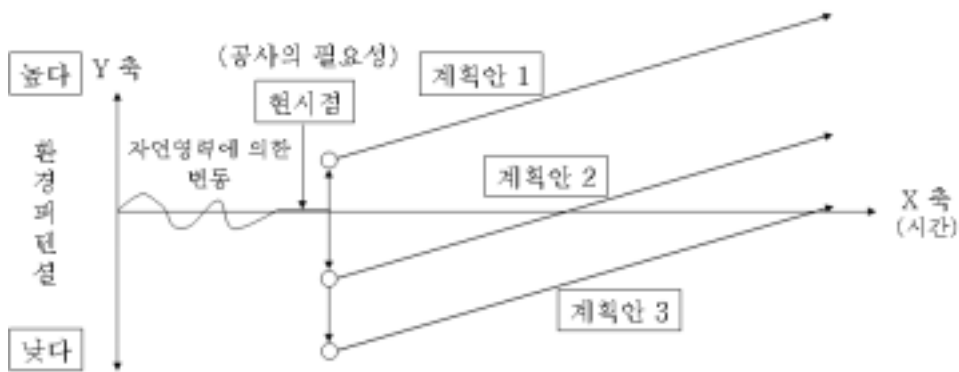


그림 3-1-23. 공법채용이 환경에 미치는 영향에 대한 개념도

주) 그림을 보는 방법과 가이드북에서의 환경 포착방식

이 그림은 인위적인 영향(3개의 계획안)에 의한 환경포텐셜의 변화를 나타내고 있다. 환경포텐셜의 개념은 「잠재자연도」가 아니라 인간이 본 「환경의 수준」으로 하였다(예를 들면 친수성의 향상). 이 때문에 인위적인 행위에 의해 반드시 저하하지는 않는다. 영향이나 효과의 초기 값을 정량화하고, 이것을 기본으로 계획안을 책정하며, 각 사례에 현 시점 이후의 천이를 추측하여 인위적인 영향·효과에 예측과 그것에 대응한 계획안 채용의 개념을 나타내고 있다.

【칼럼】 바닥막이 블록 7개가 배출하는 CO₂의 양은 1세대가 연간 배출하는 양과 거의 같음

바닥막이 블록에 사용되는 콘크리트 1개(약 1t)가 배출하는 CO₂의 양(시멘트를 제조하기 위한 배출량)은 약 0.85t이다. 한편, 일본의 1세대 당 연간 CO₂ 배출량은 양은 약 6t이므로 바닥막이 10m²의 시공을 블록으로부터 목공침상으로 교환하는 것만으로(블록 7개 사용) 약 1세대가 연간 배출하는 CO₂의 양을 삭감할 수 있게 되는 것이다.

【칼럼】 삼림의 치수·이수기능과의 관계에 대하여

하천공사, 사방공사 등에 목재를 활용하는 것은 CO₂ 배출량의 삭감에 유효하다는 것은 전술한 바와 같다. 그 목재는 부근의 산림, 유역 내의 산림 등에서 발생하는 것을 사용하는 것이 비용면, 유역의 건전한 토양환경의 유지 등의 면에서 바람직한 것이며, 유역에 있어서의 건전한 산림의 존재가 해당 지역을 유역으로 하는 하천에 있어서 어떠한 효과, 영향을 미치는가를 파악해 두는 것은 중요한 일이다.

일본에서는 국토면적의 약 67%가 산림으로 구성된 세계에서도 유수의 산림대국이다. 산림은 고래로부터 용재나 연료의 공급원으로서 이용되어 왔다.

메이지·다이쇼·쇼와에 걸쳐 경제가 확대하는 중에 산림도 활용되어 왔지만, 쇼와 30년대의 석유 등에 의한 에너지 혁명이나 값싼 외재의 수입에 따른 목재 가격의 하락과 맞물려 임업은 급속하게 쇠퇴하게 되었다. 그와 함께 산림관리의 수준도 저하하여 왔다.

산림의 정비(간벌 등)가 충분히 이루어지지 않으면 수림이 성장하여 수관이 지표면을 덮어 지표면에 도달해야 할 햇빛이 차단되므로 하초의 생육을 저지하게 된다. 하초의 생육이 없으면 강우 시의 지표면의 유수(표면류)에 대한 토양의 내수식성이 저하되기 쉽다. 그 결과, 강우나 표면류 등이 수목의 고엽 등에 의해 형성된 포라스로 보수성이 풍부한 산림생육기반을 침식·유실시켜 산림토양의 보수능력을 저하시킨다. 즉, 간벌이 적절하게 실시되는 것은 양호한 산림토양형태가 유지되고, 산림토양의 유출이 방지되는 것이 된다.

이 산림토양과 물의 관계는 다음이 확인되고 있다.

- 1) 홍수 시의 침투유량의 저감
- 2) 우수유출의 지연화
- 3) 토사유출방지

이것에 의해 홍수나 토사유출에 의한 재해를 감소시키는 것을 기대할 수 있다. 물론 그 정량적인 특징은 유역의 지질이나 지형, 토지이용 등에 따라 다르기 때문에 그 특성을 충분히 검토한 이후의 산림관리의 실천이 필요하다.

※산림의 치수기능은 주로 산림의 생육기반(토양층)의 보수기능에 의한 것이 크다고 할 수 있다. 수목은 탄소동화작용(광합성)을 하여 뿌리에서 빨아올린 수분을 엽면 등에서 상시 증발시키고 있지만, 장기간 무강우가 지속되면 산림이 형성한 생육기반(토양층)의 보수능력이 갖고 있는 천천히 유출시키는 기능에 의한 저수유량의 증가 공헌분보다 증산량이 상회할 수 있다. 이 때문에 갈수 시에는 하천유량이 도리어 감소하는 일도 있다.

나. 하천특성의 사전조사와 대응방침

목재활용공법을 채용할 경우 하천의 기본특성을 정확히 이해할 필요가 있다.

- ① 하천은 다양한 기능을 갖고 있다.
- ② 하천의 특성은 하천별로, 그리고 장소에 따라 다르고, 더욱이 항상 변화하고 있다

1) 하천의 기본적 특성

하천은 종종 홍수를 만들어 인간의 생명이나 재산을 위협해 왔다. 수해의 위협이 없어지는 것은 범람지역에 살고 있는 사람들의 소원이다. 한편, 홍수는 관개용수나

도시용수 등으로 이용되고, 지역에 살고 있는 주민들에게는 없어서는 안되는 것이다. 더욱이 최근에는 하천이 스포츠가 가능한 공간, 도시의 상징으로서의 수변공간, 귀중한 생물의 생식기반으로 재인식되고 있다. 하천의 다양한 기능을 통해 인간과 하천의 관계, 지역과 하천과의 관계구축의 필요성에 대해 재인식되어 하천의 정비, 관리에도 지역의 관심이 높아지고 있다.

하천에는 유수가 있고, 그것은 항상 변화하고 있다. 변화의 내용은 수위(유량), 유로나 수충부, 수질 등 다양하며, 그 속도도 다양하다. 또한 하천을 흐르고 있는 것은 유수뿐만이 아니라 토사나 쓰레기, 화학물질 등도 있다. 이것들도 유수와 마찬가지로 시간에 따라 변화하고 있다. 시설을 건설할 경우, 예상해야 할 유하물은 유수는 물론 토사나 쓰레기, 화학물질(수질) 등도 고려해야 할 경우도 있다. 이들 하천의 실태나 변화를 정확하게 파악한 공법의 채용과 유지관리를 실시하여 개성있는 하천만들기를 진행할 필요가 있다. 특히 하천이 형성하는 다양한 지형, 그곳을 생식장소로 하는 식생이나 동물 등이 형성하는 생태계 등은 제내지의 개발이 진척됨에 따라 중요성·귀중성이 보다 높아지고 있다.

이 때문에 하천에 시설을 설치할 경우, 하천의 물리·화학적 변화나 실태, 하천환경 등과 그 변화의 상황을 충분히 파악하고, 지역의 하천에 대한 주민인식 등의 정보에 대해서도 수집해 두는 것이 중요하다.

2) 공법채용을 위해 필요한 항목(사전조사)

목재활용공법뿐 만 아니라 하천·사방공법의 선정에 필요한 하천의 기본적인 특성 파악 및 공법을 계획할 때에 필요한 파악항목(사전조사항목)은 다음과 같다.

- ① 장소의 특성
- ② 채용하는 공법이나 재료의 기능, 성능 등
- ③ 채용하는 공법의 시공, 관리 등

각 항목의 내용은 다음과 같다. 단, ②는 ①과의 대응항목이다.

① 장소의 특성에 관한 항목	② 공법·재료 등에 관한 사전조사 항목
· 환경특성(경관)	↔ · 경관의 보전
· 환경특성(생태환경)	↔ · 생태환경의 보전
· 친수성	↔ · 친수성 배려
· 유수나 토사작용에 관한 특성	↔ · 유수나 토사작용에 관한 내성
· 기타	↔ · 재질의 시간적 변화(시설효과의 연속성)

③ 채용하는 공법의 시공, 관리 등에 관한 검토항목			
· 경제성	· 시공성	· 유지관리	· 재료의 공급조건

3) 사전조사항목별 대응방침

목재활용공법의 계획에 필요한 사전조사항목 및 그에 대한 관점과 대응방침은 다음과 같다.

○환경특성(경관의 보전)

[관점] 수변이나 수변의 녹지공간은 인간에게 편안함을 주는 공간으로서 높은 평가를 받는 경우가 많다. 따라서 1980년대 말부터 하천구조물에도 경관디자인을 하는 흐름이 채택되어 주변경관과의 조화 등을 배려한 설계가 도입되었다. 하천이용이 증가되는 가운데 경관은 하천공간을 평가하는 면에서 중요성이 고조되고 있다.

[방침] 수변을 포함한 지역의 경관이 역사적·문화적 가치나 「지역」 특유의 얼굴로서 기능하기 위해서는 지역에 사랑받고 친밀감 있는 하천 만들기라는 관점에서 검토하는 것이 중요하다.

○환경특성(생태환경의 보전)

[관점] 수변이나 수변의 녹지공간은 생태환경에 귀중한 공간이 되는 곳이 많다. 하천환경 등 하천의 다양한 기능이 중시되고, 주민의 의견이 하천정비에 반영되도록 1997년에 하천법이 개정되어 목적에 「환경의 보전·창출」이 부가되었다. 이러한 취지를 살려 환경면에서의 보전, 정비를 목적으로 한 하천 만들기의 활성화가 기대된다.

[방침] 환경특성은 하천수변의 국세조사, 하천환경관리계획책정 시의 조사 등에서 정보의 축적이 진행되고 있다. 또한 주민의 정보에도 귀중한 사항이 있으므로 그 활용을 꾀하는 일이 중요하다.

○친수성

[관점] 수변에 접근하기 쉽고, 물에 친할 수 있는 하천 만들기를 요구하는 목소리가 확산되고 있다. 인간이 하천으로부터 멀어지게 되면, 수질이나 하천공간의 환경을 악화시키는 악순환을 가져오고, 지역 만들기에 연결되는 하천, 마음을 온화하게 하는 수변공간의 제공 등을 적극적으로 이루어 본래의 하천의 모습을 되돌리려는 움직임이 각지에서 확산되고 있다.

[방침] 앞으로 친수성이나 경관을 배려한 공법을 채용함에 있어 장소의 특성에 적합하도록 지역과 일체가 되어 적극적으로 실시하는 것이 중요하다.

○유수나 토사작용에 관한 특징

[관점] 목재활용공법은 하천의 특성을 고려하여 경험적으로 사용되는 경우가 많다. 이 때문에 채택여부를 판단하기 위해 하도특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다.

[방침] 하천관리의 중요한 목적 중 「국민의 생명이나 재산을 보호하기 위한 치수의 안전성을 고양하는 것」에 변화가 없기 때문에 구조물에 필요한 강도를 산정할 수 있는 경우에는 필요에 따라 유수나 토사의 작용을 정량화하여 안정성을 평가하여야 한다. 이에 필요한 수문 데이터나 과거의 방재 데이터는 자료로 축적되어 있기 때문에 활용할 수 있다.

○기타의 장소 특성

[관점] 장소의 특성으로 중시되어야 하는 것은 「환경특성」과 「유수나 토사의 작용에 관한 특성」이다.

[방침] 이 외에도 공중에 따라서 고려해야 할 사항이 있다. 예를 들면 표식판으로 사용하는 경우에는 바람이나 지진, 기타 구조물이 받는 외력에 대하여 안전해야 한다. 또한 인간의 이용을 전제로 할 경우에는 안전한 구조인지, 그 구조물이 필요한 기간 동안 유지할 수 있는지 등에 유의할 필요가 있다.

○재질의 시간적 변화

[관점] 콘크리트나 철 구조물은 영구 구조물이라 하여 일단 건조하면 반영구적으로 기능이 유지되는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 시간의 경과나 부식, 열화에 의해 성능이 저하하는 것은 피할 수 없는 것이다.

[방침] 목재는 「부후」로 대표되는 열화가 일반적으로는 콘크리트 등에 비해 단기간에 나타나며, 그 정도가 설치장소의 조건(예를 들면 일조, 기온, 건습 등)에 따라 크게 다르기 때문에 재질의 시간적 변화에 대해서는 특히 유의해야 한다. 또한 그 변화를 강도면에서만 생각하는 경우가 많지만, 경관이나 생태환경 등에 관한 변화에도 유의할 필요가 있다.

○시공성

[관점] 시공성의 개선에 의한 위험작업으로부터의 해방이나 작업의 능률화는 토목공사에 있어서 중요한 테마이며, 기계화 등에 의해 큰 효과가 나타나고 있다. 목재활용공법도 시대의 요구에 따른 시공기술의 개량, 생산능률화에 의

한 비용절감 등이 요구되고 있다.

[방침] 목재활용공법에 대해서도 안정성이나 능률화가 요구된다. 특히 목재활용공법은 공사의 규모나 구조로부터 인력시공에 의지하는 공법이 많아 비용 상승 요인이 되기 때문에 그에 대한 개선이 중요과제이다. 이 과제는 목재활용공법의 보급에 의해 개선되는 면도 있지만, 보급이 확대되기까지는 다음과 같은 사항에 대하여 충분한 검토가 필요하다.

- ① 작업원 및 지도원의 확보와 육성
- ② 공법의 단위화 등(사례의 유무 확인이나 단위화 검토)
- ③ 시공방법 확립을 위한 연구(기계화에 의해 능률향상을 도모)
- ④ 자재 입수경로 확립(기본적인 부분을 자료편에 기술)

○경제성

[관점] 경제성의 평가는 공법채택에 있어 매우 중요한 조건이다. 앞으로는 이니셜 코스트나 런닝 코스트뿐만 아니라 라이프 사이클 코스트를 도입하는 것이 요구된다.

[방침] 목재활용공법을 추진할 때 중요한 것은 이 가이드북을 작성하는 계기가 된 환경부담에 관한 경제성을 적정하게 평가하는 것이며, 그에 대한 적극적 평가가 목재활용공법의 채택여부를 결정하는 중요한 요인이다.

○유지관리

[관점] 하천사업 전반에는 유지관리의 중요성이 높아지고 있다. 그 이유는 하천관리시설의 정비 등이 진척되어 유지·관리를 필요로 하는 시설 자체가 증가하고 있는 것이며, 제한된 예산 속에서 지금 있는 시설이 최대한으로 기능이 발휘되도록 요구되고 있기 때문이다.

[방침] 최근에 들어 지역의 요구를 적극적으로 수용하는 공사나 관리가 요구되고 있으며, 그와 같은 시도가 각지에서 일어나고 있다. 이 때문에 목재활용공법의 유지관리도 지역과의 관계구축 속에서 적절하게 검토되어야 한다.

○재료의 공급조건

[관점] 토목시설을 시공할 때에는 공사에 필요한 재료가 확실하게 입수되는 것이 중요한 조건이다.

[방침] 목재를 활용할 때에는 목재유통시스템이 공사에 지장이 되지 않도록 재료의 입수 등에 대하여 알아두는 것이 목재가 적극적으로 이용되고 있지 않은 현 단계에서는 필요하다.

제3절 목제 사방댐의 현지적용

1. 시공대상지의 선정

가. 위치 및 유역조건

연구대상지는 그림 3-3-1과 같이 행정구역상 강원도 홍천군 북방면 강원대학교 산림과학대학 부속학술림 31, 32임반 내에 위치한 중·소규모의 토석이동이 발생하는 전형적인 산지 소하천으로 주변은 주로 일본잎갈나무가 인공조림되어 있다.

목제 사방댐의 시공대상지점은 그림 3-3-2와 같이 두 개의 1차 지류가 합류되는 2차류의 산지소하천으로 주변 임지의 평균경사도는 20°~25°이며, 지질은 화강암과 화강편마암을 모암으로 이들이 풍화하여 생성된 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있다. 기후는 온대 대륙성기후로서 일반적으로 하계에는 고온다습하고 동계에는 저온건조하며, 평균 기온은 하계가 21℃, 동계가 -4℃이며, 연평균 기온은 약 10℃이다. 연평균 강수량은 1,200mm정도이며, 이 중 약 70%는 4월~9월에 내린다. 한편, 목제사방댐 시험대상지의 최하류 지역에는 버트리스 사방댐이 시공되어 있으며, 유역면적은 56ha이다.

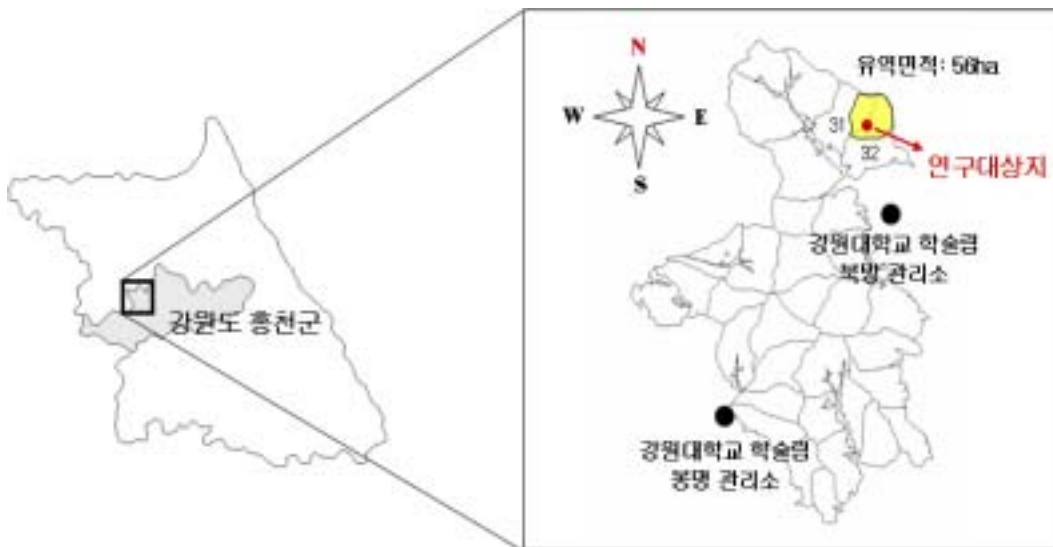


그림 3-3-31. 연구대상지의 위치도

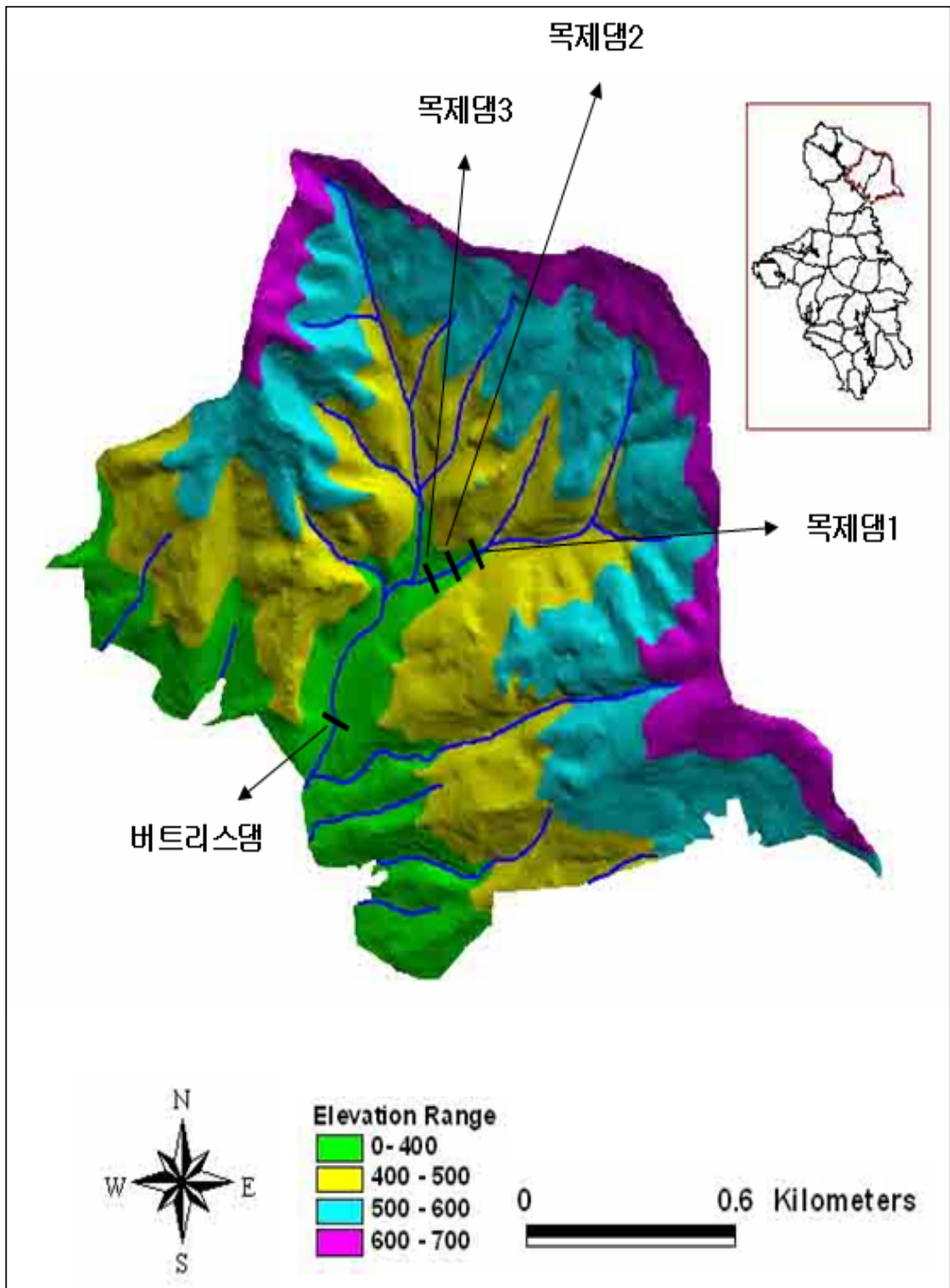


그림 3-3-2. 소형 목제사방댐 시공대상지의 해발고 및 수계도



그림 3-3-3. 목제 사방댐 시공지의 전경



<목제사방댐 1 시공지(상류)>



<목제사방댐 2 시공지(중류)>



<목제사방댐 3 시공지(하류)>



<최하류의 버트리스댐>

그림 3-3-4. 목제 사방댐 시공 이전의 계류상황과 하류의 버트리스 댐

나. 시공지역의 확률강우량 산정(Gumbel-chow법)

년 도	일 최대강우량(xi)	xi-x	(xi-x) ²	비 고
1985	98.30	-45.31	2,053.00	
1986	83.90	-59.71	3,565.28	
1987	131.30	-12.31	151.54	
1988	88.70	-54.91	3015.11	
1989	113.50	-30.11	906.61	
1990	276.00	132.39	17,527.11	
1991	167.00	23.39	547.09	
1992	232.00	88.39	7,812.79	
1993	91.50	-52.11	2,715.45	
1994	105.50	-38.11	1,452.37	
1995	170.50	26.89	723.07	
1996	81.50	-62.11	3,857.65	
1997	119.00	-24.61	605.65	
1998	185.50	41.89	1,754.77	
1999	159.00	15.39	236.85	
2000	110.00	-33.61	1,129.63	
2001	156.00	12.39	153.51	
2002	167.50	23.89	570.73	
2003	164.00	20.39	415.75	
2004	171.50	27.89	777.85	
20년 합계	2,872.20		49,971.84	
평균(x)	143.61			

□ 확률강우량 계산

○ 관측년수 : 20년

○ 빈도계수(k50) : 2.592

○ 기본식 : $X=r \times k \times x$

○ 평균강우량 $x = 2872.20/20 = 143.61$

○ 표준편차 $r = (49971.84/20)^{1/2} = 49.99$

○ 50년 확률빈도치 $= r \times k + x = 273.184 \text{ mm/day}$

○ 시간당 확률강우량(物部 공식)

$$R_{24}/24 \times (24/t)^{0.5764}$$

$$273.184/24 \times (24/1)^{0.5764} = 71.03 \text{ (mm/hr)}$$

2. 시공방법 결정

가. 공사개요

- 1) 공 사 명 : 소형목제사방댐 설치공사
- 2) 발 주 처 : 강원대학교 산림과학대학
- 3) 공사기간 : 착공일로부터 20일
- 4) 위 치 : 홍천군 북방면 북방리 강원대학교 학술림
- 5) 공사목적 : 본 공사는 소형목제사방댐 개발에 관한 연구과제 수행을 위하여 강원대학교 학술림 내 소계류에 소형목제사방댐을 유기적으로 시공하여 기초지반조건이 나쁜 구간의 하도고정효과와 수질보전과 수서곤충, 어류 등 계류 생태계의 유지기술 및 강우 시의 토사 이동량을 조사연구코자 본 공사를 시행한다.

표 3-3-1. 공사예정공정표

(공사착공일로부터 20일)

공종	수량	비율(%)	5	10	12	20
계		100				
소형목제사방댐	1개소	71				
전석쌓기 및 깔기	51.40㎡	12				
진입로 보수	1식	17				

나. 전문시방서

황폐산지의 비탈면을 안정시키고 침식을 방지하는 산림토목기초공사와 비탈면을 식생으로 피복하여 재해예방과 산림기능을 회복시키기 위한 전문시방서이다.

1) 소형목제사방댐

- 시공도면을 참고하여 기초터파기를 철저히 한후 시공한다.
- 목제사방댐 시공순서
 - ① 횡목 버팀목을 박는다.
 - ② 시공도면과 같이 횡목을 시공 폭 상, 하에 설치한다.
 - ③ 횡목을 설치한 후 못으로 고정하고, 채움자갈로 채움을 충분히 실시한다.
 - ④ 자갈채움이 끝나면 종목깔기를 실시한 후 목과 철선으로 조임을 실시한다.

- ⑤ 그 후에 횡목과 종목을 칸칸이 상기 항의 시공요령처럼 반복하여 시공한다.
- ⑥ 횡목과 종목을 순차적으로 축조하면서 뒷채움을 동시에 실시한다.
- ⑦ 시공이 완료되면 되메우기 등 주변의 청소를 철저히 한다.
- ⑧ 통나무 끝막이에 사용되는 목재는 현장에서 꺾질 벗기기를 실시한 후 사용한다.
- ⑨ 통나무 원목은 구입하여 사용하며, 웅이 제거 등 다듬기를 실시한 후 사용한다.

2) 전석쌓기 및 깔기

- 기초터파기를 철저히 한 후 전석쌓기 및 깔기를 실시한다.
- 전석쌓기의 뒤채움을 철저히 한다.
- 전석규격은 0.7×0.7×0.8m를 표준으로 한다.
- 전석쌓기 및 깔기는 굴삭기를 이용하여 실시하며, 안전사고 예방에 철저를 기한다.
- 기타 시공도를 참고하여 시공한다.

3. 제원 결정

현지에 시공된 사방댐은 주위의 일본잎갈나무 간벌재를 이용하여 제작한 목제사방댐으로 내부는 현지에서 구득한 전석을 충전하였으며, 목제사방댐 방수로의 천단과 계상이 동일한 높이를 가진 바닥막이 형식의 저댐으로서 3기를 계통적으로 시공하였으며, 각 목제사방댐의 제원은 표 3-3-2와 같다.

표 3-3-2. 목제사방댐의 제원 (단위: m)

No.	댐			방수로		
	상장	하장	전고	상장	하장	깊이
1	14.00	9.00	1.60	6.88	4.96	0.96
2	13.00	7.00	1.60	6.88	4.96	0.96
3	17.00	11.00	1.92	8.96	7.04	0.96

4. 시공

가. 시공과정

소형목제사방댐의 시공은 그림 3-3-5와 같이 목재반입→목재수피제거→기초시공→목재깔기→돌채움→목재절단→철선조임→뒷채움→뒷정리 및 시공안전검사의 순으로 실시하였다.



1) 목재반입



2) 목재수피제거



3) 기초시공중



4) 목재깎기 및 조약돌채움



5) 돌 채움 관경



6) 목재 절단 및 철선 조임



7) 뒷채움 전경



8) 뒷정리 및 시공안정검사

그림 3-3-5. 소형목제사방댐의 시공과정 및 상황



(시 공 전)

(시 공 중)

(시 공 후)

그림 3-3-6. 각 지점에 시공된 소형목제사방댐(위로부터 소형목제사방댐 1, 2, 3)

5. 설계도면

가. 설계대상지의 종단도

그림 3-3-7. 설계대상지 계류의 종단도

나. 목제사방댐 1 (상류)

그림 3-3-8. 소형목제사방댐 1(상류)의 구조도(상)와 토공도(하)

다. 목제사방댐 2 (중류)

그림 3-3-9. 소형목제사방댐 2(중류)의 구조도(상)와 토공도(하)

라. 목제사방댐 3 (하류)

그림 3-3-10. 소형목제사방댐 3(하류)의 구조도(상)와 토공도(하)

제4절 소형목제사방댐이 계류환경에 미치는 영향 분석

1. 연구방법

산지소하천에 사방구조물이 시공되면 계상, 계류수질 및 주변식생 등에 영향을 미치게 되므로 소형목제사방댐이 계류환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 현지조사를 실시하였다. 즉 소형목제사방댐의 시공에 따른 계상변동을 파악하기 위해 정점측량을 실시하였으며, 계상퇴적물의 특성, 계류수질 변화, 부유물질 농도 변화를 조사하였다. 또한 소형목제사방댐의 시공에 따른 주변식생의 변화를 파악하기 위해 식생조사를 실시하였다.

가. 강우자료 분석

조사대상지의 강우자료는 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)의 홍천군의 월별·일별·시간별 강우량을 강우단위별로 구분하여 해석하였다.

나. 정점측량

소형목제사방댐 시공대상지 계류의 계상변동을 측정하기 위해 정점측량에 의한 정밀 계상측량을 실시하였으며, 특히 소형목제사방댐 시공구간은 보조측선을 20m마다 설정하여 측량을 실시하였다(그림 3-4-1).



그림 3-4-1. 레벨을 이용한 정점측량 실시

다. 계상퇴적물의 특성 조사

소형목제사방댐에 의한 계상퇴적물의 입경분포특성을 분석하기 위해 각 지점의 목제사방댐 직상부에서 퇴적물을 채취한 후, 실내에서 흙의 입도시험(KS F 2002)을 실시하였다. 즉, 3, 2, 1과 1/2, 1, 3/4, 3/8, No. 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200의 sieve와 입도분석장치(그림 3-4-2)를 사용하여 입경을 분석하였으며, 삼각좌표법에 의해 토성과

균등계수(C_u), 곡률계수(C_g)를 산출한 후, ASTM(American Society for Testing Materials)에서 흙의 공학적 분류법으로 채택하고 있는 통일분류법(USCS)에 의하여 토질을 분류하였다.



그림 3-4-2. 입도분석장치

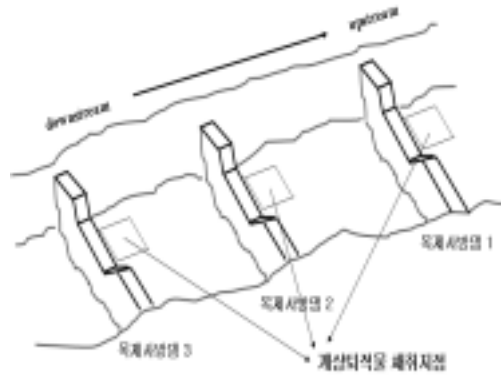


그림 3-4-3. 계상퇴적물의 채취지점

라. 계류수질(pH, EC, SS) 분석

산지소하천에 사방구조물이 시공되면 계류환경, 특히 계류수질에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 소형목제사방댐이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해 유입구간, 유하구간, 유출구간, 최하류 등 각 지점에서 계류수를 채수한 후(그림 3-4-4), 즉시 실내에서 pH, EC, SS를 분석하여 월별 변화, 채수지점별 변화를 파악하였고, 목제사방댐 시공구간과 유역평균치를 비교하여 분석하였다.

부유물질농도는 우선 유리섬유여지(GF/C)를 증류수로 세척한 후, 105~110℃의 건조기에서 2시간 건조시킨 다음 무게를 정밀하게 측정하고 여과기에 부착시켰다. 부착 후 즉시 일정량의 시료를 여과시킨 다음, 유리섬유여지를 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조시켜 (식 3-4-1)과 같이 여과 전·후의 유리섬유여지의 무게 차로 부유물질농도를 산출하였다.

$$S.S. = (b-a) \cdot \frac{1000}{V} \dots\dots\dots (식 3-4-1)$$

여기서, S.S는 부유물질농도(mg/ℓ)이고, a와 b는 각각 여과 전·후의 유리섬유여지 무게이며, V는 시료의 양(mℓ)이다.

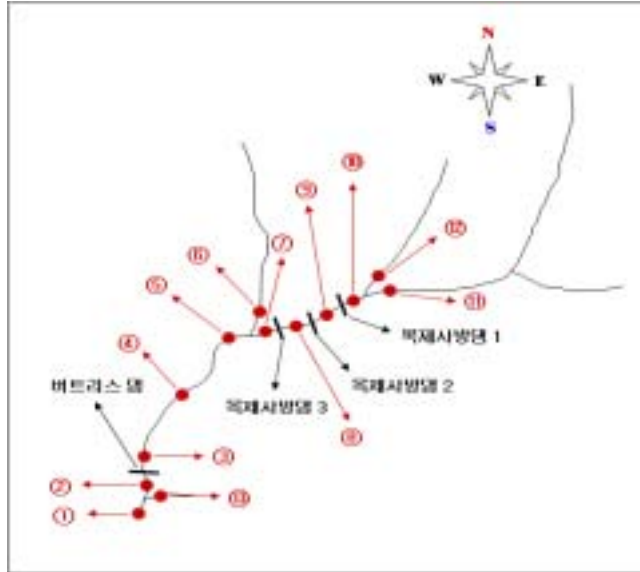


그림 3-4-4. 연구대상지의 채수지점



그림 3-4-5. pH·EC 측정기(좌 : inoLab Level 3 of WTW co, 우: pH/Cond 340i of Multi-parameter instrument Co)



그림 3-4-6. 부유물질농도 시험장치(좌)와 여과 후의 건조상황(우)

마. 계류생태조사

1) 수서곤충의 채집 및 동정

수서곤충은 Grab과 정량채집망을 이용하여 30cm×30cm의 조사구를 설정, 각 조사구별로 3회씩 반복하여 채집하였으며, 채집한 수서곤충은 포르말린 5%와 에틸알코올 70%를 이용하여 고정한 후 실험실로 운반하여 동정하였다. 또한 동정 수집한 수서곤충은 해부현미경을 이용하여 개체수를 5개의 목별로 분류하였다.



그림 3-4-7. 수서곤충의 채집용 Grab

2) 종다양도와 종풍부도 분석

수서곤충 군집의 안정성과 성숙도를 파악하기 위해 Simpson의 다양성지수, Shannon-Wiener의 다양성지수를 이용하여 다음과 같은 방법으로 종다양도와 종풍부도를 측정하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln P_i) \dots\dots\dots (\text{식 3-4-2})$$

여기서 H' : 종다양도, S : 전체 종수, P_i : (i)번째에 속하는 개체수의 비율(= n_i/N , N : 군집내의 전개체수, n_i : 각 종의 개체수)이며,

$$RI = \frac{(S-1)}{\ln(S)} \dots\dots\dots (\text{식 3-4-3})$$

여기서 RI : 종풍부도, S : 전체종수, N : 총개체수이다.

바. 식생조사

산지소하천에 목재 사방댐을 설치한 후 발생하는 식생의 변화를 파악하기 위하여 다음과 같은 방법으로 식생조사를 실시하였다.

1) 선형구법에 의한 식생조사

목재 사방댐이 설치된 하천을 따라 긴 선을 설치하고, 이 선에 따라 식생의 성격을 조사하는 것을 선형구(transect)법 또는 선형구조사법이라고 한다. 이번 조사지에서는 목재사방댐 설치 후 나타나는 하천의 미지형별 식생의 입체적 측면을 파악하기 위하여 목재사방댐과 평행이 되는 belt-transect를 다음과 같이 설치한 후, 계류의 횡단

측량을 실시하였으며, belt를 따라서 나타나는 식생자료를 하천미지형 단위별로 정리하였고, belt의 폭은 belt를 기준으로 양쪽 30cm를 기준으로 했다. 첫번째 댐과 두번째 댐 사이에 최초 첫번째 댐으로부터 10m의 간격을 두고 30m간격을 기준으로 4개의 belt-transect를 설치하였으며, 두번째 댐과 세번째 댐 사이에 같은 방법을 통하여 3개를 설치, 총7개의 belt-transect를 설치하였다. Belt 1은 댐 3, 즉 하천의 하류로부터 설치하여 Belt 7은 댐 1, 즉 하천의 상류방향으로 설치하였다(그림 3-4-8).



그림 3-4-8. belt-transec의 설치

하천미지형은 하천마다 다르게 나타나지만, 본 연구에서는 편의상 조사대상지에 나타나는 하천의 미지형 단위를 다음과 같이 구분하였다.

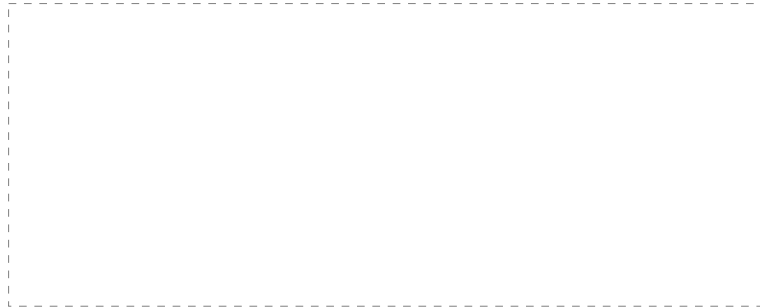


그림 3-4-9. 산지하천 미지형 단위의 구분

2) 모니터링 조사구에 의한 식생조사

목제 사방댐을 설치하면서 생기는 계류 주변의 식생피해는 시공당시의 자재의 출입에 의해 이루어지며, 또한 작업 인부에 의한 답압이나 시공자재를 적재하는 등의 행위를 통해 이루어진다. 이러한 지역에는 시공이 끝난 후 식생의 침입이 일어나는데 이러한 식생침입을 계절별로 모니터링하여 조사하면 다른 사방구조물의 시공에 의한

식생의 피해를 복원하는데 있어서 중요한 기초자료를 제공할 수 있다. 조사대상지에는 하천의 미지형별로 단구부 5개소, 유로안 6개소에 2×2m의 방형구를 설치한 후 계절별로 3회에 걸쳐 식생의 모니터링을 실시하였다(그림 3-4-10). 조사항목으로는 수종을 분류하여 Braun-Blanquet의 방법에 의해 수종마다의 피도면적을 조사하였다. 즉 Braun-Blanquet의 피도면적이 1%이하는 r, 5%이하는 +, 10%이하는 1, 25%이하는 2, 50%이하는 3, 75%이하는 4, 75%초과는 5로 총 7단계로 ranking화 하였는데 편의상 1%이하는 1, 5%이하는 2, 10%이하는 3, 25%이하는 4, 50%이하는 5, 75%이하는 6, 75%초과는 7로 총 7단계로 구분하여 그래프로 나타냈다.

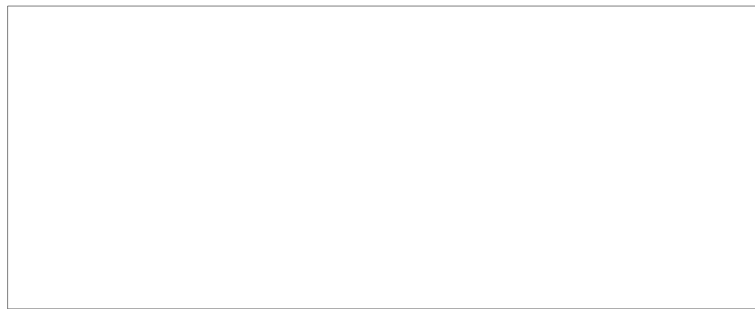


그림 3-4-10. 모니터링 방형구의 설치

3) 조사구 주변의 식생환경 조사

식생조사는 계곡의 산림식생을 대상으로 10×10m의 방형구 5개를 설치하여 흉고직경이 2cm이상인 수목을 대상으로 수목의 수고, 흉고직경을 조사하였으며, 식물사회의 종조성을 크게 강조하는 연구 방식인 Braun-Blanquet의 방법(Zurich-Montpelier

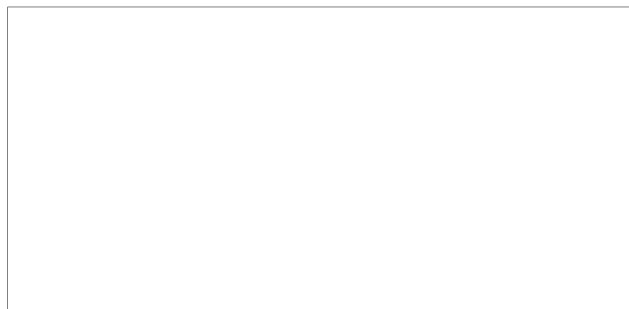


그림 3-4-11. 주변식생조사를 위한 표본구의 설정

School)에 따라 식생조사를 실시하였다(그림 3-4-11). 표본구에서 얻어진 수목의 수고, 흉고직경의 자료를 통해 산림의 층위별 중요치(IV)를 산출하였으며, Braun-Blanquet의 방법에 얻어진 수종의 피도등급의 자료는 이 후 이어지는 식생조사의 자료와 통합하여 조사구 주변의 식물군락을 파악하는데 이용할 계획이다.

2. 강우특성

가. 월별 강우특성

조사대상지인 강원도 홍천군의 월별 강우자료를 분석한 결과, 2002년부터 2005년까지 연강수량의 60% 이상이 7·8·9월에 걸쳐 집중적으로 발생하였고, 특히 2004년에는 7월에 583mm로 가장 많은 강우가 발생하였다(그림 3-4-12).

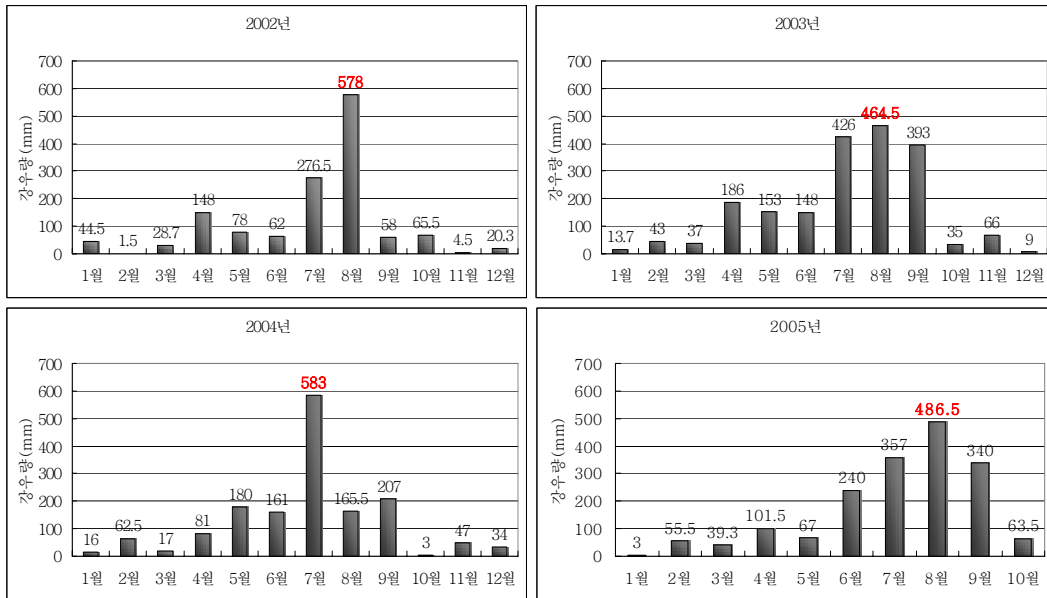


그림 3-4-12. 2002년~2005년 월별 강우량 분포

나. 일별 강우특성

2002년에는 8월 6일 167.5mm, 8월 7일 161.5mm가 발생하여 총 329mm의 집중호우가 내렸으나, 태풍 「루사」의 영향을 받은 8월 31일에는 62.5mm로 동해안지역의 890mm에 비하면 상대적으로 적은 강우가 내렸다. 또한 2003년에는 7월 22일 164.0mm, 8월 24일 120.0mm, 8월 24일 120.0mm를 기록하여 100mm이상의 강우가 3회 발생하였으나, 태풍 「매미」의 영향을 받은 9월 12일에는 35.0mm의 강우가 발생하여 이 지역은 태풍 「루사」와 「매미」의 영향을 받지 않은 것을 알 수 있었다.

2004년에는 7월 12일 171.5mm로 100mm이상의 강우가 1회만 발생하였으며, 소형목제 사방댐이 3기가 완성된 2005년에는 6월 27일 123.0mm, 7월 1일 108.0mm, 7월 28일 114.5mm, 8월 132.5mm, 9월 13일 115.0mm로 5회 발생하여 다른 해에 비해 100mm 이상의 강우가 많이 발생하였다.

표 3-4-1. 2002년도의 일강우강도

강우일시	1월7일	1월14일	1월15일	1월16일	1월17일	1월20일	1월26일
강우량(mm)	3.7	0.5	20.0	13.0	0.7	4.0	1.0
강우일시	1/27	1월30일	2월17일	3월5일	3월6일	3월10일	3월15일
강우량(mm)	1.3	0.3	1.5	2.0	0.7	0.5	0.5
강우일시	3월21일	3월30일	4월6일	4월12일	4월16일	4월29일	4월30일
강우량(mm)	17.0	8.0	28.5	6.5	31.0	30.5	51.5
강우일시	5월3일	5월6일	5월7일	5월15일	5월16일	5월17일	5월18일
강우량(mm)	13.0	4.0	29.5	3.5	8.0	0.5	16.0
강우일시	5월26일	5월30일	6월10일	6월12일	6월20일	6월23일	6월24일
강우량(mm)	1.5	2.0	28.5	14.5	12.0	0.5	4.5
강우일시	6월30일	7월2일	7월5일	7월6일	7월7일	7월13일	7월14일
강우량(mm)	2.0	7.0	58.0	29.5	2.5	13.0	26.0
강우일시	7월15일	7월17일	7월19일	7월20일	7월22일	7월23일	8월3일
강우량(mm)	0.5	2.0	38.5	1.0	39.0	59.5	0.5
강우일시	8월4일	8월5일	8월6일	8월7일	8월8일	8월10일	8월11일
강우량(mm)	21.0	51.5	167.5	161.5	4.0	7.5	11.0
강우일시	8월12일	8월14일	8월16일	8월22일	8월23일	8월27일	8월31일
강우량(mm)	5.0	0.5	1.5	5.5	15.0	63.5	62.5
강우일시	9월1일	9월12일	9월15일	9월21일	9월28일	9월29일	9월30일
강우량(mm)	31.5	6.5	1.0	3.0	1.0	13.5	1.5
강우일시	10월2일	10월3일	10월5일	10월6일	10월13일	10월15일	10월21일
강우량(mm)	4.5	1.5	14.5	19.5	0.5	1.5	1.5
강우일시	10월26일	11월7일	11월17일	11월20일	11월29일	12월7일	12월8일
강우량(mm)	22.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	7.8
강우일시	12월15일	12월16일	12월23일	12월24일	12월25일		
강우량(mm)	0.5	3.0	6.0	1.5	0.5		

표 3-4-2. 2003년도의 일강우강도

강우일시	1월3일	1월17일	1월22일	1월26일	1월27일	2월8일	2월10일
강우량(mm)	1.9	5.2	1.2	1.0	4.4	7.9	1.0
강우일시	2월11일	2월13일	2월19일	2월21일	2월22일	2월23일	2월24일
강우량(mm)	0.7	0.4	6.5	7.5	18.0	0.8	0.2
강우일시	3월1일	3월2일	3월3일	3월6일	3월7일	3월16일	3월17일
강우량(mm)	2.0	2.0	3.5	3.0	2.5	14.5	0.5
강우일시	3월25일	3월27일	4월7일	4월8일	4월9일	4월11일	4월18일
강우량(mm)	1.0	8.0	5.5	24.0	6.0	15.5	31.0
강우일시	4월19일	4월20일	4월22일	4월23일	4월25일	4월29일	4월30일
강우량(mm)	7.0	4.5	2.5	13.5	31.0	45.0	0.5
강우일시	5월6일	5월7일	5월25일	5월30일	6월6일	6월11일	6월12일
강우량(mm)	9.5	128.5	5.5	9.5	7.5	10.0	25.0
강우일시	6월14일	6월15일	6월16일	6월23일	6월24일	6월25일	6월27일
강우량(mm)	0.5	5.5	0.5	14.5	2.0	3.0	66.0

강우일시	6월28일	6월29일	7월1일	7월3일	7월6일	7월9일	7월10일
강우량(mm)	1.0	12.5	5.0	22.0	7.5	84.5	2.5
강우일시	7월12일	7월13일	7월16일	7월17일	7월18일	7월19일	7월22일
강우량(mm)	2.5	1.0	10.5	1.5	59.0	5.5	164.0
강우일시	7월23일	7월24일	7월25일	7월27일	7월28일	7월29일	8월2일
강우량(mm)	8.5	8.5	1.5	13.0	19.5	9.5	4.5
강우일시	8월3일	8월5일	8월6일	8월7일	8월10일	8월11일	8월18일
강우량(mm)	15.0	7.0	19.0	27.5	2.5	16.5	5.5
강우일시	8월19일	8월20일	8월22일	8월23일	8월24일	8월25일	8월27일
강우량(mm)	36.5	36.0	0.5	34.5	120.0	43.0	72.0
강우일시	8월28일	8월30일	8월31일	9월2일	9월3일	9월5일	9월7일
강우량(mm)	2.0	15.5	7.0	30.0	6.5	10.0	75.5
강우일시	9월8일	9월9일	9월12일	9월13일	9월18일	10월1일	10월12일
강우량(mm)	50.5	33.5	35.0	17.5	134.5	1.5	4.0
강우일시	10월13일	10월17일	10월21일	10월22일	10월25일	10월28일	11월7일
강우량(mm)	7.5	1.5	1.0	0.5	2.5	16.5	7.0
강우일시	11월11일	11월12일	11월20일	11월25일	11월27일	11월28일	11월29일
강우량(mm)	13.0	7.0	9.0	3.5	1.0	3.0	4.0
강우일시	12월5일	12월6일	12월17일	12월29일			
강우량(mm)	1.5	6.0	1.0	0.5			

표 3-4-3. 2004년도의 일강우강도

강우일시	1월2일	1월12일	1월17일	1월18일	1월20일	2월5일	2월6일
강우량(mm)	3.5	5.5	3.5	1.5	2.0	1.0	2.0
강우일시	2월14일	2월21일	2월22일	2월25일	2월28일	3월4일	3월5일
강우량(mm)	3.0	19.5	33.0	0.5	3.5	9.0	0.5
강우일시	3월17일	3월30일	4월1일	4월2일	4월19일	4월22일	4월26일
강우량(mm)	4.5	3.0	6.5	2.0	9.5	11.5	40.5
강우일시	4월27일	5월2일	5월3일	5월4일	5월9일	5월10일	5월12일
강우량(mm)	11.0	0.5	19.0	1.0	31.5	2.5	22.5
강우일시	5월13일	5월18일	5월20일	5월21일	5월27일	5월28일	6월8일
강우량(mm)	1.0	3.0	11.0	26.0	2.0	60.0	0.5
강우일시	6월17일	6월19일	6월20일	6월21일	6월22일	6월27일	7월1일
강우량(mm)	19.5	79.5	22.0	21.0	3.5	15.0	5.5
강우일시	7월2일	7월3일	7월4일	7월5일	7월6일	7월7일	7월8일
강우량(mm)	7.0	6.0	41.5	5.0	4.0	52.5	5.0
강우일시	7월11일	7월12일	7월13일	7월14일	7월15일	7월16일	7월17일
강우량(mm)	9.0	171.5	76.5	1.5	29.0	89.0	69.0
강우일시	7월20일	7월25일	8월8일	8월13일	8월14일	8월16일	8월17일
강우량(mm)	0.5	11.0	12.0	6.5	1.0	31.0	25.0
강우일시	8월18일	8월19일	8월23일	8월26일	9월6일	9월7일	9월11일
강우량(mm)	49.5	38.5	1.0	1.0	12.0	12.5	40.5

강우일시	9월12일	9월13일	9월15일	9월16일	9월18일	9월20일	10월1일
강우량(mm)	63.0	9.0	0.5	42.5	10.0	17.0	1.5
강우일시	10월12일	11월1일	11월2일	11월5일	11월10일	11월11일	11월26일
강우량(mm)	1.5	1.0	9.0	3.5	10.5	3.5	19.5
강우일시	12월4일	12월6일	12월15일				
강우량(mm)	20.5	3.5	10.0				

표 3-4-4. 2005년도의 일강우강도

강우일시	1월3일	1월18일	1월29일	2월8일	2월15일	2월16일	2월19일
강우량(mm)	0.5	1.0	1.5	3.5	1.5	20.5	1.5
강우일시	2월22일	3월2일	3월10일	3월11일	3월17일	3월22일	3월23일
강우량(mm)	28.5	0.3	10.0	6.5	9.0	4.5	1.0
강우일시	3월24일	4월3일	4월6일	4월9일	4월10일	4월12일	4월18일
강우량(mm)	8.0	1.0	8.0	25.0	29.5	6.0	3.0
강우일시	4월19일	4월20일	4월27일	5월5일	5월6일	5월9일	5월11일
강우량(mm)	18.5	10.0	0.5	2.5	30.5	6.0	3.0
강우일시	5월12일	5월17일	5월18일	6월2일	6월3일	6월10일	6월15일
강우량(mm)	0.5	9.5	15.0	5.0	0.5	17.5	10.5
강우일시	6월16일	6월26일	6월27일	6월28일	6월29일	7월1일	7월3일
강우량(mm)	2.0	50.5	123.0	0.5	30.5	108.0	30.5
강우일시	7월7일	7월9일	7월11일	7월13일	7월24일	7월28일	7월30일
강우량(mm)	4.0	24.5	31.0	14.0	15.5	114.5	15.0
강우일시	8월1일	8월2일	8월3일	8월4일	8월7일	8월8일	8월9일
강우량(mm)	65.5	5.0	42.0	2.0	4.5	1.0	1.5
강우일시	8월10일	8월11일	8월12일	8월17일	8월18일	8월19일	8월22일
강우량(mm)	34.5	132.5	15.5	26.5	12.5	41.0	18.5
강우일시	8월24일	8월28일	8월26일	9월2일	9월4일	9월9일	9월13일
강우량(mm)	17.0	66.5	1.0	10.5	0.5	3.5	115.0
강우일시	9월14일	9월17일	9월18일	9월21일	9월22일	9월24일	9월30일
강우량(mm)	1.5	53.5	5.5	60.5	2.0	17.5	70.0
강우일시	10월1일	10월7일	10월8일				
강우량(mm)	34.0	28.5	1.0				

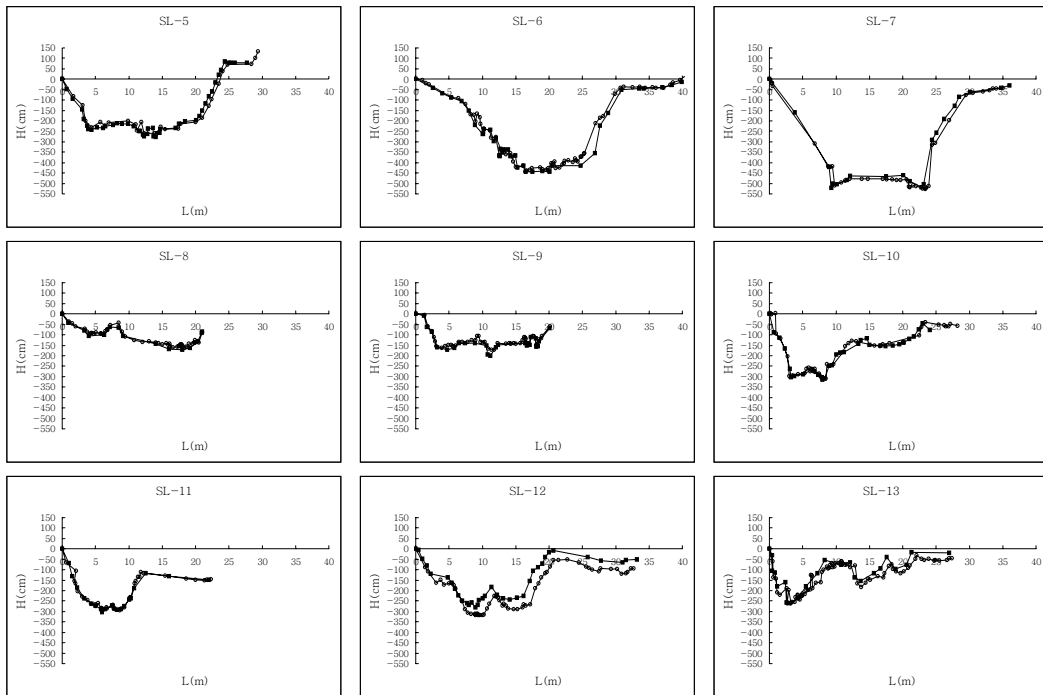


그림 3-4-13. 연구대상지 하류 북방천의 123mm(2005. 6. 27) 강우발생시의 증수상황

3. 정점측량에 의한 계상변동 파악

조사대상지와 같은 산지계류에는 적은 규모의 토사가 퇴적하고 있어 토석의 이동도 소규모로 발생한다. 따라서 유수의 편류작용에 의해 확폭부에 분포하는 계상퇴적지를 중심으로 국소적인 퇴적이나 세굴이 발생하며, 경우에 따라서는 유로변화가 발생하기도 한다. 소형목제사방댐을 시공한 산지계류의 계상변동을 파악하기 위해 횡단측량을 2회(2005년 5월, 2005년 9월) 실시하여 강우발생 전·후의 계상변동을 비교·분석하였다. SL-1~SL-4는 계류정비구간으로 계상이 암반으로 이루어져 정밀측량을 실시하지 않았지만, 그 외의 측선은 50m를 기본측선으로 하였고, 목제사방댐 시공구간은 계상변동을 정밀하게 파악하기 위해 중간에 보조측선을 설정하여 측량을 실시하였다.

측량결과, 목제사방댐 2에 의해 분산·퇴적되어 있던 토석이 하류로 이동하여 측선 6, 측선 10, 측선 12, 측선 13, 측선 17과 목제사방댐 3-2 측선과 3-3측선에서는 소규모의 계상변동이 발생하였다. 또한 목제사방댐 3의 직하부인 측선 18과 직상부, 목제사방댐 3-1 측선에서는 거의 변동이 없어 안정된 것으로 나타났으며, 다른 목제사방댐 구간의 측선에서는 계상변동이 거의 발생하지 않았다. 이는 소형목제사방댐의 계통적 시공에 의한 하도고정효과에 기인한 것으로 현 계상을 유지하는데 3기의 소형목제사방댐이 효과적으로 작용한 것으로 판단된다.



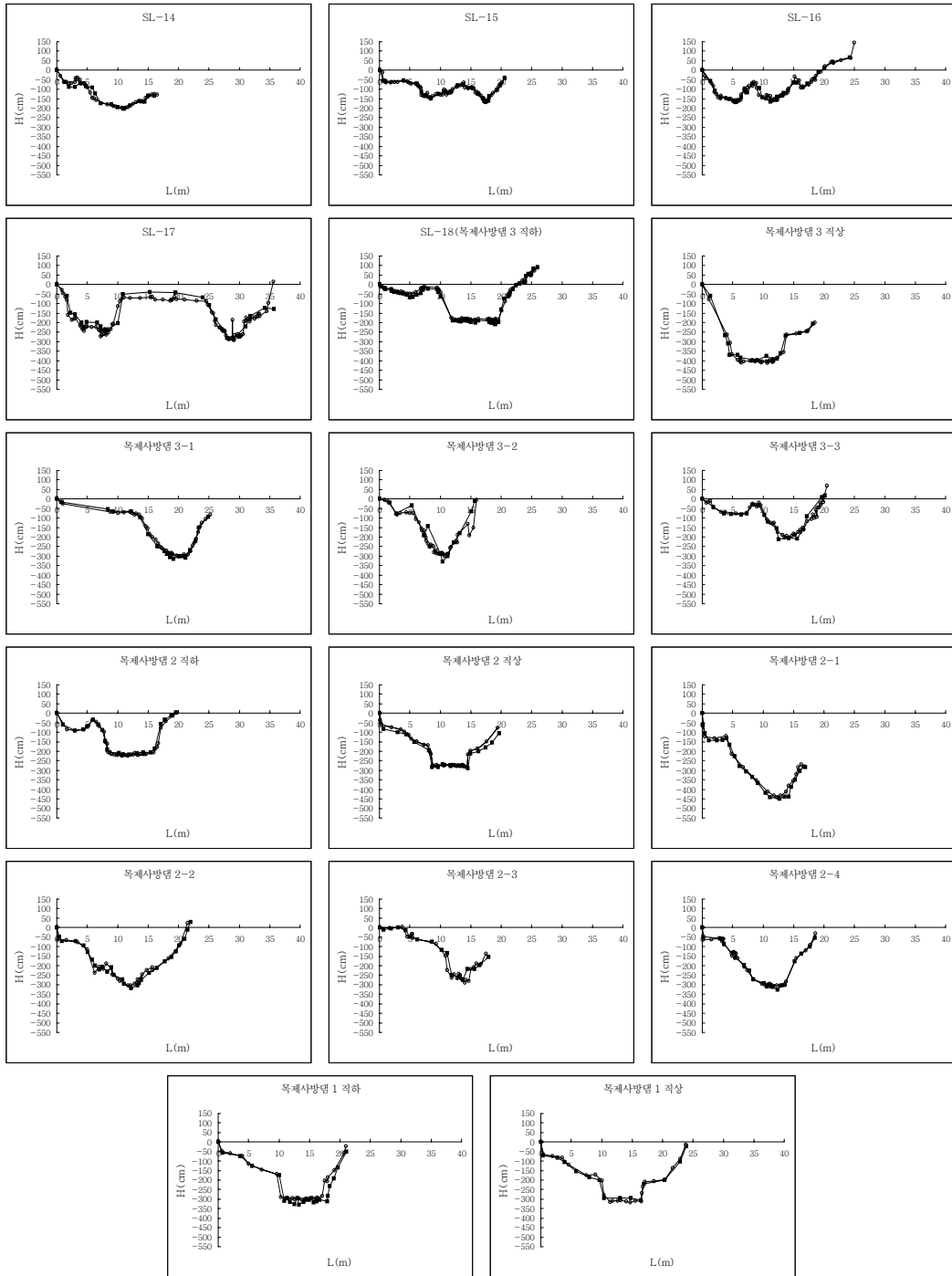


그림 3-4-14. 조사구간에 있어서 각 축선별 정밀 계상측량 결과

<측선 1>



<측선 2>



<측선 3>



<측선 4>



<측선 5>



<측선 6>



<측선 7>



(2003. 8)

(2004. 8)

(2005. 5)

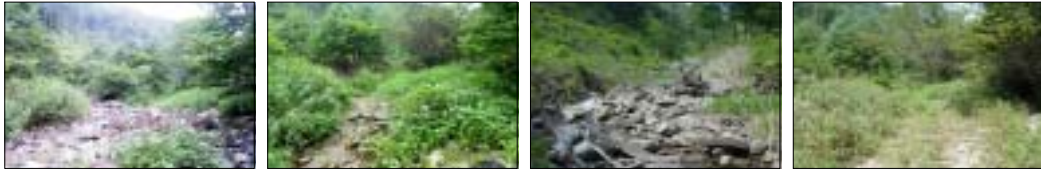
(2005. 7)

그림 3-4-15. 측선 1~측선 7에 있어서 조사시기별 계상상황

<측선 8>



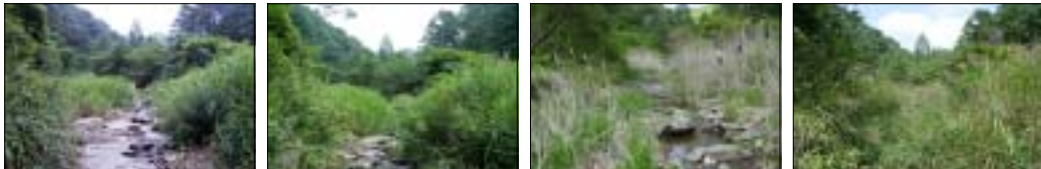
<측선 9>



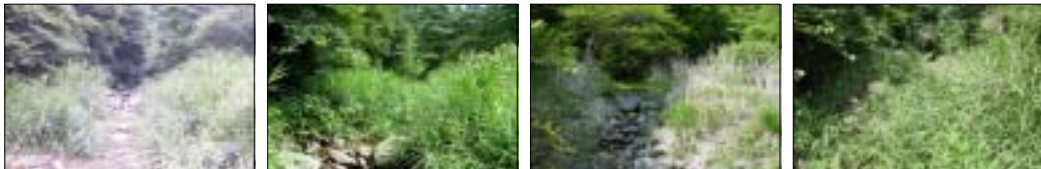
<측선 10>



<측선 11>



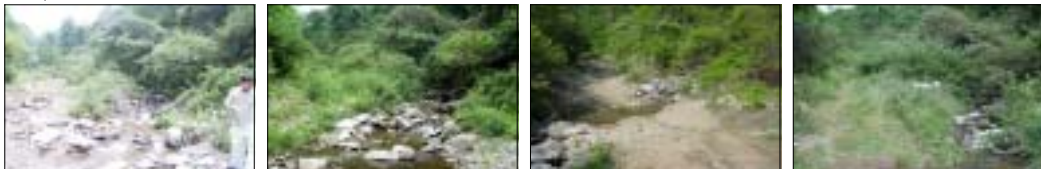
<측선 12>



<측선 13>



<측선 14>



(2003. 8)

(2004. 8)

(2005. 5)

(2005. 9)

그림 3-4-16. 측선 8~측선 14에 있어서 조사시기별 계상상황

<측선 15>



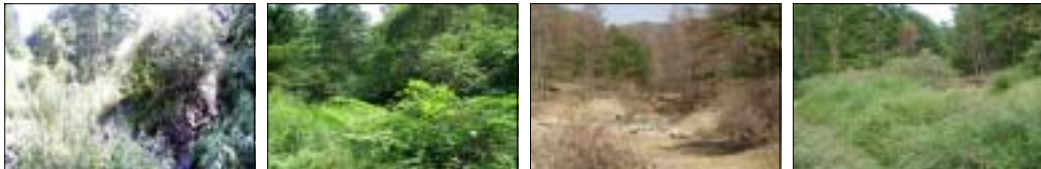
<측선 16>



<측선 17>



<측선 18>



<측선 19>



<측선 20>



<측선 21>



<측선 22>



<측선 23>



(2003. 8)

(2004. 8)

(2005. 5)

(2005. 9)

그림 3-4-17. 측선 15~측선 23에 있어서 조사시기별 계상상황

<측선 24>



<측선 25>



<측선 26>



<측선 27>



<측선 28>



(2003. 8)

(2004. 8)

(2005. 9)

(2005. 5)

그림 3-4-18. 측선 24~측선 28에 있어서 조사시기별 계상상황

<목제담 3>



(2005. 5)



(2005. 9)

<목제댐 3 하류>



<목제댐 3 직하>



<목제댐 3 직상>



<목제댐 3 상류>



(2005. 5)

(2005. 9)

그림 3-4-19. 목제사방댐 3 주변부의 계상 상태

<목제댐 3 ~ 목제댐 2 (목제댐 3 상류 40m)>



<목제댐 2>



<목제댐 2 직하>



<목제댐 2 직상>



(2005. 5)

(2005. 9)

그림 3-4-20. 목제사방댐 2 주변부의 계상 상태

<목제댐 2 ~ 목제댐 1(목제댐 2 상류 50m)>



<목제댐 1>



<목제댐 1 직하>



<목제댐 1 직상>



(2005. 5)

(2005. 9)

그림 3-4-21. 목제사방댐 1 주변부의 계상 상태

4. 계상퇴적물의 입경분포 특성

통일분류법의 토질 결정방법에 의하면, Cu 가 작으면 입자가 균등하고, 크면 조세립자가 잘 배합되었다는 것을 의미한다. 즉 Cu 의 값이 4~5 이하이면 흙이 균등하다(입도배합이 불량하다)고 하며, 10 이상이면 입도배합이 좋다고 한다. 또한 곡률계수는 입경가적곡선의 곡률의 상태를 나타낸 것으로 균등계수와 같이 입도배합의 양부를 판정하는데 사용된다.

