(보고서)

11-4

신한옥 구조부재설계자동화 S/W 개발 및 사용 매뉴얼 보고서

작성자 : 연구책임자 김영민

연락처 : 경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교 건축대학 12315호
Tel:(031)330–6490 Fax:(031)031-330-6487

<목 차>

1. 신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 ---------- 2
1.1 신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 ---------- 2
1) 개요 ---------- 2
2) 신한옥 주요 구조부재의 부재설계 검토 자동화 소프트웨어 사용법 ---------- 2
3) 신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼 ---------- 6
4) 프로그램 등록 현황 ---------- 6
5) 특허출허 현황 ---------- 6
1.2 보부재 구조검토 근거자료 ---------- 7
1) 개요 ---------- 7
2) 보부재 구조검토 과정 ---------- 7
3) 구조검토 근거(계산식) ---------- 8
1.3 도리 부재 구조검토 근거자료 ---------- 26
1) 개요 ---------- 26
2) 도리 부재 구조검토 과정 ---------- 26
3) 구조검토 근거(계산식) ---------- 27
4) Microsoft Excel을 통한 도리 프로그램 검토 ---------- 44
1.4 서까래부재 구조검토 근거자료 ---------- 46
1) 개요 ---------- 46
2) 서까래 부재 구조검토 과정 ---------- 46
3) 구조검토 근거(계산식) ---------- 47
4) Microsoft Excel을 통한 서까래 프로그램 검토 ---------- 64
1.5 기둥부재 구조검토 근거자료 ---------- 65
1) 개요 ---------- 65
2) 기둥부재 구조검토 과정 ---------- 65
3) 구조검토 근거(계산식) ---------- 66
1.6 예제 ---------- 76
1) 보(대량) ---------- 76
2) 도리 예제 ---------- 86
3) 서까래 예제 ---------- 96
4) 기둥 예제 ---------- 106

1.1신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어

1)개요

실무자가 신한옥 설계시 주요 구조부재에 대해 검토하며 최적단면을 선정할 수 있으며 구조안전성을 확보하면서 경제적인 설계를 가능하게 해준다. 이는 S/W는 신한옥 구조검토 업무효율을 상당부분 향상시킬 수 있다. 주요 구조부재인 대량과 주심도리, 기둥에 대한 최적단면을 선정할 수 있는 부재설계 검토 S/W를 개발하였다. 이전 연구에서는 소프트웨어에 대한 개략적인 설명과 보 부재설계에 대한 소프트웨어를 설명했다. 본 연구는 도리(창,평방), 서까래, 기둥에 대한 소프트웨어를 설명한다.

2)신한옥 주요 구조부재의 부재설계 검토 자동화 소프트웨어 사용법

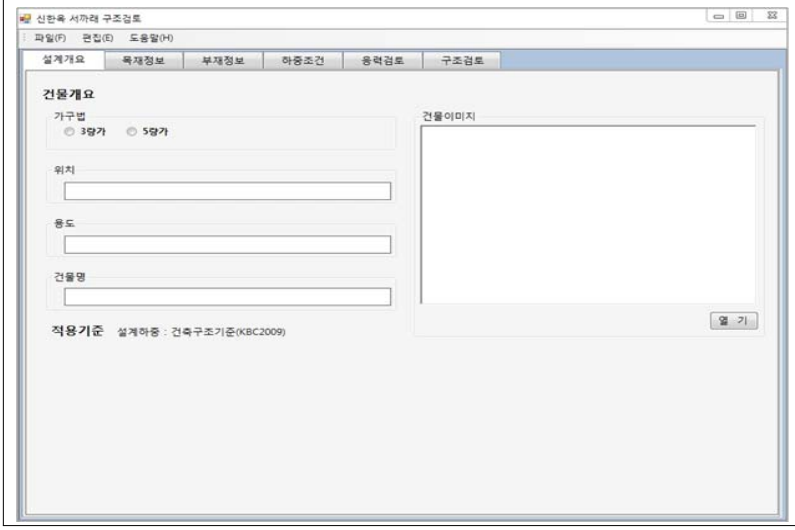
부재 설계 검토 자동화 소프트웨어는 목재정보를 입력하고 부재정보를 입력하여 건물의 기본적인 허용응력과 전단력 등을 입력한다. 그 다음 하중조건을 입력하여 건물에 가해지는 하중을 입력한다. 목재정보, 부재정보, 하중조건을 입력한 값을 이용하여 응력을 검토한뒤 구조검토를 통하여 구조 부재에 사용성과 안전성을 계산 한다.

다음의 소프트웨어 사용 순서는 보부재에 대한 구조검토 과정이다.

(1) 설계개요 입력

설계개요 입력

건물의 개요와 이미지를 입력한다.

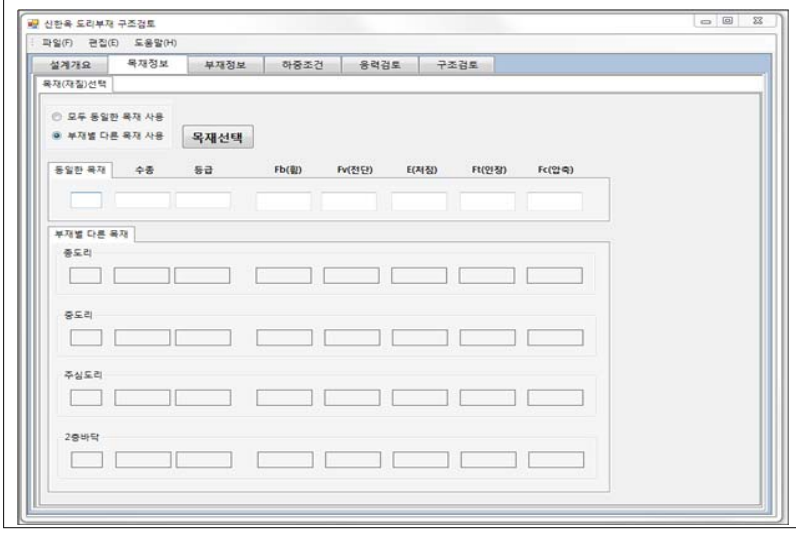


1. 가구법을 선택.
2. 위치, 용도, 건물명을 입력
3. 건물이미지를 삽입

(2) 목재정보 입력

목재정보 입력

목재종류, 수종군 및 등급에 따라 기준허용응력이 다르므로 이를 선택한다.

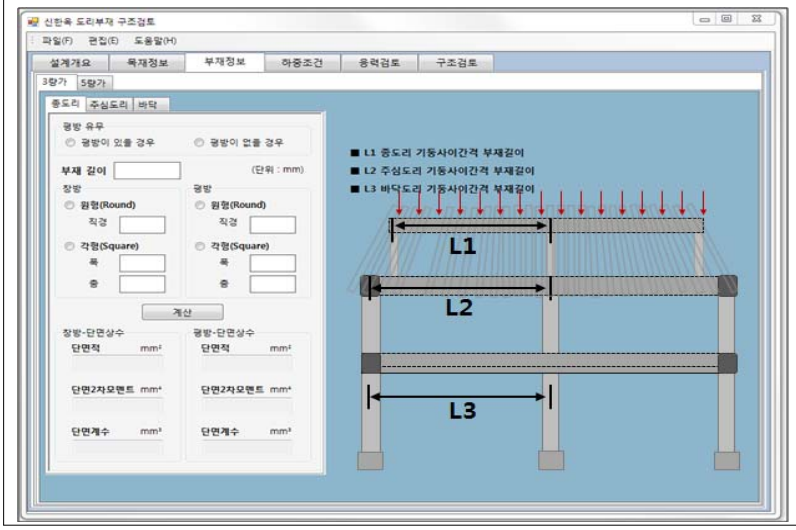


1. 모두 동일한 목재가 사용되었는지, 혹은 부재별로 다른 목재가 사용되었는지 선택.
2. 목재에 따른 수종군 및 등급선택

(3) 부재정보 입력

부재정보 입력

전체 건물의 가구법(3량가, 5량가)을 설정하고, 검토 부재의 형태 및 크기를 입력한다

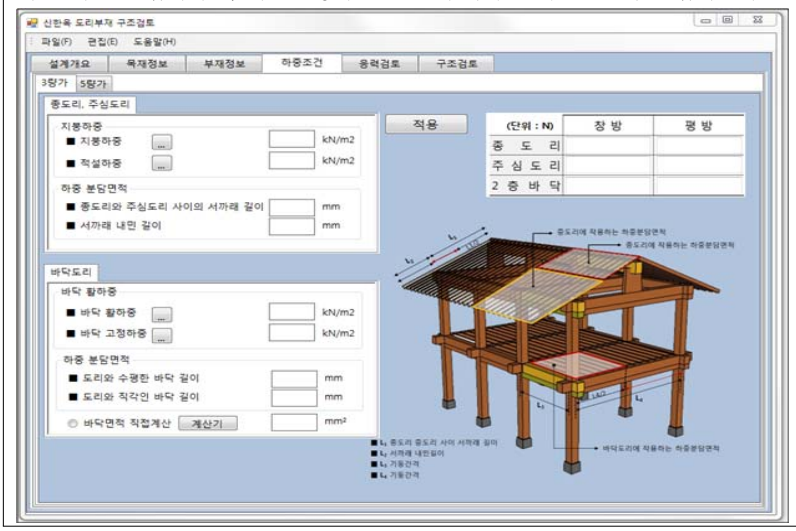


1. 가구법 선택(3량, 5량)
2. 단면형태 및 크기, 일벽
3. 부재 길이 입력

(4) 하중조건 입력

하중조건 입력

적용 하중을 입력하고, 하중산정에 필요한 부재의 길이 및 간격을 입력한다.



1. 지붕하중(지붕하중, 적설하중)을 입력.
2. 하중 분담면적 계산을 위한 부재크기 입력.
3. 각 부재별로 필요한 정보를 입력.

(5) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력 산정 및 부재력 계산

목재의 기준허용응력과 부재정보로부터 보정계수를 구하여 설계허용응력을 산정하고, 부재력을 계산한다.

1. 보정계수 적용
2. 설계허용응력 산정
3. 부재력 자동계산

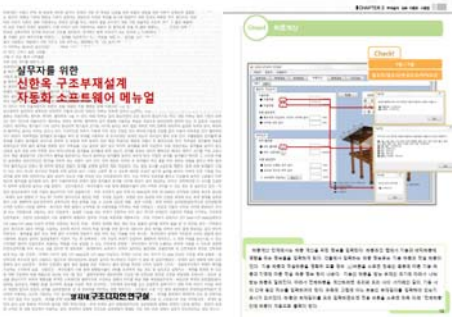
(6) 안전성 및 사용성 검토

안전성 및 사용성 검토

부재의 안전성(휨, 전단) 및 사용성(처짐)을 검토하여 단면의 적절성을 확인한다.

1. 안전성 및 사용성 검토
2. 단면의 적절성 판단

3)신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼



다음은 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼이다. 매뉴얼은 프로그램에 사용된 계산법들과 프로그램 과정과 부재 구조검토 근거자료를 설명하고 있으며, 소프트웨어의 사용법을 예제를 통하여 손에 익게 한다.

4)프로그램 등록 현황

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어는 다음과 같이 11월 17일에 현재 저작권 등록을 완료하였다.

5)특허출허 현황

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어는 다음과 같이 3월 12일에 특허출허를 완료하였다.

1.2보부재 구조검토 근거자료

1)개요

보부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 E'을 사용하여 계산하며, 보의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

2)보부재 구조검토 과정

목재정보선택	원목, 집성재
↓	
가구법선택	3량가, 5량가
↓	
부재정보입력	단면크기 및 길이
↓	
하중조건입력	지붕하중 및 적설하중
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	설계응력산정
↓	
안전성 및 사용성 검토	안전성(휨,전단), 사용성(처짐)검토

그림 1. 보주재 구조검토 과정 알고리즘

첫째 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다. 둘째 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 대들보의 경우 3량가는 대들보에 작용하는 하중이 1점하중이지만 5량가는 위의 종보에서 내려오는 하중으로 2점하중이기 때문에 1점하중이 분산되어 작용한다. 셋째 보부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다. 넷째 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 보에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 보에 집중하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 보에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4.5~5.5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보

인다.

표 1. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

지역	지상적설하중(kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

3)구조검토 근거(계산식)

(1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다. 「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

표 2. 침엽수 구조재의 수종 구분

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송, 라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 3. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.4	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.4	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.4	6,000

표 4. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용응력						
	$X-X$축에 대한 휨		$Y-Y$축에 대한 휨		축하중		
	F_{bx-x} 1)	E_{x-x} 2)	F_{by-y} 3)	E_{y-y} 4)	F_t 5)	F_c 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

1) $X-X$ 축에 대한 기준 허용휨응력($X-X$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) $X-X$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) $Y-Y$ 축에 대한 기준 허용휨응력($Y-Y$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) $Y-Y$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

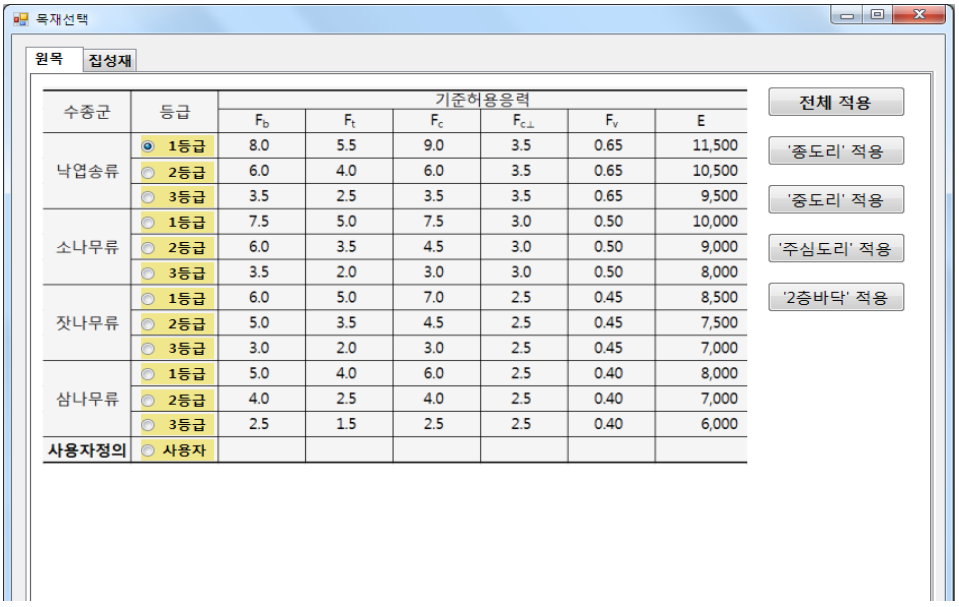
표 5. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

수 종 군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

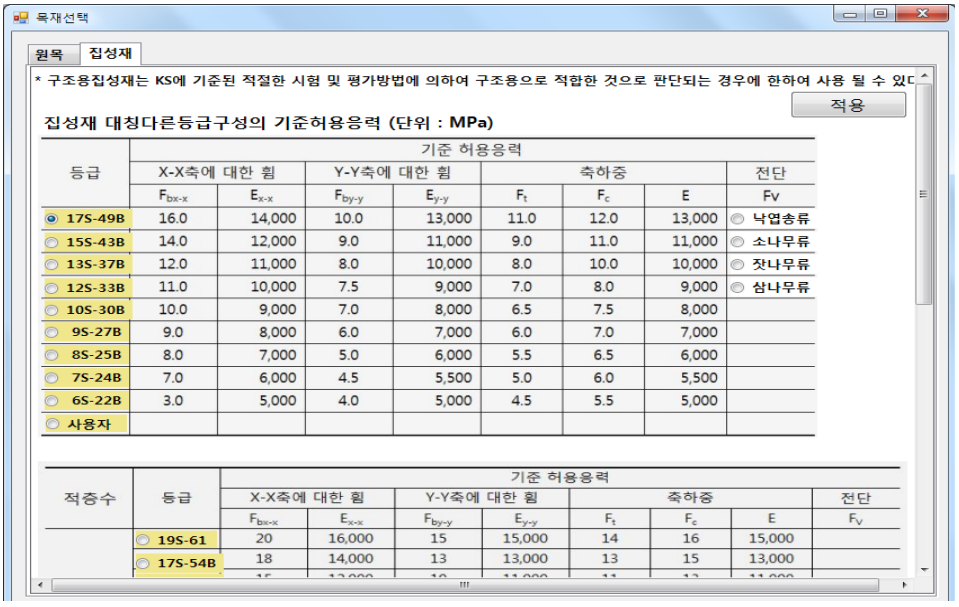
본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급 구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.

아래의 그림 5와 그림 6은 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

그림 2. 개발프로그램_목재정보_원목



등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 F_v
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

그림 3. 개발프로그램_목재정보_집성재

(2) 부재정보

보의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 대들보만 정보입력이 가능하고 5량가에서는 대들보와 종보의 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.

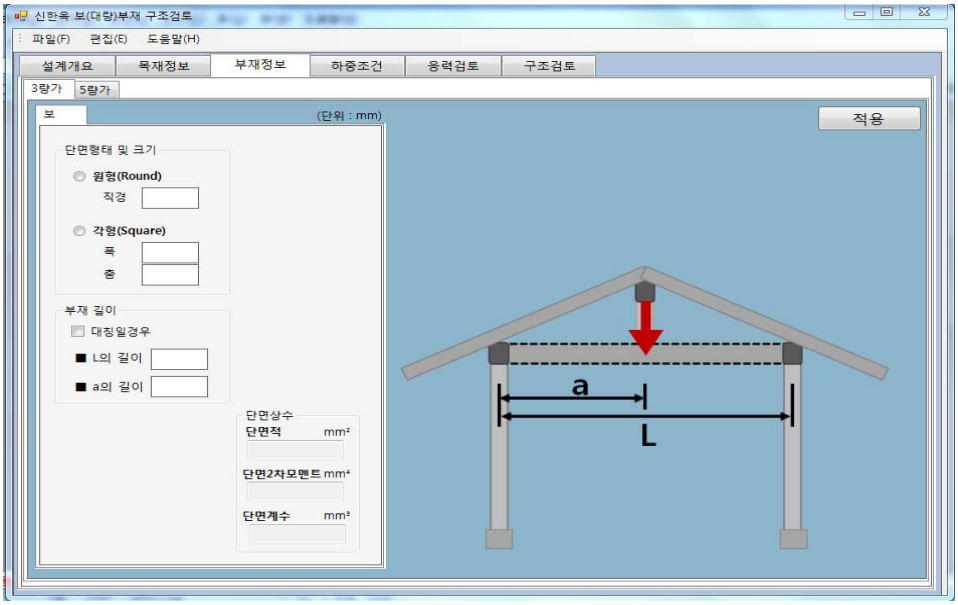
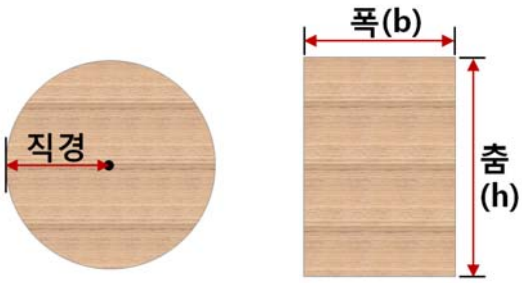


그림 4. 개발프로그램_부재정보



(a) 원형단면 (b) 각형단면

그림 5. 보부재 단면형태 및 크기

가) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$

■ 각형 : $b \times h$

나) 단면2차모멘트

■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

다) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$

(3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

가) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정

그림 6. 개발프로그램_하중조건_3량가

■ 대들보에 작용하는 하중분담면적 (A) = $\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2})$

■ 대들보에 작용하는 전체하중 (P) = $(\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}))\times(RL+SL)$

L1 : 종도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L2 : 대들보의 수직방향 기둥간격
L3 : 대들보의 수직방향 기둥간격

나) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

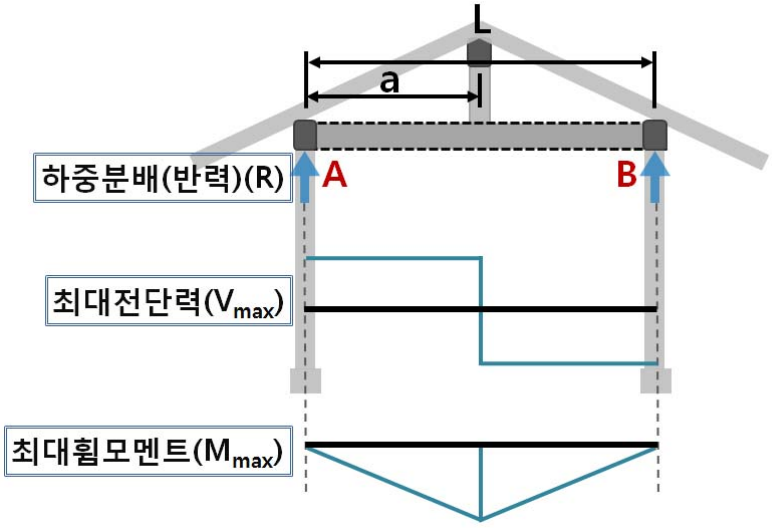


그림 7. 3량가 반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 다이어그램

■ 반력 (R_A) = $\dfrac{P(L-a)}{L}$

반력 (R_B) = $\dfrac{Pa}{L}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = Max (R_A, R_B)

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = Max($(R_A \times a), (R_B \times (L-a))$)

다) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정

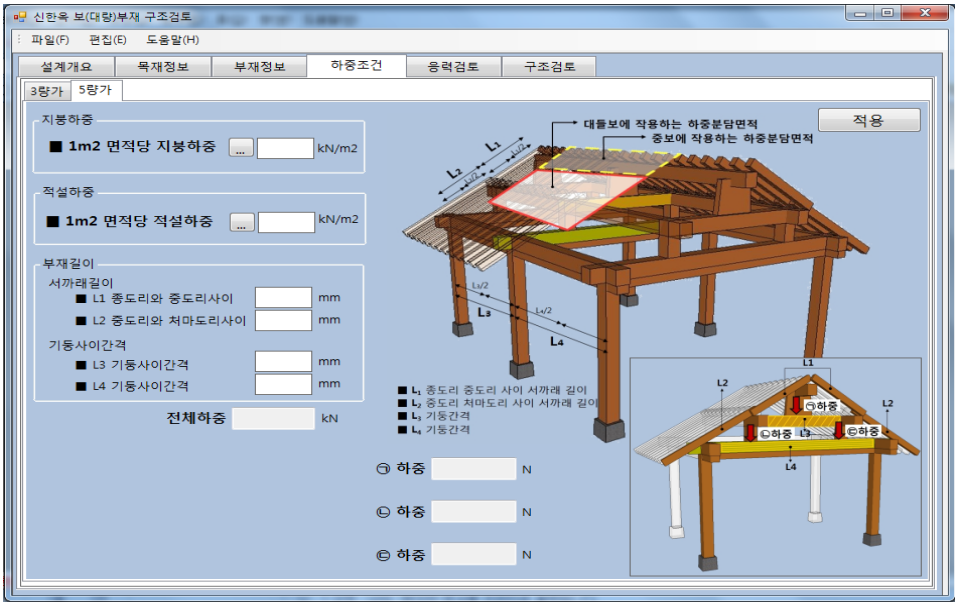


그림 8. 개발프로그램_하중조건_5량가

3량가의 대들보는 1점 집중하중을 받는 반면 5량가의 대들보는 2점 집중하중을 받으며 종보는 1점 집중하중을 받는다. 5량가의 경우 대들보 및 종보에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 종보에 작용하는 하중분담면적(A) = $\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_3}{2}+\frac{L_4}{2})$

■ 종보에 작용하는 전체하중(PA) = $(\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_3}{2}+\frac{L_4}{2}))\times(RL+SL)$

■ 대들보에 작용하는 하중분담면적(B) = $(\frac{L_2}{2}\times(\frac{L_3}{2}+\frac{L_4}{2}))$

■ 대들보에 작용하는 전체하중(PB) = $P_A+[(\frac{L_2}{2}\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}))\times(RL+SL)]$

L1 : 종도리와 중도리 사이의 서까래 길이
L2 : 중도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L3 : 대들보의 수직방향 기둥간격
L4 : 대들보의 수직방향 기둥간격

라) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

종보

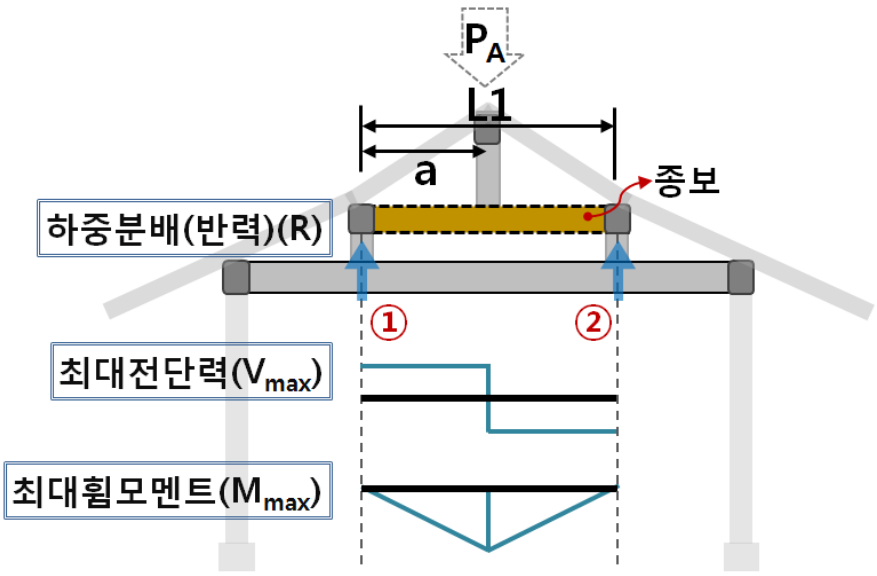


그림 9. 5량가 종보의 반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 다이아그램

■ 반력 (R①) = $\frac{P(L-a)}{L}$

반력 (R②) = $\frac{Pa}{L}$

■ 최대전단력 (Vmax) = Max ($R_{①}, R_{②}$)

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = Max$((R_{①} \times a), (R_{②} \times (L-a)))$

대들보

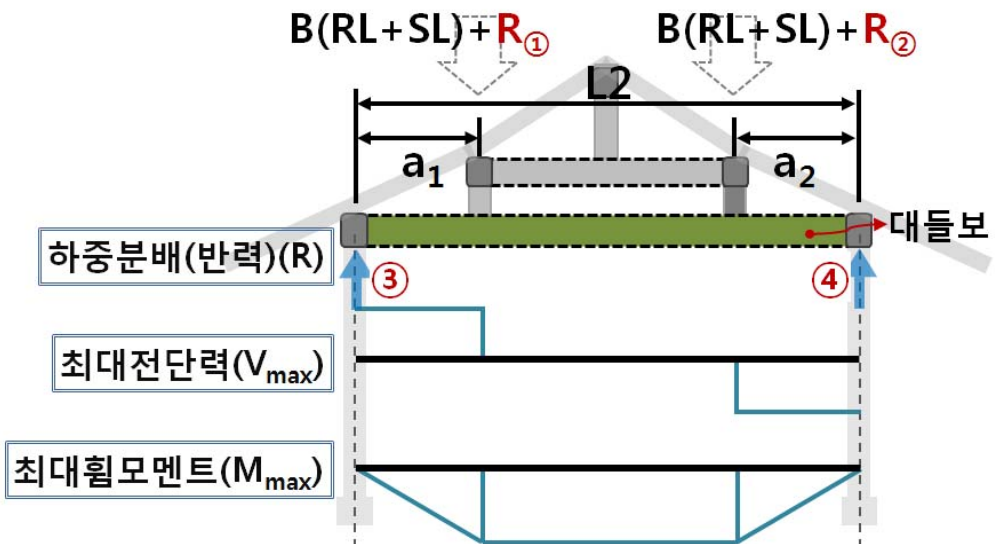


그림 10. 5량가 대들보의 반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 다이아그램

■ 반력 (R③) = $\dfrac{[(B(RL+SL)+R_{②})\times a_2]-[(B(RL+SL)+R_{①})\times(L_2-a_1))]}{L_2}$

반력 (R④) = $\dfrac{[(B(RL+SL)+R_{②})\times(L_2-a_2)]+[(B(RL+SL)+R_{①})\times a_1]}{L_2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = Max $(R_{③}, R_{④})$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = Max$((R_{③} \times a_1), (R_{④} \times a_2)))$

(4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.

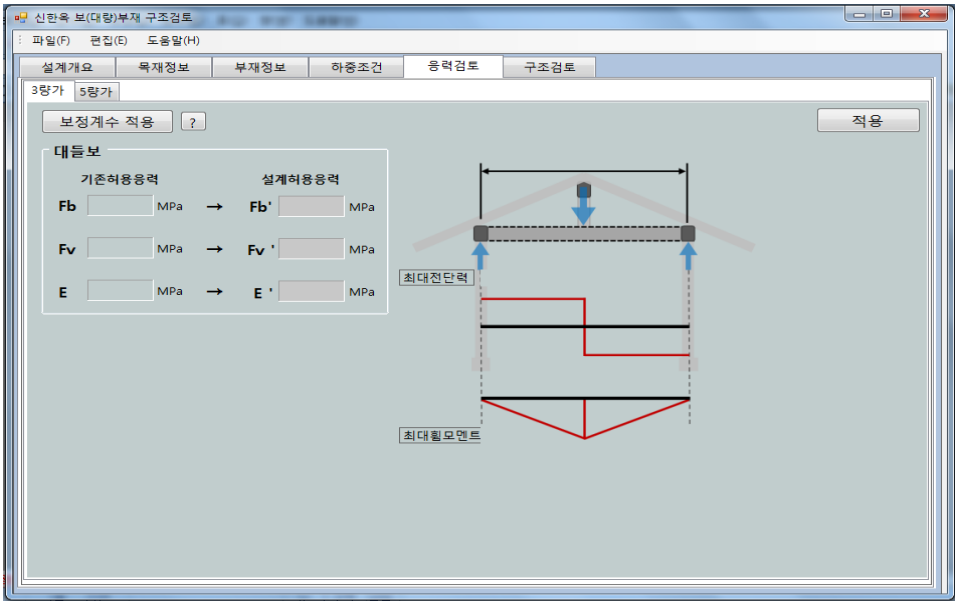


그림 11. 개발프로그램_설계허용응력 산정 및 부재력 계산_3량가

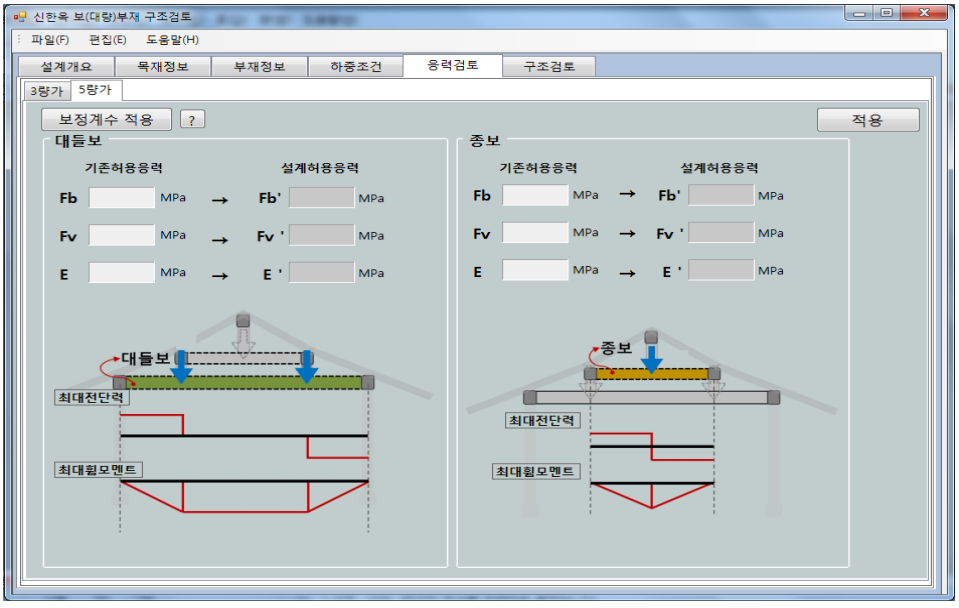


그림 12. 개발프로그램_응력조건_5량가

가) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r \times C_i$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 C_D는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

표 6. 하중계수

설계하중	하중계수, C_D	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수 C_M을 적용하여 보정한다.
본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

표 7. 습윤계수

구 분	두 께	습윤계수					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_y	E
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

- C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준

허용응력에 표 10의 온도계수 C_t를 적용하여 보정한다.

본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

표 8. 온도계수, C_t

기준 허용응력	사용함수율 조건	C_t		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

▸ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L은 부피계수 C_v와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE}/F^*_b}{0.95}}$$

여기서, F_b^*= 기준 허용휨응력에 C_{fu}, C_V, C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{be} = 0.745 − 1.225(COV$_E$)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

▸ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $(\frac{300}{d})^{\frac{1}{9}}$값을 곱한다.

▸ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 mm 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

▸ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

표 9. 인사이징계수, C_i

기준 허용응력	C_i
E	0.95
F_b, F_t, F_c	0.85
F_v, $F_{c\perp}$	1.00

나) 전단응력 ($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 설계허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

다) 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

$$E' = E \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(5) 안전성 및 사용성 검토

보부재의 구조검토는 대들보와 종보에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.

그림 13. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_3량가

그림 14. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_5량가

가) 원목의 보 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 처짐

보부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 중간에 위치해 있지 않은 경우를 포함한 처짐값을 구할 수 있다.

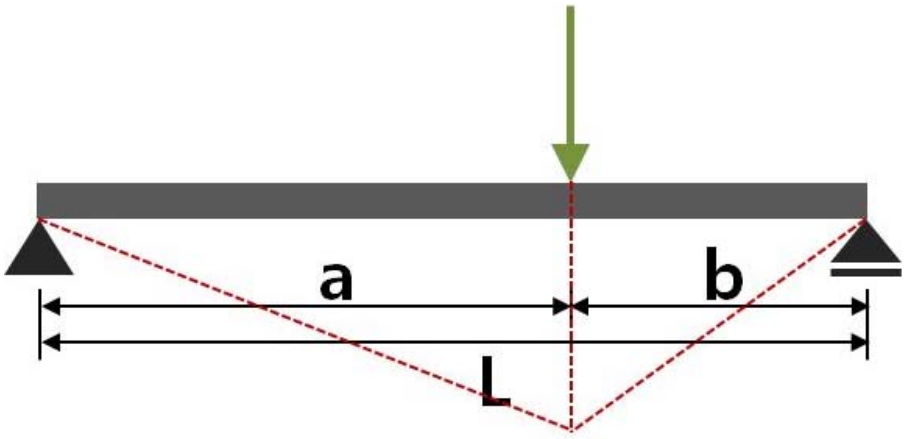


그림 15. 보부재 처짐 다이어그램

실제처짐은 3량가일때 다음과 같은 식으로 처짐을 구할 수 있다.

$x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$ 에서 $\delta_{max} = \frac{Pb(L^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}}{9\sqrt{3}EIL^2}$ 이다.

만약 보의 중심에 집중하중이 작용하면 $\delta = \frac{PL^3}{48EI}$ 식을 이용하여 최대처짐값을 구할 수 있다.

5량가일 때, 2점 집중하중이 작용하기 때문에 각각의 하중에 대한 처짐을 구한 후 더하여 최대가 되는 처짐을 구한다. 이는 각각의 하중이 작용할 때 보의 중심지점의 처짐을 더하면 최대처짐값을 구할 수 있다.

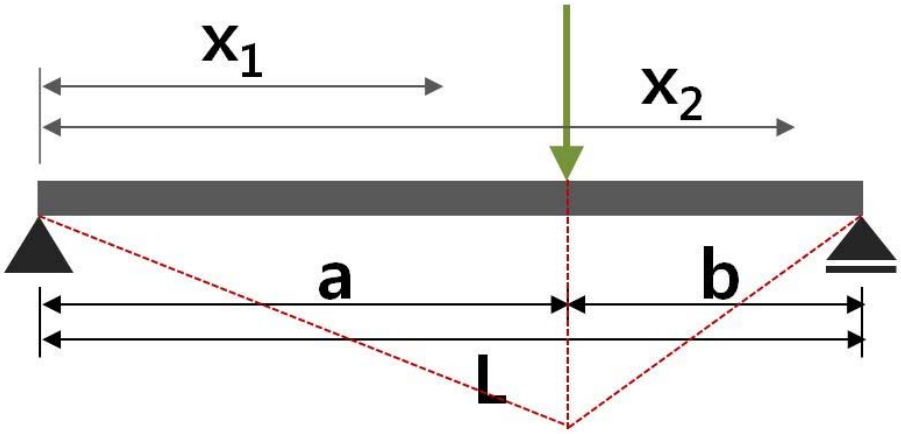


그림 16. 1점하중이 작용하는 보

$$EI\frac{d^2v}{dx^2} = M(x)$$

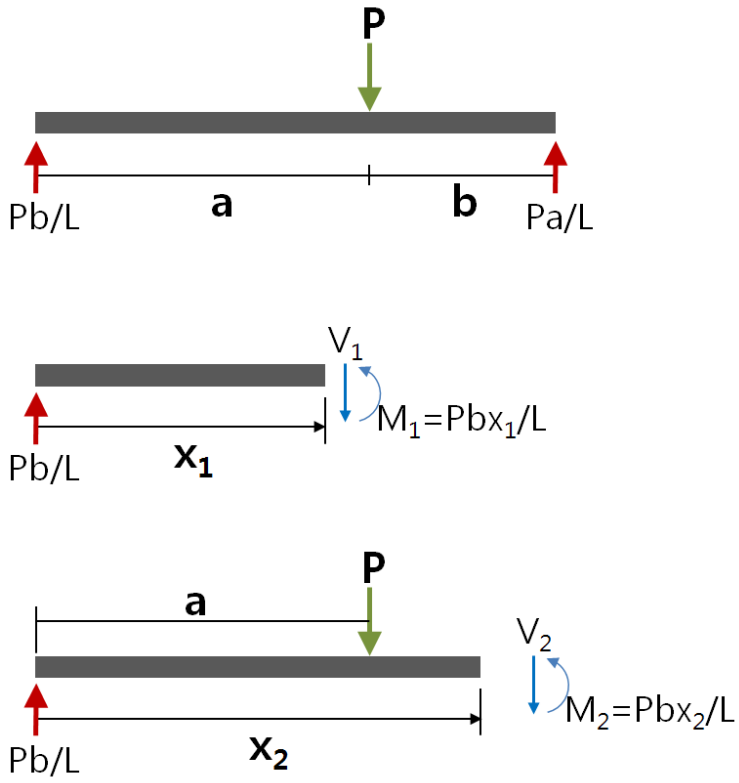


그림 17. 처짐 방정식 계산 다이어그램

$$EI\frac{dv_1}{dx_1} = \frac{Pb}{2L}x_{1+C_1}^2 \qquad (1)$$

$$EIv_1 = \frac{Pb}{6L}x_1^3 + C_1x_1 + C_2 \qquad (2)$$

$$For\, M_2(x_2) = \frac{Pb}{L}x_2 - P(x_2 - a)$$

$$But\, b = L - a,\ Thus:\ M_2(x_2) = Pa(1 - \frac{x_2}{L})$$

$$EI\frac{d^2v_2}{dx_2^2} = Pa(x_2 - \frac{x_2^2}{2L}) + C_3$$

$$EIv_2 = Pa(\frac{x_2^2}{2} - \frac{x_2^3}{6L}) + C_3x_2 + C_4$$

단순보 이므로,

$v_1 = 0\ at\ x_1 = 0$

$\therefore\ C_2 = 0$

$v_2 = 0\ at\ x_2 = L$

$$0 = \frac{PaL^2}{3} + C_3L + C_4 \qquad (5)$$

$$v_1|_{x_1^{ma}} = v_2|_{x_2^{ma}}$$

$$\frac{Pb}{6L}a^3 + C_1 a = Pa(\frac{a^2}{2} - \frac{a^3}{6L}) + C_3 a + C_4 \qquad (6)$$

$$\frac{dv_1}{dx_1}|_{x_1^{ma}} = \frac{dv_2}{dx_2}|_{x_2^{ma}}$$

$$\frac{Pb}{2L}a^2 + C_1 = Pa(a - \frac{a^2}{2L}) + C_3 \qquad (7)$$

식 (5), (6), (7)을 이용하여 계산한다.

$$C_1 = -\frac{Pb}{6L}(L^2 - b^2)\,; \quad C_3 = -\frac{Pa}{6L}(2L^2 + a^2)$$

$$C_4 = \frac{Pa^3}{6}$$

그러므로

$$EIv_1 = \frac{Pb}{6L}x_1^3 - \frac{Pb}{6L}(L^2 - b^2)x_1$$

이므로

$$v_1 = \frac{Pb}{6EIL}(x_1^3 - (L^2 - b^2)x_1)$$ 이다.

그리고

$$EIv_2 = Pa(\frac{x_2^2}{2} - \frac{x_2^3}{6L}) - \frac{Pa}{6L}(2L^2 + a^2)x_2 + \frac{Pa^3}{6}$$

이므로

$$v_2 = \frac{Pa}{6EIL}3x_2^2 L - x_2^3 - (2L^2 + a^2)x_2 + a^2 L$$ 이다.

두 개의 직접하중이 작용할 때 처짐값을 구하고자 하는 위치에 따라 처짐값 방정식이 다르게 적용된다. 즉, 본 연구에서 2점 집중하중일 때 구하고자하는 처짐의 위치 X는 보의 중심(L/2)지점이다.

▸ 구하고자하는 처짐위치 X1가 하중위치보다 앞에 있을 때,
x값은 보의 중심인 L/2지점이다. 이때의 식은 다음과 같다.

$$v_1 = \frac{Pb}{6EIL}(x_1^3 - (L^2 - b^2)x_1)$$

▸ 구하고자하는 처짐위치 X2가 하중위치보다 뒤에 있을 때,
x값은 보의 중심인 L/2지점이다. 이 때의 식은 다음과 같다.

$$v_2 = \frac{Pa}{6EIL}3x_2^2 L - x_2^3 - (2L^2 + a^2)x_2 + a^2 L$$

나) 구조용집성재의 보 설계

■ 휨

구조용집성재 보에 대한 설계허용응력계산은 보안정계수를 적용하여 측방안정성을 고려하는 방법과 부피계수를 적용하여 부피효과를 고려하는 방법의 2가지 중에서 더 작은 값을 적용한다.

- 측방안정성 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_L)$
- 부피효과 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_V)$

■ 전단

원목의 보 설계의 전단과 동일하다.

■ 처짐

원목의 보 설계의 처짐과 동일하다.

1.3도리 부재 구조검토 근거자료

1)개요

도리 부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 E'을 사용하여 계산하며, 보의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

2)도리 부재 구조검토 과정

목재정보선택	원목, 집성재
↓	
가구법선택	3량가, 5량가
↓	
부재정보입력	단면크기 및 길이
↓	
하중조건입력	지붕하중 및 적설하중
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	설계응력산정
↓	
안전성 및 사용성 검토	안전성(휨,전단), 사용성(처짐)검토

그림 18. 도리 부재 구조검토 과정 알고리즘

첫째 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다. 둘째 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 대들보의 경우 3량가는 대들보에 작용하는 하중이 1점하중이지만 5량가는 위의 종보에서 내려오는 하중으로 2점하중이기 때문에 1점하중이 분산되어 작용한다. 셋째 도리 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다. 넷째 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 보에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 도리부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 도리에 분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 도리에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에

차이를 보인다.

표 10. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

지역	지상적설하중(kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

3)구조검토 근거(계산식)

(1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다. 「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

표 11. 침엽수 구조재의 수종 구분

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송, 라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 12. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.4	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.4	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.4	6,000

표 13. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용응력						
	$X-X$축에 대한 휨		$Y-Y$축에 대한 휨		축하중		
	F_{bx-x} 1)	E_{x-x} 2)	F_{by-y} 3)	E_{y-y} 4)	F_t 5)	F_c 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

1) $X-X$ 축에 대한 기준 허용휨응력($X-X$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) $X-X$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) $Y-Y$ 축에 대한 기준 허용휨응력($Y-Y$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) $Y-Y$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

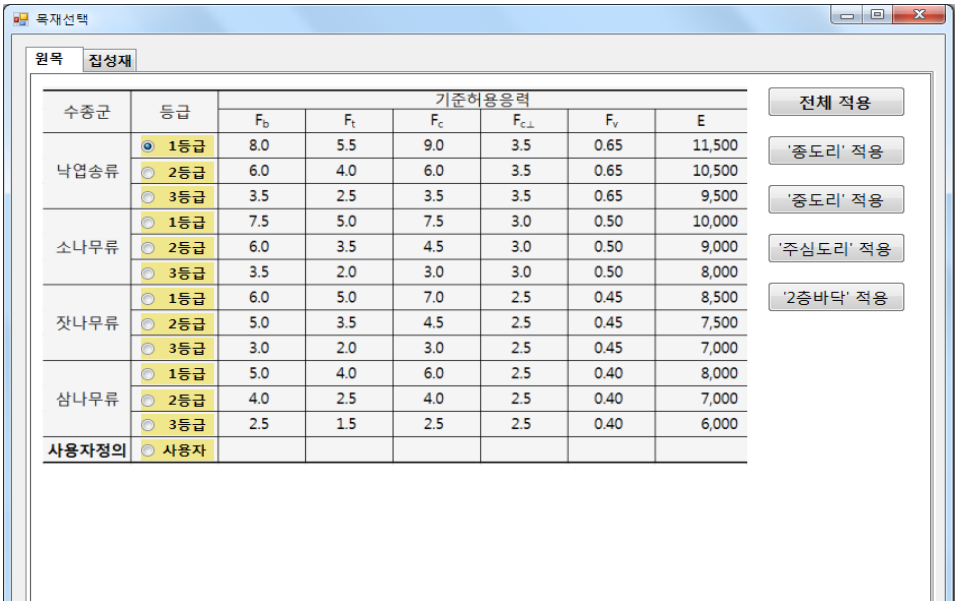
표 14. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

수 종 군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

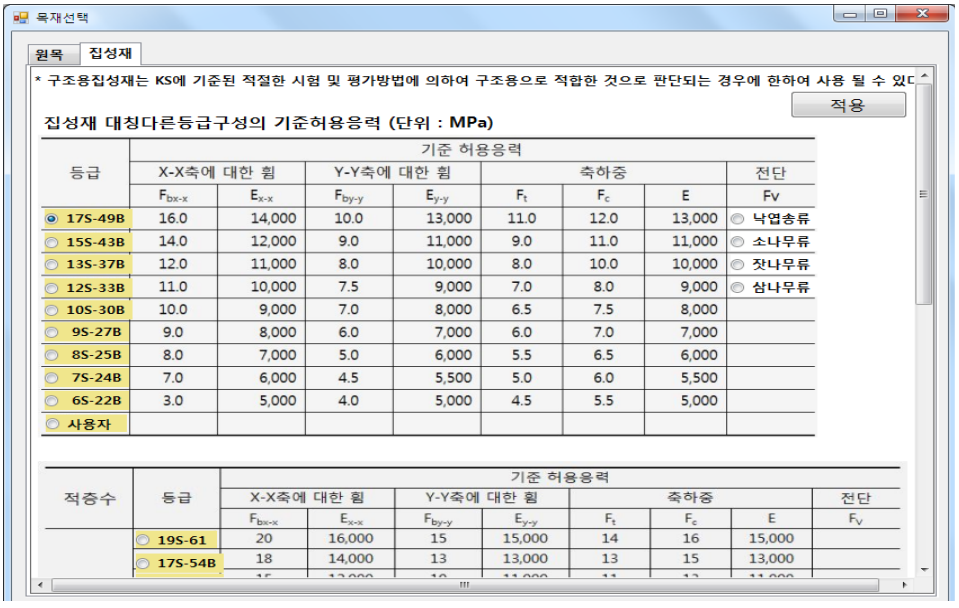
본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급 구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.

아래의 그림 2와 그림 3은 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

그림 19. 개발프로그램_목재정보_원목



등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 F_v
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

그림 20. 개발프로그램_목재정보_집성재

(2) 부재정보

도리의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 종도리, 주심도리, 바닥의 정보입력이 가능하고 5량가에서는 도리에서는 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.

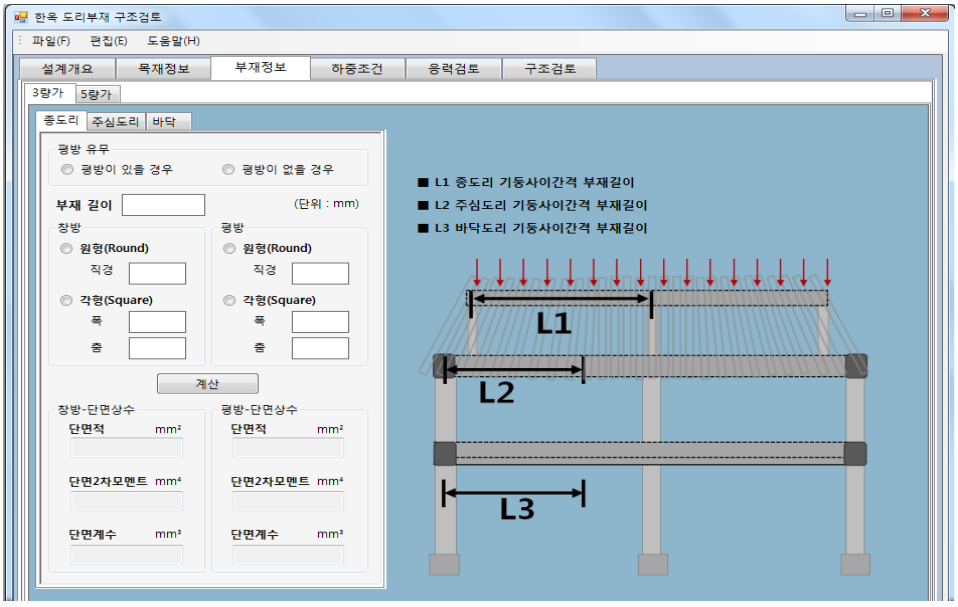


그림 21. 개발프로그램_부재정보

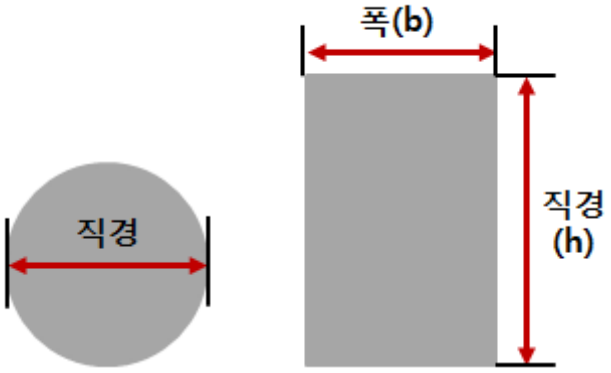


그림 22. 도리 부재 단면형태 및 크기

가) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$

■ 각형 : $b \times h$

나) 단면2차모멘트

■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$ ■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

다) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$ ■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$

(3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 종도리, 주심도리에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

가) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정

그림 23. 개발프로그램_하중조건_3량가

■ 종도리, 주심도리에 작용하는 하중분담면적 (A) = $R \times 2(\frac{L_1}{2} \times \frac{L_2}{2})$

■ 종도리, 주심도리에 작용하는 전체하중 (P) = $R \times 2(\frac{L_1}{2} \times \frac{L_2}{2}) \times (RL + SL)$

L1 : 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이
L2 : 서까래 내민 길이
R : 도리 길이

나) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

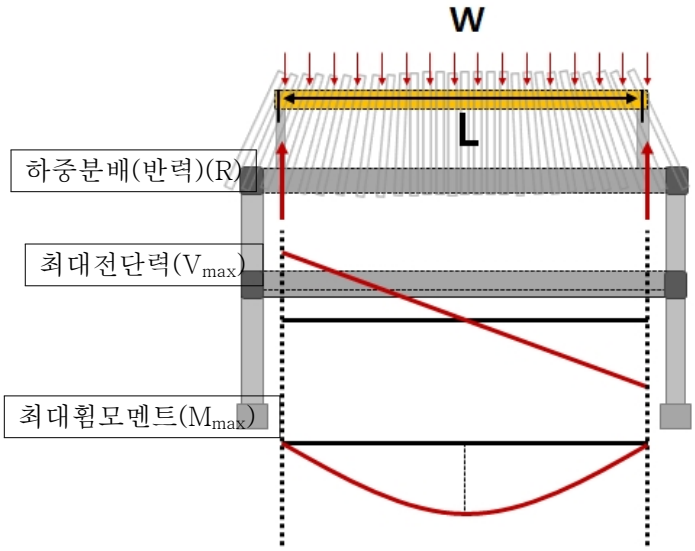


그림 24. 3량가 반력, 최대전단력 및
최대휨모멘트 다이아그램

■ 반력 (R_A) = $\frac{WL}{2}$, 반력 (R_B) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{wl^2}{8}$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = $\mathrm{Max}((R_A \times a), (R_B \times (L-a)))$

다) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정

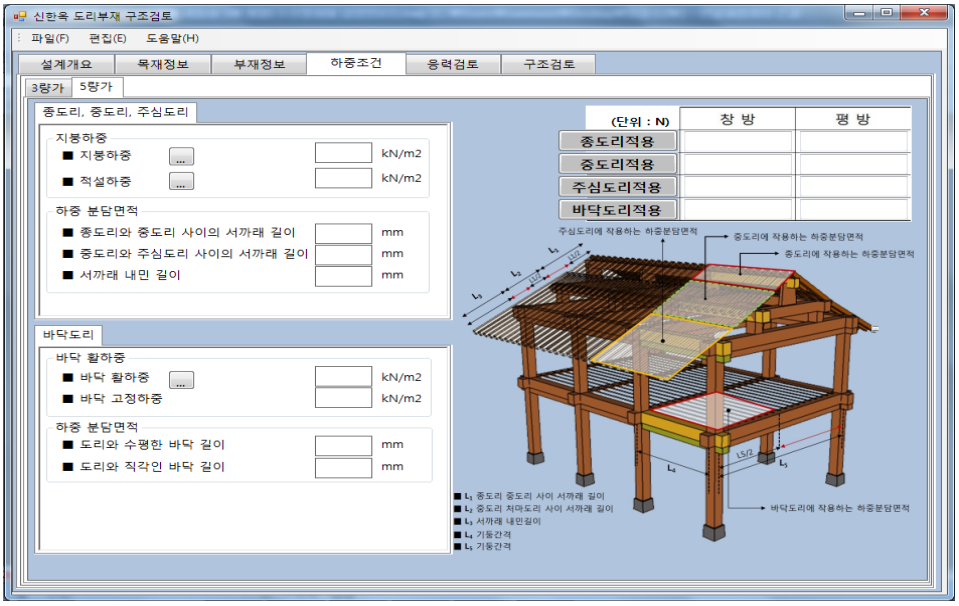


그림 25. 개발프로그램_하중조건_5량가

3량가의 종도리와 주심도리는 등분포하중을 받고 마찬가지로 5량가의 종도리와 주심도리는 등분포하중을 받는다. 5량가의 경우 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥도리에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 종도리에 작용하는 하중분담면적(A) = $R_1 \times L_1$

■ 종도리에 작용하는 전체하중(PA) = $(R_1 \times L_1) \times (RL + SL)$

■ 중도리에 작용하는 하중분담면적(B) = $R_2 \times \frac{L_2}{2}$

■ 중도리에 작용하는 전체하중(PB) = $(R_2 \times \frac{L_2}{2}) \times (RL + SL)$

■ 주심도리에 작용하는 하중분담면적(C) = $R_3 \times \frac{L_3}{2}$

■ 주심도리에 작용하는 전체하중(PC) = $(R_3 \times \frac{L_3}{2}) \times (RL + SL)$

■ 바닥도리에 작용하는 하중분담면적(D) = $L_4 \times \frac{L_5}{2}$

■ 대들보에 작용하는 전체하중(PB) = $(L_4 \times \frac{L_5}{2}) \times (RL + SL)$

L_1 : 종도리와 중도리 사이의 서까래 길이
L_2 : 중도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L_3 : 서까래 내민길이
L_4 : 기둥간격
L_5 : 기둥간격
R_1 : 종도리 길이
R_2 : 중도리 길이
R_3 : 주심도리 길이

라) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

중도리

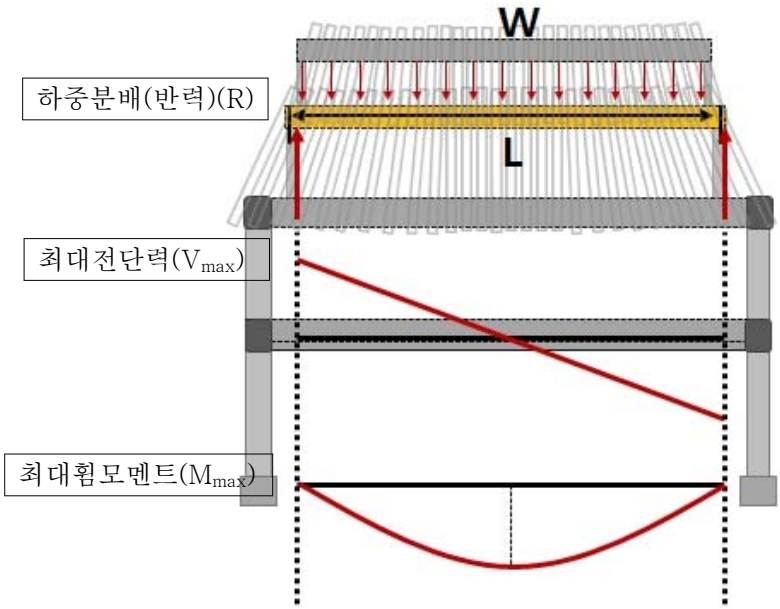


그림 26. 5량가 중도리의 반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 다이어그램

■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $\mathrm{Max}((R_{①} \times a), (R_{②} \times (L-a)))$

주심도리

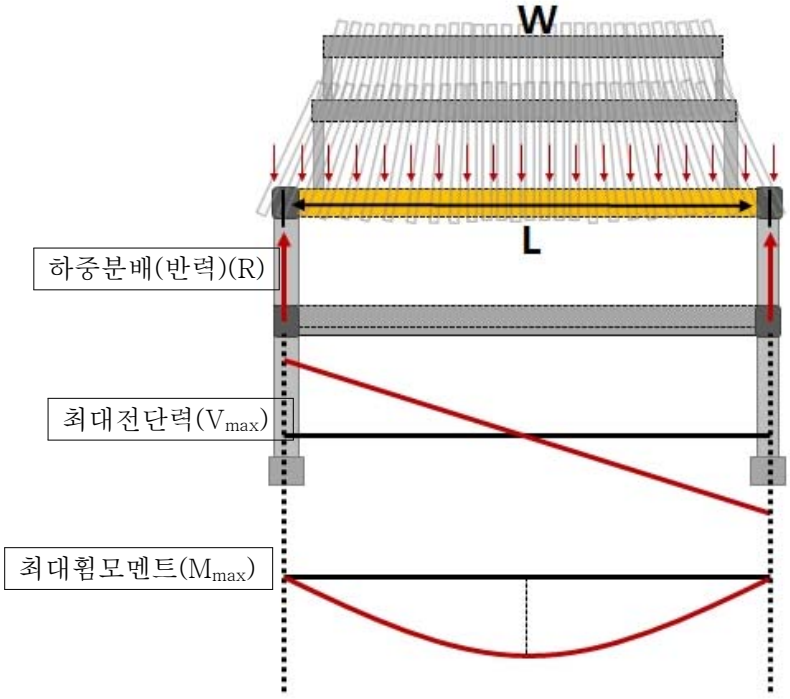


그림 27. 5량가 주심도리의 반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 다이어그램

■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = $\mathrm{Max}((R_{①} \times a), (R_{②} \times (L-a)))$

바닥도리

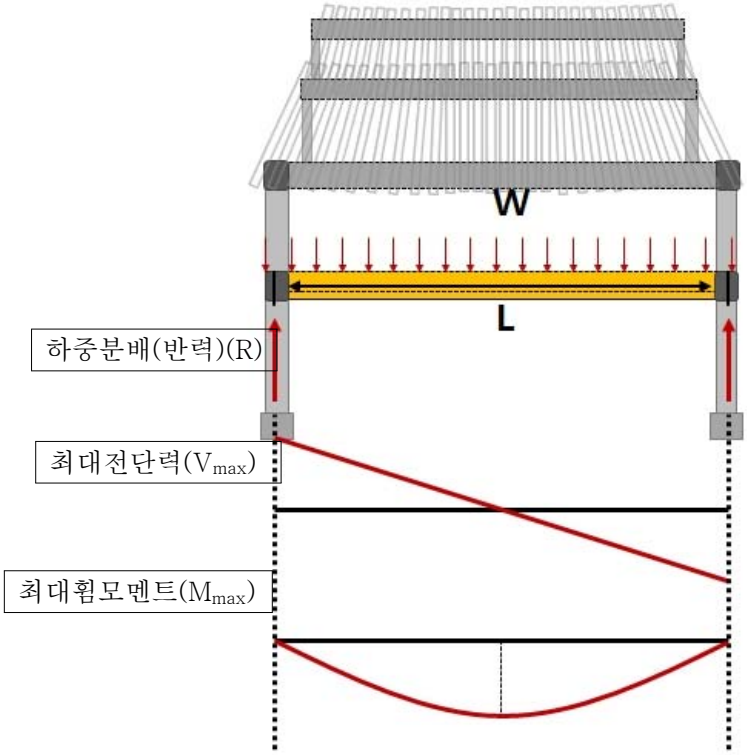


그림 28. 5량가 바닥도리의 반력
최대전단력 및 최대휨모멘트 다이어그램

■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = $\mathrm{Max}((R_{①} \times a), (R_{②} \times (L-a)))$

(4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.

그림 29. 개발프로그램_응력조건_3량가

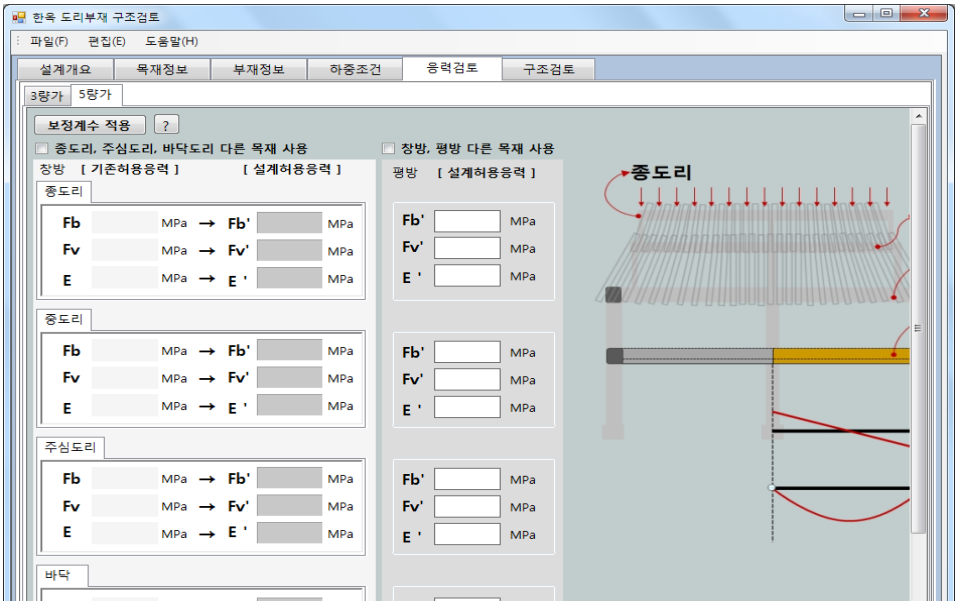


그림 30. 개발프로그램_응력조건_5량가

가) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r \times C_i$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 C_D는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

표 27. 하중계수

설계하중	하중계수, C_D	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수 C_M을 적용하여 보정한다.
본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

표 28. 습윤계수

구 분	두 께	습윤계수					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_y	E
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

- C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준

허용응력에 표 10의 온도계수 C_t를 적용하여 보정한다.

본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

표 29. 온도계수, C_t

기준 허용응력	사용함수율 조건	C_t		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

▸ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L은 부피계수 C_v와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE}/F^*_b}{0.95}}$$

여기서, F_b^*= 기준 허용휨응력에 C_{fu}, C_V, C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{be} = 0.745 − 1.225(COV_E)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

▸ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $(\frac{300}{d})^{\frac{1}{9}}$값을 곱한다.

▸ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 mm 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

▸ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

표 30. 인사이징계수, C_i

기준 허용응력	C_i
E	0.95
F_b, F_t, F_c	0.85
F_v, $F_{c\perp}$	1.00

나) 전단응력 ($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 기준허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

다) 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

$$E' = E \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(5) 안전성 및 사용성 검토

도리 부재의 구조검토는 대들보와 종보에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.

