

12-5

실험한옥 구조모니터링보고서



작성자 : 연구책임자 김영민

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

## <목 차>

1. 실험한옥 구조모니터링	3
1.1 구조모니터링 측정 방법	3
1) 주요 구조부재의 변형 측정	3
(1) 주요 구조부재의 변형 측정 장비	3
(2) 주요 구조부재의 변형 측정 방법	4
2) 3차원 스캐너를 이용한 변형 측정	12
(1) 3차원스캐너를 이용한 변형 측정 장비	12
(2) 3차원스캐너를 이용한 변형 측정 방법	12
3) 디지털 영상 합성 변형 분석	12
(1) 디지털 영상 합성 변형 분석 장비	12
(2) 디지털 영상 합성 변형 분석 방법	12
(3) 디지털 영상 합성 변형 분석 측정 위치	13
(4) 디지털 영상 합성 변형 분석 기준영상	14
1.2 구조모니터링 측정 과정	16
1) 주요 구조부재의 변형 측정	16
(1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 측정	16
(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 측정	35
(3) 예제한옥(명지대 무루정) 측정 내용	54
2) 3차원 스캐너를 이용한 변형 측정	73
(1) 3차원 스캐너	73
3) 디지털 영상 합성 변형 분석	76
(1) 외곽선 추출 영상	76
(2) 평균정지영상 추출	80
1.3 구조모니터링 결과	86
1) 주요 구조부재의 변형 측정 결과	86
(1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동)	86
(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동)	91
2) 디지털 영상 합성 변형 분석 결과	103
(1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동)	103
(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동)	105
(3) 예제한옥(명지대 무루정)	107
1.4 결론	109
1) 주요 구조부재의 변형 측정	109
(1) 함수율	109
(2) 변형	111
2) 디지털 영상 합성 변형 분석	114
1.5 구조모니터링 평가검증회의	115
1) 개요	115

(1) 목적-----	115
2) 실험한옥 구조모니터링 평가검증회의-----	115
(1) 일시-----	115
(2) 평가위원단 소개-----	115
(3) 발표내용-----	115
3) 종합평가 및 보완답변-----	116

# 1. 실험한옥 구조모니터링

한옥의 주재료인 목재는 기둥, 보, 도리, 창방 등 주요구조부재로 한옥의 주된 뼈대이다. 각각의 주요구조부재는 수직하중과 수평하중을 받는 부재로써 시간이 지남에 따라 변형이 생기고 함수율에 따라 성능의 차이가 나타난다. 본 연구에서는 예제한옥(명지대 무루정)과 실험한옥(Mock-up)에 대한 구조 모니터링을 통해 한옥의 단기적 및 단기적 변형 과정을 분석하고자 한다.

## 1.1 구조모니터링 측정 방법

### 1) 주요 구조부재의 변형 측정

예제한옥(명지대 무루정)과 실험한옥(Mock-up)의 각 부재의 함수율과 처짐 값을 다음의 장비를 통해 주기적으로 실시한다. 연구 초기에는 주 1회 실시하며 이 후 월 1회 실시한다.

#### (1) 주요 구조부재의 변형 측정 장비

다음의 레이저 거리 측정기(라이카 DISTO D5)를 통해 각 부재의 처짐을 체크하며, 주변 환경에 민감하게 반응하는 목재의 특성을 고려하여 함수율 측정기로 함수율도 함께 확인하며 그 상관관계에 대해 조사 연구한다.

#### 가) 레이저 거리 측정기



기술 사양(Technical Data)	Leica DISTO D5
거리 측정 범위(Range/Range Technical)	0.05 m - 200 m
측정 정확도(Typical measure accuracy)	± 1.0 mm
최소 표시 단위	0.1 mm
레이저 라인(레이저)	9 / 30 / 60 mm (12 / 50 / 100 m)
경시도 측정(Tilt sensor)	
- 측정 범위	± 90°
- 레이저 중심	± 0.3°
- 정확도	± 0.3°
경시도 측정의 표시 단위(10m @ 90°)	0.07, 0.09%, 0.6/1.0, 0.6%
비교 내역 범위(Store contact area)	20
설치 가능 내역 (공칭 : 1/4"-20)	Y
레이저 출력	0.05mW, < 1mW
작동 레이저 크기	22mm
작동 온도 범위	-20 ~ 50°C
측정 단위(Measure units)	0.000m, 0.000 m, 0.00 m, 0.00 mm, 0' 00" 1/32, 0.00 m, 0' 1/32 m, 0.000 yd
보통 함수 측정기 기능	IP 54, 방수, 방진, 방열 방지 기능
배터리(Battery)	AA 형, 2 x 1.5 V
배터리 수명(Battery life per battery pack)	최대 5,000 회 측정
치수(Dimensions)	143.5 x 65 x 30 mm
무게(Weight with batteries)	195 g