각 목제사방댐 및 버트리스 댐 직상부 계상퇴적물의 입경을 분석한 결과는 표 3-4-5와 같다. 즉 목제사방댐 1과 2의 직상부에 채취한 계상퇴적물의 경우, 균등계수는 모두 10이상으로 입도배합이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 이 구간의 계상재료는 주로 조세립자가 잘 섞인 계상퇴적물이 퇴적되었으며, 평균입경은 각각 2.000과 2.700으로 나타났다. 또한 목제사방댐 3의 직상부에서 채취한 계상퇴적물은 Cu 가 6.303으로 목제사방댐 1과 2에 비해 입도배합이 불량한 것으로 나타났으며, 평균입경은 0.400으로 나타났다.

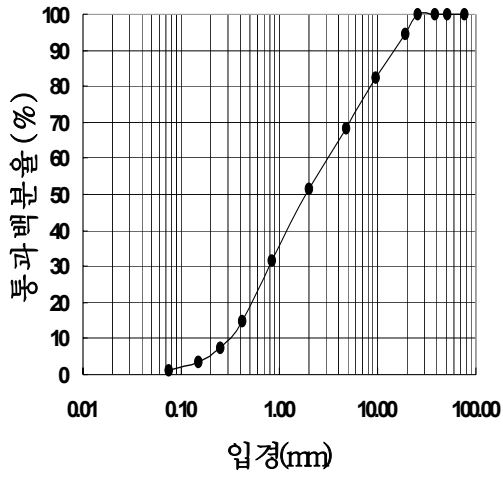
표 3-4-5. 각 사방댐 직상부에 분포하는 계상재료의 균등계수, 곡률계수 및 평균입경

	목제사방댐 1	목제사방댐 2	목제사방댐 3	버트리스댐
균등계수(Cu)	10.160	10.995	6.303	3.359
곡률계수(Cg)	0.600	0.724	0.901	0.824
평균입경(D_{50})	2.000	2.700	0.400	0.950

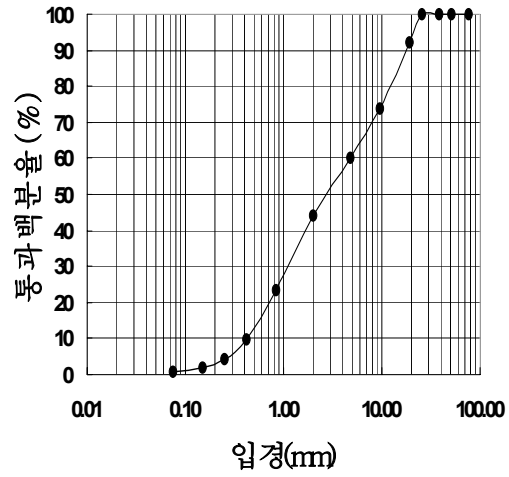
이상에서 알 수 있듯이 목제사방댐 1과 2에 비해 하류의 목제사방댐 3 직상부의 계상퇴적물이 세립자를 많이 포함한 것으로 나타났고, 평균입경도 매우 작은 것으로 나타났다. 이는 계통적으로 시공된 목제사방댐 중 상류에 시공된 2기의 목제사방댐에 의해 이동·분산·퇴적·재이동의 과정을 거치면서 비교적 큰 입자의 계상재료가 퇴적하여 최하류의 목제사방댐 3의 직상부에는 상대적으로 세립질의 계상재료가 퇴적된 것으로 판단된다.

따라서 산지계류에 계통적으로 시공된 목제사방댐의 균적 배치에 의해 퇴적이나 세굴 등의 의한 계상변동은 발생하지 않았고, 현 계상을 유지시키면서 분산·퇴적시키는 본래의 기능이 충분히 발휘된 것으로 판단된다. 한편, 최하류의 버트리스 댐의 계상퇴적물은 Cu 가 3.359로 입도배합이 불량하게 나타난 것은 목제사방댐 3기가 시공된

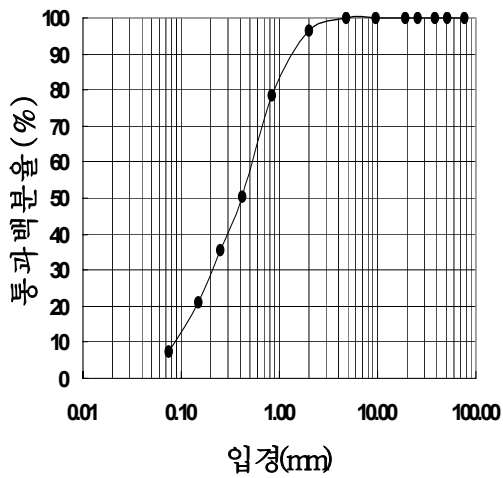
지점의 하류에 위치하는 다수의 지류에서 유출된 불안정한 토사와 유로에 침입한 식생의 영향에 의한 것이라고 판단된다.



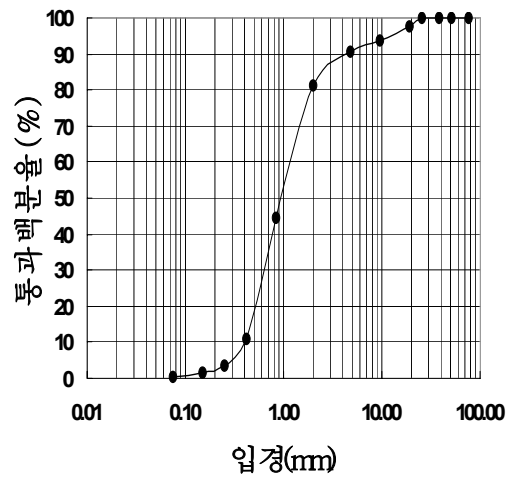
<목제사방댐 1>



<목제사방댐 2>



<목제사방댐 3>



<버트리스 댐>

그림 3-4-22. 목제사방댐 1·2·3과 버트리스 댐 직상부 계상퇴적물의 입경가적곡선

5. 수질분석(pH, EC 및 SS)

소형목제사방댐이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해 4회(2004년 4월 16일, 6월 2일, 6월 27일, 9월 16일)에 걸쳐 pH, EC 및 SS등을 분석하였다.

가. 각 채수지점별 계류수의 pH 변화

소형목제사방댐을 시공한 계류에 있어서 채수지점별 pH 변화는 그림 3-4-23과 같다. 즉 최하류에 시공된 목제댐 3의 하류인 7지점, 목제댐 2의 하류인 8지점, 목제댐 1의 하류인 9지점 모두 채수일자별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히 유입구 간인 10·11·12지점과 목제사방댐 하류인 7·8·9지점, 3기의 목제사방댐을 통과한 유출구간 5지점의 pH를 비교한 결과, 그림 3-4-24와 같이 채수일별 pH 변화는 비슷한 경향이 나타났으며, 전체적으로는 pH 6.00~6.50인 약산성으로 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위에 조금 못 미치는 것으로 나타났다. 이는 주로 주변이 일본잎갈나무 조림지인 것에 영향을 받은 것으로 판단되며, 목제사방댐은 계류수의 pH 변화에 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

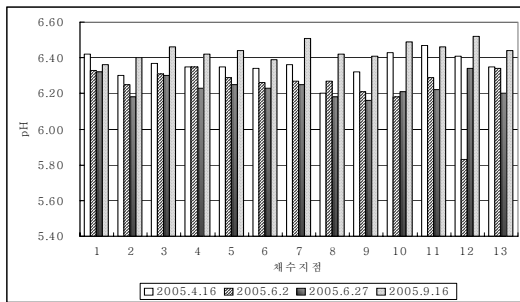


그림 3-4-23. 각 채수지점별 pH 변화

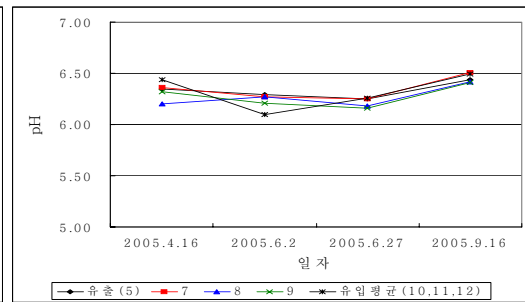


그림 3-4-24. 채수일별 구간별 pH 변화

나. 각 채수지점별 EC 변화

각 채수지점에 있어 EC의 변화는 그림 3-4-25와 같다. 최하류에 시공된 목제사방댐 3의 하류인 7지점, 목제댐 2의 하류인 8지점, 목제댐 1의 하류인 9지점 모두 채수일자별 다른 지점과 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 123.0mm의 강우가 발생한 6월 27일에는 강우에 의해 주변 식생과 토양의 이온이 용탈되어 계류로 유입되면서 용존이온량이 증가하여 EC값이 비교적 높게 나타났다. 특히 유입구간인 10·11·12지점과 목제사방댐 하류인 7·8·9지점, 3기의 목제사방댐을 통과한 유출구간 5지점의 EC를 비교한 결과, 그림 3-4-26과 같이 채수일별 EC 변화는 비슷한 경향이 나타났다. 또한 6월 27일에는 강우에 의해 비교적 높게 나타났으나, 구간별 차이는 나타나지 않았고,

6월 27일을 제외하고는 전체적으로 EC가 안정된 값을 유지하고 있어 목제사방댐이 계류수의 EC 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

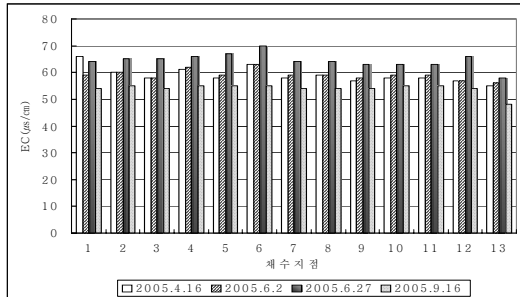


그림 3-4-25. 각 채수지점별 EC 변화

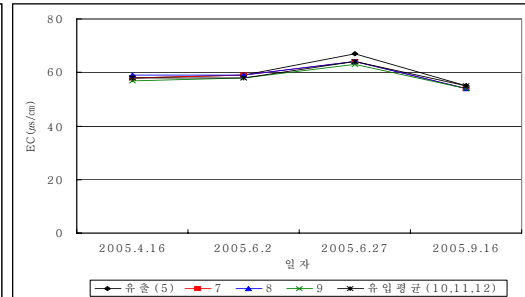


그림 3-4-26. 채수일별, 구간별 EC변화

다. 각 채수지점별 부유물질농도 변화

각 채수지점별 부유물질농도 변화는 전 지점에 있어 부유물질농도는 하천수질환경 기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 이내였고, 최하류에 시공된 목제댐 3의 하류인 7지점, 목제댐 2의 하류인 8지점, 목제댐 1의 하류인 9지점 모두 6월 27일을 제외하고는 다른 지점과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(그림 3-4-27). 그러나 123.0mm의 강우가 발생한 6월 27일에는 강우에 의한 토사이동으로 비교적 높게 나타났다. 특히, 목제사방댐 2의 하류인 8지점의 경우 6월 2일과 27일에 가장 높게 나타났는데, 이는 강우에 의해 유출량이 증가하면서 토사이동이 발생하여 목제사방댐 1과 2를 통과하면서 토석은 분산·퇴적되었고, 부유물질만이 계류수에 의해 하류로 이동하였기 때문인 것으로 판단된다(그림 3-4-28). 한편, 목제사방댐 3의 하류인 7지점은 부유물질농도가 안정된 것으로 보아 목제사방댐 3 자체의 수질정화 기능과 직상부 계상에 침입하여 생육하고 있는 계안식생에 의해 부유물질이 차단·억제되었기 때문으로 판단된다.

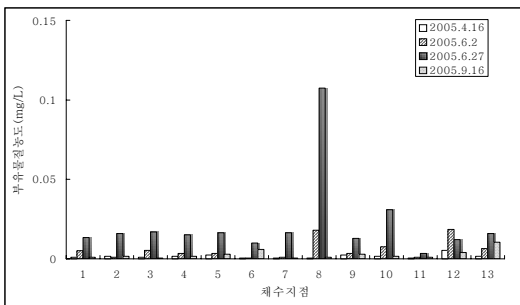


그림 3-4-27. 채수지점별 부유물질농도

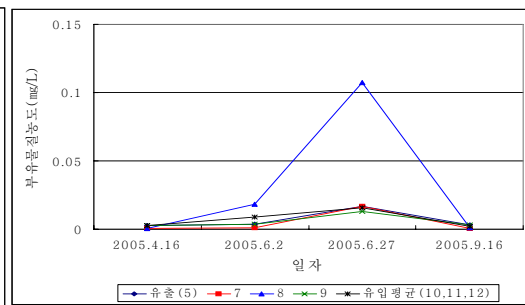


그림 3-4-28. 채수일별, 구간별 부유물질농도

6. 계류생태조사

연구대상 산지계류에 분포하는 수서곤충의 종류와 서식조건에 대한 기초자료를 파악하기 위해 매년 4월부터 9월까지 현지조사를 실시하였다.

가. 수서곤충의 채집 및 동정

수서곤충은 그림 3-4-29와 같이 Grab과 정량채집망을 이용하여 30cm×30cm의 조사구를 설정, 각 조사구별로 3회씩 반복하여 채집하였으며, 채집한 수서곤충은 포르말린 5%와 에틸알코올 70%를 이용하여 고정한 후 실험실로 운반하여 동정하였다. 또한 동정 수집한 수서곤충은 해부현미경을 이용하여 개체수를 5개의 목별로 분류하였다.

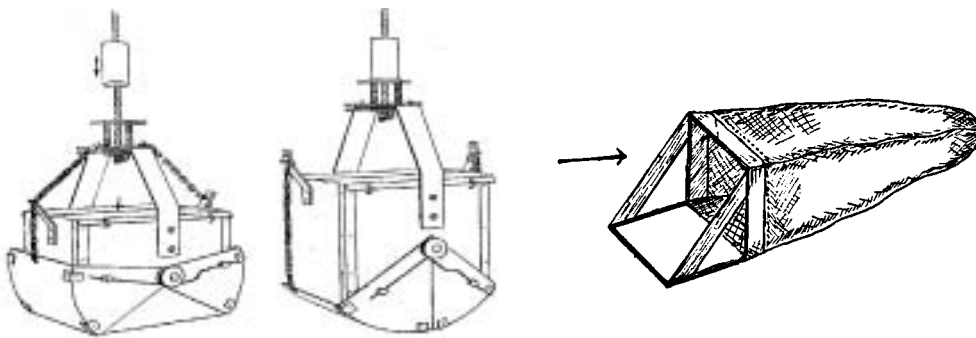


그림 3-4-29. 수서곤충의 채집용 Grab과 정량채집망

2004년 4월부터 2004년 9월까지 월 1회씩 현지조사를 실시하여 채집한 수서곤충을 하루살이목, 잠자리목, 강도래목, 날도래목 및 파리목으로 분류한 결과, 채집된 수서곤충은 조사지점 A에서 하루살이목 43마리, 잠자리목 5마리, 날도래목 16마리, 파리목 1마리 등 총 65마리가 채집되었고, 조사지점 B에서는 하루살이목 37마리, 강도래목 3마리, 날도래목 32마리 등 총 72마리가 채집되었으며, 조사지점 C에서는 하루살이목 67마리, 날도래목 53마리 등 총 120마리가 채집되었다. 또한 조사지점 D에서는 하루살이목 15마리, 날도래목 20마리, 파리목 4마리 등 총 39마리가, 그리고 조사지점 E에서는 하루살이목 10마리, 날도래목 4마리, 파리목 9마리 등 총 23마리가 채집되었다.

또한 2005년 4월부터 2005년 9월까지 매달 1회씩 현지조사를 실시하여 채집한 수서곤충을 하루살이목, 잠자리목, 강도래목, 날도래목 및 파리목으로 분류한 결과, 채집된 수서곤충은 조사지점 A에서 하루살이목 41마리, 잠자리목 5마리, 날도래목 15마리, 파리목 1마리 등 총 62마리가 채집되었고, 조사지점 B에서는 하루살이목 35마리, 강도래목 2마리, 날도래목 29마리 등 총 66마리가 채집되었으며, 조사지점 C에서는 하루살이

목 63마리, 날도래목 49마리 등 총 116마리가 채집되었다. 또한 조사지점 D에서는 하루살이목 15마리, 날도래목 18마리 파리목 4마리 등 총 37마리가, 그리고 조사지점 E에서는 하루살이목 9마리, 날도래목 4마리, 파리목 7마리 등 총 20마리가 각각 채집되어 1차년도에 비해 약간 적은 수서곤충이 채집되었으나, 크게 변화하지는 않아 목제 사방댐의 시공이 수서곤충의 생육에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.

표 3-4-6. 조사대상 계류에 있어서 각 지점별, 년도별 수서곤충의 출현 개체수

조사지	수서곤충	2004년							2005년						
		4월	5월	6월	7월	8월	9월	계	4월	5월	6월	7월	8월	9월	계
A	하루살이목	3	12	5	10	9	4	43	3	11	5	10	8	4	41
	잠자리목	2	-	-	-	1	2	5	2	-	-	-	1	2	5
	강도래목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	날도래목	11	-	-	2	-	3	16	11	-	-	1	-	3	15
	파리목	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1
	계	16	12	6	12	10	9	65	16	11	6	11	9	9	62
B	하루살이목	5	6	4	9	10	3	37	5	6	3	8	10	3	35
	잠자리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	강도래목	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	2	2
	날도래목	14	1	-	15	-	2	32	13	1	-	14	-	1	29
	파리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	계	19	7	4	22	10	6	72	18	7	3	22	10	6	66
C	하루살이목	11	14	15	9	8	10	67	10	13	14	9	8	9	63
	잠자리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	강도래목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	날도래목	8	12	13	11	9	-	53	8	11	12	10	8	-	49
	파리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	계	19	26	28	20	17	10	120	18	24	26	19	16	9	112
D	하루살이목	5	3	2	1	3	1	15	5	3	2	1	3	1	15
	잠자리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	강도래목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	날도래목	6	3	-	6	5	-	20	5	3	-	6	4	-	18
	파리목	-	-	-	-	1	3	4	-	-	-	-	1	3	4
	계	11	6	2	7	9	4	39	10	6	2	7	8	4	37
E	하루살이목	-	-	2	-	7	1	10	-	-	2	-	6	1	9
	잠자리목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	강도래목	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	날도래목	1	1	-	1	1	-	4	1	1	-	1	1	-	4
	파리목	-	-	4	-	1	4	9	-	-	4	-	1	2	7
	계	1	1	6	1	9	5	23	1	1	6	1	8	3	20

나. 종다양도와 종풍부도 분석

수서곤충 군집의 안정성과 성숙도를 파악하기 위해 Simpson의 다양성지수, Shannon-Wiener의 다양성지수를 이용하여 종다양도와 종풍부도를 측정하였다.

2004년도의 각 조사지점별 수서곤충의 종풍부도와 종다양도 지수는 상류지점(A-C)이 하류지점(D-E)보다 높게 나타났다. 즉, 종다양도 지수가 가장 높은 지점은 조사지점 A로 0.58이었으며, 또한 가장 낮은 지점은 두 하천 모두 최하류지역인 조사지점 E로 0.18이었다. 한편 종풍부도는 최상류 지역인 조사지점 A가 가장 높아 5.44, 가장 낮은 지점은 최하류지역인 조사지점 E로 2.27이었다.

2005년도의 각 조사지점별 수서곤충의 종풍부도와 종다양도 지수도 상류지점(A-C)이 하류지점(D-E)보다 높게 나타났다. 즉, 종다양도 지수가 가장 높은 지점은 조사지점 A로 0.56이었으며, 또한 가장 낮은 지점은 두 하천 모두 최하류지역인 조사지점 E로 0.17이었다. 한편 종풍부도는 최상류 지역인 조사지점 A가 가장 높아 5.27, 가장 낮은 지점은 최하류지역인 조사지점 E로 2.22이었다.

표 3-4-7. 조사대상 계류에 있어서 각 지점별, 년도별 종다양도와 종풍부도

조사지점	2004년도		조사구	2005년도	
	<i>S.D.</i>	<i>R.I.</i>		<i>S.D.</i>	<i>R.I.</i>
A	0.58	5.44	A	0.56	5.27
B	0.55	5.23	B	0.55	5.09
C	0.21	4.15	C	0.21	4.09
D	0.31	3.10	D	0.29	2.39
E	0.18	2.27	E	0.17	2.22

**S.D.* : 종다양도, *R.I.* : 종풍부도



그림 3-4-30. 수서곤충의 실내분석 상황

7. 식생조사

가. belt-transect 조사구별 하도로부터의 거리지수별, 미지형별 식생분포

그림 3-4-31은 belt 1에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면, 좌측으로부터 5m까지는 단구부, 5m~11m까지는 유로안, 11m~15m까지는 유로, 15m~18m까지는 유로안, 18m~23m까지는 단구부가 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 유로를 중심으로 좌측의 단구부와 유로안으로 나타났고, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 단구부에서는 쇠뜨기, 봄여뀌가 4회, 환삼덩굴이 5회의 출현빈도를 나타냈으며, 좌측 유로안에서는 쇠뜨기와 새모래덩굴이 5회로 가장 많은 출현빈도를 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 belt 1에서는 쇠뜨기가 총 11회로 가장 많은 출현빈도를 보였으며, 봄여뀌가 10회, 환삼덩굴이 9회의 순으로 출현빈도가 나타났다.

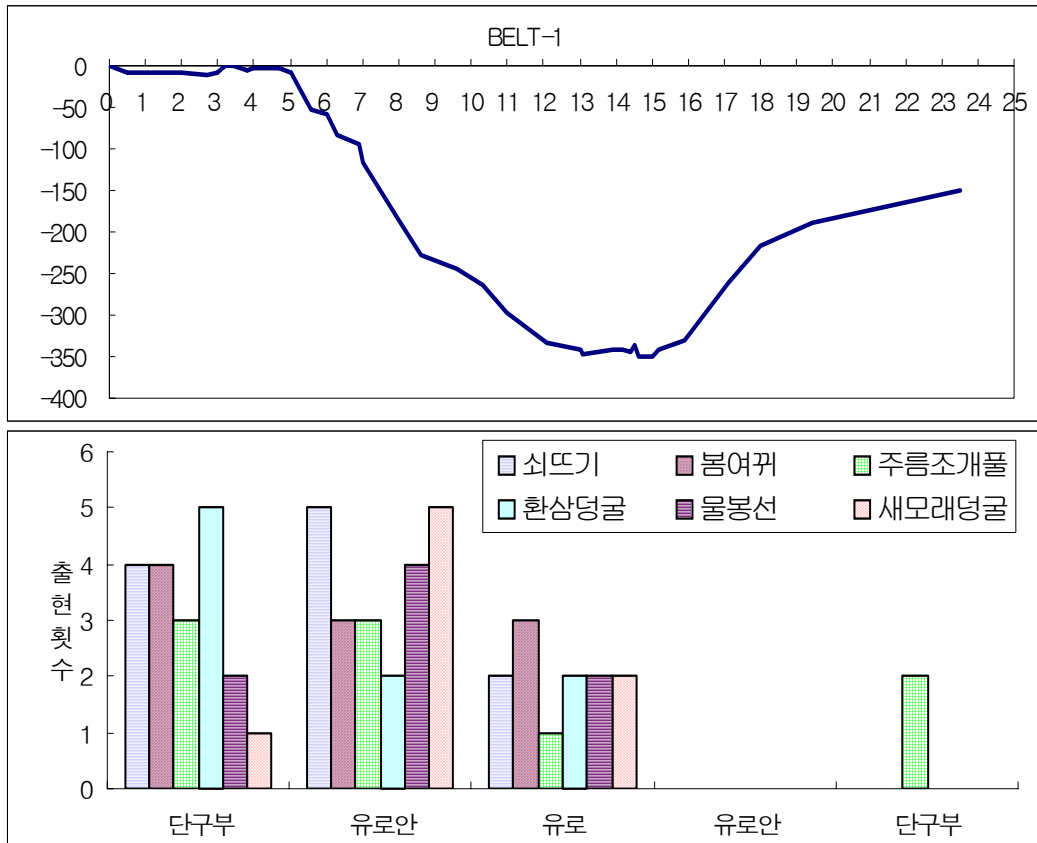


그림 3-4-31. belt 1에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-32는 belt 2에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 3m까지는 유로안, 3m~5m까지는 유로, 5m~7m까지는 유로안, 7m~10m까지는 산지사면이 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 유로와 좌측의 유로안으로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 유로안에서는 봄여뀌가 2회, 유로에서는 노루오줌과 환삼덩굴이 3회의 출현빈도를 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 belt 2에서는 노루오줌이 5회, 봄여뀌, 새콩, 물봉선, 쇠뜨기가 3회의 출현빈도를 보였다. belt 1보다 적은 출현빈도를 보였지만 belt의 길이가 11m로 7개의 belt중 가장 짧기 때문이라고 판단된다.

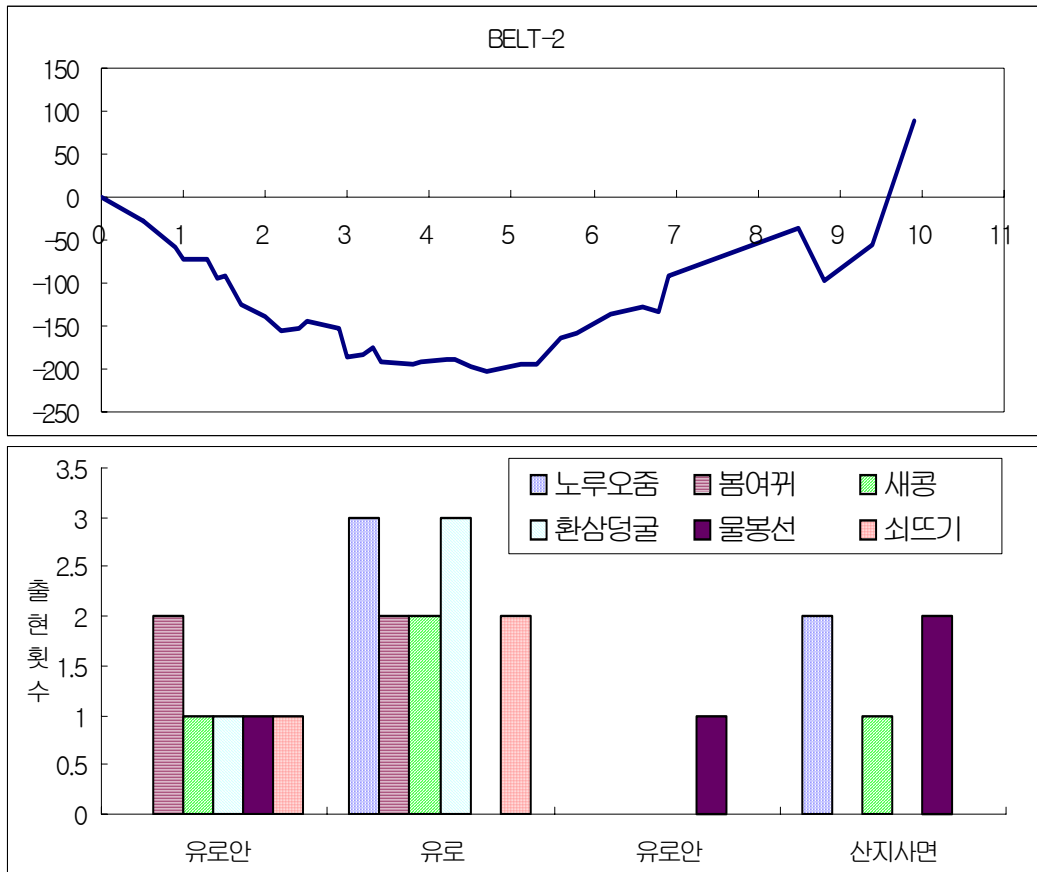


그림 3-4-32. belt 2에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-33은 belt 3에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 6m까지는 단구부, 6m~9m까지는 유로안, 9m~14m까지는 유로, 14m~18m까지는 유로안, 18m~23m까지는 산지사면이 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 유로를 중심으로 좌측의 단구부와 우측의 유로안으로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 단구부에서는 봄여뀌가 6회, 환삼덩굴이 3회의 출현빈도를 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 belt 3에서는 봄여뀌가 10회, 물봉선이 8회, 고마리가 7회, 환삼덩굴이 6회의 출현빈도를 보였다.

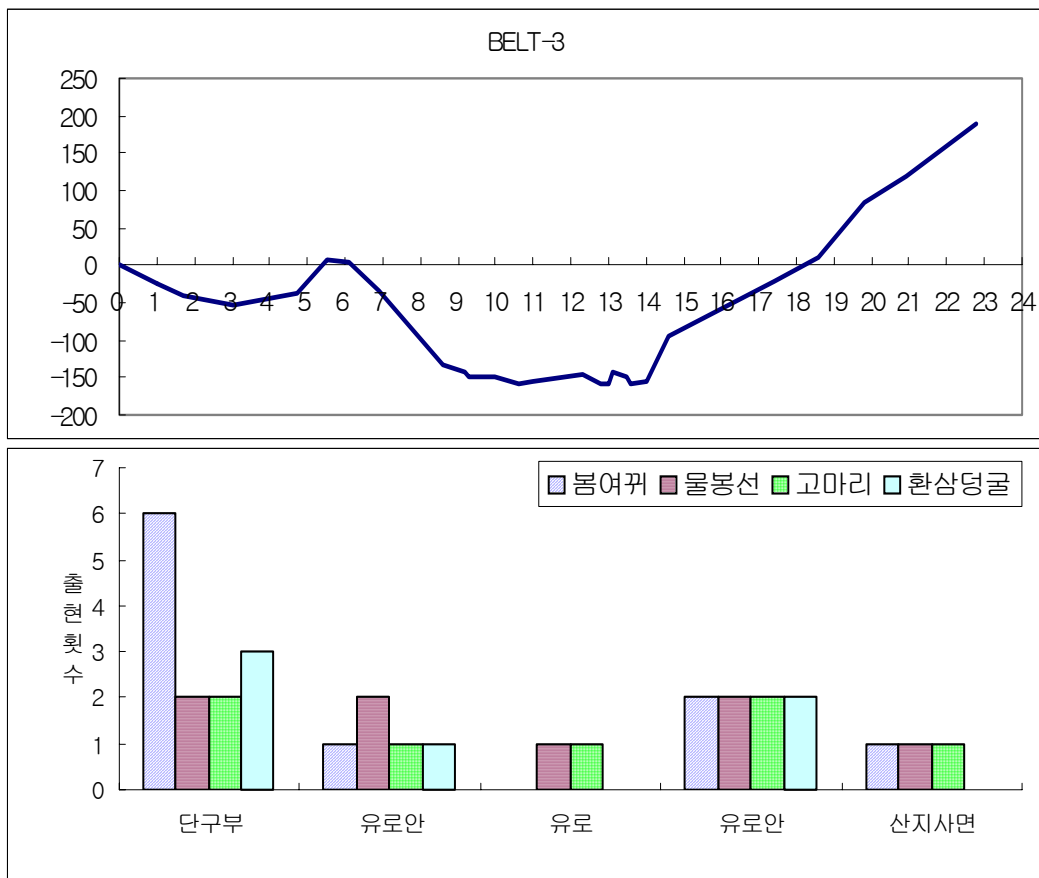


그림 3-4-33. belt 3에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-34는 belt 4에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리

지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 4m까지는 단구부, 4m~17m까지는 유로안, 17m~23m까지는 산지사면이 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 12m를 중심으로 좌측의 유로안과 우측의 유로안으로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 유로안에서는 봄여뀌가 5회, 팽이밥이 4회의 출현빈도를 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 belt 4에서는 봄여뀌가 9회, 지리대사초 8회, 팽이밥과 눈피불주머니가 7회의 출현빈도를 보였다.

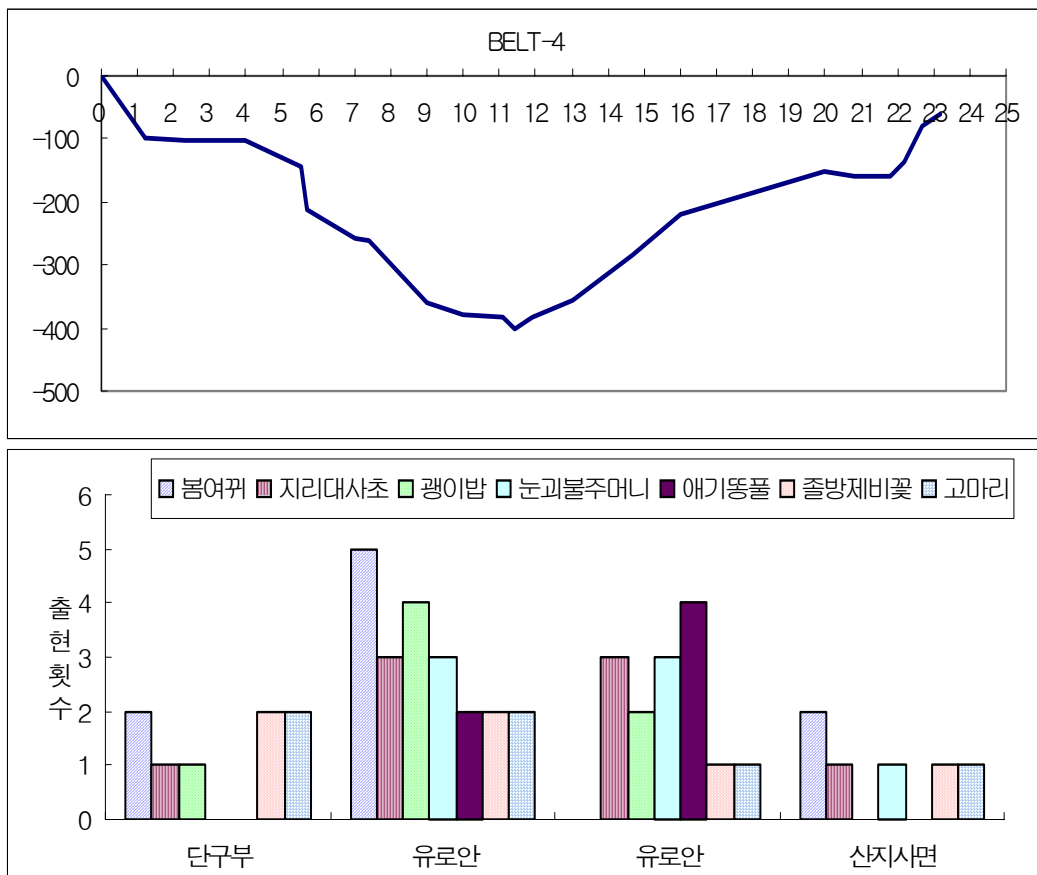


그림 3-4-34. belt 4에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-35는 belt 5에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 3m까지는 단구부, 3m~16m까지는 유로안, 16m~21m까지는 산지사면이 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장

많이 출현하는 미지형은 11m를 중심으로 좌측의 유로안과 단구부로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 단구부에서는 봄여뀌가 3회, 물봉선이 5회의 출현빈도를 나타냈다. 전체적으로 살펴보면 belt 5에서는 물봉선, 봄여뀌, 노루오줌이 9회, 쭉부쟁이가 6회의 출현빈도를 보였다.

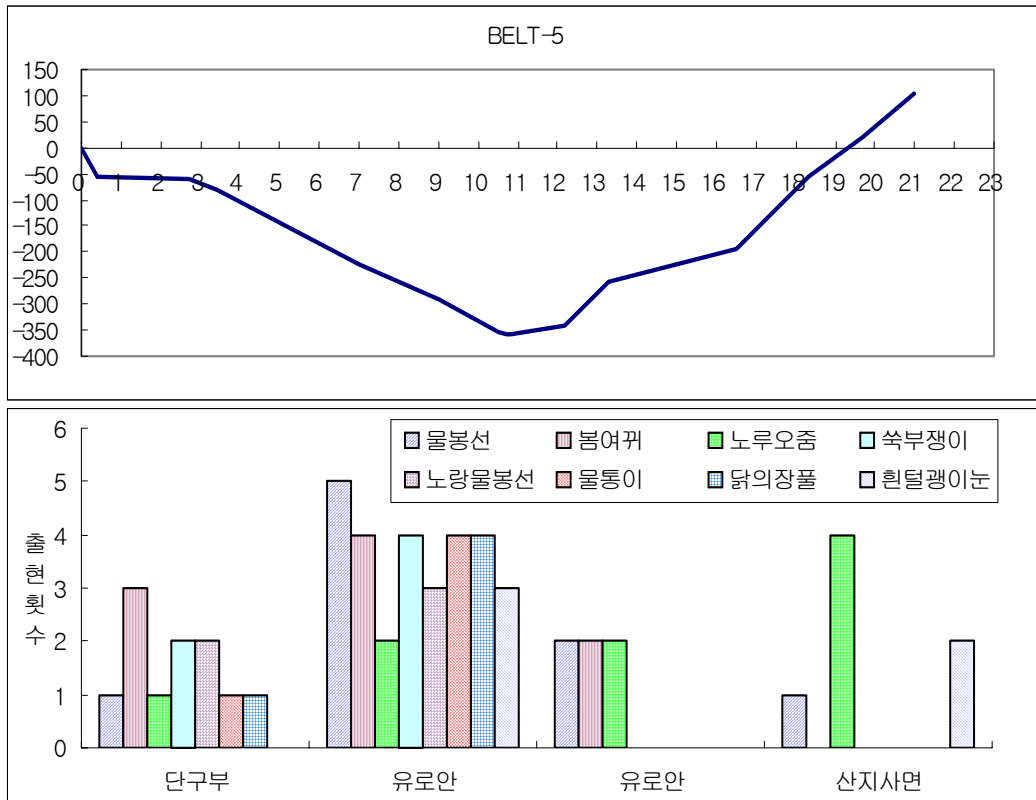


그림 3-4-35. belt 5에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-36은 belt 6에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 2m까지는 산지사면, 2m~11까지는 단구부, 11m~16m까지는 유로안, 16m~22까지는 유로, 22m~25까지는 유로안, 25m~32m까지는 산지사면이 있는 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 유로를 중심으로 좌측의 단구부와 우측의 산지사면으로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 단구부에서는 지리대사초가 7회, 애기똥풀이 6회의 출현빈도를 나타냈고, 우측의 산지사면에서는 주름조개풀이 6회, 노루오

좁이 5회로 나타났다. 전체적으로 살펴보면 belt 6에서는 노루오좁이 15회, 주름조개풀이 15회, 물봉선이 14회의 출현빈도를 보였다.

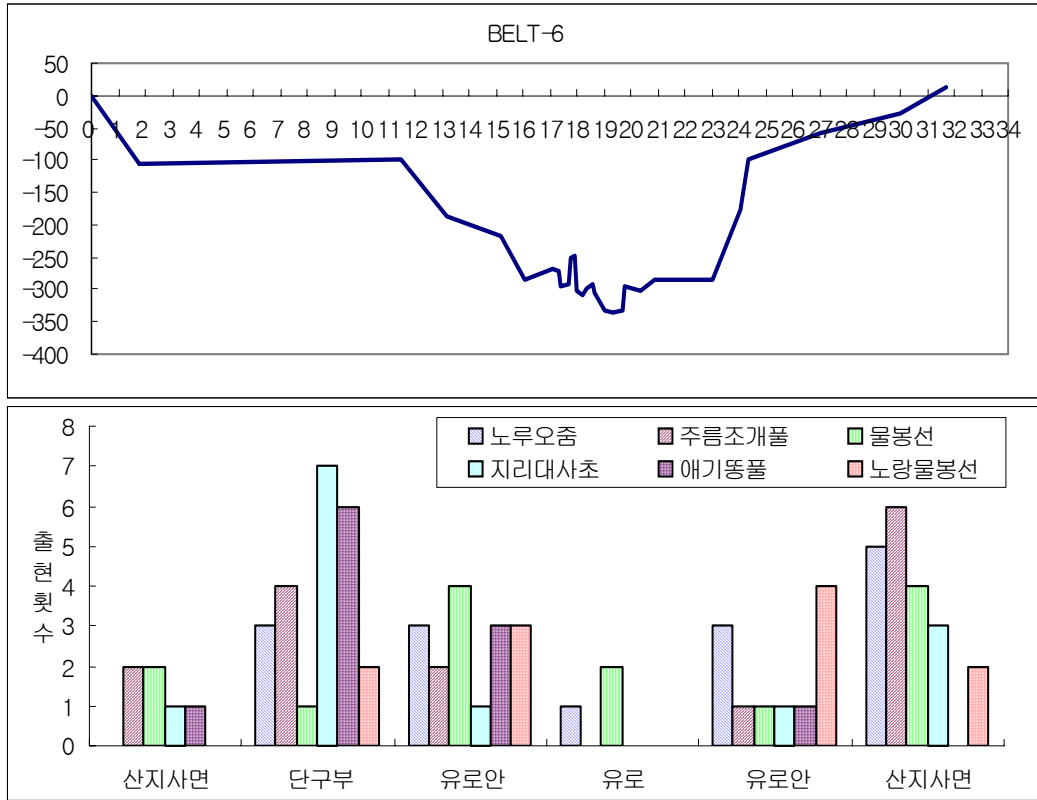


그림 3-4-36. belt 6에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

그림 3-4-37은 belt 7에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포를 나타낸 것이다. 거리지수별로 미지형 단위를 구분해 보면 좌측으로부터 3m까지는 단구부, 3m~16m까지는 유로안, 16m~23m까지는 산지사면이 노선임을 알 수 있었다. 식생이 가장 많이 출현하는 미지형은 11m를 중심으로 좌측의 유로안과 우측의 산지사면으로 나타났으며, 미지형 단위별로 우점하는 식생을 살펴보면 좌측 유로안에서는 봄여뀌가 4회, 물봉선이 3회의 출현빈도를 나타냈고, 우측의 산지사면에서는 물봉선이 6회, 봄여뀌가 4회로 나타났다. 전체적으로 살펴보면 belt 7에서는 봄여뀌가 13회, 물봉선이 12회의 출현빈도를 보였다.

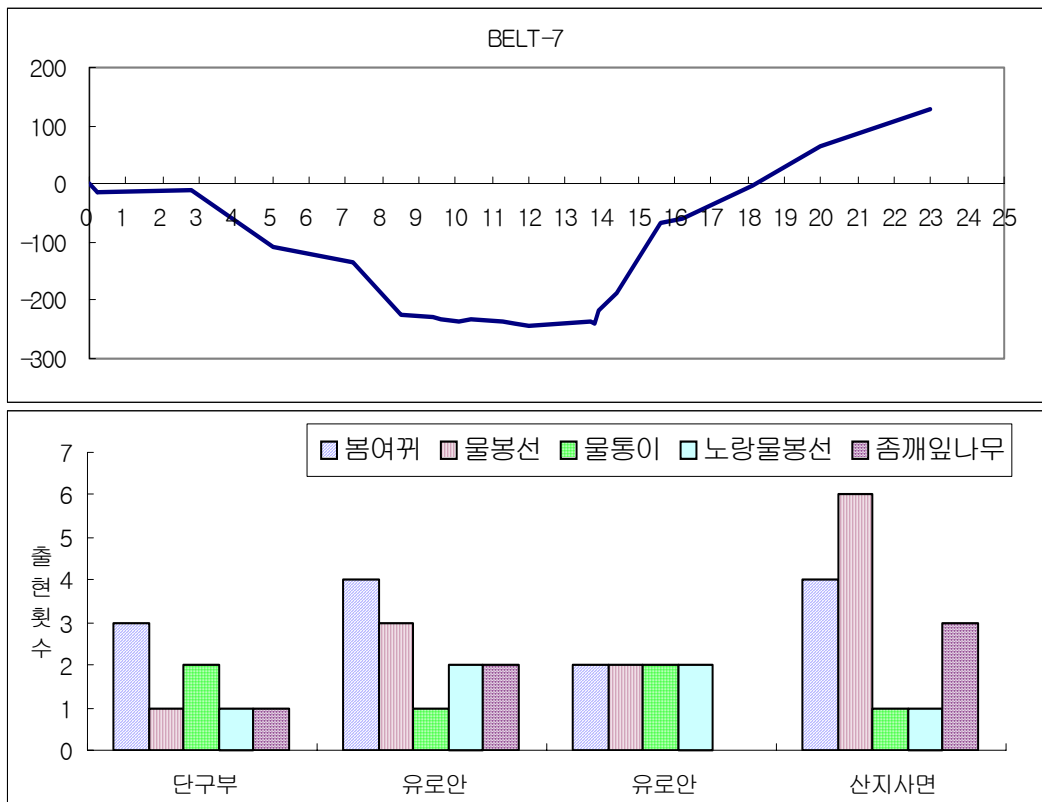


그림 3-4-37. belt 7에 출현하는 식물종의 거리지수별 분포

전체 미지형 단위별 식생의 출현분포를 살펴보면 다음과 같다. 전체 belt에 출현하는 수종에 대하여 출현빈도를 조사한 후 미지형별 상위 ranking 5위까지의 식생에 대하여 결과는 다음과 같다. 미지형은 유로를 중심으로 상류방향을 기준으로 왼쪽에 있는 미지형은 미지형명 왼쪽에 “L”을 표기 했으며, 오른쪽에 있는 미지형은 미지형명 왼쪽에 “R”이라고 표기 했다.

그림 3-4-38은 미지형별로 출현한 전 수종을 대상으로 출현횟수를 %로 환산한 후 이들 수종 출현비율이 높은 5개의 수종의 비율을 각각 %로 환산하여 나타낸 것이다. 미지형 R산지사면에 출현한 전 수종의 수는 251개체로 주름조개풀, 물봉선, 노루오줌, 뱀고사리, 참나물이 출현비율이 높은 5개 수종이었으며, 이 수종 중에서 노루오줌의 출현비율이 6.77%로 가장 높게 나타났다. 미지형 R단구부에 출현한 전 수종의 수는 40개체로 주름조개풀, 팽이밥, 노랑물봉선, 참반디, 쥐깨풀이 출현비율이 높은 5개 수

종이었으며 이 수종 중에서 노랑물봉선의 출현비율이 10%로 가장 높게 나타났다. 미지형 R유로안에 출현한 전 수종의 수는 132개체로 물봉선, 노랑물봉선, 눈피불주머니, 노루오줌, 지리대사초가 출현비율이 높은 5개 수종이었으며, 이 수종 중에서 물봉선과 눈피불주머니의 출현비율이 6.06%로 가장 높게 나타났다. 미지형 유로에는 출현한 전 수종의 수는 67개체로 물봉선, 봄여뀌, 노랑물봉선, 눈피불주머니, 쇠뜨기가 출현비율이 높은 5개 수종이었으며, 이 수종 중에서 봄여뀌의 출현비율이 22.39%로 가장 높게 나타났다. 미지형 L유로안에 출현한 전 수종의 수는 321개체로 물봉선, 팽이밥, 봄여뀌, 노랑물봉선, 눈피불주머니가 출현비율이 높은 5개 수종이었으며, 이 수종 중에서 물봉선의 출현비율이 6.23%로 가장 높게 나타났다. 미지형 L단구부에 출현한 전 수종의 수는 316개체로 주름조개풀, 물봉선, 강아지풀, 질경이, 쑥부쟁이가 출현비율이 높은 5개 수종이었으며, 이 수종 중에서 주름조개풀의 출현비율이 5.70%로 가장 높게 나타났다. 미지형 L산지사면에 출현한 전 수종의 수는 19개체로 가장 적은 출현 수종과 비율을 나타냈는데 이러한 이유는 목재 사방댐 시공시 L단구부가 위치한 지역이 주 작업로로 사용되어 식생의 답압이나 토양의 유실이 많아 식생침입이 가장 적게 이루어진 것으로 판단된다. 출현비율이 높은 상위 5개 수종은 주름조개풀, 물봉선, 팽이밥, 고마리, 강아지풀로 이 수종들 모두가 10.53%의 출현비율을 나타냈다.

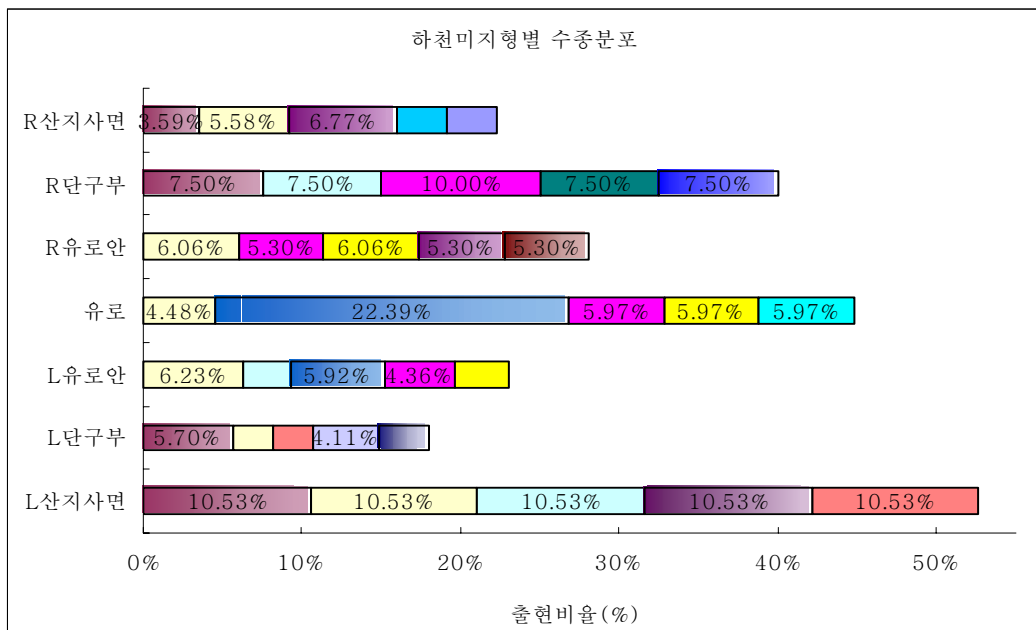


그림 3-4-38. 하천미지형별 수종분포

나. 모니터링 조사구에 의한 침입식생의 특성 파악

Braun-Blanquet의 방법에 의해 수종마다의 피도면적을 조사하여 피도등급을 다음과 같이 그래프로 나타냈다(그림 3-4-39~그림 3-4-49).

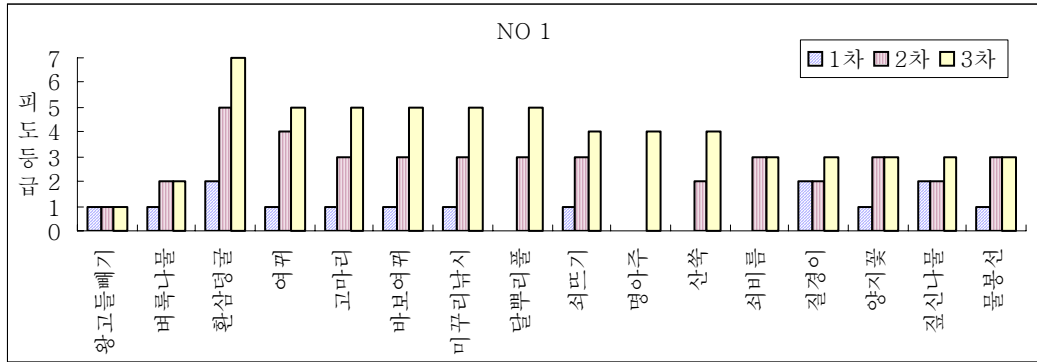


그림 3-4-39. NO 1 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 1의 모니터링 조사구에서는 환삼덩굴의 피도등급이 7로 가장 높게 나타났다. 대부분의 수종들이 1차, 2차, 3차 조사가 거듭될수록 피도등급이 증가했다. 명아주는 3차 조사시기에만 출현하였으며, 산쭉과 쇠비름은 2, 3차 조사시기에만 출현하였다.

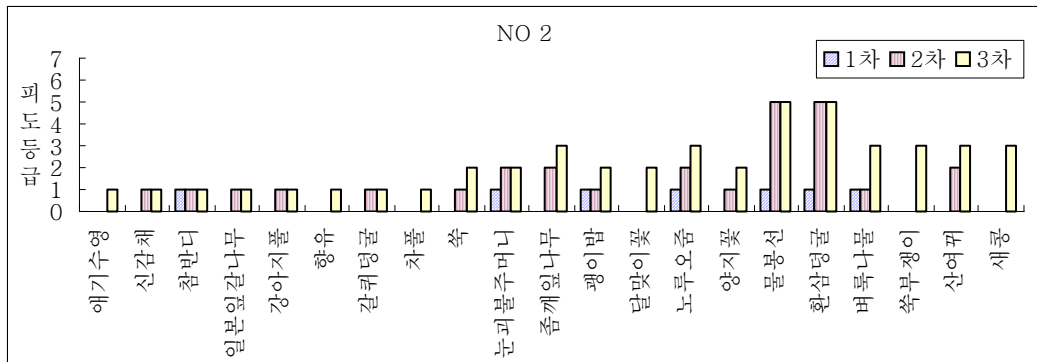


그림 3-4-40. NO 2 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

출현하는 수종은 물봉선 환삼덩굴을 비롯해 총 21종으로 NO 1 모니터링 조사구에 출현한 16종류 보다는 높게 나타났다. 그러나 같은 미지형 단위인 단구부에 위치한 NO 1의 모니터링 조사구는 환삼덩굴은 제외한 다른 식물들의 피도등급도 3차 시기에

는 높게 나타났는데 이와는 달리 NO 2 모니터링 조사구에 출현하는 물봉선과 환삼덩굴의 피도등급은 2, 3차 조사시기에 다른 식물들의 피도등급보다 훨씬 높게 나타났다.

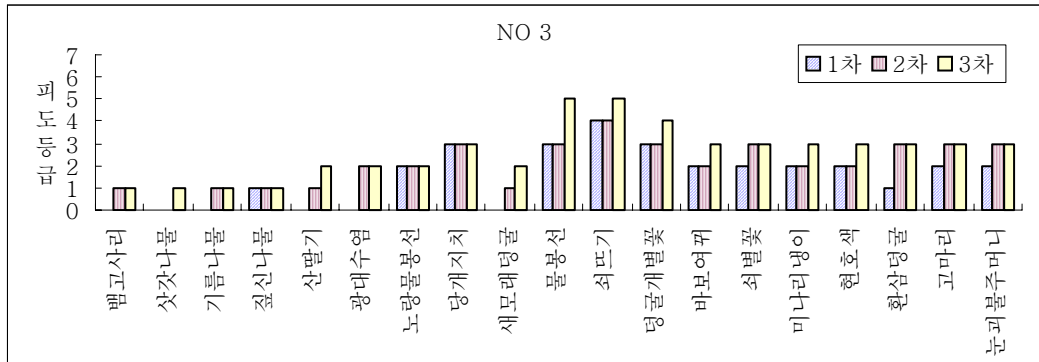


그림 3-4-41. NO 3 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 3 모니터링 조사구에 출현한 총 수종의 수는 19종으로 나타났다. 그중에서 물봉선, 쇠뜨기, 덩굴개별꽃이 3차 조사시기에 피도등급 4이상으로 나타났으며 NO 1, 2 모니터링 조사구와는 달리 환삼덩굴의 피도등급이 3으로 다소 낮게 나타났는데 이러한 이유는 NO 1, 2 모니터링 조사구는 미지형단위가 단구부로 1차 조사시기에는 완전 나지의 형태를 띠고 있었으나 NO 3의 모니터링 조사구는 미지형 단위가 유로안으로 유로와 가까운 입지적 특성 때문에 수분조건을 선호하는 식생의 피도등급이 높아지면서 상대적으로 환삼덩굴의 피도등급이 낮아졌기 때문이라고 판단된다.

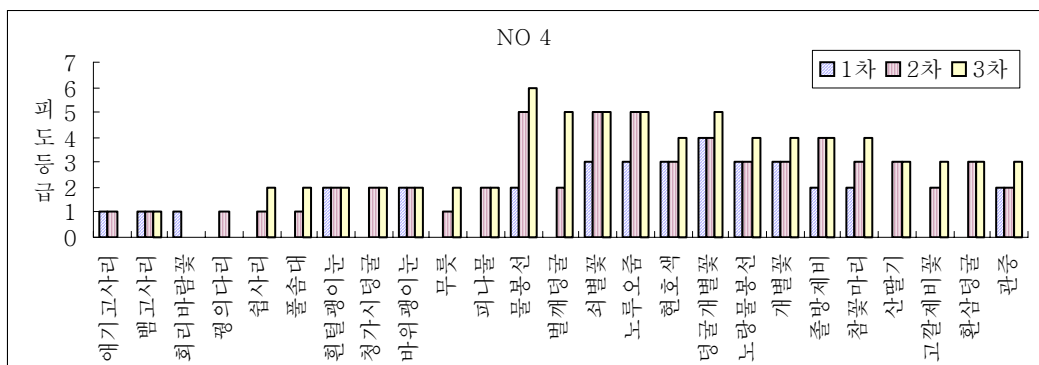


그림 3-4-42. NO 4 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 4 모니터링 조사구에 출현한 수종은 총 25종으로 NO 8 모니터링 조사구와 함께 가장 높은 종류조성을 나타내고 있다. 미지형 단위는 유로안으로 하도내에서 가장 많은 출현을 보이는 물봉선의 피도등급이 3차 조사시기에 6으로 가장 높게 나타났으며 벌개덩굴, 쇠별꽃, 노루오줌, 덩굴개별꽃이 3차 조사시기에 피도등급이 5까지 나타났다. 이외에 생활 주기가 짧은 회리바람꽃, 꿩의다리가 1, 2차 조사시기에 출현했다.

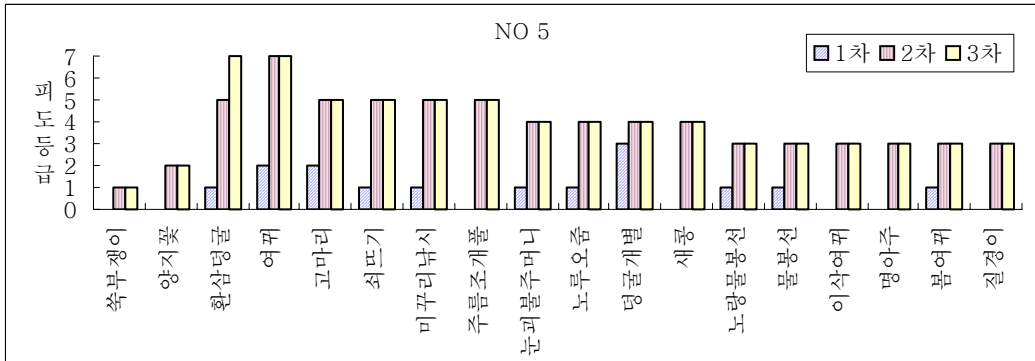


그림 3-4-43. NO 5 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 5 모니터링 조사구에 출현한 수종은 총 18종으로 나타났다. 하천의 미지형 단위는 단구부로 환삼덩굴과, 여뀌의 3차 조사시기에 피도등급이 7까지 나타나 피도면적이 100%에 가깝게 나타났으며, 국화과 식물인 쭈부쟁이도 출현했다. 미지형 단위가 같은 NO 1, 2 모니터링 조사구의 1차 조사시기의 피도면적이 5%정도로 매우 낮은 점에 비해 NO 5 모니터링 조사구는 1차 조사시기의 피도면적이 15%미만으로 높게 나타났는데 이러한 이유로 2, 3차 조사시기에도 다양한 수종에서 피도등급이 다소 높게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

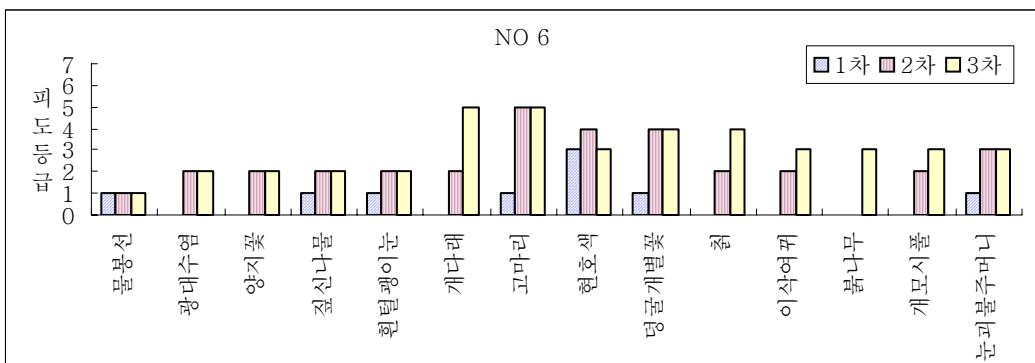


그림 3-4-44. NO 6 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 6 모니터링 조사구에 출현한 수종은 총 14종으로 나타났으며, 하천 미지형 단위는 단구부이다. 1차 조사시기의 피도면적은 5%미만으로 출현한 수종들의 피도등급 또한 매우 낮게 나타났으며, 2, 3차 조사시기도 개다래, 고마리의 피도등급이 5인 것을 제외하고는 출현한 모든 수종에서 피도등급이 낮게 나타났다. 하지만 목본성 낙엽만경식물인 개다래와 목본 식물인 붉나무가 3차 조사시기에 피도등급이 각각 5, 3으로 출현하였다.

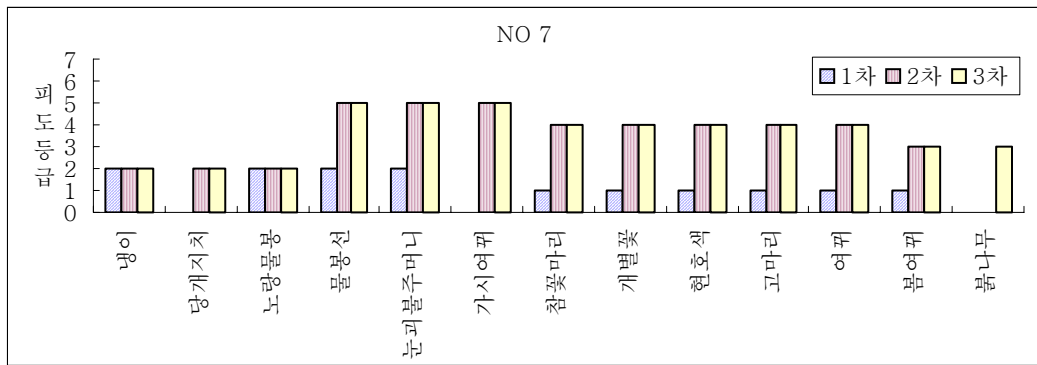


그림 3-4-45. NO 7 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 7 모니터링 조사구에 출현한 수종의 수는 총 13종으로 나타났으며 미지형 단위는 유로안이다. 물봉선, 눈피불주머니, 가시여뀌가 피도등급 5로 가장 높게 나타났으며, 참꽃마리 이외의 4수종이 피도등급 4로 나타났다. 1차 조사시기에 피도등급이 가장 높게 나타났던 수종들은 3차 조사시기까지 같은 피도등급을 나타냈으며, 2차 시기에 최초 출현한 가시여뀌는 피도등급이 5로 조사구내에 출현하자마자 빠른 초기생장을 보이며 높은 피도등급을 나타내는 것을 알 수 있었다.

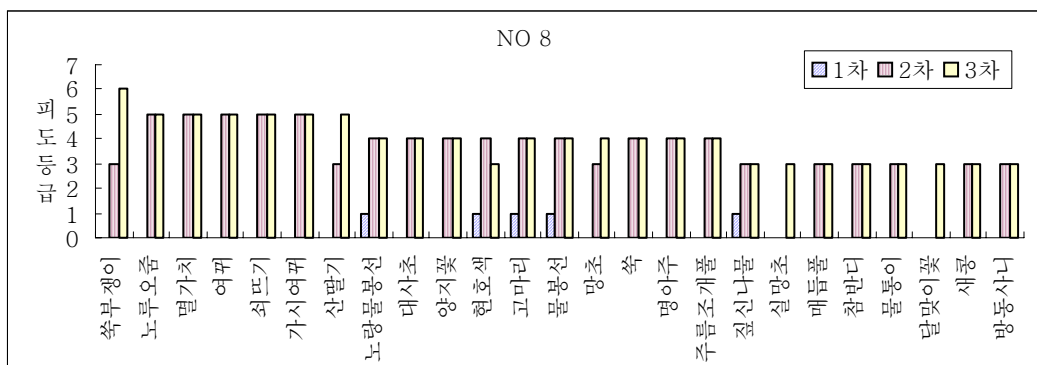


그림 3-4-46. NO 8 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 8 모니터링 조사구에 출현한 수종의 수는 총 25종으로 나타났으며, 미지형 단위는 단구부이다. 1차 조사시기에는 피도면적이 5%미만으로 나지였지만 2, 3차 조사시기에 출현한 수종의 빠른 성장으로 많은 수종에서 높은 피도등급이 나타나 11개의 모니터링 조사구에서 가장 이상적인 식생침입의 형태를 나타내고 있다.