그림 31. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_3량가

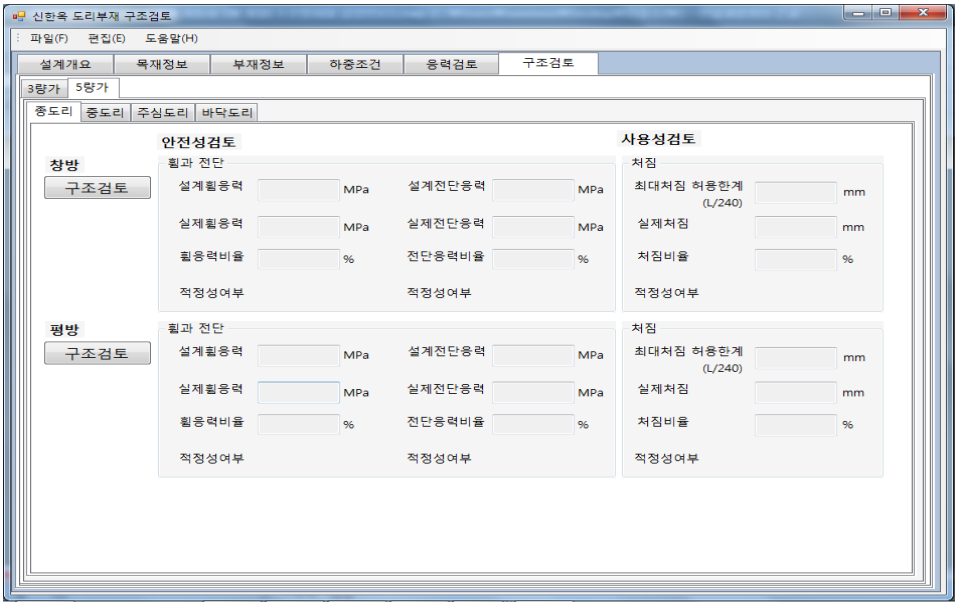


그림 32. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_5량가

가) 원목의 도리 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 처짐

도리 부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 분포하중인 처짐값을 구할 수 있다.

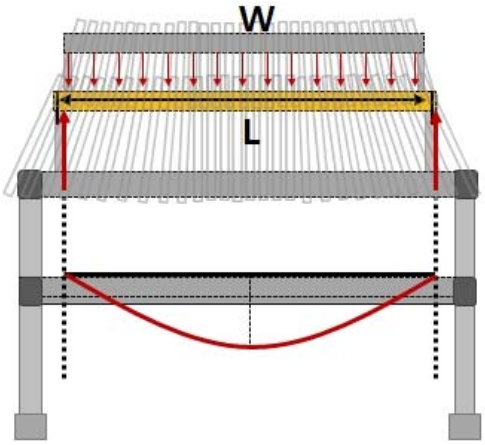


그림 33. 도리 부재 처짐 다이어그램

고려해야할 보정계수에는 보안정계수, 부피계수가 있다.

$\delta = \frac{5WL^4}{384EI}$이다.

나) 구조용집성재의 도리 설계

■ 휨

구조용집성재 도리에 대한 설계허용응력계산은 보안정계수를 적용하여 측방안정성을 고려하는 방법과 부피계수를 적용하여 부피효과를 고려하는 방법의 2가지 중에서 더 작은 값을 적용한다.

- 측방안정성 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_L)$
- 부피효과 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_V)$

■ 전단

원목의 도리 설계의 전단과 동일하다.

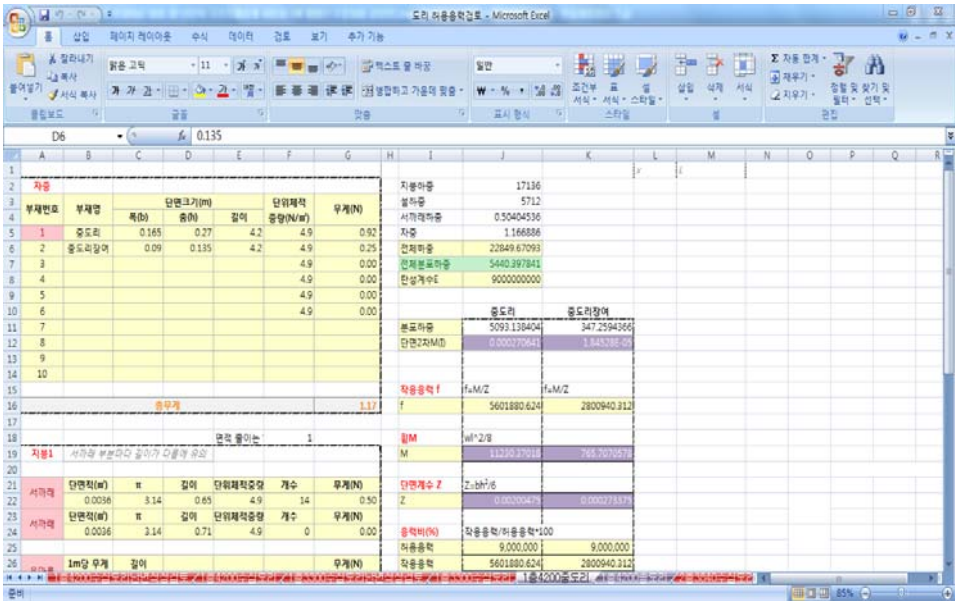
■ 처짐

원목의 도리 설계의 처짐과 동일하다.

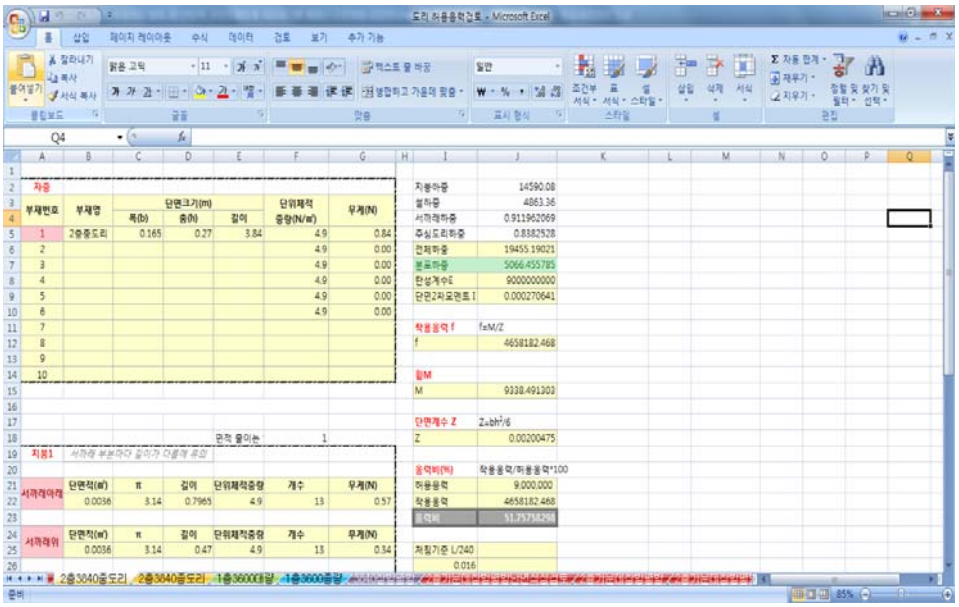
4)Microsoft Excel을 통한 도리 프로그램 검토

개발한 프로그램 검토의 적정성을 확인하기 위해 개발된 프로그램과 동일한 알고리즘을 적용하여 Excel을 이용하여 검토하였다. 도리는 종도리와 중도리, 주심도리로 나누었다.

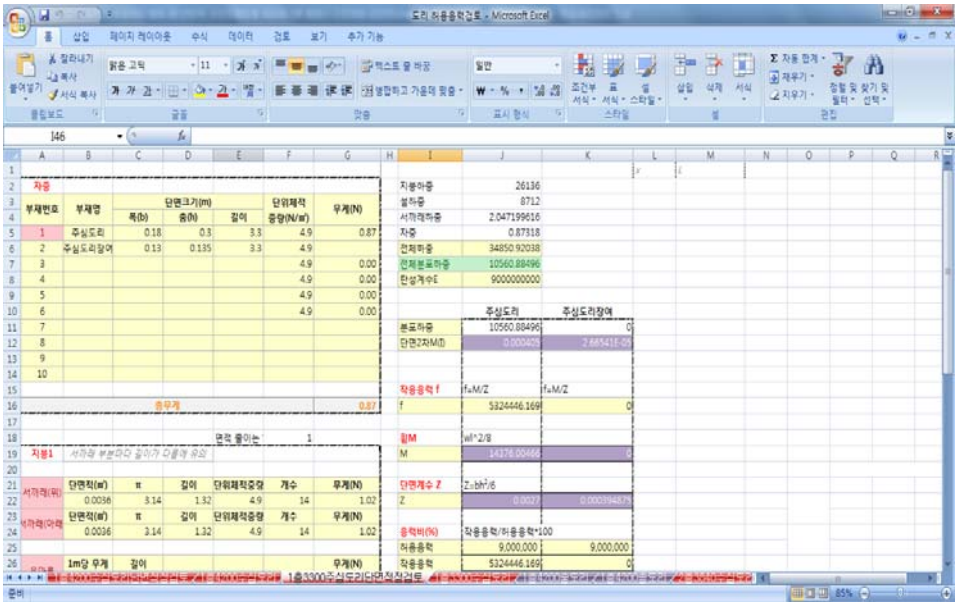
(1) 종도리



(2) 중도리



(3) 주심도리


도리 처음응력검토 - Microsoft Excel
홈
삽입
페이지 레이아웃
수식
데이터
검토
보기
추가 기능
J46
자중
부재번호
부재명
단면크기(m)
폭(b)
춤(h)
길이
단위체적 중량(N/m³)
무게(N)
1
주심도리
0.18
0.3
3.3
4.9
0.87
2
주심도리장여
0.13
0.135
3.3
4.9
3
4
5
6
7
8
9
10
총무게
0.87
면적 줄이는
1
지붕1
서까래 부분마다 길이가 다를수 있음
서까래(위)
단면적(m²)
π
길이
단위체적중량
개수
무게(N)
0.0036
3.14
1.32
4.9
14
1.02
서까래(아래)
0.0036
3.14
1.32
4.9
14
1.02
1m당 무게
길이
무게(N)
지붕하중
26136
설하중
8712
서까래하중
2.047199616
자중
0.87318
전체하중
34850.92038
전체분포하중
10560.88496
탄성계수E
9000000000
주심도리
주심도리장여
분포하중
10560.88496
0
단면2차M(I)
0.000405
2.66541E-05
작용응력 f
f=M/Z
f=M/Z
f
5324446.169
0
휨M
wl^2/8
M
14378.00466
0
단면계수 Z
Z=bh²/6
Z
0.0027
0.000394875
응력비(%)
작용응력/허용응력*100
허용응력
9,000,000
9,000,000
작용응력
5324446.169
0
1층3000주심도리단면적절검토
85%

1.4서까래부재 구조검토 근거자료

1)개요

서까래부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 E'을 사용하여 계산하며, 서까래의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

2)서까래 부재 구조검토 과정

목재정보선택	원목, 집성재
↓	
가구법선택	3량가, 5량가
↓	
부재정보입력	단면크기 및 길이
↓	
하중조건입력	지붕하중 및 적설하중
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	설계응력산정
↓	
안전성 및 사용성 검토	안전성(휨,전단), 사용성(처짐)검토

그림 34. 서까래 부재 구조검토 과정 알고리즘

첫째 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다. 둘째 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 3량가일 경우에는 단순보에 등분포 하중인데, 5량가일때 단연일때는 단순보에 등분포하중이지만, 장연일 경우 내민보에 등분포하중이 작용한다. 셋째 서까래 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다. 넷째 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 서까래 개수에 따라 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 서까래에 등분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 서까래에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중

값에 차이를 보인다.

표 31. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

지역	지상적설하중(kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

3)구조검토 근거(계산식)

(1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다. 「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

표 32. 침엽수 구조재의 수종 구분

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송, 라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 33. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.4	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.4	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.4	6,000

표 34. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용응력						
	$X-X$축에 대한 휨		$Y-Y$축에 대한 휨		축하중		
	F_{bx-x} 1)	E_{x-x} 2)	F_{by-y} 3)	E_{y-y} 4)	F_t 5)	F_c 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

1) $X-X$ 축에 대한 기준 허용휨응력($X-X$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) $X-X$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) $Y-Y$ 축에 대한 기준 허용휨응력($Y-Y$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) $Y-Y$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

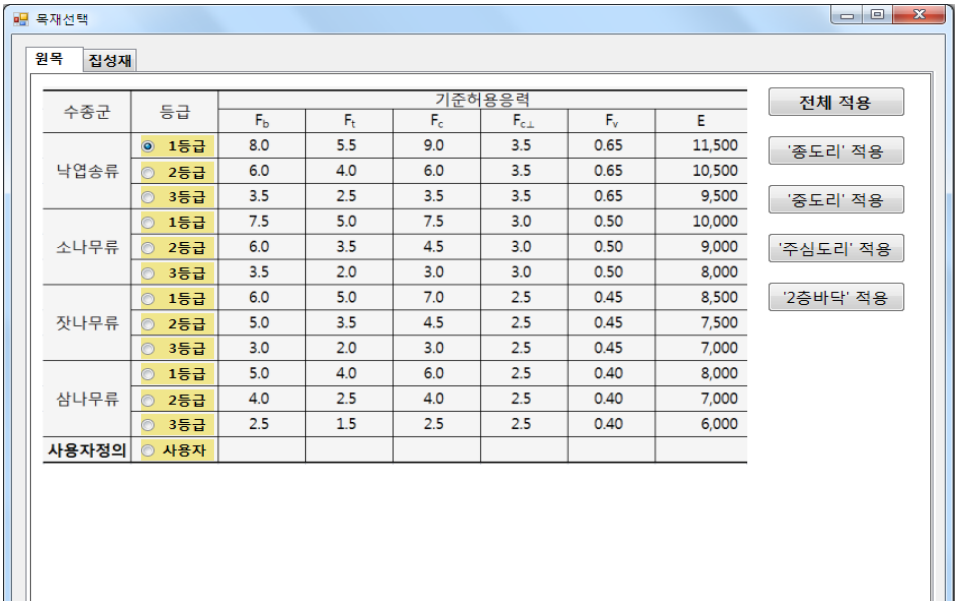
표 35. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

수 종 군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급 구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.

아래의 그림 18과 그림 19는 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

그림 35. 개발프로그램_목재정보_원목

등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

그림 36. 개발프로그램_목재정보_집성재

(2) 부재정보

서까래의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 대들보만 정보입력이 가능하고 5량가에서는 대들보와 종보의 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.

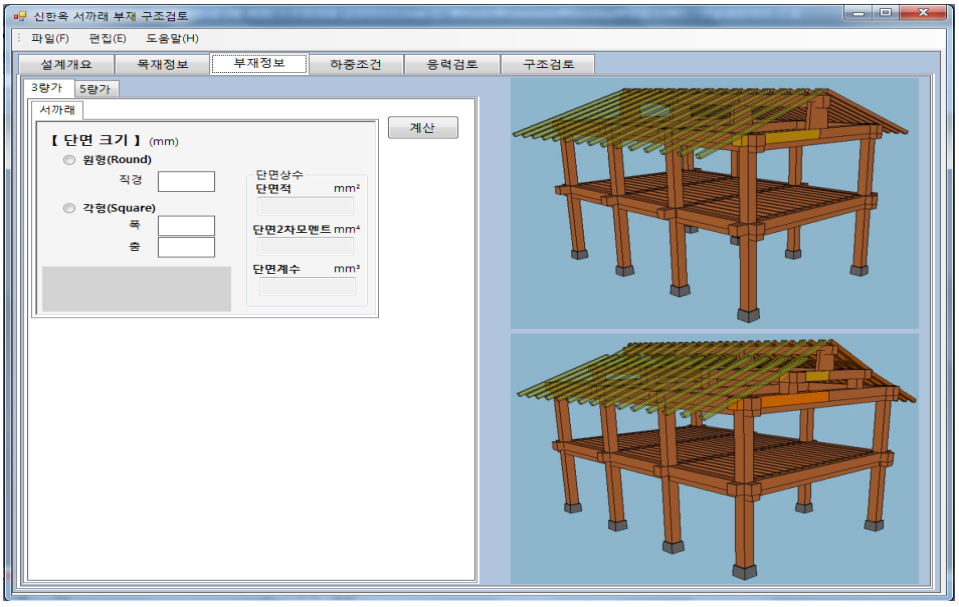
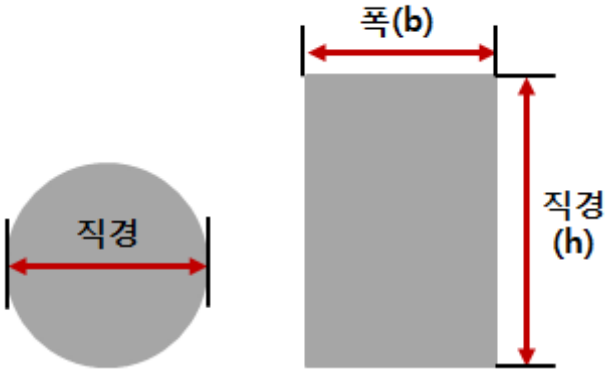


그림 37. 개발프로그램_부재정보



(a) 원형단면 (b) 각형단면

그림 22. 도리 부재 단면형태 및 크기

가) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$

■ 각형 : $b \times h$

나) 단면2차모멘트

■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

다) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$

(3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

가) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정

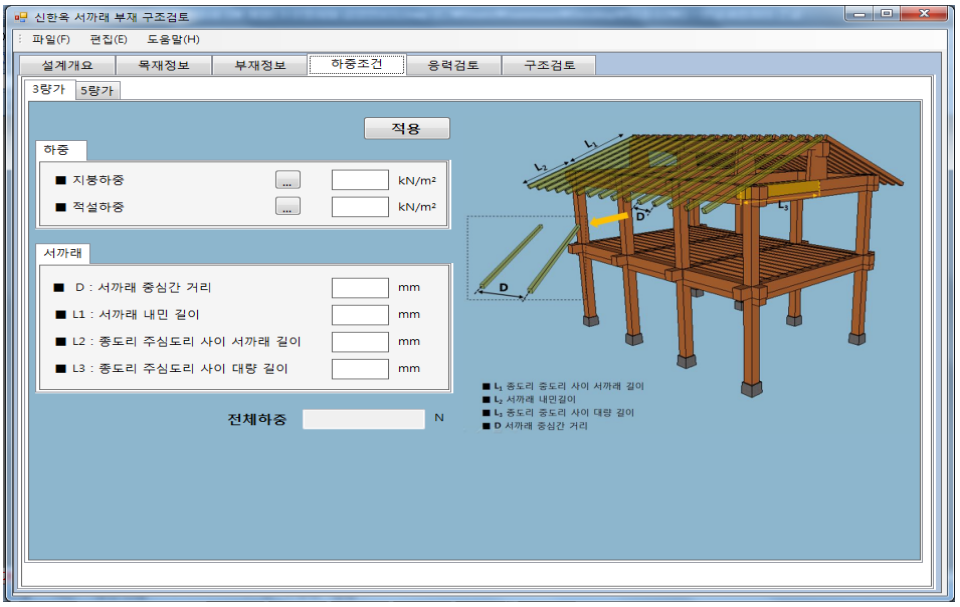


그림 39. 개발프로그램_하중조건_3량가

■ 서까래에 작용하는 하중분담면적 (A) = $R\times(L_1+L_2)$

■ 서까래에 작용하는 전체하중 (P) = $\frac{R\times(L_1+L_2)}{N}\times(RL+SL)$

L_1 : 서까래 내민 길이

L_2 : 종도리 주심도리 사이 서까래 길이

N : 도리길이방향 1m 내의 서까래 개수
R : 도리 길이

나) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

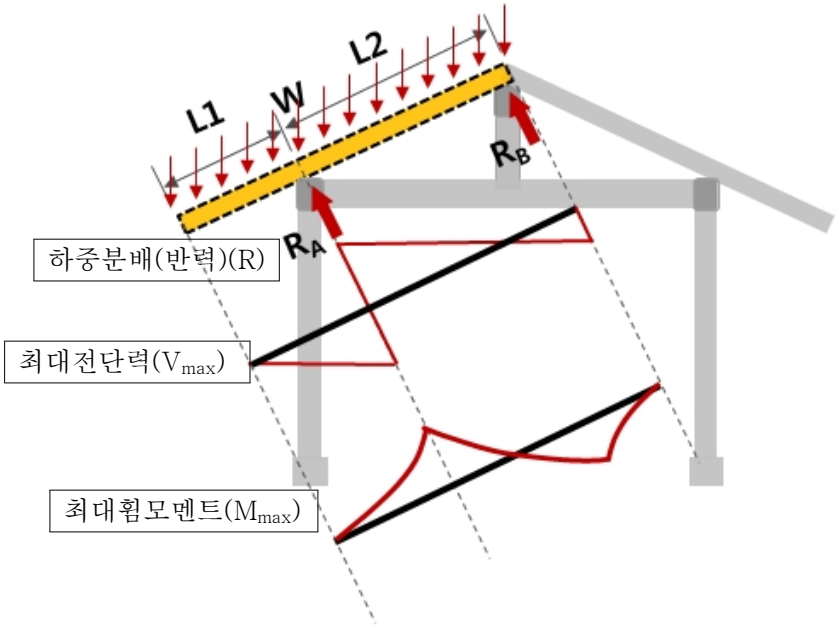


그림 40. 3량가 반력, 최대전단력 및
최대휨모멘트 다이어그램

M_B = 0에서

$$-WL_1 \times (\frac{L_1}{2} + L_2)$$
$$+R_A \times L_2$$
$$-WL_2 \times (\frac{L_2}{2}) = 0$$

다) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정

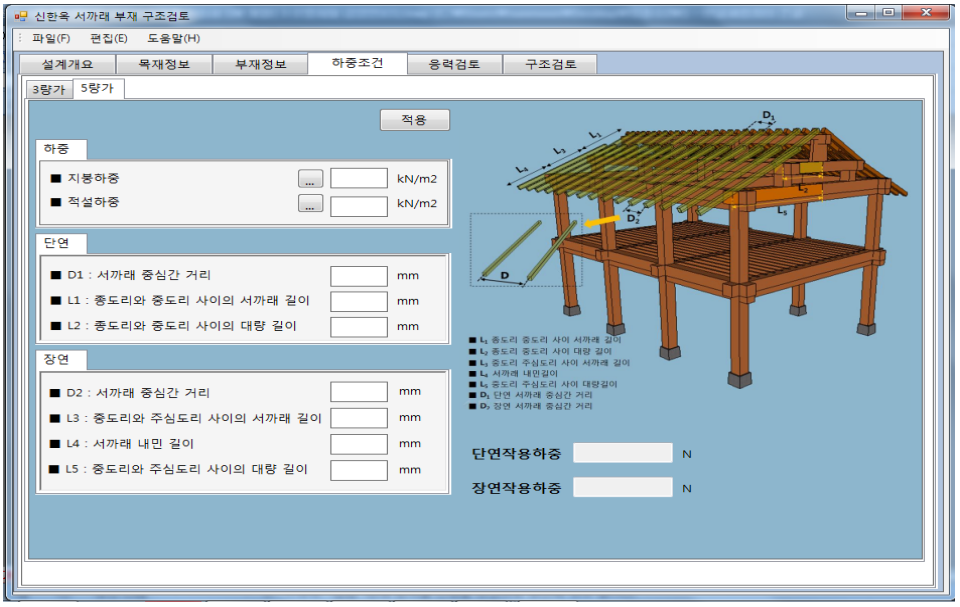


그림 41. 개발프로그램_하중조건_5량가

5량가의 서까래는 단연과 장연으로 나누어져 있으며, 단연과 장연 모두 등분포 하중을 받는다. 5량가의 경우 단연 및 장연에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 단연에 작용하는 하중분담면적 (A) = $R\times(\frac{L_1}{2}+\frac{L_2}{2})$

■ 단연에 작용하는 전체하중 (P_1) = $\frac{R\times(\frac{L_1}{2}+\frac{L_2}{2})}{N}\times(RL+SL)$

■ 장연에 작용하는 하중분담면적 (B) = $R\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2})$

■ 장연에 작용하는 하중분담면적 (P_2) = $\frac{R\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2})}{N}\times(RL+SL)$

L_1 : 종도리 중도리 사이 서까래 길이
L_2 : 중도리 처마도리 사이 서까래 길이
L_3 : 서까래 내민길이
N : 도리길이방향 1m 내의 서까래 개수
R : 도리 길이

라) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

단연

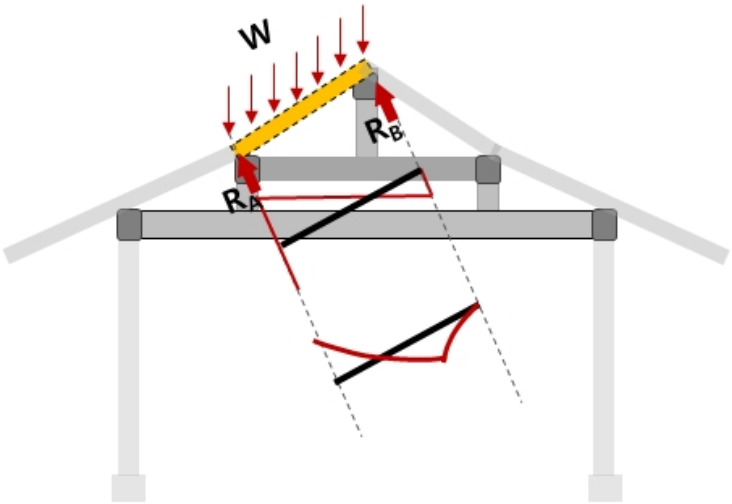


그림 42. 5량가 단연의 반력, 최대전단력 및
최대휨모멘트 다이어그램

M_B = 0에서

$$-WL_1 \times L_1$$
$$+R_A \times L_1$$
$$-R_B \times L_1 = 0$$

장연

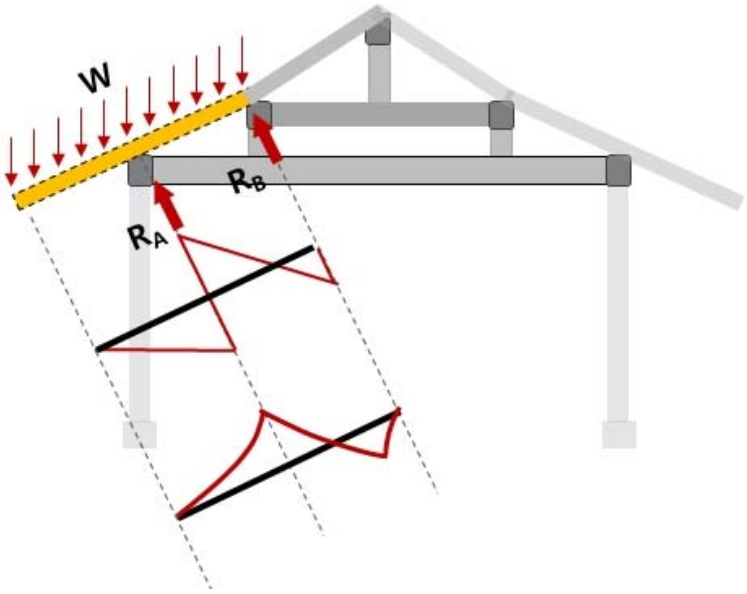


그림 43. 5량가 장연의 반력, 최대전단력 및
최대휨모멘트 다이어그램

M_B = 0에서

$$-WL_1 \times (\frac{L_1}{2} + L_2)$$
$$+R_A \times L_2$$
$$-WL_2 \times (\frac{L_2}{2}) = 0$$

(4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.

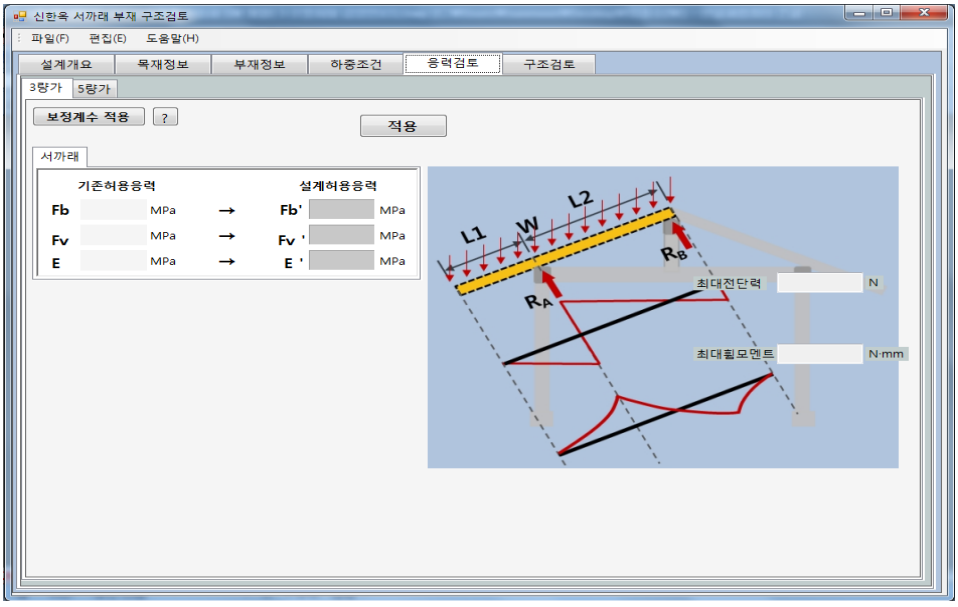


그림 44. 개발프로그램_설계허용응력 산정 및 부재력 계산_3량가

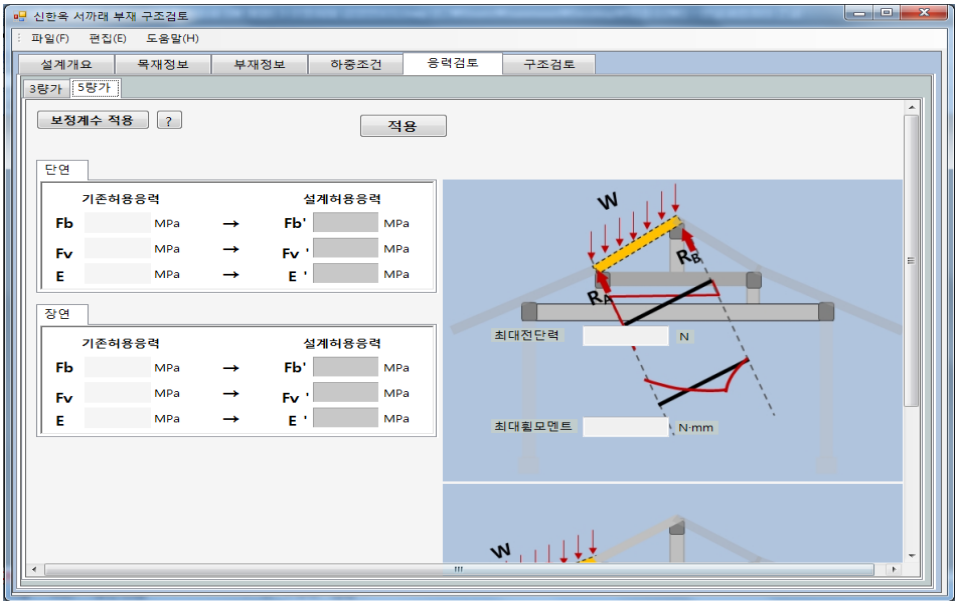


그림 45. 개발프로그램_설계허용응력 산정 및 부재력 계산_3량가

가) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r \times C_i$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 C_D는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

표 39. 하중계수

설계하중	하중계수, C_D	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율

이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수 C_M을 적용하여 보정한다.

본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

표 40. 습윤계수

구 분	두 께	습윤계수					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_y	E
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

▸ C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준 허용응력에 표 10의 온도계수 C_t를 적용하여 보정한다.

본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

표 41. 온도계수, C_t

기준 허용응력	사용함수율 조건	C_t		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

▸ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L은 부피계수 C_v와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE}/F^*_b}{0.95}}$$

여기서, F_b^*= 기준 허용휨응력에 C_{fu}, C_V, C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{be} = 0.745 − 1.225(COV$_E$)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

▸ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $(\frac{300}{d})^{\frac{1}{9}}$ 값을 곱한다.

▸ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 mm 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

▸ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

표 42. 인사이징계수, C_i

기준 허용응력	C_i
E	0.95
F_b, F_t, F_c	0.85
F_v, $F_{c\perp}$	1.00

나) 전단응력 ($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

▸ F'_v : 설계허용전단응력
▸ F_v : 설계허용전단응력
▸ C_D : 하중기간계수
▸ C_M : 습윤계수
▸ C_t : 온도계수
▸ C_i : 인사이징계수

다) 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

$$E' = E \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(5) 안전성 및 사용성 검토

서까래 부재의 구조검토는 단연과 장연에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 서까래부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.

그림 46. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_3량가

그림 47. 개발프로그램_안전성 및 사용성 검토_5량가

가) 원목의 서까래 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5\,V}{A} < F_v^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 처짐

서까래부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 중간에 위치해 있지 않은 경우를 포함한 처짐값을 구할 수 있다.

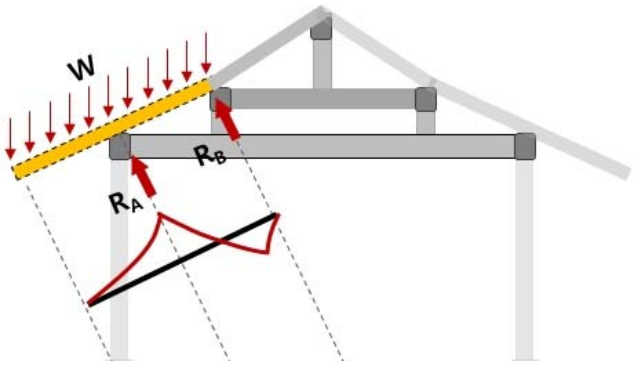
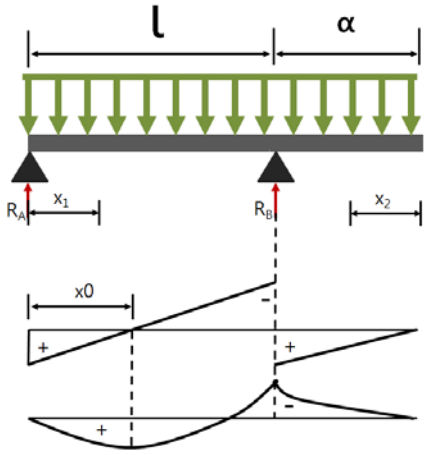


그림 48. 서까래 부재 처짐 다이어그램

실제처짐은 다음과 같은 식으로 처짐을 구할 수 있다.



$$R_A = \frac{w(l^2 - a^2)}{2l},\ R_B = \frac{w(l+a)^2}{2l}$$

$$Q_{x1} = R_A - wx_1,\ Q_{x2} = wx_2$$

$$M_B = -\frac{wa^2}{2}$$

$$M_{\max} = R_A \cdot x_0 - \frac{wx_0^2}{2}\ \left(x_0 = \frac{l^2 - a^2}{2l}\text{의 경우}\right)$$

$$\theta_C = \frac{wa^3}{3EI} + \frac{wl}{24EI}(l^2 - 4a^2)$$

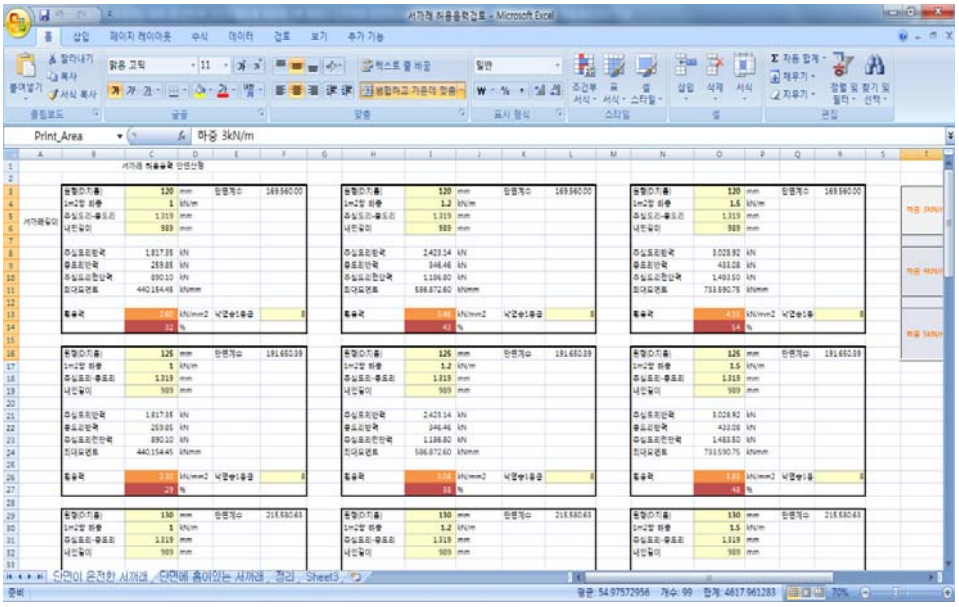
$$\delta_C = \frac{wa^4}{8EI} + \frac{wla}{24EI}(4a^2 - l^2)$$

$$\delta_O = \frac{5wl^4}{384EI} - \frac{M_B l^2}{16EI}$$

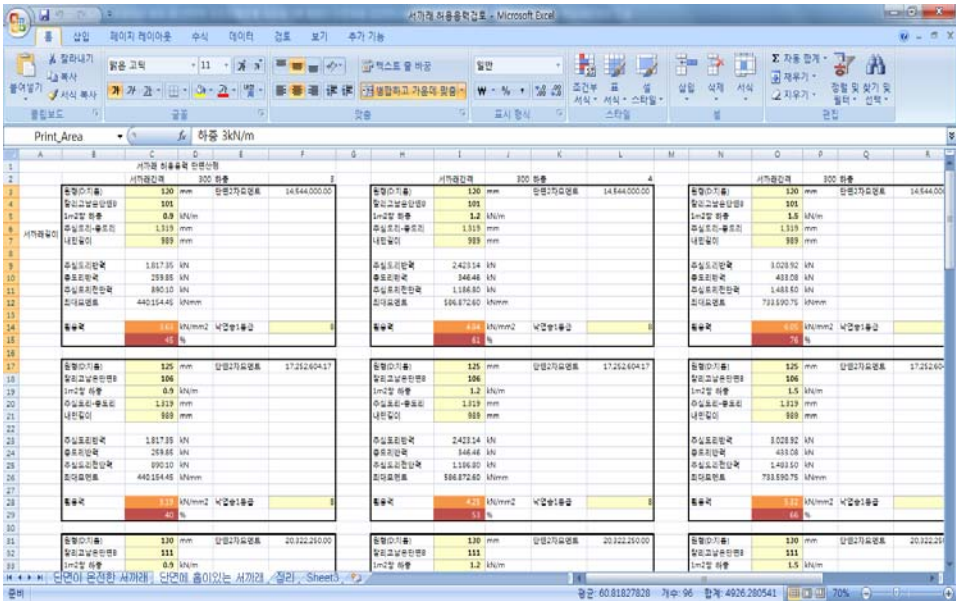
4)Microsoft Excel을 통한 서까래 프로그램 검토

개발한 프로그램 검토의 적정성을 확인하기 위해 개발된 프로그램과 동일한 알고리즘을 적용하여 Excel을 이용하여 검토하였다. 서까래는 단면이 온전한 서까래와 단면에 홈이 있는 서까래로 나누었다.

(1) 단면이 온전한 서까래



(2) 단면에 홈이 있는 서까래



1.5기둥부재 구조검토 근거자료

1)개요

기둥부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 E'을 사용하여 계산하며, 보의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

2)기둥부재 구조검토 과정

목재정보선택	원목, 집성재
↓	
층수선택	단층, 복층
↓	
부재정보입력	단면크기 및 길이
↓	
하중조건입력	지붕하중 및 적설하중
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	설계응력산정
↓	
안전성 및 사용성 검토	안전성(휨,전단), 사용성(처짐)검토

그림 52. 기둥부재 구조검토 과정 알고리즘

첫째 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다. 둘째 건물의 층수를 선택한다. 단층과 복층은 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 단층의 경우 기둥에 작용하는 하중이 지붕하중뿐이지만 복층은 바닥하중과 지붕하중이 작용한다. 셋째 기둥부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다. 넷째 하중조건에서도 단층과 복층 구분이 필요하다. 이는 기둥에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 보에 집중하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 보에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보인다.

표 43. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

지역	지상적설하중(kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

3)구조검토 근거(계산식)

(1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다. 「목조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

표 44. 침엽수 구조재의 수종 구분

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송, 라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 45. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.4	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.4	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.4	6,000

표 46. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용응력						
	$X-X$축에 대한 휨		$Y-Y$축에 대한 휨		축하중		
	F_{bx-x} 1)	E_{x-x} 2)	F_{by-y} 3)	E_{y-y} 4)	F_t 5)	F_c 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

1) $X-X$ 축에 대한 기준 허용휨응력($X-X$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) $X-X$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) $Y-Y$ 축에 대한 기준 허용휨응력($Y-Y$ 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) $Y-Y$ 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

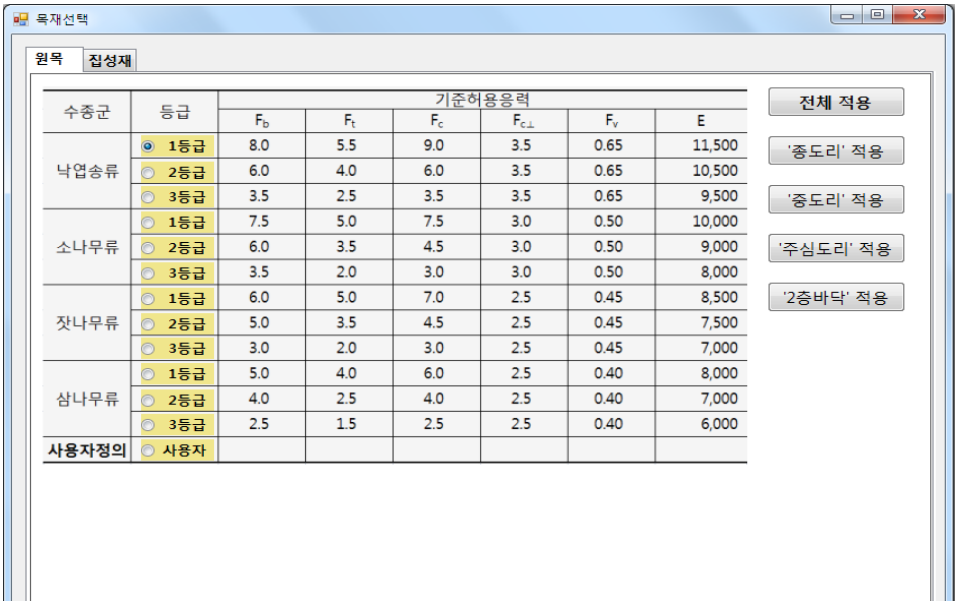
표 47. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

수 종 군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

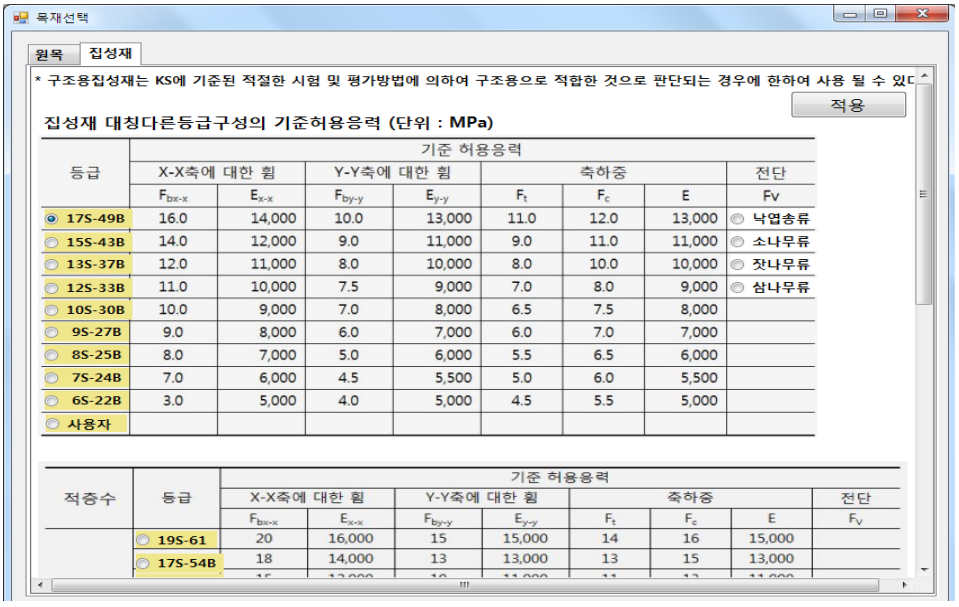
본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급 구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.

아래의 그림 35과 그림 37은 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

그림 53. 개발프로그램_목재정보_원목



등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 F_v
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

그림 54. 개발프로그램_목재정보_집성재

(2) 부재정보

기둥의 부재정보는 층수를 선택하는 것에서부터 시작된다. 층수는 단층과 복층으로 나누어져 있으며 단층에는 부재길이 정보입력이 가능하고 복층에서는 부재길이와 바닥 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.

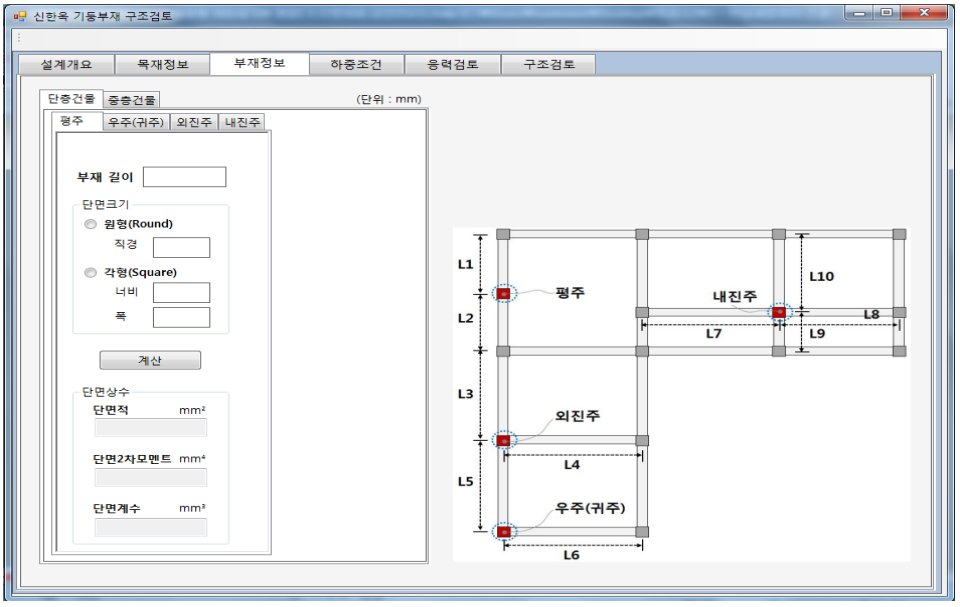
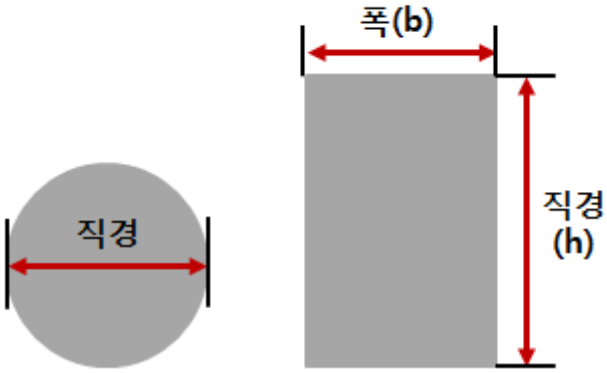


그림 55. 개발프로그램_부재정보



(a) 원형단면 (b) 각형단면

그림 39.. 도리 부재 단면형태 및 크기

가) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$

■ 각형 : $b \times h$

나) 단면2차모멘트

■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

다) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$

(3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 단층의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

가) 단층_하중분담면적 및 하중 산정

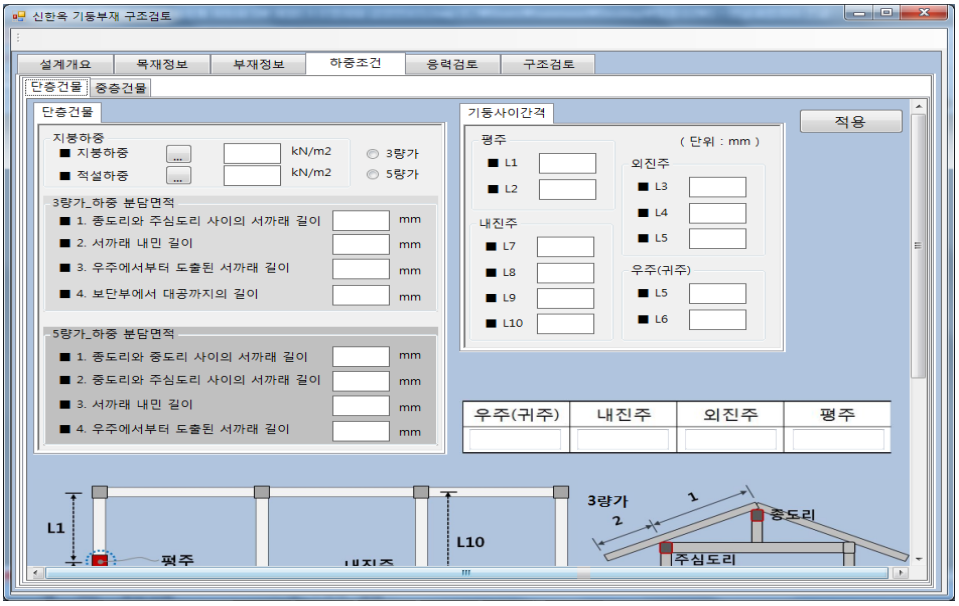


그림 57. 개발프로그램_하중조건_단층

■ 대들보에 작용하는 하중분담면적 (A) = $\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2})$

■ 대들보에 작용하는 전체하중 (P) = $(\frac{L_1}{2}\times(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}))\times(RL+SL)$

L1 : 종도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L2 : 대들보의 수직방향 기둥간격
L3 : 대들보의 수직방향 기둥간격

나) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r \times C_i$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 C_D는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

표 48. 하중계수

설계하중	하중계수, C_D	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수 C_M을 적용하여 보정한다.
본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

표 49. 습윤계수

구 분	두 께	습윤계수					
		F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_y	E
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

- C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준

허용응력에 표 10의 온도계수 C_t를 적용하여 보정한다.

본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

표 50. 온도계수, C_t

기준 허용응력	사용함수율 조건	C_t		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

▸ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L은 부피계수 C_v와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE}/F^*_b)}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE}/F^*_b}{0.95}}$$

여기서, F_b^*= 기준 허용휨응력에 C_{fu}, C_V, C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{be} = 0.745 − 1.225(COV$_E$)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

▸ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $(\frac{300}{d})^{\frac{1}{9}}$값을 곱한다.

▸ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 mm 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

▸ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

표 51. 인사이징계수, C_i

기준 허용응력	C_i
E	0.95
F_b, F_t, F_c	0.85
F_v, $F_{c\perp}$	1.00

다) 전단응력 (F_v → F'_v)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 설계허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

라) 탄성응력 (E → E')

$$E' = E \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

마) 원목의 기둥 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v^{'}$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 처짐

기둥부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 중간에 위치해 있지 않은 경우를 포함한 처짐값을 구할 수 있다.

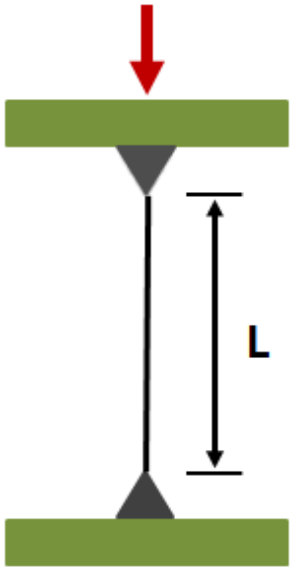


그림 58. 압축하중을 받는 기둥

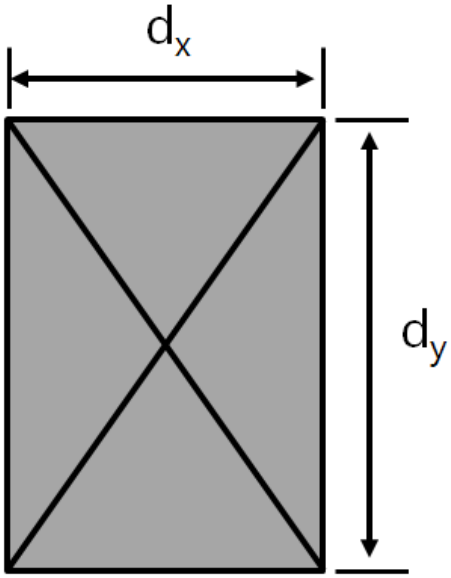


그림 59. 기둥의 단면

$$(\frac{l_e}{d})_{\max} = (\frac{k_e l}{d})_y = \frac{1.0 \times L}{d_y}$$

$$4)\, E' = E(C_M)(C_t)(C_T)(C_i)$$

$$F_{cE} = \frac{K_{cE}E'}{(l_e/d)^2}$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_t)(C_F)(C_i)$$

$$C_P = \frac{1+(F_{cE}/F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1+(F_{cE}/F_c^*)}{2c}\right)^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}}$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_t)(C_F)(C_P)(C_i)$$

$$P = F_c^* A$$

1.6예제

1)보(대량)

Step1 대들보

1. 건물의 개요를 입력하기

명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

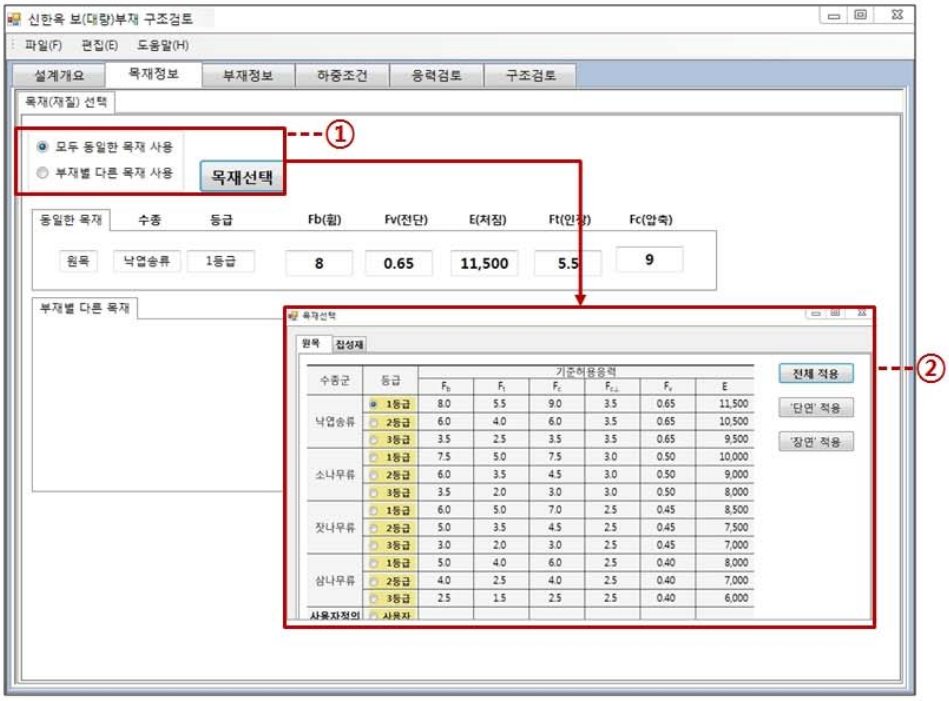
① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

28

2. 목재정보 입력하기

명지대학교 실험한옥에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.



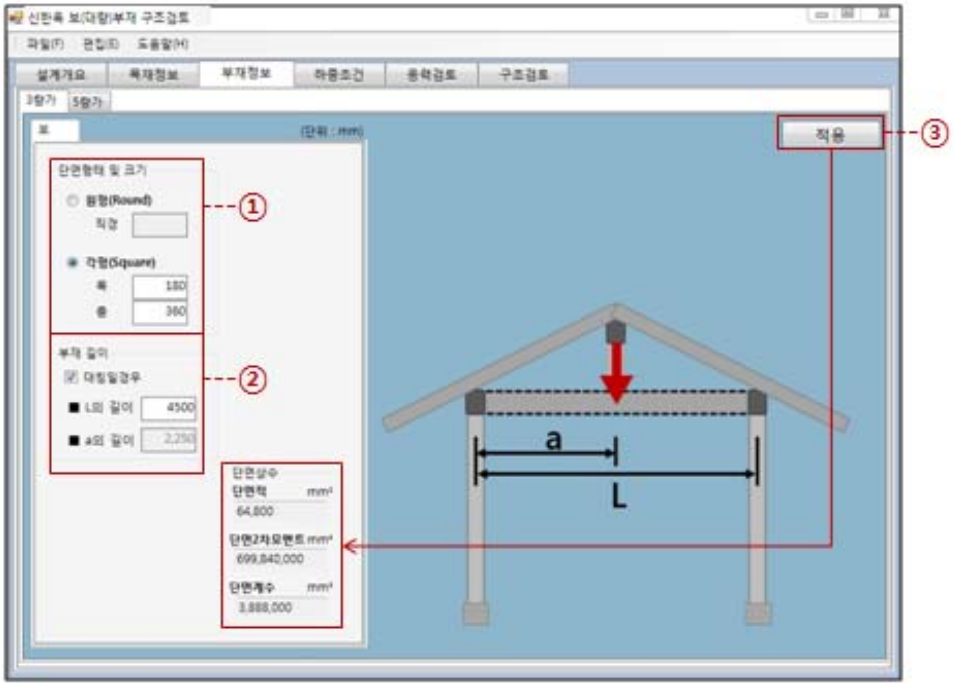
① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 동일하므로 모두 동일에 체크를 한 후 목재 선택버튼을 클릭하자.
② 낙엽송류-1등급에 체크를 하고 우측에 전체적용 버튼을 클릭하고 창을 닫자. 그러면 나무 재질의 정보가 입력이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.

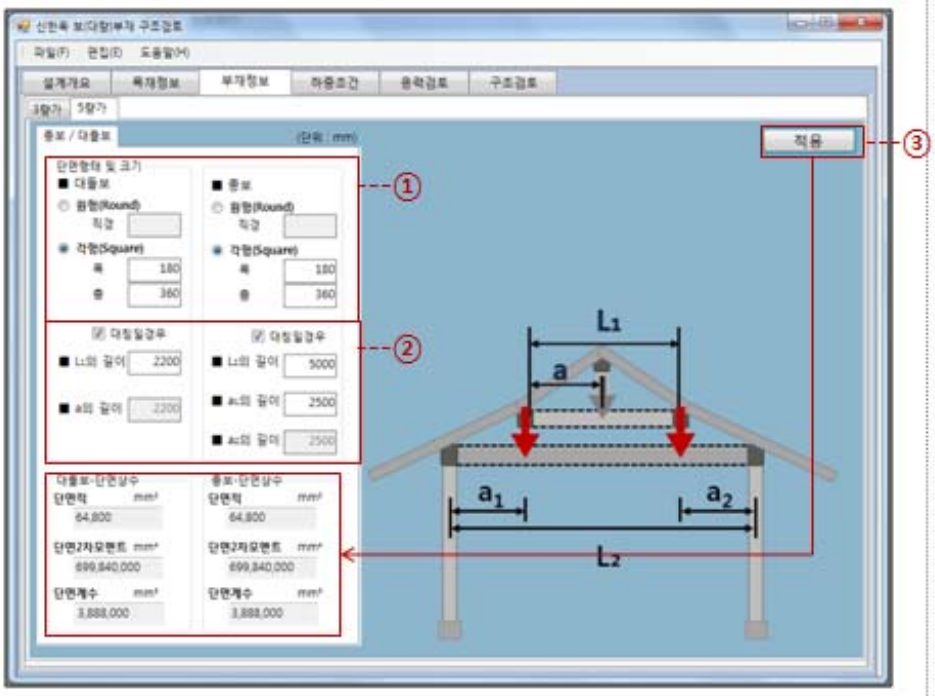


① 단면형태 및 크기를 입력하여야 한다. 실험한옥에 사용된 부재는 각형 180mmX360mm 이므로 각형에 체크를 하고 폭과 춤에 치수를 입력하자.
② 부재의 길이는 보가 대칭이므로 대칭에 체크를 하고 L의 길이 4500을 입력하자.
③ 치수를 입력하고 우측 상단에 "적용"버튼을 누르면, 단면적=64,800mm², 단면 2차 모멘트=699,840,000mm⁴, 단면계수=3,888,000mm³ 가 출력이 된다.

계산된 값이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

30

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 단면형태 및 크기를 입력하여야 한다. 실험한옥에 사용된 부재는 각형 180mmX360mm 이므로 대들보와 종보 모두 각형에 체크를 하고 폭과 춤에 치수를 입력하자.

② 부재의 길이는 보가 대칭이므로 대칭에 체크를 하고 L1=2,200mm, L2=5,000mm을 입력하자.

③ 치수를 입력하고 우측 상단에 "적용"버튼을 누르면 대들보와 종보의 단면적과 단면2차 모멘트, 단면계수가 계산이 된다.

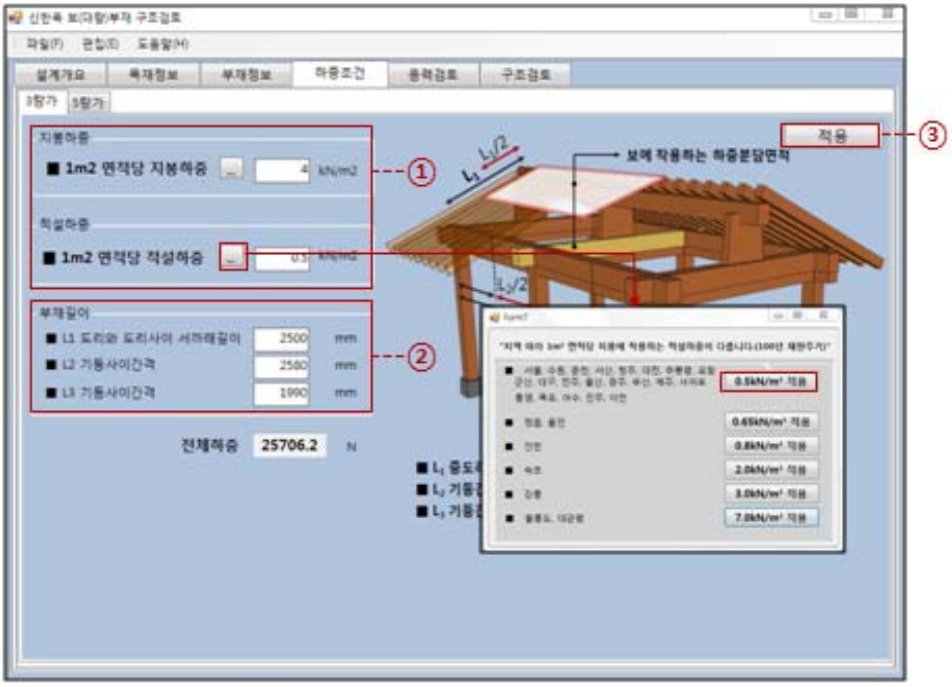
계산된 값이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

31

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



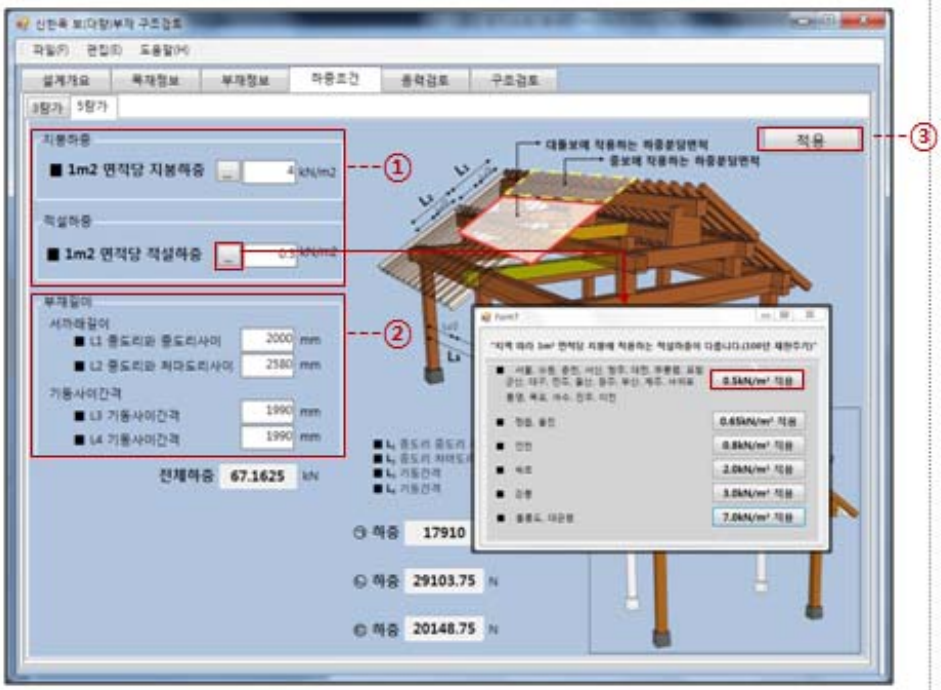
① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교 실험한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치해 있으므로 0.5kN/m²을 입력하자.

② 부재길이를 입력하자.
L1(도리와 도리사이 서까래길이)=2,500mm
L2(기둥사이간격)=2,580mm
L3(기둥사이간격)=1,990mm 을 각각 입력하자.

③ 값들을 모두 입력하였으면 우측 상단에 "적용"버튼을 누르자. "적용"버튼을 누르면 하단 "전체하중"칸에 25,706.2 N이 출력이 된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 하중조건의 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교 실험한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치해 있으므로 0.5kN/m²을 입력하자.

② 부재길이를 입력하자.
L1(종도리와 종도리사이) = 2,000mm
L2(종도리와 처마도리사이) = 2,580mm
L3(기둥사이간격) = 1,990mm
L4(기둥사이간격) = 1,990mm을 각각 입력하자.

