

리기다 소나무 정각재를 사용한 목재옹벽의 직결나사못 접합부 내력 성능 평가*1

송요진*2 · 김건호*2 · 이동흡*3 · 황원중*3 · 홍순일*2†

Strength Performance Evaluation of Threaded Nail Joints of Wooden Retaining Wall Using Pitch Pine (*Pinus rigida* Miller) Square Timber*1

Yo-Jin Song*2 · Keon-Ho Kim*2 · Dong-Heub Lee*3 · Won-Joung Hwang*3 ·
Soon-Il Hong*2†

요 약

시험 시편은 1개의 횡목과 2개의 종목이 직결나사못 2개로 연결된 접합부(Type-A)와 2개의 횡목과 2개의 종목이 4개의 직결나사못으로 연결된 접합부(Type-B)를 제작하였다. Type-B를 보강하기 위하여 횡목간의 연결부를 끝면거리 5D로 반턱이음하여 2개의 직결나사못을 사용한 접합부(Type-C), 끝면거리 10D로 반턱이음한 접합부(Type-C1)와 끝면거리 10D, 직결나사 3개를 사용한 접합부(Type-C2)를 제작하였다. 압축형 전단 내력 시험 결과 Type-B의 내력을 기준으로 Type-B를 보완한 Type-C는 약 30% 감소하였고, Type-C에서 끝면거리를 증가시킨 Type-C1은 Type-B와 비슷한 내력을 보였으며, Type-C1에서 직결나사못의 개수를 3개로 증가시킨 Type-C2는 Type-C1과 비교하여 1.28배 내력을 나타냈다. 기존 정각재를 이용한 옹벽의 접합부 중 긴 횡목과 짧은 횡목이 2개의 종목과 연결되는 접합부는 내력이 저하되기 때문에 이를 대체하기 위하여 실험을 실시하였다. 따라서 Type-B를 Type-C2로 대체한다면 옹벽 시공시 직결나사못에 의한 목재의 할렬, 과단과 시공시간이 줄어들고 접합 내력이 증가할 것으로 기대된다.

*1 접수 2010년 11월 5일, 채택 2011년 1월 9일

*2 강원대학교 산림환경과학대학 산림바이오소재공학과, Department of Forest Biomaterials Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

*3 국립산림과학원 녹색자원이용부 환경소재공학과, Div. of Environmental Wooden Material Engineering, Dept. of Green Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

A connection was made between a single stretcher and 2 headers with 2 threaded nails (Type-A), and another one between 2 stretchers and 2 headers with 4 threaded nails (Type-B) to use as specimens. Type-C was the stretchers that are connected with 2 threaded nails by half lap joint at end-distance 5D to reinforce Type-B, Type-C1 the stretchers that are connected by half lap joint at end-distance 10D, and Type-C2 with 3 threaded nails at end-distance 10D. Compressive shear strength of Type-C, the supplementation of Type-B, was decreased by 30%, compared with that of Type-B. Those of Type-B and Type-C1 that used longer end-distance than Type-C were about the same, and that of Type-C2 connected with 3 threaded nails was 1.28-times stronger than that of Type-C1. Connection of the retaining wall using existing square timber has a problem between long and short stretchers and 2 headers. So it was investigated in the experiment to replace it. Therefore, if Type-B is replaced with Type-C2 in constructing the retaining wall, the crack and the rupture of timber caused by threaded nail as well as construction period can be reduced, and also it can be expected to increase their own strength.

Keywords: *Pinus rigida* Miller, wooden retaining wall, half lap joint

1. 서 론

최근 임업선진화에 따른 산림자원의 확보 정책의 일환으로 간벌사업이 확대되고 수입목재의 확산으로 간벌목재의 공급은 증가하고 있으나 수요가 적기 때문에 새로운 문제로 대두되고 있다. 일본은 최근 들어 목재자원의 유효활용의 일환으로 간벌재를 이용한 친환경적인 산림토목사업을 적극적으로 추진하고 있다. 목재땀, 목재 웅벽, 하상방틀, 목재 울타리, 목재 난간 등의 토목용 부재로 사용되고 있으며, 특히 산지나 해안의 지속적인 개발에 의한 지형 변화에 따른 지반의 붕괴를 막기 위해 간벌재를 사용한 목재웅벽의 개발과 연구가 많이 진행되고 있다(花野秀昭, 1997; 京都府森林保全課 治山係, 2000; 溝部孝博, 2000; 右城猛, 2000). 목재웅벽은 일반적으로 자중과 토압의 분력을 이용한 중력식 구조로서 구조적으로 안정성에 큰 문제가 없으며(이양규 등, 2007), 환경 친화적으로서 미관이 수려한 장점을 가지고 있다. 또한 취급이 용이하고 공기단축 및 공사비 절감효과를 가지고 있다. 리기다소나무는 국내 입목축적량에 비해 활용가치가 낮게 평가되고 있으며, 비교적 방부