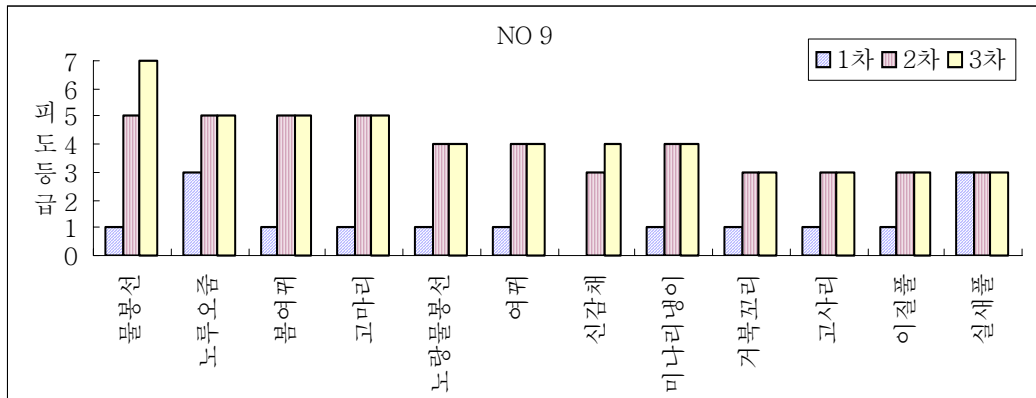


그림 3-4-47. NO 9 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 9 모니터링 조사구에 출현하는 수종의 수는 총 12종으로 미지형 단위는 유로안이다. NO 9~11의 모니터링 조사구는 모두 댐 1의 상류지역에 설치한 조사구이다. 물봉선의 피도등급이 7로 100%의 피도면적을 나타내고 있었으며, 그 하층에 노루오줌, 봄여뀌, 고마리의 수종이 피도등급 5로 높은 피도면적을 차지하고 있었다. 물봉선과 앞의 4수종의 분포는 피도등급이 높은 수종이 많이 출현한 다른 모니터링 조사구에서와 마찬가지로 이들 수종의 피도면적을 모두 합치면 100%의 피도면적을 훨씬 넘는 피도면적이 나타나게 되는데 이들은 서로 산림식생에서 층위를 형성하듯이 분포하며 높은 피도등급을 나타내고 있는 것이다.

이러한 이유로 NO 9 모니터링 조사구에는 전체 조사구중 가장 적은 수의 수종이 출현하였다. 즉 피도등급이 높은 식물들이 많이 출현하면 자연적으로 하층의 상대광량은 줄어들게 되고 이로 인해 하층의 식생출현에는 불리하게 되므로 이러한 현상이 일어난다고 판단된다.

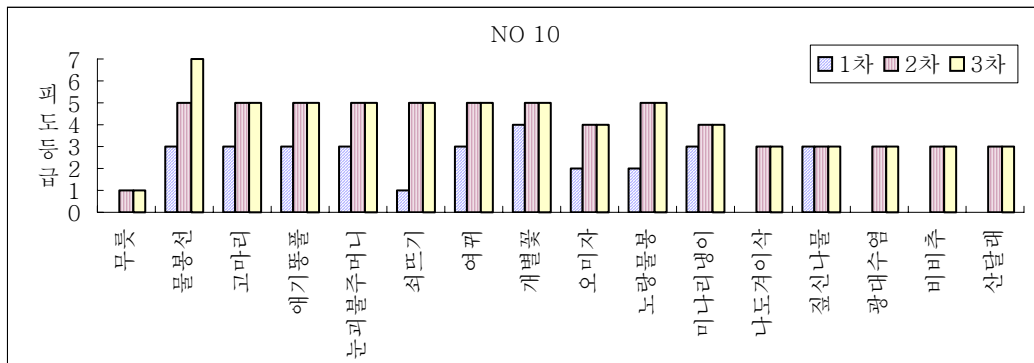


그림 3-4-48. NO 10 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 10 모니터링 조사구에 출현하는 수종의 수는 총 16종으로 미지형 단위는 유로 안이다. 물봉선의 피도등급이 3차 조사시기에 7로 가장 높게 나타났으며 고마리 외 6종의 피도등급이 5로 높게 나타났다. 목본성 낙엽만경 식물인 오미자의 피도등급도 4로 높게 나타났다.

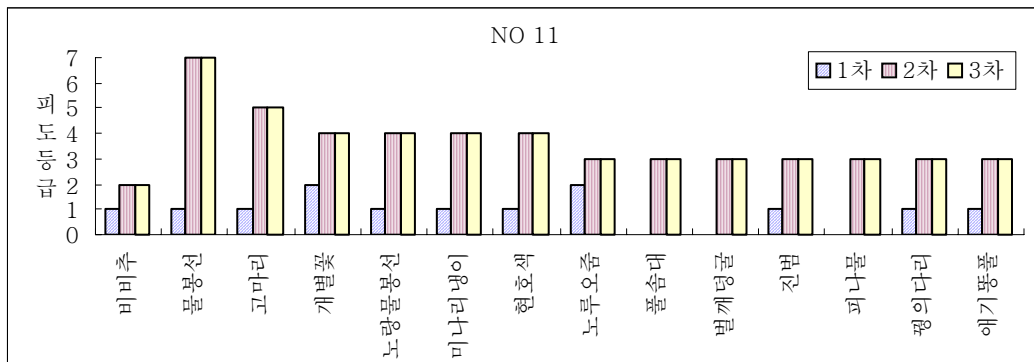


그림 3-4-49. NO 11 모니터링 조사구의 수종별 피도등급

NO 11 모니터링 조사구에 출현하는 수종의 수는 총 14종으로 미지형 단위는 유로 안이다. NO 9, 10 조사구와 마찬가지로 물봉선의 피도등급이 7로 가장 높게 나타났으며, 현호색의 피도등급이 4로 높게 나타났다. 풀솜대와 벌깨덩굴, 피나물은 1차 조사 시기에는 출현하지 않은 수종이었다. 물봉선의 피도등급이 2차 조사시기부터 5이상인 NO 9 ~11 모니터링 조사구에서가 가장 낮은 출현종수를 나타내고 있었다.

다. 조사구 주변의 식생환경

목재사방댐이 설치된 조사구 주변의 산림식생을 대상으로 식생조사를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 조사항목으로는 흉고직경이 2cm이상인 수목을 대상으로 수고가 8m이상인 수목은 교목층으로 수고가 4m~8m인 수목은 아교목층으로 4m 이하의 수목중에서 흉고직경이 2cm 이상인 수목은 관목층으로 구분한 후 각각의 층위에 출현하는 수목에 대하여 종상대밀도(relative density : RD)와 상대빈도(relative frequency : RF), 상대피도(relative coverage : RC)를 바탕으로 중요치(importance value)를 산출하였으며, 표본구내에 있는 전 식물종에 대하여 식생조사를 실시하였다.

표 3-4-8. 조사구내 교목층의 종구성과 중요치

	교목					Total
	굴참나무	소태나무	물푸레나무	산뽕나무	잎갈나무	
RD	10.00	14.00	5.00	5.00	67.00	100
RF	17.00	17.00	17.00	17.00	33.00	100
RC	5.00	2.00	1.00	1.00	91.00	100
IV	32.00	32.00	22.00	22.00	191.00	300

조사구 주변의 대표적인 식물상은 잎갈나무 조림지로 교목층에서 잎갈나무의 종상대밀도, 상대빈도, 상대피도가 가장 높게 나타났으며, 중요치 또한 가장 높게 나타났다. 인공조림수종을 제외한 교목층의 수종가운데에는 굴참나무가 가장 높은 중요치를 보였으며, 소태나무, 물푸레나무, 산뽕나무의 순서로 중요치가 나타났다.

표 3-4-9. 조사구내 아교목층의 종구성과 중요치

	아교목층							Total
	고로쇠나무	잣나무	산뽕나무	신나무	쪽동백나무	고추나무	생강나무	
RD	11.00	11.00	33.00	11.00	11.00	11.00	11.00	100
RF	11.00	11.00	33.00	11.00	11.00	11.00	11.00	100
RC	20.00	11.00	42.00	11.00	11.00	2.00	3.00	100
IV	42.00	33.00	109.00	33.00	33.00	24.00	25.00	300

아교목층을 이루고 있는 수종은 고로쇠나무, 잣나무 등 총 7종으로 산뽕나무가 가장 높은 종상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 나타내 중요치가 가장 높게 나타났으며, 고로쇠나무가 같은 상대밀도를 갖는 잣나무와 신나무, 쪽동백나무, 고추나무, 생강나무

무 중에서 상대피도가 가장 높은 것으로 보아 수종간의 경쟁에서 우위를 점하고 있는 것으로 나타났다. 관목성 수종인 고추나무와 생강나무가 아교목층에서 출현한 이유는 관목층의 위층인 아교목층에 출현하는 수종들의 상대밀도와 상대빈도가 낮기 때문에 능선이나 산록부위의 고추나무, 생강나무보다 생장이 뛰어나기 때문이라고 판단된다.

표 3-4-10. 조사구내 관목층의 종구성과 중요치

	관목층					
	고로쇠나무	잣나무	괴불나무	산뽕나무	고추나무	생강나무
RD	4.00	4.00	4.00	25.00	29.00	7.00
RF	7.00	7.00	7.00	13.00	13.00	13.00
RC	2.64	0.66	2.64	39.01	27.11	5.29
IV	12.88	10.90	12.88	77.34	69.01	25.77
	헛개나무	신나무	층층나무	병꽃나무	조록싸리	Total
RD	4.00	11.00	4.00	7.00	4.00	100
RF	7.00	13.00	7.00	7.00	7.00	100
RC	4.13	7.93	2.64	5.29	2.64	100
IV	14.37	31.98	12.88	19.10	12.88	300

관목층을 구성하고 있는 수종은 고로쇠나무, 산뽕나무, 층층나무, 헛개나무와 같은 4종의 교목성수종과, 아교목성 수종은 신나무, 관목성 수종은 5종으로 괴불나무, 고추나무, 생강나무, 병꽃나무, 조록싸리가 분포하고 있었다.

제5절 낙엽송 원목의 휨강도 성능 평가

1. 서론

전 세계적으로 여러 수종에 비해 소경재는 그 이용가치가 낮고 관리와 처리비용으로 인해 방치되거나 목재산업에서 등한시 되어 왔다. 그래서 산불과 병충해 등에 의해 생태학적 성질을 잃게 되고 많은 관리비용으로 경제적 손실을 야기해 왔다.

국내 산림자원은 3영급 이하의 어린 나무가 약 90%로 성숙 임목이 많지 않고 제대로 관리되지 않아 국내재의 질적인 목재 수급 부진이 계속되고 있다. 목재 생산도 주별 비율은 25% 전후에 불과하고 생산원목의 대부분이 말구직경 20cm이하의 소경재로 구성되고 있다. 또한, 벌채된 국내재 원목은 60%이상 철도, 보드류, 갱목용 등 저가 용도에 국한되고 있다. 이런 중, 소경재는 근래 간벌작업 등으로 많은 양이 생산되고 있으나 활용도가 낮아 간벌작업 후 방치되거나 저급용도로 사용되고 있는 실정이다. 또한, 수입재에 비해 생산, 유통 과정이 불리하여 채산성이 맞지 않는 상황이다.

이러한 상황을 개선하기 위해서는 소경재를 이용하는 것이 경제면이나 경영관리에 있어 불가피한 상황으로 오게 되었다. 소경재를 이용하는 것은 산림관리 비용을 절감시키고, 산림지역에 대해 경제적 기회비용을 제공함으로써 미래에 대해 그 가치를 창출할 수 있다.

이는 이러한 목재의 강성과 내구성을 예측하고 변화성에 대한 응용기술과 관련된 다. 그래서 필요한 것이 생태학적 나무로부터 원목이나 줄기의 잠재적 가치를 평가하는 기술이다. 현 목재산업에서 여러 가지 비파괴 평가기술은 구조목의 공학적 속성을 평가하는데 이용되어 지고 있다. 이 기술 중 초음파와 마이크로폰의 고유진동수를 이용하는 기술은 특히 목재의 탄성계수(MOE)을 측정하고 평가하는데 이용된다.

본 연구에서는 소경재의 많은 비중을 차지하는 낙엽송재 원목의 휨강도 특성을 평가하였으며 제재나 원주목등 2차 가공 전 비파괴 방법을 통한 원목의 선별을 통해 토목용 부재 및 공업재료로서의 강도 및 내구성에 높은 신뢰성을 부여할 수 있는 측정 방법을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

본 실험에서는 함수율 10~12%로 자연 건조된 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 원목을 사용하였다.

낙엽송 원목은 길이 270~285cm, 말구 직경 12~15cm의 박피되지 않은 소경재로 여주 임산물 유통센터에서 구입하였다.

나. 실험방법

1) 초음파를 이용한 영계수 측정(Eu)

실험에 사용된 시험기는 Pundit Plus(CNS Farnell사 : 영국)로 주파수 54kHz의 Transducer를 사용하였다. 초음파 시험기의 Tx(Transducer), Rx(Receiver) 두 단자를 시편의 양끝에 위치시켜 초음파의 통과 시간을 측정한 후 아래 식을 이용하여 영계수를 측정하였다.

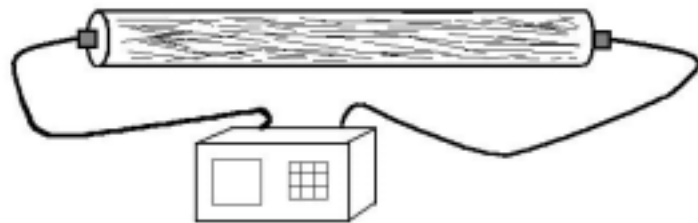


그림 3-5-1. 초음파 시험기를 이용한 영계수 측정

$$MOEu = C^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{g} (\text{kgf/cm}^3) \dots\dots\dots (\text{식 3-5-1})$$

C : Ultrasonic propagation speed(cm/sec)

ρ : Density (kgf/cm³)

g : Acceleration due to gravity (cm/sec²)

MOEu : MOE (kgf/cm²)

2) 종진동의 고유진동을 이용한 영계수 측정(Ev)

시편의 한쪽 끝에 마이크로폰(1/2" Prepolarized Free Field Microphone Type 40AE)을 설치하고 반대편 끝에서 타격을 주어 마이크로폰으로 종진동의 고유진동을 측정하였다. 측정된 고유진동수는 다음 식을 이용하여 영계수를 측정하였다.

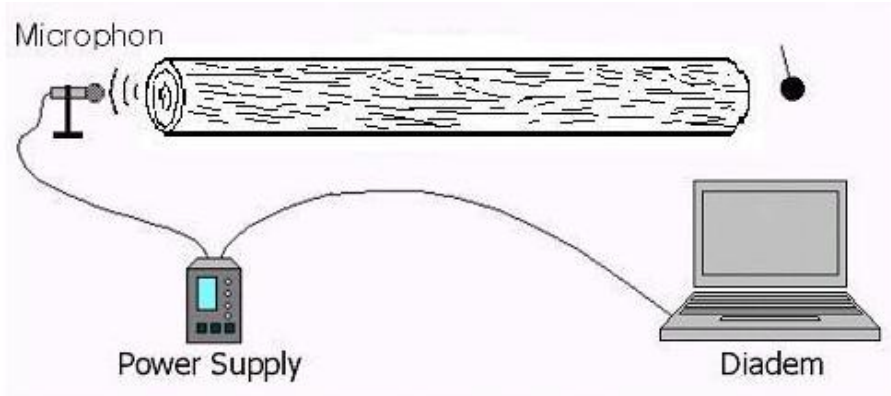


그림 3-5-2. 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수 측정

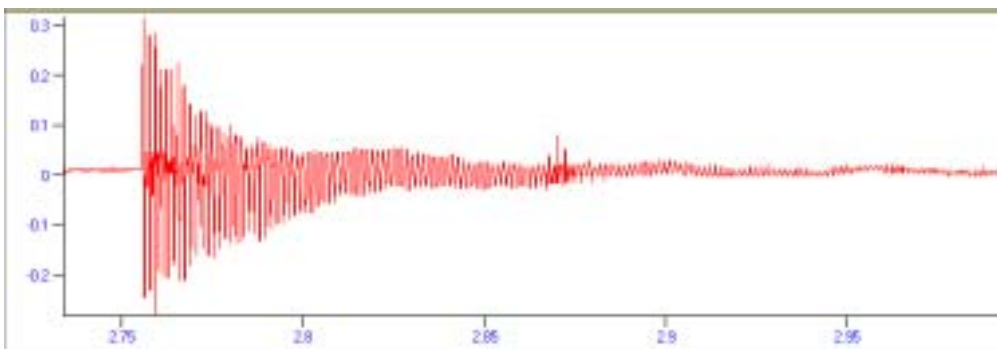


그림 3-5-3. 고유진동수의 파형

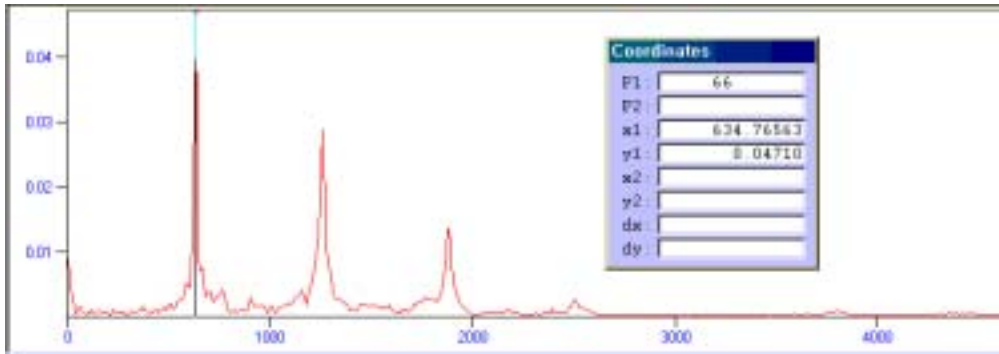


그림 3-5-4. 주파수분석을 통한 고유진동수

$$E_v = \left(\frac{2 f_n \cdot L}{n} \right)^2 \times \frac{\rho}{g} \quad (\text{kgf/cm}^2) \dots\dots\dots (\text{식 3-5-2})$$

E_v : 종진동의 고유진동에 의해 산출된 MOE (kgf/cm²)

ρ : 밀도

f_n : 종진동의 n차 고유진동수 (Hz)

g : 중력가속도 (980cm/s²)

L : 재장 (cm)

3) 휨강도 시험

낙엽송 원목의 휨강도 시험은 지점길이 260cm, 하중간 거리 40cm로 4점 하중은 분당 10mm 속도로 측정하였다. 하중 및 변형의 측정은 Data Logger(TDS-303)를 이용하여 측정하였다.

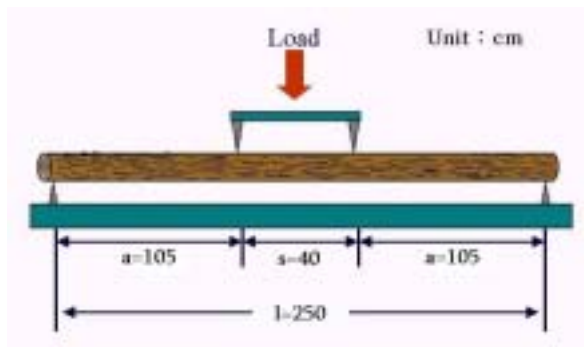




그림 3-5-5. 휨강도 시험

$$MOE_s = \frac{4\Delta P \cdot a(3L^2 - 4a^2)}{3\Delta y \pi D^4} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{식 3-5-3})$$

$$MOR = \frac{8P(L-s)}{\pi D^3} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{식 3-5-4})$$

ΔP : Load (kgf)

P : P_{\max} (kgf)

a = distance from the end support to the nearest load point (cm)

L = log span (cm)

Δy = midspan deflection (cm)

D = diameter of log (cm)

3. 결과 및 고찰

가. 측정방법에 따른 낙엽송 원목의 MOE 비교

그림 3-5-6은 초음파를 이용한 영계수와 실측 영계수를 비교한 것이다. 결정계수는 0.02로 매우 낮은 상관관계를 보였으며 10만에서 14만의 높은 값과 6만 이하의 값으로 나누어지는 것을 알 수 있었다. 6만 이하의 값으로 나온 원목들은 용이나 할렐 등에 의한 원인으로 생각되어지며 10만 이상의 값으로 나온 원목들은 자체결함이 적은 원목들임을 알아냈다.

그림 3-5-7은 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수와 실측 영계수를 비교한 것으로 결정계수는 0.34로 초음파보다 높은 상관관계를 나타내었다. 종진동의 고유진동수

의 경우 8만에서 14만정도의 값을 나타내었으며 실측 영계수의 경우는 5만에서 15만으로 넓게 분포되어 있었다.

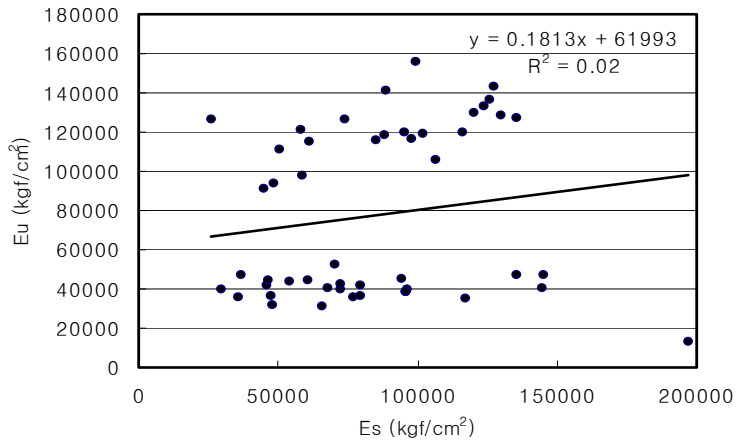


그림 3-5-6. Eu와 Es의 관계

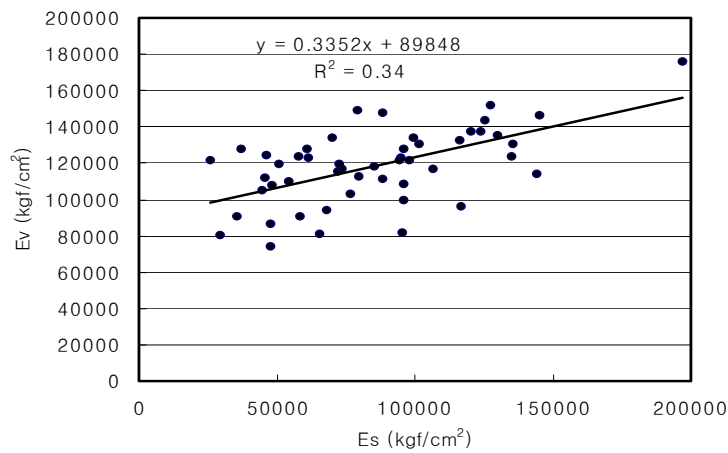


그림 3-5-7. Ev와 Es의 관계

표 3-5-1. 낙엽송 원목의 영계수 결과

y=a+bx				
y	x	a	b	R ²
Eu	Es	61,993	0.1813	0.0231
Ev	Es	89,848	0.3352	0.3362

나. MOE와 MOR과의 관계

실측 영계수와 파괴계수를 비교한 그림 3-5-8을 보면 결정계수는 0.55로 높은 상관관계를 보이고 있으며, 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수와 파괴계수는 0.54로 실측 영계수와 비슷한 상관관계를 보이고 있다. 반면, 초음파를 이용한 영계수의 경우 0.16으로 낮은 상관관계를 보였다.

실측 영계수와 파괴계수를 비교한 결과 영계수가 증가하면 파괴계수도 증가하는 경향을 알 수 있었다. 파괴계수는 300~800kgf/cm²이었다. 낙엽송 소경재 원목의 비파괴 측정방법에 의한 휨강도 특성 평가 방법은 종진동의 고유진동수를 이용하는 것이 효과적인 것을 알 수 있었다.

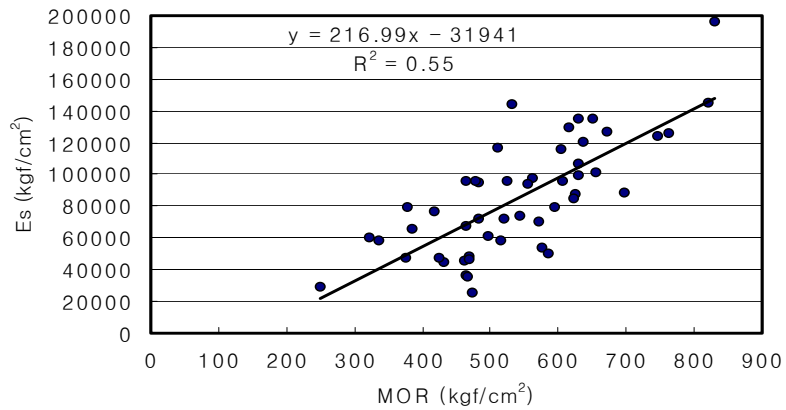


그림 3-5-8. Es와 MOR과의 관계

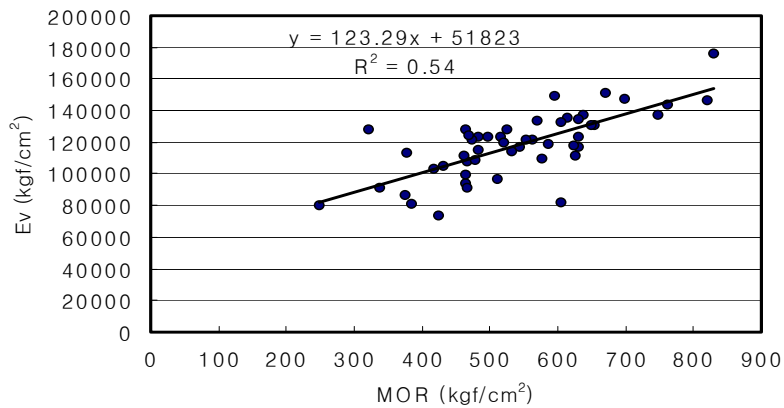


그림 3-5-9. Ev와 MOR과의 관계

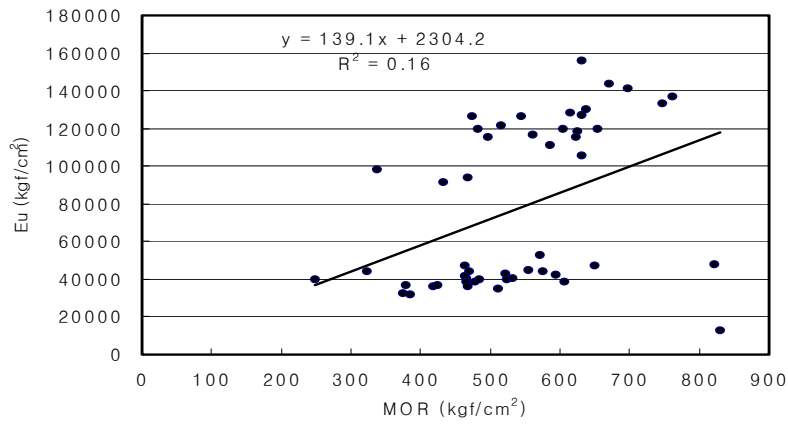


그림 3-5-10. Eu와 MOR과의 관계

표 3-5-2. MOE와 MOR 결과

Sample	Eu ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	Em ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	Es ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	Sample	Eu ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	Em ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	Es ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
1	133	137	123	747	26	116	121	97	561
2	143	151	127	671	27	47	146	145	821
3	118	111	88	626	28	141	147	88	698
4	119	130	101	654	29	40	115	72	483
5	128	135	129	615	30	38	99	95	465
6	52	133	70	570	31	126	117	73	544
7	40	127	96	524	32	40	114	144	532
8	36	102	76	417	33	155	134	99	630
9	130	137	120	636	34	121	123	58	516
10	47	128	36	464	35	45	121	94	554
11	44	109	54	576	36	35	96	116	510
12	42	149	79	594	37	115	117	85	623
13	38	82	95	605	38	98	90	58	337
14	40	94	67	465	39	47	130	135	650
15	111	119	50	585	40	36	90	35	467
16	105	116	106	631	41	42	119	72	521
17	93	108	48	468	42	39	80	29	249
18	32	86	47	375	43	91	105	44	432
19	130	176	196	831	44	44	124	46	469
20	127	123	135	630	45	36	74	47	425
21	119	132	115	604	46	36	113	79	378
22	119	123	95	482	47	31	81	65	385
23	38	108	95	478	48	44	128	60	322
24	41	111	45	463	49	115	123	61	497
25	126	121	25	474	50	136	143	125	762

다. 원목의 파괴형상

원목의 결점 부위에 따라 파괴형상을 나누어 보았다. Type I 은 원목에 웅이가 있는 경우이다. 그림 3-5-11은 웅이의 출현빈도가 높은 재료 고유진동수를 이용한 영계수와 실측 영계수의 값은 큰 차이를 보이지 않았지만 초음파 시험기를 이용한 영계수 값은 낮게 나왔다. 그 이유는 웅이의 출현이 초음파에 영향을 주는 것으로 생각된다. 그리고 파괴계수 값은 554kgf/cm^2 로 다른 재료와 비슷하였다. 그 이유는 웅이의 출현 빈도는 높지만 하중을 받는 중앙 부위에 웅이가 없을 때에는 파괴계수에는 영향을 미치지 않기 때문이다.

반면, 그림 3-5-12와 같이 웅이의 출현 빈도도 적고, 초음파 시험기를 이용한 영계수 값도 $115,000\text{kgf/cm}^2$ 라는 좋은 결과가 나왔더라도 하중을 받는 중앙부위에 웅이가 있을 때에는 웅이 부위에서 파단이 일어난다.



($E_u=45,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=121,000\text{kgf/cm}^2$, $E_s=94,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=554\text{kgf/cm}^2$)

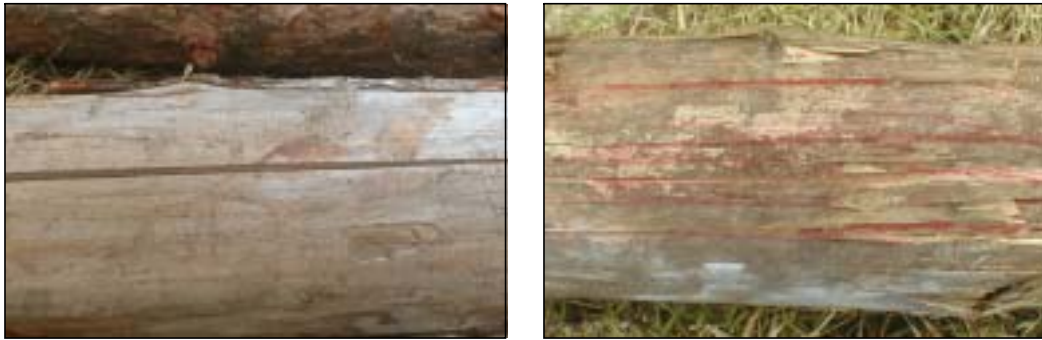
그림 3-5-11. 파괴형상(Type I)



($E_u=115,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=117,000\text{kgf/cm}^2$, $E_s=85,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=510\text{kgf/cm}^2$)

그림 3-5-12. 파괴형상(Type I)

그림 3-5-13의 Type II는 원목에서 많이 볼 수 있는 결점으로 할렬이 있는 경우이다. 초음파를 이용한 영계수 값은 $44,000\text{kgf/cm}^2$, 실측 영계수 값은 $46,000\text{kgf/cm}^2$ 로 큰 차이를 보이지 않았으나 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수는 $124,000\text{kgf/cm}^2$ 로 할렬 부위를 판별하지 못했다. 파괴계수도 469kgf/cm^2 로 다른 재에 비해 낮은 값을 나타냈으며 할렬이 있던 부위에서 파단이 일어났다. 초음파를 이용한 영계수와 휨강도 시험을 통해 얻은 실측 영계수가 비슷한 값을 나타낸 것으로 보아 원목에 할렬이 있는 경우에는 초음파를 이용하는 것보다 종진동의 고유진동수를 이용하여 영계수를 측정하는 방법이 정확한 측정을 할 수 있다. 특히, 파괴계수가 다른 재에 비해 낮은 값을 나타내는 것으로 보아 용이의 영향보다는 할렬의 영향이 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.



($E_u=44,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=124,000\text{kgf/cm}^2$, $E_s=46,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=469\text{kgf/cm}^2$)

그림 3-5-13. 파괴형상(Type II)



($E_u=116,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=121,000\text{kgf/cm}^2$,
 $E_s=97,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=561\text{kgf/cm}^2$)

그림 3-5-14. 파괴형상(Type III)

Type III은 결점이 적은 양호한 재료로서 초음파를 이용한 영계수, 고유진동수를 이용한 영계수, 휨강도 시험을 통한 실측 영계수 값이 모두 비슷하게 나타났다. 또한 파괴계수도 561kgf/cm^2 로 높게 측정되었다.

다음은 실험한 재의 파단이 일어난 부위를 잘라 단면을 보았다. 파괴계수 값이 561kgf/cm^2 로 비교적 좋은 재의 경우 파단단면 형상을 보았을 때 인장응력을 받는 하단부분부터 연륜을 따라 조금씩 파단이 일어나는 것을 볼 수 있다. 반면, 파괴계수 값이 438kgf/cm^2 로 낮게 나온 재의 경우 하중을 받는 중앙부위에 큰 할렬의 결점을 가지고 있어 결점 부위에서 순간적으로 파단이 일어났다.



($E_u=116,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=121,000\text{kgf/cm}^2$,
 $E_s=97,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=561\text{kgf/cm}^2$)



($E_u=40,000\text{kgf/cm}^2$, $E_v=115,000\text{kgf/cm}^2$,
 $E_s=72,000\text{kgf/cm}^2$, $MOR=483\text{kgf/cm}^2$)

그림 3-5-15. 파괴형상 단면

본 실험에서는 낙엽송 소경재 원목을 비파괴 방법을 이용하여 얻은 각각의 영계수와 파괴계수를 측정하여 이들의 상관관계 및 원목 선별방법에 대해 조사하였다.

실험결과, 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수와 휨강도 시험을 통해 얻은 실측 영계수가 초음파를 이용한 영계수보다 높은 상관관계를 나타냈다. 또한 휨강도 시험을 통해 얻은 실측 영계수와 파괴계수도 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 이러한 점으로 볼 때 비파괴 방법을 이용하여 얻은 영계수와 휨강도 시험을 통해 얻은 실측 영계수의 상관관계가 높을수록 좀 더 정확한 파괴계수를 구할 수 있었다.

비파괴 방법을 이용한 원목의 선별방법으로 웅이의 출현빈도가 높은 경우는 초음파를 이용한 방법보다 종진동의 고유진동수를 이용한 방법이 효과적이고, 할렬이 많은 경우는 초음파를 이용한 방법이 효과적이었다. 비파괴 방법을 이용하여 원목 선별시 파괴계수에 영향을 주는 웅이나 할렬의 결점을 고려해야 한다. 특히, 할렬에 따른 강도의 차이가 크므로 할렬이 웅이보다 더 강도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

제6절 비파괴 방법을 통한 목재의 결점부위 판별

1. 서론

목재의 등급구분은 기계적 등급구분과 육안적 등급구분이 있다. 육안적 등급구분으로는 집중옹이 절경비와 섬유경사각을 측정하여 등급을 구분하지만 제재 또는 단판 절삭 시 취약심재, 내부할렬, 내후부후 등의 결점은 육안적으로 구분하기 힘들기 때문에 기계적 등급구분을 한다.

이렇게 목재는 해부학적 특성에 따라 재질에 많은 변화가 있고, 더욱이 목재가 해부학적 결점(부후, 취약심재, 내부할렬, 썩음, 그 밖의 성장결함 등)을 갖고 있는 경우 그 재질이 더욱 다르기 때문에 이를 사용전 분류하여 수치로 나타낸다면 목재 이용상 생산율과 품질을 향상시킬 수 있다. 이런 점을 착안하여 본 실험에서는 비파괴 시험 방법(Nondestructive Evaluation : NDE)중 초음파 시험기를 이용하여 목재를 평가해보았다.

초음파란 주파수 20kHz 이상의 음파로서 인간의 귀로 들을 수 없는 높은 주파수이다. 초음파는 일종의 응력파로 전자파와는 다른 성질을 가지고 있다. 초음파는 주파수의 발생장치가 필요하고, 그것에 반해 응력파는 햄머와 같은 것으로 시험체에 가벼운 충격을 가해 음파를 발생시킨다. 결국 초음파는 각각의 주파수에 의해 진동자가 틀리나, 응력파는 시험체 고유의 주파수의 음파를 발생시키는 것이다.

초음파의 특징은 지향성이 좋으며 주어진 매질에서 속도가 일정하며, 매질이 달라지면 속도가 달라지는 특성이 있다. 또한, 진행거리가 비교적 길고 온도변화에 따른 속도가 일정한 장점 때문에 비파괴검사에 많이 활용되고 있다. 목재의 경우도 전파 속도를 이용한 재질 평가 및 재의 부후가 응력파의 속도에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 행하여지고 있으며 전파 속도에 영향을 미치는 많은 인자 및 목재의 이방성으로 인해 많은 검토가 요구되고 있다.

본 실험은 초음파 시험기를 이용하여 옹이를 포함하는 부분의 속도 변화와 파단 부위를 포함하고 있는 목재 및 목질 재료의 파단위치에 따른 속도의 변화를 측정, 파단 부위의 위치와 옹이의 출현, 옹이의 크기에 따른 속도 변화를 검토하여 측정방법에 따른 파단부위를 판별하고 비교·분석하였다.

2. 재료 및 실험방법

가. 공시재료

본 연구에서는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)재와 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.)재를 사용하였다.

나. 실험방법

시험편의 크기는 길이 370cm, 폭 12cm, 두께 1cm 와 길이 150cm, 폭 10cm, 두께 2cm 그리고 길이 150cm, 폭 10cm, 두께 4cm의 제재판을 사용하였다. 측정에 사용된 시험기는 Pundit Plus(CNS Farnell : 영국)로 주파수 54kHz의 Transducer를 사용하여 실험하였다.



그림 3-6-1. 초음파 시험기(CNS Farnell)

1) 용이의 출현에 따른 초음파의 속도

본 실험은 그림 3-6-2와 같이 동일면상에 일정한 간격으로 초음파 시험기(Pundit)의 Tx(Transducer), Rx(Receiver) 두 단자를 이동시켜 50cm 거리 안에 포함되어 있는 용이와 파단 부위에 따른 초음파의 통과 시간을 측정하였다.

옹이의 포함정도에 따른 속도의 차이를 비교하기 위하여 집중 옹이 절경비(15cm 이내)에 집중되어 있는 옹이들의 직경의 합)에 따른 속도 변화와 옹이를 포함하지 않은 부분을 비교하였다. 또한, Tx단자를 고정시키고 Rx단자의 거리를 50cm 씩 증가시켜 거리변화에 따른 속도의 변화 경향을 알아보았다. 그리고 옹이 크기가 속도에 어떤 영향을 미치는가에 대해서 옹이의 크기별로 재의 두께를 달리하여 옹이가 있는 부분 50cm 간격으로 측정하였다.



그림 3-6-2. 초음파 시험기의 단자

2) 파단에 따른 초음파 속도

파단부위에 따른 초음파의 통과 속도는 옹이가 출현하지 않은 부분의 초음파 속도를 측정한 후 인위적으로 파단을 주어 파단 전의 속도와 파단 후의 속도를 비교하였다. 그리고 인위적으로 파단을 낸 후 50cm 씩 거리 안에 측정한 후 다시 50cm 씩 증가시키면서 파단 낸 부위에서의 속도를 측정하고, 다시 10cm 씩 증가시키면서 측정을 하였다.

이후 Tx 단자를 시편 측면에 고정시키고 Rx단자를 10cm씩 이동하여 측정하고 (T1), Tx단자를 고정시키고 Rx단자를 동일 면상에서 10cm씩 이동시켜 측정하였다 (T2). 또한, 시편 반대편 면에 각각 두 단자를 놓고 Tx단자를 고정시킨 후 Rx단자를 10cm씩 이동하며 측정하고(T3), Tx단자와 Rx단자를 서로 반대편에 마주보며 같이 10cm씩 이동시켜 측정하였다(T4).

또한, Tx단자를 고정시키고 Rx단자를 동일 면상에서 10cm씩 이동시켜 위치별로 측정, 하중을 가하기 전과 1000kgf 하중을 가한 후 측정한다. 그런 후 최대하중을 가하여 파단을 낸 후 위치별로 측정을 하여 속도의 변화를 알아보았다.

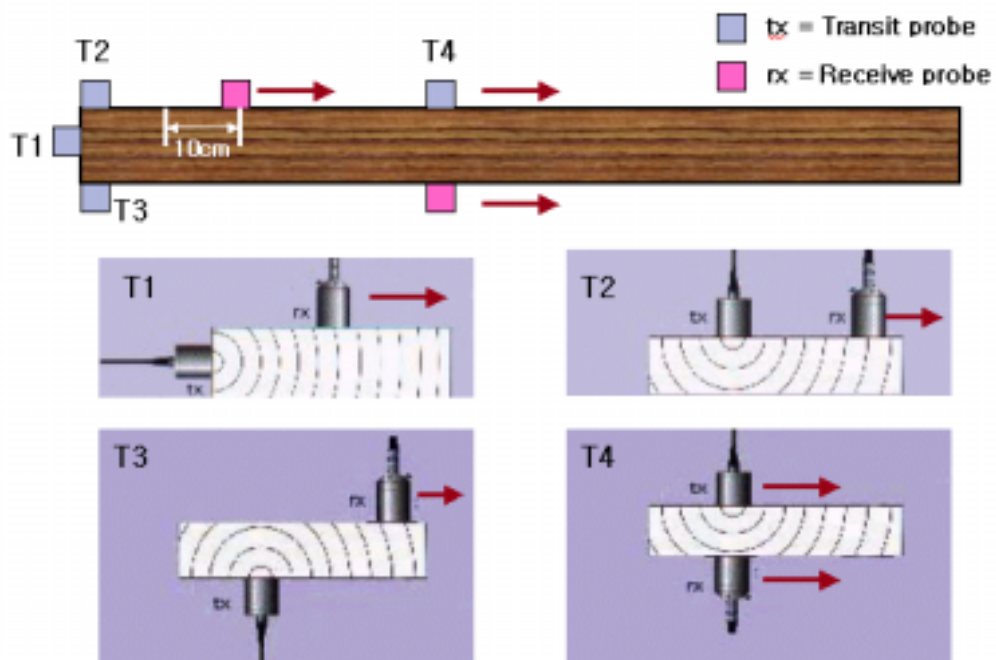


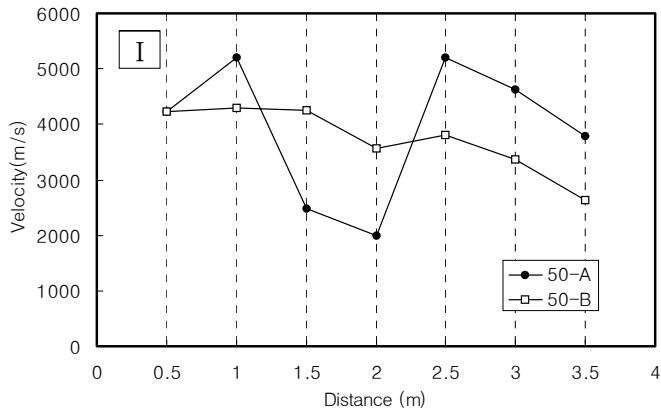
그림 3-6-3. 측정 단자의 위치

3. 결과 및 고찰

가. 용이와 속도의 관계

그림 3-6-4는 위치에 따른 초음파의 통과 속도를 나타내는 것이다. P는 각 구간별 통과속도를 나타낸 것이며 M은 한쪽 끝에 Tx단자는 고정시키고 Rx단자를 50cm씩 이동시키며 측정한 것이다. 그림 3-6-4의 그래프 I는 용이를 포함하고 있는 1.5m, 2m 구간에서 부분별 속도가 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 전체적인 속도에서도 용이부분을 지난 이후에는 속도가 감소한 것을 알 수 있다. 특히, 그래프 II의 2m 부분 이후에는 용이의 정도가 심하여 그 이후 모든 위치에서 용이의 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

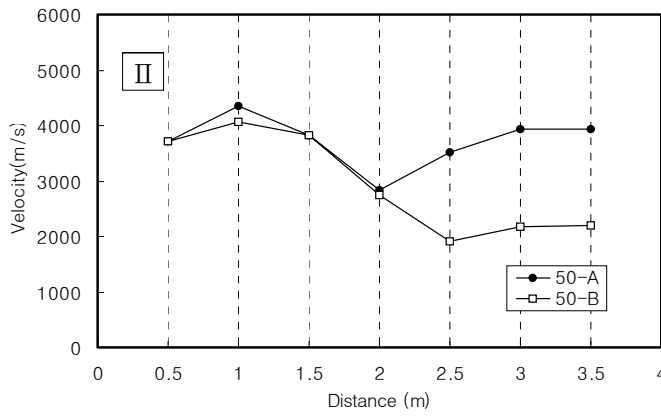
그래프 III는 1.5m와 2m부분에 용이가 출현하고 있으나 속도가 감소하지 않았다. 이는 용이가 직접적으로 초음파의 진행에 방해가 되지 않았으며 속도에도 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.



1.5m



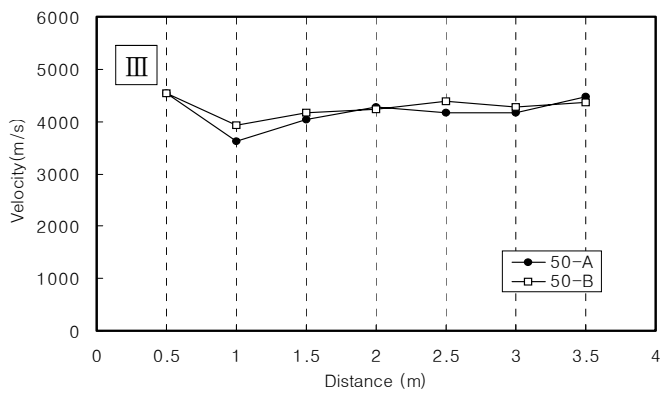
2m



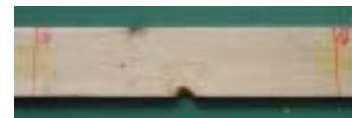
0.5m



2m



1.5m



2m

그림 3-6-4. 응이와 초음파 통과 속도와의 관계

그림 3-6-5는 집중용이 절경비와 속도를 나타낸 것이다. 집중용이 절경비가 커질수록 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 용이가 재단 부위에 위치하는 경우 영향을 받지 않았다.

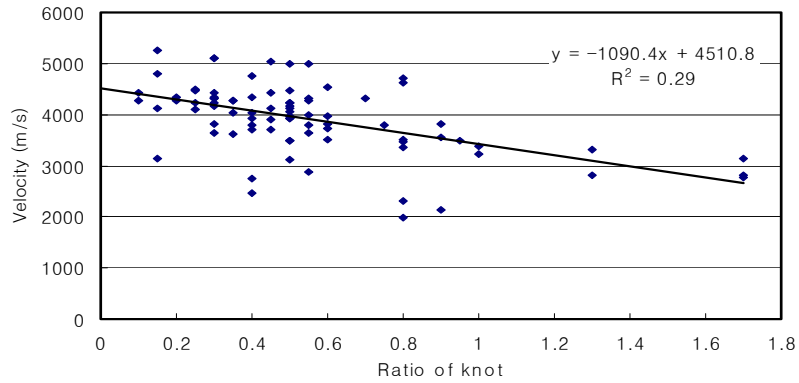


그림 3-6-5. 집중용이 절경비와 초음파 통과속도와의 관계

그림 3-6-6과 3-6-7은 재의 두께 별로 용이의 크기와 속도를 나타낸 것이다. 재의 두께가 4cm일 때는 용이 지름이 증가할수록 속도가 감소하였다. 또한 그래프를 보게 되면 용이 크기가 커질수록 용이 부위의 시간에서 무결점 시간을 뺀 차이(시간차)가 커진다는 것을 알 수가 있었다. 그런 반면 재의 두께가 2cm일 때도 용이의 지름이 증가할수록 속도가 감소하지만 상관관계가 떨어지는 것으로 보아 재의 두께가 4cm 일 때보다는 속도의 감소가 정확하게 측정되지 않는다는 것을 알 수가 있었다. 따라서 재의 두께가 용이의 크기에 따른 속도에 영향을 준다는 것을 알 수가 있었다.

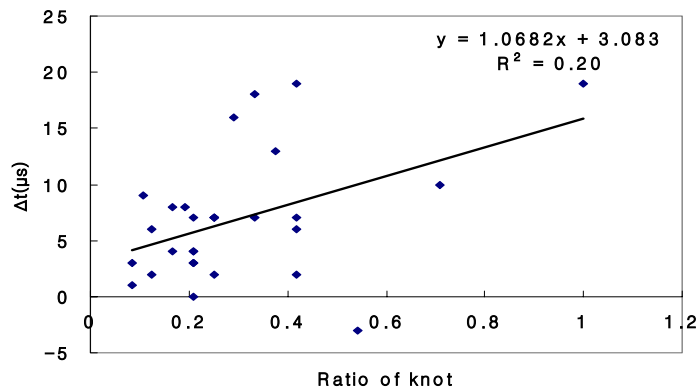


그림 3-6-6. Δt 와 용이절경비와의 관계

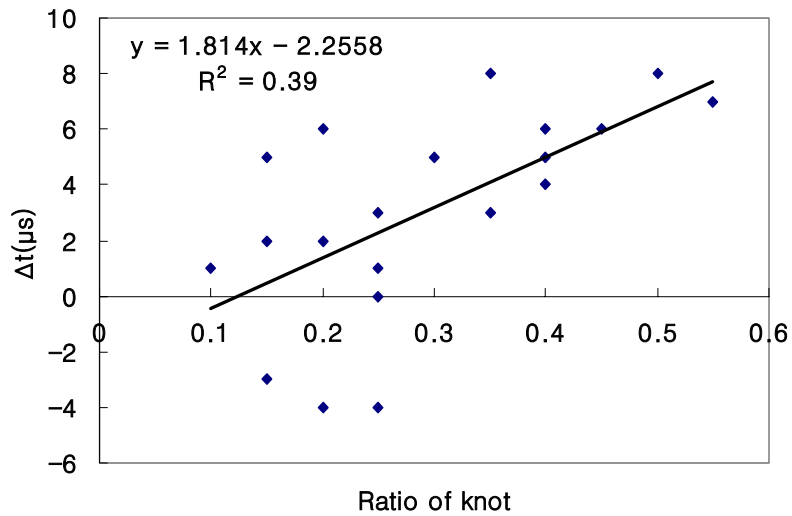


그림 3-6-7. Δt 와 용이절경비와의 관계

나. 파단부위와 속도의 관계

파단부위의 평가는 우선 무결점부위의 속도를 측정 후(1) 인위적인 파단을 속도의 변화를 측정하였다. 측정은 그림 3-6-8과 같이 세 부분(2, 3, 4)에서 측정하였으며, 파단 형상에 따른 차이를 비교해 보았다(그림 3-6-9).

우선, 한쪽 끝에 수직으로 파단이 일어난 경우(Type I) 파단이 일어난 2번 위치에서는 속도가 감소하는 것을 알 수 있으나 3, 4번 위치에서 측정 시에는 파단의 영향을 받지 않았다. 중앙 부분에 수평으로 파단이 일어난 경우(Type II)에는 파단이 모든 부분에서 속도가 감소하지 않았다. 이는 직접적으로 파단부의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다. 파단이 중앙부분에 수직으로 일어난 경우(Type III) 역시 파단이 일어난 중앙부위의 3번 측정 시에만 속도가 감소하고 양끝의 2, 4번에서는 속도의 감소를 볼 수 없었다. 이와 같은 결과로 파단 부위를 포함하고 있더라도 초음파가 파단 부위를 직접적으로 통과하지 않으면 전혀 속도가 감소하지 않는 것으로 나타났다.

또한, 그림 3-6-10과 3-6-11은 용이 부분에 파단을 주었을 경우와 용이 부분이 아닌 곳에 파단을 주었을 경우 속도의 변화를 나타낸 것이다. 용이 부분에 파단을 주었을 경우에는 파단의 영향을 받지 않았으나 중간에 용이가 있고, 용이 아닌 부분에 파단을 주었을 경우에는 속도가 현저히 감소하였다는 것을 알 수가 있었다.

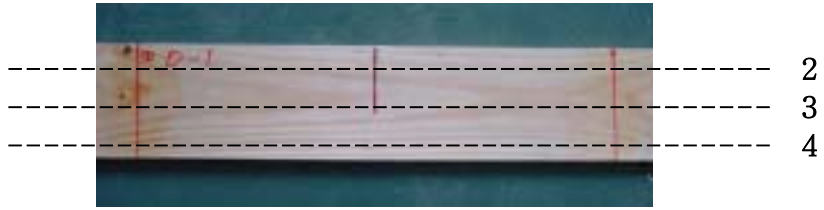


그림 3-6-8. 측정 위치

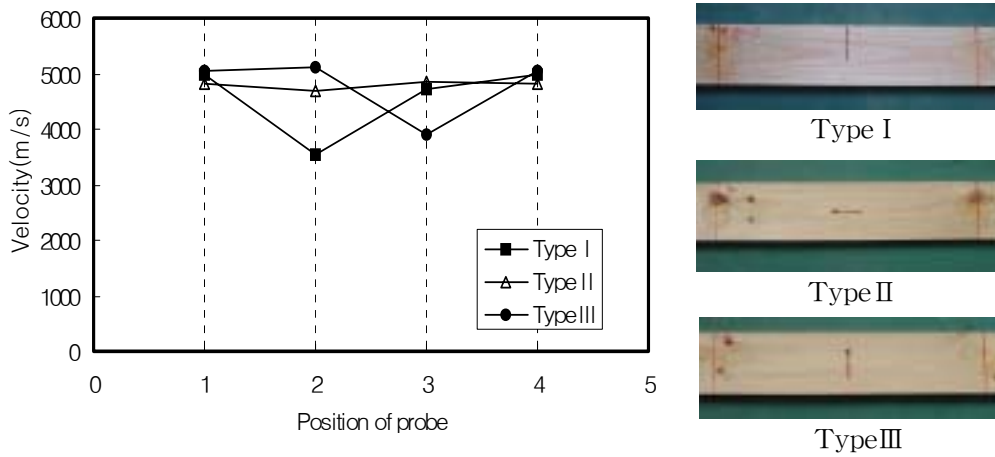


그림 3-6-9. 파단형상과 초음파 통과 속도와의 관계

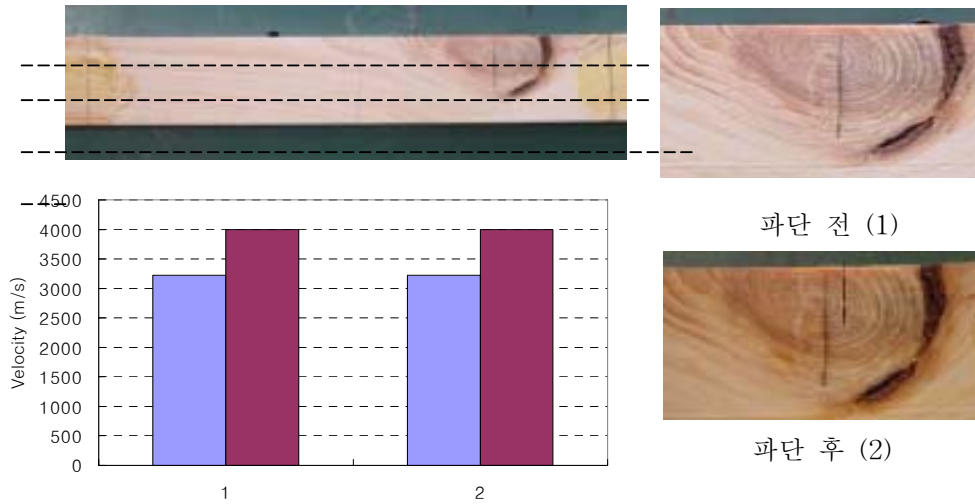


그림 3-6-10. 옹이부위의 파단과 초음파 통과속도와의 관계

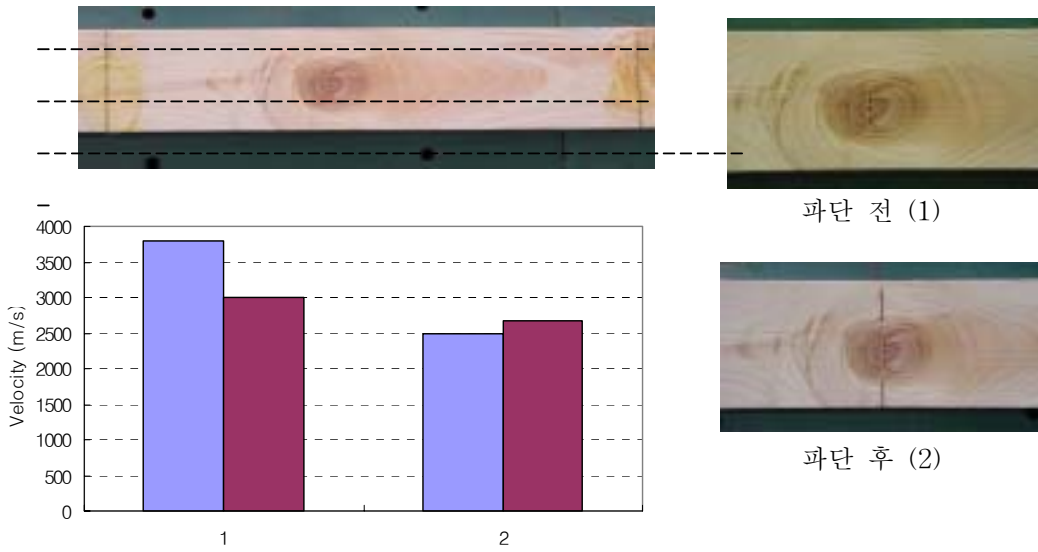


그림 3-6-11. 용이부위의 파단과 초음파 통과속도와의 관계

다. 측정방법에 따른 낙엽송재의 파단부위 평가

낙엽송재를 파단 전(R1)에 측정을 한 후에 힘 강도 실험을 하여 인위적인 파단을 준다. 그런 후 파단이 없는 면(R2)을 측정하고 파단이 일어난 면(R3)을 측정하였다. 각각의 측정결과 파단 전과 파단 후를 비교해 보았을 때 T1방법인 경우 인장응력으로 인한 파단면에서만 파단부위를 감지하였다. T2 측정방법 역시 T1과 같은 경향을 보였다.

반면, T3의 경우 인장응력에 의한 파단면 뿐만 아니라 압축면에서도 파단부위에서 어느 정도 진행된 거리에서 감지하였다. 가장 정확한 측정이 가능한 T4의 경우 파단부위에서는 판별이 가능하였으나 파단부위 이 외에서는 전혀 판별이 불가능하였다.

그림 3-6-12를 보면 파단 전에 측정한 것은 별다른 속도의 차이를 보이지 않았다. 인위적인 파단 후 그림 3-6-13에서 압축응력을 받은 비파괴면에서 측정해 볼 때는 속도의 차이를 보이지 않았으나, 두 단자를 반대편에 두고 Tx단자를 고정시키고 Rx단자를 이동시킬 때에는 속도가 파단부위보다 진행된 거리에서 감소한다는 것을 알 수가 있었다. 또한, 그림 3-6-14에서와 같이 Rx단자를 인장응력으로 인한 파단면에서 측정한 경우에는 T1, T2, T3 모두 파단을 감지한다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 파단부위에서 진행된 거리에서 끝 부분에서도 속도가 감소한다는 것을 알 수가 있었다.

그림 3-6-15와 그림 3-6-16, 그림 3-6-17 및 그림 3-6-18은 각각 측정방법에 따른 Rx단자의 위치를 바꿔 측정한 결과로 그림 3-6-15를 보면 T1방법으로 Rx단자의 위치를 달리하였는데 파단 전과 Rx단자를 압축응력을 받은 비파괴면에서 측정하였을 때에는 별다른 속도의 차이를 나타내지 않았으나, Rx단자를 인장응력으로 인한 파단면에서 측정하였을 때에는 파단 부위에서 큰 속도의 감소가 있다는 것을 알 수가 있었다.

그림 3-6-16에서는 T2방법으로 측정하였는데 그림 3-6-15와 마찬가지로 파단 전과 비파괴면에서는 별다른 속도의 차이를 보이지 않았으나, 인장응력으로 인한 파괴면에서의 측정 시에는 파단에서 큰 속도가 감소하였고, 파단부 끝에서 멀어질수록 속도가 감소한다는 것을 알 수가 있었다. 또한 그림 3-6-17에서는 T3방법으로 측정한 것인데 압축면에서는 파단 부위에서 어느 정도 진행된 거리에서 속도가 감소하였고, 파단이 있는 인장면에서는 파단부위부터 속도가 감소하였다. 한편, 그림 3-6-18에서는 T4방법으로 측정한 것인데 Tx단자와 Rx단자가 파단부위를 지날 때 속도가 감소하는 것으로 보아 파단 부위에서만 판별이 가능하다는 것을 위의 그래프를 통하여 알 수가 있었다.

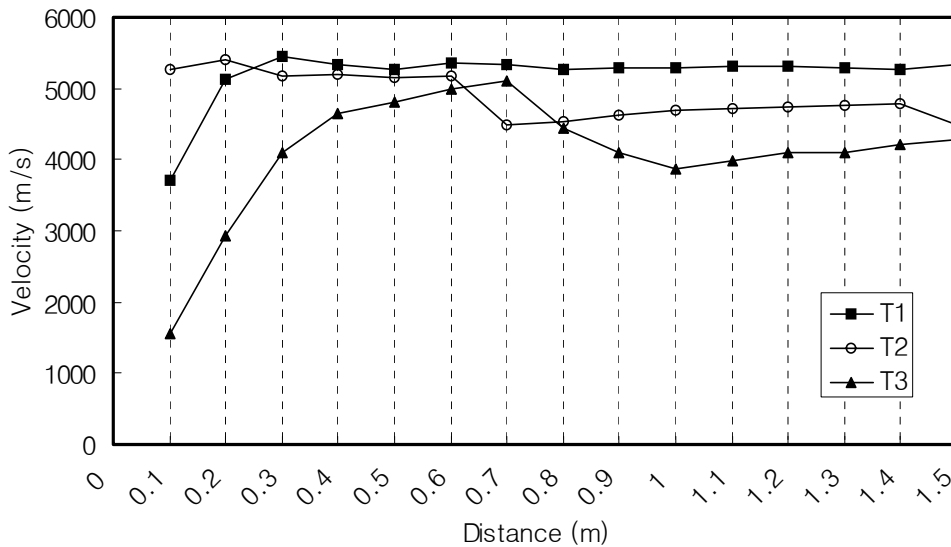


그림 3-6-12. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(R1)

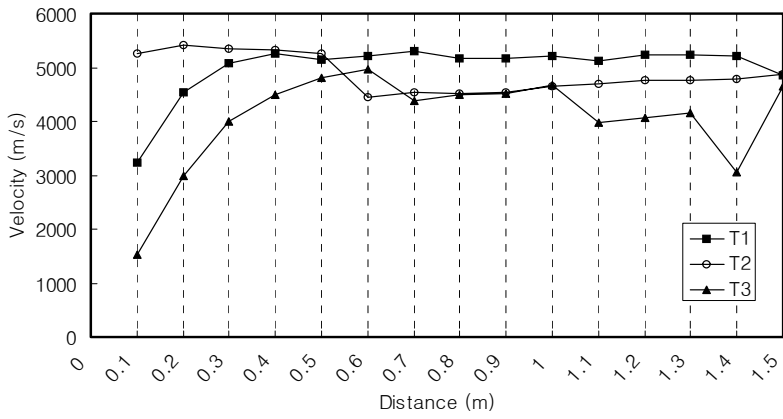


그림 3-6-13. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(R2)

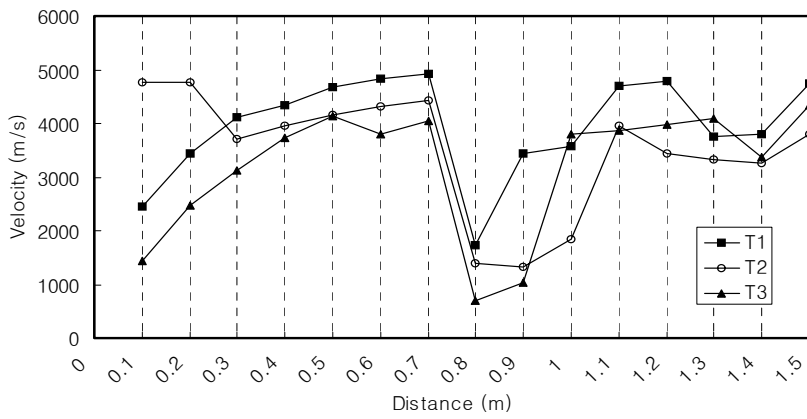


그림 3-6-14. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(R3)

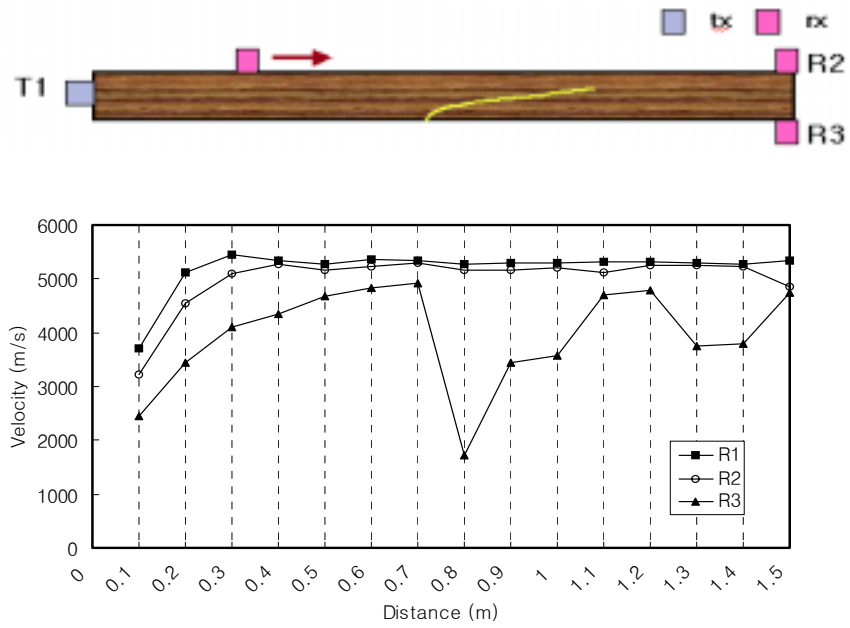


그림 3-6-15. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(T1)

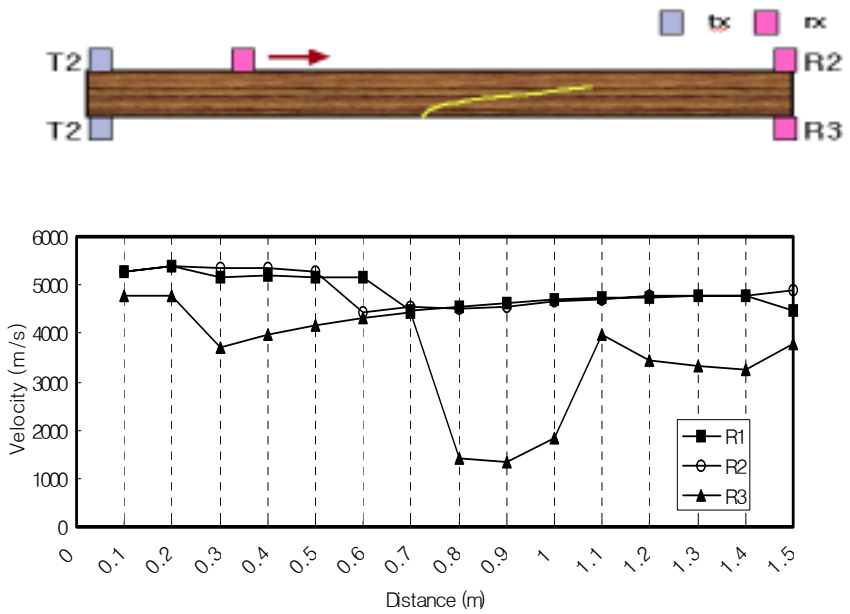


그림 3-6-16. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(T2)

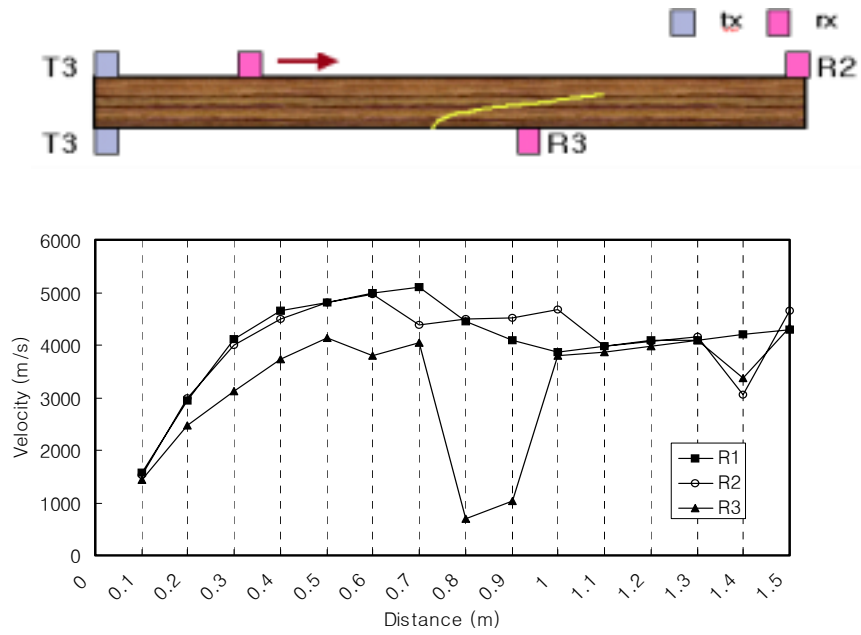


그림 3-6-17. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(T3)

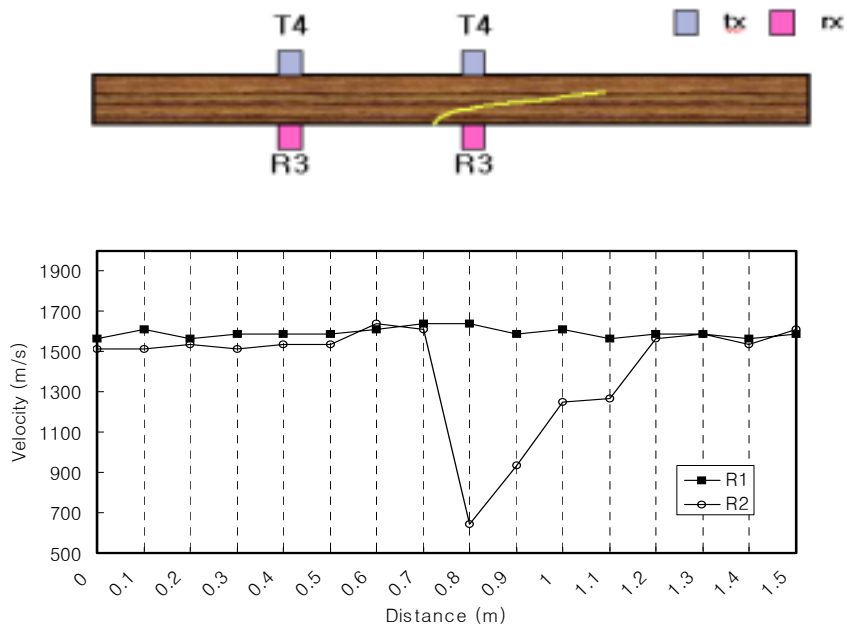


그림 3-6-18. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계(T4)

라. 측정 위치에 따른 파단 부위의 판별

본 실험에서는 T2방법을 사용하여 측정위치에 따른 속도의 변화를 측정하였다. 실험시편은 최대하중을 가하지 않고 1000kgf 까지 하중을 가하여 파단을 내지 않은 것과 최대하중을 가하여 파단이 일어난 것을 비교해 보았다.

