

일본에 있어서 산림토목 목재구조물 설계지침에 관한 연구(2)[※]

- 설계 및 시공을 중심으로 -

김민식¹⁾ · 전근우¹⁾ · 이진호²⁾ · 江崎次夫³⁾

Study on design indicator for wood structure of forest engineering works in Japan(2)[※]

- Focus on the design and construction -

Min-Sik Kim¹⁾, Kun-Woo Chun¹⁾, Jin-Ho Lee²⁾ and Tuzio Ezaki³⁾

요 약

일본에서 2004년도에 발행된 산림토목 목재구조물 시공 매뉴얼에 실려 있는 산림토목 목재구조물 설계지침은 총설, 목재의 이용과 특성, 조사, 계획 및 설계 등으로 구성되어 있으며, 이 논문에서는 설계 및 시공에 대하여 분석하였다.

분석 결과, 설계편에는 목재의 사용 환경과 열화, 구조, 수종의 선정, 치수 표시 등의 통일, 안정성과 강도의 검토, 목재의 강도, 목재의 치수의 허용 폭 등에 대하여 제시되어 있다. 또한 시공편에는 목재의 품질 확보, 방부처리 등의 품질 확인, 목재구조물의 기능 확보 방법, 목재열화의 정기적인 조사방법과 정성적인 판정기준 및 정량적인 조사방법 등에 대하여 설명되어 있다.

ABSTRACT

The design instruction put in the wood structure construction manual of forest engineering works issued in Japan in 2004 is composed of the introduction, the use and characteristic of wood, investigation, planning, design, and etc. We analyzed planing and construction.

By the results, the contents for the design are shown about applied woody conditions and deterioration, structure, selection of tree, the standardization of the size displays in wood, safety and examination of intensity, intensity of wood, the ranges of wood size allowance, and etc. With respect to the construction of wood structure, there are detailed descriptions regarding security of wood quality, confirmation of wood quality by

※ 이 논문은 2002년도부터 2005년까지 농림기술관리센터에서 지원받은 농림기술개발사업(연구과제명 : 소형 목재 사방댐 개발에 관한 연구)에 의해 진행되었음.

1) 강원대학교 산림과학대학 산림자원학부 : Division of Forest Resources, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

2) 강원대학교 대학원 임학과 : Department of Forestry, Graduate School, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

3) 日本, 愛媛大學 農學部 : Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan.

preservative treatment and security methods of function in wood structure, the regular investigation method, the qualitative standard criterion and the quantitative examination method on the deterioration of wood.

Key words : wood structure construction manual of forest engineering, the contents for the design, construction of wood structure

I. 서 론

일본에서 목재구조물을 설계할 때에 구조물의 기본적 사항은 치산기술기준, 임도기술기준 등에 준하여 실시하고 있으며, 특히 목재의 특성에 충분히 유의하면서 설계하고 있다. 즉 목재구조물에 사용되는 목재의 부후속도와 시기는 수종, 재질, 크기(직경), 사용 환경 등에 따라 다르기 때문에 일률적으로 정하기보다는 필요에 따라 유사한 수종이나 사용 환경 하에서의 사례를 참고하여 내구성을 판단하고 있다(河川環境管理財團, 2003; 日本治山治水協會·日本林道協會, 2004). 또한 목재구조물을 시공할 경우에는 계획과 설계에 따라 현지에 알맞게 시공하고 있다. 즉 목재구조물의 시공목적에 충분히 이해한 후에, 요구되는 성능이나 기능이 만족되도록 시공하고 있다.

이 논문은 「일본에 있어서 산림토목 목재구조물 설계지침에 관한 연구(1)-목재의 이용과 특성, 조사 및 계획을 중심으로-」에 이어 「平成17年版 森林土木木製構造物施工マニュアル」에 수록된 산림토목 목재구조물 설계지침 중에서 설계 및 시공부분에 대한 것을 분석한 것이다.

II. 설 계

1. 목재의 사용 환경과 열화

목재의 사용 환경에 따른 열화의 정도는 다음과 같다.

- ① 땅 속, 물 속 : 산소가 결핍된 상태로 목재는 썩기 어렵고, 지상에 설치한 경우에 비해 장기간 필요한 기능을 유지하고 있는 사례가 다수 있다.