처리가 용이한 수종이다. 이러한 이유로 최근 리기다소나무를 활용한 토목용재의 개발이 필요한 상태이다. 그러나 리기다소나무는 원구와 말구의 차이가 크기 때문에 원주목으로 가공할 때 평균 제조수율이 30% 정도로 지극히 낮은 수종이다. 이로 인한 원자재의 가격 상승률도 높아지기 때문에 콘크리트 구조물보다 약 30% 정도 높은 가격이 책정되고 있다. 이를 극복하기 위하여 원목을 폭과 높이만 맞춘 상태로 4면 제재하여 이용하는 방법이 있다. 이는 제조수율이 원주목보다 약 20% 정도 향상되므로 원자재 가격을 저렴하게 할 수 있을 것으로 기대한다. 축조방법은 정각재를 마름모 형태로 세워 각이 진 부분이 면을 이루는 공법으로 연결되는 부분에 V자형의 노치가 파이게 되므로 결체력이 높고 구조적으로 튼튼해진다(이동흡, 2008).

정각재 웅벽 전면의 횡재는 노치를 판 종목에 연결이 되게 하고, 상하가 같은 부분에서 끊어지지 않도록 끝단에서 시작할 때 긴 횡목과 짧은 횡목을 교호로 배치하면 동일한 장소에서 끊어지는 부분이 겹치지 않기 때문에 구조안정성이 크게 향상된다. 그러나 긴 횡목과 짧은 횡목이 만나는 접합부는 4개의 직

결나사못이 사용되므로 현장 시공 시 직결나사못에 의해 목재가 과단되는 것과 작업시간이 길어지는 문제점이 발생한다.

본 실험에서는 위와 같은 접합부 내력 저하의 문제점을 보완하기 위해 긴 횡목과 짧은 횡목이 만나는 부분을 각각 반턱을 내어 연결후 직결나사못으로 접합하여 옹벽 접합부의 내력 보강방법을 검토하였다.

리기다소나무 정각재를 이용한 옹벽의 기존접합부 2가지와 이를 보완한 접합부 3가지로 제작하여 각 Type별 접합부의 내력을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

실험에 사용된 공시재료는 CUAZ-2 방부처리 된 폭 11 cm의 국내산 리기다소나무(*Pinus rigida* Miller) 정각재를 사용하였다. 방부처리목의 평균 함수율은 12%였다. 종목은 길이가 50 cm의 노치재(노치 깊이 : 3 cm 폭 : 6.5 cm)를 사용하였다. 접합구는 직경 9.44 mm, 길이 200 mm의 직결나사못을 사용하였고, 방부 처리된 리기다소나무 각재는 (주)중동에서 구입하였다.

2.2. 재료 및 실험방법

2.2.1. 압축형 전단시편 제작

Fig. 1은 정각재를 마름모 형태로 세워 각이진 부분이 면을 이루는 공법으로, 횡목에 연결되는 종목에 V자형의 노치를 만들어 제작된 옹벽의 정면도로 정각재 옹벽에는 Type-A와 같이 긴 횡목과 2개의 종목이 2개의 직결나사못으로 연결되는 접합부와 Type-B와 같이 긴 횡목과 짧은 횡목이 2개의 종목과 4개의 직결나사못에 의해 나란히 연결되는 접합부가 공존한다.

압축형 전단 내력 시험 시편의 종목은 길이 50 cm로 종목 끝에서 6 cm 지점에 깊이 3 cm, 폭 6 cm의 노치를 제작하여 동일하게 사용하였다.