그림 1. 레이저 거리 측정기 및 제품 사양

#### 나) 목재 함수율 측정기



모 델 명	testo 606-1	testo 606-2
측정 범위	0 ~ 50 %	
재료 수분	0.1 %	
정 확 도	± 1%(건도도)	
측정 범위	-	-10 ~ 50 °C
대기 온도	-	0.1 °C
정 확 도	-	± 0.5 °C
측정 단위	-	°C / °F
측정 범위	-	0 ~ 100 % RH
대기 습도	-	0.1 % RH
정 확 도	-	± 2.5 % RH (5-95 % RH)
측정 단위	-	% RH, 습구 온도, 노점
작동 온도	-10 ~ 50 °C	
배터리 타입	알카리인 건지 (2개 x AAA)	
배터리 수명	200 시간 (디스플레이 조명 없을 시의 평균)	130 시간 (디스플레이 조명 없을 시의 평균)
구 성 품	자체교정장치서, 손목스트랩, 방트케이스, 보호캡, 배터리	
크 기	119 x 46 x 25mm	

그림 2. 목재 함수율 측정기 및 제품 사양

(2) 주요 구조부재의 변형 측정 방법

가) 측정방법

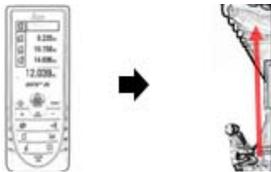


그림 3. 레이저거리 측정 방법

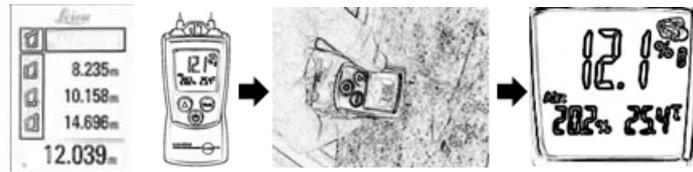
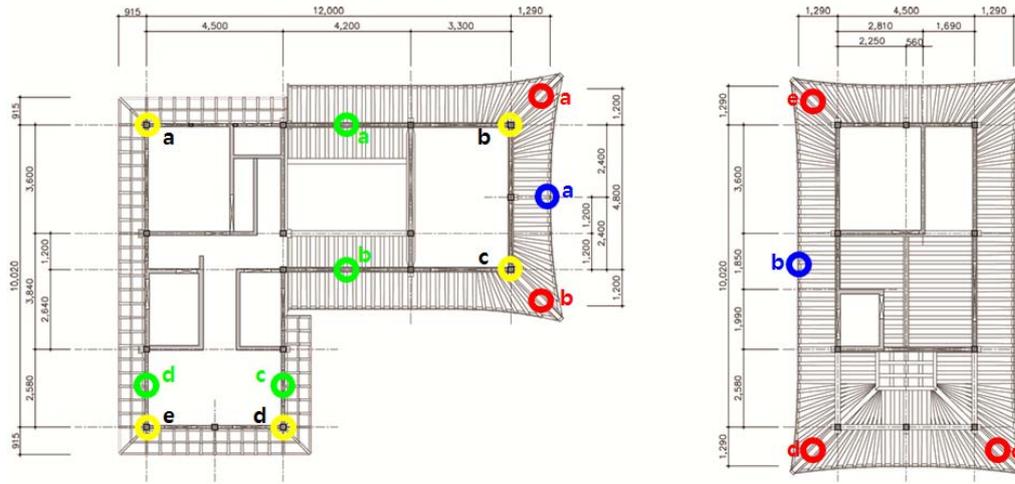


그림 4. 목재 함수율 측정 방법

레이저 거리 측정기의 밑부분을 고정하고, 표적까지의 거리를 레이저 반사를 통하여 거리를 측정하여, 부재의 처짐 또는 축소량을 측정한다. 또한 목재 함수율 측정기의 바늘을 측정 위치의 기둥에 박아 넣어 목재 기둥의 표면 함수율을 측정한다.