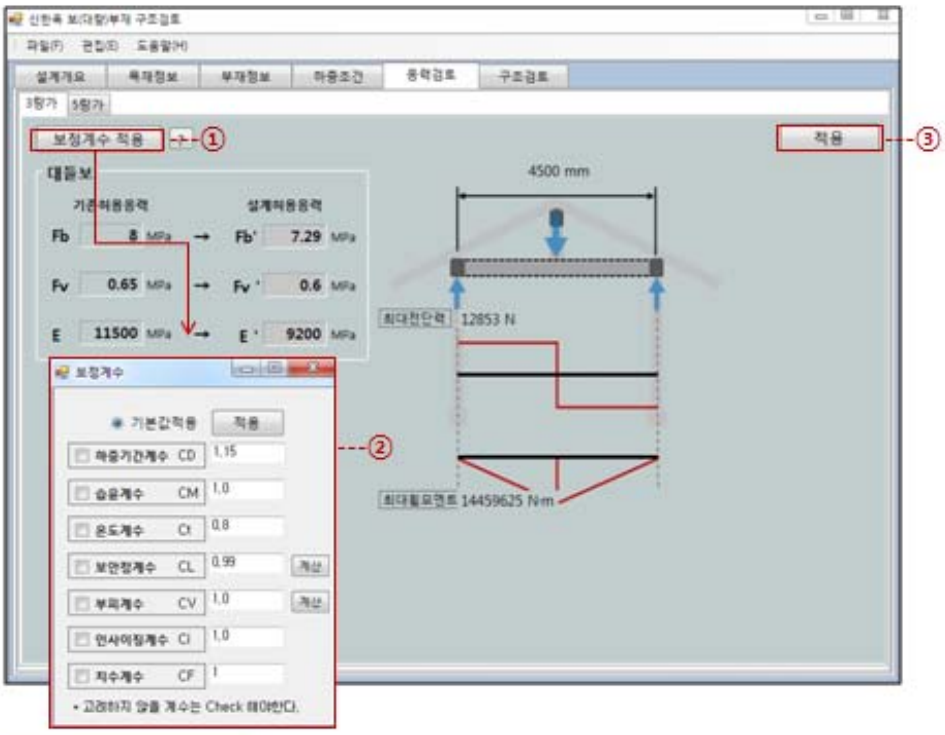
③ 값들을 모두 입력하였으면 우측 상단에 "적용"버튼을 누르자. "적용"버튼을 누르면 하단 "전체하중"칸에 67.1625 kN이 출력이 된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

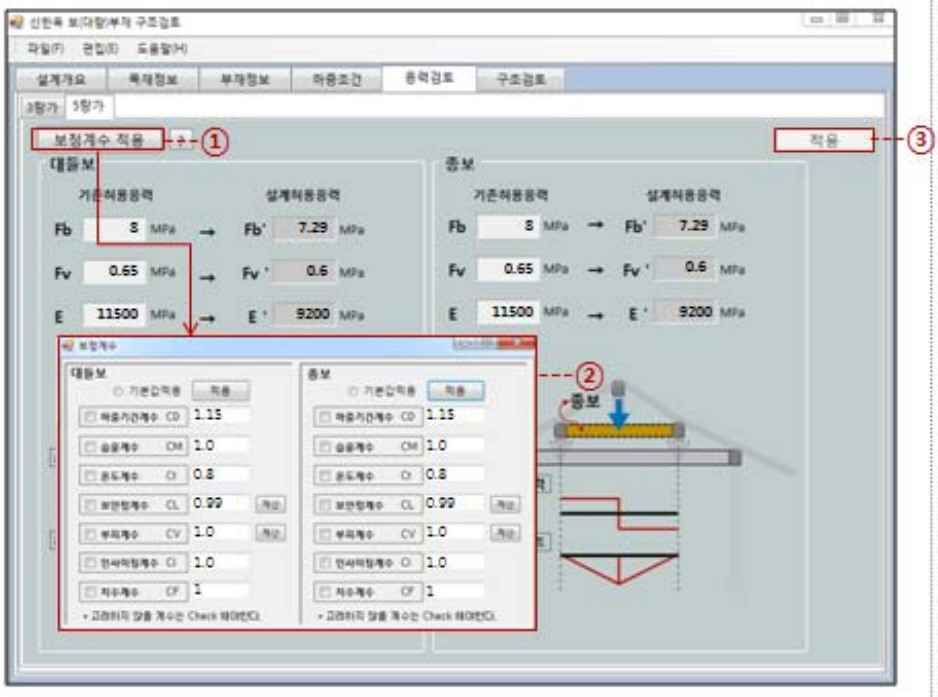


① "보정계수 적용" 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 보정계수 창을 닫자.
② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면,
설계허용응력 Fb'=7.29MPa, Fv'=0.6MPa, E'=9200Mpa, 최대 전단력= 12,853 N, 최대 휨모멘트= 14,459,625Nm 이 출력된다.

응력들이 화면에 출력이 되면, 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해보자.

34

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



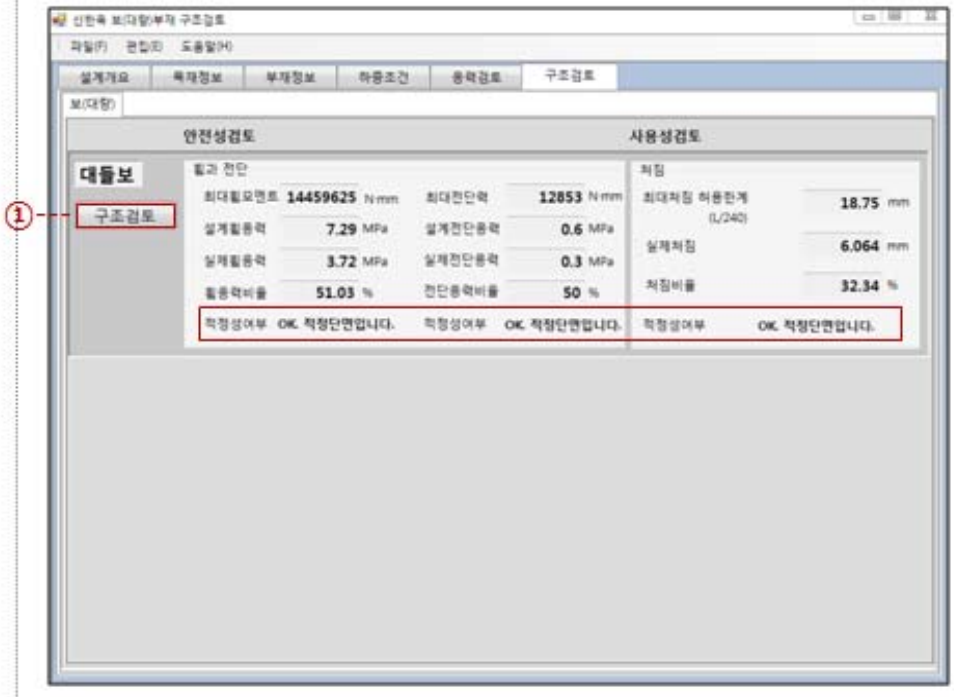
① "보정계수 적용" 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 보정계수 창을 닫자.
② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면,
대들보에서 설계허용응력 Fb'= 8.1MPa, Fv'= 0.6MPa, E'= 9200Mpa,
최대 전단력 = 24,626N, 최대휨모멘트 = 30,782,500Nmm
종보에서 설계허용응력 Fb'= 8.1MPa, Fv'= 0.6MPa, E'= 9200Mpa,
최대 전단력 = 8,955N, 최대휨모멘트 = 4,925,250Nmm

응력들이 화면에 정상적으로 출력이 되었으면, 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

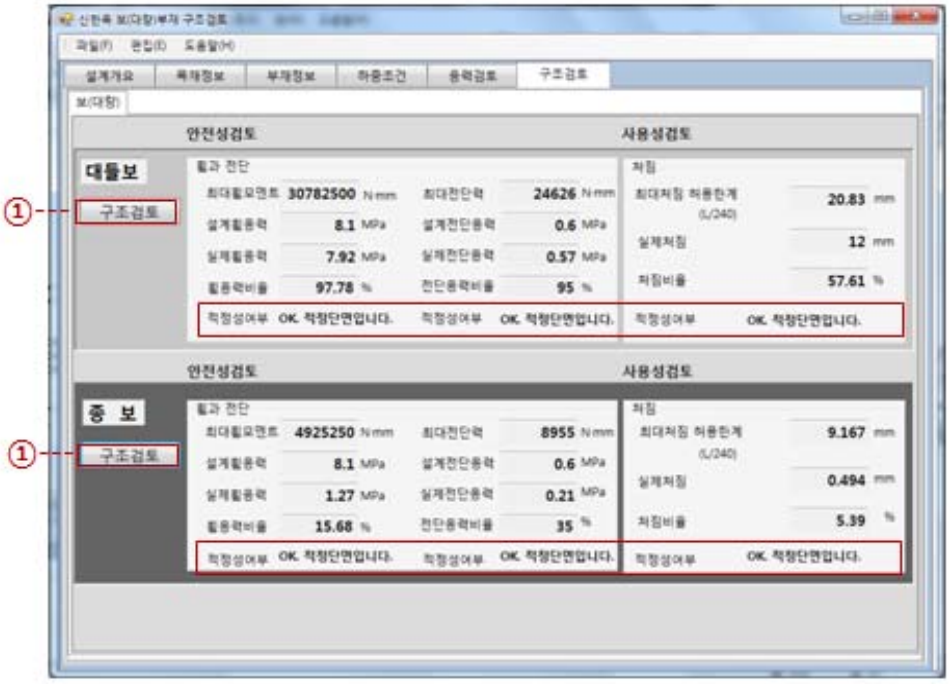
마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자..

1) 3량가일때 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자



① "구조검토 버튼"을 클릭하여 하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
휨응력비율 = 51.03%, 전단응력비율 = 50%, 처짐비율 = 32.34%로 모두 OK사인이 출력이 된다.

2) 5량가일때 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자



① "구조검토 버튼"을 클릭하여 하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
대들보에서는 휨응력비율 = 97.78%, 전단응력비율 = 95%, 처짐비율 = 57.61%로 모두 OK사인이 출력된다.
종보에서는 휨응력비율 = 15.68%, 전단응력비율 35%, 처짐비율 = 5.39%로 OK사인이 출력된다.

2)도리 예제

CHAPTER 4 도리 예제

Step2 도리

1. 건물의 개요를 입력하기

명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

명지대학교 실험한옥에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.

① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.

② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.

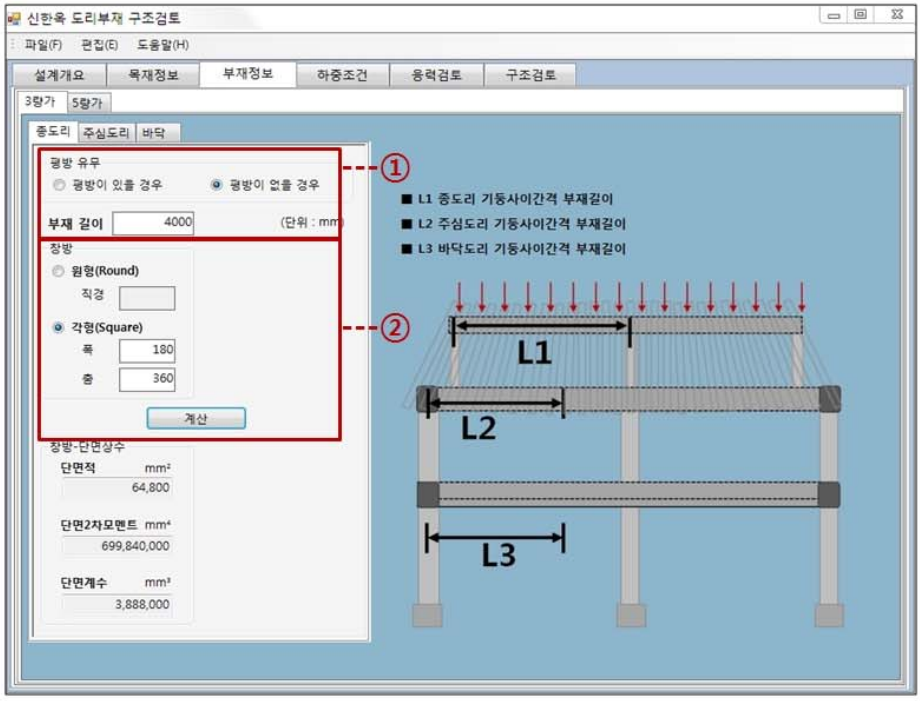
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



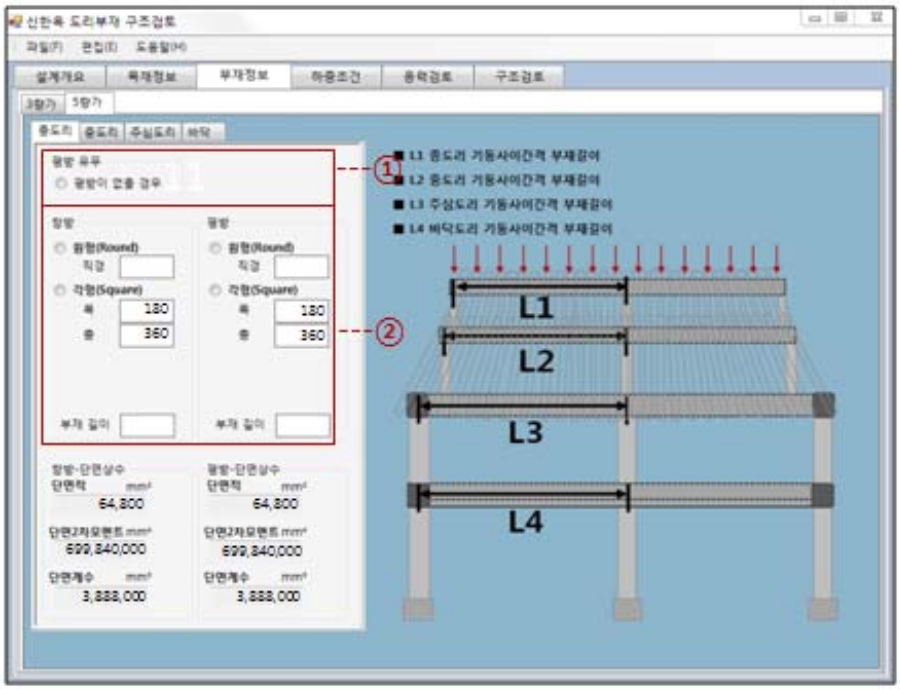
① 평방의 유무와 부재의 길이를 입력하자. 평방은 없으니 없는 경우에 체크를 하고 부재길이= 4,000 mm을 입력하자.

② 창방의 치수를 입력하자. 건물의 창방은 각형이고 180mmX360mm이므로 각각의 치수를 입력하자. 치수를 모두 입력 하였으면 계산 버튼을 클릭하자.

③ 계산버튼을 클릭 하였으면, 단면적= 64,800 mm^4, 단면2차모멘트= 699,840,000 mm^4, 단면계수= 3,888,000 mm^4 가 출력이 된다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 평방의 유무와 부재의 길이를 입력하자. 평방이 있으므로 평방이 있을 경우에 체크를 하자.

② 창방과 평방의 치수를 입력하자. 건물의 창방과 평방은 각형이고 180mmX360mm이므로 각각의 치수를 입력하자. 치수를 모두 입력하였으면 "계산"버튼을 클릭하자.

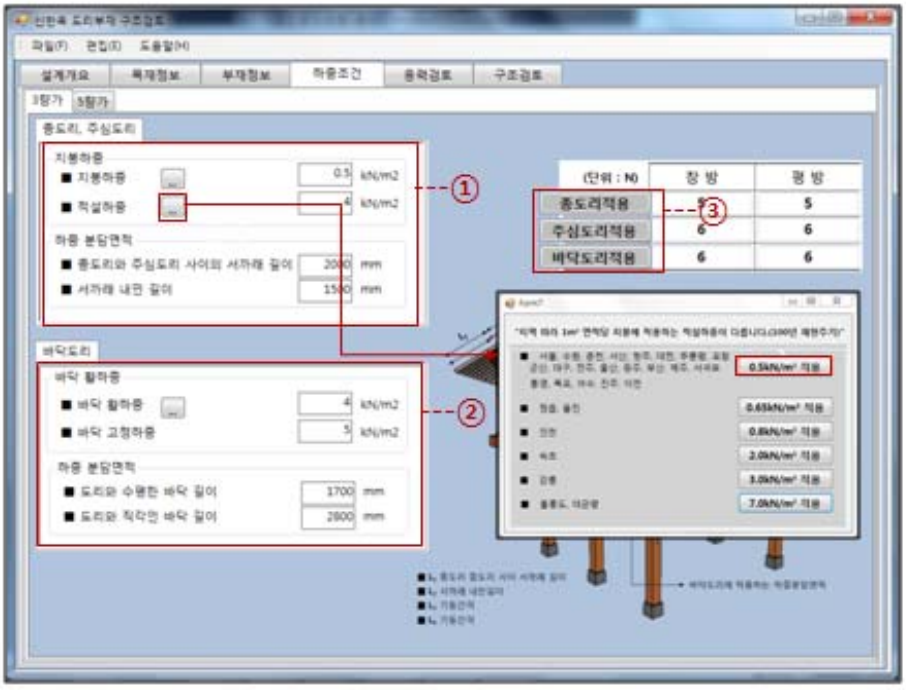
③ 계산버튼을 클릭하였으면, 단면적=64,800mm², 단면2차모멘트=699,840,000mm⁴, 단면계수=3,888,000 mm³가 출력이 된다.

마찬가지로 종도리, 주심도리, 바닥에 부재정보를 입력하고 계산된 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



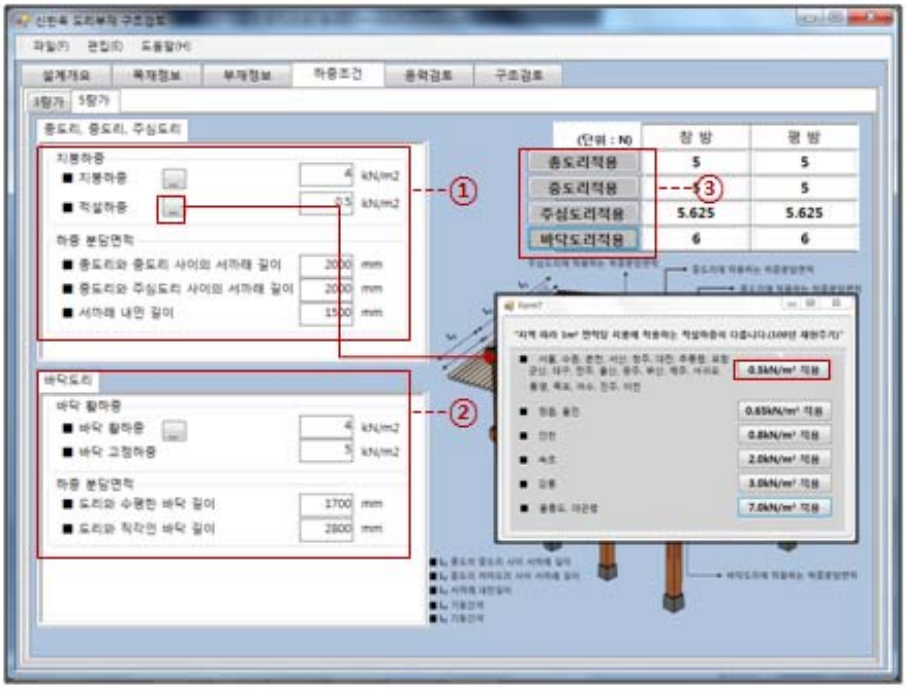
① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교의 실험 한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치하여 있으므로 0.5kN/m²적용을 클릭하자.
적용버튼을 누른 후 하중분담면적에 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이= 2,000mm 서까래 내민 길이= 1,500mm를 입력하자.

② 바닥도리 정보를 입력하자.
바닥 활하중= 4kN/m2, 바닥 고정하중= 5kN/m2
도리와 수평한 바닥 길이= 1,700mm, 도리와 직각인 바닥 길이= 2,800mm를 입력하자.

③ 종도리, 주심도리, 바닥도리 적용버튼을 클릭하자. 버튼을 클릭하면 창방과 평방에 작용하는 하중이 계산이 되어 출력이된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

1) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교의 실험 한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 용인에 위치하여 있으므로 0.5kN/m²적용을 클릭하자.
적용버튼을 누른 후 하중분담면적에 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이= 2,000mm 서까래 내민 길이= 2,000mm, 서까래 내민 길이= 1,500mm를 입력하자.

② 바닥도리 정보를 입력하자.
바닥 활하중= 4kN/m2, 바닥 고정하중= 5kN/m2
도리와 수평한 바닥 길이= 1,700mm, 도리와 직각인 바닥 길이= 2,800mm를 입력하자.

③ 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥도리 적용버튼을 클릭하자. 버튼을 클릭하면 창방과 평방에 작용하는 하중이 계산이 되어 출력이된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 모두 계산이 된다. 또한 우측그림에 종도리, 주심도리, 2층 바닥의 창방과 평방에 작용하는 응력이 표시가 된다.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

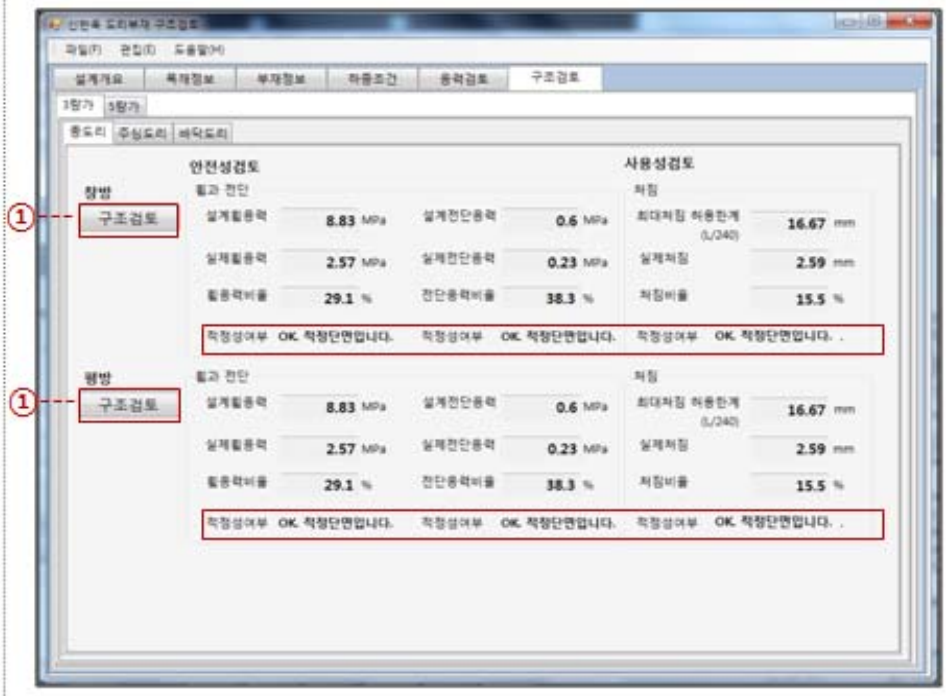
② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 모두 계산이 된다. 또한 우측그림에 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥도리의 창방과 평방에 작용하는 응력이 표시가 된다.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

1) 3량가일때 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
창방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 모두 OK사인이 출력된다.
평방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 OK사인이 출력된다. 마찬가지로 주심도리와 바닥도리의 구조검토를 해보자.

2) 5량가일때 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

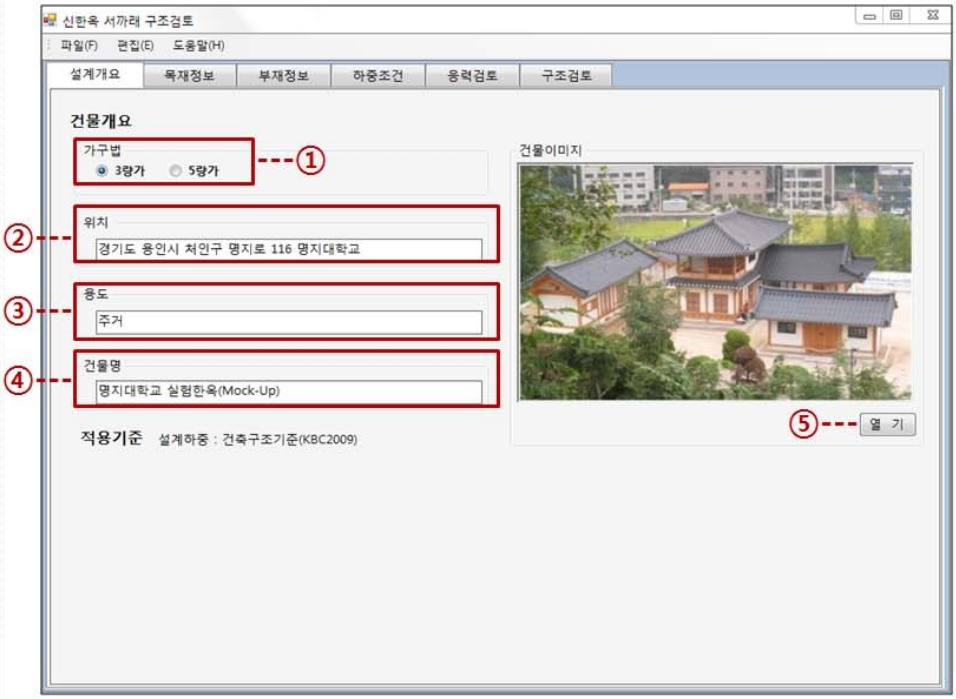
① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
창방에는 휨용력비율= 29.1%, 전단용력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 모두 OK사인이 출력된다.
평방에는 휨용력비율= 29.1%, 전단용력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 OK사인이 출력된다. 마찬가지로 종도리, 주심도리, 바닥도리의 구조검토를 해보자.

3)서까래 예제

Step3 서까래

1. 건물의 개요를 입력하기

명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

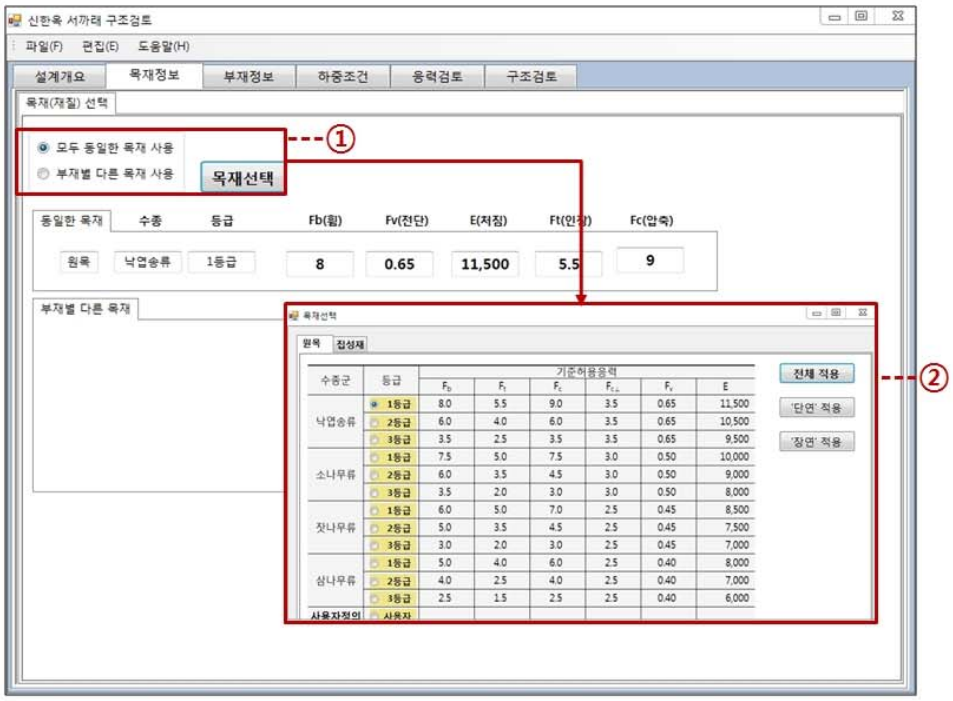


① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

건물에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.



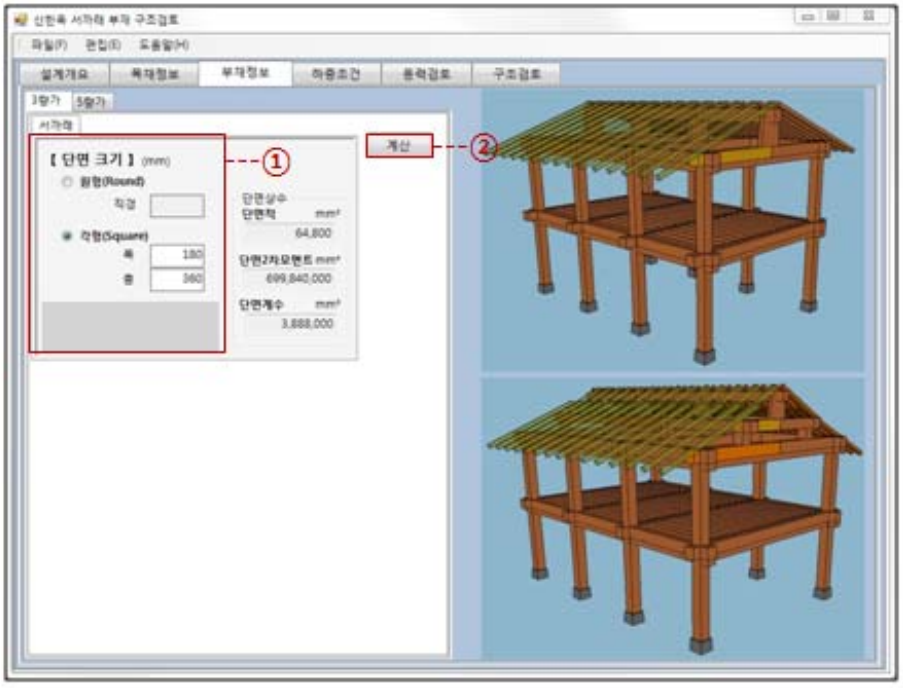
① 건물에 사용된 목재가 원목인지 집성재인지 확인하여 해당 탭을 클릭한다. 여기서는 낙엽송류 1등급을 체크하자.
② 체크가 되었으면 우측 상단에 적용 버튼을 누르자.

적용 버튼을 클릭하였으면, 다음 단계인 부재정보로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 명지대학교 실험한옥의 부재는 각형이므로 각형에 체크를 하고 치수180mmX360mm 를 입력하자.

② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면

단면적=64,800mm²

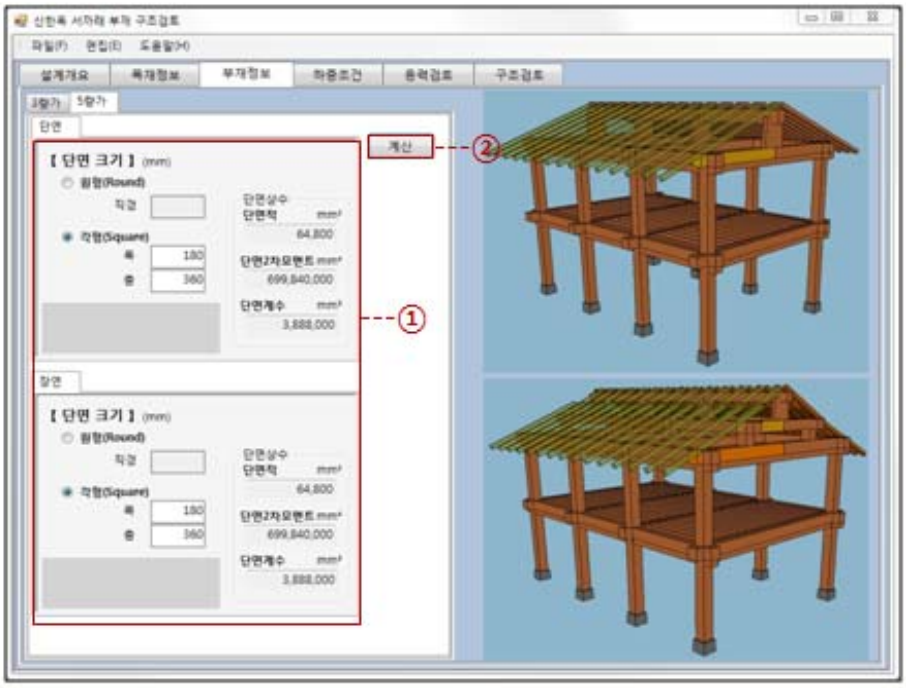
단면 2차 모멘트=699,840,000mm⁴

단면계수=3,888,000mm³ 가 출력이 될 것이다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

50

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



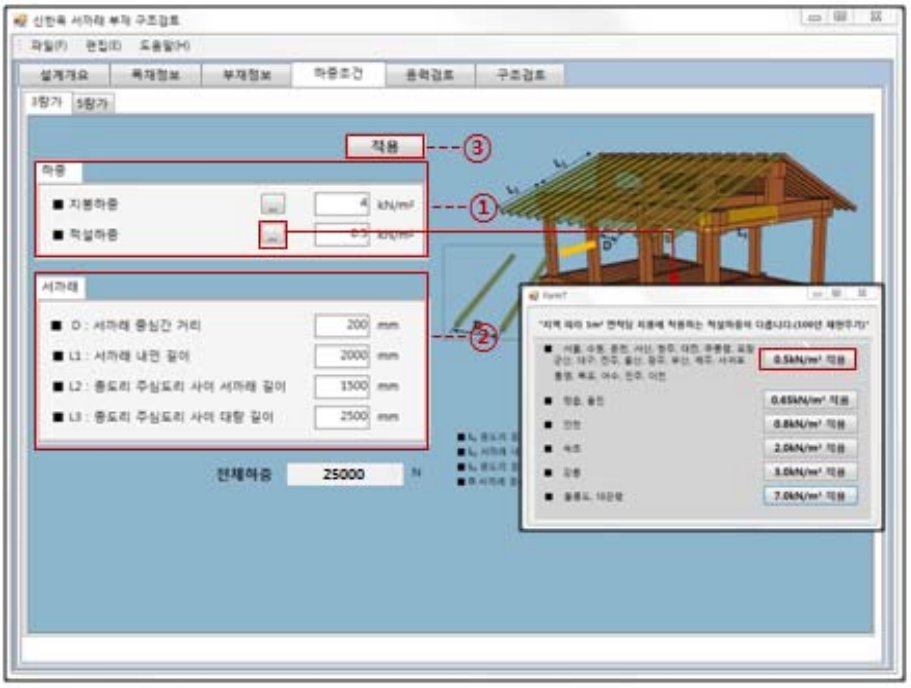
① 명지대학교 실험한옥의 부재는 각형이므로 단면과 장면 모두 각형에 체크를 하고
치수180mmX360mm를 입력하자.
② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면
단면적=64,800mm^2
단면 2차 모멘트=699,840,000mm^4
단면계수=3,888,000mm^3 가 출력이 될 것이다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

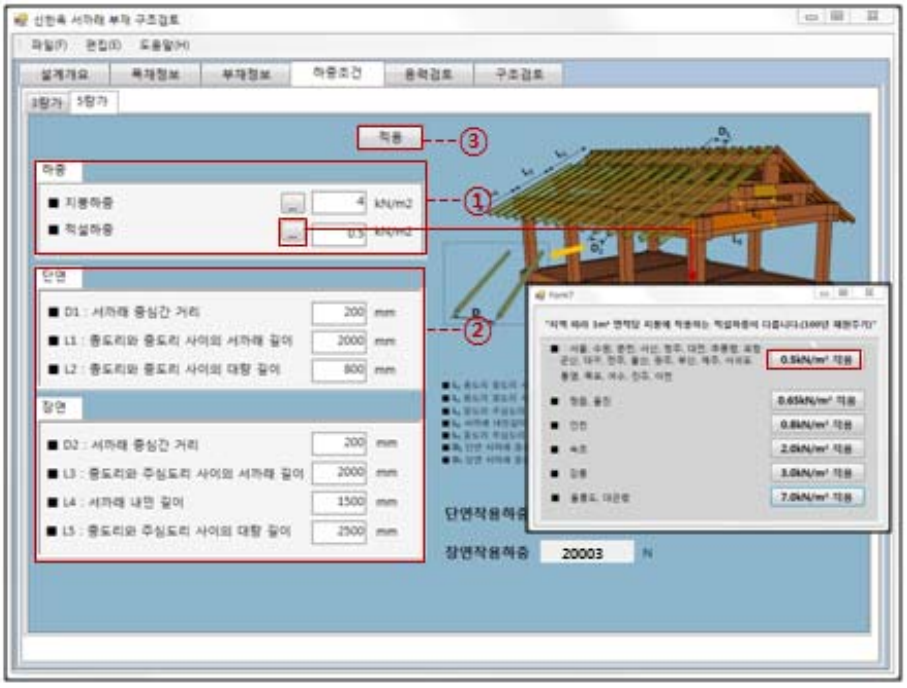
1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설 하중은 건물에 위치가 경기도 용인 이므로 0.5kN/m² 적용을 클릭하자.
② 서까래 정보를 입력하자.
L1(종도리 주심도리 사이 서까래 길이=2,000mm
L2(서까래 내민 길이)=1,500mm
L3(종도리 주심도리 사이 대량 길이)=2,500mm를 입력하자.
③ 하중과 치수를 입력하였으면 상단에 "적용"버튼을 클릭하자. 적용버튼을 클릭하였으면 전체하중이 자동으로 산출되어 출력된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 응력을 검토해 보자

2) 5량가일때 하중조건의 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력한다. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설 하중은 건물에 위치가 경기도 용인 이므로 0.5kN/m² 적용을 클릭하자.

② 단면과 장면의 정보를 입력하자.

D1(서까래 중심간 거리)=200mm, D2(중도리와 중도리 사이의 서까래 길이) =2,000mm

L2(중도리와 중도리 사이의 대량 길이)=800mm, D2(서까래 중심간 거리)=200mm

L3(중도리와 주심도리 사이의 서까래 길이)=2,000mm

L4(서까래 내민 길이)=1,500mm, L5(중도리와 주심도리 사이의 대량 길이)=2,500mm

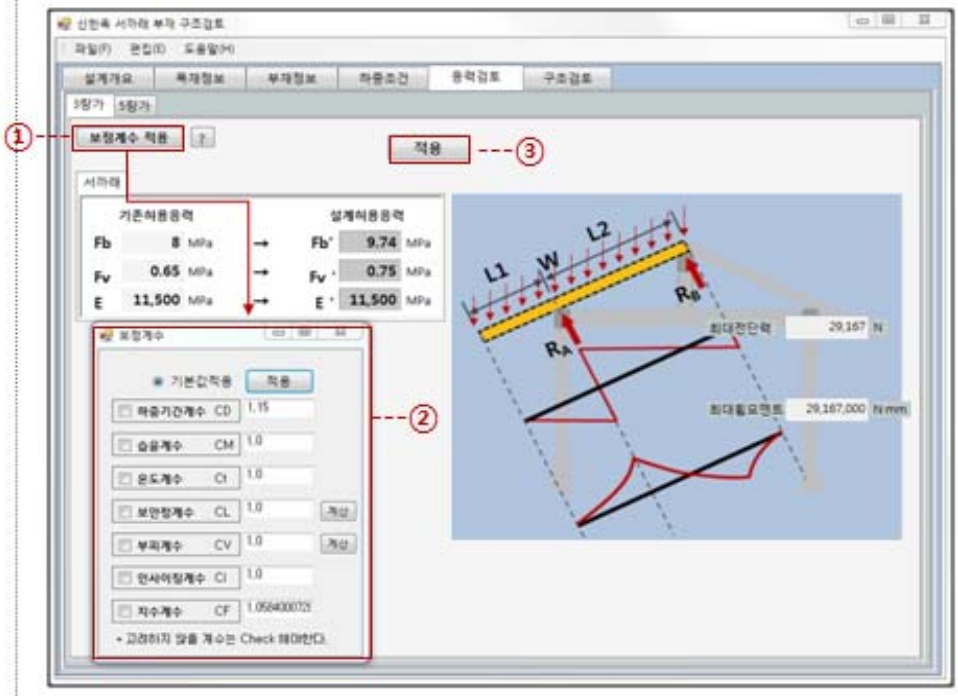
③ 하중과 치수를 입력하였으면 상단에 "적용"버튼을 클릭하자. 적용버튼을 클릭하였으면 전체하중이 자동으로 산출되어 출력된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 응력을 검토해 보자

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

② 상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 계산이 되며 우측 그림에는 최대 전단력과 최대휨모멘트의 값들이 표시가 된다. 설계허용응력들이 출력이 되었는지 확인하자.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

2) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 단면과 장면 모두 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

② 상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 계산이 되며 우측 그림에는 최대 전단력과 최대휨모멘트의 값들이 표시가 된다. 설계허용응력들이 출력이 되었는지 확인하자.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.

① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다. 출력된 화면 맨 아래칸에 휨응력비율 77.023%, 전단응력비율 90.00%, 처짐비율 19.303% 로 모두 OK 사인이 출력 된다.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

5) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.

① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다. 출력된 화면 맨 아래칸에 단연에서는 활용력비율 26.39%, 전단용력비율 52.00%, 처짐비율 33.71% 로 모두 OK 사인이 출력된다.
장연에서는 활용력비율 39.63%, 전단용력비율 61.33%, 처짐비율 22.91%로 OK 사인이 출력된다.

4)기둥 예제

Step4 기둥

1. 건물의 개요를 입력하기

명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

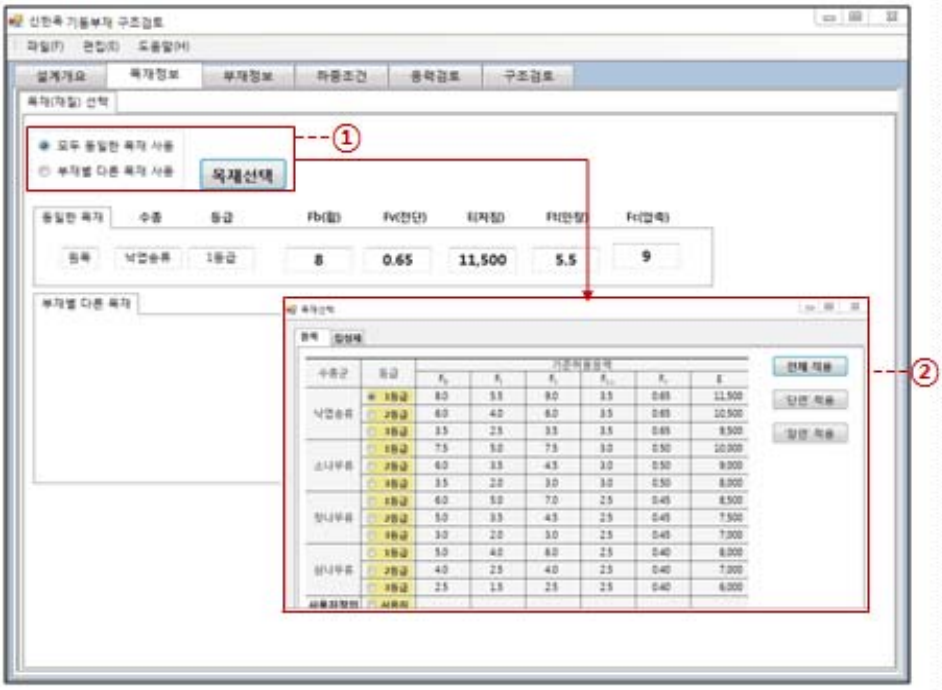
① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

58

2. 목재정보 입력하기

건물에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.

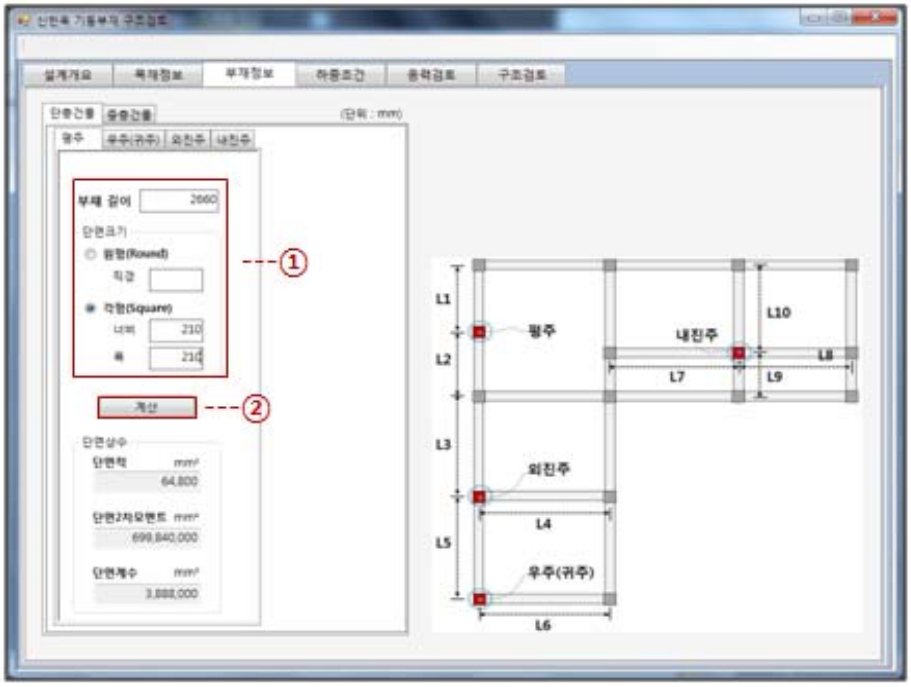


① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.
② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

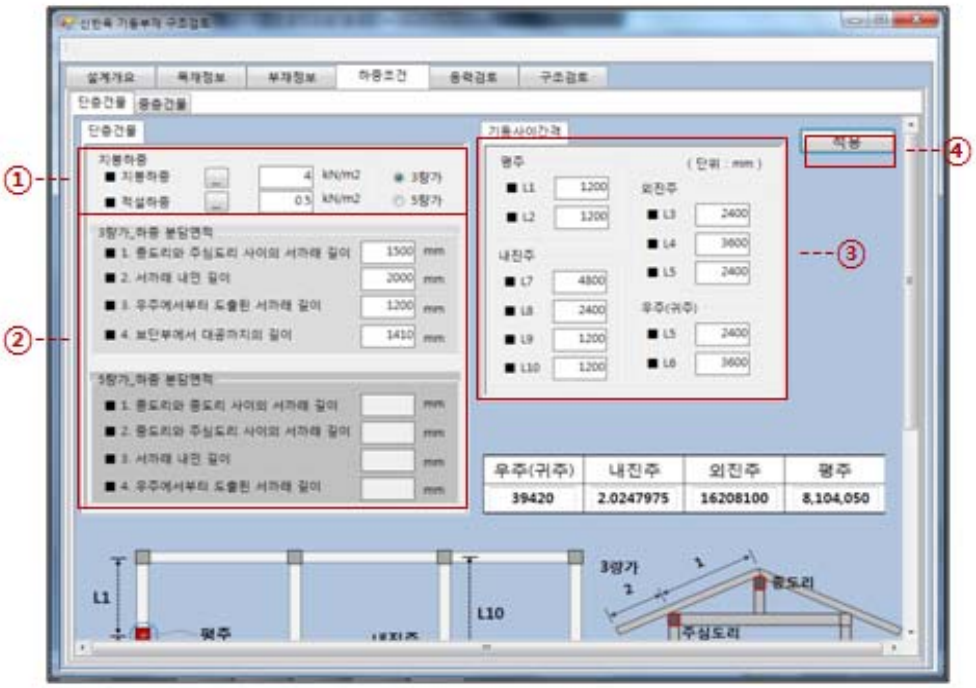


① 명지대학교 실험한옥의 기둥 부재길이= 2,660mm를 입력하자.
기둥은 각형이므로 각형에 체크를 하고 치수210mmX210mm를 입력하자.
② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면
단면적= 64,800mm²
단면 2차 모멘트= 699,840,000mm⁴
단면계수= 3,888,000mm³ 가 출력이 될 것이다.
계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 마찬가지로 우주, 외진주, 내진주 탭을 클릭하여 각 기둥 부재의 치수를 입력하고 단면상수값이 정상적으로 출력이 되는지 확인하자.

60

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.



① 지붕하중을 입력한다. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설 하중은 경기도 용인 이므로 0.5kN/m² 을 입력하자. 그리고 3량가이므로 3량가 탭에 체크를 하자.

② 건물이 3량가 이므로 3량가_하중 분담면적에 치수를 입력하자.
종도리와 주심도리 사이의 서까래길이= 1,500mm, 서까래 내민길이= 2,000mm
우주에서부터 도출된 서까래 길이= 1,200mm
보단부에서 대공까지의 길이= 1410mm를 입력하자.

③ 다음으로 기둥사이간격을 입력하자. 아래쪽에 각 간격의 위치를 알 수 있는 그림이 있다.
L1=1,200mm, L2=1,200mm, L3=2,400mm, L4=3,600mm, L5=2,400mm
L6=3,600mm, L7=4,800mm, L8=2,400mm, L9=1,200mm, L10=1,200mm

④ 하중을 모두 입력하였으면 적용버튼을 누르고 아래 표에 하중이 정상적으로 출력되는지 확인을 하자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

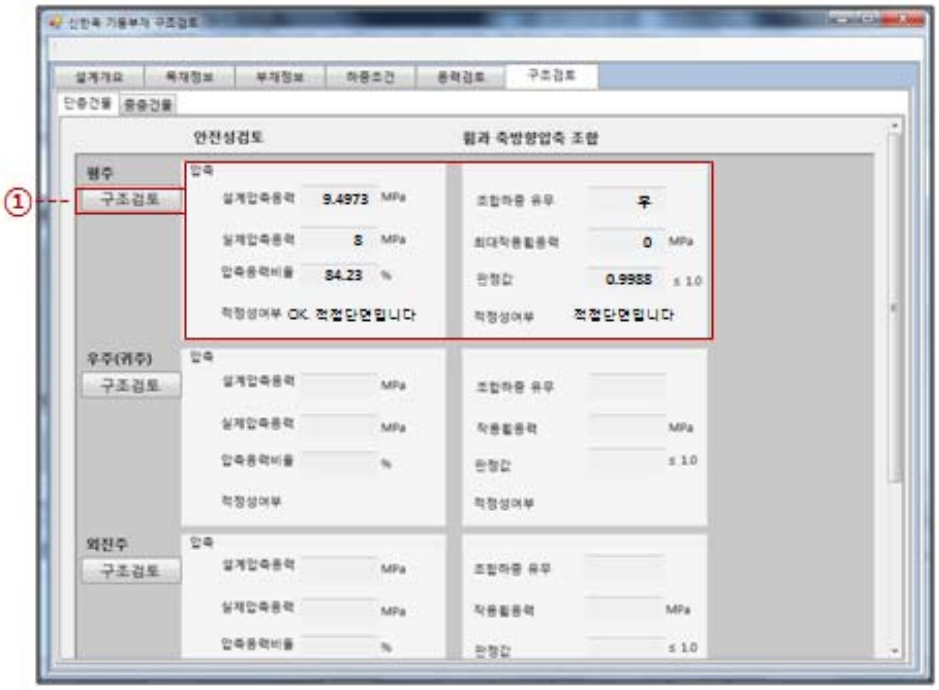
보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하자.
② 보정계수 적용 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 기본값적용에 체크를 하고 계수 값들이 입력이 되었다면 "평주적용"버튼을 누르고 보정계수 창을 닫자.
③ 보정계수를 입력하고 설계허용응력이 출력되었으면, 우측의 평주 버튼을 클릭하여 평주에 작용하는 축력과 휨모멘트값을 확인하자.

마찬가지로 우주와 외진주, 내진주의 응력들을 구해보고 평주의 응력들이 화면에 출력이 되었으면, 구조검토 탭으로 이동하여 구조검토를 실시하여 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하자. 버튼을 클릭하면
압축응력비율 = 84.23%, 판정값= 0.99 ≤ 1.0 이 나오며 적정성 여부에 모두 OK 사인이 출력된다.

마찬가지로 우주와 외진주의 구조검토를 해보자.

실무자를 위한

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼

첨. 단. 도. 시. 개. 발. 사. 업
한옥기술개발연구단
Hanok Technical Development Research Center
명지대 건축학부
구조디자인 연구실

✔원리를 알면 구조가 즐겁다.

명지대학교 건축학부_구조디자인연구실

신한옥을 설계하는 실무자를 위한 도구로서, 주요 구조부재인 대량, 주심도리, 기둥 그리고 서까래에 대한 최적단면을 선정할 수 있는 부재설계 검토 S/W를 개발하고, 실무적으로 쉽게 적용할 수 있는 작용하중과 부재 간격에 따른 주요 구조부재의 단면 조견표도 작성하여 보급한다.

한옥기술개발연구단_ 신한옥 통합구조기술 개발

신한옥은 시공의 용이성과 이를 통한 보급 활성화를 위해서 전통적인 한옥과는 다른 방법으로 구조부재를 제작하고 조립한다. 구조부재 및 접합부는 제작 및 시공의 용이성을 위해서 CAM에 의한 공장제작과 철물에 의한 보강이 이루어진다.

그러므로 신한옥은 구성방식 및 접합방법 뿐만 아니라 시공방식에서도 전통한옥과 구별되는 특징이 있다. 본 연구에서는 이와 같이 구성되는 신한옥의 전체적인 구조안전성을 확인하고, 정적 및 동적거동특성을 밝히며, 용이한 구조검토를 위한 자동화된 도구를 개발하여 신한옥이 구조적으로 안전하며 또한 사용성이 확보된 상태에서 널리 보급되고 사용될 수 있도록 한다.

실무자를 위한 신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼

초판발행

지은이

펴낸이

펴낸곳

전화

등록

ISBN

● 이 책을 읽기 전에

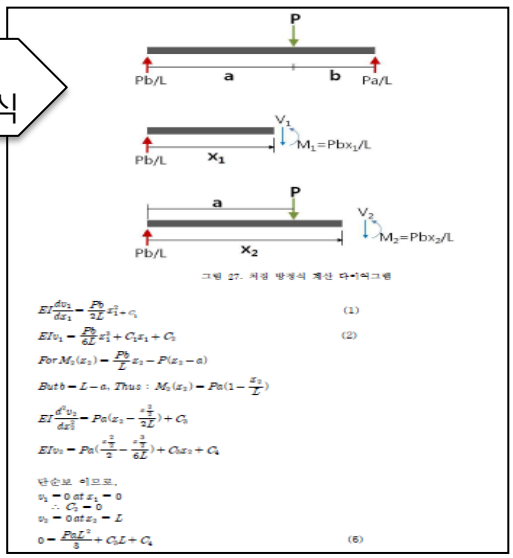
한옥 구조검토에 익숙하지 않은 설계자를 위한 소프트웨어

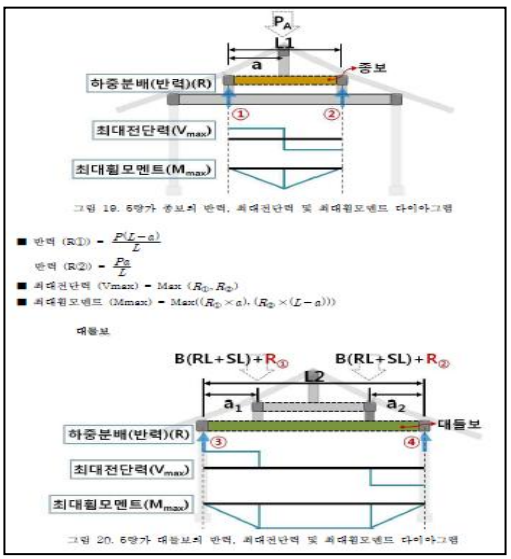
한옥에 익숙하지 않은 구조설계자 및 구조전공자가 한옥을 설계할 때 실질적인 구조부재를 설계함에 있어서 어려움을 겪을 수 있다. 이 소프트웨어는 한옥구조검토의 계산과정 및 보정계수 등 여러가지 구조검토 요소에 대한 어려움을 덜고 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 개발하였다. 이는 주요 구조부재인 대들보, 도리(평방,창방), 서까래, 기둥에 대한 최적단면을 선정할 수 있는 부재설계 검토 소프트웨어이다.

치수 입력만으로 구조 안정성과 사용성을 평가!

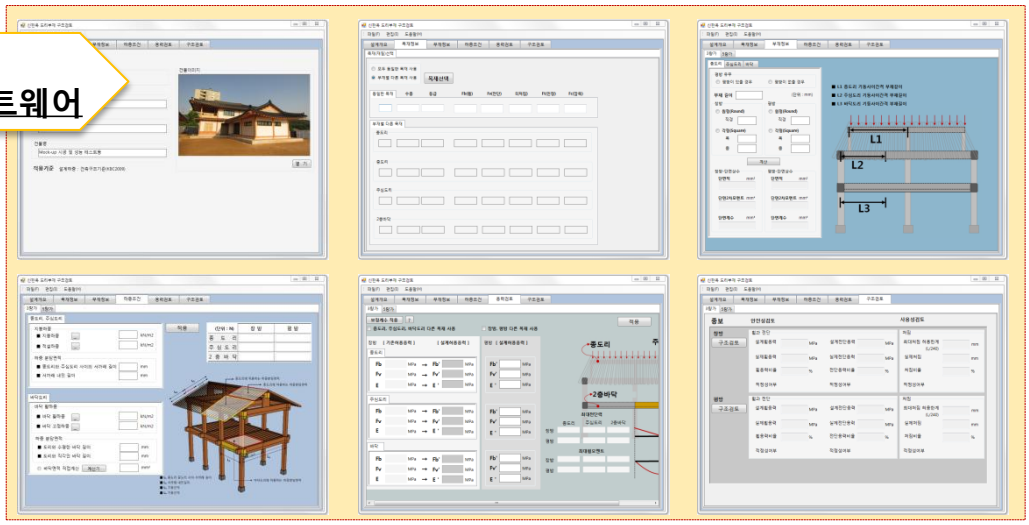
복잡한 계산식과 구조 알고리즘은 그만!.
간단한 부재의 치수 입력만으로 구조의 안정성과 사용성을 검토하고 **쉽게 설계하자!**

한옥 구조부재
구조검토 계산식



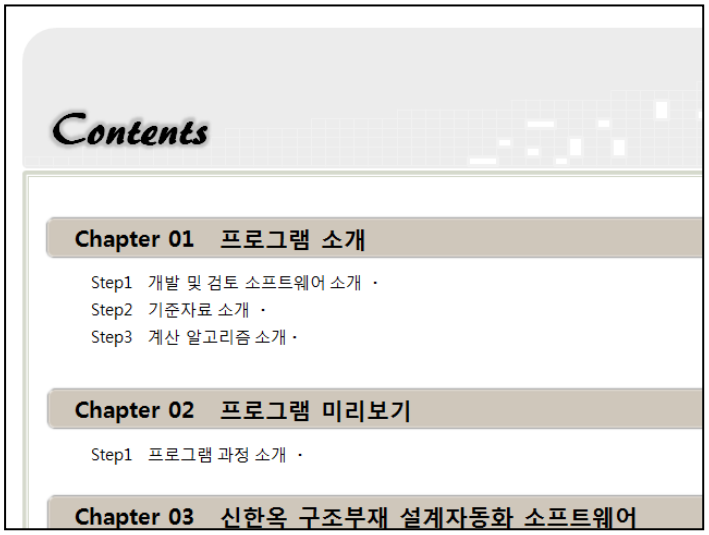


한옥 구조부재
부재검토 소프트웨어



이 책의 구성

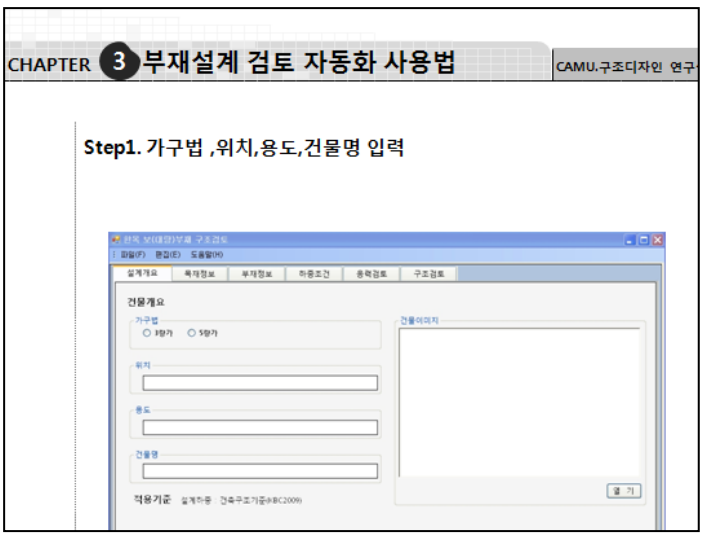
이 책을 통해서 신한옥 주요 구조부재의 부재설계 및 검토까지, 일련의 과정을 확인하실 수 있습니다.
이 책은 목차, 프로그램 소개, 사용법 그리고 프로그램 사용 예제로 구성되어 있습니다.



▶ 목차

소프트웨어소개 ◀

개발 및 검토된 소프트웨어에 대한 소개와 이 소프트웨어 제작에 기준이 되는 자료 및 계산 알고리즘에 대해 소개한다.

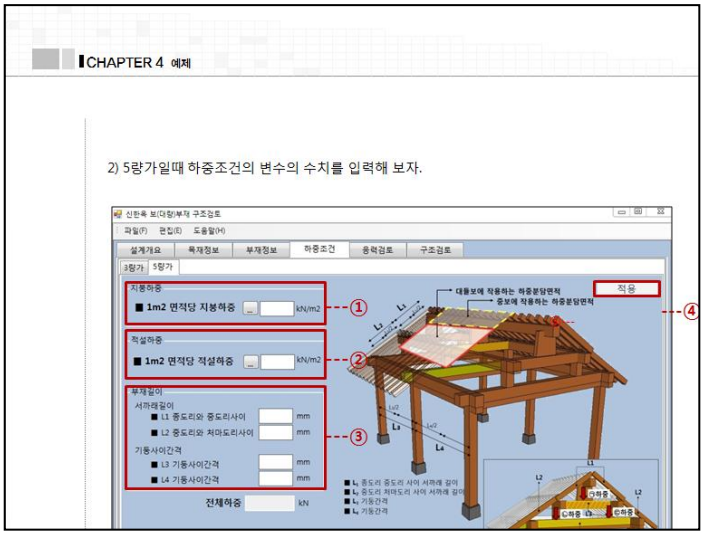


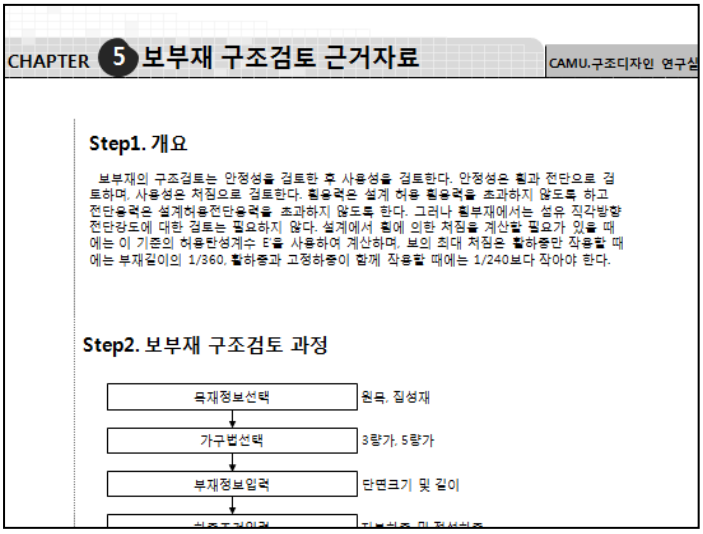
▶ 부재설계 검토 자동화 사용법

소프트웨어의 사용법과 구성요소들의 필요성을 설명하고 있다.

예제 ◀

예제 문제를 실제 한옥을 통해 익혀봄으로써
사용시에 더욱 쉽게 이해할 수 있다.





▶ 구조검토 근거자료

부재 구조검토에 사용된
계산식, 자료 등을 수록.

Contents

Chapter 01 프로그램 소개

Step1 개발 및 검토 소프트웨어 소개 · 10
Step2 기준자료 소개 · 10
Step3 계산 알고리즘 소개 · 11
Step4 프로그램 과정 소개 · 12

Chapter 02 신한옥 구조부재 설계자동화 소프트웨어

Step1 설계 개요 입력 · 16
Step2 목재(재질)정보 입력 · 17
Step3 부재정보 입력 · 18
Step4 하중계산 · 19
Step5 설계허용응력 및 부재력 계산 · 22
Step6 구조검토(안전성 및 사용성 검토) · 23

Chapter 03 예제

Step1. 대들보 · 27
Step2. 도리 · 37
Step3. 서까래 · 47
Step4. 기둥 · 57

Chapter 04 대들보부재 구조검토 근거자료

Step1 개요 · 65
Step2 대들보부재 구조검토 과정 · 65
Step3 구조검토 근거(계산식) · 66

Chapter 05 도리부재 구조검토 근거자료

Step1 개요 · 86
Step2 도리부재 구조검토 과정 · 86
Step3 구조검토 근거(계산식) · 87
Step4 Microsoft Excel을 통한 도리 프로그램 검토 · 104

Chapter 06 서까래부재 구조검토 근거자료

Step1 개요 · **108**
Step2 서까래부재 구조검토 과정 · 108
Step3 구조검토 근거(계산식) · 109
Step4 Microsoft Excel을 통한 서까래 프로그램 검토 · 125

Chapter 07 기둥부재 구조검토 근거자료

Step1 개요 · 128
Step2 기둥부재 구조검토 과정 · 128
Step3 구조검토 근거(계산식) · 129
Step4 Microsoft Excel을 통한 기둥 프로그램 검토 · 143

한옥 들여다보기

신한옥의 장점

1 새집을 짓고 입주할 때 신축 건물에서 나타나는 화학 냄새 등이 전혀 없다 | 현대 한옥은 화학제품을 거의 쓰지 않을 뿐만 아니라 냄새가 나더라도 이를 황토가 탈취한다.