Type-A 시편은 길이 40 cm 횡목 1개와 종목 2개가

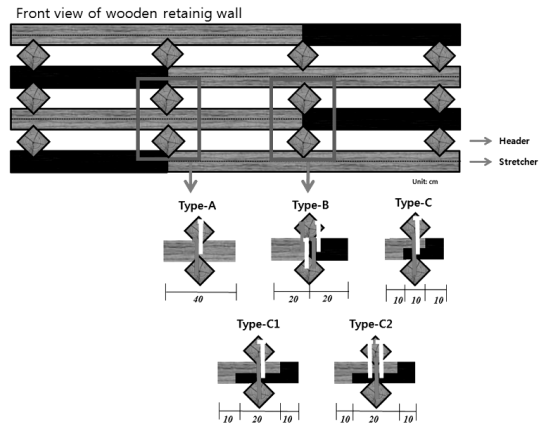


Fig. 1. Shape of compressive shear strength test samples.

직결나사 2개로 접합되어져 있는 형태이며, Type-B는 20 cm 횡목 2개와 종목 2개가 직결나사못 4개로 나란히 접합되어져 있는 형태이다. 그러나 Type-B의 경우 현장 시공시 직결나사못에 의한 목재의 과단과 작업시간이 길어지는 문제점이 있어 이를 보완하기 위해 Type-C를 제작하였다. Type-C는 30 cm 횡목 2개를 각각 10 cm (끝면거리 5D)로 반턱을 내어 2개의 종목과 2개의 직결나사못을 사용하여 접합한 형태이다. Type-C1, C2는 Type-C의 내력 향상을 위하여 보완된 형태로서 Type-C1은 2개의 30 cm 횡목에 각각 20 cm (끝면거리 10D)로 반턱을 내어 2개의 종목과 2개의 직결나사못으로 접합한 형태이다. Type-C2는 Type-C1과 동일하게 제작되 직결나사못의 개수를 2개에서 3개로 늘린 접합형태이다. 시편은 각 Type별로 5개씩 제작하여 실험하였다.

2.2.2. 압축형 전단실험방법

Fig. 2는 옹벽 접합부의 입면도이다. 압축형 전단 내력 시험은 그림 2와 같이 종목을 스탠드로 고정시켰다. 시편의 횡목 중앙에 압축형 전단 하중이 가하였으며, 50 mm 변위계를 Load cell에 수직으로 설치하여 변형을 측정하였다. 접합부 내력과 변형의 측정은 데이터 로거(Data logger TDS-303)를 사용하였다.

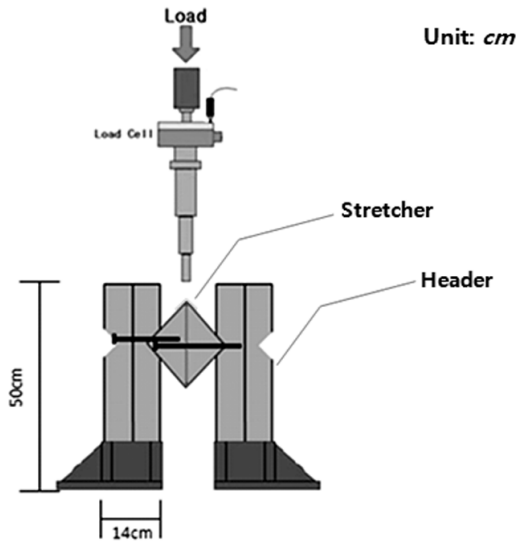


Fig. 2. Schematic diagram of compressive shear strength test.

2.2.3. 접합부의 컴퓨터 단층촬영

컴퓨터 단층 촬영 장치(Computer Tomography, CT)를 이용하여 접합부의 목재와 직결나사못의 파괴형상을 검토하였다. 컴퓨터 단층 촬영 장치는 국립산림과학원에서 보유하는 TOSHIBA사의 X-peed TSX 모델을 사용하였으며, X선은 120 kV, 330 mA로 5초간 조사하는 조건으로 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 접합부의 전단내력 및 파괴형상

기존 정각재 용벽에 존재하는 접합부인 Type-A의 평균 최대 내력은 36.4 kN이고 평균 항복 하중이 25.86 kN으로 측정되었다. 전형적인 파괴 형상은 Fig. 3의 A와 같이 종목의 노치에 의해 횡목이 압입되어 파괴되거나 횡목이 노치에서 이탈하는 형상을 보였다. Type-A 내부 파괴형상 촬영결과 종목에서부터 횡목으로 연결되는 직결나사못이 횡목의 회전을 억제시키는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 4). Type-A의 초기강성은 1.8 kN/mm이며, 직결나사못 1개에

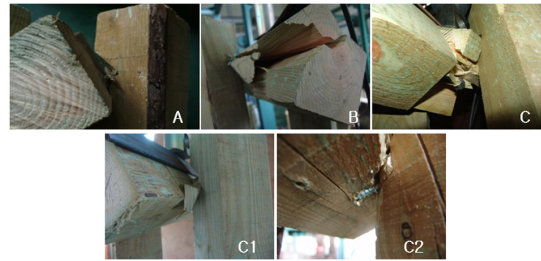


Fig. 3. Photographs of rupture of compressive shear strength test.