나) 실험한옥(Mock-up)의 부재별 처짐 및 함수율 측정

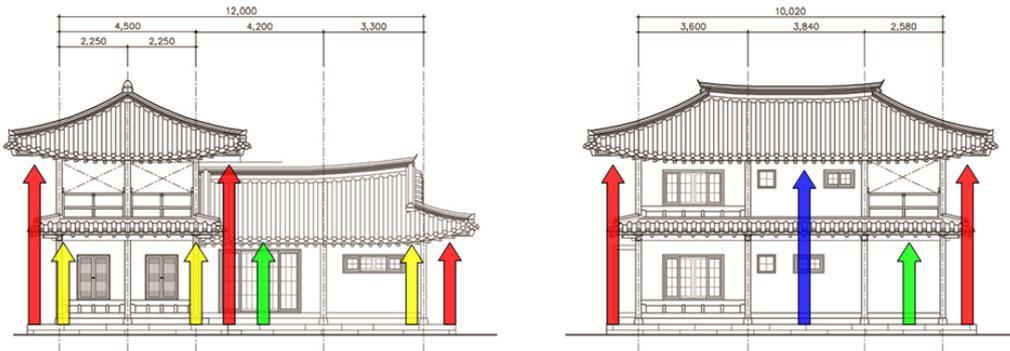
실험한옥(Mock-up)의 시공 및 성능 테스트 동과 전통한옥 성능 테스트 동은 다음의 평면에 표시한 곳을 레이저 거리 측정기로 수직변위를 측정한다. 빨간색으로 표시된 부분은 추녀, 파랑색은 서까래의 처짐, 노란색은 기둥의 축소량 측정 위치이다. 초기에는 주 1회 측정하며, 안정화된 이후에는 월 1회 측정한다.



A 1층천정평면도  
SCALE=A3 1/100

B 2층천정평면도  
SCALE=A3 1/100

그림 5. 시공 및 성능 테스트 동 처짐 측정위치  
(빨강: 추녀, 파랑: 서까래, 노랑: 기둥, 녹색:보)



A 정면도  
SCALE=A3 1/100

B 좌측면도  
SCALE=A3 1/100

그림 6. 시공 및 성능 테스트 동 처짐 측정위치  
(빨강: 추녀, 파랑: 서까래, 노랑: 기둥)

표 1. 시공 및 성능 테스트동 구조모니터링 부재 정보(단위:mm)

	단면크기	기둥높이		형태	단면크기	경간	
기둥a	180*180	2,580		보a	180*270	4,200	
기둥b	180*180	2,580		보b	180*270	4,200	
기둥c	180*180	2,580		보c	평방,창방 (180*180)	2,580	
기둥d	180*180	2,580		보d	평방,창방 (180*180)	2,580	
기둥e	180*180	2,580					
	단면크기	경간	내민길이		단면크기	경간	내민길이
추녀a	180*300	3,982	2,284	서까래a	D120	2,500	1,300
추녀b	180*300	3,982	2,284				
추녀c	180*240	5,260	2,080	서까래b	D120	2,500	1,300
추녀d	180*240	5,260	2,080				
추녀e	180*240	5,260	2,080				



그림 7. 전통한옥 성능 테스트 동 처짐 측정위치  
(빨강: 추녀, 파랑: 서까래, 노랑: 기둥, 녹색:보)

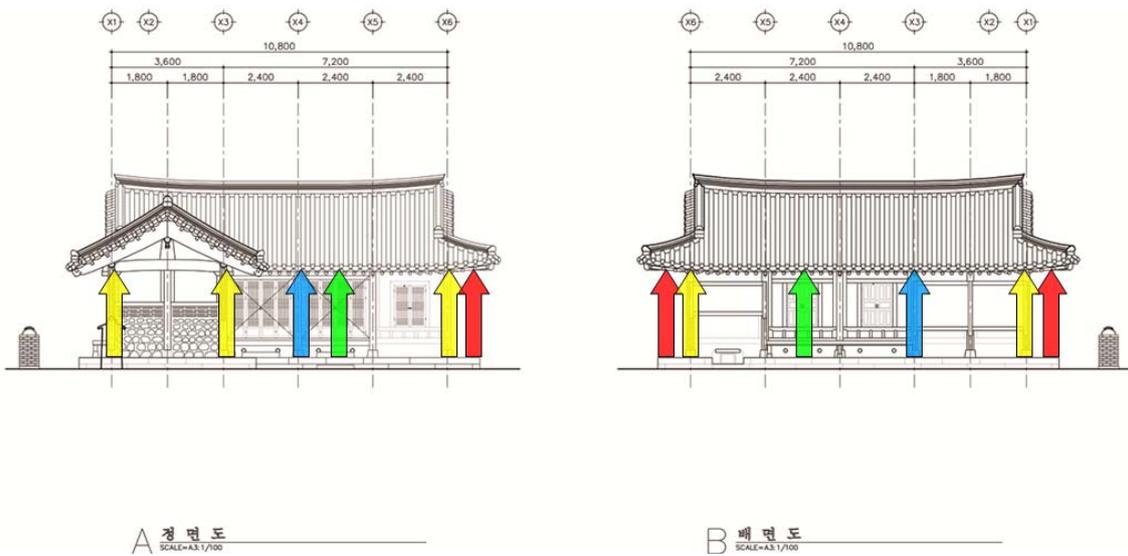


그림 8. 전통한옥 성능 테스트 동 처짐 측정위치  
(빨강: 추녀, 파랑: 서까래, 노랑: 기둥)

