

Research Paper

고온에 노출된 국내산 낙엽송 구조용 집성재 기둥의 탄화 특성

Charring Properties of Glued Laminated Timber Columns using Domestic Larch Exposed to High Temperatures

안재홍¹ · 최윤정^{1*} · 김세종²

An, Jae-Hong¹ · Choi, Yun-Jeong^{1*} · Kim, Se-Jong²

¹Senior Researcher, Department of Construction Test & Certification Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Ilsanseo-Gu, Goyang, 10223, Korea

²Research Official, Research Planning and Coordination Division, National Institute of Forest Science, Dongdaemun-Gu, Seoul, 02455, Korea

*Corresponding author

Choi, Yun-Jeong
Tel : 82-31-910-0568
E-mail : yjchoi@kict.re.kr

Received : October 26, 2022

Revised : December 31, 2022

Accepted : January 9, 2023

ABSTRACT

It is widely known that the level of fire resistance of wooden structure is determined by a charring rate or charring depth, and these are adopted for fire design. In this study, specimens of domestic larch column with a lamination wooden type were prepared and the fire resistance properties such as the charring depth, load ratio and the specific charring rate suggested by EN Code investigated. Test results showed that as expected, the weakest part was the corner of the column, so that the charring depth of the corner was deeper than the other parts of the column. For the load ratio less than 0.9, it had little effect on the charring depth.

Keywords : charring properties, fire resistance performance, glued laminated timber, domestic larch

1. 서론

건축물 주요 구조부재는 화재시 구조물의 붕괴 방지를 위하여 내화성능을 확보하여야 한다. 이를 위해 국내 건축법령 등에서는 일정 규모 이상의 건축물 구조 부재를 내화구조로 하도록 의무화하고 있다. 내화구조는 화재시 건축물의 주요 구조 부재가 일정 시간 동안 고온에 노출되더라도 성능을 유지하는 부재 또는 구조형식을 말하며, 목구조에 사용되는 구조부재도 내화구조를 적용하여야 한다. Yeo et al.[1]에 따르면 일반적으로 목구조 건축물 화재는 초기 발화가 활발히 발생하여 화재 최성기 도달 시간이 일반 건축물에 비하여 빠르기 때문에 화재에 취약한 것으로 인식되고 있으나 목재는 철의 350배 정도 열전도율이 낮아 건축 구조부재로 목재를 많이 사용하고 있으며, 화재 노출후 구조체 재사용 측면에서도 강재나 콘크리트에 비해 재사용이 유리하다고 제시하고 있다.

국제적으로 목구조의 내화 대책은 고온에 노출된 목재의 탄화 속도, 탄화 두께 등을 내화설계시 적용하며, 탄화층을 확보한 단면 설계를 통하여 내화성능을 확보한 것으로 간주하고 있다. 국내에서도 목재 부재의 내화구조 인정기준은 시간당 탄화두께이며, 목구조 건축물에 인정받은 탄화두께를 적용하여 부재설계를 하여야 한다.

목재는 성장하는 주변 자연 환경이나 지역에 따라서 동일 수종이라도 재료의 물성 차이가 발생할 수 있는 천연재료이다. 재료 물성 변화를 제어하고 건축 재료로 일정한 품질을 확보하기 위하여 자연 상태의 생재(生材)를 가공하여 구조용으로 사용하게 만든 것을 공학용 목재라 하고 구조용 집성재(Glued Laminated Timber), 구조용 집성판(Cross Laminated Timber) 등



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 있다. 그리고 공학용 목재 중에서 목구조 건축물의 주요 구조부재중 기둥과 보는 구조용 집성재가 주로 사용된다[2].

탄소 저장능력을 인정받으며 친환경 소재로 각광받고 있는 목재는 콘크리트나 강재에 비하여 이산화탄소 방출량이 현저히 적으며 지구 온난화, 기후변화 등 각종 환경 문제가 대두되면서 목재의 사용과 목구조 건축물의 필요성이 급격히 증가하고 있다[3]. 그리고 목조 건축의 규모가 커지고 고층화에 대한 요구가 증가하고 있는 현실에서 지속적으로 구조용 집성재 등 공학용 목재의 사용은 점차 증가할 것으로 예상된다. 현재 국내시장에서 구조용 집성재를 제작하는데 사용되는 목재는 주로 북미산 낙엽송이며 일부는 유럽산 가문비나무(spruce)를 사용하고 있다. 하지만 국내 탄소 배출량 산출에 해당되지 않는 외산 목재 대신에 국내 탄소 배출량 감소, 목재 자원의 순환 및 탄소 저장 능력이 우수한 국내산 목재를 사용한 구조부재의 사용이 요구되는 최근의 국내 상황을 고려하면 국내산 목재 적용 활성화는 반드시 필요하다.