걸리는 평균 내력은 18.2 kN으로 측정되었다(Table 1).

Type-B의 평균 최대 내력은 29.1 kN이고, 평균 항복 하중은 20.36 kN으로 측정되었다. 대부분의 시편이 접합에 사용된 4개의 직결나사못에 의해 횡목의 파단이 일어나는 것을 알 수 있었으며, 내부파괴형상을 통해서도 전체적으로 목재의 파괴정도가 큰 것을 확인 할 수 있었고, 특히 종목에서부터 횡목으로 연결되는 직결나사못에 의한 목재의 파괴가 크다는 것을 확인 할 수 있었다. Type-B의 초기강성은 2.3 kN/mm이며, 직결나사못 1개의 평균 내력은 7.3 kN이었다.

Type-B를 대체하고자 했던 Type-C는 Type-B보다 직결나사못의 사용개수가 적게 사용되며 접합과정에서 목재의 파단이 생기지 않아 시공이 용이했으나 평균 최대 내력이 21.4 kN으로 Type-B와 비교하여 27% 낮은 내력을 보였다. 평균 항복 하중은 15.74 kN으로 측정되었다. Type-C의 초기강성은 1.4 kN/mm으로 Type-A, B와 비교하여 낮게 측정되었으나, 직결나사못 1개의 평균 내력은 10.7 kN으로 Type-B보다 높게 측정되었다. 외부파괴형상은 반턱이음부에 접합된 직결나사못으로부터 끝면거리가 5D로 짧기 때문에 목재가 쉽게 파괴되는 것이 낮은 내력의 원인으로 확인되었다. 내부파괴형상으로는 종목으로부터 횡목으로 연결되는 직결나사못이 목재의 반턱 이음부를 파괴하는 것을 확인하였다.

직결나사못으로부터 반턱이음부의 끝면거리를 5D에서 10D로 증가시킨 Type-C1의 경우 평균 내력은 26.4 kN였고, 평균 항복 하중은 15.90 kN으로 Type-B

Table 1. Result of compressive shear strength test properties

| Specimens | Ave.Maximum Load (kN) | Ave. Load per a fastener (kN) | Stiffness (kN/mm) | Ave. yield load (kN) |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|
| Type-A | 364 (1.25)* | 182 | 18 | 25.86 |
| Type-B | 291 (1) | 73 | 23 | 20.36 |
| Type-C | 214 (0.73) | 10.7 | 14 | 15.74 |
| Type-C1 | 264 (0.90) | 13.2 | 21 | 15.9 |
| Type-C2 | 338 (1.16) | 11.3 | 24 | 32.42 |

* Ratio

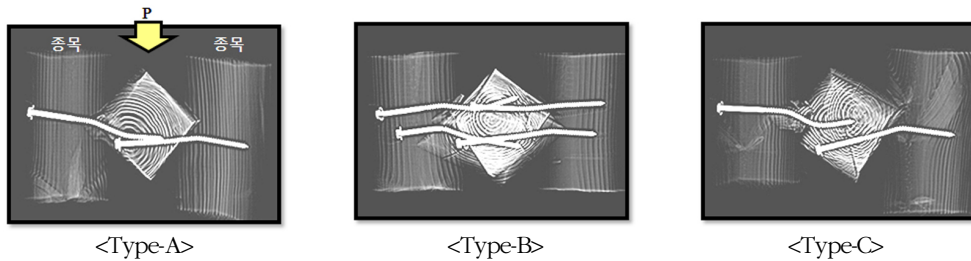


Fig. 4. CT images of specimens.