- ② 지상 : 기상조건에 영향을 받기 쉽고, 변색되거나 갈라지기 쉽다. 부후가 진행되기 쉬운 곳은 부재의 접합부, 갈라진 틈, 볼트 구멍 등과 같이 우수가 침투하기 쉽고 건조되기 어려운 곳이다.
- ③ 지면·수면 : 건습이 반복되는 장소로 영양분도 풍부하기 때문에 부후·갈라짐 등의 열화가 진행되기 쉽다.

2. 구 조

목재구조물을 설계할 때에는 다음과 같은 점에 유의할 필요가 있다.

- ① 존치를 전제로 한 목재구조물은 식생으로 대체될 때까지 부후 등에 의해 파손되지 않을 정도의 크기로 할 필요가 있다.
- ② 갱신을 전제로 한 목재구조물 중에서 미관을 배려할 필요가 있어 부분적으로 갱신해야 할 것은 부재의 교환이 쉬운 구조가 바람직하다.

3. 수종의 선정

사용할 목재는 내후성이나 입수의 용이성을 고려해야 하고, 또한 해당지역의 목재 중에서 구조물의 목적, 현지의 상황에 일치되는 수종을 선정하는 것이 바람직하다.

4. 치수 표시 등의 통일

사용할 재료는 통나무, 제재 및 목제품 별로 재료·구조물 등의 치수 표시를 통일한다. 즉 치수는 길이나 직경을 표시한 것으로 제재 및 목제품

에 대해서는 완성품 치수로 하고, 통나무에 대해서는 말구직경과 길이를 표시한다.

1) 통나무의 치수 표시 등

① 통나무는 근원부와 초단부의 직경이 다르기 때문에 근원부를 원구, 초단부를 말구라고 한다. 통나무의 규격은 길이와 직경(말구직경)을 표시하며, 일반적으로 길이는 10cm 단위, 직경은 14cm 미만 1cm 단위, 14cm 이상은 2cm단위로 표시한다.

② 통나무의 재적은 소재의 일본농림규격(1967년 12월 8일 농림성고시 제1841호)의 규정에 근거하여 다음과 같은 방법에 의해 구한다.

○ 길이 6m 미만인 경우(말구자승법)

$$V = d^2 \times L \times (1/10,000)$$

단, V : 통나무의 재적(m³)
 d : 말구의 직경(최소직경, cm)
 L : 통나무의 길이(m)

○ 길이 6m 이상의 경우

$$V = \{d + (L' - 4) / 2\} \times L \times (1/10,000)$$

단, V : 통나무의 재적(m³)
 d : 말구의 직경(최소직경, cm)
 L : 통나무의 길이(m)
 L' : L의 정수부분의 수치(m)

2) 통나무 등의 종류

통나무의 경우 가공단계에 따라 다음과 같이

구분되며, 용도에 따라 방부처리를 한 후에 이용한다. 즉 가공정도에 따라 ① 수피가 있는 통나무 < ② 수피를 벗긴 통나무 < ③ 가공재의 순으로 구분되며, ①과 ②, ③의 차이는 수피의 유무이다.

① 수피가 있는 통나무 : 수피가 붙어있는 상태의 통나무(가공하지 않은 원목)로 수피를 벗긴 통나무에 비해 썩기 쉽다.

② 수피를 벗긴 통나무 : 원목의 껍질을 벗긴 상태의 통나무로 원구·말구의 직경의 차이가 있다.

③ 가공재 : 수피를 벗긴 통나무를 가공하여 다른 형상으로 만든 것으로 직경이나 두께 등을 일치시킬 수 있다.

○ 원주가공재 : 통나무를 로터리 가공하여 원주로 마무리한 것으로 원구와 말구의 직경이 같다.

○ 반절단재 : 통나무를 둘로 자른 것(단면은 반원이 된다)으로 한 면은 평면이다.

○ 양면절단재 : 통나무의 양 쪽을 절단하여 단면을 장구형태로 만든 것으로 두 면을 평면으로 절단하기 때문에 두께를 일정하게 할 수 있다.