구조용 집성재는 기계강도 등급을 확인한 제재목(製材木)을 적층하여 구조부재로 사용한다. 그러나 공학용 목재라도 상온시 강도 등의 품질을 균일하게 유지하는데 국한되기 때문에, 화재시 고온에 노출될 경우 원목의 제재목도 식생 환경에 따른 탄화 특성의 차이가 발생할 수 있다. 즉 동일한 수종인 낙엽송이라도 북미산과 국내산은 탄화특성에서 차이가 발생할 수 있다. 구조용 집성재의 내화성능 또는 탄화특성에 대한 선행 연구는 외국산 수종으로 제작된 구조용 집성재에 대한 연구가 대부분이며, 이는 현재까지 국내산 수종으로 제작된 구조용 집성재가 건축물에 적용된 사례를 찾아보기 힘든 이유와 같다. 원재료인 목재의 생산량, 경제성 등의 이유로 구조용 집성재 재조업체가 대부분 외국산 수종을 사용하여 구조용 집성재를 제조하고 있다. 그러나 국내 구조용 집성재 업계에서는 공급량이 매우 적고 가격이 외국산에 비하여 상대적으로 비싼 국내산 제재목으로 제작된 구조용 집성재를 거의 생산하지 않고 있어 국내 목구조 시장에서 국내산 수종으로 제작된 구조용 집성재가 외면당하였고, 목재 특성상 동일한 수종이라도 성장하는 지역의 날씨, 기후 등의 차이에 따라 탄화 특성의 차이가 발생할 수 있음에도 국내산 수종의 탄화 특성에 대한 연구가 매우 미미한 원인이라 판단된다.

Kim[4]의 연구 결과에 따르면 목재 내부 온도가 300°C 이상이 되면 형성되는 탄화층은 하중 지지력이 거의 없기 때문에 탄화특성은 내화성능 평가에 매우 중요한 요소이다. 목재는 고온에 노출되면 온도에 따른 열분해 과정을 거쳐 형성되는 탄화층이 외부에서 목재 내부로 온도가 전달되는 것을 차단하는 내화피복재와 같은 역할을 수행하며 온도 전달을 억제하게 되면 열분해에 따라 발생하는 휘발성 가스의 발생도 동시에 감소하여 화재시 고온에 대한 내화성능을 가지게 된다. 본 연구에서는 국내산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재 기둥에 대하여 내화성능 시험을 수행하고 탄화특성을 분석하여 그 결과를 제시하고자 한다. 이를 위해서 구조용 집성재 기둥 부재에 대하여 재하 내화시험(Load bearing fire test)을 실시하였다. 내화시험 결과는 내화 시간에 따른 탄화 두께, 탄화 속도 및 하중비 변화에 따른 탄화 두께 변화 등을 고찰하였다.

2. 목재 탄화 및 내화설계 이론 고찰

2.1 열분해(Pyrolysis) 및 탄화(Charring)

Dietenberger et al.[5]은 목재의 열분해 과정이 온도 구간에 따라 특징을 보이는 것으로 제시하고 있다. 100°C 이하에서는 영구적인 강도 감소가 발생하기 시작하면서 수분이 빠져나가기 시작한다. 100°C 이상에서는 목재의 화학적 결합이 깨지며, 100~200°C 구간에서는 이산화탄소, 폼산, 아세트산을 포함한 수증기 및 기타 불연성 가스를 생성하며 목재가 탄화되기 시작한다. 목재는 120°C 근방에서 서서히 열분해(Pyrolysis)가 시작되면서 200°C 부근에서 탈수 반응으로 탄화가 빠르게 진행된다.

온도가 200°C 이상으로 올라가게 되면 열분해 과정이 빨라지게 되며, 300~450°C 구간에서는 가연성의 휘발성 가스가 활발히 생성된다. 열분해 과정에서 휘발성 가스와 탄화층이 생성된다. 목재 내부온도가 300°C 이내일 경우에는 탄화층이 가장 지배적인 생성물이며 300°C 이상일 경우에는 휘발성 가스가 주요한 생성물이다.

Buchanan and Abu[6]에 의하면 탄화층과 잔존 단면과의 경계는 매우 명확하며 경계 온도는 약 300°C로 제시하고 있다. 그리고 이 잔존 단면은 하중을 지지할 수 있는 구조 단면으로 화재시 목재 부재가 구조적 성능을 유지하는 역할을 수행한다. Figure 1은 고온 노출 후 단면에서 잔존 단면과 탄화층을 구분하여 표시하였다.