2 온도를 일정하게 유지해 생체리듬을 안정화시킨다 | 실외 일교차는 여름철에는 2℃에서 21℃까지 변화하는데 일반적으로 현대 한옥은 여름철에는 3℃ 이하, 겨울철에는 5℃ 이하로 기온 차가 작다.

3 환기와 정화가 뛰어나 쾌적한 환경을 유지해 준다 | 황토벽의 탈취, 정화 기능이 뛰어나기 때문이다.

4 습도 조절 기능이 뛰어나 감기에 걸리지 않는다 | 한옥은 습기가 많으면 흡수하고, 건조하면 내뿜는 성질이 있다.

5. 건축 폐자재를 줄일 수 있다 | 목재나 황토벽돌, 한지는 자연으로 다시 돌아간다.
우리의 후손에게 대대손손 물려줄 환경을 보존하고 지키는 친환경축이다.

Chapter01

프로그램 소개

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어에 사용된 기준자료, 알고리즘과 소프트웨어 사용과정을 함께 소개한다.

Step 01. 개발 및 검토 소프트웨어 소개
Step 02. 기준자료 소개
Step 03. 계산 알고리즘 소개

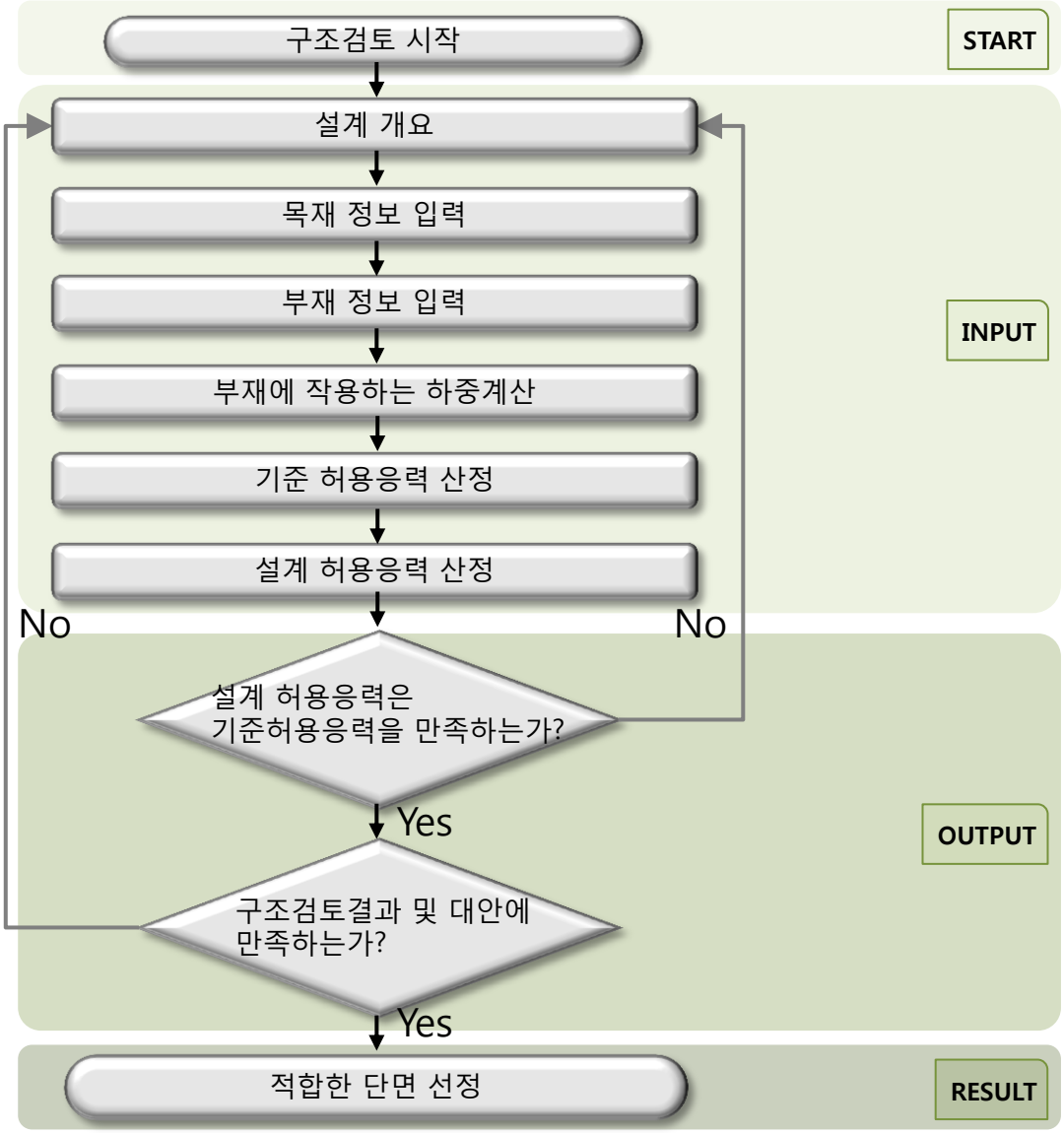
Step1 개발 및 검토 프로그램

소프트웨어 개발에 사용된 프로그램은 Microsoft Visual Studio 2008의 Visual Basic을 사용하였으며 이에 대한 검토는 Microsoft Excel을 사용하였다.

Step2 기준자료 소개

목재의 불균질한 특성과 한옥의 구조설계에 대한 축적된 경험의 자료가 상세히 남아있지 않다. 그러나 대한건축학회에서는 캐나다임산물연구소(Forintek Cananda Corp.)의 연구과제를 위탁받아 목조건축 구조설계 실무자가 「건축구조설계기준」의 규정에 따라 구조설계를 정확하고 용이하게 수행함은 물론 목구조의 이해를 도모하기 위하여 이 「목조건축구조설계매뉴얼」을 발간(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회_ 2008)하였다. 본 매뉴얼은 1장 일반사항에서 4장 부재설계를 참고하여 프로그램을 제작하였다.

Step3 계산 알고리즘 소개



신한옥의 부재설계 및 검토는 구조해석과정에서 부재의 다양한 정보가 필요하다. 다음의 각 구조해석 단계에서는 조건에 맞는 부재의 정보입력이 필요하다. 구조해석의 순서는 다음과 같다.

① 설계된 부재의 목재정보를 입력한다. 목재정보는 목재가 원목과 집성재로 구분되어 구조계산시 적용되는 기준응력을 입력한다.

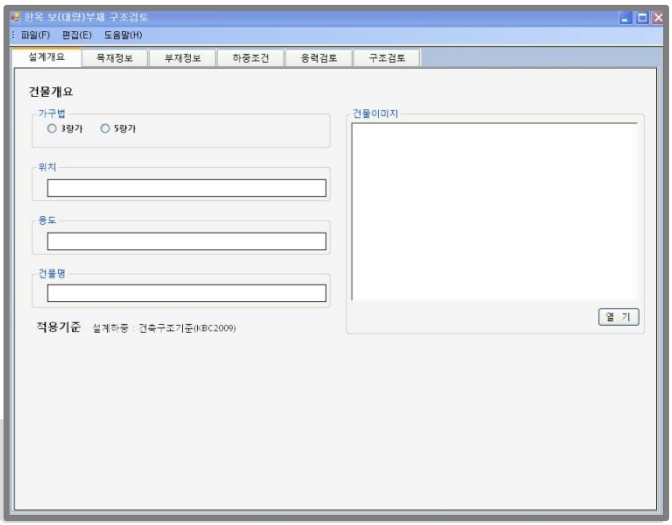
② 부재정보입력에서는 부재의 가구법(3량, 5량)을 구분하여 부재의 단면 및 길이를 입력한다. 이는 부재의 단면상수를 계산하여 기준허용응력을 바탕으로 설계허용응력을 계산한다.

③ 하중조건 또한 가구법(3량, 5량)으로 구분하여 지붕하중과 적설하중을 조합하여 적용된다.

④ 설계허용응력 산정 및 부재력 계산은 앞의 과정을 순서대로 적용하면 자동적으로 계산된다. 이는 목재정보에서 입력한 기준허용응력에서 다양한 보정계수를 곱하여 설계허용응력을 산정한다.

⑤ 안전성 및 사용성 검토는 수평부재인 보와 도리의 경우에 안전성검토로 휨응력 및 전단응력을 검토하고, 사용성 검토로 처짐을 검토한다. 수직부재인 기둥의 경우에는 2축휨과 축방향 압축이 조합된 하중을 받는 축응력을 검토한다.

Step4 프로그램 과정 소개

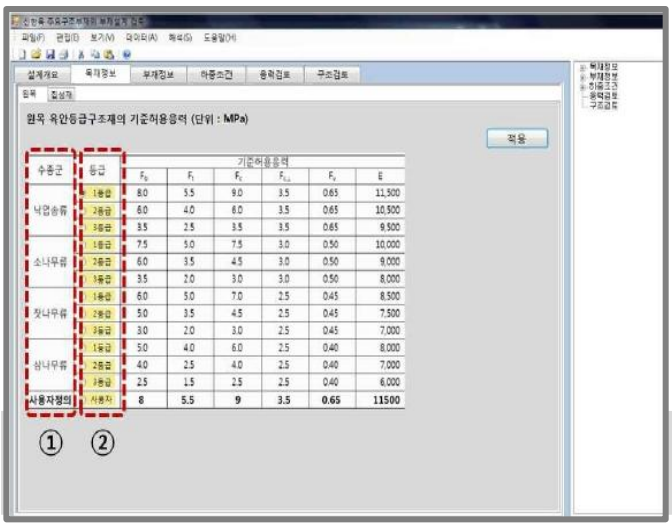


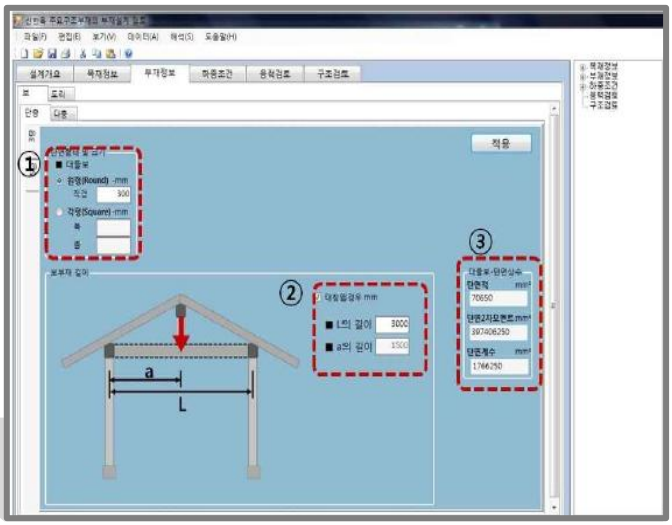
▶건물 개요 입력

간단한 건물의 정보를 입력한다.

목재 정보 입력◀

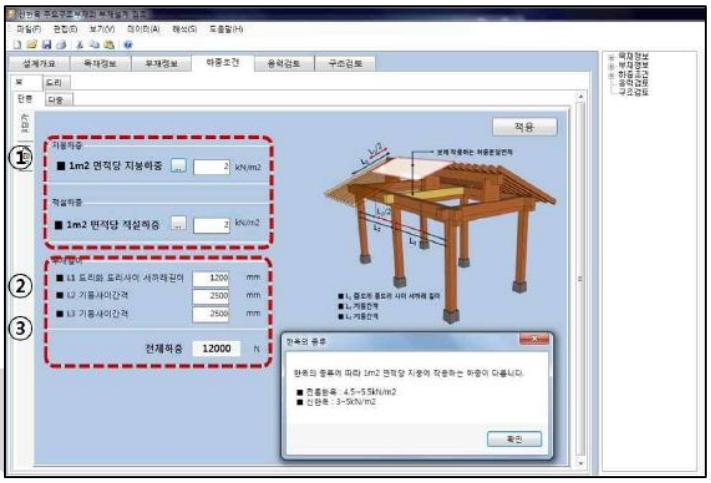
건물에 사용된 목재를 선택한다.





▶부재정보 입력

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력한다.

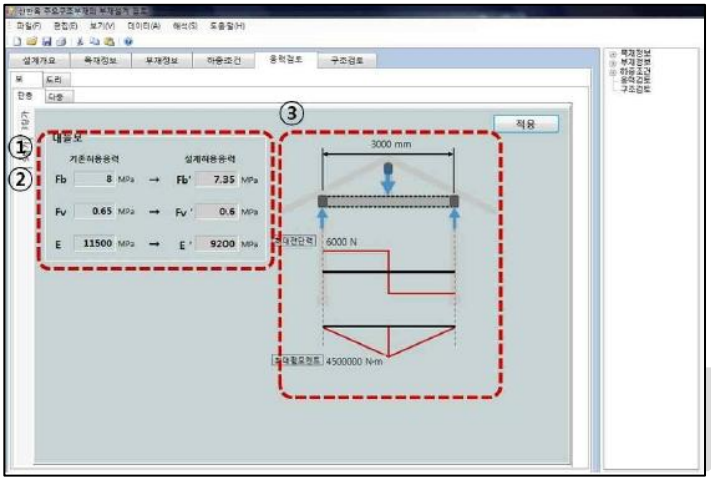


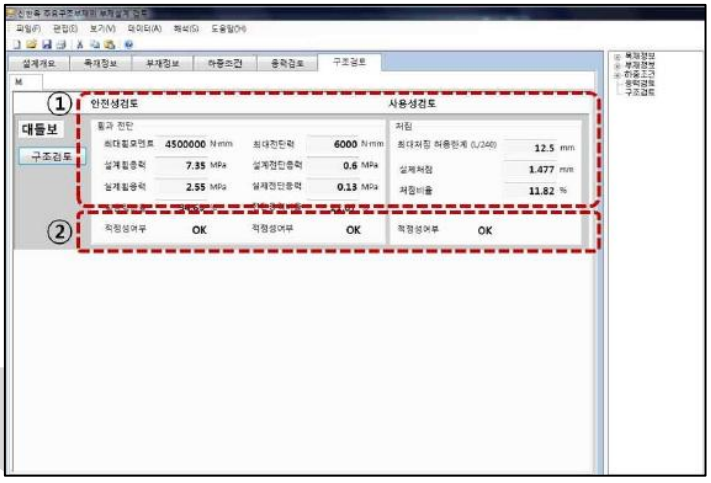
▶하중조건 입력

하중계산에 필요한 변수들을 입력하고 한옥의 하중 계산에 대한 간략한 설명이 포함되어 있다.

설계허용응력 산정 및 부재력 계산◀

보정계수를 적용하여 기준 허용응력을 설계허용응력으로 계산한다. 보정계수에 대한 간략한 설명이 포함되어 있다. 이를 통해 부재력을 자동계산한다.





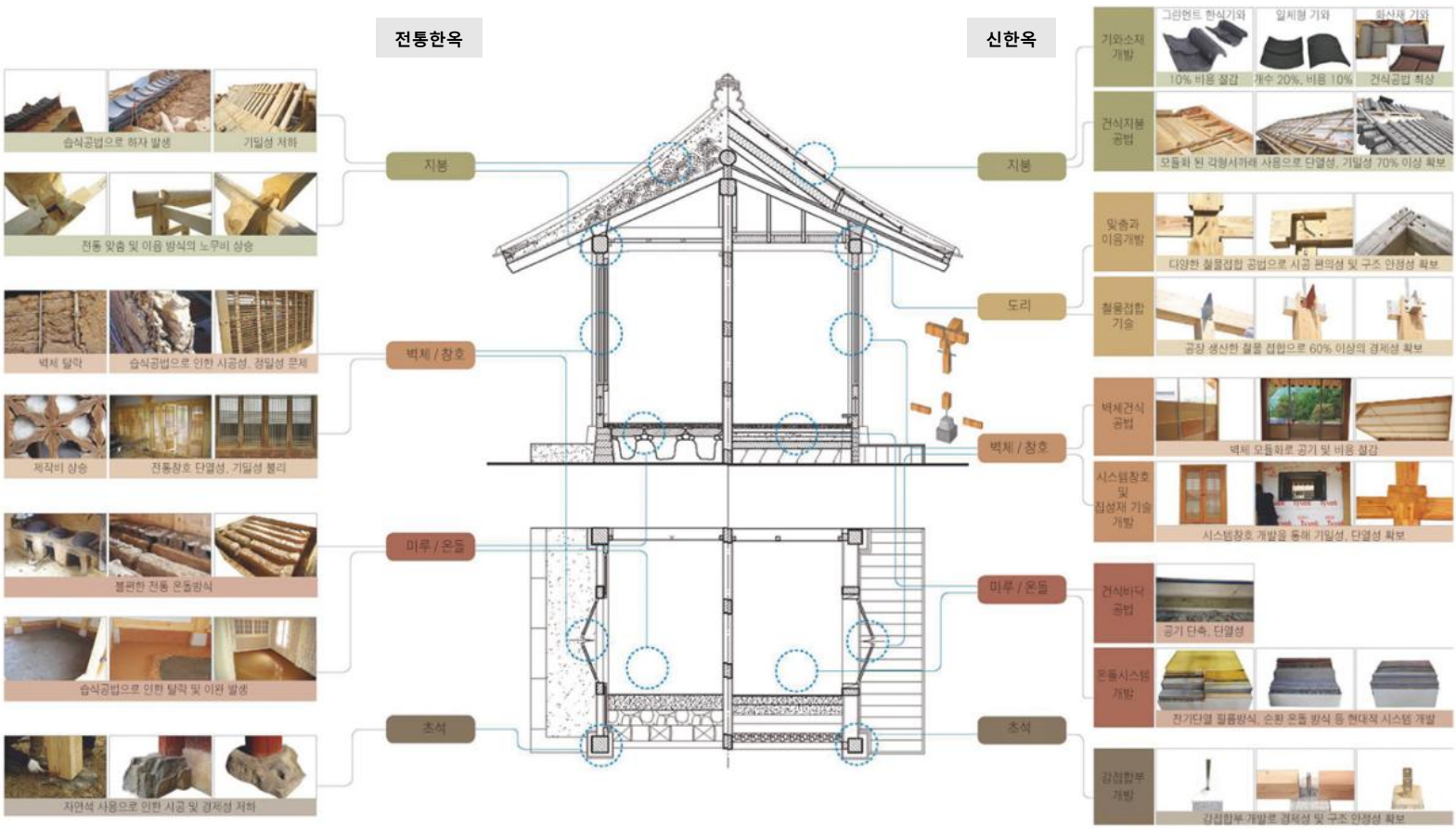
▶안정성 및 사용성 검토

안정성은 부재의 휨과 전단력을 검토하며 사용성은 부재의 처짐을 검토한다. 부재의 실질적인 응력을 수치로 확인할 수 있다.

한옥 들여다보기

신한옥 vs 전통한옥

- 부재의 모듈화를 통해 대량시스템 구축하여 전통한옥에 비해건축비가 저렴하다.
  신한옥은 기와나 담장 등의 구성재는 모듈화, 경량화함으로써 효율성을 증대하였고,
  성능과 관련된 지붕, 벽체, 창호 등을 개선하여 제반 성능을 향상하였다.



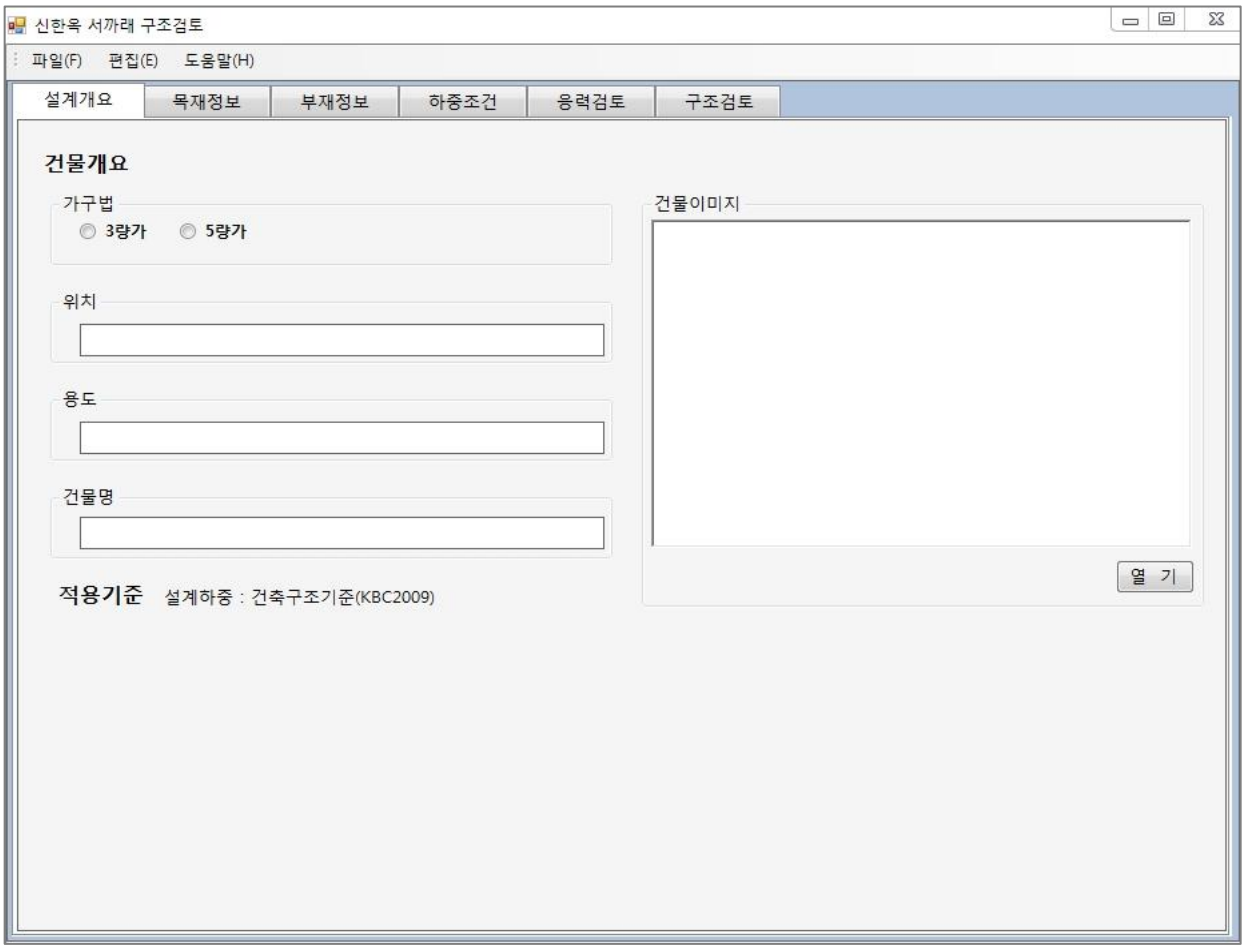
Chapter02

신한옥 구조부재 설계 자동화 소프트웨어

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어의
순서에 따른 사용방법을 자세히 알려준다.

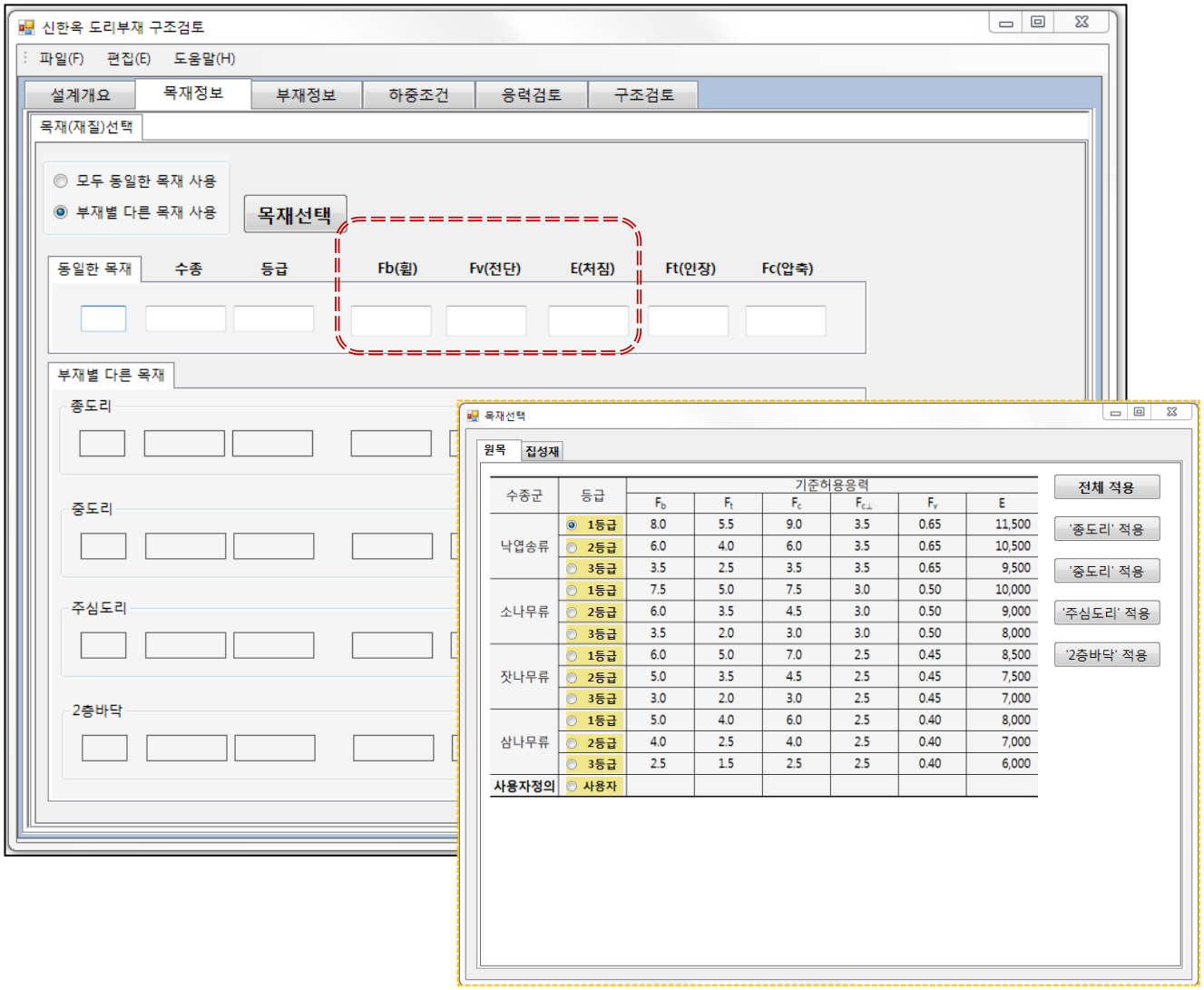
Step 01. 설계개요 입력
Step 02. 목재정보 입력
Step 03. 부재정보 입력
Step 01. 하중계산
Step 02. 설계허용응력 및 부재력 계산
Step 03. 구조검토(안전성 및 사용성 검토)

Step1 설계개요 입력



설계 개요에서는 건물의 정보를 입력하게 된다. 건물의 가구법, 위치와 같은 구조검토에 필요한 정보와 용도, 건물명, 건물이미지와 같이 차후에 건물관리에 사용될 정보들을 입력하게 된다. 이는 필수기입사항이 아닌 선택사항이다. 이를 기입하면 구조계산서에서 입력한 정보들을 확인할 수 있다.

Step2 목재(재질)정보 입력



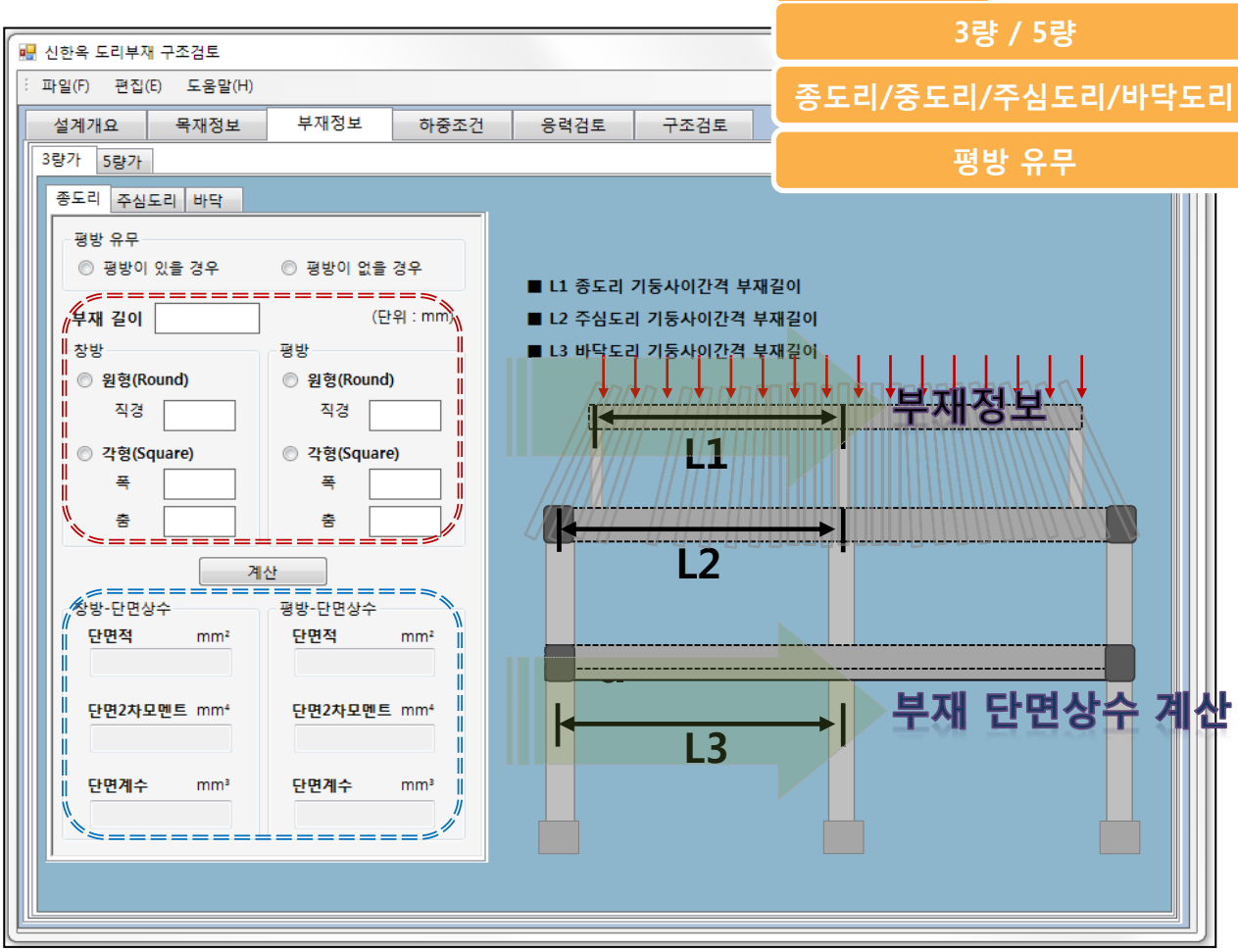
목재정보 탭에서는 건물에 사용된 목재 종류를 입력한다. 목재 종류를 선택하기 전에 검토하고자 하는 부재들이 모두 동일한 목재를 사용했는지 부재별로 다른 목재를 사용했는지를 선택한다. 그리고 목재선택 버튼을 눌러 목재의 종류를 선택한다. 원목은 크게 낙엽송, 소나무, 잣나무, 삼나무로 구분되어 있으며 수종군과 등급을 확인하여 선택하고 오른쪽 버튼을 눌러 목재의 종류와 등급의 정보를 확인한 후 적용한다. 만약 건물에 모두 동일한 목재를 사용했다면, 사용한 목재를 선택하고 전체적용을 클릭한다. 집성재는 대칭같은등급 목재와 대칭다른등급 목재로 나누어져 있고 검토하고자 하는 목재종류를 선택한다.

목재 선택은 각 나무마다 허용응력 및 변형 정도가 다르고 사용 목적에 따라 사용되는 목재의 종류는 그 건물의 성능을 좌우하기 때문에 이러한 정보를 수집하고 있다.

Step3 부재정보 입력

Check!

- 3량 / 5량
- 종도리/중도리/주심도리/바닥도리
- 평방 유무



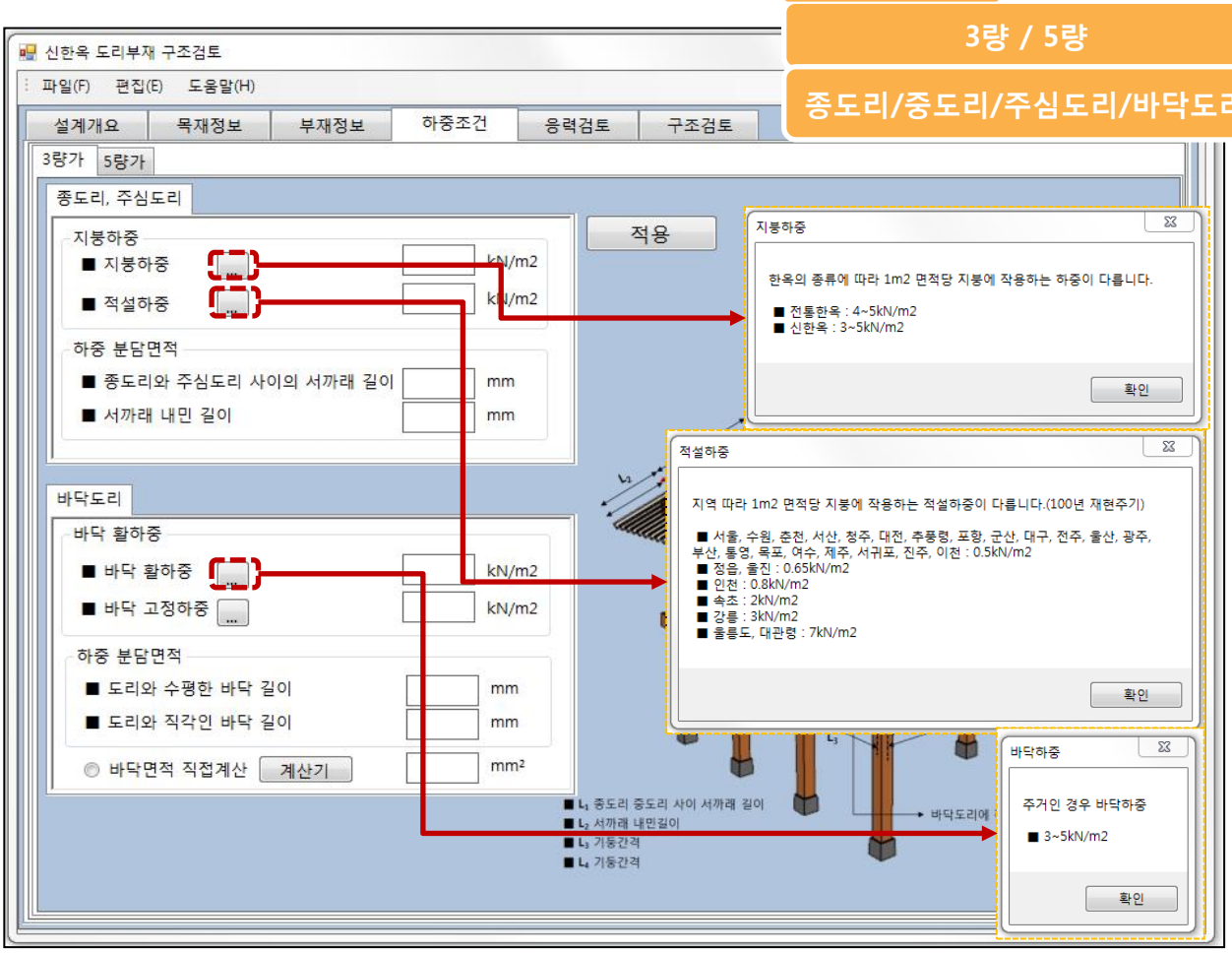
부재정보를 입력하기 전에 3량가와 5량가를 확인하여 부재정보를 입력하여야 한다. 부재정보에서는 부재의 각 치수를 기입하게 된다. 이러한 치수들은 단면상수인 단면적, 단면 2차모멘트, 단면계수를 계산하기 위함이다. 단면적은 전단력을 선정하는데 사용되고, 단면계수는 휨을 계산하기 위함이고, 단면 2차 모멘트는 처짐을 계산하는데 필요한 식이다. 기입이 필요한 부재의 부분은 그림에 표시 되어 있다. 그림을 참조 하여 기입하자.

Step4 하중계산

Check!

3량 / 5량

종도리/중도리/주심도리/바닥도리

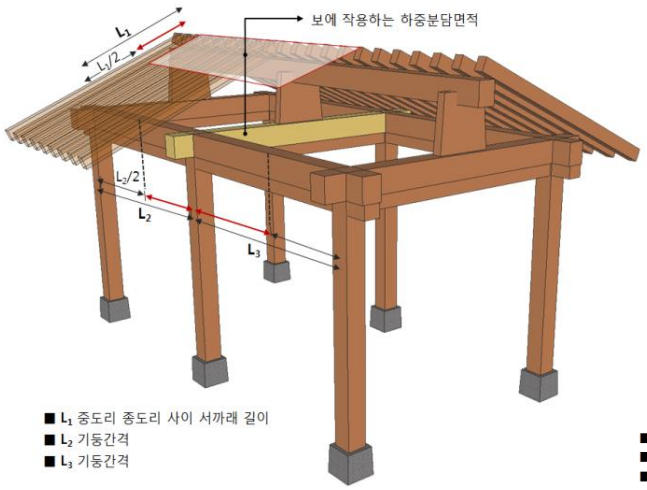


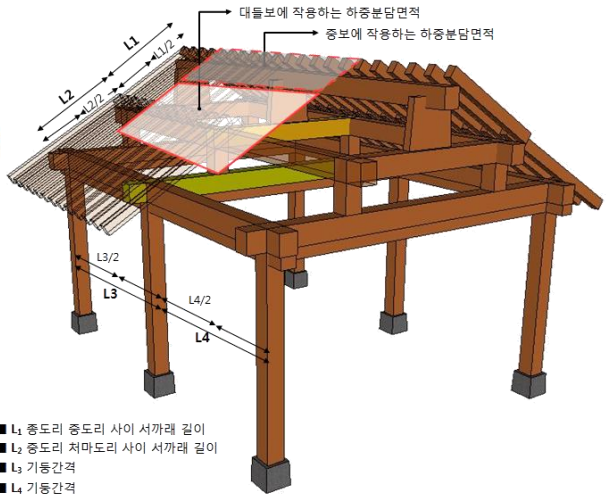
하중계산 단계에서는 하중계산을 위한 정보를 입력한다. 하중조건 탭에서 지붕과 바닥하중에 영향을 주는 정보들을 입력하게 된다. 건물에서 입력하는 하중정보로는 지붕하중과 적설하중이 있다. 지붕하중과 적설하중을 정확하게 모를 경우 ...버튼을 누르면 한옥의 종류에 따른 지붕하중과 지역에 따른 적설하중 정보 창이 나온다. 이 값은 일반적으로 계산되고 있는 수치이다. 하중은 지붕의 하중을 받는 부재의 종류에 따라서 하중도 달라진다. 따라서 전체하중을 계산하려면 도리와 도리 사이 서까래의 길이, 기둥 사이 간격 등의 치수를 입력해야 한다. 우측 그림에 입력해야 하는 부재길이에 대한 정보가 표시되어 있다. 하중과 부재길이를 모두 입력하고 적용 버튼을 누르면 좌측 아래 "전체하중"칸에 하중이 자동으로 출력된다.

[하중분담면적]

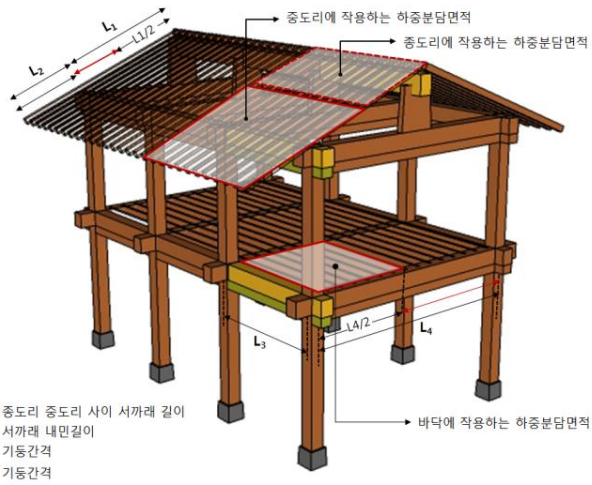
▪ 3량 / 5량

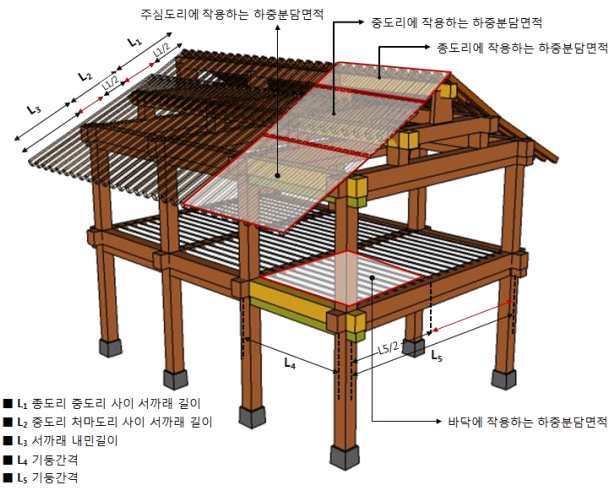
대들보





도리

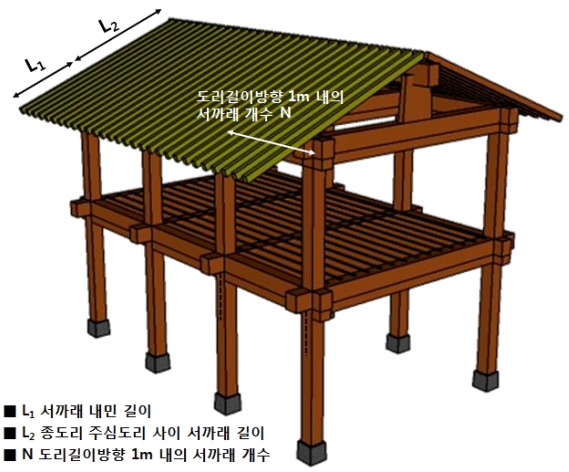


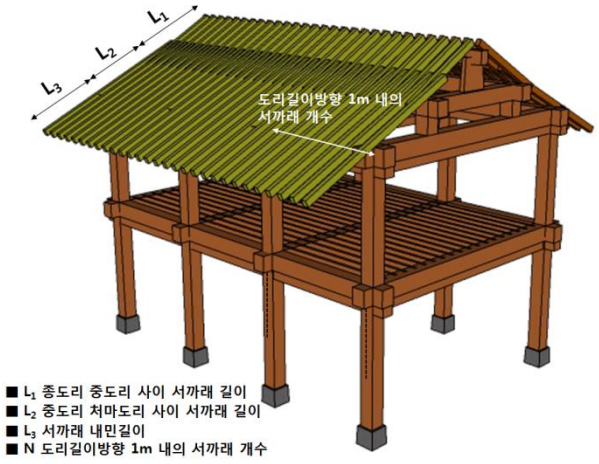


[하중분담면적]

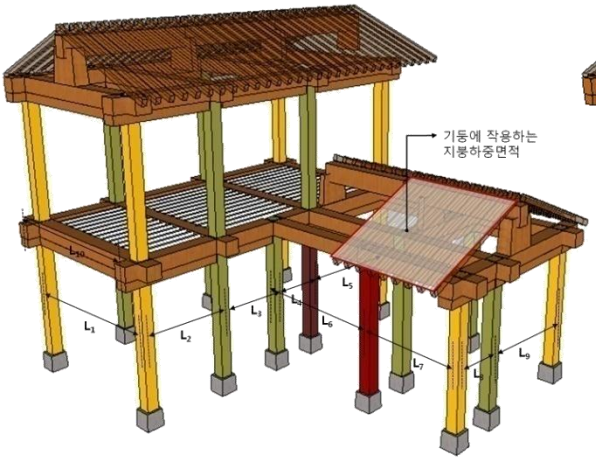
▪ 3량 / 5량

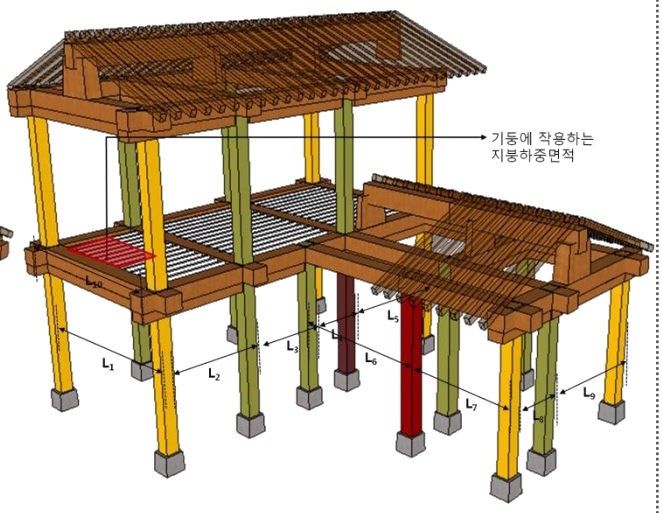
서까래



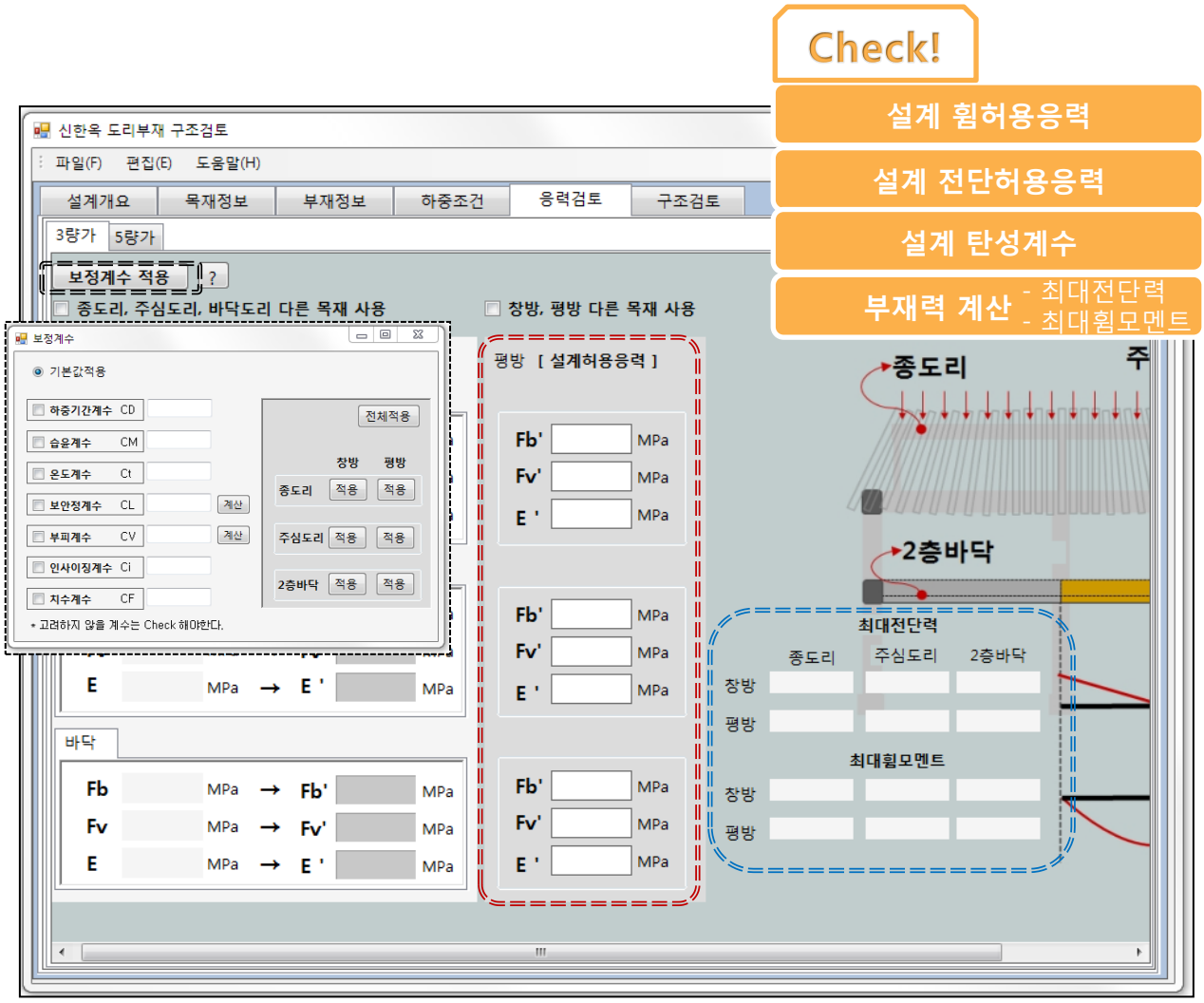


기둥





Step5 설계허용응력 및 부재력 계산



응력검토 탭에서는 응력검토를 위한 값들과 보정계수를 입력해야 하는데 "보정계수 적용" 버튼을 누르면 보정계수 입력창이 뜬다. 응력을 구하기 위해선 보정계수와 부재력을 필요로 한다. 보정계수 창에서 각각의 계수에 값들을 입력하고 값들을 잘 모르는 경우 기본값적용을 체크하여 적용을 누르면 된다. 만일 고려하지 않을 계수가 있을 시에는 해당계수 앞에 체크를 하면 된다. 계수에 대하여 잘 모른다면 "보정계수 적용" 버튼 옆에 ? 버튼을 클릭하여 도움말을 참조하자. 모든 값을 입력하고 적용 버튼을 누르면 설계 허용 응력과 부재력이 동시에 계산된다. 우측 그림에 계산 값들이 출력이 되었으면 마지막 단계인 구조검토 탭으로 넘어가자.

Step6 구조검토(안전성 및 사용성 검토)

Check!

- 안전성 / 사용성 검토
- 응력비율
- 적정성여부

구조검토 탭에서는 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 부재의 사용성과 안정성을 판단한다. 3량가와 5량가 탭으로 나누어져 있으며 각각의 부재에 대해 구조검토가 된다. 안전성은 휨과 전단으로 판단하며 사용성은 처짐으로 판단한다. 각 값들은 기준값 이하의 값일 경우 "OK.부재가 안전합니다."라고 출력이 되고 기준값 이상이면 "NG.부재설계를 다시 해야 됩니다."라는 메시지가 출력이 된다. 실질적인 응력과 응력 비율이 출력되기 때문에 부재를 수치적으로 판단할 수 있다.

한옥 들여다보기

5량가

3량가

가구법의 종류

- 일반적으로 지붕을 받치고 있는 도리의 수에 따라 3량가, 5량가, 7량가, 9량가 등으로 가구의 형식을 구분한다.

- 한옥은 3량가와 5량가 2가지가 대부분이다.

Chapter03

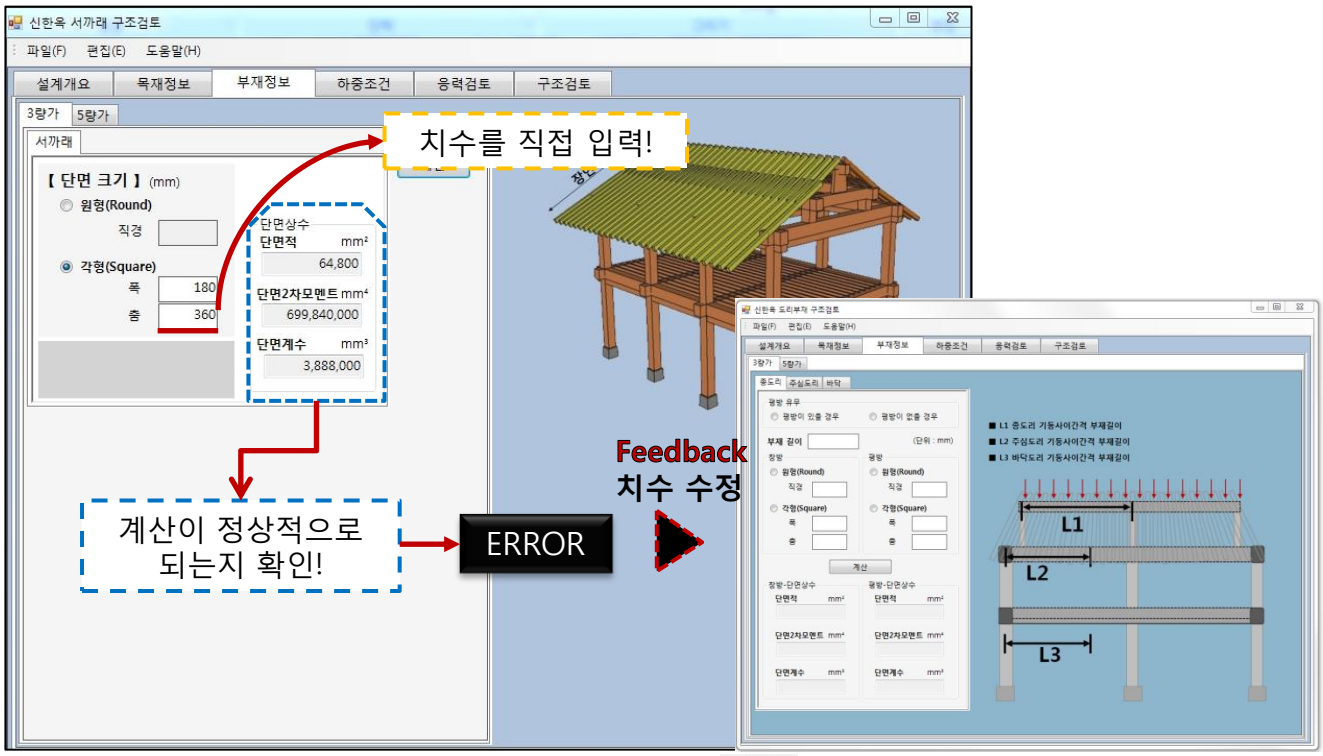
실전 예제

신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어의 사용법을
각 부재들의 실전 예제를 통해 프로그램을 익힌다.

Step 01. 대들보 실전 예제
Step 02. 도리 실전 예제
Step 03. 서까래 실전 예제
Step 04. 기둥 실전 예제

이제 실제 한옥을 가지고 구조 안정성과 적정성을 검토해보자.
한옥은 지금 명지대학교에 있는 실험한옥으로 정보를 입력해보자.
명지대학교 용인 캠퍼스 내에 위치하며 기존 한옥에서 현대식으로 개량된 한옥이다.

실전 예제를 통해 소프트웨어를 직접 사용하여 손에 익혀보자.
또한 예제 작성에서 멈추지 말고 다른 건물들의 치수도 입력해보면서 소프트웨어를 익혀보자.



Step1 대들보

1. 건물의 개요를 입력하기

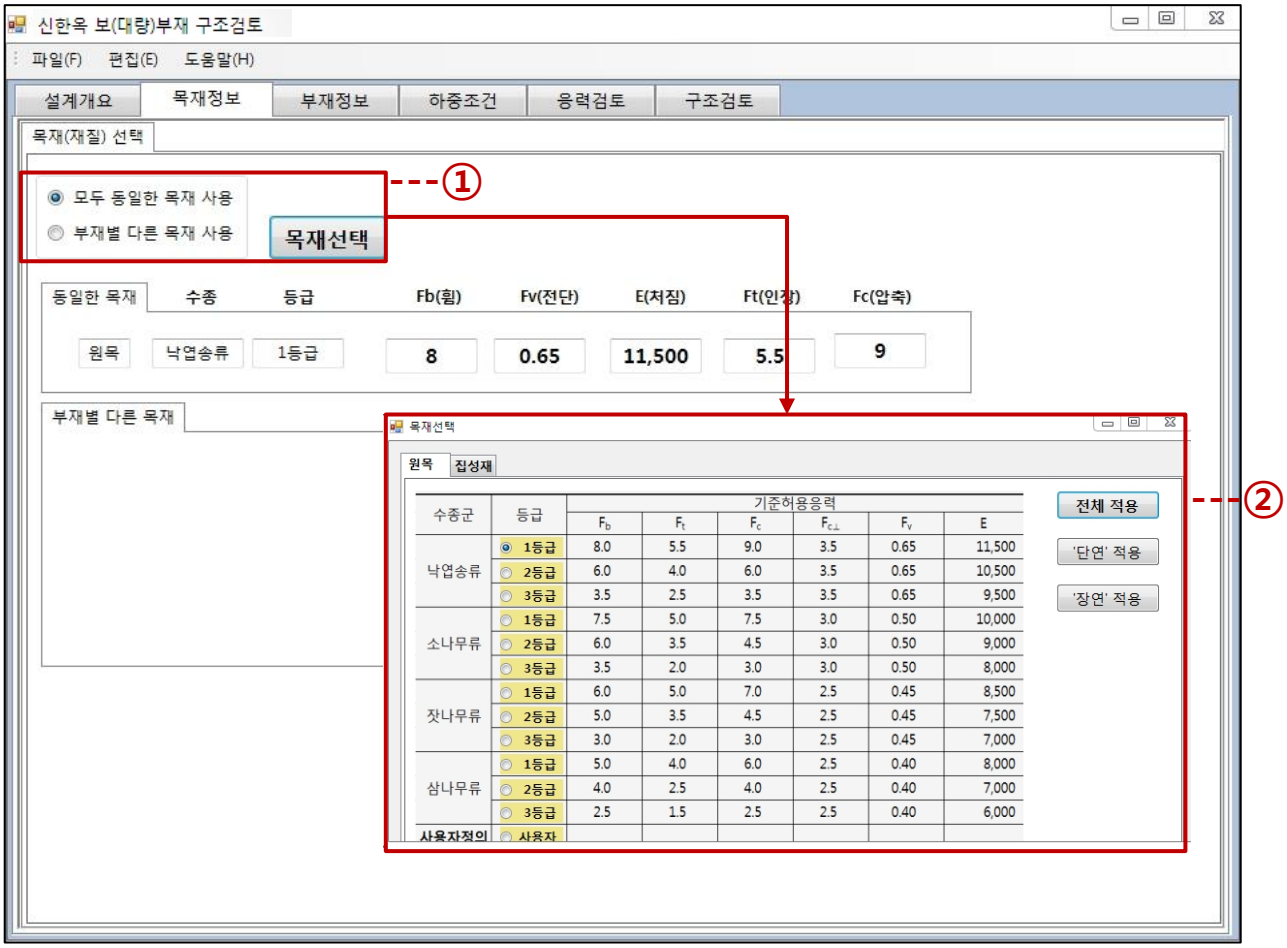
명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

명지대학교 실험한옥에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.



① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.

② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.

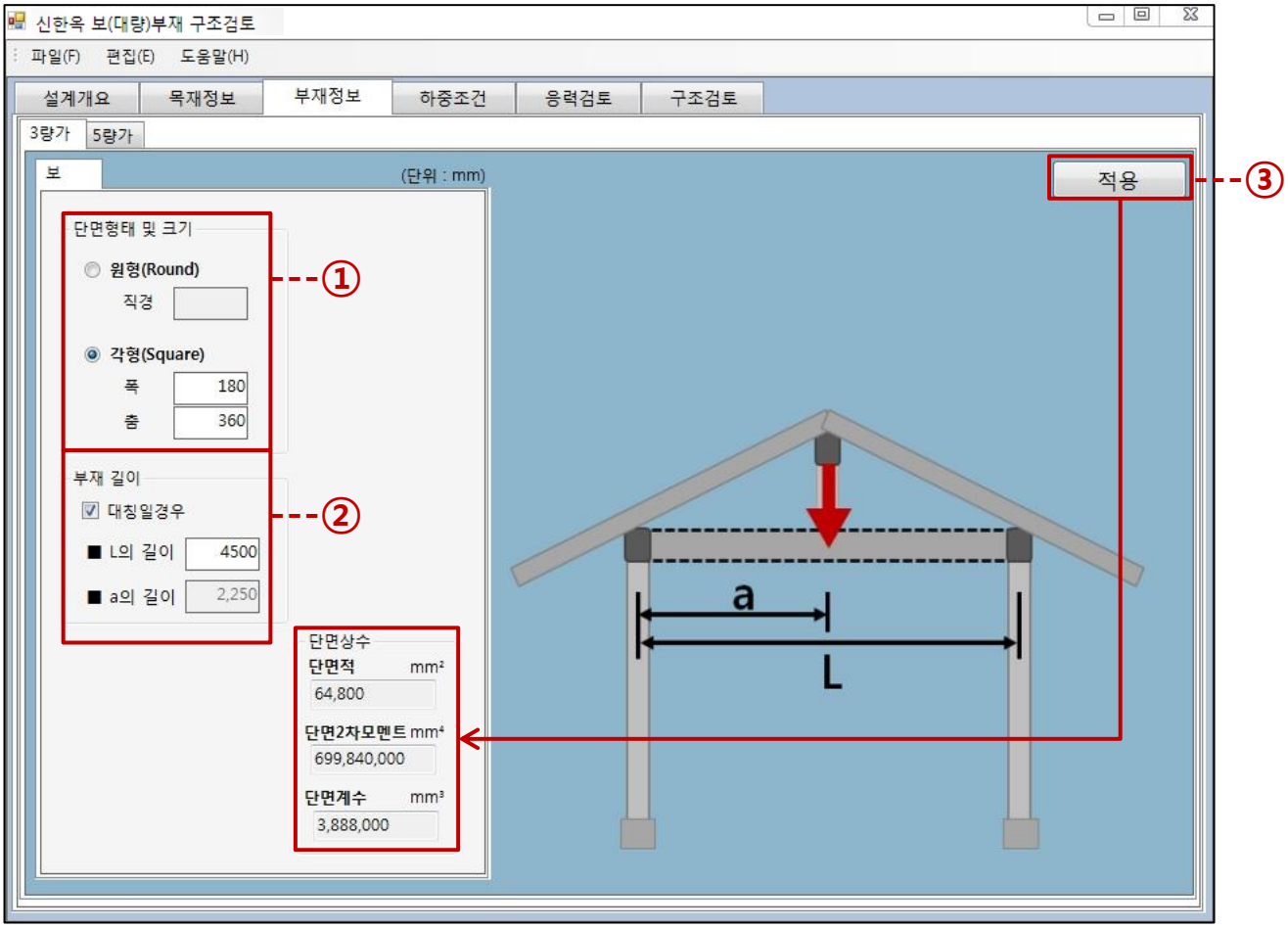
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



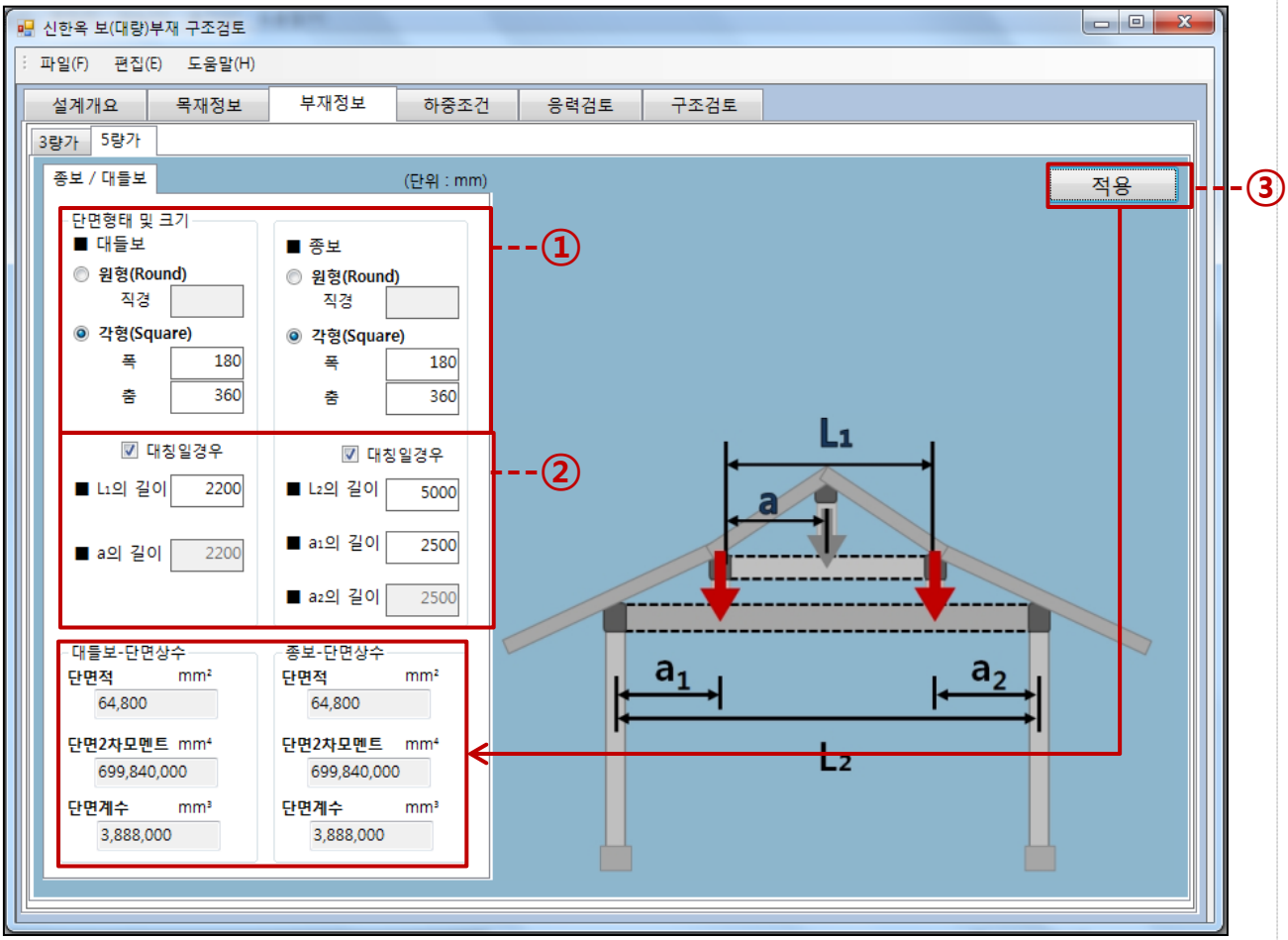
① 단면형태 및 크기를 입력하여야 한다. 실험한옥에 사용된 부재는 각형 180mmX360mm 이므로 각형에 체크를 하고 폭과 춤에 치수를 입력하자.