표 2. 전통한옥 성능 테스트동 구조모니터링 부재 정보(단위:mm)

	단면크기	기둥높이		형태	단면크기	경간	
기둥a	210*210	2,660	보a	도리,장여	D210 (90*135)	2,400	
기둥b	210*210	2,660	보b	도리,장여	D210 (90*135)	2,400	
기둥c	210*210	2,660	보c	도리,장여	D210 (90*135)	2,400	
기둥d	210*210	2,660	보d	도리,장여	D210 (90*135)	2,400	
기둥e	210*210	2,660					
	단면크기	경간	내민길이		단면크기	경간	내민길이
추녀a	180*240	3,100	1,300	서까래a	D120	2,600	1,200
추녀b	180*240	3,100	1,300	서까래b	D120	2,600	1,200
추녀c	180*240	3,100	1,300				

또한 함수율 측정기를 통해 함수율에 따른 부재의 특성을 알아보려고 한다. 함수율은 외부와 내부의 기둥으로 나누어 측정하며 기둥의 상단, 중단, 하단 3구간으로 나누어서 측정한다. 이는 지붕의 처마로 인해, 각 구간에 들이치는 비의 피해가 다르기 때문이다.

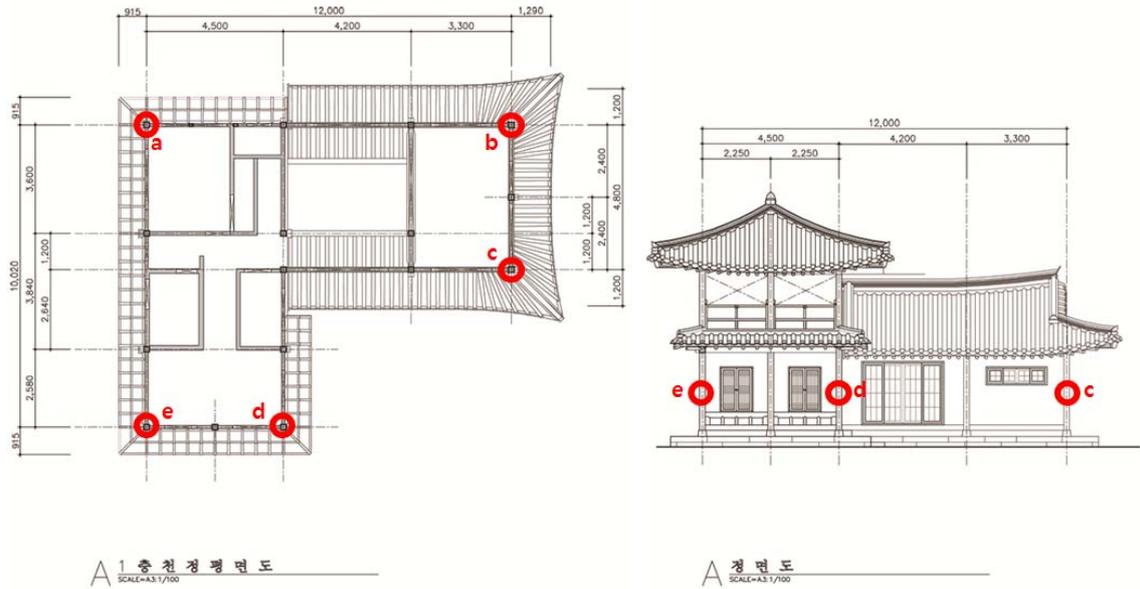