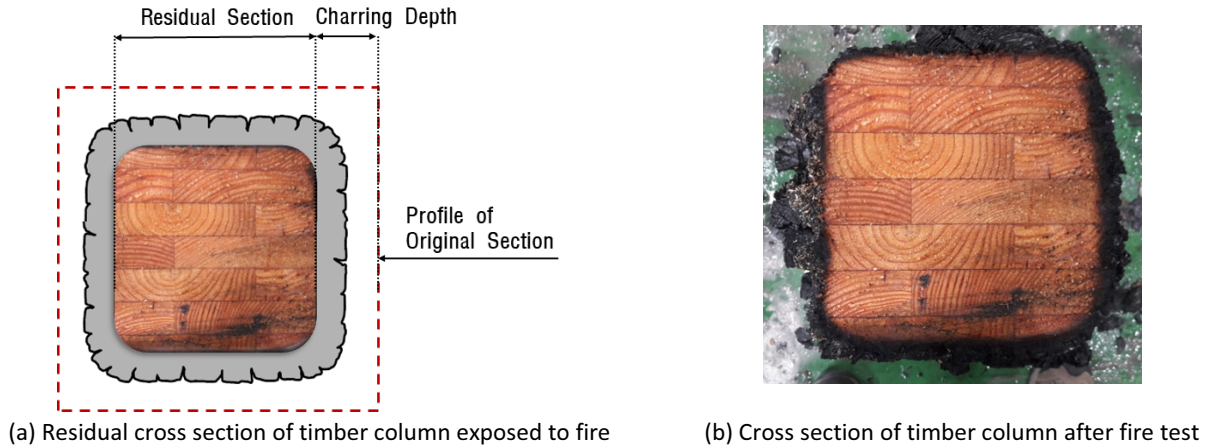


Figure 1. Charring layer of timber exposed to fire

2.2 목구조 내화 설계

화재에 노출된 목구조 부재는 열분해 과정을 거쳐 탄화층이 생성되며 화재시 부재가 성능을 유지하도록 요구되는 내화시간 동안 탄화층은 잔존 단면을 보호하는 피복재 역할을 수행한다. 구조 내력을 담당하는 잔존 단면을 구조설계로 산정하고 부재에 요구되는 내화시간을 고려한 탄화두께를 고려하여 최종 부재 단면을 산정하게 된다. 즉 목구조 내화 설계는 탄화층을 산정하는 것이며 탄화 두께는 탄화 속도와 화재에 노출된 시간으로 계산된다.

국내에서는 부재의 내화성능 확보를 위한 내화구조 인정제도가 운영되고 있으며 국내 제도내에서는 목구조 부재는 내화 시험 등을 통하여 성능이 확인되어 내화구조로 인정받은 탄화두께를 적용하고 있다. 이런 환경에서 국내는 탄화속도나 탄화깊이를 계산하는 별도의 규정을 제시하고 있지 않다. 그러나 해외에서는 목재 탄화 두께는 탄화 속도로 계산하여 내화 설계시 사용하고 있다.

Buchanan and Abu[6]은 목재가 화재에 노출되었을 때 일정 온도 이상 상승하게 되면 연소하게 되며, 목재의 단면 나비(b) × 길이(d)가 화재에 노출되어 잔존 단면(Residual section)인 $b_f \times d_f$ 로 줄어들었을 때 노출면의 탄화깊이는 아래의 식 (1)과 같이 제시하고 있다.

$$c = \beta t \quad (1)$$

c = 탄화깊이(mm)

β = 탄화속도(mm/min)

t = 시간(min)

그리고 Figure 2에서 보는 것처럼 탄화층이 형성되고 난 이후 잔존 단면은 다음의 식 (2), (3)과 같이 구할 수 있다.

$$b_f = b - 2c \tag{2}$$

$$d_f = d - 2c \text{ (4면 가열)} \tag{3}$$

b_f = 잔존 단면의 너비

d_f = 잔존 단면의 길이

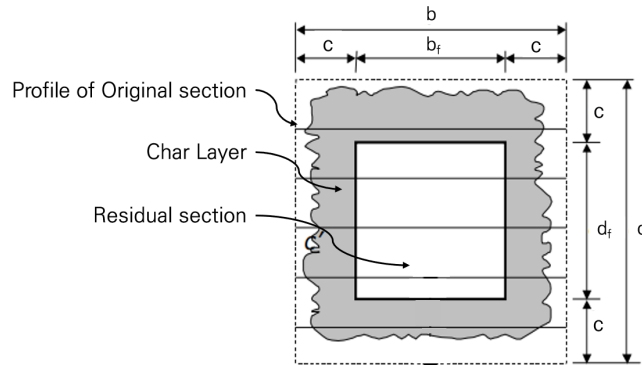


Figure 2. Fire resistance design concepts for timber members

유럽의 목구조 설계기준(Euro code)[7]에서 제시하는 목재의 탄화깊이 모델은 위의 탄화깊이 식과 같으며, 탄화속도 β 는 탄화깊이와 시간과의 관계에서 얻어지게 된다. 목재 단면 코너 부분의 탄화는 일반 단면보다 약 10% 정도 추가로 더 발생하기 때문에 유로코드 목구조 설계기준에서는 일반적인 탄화속도(β_0)와 코너 부분의 탄화를 고려한 가상의 탄화속도(β_n)도 제시하고 있다. 아래의 Table 1은 유로코드에서 제시하는 목재의 탄화속도 설계값을 정리한 것이다.

Table 1. Design charring rates β_0 and β_n of timber

Material	Minimum density (kg/m^3)	Charring rate	
		β_0 (mm/min)	β_n (mm/min)
Glue-laminated softwood timber, Solid or glue-laminated hardwood timber	290	0.65	0.70
	450	0.50	0.55

3. 내화성능 평가 및 결과

3.1 내화시험 개요

구조용 집성재 기동에 대하여 내화시험은 재하 내화시험(Load bearing fire test)으로 수행하고 탄화두께를 측정하였다. 내화성능 확인을 위한 구조용 집성재 시험체는 국내산 낙엽송으로 300mm 정사각형 단면에 높이 3,000mm로 제작하였다.