파단이 일어나지 않은 시편의 경우는 위치별로 별다른 차이를 보이지 않았다. 반면, 파단이 일어난 경우 위치별로 측정된 결과 파단의 부위에서는 속도가 현저하게 감소하였고 그 이후 진행되면서 속도가 계속 감소하였다. 또한 인장응력에 의한 파괴면을 측정하였을 때 가장 속도의 감소가 크다는 것을 알 수가 있었다.

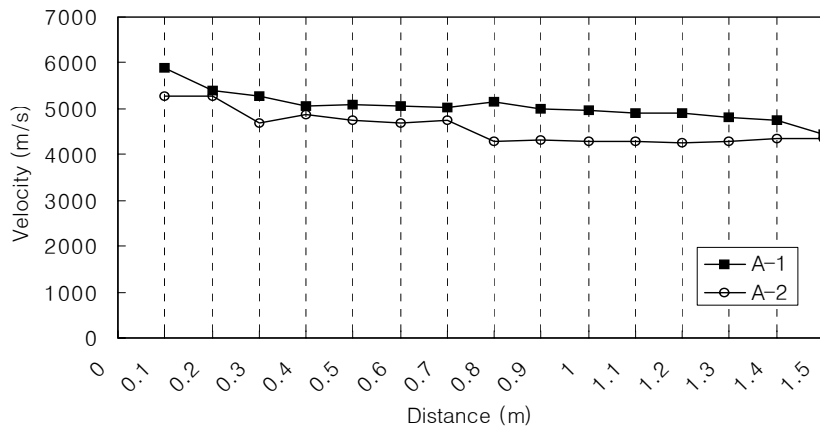


그림 3-6-19. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

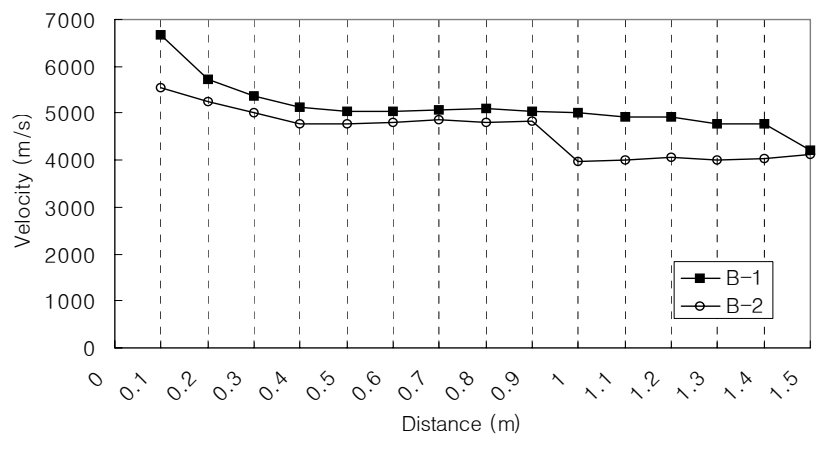


그림 3-6-20. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

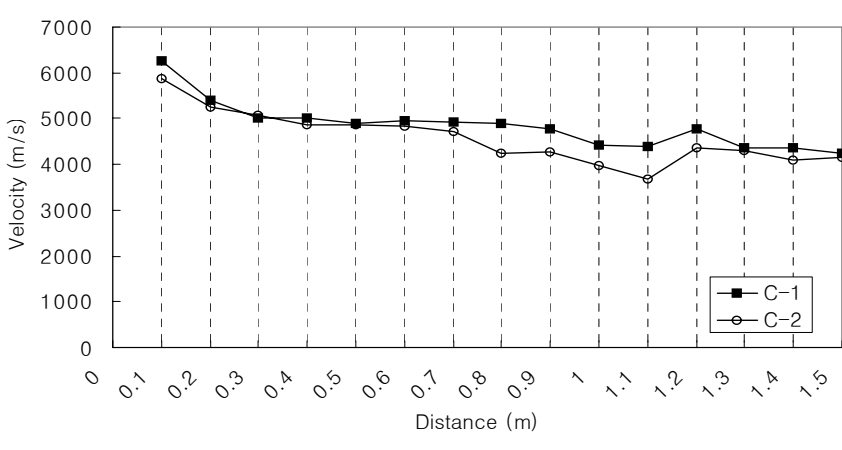


그림 3-6-21. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

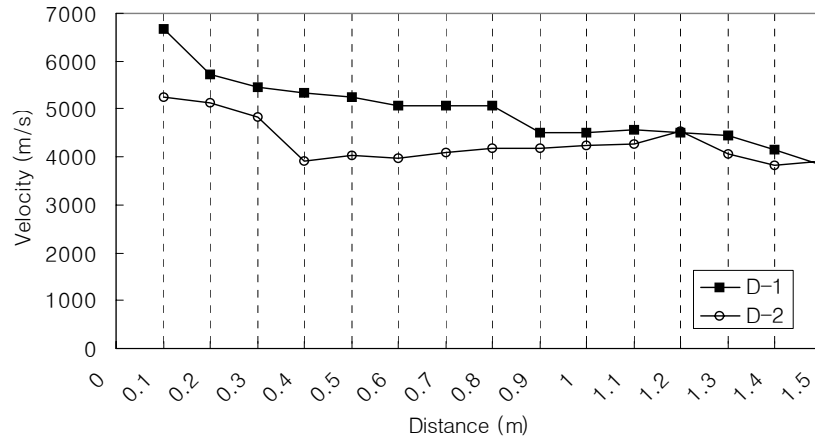


그림 3-6-22. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

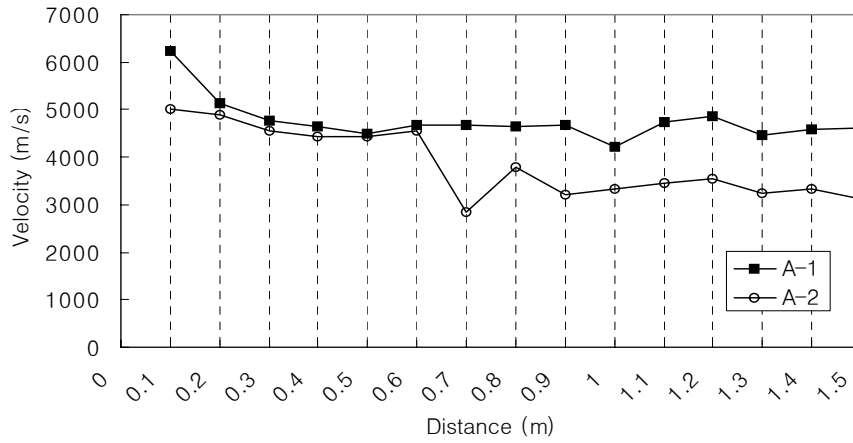


그림 3-6-23. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

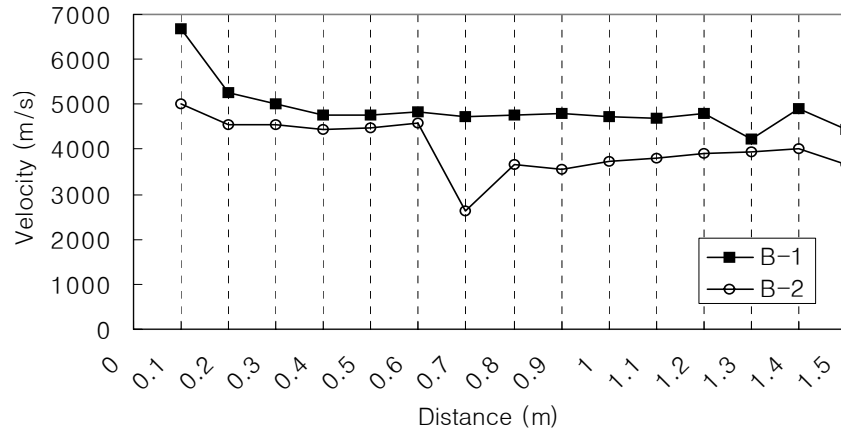


그림 3-6-24. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

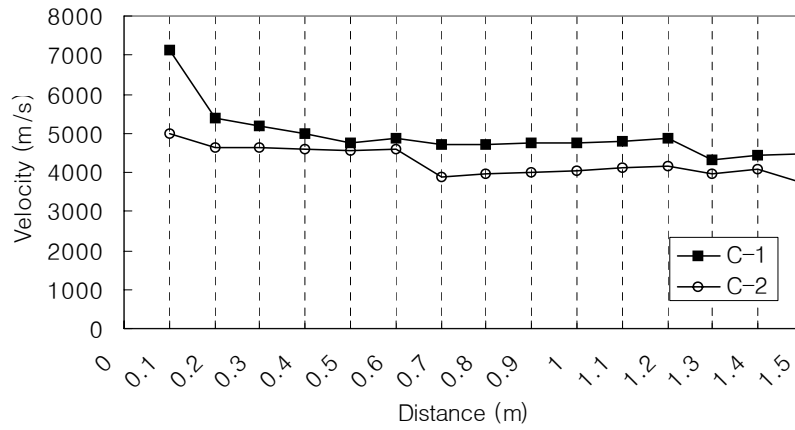


그림 3-6-25. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

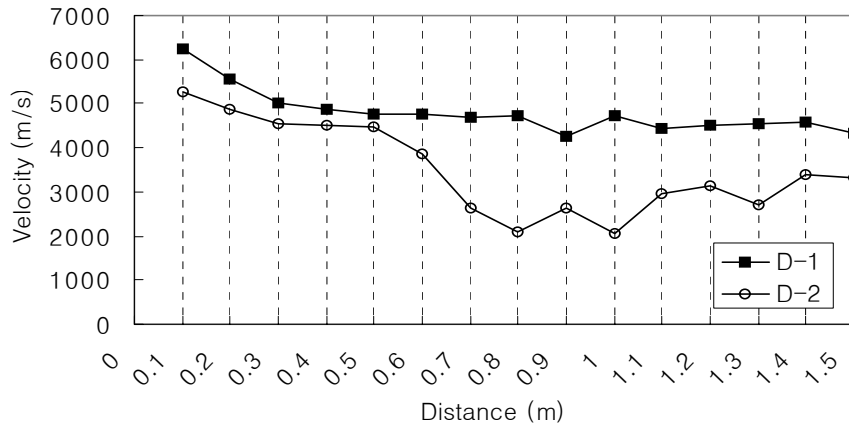


그림 3-6-26. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

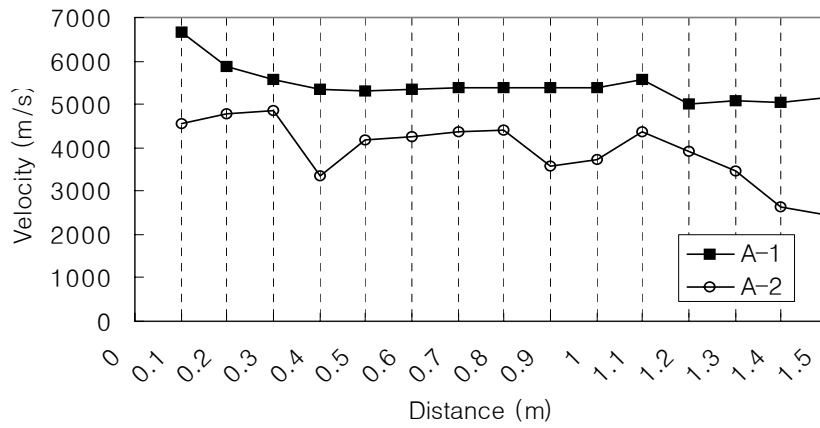


그림 3-6-27. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

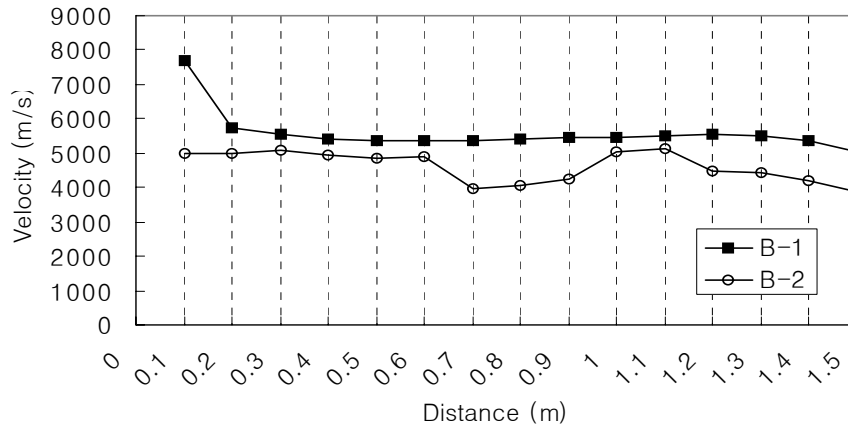


그림 3-6-28. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

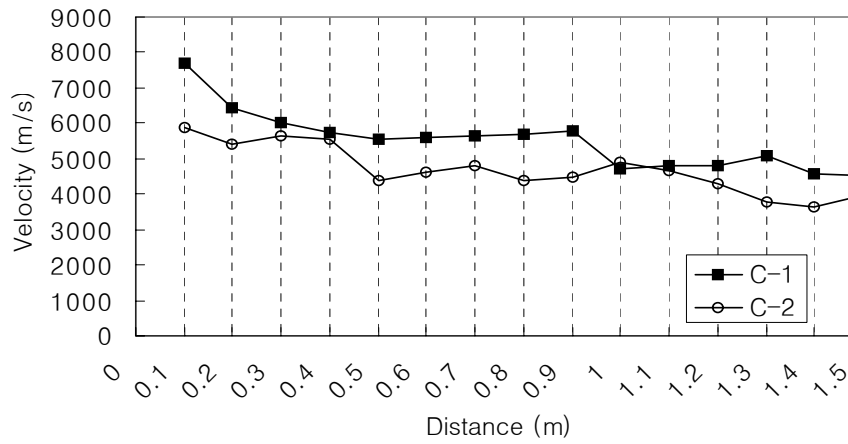


그림 3-6-29. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

D

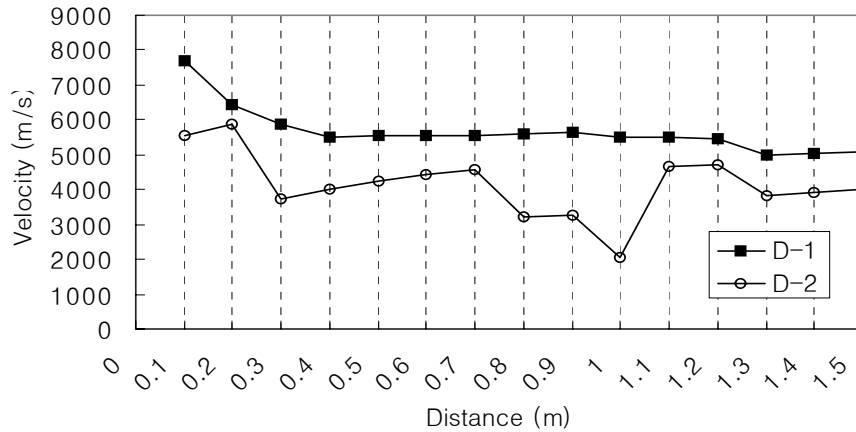


그림 3-6-30. 소재 파단부위와 초음파 통과 속도와의 관계

그림 3-6-19와 3-6-20은 파단이 나기 전 1000kgf의 하중을 주었을 때의 속도를 측정 한 것으로 하중을 가하기 전과 속도의 감소는 크게 차이가 나지 않지만 하중을 주어서 그런지 인장응력으로 인하여 약간의 차이는 있었다. 반면 그림 3-6-21에서 보게 되면 C위치에서는 약간의 인장응력의 영향이 없으므로 별다른 속도의 감소가 보이지 않았다. 또한, 그림 3-6-22의 D위치에서의 측정은 가장 많은 인장응력으로 인하여 다른 위치에서보다는 속도의 차이를 크게 보였다.

그림 3-6-23~30까지의 그림을 살펴보면 파단이 일어났을 때의 위치별로 측정 한 결과 속도의 변화를 알 수가 있다. 그림 3-6-23과 3-6-24에서는 A와 B 위치에서 측정 해 보면 A-2와 B-2의 그래프를 보면 파단부위에서 속도가 감소하고 그 이후 진행된 거리에서 계속 속도가 감소한다는 것을 알 수가 있었다.

그림 3-6-25의 C위치에서 측정은 파단의 영향이 크지 않으므로 C-2의 그래프처럼 속도가 크게 감소하지 않았다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 그림 3-6-26의 D위치에서의 측정은 가장 많은 인장응력으로 인한 파단의 영향이 큰 곳의 측정으로 파단 부위에서 가장 큰 속도의 감소를 보였고 파단 전과 큰 차이를 보였다.

그림 3-6-27과 3-6-28은 앞의 그림 3-6-23, 3-6-24와 마찬가지로 파단부위에서 속

도가 크게 감소하여 파단 전과 차이를 보였고 그림 3-6-30에서도 그림 3-6-26과 마찬가지로 D위치에서의 측정은 속도의 감소가 가장 크고 파단 전과는 큰 속도의 차이를 나타낸다는 것을 알 수가 있었다.

4. 결 론

실험결과, 용이부분과 파단부위에서 초음파의 속도가 현저하게 감소하였다. 특히, 용이의 크기가 커질수록 초음파의 통과속도가 감소한다는 것을 알 수가 있었다. 또한, 재의 두께가 두꺼운 재가 용이의 크기에 따른 속도가 감소한다는 것을 알 수가 있었다.

파단 부위가 초음파의 속도에 미치는 영향에 대한 평가는, 파단이 초음파의 진행방향에 수직방향으로 있어야 판별이 가능하였고 파단이 초음파의 진행방향과 평행하게 일어난 경우는 전혀 파단 여부를 판별해 낼 수 없었다. 또한 측정방법을 달리하여 측정하였을 때는 두 단자를 시편 반대편에 놓고 Tx단자를 고정시키고 Rx단자를 이동시키는 방법이 파단부위 감지가 용이하였으며, 두 단자를 서로 반대편에 마주보며 이동시키는 방법이 파단부위에서 가장 정확하게 감지를 하였고, 파단부위 이 외에는 감지 불가능하다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 하중을 1000kgf을 가하여 위치별로 측정하였을 때에는 약간의 인장응력으로 인한 속도의 감소를 나타내었고, 파단부위를 위치별로 측정하였을 때에는 파단부위에서 속도가 감소하였으며, 그 이후 진행된 거리에서 계속 감소한다는 것을 알 수가 있었다.

결론적으로 용이와 파단 모두 초음파 시험으로 판별이 가능하였지만, 용이와 파단부의 명쾌한 구분 및 위치 판별은 더 많은 검토가 필요하다.

제7절 낙엽송 원주상 소경목의 원목성상과 방부 처리성

1. 서론

산림청은 산림복지국가를 향한 “21세기 산림비전”에서 근년의 국산재 공급율 5~6%에서 2050년에는 약 80%(해외조림목 포함)로 증가하는 것을 목표로 국산재 생산기반 조성 및 용도개발에 부심하고 있다(산림청, 2001). 실제로 국산원목 공급이 점차 증가되고 있으며 '90년대 말 일반용재의 공급이 급격히 증가되어 2003년 약 123만^m의 공급실적을 보이고 있는 상황이다(산림청, 2005). 특히 일반용재로의 수종은 낙엽송이 주종을 이루고 있으며, 건축용, 조경시설용 및 토목용도를 중심으로 한 일반용재로 공급되고 있다. 목재시장에서 조경시설용 및 토목용도로 공급되는 낙엽송은 대부분 15~20년생으로 소경재가 주를 이루며 이 경우 원주상으로 가공되어 방부처리과정을 거치는 것이 일반적이다. 특히 직경이 작은 원주상으로 가공된 낙엽송목재는 화단경계목, 등산로 계단, 지주목 등의 조경시설이나 토사유출방지용 흙막이 또는 사방댐의 토목용으로 사용되는 등 토양과 접촉되는 H4~H5의 사용 환경 조건에 노출되는 경우가 많아 두터운 방부층이 요구된다. 그러나 낙엽송은 심재율이 높아 원주상 가공과정에서 재면에 심재 노출이 많고 이로 인한 방부제의 난주입성이 문제가 된다. 김등(2000)은 원주상 낙엽송 및 북양가문비 심재의 경우 가압시간의 증가가 방부제 보유량 증대에 기여하였으나 침투깊이에는 영향하지 못하여 인사이징 등의 처리가 요구됨을 시사하였고, 강 등(1995, 1997)은 인사이징 및 증기 전 처리를 통하여 낙엽송 심재의 처리도가 개선되는 결과를 보고한바 있다. 그러나 최근의 국산목재 시장에서 유통되는 소형의 원주상 낙엽송의 경우 이들 목재의 대부분은 재면에 심재 및 변재가 혼재하는 경우가 많을 뿐만 아니라 건조과정 중 발생하는 크고 작은 표면할열의 분포가 많아 방부제처리성에 변이가 예상되었다. 더욱이 전체 낙엽송 공급량의 약 15%정도를 차지하는 직경 10cm 미만의 소형 원주상 낙엽송은 유령목에서 가공되는 목재들이 많아 이들의 연륜 특성, 재면에 노출되는 심·변재 분포 및 할열 분포 등의 목재 성상이 방부제 처리성에 미치는 영향에 대한 검토가 요구되는 상황이었다.

이에 본 연구에서는 국산목재시장에서 유통되는 원주상 소경목이 토사 유출 방지용 흙막이 또는 사방댐의 토목용 등 H3~H5용도에 사용되기 위하여 방부처리를 실시할 때 형성되는 방부층을 알아보고, 이들 공시목의 연륜 수와 연륜 폭, 재면에 나타나는 심변재 분포 및 할열 상황 등 목재 성상과 CCA 및 ACQ의 방부 처리성과의 관계에 대하여 연구·검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

공시목재는 여주임산물센터에서 구매한 직경 10cm, 길이 60cm로 가공된 원주상 낙엽송 목재를 사용하였다. 공시약제로는 현재 목재보존산업체에서 사용되고 있는 CCA와 ACQ를 이용하였다.

나. 원주상공시목의 성장조사

준비된 공시목재는 제습된 실내에서 충분히 건조시킨 후 방부처리용 시험편 100개를 대상으로 연륜 수, 평균 연륜 폭, 표면에 노출된 심·변재 분포 상황 및 할열 등 원주목의 성장에 대한 조사를 실시하였다. 공시목재의 연륜수, 연륜 폭, 할열수 및 할열크기와 관련된 데이터는 분포도 분석방법에 의거, 표본 특성별 출현빈도로 표시하였다. 할열의 크기는 할열 부위의 폭이 0.5mm 이상 되는 것에 한정하여 조사하였다.

다. 방부 및 인사이징 처리

방부처리는 시험편의 한 쪽 목구면을 산업용 에폭시 수지로 도포한 후 방부처리에 사용하였다. 약제처리방법은 가압처리법과 침지처리법을 실시하였다. 가압처리는 산업체의 현지 주약관에서 실시하였으며, 처리공법은 총세포법으로, 처리조건은 CCA의 경우 약액 온도 23℃, 농도 2.4 % (W/V), 전배기 조건 760mmHg, 1시간, 압력조건은 20 kg/m² 압력으로 약액이 더 이상 주입되지 않는 시점(Refusal Point)까지 2시간 30분 또는 3시간, 후배기 조건은 760mmHg, 4시간이었다. 침지처리는 현장 간이처리 등의 가능성을 보기 위하여 상온에서 12시간 실시하였다. 처리 후 중량을 측정하여 흡수율 계산에 이용하고, 실내에서 2주간 건조·양생과정을 거친 후 방향별 침투도 측정을 위해 시험편을 채취하였다. 섬유방향 측정용 시험편은 원주상 시험편의 목구면(직경 10cm)을 4등분(지름 0cm, 2.5cm, 5.0cm, 7.5cm)하여 종 절삭 하였고, 방사방향 측정용 시험편은 원목의 중앙에서 10mm 간격으로 1개 시험편당 8개의 원판을 채취하여 침투깊이 측정에 이용하였다. 침투도 개선을 확인하기 위한 자상처리는 전형적인 갈지자형(김 등, 2004)의 자상처리를 실시하였고, 그림 3-7-1에 나타난 바와 같이 자상부위를 중심으로 90°, 180°, 270°에서 방사 및 접선방향에 대해 침투깊이를 측정하였다.

라. 방부제의 침투도 및 흡수량 조사

방부제의 침투깊이는 미국방부협회 표준규격 A3-95에 제시된 구리 지시약인 Chrome Azurol-S를 사용한 정색반응에 의해 측정하였다. 방부제의 흡수량은 처리 시 흡수한 약액 총량과 농도 및 재적 값을 적용 환산하는 방법으로 구하였다. 목재 표본의 성장과 약제처리도와의 관계는 상관관계 분석 및 유의성 검정을 통하여 상관관계 여부를 판단하였다.

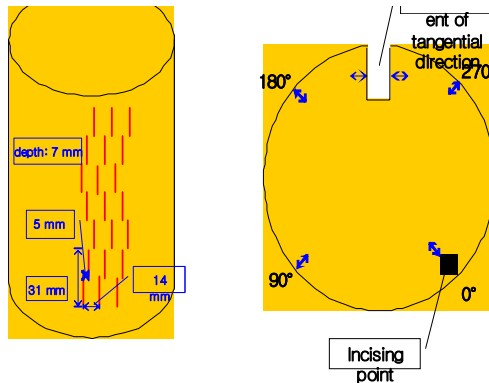
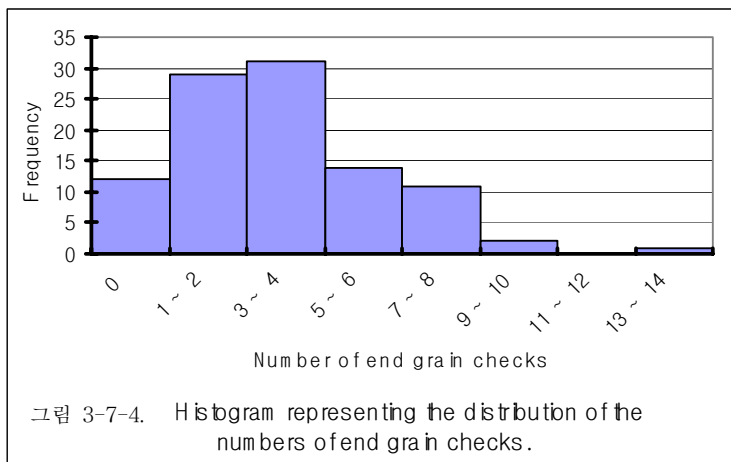
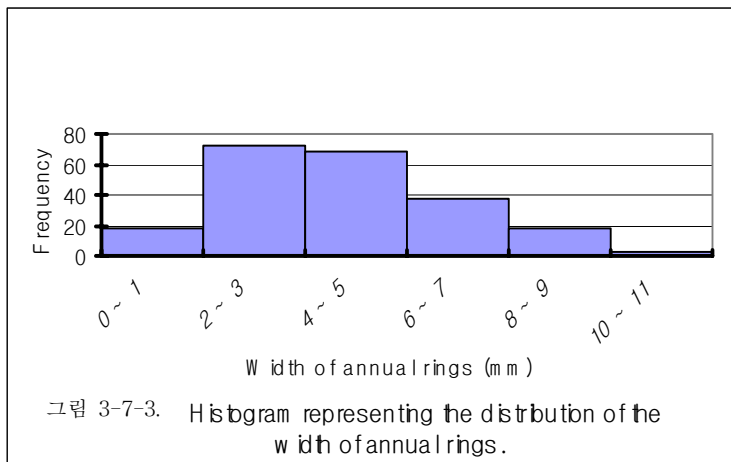
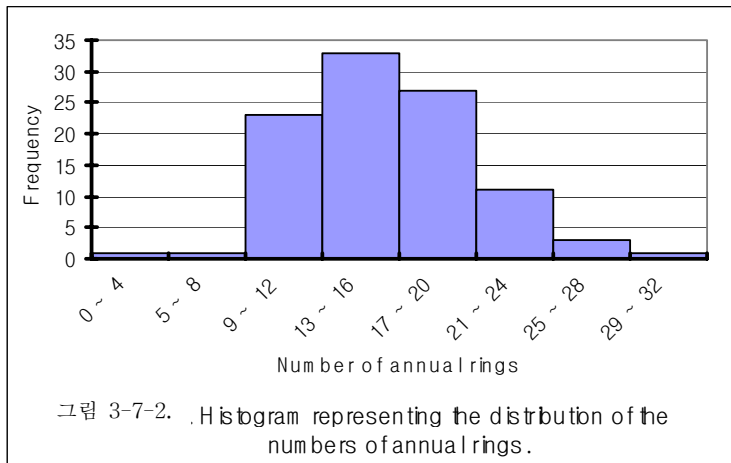


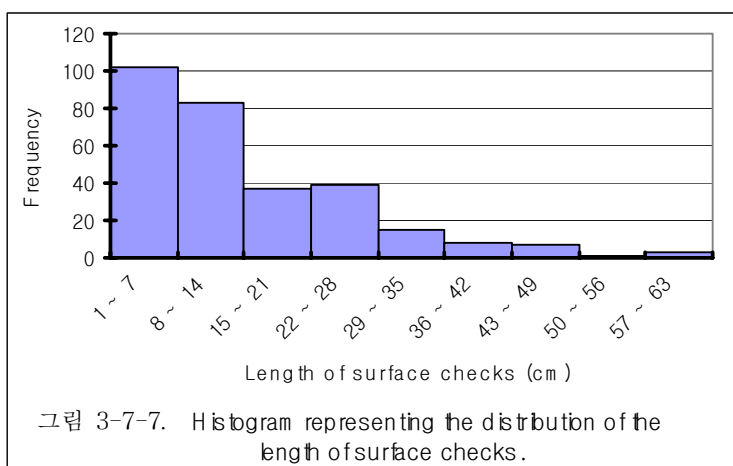
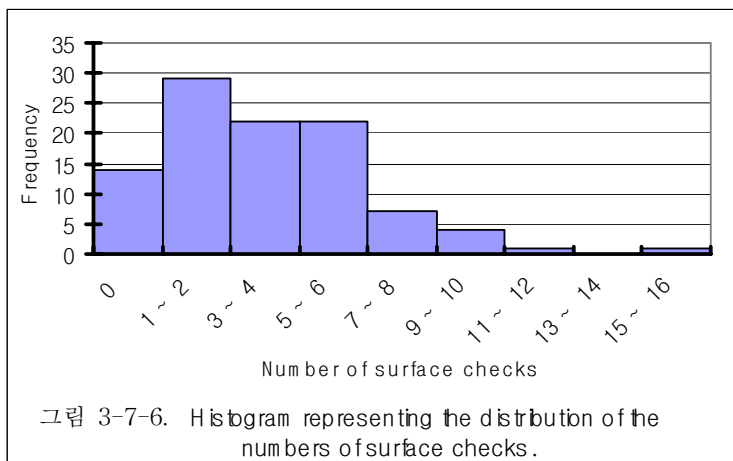
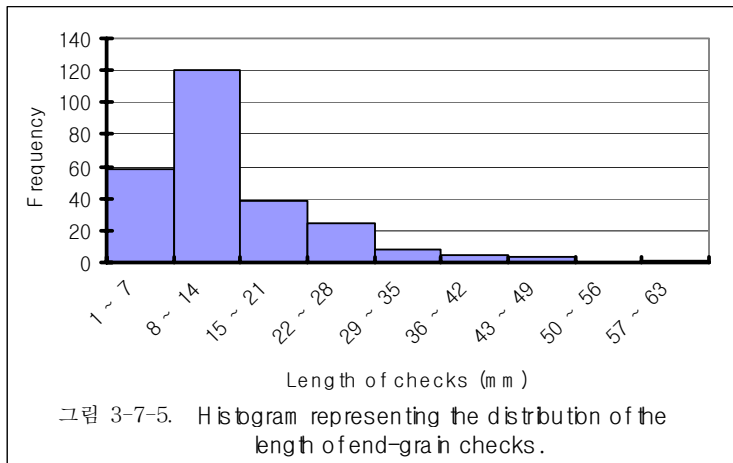
그림 3-7-1. Diagram of Incising and measuring point of penetrated depth.

3. 결과 및 고찰

가. 원주상 공시목의 성상 및 할열특성

낙엽송 원주상 소경목을 표본으로 원주상 가공 후 연륜 수, 연륜 폭, 재면의 심·변재 분포 및 할열 상황 등 목재 성상에 대하여 조사한 결과를 그림 3-7-2~6에 나타낸다. 공시목 총 100개의 원주상 목재 재면에 심재와 변재가 혼재되어 나타나는 비율은 전체 공시목의 54%였으며 나머지는 심재만이 재면에 노출된 것으로 밝혀졌다. 또한 공시목재로 사용한 원주상 목재의 연륜 수 분포 빈도는 그림 3-7-2에 나타낸 바와 같이 13~16의 연륜 수를 갖는 원주목이 빈도 33으로 가장 많았으며, 17~20개 및 9~12개의 연륜을 갖는 빈도가 각각 27 과 23으로 많았다. 이러한 결과로부터 국산재 시장에 유통되는 직경 10cm 원주상가공목은 대략 10~20년생으로부터 생산되는 것으로 밝혀졌다. 또한 동일한 공시목 내에서 연륜 폭은 그림 3-7-3에 나타낸 바와 같이 2~3mm의 빈도가 72, 4~5mm의 빈도가 69로 2~5mm의 연륜 폭을 갖는 공시목이 주류를 이루는 것으로 나타났다. 한편 공시목의 목구면 및 재면에 나타난 할열에 관한 조사 결과는 그림 3-7-4에 나타낸 바와 같이 목구면에 나타나는 할열의 빈도는 한 개의 공시목당 1~2개 또는 3~4개의 할열이 각각 28 및 31로 가장 높았고, 이들 할열의 크기는 그림 3-7-5에 나타낸 바와 같이 방사방향으로 8~14mm가 가장 빈도가 높게 나타났다. 한편 재면에 나타나는 할열 수는 그림 3-7-6 에서와 같이 1~2, 3~4, 5~6개를 나타내는 공시목의 빈도가 각각 29, 22, 22로 주류를 이루었고, 재면에 나타나는 할열의 크기는 섬유방향으로 1~7mm 및 8~14mm가 각각 102 및 83의 높은 빈도를 나타냈다(그림 3-7-7).





나. 원주상 공시목재의 방부처리 특성

국산목재시장에서 유통되는 원주상 소경목에 방부처리를 실시하여 약제 침투도 및 흡수량 조사를 실시한 결과를 표 3-7-1에 나타낸다. 표 3-7-1에 나타낸 바와 같이 가압처리에서 심재에 CCA를 처리한 경우 약 $2.25 \pm 0.472 \text{kg/m}^3$, ACQ에서는 $3.12 \pm 0.792 \text{kg/m}^3$ 를 나타내 ACQ의 평균 약제흡수량이 높은 결과를 보였다. 공시목의 재면에 변재가 혼재하는 경우의 약제흡수량은 CCA가 약 $3.52 \pm 0.792 \text{kg/m}^3$, ACQ가 약 $4.18 \pm 1.438 \text{kg/m}^3$ 로 심재에 비해 높은 흡수량을 나타냈으나 표준오차가 커 개체간의 흡수량의 차가 큰 것으로 나타났다. 약제 흡수량을 기준으로 하였을 때 CCA로 처리한 심재는 산림청 고시에서 규정한 사용 환경 H3이상의 기준흡수량을 만족시키지 못하였으나, ACQ로 심재에 처리하였을 때에는 기준치 이상의 흡수량을 보여주었다.

표 3-7-1. Treatability of Preservatives*

	Chemicals	Pressure				Immersion			
		longitudinal		radial		longitudinal		radial	
		heartwood	sapwood (included)	heartwood	sapwood (included)	heartwood	sapwood (included)	heartwood	sapwood (included)
Penetration (mm)	CCA	16.6±1.74**	12.6±3.33	1.1±1.51	8.5±4.98	1.9±0.39	2.2±1.07	0.0±0.00	0.6±1.40
	ACQ	24.8±5.35	35.9±42.1	1.3±2.08	4.3±4.19	2.3±0.59	4.3±2.38	0.0±0.00	0.0±0.00
Retention (kg/m ³)	CCA	2.25±0.472***		3.52±0.792****		0.47±0.030		0.92±0.368	
	ACQ	3.12±0.923		4.18±1.438		0.53±0.034		1.08±0.690	

* Values are means three to nine samples

** Values mean standard deviation

*** Heartwood, **** Sapwood included heartwood

그러나 약제침투도면에서는 흡수량의 데이터와 다른 양상을 보였다. 즉, 가압법으로 심재에 처리한 CCA의 침투깊이는 섬유방향으로 약 16.6mm, 방사방향으로 약 1.1mm로 재면으로부터의 약제침투가 극히 낮은 결과를 보였다. 또 ACQ로 심재에 처리하였을 때에는 섬유방향에서 24.8mm로 CCA처리 목재에 비해 높은 침투깊이를 나타내었으나 방사방향의 경우, 불과 1.3mm의 침투깊이를 나타내 두터운 방부층 형성이 어려운 것으로 나타났다. 김 등(2000)은 직경 15~20cm의 북양가문비와 낙엽송의 경우 사용환경 H2가 요구하는 최소 침투깊이를 만족시키지 못하였음을 보고하고 있는데 본 연구에서 사용한 직경 10cm의 원주상 낙엽송의 경우에도 이와 유사한 결과를 보이는 것으로 밝혀졌다. 그리고 CCA 및 ACQ 모두 재면에 변재가 혼재되어 있는 공시목에서 평균 침투깊이에 비해 표준오차가 상당히 큰 특징을 나타내 방부처리성에 변이가 큰 경향을 나타내 사용상 안전성에 문제가 될 수 있음이 시사되었다. 또한 전술

한 바와 같이 가압처리에서 심재(섬유방향)의 경우 ACQ의 경우 CCA에 비해 침투깊이가 크게 나타나 두 약제간의 침투깊이 차이에 유의성이 인정되는 결과를 나타냈다($t > t_{0.02}$). 이 같은 결과는 표 3-7-1에 나타난 흡수량 데이터에서도 유사한 경향을 보여주었다($t > t_{0.1}$). 약제 간 침투깊이 차에 대한 결과는 Taylor 등(1998)이 낙엽송류인 Eastern larch에 대해 약제 간 침투성 차에 대한 연구에서 ACA(Ammoniacal Copper Arsenate)가 CCA-C에 비해 침투성이 월등하고, 암모니아성 금속염의 침투성이 우수하다는 연구(Lebow와 Morrell,1993, Slahor등,1997)와 특히 ACQ가 CCA에 비해 침투성이 크다는 Hann과 Vinden(1999)의 보고와 유사한 것으로 고찰되었다. 또한 현장 간이 처리 등의 가능성을 보기위한 침지처리의 경우에는 12시간의 침지시간에도 불구하고 표 3-7-1에 나타난바와 같이 두 약제 모두 매우 낮은 침투깊이와 흡수량을 나타내 H2이상의 사용 환경에는 적용이 불가능한 결과를 보였다.

침투깊이 개선을 확인하기 위하여 자상처리를 실시하고 가압처리를 실시한 결과, 표 3-7-2에 나타난 바와 같이 CCA 심재에서는 깊이 7mm로 자상 처리한 위치(0°)의 경우 평균 7.15mm로 자상처리한 깊이 외에 방사방향으로 0.15mm 정도의 극히 낮은 침투성을 나타냈다. ACQ로 처리한 심재의 경우, 깊이 7mm로 자상처리한 위치(0°)에서 평균 8.01mm로 자상깊이외에 약 1.01mm 정도로 CCA보다는 다소 높은 침투지만 두터운 방부층 형성을 발견할 수 없었다. 자상처리한 부위에서 접선방향으로의 침투성을 검토한 결과에서도 CCA 및 ACQ 모두 심재에서는 1mm 미만의 극히 낮은 침투깊이를 나타내 낙엽송 심재의 경우 자상처리가 침투깊이의 개선에는 도움을 주지 못하며 재면에 충분한 방부층 형성이 불가능하므로 사용 환경 H3이상의 열악한 용도의 사용에는 적절치 않음을 시사하는 결과를 보여주었다.

표 3-7-2 Incising effect on preservative penetration by pressure*

Preservatives	Wood portion	Radial penetration(mm)				Tangential penetration(mm)
		0°	90°	180°	270°	
CCA	heartwood	7.15±0.59**	0.06±0.11		0.56±0.38	
	sapwood(included)	8.14±0.49	1.17±1.71		0.75±0.88	
ACQ	heartwood	8.01±0.76	0.76±0.89		0.72±0.62	
	sapwood(included)	8.26±0.92	2.16±1.56		3.32±3.66	

* Values are means three samples

** Values mean standard deviation

원주상 낙엽송 공시목의 연륜 특성과 방부제 처리 후 약제 흡수량과의 관계를 분석한 결과는 그림 3-7-8에 나타난 바와 같이 심재에서는 공시목의 평균 연륜 수가 많아

질수록 흡수량이 낮아지는 경향을 나타내 목구면의 평균 연륜 수와 약제흡수량 간에 상관관계($r=0.5345$)가 인정되는 경향을 보였으나 재면의 표면에 변재가 혼재하는 경우에는 이들 인자간의 상관관계($r=0.0577$)가 인정되지 않았다. 이와 같은 결과는 그림 3-7-9에 제시한 연륜 폭과의 관계에서도 유사한 경향을 나타냈다.

소형 원주상 낙엽송 공시목의 재면 및 목구면에 발생한 할열의 분포와 약제처리성과의 관계를 분석한 결과, 그림 3-7-8에 나타낸 바와 같이 재면에 변재가 혼재하는 공시목의 경우 목구면과 재면에 분포하는 할열 수가 증가 할수록 약제흡수량이 다소 많아지는 경향을 보였으나($r=0.2979$), 심재의 경우에는 할열 수와 흡수량간의 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 그림 3-7-9에 나타낸바와 같이 낙엽송 심재의 경우에는 할열 크기와 약제흡수량사이에도 상호 상관관계가 없는 결과를 보였다.

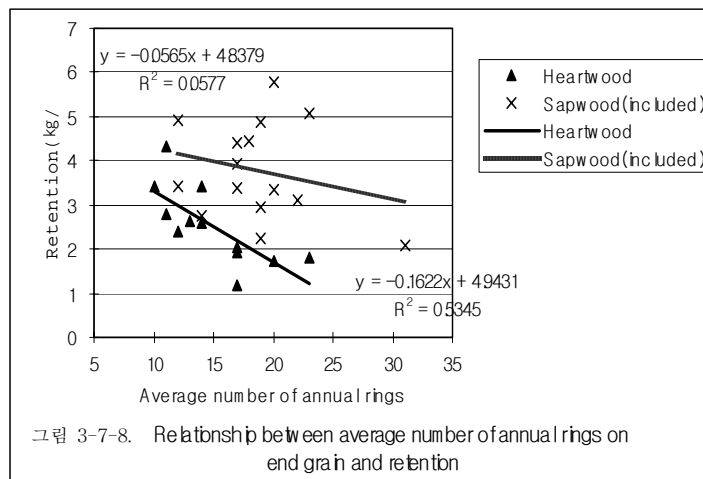


그림 3-7-8. Relationship between average number of annual rings on end grain and retention

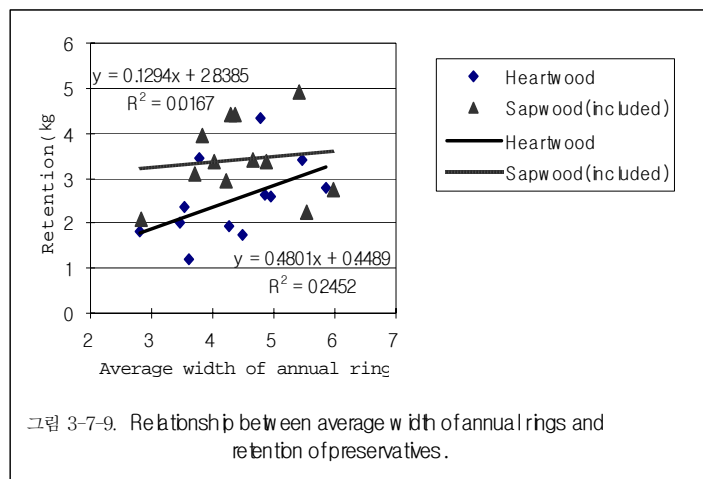


그림 3-7-9. Relationship between average width of annual rings and retention of preservatives.

4. 결 론

국산목재시장에서 유통되는 낙엽송 원주상 소경목(직경 10cm 정도)의 원목특성(연륜 특성, 심·변재 분포, 할열 분포 등)이 ACQ 와 CCA 의 처리특성에 미치는 영향에 대하여 조사 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 원주상 낙엽송 소경목 샘플에서 약 13~20개의 연륜 수 빈도가 가장 높았으며, 2~5mm의 연륜폭을 갖는 원목의 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다.
- 2) 원주상 소경목의 재면에 심, 변재가 혼재되어 나타나는 비율은 전체 공시목의 54%였으며, 나머지는 심재만이 재면에 노출된 것으로 밝혀졌다.
- 3) 원주상 소경목에 발생하는 할열 수는 재면에 1~6개, 목구면에 1~4개의 빈도가 가장 높았으며, 할열의 크기는 재면에서 1~14mm, 목구면에서는 8~14mm의 빈도가 가장 높았다.
- 4) 약제처리결과, 재면에 심·변재가 혼재 되어 나타날 때에는 방사방향의 평균침투도는 ACQ에서 $4.3 \pm 4.19\text{mm}$, CCA에서 $8.5 \pm 4.98\text{mm}$ 로 침투도에 변이가 심한 것으로 나타났다. 심재의 경우에는 ACQ에서 $1.3 \pm 2.08\text{mm}$, CCA에서 $1.1 \pm 1.51\text{mm}$ 로 매우 작은 침투도를 나타내 두 약제 모두 산림청 고시 사용환경 H3기준에 미달되는 결과를 나타냈다.
- 5) 낙엽송 심재에 대해 자상 처리하고 가압 처리 하였을 때 자상 부위의 접선방향 침투도는 ACQ의 경우 약 0.7mm, CCA는 약 0.6mm로 두 약제 모두 인사이징의 침투도 개선 효과가 매우 낮은 결과를 보였다.
- 6) 낙엽송 심재에서 연륜수가 많을수록 약제의 평균 흡수량은 감소하는 경향을 보였으며, 연륜수와 평균 흡수량간에 상관관계가 인정되었다($R^2=0.5345$).
- 7) 낙엽송 심재에서는 할열과 흡수량사이에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

제8절 인사이징 처리 방부 원주목의 휨강도 성능 평가

1. 서론

방부처리 목재란 다양한 미생물에 의한 분해와 곤충의 공격을 방지함으로써 목재의 수명을 연장하기 위하여 화학물질을 첨가하여 인위적으로 처리한 목재를 말한다. 국내에서 가장 많이 이용되는 목재방부제로서 CCA(Chromated Copper Arsenate)는 크롬, 구리, 비소로 이루어진 대표적인 수용성 방부제로서, CCA화합물로 방부 처리된 목재를 CCA-방부처리목재라 한다. 방부 목재를 이용한 목재옹벽, 목재 소형 사방댐, 목재울타리, 목재난간 등의 외장재 및 토목용 부재로 사용이 증가되어 생물학적 내구성 및 기계적 내구성이 요구되고 있다.

본 실험에서는 약제 처리가 힘든 낙엽송 원목과 방부처리의 효율성을 높이기 위해 원주목에 인사이징 처리를 한 방부 원주목의 휨강도 특성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

본 실험에서는 함수율 14~16%로 자연 건조된 낙엽송(*Larix kaempferi Carr*) 원목 40개를 사용하였다. 낙엽송 원목은 길이 350~390cm, 말구직경 12~18cm의 박피되지 않은 소경재로 여주임산물유통센터에서 구입하였다.

나. 실험방법

1) 원주목 가공

원주가공기를 이용 길이 360cm, 말구 직경 10cm로 30개의 원주목을 가공하여 이중 20개를 인사이징(Incising) 처리하였다.



그림 3-8-1. 원주가공기



그림 3-8-2. 인사이징 머신

2) 목재 방부처리 방법

진공 처리(Vacuum tretment)방법을 이용하여 감압 주약관에서 농도2% CCA-3호 (구리 : 17~21%, 크롬 : 45~51%, 비소 : 30~38%)를 H3기준 3.5kg/m³를 20개 처리 하였다. 10개는 방부처리 하지 않았다.



그림 3-8-3. 감압 주약관

3) MOE 측정방법

가) 고유진동수를 이용한 MOE 측정

시편의 한쪽 끝에 마이크로폰(1/2" Prepolarized Free Field Microphone Type 40AE)를 설치하고 반대편 끝에서 타격을 주어 마이크로폰으로 종진동의 고유진동을 측정하였다. 측정된 고유진동수는 다음 식을 이용하여 영계수를 측정하였다.

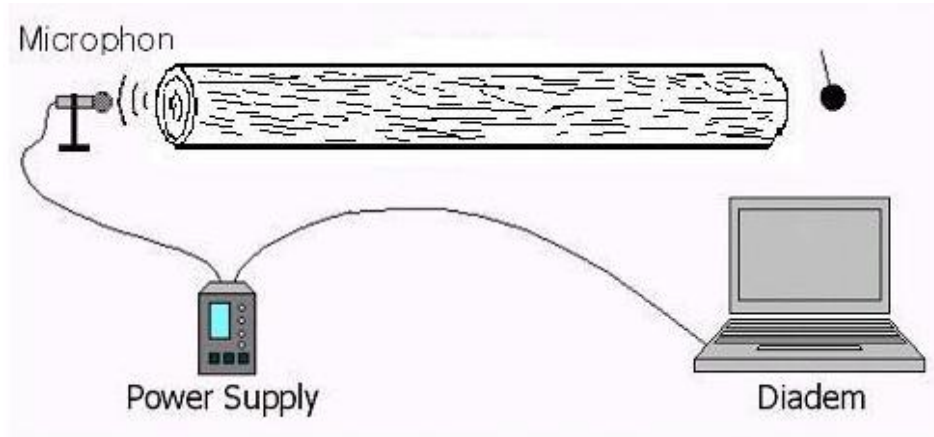


그림 3-8-4. 종진동의 고유진동수 측정



그림 3-8-5. 종진동의 고유진동수 측정

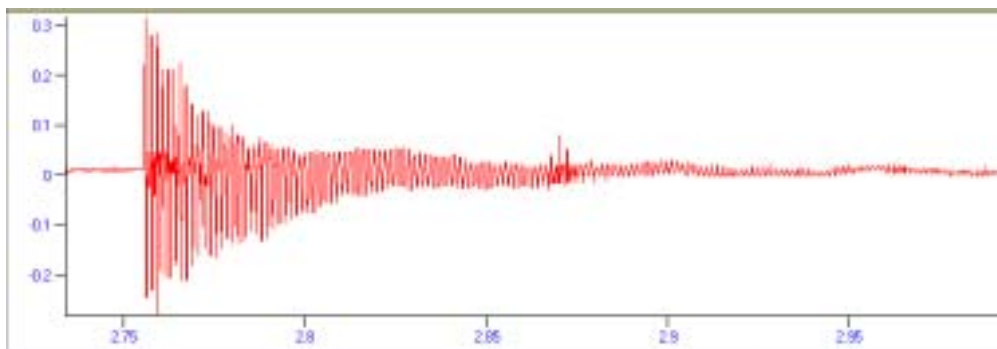


그림 3-8-6. 종진동 주파수 파형

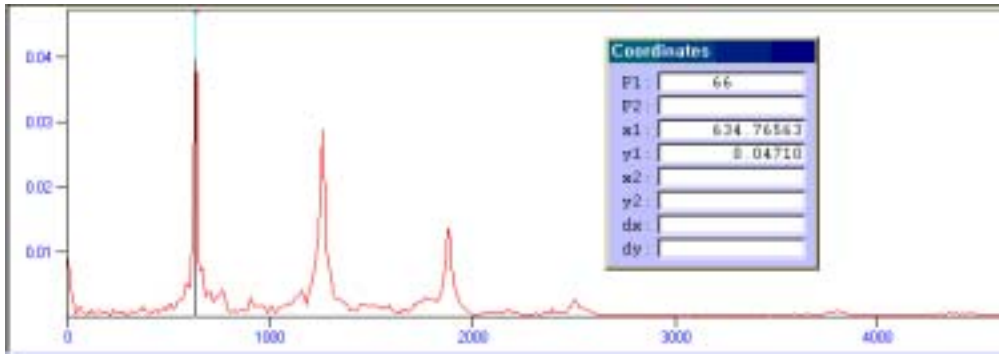


그림 3-8-7. 주파수 변환을 통한 고유진동수

$$E_v = \left(\frac{2 f_n \cdot L}{n} \right)^2 \times \frac{\rho}{g} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(식 3-8-1)}$$

E_v : 종진동의 고유진동에 의해 산출된 MOE (kgf/cm²), ρ : 밀도
 f_n : 종진동의 n차 고유진동수(Hz), g : 중력가속도(980cm/s²), L : 재장(cm)

4) 휨강도 시험

낙엽송 원목, 원주목과 방부 원주목의 휨강도 시험은 지점길이 120cm, 하중간 거리 20cm로 4점 하중은 분당 10mm 속도로 측정하였다. 하중 및 변형의 측정은 Data Logger(TDS-303)를 이용하여 측정하였다.

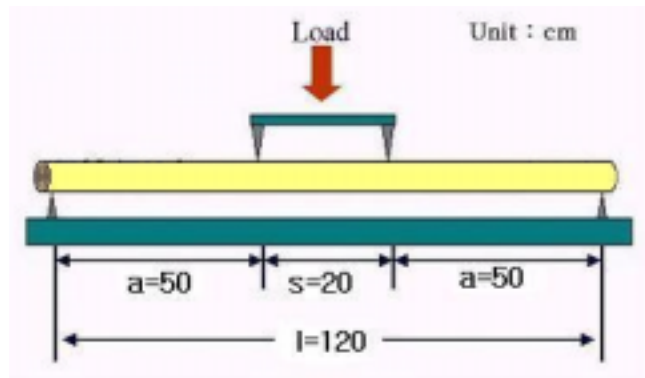


그림 3-8-8. 휨강도 시험

$$MOE_s = \frac{4AP \cdot a(3L^2 - 4a^2)}{3\Delta y \pi D^4} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(식 3-8-2)}$$

$$MOR = \frac{8P(L-s)}{\pi D^3} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(식 3-8-3)}$$

ΔP : Load (kgf)

P : P_{max} (kgf)

a = distance from the end support to the nearest load point (cm)

L = log span(cm) Δy = midspan deflection(cm) D = diameter of log(cm)

3. 결과 및 고찰

가. 낙엽송 원목의 가공 상태에 따른 MOE 비교

표 3-8-1. 원목가공에 따른 MOE의 비교 (단위 : $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)

시편	인사이징 처리유무	원 목	평 균	원목 가공 상태			
				원주목	평 균	인사이징	평 균
1	무처리	116	129	94	109	-	-
2		129		111		-	
3		156		117		-	
4		122		86		-	
5		103		91		-	
6		143		121		-	
7		152		125		-	
8		117		115		-	
9		130		108		-	
10		117		128		-	
11	인사이징 처리	149	126	108	128	109	105
12		112		110		91	
13		128		122		100	
14		111		131		113	
15		143		146		118	
16		108		117		95	
17		113		127		103	
18		118		126		94	
19		118		137		103	
20		155		159		134	
21		109		129		99	
22		103		99		93	
23		136		137		122	
24		131		146		101	
25		115		127		97	
26		125		130		106	
27		135		148		122	
28		127		111		100	
29		174		124		100	
30		118		132		99	

표 3-8-1은 원목가공에 따른 영계수를 비교한 것이다. 인사이징 무처리 원주목의 경우 원목상태에서 영계수 평균 12만9천 kgf/cm²에서 10만9천 kgf/cm²로 감소하였고, 인사이징 처리재는 원목에서 12만6천 kgf/cm², 인사이징 처리전의 원주목에서는 12만 8천 kgf/cm²로 큰 변화가 없었다. 전체적으로 원주목가공에 따른 영계수의 변화는 크지 않았다. 반면, 원주가공 후 인사이징 처리를 하면 12만8천 kgf/cm²에서 10만5천 kgf/cm²로 영계수가 감소하여 인사이징 처리 원주목의 영계수가 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

나. 원목가공에 따른 MOR 비교

표 3-8-2. 원목가공에 따른 MOE와 MOR

가공상태	시편	Ev (×10 ³ kgf/cm ²)	Es (×10 ³ kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	평균 (kgf/cm ²)	원목대비 강도비
원목	LN- 1	93	40	709	562	1
	LN- 2	103	31	487		
	LN- 3	93	33	531		
	LN- 4	86	35	481		
	LN- 5	119	43	585		
	LN- 6	93	34	566		
	LN- 7	111	29	523		
	LN- 8	114	33	658		
	LN- 9	108	30	567		
	LN-10	105	30	520		
원주목	LP- 1	98	56	508	608	1.08
	LP- 2	98	55	518		
	LP- 3	126	75	704		
	LP- 4	128	72	703		
	LP- 5	116	63	423		
	LP- 6	89	64	532		
	LP- 7	121	68	637		
	LP- 8	121	75	770		
	LP- 9	122	71	621		
	LP-10	123	70	661		
인사이징 처리 방부 원주목	LC- 1	100	71	419	432	0.77
	LC- 2	94	61	399		
	LC- 3	133	81	593		
	LC- 4	107	70	369		
	LC- 5	104	57	462		
	LC- 6	98	49	389		
	LC- 7	106	55	396		
	LC- 8	106	54	478		
	LC- 9	84	57	391		
	LC-10	105	50	419		

표 3-8-2는 원목가공에 따른 MOR을 비교한 것이다. 원목의 MOR은 평균 562 kgf/cm²였으며, 원주목의 MOR은 평균 608 kgf/cm², 인사이징 처리 방부 원주목은 평균 432 kgf/cm²였다. 원목과 원주목의 MOR을 비교해보면 원목에 대한 강도비가 1.08로 큰 차이를 보이지 않았다. 이 차이는 원목의 함수율에 기인한다고 생각되어진다. 하지만, 인사이징 처리를 하였을 때에는 원목에 비해 0.77로 강도가 크게 감소하는 것을 알 수 있었다.

다. 실측 영계수와 Es와의 관계

그림 3-8-9는 고유진동수를 이용한 원주목의 영계수와 실측 영계수를 비교한 그림이다. 결정계수는 0.64로 방부처리 원주목 보다 높은 상관관계를 보였다. 종진동의 고유진동수의 경우 80,000에서 120,00 정도의 값을 나타내었으며, 실측영계수의 경우는 50,000에서 70,000으로 비파괴 측정값보다 작은 값을 나타내었다. 측정 방법에 따른 영계수의 차이는 비파괴 측정시 영향을 미치는 용이나 할렬에 의해서 기인된다고 생각된다.

한편, 그림 3-8-10은 고유진동수를 이용한 방부처리 원주목의 영계수와 실측 영계수를 비교한 그림으로 결정계수는 0.40의 상관관계를 보였다.

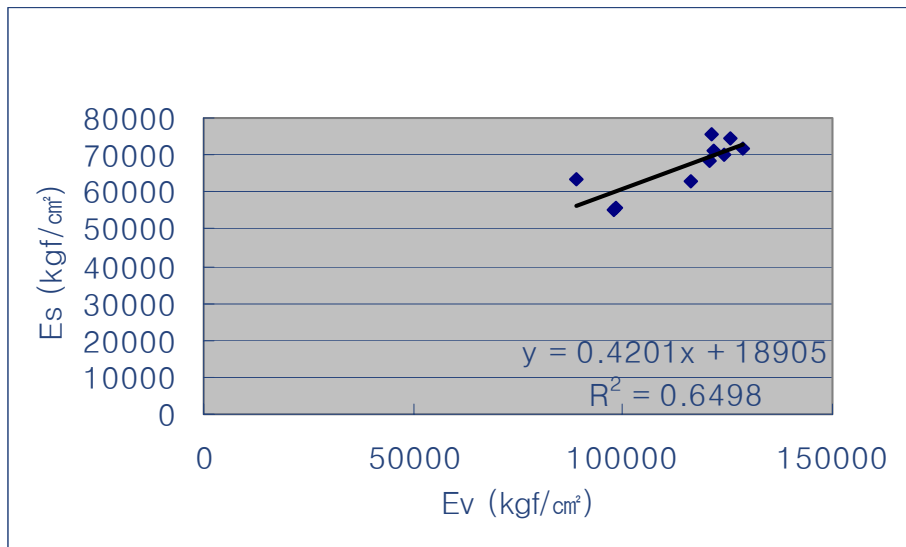


그림 3-8-9. 원주목의 실측영계수(Es)와 종진동 고유진동수 영계수(E_v)와의 관계

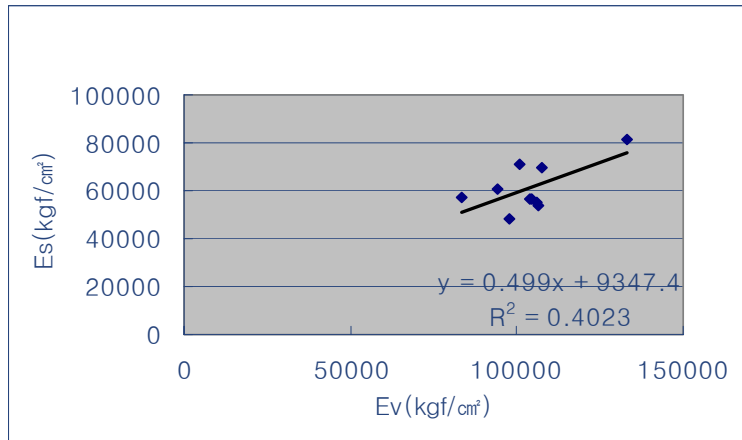


그림 3-8-10. 방부 처리 원주목의 실측 영계수(Es)와 종진동 고유진동수 영계수(Ev)의 관계

라. 원목 및 원주목의 파괴형상

그림 3-8-11은 원목의 하중과 변형을 나타낸 그래프이다. LN-1은 6,100 kgf의 하중에서 파단되었고 LN-2와 LN-3은 각각 4,700 kgf와 4,072 kgf의 하중에서 파단되었다. LN-1은 용이부위 근처에서 파단되어 용이부분부터 파단되었다. LN-4는 3,260 kgf로 다소 낮은 하중값을 보였다. LN-5는 5,046 kgf의 하중에서 파단되었으며, 파단형상은 인장응력을 받는 하단부위에서 파단이 일어난 것을 확인할 수 있었다.

그림 3-8-15는 원주목의 하중과 변형을 나타낸 그래프이다. LP-1과 LP-2는 2,000 kgf의 하중에서 파단되었으며, LP-3과 LP-4시편은 약 2,700 kgf의 하중에서 파단되었다. LP-1과 LP-2의 영계수는 90,000이었으며 LP-3과 LP-4의 영계수는 120,000으로 LP-1과 LP-2 시편보다 높았다. LP-5시편은 영계수가 110,000이었으나 1,660 kgf의 하중에서 파단되었다. 각 시편의 파단형상을 비교해보면 LP-1과 LP-2 시편은 용이부분부터 파단이 시작되어 섬유 주향에 따라 파괴되었다. LP-3과 LP-4시편은 용이의 빈도가 적어 섬유 주향을 따라 파단 되었다. 최대하중이 1,660 kgf로 낮은 LP-5번 시편은 큰 용이부분에서 파단되어 다른 시편에 비해 직경이 큰 용이가 결점으로 작용한 것을 알 수 있다.