그림 9. 시공 및 성능 테스트 동 함수을 측정위치

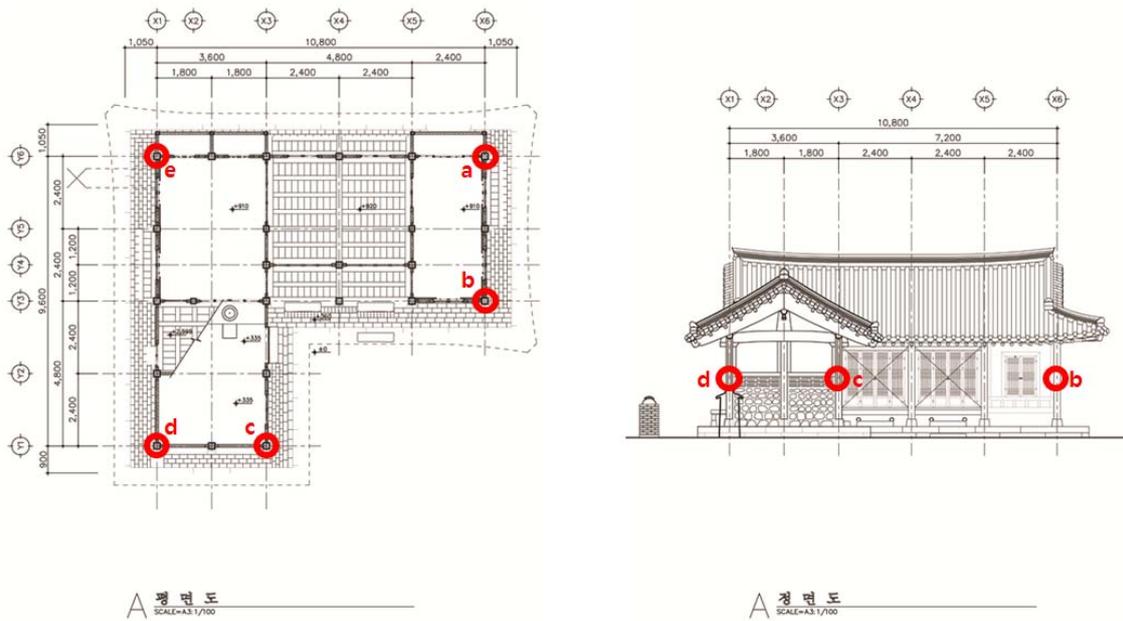


그림 10. 전통한옥 성능 테스트 동 함수을 측정위치

다) 예제한옥(명지대 무루정)의 부재별 처짐 및 함수율 측정

실험한옥(Mock-up)의 경우 3차년도 연구종료 시점에 완공되어 변형 및 함수율을 측정하지 못하였다. 이에 예제한옥(명지대 무루정)의 변형과 함수율을 매주 계측하며 실험한옥의 모니터링에 대비하였다. 예제한옥(명지대 무루정)의 경우 레이저 거리 측정기와 함수율 측정기를 이용해 서까래의 처짐과 기둥의 축소량을 측정하였고, 이때 남측과 북측의 상대적인 변형특성을 살피기 위하여 측정위치를 남북으로 나누어 계획하였다. 빨강색으로 표시된 부분은 주심도리, 파랑색은 서까래, 노랑색은 기둥의 축소량 측정 위치이다.

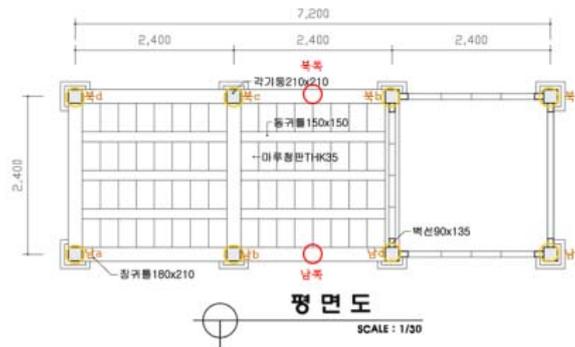


그림 11. 무루정 처짐 측정위치  
(빨강:주심도리, 파랑:서까래, 노랑:기둥)

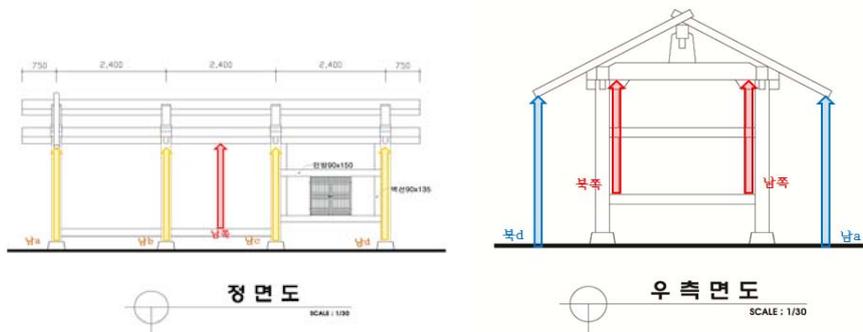


그림 12. 무루정 처짐 측정위치  
(빨강:주심도리, 파랑:서까래, 노랑:기둥)