보다 낮은 성능을 보였다. 초기강성은 2.1 kN/mm 이었고, 직결나사못 1개의 평균 내력은 13.2 kN으로 측정되었다. 외부파괴형상으로는 Type-C와 달리 직결나사못에 의한 반턱이음부의 파괴정도가 감소하였으며, Type-A와 동일하게 종목의 노치에 의해 횡목의 파괴가 발생하였다. Type-C1에서 직결나사못을 1개 더 사용한 Type-C2 (끝면거리 : 10D)의 평균 최대 내력은 33.8 kN으로 대체하고자 하는 Type-B보다 16%의 내력이 증가되었다. 평균 항복 하중은 32.42 kN로 측정 되었고, Type-C2의 초기강성은 2.4 kN/mm로 측정되었으며, 직결나사못 1개의 평균 내력은 11.3 kN으로 측정되어 모든 항목에서 Type-B보다 우수한 성능을 보였다. 전형적인 외부파괴형상은 5개의 시편 중 2개의 시편이 Type-A와 마찬가지로 종목의 노치에 의해 횡목의 파단이 발생하였고, 나머지 3개의 시편은 횡목에서 종목으로 연결되는 직결나사못이 절단되어 낮은 내력을 보였으나, 고강도의 직결나사못을 사용했다면 더 높은 접합부의 내력이 측정되었을 것으로 예상할 수 있었다.

3.2. 가상단면에 대한 정각재 옹벽의 접합부 안정성 검토

3.2.1. 옹벽 설계조건

가상단면(횡목 15단, 종목 14단)에서의 정각재 옹벽의 구조물로서의 안정계산은 목재옹벽은 전, 후면부가 1 : 0.3의 구배로 경사져있으므로 평형 사변형의 단면으로 가정하여 검토하였다. 중력식 옹벽은 자중으로 토압을 저항하도록 만든 구조물로 지반이 양호하고 옹벽 높이가 그다지 높지 않은 경우에 이용되는 옹벽으로서 무근콘크리트 구조물은 4 m 이하의 높이가 적정 수준으로 시공되고 있다.

① 단면

옹벽높이 : $H = 2.7$ m (횡목 15단)

옹벽 폭 : $B = 0.79$ m

전면구배 : $1 : n_a = 1 : 0.3$ (16.7°)

후면구배 : $1 : n_a = 1 : 0.3$ (-16.7°)

② 하중조건

주동토압계산 : 시행쇄기법

뒤채움토 단위체적중량(사질토) : $\gamma_s = 19 \text{ kN/m}^3$
 뒤채움토 내부마찰각 : $\rho = 35^\circ$
 벽면 마찰각 : $\delta = 2 \cdot \frac{\rho}{3} = 23.3^\circ$

| 깊이 y (m) | 주동토압 (kN/m) | 단면전단력 (kN/m) | 최대휨모멘트 (kN · m/m) | 전단력 (kN) |
|---------------|----------------|-----------------|----------------------|-------------|
| 27 | 16 | 15.89 | 2 | 8 |

③ 부재조건

재질 : 리기다소나무
 횡목, 종목 직경 : 0.126 m
 종목 노치 깊이 : 0.03 m

$$Q_a(kN) = \frac{P_y \cdot L_a}{2} \dots\dots\dots ⑤$$

식 ①~⑤을 이용하여 2.7 m 높이의 옹벽의 최하단부의 주동토압, 단면전단력, 부재에 작용하는 최대휨모멘트 및 전단력의 계산 결과는 위와 같다.

3.2.2. 옹벽 접합부 안정성 검토

① 토압이 가장 크게 작용하는 최하단 부재에 대해 검토를 행하였다. 옹벽 상단부에서 깊이 y m의 주동토압과 주동토압에 의해 작용하는 단면력은 아래의 식으로 구하였다(右城猛, 2000).

$$P_y = \frac{1}{2} \gamma_s \cdot y^2 \cdot C \dots\dots\dots ①$$

$$N_y = P_y \cdot \sin(\alpha + \delta) \dots\dots\dots ②$$

$$Q_y = P_y \cdot \cos(\alpha + \delta) \dots\dots\dots ③$$

P_y : 옹벽상단부에서 y m 깊이에 작용하는 주동토압 (kN/m)
 γ_s : 뒤채움토 단위체적중량(19 kN/m³)
 C : 토압계수(0.231)
 α : 벽면경사각(-16.7°)
 δ : 벽면마찰각(23.3°)
 N_y : 옹벽상단부에서 y m 깊이에 옹벽단면에 작용하는 축력(kN/m)
 Q_y : 옹벽상단부에서 y m 깊이에 옹벽단면에 작용하는 전단력(kN/m)