○ 3면절단재 : 3면을 절단하여 평탄하게 만든 것으로 두께를 일정하게 할 수 있다.

○ 압각(押角) : 4면을 절단하고, 모퉁이는 둥글게 만든 것으로 폭과 두께를 일정하게 할 수 있다.

○ 끝각기 : 말뚝통나무로 만든 것.

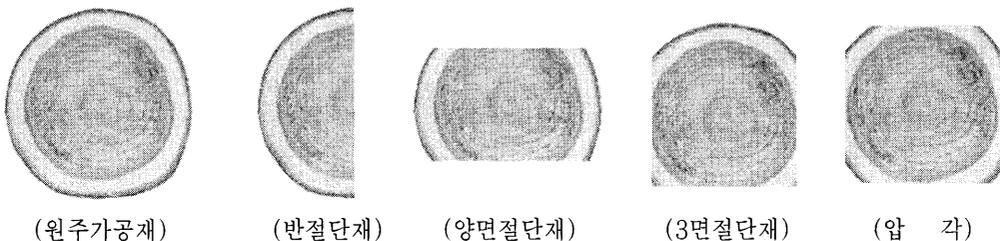


그림 1. 가공재의 종류

5. 안정성, 강도 등의 검토

경험적으로 볼 때 안정성과 강도 등이 확인된 구조물이나 외력이 매우 작고 규모가 작은 구조물 이외는 원칙적으로 설계단계에서 적절한 방법에 의해 안정성과 강도를 검토해야 한다.

- ① 안정성과 강도를 검토하는 방법으로는 외력 등을 예상하여 구조체 전체의 안정계산이나 부재의 응력계산 중에서 양 쪽 또는 어느 한 쪽을 택하여 안정성을 확인하는 방법과 실험 등에 의해 안정성을 확인하는 방법 등이 있으며, 구조물의 규모나 중요성에 따라 적절한 방법을 선택한다.
- ② 구조전체의 안정계산은 원칙적으로 치산기술기준, 임도기술기준에 의해 실시한다.
- ③ 구조전체의 안정계산은 상황에 따라 중력식 구조체나 셀식 구조체 등으로 가정하여 안정계산을 실시한다.
- ④ 부재의 응력계산은 필요에 따라 적절한 방

법으로 실시한다. 특히, 부재의 접합부가 파괴되면 파괴가 전체에 미치는 구조물(프레임 타입 등)과 부분적으로 목재를 이용하는 구조물에 대해서는 필요에 따라 접합부의 강도·내구성에 대해 검토한다.

- ⑤ 표준적인 구조에 대한 안정성 검토가 실시된 경우에는 표준적인 구조가 유지되는 한, 그 검토가 안정성 검토를 대신하는 것으로 한다.

6. 목재의 강도 등

안정성 검토에 이용하는 목재의 허용응력도 등은 건축기준법시행령 등에 정해진 값을 참고하여 적절한 값을 사용한다. 즉 목재구조물의 목재의 허용응력도 등은 표-1, 표-2의 값을 참고하는 것이 타당하다고 생각된다.

표-1. 목재의 허용응력도

수 종		허용응력도(단위 N/mm ²)				
		압축	인장	휨	전단	박힘
침엽수	소나무, 곰솔	5.7	4.2	7.2	0.6	2.3
	편백, 낙엽송, 노송나무	5.3	4.2	6.9	0.5	2.0
	솔송나무	4.9	3.8	6.5	0.5	1.5
	삼나무, 전나무, 가문비나무, 분비나무	4.5	3.5	5.7	0.5	1.5
활엽수	떡갈나무류	6.9	6.2	9.9	1.1	3.1
	밤나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무류	5.4	4.6	7.6	0.8	2.8

주) 건축기준법시행령 제89조 및 건설성고시 H12 제1452호, 국토교통성고시 H13 제1024호에 의한 상시 습윤상태에서의 장기하중에 대한 허용응력도(무등급재)이다.

주) 압축·인장·휨은 목재의 섬유방향에 응력이 작용하는 경우의 값이다.

주) 박힘은 목재의 섬유방향에 직각으로 가압한 경우의 값이다.