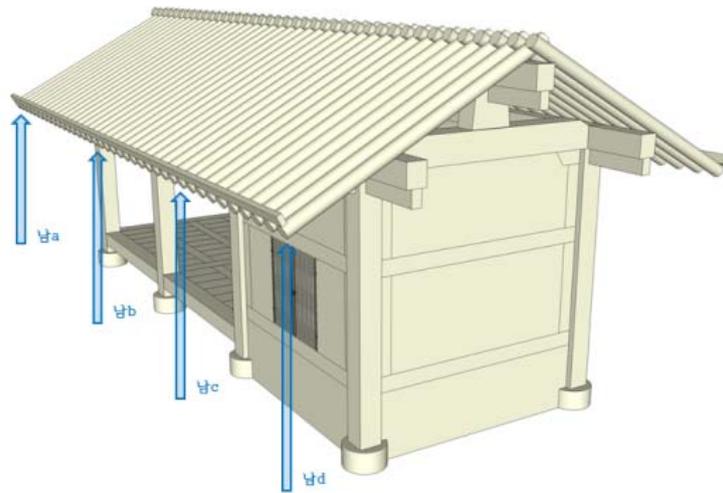


그림 12. 무루정 서까래 처집 측정위치(기단-서까래아랫부분)

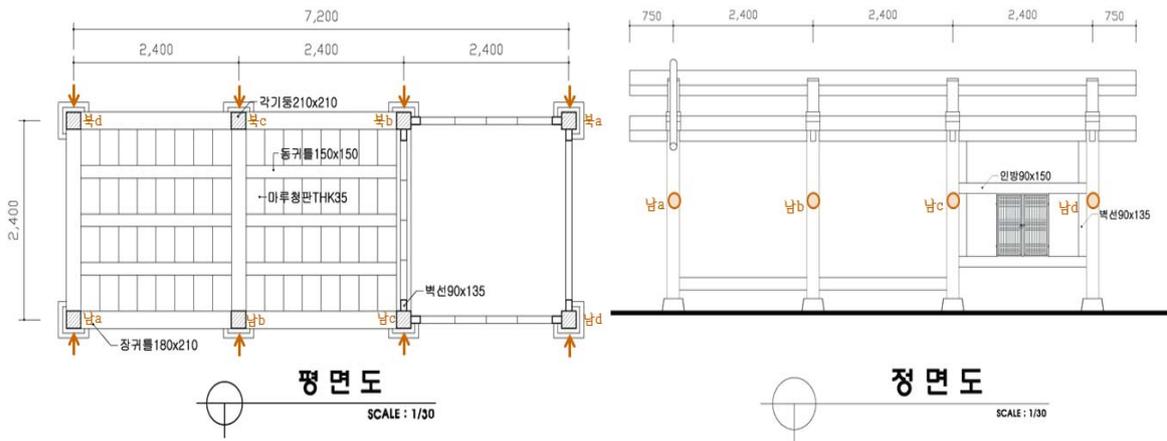


그림 14. 무루정 기둥 함수율 측정 위치

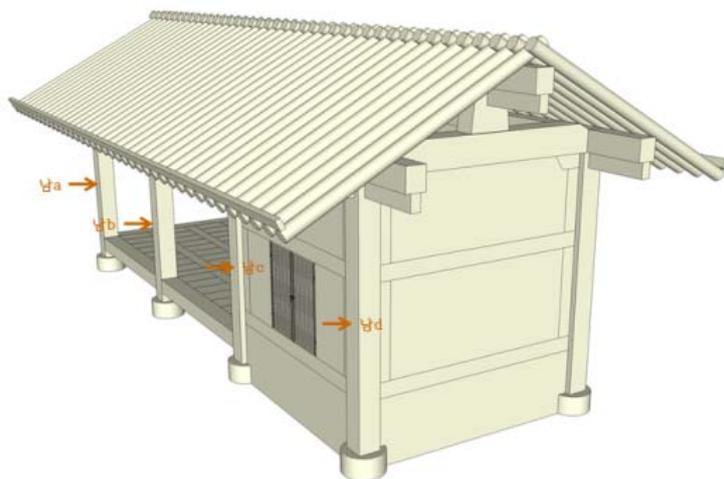


그림 15. 무루정 기둥 함수율 측정 위치

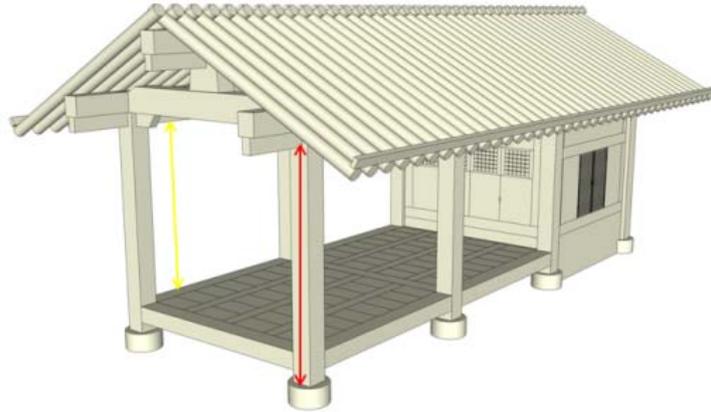


그림 16. 무루정 기둥 축소량 및 수직변위 측정  
 (빨강: 초석윗면-대량아랫면의 길이, 노랑: 1층 바닥-주심도리의 길이)

표 3. 예제한옥(무루정) 구조모니터링 부재 정보(단위:mm)

	단면크기	기둥높이		형태	단면크기	경간
기둥 북a~d	210*210	2,700	보a	평방, 창방	180*210 (90*150)	2,400
기둥 남a~d	210*210	2,700				
	단면크기	경간	내민길이	보b	평방, 창방	180*210 (90*150)
서까래a	D120	2,100	900			
서까래b	D120	2,100	900			