내화 성능 시험은 한국산업규격 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법-일반요구사항)[8] 및 KS F 2257-7(건축부재의 내화시험방법-기둥의 성능조건)[9]에 따라 실시하였다. 화재온도 곡선은 KS F 2257-1의 표준시간-가열온도 곡선(Standard time-temperature curve)을 적용하였으며, 시험체의 탄화두께, 재하시험시 변형량을 측정하였다. 아래의 Figure 3은 KS F 2257-1의 표준시간-가열온도 곡선을 나타낸 것이다.

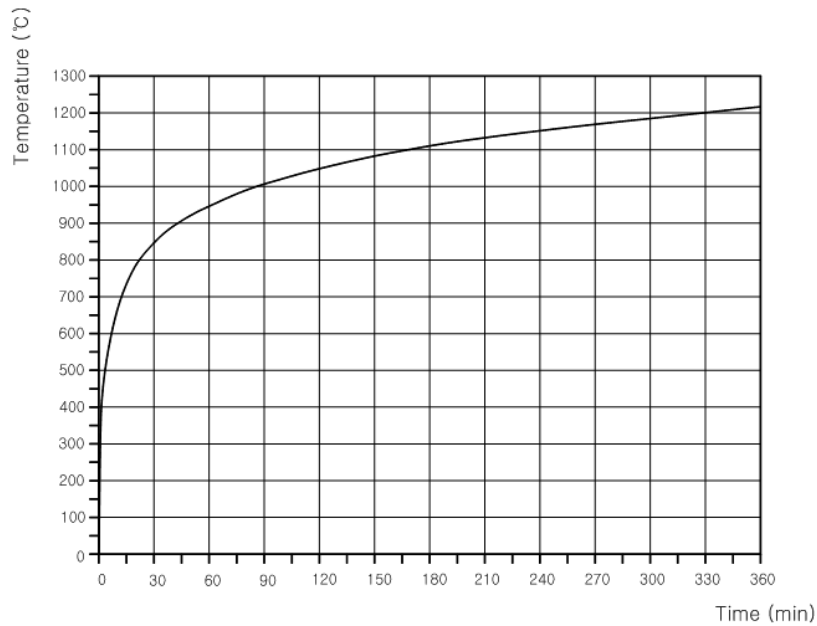


Figure 3. Standard time-temperature curve

구조용 집성재 기둥부재를 시험하기 위한 가열로의 가열장치인 버너는 액화천연가스를 연료로 사용하며, 재하장치는 가열로 하부의 유압장치에 의하여 시험체 하부에 하중을 가한다. 최대 재하량은 10MN이며, 최대 압축길이는 1,000mm이다. 아래의 Figure 4는 기둥 가열로와 시험체 설치, 내화시험 모습이다.

기둥 내화시험 가열로는 4면이 폐쇄된 상태에서 내화시험을 수행하며, 재하를 위한 유압 액추에이터(Actuator)는 가열로 하부에 위치하고 있다. 내화시간은 총 2시간의 시험을 실시하였으며, 시험체의 변형량을 측정하여 내화성능 확보 여부를 판단하였다. 시험체는 잔존단면을 기준으로 산출한 재하량에 하중비를 변화하여 시험하였다. 내화시험은 폐쇄된 가열로에서 수행하므로 시험체는 4면이 모두 고온에 노출된 상태이다.

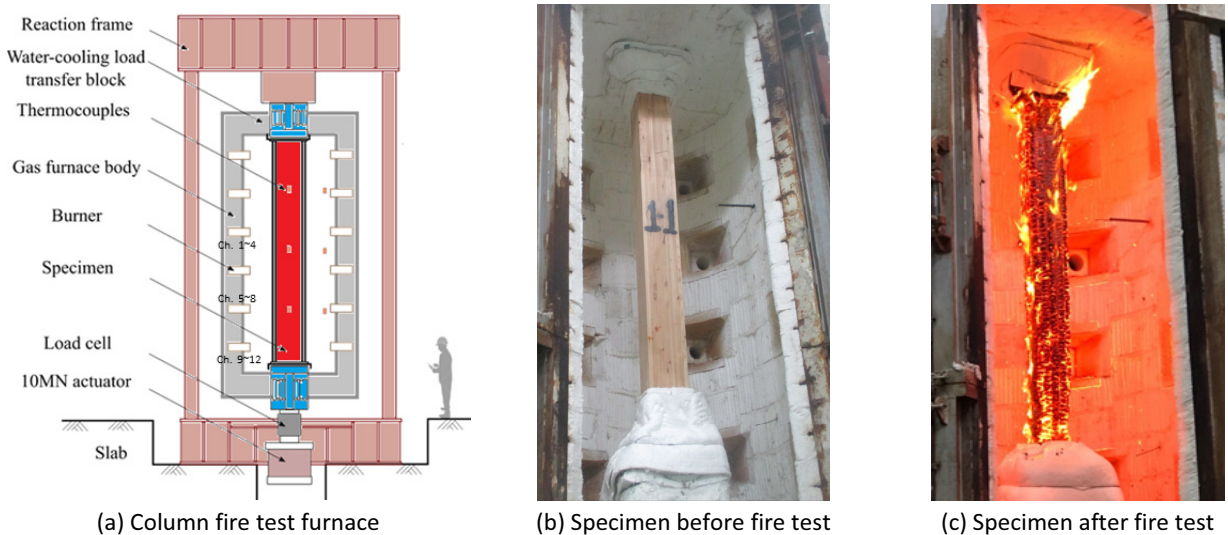
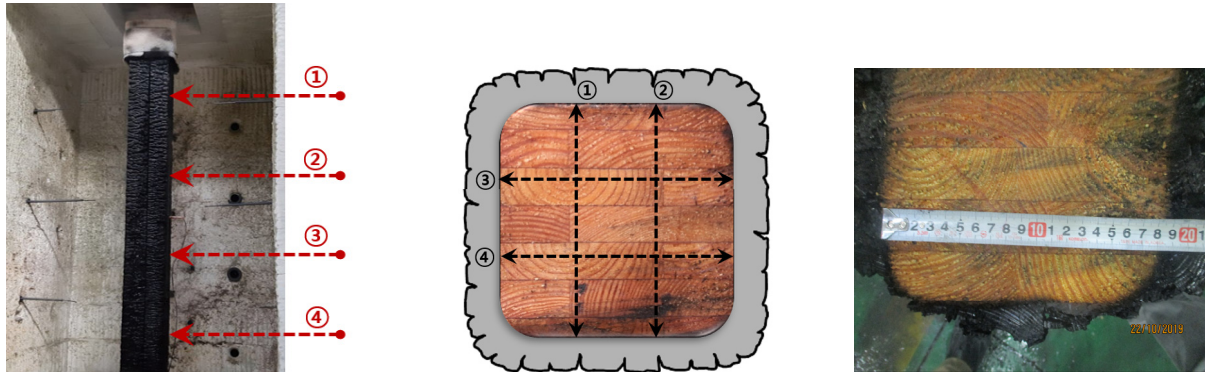