그림 3-8-21은 인사이징 방부 처리 원주목의 하중과 변형을 나타낸 그래프이다. LC-1과 LC-2는 최대하중 약 1,600 kgf에서 파단되었고 LC-3은 다른 시편에 비해 상대적으로 높은 2,200 kgf에서 파단되었다. LC-4시편은 1,450 kgf의 낮은 하중에 파단

되었으며 LC-5는 1,800 kgf에서 파단되었다. 파괴형상을 보면 인장응력을 받는 하단부에 웅이가 존재하는 경우 웅이부터 시작되어 섬유 주향을 따라 파단되었다. LC-4와 같이 웅이의 빈도가 크면 웅이부의 파단으로 인해 낮은 하중을 나타내었으며 LC-3과 같이 직접적으로 웅이의 영향을 받지 않은 경우 높은 강도를 나타내었다. 원주목과 방부 원주목 모두 웅이가 강도에 큰 영향을 미쳤다. 최대하중을 비교해보면 전체적으로 원주목보다 방부 원주목의 휨강도가 저하 되는 것을 알 수 있었다.

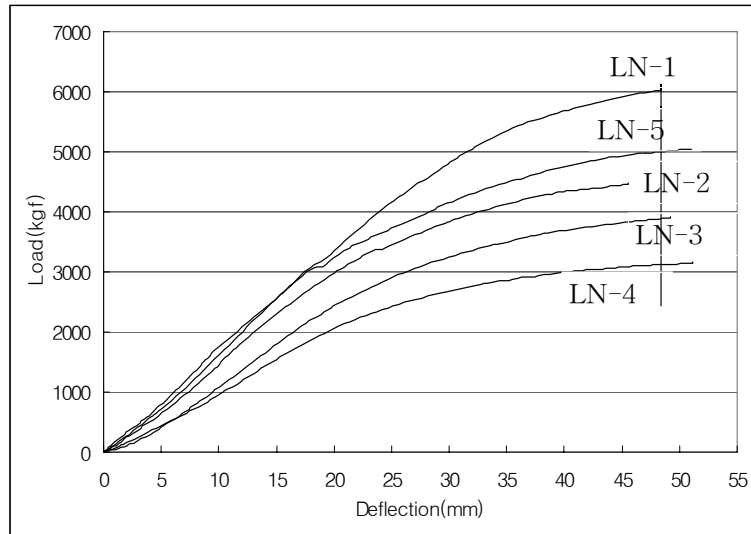


그림 3-8-11. 원목의 하중-변형 곡선



그림 3-8-12. 원목의 파괴형상(LN-1)



그림 3-8-13. 원목의 파괴형상(LN-4)



그림 3-8-14. 원목의 파괴형상(LN-5)

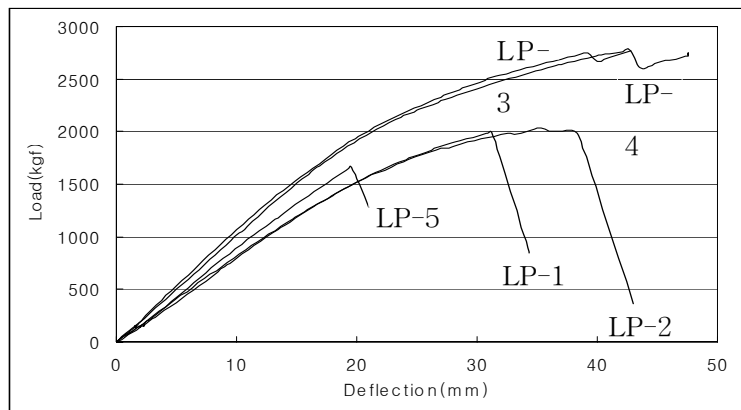


그림 3-8-15. 원주목의 하중-변형 곡선



그림 3-8-16. 원주목의 파괴형상(LP-1)



그림 3-8-17. 원주목의 파괴형상(LP-2)



그림 3-8-18. 원주목의 파괴형상(LP-3)



그림 3-8-19. 원주목의 파괴형상(LP-4)



그림 3-8-20. 원주목의 파괴형상(LP-5)

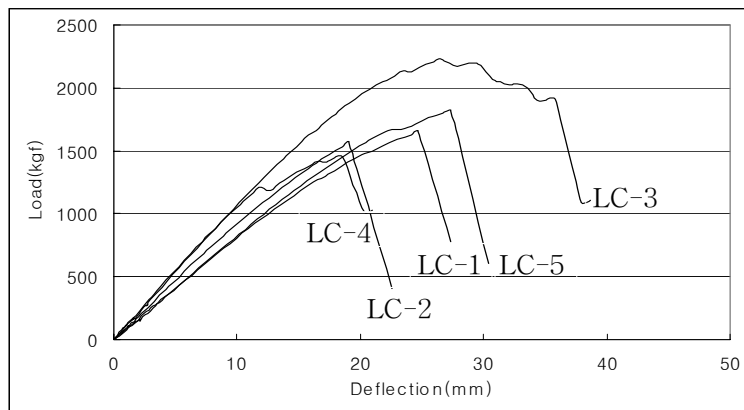


그림 3-8-21. 인사이징 방부처리 원주목의 하중-변형 곡선



그림 3-8-22. 방부 처리 원주목의 파괴형상(LC-1)



그림 3-8-23. 방부 처리 원주목의 파괴형상(LC-2)



그림 3-8-24. 방부 처리 원주목의 파괴형상(LC-3)



그림 3-8-25. 방부 처리 원주목의 파괴형상(LC-4)



그림 3-8-26. 방부 처리 원주목의 파괴형상(LC-5)

4. 결론

원주가공에 따른 영계수는 원목상태에서 원주목으로 가공하였을 때에는 영계수의 차이가 크지 않았다. 그러나 인사이징 처리를 하였을 때에는 약 20,000 kgf/cm²정도 감소하였다. 휨강도시험을 통한 MOR을 비교해보면 원목의 MOR에 비해 원주목은 강도비 1.08배로 큰 차이를 나타내지 않았으나 인사이징 처리 원주목의 강도비는 0.77로 약 23%정도 강도가 감소하였다. 파괴형상을 보면 인장응력을 받는 하단부위에서 파단이 시작되어 섬유주향을 따라 파단이 진행되었다. 특히, 옹이를 포함하거나 옹이의 직경이 클 경우 파단이 옹이부터 시작되어 옹이가 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

제9절 모형 목재사방댐의 수평 재하시험

1. 서론

21c에 들어와서 산림의 기능은 경제적 기능과 공익기능, 산림문화기능으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 이러한 산림의 기능에 비추어 볼 때 사방댐은 국토보전의 기능과 수원함양, 환경보전의 역할을 겸한다고 볼 수 있다. 우리나라의 사방사업은 1953년을 시작으로 정부에서 산지침식을 억제하기 위한 방편으로 대대적으로 펼쳐졌다. 산지복구를 위한 녹화 위주의 사방사업이 80년 이후 삶의 질이 조금씩 나아지면서 사방사업은 환경을 보전하고 재해로부터 보호하며 용수를 공급하는 등의 여러 가지 목적의 형태로 바뀌어져 1986년 처음으로 산지유역 하북부에 사방댐이 생기게 되었다. 여름철이면 어김없이 우리나라에 피해를 끼쳤던 태풍과 집중호우는 사방댐의 설치로 인해 하류의 피해를 방지한 사례가 곳곳에 나타나면서 사방댐에 대한 관심은 높아지게 되었다.

사방댐은 산사태나 시간의 흐름에 따른 중·횡 침식으로 인한 돌, 자갈, 모래, 흙 등과 같은 침식을 억제시키고 산지경사를 고정하여 붕괴의 방지작용과 하천 속에 퇴적한 불안정한 토사의 유동을 방지하여 하천의 양쪽 기슭의 산지경사를 고정하여 피해를 막기 위해 하천이나 산골짜기에 설치하는 토목적인 공작물을 말한다. 이를 일본에서는 치산댐이라 하여 임야청에서 실행하고 있으며 콘크리트 사방댐뿐만이 아니라 목재를 이용한 사방댐의 연구 또한 일본 임업계에서는 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 사방댐의 설치효과는 목적과 위치, 하류에 대한 방향 및 규모를 어떻게 설치하느냐에 따라 그 비용과 거기에 따른 효과도 각각 다르게 나타난다.

현재 우리나라에는 많은 사방댐들이 시공되어 왔지만 목재를 소재로 한 사방댐이 현존하지 않고 콘크리트를 사용한 사방댐이 절반이상을 차지하고 있다. 하지만 이러한 무분별한 콘크리트의 사용은 자연환경보호에 역행이 되고 그 콘크리트 시설물 또한 미관적 가치를 크게 해치고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 자연에 대해 친환경적이고 재생산이 가능한 목재는 콘크리트와는 다른 장점들을 많이 가지고 있어서 이러한 목재를 이용한 사방댐의 연구는 그 가치를 높여줄 수 있다. 국내 산림자원의 목재생산량 절반이상이 말구직경이 20cm이하의 소경재로 구성되어지고 그 많은 소경재들이 활용도가 낮아 간벌 작업 후 방치되거나 땔감과 같은 저급용으로 사용되고 있는 실정을 감안할 때 소경재의 효율적인 사용을 위한 하나의 좋은 방안이 될 수도 있다.

콘크리트가 아닌 목재를 소재로 사용하여 목재의 강도와 변형을 측정하고 하중에

의한 목재의 변형을 화상처리로 그래픽과 이미지로 비교 분석하여 사방댐의 목재사용을 적극적으로 권장할 수 있다면 이번 연구의 가치는 충분하다고 하겠다.

본 실험에서 비파괴적인 초음파에 의한 MOE측정과 화상처리의 원리 그리고 모형 사방댐을 만들어 강도적 특성과 화상처리에 의한 변형을 알아보고자 한다.

2. 재료 및 시험방법

가. 공시재료

본 실험에서는 접합방식에 따라 강봉으로 접합하는 방식과 어닐링 철선을 이용하는 두개의 그룹으로 나누어 제작하였다. 강봉을 사용하여 접합하는 목재사방댐은 평균함수율 10~12%로 자연 건조된 낙엽송(*Larix kaempferi* Carr.) 원목을 사용하였다. 낙엽송 원목은 길이 270~285cm, 말구직경 12~15cm 의 박피되지 않은 원목 여주 임산물 유통센터에서 구입하였다. 어닐링 철선을 이용한 사방댐은 평균함수율 10~13%로 자연 건조된 낙엽송 원목을 사용하였다. 낙엽송 원목은 길이 270~285cm, 말구직경 13~17cm의 박피되지 않은 원목으로 제작하였다.

나. 실험방법

1) 초음파를 이용한 영계수 측정(Eu)

원목의 영계수 측정에 사용된 초음파 시험기는 Pundit Plus (CNS Farnell사 : 영국)로 주파수 54kHz의 Transducer를 사용하였으며 초음파 시험기의 Tx(Transducer), Rx(Receiver) 두 개의 단자를 시편의 양쪽 끝에 위치시켜 초음파의 통과시간을 측정 한 후에 다음의 식을 이용하여 영계수를 측정했다.

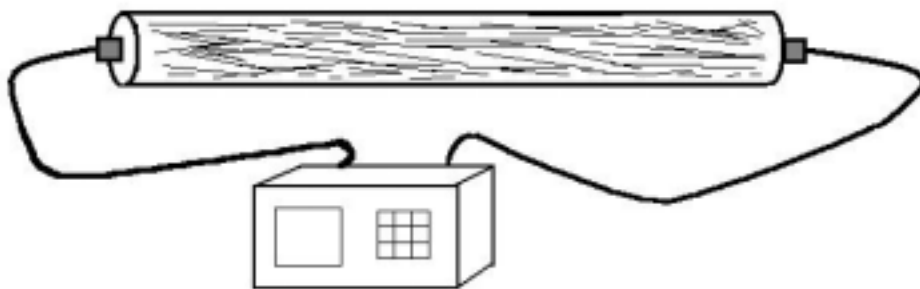


그림 3-9-1. 초음파 시험기를 이용한 초음파의 속도 측정

$$MOEu = C^2 \times \rho \times \frac{1}{g} (\text{kgf/cm}^2) \dots\dots\dots (\text{식 3-9-1})$$

MOEu : 초음파 영계수(kgf/cm²)

C : 초음파 통과 속도(cm/sec)

ρ : 밀도 (kg/m³)

g : 중력가속도 (980cm/sec²)

2) 종진동의 고유진동을 이용한 영계수 측정

시편의 한쪽 끝에 마이크로폰(1/2" Prepolarized Free Field Microphone Type 40AE)을 설치하고 반대편 끝에서 타격을 주어 마이크로폰으로 종진동의 고유진동을 측정하였다. 측정된 고유진동수는 다음 식을 이용하여 영계수를 측정하였다.

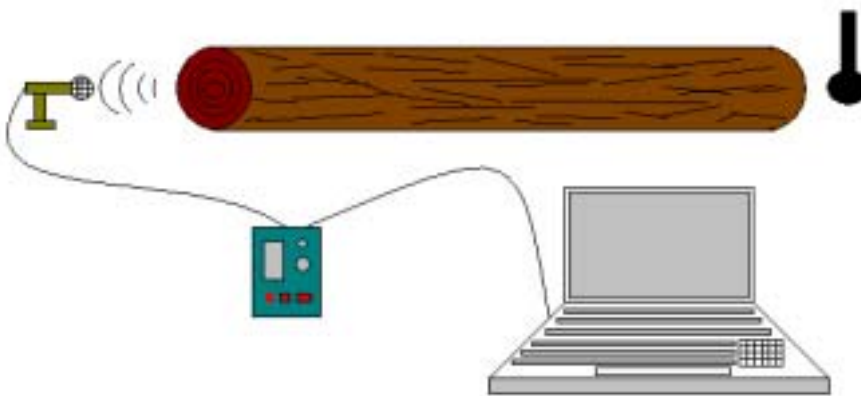


그림 3-9-2. 종진동의 고유진동수 측정.

$$Ev = \left(\frac{2f_n L}{n} \right)^2 \times \frac{\rho}{g} (\text{kgf/cm}^2) \dots\dots\dots (\text{식 3-9-2})$$

Ev : 종진동의 고유진동수로 산출된 영계수 (kgf/cm²)

ρ : 밀도 (kg/m³)

f_n : n차 종진동의 고유진동수 (Hz)

g : 중력가속도 (980cm/sec²)

L : 재장 (cm)

3) 화상처리 (AICON 3D DPA-PRO 시스템)

구조물을 설계할 경우 구조물에 작용하는 하중들로 인하여 생기는 응력뿐만 아니라 그 하중으로 인한 변형도 고려해야하는 것이 일반적이다. 화상처리는 이러한 강도측정시의 변형을 3차원 입체형상으로 측정하는 것을 말한다. 3차원 입체영상은 3차원 입체분석 프로그램(AICON 3D Studio)을 사용한다. 3차원 입체분석 프로그램은 둘 또는 그 이상의 시점에서 대상물의 변형을 감지하는 응용프로그램으로 변형은 실제 이미지와 그래픽으로 표현된다. 측정방법은 첨단 디지털 카메라를 이용하여 시험편에 타깃을 붙인 후 중복 사진촬영을 하고 하중을 가한 후 촬영된 사진을 소프트웨어에 의해 변형 전후의 차이인 좌표변화를 비교분석하는 것이다(그림 3-9-3). 본 실험에서는 모형사방댐의 정면, 측면, 후면에 A타입, B타입 code target 40개와 A타입 93개, B타입 98개의 uncode target을 붙여 측정하였다.

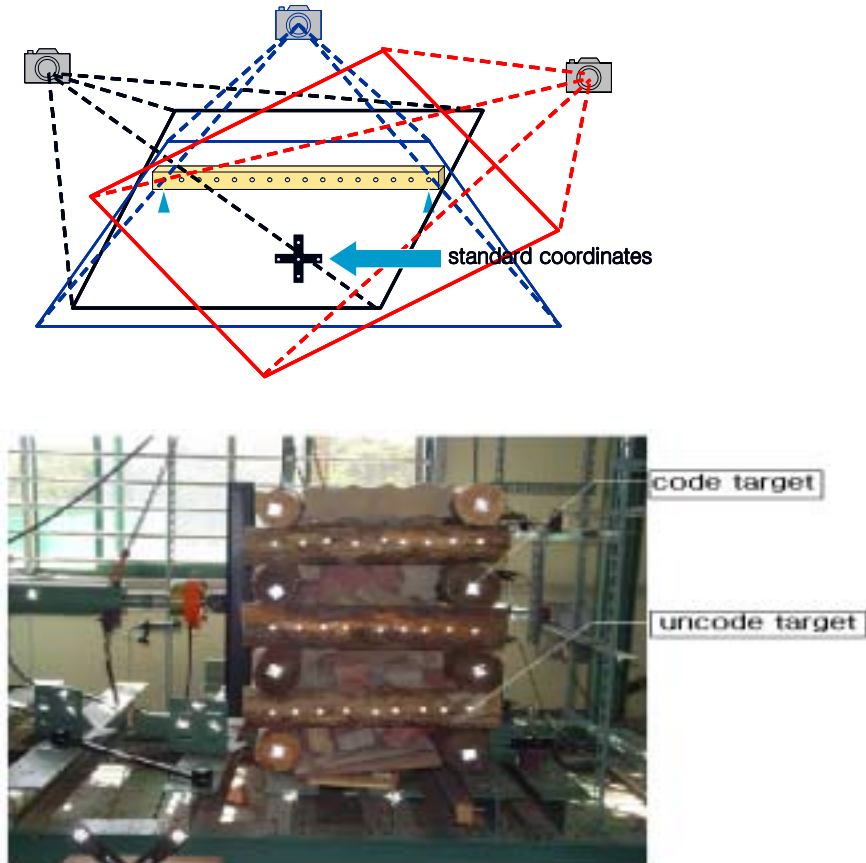


그림 3-9-3. 3차원 입체 변형 측정 모식도와 사진

4) 모형사방댐 실험

가) 모형사방댐 제작

(1) 강봉으로 접합된 사방댐 제작

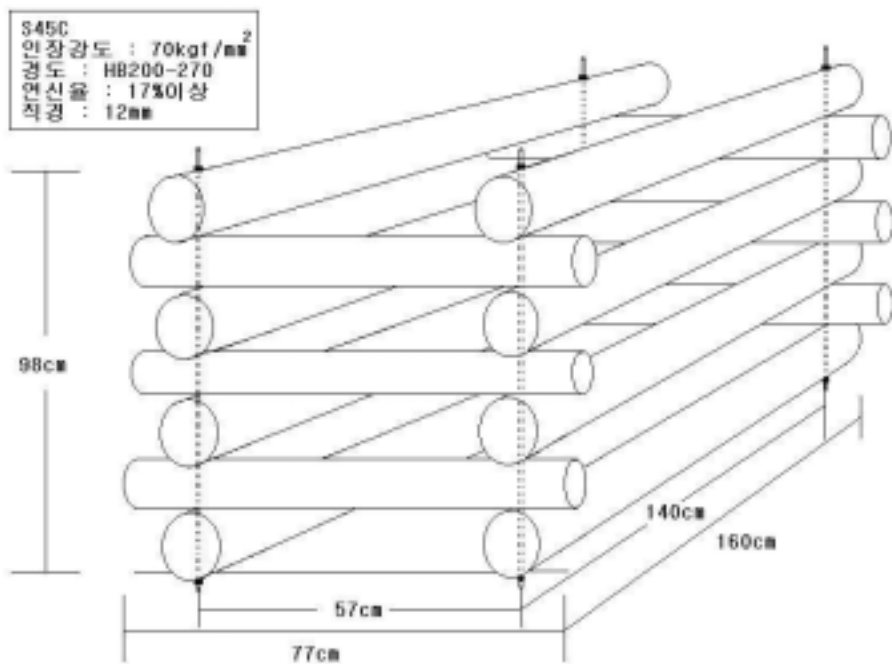
사방댐 모형에 쓰일 낙엽송 원목을 영계수 측정과 휨강도 시험을 통하여 강도성능을 평가하였다. 원목의 영계수는 9만에서 12만 kgf/cm^2 이었고 파괴계수는 500~700 kgf/cm^2 이었다. 사방댐은 Type A, Type B의 2개의 유형으로 나누어 제작 되었다. Type A, Type B의 앞쪽과 뒤쪽은 모두 1,600mm의 원목을 사용하였다. 횡목과 종목의 접합은 직경 12mm, 길이 1,100mm의 볼트 형태의 특수강 철판(재질 S45C)을 사용하여 횡목과 종목을 결합시켜 최상층 부위에서 너트로 고정시켰다.

Type A의 측면은 측면재를 770mm의 원목으로 일정하게 쌓아 올려 사방댐을 제작했다. Type B의 경우는 측면 최하층을 1,150mm로 하여 상층으로 올릴수록 한쪽 길이를 200mm씩 줄여 뒤쪽의 경사가 지도록 제작하여 목재의 효율성을 높였다. 원목의 접합은 철판과 볼트로 이루어진 2개의 철판으로 Type A와 같이 앞쪽을 고정하고, 뒤쪽은 짧은 철판으로 길이별로 구분하여 고정하였다. B 타입의 경사비는 0.85이고, 두 타입의 높이는 모두 7층으로 제작하였다.

이와 같이 원목을 사용하여 횡목과 종목으로 목재 소형 사방댐의 골격을 제작한 후 쇄석으로 내부를 채워 두 Type의 모형 사방댐을 제작하였다.

(2) 어닐링 철선을 사용하여 제작한 모형사방댐 제작

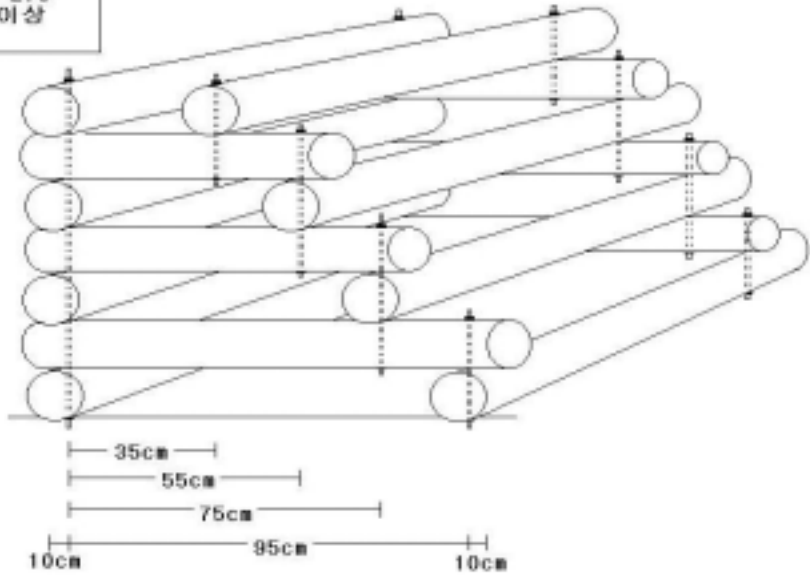
사방댐 모형에 쓰일 낙엽송 원목의 영계수는 80,000~150,000 kgf/cm^2 정도로 초음파의 경우 평균 130,000 kgf/cm^2 이었고, 종진동의 고유진동수를 이용한 영계수는 평균 110,000 kgf/cm^2 이었다. 사방댐의 타입은 Type I, Type II, Type III 3타입으로 제작하였다. 그림 3-9-6은 강원대학교 학술림에 실제로 설치된 사방댐으로 Type I은 그림 3-9-7과 같이 두개의 횡목위에 종목을 빈틈없이 연이어 접합하여 제작하였다. 그림 3-9-8은 학술림에 설치된 Type II로 최상층부만 연이어 종목이 있고, 아래부터는 서로 엇갈려 일정한 간격으로 종목이 배치된 타입이다. 학술림 사방댐 Type II를 그림 3-9-9와 같이 실험용 모형 사방댐으로 제작하였다. Type III은 Type I 사방댐 모형에 실제 사방댐과 같이 빈 공간에 쇄석을 채웠다(그림 3-9-10). 사방댐 제작에는 종목 77cm, 횡목 160cm의 원목을 사용하였다. 종목과 횡목은 그림 3-9-11과 같이 어닐링 철선으로 접합하였으며, 3타입 모두 횡목, 종목 3층 씩 총 6층으로 제작하였다.



(Type A)

그림 3-9-4. 강철봉으로 접합한 Type A 모형 사방땀

S45C
 인장강도 : 70kgf/mm²
 경도 : HB200-270
 연신율 : 17%이상
 직경 : 12mm



(Type B)

그림 3-9-5. 강철봉으로 접합한 Type B 모형 사방땀



그림 3-9-6. 강원대학교 학술림에 설치된 목재 사방댐 Type I

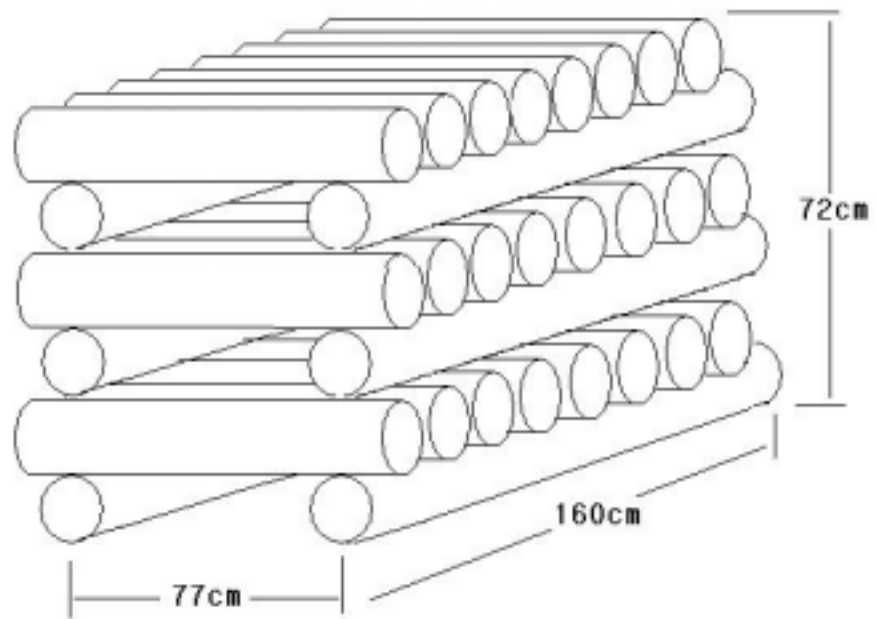


그림 3-9-7. Type I 모형 사방땀



그림 3-9-8. 강원대학교 학술림에 설치된 목재사방댐 Type II

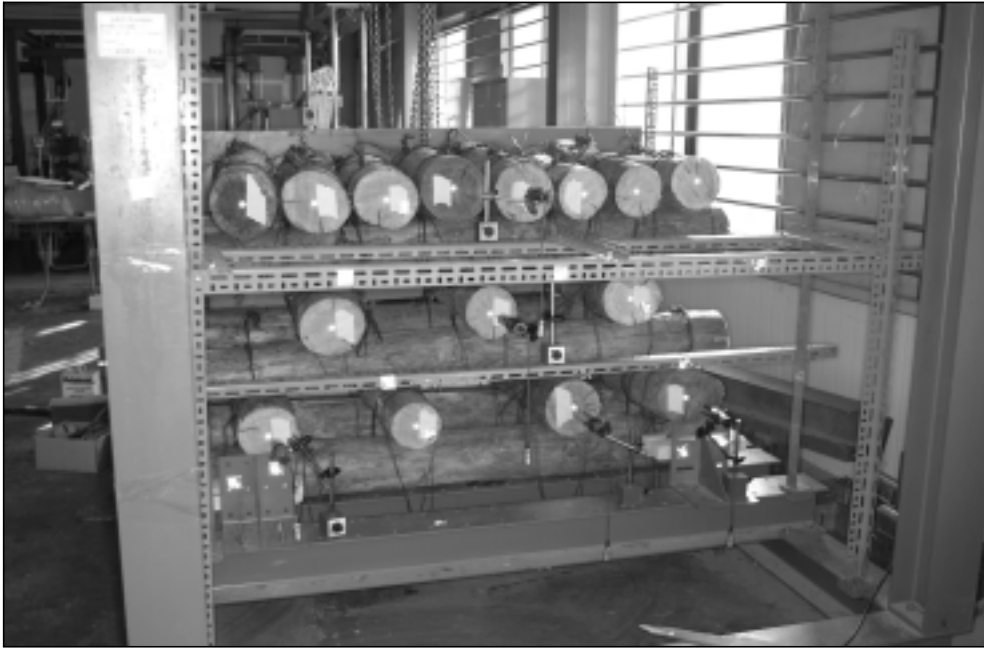
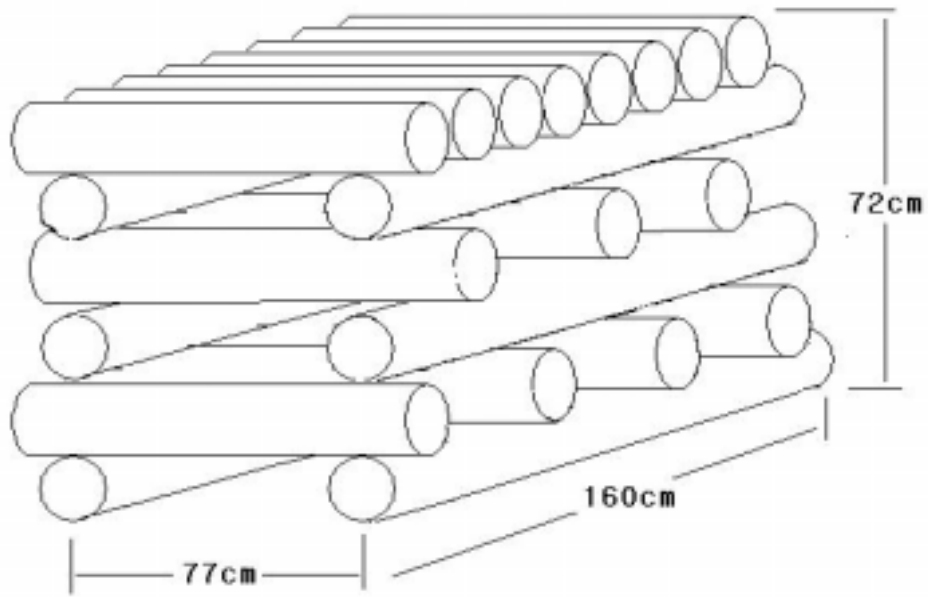


그림 3-9-9. Type II 모형 사방땀

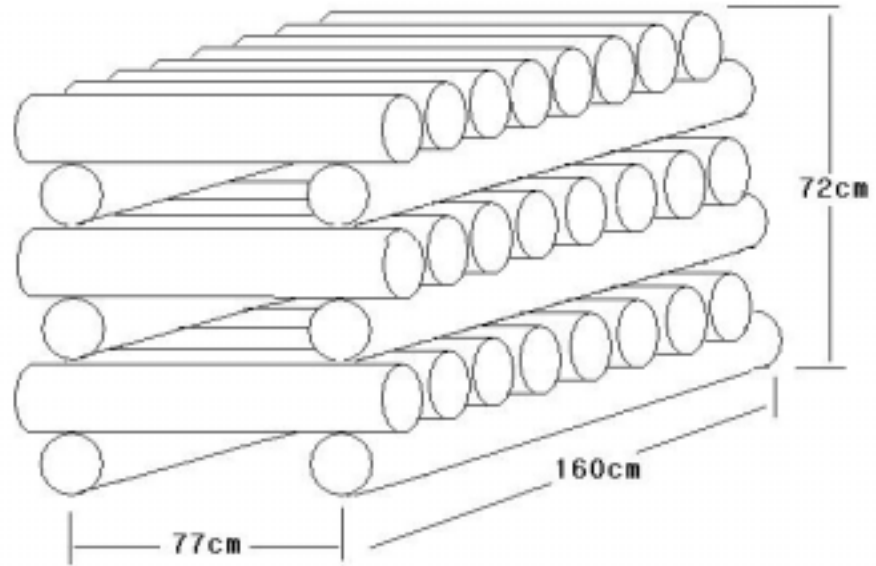


그림 3-9-10. Type III 모형 사방댐



(모형 사방댐 접합부위)



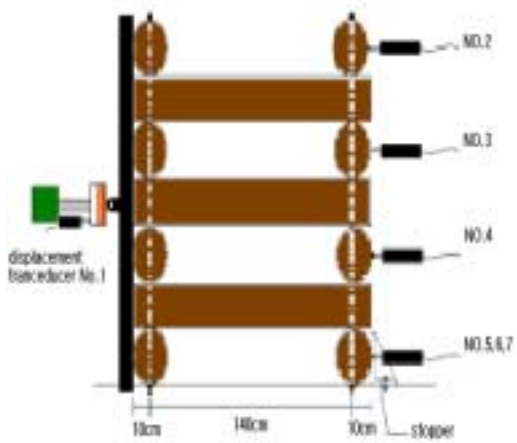
(실제 사방댐 접합부위)

그림 3-9-11. 목재사방댐과 모형 사방댐의 접합부위

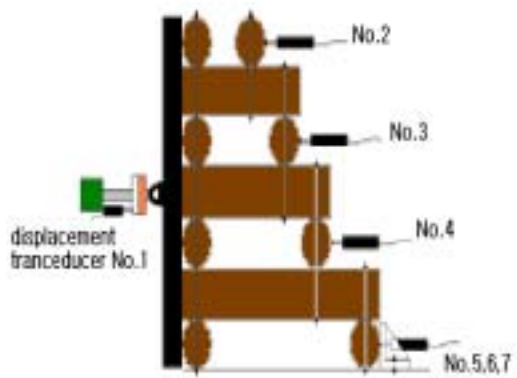
나) 목재 사방댐의 강도 실험

(1) 강봉으로 접합된 사방댐 강도 실험

구조 프레임에 그림 3-9-12와 같이 목재 사방댐 모형을 설치하여 앞쪽 면에서 유압 자키를 이용하여 Load cell에 연결된 H형 강철빔이 모형 사방댐의 중앙부위 전 횡목에 하중을 가하도록 설치하였다. 앞쪽 면에는 중앙부분의 변형을 측정하기 위해 변위계를 설치한 Load cell에 하중을 가하였으며 뒤쪽 면 각층 원목에 변위계를 설치하여 데이터 로거(TDS 303)로 수평하중과 변형을 측정하였다. 모형 사방댐의 하단부는 스톱퍼(Stopper)를 설치하였다.



(Type A)



(Type B)

그림 3-9-12. 강도 실험

(2) 어닐링 철선으로 접합된 사방댐 강도 실험

구조 프레임에 그림 3-9-13과 같이 목재 사방댐 모형을 설치하여 전면에서 유압 자키를 이용하여 하중을 가하였다. 그림 3-9-14와 같이 Load cell에 연결된 H형 강철빔에 강판을 붙여 모형 사방댐의 상층부와 중간부 전체면에 하중이 가해지도록 설치하였다. 앞쪽 면에는 중앙부분의 변형을 측정하기 위해 Load cell에 변위계를 설치하였으며 후면 각층 원목에 변위계를 설치하여 데이터 로거(TDS 303)로 하중과 변형을 측정하였다. 모형 사방댐의 하단부는 스톱퍼(Stopper)를 설치하였다. 강도시험과 동시에 AICON 3D DPA-PRO 시스템을 이용하여 화상처리를 통한 3차원 입체변형을 측정하였다. 측면은 횡목에 10cm 간격으로 타깃을 부착하였으며 후면에는 각 종목의 횡단면 중앙부위에 타깃을 붙여 변형을 측정하였다.

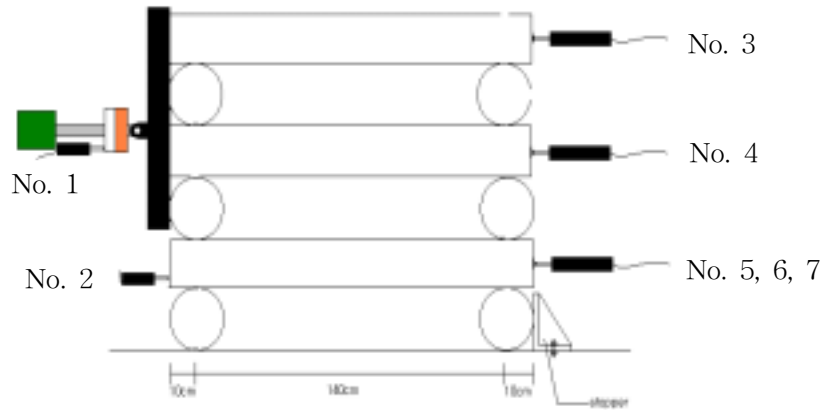


그림 3-9-13. 강도 시험 모식도



그림 3-9-14. 강도시험 장면

3. 결과 및 고찰

가. 강봉으로 집합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형

Type A의 하중-변형곡선을 보면, 2,500kgf의 하중에서 최상단부 횡목의 No. 2 변위계는 72.33mm 변형되었고, 중간부위 횡목 No. 3과 No. 4 변위계는 각각 62.38mm, 28.07mm 변형되었다. 최하단부 No. 5, No. 6, No. 7 변위계는 약 4mm 변형되어 하단부에서는 거의 변형되지 않았다. Type B의 경우 2,500kgf의 하중에서 최상단부 횡목 No. 2 변위계는 57.51mm, No. 3과 No. 4 변위계는 47.76mm와 17.37mm 변형되어 Type A에 비해 변형이 적었다. 최상단부 No. 2의 변형은 Type B에 비해 Type A가 1.26 배 변형되었고 중간부 횡목 No. 3과 No. 4는 각각 1.31과 1.62 배 큰 변형을 보였다.

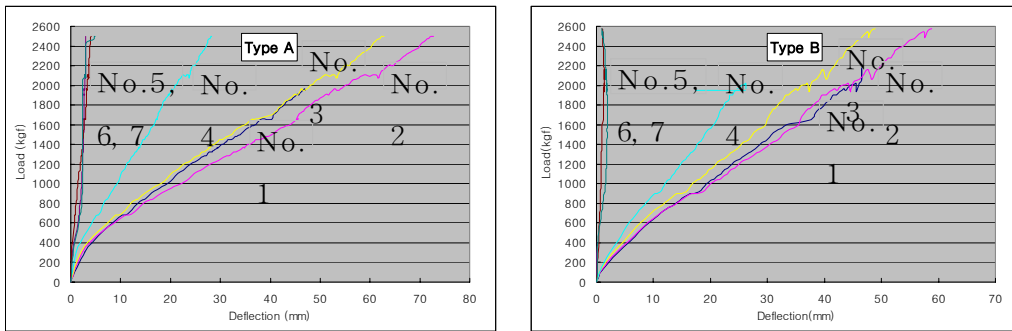


그림 3-9-15. 강봉으로 집합된 사방댐 Type A, B의 하중-변형 곡선

하중 1,500kgf하에서의 화상처리를 통한 변형을 비교해보면 Type A 전면부의 횡목과 종목의 변형은 하중이 가해지는 중앙부위 보다는 횡목과 종목이 강봉으로 연결된 외곽부위에서 큰 변형을 보였다. 전면부 최상단부위 횡목은 대략 55mm 이상의 변형을 보였으나 최하단부 횡목은 약 12~15mm의 변형을 보여주고 있다. 측면부는 횡목과 종목이 전체적으로 균등한 변형을 보이고 있으나 측면 상단부위 종목은 36~38mm, 하단부 종목은 15mm 전후의 변형을 보여주고 있다. 후면부는 외곽부 횡목에서 균등한 변형을 보여주고 있다. 상단부 변위는 55~64mm 하단부는 21~29mm 변형되었다. B타입 전면부는 A타입 전면부와 달리 외곽부위와 중앙부위가 균등한 변형을 보였다. 최상단부 횡목은 47~48mm, 최하단부 횡목은 13~14mm 변형되었다. 측면부는 A 타입과 같이 전체적으로 균등한 변형을 보이고 있으며, 측면 상단부 종목은 39~40mm, 최하단부 종목은 14~16mm의 변형을 나타내었다. B타입 후면부 최상단 횡목의 변형은 36~40mm, 하단부 횡목은 22~23mm의 변형을 보였다. Type A와 Type

표 3-9-1. 화상처리에 의한 Type A의 3차원 변형

< Load : 1,500 kgf >

< Load : 2,600 kgf >

Prnt. no.	X	Y	Z	Rayzr
1001	979.3999	375.0485	271.1236	30.1543
1002	1244.7518	354.8863	407.8578	38.0197
1003	1352.1722	384.9818	298.5525	37.8622
1004	758.6248	452.9858	75.3585	15.4085
1005	809.9153	454.2943	29.7646	15.2640
1006	862.7914	455.0480	-22.0481	15.2057
1007	920.6182	456.3300	-74.5314	15.0748
1008	979.6323	457.2469	-139.7124	14.9645
1009	1025.8260	457.4019	-178.0209	14.8940
1010	1086.5609	460.0360	-234.5856	14.7900
1011	1130.0807	462.9413	-280.5176	14.6216
1012	1195.5674	394.3280	46.0959	29.8491
1013	1289.7454	399.3635	-48.7831	29.7355
1014	1341.1935	405.3416	-97.0900	29.7737
1015	1382.2061	411.2635	-154.9019	29.6820
1016	1032.5767	380.9914	218.2638	30.0946
1017	1086.2947	386.3184	169.0011	30.0404
1018	1184.8155	385.5185	483.5340	38.0103
1019	1420.1777	382.2570	248.5255	37.8580
1020	1454.0864	385.1308	204.1006	37.8400
1021	1503.9098	386.6898	152.1222	37.8058
1022	1616.4211	391.0201	47.1484	37.8372
1023	1129.8433	385.6111	122.8355	30.0644
1044	1187.8582	463.4438	-331.3181	15.1212
1045	1580.8990	358.7536	104.2100	37.8163
1047	1271.8497	617.3415	616.2476	47.3595
1048	1046.4995	453.8383	422.5790	35.5696
1049	829.3681	471.3607	225.5721	23.3738
1050	1367.5308	1784.1110	742.7180	55.0951
1051	1351.9823	1485.5827	713.2634	54.5915
1052	1135.6483	1503.2081	523.9538	41.2308
1053	1083.3377	625.3196	454.8218	37.3945
1054	867.0150	654.1412	267.8982	26.7329

Prnt. no.	X	Y	Z	Rayzr
1001	990.0295	376.3597	251.7086	57.0619
1002	1206.6185	386.9736	439.3285	13.1808
1003	1322.0230	383.6480	338.1893	12.8176
1004	768.3030	452.8751	67.7907	27.8830
1005	819.0516	454.1721	21.7886	27.3809
1006	871.8635	454.9248	-30.3651	27.3830
1007	928.6979	456.0875	-82.5576	26.4636
1008	987.4877	457.2018	-148.7085	26.6971
1009	1033.1835	457.3779	-187.2903	26.6837
1010	1080.4866	460.1121	-244.3891	26.7438
1011	1136.5521	462.3919	-290.1818	26.4337
1012	1147.0737	398.3887	102.5101	45.1405
1013	1261.7884	395.9911	-32.0337	3.0643
1014	1305.1131	400.2251	-68.6005	18.5153
1015	1356.0939	405.9453	-118.9881	22.2369
1016	1050.5812	382.0574	198.6479	56.7094
1017	1103.8523	387.3955	148.8693	56.7062
1018	1146.6844	486.7757	508.9863	76.6750
1019	1372.8600	398.2995	273.5333	23.2987
1020	1440.1050	393.4347	222.9999	14.5240
1021	1473.9405	396.5322	178.2285	6.2406
1022	1579.8291	390.2383	77.7015	13.1353
1044	1193.8608	483.4891	-341.7482	27.1818
1045	1525.5109	386.6360	125.4592	15.2421
1047	1303.5369	618.4834	588.0565	69.2314
1048	1068.5088	455.1454	401.6447	65.8421
1049	847.5661	471.9688	215.9656	43.5676
1051	1283.4561	1479.2345	688.3894	96.2027
1052	1160.3130	1505.5412	489.6219	75.6726
1053	1108.1179	626.6308	432.5314	69.3160
1054	867.0313	653.7706	259.9067	49.9539
1055	1188.0317	1821.1558	535.9687	78.2485
1056	1175.3172	1823.7778	515.2267	77.8522
1057	1119.4143	383.9461	494.8580	72.0438
1058	1215.8902	739.1248	601.6782	91.9478
1059	1042.9843	758.3203	433.8961	68.9320
1061	674.8821	848.4028	73.4180	25.1684
1062	739.0235	1800.8387	182.8652	25.1043
1064	723.4757	1680.2535	183.2899	26.6211
1066	913.0619	1536.0007	341.8679	63.2008
1068	712.0601	1524.8930	137.0812	25.9972
1071	1962.4836	455.8212	-128.0065	64.2677
1072	1590.2490	620.8853	-105.0620	66.9638
1073	1374.5305	720.1369	-305.7520	49.5240
1074	1589.4794	850.3756	-88.0752	89.1094
1075	1379.7340	866.1680	-204.3088	45.9489
1076	1154.4423	941.4155	-440.0484	16.9128
1077	1413.6176	1679.2433	-212.0689	63.9371
1078	1631.6590	1547.7627	-39.6136	76.2211
1079	1425.5411	1730.2358	-198.5821	54.2889
1080	1640.9937	1694.1417	-34.3349	77.7206
1081	1211.7774	366.3025	25.1428	15.1175
1083	1286.0275	388.2888	383.2367	12.9487
1086	696.4772	679.7863	48.8085	22.3956
1088	876.9256	806.6250	271.5583	49.5703
1091	1630.4315	1368.8848	-50.2711	74.9947
1093	1189.5090	1451.9181	-383.0280	17.7238
1093	648.1039	537.8973	35.7833	21.4267
1095	1899.8979	1800.7257	-84.0638	70.1258
1096	1387.5790	1018.6233	-279.7560	60.7148
1097	1692.6952	1868.9239	-16.5177	79.4941
1101	945.5992	1887.7550	379.4691	65.0629
1105	232.0336	287.5323	-86.7294	0.8141
1106	891.1825	1077.8029	102.2418	27.2455

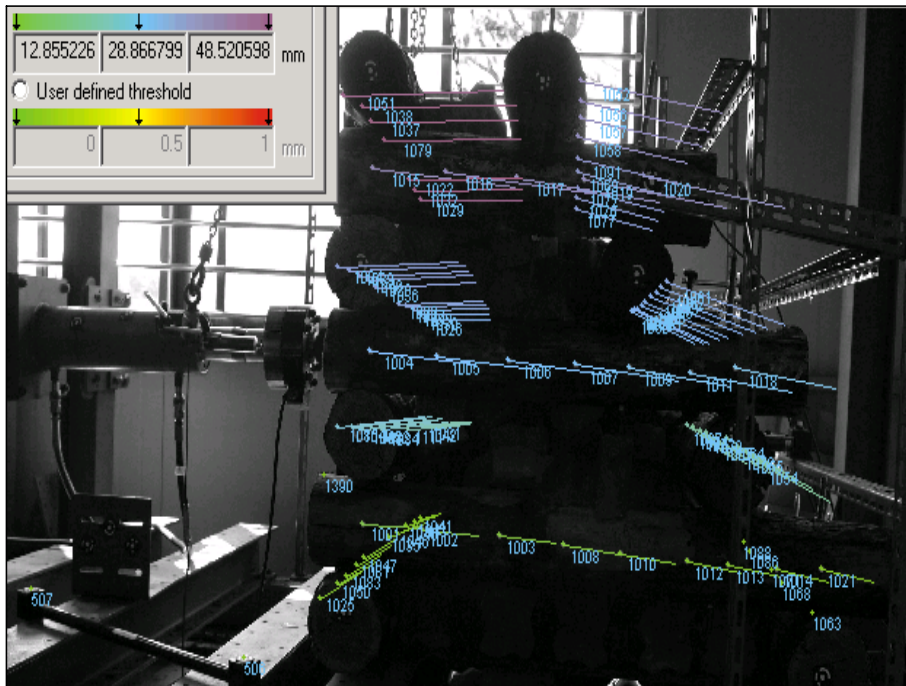
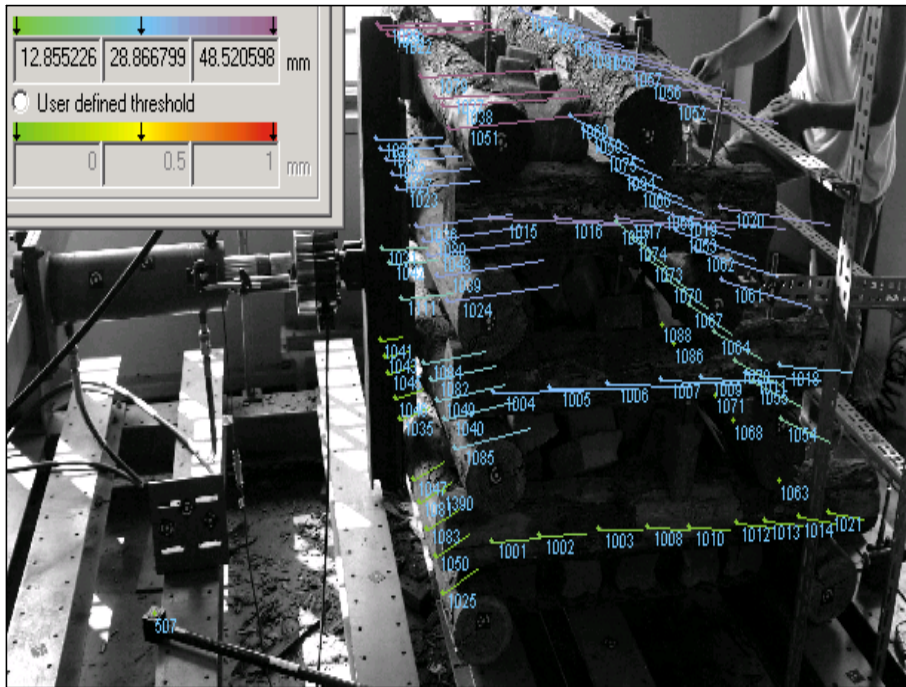


그림 3-9-17. AICON 3D DPA-PRO 시스템으로 측정된 Type A의 3차원 입체변형

표 3-9-2. 화상처리에 의한 Type B의 3차원 변형

Pnt. no.	X	Y	Z	Rayz	Pnt. no.	X	Y	Z	Rayz
1001	634.5671	533.4352	298.5598	9.7856	1036	900.6187	1017.8162	710.1312	26.7016
1002	717.7259	540.8042	213.0172	9.4352	1037	1110.7203	775.7904	863.8618	37.4801
1003	804.9701	549.2682	103.9816	8.9652	1038	1108.1070	670.9669	851.0645	37.6477
1004	804.5563	512.5301	478.0815	21.2714	1039	886.9306	691.2969	688.6805	27.2269
1005	908.7275	520.0916	382.3555	20.8029	1040	702.4590	729.1309	474.1670	17.8770
1006	1028.7258	526.8807	280.9125	20.3796	1041	547.9077	1969.2572	450.5090	7.4600
1007	1121.3637	531.7752	187.8955	19.9523	1042	737.3746	1794.2783	591.5465	14.6977
1008	908.8413	554.7992	9.4696	8.6133	1043	541.6858	1836.7118	438.5817	7.6767
1009	1195.9667	535.8147	114.0420	19.6612	1044	536.9510	1702.9576	428.5896	8.2012
1010	983.2542	563.4500	-75.7408	8.3686	1045	526.2601	1534.1570	407.8692	6.5994
1011	1278.3580	540.8201	28.0519	19.2756	1046	497.4872	1091.7601	358.7777	9.8826
1012	1071.0869	568.9010	-170.1012	8.0252	1048	690.9542	816.3590	685.8144	26.8118
1013	1126.6748	572.4018	-228.8391	7.8319	1049	702.0091	838.0010	483.3192	17.7494
1014	1191.6114	575.8135	-294.9857	7.6538	1050	484.6039	756.6185	307.6456	9.5586
1015	1039.2879	490.9242	682.9488	31.0093	1051	1085.5002	539.7557	837.0699	37.0874
1016	1141.8183	491.0004	574.8643	30.4997	1052	1451.4097	562.7905	515.3677	30.0798
1017	1239.1045	498.9384	471.8551	30.0672	1053	1377.0793	916.0864	201.4683	23.6862
1018	1346.8532	545.7922	-25.8990	19.0487	1054	1291.3729	668.5681	-166.0252	13.1402
1019	1332.4237	502.5699	376.4124	29.6647	1055	1306.8664	623.6782	-138.9754	13.0676
1020	1420.7304	506.8612	303.3945	29.2215	1056	1464.1735	728.2887	538.5421	29.2588
1021	1254.8913	576.3478	-352.0995	7.5036	1057	1472.4830	863.2695	554.2550	28.7702
1022	1135.9062	1469.2929	972.2436	37.3455	1058	1480.0188	1060.3440	585.3565	27.7878
1023	908.7182	1358.3778	747.5911	24.9604	1059	1437.7800	1745.5912	323.7910	20.2208
1024	877.0782	571.9709	647.5016	27.0935	1060	1448.2739	1807.2172	343.6613	19.4590
1025	471.7538	624.2472	292.3389	9.8487	1061	1354.4378	609.2946	163.6092	25.0713
1026	932.9108	1895.9353	813.1940	22.0416	1062	1368.5583	788.2050	186.2278	24.2677
1027	917.3040	1486.9610	785.6742	24.3025	1063	1236.8288	1001.6710	-447.1962	4.6708
1028	1139.9036	1724.2518	987.9236	35.9307	1064	1330.4001	1062.1792	-97.7187	12.9394
1030	929.5775	1765.3480	799.8595	22.9776	1065	1388.0361	1072.6959	225.2544	23.0930
1031	740.1762	1934.8236	611.1506	14.2959	1066	1398.3593	1258.7123	251.4448	21.9885
1032	1135.5701	1599.4648	989.1864	36.6627	1067	1336.6999	1279.4506	-79.6011	12.0077
1033	924.8981	1627.2169	783.4758	23.8619	1068	1287.3345	1320.8844	-389.5852	4.7495
1035	520.3072	1401.3928	394.5853	8.9525	1069	1484.5483	1375.1498	613.2440	26.0744
					1070	1348.4047	1455.3228	-61.6478	11.7394
					1071	1271.3339	1476.5748	-379.7995	4.8895
					1072	1494.5520	1576.0129	635.2429	25.3457
					1073	1359.2843	1629.8292	-33.0475	11.2874
					1074	1370.1679	1797.7121	-12.1029	10.7904
					1075	1418.3708	1573.9612	294.9944	20.4287
					1076	1500.4253	1725.6607	652.4896	24.7723
					1077	1504.1324	1873.2001	688.2629	23.7209
					1078	1315.1887	939.9572	-124.5487	12.7734
					1079	1119.2331	963.9651	892.1309	37.6393
					1080	898.2023	903.5104	697.2321	26.8799
					1081	493.8742	983.1573	341.8930	9.7264
					1082	707.8811	941.8438	496.0499	17.2581
					1083	485.1067	875.1405	323.6891	9.4820
					1084	709.4257	1063.1541	505.0871	16.6893
					1085	690.0281	596.1672	459.7478	18.3007
					1086	1283.2476	1868.5326	-341.3526	6.2967
					1087	1380.6860	1971.6034	10.6860	11.2782
					1088	1307.8699	1996.0428	-319.5531	6.1320
					1091	1476.0536	1203.7480	589.0957	27.0267
					1094	1406.9818	1402.5906	269.2647	21.2242
					1100	287.0687	1207.5904	969.3697	18.6623
					1101	1494.7086	290.2187	64.7077	0.0000
					1102	1611.1778	1283.0683	515.9481	38.4832
					1105	1497.7172	216.4357	191.8175	0.0000
					1111	723.1000	1507.9387	555.3105	15.0282
					1112	1142.9802	1862.9432	1011.9597	33.8621
					1125	1258.8509	1354.0177	-530.1277	2.9231

나. 어닐링 철선으로 접합된 사방댐의 하중 변형 곡선과 화상처리를 통한 3차원 변형

Type I의 하중-변형 곡선에서 종목간의 간격을 두지 않고 제작한 Type I의 경우 약 400kgf 하중일 때 후면 최상단부 종목 No. 3부위의 변형이 34mm 변형되었으며, 중간층 No. 4 부위의 변형은 37mm 변형되어 최상단부와 중간부는 동일한 하중에 의하여 비슷한 변형을 보였다. Type II의 No. 3과 No. 4의 변형은 Type I과 같이 비슷한 경향을 보여 상층과 중간층에 같은 하중이 가해지는 것을 알 수 있었다. 두 Type의 변형을 비교해 보면, 400kgf의 동일 하중일 때 Type II의 변형이 79.9mm와 80.5mm 변형되어 Type I보다 약 2배의 변형을 보였다.

수평하중이 직접 가하여 지지 않는 하단부위의 변형은 400kgf의 하중에서 약 10mm정도의 변형을 보여 상단부위의 변형과 큰 차이를 보였다. Type III의 경우 400kgf의 하중에 56.2mm와 40.82mm로 Type I과 큰 차이를 보이지 않아 쇠석 유무에 따른 변형의 차이는 없었고 전체적인 변형은 Type I과 같았다.

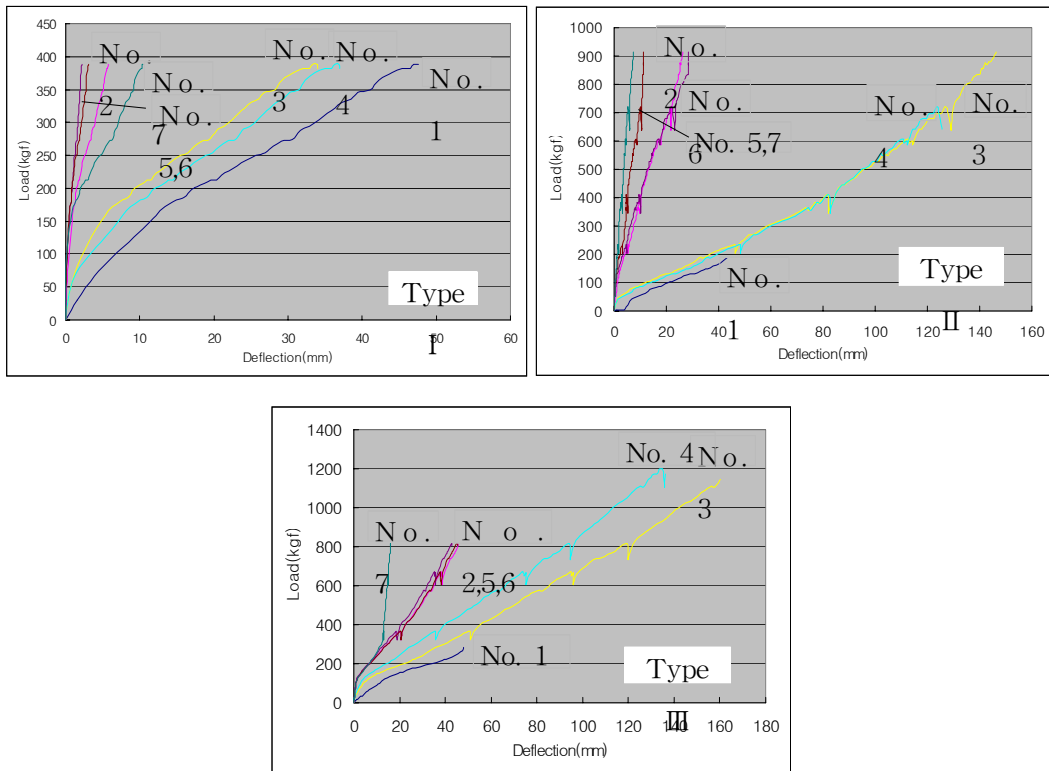


그림 3-9-18. 어닐링 철선으로 접합된 사방댐 Type I, II, III의 하중-변형 곡선

화상처리를 통한 3차원 변형을 보면 모든 Type에서 하중이 가해짐에 따라 측면부가 약간 위쪽으로 들리면서 변형되는 것을 알 수 있으며, 후면은 변위계 측정 결과와 같이 상층부 종목과 중간부 종목이 거의 비슷한 변형을 나타내었다.

변형량은 Type I의 경우 상층부 종목과 중간층 종목이 500kgf에서 약 33~39mm의 변형을 보였다. 800kgf의 하중하에서는 85~95mm의 변형을 나타내었고, 1,200kgf에서는 128~147mm의 변형을 보였다. Type II의 경우 200kgf의 낮은 하중에서 50mm의 변형을 보였으며 400kgf에서는 88mm, 700kgf에서는 150mm, 900kgf에서는 180mm의 변형을 보였다. Type I의 경우 800kgf에서 약 90mm의 변형을 보인 것과 비교하여 볼 때 약 2 배정도 변형되었다. Type III은 360kgf의 하중에서는 약 60mm, 650kgf에서는 100~110mm정도 변형되었다. 800kgf와 1,200kgf에서는 각각 138mm와 192mm의 변형을 보였다. Type I의 800kgf와 1,200kgf의 값은 85~95mm, 128~147mm로 쇄석을 넣어도 변형에는 큰 차이를 보이지 않았다.

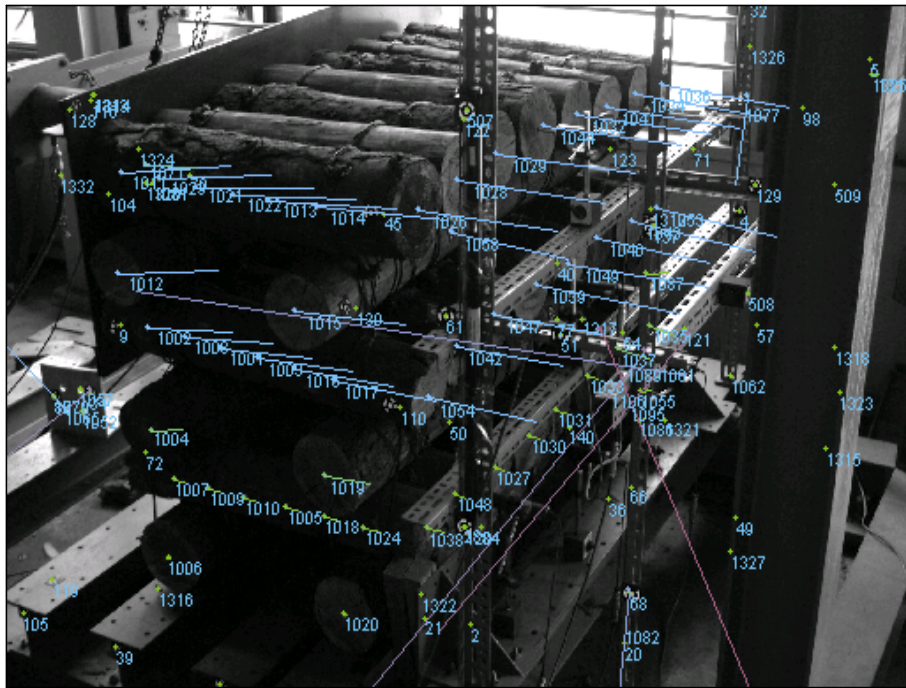


그림 3-9-19. AICON 3D DPA-PRO 시스템으로 측정된 Type I의 3차원 입체변형

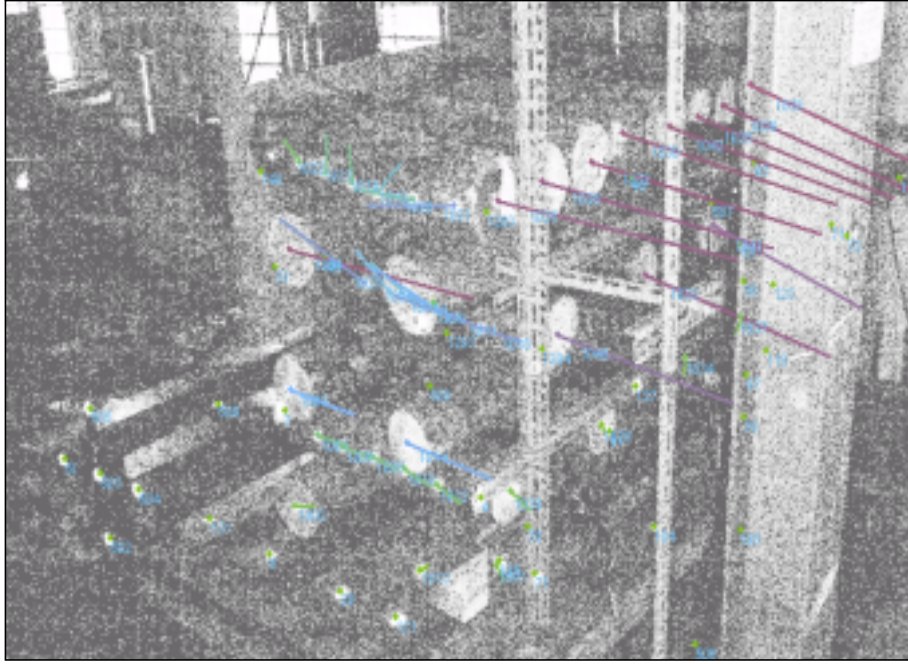


그림 3-9-20. AICON 3D DPA-PRO 시스템으로 측정된 Type II의 3차원 입체변형

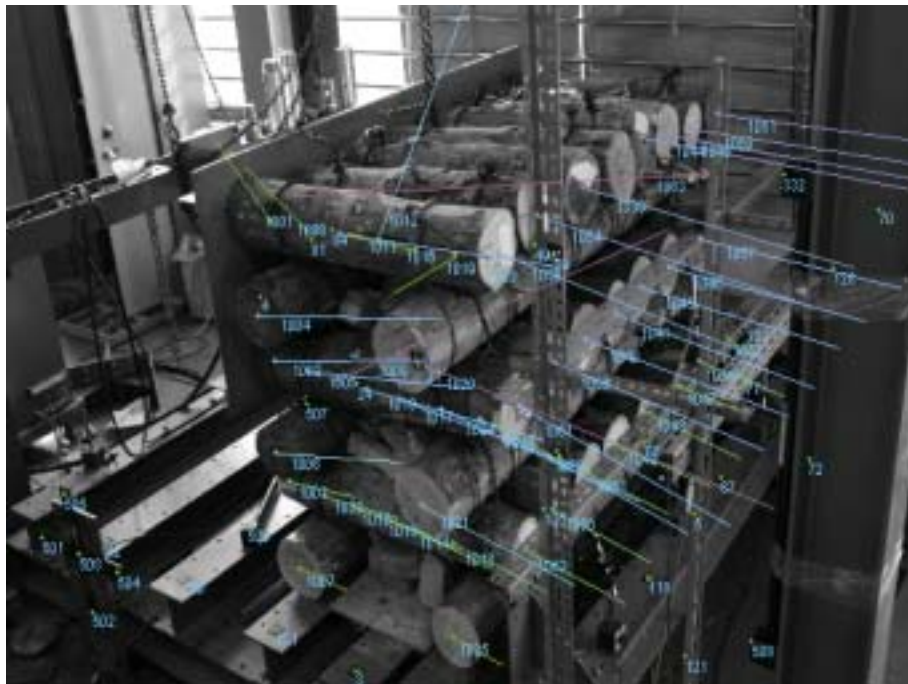


그림 3-9-21. AICON 3D DPA-PRO 시스템으로 측정된 Type III의 3차원 입체변형.