② 부재의 길이는 보가 대칭이므로 대칭에 체크를 하고 L의 길이 4500을 입력하자.

③ 치수를 입력하고 우측 상단에 "적용"버튼을 누르면, 단면적=64,800mm^2, 단면 2차 모멘트=699,840,000mm^4, 단면계수=3,888,000mm^3 가 출력이 된다.

계산된 값이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 단면형태 및 크기를 입력하여야 한다. 실험한옥에 사용된 부재는 각형 180mmX360mm 이므로 대들보와 종보 모두 각형에 체크를 하고 폭과 춤에 치수를 입력하자.

② 부재의 길이는 보가 대칭이므로 대칭에 체크를 하고 L1=2,200mm, L2=5,000mm을 입력하자.

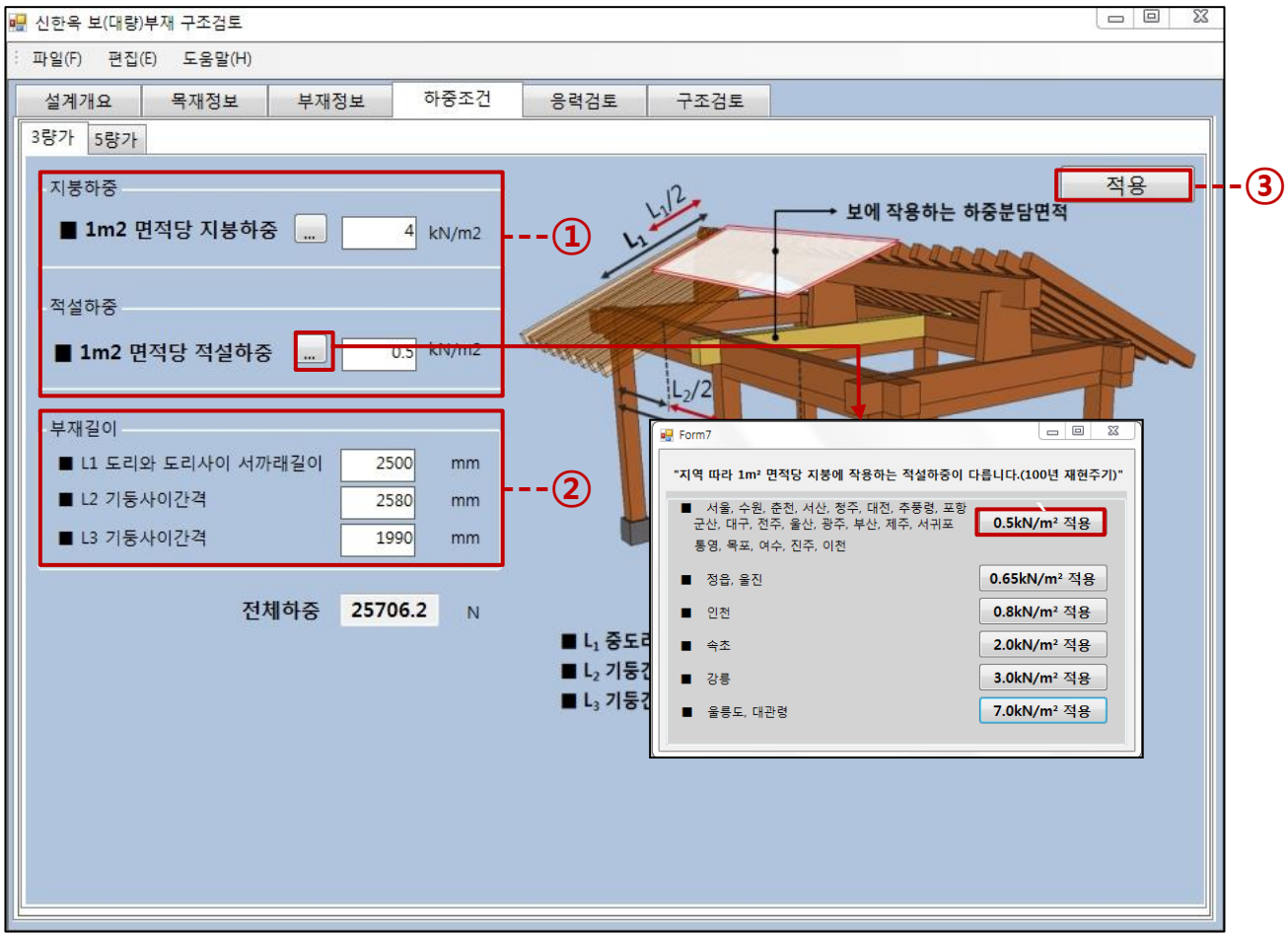
③ 치수를 입력하고 우측 상단에 "적용"버튼을 누르면 대들보와 종보의 단면적과 단면2차 모멘트, 단면계수가 계산이 된다.

계산된 값이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



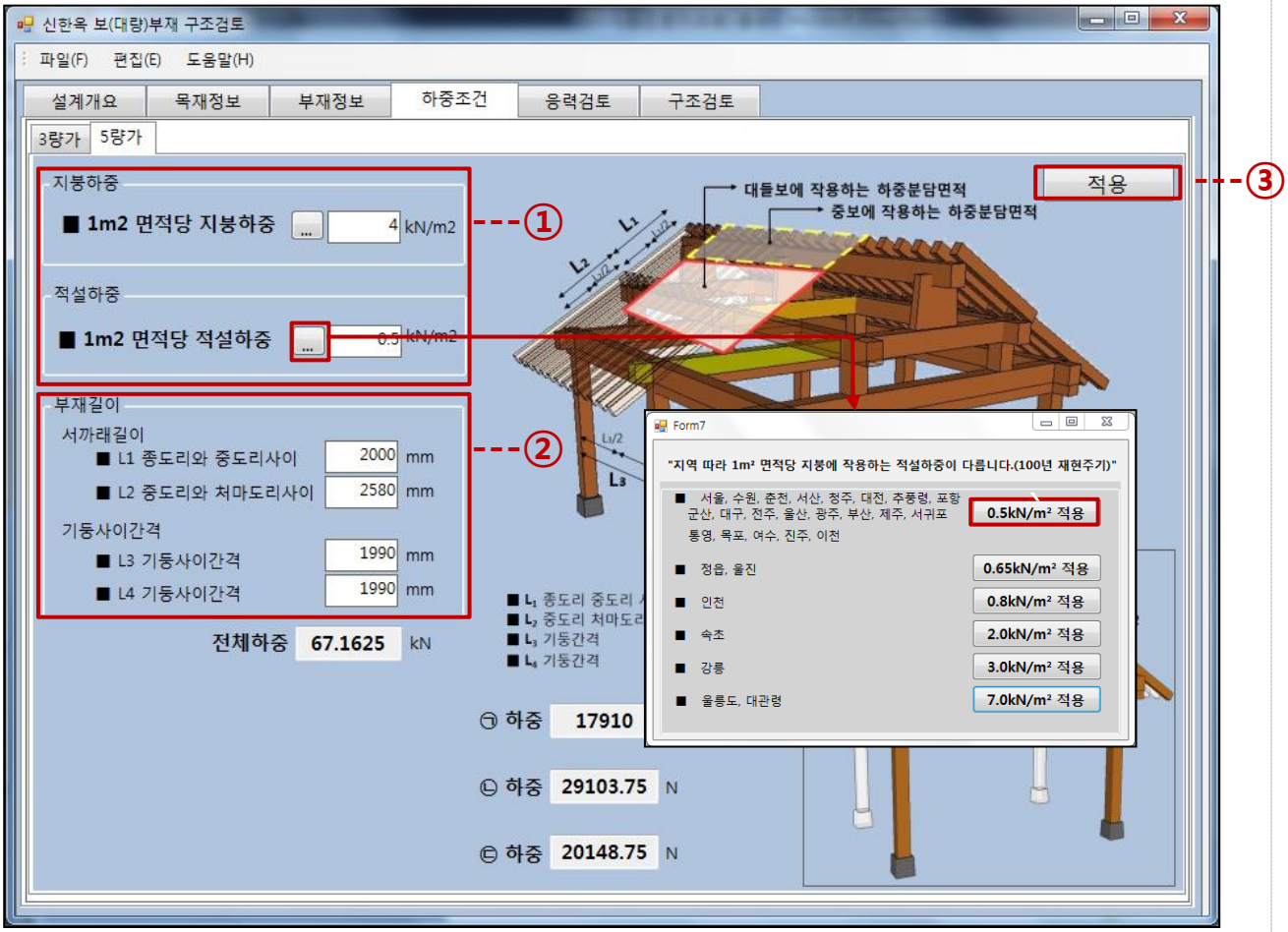
① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교 실험한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치해 있으므로 0.5kN/m²을 입력하자.

② 부재길이를 입력하자.
L1(도리와 도리사이 서까래길이)=2,500mm
L2(기둥사이간격)=2,580mm
L3(기둥사이간격)=1,990mm 을 각각 입력하자.

③ 값들을 모두 입력하였으면 우측 상단에 "적용"버튼을 누르자. "적용"버튼을 누르면 하단 "전체하중"칸에 25,706.2 N이 출력이 된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 하중조건의 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교 실험한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치해 있으므로 0.5kN/m²을 입력하자.

② 부재길이를 입력하자.
L1(종도리와 중도리사이) = 2,000mm
L2(중도리와 처마도리사이) = 2,580mm
L3(기둥사이간격) = 1,990mm
L4(기둥사이간격) = 1,990mm을 각각 입력하자.

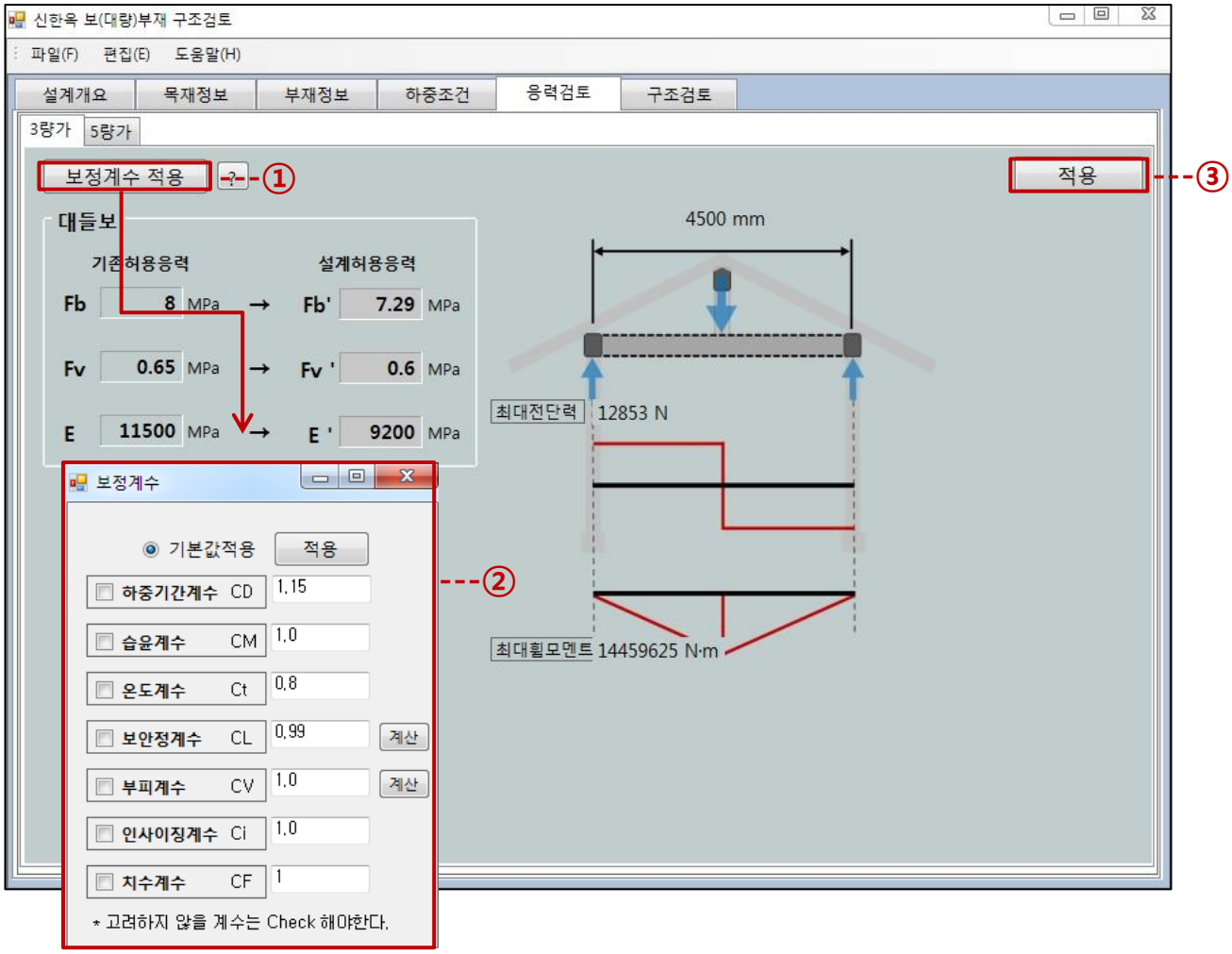
③ 값들을 모두 입력하였으면 우측 상단에 "적용"버튼을 누르자. "적용"버튼을 누르면 하단 "전체하중"칸에 67.1625 kN이 출력이 된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

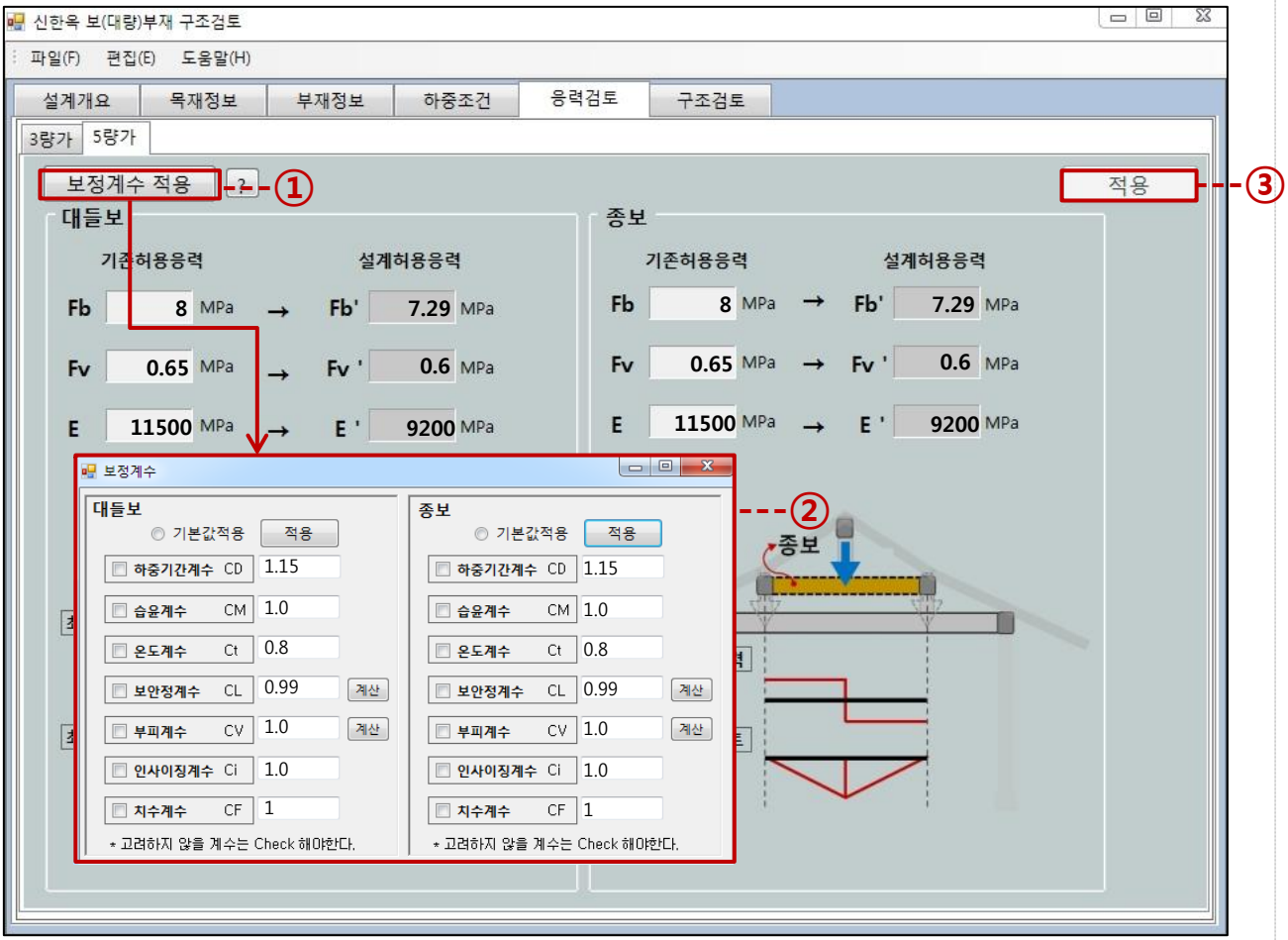


① "보정계수 적용" 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 보정계수 창을 닫자.

② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면,
설계허용응력 Fb'=7,29MPa, Fv'=0.6MPa, E'=9200Mpa, 최대 전단력= 12,853 N, 최대 휨모멘트= 14,459,625Nm 이 출력된다.

응력들이 화면에 출력이 되면, 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해보자.

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



① "보정계수 적용" 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 보정계수 창을 닫자.

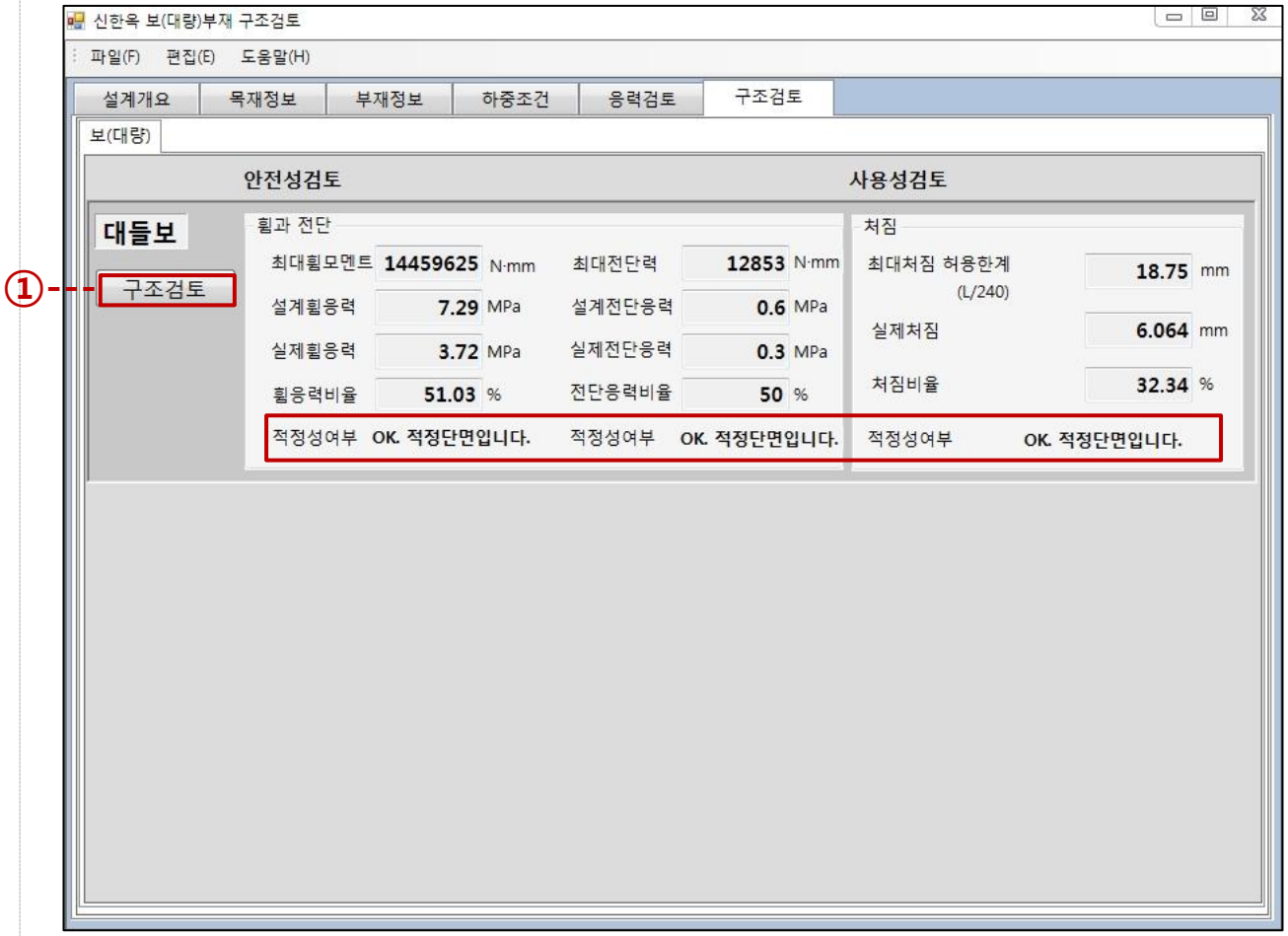
② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면,
대들보에서 설계허용응력 Fb'= 8.1MPa, Fv'= 0.6MPa, E'= 9200Mpa,
최대 전단력 = 24,626N, 최대휨모멘트 = 30,782,500Nmm
종보에서 설계허용응력 Fb'= 8.1MPa, Fv'= 0.6MPa, E'= 9200Mpa,
최대 전단력 = 8,955N, 최대휨모멘트 = 4,925,250Nmm

응력들이 화면에 정상적으로 출력이 되었으면, 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

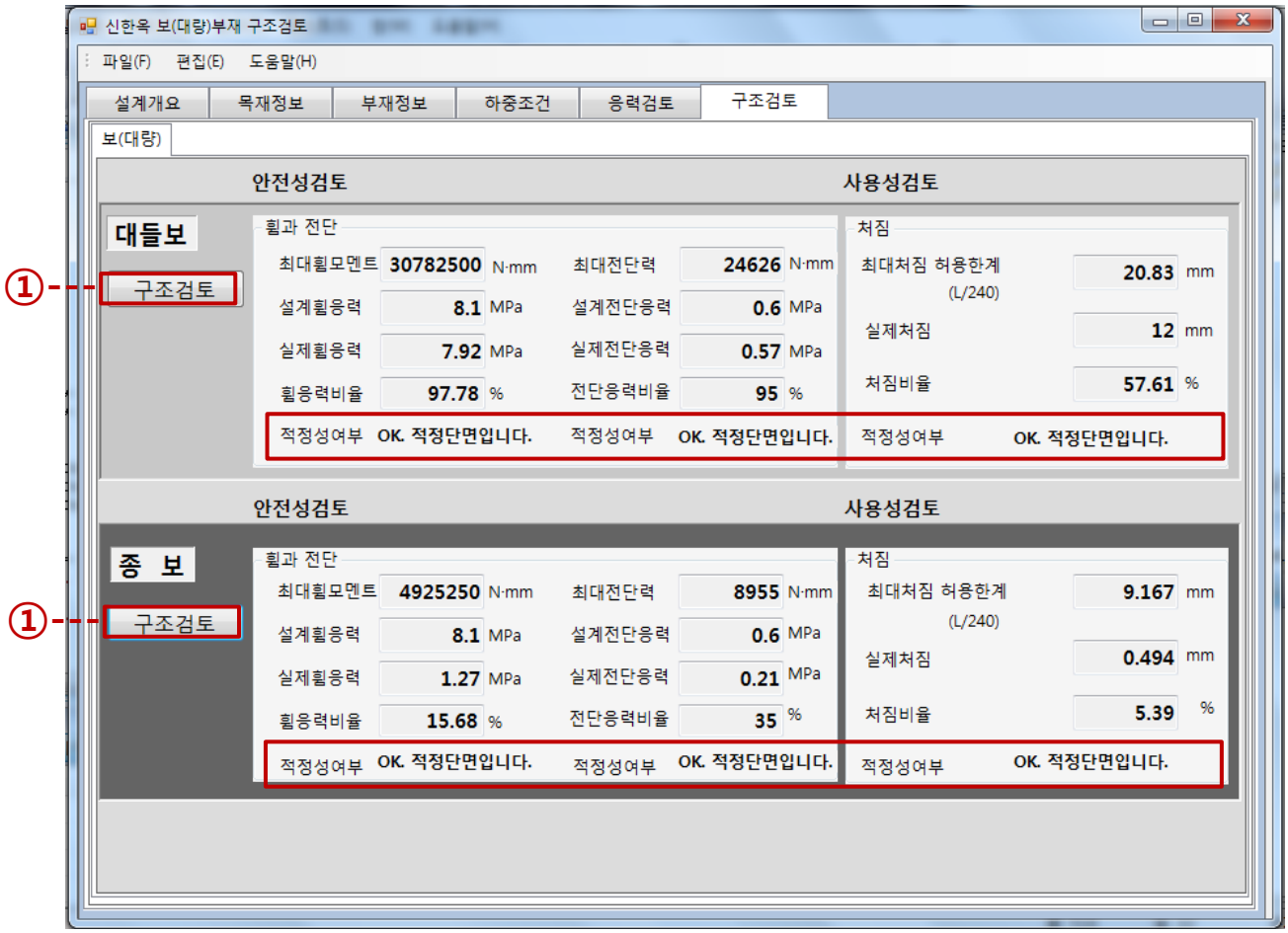
마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하여 하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
휨응력비율 = 51.03%, 전단응력비율 = 50%, 처짐비율 = 32.34%로 모두 OK사인이 출력이 된다.

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하여 하자.

② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
대들보에서는 휨응력비율 = 97.78%, 전단응력비율 = 95%, 처짐비율 = 57.61%로 모두 OK사인이 출력된다.
종보에서는 휨응력비율 = 15.68%, 전단응력비율 35%, 처짐비율 = 5.39%로 OK사인이 출력된다.

Step2 도리

1. 건물의 개요를 입력하기

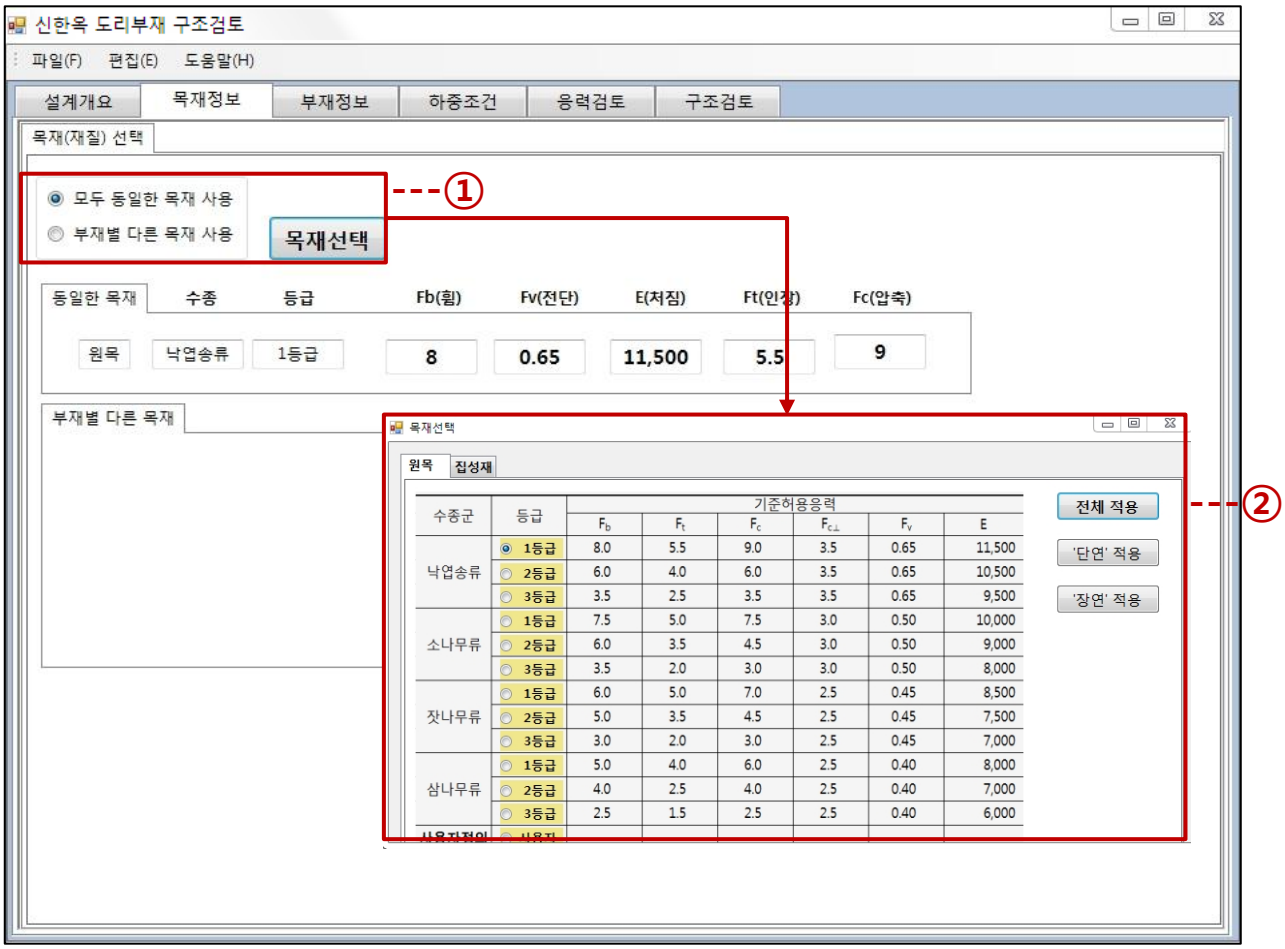
명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

명지대학교 실험한옥에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.



① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.

② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.

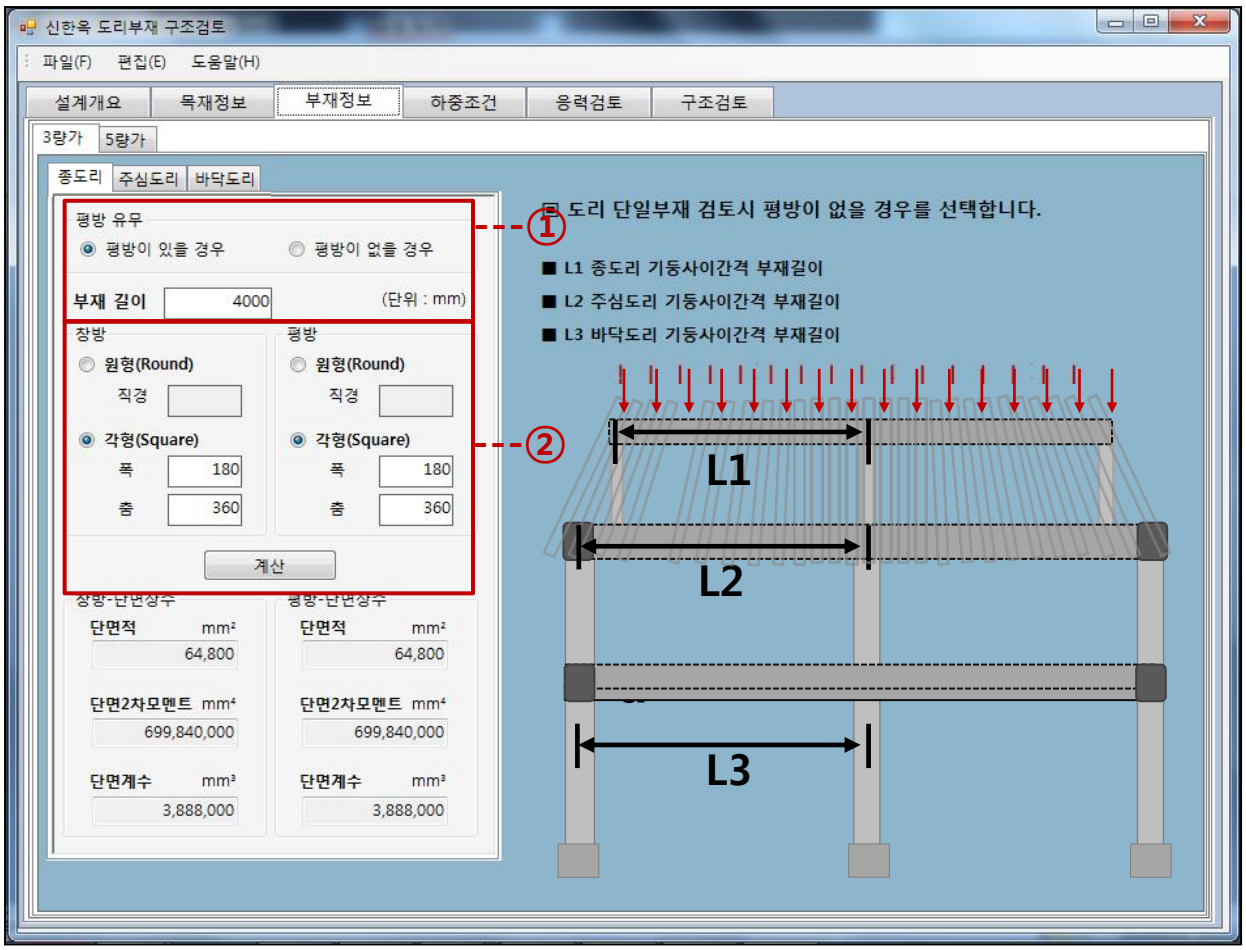
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



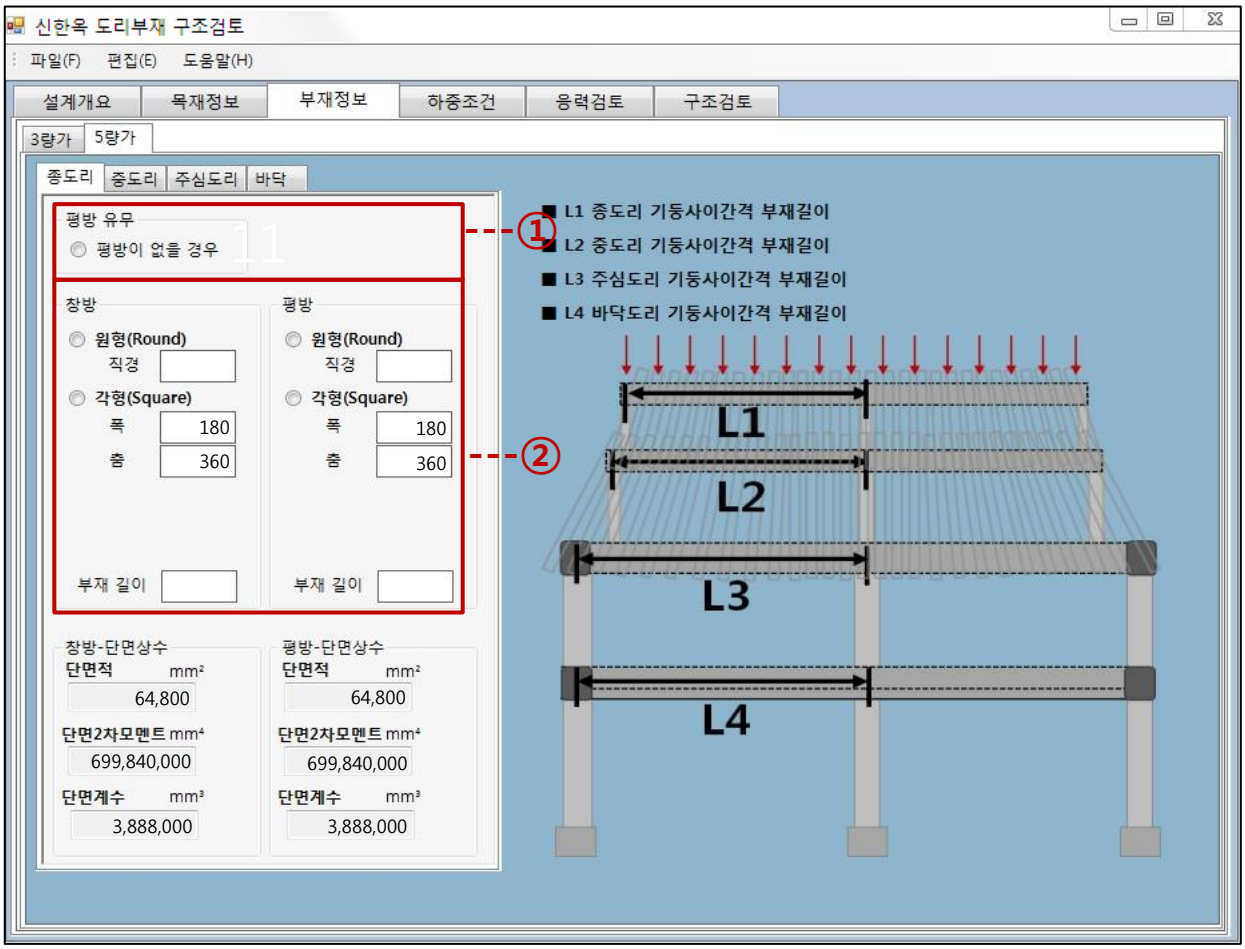
① 평방의 유무와 부재의 길이를 입력하자. 평방이 있으므로 평방이 있을 경우에 체크를 하고 부재길이= 4,000mm을 입력하자.

② 창방과 평방의 치수를 입력하자. 건물의 창방과 평방은 각형이고 180mmX360mm이므로 각각의 치수를 입력하자. 치수를 모두 입력하였으면 "계산"버튼을 클릭하자.

③ 계산버튼을 클릭하였으면, 단면적=64,800mm^2, 단면2차모멘트=699,840,000mm^4, 단면계수=3,888,000 mm^{3}가 출력이 된다.

마찬가지로 주심도리와 바닥도리의 부재정보를 입력하고 계산된 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 평방의 유무와 부재의 길이를 입력하자. 평방이 있으므로 평방이 있을 경우에 체크를 하자.

② 창방과 평방의 치수를 입력하자. 건물의 창방과 평방은 각형이고 180mmX360mm이므로 각각의 치수를 입력하자. 치수를 모두 입력하였으면 "계산"버튼을 클릭하자.

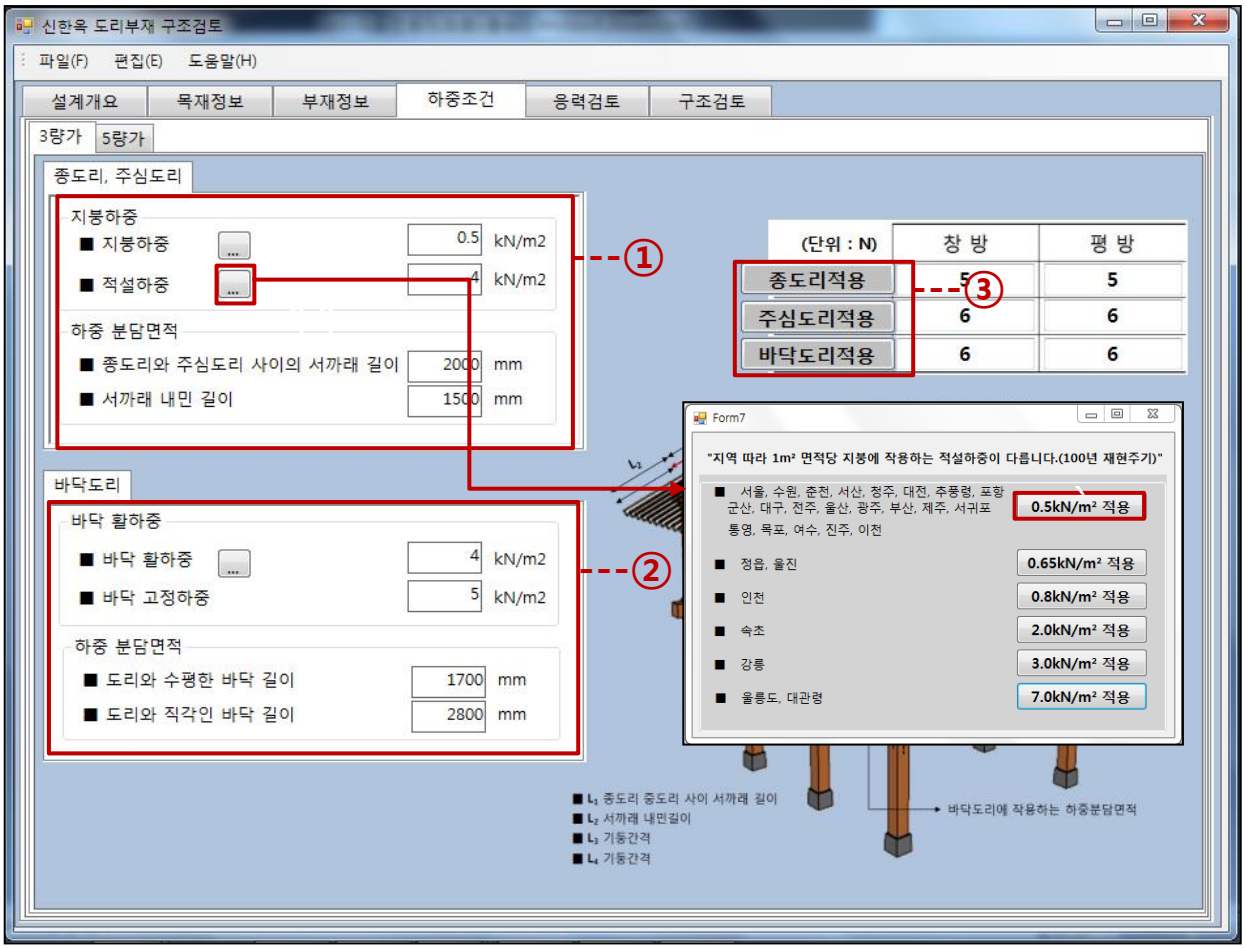
③ 계산버튼을 클릭하였으면, 단면적=64,800mm^2, 단면2차모멘트=699,840,000mm^4, 단면계수=3,888,000 mm^{3}가 출력이 된다.

마찬가지로 중도리, 주심도리, 바닥에 부재정보를 입력하고 계산된 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



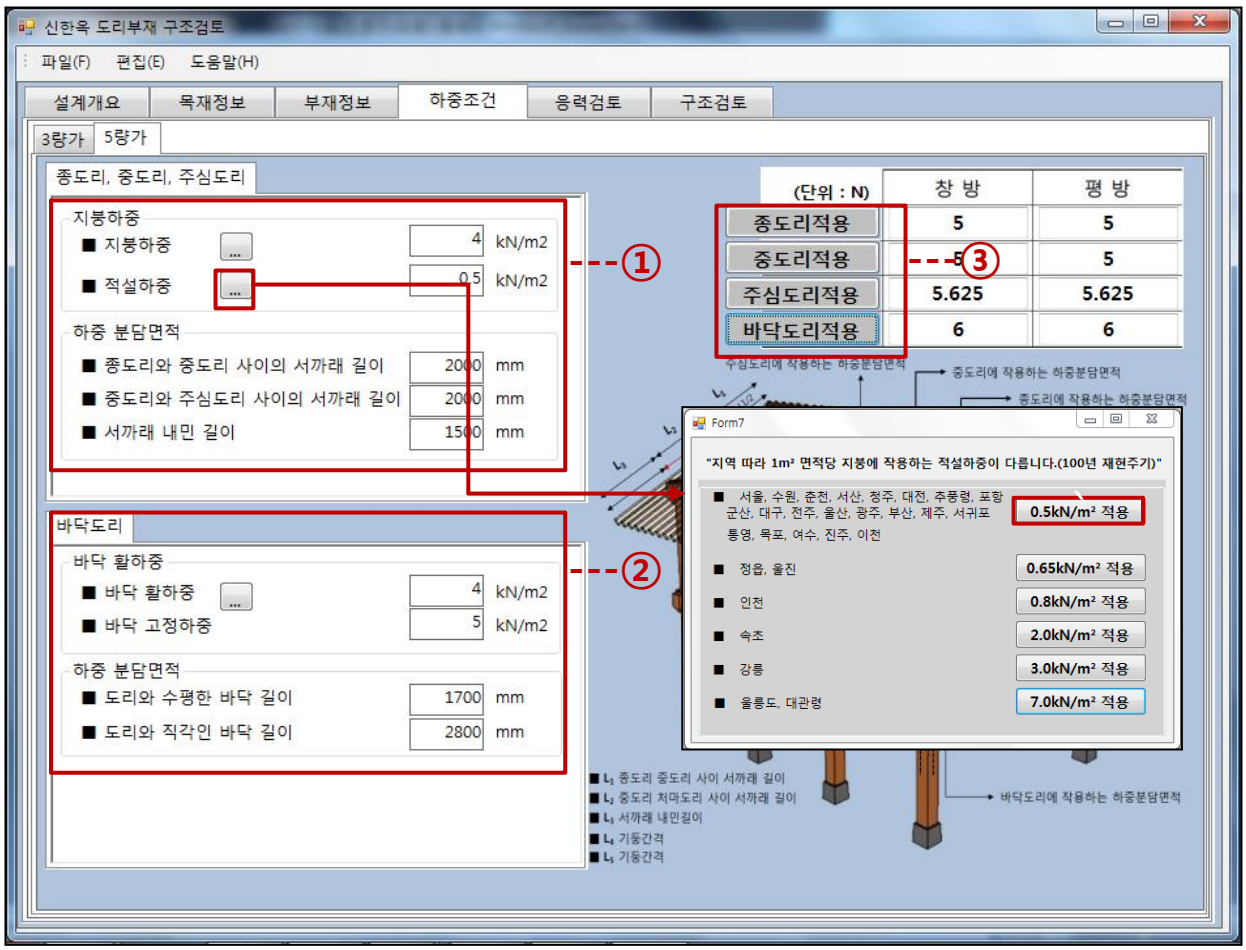
① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교의 실험 한옥은 신한옥 이므로 4kN/m², 적설하중은 경기도 용인에 위치하여 있으므로 0.5kN/m²적용을 클릭하자.
적용버튼을 누른 후 하중분담면적에 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이= 2,000mm 서까래 내민 길이= 1,500mm를 입력하자.

② 바닥도리 정보를 입력하자.
바닥 활하중= 4kN/m2, 바닥 고정하중= 5kN/m2
도리와 수평한 바닥 길이= 1,700mm, 도리와 직각인 바닥 길이= 2,800mm를 입력하자.

③ 종도리, 주심도리, 바닥도리 적용버튼을 클릭하자. 버튼을 클릭하면 창방과 평방에 작용하는 하중이 계산이 되어 출력이된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 명지대학교의 실험 한옥은 신한옥 이므로 4kN/m^2, 적설하중은 용인에 위치하여 있으므로 0.5kN/m^{2}적용을 클릭하자.
적용버튼을 누른 후 하중분담면적에 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이= 2,000mm 서까래 내민 길이= 2,000mm, 서까래 내민 길이= 1,500mm를 입력하자.

② 바닥도리 정보를 입력하자.
바닥 활하중= 4kN/m2, 바닥 고정하중= 5kN/m2
도리와 수평한 바닥 길이= 1,700mm, 도리와 직각인 바닥 길이= 2,800mm를 입력하자.

③ 중도리, 종도리, 주심도리, 바닥도리 적용버튼을 클릭하자. 버튼을 클릭하면 창방과 평방에 작용하는 하중이 계산이 되어 출력이된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

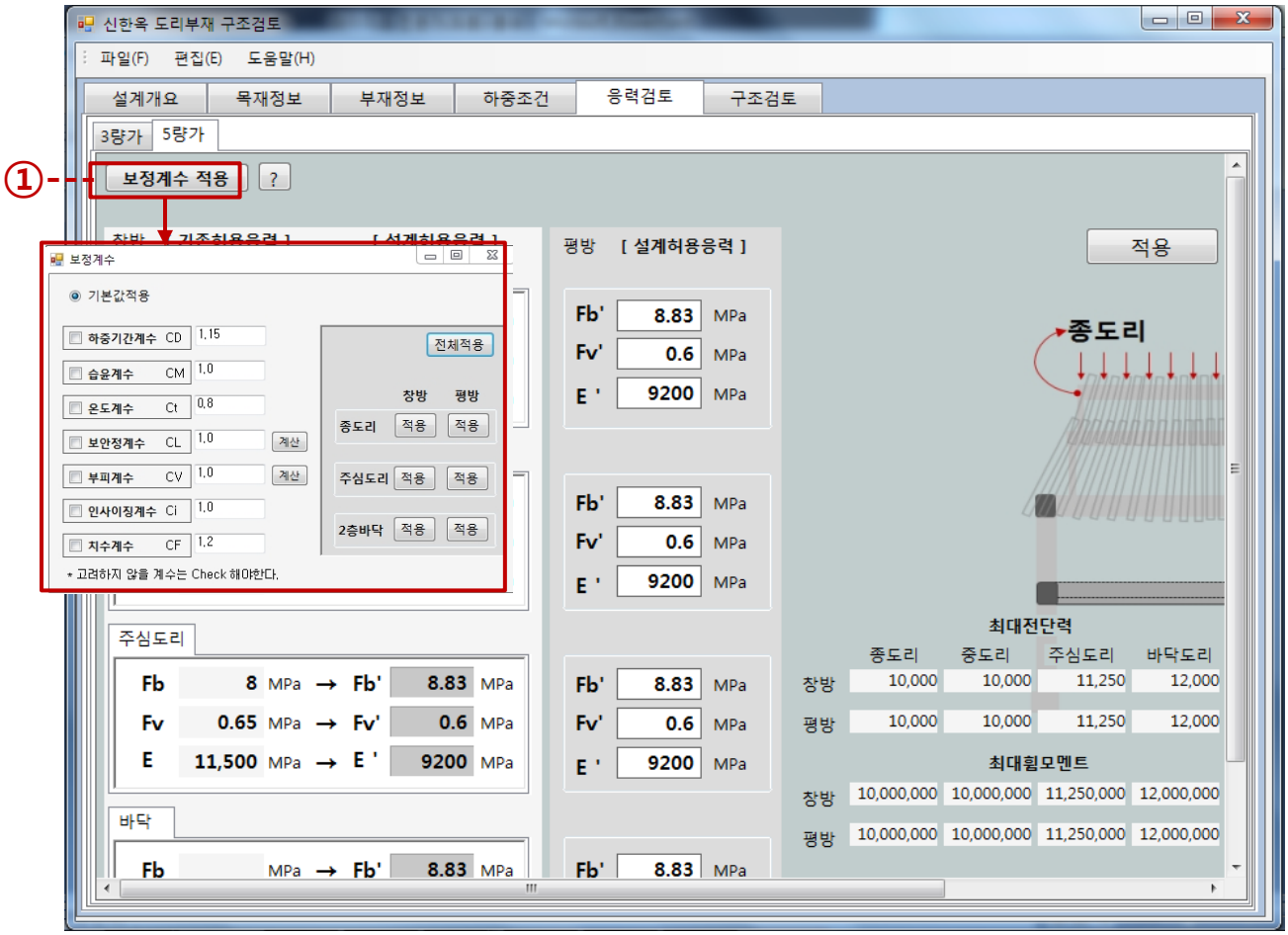
1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 모두 계산이 된다. 또한 우측그림에 종도리, 주심도리, 2층 바닥의 창방과 평방에 작용하는 응력이 표시가 된다.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

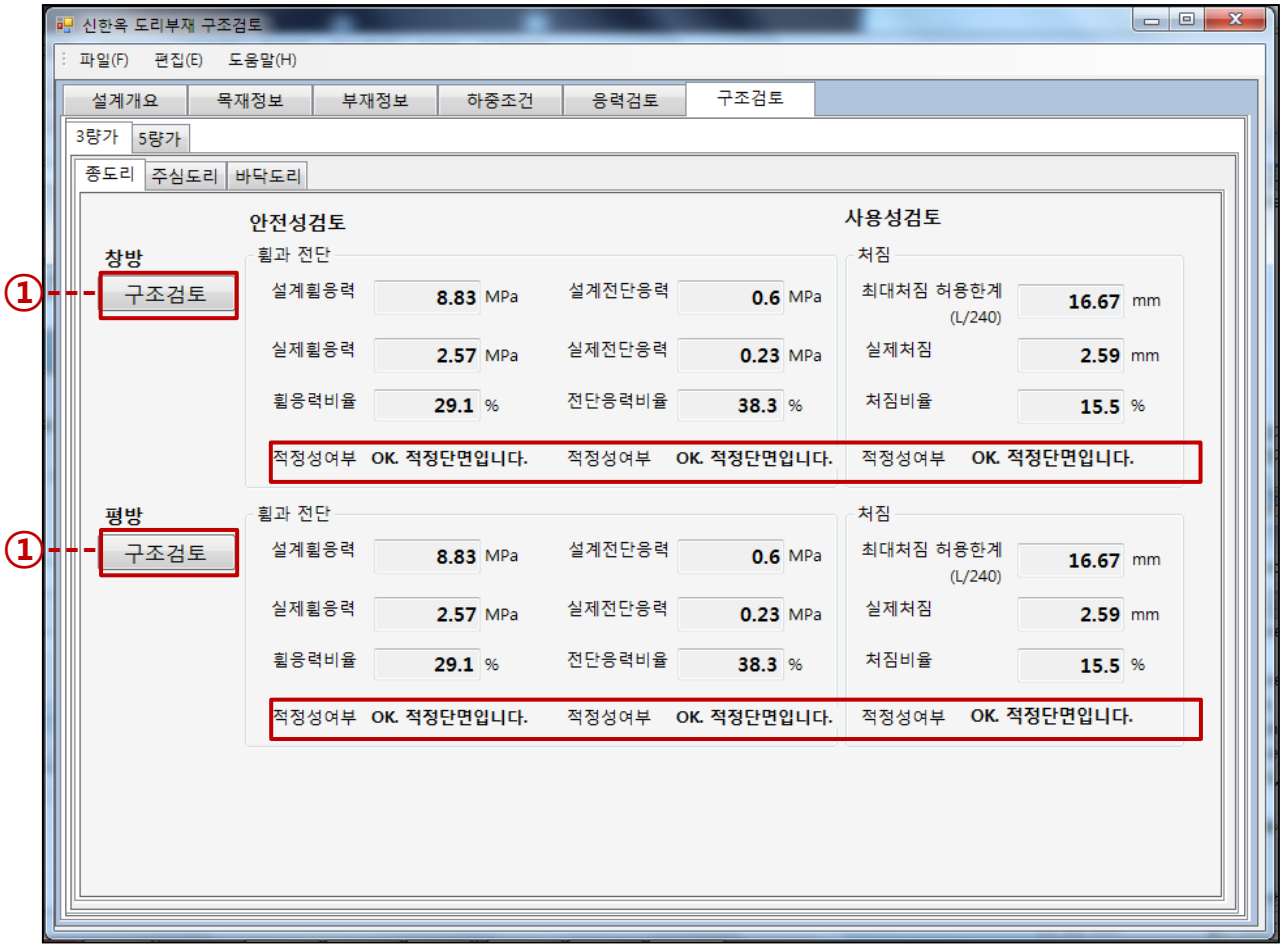
② 우측상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 모두 계산이 된다. 또한 우측그림에 중도리, 종도리, 주심도리, 바닥도리의 창방과 평방에 작용하는 응력이 표시가 된다.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

1) 3량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.

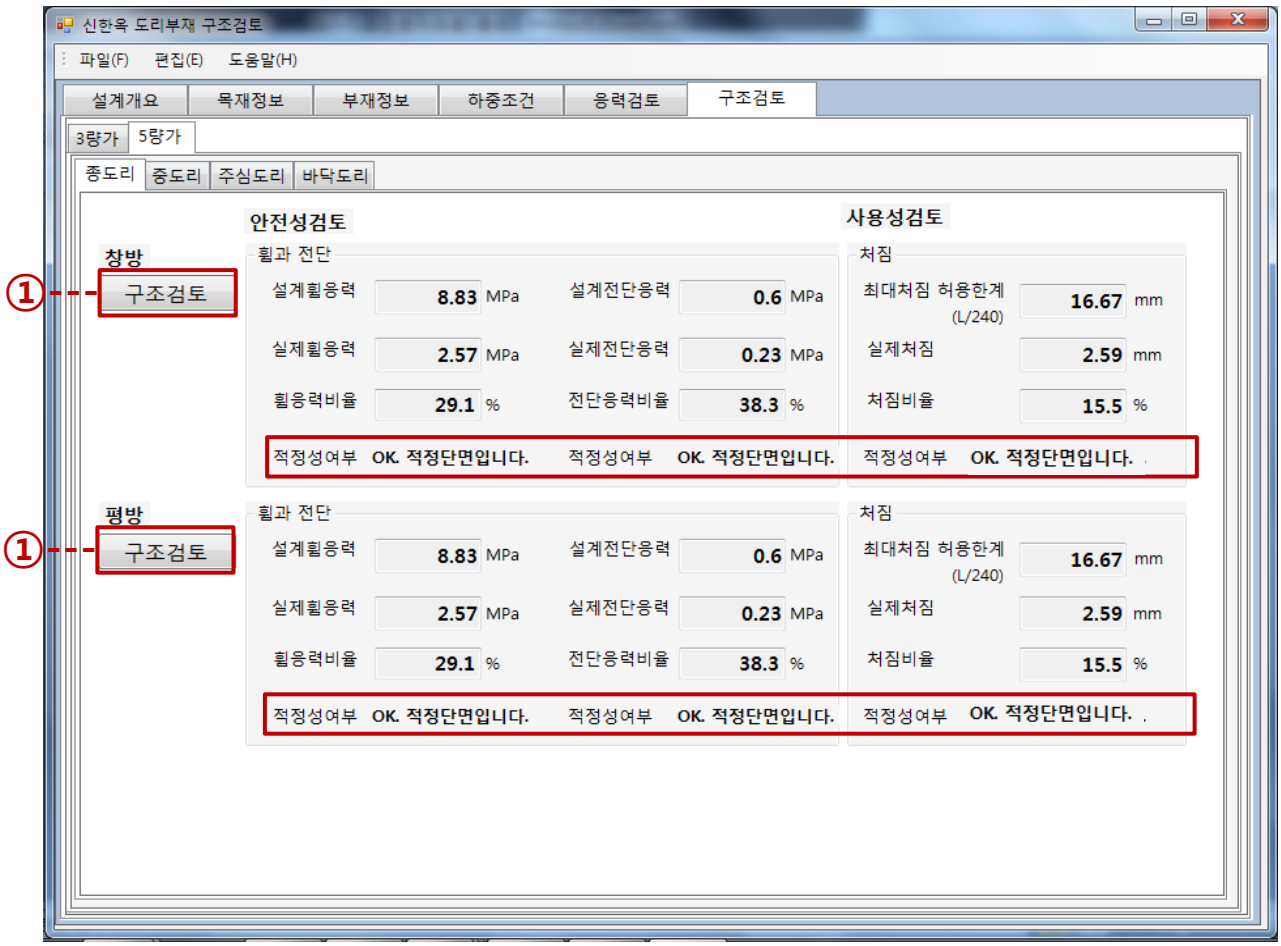


① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
창방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 모두 OK사인이 출력된다.
평방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 OK사인이 출력된다. 마찬가지로 주심도리와 바닥도리의 구조검토를 해보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

2) 5량가일때 부재에 적용시킬 보정계수를 입력해 보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하자.

② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다.
창방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 모두 OK사인이 출력된다.
평방에는 휨응력비율= 29.1%, 전단응력비율= 38.3%, 처짐비율= 15.5%으로 OK사인이 출력된다. 마찬가지로 중도리, 주심도리, 바닥도리의 구조검토를 해보자.

Step3 서까래

1. 건물의 개요를 입력하기

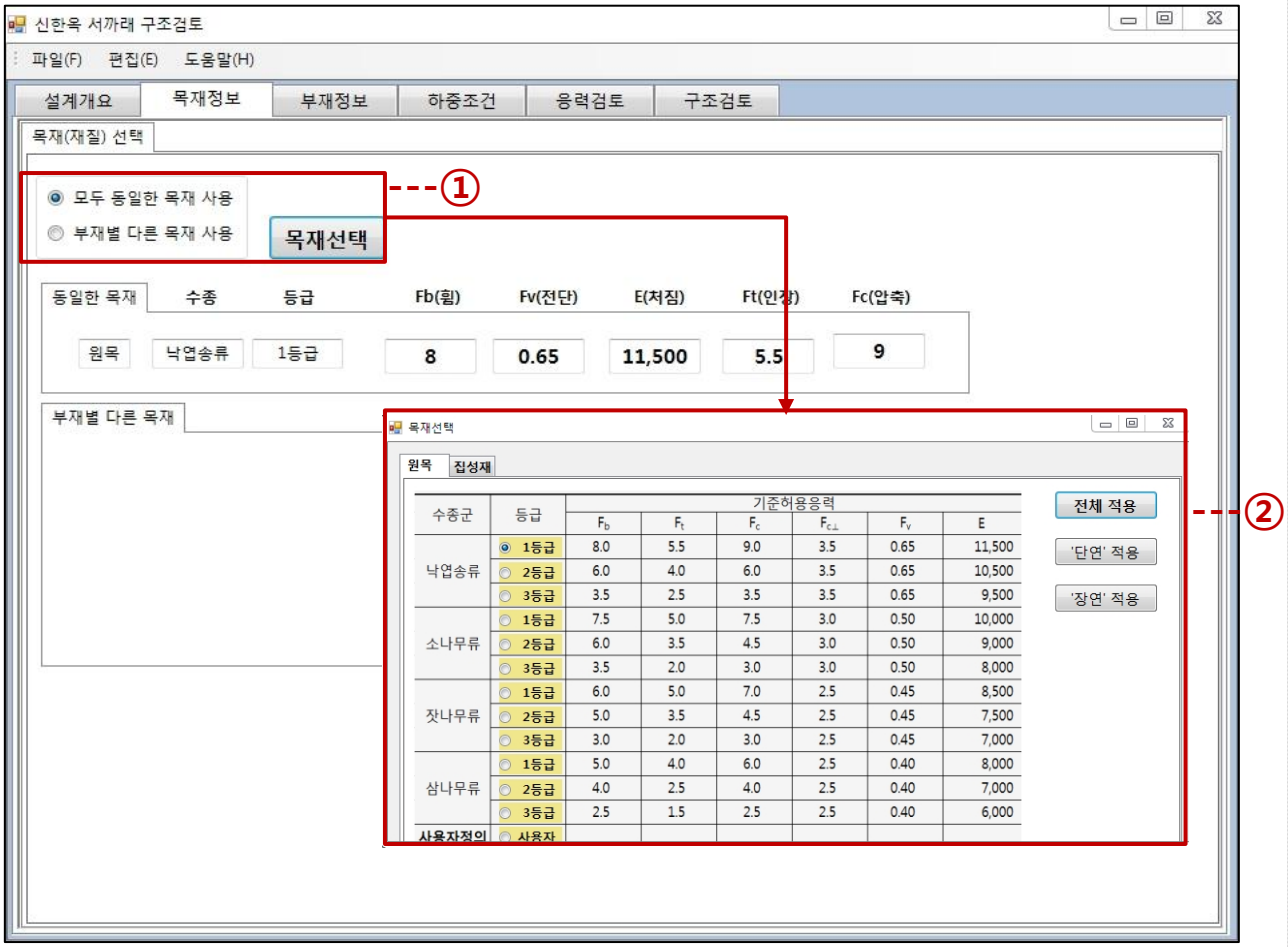
명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

건물에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.



① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.

② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.