Figure 4. Fire resistance test of timber column members

3.2 탄화두께 측정

시험체의 탄화 두께(Charring depth)는 기둥 시험체 길이 방향으로 균등하게 4분할 위치의 단면에서 측정하였으며, 각 단면별로 4개 지점에서 측정하여 각 시험체마다 총 16개의 탄화 두께를 측정하였다. Figure 5는 탄화 두께 측정 위치와 각 단면에서 측정 위치를 나타낸 그림이다.



(a) measurement location after fire test (b) Charring depth measurement point (c) Charring depth measurement

Figure 5. Charring depth measurement of specimen

3.3 구조용 집성재 기둥 내화 시험

구조용 집성재의 탄화 특성을 고찰하기 위해서 다양한 조건에서 탄화 두께의 변화를 관찰하였다. 건축물 주요구조부재인 기둥은 일반적으로 하중을 부담하는 부재이므로 재하 내화시험은 하중비를 변화시키면서 탄화 두께 거동, 탄화 속도 등 탄화 특성에 대하여 고찰하였다. 재하 하중을 산정하기 위한 잔존 단면 계산에 사용된 탄화 속도는 유럽의 유로코드(Euro code)에서 제시하고 있는 설계값을 적용하였으며, 계산된 잔존 단면에 해당하는 하중값을 기준으로 하중비 1.3에서 0.5까지 변화하면서 120분간 내화시험을 수행하였다. 내화시험체는 모두 동일한 규격으로 제작하였으며 하중비의 변화에 따라서 1번부터 5번까지 시험체명을 구분하였다.

국내에서는 탄화두께 측정시 부재 단면의 코너부분 곡률을 고려하지 않고 측정값의 10%를 안전율로 추가하여 탄화두께를 산출하여 내화구조 인정시 사용므로 동일한 기준을 적용하여 잔존 단면 계산시 사용하였다. 그리고 시험체는 밀도가 290~450kg/m³으로 제작되었으므로 탄화속도는 유로코드의 β₀로 제시된 0.65mm/min를 적용하였다. 일반 탄화속도인 β₀를 적용하여도 안전율 10%를 추가 고려하였기 때문에 가상의 탄화속도(β_n)를 적용한 것과 유사한 결과를 보일것으로 기대하였다. 시험 하중 산출시 85.8mm로 계산된 탄화두께를 적용하였다. Table 2는 국내산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재 기둥 내화시험체 및 결과를 정리한 것이다.

내화성능 기준은 KS F 2257-1[4]에서 제시하는 하중지지력 성능 기준인 변형량을 기준으로 성능 만족 여부를 판단하였다. 변형량 성능기준은 아래의 식 (4)와 같다. 시험체 탄화두께는 87.4~89.5mm 사이로 측정되었으며, 내화성능을 확보하지 못한 C-L-1번 시험체를 제외하면 변형량은 0.52~3.01mm의 값을 보이는 것으로 확인되었다.

$$\delta = \frac{h}{100} mm = \frac{3000}{100} = 30mm \tag{4}$$

h = 시험전 시험체 높이(mm)

Table 2. Fire resistance test specimens and test results

Specimen	Specimen size(mm) (W × D × H)	Test(Heating) time(min)	Fire resistant time(min)	Test load (kN)	Load ratio	Displacement (mm)	Charring depth (mm)
C-L-1			116	218.7	1.3	33.12	89.5
C-L-2			120	151.4	0.9	2.16	87.4
C-L-3	300 × 300 × 3,000	120	120	117.7	0.7	3.01	87.5
C-L-4			120	100.9	0.6	0.52	87.8
C-L-5			120	84.1	0.5	2.87	87.8