표 3-9-3. 화상처리에 의한 Type I 의 3차원 변형

<500kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Reyz
1016	1018.3311	348.3213	344.0162	27.4386
1017	1115.2984	352.9394	332.8980	27.2678
1018	1029.7939	360.9706	18.8205	4.9942
1019	1112.5211	280.4115	183.8137	12.1741
1020	1100.3950	303.9205	182.8243	0.9997
1021	820.7487	337.0259	896.7274	33.8170
1022	920.4007	336.3343	888.1130	33.5218
1023	720.3163	336.8279	794.0497	33.7195
1024	1129.2235	364.3519	13.2877	4.8123
1025	130.1535	1069.6615	1065.0569	5.4653
1026	1295.8235	431.8709	888.7553	33.3383
1027	1219.2468	778.9679	-13.4230	2.8758
1028	1272.8130	629.4364	674.8170	37.2246
1029	1260.3129	814.9795	684.6913	36.1558
1030	1225.9983	839.4372	-4.4184	3.0137
1031	1219.8108	1096.7688	-0.8307	3.4422
1032	1276.0247	1187.6267	690.3064	37.1213
1033	1223.4528	1278.8877	18.5798	3.0488
1034	1284.8901	1523.6013	681.6262	28.7248
1035	1234.0524	1895.3692	21.8304	8.3510
1036	1292.8338	1880.3671	679.4451	38.1328
1037	1221.4588	1493.8696	16.2649	10.8888
1038	1236.7402	447.3386	-2.0402	4.8229
1039	1254.0202	1005.1935	343.8388	29.1489
1040	1244.7512	1351.3829	356.8448	33.9485
1041	1382.9958	1344.4183	682.9675	38.2718
1042	1257.8048	604.4033	338.2031	27.4311
1043	1263.7321	1850.1184	349.2149	37.8911
1044	1298.8381	1030.2911	791.1983	36.8386
1047	1243.1988	801.3257	340.2713	28.5945
1048	1211.0648	908.0092	5.1927	2.7948
1049	1282.5471	1189.4908	348.1194	38.4394

<800kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Reyz
1014	1070.8055	327.5017	687.8612	23.3797
1015	1084.7638	351.1438	342.4692	154.2168
1018	985.7384	349.0913	351.8811	22.7509
1017	1139.6382	282.0549	183.2171	188.8244
1019	1047.8775	365.3923	17.8170	23.0479
1018	1146.8623	370.8982	11.8772	182.4830
1020	1101.3998	304.3584	-181.8984	2.1468
1021	872.8728	339.1430	898.2939	86.7470
1024	1252.5273	486.3303	-3.5403	188.4846
1025	124.9484	1085.9424	1099.2999	11.5083
1026	1346.4218	434.8308	893.4803	86.1278
1027	1221.7875	777.9684	-13.1920	5.2243
1028	1328.3805	632.3255	689.1943	91.0865
1029	1317.2111	817.9404	678.7541	93.2945
1030	1226.5444	845.1889	-4.4109	5.6303
1031	1222.3534	1097.8144	-1.8823	6.4100
1032	1330.8582	1192.0838	685.5282	92.6851
1033	1226.8633	1280.4304	17.5434	5.6043
1034	1340.3798	1527.9228	672.1740	93.2894
1035	1241.0470	1882.8973	30.2777	15.6286
1036	1348.2789	1884.8910	689.3825	96.4481
1037	1232.8777	1495.6013	13.9744	22.3326
1038	1287.7355	336.8531	-80.2124	180.7715
1039	1305.8104	1011.6994	336.2921	91.5071
1040	1295.2353	1354.6174	348.5033	85.1574
1041	1336.3183	1348.6866	673.9703	94.3398
1042	1300.4013	608.0095	334.8621	70.3323
1043	1316.7186	1854.3298	337.8807	92.1881
1044	1325.8908	1034.7181	894.1389	94.5403
1047	1286.0827	805.7908	338.9511	71.8119
1048	1212.8975	818.0993	-5.3884	6.0801
1049	1313.9437	1173.5732	338.3888	91.4803

<1,200kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Reyz
1013	1022.9681	338.0423	684.8988	41.5283
1014	1120.0228	328.8293	681.8624	35.7405
1015	1011.8474	360.8308	347.8267	182.2837
1016	1108.8821	363.1982	336.8057	115.8920
1017	1185.7712	284.3881	189.0879	189.8679
1018	1057.8490	365.9607	16.1347	33.3281
1019	1157.0021	372.4014	0.7802	187.7838
1020	1102.1212	304.8490	-181.8944	2.9654
1021	823.8078	339.5834	896.4888	136.3907
1022	828.5772	360.0412	883.8306	173.5249
1024	1261.8936	468.6587	-6.3240	167.7454
1025	144.8519	1064.3020	1085.8986	33.5024
1026	1348.6982	348.2049	887.1443	119.3558
1027	1223.9951	778.4012	-13.5809	7.4692
1028	1378.9725	633.2457	688.0922	144.4808
1029	1368.8229	818.8602	688.8184	145.7508
1030	1230.7376	940.3341	-4.8226	7.8498
1031	1224.7647	1067.4182	-3.8175	9.1748
1032	1378.8928	1194.1747	675.2713	141.4088
1033	1226.9989	1260.7027	14.8580	3.8030
1034	1395.9383	788.4489	888.3044	223.8102
1035	1244.8898	1683.4679	17.3889	30.3055
1037	1237.7440	1495.8574	12.8586	27.3430
1038	1289.8488	331.6515	-79.8181	180.2183
1039	1348.2243	1016.2670	328.2021	135.4281
1040	1337.0312	1369.6099	338.7721	128.0069
1041	1385.7382	1360.8889	685.3838	142.8171
1042	1342.4615	610.3373	325.7294	113.1611
1043	1359.5481	1557.0522	326.7742	136.4101
1044	1377.6857	1036.7729	883.9241	147.4031
1047	1326.3902	808.6397	329.7412	112.6931
1048	1216.8703	811.2114	-5.1460	6.8193

표 3-9-4. 화상처리에 의한 Type II의 3차원 변형

<200kgf>					<400kgf>				
Prnt. no.	X	Y	Z	Roxyz	Prnt. no.	X	Y	Z	Roxyz
1007	1041.3104	477.5501	420.8017	41.0177	1006	877.8675	303.8193	97.0449	13.8163
1008	981.5581	287.9878	37.9548	8.8181	1007	978.7294	480.8161	431.0953	23.5186
1009	1151.1433	470.0138	486.5708	40.9148	1008	987.9897	298.7333	97.7328	12.8386
1010	1091.7527	296.4754	90.9128	8.8281	1009	1075.0387	475.8208	417.4505	37.1221
1011	1260.5578	480.1728	387.7928	40.8169	1010	1067.1893	296.9948	90.4694	11.8485
1012	1202.3073	291.3705	81.3212	6.7962	1011	1183.8007	488.1521	402.9774	39.7418
1013	1201.8489	204.4825	-85.0020	1.8315	1012	1206.7502	291.7284	80.6718	11.0291
1014	1208.4082	187.8290	211.3802	21.1361	1013	1201.5961	206.5968	-82.9492	3.0838
1015	1287.3441	180.0081	941.0313	48.0621	1014	1228.0102	187.8898	209.4128	37.8709
1016	1386.2205	446.0115	386.4103	40.7766	1015	1282.2042	458.3189	393.4073	54.0135
1017	972.7187	255.8888	757.1811	48.5238	1016	914.4958	268.9611	764.0898	17.5330
1018	1071.2007	245.8928	743.3417	48.8152	1017	1012.5815	267.9895	750.6428	16.8291
1019	1198.9442	224.8313	734.3713	48.4838	1018	1110.0991	247.1349	738.5242	22.7829
1020	1270.1871	230.8373	728.5798	48.5838	1019	1204.9852	225.8021	727.2982	18.5922
1021	1388.4342	216.8745	724.9978	48.4741	1020	1307.2138	232.8805	718.0908	48.0918
1022	873.6843	257.5277	773.1789	48.4292	1021	814.2139	272.4894	778.9828	13.1163
1023	845.8894	493.8860	444.5269	41.8554	1022	758.4103	504.3293	487.5842	82.3243
1024	772.4385	271.9880	791.9470	38.3881	1023	1490.4270	299.0980	718.7227	84.4824
1025	1484.8015	287.9860	724.3445	48.5880	1024	1483.3324	483.8861	717.8398	88.3614
1026	1447.2253	484.8844	727.384	48.5404	1025	1388.8834	778.2895	88.2721	4.0913
1027	-391.8393	211.8841	888.5522	8.5017	1026	1488.1818	860.7148	782.596	81.1708
1028	-393.2188	202.7831	880.4886	2.8802	1027	1588.0817	670.8304	729.883	88.8898
1029	1388.5386	782.1017	88.2828	3.4828	1028	1487.2999	888.8897	407.489	85.8347
1030	1483.5034	884.8888	774.500	48.9848	1029	1408.7845	1248.8017	125.0333	10.9825
1031	-380.8273	212.7244	888.8888	4.7188	1030	1522.7023	1233.3108	788.988	87.5423
1032	1471.8288	873.3261	740.488	51.2318	1031	1533.8818	1388.8898	788.181	88.3128
1033	1488.2125	977.2435	418.888	51.8821	1032	1427.8227	1888.8878	148.4244	10.8743
1034	1488.5873	1286.8486	128.988	8.1188	1033	1528.1845	1588.8303	794.338	88.0338
1035	1488.1878	1240.4031	784.881	58.3440	1034	1378.0078	386.3834	73.1478	9.9278
1036	1488.3888	1388.8888	778.278	58.8281	1040	1471.7882	829.3242	378.4848	71.8212
1037	1428.8288	1818.4288	147.5371	2.5868	1041	1488.2241	1401.4341	441.5848	74.8483
1038	1584.8873	1388.8483	880.728	83.5483	1042	1588.8873	1881.3188	748.3732	87.8728
1039	1372.1888	387.2115	74.8818	8.7780	1091	1382.4078	267.8614	-81.5384	9.8188

<700kgf>					<900kgf>				
Prnt. no.	X	Y	Z	Roxyz	Prnt. no.	X	Y	Z	Roxyz
1003	827.8878	223.8888	247.3878	57.8888	1003	842.3833	222.5541	248.4818	72.2287
1004	958.8878	218.2487	578.3881	184.8818	1004	988.1788	218.8448	574.8163	174.8878
1005	933.8878	491.8881	443.3152	32.0483	1005	958.1808	491.8724	440.4318	58.5843
1006	893.2811	302.8374	98.0018	29.5418	1006	904.3750	302.9827	98.1292	37.8772
1007	1032.7888	479.9728	429.8527	33.8888	1007	1057.9838	479.2865	427.7188	58.0887
1008	1004.8277	297.8184	95.1888	29.8888	1008	1012.8348	297.2484	93.9881	37.8872
1009	1128.7118	474.8887	414.8848	20.2783	1009	1153.9884	473.9827	412.5888	43.5883
1010	1114.8248	295.2428	87.1588	29.8883	1010	1122.7471	294.7846	85.8127	37.9838
1011	1238.2848	488.8838	399.1131	18.5823	1011	1263.4148	488.7160	398.4820	43.4948
1012	1225.0014	288.4795	76.5730	29.8875	1012	1233.1102	288.9811	74.8358	38.2112
1013	1208.3871	204.4877	-88.4883	6.2882	1013	1287.5410	204.5847	-87.1332	7.8820
1014	1283.1288	183.8847	202.7017	78.3888	1014	1284.8888	182.4778	199.8717	87.3848
1015	1388.0338	180.8198	488.8818	183.2885	1015	1298.1333	222.9884	721.2883	188.4442
1016	1347.8488	488.8738	388.3878	4.1417	1016	1372.8188	488.8238	388.3810	27.2428
1017	874.1288	288.8888	788.8882	81.8828	1017	902.3827	288.3757	778.8888	31.0848
1018	1072.8483	294.8828	781.1371	81.3238	1018	1083.3381	298.1887	782.4988	33.2488
1019	1171.1884	244.3884	734.8128	88.7031	1019	1182.1870	283.8253	748.9898	34.9828
1020	1288.7718	223.8238	724.8182	48.2422	1020	1288.4424	243.8278	731.8338	24.8148
1021	1388.8318	223.8817	714.3884	34.2134	1021	1398.1724	229.8260	710.7706	51.7888
1022	873.8840	288.5387	777.8318	48.4240	1022	832.8888	584.1814	487.4888	31.4487
1023	888.8847	584.5284	488.1384	17.8378	1023	1527.4729	218.4382	788.284	148.3880
1024	1488.8778	218.3178	711.848	128.2344	1024	1578.8848	483.8448	787.148	178.1888
1025	1547.2123	483.7328	711.537	180.4728	1025	-391.3297	220.4888	882.3832	8.1881
1026	-383.8888	212.1888	888.7211	7.8888	1026	1482.8883	782.4888	84.3871	20.4532
1027	-382.8818	212.4838	882.2888	23.1888	1027	1877.1837	883.9883	781.7832	178.1212
1028	1398.8881	782.1227	88.5238	18.7883	1028	1888.1844	672.7888	718.8884	181.8878
1029	1881.3870	883.7288	798.814	148.2387	1029	1384.4832	888.3888	382.183	183.8847
1030	1872.8345	672.8818	723.217	183.5358	1030	1425.8331	1258.8881	118.4917	25.1118
1031	1542.5288	888.8188	387.548	141.8824	1031	1888.2739	1288.1888	738.818	178.2838
1032	1421.8822	1225.1883	121.447	30.8812	1032	1818.8821	1388.9828	748.852	188.8388
1033	1882.8838	1228.7888	743.818	147.3888	1033	1448.8888	1618.4887	138.9888	38.7188
1034	1882.8878	1388.2888	782.888	188.9878	1034	1818.2887	1588.4128	788.714	188.8388
1035	1481.8845	1618.1834	141.481	17.8888	1035	1483.4888	383.2485	88.8188	38.2148
1036	1888.2888	1888.8127	788.888	147.8831					

표 3-9-5. 화상처리에 의한 Type III의 3차원 변형

<360kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Rayz
1017	1157.0047	313.6605	488.1750	30.7623
1018	1265.0412	320.4434	145.1018	18.8495
1019	1373.1116	299.8264	845.5483	45.8763
1020	1319.7159	184.9525	651.4058	34.9468
1021	1272.3190	330.4524	303.9932	27.8887
1022	833.1196	329.5567	165.9947	9.1872
1024	1269.1326	307.0410	489.0924	33.9422
1025	1305.5905	222.0873	-31.2909	15.0185
1026	1295.4526	299.7779	487.5388	37.1020
1028	1694.1218	148.2221	536.2802	10.8783
1029	689.9372	313.8952	890.0301	35.8917
1038	1484.3956	784.0222	875.2796	51.3823
1040	1442.4782	779.7232	904.7718	38.3373
1041	1482.4596	968.1285	603.5388	39.5548
1042	1488.1501	813.8762	185.5759	28.0548
1043	1475.8472	1078.2011	194.4080	29.3077
1044	1483.5111	1165.7322	921.2048	66.7868
1045	1481.9508	1147.2235	521.5975	41.0473
1046	1488.5771	1338.7025	525.5493	43.5954
1047	1504.9574	1298.2280	184.0148	39.6906
1048	1477.1051	1342.9252	690.3000	62.0703
1049	1506.9024	1488.2287	189.8128	35.3024
1050	1491.2458	1505.4528	875.9415	61.4822
1061	1816.1767	1672.2188	898.9984	84.6048
1062	1932.2877	1701.7353	190.6975	37.3898
1063	1446.8574	731.5425	172.0299	19.5785
1064	1436.7280	968.0459	659.6988	49.6769
1065	1430.5277	628.7972	495.2718	38.1888
1066	1435.3368	558.8519	153.0645	23.9543
1067	1497.1270	1558.4348	547.5955	50.3831
1068	1438.6716	373.7776	833.8981	47.1543
1061	1453.3477	395.2340	487.1743	39.6053
1062	1437.1825	324.0469	134.8998	22.4425

<650kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Rayz
1017	1201.8919	311.3299	484.5863	75.5229
1018	1285.2475	321.8242	148.2407	37.8515
1019	1312.0044	281.3400	831.5822	20.0219
1020	1263.2342	184.8258	638.8348	138.3581
1021	1306.4098	301.3298	305.1408	60.6832
1022	864.2647	321.8051	174.6280	37.9126
1024	1324.8127	304.4178	482.0283	75.9180
1025	1315.0239	226.7359	-27.9954	18.4056
1026	1438.1857	295.8202	478.2263	78.5492
1028	1640.6005	149.9129	536.8880	19.8833
1039	6511.8498	747.5717	892.9721	100.0445
1040	1483.3578	783.1980	498.6561	80.1911
1041	1492.9185	948.0171	495.5471	80.5184
1042	1474.0053	899.2687	187.7301	38.3842
1043	1495.2041	1057.9189	195.9418	40.8253
1044	1513.4752	1139.2127	804.8768	105.9034
1045	1494.8841	1122.5992	516.0030	83.0725
1046	1512.9875	1301.8634	818.8819	84.3384
1047	1511.5376	1275.7705	187.6374	28.3226
1048	1527.3038	1312.0955	875.3884	110.8078
1049	1520.7303	1489.4439	192.0200	38.0835
1050	1541.7383	1473.4837	885.8831	108.8987
1051	1568.8489	1633.2789	892.9201	110.8632
1052	1531.8288	1669.4477	183.1862	35.7444
1053	1461.7878	721.0649	175.3239	33.2300
1054	1483.4530	598.7118	842.4881	87.7220
1055	1471.1099	615.2374	499.7559	79.9603
1056	1449.5950	591.3627	155.8400	38.3312
1057	1539.8305	1622.6979	641.6378	87.1880
1058	1480.9731	387.4638	818.1558	93.7588
1061	1491.0567	382.8622	477.9911	37.2108
1062	1482.9889	303.4708	137.8377	27.8522

<800kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Rayz
1017	1112.2064	313.5615	493.9394	17.3851
1018	1283.6347	320.8724	148.6850	45.4871
1019	1337.1929	289.9640	830.3907	16.5454
1020	1388.8825	182.5402	637.9481	181.2110
1021	1322.4603	199.8903	308.5405	78.8138
1024	1222.7525	309.2183	484.7348	37.9778
1025	1319.8820	228.5910	-33.5417	22.9336
1026	1345.6314	302.2527	480.7532	21.3135
1028	1669.7246	155.1439	530.2116	1.3288
1039	1528.2385	744.9425	857.8835	125.7274
1040	1505.8575	760.6837	496.2317	102.7312
1041	1514.8489	943.9170	493.5901	102.4298
1042	1482.8422	898.4008	188.1399	48.1944
1043	1503.8542	1057.1772	194.4411	49.6323
1044	1540.8037	1138.4879	902.0818	133.8198
1045	1517.9115	1118.8863	613.7883	106.3080
1046	1536.3799	1289.7458	817.3205	107.9207
1047	1519.7738	1274.8611	188.2114	31.7643
1048	1594.7384	1303.2753	872.4933	138.4385
1049	1529.1465	1458.5526	190.4822	47.8013
1050	1569.4188	1470.5892	862.9825	138.8457
1051	1594.7483	1630.4478	879.9034	138.8114
1052	1534.8312	1607.1437	191.2348	22.2684
1063	1470.2230	720.0479	174.3391	41.7282
1054	1509.2298	554.1364	839.8511	123.7649
1055	1492.8290	612.8903	487.3427	101.9291
1056	1498.0005	690.8008	154.8222	48.9838
1057	1563.0579	1520.4244	538.9048	110.5727
1058	1444.8860	383.4228	826.1512	112.1257
1061	1512.6695	380.1978	474.9471	98.0843
1062	1460.8801	393.3943	136.4462	45.1485
1063	1559.7910	951.6790	859.2759	134.3984

<1,200kgf>

Prot. no.	X	Y	Z	Rayz
1017	1154.1584	308.9755	495.8920	30.2698
1018	1307.3388	319.4480	147.1728	59.3286
1019	1387.5506	284.2393	826.9400	62.3892
1020	1284.4752	305.8137	484.1995	59.2531
1021	1382.3796	196.7067	306.4386	116.8349
1024	1387.2173	298.2789	477.4806	53.7584
1025	1325.7863	226.4715	-24.6316	29.2505
1026	1500.4001	290.4043	470.7878	138.8223
1028	1661.0260	154.9454	629.7954	3.6817
1039	1588.8205	739.9890	850.0948	178.8922
1040	1548.5189	758.9198	489.0996	146.2542
1041	1557.4588	938.8798	485.8199	148.5232
1042	1496.8294	897.3802	182.6201	62.5879
1043	1518.3263	1055.9044	191.1127	64.4334
1044	1594.4335	1139.4595	894.6217	187.7788
1045	1582.3145	1118.0853	507.8277	181.2013
1046	1581.0085	1295.8104	810.1334	183.1783
1047	1528.2862	1272.1811	182.5332	41.1405
1048	1607.8588	1304.2910	864.7718	182.2728
1049	1542.8187	1487.5338	188.8860	61.8388
1050	1622.8877	1485.4751	855.0447	191.6798
1051	1648.7300	1625.2871	871.4310	193.4888
1052	1538.4031	1688.3742	188.0509	27.9205
1053	1484.7882	718.9428	171.9815	66.6554
1054	1588.8204	549.4552	832.3625	175.1588
1055	1538.1102	808.3484	481.0521	144.8895
1056	1471.7894	550.3120	151.7338	60.9176
1057	1607.2145	1518.4322	631.4461	186.4221
1058	1485.1008	278.8389	820.2368	147.4055
1061	1553.3020	376.0848	467.9940	141.0644
1062	1473.9006	393.0140	133.4441	58.3773
1063	1611.8262	948.7562	891.2217	119.1560

4. 결론

강봉으로 접합된 사방댐 Type A와 Type B의 동일 하중 부하에 따른 변형 화상처리를 통해 분석하여 본 결과, Type A의 사방댐이 Type B 보다 상층부분은 1.55배, 하층부분은 2.58배의 큰 변형을 보였다.

어닐링 철선으로 접합된 사방댐은 Type I 과 Type III은 동일하중에서 비슷한 변형을 보였다. 그러나 중간부와 하단부의 종목 배열이 다른 Type II는 Type I 과 Type III에 비하여 약 2배의 변형을 보였다. 어닐링 철선 사방댐은 하중을 받는 상단부와 하단부의 변형차가 컸다. Type I 과 Type III을 비교해 보았을 때 변형의 차이가 크지 않아 쇠석은 사방댐 변형에 큰 영향을 미치지 않았다.

사방댐의 하층부분보다 상층부분에서의 변형이 크게 일어나므로 하중의 영향을 받는 상층부분의 보강재 사용이 요구되어진다. 또한, 기초부분이 사방댐의 큰 역할을 하므로 기초부분의 보강도 필요하다. 접합구에 따른 변형을 비교해보면 강봉으로 접합된 사방댐이 어닐링 철선으로 접합된 사방댐보다 변형이 적었다. 하지만, 강봉을 이용하는 방법은 사방댐 건설시 작업이 어려운 단점이 있어 변형이 적으며 작업이 쉬운 횡목, 종목 부위의 접합구의 개발이 필요하다.

제10절 목재 사방댐의 적용기준

1. 목재의 특성을 활용한 사방댐의 채택방법

가. 개론

사방댐에 「목재」를 적극적으로 활용하기 위해서 파악해야 할 목재 고유의 특성 중에서 특히 중요한 것은 다음과 같은 5개 항목이다.

- ① 재질이 시간적으로 변화하는 성질, ② 우수한 환경성, ③ 강도 특성, ④ 시공성, ⑤ 경제성

① 재질이 시간적으로 변화하는 성질

목재가 갖고 있는 특성 중에 대기(특히 건습을 교대로 받는 경우) 중에서 부후에 의한 재질변화가 있다. 부후의 원인은 부후균에 의한 목재성분의 분해이지만, 이에선 균의 영양이 되는 성분의 존재, 수분, 공기, 온도 등이 관여하고 있다.

일반적으로 부후가 목재의 재질변화에 미치는 영향으로 인식되고 있는 것이 강도면에서의 열화이지만, 변색이나 목질부의 분해 등도 있다. 부후의 정도나 속도는 목재의 종류, 벌채시기 및 사용조건에 따라 크게 다르다. 목재의 부후 이외에도 충해 등에 의해 재질이 변화하는 경우도 있다. 그러나 수중에 안정하게 사용되는 경우에는 100년을 초과하는 내구성도 기대할 수 있는 경우가 있다.

한편, 부후나 변색을 방지하기 위한 약제도포, 약제주입, 가공, 탄화 등의 기술도 사용되므로 상황에 따라 그것들을 채택할 수도 있다.

② 우수한 환경성

목재활용공법은 다른 재료를 활용한 공법에 비해 환경면에서 우수한 공법이라고 할 수 있다. 그 이유는 우선 천연소재이며, 사람의 눈에 부드럽게 느껴진다는 점, 주변의 자연풍경에 잘 어울려 위화감이 없는 경관성이 우수한 구조물이 될 수 있다는 점을 들 수 있다. 또한 목재활용공법은 간격이 많은 구조물일 뿐만 아니라 그 간격이 불균하기 때문에 어류나 먹이가 되는 소동물의 생육장소, 생식장소 등의 기능을 하거나, 시간이 경과함에 따라 식물의 침입이 용이한 조건이 만들어지기 때문에 동·식물에게도 좋은 환경이 만들어진다는 점 등을 들 수 있다. 또한 콘크리트 등에 비해 복사열이 억제되기 때문에 수온의 상승을 억제하여 수생생물의 서식에 좋은 소재로 활용될 수 있는 것으로 알려져 있다.

그러나 시간이 경과함에 따라 경관성이 조금씩 나빠져 소기의 목적을 달성할 수 없게 되거나 식재기반으로서의 기능이 충분히 발휘되기 이전에 부식하여 유효한 기능을 다하지 못하기 때문에 이것에 대하여 충분히 유의한 계획이나 관리방침을 검토해야 한다.

생물에 대한 효과는 일반적으로 인정되고 있지만, 목재활용공법을 폭 넓게 채택하기 위해서는 생물과의 관계(시간적 경과와의 관계를 포함)에 대한 자료의 수집을 통한 정확도 높은 정보에 근거한 지침작성이나 공법개발이 이루어져야 한다. 또한 방부제 등을 사용할 경우에는 생태계에 미치는 영향 등 환경적인 측면에서의 이점이 상실되지 않도록 유의할 필요가 있다.

③ 강도 특성

목재의 강도가 콘크리트 등에 비해 떨어진다는 점, 더욱이 부후에 의해 강도가 점차로 나빠진다는 점, 그리고 목재별로 보유하는 강도의 편차가 크다는 점 등의 특징이 있기 때문에 외력이 크게 작용하는 장소에는 기본적으로 채택을 피할 필요가 있다. 또한 구조물로서의 강도에 대한 높은 신뢰성이 요구되는 시설에 대해서도 목재의 채택은 신중해야 한다.

④ 시공성

목재는 가볍다는 점, 현지조달이 용이하다는 점, 중기계를 필요로 하지 않는 공법이 많다는 점 등의 이점이 있다. 더욱이 한랭지나 동절기에 콘크리트를 타설할 때에는 품질관리가 매우 중요하지만, 목재는 일반적인 시공에 있어서 특별히 계절을 고려할 필요가 없다. 또한 지반의 변형에 적응하기 쉽다는 이점이 있다. 그러나 반대로 입수의 확보가 필요하다는 점, 시공에 경험이 중시되는 데에 비해 시공기술을 갖고 있는 기술자의 감소·고령화가 진행되고 있다는 점 등의 과제가 실제로 많다. 앞으로 목재활용공법의 적용 확대, 시공기술에 대해서도 적절하게 지속되어질 뿐만 아니라 공법의 개량, 나아가서 시공에 대한 기술이 적절하게 축적·분석되어 새로운 시공기술의 개발이나 기술자의 육성이 증진되어야 한다.

⑤ 경제성

경제성에 대해서는 재료의 가격, 시공을 포함한 공사비에 상당하는 가격, 환경에 대한 영향 등을 포함한 가격이라고 하는 3가지의 평가방법이 있다. 그러나 이들 중에서 건축자재로서 활용되는 경우의 치수나 크기(굵기) 등과 같은 높은 규격을 요구하는 것을 전제로 하는 것이 아니라 간벌재 이용에 주안을 두어야 한다. 그러나 유통경로가 복잡하다는 점이나 가공재를 활용할 경우 비용이 높아지는 경우도 있다. 지역에서

생산된 목재를 통나무의 상태로 활용하는 경우는 생산자나 유통관계자에게도 비용절감이 가능하다는 점 등과 같은 목재를 많이 사용할 수 있도록 노력해야 할 점이 많다. 어쨌든 목재가 상시 이용되도록 산림행정관계자 등이 적극적으로 계획하여 싸고, 수요에 따라 안정적으로 공급할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요하다.

나. 재질이 시간적으로 변화하는 성질의 활용

목재의 특성 중에는 「부후」에 의한 재질의 변화가 있다.
 따라서 목재 사방법을 채택할 때에는 「재질의 변화를 어떻게 검토할 것인가」에 대하여 사용법이나 구조적 특징에 대하여 검토한다. 이 때 특히 다음과 같은 2항목에 대하여 유의할 필요가 있다.

- ① 재질의 변화가 이점이 될 수 있는 사용법
- ② 재질의 변화에 대하여 적절하게 대처할 수 있는 사용법

부후 등에 의한 재질변화의 영향으로는 「강도」가 비교적 단기간에 떨어지거나 「색」이 검어지는 색조 변화를 들 수 있다.

그러나 어떠한 구조물일지라도 강도나 품질이 시간적으로 변화하는 것은 피할 수가 없다. 콘크리트 구조물 등은 일단 건축되면 반영구적인 내구성을 갖는 것으로 인식되어 관리되어 온 면도 있지만, 물과의 접촉, 유수나 토사의 작용 등에 의한 마모, CO₂에 의한 중성화나 동결·융해에 의해 확실하게 열화하며, 철강재 등도 부식에 의해 열화한다.

한편, 산지계류도 그 특성이 시시각각 변화하고 있다. 즉 홍수나 토사의 유입, 공작물의 설치 등에 의해 수층부가 변화하거나 계상재료의 입경이나 조성이 변화하고 있으며, 환경면에서는 식물이나 어류 등의 생물상도 변화하고 있다. 이와 같이 구조물과 계류특성이 함께 변화하는 실태를 정확하게 파악해야 목재활용공법을 적절하게 채택할 수 있게 된다.

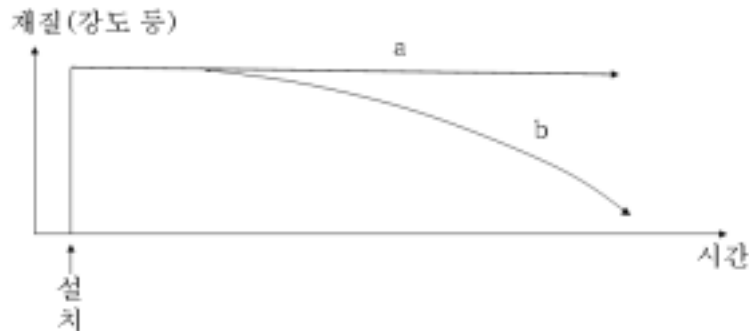
① 재질의 변화가 이점이 될 수 있는 사용법

사방공법의 전부가 장기간의 내구성이 요구되지는 않는다. 오히려 장기간에 걸쳐 콘크리트가 드러나는 공법은 환경이나 경관면에서 평가받지 못하는 상황도 나타나고 있다. 이 때문에 공법을 채택할 때에는 해당 공법이 어느 수준의 재질을 어느 기간 동안 요구하는가를 파악하고, 그에 알맞은 공법을 채택하는 것이 중요하다. 예를 들면 산복공이나 목제비탈면격자틀 등과 같이 식재한 식물이 생육하여 정착하기까지 기반

으로 사용되는 경우에는 식재물이 기반에 정착하게 되면 공법(공법에 사용한 재료)은 불필요하게 되므로 목재공법은 열화가 늦은 다른 재료의 구조물보다 유리하다.

② 재질의 변화에 대하여 적절하게 대처할 수 있는 사용법

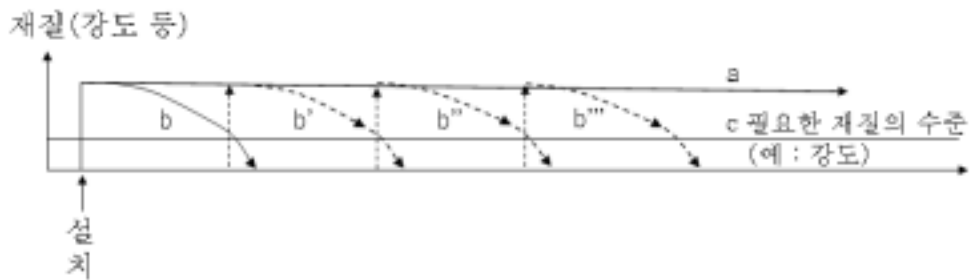
목재의 재질 변화는 채용되는 장소의 조건에 의해 크게 좌우된다. 물속에서 안정되게 사용하는 기초말뚝은 그림 3-10-1의 (a)의 라인에서 알 수 있듯이 콘크리트 구조물에 비해 열화하지 않는 내구성을 가지며, 재질의 변화를 고려할 필요가 없이 사용할 수 있다.



- a : 콘크리트 구조물, 수중 등에서 안정하게 사용되는 목재활용공법의 이미지 (재질 변화의 속도가 늦음)
- b : 대기 중에 사용되는 목재활용공법의 이미지(비교적 단기간에 재질이 변화함)

그림 3-10-1. 목재가 변화하는 이미지

그러나 대기 중이나 수제로 사용되는 많은 공법은 그림 3-10-2의 b, b', b'', b''' 라인과 같은 재질의 열화가 생긴다.



- a : 콘크리트 구조물, 수중 등에서 안정하게 사용되는 목재활용공법의 이미지 (재질 변화의 속도가 늦음)
- b : 대기 중에 사용되는 목재활용공법의 이미지(비교적 단기간에 재질이 변화함)
재질이 일정한 수준 c에 달하면, 교체나 재설치의 필요성에 대하여 체크를 요함.
그 결과 필요하면 교체나 재설치하여 b'로 한다. 이하 b'', b'''는 같음)

그림 3-10-2. 재질의 변화에 대하여 적절하게 대처하는 사용법의 시간적 개념도

재질의 변화를 보완하기 위한 가장 일반적인 대응방법은 교체이다. 이때에 효율적으로 교체할 수 있으면 관리 부담은 상당히 경감될 수 있으며, 이로 인해 채택하려는 의욕도 기대할 수 있다. 더욱이 교체시기가 계류관리상의 점검이나 하도특성의 변화 등에 잘 맞게 되면, 목제사방댐은 오히려 계류관리상 유리한 공법으로 인정받을 수 있으며, 변화의 상황에 따라서는 공법의 유지가 불필요하게 되는 경우도 있다.

한편, 그림 3-10-2에 있어서 a와 같이 변화하는 것은 기슭막이나 바닥막이와 같이 수중에 안정하게 설치된 경우이다. 또한 수제공 등은 b와 같이 재질이 변화하지만, 하도특성이 역시 변화하여 해당 공법이 불필요하게 되면, 그 후의 교체나 재설치는 불필요하게 된다.

다. 우수한 환경성의 활용

목재를 채택하게 될 때 환경면에서의 대표적인 장점은 다음과 같다.

① 경관보전에 관한 이점

우수한 자연경관에 콘크리트 사방댐이 시공되게 되면 장기간에 걸쳐 눈에 띄게 되어 이질감이 지속적으로 유지되지만, 목재로 콘크리트면을 피복하면 주변 경관에 어울릴 수 있게 된다.

② 생태계 보전에 관한 이점

목제사방댐은 간극을 만들거나 표면의 부드러움을 유지하는 점에서 우수하며, 특히 요철 등은 생물의 피난처로 이용되어 대형 동물의 먹이가 되는 수생생물의 번식장소가 된다.

① 경관보전에 관한 이점

목재를 채택하는 이유는 「경관을 배려한다」는 점이다. 즉 목재의 장점은 「㉠ 특유의 질감이 있으며, 이것을 잘 살리게 되면 환경재로 유효하게 활용할 수 있다. ㉡ 생명감과 따듯함이 있다」 등을 들 수 있다.

이와 같이 목재는 경관재로서의 이용가치는 높지만, 부후에 의해 표면이 변색되기 쉽고, 이로 인해 경관성이 도리어 저하하는 일도 있기 때문에 상황에 따라서는 표면의 변색에 대한 유지관리가 필요하다. 또한, 목재를 경관재로 이용할 경우 주의해야 할 점은 그 지역의 고유 소재를 이용하는 것이 중요하다. 이는 주변 경관에 잘 어울리고, 미묘한 위화감을 배제한다는 의미로 우수한 환경성을 유효하게 활용하는 방안이 될 수 있다.



그림 3-10-3. 사방댐에 있어서 수경의 이미지

경관의 보전을 배려한 공법의 효과에 대한 시간경과를 모식화하면 그림 3-10-4와 같다. 굵은 점선은 사방댐의 표면을 콘크리트로 시공한 경우의 경향을, 실선은 목재 사방댐을 시공한 경우의 경향을 모식적으로 표현하고 있다. 이 그림에서는 목재사방댐이 콘크리트 사방댐에 비해 구조물 설치에 의해 경관의 저하를 감소시킬 수 있다는 것을 나타내고 있다. 그러나 방치하면 두 경우 모두 서서히 당초의 아름다움이나 주변 경관과의 조화로움이 저하하기 때문에 어느 시점에서 교체·보수를 필요에 따라 실시한다.

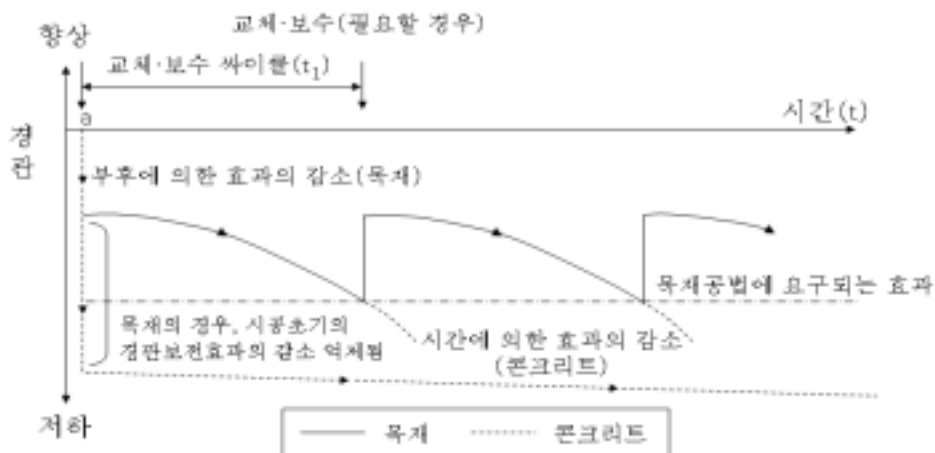


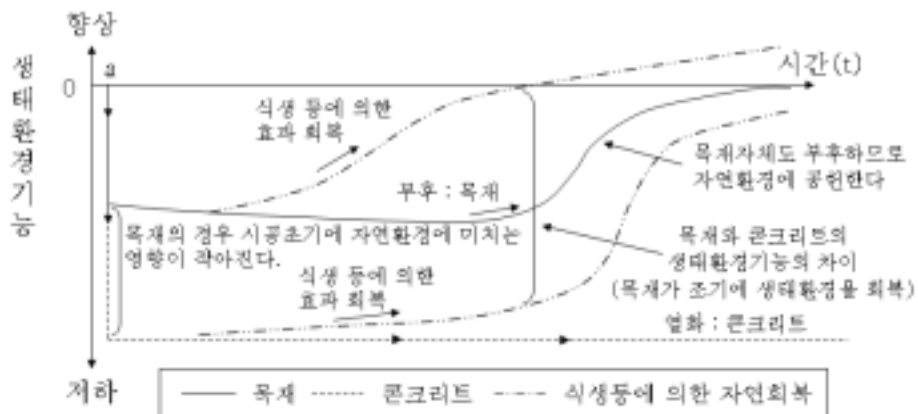
그림 3-10-4. 경관을 배려한 사방댐 수경재의 채용효과에 대한 이미지

그러나 위와 같이 댐의 표면에 「외장」 재로서 목재를 이용하는 경우는 유지관리를 포함하면 상당히 비용이 증가되기 때문에 채택할 때에는 그 의미를 충분히 정리해 둘 필요가 있다.

② 생태계 보전에 관한 이점을 활용한 공법 채택

소위 근대공법은 생태환경이 단조롭게 된다는 비판이 있지만, 목재활용공법은 표면의 요철이나 간극구조가 만들어진다. 석재와 조합하게 되면 공간이 더욱 많아지며, 이것이 어류·곤충류·조류 등에 의해 생식하기 쉬운 환경을 창출한다.

생태환경과 시간과의 관계는 그림 3-10-5와 같이 환경특성(생태환경의 보전)을 배려한 것을 이미지화한 것이다. 일반적으로 목제사방댐은 콘크리트댐에 비해 시공에 의한 환경기능저하가 억제되며, 경과년수에 비례하여 경관보전효과가 회복하기 쉬운 특징을 갖고 있다고 할 수 있다.



※자연환경조건에는 생물의 생식장소의 보전·회복 등 다양한 형태가 있으며, 형태에 따라 그림의 형태가 달라짐.

※a는 시공 직후의 위치이다. 가로 축은 자연환경 축으로 제로의 위치에 있는 a는 시공 직전에 있어서 해당 장소의 생태환경 보전수준으로 공법을 채택하게 되면 일단 저하되지만, 시간이 경과함에 따라 그 수준이 유지되거나 식생 등에 의한 회복효과가 나타나는 것을 의미한다.

그림 3-10-5. 생태계 보전을 배려한 목제사방댐을 채택한 경우의 효과



그림 3-10-6. 목제사방댐의 시간적 변화 상황

라. 강도특성의 활용

목재는 강도나 지속성에 관한 특성이 있다.
 강도에 관해서는 다음의 특성을 잘 활용하면 채택할 수 있는 범위가 확대될 수 있다.

- ① 강도가 다른 재료에 비해 낮다
- ② 목재의 종류에 따라 강도가 다르다
- ③ 강도의 시간적 변화(강도저하)가 다른 재료에 비해 크다
- ④ 강도의 시간적 변화(강도저하)가 다른 재료에 비해 빠르다

목재는 위와 같은 강도특성을 갖기 때문에 산지계류의 특성을 충분히 파악하면, 목재의 강도, 내구성에서도 충분히 이용할 수 있기 때문에 목재를 활용하는 쪽이 효과적인 경우나 장소에서는 채택하도록 한다.

① 「강도가 다른 재료에 비해 낮다」는 특성을 활용한다.

목제사방댐은 목재가 갖고 있는 강도에 어울리는 외력이 작용하는 장소에 사용해야 한다. 기본적으로 구조가 단순해야 하고, 적용 사례를 참조하면서 계속적으로 개량해야 한다.

② 「목재의 종류에 따라 강도가 다르다」는 특성을 활용한다.

목재는 그림 3-10-7과 같이 종류에 따라 강도가 다르다. 따라서 엄밀한 강도가 요구되는 경우(복잡한 구조체로 안전율을 수치로 산정해야하는 공법)는 충분히 유의해야 한다.

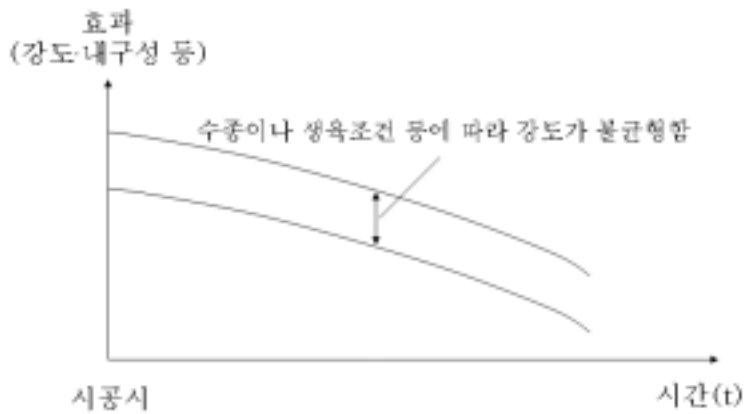


그림 3-10-7. 종류에 따라 재료강도가 다른 경우의 모식도

③ 「강도의 시간적 변화(강도저하)가 다른 재료에 비해 크다」는 특성을 활용한다.
 일정기간 동안만 대상이 되는 부분을 고정하면 되는 경우가 이것에 해당된다. 이와 같은 경우는 강도의 시간적인 열화나 그 원인이 되는 부후가 환경면에서 유리하게 작용한다.

④ 「강도의 시간적 변화(강도저하)가 다른 재료에 비해 빠르다」는 특성을 활용한다.
 그림 3-10-8과 같이 목재를 적용하는 장소의 조건에 따라 강도저하의 속도가 다르다. 이와 같은 강도특성을 살린 공법을 채택할 때에는 사용하는 장소와 강도저하의 관계를 파악해 둘 필요가 있다.

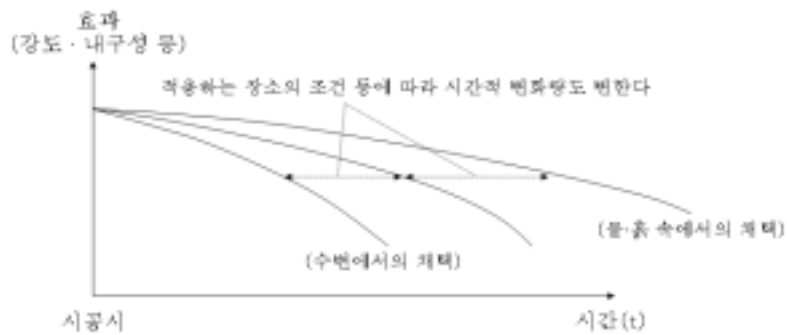


그림 3-10-8. 적용하는 장소의 조건에 따른 시간적 변화의 모식도

일반적으로 강도의 시간적 변화는 부후와 관계가 깊다. 수중에 사용하는 경우에는 100년이 경과하여도 원형을 잘 유지하는 경우가 많다. 즉 사용하는 방법에 따라 강도나 내구성이 콘크리트 등에 떨어지지 않게 사용할 수 있기 때문에 사용장소·사용목적에 유의하여 사용하는 것이 중요하다.

마. 시공성의 활용

목재의 시공성은 다음과 같은 특성이 있다.

- ① 목재는 콘크리트, 철강재 등에 비해 가벼우므로 운반이 용이하다
- ② 현장에서 가공하기 쉽고, 또한 가공할 때 특수한 기자재가 필요하지 않다
- ③ 인력으로 시공이 가능하며, 중기계 등이 필요하지 않다
- ④ 천연재료만으로 구성할 수 있다
- ⑤ 목재 등과 같이 천연재료만을 사용할 경우, 콘크리트 구조물에서 필요한 공정(콘크리트 양생 등)을 생략할 수 있기 때문에 공기를 단축할 수 있다

위와 같은 특성은 많은 인력을 필요로 하고, 경험이 풍부한 기술자를 필요로 하며, 완제품 관리방법을 필요로 하는 등의 시공성에서 마이너스가 되는 면도 있다.

목재를 활용하는 방법은 근대공법에 밀려 시공능력이 있는 기술자의 감소·고령화가 진행되고 있는 등의 과제도 있다. 그러나 앞으로 공법의 보급, 계류환경을 고려한 완제품 관리방법 등을 개선, 그리고 공법의 개량·개발의 진전, 시공에 관한 기술축적·기술자 양성 등에 기여할 수도 있다.



그림 3-10-9. 시공 중인 목제사방댐

사. 경제성 평가에 대하여

공법을 채택할 경우 「경제성」은 매우 중요하다. 목제사방댐이 적극적으로 채택되기 위해서는 종래의 건설비, 유지관리비뿐만 아니라 처리비나 환경부담에 기여하는 비용 등을 포함한 전생애평가공정(LCA)으로 평가하는 것이 중요하다.

① 종래의 경제비교방법과 경향

종래에 행해져 왔던 경제비교는 다음의 비용비교였다.

$$\text{총비용} = \text{건설비} + \text{유지관리비} \dots\dots\dots (\text{식 } 3-10-1)$$

동일 목적의 시설을 건설하려고 하는 경우의 목제사방댐과 RC시설의 경제비교를 종래의 방법으로 비교하면, 통상적으로는 RC시설비용이 경제적으로 유리하게 되는 경향이 나타나며, 그 이유는 다음과 같다.

□□건설비

- 목재비용이 높다(특히 가공품이나 국산재인 것)
- 목제사방댐은 인력에 의존할 수밖에 없다

○RC시설의 강도는 상당히 정확한 품질관리가 가능하지만, 목제사방댐의 재료인 목재는 품질이 균질하지 않기 때문에 재료의 규모면에 여유를 크게 잡아야 한다.

□유지관리비

○목재는 내용연수가 짧기 때문에 유지·보수비가 많이 들며, 교체에도 비용이 든다.

② 앞으로의 경제비교방법

앞으로의 사방사업에 사용되는 공법은 처리비용 및 지구온난화방지(CO₂ 발생량의 절감)에의 공헌도 등의 환경비용을 고려하여 종합적인 관점에서 비용절감을 목표로 할 필요가 있다.

유지관리비 절감 : 시설의 수명연장, 재활용 촉진, 성자원·성에너지화

환경에 관한 비용 절감 : CO₂ 발생량의 절감, 환경조화형으로의 전환, 시책효과 등에 의해 공공사업에 관한 종합적인 비용절감을 목표로 하여 평가하는 것이 바람직하다.

목재는 콘크리트나 철강재와는 달리 칩의 형태로 만들거나 소각 등 (재)처리공정이 간단하기 때문에 (재)처리비가 콘크리트나 철강재에 비해 적게 든다는 장점이 있으므로 이러한 점도 평가항목에 첨가해야 한다.

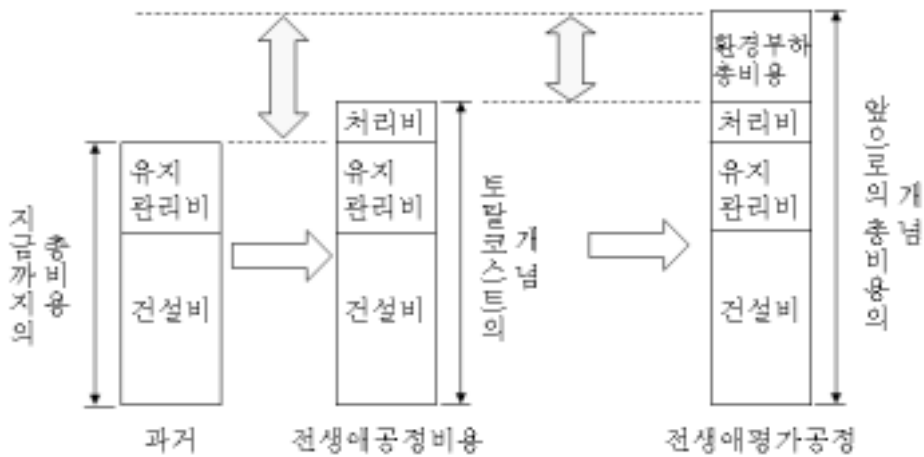


그림 3-10-10. 경제성 평가에 대한 모식도

2. 목제 사방댐의 계획

가. 목제 사방댐의 계획 순서

목제 사방댐의 계획순서는 다음과 같다.

- ① 채택 목적의 명확화(계획구상 만들기)
- ② 1차 선정(환경특성 평가)
- ③ 2차 선정(환경 이외의 특성 평가)
- ④ 채택할 목제 사방댐 추출(목재특성을 살린 공법의 추출)

① 채택 목적의 명확화(계획구상 만들기)

채택 목적은 단순한 것이 아니라 치수 및 이수기능의 향상, 환경기능의 향상 등과 같이 복합적인 목적이 있다는 것에 유의해야 한다. 또한 전통기술의 보전·승계, 개성이 있는 계류조성, 지역조성에의 공헌 등도 목적이 될 수 있으므로 목적을 명확히 하여 형식 등을 결정해야 한다.

② 1차 선정(환경특성 평가)

계획하는 장소의 환경특성을 평가하여 보전이나 창출의 필요성에 대하여 검토한다. 이때에 소기의 기능을 할 수 있을 것인가에 대한 판단은 시공 당시뿐만 아니라 설치장소나 재질의 시간적 변화에 관한 예측평가도 필요하다.

③ 2차 선정(환경 이외의 특성 평가)

하천의 특성은 「유수나 토사의 작용」 하는 것이기 때문에 목제사방댐은 이들의 작용에 대한 안정성 향상, 2차 재해의 방지에 대한 평가는 채택을 결정할 경우에 매우 중요하다.

④ 채택할 목제사방댐 추출(목재특성을 살린 공법의 추출)

최근에 들어 「유수나 토사의 작용」에 대한 평가는 수치에 의한 방법이 주로 사용되고 있지만, 목제사방댐은 구조가 비교적 단순하고, 외력이 크게 작용할 경우 다소의 변형이나 파괴가 콘크리트 등에 비해 상대적으로 유연하기 때문에 수치화에 의한 평가보다는 시공사례에 의해 판단하여 시공가능한 장소를 경험적으로 파악하는 시공방침을 배제할 필요는 없다고 생각된다.

그러나 다른 재료를 사용할 경우와의 비교가 필요할 경우에는 유속 등을 지표로 하는 채택방법을 도입, 적용해야 할 때가 있다. 또한 구체적인 역학 설계를 필요로 하는 경우에는 적절하게 외력을 설정하여 안정성을 검토해야 한다.

나. 1차 선정(환경특성 평가)

계획할 장소의 환경특성의 평가는 「경관의 보전」과 「생태환경의 보전」을 실시한다. 장소별 환경특성은 현지답사, 환경에 대한 자료에 의해 적절하게 실시하며, 환경평가는 「환경퍼텐셜」의 개념을 사용한다.

이어서 계획할 장소에 대한 환경기능의 보전·창출을 위한 채택방침을 입안한다. 입안은 현재의 상황에 대한 평가뿐만 아니라 가까운 장래에 대한 상황과 공간에 유의하여 환경을 평가해야 한다.

환경퍼텐셜에의 평가 및 채택방침에 근거하여 1차 선정을 실시한다.

① 계획할 장소의 환경특성 평가

환경 특성은 「경관의 보전」과 「생태환경의 보전」에 대하여 평가한다.

[환경퍼텐셜]

계류의 환경수준에 대한 정량적 평가는 아직 명확한 지표나 방침이 정해져 있지 않다. 즉 개개의 환경요인에 대한 정량적 파악방법이 주를 이룰 뿐, 「장소」가 갖고 있거나 가져야 할 종합적인 환경수준을 표현하는 지표는 거의 정해져 있지 않다.

장소가 갖고 있거나 가져야 할 「환경퍼텐셜」을 정확하게 지표화할 필요성이 강하게 인식되고 있지만, 현시점에서는 표준적인 방법이 없기 때문에 다음과 같이 3단계로 구분하여 지표화하여 보았다.

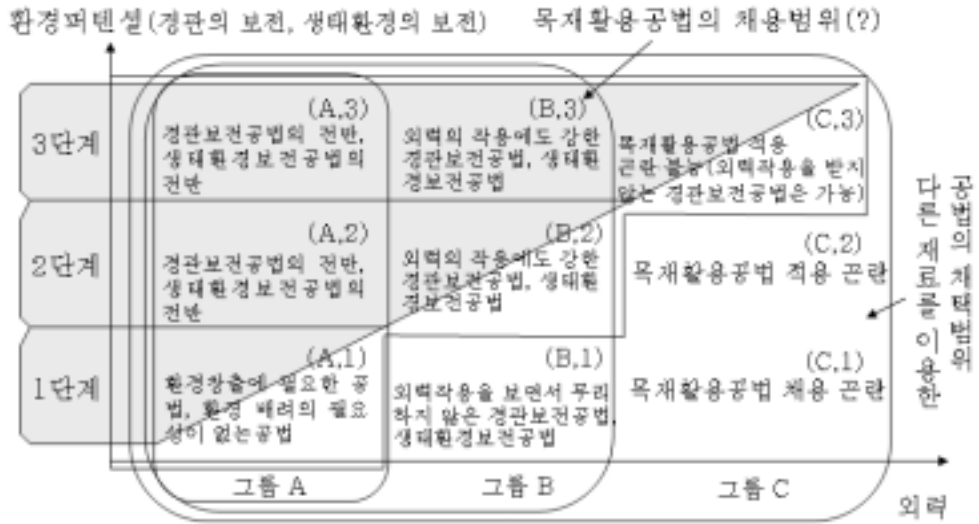
표 3-10-1. 「경관의 보전」에 대한 평가구분

환경퍼텐셜	인간과의 관계	구체적 사례
1단계	사람의 눈에 거의 띄지 않는 장소	· 계곡 안쪽에 위치하여 사람이 거의 접근하지 않는 사방댐 등
2단계	1단계와 3단계의 중간단계	· 도로 주변 등 사람의 눈에 띄기 쉬운 장소 · 계류 외에는 경관이 뛰어난 장소가 없는 곳
3단계	사람이 모이거나, 친수활동을 하는 장소	· 자연경관이 뛰어나 보전이 중요한 장소 · 국립공원이나 자연공원 내의 자연산책로 등

표 3-10-2. 「생태환경의 보전」에 대한 평가구분

환경퍼텐셜	필요 여부	구체적 사례
1단계	불필요	· 보전해야 할 생물의 부재 등
2단계	1단계와 3단계의 중간단계	· 1단계와 3단계의 중간단계
3단계	필요	· 보전해야 할 생물의 존재 등

또한 평가할 때에는 환경퍼텐셜이 낮다는 이유로 목재를 이용하지 않는 것은 적당치 않으며, 환경의 적극적인 창출에 대해서도 충분히 유의해야 한다.



- 그룹 A 외력이 거의 작용하지 않는 장소(구체적으로는 수경공 등의 설치장소)
- 그룹 B 그룹 A와 C의 중간
- 그룹 C 외력이 강하게 작용하는 장소(구체적으로는 사방댐 예정지 등)

그림 3-10-11. 환경퍼텐셜과 강도면에서 본 목제사방댐의 적용범위에 대한 개념도

표 3-10-2. 하천특성의 환경평가항목

평가항목		평가내용
하천특성	수량·수질	수량의 대소
		수면의 분포상황
		수질현황(생활환경항목)
		수질현황(육안으로 본 수질)
	하도특성	세그먼트
		유수의 상황
		계류의 폭
		고수부지의 유무, 저수로의 폭
		계상재료와 노출상황 등
	공사계획	유하능력의 정도
		공사 예정과 시기·내용
		친수관계의 공사 예정(꽃길조성, 수변 학교 등)

표 3-10-3. 경관·친수성 및 생태환경 등의 환경평가항목

평 가 항 목		평 가 내 용
경 관 · 친 수 성	주변 경관과의 조화	자연공원이나 사적 등의 지정
		계류환경관리계획 등에서의 평가
		사람의 눈에 뜨지 않는 정도(도로나 철도 주변)
		인공구조물의 유무
		상징적인 경관의 존재 등
	하천이용	계류부지의 이용(고수부지 정비)과 사람 숫자
		수면이용
		어업
		관광이용 등
	지역주민의 활동 등	계류를 활용한 지역주민, 시민단체, 학교 등의 활동
		꽃길조성, 수변학교 등의 사업 등
	생 태 환 경	식 생
희귀식물의 유무·식생(군락 등)의 귀중도		
토양		
지하수위		
수고, 밀생상황, 식생면적이나 형상 등		
어 류		어류의 종류
		어류의 귀중도
		산란장소 등의 조건
		생활장소
		수생식물의 번무상황
		이동의 난이도 등
저생생물		저생생물의 종류
		저생생물의 귀중도
		저질재료
		수생식물의 번무상황 등
육상곤충		육상곤충의 종류
		육상곤충의 귀중도
		식생의 활착 등
기타 동물		필요에 따라 조류, 파충류, 양서류 등
		수변지역으로부터 구역의 연속성 등

항목은 계획지점이나 계획지점 주변의 특성에 따라 추가하거나 생략한다.

② 환경퍼텐셜의 평가에 근거한 채택방침

계획장소의 환경퍼텐셜의 실태를 평가한 후, 장래에 해당지역의 환경퍼텐셜을 어느 수준으로 할 것인가를 검토한다. 구체적인 사례는 다음과 같다.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · 현상을 유지시킬 장소 : ① 원래 환경퍼텐셜이 높고, 현재의 상태로 충분한 장소 <li style="padding-left: 2em;">② 계획지점의 특성 상 환경을 높일 필요가 없는 장소
(환경퍼텐셜의 고저는 관계없음) |
| <ul style="list-style-type: none"> · 향상시킬 장소 |

그림 3-10-12. 장래의 환경퍼텐셜의 수준에 대한 평가 사례

따라서 높은 퍼텐셜을 갖는 경우 평가된 장소의 환경퍼텐셜을 한층 향상시킬 것인가, 그대로 유지시킬 것인가에 대한 방침을 분명하게 하는 것이 적용면에서 중요한 방침이 된다.

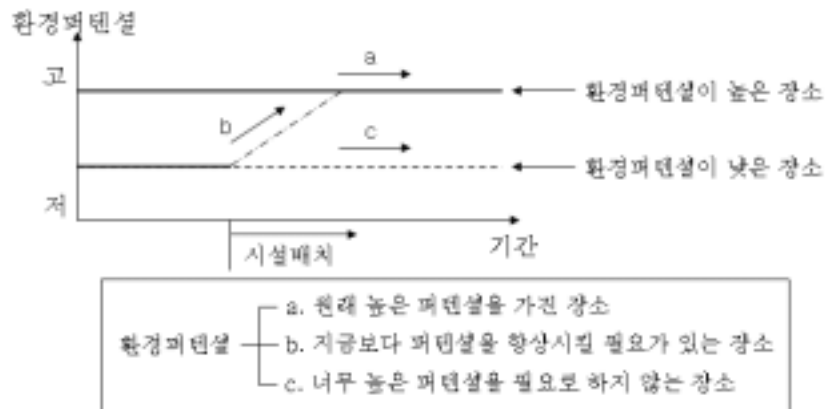


그림 3-10-13. 환경퍼텐셜과 변화에 대한 모식도

위 그림 중에서 a나 b와 같이 환경퍼텐셜이 높은 장소(혹은 높일 필요가 있는 장소)라면 그에 상응한 공법을 채택할 필요가 있다.

③ 목제사방댐의 1차 선정

환경퍼텐셜의 평가에 근거한 채택방침에 의해 해당 장소의 「환경퍼텐셜」을 규면하고, 이를 충족하기 위한 목제사방댐을 선정한다(1차 선정). 그리고 그 후에 환경 이외의 요인에 따라 평가를 실시한다.

④ 목표로 하는 환경기능의 충족도 검토

1차 선정에서 선정된 목제사방댐이 목표로 하는 환경기능에 충족하는가를 검토한다. 구체적인 작업으로는 선정된 목제사방댐이 어느 정도의 환경기능을 갖고 있는가를 검증하는 작업이며, 그 방법은 중요도나 사회특성을 감안하여 그룹 토의나 설문조사, 종사자의 청취조사, 주민참가에 의한 선택 등이 있다.

⑤ 환경기능의 지속성에 대한 필요성과 대응 가능성 검토

환경면에서의 목재의 이용에 따른 효과발현의 지속성과 대응 가능성에 대하여 검토한다.

다. 2차 선정(환경 이외의 특성 평가)

목제사방댐을 채택할 때에는 다음과 같은 환경 이외의 목적에 대한 타당성 평가를 실시한다.

- ① 우수나 토사작용에 대한 대처(치수·토사재해방지)
- ② 기타(고수부지 이용 : 레크리에이션, 스포츠, 어장에 대한 영향완화 등)

① 우수나 토사작용에 대한 평가의 필요성

환경 이외의 목적에 대한 채택의 평가는 「우수나 토사의 작용」에 관한 검토가 그 작용을 받는 장소에서는 반드시 필요하다.

목제사방댐은 원칙적으로는 우수나 토사작용이 큰 장소, 재질에 대한 높은 신뢰성을 요구하는 장소에는 적합하지 않다.

② 기타 목적에 대한 평가의 필요성

산지계류에 설치하는 목제구조물은 「환경보전」, 「우수나 토사작용에 대한 대처(치수·토사재해 방지)」 이외에 「대상관리시설의 유지관리」, 「기타」가 있다. 대상관리시설의 유지관리에 관해서는 특수한 외력(토석류 충격 등)이 작용하는 것으로 필요에 따라서는 이 외력에 대한 대처방침 등을 고려할 필요가 있다.

또한 고수부지의 이용시설(레크리에이션, 스포츠), 어장에 대한 영향완화 등이 포함된다. 이것에 대해서는 시설의 설치기준으로서 보유해야 할 강도나 규격 등을 정해 그것을 충족할 수 있는 계획을 세울 필요가 있다.

라. 하도특성에 의한 적정평가

목제사방댐은 시공사례로부터 시공 가능성을 경험적으로 파악하여 시공하는 경우가 많다. 이를 부후에 관한 조건(수위와의 관계, 사용하는 목적(계속적 이용, 일시적 이용), 외력특성에 관한 조건 등으로부터 종단위치·평면위치·횡단위치 등으로 구분하여 적정평가를 실시한다.

「유수나 토사작용에 대한 대처」에 관한 공법선정은 「하도특성에 따른 적용장소 구분위치(종단위치에 대해서는 계안침식방지를 위한 계안의 중요도)」에 의해 평가를 실시한다.

하도특성에 의한 적용장소의 구분은 목제사방댐이 계류공간의 어디에 사용될 것인가로 토석류의 영향을 고려한 계상물매로 평가한다.

또한 공중에 따라서는 지질·토질 등의 특성도 적용평가에 필요한 경우가 있다. 「계안침식 방지를 위한 계안의 중요도」란 보전대상에 대한 안정성에 대한 중요성의 계급구분이다.

1) 종단위치

목제사방댐을 시공할 수 있는 시공장소의 종단위치는 계상물매를 사용하여 판단한다.

계류구간에서는 일반적으로 계상물매가 급하고, 유수의 에너지가 크기 때문에 목제사방댐을 채택할 경우에는 강도에 대한 배려가 중요하다. 특히 토석류가 발생하는 장소에서 그 작용을 직접적으로 받는 경우에는 충분히 주의해야 한다.

수위와의 관계는 계류지역의 수위변동, 지하수위 변동이 크고, 수제조건이 균일하지 않다는 것을 계산해야 한다. 또한 재질이 지속되어야 할 필요성에 대해서도 주의가 필요하다.

토석류가 목제사방댐에 미치는 영향이 가장 크기 때문에 계상물매에 따라 토석류의 영향이 없는 「소류구간」, 적은 「토석류퇴적구간」, 직접적으로 영향을 받는 「토석류유하·발생구간」으로 구분한다.

이 구분방법에 따라 종단위치(계상물매)에 따른 적용성을 살펴보면, 종단위치(계상물매)에 의한 적용은 토석류 등과 같은 외력작용의 크기를 판단요인으로 하여 판단해야 한다.

표 3-10-4. 종단위치에 있어서 적용사례

		적 용
계 상 물 매	소류구간($\theta < 3^\circ$)	○
	토석류퇴적구간($3^\circ \leq \theta < 10^\circ$)	△
	토석류유하·발생구간($10^\circ \leq \theta$)	—

[계상물매에 의한 발생구간 분류]

산지계류는 토석류가 유하하는 토석류구간(계상물매 약 3° 이상)과 토사가 소류상태로 유하하는 소류구간(계상물매 약 3° 미만)으로 구분된다. 또한, 토석류구간 내에서도 토석류의 발생, 유하, 퇴적상태가 계상물매별로 구분된다.