② 최하단 부재 대한 검토

횡목은 종목에 의해 지지되어지므로 종목간격을 지점(La)으로 하는 단순보에 옹벽단면에 수평으로 작용하는 토압 전단력을 등분포하중으로 가정하여 검토하였다. 횡목에 작용하는 최대휨모멘트(M_a)과 최대전단력(Q_a)은 다음 식으로 산출하였다.

$$M_a(kN \cdot m) = \frac{P_y \cdot (L_a)^2}{8} \dots\dots\dots ④$$

부재의 전단력은 등분포하중이 작용하는 보의 지점에서 최대값을 나타내므로 옹벽접합부는 8 kN 이상의 내력을 가져야 안정성이 확인될 수 있다. 옹벽 제조 시 횡목과 종목의 일반적 접합 방법인 Type-A를 비롯하여 모든 Type에서 옹벽 횡목과 종목 접합부의 접합내력의 안정성을 확인되었다(Table 1).

4. 결 론

국내산 주요 침엽수 소경목의 활용 방안으로 토목용 부재로 사용되는 리기다소나무 방부 정각재 옹벽 접합부의 전단 내력 성능 평가를 하였다.

기존 정각재 옹벽에는 1개의 횡목과 2개의 종목이 연결되는 접합부와 긴 횡목과 짧은 횡목이 2개의 종목과 연결되는 접합부가 공존한다. 그러나 긴 횡목과 짧은 횡목이 2개의 종목과 연결되는 접합부는 많은 직결나사못의 사용으로 인하여 시공과정에서 목재의 파단 · 할렬이 발생하는 문제점이 있으며 때문에 옹벽자체의 내력저하의 원인이 된다. 기존 정각재 옹벽에 공존하는 2개의 접합부 중 문제점이 있는 Type-B(긴 횡목과 짧은 횡목이 2개의 종목과 연결되는 접합부)를 보완한 Type-C(긴 횡목과과 짧은 횡목을 각각 끝면거리 5D로 반턱이음하여 직결나사못으로 접합)는 직결나사못으로 부터 단거리가 짧기 때문에 목재의 파단이 쉽게 일어나 Type-B와 비교하여 27% 낮은 내력이 측정되었고, 평균 2% 항복 하중 또한 23% 낮게 측정되어 Type-B를 대체 할 수 없었다. 이에 Type-C에서 직결나사로부터 끝면거리를 10D로 증가시킨 Type-C1은 Type-B와 비교하여 10% 낮은

내력이 측정되었으며, 평균 2%항복 하중 또한 22% 낮게 측정되어 Type-C1은 Type-C와 마찬가지로 Type-B를 대체할 수 없었다. Type-C1에서 직결나사못의 수를 1개 더 증가시킨 Type-C2는 Type-B와 비교하여 내력이 16% 증가하였으며, 평균 2% 항복하중은 59% 높게 측정되어 Type-B보다 좋은 성능을 보였다. 5개의 시편 중 3개 시편의 직결나사못이 절단되었기에 압축형 전단 시험은 직결나사못의 내력이 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 이에 본 실험에서 사용된 직결나사못 보다 더 높은 내력의 직결나사못을 사용한다면 Type-C2 접합부의 내력이 더 높아 질 것으로 예상할 수 있었다.

옹벽 접합부의 Type-B는 직결나사못 4개를 사용함으로써 시공시 직결나사못에 의한 목재의 파단과 할렬이 발생하며 이는 옹벽자체의 내력 저하를 야기하고 시공시간도 길어지는 문제점이 있다. 따라서, Type-B를 내력과 항복 하중이 높고 직결나사못의 사

용개수도 3개로 줄인 Type-C2로 대체하여 시공한다면 옹벽자체의 내력 증가와 시공시간을 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 이동흡. 2009. 자연경관을 살리는 친환경 목재 옹벽. 산림조합중앙회 산림지 3월~8월호.
2. 이양규, 한중근, 홍기권, 김영기. 2007. 간벌목재를 이용한 옹벽시스템의 안정성 분석. 대한토목학회 학술대회 10: 3518~3521.
3. 右城猛. 2000. 新・擁壁の設計法と計算例. 理工図書.
4. 花野秀昭. 1997. 治山工事における木材利用について. 治山 42(4): 84~88.
5. 京都府森林保全課 治山係. 2000. 京都府における木製治山グムの実施について. 治山 44(12): 272~276.
6. 溝部孝博. 2000. 治山事業における木製型枠の施工事例. 治山 44(12): 277~279.