※ Specimen Name : C(Column)-L(Load bearing fire test)-1~5(Load ratio 1.3~0.5)

4. 내화 시험 결과 고찰

4.1 변형량 변화 고찰

내화시험은 120분 동안 진행하였으며 C-L-1번 시험체만 117분에 성능기준을 초과하여 116분의 내화성능을 보였으며 다른 시험체는 모두 120분의 내화성능을 만족하였다. 내화시험 결과는 변형량과 하중비에 따른 탄화두께 변화를 중심으로 고찰하였다. 내화성능을 확보하지 못한 C-L-1번 시험체를 제외하고는 모든 시험체에서 측정된 변형량 값은 성능기준을 만족하면서 상대적으로 매우 안정적인 거동을 보이는 것으로 관찰되었다. 수축 거동을 하는 기둥 부재의 경우 하중비가 증가할 수록 수축 변형량도 증가하는 것이 일반적이거나 본 연구에서 수행한 시험체에서는 변형량은 유의미한 거동 차이를 보이지는 않았다. 다음의 Figure 6은 내화시간에 따른 변형량 변화를 나타낸 그림이다.

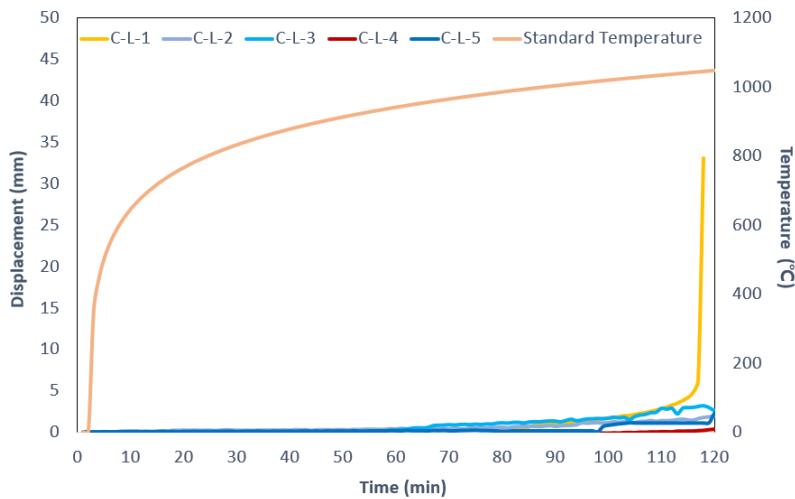


Figure 6. Behavior of specimen time-displacement

구조용 집성재 기둥 부재의 수축 거동이 일반적인 수직 부재와 차이가 발생한 것은 시험 하중값 산출 방식의 차이에 원인이 있는 것으로 사료된다. 기둥 부재의 시험 하중값 산출시에는 시험체 전체 단면적으로 하중값을 선정하는 것이 일반적이다. 그러나 구조용 집성재의 경우는 탄화층이 발생하므로 이를 고려하여 계산된 탄화층을 제외한 잔존 단면적을 유효 단면

으로 하여 구조 내력은 잔존 단면에서만 부담하는 것으로 하여 하중값을 산출하게 된다.

즉 동일한 단면의 시험체라도 구조용 집성재의 경우는 잔존 단면으로 표현되는 외부 하중에 대응하는 유효 단면이 상대적으로 작으며 내화시험 시간 동안 구조적으로 유효한 단면은 탄화층이 고온에 대응하면서 실제로 손상을 입지 않게 되는 것이다.

일반 기둥 부재는 내화시험과 동시에 구조 단면이 손상을 받게 되지만 구조용 집성재는 탄화층이 구조 단면을 내화시간 동안 지속적으로 보호하므로 거의 손상을 받지 않게 된다. 이러한 차이가 설계상 고려된 외력보다 시험 하중이 작은 하중비에서는 하중량이 변형량에 미치는 영향이 미미하게 되는 결과를 보이는 것으로 사료된다.

하중비 1.3의 시험체가 내화시험시 안정적인 결과를 보이기 위해서는 시험하중 산출시 계산된 유효 잔존 단면 보다 넓은 잔존 단면이 필요하지만 계산된 유효 잔존 단면을 초과하는 단면은 열분해 과정을 거쳐 탄화가 발생하여 하중에 저항할 수 없는 부분이 되므로 실제 필요한 잔존 단면의 임계면이 탄화가 되기 시작하는 시간부터 급격한 취성 파괴 거동과 변형량의 급격한 상승을 보인 것으로 판단된다.

4.2 하중비에 따른 탄화두께 변화 고찰

하중비를 1.3~0.5의 범위에서 120분의 내화시험을 수행하였으며 하중비의 변화에 따른 탄화두께 영향을 고찰하였다. Table 3은 내화시험 결과를 하중비와 탄화두께를 중심으로 정리한 것이다.