표 3-10-5. 계상물매 구분(θ : 계상물매)

구 분	발 생 구 분
$20^\circ \leq$ $15^\circ \leq \theta < 20^\circ$ $10^\circ \leq \theta < 15^\circ$ $3^\circ \leq \theta < 10^\circ$	발생구간 발생구간, 유하구간 토석류유하퇴적, 토사류퇴적구간 토석류·토사류퇴적구간

※세립토사를 많이 포함하는 토석류는 토석류의 성질, 지형조건에 따라 계류물매 3° 이하의 지역에 도달한 사례도 있음.

※계상유동형토석류를 참고한 것임.

2) 평면위치

평면위치는 다음과 같이 분류할 수 있으며, 특성에 따라 공법을 채택한다.

- ① 직선부 : 유수가 하도에 평행인 직선구간
- ② 수충부 : 곡류부의 바깥쪽으로 유수·토사의 영향을 받기 쉬운 위치
- ③ 수리부 : 곡류부의 안쪽으로 유수·토사의 영향을 받지 않는 위치

직선부는 유수의 영향이 수충부와 비슷한 작용을 받는 경우가 있으므로 주의를 요하며, 수충부는 홍수의 영향을 받기 쉬우므로 강도가 필요한 공법이나 지속적인 효과를 요구하는 공법에서는 충분한 주의가 필요하다. 그러나 수리부는 곡류부의 바깥쪽으로 유수·토사의 영향을 받지 않으므로 강도가 그다지 필요하지 않은 장소이다.

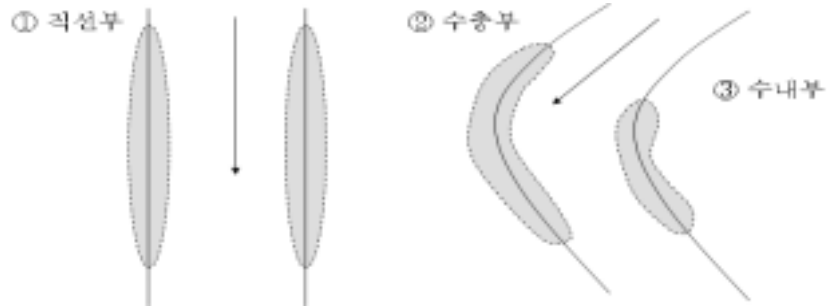


그림 3-10-14. 직선부, 수충부 및 수내부의 모식도

표 3-10-6. 평면위치에 따른 적용사례

		적 용
평 면 위 치	직 선 부	○
	수 충 부	△
	수 리 부	○

3) 횡단위치

횡단위치는 부후에 크게 영향하는 수위와의 관계가 중요한 평가요인이 된다.
수중, 지중에서 사용되는 공법은 수위조건에 따라 수제지역이 되는 경우가 있기 때문에 부후에 대하여 주의를 요한다.

표 3-10-7. 횡단위치의 적용기준

횡단위치	유수와의 관계	목재특성의 변화 (부후)와의 관계	강도와의 관계
계 상	수중	항상 수중상태이며, 잘 부패하지 않음	공법에 요구되는 조건에 따라 다양함
수제지역	수중↔공기중	수위변동이 빈번하며, 부후하기 쉬움	계안침식 방지를 위한 중요도를 참조
고수부지	공기중 (출수시는 수중)	홍수 시에는 침수되며, 약간 부후하기 쉬움	공법에 요구되는 조건에 따라 다양함
대 수 면	공기중 (출수시는 수중)	"	치수상의 중요도는 높고, 충분한 보호가 필요함
천 단, 반수면	공기중	우수에 의한 영향이 증가 됨	홍수의 영향을 받지 않기 때문에 홍수에 대한 강도는 불필요
기 초	수 중	항상 수중상태이며, 잘 부패하지 않음	공법에 요구되는 조건에 따라 다양함
물 받 침	공기중	우수에 의한 영향이 증가 됨	홍수의 영향을 받지 않기 때문에 홍수에 대한 강도는 불필요

4) 하도특성에 의한 채택 가능성 평가

하도특성에 의한 적용의 평가조건을 종단위치, 횡단위치, 평면위치에 의해 평가한다.

표 3-10-7. 적용장소에 의한 채택 가능성 평가

공 종	종 별	세부항목	적용장소의 조건				
			계상물매			평면위치	횡단위치
			소류	퇴적	유하		
콘크리트댐	본 체	잔존형 틀	○	△	—	○	○
	물받이	나무말뚝물받이	○	△	—	○	○
골 막 이	본 체	목제형틀 골막이	○	△	—	○	○

마. 채택공법의 추출

1) 우수나 토사작용에 대한 평가방법 검토

특히 우수나 토사작용에 대하여 중요한 경우에는 유속 등의 대표지표나 역학설계에 의해 안정성을 검토한다.

목제사방댐은 하도특성에 유의하여 적용하므로 공법채택의 가능성을 판단할 수 있지만, 우수나 토사작용이 큰 곳, 또는 구조상의 특성이나 변형 등이 허용되지 않는 경우 등에는 유속에 의한 검토나 역학설계를 실시할 필요가 있다.

2) 재질이 시간적으로 변화하는 성질에 대한 검토(환경면, 강도면 공통)

목재 특성 중 재질의 시간적 변화가 콘크리트 등에 비해 크다는 점을 들 수 있다. 그러나 관리면에서 이를 극복하거나 반대로 유리한 특징으로 삼아 채택하는 경우에는 「재질의 시간적 변화」에 대한 검토가 이루어져야 한다.

목제사방댐에 있어서 재질의 시간적 변화를 고려하는 요인은 환경면과 강도면에서 다음과 같은 3가지를 들 수 있다.

- ① 기능지속의 필요성(기능지속이 요구되는 시간)
- ② 사용장소의 특성(수중, 지중, 수제·육상)
- ③ 교체·보수의 필요성(교체·보수의 필요성 유무)

3. 목제 사방댐의 관리

가. 구조물의 수면이나 산지계류의 변화에 대응한 관리

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 기능변화가 발생하며, 하도특성도 변화한 기 때문에 그 실태를 정확하게 파악하여 관리해야 한다.

따라서 산지계류나 사방 현장의 관리에는 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다.

- ① 산지계류 및 목제사방댐관리시설은 시간과 함께 그 형상이나 기능이 변화하므로 실태를 파악한다.
- ② 기능의 효과, 영향을 정확하게 파악하여 유지관리나 앞으로의 정비에 활용할 수 있는 정보를 입수한다.

최근의 사방공법은 콘크리트나 철강구조물 등이 적극적으로 도입되고 있지만, 이는 내구성이 뛰어나다는 점이나 기능저하가 홍수 등에 의한 피해 이외에는 특히 두드러지지 않는다는 점 때문에 유지관리방법이 명시되지 않은 채로 관리되어 오고 있다. 그러나 콘크리트의 열화나 철강재의 부식에 의한 기능저하, 외력에 의한 파괴 등이 경험적으로 파악되어 「유지·관리」의 중요성이 점차 인식되고 있다. 목재의 재질이 변화하기 쉬운 재질이기는 하지만, 실제로 모든 재료의 구조물이 시간이 경과함에 따라 형상이나 기능이 변화하며, 또한 시설뿐만 아니라 하도특성도 변화한다는 것을 인식하여 대응할 필요가 있다.

구체적으로는 사방현장별로 유지관리계획을 세워 그것에 근거하여 정기적인 점검이나 출수 후의 점검 등을 실시하여 정비한 시설이 기능을 발휘하는지를 정확하게 파악해야 한다.

그림 3-10-15의 최상단의 그림은 하도특성의 변화를 나타낸 것으로 하도특성의 변화가 심할 경우의 요인은 홍수 등을 들 수 있으며, 점선은 구조물 점검시기이다. 두 번째 상단의 그림은 콘크리트사방댐의 경우로 안정성의 변화는 적기 때문에 구조물의 상세한 점검시기는 하도특성의 변화가 심할 때만 실시하여 파손된 경우에 보수를 실시, 안정성을 회복한다. 세 번째 그림은 목제사방댐의 경우로 콘크리트사방댐에 비해 안정성의 시간적 변화는 일반적으로 짧고 심하기 때문에 점검시기를 높은 빈도로 실시해야 하며, 하도특성이 변화하기 때문에 어느 시기 이후는 공법의 보수·교체가 불필요하게 된다. 최하단의 그림은 지속적인 기능을 기대하지 않는 경우로 목제사방댐이 없어지더라도 하도특성의 변화나 환경변화 등에 대한 지속적인 순시는 필요하다.

목제사방댐 등과 같은 시설에 대해서는 평상시에 정기적인 순시를 하지 않는 것이

통레이기 때문에 시설의 설치상황, 기능유지의 필요성에 따라 점검계획을 세워 그 계획에 의해 점검을 실시해야 한다.

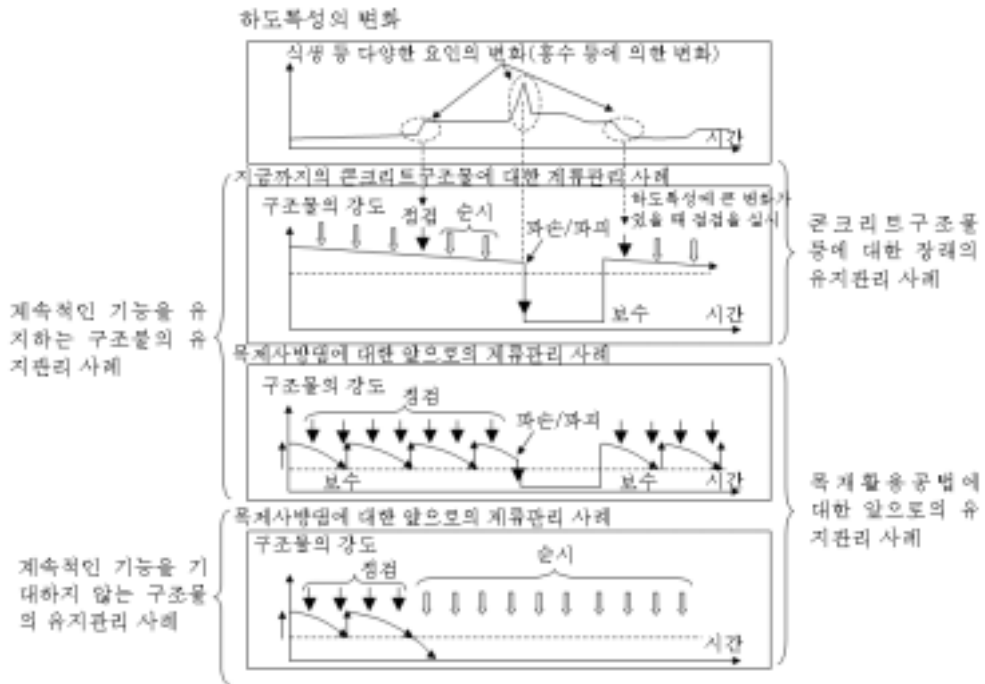


그림 3-10-15. 하도변화와 관리의 개념도

나. 앞으로의 관리 개념

목재를 활용한 산지계류조성은 계류환경의 보전이나 창출이라고 하는 면에서 주민에게는 중요하다. 따라서 계류관리자로서의 지역(주민, 지자체 등)과의 정보공유를 도모하는 한편, 계류조성에 지역의 목소리를 받아들여 계류에의 관심을 높이거나 관리를 잘 할 수 있도록 해야 하며, 구체적으로는 다음과 같은 내용을 시도해야 한다.

- ① 목제사방댐의 계획에 주민이 참가하도록 한다.
- ② 정비된 목제사방댐의 유지·관리에 대해서도 적극적으로 주민참가가 이루어질 수 있는 방안을 구축한다.
- ③ 지역의 어린이들이 계류에 친숙해질 수 있도록, 그리고 학습장소로 활용할 수 있도록 한다.

최근에 들어 산지계류의 환경보호에 주민이 적극적으로 참가하는 사례가 국내에서도 증가하고 있으나, 대부분은 계류의 정화에 참가하는 것이 중심이 되고 있다. 따라서 이와 같은 운동에 주민이 폭 넓게 참가할 수 있도록 참가주민의 의견을 집약하고, 그것을 계획에 잘 반영될 수 있도록 노력해야 하며, 계획을 작성한 후에는 임의단체나 NGO 등의 의도가 실제로 적용되도록 해야 할 것이다.

지금까지는 계류가 행정적인 측면에서 관리하는 것으로 인식되어 지역주민이 계류를 멀리하게 되었으며, 지역의 귀중한 공간재산이라고 하는 인식, 더 나아가 귀중한 공간을 주민 스스로 참가하여 창조하고 보전해야 한다고 하는 인식이 사라지게 되었다. 따라서 이러한 점을 개선하여 주민이 주체가 되어 참가하는 산지계류 조성, 관리가 이루어져야 할 것이며, 또한 주민참가에 의한 산지계류 조성이 성공적으로 이루어지기 위해서는 지역과의 정보공유, 관리를 위한 협동이나 연계가 체계적으로 이루어져야 할 것이다. 이러한 노력이 성공리에 진행된다면 지역에 잘 어울리는 산지계류의 창출, 지역과의 협동·연계에 의한 관리라고 하는 지역참가형 산지계류조성을 이끌어내는 출발점이 될 것이다.

지역과의 연계·협동에 의한 산지계류관리는 지역주민에게 사랑받는 계류조성, 계류조성과 마을조성의 일체화, 계류관리자와 지역(지자체, 주민)이 관리에 필요한 노력과 비용 등을 효율적으로 분담하는 것 등이 포함될 수 있다. 구체적인 사례로는 계류환경의 보전을 위해 하도 내의 수목의 존치가 중요하지만, 규모에 따라서는 치수면에서 지장이 될 수도 있기 때문에 이러한 경우에는 수목관리를 적절하게 시도하는 방안도 검토되어야 한다.

한편, 목제사방댐을 채택할 경우, 콘크리트사방댐에 비해 보다 엄밀한 유지·관리가 필요하기 때문에 관리면에서의 성가심만을 고려한다면 목제사방댐은 콘크리트사방댐에 비해 열등할 수밖에 없다. 그러나 전생애비용으로 평가하거나 환경에 대한 기능의 우수성을 평가하면 관리의 수고·경비를 훨씬 상회하는 효과가 있기 때문에 이에 대한 평가방법을 확립할 필요가 있다. 지역참가형 산지계류 관리방법에 대해서는 앞으로 시행착오를 겪으면서 착실하게 주민과의 정보공유나 그것을 기초로 한 주민참가가 성과를 올리도록 노력해야 하며, 또한 개성이 넘치는 계류를 지역과 함께 만들어 내기 위해서는 산지계류의 관리자와 지역이 혼연일체가 되어 정진해야 할 것으로 생각된다.

다. 목재의 특성을 살린 구체적인 관리사례

산지계류의 유지관리에는 「산지계류의 365일을 대상으로 한 매일매일의 관리」가 중요하며, 목재의 특성을 고려한 점검방법과 교체·보수 역시 중요하다.

1) 구조물의 점검

목재의 강도는 부후나 손상(병충해도 포함)정도에 관계된다. 따라서 부후나 손상 정도는 외관에 의해 확인할 수 있으며, 판정방법으로 표 3-10-8과 같이 「시각에 의한 피해도」가 참고로 사용될 수 있다.

표 3-10-8. 부후의 손상도

부후나 손상도	관찰상태
[0]	건전
[1]	부분적으로 가벼운 부후 또는 병충해, 손상
[2]	전면적으로 가벼운 부후 또는 병충해, 손상
[3]	[2]의 상태에 부분적으로 심한 부후 또는 병충해, 손상
[4]	전면적으로 심한 부후 또는 병충해, 손상
[5]	부후 또는 병충해, 손상에 의해 형태가 붕괴

목재의 부후는 건습을 반복하는 부위가 진행이 빠르기 때문에 그와 같은 부위를 중점적으로 점검하며, 또한 계상변동 등에 의해 수위가 변화하는 경우도 있기 때문에 구조물의 적용조건의 변화도 함께 고려해야 한다.

2) 교체·보수

목재는 장소의 조건에 따라 내용연수가 전혀 다르며, 목제사방댐은 구조물과 달리 부후가 생기는 조건 하에서 사용하게 된다. 또한 목제사방댐은 다소 변형을 허용하므로 장소의 변화에 유연하게 대응할 수 있는 효과를 살릴 수 있는 것도 염두에 두어야 한다. 따라서 채용하는 목제사방댐에 대하여 목재의 교체·보수를 상정하는 경우에는 계획당초부터 그 방법을 고려하는 것에 따라 유지관리에 큰 차이가 생기므로 유의할 필요가 있다. 특히 틀 구조물에서는 구조의 일부가 부후하면 충전재인 토석 등이 빠져 나오는 등 2차적인 영향이 발생하므로 이를 사전에 염두에 둘 필요가 있다.

4. 각 공정별 기본 공사비 산출

가. 설계적용 기준

대한건설협회 발표(2003. 9. 1.) 인부임, 사방사업 단비표(산림청), 건설품셈 및 2003년 9월호 가격 정보지, 물가자료지와 시중가격 조사 단가를 적용함

나. 공사원가 계산서

비 목		금 액	구성비	비 고	
순 공 사 원 가	재료비	직접재료비	4,830,727		
		간접재료비			
		소 계	4,830,727		
	노무비	직접노무비	9,230,113		
		간접노무비	996,852		직노의 10.80%
		소 계	10,226,965		
	경비	운반비			
		기계경비	1,941,593		
		산재보험료			
		안전관리비			
		기타경비	752,884		(직접재료비+노무비)×5.00%
		소 계	2,694,477		
	일 반 관 리 비		834,351		(직접재료비+노무비+경비)×4.70%
	이윤(수수료)		1,650,695		(직접재료비+노무비+경비)×12.0%
	총 원 가		20,237,215		
부 가 세		2,023,721		총원가의 10%	
총사업비		22,260,936	≒ 22,261,000		

다. 공사비 총괄표

공 종 별 (명칭)	수량	단위	노무비	재료비	경비	계	비고
소형목재사방댐	1	개소	6,589,276.25	4,096,338.60	750,000.00	11,435,614.85	
전석쌓기밧갈기	51.40	m ²	1,393,716.05	229,400.40	372,216.90	1,995,333.35	
진입로보수	1	개소	1,247,121.60	504,988.80	819,376.80	2,571,487.20	
계			9,230,113.90	4,830,727.80	1,941,593.70	16,002,435.40	

라. 설계내역서

공 종	수량	단위	노무비		재료비		경비		총액
			단가	금액	단가	금액	단가	금액	금액
소형목제사방댐	1	개소	명세서	6,589,276.25	명세서	4,096,338.60	명세서	750,000.00	11,435,614.85
전석쌓기및갈기	51.40	m ²	명세서	1,393,716.05	명세서	229,400.40	명세서	372,216.90	1,995,333.35
진입로 보수	1	개소	명세서	1,247,121.60	명세서	504,988.80	명세서	819,376.80	2,571,487.20
계				9,230,113.90		4,830,727.80		1,941,593.70	16,002,435.40

1) 소형목제댐 1개소당 단가산출표

(상장 11.42m 하장 6.69m 고 2.56m(방수로 상장 6.92m 하장 5.00m 고 0.96m)유효고 1.60m)

명 칭	수량	산출근거	인건비	재료비	경비	계
통나무	19.32m ²	(수량산출서참조)통나무 Ø16cm 19.32m ² ×210,000원/m ²		4,057,200		4,057,200
철선	35.62kg	(수량산출서참조) #8철선 35.26kg×534원/kg		18,828.84		18,828.84
못	35.26kg	(수량산출서참조) N90, 35.26kg×576원/kg		20,309.76		20,309.76
채움자갈	32.44m ²	(수량산출서참조) 막자갈 32.44m ²				
터파기	31.55m ²	(수량산출서참조) 31.55m ²				
트럭 (5톤)	3회	통나무운반(집하장~현장 150km 250,000원/회×3회=750,000			750,000	
형틀목공	4.98인	[(6.96+11.42)/2×2.56]-{(5.00+ 6.92)/2×0.96}=17.80m ² 17.80m ² ×0.28인/m ² =4.98인×92,041 원/인	458,364.18			458,364.18
특별인부	6.90인	보통인부 103.55인×1/15 =6.90인×67,141원/인	463,272.90			463,272.90
보통인부	107.99인	107.99인×52,483원/인	5,667,639.17			5,667,639.17
내역	5.52인	통나무소운반 50m, 경사 15°(56회 19.32m ² ×0.50인/m ² =9.66인				
	9.66인	통나무 꺾질 벗기기 19.32m ² ×0.50인/m ² =9.66인				
	4.44인	형틀목공보조 19.32m ² ×0.23/m ² =4.44인				
내역	64.88인	채움자갈운반 200m, 경사15°(17회 32.44m ² ×1,700kg/m ² ×1회/50kg×1 일/17회=64.88인				
	5.51인	자갈채움 32.44m ² ×0.17인/m ² =5.51인				
	17.98인	터파기 31.55m ² ×0.57인/m ² =17.98인				
계			6,589,276.25	4,096,338.60	750,000	11,435,614.85

2) 전석쌓기(전석갈기) 51.40m²당 단가 산출표
(H : 2.10m 고 : 2.10 범고 : 2.19)

명 칭	수 량	산출근거	인건비	재료비	경비	계
전 석	51.40m ²	규격(0.7×0.7×0.8m) : 수량산출서참조: 51.40m ² 전석쌓기 16.80m ² +전석갈기 34.60m ²				
전석쌓기 (굴삭기 0.7m ²)	22.10hr	51.40m ² ×0.43hr/m ² =22.10hr× 52,266원/hr 노무비: 22.10hr×25,348원/hr 재료비: 22.10hr×10,264원/hr 경 비: 22.10hr×16,654원/hr	560,190.80	226,834.40	368,053.40	1,155,078.60
터파기 (굴삭기 0.7m ²)	0.25hr	$Q = \frac{3600 \times 0.70 \times 0.70 \times 0.88 \times 0.55}{21}$ =40.65m ³ /hr 전석쌓기 구조도 참조 : 12.00m×8.54m ² /10m=10.24m ³ 10.24m ³ ÷40.65m ³ /hr= 0.25hr×52,266원/hr 노무비: 0.25hr×25,348원/hr 재료비: 0.25hr×10,264원/hr 경 비: 0.25hr×16,654원/hr	6,337.00	2,566.00	4,163.50	13,066.50
적석공	5.65인	51.40m ² ×0.11인/m ² = 5.65인×93,922원/인	530,659.30			530,659.30
보통인부	5.65인	5.65인×52,483원/인	296,528.95			296,528.95
내역	5.65인	적석공보조 51.40m ² ×0.11인m ²				
계			1,393,716.05	229,400.40	372,216.90	1,995,333.35

3) 진입로 보수 1개소당 단가산출표

명 칭	수 량	산출근거	인건비	재료비	경비	계
진입로보 수(굴삭 기0.7m ²)	49.20ha	진입로보수: 1000m×4.00× 0.50=2000m ² $Q = \frac{3600 \times 0.70 \times 0.70 \times 0.88 \times 0.55}{21}$ =40.65m ³ /h 노무비: 49.20hr×25,348원/hr 재료비: 49.20hr×10,264원/hr 경 비: 49.20hr×16,645원/h	1,247,121.60	504,988.80	819,376.80	2,571,487.20
계			1,393,716.05	229,400.40	372,216.90	1,995,333.35

마. 설계적용단가

1) 인부임단가

○ 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률시행규칙 제7조의 규정에 의하여 대한건설협회가 2003년 5월 조사하여 2003년 8월 13일에 발표한 단가 적용

인 부 종 별	2003. 1 발표단가	2003.8.13 발표단가	증 감	%	설계적용
특 별 인 부	65,734	67,141	1,407	2.14	67,141
보 통 인 부	50,683	52,483	1,800	3.55	52,483
콘 크 리 트 공	90,048	87,613	△2,435	△2.70	87,613
석 공	94,158	93,922	△236	△0.25	93,922
할 석 공	86,271	89,000	2,729	3.16	89,000
착 압 공	62,427	65,785	3,358	5.38	65,785
형 틀 목 공	91,573	92,041	468	0.51	92,041
비 계 공	93,650	97,513	3,863	4.12	97,513
목 도 공	77,076	79,926	2,850	3.70	79,926
건설기계운전기사	81,246	79,113	△2,133	△2.63	79,113
건설기계운전조수	53,719	51,861	△1,858	△3.46	51,861
건설기계 조장	87,216	83,161	△4,055	△4.65	83,161
운전사(운반차)	61,857	64,701	2,844	4.60	64,701
운전사(기계)	59,707	60,879	1,172	1.96	60,879
작업반장	69,109	69,514	405	0.59	69,514
철근공	93,853	96,310	2,457	2.62	96,310
미장공	89,051	87,975	△1,076	△1.21	87,975
화약취급공	88,068	81,573	△6,495	△7.37	81,573
별목부	70,227	72,894	2,667	3.80	72,894
조경공	68,999	70,973	1,974	2.86	70,973
조립인부	55,397	54,684	△713	△1.29	54,684
철공	85,754	85,952	198	0.23	85,952
철골공	79,079	83,811	4,732	5.98	83,811
배관공	76,823	73,514	△3,309	△4.31	73,514
용접공	79,947	81,112	1,165	1.46	81,112

2) 레미콘 : 조달청 강원지청이 강원레미콘 공업협동조합과 계약체결한 단가.
 (2003년 8월 기준, 조달수수료 및 부가가치세 포함)(구분 : 내자단가, 품목번호 : 5610-060)

지역	규격	조달가	수수료(1.0%)	계	적용단가	대상시·군
중부권	25-18-12	50,930	509	51,439	51,440	춘천시
	25-21-12	53,990	540	54,530	54,530	
	25-18-08	49,940	499	50,439	50,440	철원군
	40-18-12	49,800	498	50,298	50,300	
	40-18-08	48,810	488	49,298	49,300	
남부권	25-18-12	50,860	509	51,369	51,370	원주시
	25-21-12	53,910	539	54,449	54,450	
	25-18-08	49,870	499	50,369	50,370	
	40-18-12	49,730	497	50,227	50,230	
	40-18-08	48,740	487	49,227	49,230	
영북권	25-18-12	54,350	544	54,894	54,900	고성군 속초시 양양군
	25-21-12	58,250	583	58,833	58,840	
	25-18-08	53,180	532	53,712	53,720	
	40-18-12	52,980	530	53,510	53,510	
	40-18-08	51,780	518	52,298	52,300	
산악권	25-18-12	56,380	564	56,944	56,950	태백시 영월군 정선군
	25-21-12	60,420	604	61,024	61,030	
	25-18-08	55,170	552	55,722	55,730	
	40-18-12	54,960	550	55,510	55,510	
	40-18-08	53,710	537	54,247	54,250	
동부권	25-18-12	59,870	599	60,469	60,470	인제군 양구군 화천군
	25-21-12	63,470	635	64,105	64,110	
	25-18-08	58,720	587	59,307	59,310	
	25-21-08	62,050	621	62,671	62,680	
	40-18-08	57,390	574	57,964	57,970	
서부권	25-18-12	50,740	507	51,247	51,250	홍천군
	25-21-12	53,790	538	54,328	54,330	
	25-18-08	49,760	498	50,258	50,260	횡성군
	40-18-12	49,620	496	50,116	50,120	
	40-18-08	48,630	486	49,116	49,120	
영남권	25-18-12	54,460	545	55,005	55,010	강릉시 동해시 삼척시
	25-21-12	58,370	584	58,954	58,960	
	25-18-08	53,290	533	53,823	53,830	
	40-18-12	53,080	531	53,611	53,620	
	40-18-08	51,880	519	52,399	52,400	
평창권	25-18-12	56,780	568	57,348	57,350	평창군
	25-21-12	60,860	609	61,469	61,470	
	25-18-08	55,560	556	56,116	56,120	
	40-18-12	55,350	554	55,904	55,910	
	40-18-08	54,090	541	54,631	54,640	

□ 파이프류

(부가가치세 별도)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고
VG1 파이프	∅30m/m×4m	본	3,465	2003 물가자료 9월호 P.558
VG1 파이프	∅35m/m×4m	본	3,864	2003 물가자료 9월호 P.558
VG1 파이프	∅40m/m×4m	본	5,061	2003 물가자료 9월호 P.558
VG1 파이프	∅50m/m×4m	본	7,182	2003 물가자료 9월호 P.558
PCH 파이프	∅200m/m×4m	본	20,940	2003 물가자료 9월호 P.606
PCH 파이프	∅300m/m×4m	본	35,600	2003 물가자료 9월호 P.606
PCH 파이프	∅400m/m×4m	본	53,920	2003 물가자료 9월호 P.606
PCH 파이프	∅500m/m×4m	본	86,400	2003 물가자료 9월호 P.606
PCH 파이프	∅600m/m×4m	본	126,840	2003 물가자료 9월호 P.606
콘크리트흡관	∅800m/m	m	44,450	2003 물가자료 9월호 P.217
콘크리트흡관	∅1000m/m	m	70,620	2003 물가자료 9월호 P.217
PE토압식배수구	600×350×350× 1000m/m	본	26,000	2003 물가자료 9월호 P.224
철근콘크리트 유형플륨관	310×275×32× 2000m/m	본	21,000	2003 물가자료 9월호 P.239
HRC농수로플륨관	600×400× 2000m/m	본	69,600	2003 물가자료 9월호 P.225
HRC농수로플륨관	800×500× 200m/m	본	101,500	2003 물가자료 9월호 P.225
HRC배수로	500×320×320× 1000m/m	본	22,000	2003 물가자료 9월호 P.225
THP유공관	200×4m/m	본	14,230	2003 물가자료 9월호 P.606
PCF관 (복합철관관)	250mm/4m	본	52,780	2003 물가자료 9월호 P.606
PCF관 (복합철관관)	300mm/4m	본	68,350	2003 물가자료 9월호 P.606
PCF관 (복합철관관)	600mm/4m	본	221,840	2003 물가자료 9월호 P.606
PCF관 (복합철관관)	800mm/4m	본	389,320	2003 물가자료 9월호 P.606
PCF관 (복합철관관)	1000mm/4m	본	601,960	2003 물가자료 9월호 P.606
파형강관	∅600mm/1m×2.7t	본	72,400	2003 물가자료 9월호 P.220
파형강관	∅800mm/1m×2.7t	본	113,800	2003 물가자료 9월호 P.220
파형강관	∅1000mm/1m×2.7t	본	141,400	2003 물가자료 9월호 P.220

3) 기타자재

산림청 고시단가 (2002년 12월 28일 고시)

수 종	묘 령	단 위	단 가	비 고
상 수 리	1 - 0	본	265	산림청 고시가
리 기 다	1 - 0	본	107	
아까시아	1 - 0	본	177	
오리나무	1 - 0	본	217	
자작나무	1 - 0	본	233	
물 푸 레	1 - 1	본	386	
잣 나 무	2 - 3	본	480	
강 송	용기묘	본	400	
소 나 무	1 - 1	본	173	

비 료

(부가가치세별도)

품 명		규 격	단 위	단 가	비 고
비료	요 소	20kg/대	kg	330	2003 물가자료 9월호 P.1184
	용 과 린	20kg/대	kg	308	2003 물가자료 9월호 P.1184
	복합비료	21-17-17	kg	347	2003 물가자료 9월호 P.1184

종 자

수 종	단 위	단 가	비 고
아까시아	kg	34800	2003 사방용 종자구입 단가적용
싸 리	kg	28050	2003 사방용 종자구입 단가적용
풀 씨	kg	19200	2003 사방용 종자구입 단가적용

원형 돌망태

(부가가치세 포함)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고
원형돌망태	# 8, 45×45×1.0m (몸통1, 뚜껑2)	조	5,137	2003 물가자료 9월호 P.107
	# 8, 45×45×1.5m (몸통1, 뚜껑2)	조	6,594	2003 물가자료 9월호 P.107
	# 8, 45×45×2.0m (몸통1, 뚜껑2)	조	8,052	2003 물가자료 9월호 P.107

□ 타원형 돌망태(부가가치세 + 조달수수료 포함)

(구분 : 내자 단가, 품목번호 : 5335-006)

구분	규격	단가			조달수수료 (1.2%)	2003 설계적용
		계	몸통	뚜껑		
타원형 1.0m	∅4.0 45×95	5,690	3,330	2,360	68	5,758
타원형 1.5m	"	7,355	4,995	2,360	88	7,443
타원형 2.0m	"	9,020	6,660	2,360	108	9,128
타원형 2.5m	"	10,685	8,325	2,360	128	10,813
타원형 3.0m	"	12,350	9,990	2,360	148	12,498

□ 목재류

(부가가치세 별도)

품명	규격	단위	단가	비고
각재	4.5cm × 4.5cm × 3.6cm 9.0cm × 9.0cm × 3.6cm	m ³	378,000	2003 물가자료 9월호 P.137
관재	0.24cm × 0.024cm × 3.6cm	m ³	420,000	2003 물가자료 9월호 P.138
원목	0.2cm × 3.6cm	m ³	168,000	2003 물가자료 9월호 P.137
비계목	∅0.06m × 3.6m (낙엽송)	m ²	413,223	2003 물가자료 9월호 P.145
		본	4,500	
합판	0.12m×0.91m×1.82m (내수1급)	매	10,000	2003 물가자료 9월호 P.495

□ 부대공(시중조사단가)

(부가가치세 별도)

구분	규격	단위	단가	비고
사방사업표지판	표지판 800×500×300 좌대 1000×500×300	식	454,545	재료비(화강석)
경고입간판	100×80	식	545,454	
등판	30×40	식	181,818	등판주물

□ 철 재 제 품

(부가가치세 별도)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고
소철선 (어니일링)	#6. 6.8m/kg	kg	534	2003 물가자료 9월호 P.65
	#8. 10.1m/kg	kg	534	2003 물가자료 9월호 P.65
못	N50	kg	576	2003 물가자료 9월호 P.68
결속선	#20	kg	670	2003 물가자료 9월호 P.65
골함석	0.35×914×1829	매	3,900	2003 물가자료 9월호 P.376
GABION	1.0×1.0×2.0m Ø=3.2m/m	조	42,000	2003 물가자료 9월호 P.107
	1.0×1.0×1.5m Ø=3.2m/m	조	34,000	2003 물가자료 9월호 P.107
	1.0×0.5×2.0m Ø=3.2m/m	조	30,000	2003 물가자료 9월호 P.107
	1.0×1.0×1.0m Ø=3.2m/m	조	24,000	2003 물가자료 9월호 P.107

□ 이 형 철 근

(부가가치세 별도)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고
이형철근	D 10mm	톤	424,000	2003 물가자료 9월호 P.43(춘천)
	D 13mm	톤	419,000	2003 물가자료 9월호 P.43(춘천)
	D 16-32mm	톤	414,000	2003 물가자료 9월호 P.43(춘천)

□ 유로폼

(부가가치세 별도)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고
패널	600×1,200	매	20,500	2003 강원 단가산출서 참조
내부코너패널	(200+200)×1,200	매	22,000	2003 강원 단가산출서 참조
웨이핀		개	96	2003 강원 단가산출서 참조
플랫타이	L=200	개	136	2003 강원 단가산출서 참조
강관파이프	D 48.6	m	1,750	2003 강원 단가산출서 참조
훅클램프		개	201	2003 강원 단가산출서 참조
박리제	유로폼	ℓ	1,500	2003 강원 단가산출서 참조

□ 기 타

(부가가치세 별도)

품 명	규 격	단 위	단 가	비 고	
스틸그레이팅	995×500, 20톤	조	48,640	2003 물가자료 9월호	
원목(말목·횡목)	Ø6-9cm내외	m	1,250	견적가	
COIR-NET	Ø5×20×20m/m	m ²	2,000	2003 물가자료 9월호	
고정양카	Ø10, L=250	개	200	2003 물가자료 9월호	
양카 핀	(소)	개	75	2003 물가자료 9월호	
틀웨스큐	종자	kg	3,500	견적가	
켄터키브루그라스	종자	kg	3,500	견적가	
오차드그라스	종자	kg	3,500	견적가	
참싸리	종자	kg	28,050	견적가	
안고초	종자	kg	19,200	견적가	
피복재	화이버펄프	kg	700	2003 물가자료 9월호	
침식방지안정제	합성접착제	kg	2,300	2003 물가자료 9월호	
색소	마라가이드 그린	kg	8,800	2003 물가자료 9월호	
벚꽃거적	(1.0m×60m)	m ²	200	2003 물가자료 9월호	
마사마대	35cm×50cm	매	264	2003 유통물가 p.138	
론쟁마대 (풀씨부착토낭)	40cm×60cm (천연황마)	매	2,091	시중조사단가	
잔 디	0.2×0.2×0.03cm	매	190	시중조사단가	
유류	경유	저유황 0.05%	ℓ	742	2003 물가자료 9월호 p.1191
	휘발유		ℓ	1,209	2003 물가자료 9월호 p.1191
박리제	세라콘 501	ℓ	1,000	2003 물가자료 9월호 p.147	
문양거푸집	910×910×30mm	매	2,500	2003 물가자료 9월호 p.147	
줄대(본당)	0.02×0.015× 0.015×2m	본	727	시중조사단가	
망 사	0.9m×1.0m	m	909	시중조사단가	
면 목	0.03×0.03× 0.0424×2m	본	486	2003 물가자료 9월호 p.140	
부직포	SE350*3T/M	m ²	1,350	2003 물가자료 9월호 p.248	
부산물비료(퇴비)	20kg/포, 돈분 우분 계분 혼합 완전부숙	포	2,636	시중조사단가	

□ 기 타

(부가가치세 별도)

품 명		규 격	단 위	단 가	비 고
시멘트			kg	105	2003 물가자료 9월호 p.112
모 래		(강릉)	m ³	10,000	시중조사단가
자 갈		(강릉)	m ³	10,000	시중조사단가
조약돌		(연곡골재장) Ø150	m ³	18,000	시중조사단가
뒷채움자갈		(연곡골재장)	m ³	10,000	시중조사단가
하천사용료		(강릉)막자갈	m ³	1,361	시중조사단가
양양	괘잡석	ℓ 3=35cm(부정형)	m ³	12,500	시중조사단가
옥계	괘잡석	ℓ 3=35cm(부정형)	m ³	1,800	시중조사단가
양양	괘잡석	ℓ 3=35cm	개	1,250	시중조사단가
			m ²	21,250	시중조사단가
영주	괘잡석	ℓ 3=35cm	개	1,200	시중조사단가
			m ²	20,400	시중조사단가
양양	괘잡석	ℓ 3=35cm(부정형)	m ³	12,500	시중조사단가
옥계	괘잡석	ℓ 3=35cm(부정형)	m ³	1,800	시중조사단가
양양	괘잡석	ℓ 3=35cm	개	1,250	시중조사단가
			m ²	21,250	
영주	괘잡석	ℓ 3=35cm	개	1,200	시중조사단가
			m ²	20,400	
와이어메쉬		#4 Ø5.80 100×100	m ²	2,110	2003 물가자료 9월호 p. 99
필라(m ²) (콘크+아스팔트)		T15mm 1000×1000	m ²	8,700	2003 물가자료 9월호 p. 257
지수판 (PVC)		T5mm×200	m	3,500	2003 물가자료 9월호 p. 257
소재구		Ø0.05×2×20m	m ²	800,000	시중조사단가
환봉 (원형봉강)		Ø30mm×6.00m	개	15,651	2003 물가자료 9월호 p. 42
백관		Ø200(165.2×5.85)	m	21,358	2003 물가자료 9월호 p. 523
논생거적		1.00×20m	m ²	2,091	시중조사단가
논생네트		1.00×20m	m ²	2,091	시중조사단가
괘잡석		0.25×0.25×0.35	m ²	17,000	시중조사단가
쇄석			m ³	8,000	시중조사단가
나이론사			롤	3,636	시중조사단가

4) 건설기계경비

장비명	규격	기계경비			
		계	노무비	재료비	경비
굴삭기	0.4m³	44,893원/hr	25,348	8,607	10,938
굴삭기	0.7m³	52,266원/hr	25,348	10,264	16,654
중자살포기	3,000ℓ	34,655원/hr	16,926	9,570	8,159
대형 브레이카	0.4m³	49,264원/hr	25,348	8,347	15,569
	0.7m³	60,881원/hr	25,348	9,738	25,795
콘크리트 펌프카	80m³/hr	131,891원/hr	16,481	18,564	96,846
덤프트럭	15TON	52,766원/hr	16,481	22,544	13,741
	4.5TON	26,135원/hr	13,479	7,158	5,498
경운기	1TON	77,316원/hr	60,879	11,966	4,471
크레인트럭	10TON	56,874원/hr	30,750	4,914	21,210
크레인트럭	20TON	77,859원/hr	30,750	6,962	40,147
트레일러	20TON	52,914원/hr	16,481	21,297	15,136
그레이더	(3.60m)	65,036원/hr	26,155	19,505	19,376
불도우저	무한궤도19톤	76,465원/hr	30,750	22,426	23,289

※ ① 환율 매도 가격 1\$=1,187.80(금융결제원이 2003. 1. 2. 고시한 매매기준율)

② 경유 ℓ 당 742.0원(2003 물가자료 9월호, 부가세 별도)

③ 1일 8시간 기준

④ 장비 가동일수 25/20 적용

⑤ 인건비 : 상여금 300%, 퇴직급여 총당금 100%, 16/12 적용

5) 운반비

정부 구매 물자

일반 화물자동차 운임 요금표

(전국 화물 자동차 운송사업연합회 자료 '98. 2. 21.)

- 거리 톤급별 운임표 적용

5. 설계도면 작성

가. 전문시방서

1) 소형목제사방댐

- 시공도면을 참고로 기초터파기를 철저히 한 후 시공하며, 시공순서는 다음과 같다.
 - ① 횡목 버팀목을 박는다.
 - ② 시공도면과 같이 횡목을 시공 폭 상, 하에 설치한다.
 - ③ 횡목을 설치한 후 못으로 고정하고, 채움자갈로 채움을 충분히 실시한다.
 - ④ 자갈채움이 끝나면 종목깔기를 실시한 후, 못과 철선으로 조임을 실시한다.
 - ⑤ 그 후에 횡목과 종목을 칸칸이 상기 항의 시공요령처럼 반복하여 시공한다.
 - ⑥ 횡목과 종목을 순차적으로 축조하면서 뒷채움을 동시에 실시한다.
 - ⑦ 시공이 완료되면 되메우기 등 주변의 청소를 철저히 한다.
 - ⑧ 사용되는 목재는 현장에서 껍질 벗기기를 실시한 후 사용한다.
 - ⑨ 통나무 원목은 구입하여 웅이 제거 등 다듬기를 실시한 후 사용한다.

2) 전석쌓기 및 깔기

- 기초터파기를 철저히 한 후, 전석쌓기 및 깔기를 실시한다.
- 전석쌓기의 뒤채움을 철저히 한다.
- 전석규격은 0.7×0.7×0.8m를 표준으로 한다.
- 전석쌓기 및 깔기는 굴삭기를 이용하며, 안전사고 예방에 철저를 기한다.
- 기타 시공도를 참고하여 시공한다.

나. 설계대상지의 종단도

그림 3-10-16. 설계대상지 계류의 종단도 작성

다. 소형목제사방댐의 구조도와 토공도

그림 3-10-17. 소형목제사방댐의 구조도(상)와 토공도(하) 작성

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구목표의 달성도

1. 실태조사

- 국·내외의 목제사방댐 시공사례 수집 및 분석 : 국·내외에서 시공되고 있는 현장사진, 구조도, 표준도, 설계단가표, 경비명세표 등을 수집·분석하여 우리나라 실정에 적합한 방안을 마련하였다.
- 국내·외 사방관련 연구자 및 실무자 초청 자문 : 국내의 사방관련 대학교수, 산림청, 국립산림과학원, 각도 사방담당 공무원 및 산림조합 토목관련 종사자 등을 초청하여 자문을 받았으며, 특히 전일본사방학회 회장인 북해도대학의 아라야교수와 오쿠보박사와 긴밀한 협조체제를 유지, 자문을 받았다.

2. 연구대상지 선정 및 계류생태계 조사

- 목제사방댐 설치예정지 선정 : 강원대학교 산림과학대학 부속 연습림에 목제사방댐의 설치장소를 현지답사를 통해 선정하였다.
- 하도특성 및 계류생태계 파악 : 목제사방댐 설치에 따른 하상변동 및 계류생태계의 변화과정을 파악하기 위해 설치 전·후의 하도의 종·횡단면도 및 평면도를 작성하였고, 수목연대학에 의해 계상퇴적지를 해석하였다. 또한 목제사방댐이 계류생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해 설치 전·후의 수서곤충의 종류, 종수 및 개체수를 파악하였다.

3. 목제사방댐 개발

- 모형수로 제작 : 연구대상 산지계류의 목제사방댐 설치구간을 중심으로 하도특성을 일정 축척의 모형수로를 제작하여 수리실험을 실시하였다.
- 모형 목제사방댐 효과분석 : 목제사방댐의 크기, 형상, 위치 및 시공순위 등이 계상변동량, 유로변화 및 퇴적·세굴역 등에 미치는 영향을 파악하기 위한 수리실험을 실시하였다.

- 목제사방댐 개발 및 안정성 검토 : 모형실험에 근거하여 목제사방댐 개발하였고, 댐의 안정성(전도에 대한 안정, 활동에 대한 안정, 체체의 파괴에 대한 안정, 기초 지반의 지지력에 대한 안정)을 검토하였다.
- 목제사방댐 현지적용 조사 : 현지적용 상황조사를 실시하고, 설계적산, 설계 실태에 대한 대비검토를 실시하였다.

4. 목제사방댐용 목질재료 개발 및 내구화 연구

- 내구성 파악 : 수종 및 재종별 강도 비교평가와 기계적 등급구분을 통한 사용부재의 신뢰성 확보방안과 환경친화적인 목재의 형상의 한계(통직성)를 극복할 수 있는 다양한 곡선부재의 제작과 성능을 평가하였다. 또한 현장에서 댐 건설시 목재 부재의 접합방법 개발 및 구조내력시험을 실시하였으며, 수중에서의 목재의 장기 내력평가 및 비파괴 방법에 의한 사방댐 목재부재의 열화 진단방법 검토하여 지속적인 관리가 가능토록 하였다.
- 목제 사방댐용 목재의 부후균 및 수중미생물에 대한 저항성 시험을 통하여 재료의 열화가능성을 예측하여 내구화 기술의 기초자료로 사용하였고, 대상목재의 수종 및 재종별 약제 처리성 및 적정방부기술을 구명하여 최적의 내구화 기술을 도출하였다.

5. 목제사방댐의 적용기준(안)과 표준매뉴얼(안) 작성 및 경제성 분석

- 재료표와 각종 도면작성 : 규격, 단재적, 수량, 재적의 재료표와 정면도, 단면도, 측면도 등의 도면을 작성하였다.
- 적용기준(안) 작성 : 목적(기획·조사, 계획·설계, 시공, 관리)에 관계하는 기술적 내용을 정리), 적용범위(하천미지형과 하상재료 등을 참조하여 결정) 및 구성(총론편, 시공기반정비기술편, 상세기술자료편)에 대하여 작성하였다.
- 목제사방댐 표준매뉴얼(안) 작성 : 적용기준(안)에 근거하여 목제사방댐의 설계·시공표준 매뉴얼(안) 작성한다. 즉 기초조사(분류, 위치, 높이, 방향, 구조, 퇴사량 및 단면 계산), 설계(설계의 전제, 설계순서, 대상유량 결정, 본체설계, 기초설계, 댐어깨 설계, 부속물 설계 등) 및 시공표준 매뉴얼(시공순서, 제조, 운반, 기반)을 작성하였다.
- 경제성 분석 : 시공단가 산출 및 타 공법과의 비교 분석하였다. 즉 목제사방댐의 시공단가 산출(월간물가자료, 건설표준품셈 및 종합적산정보를 이용하여 재료비,

인건비 등을 산출), 타 사방댐과의 경제성 분석(콘크리트사방댐 및 철강재사방댐 등과 경제성 분석)을 실시하였다.

제2절 관련분야에의 기여도

우리나라 실정에 적합한 목제사방댐을 개발하여 적용기준과 효율적인 시공기술체계를 확립하였고, 간벌재 및 소경재의 수요확대를 촉진시키기 위한 연구를 진행하였으며, 이를 위해서 안정성은 물론이고, 다양성, 지속성 및 지역성을 배려한 목제사방댐을 개발하였다.

1. 기술적 측면

- 최근의 사방댐은 안정성을 강조하여 콘크리트를 주체로 시공되고 있으나, 목제사방댐을 개발하여 안정성과 함께 생태 및 경관성 향상에 기여할 수 있게 되었다.
- 목제사방댐은 유기적으로 시공할 경우, 계상물매가 비교적 완만한 산지계류나 기초지반조건이 나쁜 구간의 하도고정에 효과적이며, 특히 수질보전과 수서곤충, 어류 등의 계류 생태계의 유지에도 매우 효과적이다.
- 목재는 콘크리트에 비해 강도나 내구성이 떨어지지만 공작물이 시공목적이나 현지조건을 감안하여 시공적부를 검토하면, 가공성이 우수할 뿐 아니라 시공이 용이하고, 특히 유기물 특유의 부드러움을 지닌 재료이기 때문에 수경보전지역에서 매우 유효하게 활용될 것이다.
- 목제사방댐과 같이 하도의 유수이동에 방해가 되는 계상재료를 충전하여 불안정한 유수처리와 하도정비를 실시할 수 있게 되었다.

2. 경제·산업적 측면

- 목제사방댐은 우리나라에서 생산되는 목재, 특히 간벌재와 소경재의 부가가치를 높여 산주의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 주변 삼림의 간벌을 촉진시켜 산림관리에 기여하게 되었다.
- 목제사방댐은 콘크리트사방댐에 비해 시공 단가가 저렴하고, 시공기간이 짧을 뿐만 아니라 레미콘 등과 같이 대형기계류의 이동을 위한 접근로의 요구도가 낮으므로 시공비용 및 효율면에서 유리하게 되었다.

- 목제사방댐은 콘크리트사방댐의 개설에 따른 경관손상, 수질오염, 자연과의 접촉 기회 상실, 계류 생태계의 파괴 등이 상대적으로 적어 국민의 친수행위를 증대시키므로 산지내의 레크리에이션 산업의 다양화에 의한 주민소득 향상에 기여할 수 있게 되었다.

3. 사회·문화적 측면

- 최근에 산지 내에서 이루어지고 있는 콘크리트를 중심으로 하는 각종 산림토목사업에 대한 비판에 대해 목제사방댐이 대안이 마련되었다.
- 목제사방댐은 다른 재료를 사용한 공법에 비해 심미성이 뛰어나고, 주변의 삼림에 잘 어울리는 공법이기 때문에 경관보전을 요구하는 장소에 시공할 경우 산림토목사업에 의한 심리적 이질감을 해소할 수 있게 되었다.
- 목제사방댐에 의해 계류 생태계가 유지되어 국민의 친수행위를 증진시켜 산지계류가 제공하는 레크리에이션 기능을 증진하는 데에 크게 기여할 수 있게 되었다.

제5장 연구개발 결과의 활용계획

1. 친환경적 사방사업에 적극적 활용

- 친환경적인 소형 목제사방법이 개발되었으므로 유역특성을 잘 살린 친환경적 사방사업이 될 수 있도록 노력할 것이며, 특히 일반 산지계류는 물론이고, 산불피해지의 응급복구, 마사토지대에 개설되어 있는 임도개설지의 토사유출억지공법 등으로 활용하도록 적극적으로 노력할 예정이다.

2. 후속 연구사업 진행

- 지역특성에 부합한 다양한 환경친화적인 목제사방법을 정립, 제시하여 사방분야는 물론 하천분야에서 목재활용공법이 적용되도록 할 예정이며, 이미 2건의 후속 연구사업이 진행 중에 있다.

1) 연구과제명 : 산지소하천의 계상변동과 대처공법에 관한 연구

(지원기관 : 한국지질자원연구원, 연구기간 : 2004년 1월 1일~2006년 12월 31일,
연구비 : 60,000천원)

2) 연구과제명 : 동해안 대형 산불피해지의 복원·복구 실태진단 및 신공법 적용 실 연사업

(지원기관 : 한국산지보전협회, 연구기간 : 2005년 6월 1일~2007년 12월 30일,
연구비 : 240,000천원)

3. 교육자료로 활용

- 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경친화적인 사방사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용할 예정이다. 대학의 학부 강의자료로는 이미 활용하고 있지만, 앞으로 각종 특강 형식으로 출강할 경우에도 적극적으로 활용할 예정이다.

4. 각종 학술대회발표 및 전문학술지 투고

- 각종 학술대회와 전문학술지에 연구결과를 발표하여 기술을 전파하였으며, 향후에

도 지속적으로 수행할 예정이다.

- 1) 전근우·서정일. 2003. 일본에 있어서 목제 사방시설의 현상과 과제. 2003년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 127-129.
- 2) 전근우·김석우·서정일·中村太士·新谷融. 2004. 저댐군의 수리모형실험(Ⅲ) - 토사유입이 하상변동에 미치는 영향-. 2004년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 355-357.
- 3) 전근우·김석우. 2004. 저댐군의 수리모형실험(Ⅳ) -토사유입시의 시간경과별 유출토사량을 중심으로-. 2004년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 318-320.
- 4) 전근우·김석우·문진희·염규진·김경남·김재현·이천용·木村正信. 2004. 오스트리아의 환경친화적 사방공법. 산림공학기술 2(3) : 258-269.
- 5) 전근우·김석우. 2005. 저댐군의 수리모형실험(Ⅴ) -계상물매별 저댐의 배치효과-. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 논문발표집 : 411-413.
- 6) 전근우·김석우·이호·김윤진·이진호·江崎次夫. 2005. 저댐군의 수리모형실험(Ⅵ) -계상변동역을 중심으로-. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 348-350.
- 7) 전근우·양동윤·김석우·김경남·김재현. 2005. 피해저감을 위한 효과적인 사방댐 시공기준(Ⅱ) -투과형 사방댐의 경우-. 산림공학기술 3(2) : 103-124.

제6장 연구개발과정에서 수집한 과학기술정보

1. 일본에 있어서 쓰나미에 대비한 해안림 조성과 비구조물 대책

2004년 12월 26일 오전 6시, 인도네시아 수마트라섬 서부 해저 40km지점에서 리히터 규모 9.0의 강진이 발생, 이로 인한 쓰나미에 의해 30만명에 육박하는 인명이 사망하는 등 막대한 재산·인명피해가 발생한 것으로 보도되고 있다. 지진은 아직 예측이 불가능하지만, 쓰나미는 예측이 가능하기 때문에 쓰나미 조기 경보시스템과 감시설비를 잘 활용하면 피해를 줄일 수 있고, 특히 우리나라에 영향을 미치는 쓰나미가 일본 홋카이도 부근에서 발생하면 동해안에는 1시간 50분 정도에 도달하기 때문에 대비가 가능하다. 아시안 월스트리트 저널은 지난 12월 31일자에서 「남아시아 지역이 휴양시설 건설과 새우 양식업을 위해 맹그로브 숲을 남벌하여 피해가 가중되었다」고 지적하였다. 즉 해안의 저목은 수간과 근계에 의해 파괴력을 1차적으로 흡수하고, 내륙에 조성되어 있는 교목이 2차로 저지하는 기능이 있지만, 벌채로 인해 해안림의 방재 기능이 상실되었다. 특히 맹그로브 벌채지는 쓰나미 피해의 위험지역이지만 고급 호텔과 리조트 시설이 조성되어 피해가 발생하였고, 특히 완충역할을 하는 사구도 파괴되어 피해가 가중되었다.

우리나라에서는 지정학적인 원인에 의해 해안림에 관한 연구가 진행되지 못하다가 1980년대 이후에 부분적으로 진행되고 있다. 즉 해안림의 임분구조와 식생분포, 해안사구의 식생조사와 현존량 파악, GIS 및 위성자료를 이용한 해안 환경립 조사, 해안송림의 친환경적 이용방안, 해안림의 다면적 기능과 시대적 가치변화 및 해수욕장의 녹지조성 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 일본에서는 이전부터 해안림과 해안사방에 대한 연구가 다양하게 진행되어 연혁, 분포와 변화, 제도와 시업방침, 생리·생태적 특성, 주요 실태, 환경보전 기능평가, 바람직한 조성법과 관리법 등의 연구결과가 발표되고 있다. 특히 2000년도에는 해안림에 관한 연구의 진보발전을 도모하고, 해안림을 둘러싼 환경의 보전, 생활환경의 개선 등에 기여하는 것을 목적으로 日本海岸林學會가 창설되어 활발히 활동하고 있으며, 우리나라의 일부 관련 연구자들이 이에 적극적으로 참여, 연구활동을 계속하고 있다. 그러나 쓰나미에 대한 해안림의 방재효과는 부분적으로 연구가 진행되었을 뿐 체계적인 연구는 진행되고 있지 못한 실정이다. 따라서 이 연구는 일본 홋카이도 부근에서 쓰나미가 발생할 경우, 우리나라

동해안 지역이 입을 피해특성과 해안림 조성이 쓰나미 피해경감에 미치는 영향을 파악하기 위한 기초연구의 일환으로 일본의 관련 자료를 수집하여 분석한 것이다.

가. 쓰나미의 발생기구와 동해안 쓰나미의 특성

1) 쓰나미의 발생기구

해저에서 발생하는 대규모의 지진에 의한 해저의 지각변동, 해저화산의 폭발, 해안의 산체붕괴, 빙하로부터 분리된 빙산의 돌입, 핵폭발 등에 의해 발생한 파도가 장파가 되어 사방으로 전파하여 해안에서 높은 파도가 형성되는 현상을 쓰나미라고 한다. 우리나라에 영향을 미치는 쓰나미는 그림 6-1-1과 같이 주로 지진에 의해 해저가 연직변위(융기 또는 침강)를 일으킬 경우 해수면이 해저의 변위와 같은 형태의 변위를 일으킬 때 발생하며, 이 해수면의 변위가 해안선에 도달하게 되면 해안지형의 영향을 받아 소상(遡上)하게 된다. 이 때 해수면의 변위를 일으킨 범위를 파원역(波源域)이라고 한다.

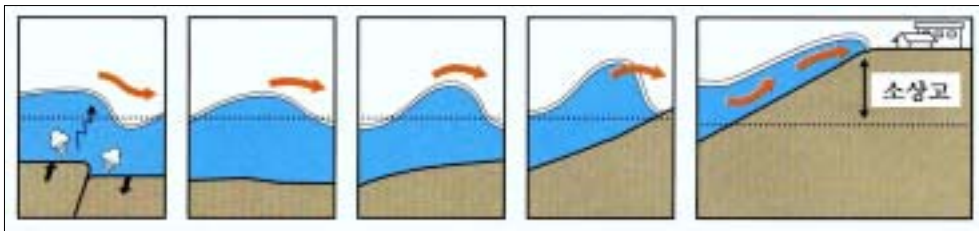


그림 6-1-1. 쓰나미의 발생기구

쓰나미의 크기는 지진의 규모에 영향을 받으며, 쓰나미의 마그니튜우드(규모계급, m)로 표시된다. 쓰나미의 마그니튜우드와 연안에서의 쓰나미의 최대 높이, 피해 정도의 관계는 표 1과 같다. 즉 쓰나미의 규모계급은 주로 [-1]~[4]에 분포하며, 쓰나미의 [4]인 경우 쓰나미의 높이는 30m에 이르러 500km 이상의 해안에 현저한 피해가 발생하게 된다. 쓰나미의 규모 m과 지진의 리히터 규모 M과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$m = 2.61M - 18.44 \dots\dots\dots (식 6-1-1)$$

통상 쓰나미는 지진의 리히터 규모 6 이상일 경우 발생하며, 지진이 커지면 쓰나미도 커지고, 리히터 규모 7 이상이 되면 피해가 나는 쓰나미(m=1)가 발생한다.

표 6-1-1. 쓰나미의 마그니튜드(m)와 높이(H; m), 피해정도

m	파고	피해 정도	m	파고	피해 정도
[-1]	0.5m	없음	[2]	4~6m	약간의 내륙 피해나 인적 손실
[0]	1m	아주 적은 피해	[3]	10~20m	400km 이상의 연안선에 현저한 피해
[1]	2m	해안 및 선박 피해	[4]	30m 이상	500km 이상의 연안선에 현저한 피해

한편, 파원역서 발생한 쓰나미는 해양의 수심에 따라 전파되며, 전파속도는 다음과 같이 계산된다.

$$c = \sqrt{gh} \dots\dots\dots (\text{식 } 6-1-2)$$

여기서, c : 전파속도(m/s), h : 수심(m), g : 중력가속도(9.8m/s^2)이다.

예를 들면, 수심이 4,000m이면 전파속도는 시속 708km이고, 수심 200m인 대륙붕에 서는 시속 158km이다. 해저 지진에 의한 해저단층의 크기는 큰 지진인 경우에도 수 m 정도이기 때문에 이것이 수면변동이 되어 사망으로 퍼져가는 발생역·전파역에서의 쓰나미의 높이는 그다지 높지 않다. 그러나 쓰나미가 큰 재해를 일으키는 것은 연안부의 경우와 같이 수심이 감소하거나 혹은 리아스식 항만과 같이 항만 안쪽으로 갈 수록 폭이 좁아지는 경우에는 에너지가 집중하기 때문이다.

2) 동해지역의 쓰나미의 특성

지금까지 일본 연안에서 발생한 쓰나미에 의한 최대피해는 1498년 9월 20일 도카이 오키에서 발생한 리히터 규모 8.34에 의해 41,000여명이 사망한 것이다. 또한 1933년 3월 3일에 발생한 리히터 규모 8.5의 산리쿠오키 지진에 의해서도 3,064명이 사망하였으며, 이후 거의 10년 주기로 큰 규모의 쓰나미 피해가 발생하고 있다. 최근에는 1983년 5월 26일 아키다현에서 발생한 리히터 규모 7.7의 쓰나미에 의해 104명, 1993년 7월 12일에 발생한 리히터 규모 7.8의 홋카이도 남서 쓰나미에 의해 230명이 각각 사망하였으나, 2003년 9월 26일 리히터 규모 8.0의 토카치오키 쓰나미에 의해서는 단 2명의 사망하였다(그림 6-1-2 및 표 6-1-2). 우리나라의 경우 1983년 5월 26일 아키다현에서 발생한 쓰나미에 의해 강원도 삼척시 임원항에서 사망 2명과 선박과손 등의 재산 피해, 그리고 1993년 7월 12일에 발생한 홋카이도 남서 쓰나미에 의해 침수피해가 각각 발생하였으나, 구체적인 피해사례는 파악되지 못한 실정이다. 따라서 해안가에 인구 및 건물 등 각종 자산이 집중되어 있는 현실에 비추어 볼 때 체계적 대응방안 마

련이 시급하다고 판단된다.

표 6-1-2. 일본에 있어서 1800년 이후의 대형 쓰나미 일람표

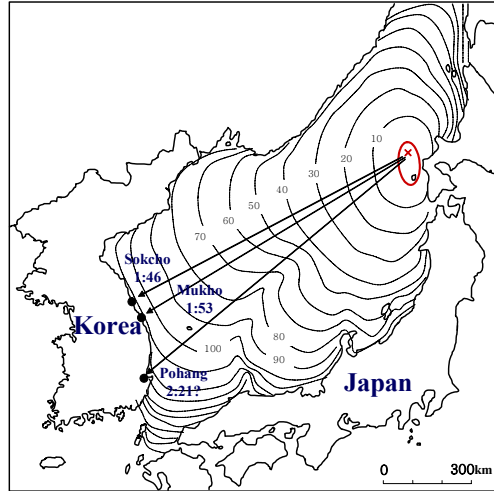


그림 6-1-437. 1993년 쓰나미의 전파속도

번호	년 월 일	과 원 역	마그니튜드		사망자수
			지진(M)	파도(m)	
1	1854년 12월 23일	東 海 沖	8.4	[3]	2,500
2	1854년 12월 23일	南 海 道 沖	8.4	[4]	3,000
3	1896년 6월 15일	三 陸 沖	8.5	[4]	27,122
4	1933년 3월 3일	三 陸 沖	8.1	[3]	3,064
5	1944년 12월 7일	能 野 灘	7.9	[3]	1,223
6	1946년 12월 21일	紀 伊 沖	8.0	[3]	1,330
7	1952년 3월 4일	十 勝 沖	8.2	[4]	33
8	1960년 5월 24일	칠 레	8.5	[4]	142
9	1968년 5월 16일	十 勝 沖	7.9	[2]	52
10	1983년 5월 26일	秋 田 沖	7.7	[2~3]	104
11	1993년 7월 12일	北海道 南西沖	7.8	[3]	230
12	2003년 9월 26일	十 勝 沖	8.0	[2]	2

나. 쓰나미 피해저감을 위한 해안림의 규모

1) 쓰나미 피해에 대한 경감 및 방지기능

일반적으로 쓰나미가 해안림을 통과할 때 수목이 쓰나미에 작용하는 주요 기능은 표류물의 이동저지기능, 유속의 저감과 파괴력감소기능, 표류자의 구제기능 및 사구의 이동저지기능 등을 들 수 있다. 즉

- ① 선박, 굴·김 등의 양식장 설비, 목재 등의 표류물의 이동을 저지하여 이동에 의한 2차 피해를 경감, 방지한다. 즉 수목의 직경, 침수심, 표류물의 종류에 따라

다르지만, 2~3열 혹은 단목에 의해서도 그 효과가 발휘된다.

- ② 수목의 형상에 의한 저항이나 수간의 마찰계수에 의해 쓰나미의 유속이나 에너지를 저감시켜 파괴력을 약화시킨다. 또한 쓰나미가 해안림을 통과하여 농경지나 택지에 유입할 때에는 유로단면이 급증하기 때문에 침수심이 낮아져 파괴력이 약화한다.
- ③ 쓰나미는 갑자기 내습할 뿐 아니라 속도가 빠르기 때문에 사람이 미처 대피하지 못하고 파도에 휩쓸려 익사하는 경우가 많다. 따라서 대피하는 도중에 붙잡거나, 매달릴 수 있는 작은 수목은 주민을 표류로부터 구할 수 있다.
- ④ 쓰나미는 해안에 도달하면 소행현상(溯行現象)에 의해 다양한 형태로 해안사면을 소상하여 피해를 가중시킨다. 따라서 해안림은 사구의 파괴·이동을 방지하여 사구의 이동에 따른 쓰나미의 간접적 피해를 방지하게 된다.