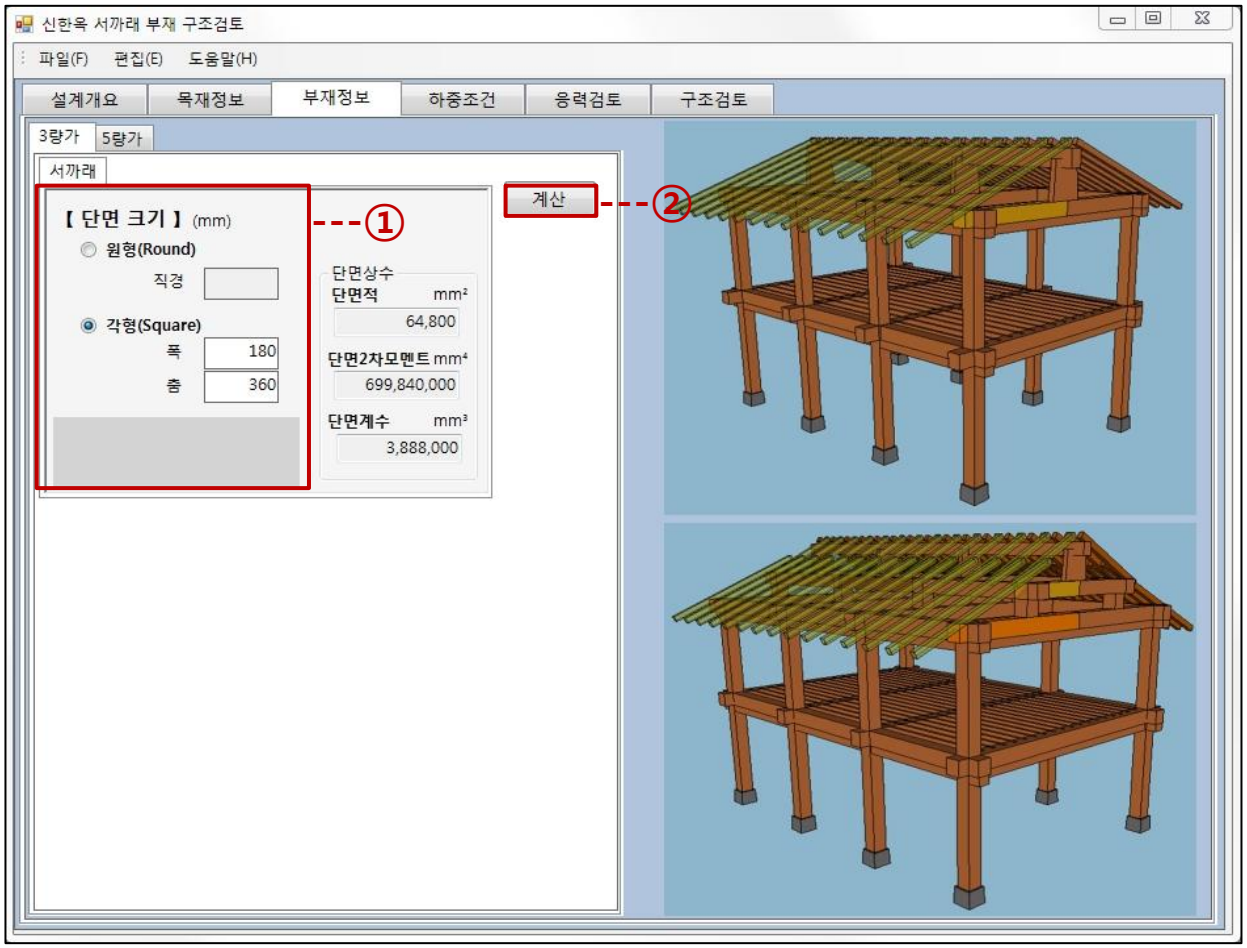
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.

1) 3량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 명지대학교 실험한옥의 부재는 각형이므로 각형에 체크를 하고 치수180mmX360mm 를 입력하자.

② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면

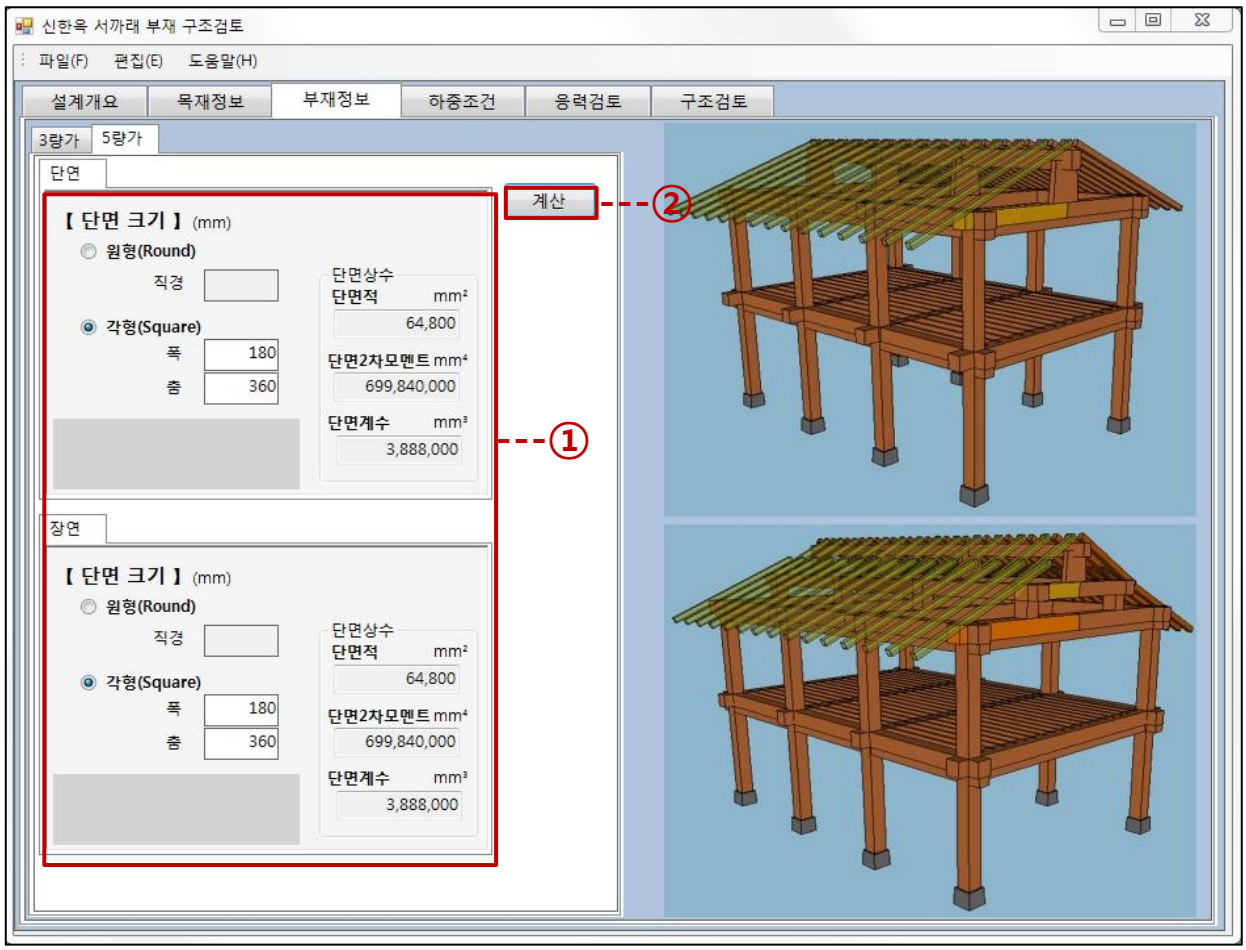
단면적=64,800mm^2

단면 2차 모멘트=699,840,000mm^4

단면계수=3,888,000mm^3 가 출력이 될 것이다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

2) 5량가일때 부재의 정보를 입력해 보자.



① 명지대학교 실험한옥의 부재는 각형이므로 단연과 장연 모두 각형에 체크를 하고 치수180mmX360mm를 입력하자.

② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면

단면적=64,800mm^2

단면 2차 모멘트=699,840,000mm^4

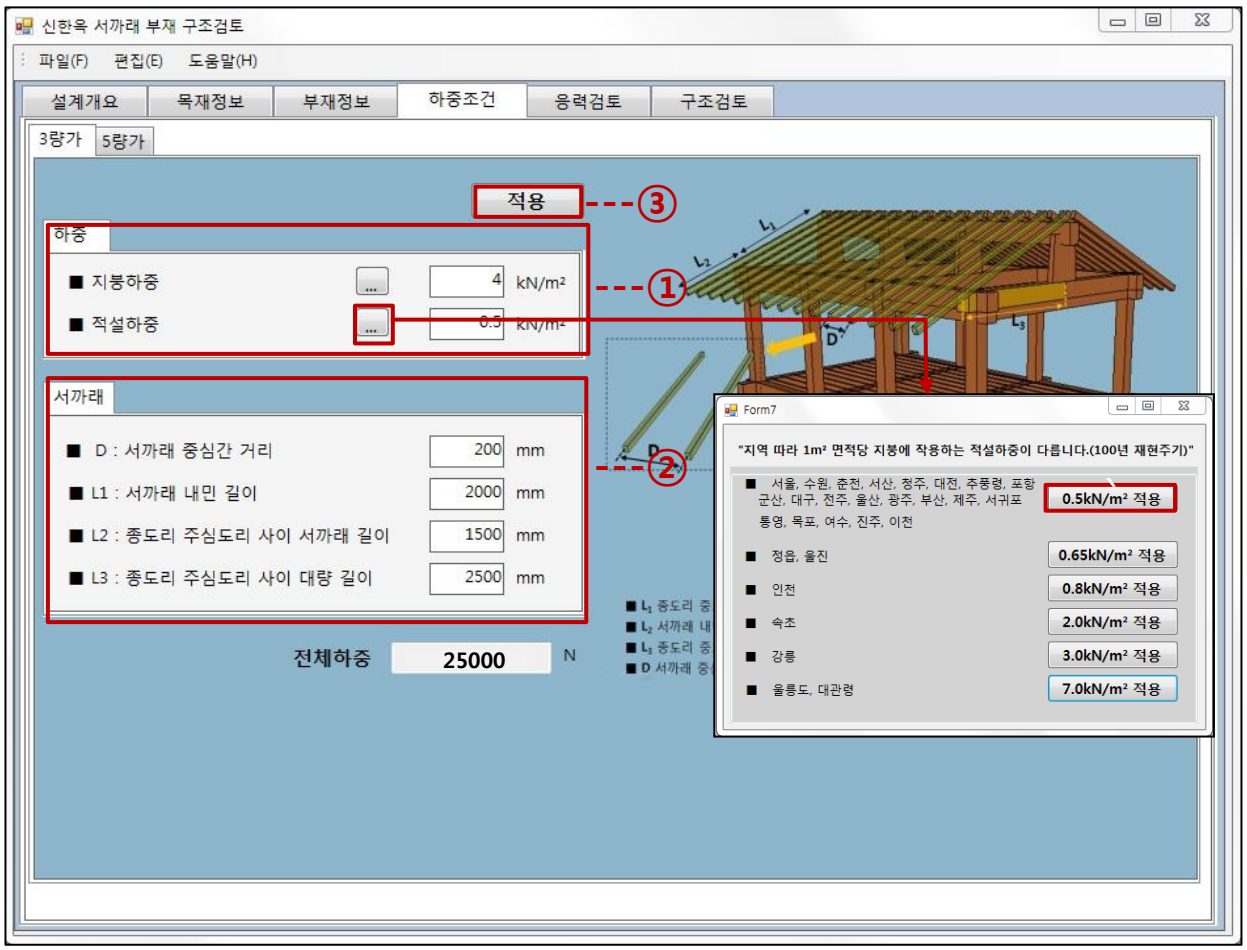
단면계수=3,888,000mm^3 가 출력이 될 것이다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 다음 탭으로 이동하여 정보를 입력해보자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력하자. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m^2 , 적설 하중은 건물에 위치가 경기도 용인 이므로 0.5kN/m^2 적용을 클릭하자.

② 서까래 정보를 입력하자.

L1(종도리 주심도리 사이 서까래 길이=2,000mm

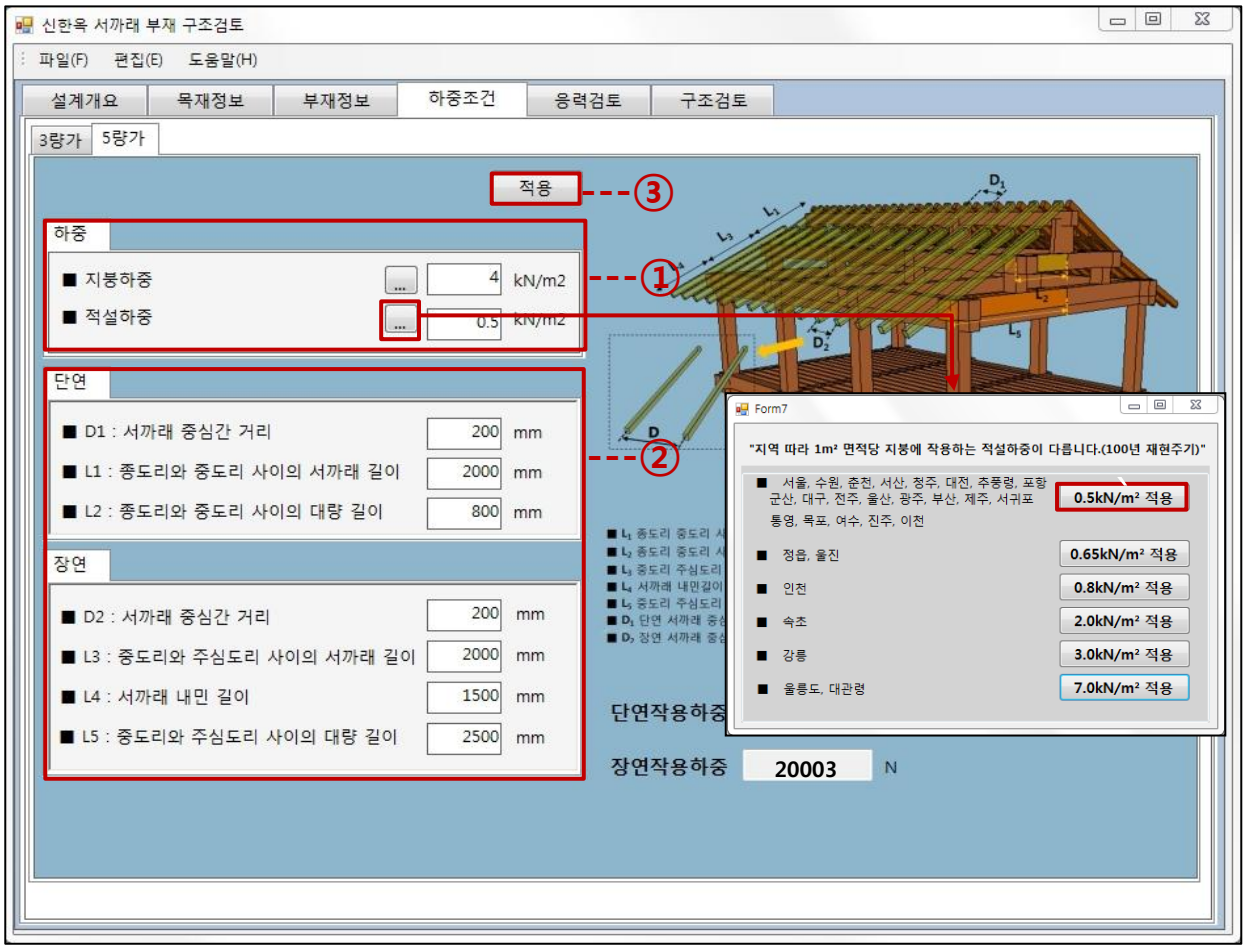
L2(서까래 내민 길이)=1,500mm

L3(종도리 주심도리 사이 대량 길이)=2,500mm를 입력하자.

⑤ 하중과 치수를 입력하였으면 상단에 "적용"버튼을 클릭하자. 적용버튼을 클릭하였으면 전체하중이 자동으로 산출되어 출력된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 응력을 검토해 보자

2) 5량가일때 하중조건의 변수의 수치를 입력해 보자.



① 지붕하중과 적설하중을 입력한다. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m^2 , 적설 하중은 건물에 위치가 경기도 용인 이므로 0.5kN/m^2 적용을 클릭하자.

② 단연과 장연의 정보를 입력하자.

D1(서까래 중심간 거리)=200mm, D2(종도리와 중도리 사이의 서까래 길이) =2,000mm

L2(종도리와 중도리 사이의 대량 길이)=800mm, D2(서까래 중심간 거리)=200mm

L3(중도리와 주심도리 사이의 서까래 길이)=2,000mm

L4(서까래 내민 길이)=1,500mm, L5(중도리와 주심도리 사이의 대량 길이)=2,500mm

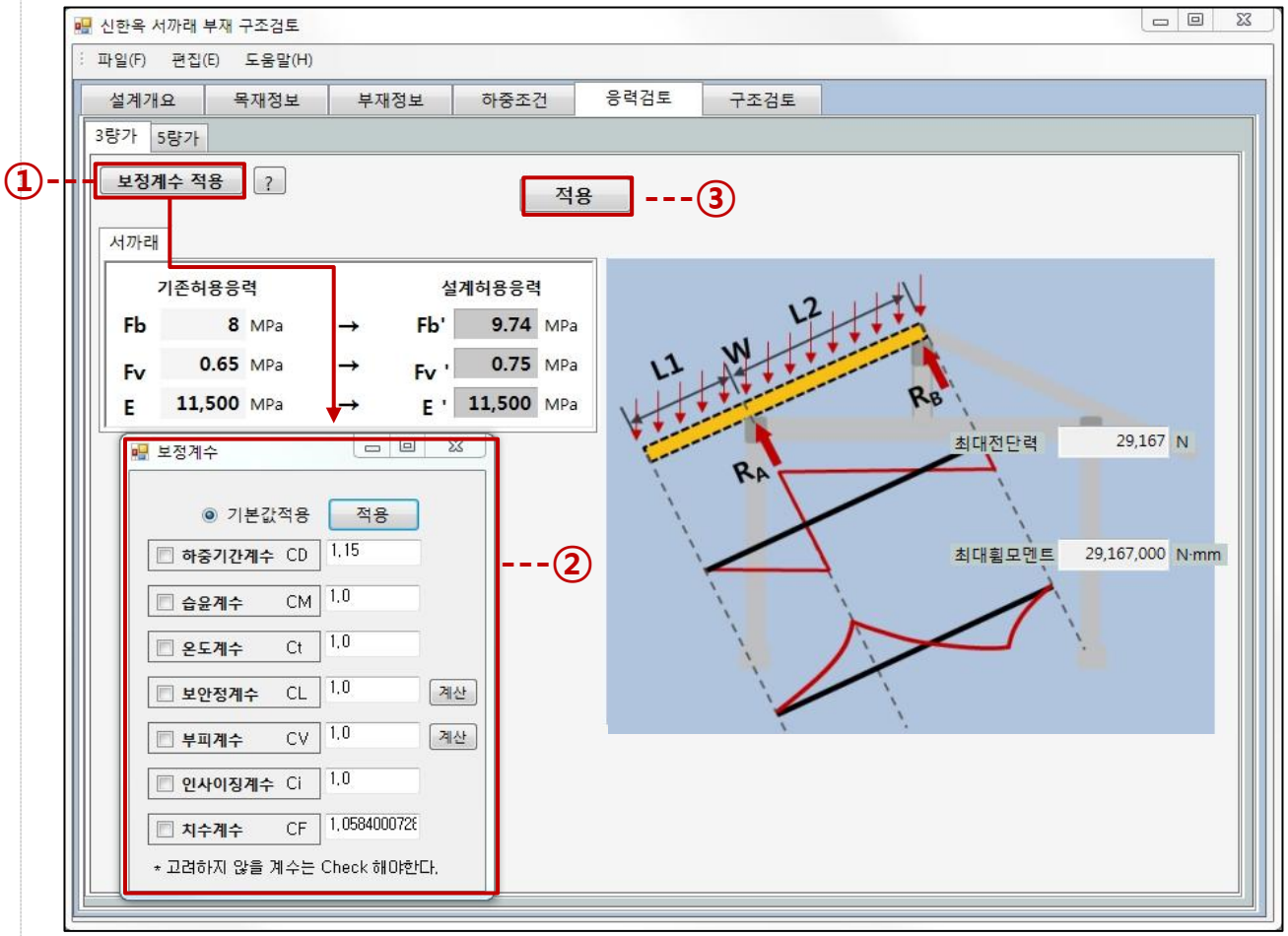
⑤ 하중과 치수를 입력하였으면 상단에 "적용"버튼을 클릭하자. 적용버튼을 클릭하였으면 전체하중이 자동으로 산출되어 출력된다.

전체하중이 정상적으로 출력이 되었으면 응력검토 탭으로 응력을 검토해 보자

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

② 상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 계산이 되며 우측 그림에는 최대 전단력과 최대휨모멘트의 값들이 표시가 된다. 설계허용응력들이 출력이 되었는지 확인하자.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

2) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 보정계수는 단연과 장연 모두 기본값적용을 체크하자. 체크를 하면 기본값들이 출력되는 것을 확인하고 "전체적용"을 클릭하고 창을 닫자.

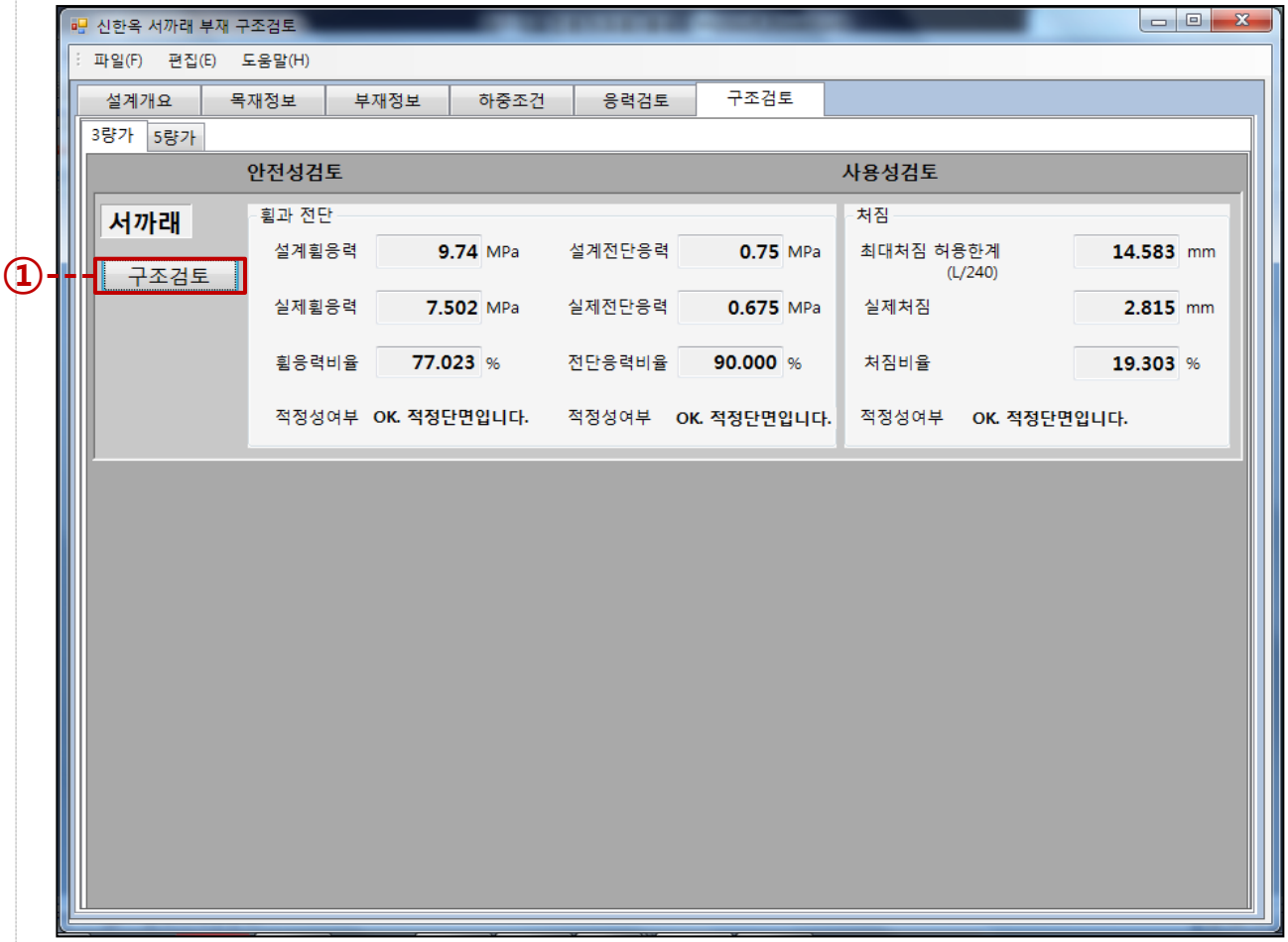
② 상단에 "적용"버튼을 누르자. 적용버튼을 누르면 설계허용응력들이 계산이 되며 우측 그림에는 최대 전단력과 최대휨모멘트의 값들이 표시가 된다. 설계허용응력들이 출력이 되었는지 확인하자.

응력들이 화면에 출력이 되었으면 구조검토 탭으로 이동하여 안정성과 사용성을 확인해 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

1) 3량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하자.
② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다. 출력된 화면 맨 아래칸에 휨응력비율 77.023%, 전단응력비율 90.00%, 처짐비율 19.303% 로 모두 OK 사인이 출력된다.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.

5) 5량가일때 하중조건 변수의 수치를 입력해 보자.

① "구조검토 버튼"을 클릭하자.

② 버튼을 클릭하면 화면의 건물에 작용되는 힘이 출력이 된다. 출력된 화면 맨 아래칸에 단연에서는 휨응력비율 26.39%, 전단응력비율 52.00%, 처짐비율 33.71% 로 모두 OK 사인이 출력된다.
장연에서는 휨응력비율 39.63%, 전단응력비율 61.33%, 처짐비율 22.91%로 OK 사인이 출력된다.

Step4 기둥

1. 건물의 개요를 입력하기

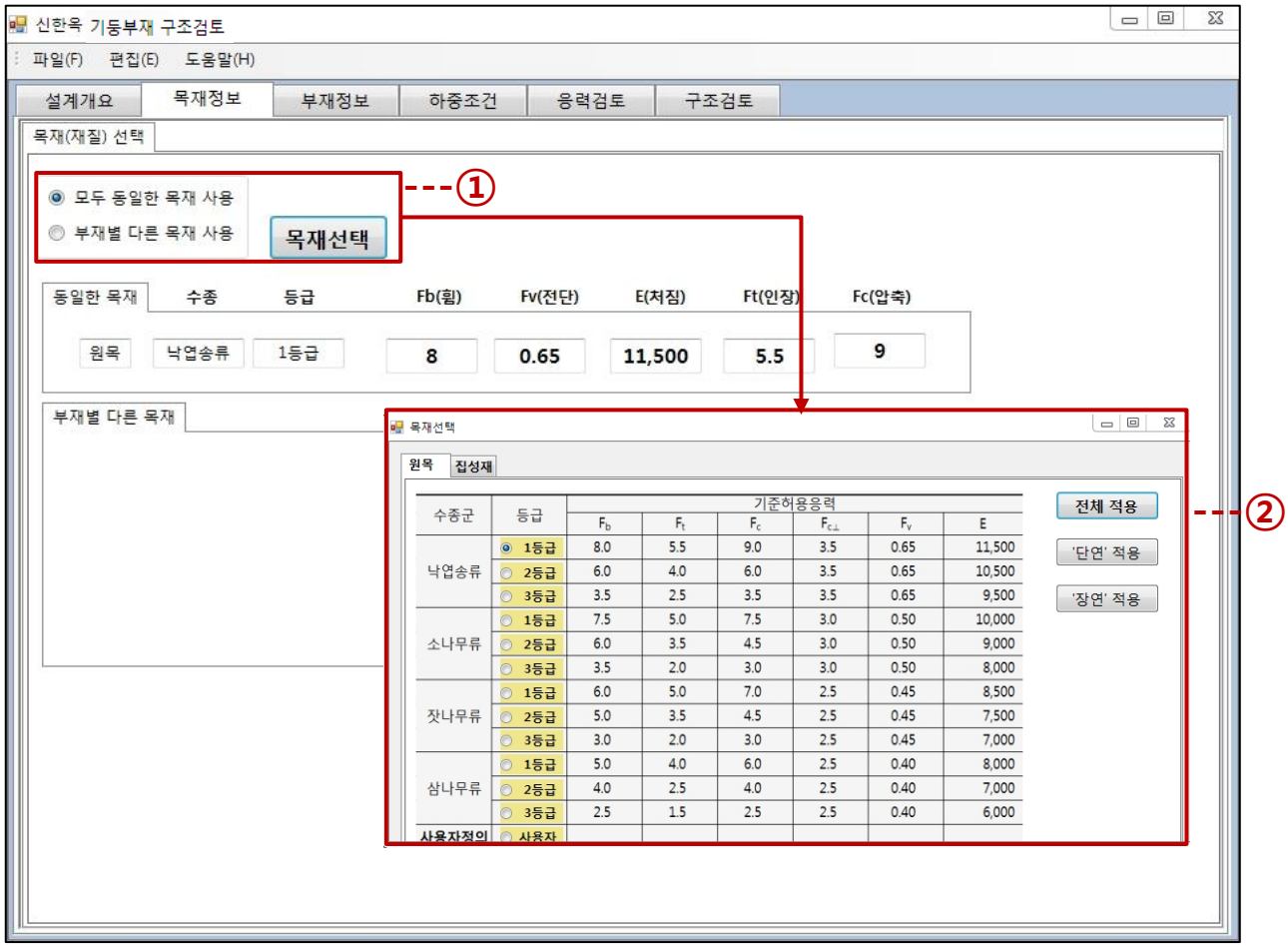
명지대학교 실험한옥의 정보를 입력해보자.

① 가구법에서 3량가를 체크한다.
② 건물이 위치한 주소 "경기도 용인시 처인구 명지로 116 명지대학교"를 입력한다.
③ 건물의 용도 "주거"를 입력한다.
④ 건물이름 "명지대학교 실험한옥(Mock-up)"을 입력한다.
⑤ 건물의 이미지를 아래 "열기"버튼을 클릭하여 명지대 신한옥의 이미지를 삽입한다.

위의 단계를 입력하였으면 다음 정보를 입력하기 위해 목재정보 탭으로 넘어가자.

2. 목재정보 입력하기

건물에 사용된 목재정보를 입력해보자.
목재는 크게 원목과 집성재로 나누어 구분되어있다.

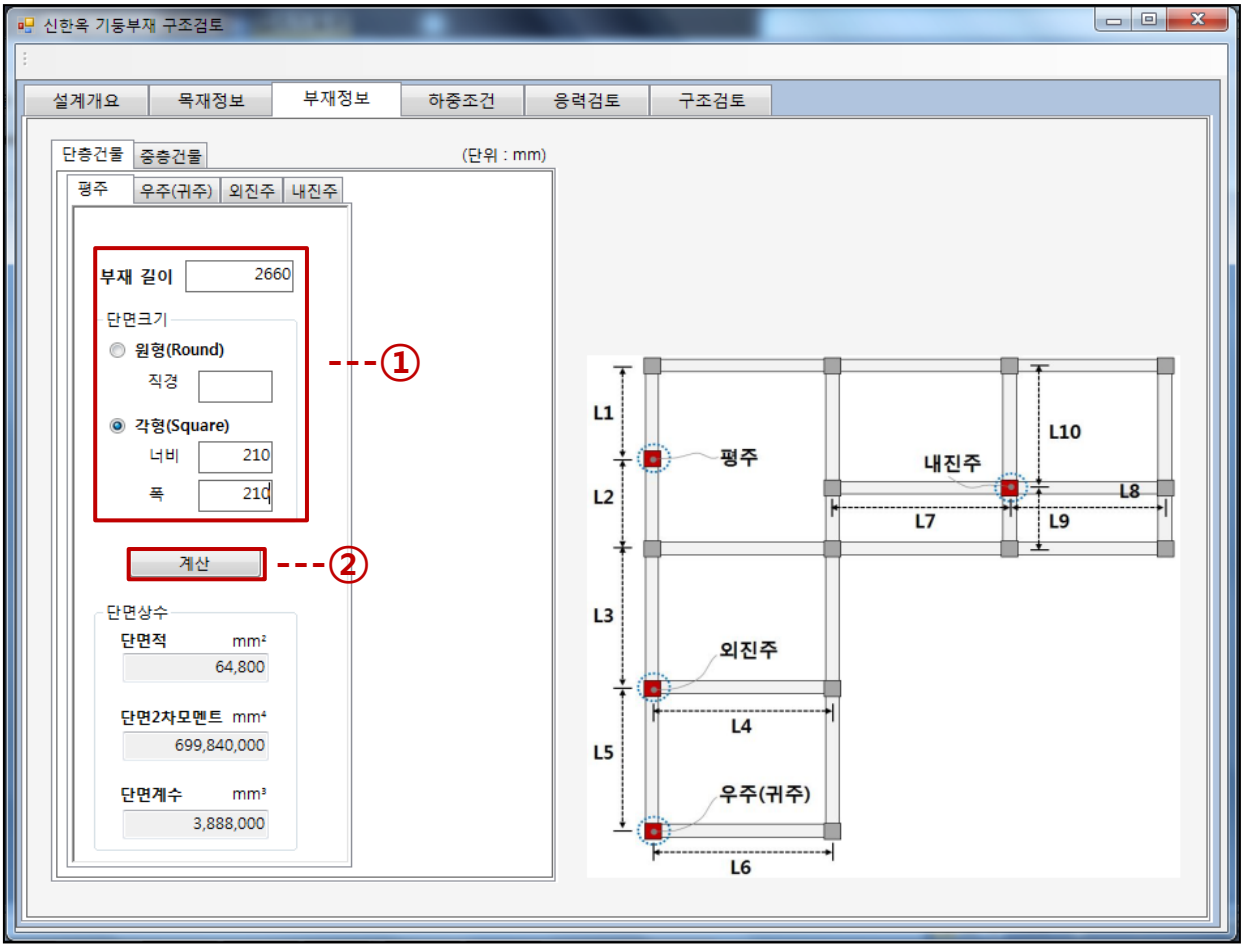


① 명지대학교 실험한옥에 사용된 목재가 모두 "동일한 목재를 사용"를 사용했으므로 체크하자.
② 우측에 "목재선택"버튼을 클릭하자.
③ 목재 버튼을 클릭하면 아래와 같은 목재선택창이 뜬다. 목재선택창에서 "낙엽송류 1등급"에 체크를 하고 전체적용 버튼을 누르자. 그러면 하중계산에 사용되는 목재가 모두 "낙엽송류 1등급"으로 설정이 된다.

이 과정을 모두 완료 하였으면 부재정보 탭으로 넘어가자.

3. 부재정보 입력, 적용하기

하중 계산을 위한 부재의 정보들을 입력해보자.



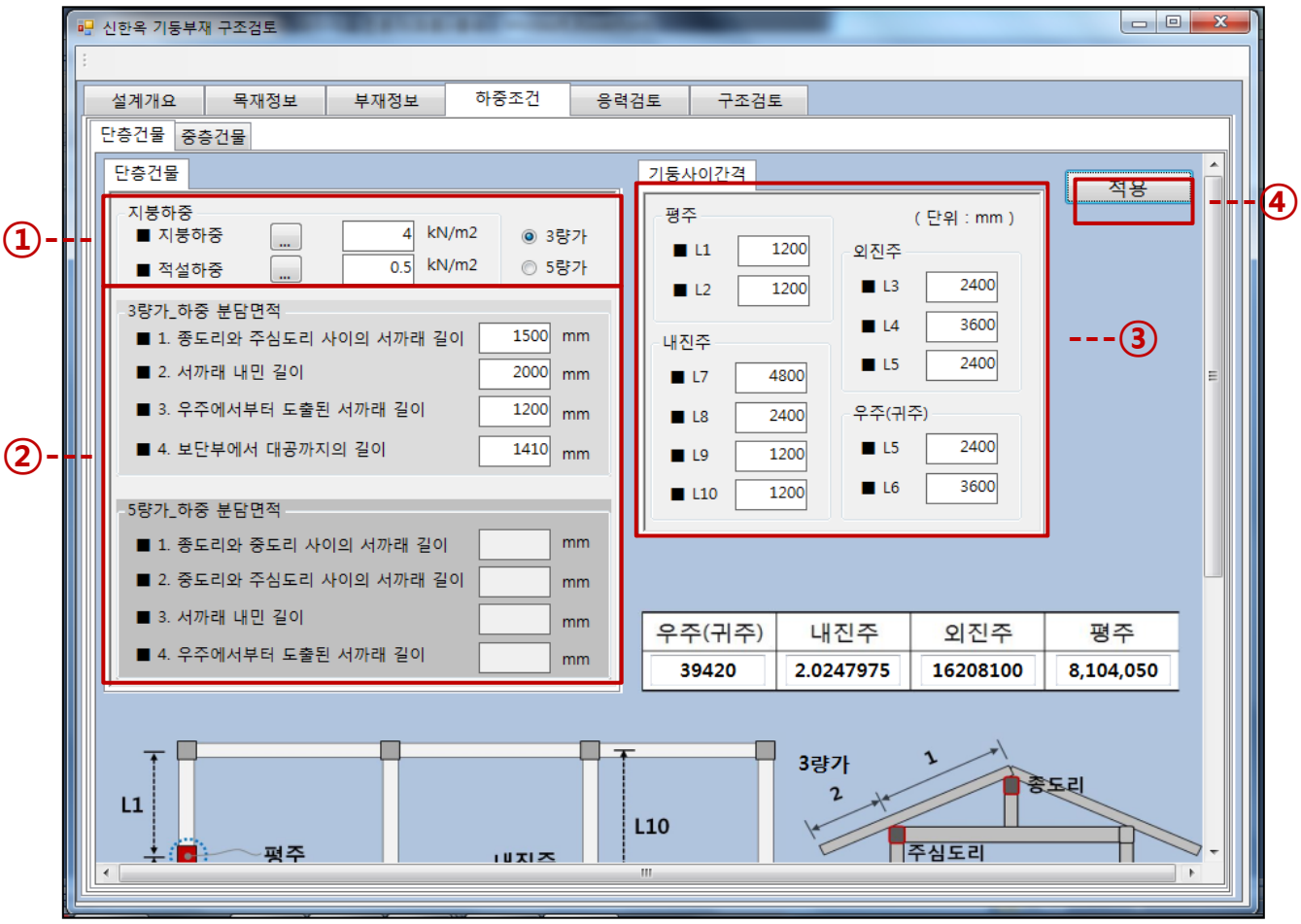
① 명지대학교 실험한옥의 기둥 부재길이= 2,660mm를 입력하자.
기둥은 각형이므로 각형에 체크를 하고 치수210mmX210mm를 입력하자.

② "계산"버튼을 누르자. 버튼을 누르면
단면적= 64,800mm^2
단면 2차 모멘트= 699,840,000mm^4
단면계수= 3,888,000mm^3 가 출력이 될 것이다.

계산 되어진 값들이 정상적으로 출력이 되었으면 마찬가지로 우주, 외진주, 내진주 탭을 클릭하여 각 기둥 부재의 치수를 입력하고 단면상수값이 정상적으로 출력이 되는지 확인하자.

4. 하중조건 입력, 적용하기

하중조건의 변수들을 입력해보자.



① 지붕하중을 입력한다. 지붕하중은 신한옥 이므로 4kN/m^2 , 적설 하중은 경기도 용인 이므로 0.5kN/m^2 을 입력하자. 그리고 3량가이므로 3량가 탭에 체크를 하자.

② 건물이 3량가 이므로 3량가_하중 분담면적에 치수를 입력하자.
종도리와 주심도리 사이의 서까래길이= 1,500mm, 서까래 내민길이= 2,000mm
우주에서부터 도출된 서까래 길이= 1,200mm
보단부에서 대공까지의 길이= 1410mm를 입력하자.

③ 다음으로 기둥사이간격을 입력하자. 아래쪽에 각 간격의 위치를 알 수 있는 그림이 있다.
L1=1,200mm, L2=1,200mm, L3=2,400mm, L4=3,600mm, L5=2,400mm
L6=3,600mm, L7=4,800mm, L8=2,400mm, L9=1,200mm, L10=1,200mm

④ 하중을 모두 입력하였으면 적용버튼을 누르고 아래 표에 하중이 정상적으로 출력되는지 확인을 하자.

5. 보정계수를 입력하여 응력 산출하기

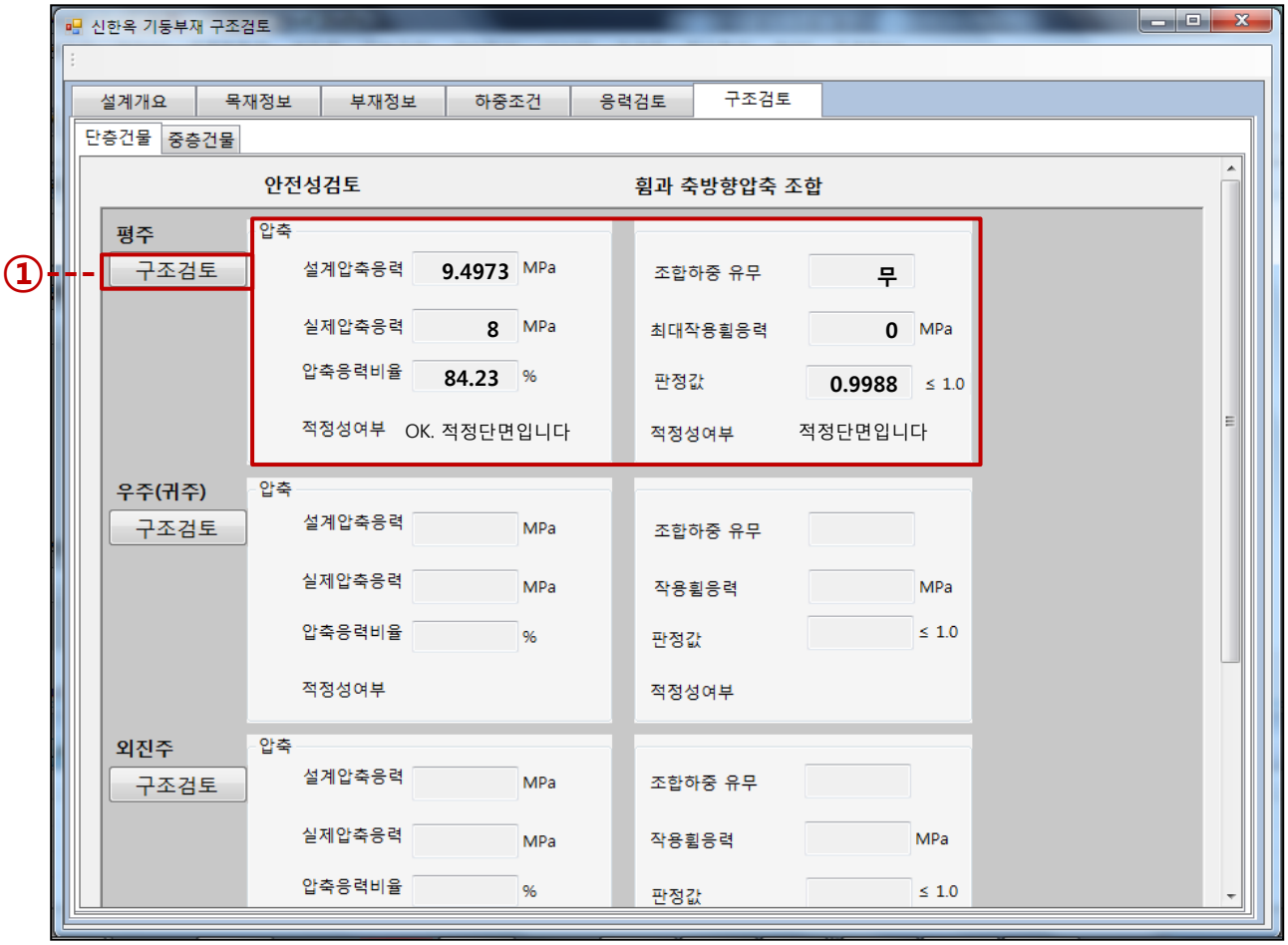
보정계수를 입력하고 적용하여 지금까지 입력한 정보들로 응력을 산출하여 보자.

① "보정계수 적용"버튼을 클릭하자.
② 보정계수 적용 버튼을 클릭하면 보정계수 창이 나온다. 기본값적용에 체크를 하고 계수 값들이 입력이 되었다면 "평주적용"버튼을 누르고 보정계수 창을 닫자.
③ 보정계수를 입력하고 설계허용응력이 출력되었으면, 우측의 평주 버튼을 클릭하여 평주에 작용하는 축력과 휨모멘트값을 확인하자.

마찬가지로 우주와 외진주, 내진주의 응력들을 구해보고 평주의 응력들이 화면에 출력이 되었으면, 구조검토 탭으로 이동하여 구조검토를 실시하여 보자.

6. 구조검토 결과 출력하기

마지막으로 지금까지 입력한 정보들을 바탕으로 건물 구조의 안정성과 사용성을 검토해보자.



① "구조검토 버튼"을 클릭하자. 버튼을 클릭하면
압축응력비율 = 84.23%, 판정값= 0.99 ≤ 1.0 이 나오며 적정성 여부에 모두 OK 사인이 출력된다.

마찬가지로 우주와 외진주의 구조검토를 해보자.

Chapter04

대들보부재 구조검토 근거자료

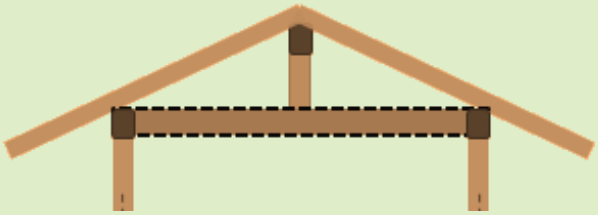
대들보부재의 구조검토 과정과 함께 계산식을 통해 근거를 제시한다.
또한 Microsoft Excel을 통해 검토 과정을 보여준다.

Step 01. 개요
Step 02. 대들보부재 구조검토 과정
Step 03. 구조검토 근거 (계산식)
Step 04. Microsoft Excel을 통한 대들보 프로그램 검토

대들보

- 작은 보에서 전달되는 하중을 받기 위해
  기둥과 기둥 사이에 위치한 수평방향 부재를 말한다.

- 기둥의 상부에 배치되어 서까래와 함께
  지붕의 하중을 받아서 기둥에 전달한다.



Step1 개요

대들보 부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용 휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용 전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 을 사용하여 계산하며, 보의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

Step2 대들보부재 구조검토 과정

목재정보선택	*원목, 집성재*
↓	
가구법선택	*3량가, 5량가*
↓	
부재정보입력	*단면크기 및 길이*
↓	
하중조건입력	*지붕하중 및 적설하중*
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	*설계응력산정*
↓	
안정성 및 사용성 검토	*안정성(휨,전단), 사용성(처짐)검토*

그림 10. 대들보부재 구조검토 과정 알고리즘

① 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다.

② 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 대들보의 경우 3량가는 대들보에 작용하는 하중이 1점 하중이지만 5량가는 위의 종보에서 내려오는 하중으로 2점 하중이기 때문에 1점 하중이 분산되어 작용한다.

③ 대들보 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다.

④ 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 보에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 대들보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 도리에 분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 도리에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보인다.

지역	지역적설하중
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수,제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

표 1. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

Step3 구조검토 근거(계산식)

1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다.「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송,라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 2. 침엽수 구조재의 수종 구분

표 3. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		Fb	Ft	Fc	Fc⊥	Fv	E
낙엽송류	1등급 2등급 3등급	8.0 6.0 3.5	5.5 4.0 2.5	9.0 6.0 3.5	3.5 3.5 3.5	0.65 0.65 0.65	11,500 10,500 9,500
소나무류	1등급 2등급 3등급	7.5 6.0 3.5	5.0 3.5 2.0	7.5 4.5 3.0	3.0 3.0 3.0	0.5 0.5 0.5	10,000 9,000 8,000
잣나무류	1등급 2등급 3등급	6.0 5.0 3.0	5.0 3.5 2.0	7.0 4.5 3.0	2.5 2.5 2.5	0.45 0.45 0.45	8,500 7,500 7,000
삼나무류	1등급 2등급 3등급	5.0 4.0 2.5	4.0 2.5 1.5	6.0 4.0 2.5	2.5 2.5 2.5	0.4 0.4 0.4	8,000 7,000 6,000

표 4. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용 응력						
	X-X축에 대한 힘		Y-Y축에 대한 힘		축하중		
	Fbx-x 1)	Ex-x 2)	Fby-y 3)	Ey-y 4)	Ft 5)	Fc 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

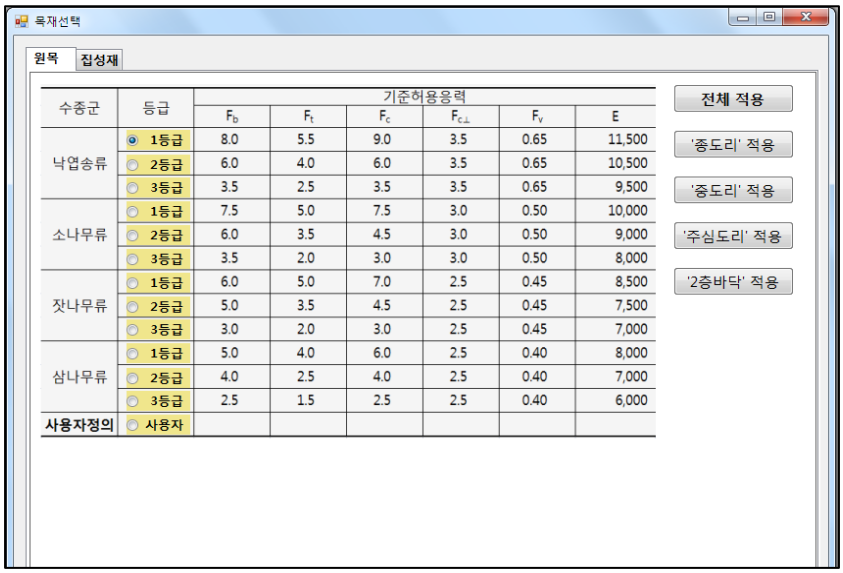
1) X-X 축에 대한 기준 허용휨응력(X -X 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) X-X 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) Y-Y 축에 대한 기준 허용휨응력(Y-Y 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) Y-Y 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

표 5. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

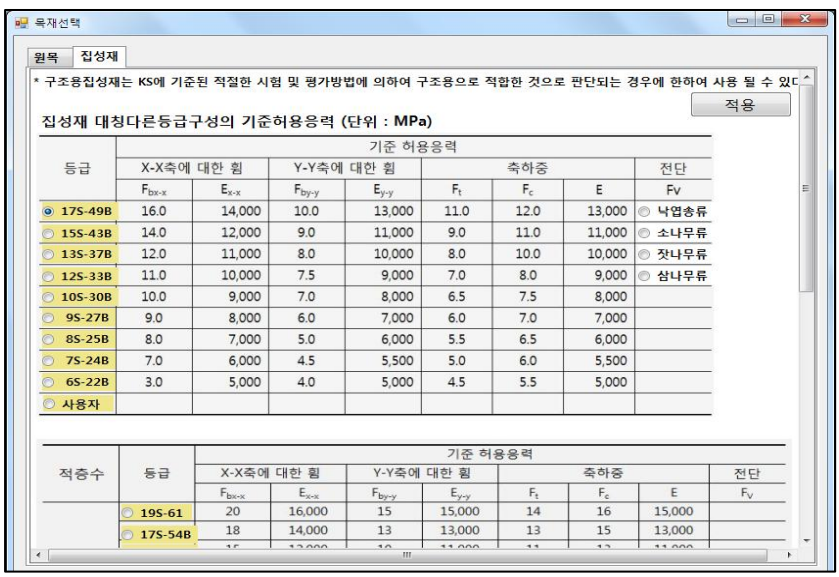
수종군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.
아래의 그림과 같이 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다.
만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

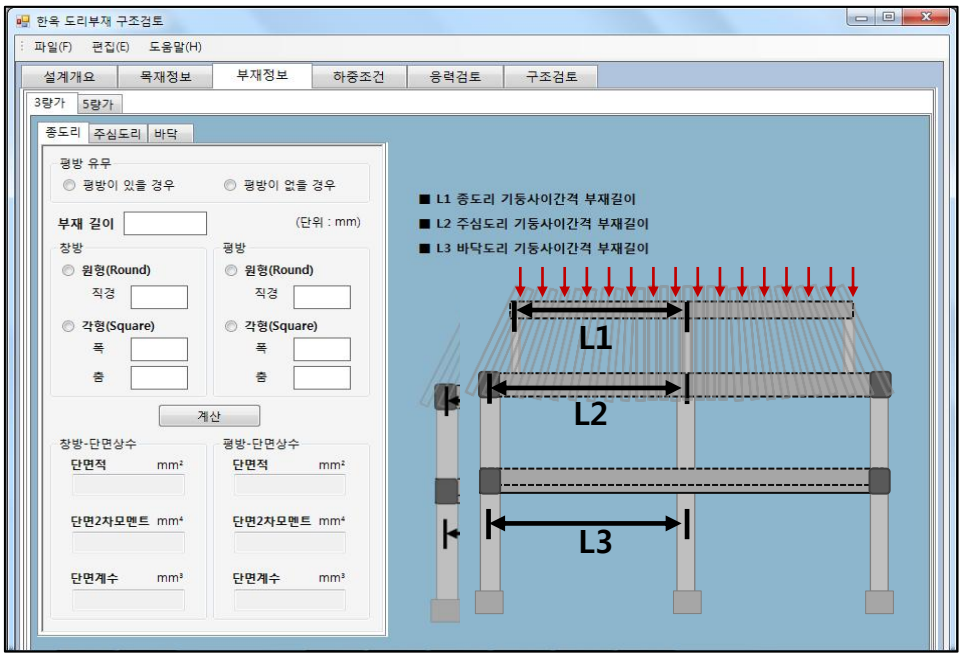


등급	X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	X-X축에 대한 휨 E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	Y-Y축에 대한 휨 E_{y-y}	축하중 F_t	축하중 F_c	축하중 E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	X-X축에 대한 휨 E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	Y-Y축에 대한 휨 E_{y-y}	축하중 F_t	축하중 F_c	축하중 E	전단 F_v
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

2) 부재정보

대들보의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 대들보만 정보입력이 가능하고 5량가에서는 대들보와 종보의 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.



(1) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$
■ 각형 : b × h

(2) 단면2차모멘트

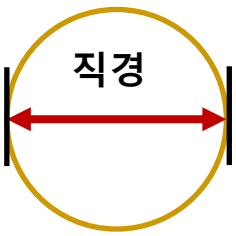
■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

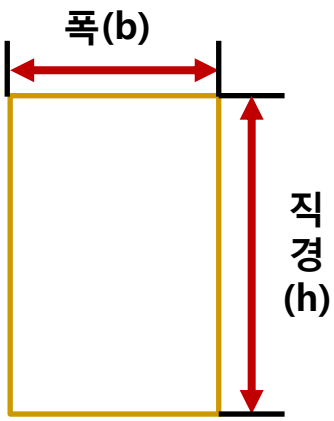
(3) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$



(a) 원형단면

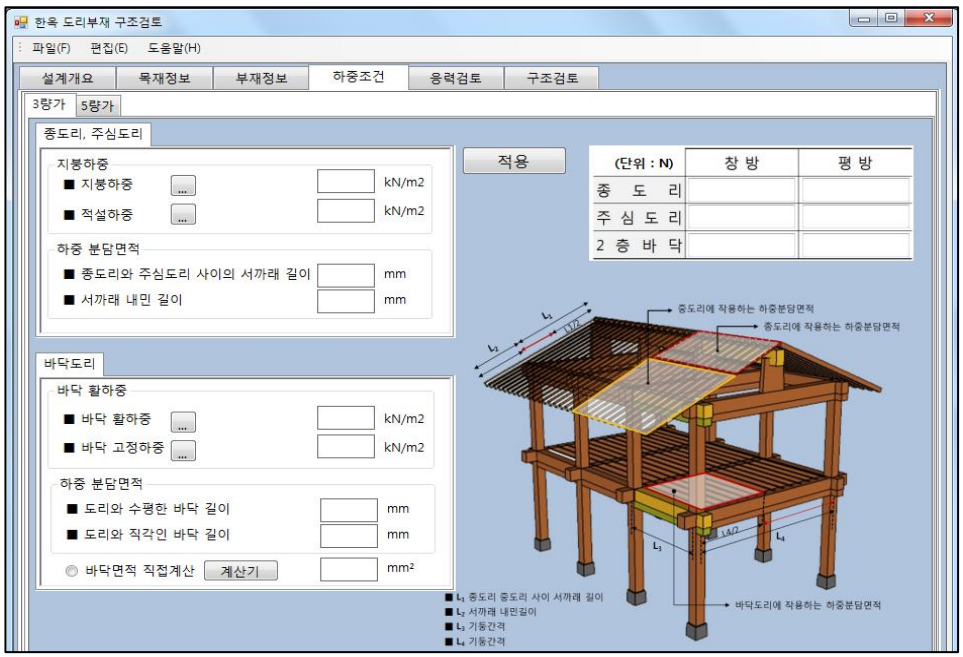


(b) 각형단면

3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

(1) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정

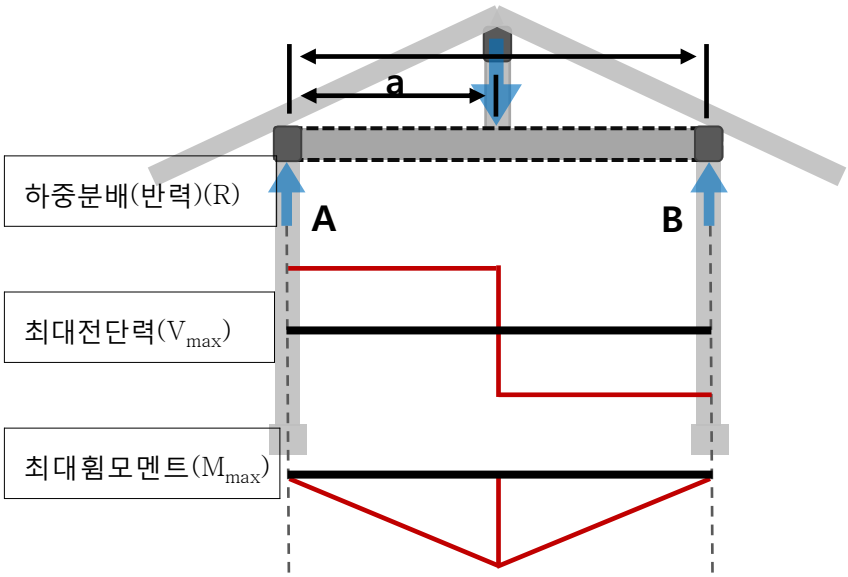


■ 대들보에 작용하는 하중분담면적 (A) = $\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)$

■ 대들보에 작용하는 전체하중 (P) = $\left(\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)\right)\times(RL+SL)$

L1 : 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이
L2 : 대들보의 수직방향 기둥간격
L3 : 대들보의 수직방향 기둥간격

(2) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정



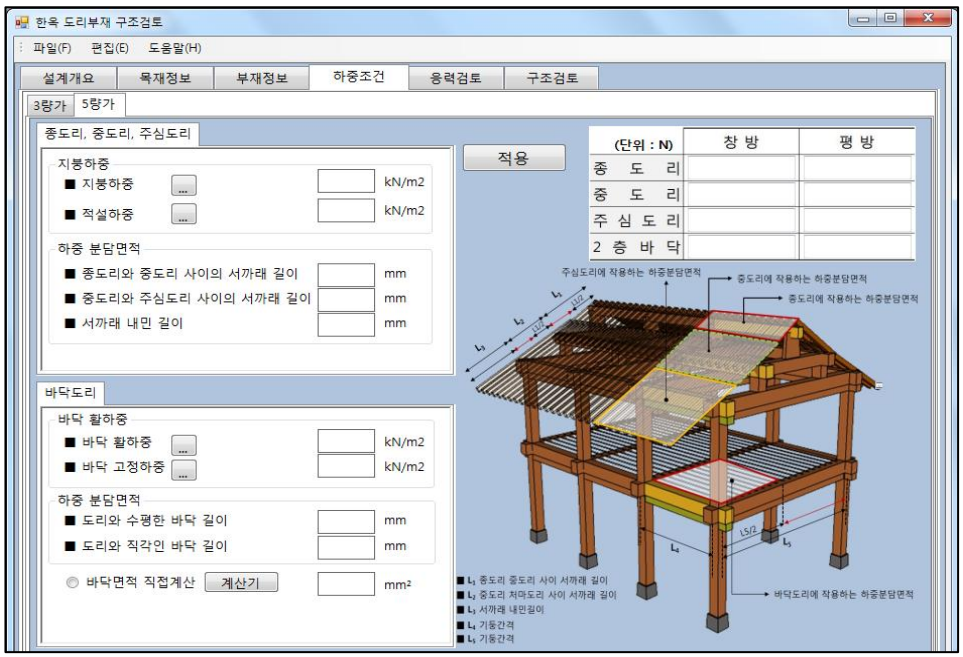
■ 반력 (R_A) = $\frac{P(L-a)}{L}$

■ 반력 (R_B) = $\frac{Pa}{L}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = $Max(R_A, R_B)$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = $Max((R_A \times a), (R_B \times (L-a)))$

(3) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정



3량가의 대들보는 1점 집중하중을 받는 반면 5량가의 대들보는 2점 집중하중을 받으며 종보는 1점 집중하중을 받는다. 5량가의 경우 대들보 및 종보에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 종보에 작용하는 하중분담면적(A) = $\frac{L_1}{2} \times \left(\frac{L_3}{2} + \frac{L_4}{2} \right)$

■ 종보에 작용하는 전체하중(PA) = $\left(\frac{L_1}{2} \times \left(\frac{L_3}{2} + \frac{L_4}{2} \right) \right) \times (RL + SL)$

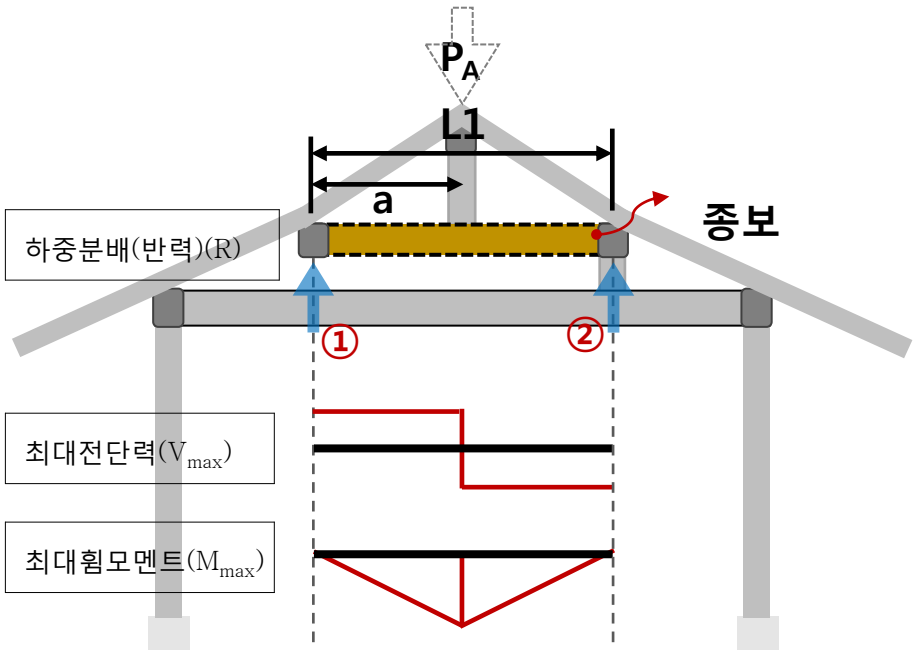
■ 대들보에 작용하는 하중분담면적(B) = $\left(\frac{L_2}{2} \times \left(\frac{L_3}{2} + \frac{L_4}{2} \right) \right)$

■ 대들보에 작용하는 전체하중(PB) = $P_A + \left[\left(\frac{L_2}{2} \times \left(\frac{L_2}{2} + \frac{L_3}{2} \right) \right) \times (RL + SL) \right]$

L_1 : 종도리와 중도리 사이의 서까래 길이
L_2 : 중도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L_3 : 대들보의 수직방향 기둥간격
L_4 : 대들보의 수직방향 기둥간격

(4) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정

종보



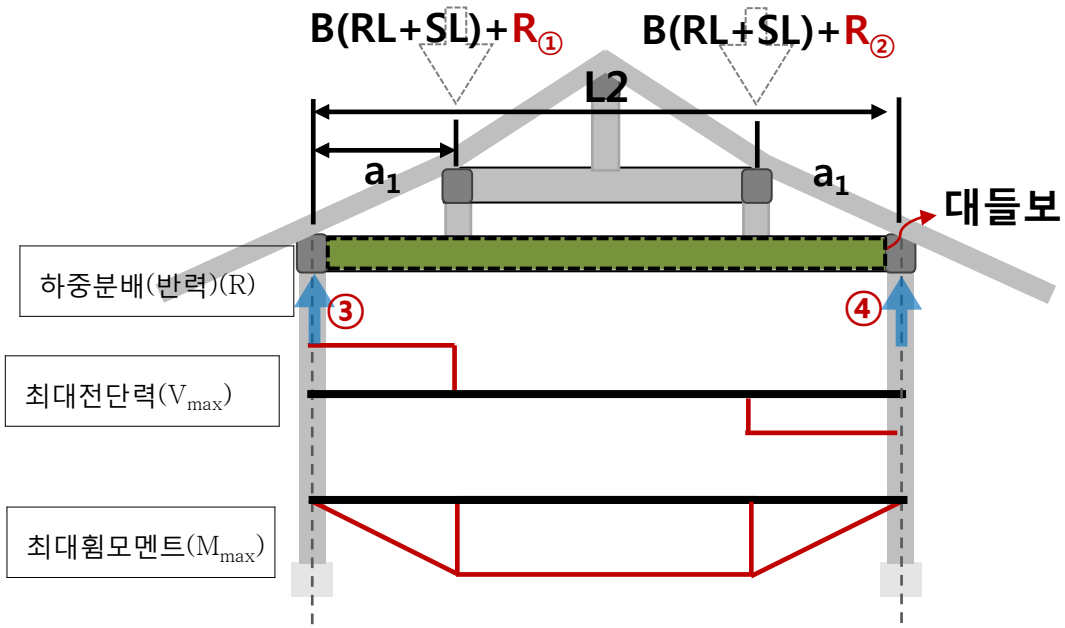
■ 반력 (R①) = $\frac{P(L-a)}{L}$

■ 반력 (R②) = $\frac{Pa}{L}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $Max(R_{①}, R_{②})$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $Max((R_{①} \times a), (R_{②} \times (L-a)))$

대들보



■ 반력 (R①) = $\dfrac{[(B(RL+SL)+R_{②})\times a_2]-[(B(RL+SL)+R_{①})\times(L_2-a_1))]}{L_2}$

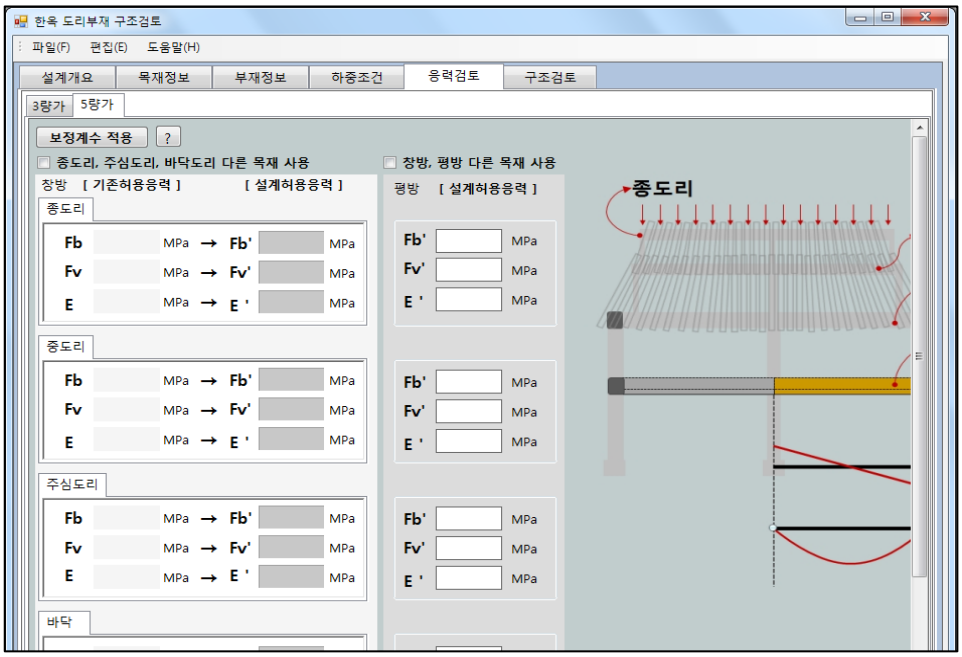
■ 반력 (R②) = $\dfrac{[(B(RL+SL)+R_{②})\times(L_2-a_2)]+[(B(RL+SL)+R_{①})\times a_1]}{L_2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $Max(R_{③},R_{④})$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $Max((R_{③}\times a_1),(R_{④}\times a_2))$

4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.