표-2. 목재의 기준영계수

수 종		영계수(단위 N/mm ²)
침엽수	편백, 노송나무	9.0
	낙엽송, 곰솔, 소나무, 솔송나무	8.0
	삼나무, 전나무, 가문비나무, 분비나무	7.0
활엽수	떡갈나무류	10.0
	밤나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무류	8.0

주) 일본건축학회(2002) : 목재구조건설기준·동해설 p339에 의함.

표-3. 목재구조물의 완성형 관리기준

항 목	치수 등의 허용치	항 목	치수 등의 허용치
길 이	길이/50cm(최소 -10cm, 최대 -40cm)	비탈물매	±0.5부
폭(두께)	-5cm	높 이	-10cm

7. 목재의 치수 등의 허용 폭

목재는 ① 생물재료이기 때문에 수치가 일정하지 않고, ② 건조에 따라 치수의 변화가 생기기 때문에 각종 치수의 재료를 유효하게 이용하기 위해서는 설계 시에 성능이나 기능에 영향이 없는 범위 내에서 수치 등에 허용 폭을 갖게 하는 것이 바람직하다. 또한 완성형 관리기준에 있어서도 가능한 한 허용 폭을 갖게 하는 것이 바람직하다.

질을 만족하는가를 확인해야 한다. 즉 방부·방충처리를 한 목재 등을 사용하는 경우에는 사용한 목재보존제, 처리방법, 목재보존제의 침투정도 등에 대해 확인한다.

- ② 또한 방부, 방충성능이 명확한 목재제품에는 일본농림규격(JAS) 제품, (재)일본주택·목재기술센터에 의한 AQ인증제품, (사)일본목재보존협회에 의한 처리목재인정제품이 있다.

Ⅲ. 시 공

1. 목재의 품질 확보

사용하는 목재는 구조물의 목적에 적합한 품질의 것을 선정한다.

- ① 사용하는 목재는 통나무가 많고, 건조이 반복되는 환경에 놓여 있기 때문에 섬유방향으로 갈라지기 쉽다. 일반적으로 통나무가 갈라지는 것은 섬유방향의 강도에 큰 영향을 주지 않지만, 장기적으로는 수분이나 부후균의 내부 침투를 허용하여 내구성에 영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서 갈라짐의 적합성은 구조물의 목적을 고려하여 판단한다.
- ② 계약서에 강도, 함수율 등의 품질이 지정되어 있는 경우에는 필요한 조사를 실시하는 등, 품질을 확인할 필요가 있다.
- ③ 목제품을 사용하는 경우에는 납품된 목제품이 지정된 품질, 치수인가를 확인한다.

2. 방부처리 등의 품질확인

- ① 방부, 방충처리를 실시한 목재는 필요한 품

3. 목재구조물의 기능확보 방법(예)

목재구조물에 대해서는 필요에 따라 시공 후, 목재의 열화 등에 대해 정기적으로 점검하여 적절하게 대처하는 것이 바람직하다.

1) 개략적인 점검

- ① 개략적인 점검은 시공 후 연속적이고, 또한 정기적으로 이상의 유무를 확인하기 위해 실시하는 것이며, 목재를 이용한 구조물 및 부재에 대해 현지에서 주시, 촉진(觸診), 타진 등의 정성적인 방법에 의해 목재열화 등에 의한 이상 유무를 확인한다.
- ② 목재열화에 대해서는 전체적인 개관이나 중요한 부재, 접합부 등과 같이 부후가 진행되기 쉬운 곳을 중점적으로 실시한다.
- ③ 개략적인 점검을 실시할 때에는 체크리스트 등을 이용하여 확실하게 점검하고, 기록을 남겨 놓는 것이 바람직하다.
- ④ 이상이 발견된 경우에는 신속하게 상세조사, 건전도 판정을 실시하여 적절하게 대처한다.
- ⑤ 개략적인 점검은 원칙적으로 관리기준에 따라 정기적으로 실시하지만, 주변에서 재해가 발생한 경우는 필요에 따라 임시적으로

실시한다.