2) 쓰나미 피해저감을 위한 해안림의 규모

가) 해안림의 폭

쓰나미에 대한 수목의 저항은 파형(波形)에 따라 크게 다르며, 수목의 배열, 지형 등과 같은 요인이 복잡하게 관계되기 때문에 이론적으로 해석하는 데에는 어려운 점이 많다. 그러나 일반적으로 쓰나미가 일정한 폭의 해안림을 통과할 때 수간의 형상 저항을 받아 저감하는 속도와 해안림의 폭과는 다음과 같은 관계가 있다. 즉,

$$L = \frac{2 \cdot 10^4}{C_x \cdot N \cdot D} \cdot \log_e \left(\frac{V_o}{V} \right) \dots\dots\dots \text{(식 6-1-3)}$$

여기서, L : 해안림의 폭

V_o : 해안림에 도달할 때의 쓰나미 속도(m/s)

V : 해안림을 통과한 후의 쓰나미 속도(m/s)

C_x : 수간의 저항계수(통상 1.0임)

D : 평균흉고직경(m)

N : 임목의 분수(본/ha)

또한 임목저항에 의해 흡수되는 쓰나미의 에너지 W 는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$W = F \cdot V_{mean} \dots\dots\dots \text{(식 6-1-3)}$$

여기서, W : 쓰나미의 에너지(kg · m/s)

F : 임목에 미치는 쓰나미의 힘

$$= \Sigma \Delta F = \Sigma \frac{1}{2g} C_X \cdot \rho \cdot V_{mean}^2 \cdot \Delta N \cdot D \cdot H$$

ΔF : 해안립 전면부로부터 일정거리에 위치하는 임목에 미치는 힘(kg)

g : 중력의 가속도($9.8m/s^2$)

ρ : 해수의 밀도($1,030kg/m^3$)

V_{mean} : 일정 구간내의 평균쓰나미 속도(m/s)

ΔN : 일정 구간내의 임목 분수

H : 파고(m)

$\Delta N \cdot D \cdot H$: 소구간 내의 쓰나미에 대항하는 수관투영면적의 합계(m^2)

상기 식에 의한 계산사례에 의하면, 그림 3에서 알 수 있듯이 쓰나미의 진입속도는 진입거리에 지수함수적으로 저감한다. 즉 폭 30m의 해안립이 조성되면 쓰나미의 속도는 60%이하로, 그리고 에너지는 20% 이하로 저감하게 된다. 따라서 쓰나미의 유속을 저감시켜 파괴력을 상당히 저감시키기 위해서는 적어도 30m 정도의 폭이 필요하며, 우리나라의 동해안에 영향을 미칠 대규모의 쓰나미의 유속을 저감시키기 위해서는 60m 정도는 필요할 것으로 판단된다.

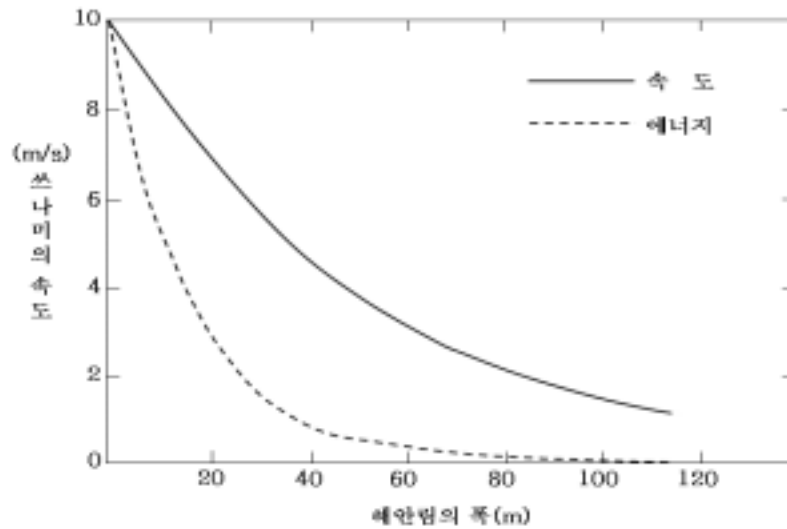


그림 6-1-3. 해안립에 의한 쓰나미의 속도와 에너지 저감

나) 해안림의 구조와 배치

쓰나미의 유속을 저감시키기 위해서는 임목의 두께(흉고직경)를 증가시키고, 지하고 이하의 공간을 저목으로 밀생하도록 할 필요가 있다. 이를 위해서는 해안림의 전면에는 저목 수림대를, 그리고 후방을 교목 수림대로 구성하며, 교목 수림대에는 하층목을 도입하여 복층림으로 하는 것이 바람직하다. 해안림을 조성할 초기에 하층목을 처음부터 도입하는 경우는 드물지만, 그림 4, 5와 같이 곱솔을 주 임목으로 하는 곳의 하층에는 염해에 강한 사철나무, 우묵사스레피, 다정큼나무, 동백나무, 줄가시나무, 소귀나무, 후박나무 및 감탕나무 등의 활엽수가 밀생하는 천연복층림을 조성하면 상당히 효과적이다(中島, 1999).



그림 6-1-4. 일본의 해안사방 시공지 및 해안림의 임분 상태

그러나 곱솔 이단림 혹은 복층림을 조성하는 것은 현실적으로 어려운 점이 많다. 따라서 단층림일지라도 전선부분이 밀생상태이면 유속을 저감시키는 효과가 높기 때문에 해안림의 전선부에 가까운 20~30m 사이에서는 가지치기와 간벌은 신중하게 생각하여야 할 것이다. 또한 해안림이 파괴된 부분에는 쓰나미가 발생하면 해수가 침입하거나 표토가 세굴되어 도목의 원인이 되거나 각종 표류물이 유입하여 가옥이 파괴되기도 하기 때문에 후방의 해안림은 충분한 무육작업이 필요하다.

3) 방조시설의 시공

해안림 단독으로도 쓰나미에 대한 방재효과가 있지만, 해안림만으로 쓰나미의 침입을 저지하는 데에는 한계가 있으며, 특히 평지가 좁은 해안 근처에 가옥이나 각종 시설, 농경지 등이 조성되어 있는 경우에는 해안림을 충분히 조성할 수 없다. 따라서 방조제와 같은 방조시설을 시공하게 되면 쓰나미의 강력한 파괴력에 저항할 수 있게 된다. 해안에 충분한 공간이 있는 경우에는 완충지대인 사빈을 충분한 폭으로 보존하고,

인공사구를 조성한 후, 그 후방에 해안림을 배치하며, 해안림의 전면에 호안공작물을 시설하도록 한다. 그리고 해안림 후방에 농경지를 배치하고, 취락은 가능한 한 고지대로 이전한 후, 그 전면을 방조제로 보호하는 것이 이상적이다.

그러나 실제적으로는 방조제, 방호호안을 해안 근처에 배치하여 그 후방의 해안림이나 취락을 보호하는 경우가 많으며, 해안림의 폭이 넓은 경우에는 해안림 내에 방조제를 배치하기도 한다. 또한 해안침식이 심하게 발생하거나 해안림이 파괴된 곳에서는 방조제, 호안시설 이외에 파도막이와 같이 해안침식을 방지하고 해안림을 보호하는 공사가 도입되고 있으며, 앞으로 이와 같은 노력은 더욱 필요하게 될 것이다.

다. 쓰나미에 대한 비구조물 대책

1993년 7월 12일 북해도 남서오키지진이 발생하였을 때에 지진발생 후 5분만에 쓰나미경보가 발령되었지만, 진원지로부터 50km밖에 떨어져 있지 않았던 오키시리도에서는 해저지형의 특성에 의해 지진발생 직후 쓰나미가 내습, 큰 피해가 발생하였다. 그러나 1983년 5월 26일에 발생한 동해중부지진의 쓰나미 피해를 교훈삼아 지진발생 직후에 산이나 고지대로 대피한 사람들은 피해를 입지 않았다. 따라서 쓰나미가 발생하였을 경우, 주민대피 등과 같은 비구조물 대책의 필요성이 강하게 대두되었으며, 일본에서는 대응법, 주의점 및 앞으로의 과제 등에 대하여 심도있는 연구가 시도되고 있다.

1) 대응법

- ① 강한 지진이나 장기간의 진동이 감지되면 곧바로 해안으로부터 벗어나 신속하게 고지대 등의 안전한 장소로 피난한다.
- ② 쓰나미 경보가 발령되면, 지진을 감지하지 못하였다더라도 곧바로 해안으로부터 벗어나 신속하게 고지대 등의 안전한 장소로 대피한다. 또한 정확한 정보를 라디오나 TV 등을 통해 입수한다.
- ③ 쓰나미 주의보가 발령되면, 해안에 있는 사람들은 해안으로부터 벗어난다. 또한 해수욕이나 낚시는 위험하므로 중단하며, 쓰나미는 반복되므로 해제될 때까지 해안에 접근하지 말아야 한다.

2) 주의점

- ① 쓰나미의 속도는 해수면이 깊을수록 빠르며, 심해의 경우 제트기의 속도로 전파된다. 또한 해안에 도달하였을 때에도 초속 10m 정도로 전파되기 때문에 쓰나미

가 발견되었을 때에는 대피하기 어렵다.

- ② 쓰나미의 높이는 해안지형에 크게 좌우된다. 심해에서의 높이가 1m 일지라도 근해에서의 쓰나미는 그 몇 배, 경우에 따라서는 10배 정도의 높이가 되어 큰 피해를 가져온다.
- ③ 일반적으로 쓰나미가 도달하기 직전에는 썰물이 발생하지만, 그렇지 않은 경우도 있다. 즉 지진의 발생형태나 진원 부근의 지형에 따라 썰물이 발생하지 않는 경우도 있다.
- ④ 쓰나미는 2, 3회 반복하여 내습한다. 따라서 파도가 안정될 때까지 주의하여야 하며, 쓰나미 경보나 주의보가 해제될 때까지 해안에 접근하지 않도록 한다.

라. 앞으로의 과제

- ① 대규모의 쓰나미(3m 이상)가 10분 이내에 내습하는 지역에서의 표준적인 주민피난방법이 결정되어 있지 않기 때문에 이에 대한 대책이 마련되어야 한다.
- ② 항만도시에서의 복수 피재시나리오가 제시·확립되어 있지 않으며, 항만에 있어서의 계류선박대책이 확립되어 있지 않고 있다.
- ③ 쓰나미 발생에 대비한 지하공간 침수대책이 세워지지 않고 있다.
- ④ 쓰나미의 계속시간과 주의보에 대한 중요성이 이해되지 못하고 있다.

2. 피해저감을 위한 효과적인 사방댐 시공기준 -투과형 사방댐의 경우-

사방댐은 계상물매의 완화, 중·횡침식의 방지, 산각의 고정과 산복붕괴 방지, 유출토사의 억제와 조절, 난류구역의 유로정비 및 계류생태계의 보전 등(산림청, 2000; 전근우, 2002; 전근우 등, 2003a; (社)砂防學會·環境と調和した砂防事業に關する研究委員會, 1994; 橋岡伸守, 1993a; 1993b)을 목표로 시공되는 하천구조물로 최근에는 생태성과 경관성을 강조하는 환경친화적인 사방사업이 강하게 요구되고 있으나, 토석류의 포착 및 감세, 유목의 포착에 대한 기능성은 사방댐 본연의 목표라고 할 수 있다(전근우, 2003a; 2003b; 2003c; 2004; 전근우 등, 2003a; 2003b; 池谷 등, 2001; 御坊田과山下, 1992).

따라서 사방댐을 선정할 경우, 우선 산지 및 계류의 유역특성을 충분히 파악한 후에 형식 및 규모를 결정해야 시공될 사방댐이 그 기능을 충분히 발휘할 수 있다. 즉

- ① 계안 · 계상의 침식방지(토사생산억제기능), ② 유하토사의 조절(토사조절기능),

③ 토석류의 포착 및 감세(토석류저지기능), ④ 유목의 포착(유목저지기능) 등에 대한 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 사방댐 시공대상지역에 대한 현지조사를 실시하여 토사이동 특성을 파악하고, 이에 필요한 기능과 대상 토사량을 산정한 후에 사방댐의 형태 및 기수를 결정해야 한다(전근우, 2002; 전근우 등, 2003b; 日本治山治水協會, 1999; 2003; (社)日本河川協會, 2002a; 2002b; 2002c; (社)全國治水砂防協會, 2001a; 2001b). 이 논문에서는 전보(전근우, 2004)에 이어 최근에 시공되고 있는 불투과형의 사방댐을 대상으로 최근 문제시 있는 토석류 및 유목의 처리문제에 대하여 고찰하였다.

가. 투과형 사방댐의 용어, 선택과 기능

1) 용어

① 투과형 사방댐

투과형 사방댐이란 계류의 수리적 연속성을 손상하지 않고 평상시에 토사를 유하시킬 수 있으며, 토석류(유목)를 포착 또는 홍수 시에 토사유출(피이크)을 조절하는 사방댐을 말한다. 따라서 투과형 사방댐은 계상, 산각 고정을 목적으로 하는 장소에는 적합하지 않으며, 계단상 댐군으로 사용되지는 않는다.

② 연속성

연속성이란 하류에 필요한 입경의 토사가 유수에 의해 공급되는 것과 인간, 어류, 계류곤충, 야생동물 등의 이동이 가능한 것을 말한다.

③ 조절토사량과 포착토사량

조절토사량이란 댐에 의해 유출토사가 일시적으로 억제되는 토사량을 말하며, 댐에 의해 포착되는 토석류의 토사량을 포착토사량이라 한다.

④ 투과부

투과부란 투과형 사방댐에 설치되어 평상시에는 유수와 토사가 유하하는 부분을 말하며, 불투과형 사방댐의 천단 방수로와는 다르다. 또한 불투과형 사방댐과 같이 계획홍수를 안전하게 유하시키기 위해 방수로를 천단에 설치한다.

2) 투과형 사방댐의 선택

투과형 사방댐과 불투과형 사방댐의 선택은 현지의 필요기능에 따라 선정하지만, 일반적으로 투과형 사방댐은 토석류나 유목대책을 목적으로 할 경우에는 미리 계획량에 대응한 포착기능을 유지시킬 필요가 있으며, 다음 사항에 유의해야 한다.

- ① 일반적으로 물매가 급한 장소, 특히 골막이로서 침식방지를 위해 설치하는 사방댐으로는 적합하지 않다.
- ② 언상형(堰上型)은 공간적으로 직상류뿐 만 아니라 직하류부에도 퇴사공간을 확보할 수 있는 장소이어야 한다.
- ③ 폐색형(閉塞型)은 직하류부에 보전대상이 있는 경우에는 포착기능의 확보와 돌발적인 토석류 등에 대한 안전성에 유의할 필요가 있다.

3) 투과형 사방댐의 기능

투과형 사방댐은 표 6-2-1과 같이 토석류를 포착하고, 토석유출의 조절 및 피이크를 제어하며, 유목을 포착하는 기능이 있다. 또한 시설물이 배치되는 지점의 연속성을 확보하는 부차적 효과가 있다.

표 1. 투과형 사방댐의 목적과 부차적 효과

목 적	토사이동 억제	① 토석류 포착 ② 토사유출 조절 및 토사유출 피이크 제어 ③ 유목 포착
부차적 효과	연속성 확보	① 유사계 유지 ② 어류 등의 소상·강하

나. 토석류 포착을 위한 투과형 사방댐

1) 개요

토석류 포착용 투과형 사방댐은 원계상물매가 1/20 이상의 계류를 대상으로 하여 토석류가 발생, 유하 및 퇴적하는 구간에 토석류를 포착할 목적으로 설치한다. 단, 계상물매가 1/20 이상일지라도 토석류가 발생하지 않을 것으로 예상되는 계류나 소류상태의 토사가 유하할 것으로 예상되는 계류에는 토사조절을 위한 투과형 사방댐을 계획한다. 투과부의 단면은 토석류를 포착한 경우에는 폐쇄되는 것으로 간주하며, 이 경우에는 포착기능이 저하되기 때문에 준설을 한다.

2) 배치

투과형 사방댐을 배치할 경우 계안의 사면이 안정된 지점을 선택하여 사면으로부터의 토석류, 산사태 및 눈사태 등에 의해 사방댐의 안정이 손상되지 않도록 한다. 사방댐의 상류에는 계획포착토사량에 대한 충분한 퇴사공간을 확보하는 것이 바람직하다.

또한 토석류가 범람하거나 투과부 단면이 유목 등에 의해 막혀 평상시에도 돌발적으로 토사유출이 발생할 수 있기 때문에 원칙적으로 보전대상의 상류 쪽에 가장 가까운 위치에 설치하는 것은 피해야 하며, 작은 입경의 계상재료를 포착할 수 있도록 슬릿트의 폭을 좁게 하는 등 토석류를 충분히 포착할 수 있는 투과부 단면으로 한다.

3) 투과부 단면의 위치

가) 연직방향

투과형 사방댐의 투과부 단면의 기저 높이는 계류의 연속성을 확보할 수 있도록 원칙적으로 원계상고 정도로 하며, 사방댐 직하류의 국소세굴을 방지하기 위해 과거 수년간의 최고 계상고에 투과부 저면을 설정하면 된다. 또한 투과형 사방댐이 충분히 기능을 발휘하기 위해서는 계상의 종단형을 경년적으로 파악할 필요가 있다.

나) 횡단방향

평상시의 계류의 사행성을 고려하여 양안의 안정이 손상되지 않는 위치로 하고, 토석류의 직진성이 높다는 것을 고려하여 투과부 단면을 설정한다. 일반적으로 유로의 안정을 위해서 직선부는 중앙에, 그리고 곡류부에서는 평상시의 파형이 바깥쪽에 형성되기 때문에 투과부 단면을 안쪽에 설치하는 것이 유리하지만, 토석류가 곡류부의 바깥쪽을 유하하는 경우에 대한 안전성도 검토한다(大久保 등, 1996).

4) 투과부 단면의 크기

가) 투과부 단면의 폭

투과부 단면의 폭을 설정할 때에는 대상이 되는 토석류를 확실하게 포착해야 한다. 각 투과부 단면의 폭은 계획지점의 상·하류 각 200m 사이에 있는 거력 100개 이상의 95% 입경을 조사하여 그것의 1.5배 이하로 하며(渡辺 등, 1980), 유목이 예상되는 계류에서는 유역의 대표적 입목 높이의 1/3의 폭과 비교하여 작은 쪽을 투과부의 단면 폭으로 한다. 또한 토석류 선단부가 포착되더라도 퇴적 토사가 후속류에 의해 유출되는 경우가 있기 때문에 포착률이 높아야 하는 곳에서는 작은 입경의 토사도 포착되도록 해야 한다.

나) 투과부 단면의 높이(슬릿트 높이)

토석류의 피이크 유량이 사방댐에 도달하게 전에 수위가 상승하여 담수되면 유입되는 토석류에 의해 매우 짧은 시간에 월류가 발생하기 때문에 토석류의 피이크가 도달하기 전에 유량이 안전하게 유하할 수 있는 단면을 확보해야 한다. 즉 토석류 형태가 아닌 피이크 유량의 수위가 상승하지 않고 유하할 수 있는 투과부 단면을 확보하도록

한다. 따라서 일반적으로 투과부분의 면적이 큰 강제 슬릿트 사방댐이 콘크리트 슬릿트 사방댐에 비해 유리하다.

계상변동이 빈번히 발생하는 계류에서는 연간 변동고를 고려하여 투과부 단면의 높이를 설정한다. 또한 방수로 단면은 토석류에 따라 투과부가 막힐 경우에 대처할 수 있도록 토석류의 피이크 유량을 안전하게 유하시킬 수 있는 단면을 확보해야 한다.

5) 안정성

투과부의 안정은 그림 6-2-1의 외력을 참고로 하여 불투과형 사방댐에 준하여 안정 계산을 실시하며, 이 경우 투과부의 자중이 감소한다는 것에 주의하여 계획한다. 또한 불투과부에 대해서는 토석류의 유체력과 사력에 의한 마찰력을 견딜 수 있는 구조로 하여 토석류가 충돌하는 단면의 안정계산을 실시하고, 사방댐을 일체로 하여 안정계산을 실시한다. 또한 기초부가 계상보다 높을 경우에는 기초부에 정수압을 첨가하여 계산한다.

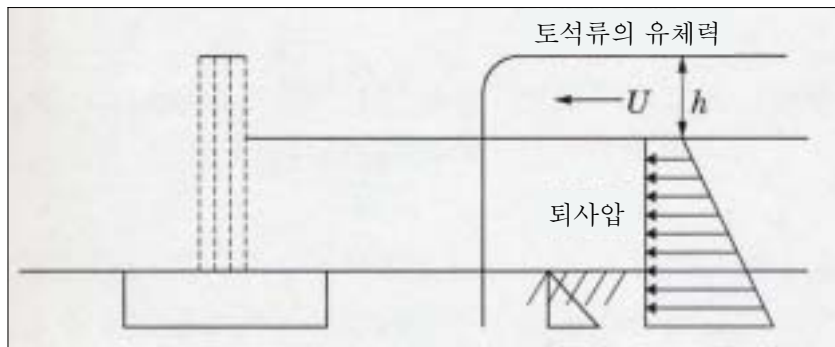


그림 6-2-1. 투과부의 외력

사방댐을 일체로 하여 안정성을 조사할 때에는 우선 사방댐을 강체로 보아 정수압, 퇴사압은 물론 토석류로부터 받는 전유체력에 대해 저면, 측면 전체가 안정조건을 만족하는가를 검토한다. 이어서 필요에 따라 유한요소법, 경계요소법 등에 의한 내부의 구조해석과 조사를 실시한다. 특히 사방댐이 계류횡단을 위한 교량기능을 겸할 경우에는 하중에 의해 발생하는 암거 천단의 인장응력에 대해서도 안정한가를 검토해야 한다.

6) 계획포착량 산정

토석류 포착을 위한 투과형 사방댐은 토석류에 의해 막히는 것을 예상해야 하기 때문에 그림 6-2-2와 같이 사방댐의 방수로 천단으로부터 원계상물매의 2/3 기울기로 형성되는 퇴사선 이하에서 포착되는 토사를 계획포착량으로 한다. 단 해당 계류의 실제치가 있는 경우에는 2/3 이외의 수치로 해도 된다.

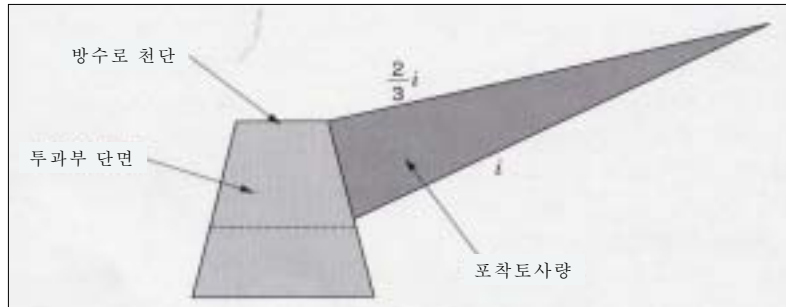


그림 6-2-2. 토석류 포착을 위한 투과형 사방댐의 포착토사량

다. 토사조절을 위한 투과형 사방댐

1) 개요

토사조절을 위한 투과형 사방댐은 홍수류의 유수와 토사의 유출을 조절하는 것을 말하며, 토사유출의 피이크 저감효과를 목적으로 한다. 또한 대형암거 사방댐은 조절 토사량을 예상하지는 못하지만, 수리계산이 같기 때문에 토사조절을 위한 투과형 사방댐으로 분류한다.

2) 배치

토사조절을 위한 투과형 사방댐은 홍수류의 피이크 시에 유출, 조절되었던 토사가 후속류에 의해 출수 후반에 사방댐 하류로 유출되기 때문에 상·하류 모두 계획조절토사량에 대한 충분한 퇴적공간을 확보할 필요가 있다. 따라서 투과형 사방댐은 보전대상의 직상류에 단독으로 설치하는 것은 피해야 하며, 또한 부득이 하게 계획할 경우에는 직하류의 계상물매를 완화하여 급격히 하류로 유하하지 않도록 해야 한다.

3) 투과부 단면의 위치

투과부 단면의 위치는 연직방향 및 횡단방향을 고려하여 결정해야 하며, 구체적 내용은 토석류 포착을 목적으로 하는 경우와 같다.

4) 투과부 단면의 크기

가) 투과부 단면의 유량산정

투과부 단면으로 흐르는 유량은 암거·슬릿트의 벽면 물매를 수직으로 하면, 다음의 (6-2-1)에 의해 구할 수 있다.

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \dots\dots\dots (식 6-2-1)$$

여기서, Q : 투과부의 유량

μ : 유량계수

b : 슬릿트의 폭

g : 중력가속도

h : 투과부의 수심이다.

또한 μ는 투과부의 단면 형상에 따라 변하기 때문에 수리실험이나 수치해석에 의해 정한다.

나) 투과부 단면의 폭

투과부 단면의 폭은 수리실험에 의해 계상이 상승하는 것을 확인할 수 있는 폭 이하로 하며, 토사조절을 목적으로 하는 경우에는 투과부가 유하토사에 의해 막혀서는 안된다. 수리계산이나 수리모형실험 등에 의해 계상의 상승 및 토사유출 피이크 조절을 확인하며, 풍도목 등이 유하하여 투과부가 막힐 것으로 예상되는 경우에는 별도로 유목대책을 검토한다. 또한 계상재료를 제거할 때에 가설 도로로 투과부의 단면을 사용하는 경우에는 건설기계의 사용 가능성에 대해서도 검토한다.

다) 투과부 단면의 높이

계획유량에 대해 발생할 수 있는 계상상승의 높이 이하로 한다. 계상의 상승·하강이 현저한 계류에서는 과거 수년간의 계상변동을 고려하여 투과부 단면의 높이를 설정한다. 토사조절을 목적으로 하는 경우에는 토사유출의 피이크가 도달하기 전에 침수되는 것은 계상상승을 기대한다는 면에서 유해하지 않기 때문에 계획홍수유량 중에서 유수만을 유하시키는 단면을 확보할 필요는 없다. 또한 출수 후반의 사퇴의 이동에 의해 투과부의 유하능력이 부족할 경우에도 대처할 수 있도록 방수로 단면에 대

해서도 계획홍수유량을 유하시킬 수 있는 단면을 확보해야 한다.

5) 안정성

불투과형 사방댐에 준해 안정계산을 실시한다. 그러나 투과부의 자중이 감소하는 것에 주의하여 설계할 필요가 있으며, 또한 필요에 따라 체체의 일체로서의 안정성에 대해서도 계산한다.

6) 계획포착량 산정

수중안식각 $\theta = 30^\circ \sim 35^\circ$ 의 연결선과 방수로 천단의 연결선이 만나는 지점으로부터 원계상물매의 1/2 이율기로 형성되는 퇴사선 이하의 토사를 출수의 피이크 시에 유하를 조절할 수 있는 토사량으로 간주한다. 단 해당 계류의 실적치가 있는 경우에는 1/2 이외의 수치로 해도 좋다.

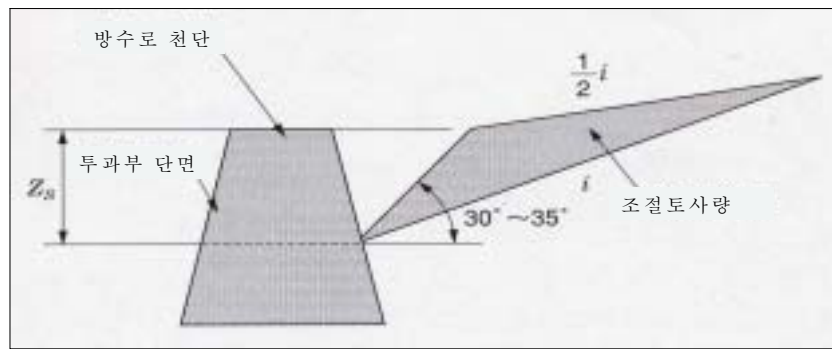


그림 6-2-3. 토사를 조절하는 투과형 사방댐의 조절토사량

토사를 조절할 경우 출수 전반부로부터 피이크까지 사방댐의 퇴사구간에 퇴사가 전진하여 퇴사의 전면이 사방댐의 상류에 도달하는 것으로 한다. 당장은 퇴사의 총토사량을 계획조절토사량으로 간주하지만, 실제 데이터에 의해 재검토하면 좋다. 퇴사의 높이 Z_s 는 <식 2>에 의해 구할 수 있다.

$$Z_s = \left\{ \frac{F_r^2}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{3\phi r^2}} - 1 \right] + \frac{\sqrt{3\phi r}}{r} - 1 \right\} \left[\frac{mQ}{B_s \sqrt{i}} \right]^{0.6} \dots\dots\dots (\text{식 6-1-3})$$

- 여기서, Z_s : 퇴사의 높이
- F_r : 등류수심
- Ψ : 유수 폭의 축소율(= B_d / B_s)

(B_d 는 댐 지점의 유수 폭, B_s 는 퇴사 어깨 위치의 유수 폭)

i : 계획퇴사물매

n : Manning의 조도계수

Q : 계획홍수유량이다.

라. 유목 포착을 위한 투과형 사방댐

1) 개요

유목포착공은 토사와 함께 유하하는 유목을 포착하는 것으로 토석류 구간과 소류구간에서는 시설의 포착형태에 차이가 있다는 것에 주의해야 한다. 유목포착공으로 현재 사용되고 있는 시설에는 투과형 사방댐, 부분투과형 사방댐, 불투과형 사방댐+유목막이(부댐 등에 설치), 유사지(모래막이를 포함)+유목막이 등이 있다

2) 토석류구간의 유목대책

가) 유목포착공의 효과량

토석류구간에서는 유목도 토석류와 같이 포착한다. 즉 토석류 구간에서는 투과형 사방댐 혹은 부분투과형 사방댐 등에 의해 토사와 유목을 동시에 포착하기 때문에 토석류와 함께 유목을 포착하기 위한 유목포착공의 효과량은 예상포착용량(V_d)×유목용적률(β)에 의해 유목실입적(V_r)을 구한다.

$$V_r = V_d \times \beta \quad \dots\dots\dots \text{(식 6-1-3)}$$

$$V_d = h \times W \times (2 \sim 3) \times 1/I \times H \quad \dots\dots\dots \text{(식 6-1-4)}$$

여기서, h : 유목막이의 높이(m)

W : 유목막이 상류지역의 침수 폭 또는 퇴사지의 평균 폭(m)

I : 유목막이 상류지역의 원계상물매

H : 유목막이 중앙부의 원계상으로부터의 높이(m)

실측치에 의하면 유역면적이 큰 경우는 β 가 작고, 유역면적이 작은 경우에는 β 는 커지는 경향이 나타나지만, 통상 0.3 이하이다.

나) 유목포착공의 설계

① 각 부의 구조

유목포착공의 각 부의 구조(방수로 단면, 천단 폭, 반수면 기울기, 기초, 어깨의 안정성 및 구조, 전정보호공)는 불투과형 사방댐이나 투과형 사방댐에 준하여 실시한다.

토석류구간에 있어서의 유목포착공은 유목과 토석을 함께 포착하기 때문에 슬릿트의 순간격(부재간의 간격)은 토석류에 포함된 최대 유목길이의 1/2~1/3 이하, 토석류에 포함되는 최대 사력입경의 1.5배 이내로 한다.

② 제체의 안정성 검토

토석류구간에 있어서 유목포착공에 대한 전체 구조의 안정성 검토는 설계하중을 조합하여 실시한다(그림 6-2-4).

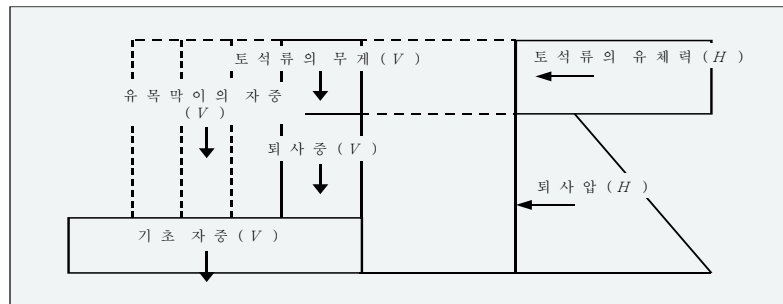


그림 6-2-4. 토석류구간의 유목포착공에 대한 설계외력

표 6-2-2. 토석류구간에 있어서 안정계산에 이용하는 하중

댐 높이	설 계 하 중	안 전 율
15m 미만	토석류의 유체력, 퇴사압 및 자중	1.2

기초 불투과부를 포함한 유목포착공의 높이는 15m 미만으로 한다. 기초 불투과부는 투과부와 일체화 되도록 하고, 투과부의 하중을 분산, 균등화하여 지반의 허용지지력 이하로 전달할 수 있는 두께로 한다. 따라서 기초 불투과부의 두께는 투과부의 구조, 형상 및 기초지반의 특성에 따라 결정되지만, 일반적으로 1m 이하를 원칙으로 한다. 유목포착공의 어깨부 등이 콘크리트 구조일 경우 어깨부분 등의 구조나 부재의 안정성을 검토할 때에는 유목 및 거력의 충돌에 의한 충격력에 대해서도 검토해야 한다.

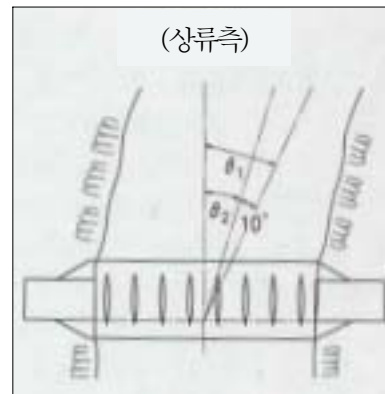


그림 6-2-5. 투과부 부재에 대한 면외하중

③ 부재의 안정성 검토

투과부의 부재 설계에 대해서는 설계하중 이외에 면외하중 및 유목과 거력의 충돌 하중에 대해서도 안전하도록 설계해야 하며, 면외하중은 토석류를 포함한 전석이 유침으로부터 10°편심하여 충돌하도록 한다.

3) 소류구간에 있어서 유목대책

가) 유목포착공의 효과량

유목막이에 의해 포착되는 유목의 양을 산정할 때에는 퇴적되는 유목 사이에 간극은 있지만 시설부근에서는 어느 정도는 포개지는 것을 고려하여 퇴사면을 유목이 모두 덮는 것으로 가정하여 계산한다. 또한 포착되는 유목의 투영면적은 유목의 평균길이(l_{av})×유목의 평균직경(d_{av})의 합계에 의해 산정한다.

따라서 계획대상 유목포착량을 포착하기 위해 필요한 유목막이 상류의 퇴사지 또는 침수지의 면적(A_d), 퇴사지 또는 침수지에 퇴적하는 유목의 실적률(Vr_2)은 각각 (식 6-2-5)와 (식 6-2-6)에 의해 추정한다.

$$A_d \geq \sum(l_{av} \times d_{av}) \dots\dots\dots (식 6-1-5)$$

$$Vr_2 \approx A_d \cdot d_{av} \dots\dots\dots (식 6-1-6)$$

나) 유목포착공의 설계

① 투과부의 높이

유목막이(투과부)의 높이는 유목막이에 의한 사방댐의 수위 상승을 고려한 홍수류의 수위보다 적어도 유하가 예상되는 유목의 최대직경의 2배 이상 높게 잡는다(그림 6-2-6).

$$H_s = h_s + \Delta h \dots\dots\dots (식 6-1-7)$$

여기서, H_s : 유목막이(투과부)의 높이

h_s : 유목막이에 의한 사방댐의 수위 상승을 고려한 수위

Δh : 유목포착을 고려한 할증수심($\Delta h \geq 2d_{max}$)이다.

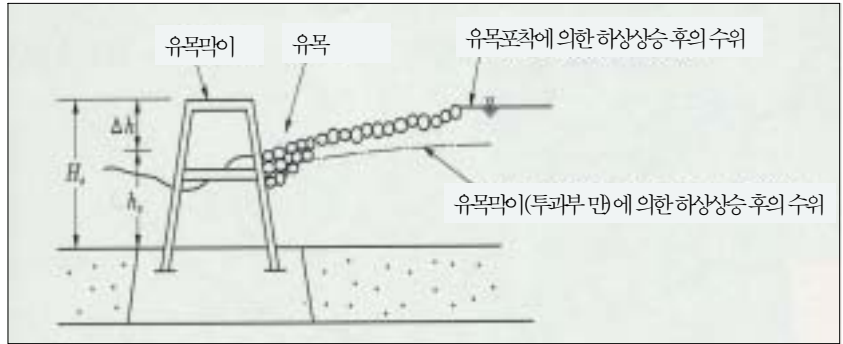


그림 6-2-6. 소류구간에 설치하는 유목포착공의 투과부 높이(H_s)의 모식도
 소류구간에 유목막이를 설치할 때에는 대부분의 유목이 이류, 홍수의 표면류를 유하하기 때문에 이것을 포착하기 위한 유목막이의 높이는 유목막이에 의한 사방댐의 수위 상승을 고려한 이류나 홍수의 수위보다 높아야 한다.

또한 종부재에 의한 사방댐의 수위 상승 후의 수위(h_s)는 다음 식에 의해 산정할 수 있다.

$$h_s = h + h_r \dots\dots\dots (식 6-1-8)$$

$$h_r = \beta \sin \theta \left(\frac{t}{d} \right)^{4/3} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (식 6-1-9)$$

여기서, h : 사방댐의 수위 상승 이전의 수위

h_r : 유목막이 종부재에 의한 사방댐의 수위 상승 높이(m)

β : 종부재의 단면형상에 의한 계수(강관 $\beta=2.0$, 각상 강관 $\beta=2.5$, H형 강 $\beta=3.0$ 을 이용한다)

θ : 종부재의 하류 계상면에 대한 경사각($^\circ$)

t : 종부재의 직경(m)

d : 종부재의 순간격(m)

v : 상류의 유속(m/s)

g : 중력가속도(m/s^2)이다.

홍수류의 유속, 수심 등은 토사를 포함한 유량을 Manning식 등에 의해 산출하며, 유목을 포함할 때의 유속, 수심 등의 영향은 고려하지 않는다. 또한 유목의 유속은 홍수류의 표면유속과 거의 같다고 할 수 있기 때문에 평균유속의 약 1.2배로 계산한다.

소류구간의 계상이동물질의 유하최대입경은 현지조사 및 한계소류력에 의한 이동한계 입경을 참고로 정한다.

유목막이의 높이(H_s)는 최대전석이 다음의 조건을 만족시키는 경우, 투과부가 막히지 않는다고 가정하여 다음과 같이 결정한다.

$$D \geq 2d_i \dots\dots\dots (\text{식 } 6-1-10)$$

여기서, D : 투과부의 순간격

$2d_i$: 최대전석이다.

가) 토사력 등에 의해 막힐 염려가 없는 경우

유목막이의 높이는 댐 상승고를 더한 수심 h_s 에 활중수심 Δh 을 더한 것으로 한다 (그림 6-2-7).

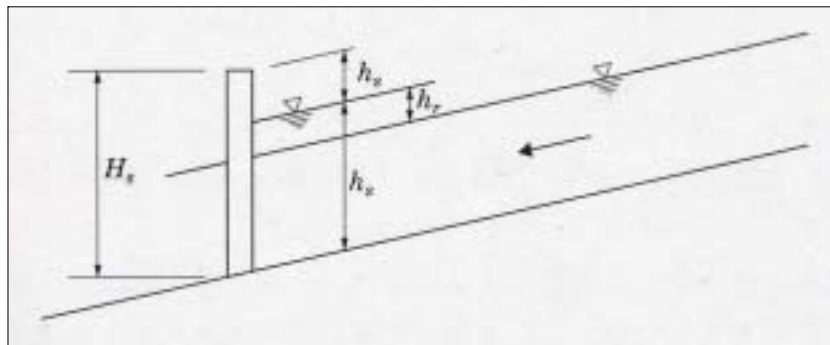


그림 6-2-7. 막힐 염려가 없는 경우의 투과부 높이

나) 토사력 등에 의해 막힐 염려가 있는 경우

유목을 포착하기 위해 중부재 간격으로 설치된 유목막이를 최대전석이 통과할 수 없는(중부재 간격이 최대전석의 2배 이하)경우는 유목막이 하부가 토사 등으로 메어질 수 있다.

이와 같은 경우에는 유목막이에 의해 최대전석은 저지되기 때문에 그림 6-2-8과 같이 여유고를 두어 설치한다. 단 유목막이의 높이를 필요 이상으로 높게 하면 유목포착공 자체나 주변의 기슭막이이가 과대해지는 경우가 있기 때문에 대부분의 경우 기초저부로부터 유목막이의 천단까지의 높이는 5m 이하로 한다.

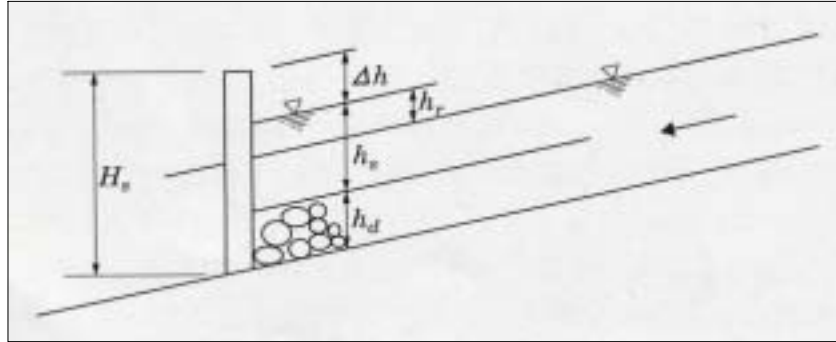


그림 6-2-8. 막힐 염려가 있는 경우의 투과부 높이

② 전체의 안정성 검토

전체의 안정성을 검토할 때에는 유목포착공이 유목 등에 의해 완전하게 막힌 상태에서도 안정할 수 있도록 설계하며, 소류구역에 있어서의 유목포착공의 안정성 검토는 그림 6-2-9와 같이 실시한다. 그러나 유목막이가 완전하게 막힌 상태를 상정하기 때문에 사력에 의해 투과부가 막히지 않도록 설계해야 하며, 퇴사압도 고려해야 한다. 따라서 설계하중은 자중 이외에 유수의 무게 및 투과부 부재투영단면의 정수압(물의 단위용적중량 $r_w=1.0t/m^3$)으로 한다.

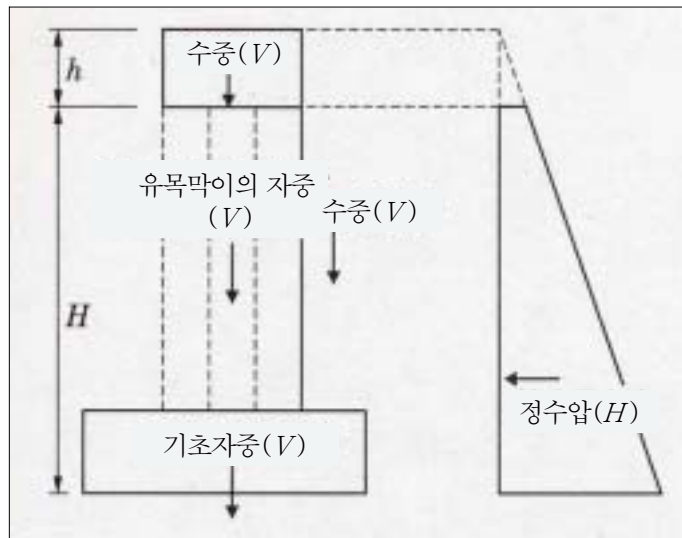


그림 6-2-9. 소류구간에 있어서 설계하중

표 6-2-3. 소류구간에 있어서 안정계산에 이용하는 하중

댐 높이	설 계 하 중	안 전 율
원칙적으로 5m 이하	홍수시 수압 및 자중	1.2

③ 부재의 안정성 검토

소류구간에 있어서 유목포착공의 투과부를 구성하는 부재는 퇴사압, 유목 및 전석의 충돌에 대해 안전하도록 설계한다. 토석류구간의 유목포착공과 마찬가지로 투과부의 구성단면은 작고, 중력식 구조가 아니기 때문에 부재의 구조계산을 실시하여 안정성을 검증한다.

④ 각 부의 구조

유목포착공의 각부 구조(방수로 단면, 천단 폭, 하류물매, 기초, 어깨구조, 전정보호공)의 검토는 유목막이(투과부)의 상류가 유목 등에 의해 완전하게 막혀 유수가 통과할 수 없는 상태를 상정, 불투과사방댐으로 간주하여 방수로 단면, 천단 폭 하류의 물매, 기초, 전정보호공을 설계한다. 유목포착공의 방수로 단면은 투과부가 유목에 의해 막혀 토사류·홍수류가 월류하는 것에 대비하여 원칙적으로 투과부 위에 설치한다.

소류구간에 있어서의 유목포착공은 유목막이의 종부재에 의해 유목을 포착하는 형식을 주체로 한다. 종부재의 수평방향의 순간격은 유목의 최대길이의 1/2~1/3 이하로 한다. 또한 유목막이의 종방향 및 횡방향 부재의 순간격은 필요 이상으로 좁게 잡으면 토사 등에 의해 유목막이가 막혀 유수의 투과가 저해되어 유목이 유수와 함께 유목막이를 월류하기 때문에 결과적으로는 유목의 포착률을 저하시키므로 주의해야 한다. 따라서 소류구간에 설치하는 유목포착공의 수평방향 및 종방향의 순간격은 유하가 예상되는 토사의 최대입경의 2배 이상으로 하는 것이 바람직하다.

유목포착공의 어깨부가 콘크리트 구조인 경우, 어깨부의 구조나 부재의 안정성을 검토할 때에는 유목의 충돌에 의한 충격력에 대해서도 검토할 필요가 있다. 충격력의 산정은 거석의 충돌에 의한 충격력의 산정식인 (식 6-2-11)을 준용한다.

$$F = \alpha \frac{\rho_d}{g} h U^2 \dots\dots\dots (식 6-2-11)$$

- 여기서, F : 단위 폭 당 토석류의 유체력(N/m)
- U : 사방댐 설계지점의 토석류의 평균속도(m/s)
- h : 토석류의 수심(m)

g : 중력가속도(m/s^2)

α : 계수(1.0)

g : 중력가속도(m/s^2)

ρ_d : 토석류의 단위체적중량(t/m^3)이다.

마. 기존 사방댐의 개량

기존의 사방댐을 투과형 사방댐으로 개량할 때에는 제체의 안정성 및 콘크리트 구조물로서의 일체성에 손상이 가지 않도록 필요한 보강을 실시하며, 새롭게 유하 토석에 접하는 투과부 단면에는 마모대책을 강구한다. 또한 설계를 실시할 때에는 기존 사방댐을 개량하여 투과부를 설치하는 경우, 토석류 포착을 목적으로 할 때에는 전술한 「토석류 포착을 위한 투과형 사방댐」을, 그리고 토사조절을 목적으로 할 때에는 「토사 조절을 위한 투과형 사방댐」을 각각 참고하여 필요에 따라 수리모형실험을 실시하며, 중·소규모의 출시 시에도 토사유출이 조절되도록 한다. 한편 투과형 사방댐으로 개량한 경우에는 상류 계안의 안정성 및 하류 범람원의 범위에 대해서도 검토한다.

바. 마모 및 세굴대책

1) 투과부의 마모대책

투과부 단면에는 유수가 집중되기 때문에 투과부 단면의 측면 및 저면을 설계할 때에는 토석류의 발생빈도나 유송토사의 입경에 따라 내마모성을 확보한다. 대상계류의 기존 사방댐에 마모대책이 마련되지 않은 경우에는 근처의 사방댐의 방수로에 실시한 마모대책과 같은 대책을 강구해야 하며, 토석류가 매년 발생하는 계류로 입경이 큰 경우에는 측면 및 저면은 전석깔기, 전석쌓기 등에 의해 내마모성을 확보하도록 한다. pH 5 미만의 산성계류에 철강구조물을 도입할 경우에는 방식대책을 강구해야 하며, 산성계류가 아닌 경우에도 거석이 직접 충돌하는 부재에 대해서는 편면 5.0mm의 부식을 고려해야 한다.

2) 직하부의 세굴대책

토석류를 포착하기 위한 투과형 사방댐은 투과부 단면의 폭을 좁게 하면 평상시에 댐 직하부가 국소세굴을 일으키기 때문에 주의를 요한다. 또한 전정보호공을 설계할 경우에는 계류의 연속성도 확보해야 한다.

토사조절을 위한 투과형 사방댐은 출수 전반에 사방댐의 수위상승을 일으키기 때문에 토사의 유하가 억제되어 투과형 사방댐 시공지점의 유수의 동수물매가 커지고, 동시에 수로 폭을 좁게 하여 수심을 깊게 하기 때문에 출수 전반에 직하류가 일시적으로 국소세굴되는 일이 있기 때문에 주의를 요한다.

전정보호공을 필요로 하는 경우에는 방수로 단면은 계획홍수유량의 유속에 의해 하상재료가 도류하는 범위까지 물받침과 감세공을 시공한다. 투과형 사방댐은 구조상 생태적인 연속성도 확보하지만, 전정보호공을 설계할 때에는 어도를 설치하는 것이 바람직하다. 단 하류에 견고한 암반이 있는 경우나 수리실험 등에 의해 세굴에 대한 안전성을 확보할 수 있는 경우에는 반드시 전정보호공을 설치할 필요는 없다.

제7장 참고문헌

- 강승모·김규혁·백기현. 1995. 낙엽송 심재의 CCA와 CCFZ 처리특성 및 자상처리에 의한 CCA처리도 개선. 목재공학 23(4) : 60-66.
- 강승모·백기현·김규혁. 1997. 증기 전처리에 의한 낙엽송 심재의 방부제 처리도 개선에 관한 연구. 목재공학 25(1) : 15-22.
- 金智植. 1986. 潮間帶의 底棲動物의 攝食行爲가 底質土 環境에 미치는 影響. 陸水學會誌 19(1-2) : 19-27.
- 김규혁·김재진·김형준. 2000. 소나무, 낙엽송, 북약가문비나무 원주가공재의 CCA가 압처리. 목재공학 28(1) : 42-47.
- 김상규·서홍석. 1997. 레올로지 모델을 이용한 토석류 이동해석. 한국지반공학회지 13(5) : 133-143.
- 김성원. 2000. 낙동강 취수보개체를 위한 이동상 수리모형실험. 한국환경과학회지 9(1) : 35-42.
- 김영숙·홍순일·윤정희. 2005. 원주상 낙엽송 소경목의 원목성상과 방부처리성. 2005. 한국목재공학회발표요지집 : .
- 김윤수·김규혁·김영숙. 2004. 목재보존과학. 전남대학교출판부. 275pp.
- 김재현. 2003. 토석류 발생과 방재 기술. 산림 2003년 7월호 : 72-77.
- 김진홍. 1995. 산지하천의 유출토사량 산정에 관한 연구. 대한토목학회 학술발표회 논문집 1995(2) : 280-283.
- 羅鐵昊·崔忠吉·白筍基. 1986. 韓國産 水棲昆蟲의 環境汚染物質에 대한 耐性 및 感受性 研究. 陸水學會誌 19(1~2) : 109-125.
- 박연규·박현철. 1999. 저서성 대형 무척추동물에 의한 밀양강의 생물학적 수질평가. 한국환경학회지 8(1) : 7-18.
- 배경석. 1997. 서울(북한산) 우이천에서 하천휴식년이 수서동물 분포에 미치는 영향. 육수학회지 30(1) : 55-66.
- 산림청. 2000. 사망사업교본. 515pp.
- 산림청. 2001. 21세기 산림비전(발간등록번호 11-1400000-000128-14).
- 산림청. 2004. 전자임업통계연보 2005.

- 서문원·전근우. 1999a. 산지 계류에 있어서 음이온, 하상재료 특성과 수서곤충과의 관계. 1999년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회 : 150-152.
- 서문원·전근우. 1999b. 계류수의 음이온과 하상재료가 수서곤충에 미치는 영향. 산림과학연구 15 : 89-97.
- 서문원·전근우. 1999c. 산지 계류에서 이온 및 하상재료와 수서곤충 분포의 관계. 강원대학교 산림과학대학 학술연구지 19 : 33-40.
- 서문원·전근우. 2000. 산지 계류에 있어서 이온특성과 수서곤충. 2000년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회 : 208-209.
- 서문원·전근우. 2001. 산지급류소하천에 있어서 수서곤충과 하상재료의 관계. 2001년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회 : 242-243.
- 안상진·최계운·김종섭·안창진. 1993. 局部洗掘深度 實驗을 위한 模型水路의 檢證. 대한토목학회 학술발표회 개요집 1993(2) : 119-122.
- 安榮相·曹熙科·徐正一·金錫宇·全權雨. 2003. 河道 內 달뿌리풀 棲息에 對한 바닥 막이의 影響 分析. 韓國林學會誌 92(3) : 168-175.
- 禹保命. 1997. 改訂 砂防工學. 鄉文社. 121pp.
- 우호섭·유권규. 1995. 산지하천 유역의 지질특성에 따른 河床材料와 河床傾斜의 변화 특성에 관한 기초 조사·연구. 대한토목학회 학술발표회 논문집 1995(2) : 232-235.
- 魏仁善. 1974. 榮山江의 底生動物에 依한 生物學的 水質判定. 陸水學會誌 7(3-4) : 29-35.
- 윤호중. 토석류 발생특성 및 피해규모 예측에 관한 연구. 2004. 산림청 치산사업 발전 방안 토론회 자료집 : 35-55.
- 全權雨. 1989. 황폐계류의 堆積形狀과 堆積空間. 江原大學校 森林科學研報 第5號 : 8-17.
- 全權雨. 1990. 荒廢溪流에 있어서 砂防施設物에 의한 河道固定에 관한 연구. 韓國林學會誌 79(3) : 269-277.
- 全權雨·西門原·金昝南·金玟植·廉圭眞·江崎次夫. 1997. 山地急流小河川에서 土石流 및 流木 發生後의 河床變動. 江原大學校 山林科學大學 演習林研究報告 第17號 : 12-19.
- 全權雨. 2001. 日本의 環境親和的 溪流砂防. 山地環境 4 : 87-93.
- 전근우·김민식. 2001. 산불지역의 산지계류에 있어서 저담군 공법의 적용가능성.

- 2001년도 산불피해 복구기술 심포지엄 「동해안 산불지역 2차 산림피해 방지기술 개발」 논문집 : 3-20.
- 전근우. 2002. 향후 10년간 산림토목사업의 방향설정 -사방사업을 중심으로-. 한국산림토목환경연구회보 43 : 2-19.
- 전근우·서문원·안영상·서정일·김석우·양동운·新谷融. 2002a. 저댐군의 수리모형 실험. 2002년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 152-154.
- 전근우·서정일·안영상·서문원·김석우·임덕희·양동운·新谷融. 2002b. 저댐군의 산불 피해지 적용을 위한 모형실험. 2002년도 산불피해 복구기술 심포지엄 「동해안 산불지역 2차 산림피해 방지기술 개발」 논문집 : 30-42.
- 전근우·차두송·이재선·서옥하·김경남·마호섭·이준우·박종민. 2002c. 환경친화적인 사방공법정립에 관한 연구. 2002년도 산림청 임업용역연구. 453pp.
- 전근우. 2003a. 강원도의 산사태 현황 및 복구방안 -태풍 루사의 경우를 중심으로-. 강원비전포럼 정기포럼 강원도 재해 특성과 방재 대책 발표 자료집 : 217-240.
- 전근우. 2003b. 우리나라의 토사재해 특성과 대책 현황. 2003년도 산불피해 복구기술 심포지엄 논문집 : 1-14.
- 全權雨. 2003c. 韓國砂防技術의 改善發展 方向. 第2次韓 · 日土砂災害防止會議 發表資料集 : 69-99.
- 전근우. 2003d. 일본의 사방댐 시공제도와 기술수준 및 시사점. 제28회 전국 사방실무 교육 및 연찬회 : 17-48.
- 전근우·서정일·김석우·中村太士·新谷融. 2003a. 저댐군의 수리모형실험(Ⅱ) -방수로의 폭이 하상변동에 미치는 영향-. 2003년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 274-276.
- 전근우·차두송·마호섭·박종민·이준우·김경남·서정일·이재선. 2003b. 환경친화적 사방공법의 정립(Ⅰ) -개념 정립-. 산림공학기술 1(1) : 5-14.
- 전근우·차두송·서옥하·이재선·김경남·마호섭·이준우·박종민·서재철. 2003c. 산사태 발생원인 및 예방대책에 관한 연구. 2003년도 산림청 임업용역연구. 563pp.
- 전근우. 2004. 재해 저감을 위한 효과적인 사방댐 시공(Ⅰ) -불투과형 사방댐의 경우-. 산림공학기술 2(1) : 1-12.
- 전근우·김석우. 2004. 저댐군의 수리모형실험(Ⅳ) -토사유입시 시간경과별 유출토사량을 중심으로-. 2004년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 318-320.

- 전근우·김석우·서정일·中村太士·新谷融. 2004a. 저댐군의 수리모형실험(Ⅲ) -토사 유입이 하상변동에 미치는 영향-. 2004년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 355-357.
- 전근우·김석우·문진희·염규진·김경남·김재현·이천용·木村正信. 2004b. 오스트리아의 환경친화적 사방공법. 산림공학기술 2(3) : 258-269.
- 전근우·김석우. 2005. 저댐군의 수리모형실험(V) -계상물매별 저댐의 배치효과-. 2005년도 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 411-413.
- 정근. 1997. 점봉산 소하천에 설치된 낙엽주머니의 저서성 대형무척추동물과 낙엽분쇄. 육수학회지 30(1) : 9-20.
- 鄭文朝. 1968. 安養川의 水質汚染과 水棲動物相. 陸水學會誌 1(1) : 39-47.
- 한국표준협회 산업표준심의회. 2002. 흙의 입도시험방법.
- 高橋剛一郎. 1998. 低ダム群工法の魚道機能に關する研究. 日本砂防學會誌 50(5) : 43-50.
- 高橋保·里深好文·奥村裕史. 1997. 山地河川の侵食過程. 京都大學防災研究所年報 40(B-2) : 343-349.
- 廣石愼二. 2002. 間伐材を利用した木製治山ダムについて. 治山 47(7) : 191-195.
- 橋岡伸守. 1993a. 環境に優しい治山事業 その(1). 治山 37(11) : 8-16.
- 橋岡伸守. 1993b. 環境に優しい治山事業 その(2). 治山 37(12) : 9-14.
- 金永模. 1983. 溪流砂防の工法に關する基礎的研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 14(1) : 49-99.
- 崎尾均·鈴木和次郎. 1997. 水邊の森林植生(溪畔林河畔林)の現狀・構造・機能および砂防工事による影響. 砂防學會誌 49(6) : 55-60.
- 大久保駿·水山高久·蒲正之·阿部宗平·高濱淳一郎. 1996. 湾曲部に計劃するスリット砂防ダムの機能と效果に關する實驗的研究. 平成8年度砂防學會研究發表會概要集 : 87-88.
- 渡辺正幸·水山高久·上原信司. 1980. 土石流對策砂防施設に關する檢討. 新砂防 115 : 40-45.
- 東三郎. 1982. 低ダム群工法. 北海道大學圖書刊行會. 84pp.
- 東三郎. 1983. 石れき指標に關する砂防學的研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 14(1) : 197-228.
- (社)砂防學會·環境と調和した砂防事業に關する研究委員會. 1994. 環境と調和した砂防

- 事業に関する研究 -特に景観問題について-. (社)砂防學會. 89pp.
- (社)日本河川協會. 2002a. 新改訂版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・計画編. 山海堂. 222pp.
- (社)日本河川協會. 2002b. 新改訂版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編(Ⅰ). 山海堂. 251pp.
- (社)日本河川協會. 2002c. 新改訂版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編(Ⅱ). 山海堂. 218pp.
- (社)全国治水砂防協會. 2001a. 日本の砂防. 砂防弘報センター. 35pp.
- (社)全国治水砂防協會. 2001b. 砂防関係事業災害対策の手引き. 国土交通省砂防部. 288pp.
- 西村昌彦. 1991. 流れがもたらす動物の動きと分布様式 -河川における底生無脊椎動物の流下を中心に-. 生物科学 43(2) : 63-69.
- 御坊田裕己・山下正吉. 1992. 北海道における新しい砂防. 地形 13(4) : 301-308.
- 日本治山治水協會. 1999. 治山技術基準解説(総則・山地治山編). 355pp.
- 日本治山治水協會. 2003. 治山技術基準解説(山すべり防止編). 346pp.
- 長坂有・柳井清治・佐藤弘和. 1996. 河畔林から川への落下昆虫とサクラマスの胃内容物の比較検討. 北海道林業試験場研究報告 33 : 70-77.
- 全権雨. 1987. 曲流部の河道固定に関する実験的研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 44(1) : 231-244.
- 全権雨. 1988. 荒廢溪流の微地形判讀と河道整備に関する砂防學的研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 45(2) : 529-586.
- 全権雨. 2003. 韓国における土砂災害と対策の現状. 日本砂防學會誌 56(1) : 45-53.
- 酒井孔三. 2002. 間代材使用事例の技術検討會. 日本林業技術協會 723 : 10-13.
- 竹門康弘. 1997. 溪流における水生昆虫の棲み場所保全. 砂防學會誌 50(1) : 52-60.
- 池谷浩・吉松弘行・南哲行・寺田秀樹・大野宏之. 2001. 砂防・山すべり・かけ崩れ・雪崩防止工事ハンドブック. 山海堂. 380pp.
- 清水宏. 1983. 溪流における砂防計画手法に関する研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 14(1) : 101-195.
- 太田猛彦. 1997. 「生態系と調和した砂防」の基本的な考え方. 砂防學會誌 50(2) : 55-60.
- Cha Jae-Kyung. 1996. Study on Stress Waves for Development of Glulam from

- Domestic Small Diameter Log. -Effect of MC on Stress Wave in Glulam Member-
- Charles E. Smith. 1998. Modeling high sinuosity meanders in a small flume. *Geomorphology* 25 : 19-30.
- Chen P. Y. S., G. Zhang & J. W. Van Sambeek. 1998. Relationships among growth rate, vessel lumen area, and wood permeability for three central hardwood species. *Forest Products J.* 48(3) : 87-90.
- David A. Raff · Jorge A. Ramirez · James L. Smith. 2004. Hillslope drainage development with time: a physical experiment. *Geomorphology* 62 : 169-180.
- Gerhards, C. C. 1978. Comparison of two non-destructive instruments for measuring pulse transit time in wood. *Wood Sci.* 11(1) : 13-16.
- Gjovik L. R. & D. R. Schumann. 1992. Treatability of native softwood species of the Northeastern United States, Research note-Forest Products-Laboratory, -USDA-Forest-Service., No. FPLRP-508.
- Groot R. C.. 1994. Treatability of western softwood and red alder shakes. *Forest Products J.* 44(7-8) : 34-43.
- Hann J. & P. Vinden. 1999. The effect of chemical treatment on the moisture distribution of *Pinus radiata* D. don subjected to wick action. IRG/WP 99-40135.
- Hassler C. C., J. J. Slahor & D. J. Gardner. 1999. A comparison of the Treatability of southern yellow pine to five Appalachian hardwoods. *Forest Products J.* 49(2) : 89-93.
- Hong S. & J. J. Morrell. 1997. Treatability of Douglas-fir heartwood with ACZA or CCA : Effect of site, silvicultural practice, and wood properties. *Forest Products J.* 47(10) : 51-55.
- J. M. HOOKE. 1979. AN ANALYSIS OF THE PROCESSES OF RIVER BANK EROSION. *Journal of Hydrology* 42 : 39-62.
- Jang S. S. 1997. Effects of Transducer Position in Ultrasonic Nondestructive Tests of Finger-Jointed Lumber.
- Jang S. S. 1999. Effects of Moisture Content and Slope of Grain on Ultrasonic Transmission Speed of wood.

- Jang, S. S. 2000. Evaluation of lumber properties by applying stress waves to larch logs grown in Korea. *Forest Prod* 50(3) : 44-47.
- Jon D. Pelletier. 2003. Drainage basin evolution in the Rainfall Erosion Facility: dependence on initial conditions. *Geomorphology* 53 : 183-196.
- Kartal S. N. & S. T. Lebow. 2002. Effects of incising on treatability and leachability of CCA-C-treated Eastern hemlock. *Forest Products J.* 52(2) : 44-48.
- Kim G. H. & J. J. Kim. 2001. Effect of moisture content on treatability of Japanese red pine, Japanese larch, and Ezo spruce with chromated copper arsenate. *Forest Products J.* 51(6) : 64-66.
- Lahiry A. K. 1996. CCA treatability of 100 timbers of Bangladesh. IRG/WP 96-40069.
- Lebow S. T. & J. J. Morrell. 1993. Pressure treatment of Sitka spruce timber with ammoniacal copper zinc Arsenate or chromated copper arsenate. *Forest Products J.* 43(10) : 41-44.
- Lebow S. T., S. L. LeVan & J. J. Morrell. 2002. Assessment of the treatability of small-diameter grand fir posts, Research note-Forest Products-Laboratory. -USDA-Forest-Service No. FPLRN-0285.
- Maturbongs L. & M. H. Schneider. 1996. Treatability and CCA preservative distribution within ten Indonesian hardwoods. *Wood and Fiber Science* 28(2) : 259-267.
- McDonald, K. A.. 1978. Lumber defect detection by ultrasonic. USA. Forest Serv. Res. Pap. FPL 311.
- Morrell J. J., A. Paillard, D. Gnoblei, B. L. Gartner, M. R. Milota & R. G. Rhatigan. 2003. Variations in longitudinal permeability of coastal western hemlock. *Forest Products J.* 52(10) : 37-42.
- Morris P. I., S. M. McFarling & A. R. Zahora. 2002. Treatability of refractory species with aming and amin/ammoniacal formulations of ACQ,
- Park H., E. C. Gang, S. J. Chun and K. S. Yoon, 1994. Study on Mensurability of Internal Defect Prediction and of Classification of Log by NDE(Non-Destructive Evaluation).

- R. J. CROUCH. 1990. EROSION PROCESSES AND RATES FOR GULLIES IN GRANITIC SOILS BATHURST, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA. EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS 15 : 169-173.
- Ross, Robert J., Pellerin, Roy F.. 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures : A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70(Rev.). Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 40pp.
- Ross, Robert J., Ward, James C., TenWolde, Anton. 1992. Identifying bacterially infected oak by stress wave nondestructive evaluation. Res. Pap. FPL-RP-512. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture.
- Ryu. T. G. and K. K. Jang. 1998. Effect of Soil Erosion Control Dam in the Hillside Area. 생명자원과학연구 20 : 1-4.
- Ryu. T. G., and K. K. Jang. 1997. Effect of Soil Erosion Control Dam. 97년도 하계 총회 및 학술연구발표회 : 1-2.
- Ryu. T. G., K. K. Jang. and S. M. Park. 1999. Decision of the Dam Site for the Soil Erosion Control and the Water Resource Management. 생명자원과학연구 21 : 1-16.
- Schad, Kristin C., Schmoltdt, Daniel L., Ross, Robert J. 1996. Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. Res. Pap. FPL-RP-512 Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 13pp.
- Slahor J. J., C. C. Hassler, R. C. Degroot & D. J. Gardener. 1997. Preservative treatment evaluation with CCA and ACQ-B of four Appalachian wood species for use in timber transportation structures, Forest Products J. 47(9) : 33-42.
- Slahor J. J., C. C. Hassler, R. C. Degroot & D. J. Gardener. 1997. Preservative treatment evaluation of Red maple and Yellow-poplar with ACQ-B, Forest Products J. 47(4) : :50-54.
- Thomas E. Lisle, James E. Pizzuto, Hiroshi Ikeda, Fujiko Iseya, and Yoshinori Kodama. 1997. Evolution of a sediment wave in an experimental channel. WATER RESOURCES RESEARCH 33(8) : 1971-1981.
- Slahor J. J., C. C. Hassler, R. C. Degroot & D. J. Gardener, 1998. Treatability of

five Appalachian wood species with creosote and Timbor R., Proceedings, 94th Annual Meeting of the American Wood-Preservers Association, Scottsdale, Arizona, USA, 17-19 May, 178-187.

Taylor A., Y. T. Ung & P. A. Cooper, 1998. Waterborne preservative treatability of tamarack(*Larix laricina*(Du Roi)K.Koch), IRG/WP 98-40112.

Wang, Xiping, Ross, Robert J., Erickson, John R., Forsman, John W., McGinnis, Gary D., De Groot, Rodney C.. 2000. Nondestructive methods of evaluating quality of wood in preservative-treated piles. Res. Not FPL-RP-274. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9pp.

Wang, X., Ross, R. J., Mattson, J. A., Erickson, J. R., Forsman, J. W., Geske, E. A., Wehr, M. A.. 2001. Several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small-diameter logs. Res. Pap. FPL-RP-600. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.