하중비의 변화에 따라 탄화두께는 87.4mm~89.5mm 사이로 관찰되었다. 시험하중 계산시 적용한 유로코드에 따른 추정 탄화 두께(안전율을 고려하여 10% 가중값 적용)와 시험결과 측정된 탄화 두께의 차이는 일반 탄화속도(β_0)에서는 12%, 가상의 탄화속도(β_n)에서는 4%의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 재하상태에서 내화시험할 경우 시험체에 가해진 하중 때문에 탄화층이 내화시험 도중 탈락할 경우 탈락면에서 다시 열분해의 임계면이 형성되면서 탄화 두께가 코드에서 제시하는 설계값보다는 더 측정된 것으로 사료된다.

Table 3. Results of charring depth fire test

Specimen	Load ratio	Charring depth (mm)	Euro code(β_0) charring depth(mm)	Euro code(β_n) charring depth(mm)	Average charring depth (mm)
C-L-1	1.3	89.5			
C-L-2	0.9	87.4			
C-L-3	0.7	87.5	78.0	84.0	88.0
C-L-4	0.6	87.8			
C-L-5	0.5	87.8			

탄화두께를 보면 유로코드에서 제시하고 있는 일반 탄화속도(β_0)보다는 코너부위의 곡률을 고려한 가상의 탄화속도(β_n)가 더 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

시험체별로 16개 위치에서 측정된 탄화두께를 표현한 Figure 7을 보면 내화성능을 확보하지 못한 G-L-1번 시험체만 탄화 두께가 위치별 편차가 많이 발생한 것으로 확인되었다. 그리고 나머지 시험체의 탄화두께는 위치별로도 일정한 거동을 보이는 것으로 관찰되었다.

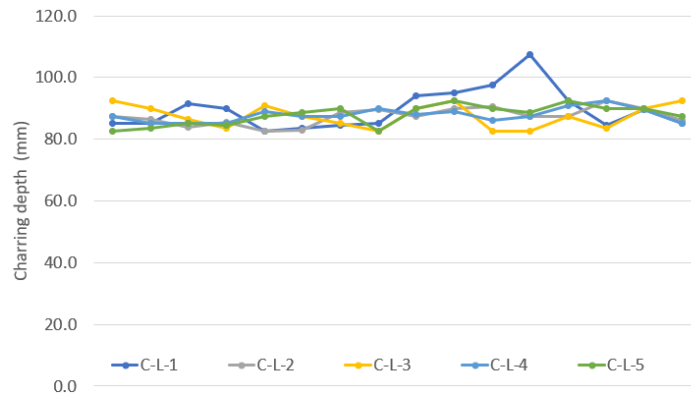


Figure 7. Behavior of specimen charring depth

Figure 8에서 보는 것처럼 하중비에 따른 탄화두께 변화는 하중비 0.9 이하에서는 탄화두께가 거의 유사한 결과를 보이는 것으로 확인되었다. 즉 하중비 0.9 이하에서는 하중비가 탄화두께에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단할 수 있다. 이는 하중비에 따른 변형량 변화도 동일한 거동을 보이는 것으로 관찰되었다.

내화시간과 변형량 고찰 결과에서 볼 수 있듯이 하중비 0.9 이하에서는 탄화층을 고려하여 계산된 유효 잔존 단면의 손상이 거의 발생하지 않으며, 이로 인하여 재하량에 대한 잔존단면의 내력이 유지됨으로서 탄화두께에 영향을 미치지 않게 되는 것이 주요한 원인으로 사료된다. 하중비와 변형량을 비교한 그림에서도 하중비 0.9를 초과할 경우 변형량이 급속히 증가하지만 0.9 이하에서는 비교적 안정적으로 변형이 발생한 것으로 내화시험 결과 확인되었다.

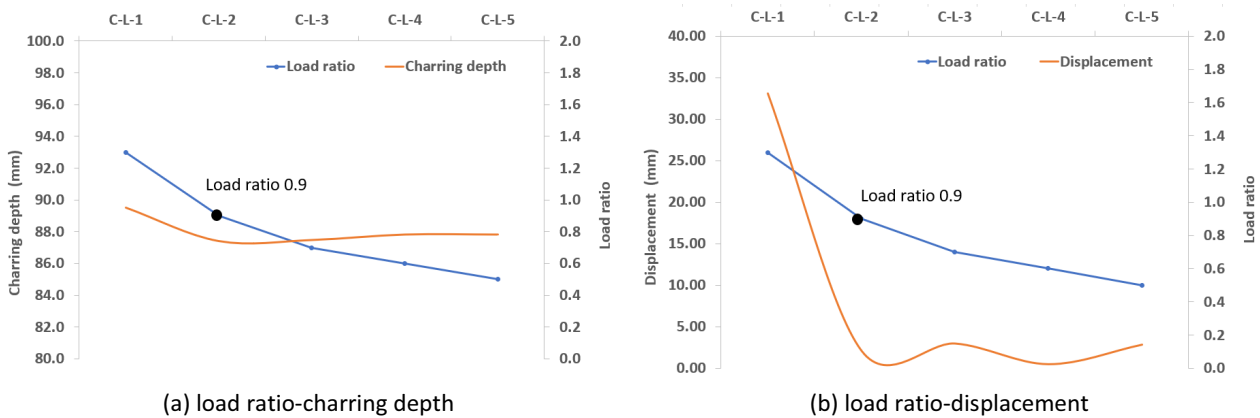


Figure 8. Behavior of specimen by load ratio

5. 결론

국내산 낙엽송으로 제작한 구조용 집성재 기둥 부재에 대하여 수직 압축력을 가한 재하 내화시험 결과를 바탕으로 탄화 특성에 대하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