2) 상세한 점검

- ① 상세한 점검은 개략적인 점검에 의해 이상이 발견된 경우에 실시하며, 재차 전체에 대해 개황을 확인하고, 이상이 있는 곳에 대해 상세한 조사를 실시한다.
- ② 목재열화에 대해서는 주시, 촉진, 타진 등에 의한 정성적인 조사와 계측기구에 의한 정량적인 조사를 함께 실시하며, 구조물의 목적, 구조물·부재의 중요도, 예상되는 부후의 상황 등에 따라 다음과 같은 조사방법 중에서 적절한 것을 선정한다.

- 정성적인 방법
 - 주시에 의한 방법
 - 촉진, 타진 등에 의한 방법
- 정량적인 방법
 - 타격저항법
 - 초음파전파속도법·응력파법
 - 천공저항법
 - 기타 방법

- ③ 상세한 점검에서는 건전도를 판정할 수 있도록 조사결과를 도표 등으로 정리해 놓는다. 또한 이후의 점검에 활용하기 위해 조사결과를 대장 등에 기록하여 보존해 두는 것이 바람직하다.

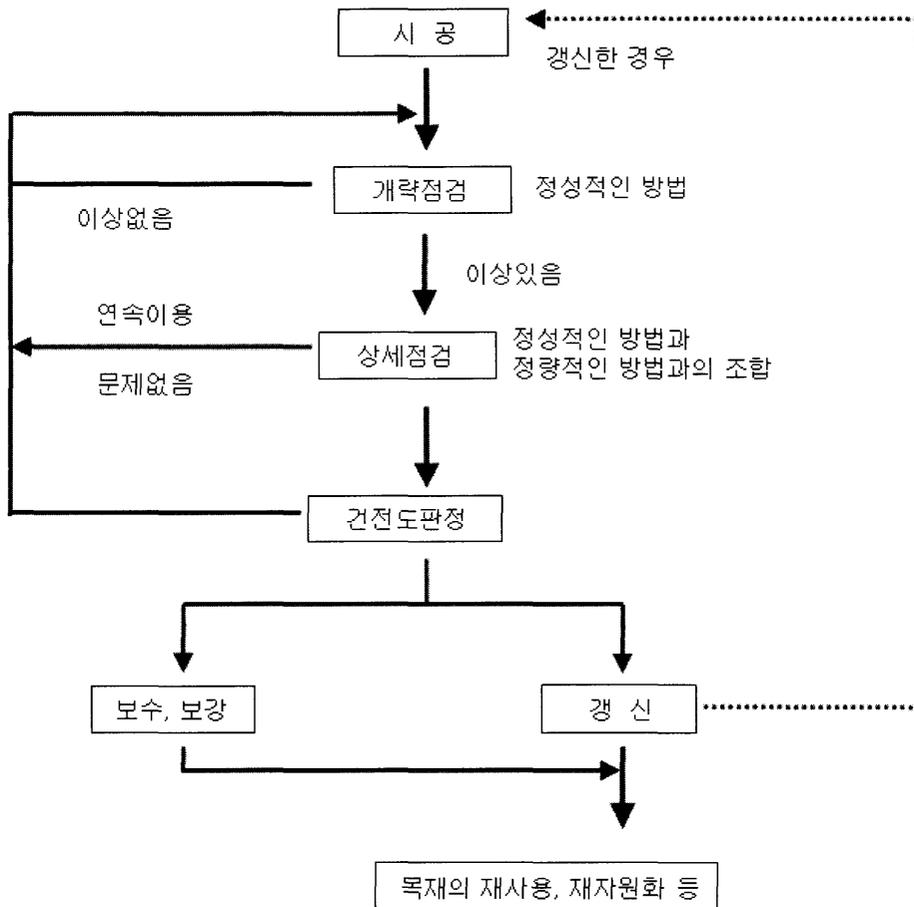


그림 1. 목재구조물의 기능 확보에 대한 개념도

표-4. 목재열화의 정성적인 판정기준

피해도	관찰상황	피해도	관찰상황
0	건전	3	2의 상태+부분적으로 심한 부후 등
1	부분적으로 가벼운 부후 등	4	전면적으로 심한 부후 등
2	전면적으로 가벼운 부후 등	5	부후 등에 의해 형태가 변형

4. 목재열화의 정기적인 조사방법

- 1) 주시 : 육안의 관찰에 의해 부후 등의 징후, 손상을 조사한다.
 - ① 부재의 변색, 변형
 - ② 부재의 손상
 - ③ 균류의 자실체 발생
 - ④ 개미길 등의 흔적
- 2) 촉진 : 손가락의 감촉에 의해 조사하는 것으로 썩었으면 부드러운 감촉이 있다. 부후가 확인된 경우에는 필요에 따라 추, 드라이버 등으로 조사한다.
- 3) 타진 : 해머 등으로 두드려 조사한다. 썩으면 건전한 부분에 비해 둔한 소리가 나며, 반발이 작다.