2) 3차원 스캐너를 이용한 변형 측정

(1) 3차원스캐너를 이용한 변형 측정 장비

가) 3차원 스캐너



그림 17. 3차원 스캐너

(2) 3차원스캐너를 이용한 변형 측정 방법

최소 3면에서 스캔을 하여 각각의 데이터를 취합하여 하나의 전체적인 3차원 모델을 스캔 할 수 있다. 데이터는 무수히 많은 점 데이터로 추출하며, 스캔의 정밀도에 따라 1~3mm 정도의 오차를 가진다.

3) 디지털 영상 합성 변형 분석

(1) 디지털 영상 합성 변형 분석 장비

가) 디지털 카메라



그림 18. 디지털 카메라

(2) 디지털 영상 합성 변형 분석 방법

한옥의 변형은 지어진 직후에 일어나는 탄성변형과 시간이 지남에 따라 지속적으로 발생하는 비탄성변형이 지배한다. 이 구조 모니터링에서는 비탄성변형을 장기적으로 계측하고, 한옥의 장기적 거동을 파악하고자 한다. 그 방법으로 직접 레이저 측정, 함수율 측정을 하는 외에 정지영상을 통한 분석을 통해, 월 1회 평균정지영상을 추출하여, 3차원 스캐너를 대신해 변형형상과 변형값을 도출하고자 한다.