(1) 휨응력 ($F_b \rightarrow F_b'$)

$$F = F_b \times C_D \times C_M \times C_T \times C_L \times C_F \times C_r \times C_T$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F_b' : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

설계하중	하중계수,	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

구 분	두 께	습윤계수					
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

‣ C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준 허용응력에 표 10의 온도계수 를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

기준 허용응력	사용함수율 조건	온도계수		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

‣ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b 에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L 을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L 은 부피계수 C_v 와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE} \div F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE} \div F_b^*}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE} \div F_b^*}{0.95}}$$

여기서 F_b^* = 기준 허용휨응력에 C_{fv} C_v C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R^2_B}$$

K_{bE} = 0.745 - 1.225(COV_E)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

‣ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $\left(\frac{300}{d}\right)^{\frac{1}{9}}$ 값을 곱한다.

‣ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

‣ C_i: 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

(2) 전단응력($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 기준허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(3). 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

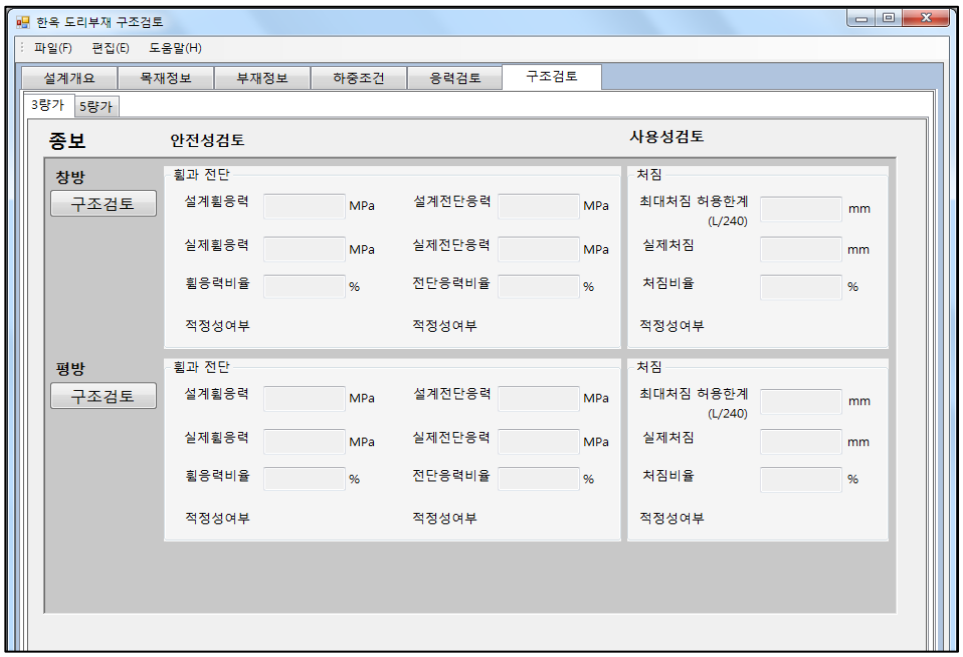
$$E' = E \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

5) 안전성 및 사용성 검토

대들보부재의 구조검토는 대들보와 종보에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.



(1) 원목의 보 설계

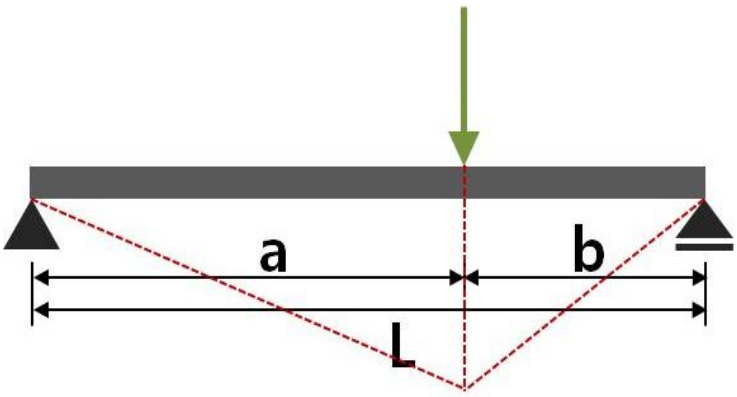
■ 휨
기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b$
이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단
기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v$
이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

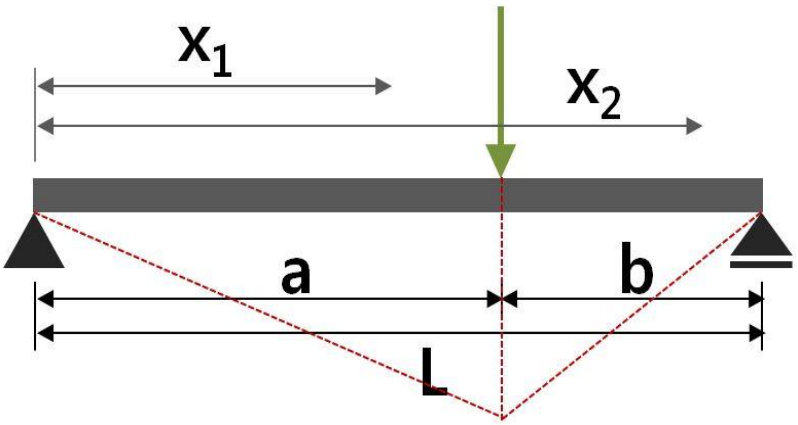
■ 처짐
도리 부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.
실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 분포하중인 처짐값을 구할 수 있다.



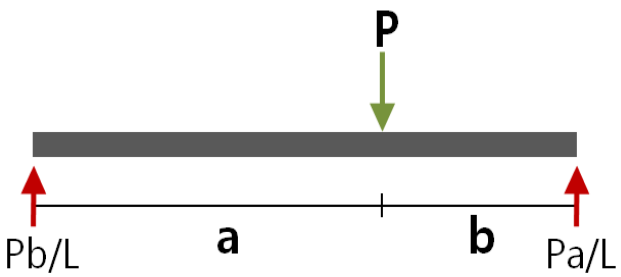
실제처짐은 3량가일때 다음과 같은 식으로 처짐을 구할 수 있다.

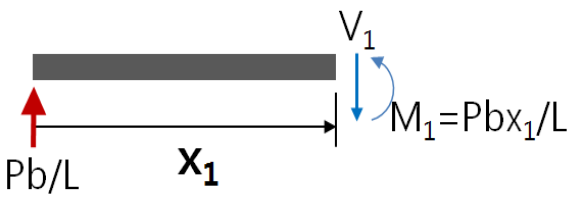
$x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$ 에서 $\delta_{max} = \frac{Pb(L^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}}{9\sqrt{3}EIL^2}$ 이다.

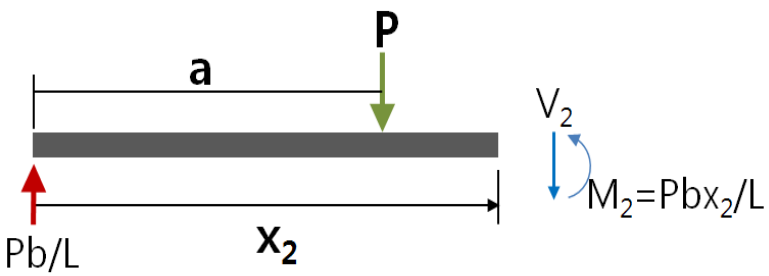
만약 보의 중심에 집중하중이 작용하면 $\delta = \frac{PL^3}{48EI}$ 식을 이용하여 최대처짐값을 구할 수 있다.
5량가일 때, 2점 집중하중이 작용하기 때문에 각각의 하중에 대한 처짐을 구한 후 더하여 최대가 되는 처짐을 구한다. 이는 각각의 하중이 작용할 때 보의 중심지점의 처짐을 더하면 최대처짐값을 구할 수 있다.



1점 하중이 작용하는 보







처짐 방정식 계산 다이어그램

$$EI\frac{dv_1}{dx_1} = \frac{Pb}{2L}x_1^{\ 2} + c_1$$

$$EIv_1 = \frac{Pb}{6L}x_1^{\ 3} + C_1x_1 + C_2$$

$$But b = L - a, Thus: M_2(x_2) = Pa(1 - \frac{x_2}{L})$$

$$EI\frac{d^2v_2}{dx_2^{\ 2}} = Pa\left(x_2 - \frac{x_2^{\frac{2}{2}}}{2L}\right) + C_3$$

$$EIv_2 = Pa\left(\frac{x_2^{\frac{2}{2}}}{2} - \frac{x_2^{\frac{3}{2}}}{6L}\right) + C_3x_2 + C_4$$ 단순보 이므로,

$$v_1 = 0 \text{ at } x_1 = 0$$

$$\therefore C_2 = 0$$

$$v_2 = 0 \text{ at } x_2 = L$$

$$0 = \frac{PaL^2}{3} + C_3L + C_4$$

$$v_1\Big|_{x_1^{max}} = v_2\Big|_{x_2^{max}}$$

$$\frac{Pb}{6L}a^3 + C_1a = Pa(\frac{a^2}{2} - \frac{a^3}{6L}) + C_3a + C_4$$

$$\frac{dv_1}{dx_1}\Big|_{x_1^{max}} = \frac{dv_2}{dx_2}\Big|_{x_2^{max}}$$

$$\frac{Pb}{2L}a^2 + C_1 = Pa(a - \frac{a^2}{2L}) + C_3$$ 식 (5), (6), (7)을 이용하여 계산한다.

$$C_1 = -\frac{Pb}{6L}(L^2 - b^2); C_3 = -\frac{Pa}{6L}(2L^2 + a^2)$$ 그러므로

$$C_4 = \frac{Pa^3}{6}$$ 이므로

$$EIv_1 = \frac{Pb}{6L}x_1^{\ 3} - \frac{Pb}{6L}(L^2 - b^2)x_1$$ 이다. 그리고

$$v_1 = \frac{Pb}{6EIL}(x_1^{\ 3} - (L^2 - b^2)x_1)$$ 이므로

$$EIv_2 = Pa\left(\frac{x_2^{\frac{2}{2}}}{2} - \frac{x_2^{\frac{3}{2}}}{6L}\right) - \frac{Pa}{6L}(2L^2 + a^2)x_2 + \frac{Pa^3}{6}$$

$$v_2 = \frac{Pa}{6EIL}3x_2^{\ 2}L - x_2^{\ 3} - (2L^2 + a^2)x_2 + a^2L$$ 이다.

두 개의 직접하중이 작용할 때 처짐값을 구하고자 하는 위치에 따라 처짐값 방정식이 다르게 적용된다. 즉, 본 연구에서 2점 집중하중일 때 구하고자 하는 처짐의 위치 X는 보의 중심(L/2)지점이다.

‣ 구하고자 하는 처짐위치 X1가 하중위치보다 앞에 있을 때,
x값은 보의 중심인 L/2지점이다. 이때의 식은 다음과 같다.

$$v_1 = \frac{Pb}{6EIL}(x_1^{\ 3} - (L^2 - b^2)x_1)$$

‣ 구하고자 하는 처짐위치 X2가 하중위치보다 앞에 있을 때,
x값은 보의 중심인 L/2지점이다. 이때의 식은 다음과 같다.

$$v_2 = \frac{Pa}{6EIL}3x_2^{\ 2}L - x_2^{\ 3} - (2L^2 + a^2)x_2 + a^2L$$

(2)구조용집성재의 보 설계

■ 휨
구조용집성재 보에 대한 설계허용응력계산은 보안정계수를 적용하여 측방안정성을 고려하는 방법과 부피계수를 적용하여 부피효과를 고려하는 방법의 2가지 중에서 더 작은 값을 적용한다.

- 측방안정성 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_L)$

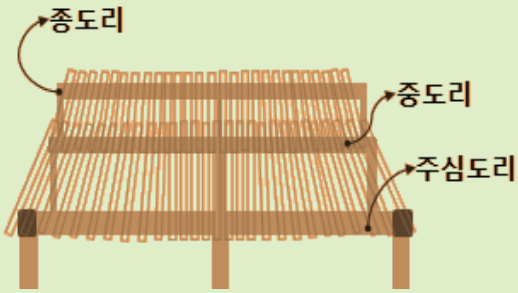
- 부피효과 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_V)$

■ 전단
원목의 보 설계의 전단과 동일하다.
■ 처짐
원목의 보 설계의 처짐과 동일하다.

한옥 들여다보기

도리

- 구조부재 중에서 가장 위에 놓이는 부재로 서까래를 받는다.
- 가구구조를 표현하는 기준이 되며
  도리의 높낮이에 따라 지붕물매가 결정된다.



Chapter05

도리부재 구조검토 근거자료

도리부재의 구조검토 과정과 함께 계산식을 통해 근거를 제시한다.
또한 Microsoft Excel을 통해 검토 과정을 보여준다.

Step 01. 개요
Step 02. 도리부재 구조검토 과정
Step 03. 구조검토 근거 (계산식)
Step 04. Microsoft Excel을 통한 도리 프로그램 검토

Step1 개요

도리 부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용 휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용 전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향 전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 을 사용하여 계산하며, 보의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

Step2 도리부재 구조검토 과정

목재정보선택	*원목, 집성재*
↓	
가구법선택	*3량가, 5량가*
↓	
부재정보입력	*단면크기 및 길이*
↓	
하중조건입력	*지붕하중 및 적설하중*
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	*설계응력산정*
↓	
안정성 및 사용성 검토	*안정성(휨,전단), 사용성(처짐)검토*

그림 10. 도리부재 구조검토 과정 알고리즘

① 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존 허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다.

② 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 대들보의 경우 3량가는 대들보에 작용하는 하중이 1점 하중이지만 5량가는 위의 종보에서 내려오는 하중으로 2점 하중이기 때문에 1점 하중이 분산되어 작용한다.

③ 도리 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다.

④ 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 보에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 도리부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 도리에 분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 도리에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보인다.

지역	지역적설하중
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수,제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

표 1. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

Step3 구조검토 근거(계산식)

1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다.「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송,라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 2. 침엽수 구조재의 수종 구분

표 3. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		Fb	Ft	Fc	Fc⊥	Fv	E
낙엽송류	1등급 2등급 3등급	8.0 6.0 3.5	5.5 4.0 2.5	9.0 6.0 3.5	3.5 3.5 3.5	0.65 0.65 0.65	11,500 10,500 9,500
소나무류	1등급 2등급 3등급	7.5 6.0 3.5	5.0 3.5 2.0	7.5 4.5 3.0	3.0 3.0 3.0	0.5 0.5 0.5	10,000 9,000 8,000
잣나무류	1등급 2등급 3등급	6.0 5.0 3.0	5.0 3.5 2.0	7.0 4.5 3.0	2.5 2.5 2.5	0.45 0.45 0.45	8,500 7,500 7,000
삼나무류	1등급 2등급 3등급	5.0 4.0 2.5	4.0 2.5 1.5	6.0 4.0 2.5	2.5 2.5 2.5	0.4 0.4 0.4	8,000 7,000 6,000

표 4. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용 응력						
	X-X축에 대한 힘		Y-Y축에 대한 힘		축하중		
	Fbx-x 1)	Ex-x 2)	Fby-y 3)	Ey-y 4)	Ft 5)	Fc 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

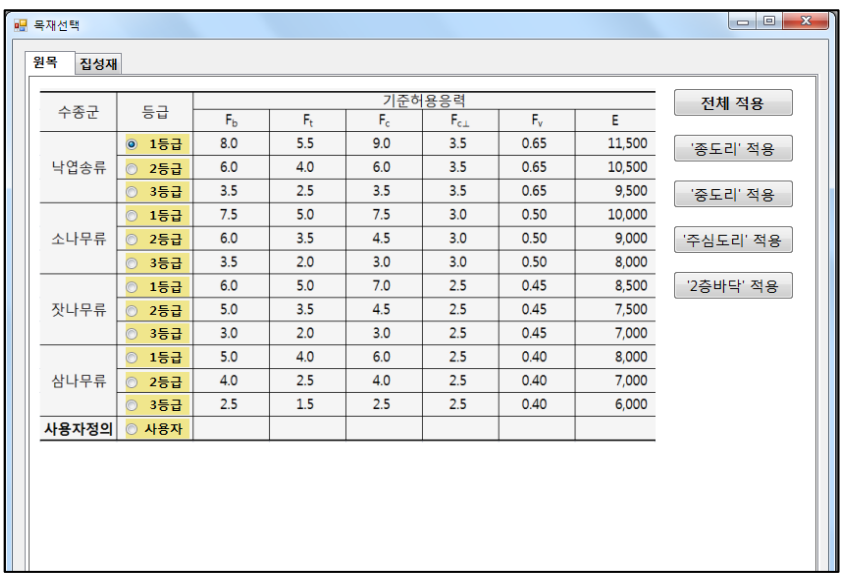
1) X-X 축에 대한 기준 허용휨응력(X -X 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) X-X 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) Y-Y 축에 대한 기준 허용휨응력(Y-Y 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) Y-Y 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

표 5. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

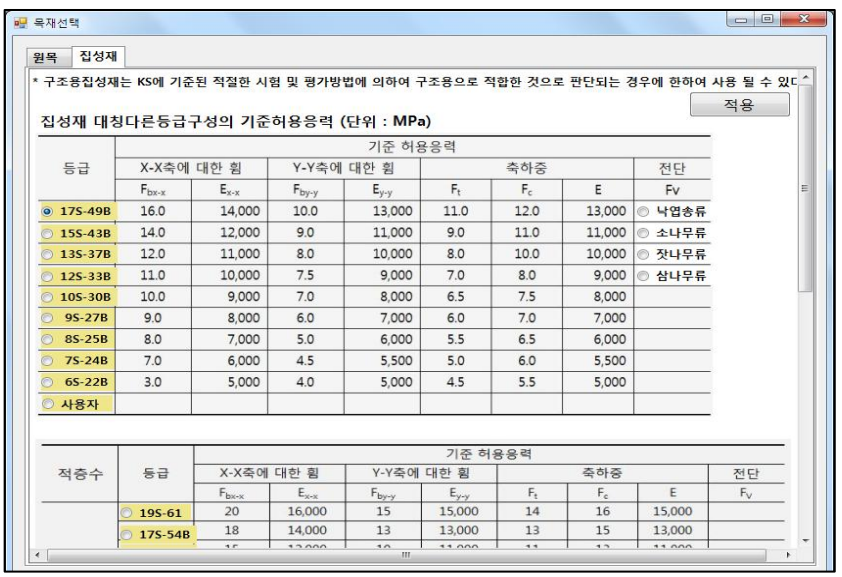
수종군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.
아래의 그림과 같이 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급 외의 허용응력을 사용해야 한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

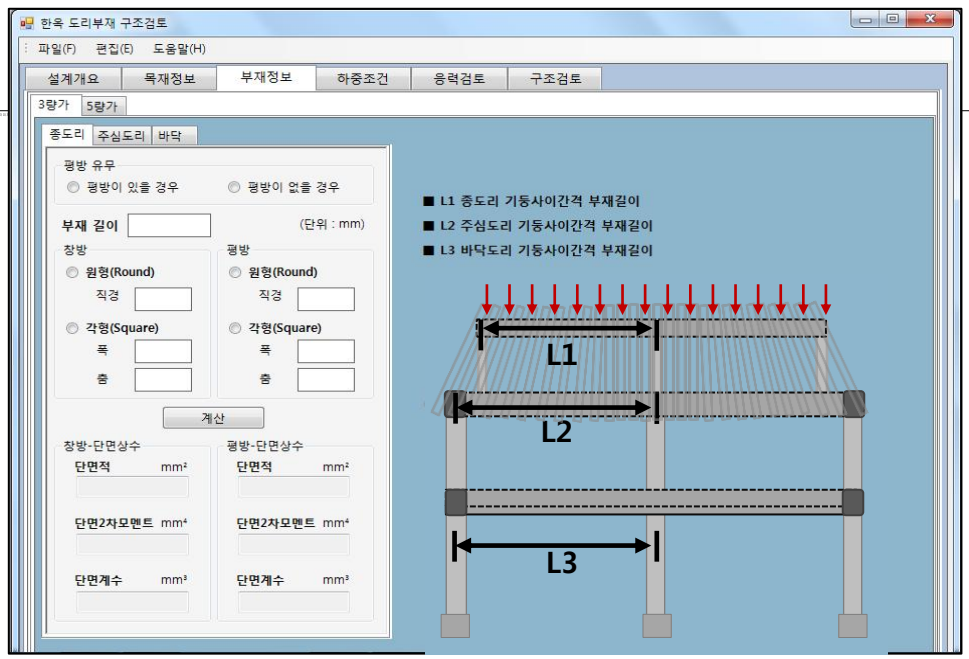


등급	X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	X-X축에 대한 휨 E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	Y-Y축에 대한 휨 E_{y-y}	축하중 F_t	축하중 F_c	축하중 E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	X-X축에 대한 휨 E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	Y-Y축에 대한 휨 E_{y-y}	축하중 F_t	축하중 F_c	축하중 E	전단 F_v
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

2) 부재정보

도리의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 종도리, 주심도리, 바닥의 정보입력이 가능하고 5량가에는 도리에서는 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥의 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.



(1) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$
■ 각형 : b × h

(2) 단면2차모멘트

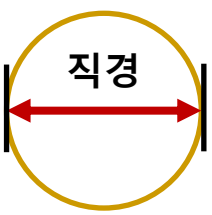
■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

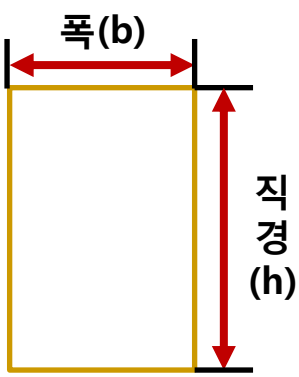
(3) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$



(a) 원형단면

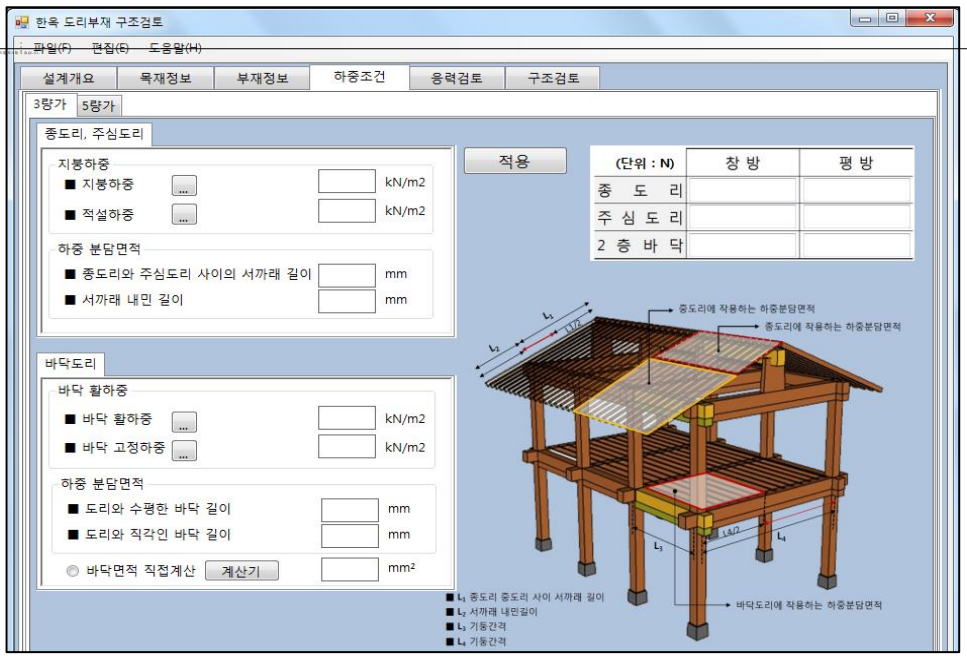


(b) 각형단면

3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

(1) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정

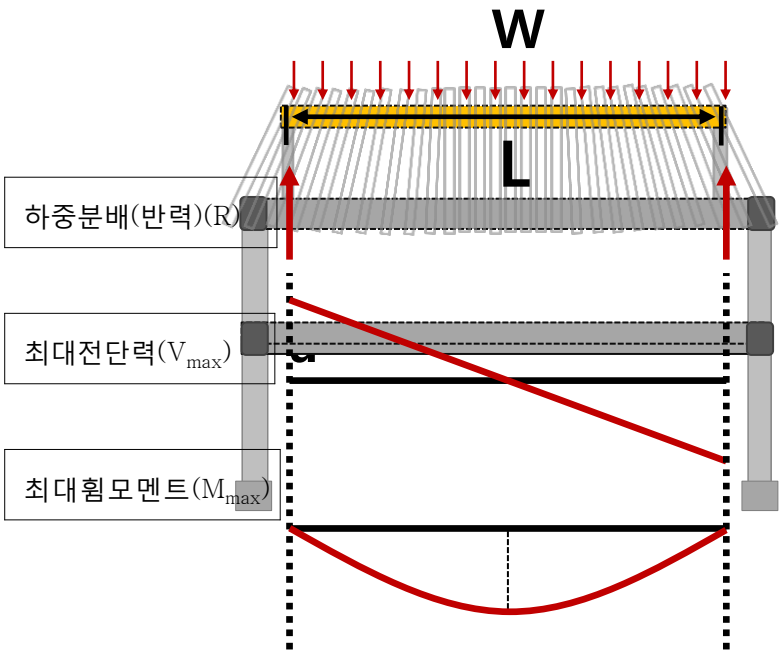


■ 종도리, 주심도리에 작용하는 하중분담면적 (A) = $\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)$

■ 종도리, 주심도리에 작용하는 전체하중 (P) = $\left(\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)\right)\times(RL+SL)$

L1 : 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이
L2 : 서까래 내민 길이
R : 도리 길이

(2) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정



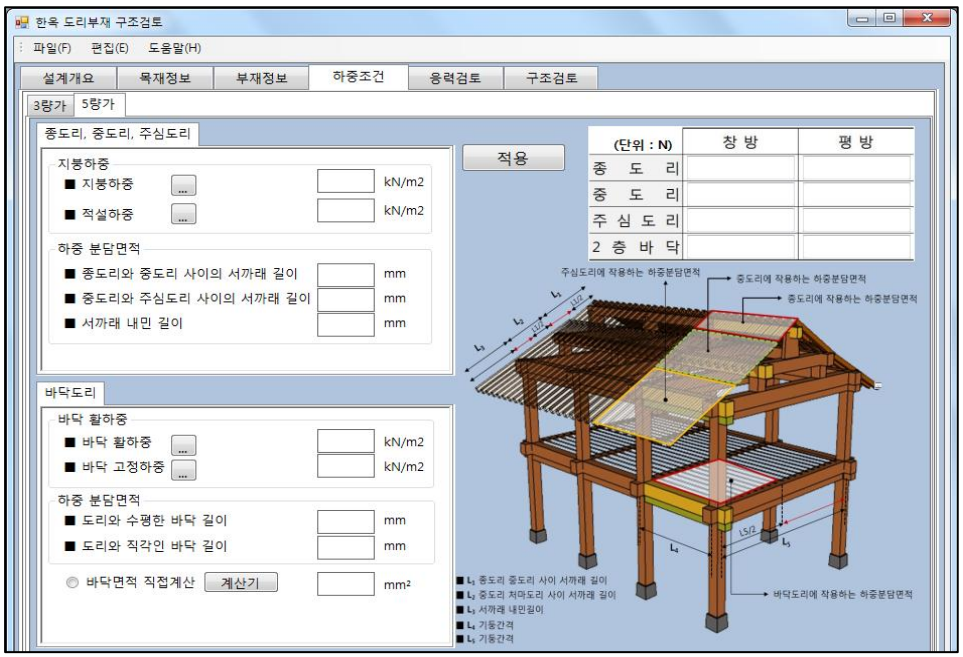
■ 반력 (R_A) = $\frac{WL}{2}$

■ 반력 (R_B) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (V_{max}) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{WL^2}{S}$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) = $Max((R_A \times a), (R_B \times (L-a)))$

(3) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정



3량가의 종도리와 주심도리는 등분포하중을 받고 마찬가지로 5량가의 종도리와 주심도리는 등분포하중을 받는다. 5량가의 경우 종도리, 중도리, 주심도리, 바닥도리에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 종도리에 작용하는 하중분담면적(A) = $R_1 \times L_1$

■ 종도리에 작용하는 전체하중(PA) = $(R_1 \times L_1) \times (RL + SL)$

■ 중도리에 작용하는 하중분담면적(B) = $R_2 \times \frac{L_2}{2}$

■ 중도리에 작용하는 전체하중(PB) = $\left(R_2 \times \frac{L_2}{2}\right) \times (RL + SL)$

■ 주심도리에 작용하는 하중분담면적(C) = $R_3 \times \frac{L_3}{2}$

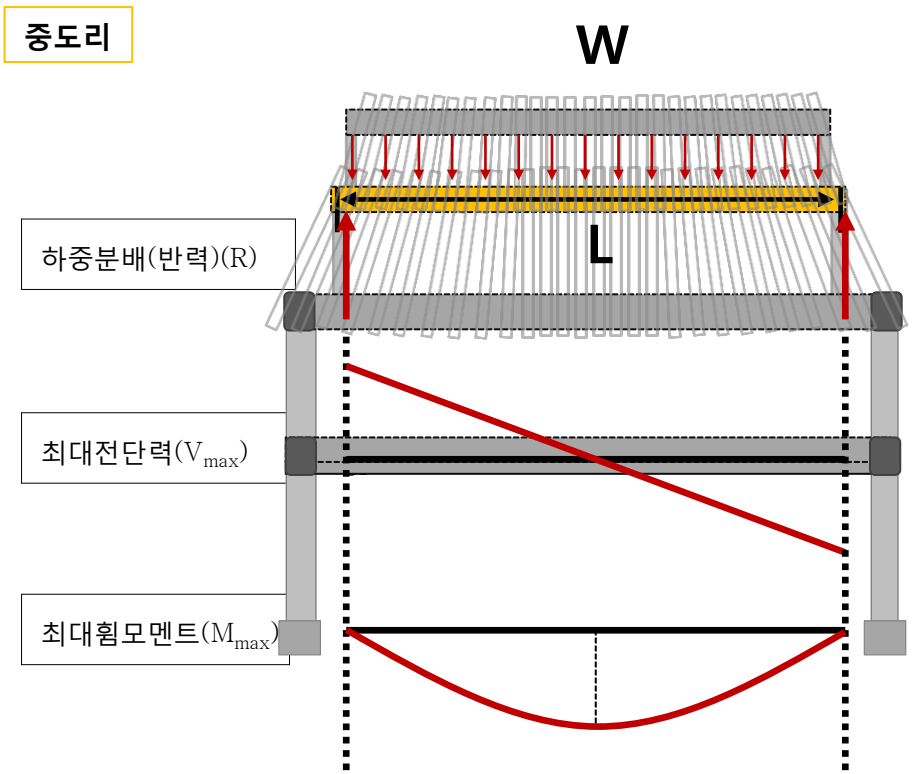
■ 주심도리에 작용하는 전체하중(PC) = $\left(R_3 \times \frac{L_3}{2}\right) \times (RL + SL)$

■ 바닥도리에 작용하는 하중분담면적(D) = $R_4 \times \frac{L_3}{2}$

■ 대들보에 작용하는 전체하중(PB) = $\left(R_4 \times \frac{L_3}{2}\right) \times (RL + SL)$

L_1 : 종도리와 중도리 사이의 서까래 길이, L_2 : 중도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L_3 : 서까래 내민길이, L_4 : 기둥간격
L_5 : 기둥간격, R_1 : 종도리 길이
R_2 : 중도리 길이, R_3 : 주심도리 길이

(4) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정



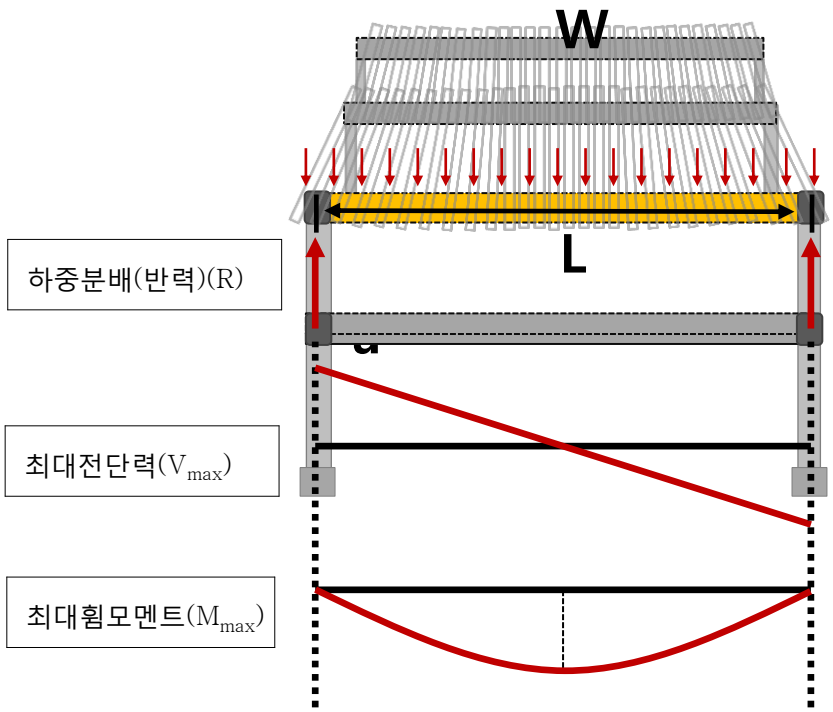
■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

■ 반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $\mathrm{Max}\left(\left(R_{①} \times a\right), \left(R_{②} \times (L-a)\right)\right)$

주심도리



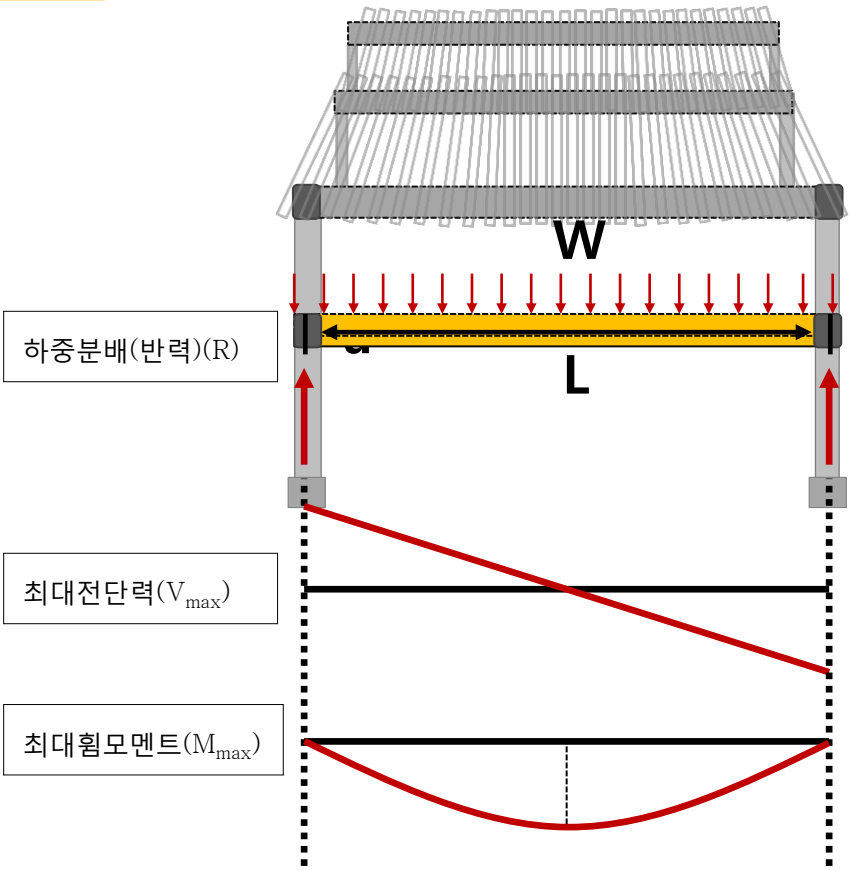
■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

■ 반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $\mathrm{Max}\left(\left(R_{①} \times a\right), \left(R_{②} \times \left(L - a\right)\right)\right)$

바닥도리



■ 반력 (R①) = $\frac{WL}{2}$

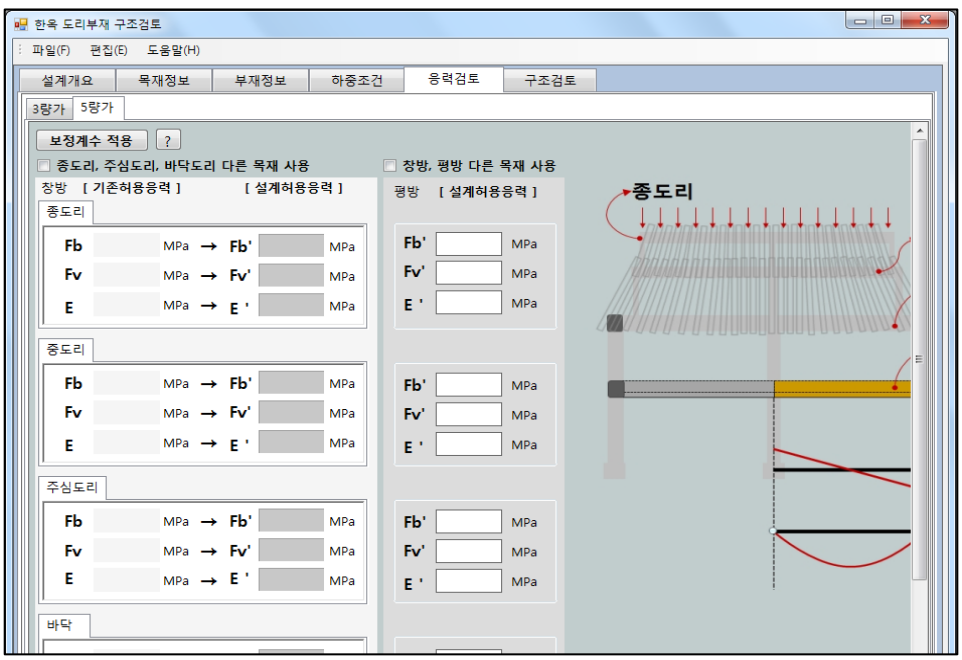
■ 반력 (R②) = $\frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (Vmax) = $\frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2}$

■ 최대휨모멘트 (Mmax) = $\mathrm{Max}\left(\left(R_{①} \times a\right), \left(R_{②} \times \left(L - a\right)\right)\right)$

4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.



(1) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F = F_b \times C_D \times C_M \times C_T \times C_L \times C_F \times C_r \times C_T$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

설계하중	하중계수,	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

구 분	두 께	습윤계수					
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

‣ C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준 허용응력에 표 10의 온도계수 를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

기준 허용응력	사용함수율 조건	온도계수		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

‣ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b 에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L 을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L 은 부피계수 C_v 와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE} \div F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE} \div F_b^*}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE} \div F_b^*}{0.95}}$$

여기서 F_b^* = 기준 허용휨응력에 C_{fv} C_v C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R^2_B}$$

K_{bE}= 0.745 - 1.225(COV_E)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

‣ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $\left(\frac{300}{d}\right)^{\frac{1}{9}}$ 값을 곱한다.

‣ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

‣ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

(2) 전단응력($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 기준허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(3). 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

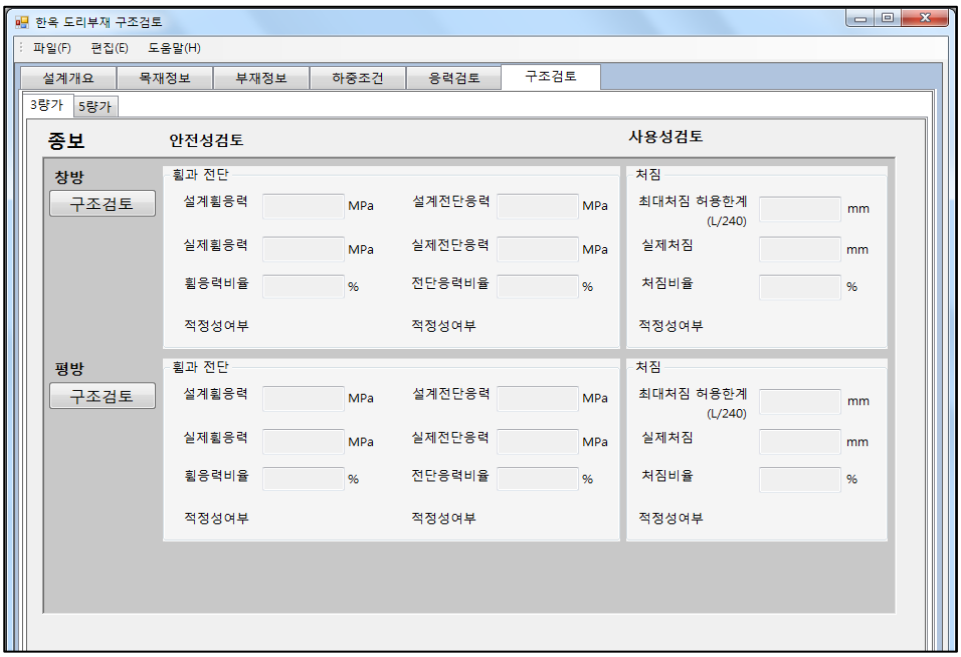
$$E' = E \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

5) 안전성 및 사용성 검토

도리 부재의 구조검토는 대들보와 종보에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.



(1) 원목의 도리 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

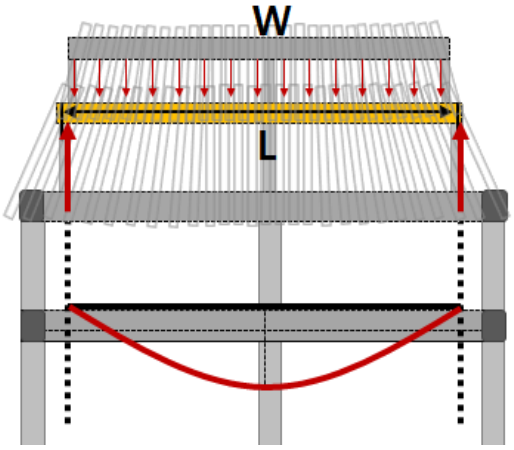
실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 처짐

도리 부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 분포하중인 처짐값을 구할 수 있다.



고려해야 할 보정계수에는 보안정계수, 부피계수가 있다.

$\delta = \frac{5WL^4}{384EI}$ 이다.

(2) 구조용집성재의 도리 설계

■ 휨

구조용집성재 도리에 대한 설계허용응력계산은 보안정계수를 적용하여 측방안정성을 고려하는 방법과 부피계수를 적용하여 부피효과를 고려하는 방법의 2가지 중에서 더 작은 값을 적용한다.

- 측방안정성 : $F_{bx'} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_L)$

- 부피효과 : $F_{bx} = F_{bx}(C_D)(C_M)(C_t)(C_V)$

■ 전단

원목의 도리 설계의 전단과 동일하다.

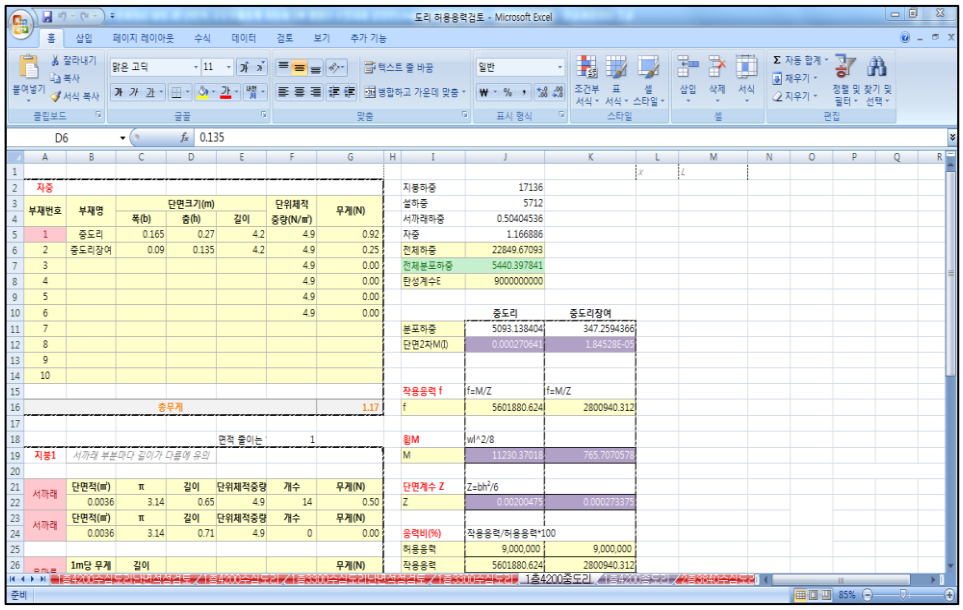
■ 처짐

원목의 도리 설계의 처짐과 동일하다.

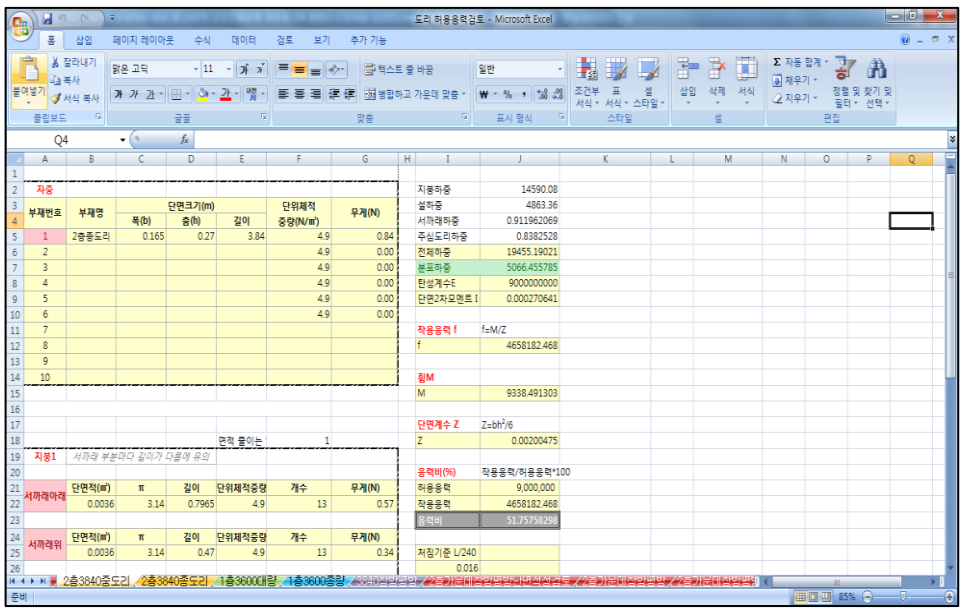
Step4 Microsoft Excel을 통한 도리 프로그램 검토

개발한 프로그램 검토의 적정성을 확인하기 위해 개발된 프로그램과 동일한 알고리즘을 적용하여 Excel을 이용하여 검토하였다. 도리는 종도리와 중도리, 주심도리로 나누었다.

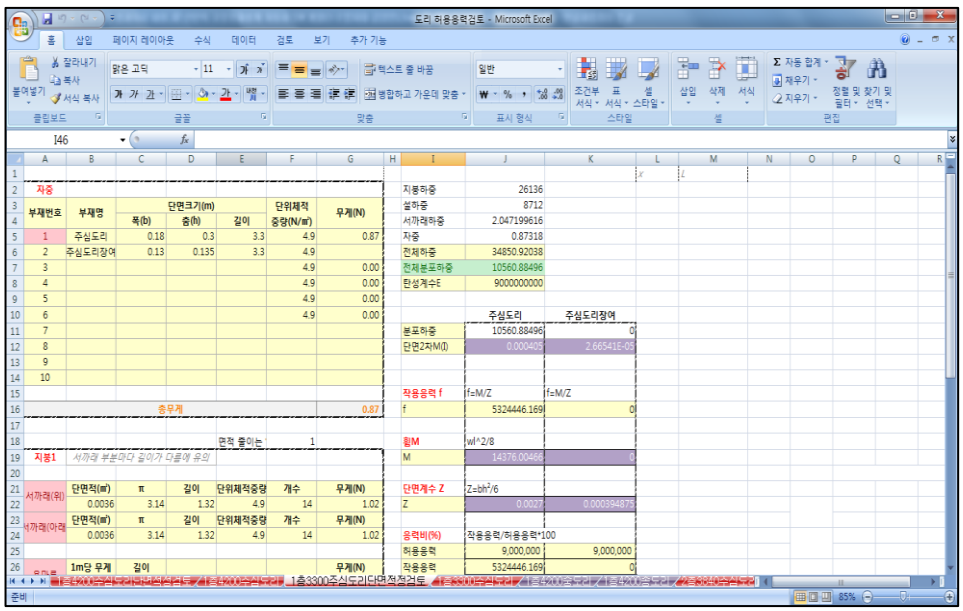
1) 종도리



2) 중도리



3) 주심도리



자중						
부재번호	부재명	단면크기(m) 폭(b)	춤(h)	길이	단위체적 중량(N/㎥)	무게(N)
1	주심도리	0.18	0.3	3.3	4.9	0.87
2	주심도리장여	0.13	0.135	3.3	4.9	
3					4.9	0.00
4					4.9	0.00
5					4.9	0.00
6					4.9	0.00
7						
8						
9						
10						
총무게						0.87

면적 줄이는 1

지붕1	서까래 부분마다 길이가 다를에 유의					
서까래(위)	단면적(㎡)	π	길이	단위체적중량	개수	무게(N)
	0.0036	3.14	1.32	4.9	14	1.02
서까래(아래)	단면적(㎡)	π	길이	단위체적중량	개수	무게(N)
	0.0036	3.14	1.32	4.9	14	1.02
	1m당 무게	길이				무게(N)

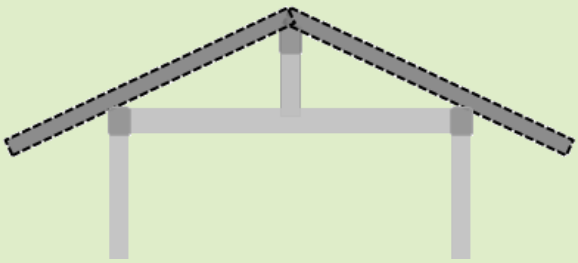
지붕하중	26136
설하중	8712
서까래하중	2.047199616
자중	0.87318
전체하중	34850.92038
전체분포하중	10560.88496
탄성계수E	9000000000

	주심도리	주심도리장여
분포하중	10560.88496	0
단면2차M(I)	0.000405	2.66541E-05
작용응력 f	f=M/Z	f=M/Z
f	5324446.169	0
휨M	wl^2/8	
M	14376.00466	0
단면계수 Z	Z=bh²/6	
Z	0.0027	0.000394875
응력비(%)	작용응력/허용응력*100	
허용응력	9,000,000	9,000,000
작용응력	5324446.169	0

서까래

- 비탈진 지붕면을 만들기 위해 건물과 가로 방향으로 도리 위에 일정한 간격으로 걸쳐 지붕면을 받치는 둥글게 깎아 만든 나무 부재이다.

- 보통 4.5~5㎝ 각재를 45㎝ 간격으로 도리에 큰 못질을 한다.



Chapter06

서까래부재 구조검토 근거자료

서까래부재의 구조검토 과정과 함께 계산식을 통해 근거를 제시한다.
또한 Microsoft Excel을 통해 검토 과정을 보여준다.

Step 01. 개요
Step 02. 서까래부재 구조검토 과정
Step 03. 구조검토 근거 (계산식)
Step 04. Microsoft Excel을 통한 서까래 프로그램 검토

Step1 개요

서까래부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 을 사용하여 계산하며, 서까래의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

Step2 서까래부재 구조검토 과정

목재정보선택	*원목, 집성재*
↓	
가구법선택	*3량가, 5량가*
↓	
부재정보입력	*단면크기 및 길이*
↓	
하중조건입력	*지붕하중 및 적설하중*
↓	
설계허용응력 산정 및 부재력 계산	*설계응력산정*
↓	
안정성 및 사용성 검토	*안정성(휨,전단), 사용성(처짐)검토*

그림 10. 서까래부재 구조검토 과정 알고리즘

① 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존 허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다.

② 가구법을 선택한다. 3량가와 5량가는 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 3량가일 경우에는 단순보에 등분포 하중인데, 5량가일때 단연일때는 단순보에 등분포하중이지만, 장연일 경우 내민보에 등분포하중이 작용한다.

③ 서까래 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다. 넷째 하중조건에서도 3량가와 5량가의 구분이 필요하다. 이는 서까래 개수에 따라 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 서까래에 등분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 서까래에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보인다.

지역	지역적설하중
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수,제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

표 1. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

Step3 구조검토 근거(계산식)

1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다.「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송,라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 2. 침엽수 구조재의 수종 구분

표 3. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		Fb	Ft	Fc	Fc⊥	Fv	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.4	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.4	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.4	6,000

표 4. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용 응력						
	X-X축에 대한 힘		Y-Y축에 대한 힘		축하중		
	Fbx-x 1)	Ex-x 2)	Fby-y 3)	Ey-y 4)	Ft 5)	Fc 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

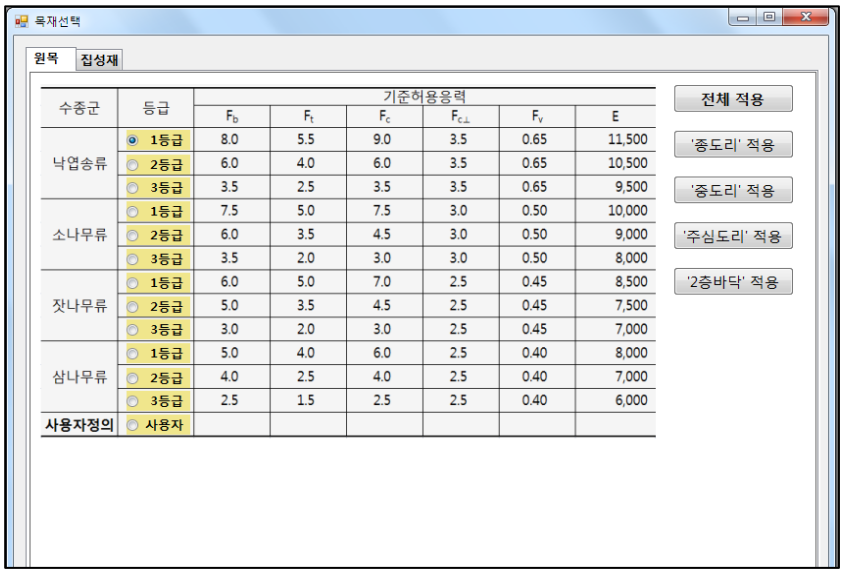
1) X-X 축에 대한 기준 허용휨응력(X -X 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) X-X 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) Y-Y 축에 대한 기준 허용휨응력(Y-Y 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) Y-Y 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

표 5. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

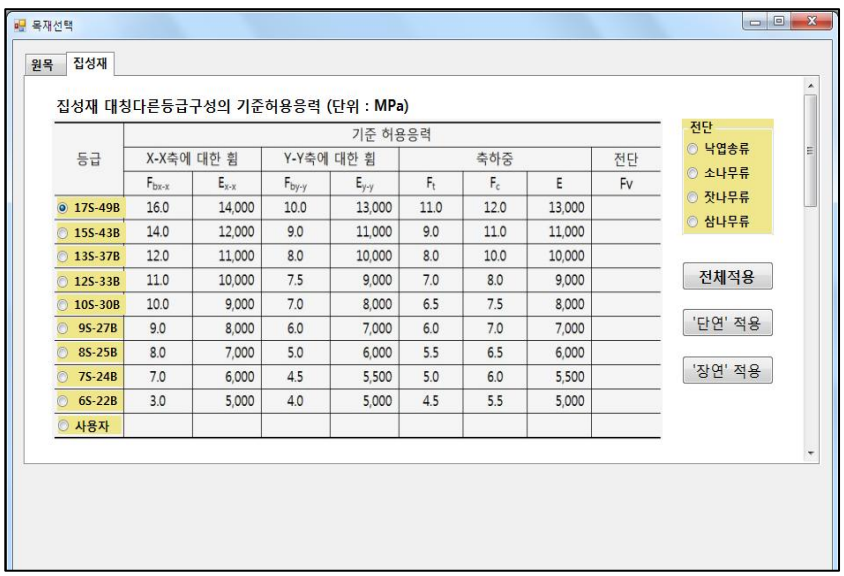
수종군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.
아래의 그림과 같이 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급외의 허용응력을 사용해야 한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



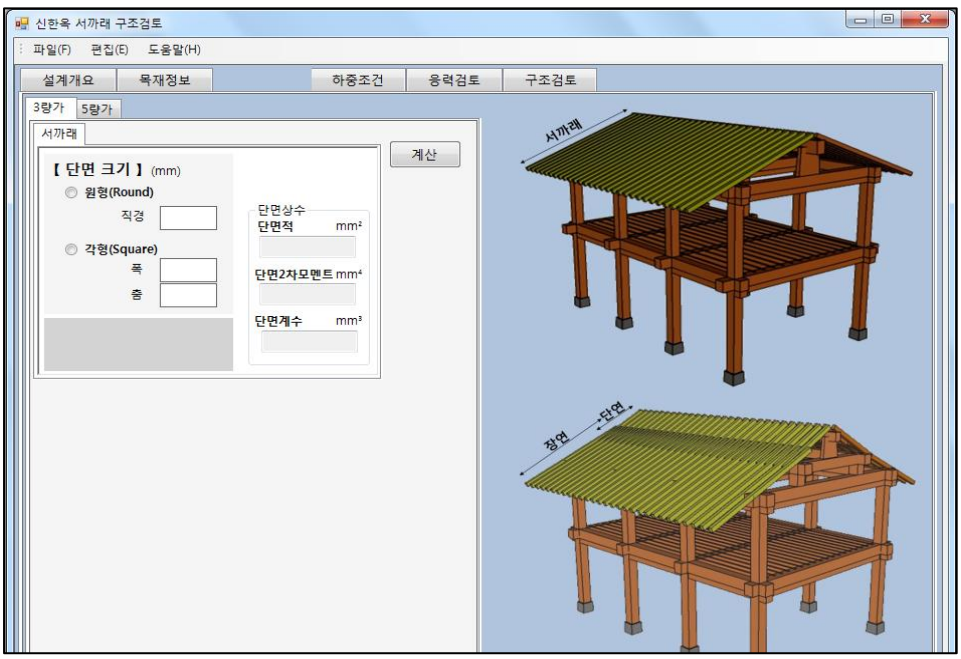
수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						



등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

2) 부재정보

서까래의 부재정보는 가구법을 선택하는 것에서부터 시작된다. 가구법은 크게 3량가와 5량가로 나누어져 있으며 3량가에는 대들보만 정보입력이 가능하고 5량가에서는 대들보와 종보의 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.