5. 목재열화의 정성적인 판정기준

관찰에 의한 부후 등의 판정기준에는 목재의 열화의 정도를 6단계의 피해도로 판정하는 방법이 있다.

6. 목재열화의 정량적인 조사방법

1) 타입저항법

핀 타입시험기를 이용하여 소정의 강제 핀을 일정한 에너지로 목재표면에 박은 후, 박힌 깊이(mm 단위)를 측정하는 방법으로 비교적 간단하게 측정할 수 있다. 연구에 의하면 박힌 깊이는 목재의 휨강도와 부의 상관관계가 있고, 열화가 진행되면 박히는 깊이가 커진다. 부후 두께가 비

교적 작은 경우에 유효하다.

2) 초음파전파속도법

초음파시험기를 이용하여 부재의 양면에 밀착시킨 단자의 한 쪽으로부터 초음파의 신호를 발신하고 다른 쪽에서 수신하여 두지점간의 초음파의 전파속도를 측정하는 방법이다. 비파괴시험이지만, 부재의 설치상황에 따라서는 측정되지 않는 것도 있다. 목재의 휨강도와 정의 상관성이 있고, 열화가 진행되면 전파속도가 늦어진다.

3) 응력파법

응력파시험기를 이용하여 목재에 삽입한 센서를 해머로 타격하고, 그 신호를 다른 쪽에 붙여 놓은 센서로 측정하여 두지점간의 응력과 전파속도를 측정하는 방법이다. 비파괴시험이지만, 부재의 설치상황에 따라서는 측정되지 않는 것이 있다.

4) 천공저항법

천공저항시험기를 이용하여 드릴로 목재에 관입시켜 천공저항을 측정하는 방법이다. 깊이별 천공저항의 변화를 파형으로 기록하여 천공저항으로부터 부후부분의 두께 등을 추정한다.

7. 건전도 판정

건전도 판정은 상세조사결과를 기초로 하여 부재 및 구조물 전체의 열화·손상정도, 예측, 문제점을 파악하고, 건전도를 판정하여 연속이용, 보수·보강, 갱신을 결정한다.

IV. 결 론

일본의 치산분야에서 시공되고 있는 목제구조 물로는 치산담(목제담, 목제골막이 등), 기슭막이(목제기슭막이, 워터블록 등), 수제공(목제침상공, 목공침상공, 목제유로공 등), 흙막이·옹벽공(목제블록쌓기, 목제흙막이, 목제보강토옹벽 등), 격자틀붙이기(목제틀붙이기, 목제화장가설치공 등), 수로공(통나무수로공 등), 목책(네트목책공, 판넬식목책공 등), 바람막이(방풍공, 방풍책공, 방풍네트공 등), 정사울세우기, 모래덮기 및 낙석방호공(낙석방지공, 낙석방지완충공 등) 등과 같은 다양한 제품이 개발되어 시공되고 있다.

따라서 우리나라에서도 이상과 같은 다양한 목제구조물을 개발하여 각 공법의 특징, 시공장소,

시공방법, 표준도(정면도, 측면도) 및 재료표 등에 대한 구체적인 사례집을 발간해야 할 것이다.

V. 인용문헌

1. 日本建築學會. 2002. 木材構造建設基準・同解説. 339pp.
2. (私)日本治山治水協會・日本林道協會. 2004. 平成17年版森林土木製構造物施工マニュアル. 新和印刷株式會社. 379pp.
3. (財)河川環境管理財團. 2003. 河川・砂防工事における木材活用工法ガイドブック(案). 山海堂. 256pp.