첫째, 구조용 집성재의 재하 내화시험 결과 유로코드의 코너 효과를 고려한 가상의 탄화 속도를 적용한 탄화 두께와 4%의 차이를 보여 매우 유사한 거동을 보이는 것으로 나타났으며, 이는 국내에서도 구조용 집성재 탄화 두께 평가시 코너 효과를 고려한 탄화 두께를 적용하는 것이 합리적일 것으로 사료된다. 현재 국내에서 구조용 집성재 내화구조 인정시 사용하는

안전율 10%를 추가 적용하고 있지만 이는 논리적으로 근거가 부족하지만 동일한 효과를 가지는 코너부 곡률 고려한 탄화 두께가 상대적으로 과학적인 근거가 있을 것으로 판단된다.

둘째, 구조용 집성재는 탄화층이 잔존 단면을 내화시간 동안 지속적으로 보호하고 있으므로 외력에 저항하는 구조 단면인 잔존 단면이 거의 손상을 받지 않게 되며, 이로 인하여 잔존 단면의 응력보다 적은 0.9 하중비의 외력이 작용할 경우 수직 압축 변형량 변화에 미치는 영향이 매우 미미한 것으로 판단된다.

셋째, 하중비와 탄화 두께를 상관성을 고찰한 결과 하중비 0.9 이하에서는 하중비가 탄화 두께에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단할 수 있으며, 이는 탄화층을 고려하여 계산된 유효 잔존 단면의 손상이 거의 발생하지 않는 하중비에서는 재하량에 대한 잔존단면의 내력이 유지됨으로서 탄화 두께에 영향을 미치지 않게 되는 것이 주요한 원인으로 사료된다.

목재는 건축 재료적 관점에서 생재가 성장하는 지역적 특성이 재료 특성에 미치는 영향이 있다. 이는 국내산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재의 탄화 특성이 해외에서 제시하는 기준의 탄화 속도 등과 비교해볼 수 있는 자료로서 향후 국내산 목재에 대한 목구조 내화설계기준 등의 개발에 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

요약


목구조 건축물의 목재 구조부재는 내화 설계시 국제적으로 탄화 속도나 탄화 두께를 사용하며, 국내에서도 내화구조 인 정시 탄화 두께 기준을 적용한다. 본 연구에서는 국내산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재 기둥의 탄화 특성에 대하여 내화 시험을 실시하여 탄화 특성, 하중비에 따른 영향 및 유로코드(Euro code)에서 제시한 탄화 속도와 비교 분석하였다. 내화 시험 결과 탄화 두께는 단면 코너 부위의 영향을 보이는 것으로 나타났으며 하중비 0.9 이하에서는 하중비가 탄화 두께에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.


키워드 : 탄화 특성, 내화 성능, 구조용 집성재, 국내산 낙엽송


Funding

This research was supported by National Institute of Forest Science of Korea(Project No. 20190248-001).

ORCID

Jae-Hong An,  <http://orcid.org/0000-0003-0680-9233>

Yun-Jeong Choi,  <http://orcid.org/0000-0001-9415-7575>

Se-Jong Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-0844-7726>

References

1. Yeo IW, Park KH, Cho KS, Min BY, Yoon MO. An experimental study on the charring rate of solid sawn timber exposed to fire. *Journal of the Korea Insistute of Fire Science and Engineering*. 2011 Jun;25(3):78-84.
2. Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG. *Forest products and wood science*. 4th ed. Ames (IA): Iowa state university press; 2003. Chapter 10, Strength and structure; p. 242-72.
3. Dark horse of eco-friendly material, carbon storage 'wood' is everything [Internet]. Seoul (Korea): National Institute of Forest

Science Webzine. 2022 Dec 8. Available from: <https://know.nifos.go.kr/webzine/201808/bigdata.do>

4. Kim HJ. Study on the internal temperature of flame resistant treated wood exposed to a standard fire. *Journal of the Korea Institute of Fire Science and Engineering*. 2018 Jun;32(3):14-8. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.3.014>
5. Diätenberger MA, Hasburgh LE, Yedinak KM. *Wood Handbook*. Madison (WI): Forest Products Laboratory; 2021. Chapter 18, Fire Safety of Wood Construction; p. 18.10-18.11.
6. Buchanan AH, Abu AK. *Structural design for fire safety*. 2nd ed. Chichester (United Kingdom): John Wiley & Sons; 2017. Chapter 9, Timber structures; p. 273-82.
7. EN 1995-1. *Eurocode 5-Design of timber structures Part 1-2 General rules-Structural fire design*. European Union: European committee for standardization; 2004. p. 20-3.
8. KS F 2257-1. *Methods of fire resistance test for elements of building construction-General requirements*. Seoul (Korea): Korean Standards Association; 2019. p. 10-9.
9. KS F 2257-7. *Methods of fire resistance test for elements of building construction-Specific requirements for columns*. Seoul (Korea): Korean Standards Association; 2019. p. 5.