(1) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$
■ 각형 : bh

(2) 단면2차모멘트

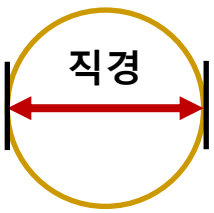
■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

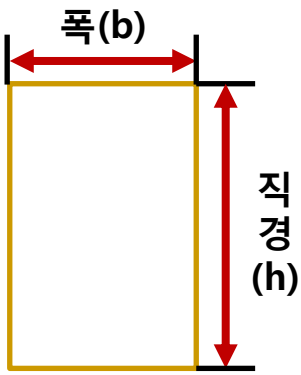
(3) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$



(a) 원형단면

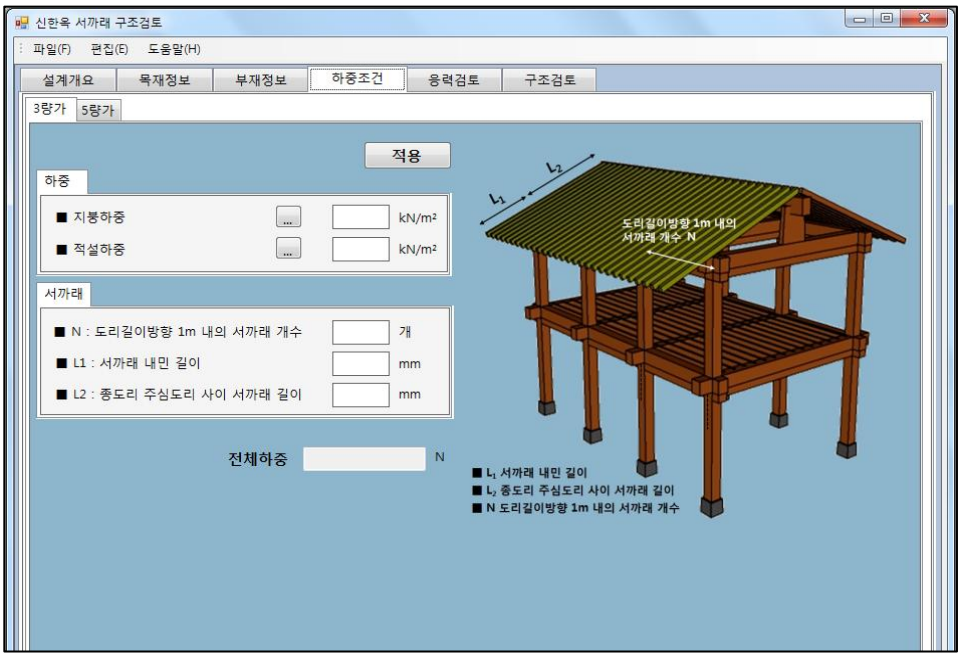


(b) 각형단면

3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 3량가의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

(1) 3량가_하중분담면적 및 하중 산정



■ 서까래에 작용하는 하중분담면적 (A) $R \times (L_1 \times L_2)$

■ 서까래에 작용하는 전체하중 (P) $\frac{R \times (L_1 + L_2)}{N} \times (RL + SL)$

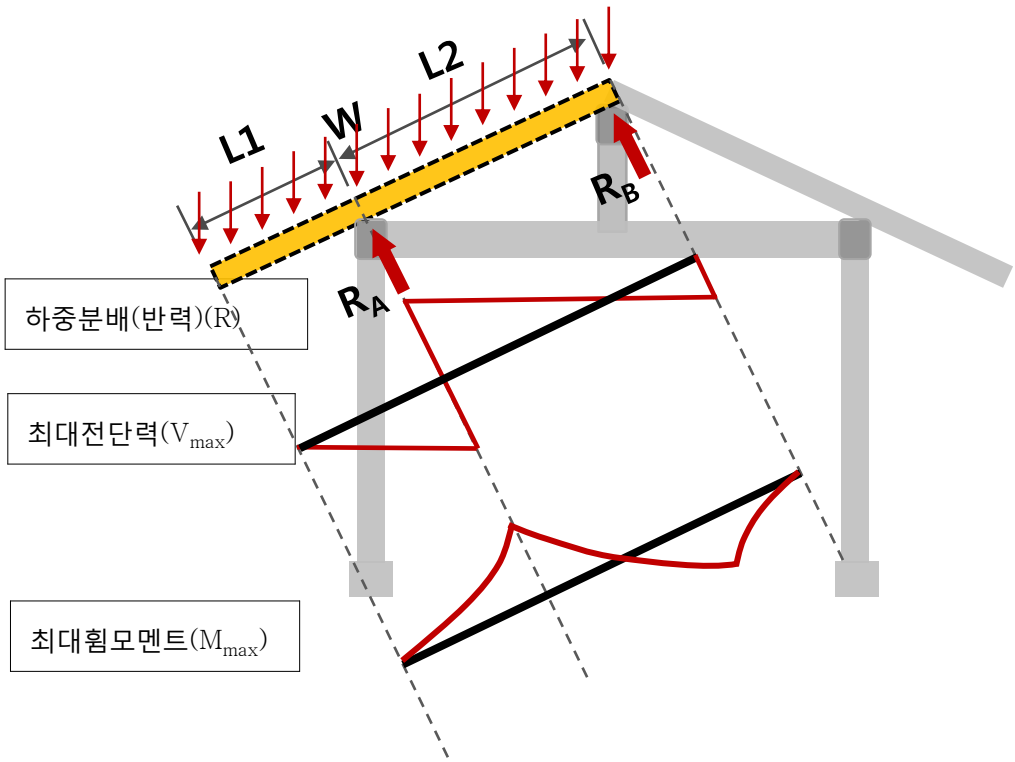
L_1 : 서까래 내민 길이

L_2 : 종도리 주심도리 사이 서까래 길이

N : 도리길이방향 1m 내의 서까래 개수

R : 도리 길이

(2) 3량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정



M_B = 0에서

$$-WL_1 \times \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right) + RA \times L_2 - WL_2 \times \left(\frac{L_2}{2}\right) = 0$$

(3) 5량가_하중분담면적 및 하중 산정

5량가의 서까래는 단연과 장연으로 나누어져 있으며, 단연과 장연 모두 등분포 하중을 받는다. 5량가의 경우 단연 및 장연에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 단연에 작용하는 하중분담면적 (A) = $R \times \left(\frac{L_1}{2} + \frac{L_2}{2} \right)$

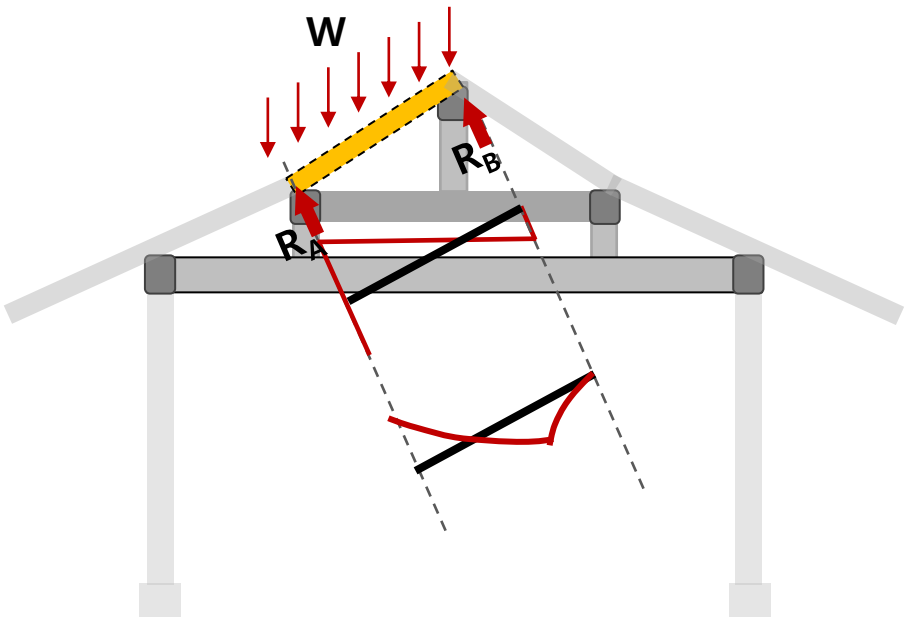
■ 단연에 작용하는 전체하중 (P_1) = $\frac{R \times \left(\frac{L_1}{2} + \frac{L_2}{2} \right)}{N} \times (RL + SL)$

■ 장연에 작용하는 하중분담면적 (B) = $R \times \left(\frac{L_2}{2} + \frac{L_3}{2} \right)$

■ 장연에 작용하는 하중분담면적 (P_2) = $\frac{R \times \left(\frac{L_2}{2} + \frac{L_3}{2} \right)}{N} \times (RL + SL)$

L_1 : 종도리 중도리 사이 서까래 길이
L_2 : 중도리 처마도리 사이 서까래 길이
L_3 : 서까래 내민길이
N : 도리길이방향 1m 내의 서까래 개수
R : 도리 길이

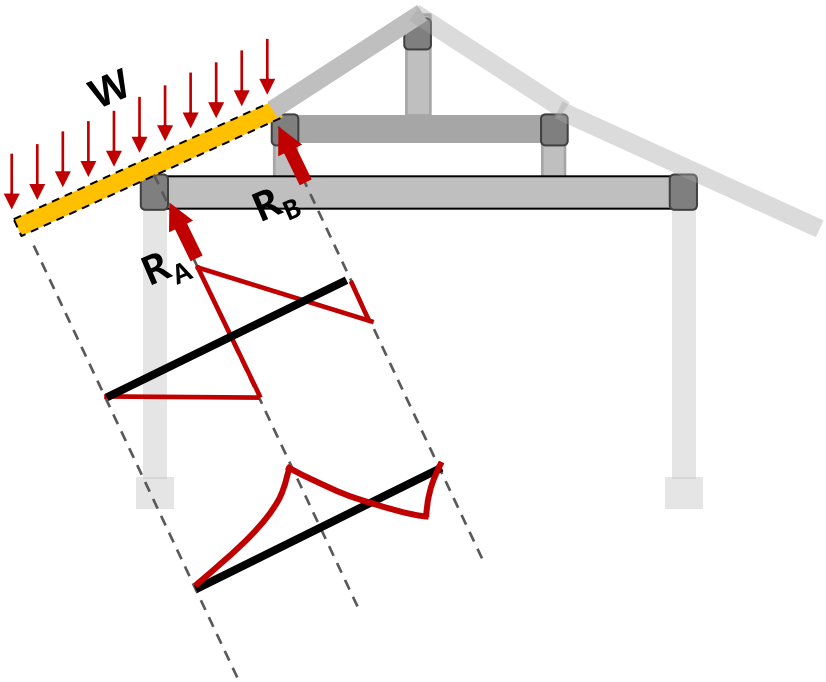
(4) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정 - 단연



M_B = 0에서

$$-WL_1 \times L_1$$
$$+R_A \times L_1$$
$$-R_B \times L_1 = 0$$

(4) 5량가_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정 - 장연

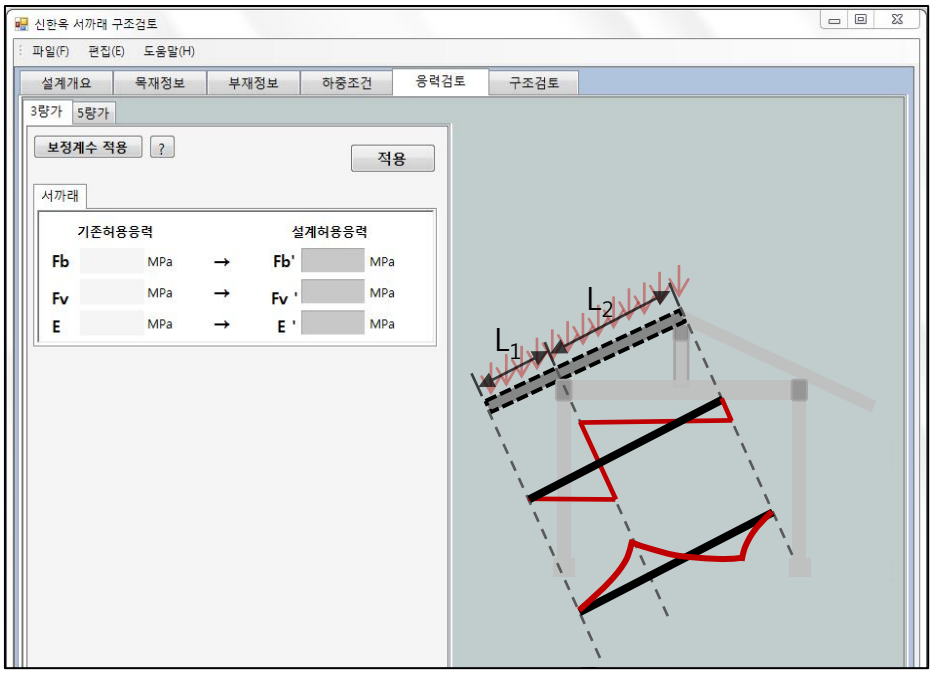


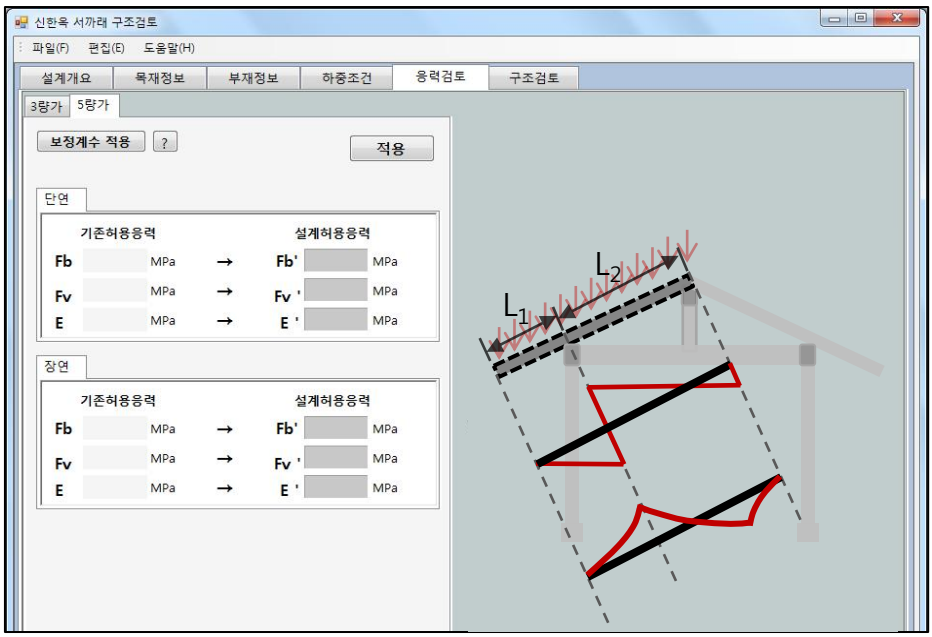
M_B = 0에서

$$-WL_1 \times \left(\frac{L_1}{2} + L_2\right)$$
$$+R_A \times L_2$$
$$-WL_2 \times \left(\frac{L_2}{2}\right) = 0$$

4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 3량가와 5량가 모두 같은 보정계수가 적용된다.





(1) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F = F_b \times C_D \times C_M \times C_T \times C_L \times C_F \times C_r \times C_T$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다.
본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

설계하중	하중계수,	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

구 분	두 께	습윤계수					
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

‣ C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준 허용응력에 표 10의 온도계수 를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

기준 허용응력	사용함수율 조건	온도계수		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

‣ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b 에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L 을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L 은 부피계수 C_v 와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE} \div F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE} \div F_b^*}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE} \div F_b^*}{0.95}}$$

여기서 F_b^* = 기준 허용휨응력에 C_{fv} C_v C_L을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{bE}= 0.745 - 1.225(COV_E)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

‣ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $\left(\frac{300}{d}\right)^{\frac{1}{9}}$ 값을 곱한다.

‣ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

‣ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

(2) 전단응력($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 기준허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(3). 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

$$E' = E \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

5) 안전성 및 사용성 검토

서까래 부재의 구조검토는 대들보와 종보에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.

(1) 원목의 도리 설계

■ 휨

기준허용휨응력에 보정계수를 곱하여 설계허용휨응력을 구하여 실제 휨응력과 비교하여 휨응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제휨응력 : $f_b = \frac{M}{S} < F_b$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

■ 전단

기준허용전단응력에 보정계수를 곱하여 설계허용전단응력을 구하여 실제 전단응력과 비교하여 전단응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

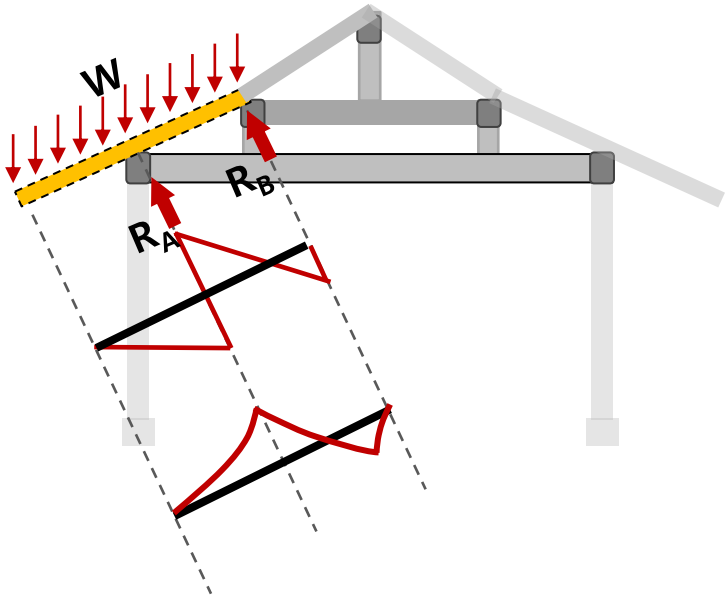
실제휨응력 : $f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v$

이를 만족하면 휨의 적정성을 만족한다.

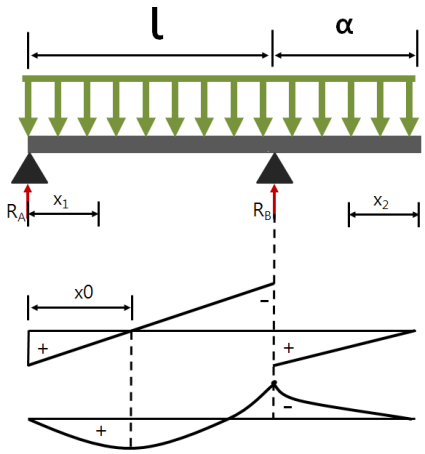
■ 처짐

도리 부재의 길이에 의한 최대허용처짐값을 구한다. 본 연구에서는 L/240를 기준으로 최대허용처짐값을 구하였다.

실제처짐은 아래의 그림과 같이 하중이 분포하중인 처짐값을 구할 수 있다.



실제처짐은 다음과 같은 식으로 처짐을 구할 수 있다.



$$R_A = \frac{\omega(l^2 - a^2)}{2l}, R_B = \frac{\omega(l+a)^2}{2l}$$

$$Q_{\delta 1} = R_A - \omega x_1, Q_{\delta 2} = \omega x_2$$

$$M_B = -\frac{\omega a^2}{2}$$

$$M_{max} = R_A \bullet x_0 - \frac{\omega x_0^2}{2} \left(x_0 = \frac{l^2 - a^2}{2l} \text{의 경우} \right)$$

$$\theta_C = \frac{\omega a^3}{3EI} + \frac{\omega l}{24EI}(l^2 - 4a^2)$$

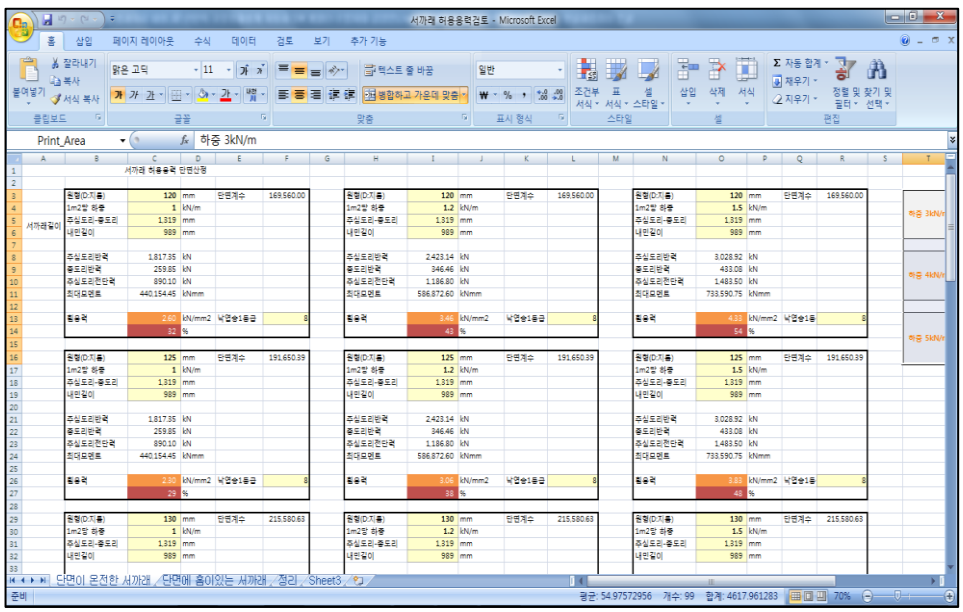
$$\delta_C = \frac{\omega a^4}{8EI} + \frac{\omega l a}{24EI}(4a^2 - l^2)$$

$$\delta_O = \frac{5\omega l^4}{384EI} - \frac{M_B l^2}{16EI}$$

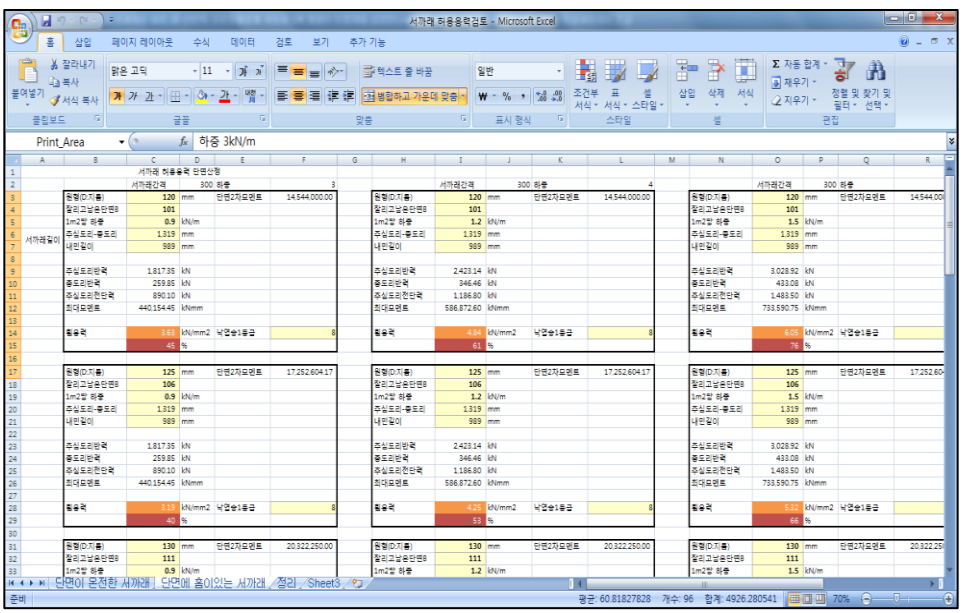
Step4 Microsoft Excel을 통한 서까래 프로그램 검토

개발한 프로그램 검토의 적정성을 확인하기 위해 개발된 프로그램과 동일한 알고리즘을 적용하여 Excel을 이용하여 검토하였다. 서까래는 단면이 온전한 서까래와 단면에 홈이 있는 서까래로 나누었다.

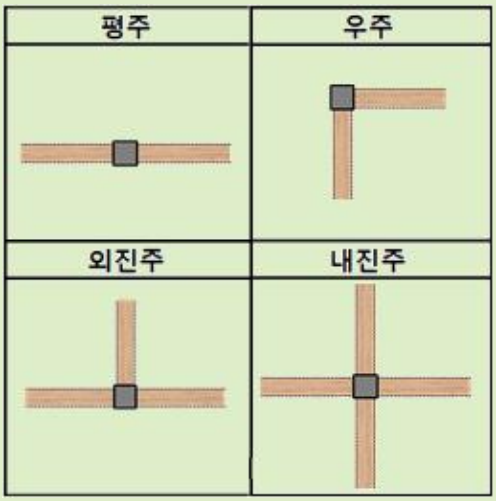
1) 단면이 온전한 서까래



2)단면에 홈이 있는 서까래



기둥



- 평주 : 건물 외측에 둘러 세운 기둥이다.
- 우주 : 건물 외부 모서리에 있는 기둥이다.
- 외진주 : 이 소프트웨어에서는 1축휨을 받는 경우를 외진주라고 명칭하고 있다.
- 내진주 : 이 소프트웨어에서는 2축휨을 받는 경우를 내진주라고 명칭하고 있다.

Chapter07

기둥부재 구조검토 근거자료

기둥부재의 구조검토 과정과 함께 계산식을 통해 근거를 제시한다.
또한 Microsoft Excel을 통해 검토 과정을 보여준다.

Step 01. 개요
Step 02. 기둥부재 구조검토 과정
Step 03. 구조검토 근거 (계산식)
Step 04. Microsoft Excel을 통한 기둥 프로그램 검토

Step1 개요

기둥부재의 구조검토는 안정성을 검토한 후 사용성을 검토한다. 안정성은 휨과 전단으로 검토하며, 사용성은 처짐으로 검토한다. 휨응력은 설계허용휨응력을 초과하지 않도록 하고 전단응력은 설계허용전단응력을 초과하지 않도록 한다. 그러나 휨부재에서는 섬유직각방향전단강도에 대한 검토는 필요하지 않다. 설계에서 휨에 의한 처짐을 계산할 필요가 있을 때에는 이 기준의 허용탄성계수 을 사용하여 계산하며, 서까래의 최대처짐은 활하중만 작용할 때에는 부재길이의 1/360, 활하중과 고정하중이 함께 작용할 때에는 1/240보다 작아야 한다.

Step2 기둥부재 구조검토 과정

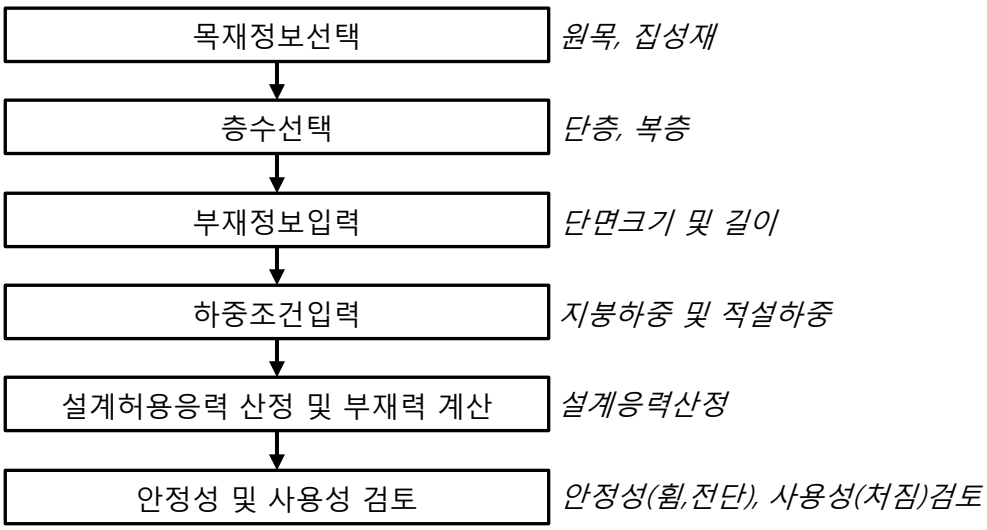


그림 10. 기둥부재 구조검토 과정 알고리즘

① 목재정보에서 검토하고자 하는 부재의 목재가 원목인지 집성재인지 선택한다. 이는 기존허용응력을 설정하기 위함이다. 집성재의 경우 하나의 부재를 만드는데 사용하는 목재의 수종에 따라 전단응력이 달라지므로 수종선택이 필요하다.

② 건물의 층수를 선택한다. 단층과 복층은 부재에 작용하는 하중의 특성이 다르다. 단층의 경우 기둥에 작용하는 하중이 지붕하중뿐이지만 복층은 바닥하중과 지붕하중이 작용한다.

③ 기둥 부재의 단면크기와 부재의 길이를 입력한다. 이는 설계허용응력을 산정하는데 있어서 필요한 단면상수인 단면적, 단면2차모멘트 그리고 단면계수를 계산한다.

④ 하중조건에서도 단층과 복층의 구분이 필요하다. 이는 기둥에 작용하는 하중분담면적이 다르기 때문이다. 하중분담면적은 보부재의 수직방향의 길이와 서까래 길이를 곱하여 구하고 이는 서까래에 등분포하중으로 계산된다. 지붕 하중의 크기는 한옥의 종류에 따라 다르다. 신한옥의 경우, 서까래에 작용하는 지붕하중의 경우 1㎡당 3~5kN이며 전통한옥의 경우는 4~5kN이다. 적설하중의 경우에는 지역에 따라 하중값에 차이를 보인다.

지역	지역적설하중
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수,제주, 서귀포, 진주, 이천	0.50
정읍, 울진	0.65
인천	0.80
속초	2.00
강릉	3.00
울릉도, 대관령	7.00

표 1. 기본지상 적설하중 (건축구조기준 KBC2009)

Step3 구조검토 근거(계산식)

1) 목재정보

목재정보는 사용하는 원목 또는 집성재일 경우 수종군과 등급에 따라 휨응력, 인장응력, 압축응력, 수직방향압축응력, 전단응력 그리고 탄성계수를 설정할 수 있다.「묵조건축구조설계매뉴얼」대한건축학회에서 언급한 수종군의 구분 및 등급표는 다음과 같다.

수 종 군	포 함 수 종
낙엽송류	낙엽송, 더글라스퍼, 미국 낙엽송, 북양 낙엽송, 비중이 0.50 이상인 수종
소나무류	소나무, 편백나무, 리기다소나무, 미국 솔송나무, 미국 전나무, 비중이 0.45 이상 0.50 미만인 수종
잣나무류	잣나무, 가문비나무, 미국 가문비나무, 북양 가문비나무, 북양 적송,라디에타소나무, 비중이 0.40 이상 0.45 미만인 수종
삼나무류	삼나무, 전나무, 미국 삼나무, 비중이 0.35 이상 0.40 미만인 수종

표 2. 침엽수 구조재의 수종 구분

표 3. 원목_침엽수 육안등급 구조재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

수 종 군	등 급	기준 허용응력					
		Fb	Ft	Fc	Fc⊥	Fv	E
낙엽송류	1등급 2등급 3등급	8.0 6.0 3.5	5.5 4.0 2.5	9.0 6.0 3.5	3.5 3.5 3.5	0.65 0.65 0.65	11,500 10,500 9,500
소나무류	1등급 2등급 3등급	7.5 6.0 3.5	5.0 3.5 2.0	7.5 4.5 3.0	3.0 3.0 3.0	0.5 0.5 0.5	10,000 9,000 8,000
잣나무류	1등급 2등급 3등급	6.0 5.0 3.0	5.0 3.5 2.0	7.0 4.5 3.0	2.5 2.5 2.5	0.45 0.45 0.45	8,500 7,500 7,000
삼나무류	1등급 2등급 3등급	5.0 4.0 2.5	4.0 2.5 1.5	6.0 4.0 2.5	2.5 2.5 2.5	0.4 0.4 0.4	8,000 7,000 6,000

표 4. 집성재_대칭 다른 등급 구성 집성재의 기준 허용응력 (단위 : N/㎟, MPa)

등급	기준 허용 응력						
	X-X축에 대한 힘		Y-Y축에 대한 힘		축하중		
	Fbx-x 1)	Ex-x 2)	Fby-y 3)	Ey-y 4)	Ft 5)	Fc 6)	E 7)
17S-49B	16	14000	10	13000	11	12	13000
15S-43B	14	12000	9	11000	9	11	11000
13S-37B	12	11000	8	10000	8	10	10000
12S-33B	11	10000	7.5	9000	7	8	9000
10S-30B	10	9000	7	8000	6.5	7.5	8000
9S-27B	9	8000	6	7000	6	7	7000
8S-25B	8	7000	5	6000	5.5	6.5	6000
7S-24B	7	6000	4.5	5500	5	6	5500
6S-22B	3	5000	4	5000	4.5	5.5	5000

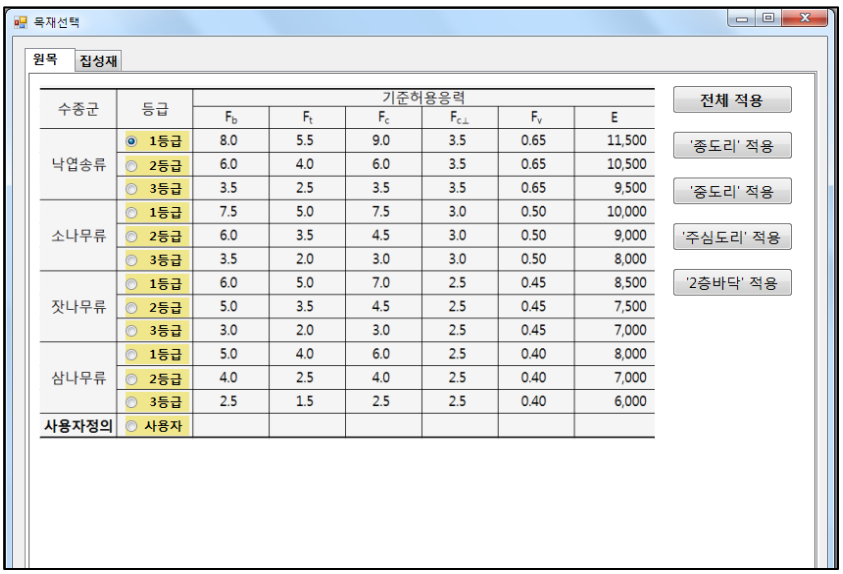
1) X-X 축에 대한 기준 허용휨응력(X -X 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 직교하게 작용하는 경우)
2) X-X 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
3) Y-Y 축에 대한 기준 허용휨응력(Y-Y 축은 하중 또는 처짐의 방향이 적층면과 평행하게 작용하는 경우)
4) Y-Y 축에 대한 기준 휨탄성계수(MOE)
5) 기준 섬유방향 인장허용응력
6) 기준 섬유방향 압축허용응력
7) 기준 탄성계수

표 5. 집성재_수종군별 기준허용전단응력

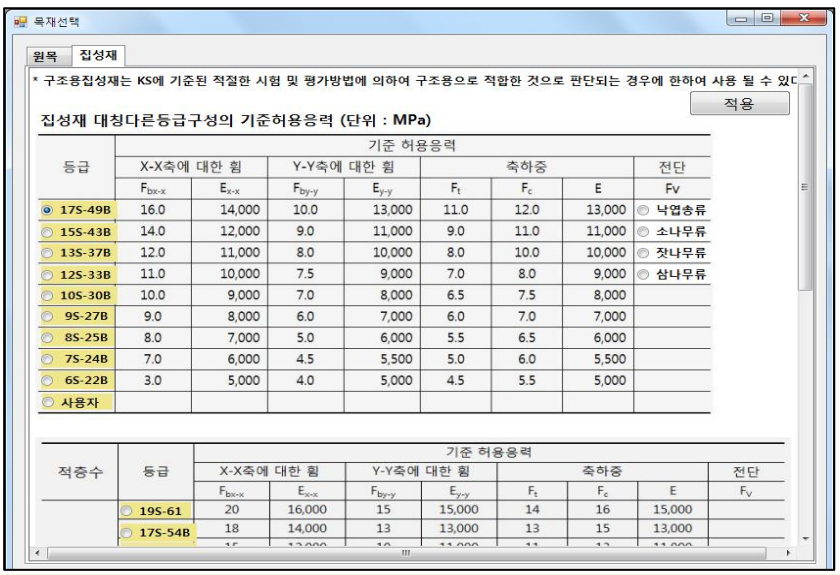
수종군	허용전단응력 (단위 : MPa)
낙엽송류	2.0
소나무류	1.6
잣나무류	1.4
삼나무류	1.2

여러 가지 수종이 혼합된 집성재의 경우에는 사용된 수종 중에서 가장 약한 수종군에 대한 값을 적용한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 집성재 부재에서 가장 널리 사용되고 있는 대칭다른등급구성 집성재의 기준허용응력만을 고려하였으나 계속해서 추가할 예정이다.
아래의 그림 2와 그림 3은 개발한 소프트웨어에서 원목과 집성재의 기준허용응력을 선택할 수 있다. 만약 제시되어있는 등급 외의 허용응력을 사용해야 한다면 사용자정의를 지정하여 사용자가 직접 허용응력을 입력할 수 있다.



수종군	등급	기준허용응력 F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	E
낙엽송류	1등급	8.0	5.5	9.0	3.5	0.65	11,500
	2등급	6.0	4.0	6.0	3.5	0.65	10,500
	3등급	3.5	2.5	3.5	3.5	0.65	9,500
소나무류	1등급	7.5	5.0	7.5	3.0	0.50	10,000
	2등급	6.0	3.5	4.5	3.0	0.50	9,000
	3등급	3.5	2.0	3.0	3.0	0.50	8,000
잣나무류	1등급	6.0	5.0	7.0	2.5	0.45	8,500
	2등급	5.0	3.5	4.5	2.5	0.45	7,500
	3등급	3.0	2.0	3.0	2.5	0.45	7,000
삼나무류	1등급	5.0	4.0	6.0	2.5	0.40	8,000
	2등급	4.0	2.5	4.0	2.5	0.40	7,000
	3등급	2.5	1.5	2.5	2.5	0.40	6,000
사용자정의	사용자						

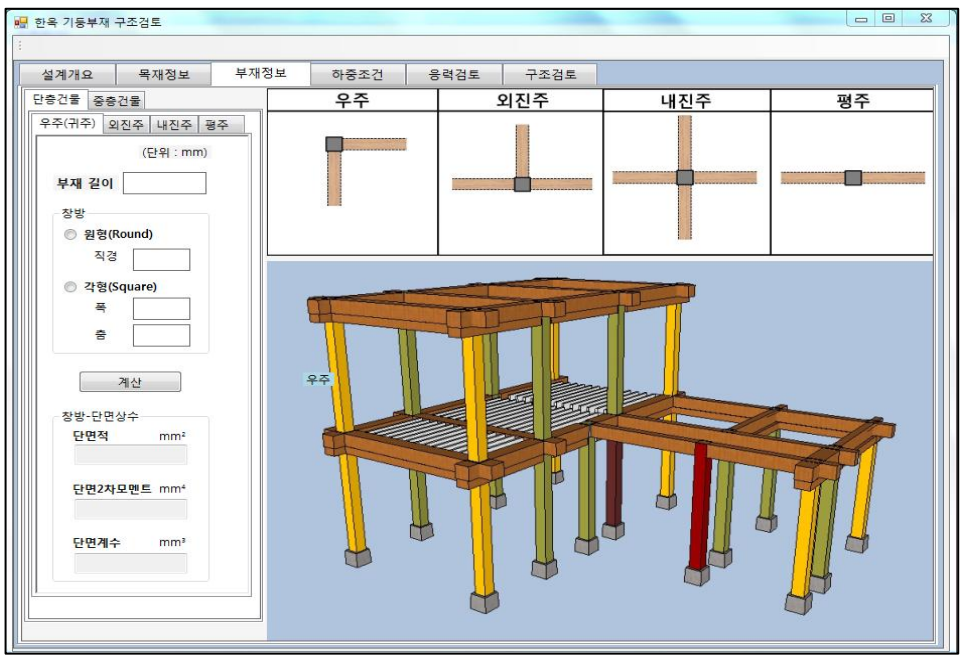


등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
17S-49B	16.0	14,000	10.0	13,000	11.0	12.0	13,000	낙엽송류
15S-43B	14.0	12,000	9.0	11,000	9.0	11.0	11,000	소나무류
13S-37B	12.0	11,000	8.0	10,000	8.0	10.0	10,000	잣나무류
12S-33B	11.0	10,000	7.5	9,000	7.0	8.0	9,000	삼나무류
10S-30B	10.0	9,000	7.0	8,000	6.5	7.5	8,000	
9S-27B	9.0	8,000	6.0	7,000	6.0	7.0	7,000	
8S-25B	8.0	7,000	5.0	6,000	5.5	6.5	6,000	
7S-24B	7.0	6,000	4.5	5,500	5.0	6.0	5,500	
6S-22B	3.0	5,000	4.0	5,000	4.5	5.5	5,000	
사용자								

적층수	등급	기준 허용응력 X-X축에 대한 휨 F_{bx-x}	E_{x-x}	Y-Y축에 대한 휨 F_{by-y}	E_{y-y}	축하중 F_t	F_c	E	전단 Fv
	19S-61	20	16,000	15	15,000	14	16	15,000	
	17S-54B	18	14,000	13	13,000	13	15	13,000	

2) 부재정보

기둥의 부재정보는 층수를 선택하는 것에서부터 시작된다. 층수는 단층과 복층으로 나누어져 있으며 단층에는 부재길이 정보입력이 가능하고 복층에서는 부재길이와 바닥 정보입력이 가능하다. 또한 단면의 종류는 원형과 각형으로 나누어진다. 부재의 단면크기와 길이를 통해서 단면상수를 계산할 수 있다.



(1) 단면적

■ 원형 : $d^2\pi$
■ 각형 : b × h

(2) 단면2차모멘트

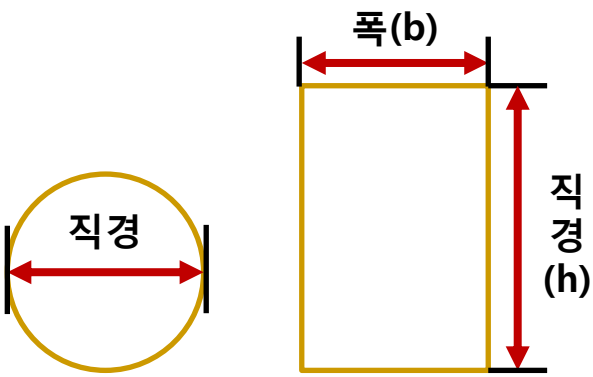
■ 원형 : $\frac{d^4}{4}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^3}{12}$

(3) 단면계수

■ 원형 : $\frac{d^3}{32}\pi$

■ 각형 : $\frac{bh^2}{6}$

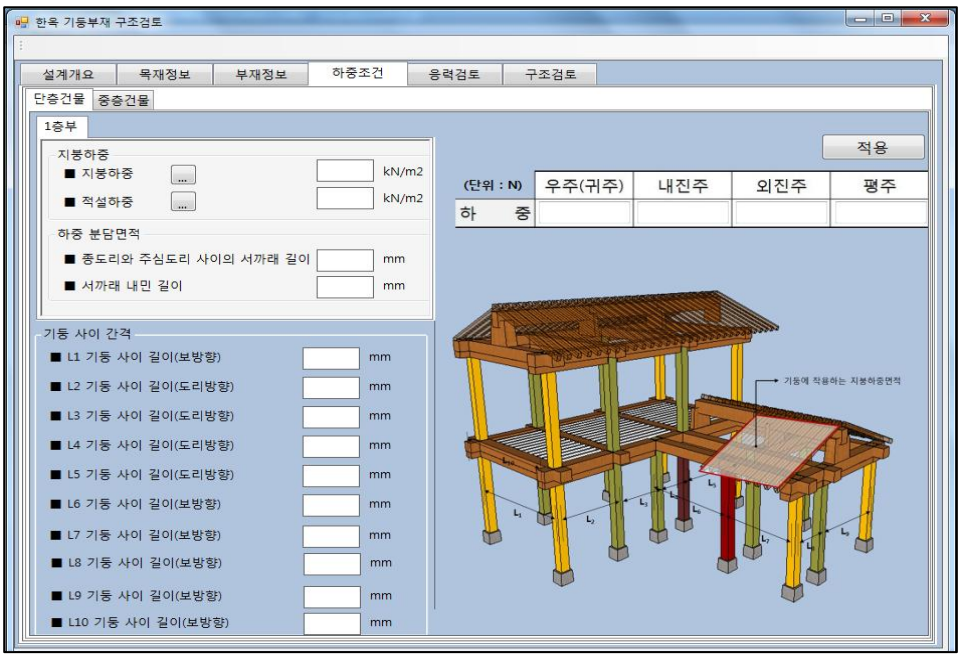


(a) 원형단면 (b) 각형단면

3) 하중조건

하중은 지붕하중과 적설하중을 적용한다. 지붕하중은 RL, 적설하중은 SL로 표기하여 계산식을 정리하였다. 단층의 경우 대들보에 작용하는 하중분담면적 산정 방법은 다음과 같다.

(1) 단층_하중분담면적 및 하중 산정

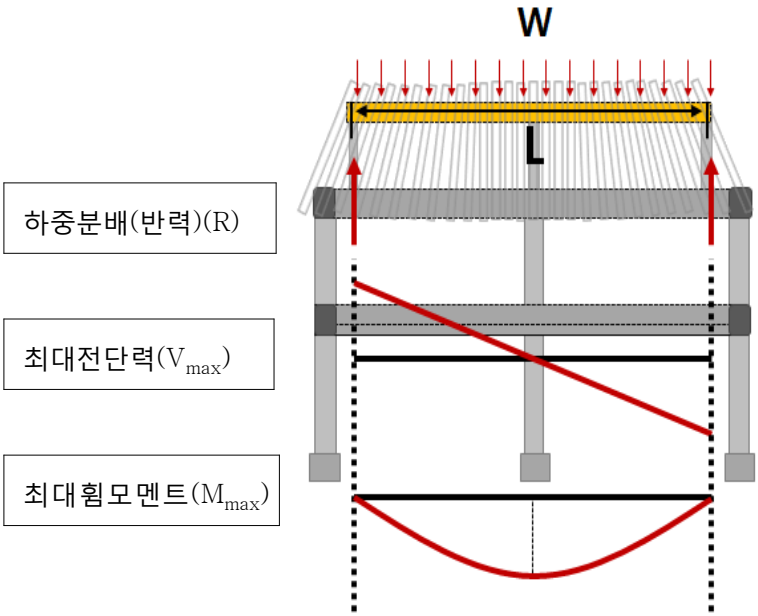


■ 종도리, 주심도리에 작용하는 하중분담면적 (A) = $\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)$

■ 종도리, 주심도리에 작용하는 전체하중 (P) = $\left(\frac{L_1}{2}\times\left(\frac{L_2}{2}+\frac{L_3}{2}\right)\right)\times(RL+SL)$

L1 : 종도리와 주심도리 사이의 서까래 길이
L2 : 서까래 내민 길이
R : 도리 길이

(2) 단층_반력, 최대전단력 및 최대휨모멘트 산정



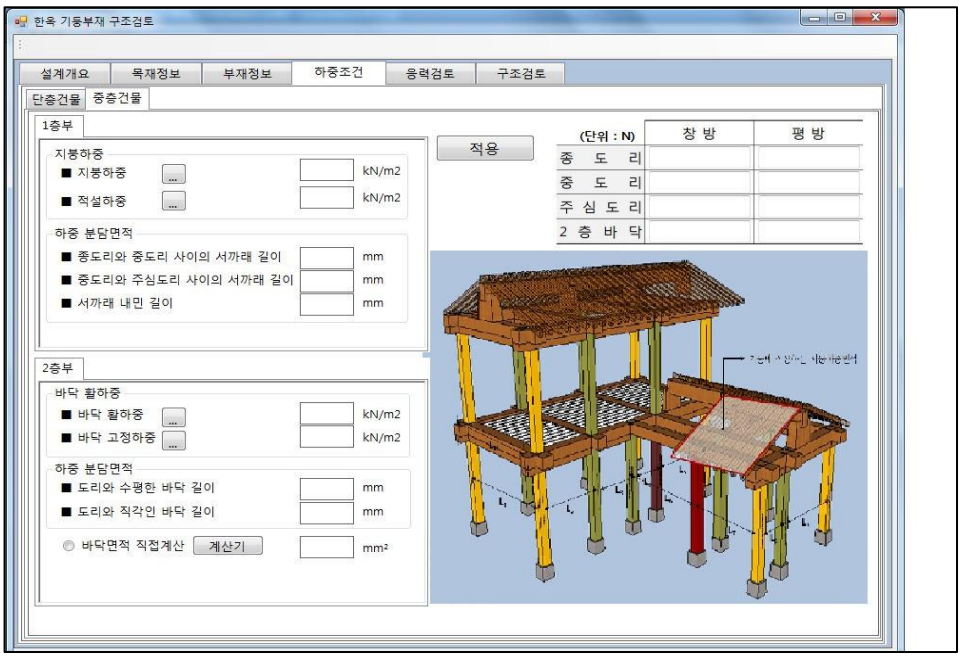
■ 반력 (R_A) $= \frac{WL}{2}$

■ 반력 (R_B) $= \frac{WL}{2}$

■ 최대전단력 (V_{max}) $= \frac{WL}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{WL^2}{S}$

■ 최대휨모멘트 (M_{max}) $= Max((R_A \times a), (R_B \times (L-a)))$

(3) 복층_하중분담면적 및 하중 산정



단층의 기둥은 지붕하중만을 받지만 복층의 기둥은 지붕하중과 바닥 하중을을 같이 받는다. 복층의 경우 기둥에 작용하는 하중분담면적 및 하중은 다음과 같다.

■ 종도리에 작용하는 하중분담면적(A) = $R_1 \times L_1$

■ 종도리에 작용하는 전체하중(PA) = $(R_1 \times L_1) \times (RL + SL)$

■ 중도리에 작용하는 하중분담면적(B) = $R_2 \times \frac{L_2}{2}$

■ 중도리에 작용하는 전체하중(PB) = $\left(R_2 \times \frac{L_2}{2}\right) \times (RL + SL)$

■ 주심도리에 작용하는 하중분담면적(C) = $R_3 \times \frac{L_3}{2}$

■ 주심도리에 작용하는 전체하중(PC) = $\left(R_3 \times \frac{L_3}{2}\right) \times (RL + SL)$

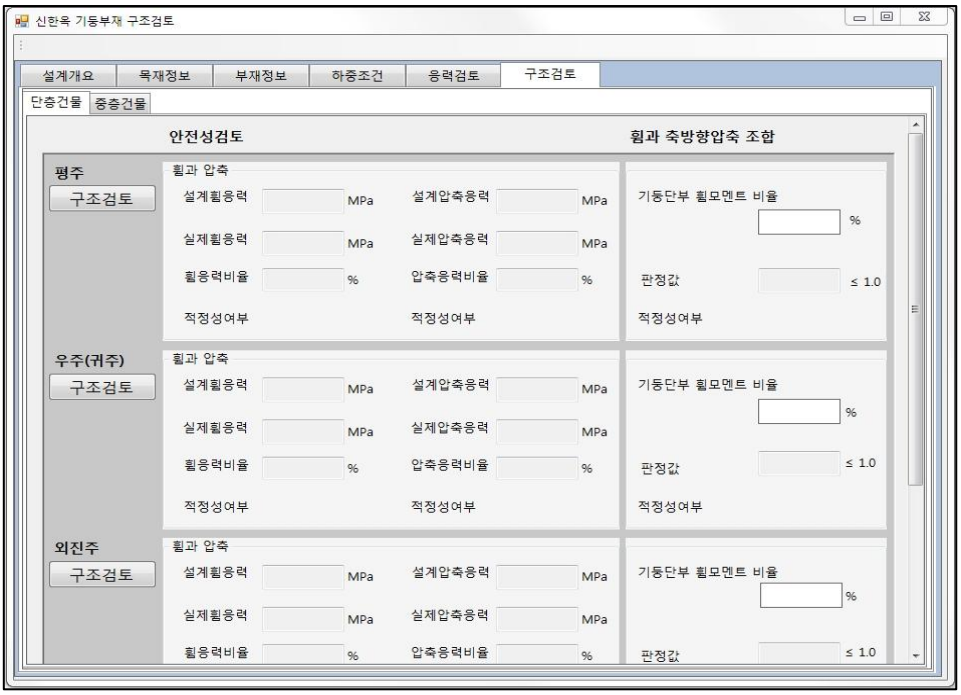
■ 바닥도리에 작용하는 하중분담면적(D) = $R_4 \times \frac{L_3}{2}$

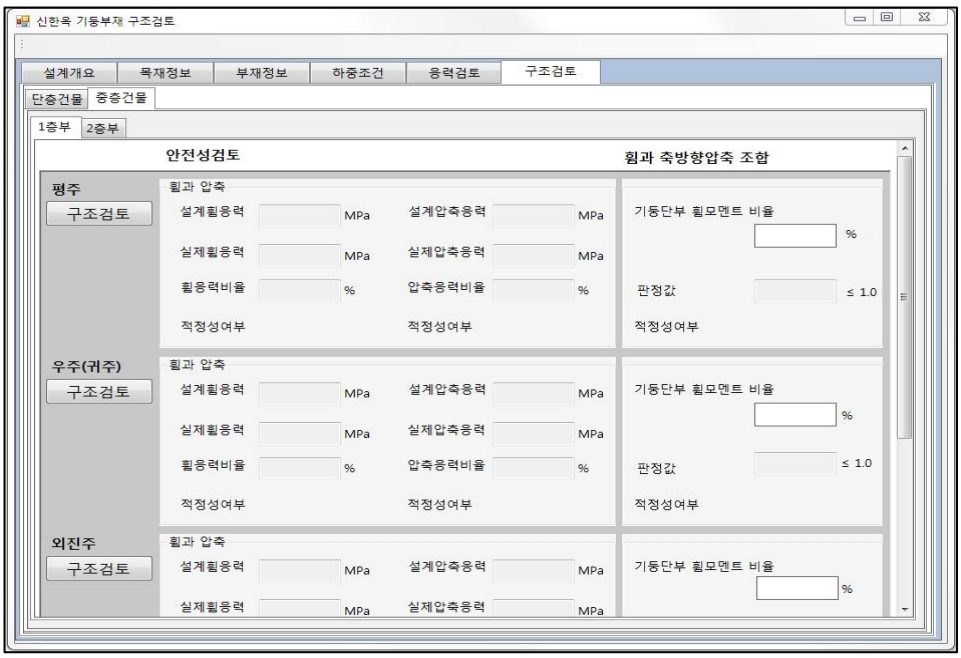
■ 대들보에 작용하는 전체하중(PB) = $\left(R_4 \times \frac{L_3}{2}\right) \times (RL + SL)$

L_1 : 종도리와 중도리 사이의 서까래 길이, L_2 : 중도리와 처마도리 사이의 서까래 길이
L_3 : 서까래 내민길이, L_4 : 기둥간격
L_5 : 기둥간격, R_1 : 종도리 길이
R_2 : 중도리 길이, R_3 : 주심도리 길이

4) 설계허용응력 산정 및 부재력 계산

설계허용응력은 구조검토에서 안정성과 사용성을 판단하는데 적용된다. 이는 기존허용응력에 적용 가능한 보정계수를 곱한 것으로 기준허용응력을 보정한 값이다. 목재는 사용환경과 조건에 따라서 그 성질이 달라지기 때문에 이러한 성질의 변이가 설계에 고려되어야 한다. 목재 구조용재의 설계에서는 사용환경과 조건에 따른 보정계수를 적용하여야 하며, 이는 다른 재료들에서는 적용되지 않고 오직 목재에만 적용되는 독특한 성질이다.(목조건축구조설계매뉴얼_대한건축학회). 단층과 복층 모두 같은 보정계수가 적용된다.





(1) 휨응력 ($F_b \rightarrow F'_b$)

$$F = F_b \times C_D \times C_M \times C_T \times C_L \times C_F \times C_r \times C_T$$

설계허용휨응력은 기준허용휨응력에 위의 보정계수를 곱한다.
적용된 보정계수는 다음과 같다.

- F'_b : 설계허용휨응력
- F_b : 기준허용휨응력
- C_D : 하중기간계수

하중조합에 대한 하중계수 는 해당 조합에서 가장 짧은 하중기간의 하중계수로 한다. 본 연구에서는 고정하중과 적설하중을 적용하였으므로 하중계수 1.15를 곱한다.

설계하중	하중계수,	하중기간
고정하중	0.9	영구
적재하중	1.0	10년
적설하중	1.15	2개월
시공하중	1.25	7일
풍하중, 지진하중	1.6	10분
충격하중	2.0	충격2)

- C_M : 습윤계수

구조부재의 기준 허용응력은 건조사용 조건에 근거한 값이다. 구조부재의 사용함수율이 건조사용 조건보다 높은 경우에는 기준 허용응력에 표 9에 명시된 습윤계수를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 일반적으로 실무에서 사용하는 구조용 부재는 육안등급 구조재이며 두께 114mm으로 보아 습윤계수 1.0을 적용하였다.

구 분	두 께	습윤계수					
육안등급 구조재	89mm 이하	0.85	1.0	0.8	0.67	0.97	0.9
	114mm 이상	1.0	1.0	1.0	0.67	0.67	1.0
기계등급 구조재		0.85	1.0	0.8	–	–	0.9

‣ C_t : 온도계수

허용응력은 일상적인 온도범위에서 주로 사용되며 65℃ 이하의 고온에 가끔 노출되는 구조부재에 적용한다. 65℃ 이하의 고온에 장시간 노출되는 구조부재에 대하여는 기준 허용응력에 표 10의 온도계수 를 적용하여 보정한다. 본 연구에서는 안전치를 고려하여 35℃ < T ≤ 50℃로 0.8을 적용하였다.

기준 허용응력	사용함수율 조건	온도계수		
		T ≤ 35℃	35℃ < T ≤ 50℃	50℃ < T ≤ 65℃
F_t, E	습윤 또는 건조	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	건 조	1.0	0.8	0.7
	습 윤	1.0	0.7	0.5

‣ C_L : 보안정계수

기준 허용휨응력 F_b 에는 아래의 식에 규정된 보 안정계수 C_L 을 적용하여 보정한다. 휨하중을 받는 집성재의 경우 보안정계수 C_L 은 부피계수 C_v 와 동시에 적용하지 아니하고 이들 계수 중 작은 값을 적용하여 보정한다.

$$C_L = \frac{1+(F_{bE} \div F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(F_{bE} \div F_b^*}{1.9}\right]^2 - \frac{F_{bE} \div F_b^*}{0.95}}$$

여기서 F_b^* = 기준 허용휨응력에 C_{fv} C_v C_L 을 제외한 모든 적용 가능한 보정계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE}E'}{R_B^2}$$

K_{bE}= 0.745 - 1.225(COV_E)

= 0.439 [원목]

= 0.610 [집성재]

‣ C_F : 치수계수

육안등급구조재일 때(원목) $\left(\frac{300}{d}\right)^{\frac{1}{9}}$ 값을 곱한다.

‣ C_r : 반복부재계수

반복부재는 이들 규격재가 서로 접하거나 간격이 600 이하이고, 규격재의 수가 셋 이상이며, 설계하중을 지지하기에 적당한 바닥, 지붕 또는 다른 하중분산요소에 의하여 서로 접합되는 부재를 말한다. 본 연구에서 검토하는 보부재는 반복부재계수값의 기준에 해당하지 않기 때문에 적용하지 않는다.

‣ C_i : 인사이징계수

구조재에 인사이징 처리한 경우, 기준 허용응력에 표 11의 인사이징계수를 적용하여 보정한다. 인사이징 처리가 되지 않았으므로 1.0을 적용한다.

(2) 전단응력($F_v \rightarrow F'_v$)

$$F'_v = F_v \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계허용전단응력은 기준허용전단응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 전단응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- F'_v : 설계허용전단응력
- F_v : 기준허용전단응력
- C_D : 하중기간계수
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

(3). 탄성응력 ($E \rightarrow E'$)

$$E' = E \times C_D \times C_M \times C_t \times C_i$$

설계탄성응력은 기준허용탄성응력에 위의 보정계수를 곱한다. 적용된 보정계수는 다음과 같다. 휨응력과 동일한 계수는 탄성응력 계수에도 동일하게 적용한다.

- E' : 설계허용전단응력
- E : 설계허용전단응력
- C_M : 습윤계수
- C_t : 온도계수
- C_i : 인사이징계수

5) 안전성 및 사용성 검토

기둥 부재의 구조검토는 우주, 내진주, 외진주, 평주에 대하여 수행한다. 안전성검토는 휨과 전단을 검토하고 사용성으로는 처짐을 검토한다. 휨에 대한 구조해석은 부재의 최대휨모멘트로 실제휨응력을 구할 수 있다. 이는 앞에서 산정한 설계휨응력과 비교하여 부재가 버티는 휨응력을 검토할 수 있다. 전단에 대한 구조해석은 부재의 최대전단력으로 실제전단응력을 구할 수 있다. 이 또한 설계전단응력과 비교하여 부재가 버티는 전단응력을 검토할 수 있다. 처짐에 대한 검토는 보부재의 최대처짐 허용한계 (L/240)과 탄성응력을 통한 실제처짐을 비교하여 부재가 버티는 처짐응력을 검토할 수 있다.

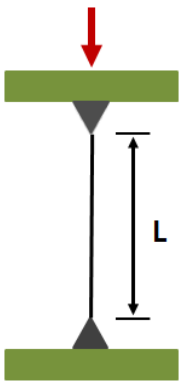
(1) 원목의 기둥 설계

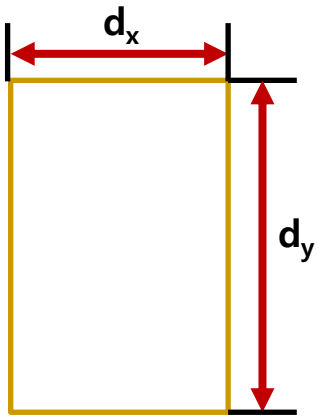
■ 압축
기준허용압축응력에 보정계수를 곱하여 설계허용압축응력을 구하여 실제 압축응력과 비교하여 압축응력비율을 구하여 부재의 적정성여부를 검토한다.

실제압축응력 : $F_c = \frac{P}{A} < F_c^*$
이를 만족하면 압축의 적정성을 만족한다.

■ 휨과 축압축
기둥의 1축 또는 2축휨과 축방향 압축이 조합된 하중이 작용하면 다음과 같은 식을 만족하여야 한다.

$f_v = \frac{1.5V}{A} < F_v$





압축 하중을 받는 기둥 계산식

$$\left(\frac{l_e}{d}\right)_{max} = \left(\frac{K_e l}{d}\right)_v = \frac{1.0 \times L}{d_v}$$

$$E' = E(C_M)(C_t)(C_r)(C_i)$$

$$F_{cE} = \frac{K_{cE} E'}{\left(l_e / d\right)^2}$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_T)(C_F)(C_i)$$

$$(C_P) = \frac{1 + \left(F_{cE} / F_c^*\right)}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(F_{cE} / F_c^*\right)}{2c}\right)^2}$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_T)(C_p)(C_i)$$

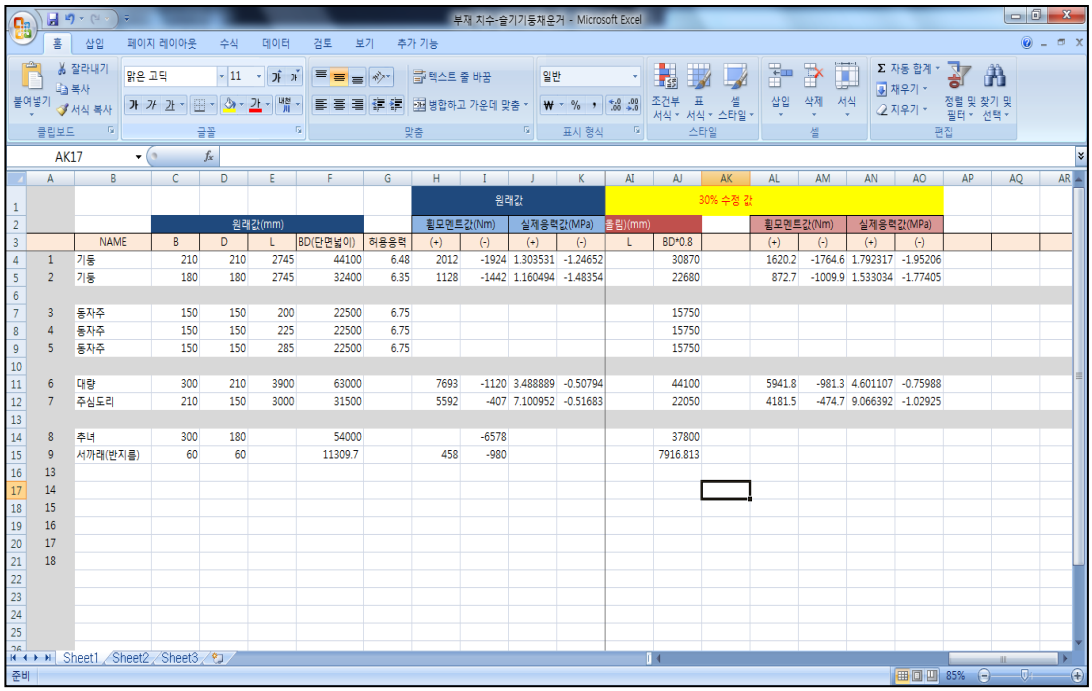
$$P = F_c^* A$$

휨과 축방향압축이 조합된 하중을 받는 부재 계산식

$$\left[\frac{f_c}{F_c'}\right]^2 + \frac{f_{b1}}{F_{b1}'\left[1 - \left(\frac{f_c}{F_{cE1}}\right)\right]} \le 1.0$$

Step4 Microsoft Excel을 통한 기둥 프로그램 검토

개발한 프로그램 검토의 적정성을 확인하기 위해 개발된 프로그램과 동일한 알고리즘을 적용하여 Excel을 이용하여 검토하였다.



								원래값					30% 수정 값									
			원래값(mm)					휨모멘트값(Nm)		실제응력값(MPa)		클림)(mm)			휨모멘트값(Nm)		실제응력값(MPa)					
		NAME	B	D	L	BD(단면넓이)	허용응력	(+)	(-)	(+)	(-)	L	BD*0.8		(+)	(-)	(+)	(-)				
4	1	기둥	210	210	2745	44100	6.48	2012	-1924	1.303531	-1.24652		30870		1620.2	-1764.6	1.792317	-1.95206				
5	2	기둥	180	180	2745	32400	6.35	1128	-1442	1.160494	-1.48354		22680		872.7	-1009.9	1.533034	-1.77405				
7	3	동자주	150	150	200	22500	6.75						15750									
8	4	동자주	150	150	225	22500	6.75						15750									
9	5	동자주	150	150	285	22500	6.75						15750									
11	6	대량	300	210	3900	63000		7693	-1120	3.488889	-0.50794		44100		5941.8	-981.3	4.601107	-0.75988				
12	7	주심도리	210	150	3000	31500		5592	-407	7.100952	-0.51683		22050		4181.5	-474.7	9.066392	-1.02925				
14	8	추녀	300	180		54000			-6578				37800									
15	9	서까래(반지름)	60	60		11309.7		458	-980				7916.813									

내용 출처

네이버 백과사전
네이버 지식사전
위키백과사전

이미지 출처

http://www.ctman.kr
http://ask.nate.com
http://www.c3p.kr
http://www.han-ok.re.kr

✔ 원리를 알면 구조가 즐겁다

실무자를 위한 신한옥 구조부재설계 자동화 소프트웨어 매뉴얼

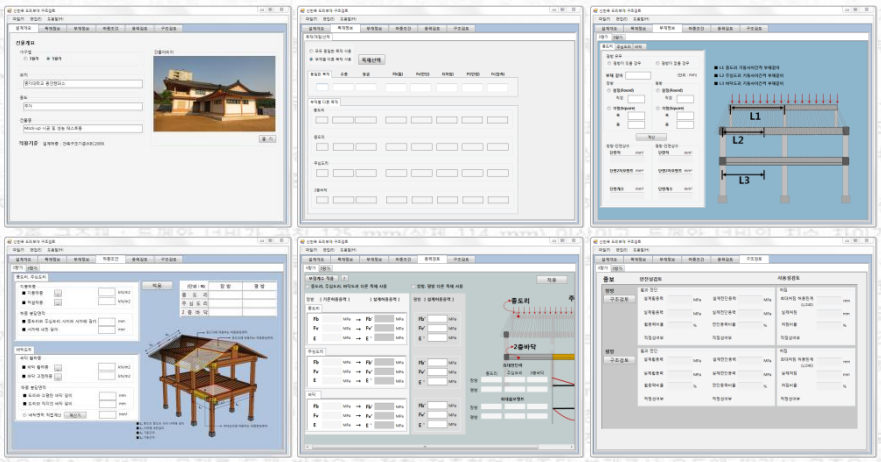
어렵고 복잡하다는 편견 대신

즐거움과 자신감을 주는 한옥 구조부재설계 입문서

누구를 위한 책인가?

한옥에 익숙하지 않은 구조설계자 및 구조전공자가 아닌 전문가가 한옥을 설계할 때 실질적인 구조부재를 설계함에 있어서 어려움을 겪을 수 있다. 이 소프트웨어는 한옥구조검토의 계산과정 및 보정계수 등 여러가지 구조검토 요소에 대한 어려움을 덜고 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 개발하였다. 이는 주요 구조부재인 대들보, 도리(평방,창방), 서까래, 기둥에 대한 최적단면을 선정할 수 있는 부재설계 검토 소프트웨어이다.

소프트웨어 구성요소



◀ 설계개요

◀ 목재(재질) 정보

◀ 부재 정보

◀ 하중정보

◀ 응력 및 부재력 계산

◀ 안전성 및 사용성 검토

경기도 용인시 처인구 남동 명지대학교 건축대학 구조디자인연구실 12315호