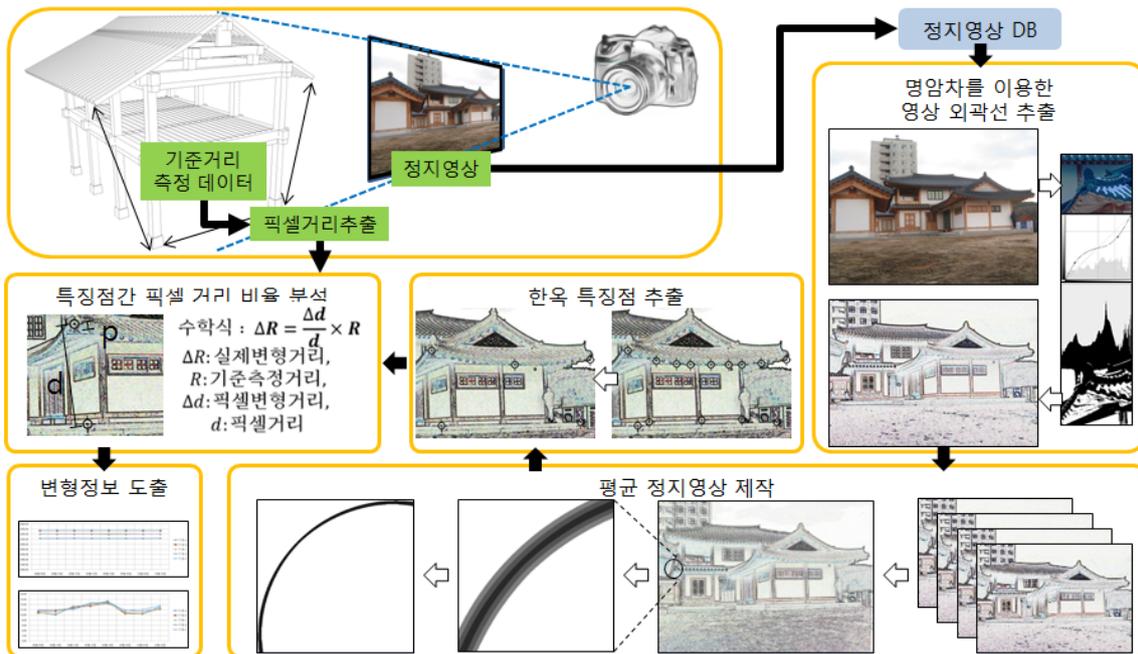


그림 19. 디지털 합성 영상 분석의 개념

디지털 합성 영상 변형 분석은, 구조물을 촬영 및 정보를 전송하는 카메라를 이용하여 촬영되어 저장된 영상의 변화를 분석함에 따라 구조물의 변형정보를 얻는 시스템이다.

카메라의 핸드헬드 또는 고정촬영된 영상 정보의 외곽선 정보를 추출한 뒤 외곽선간의 공통 픽셀들을 이용하여 평균 정지영상으로 보정 가공하여, 기 추출된 초기 외곽선 영상 정보와 기준거리를 기준으로 하여 변형거리를 계산하여, 상기 구조물의 실제 변형거리를 연산할 수 있다.

추출된 외곽선 영상 정보 상에서 변형량은 아래의 값을 이용하여 구조물의 실제 변형거리를 연산 할 수 있다.

[수학식 1] :  $\Delta d = p/d \times R$

( $\Delta d$  : 변형거리,  $p$  : 픽셀변형거리,  $d$  : 픽셀거리,  $R$  : 기준거리)

또한, 카메라로부터 시간에 따라 획득된 복수의 촬영 영상 정보들로부터 각각 산출된 구조물의 변형 정도 또는 촬영 원본의 변형정도를 이용하여 해당 구조물의 연속된 변화 정보를 시각적 제공이 가능하다.

이전의 3차원 스캐너를 이용한 변형 형상 분석은 높은 비용에도 불구하고 오차가 크기에 변형형상을 규명하는 것에 한계가 있었다. 3차원 스캐너를 이용한 스캔보다 위의 디지털 합성 영상 변형 분석은 오차범위가 크지 않으면서도 소요비용이 적으며, 공간의 제약이 없다. 따라서 보다 지속적이고, 경제적인 측정을 하는데 있어 3차원 스캐너에 비하여 디지털 합성 영상 변형 분석이 더욱 합리적이다.

(3) 디지털 영상 합성 변형 분석 측정 위치

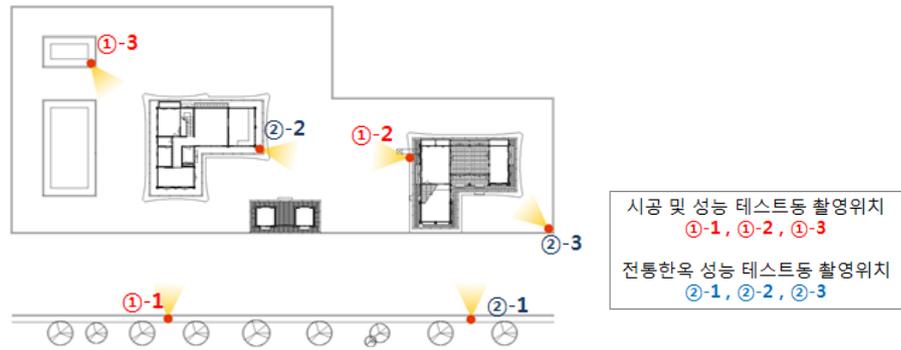


그림 20. 시공 및 성능 테스트동과 전통한옥 성능 테스트동의 영상촬영 위치



그림 21. 예제한옥(무루정)의 영상촬영 위치

(4) 디지털 영상 합성 변형 분석 기준영상

가) 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동 및 전통한옥 성능 테스트 동)



그림 22. 실험한옥  
(시공 및 성능 테스트 동) 1



그림 23. 실험한옥  
(시공 및 성능 테스트 동) 2



그림 24. 실험한옥  
(시공 및 성능 테스트 동) 3



그림 25. 실험한옥  
(전통한옥 성능 테스트 동) 1



그림 26. 실험한옥  
(전통한옥 성능 테스트 동) 2



그림 27. 실험한옥  
(전통한옥 성능 테스트 동) 3

나) 예제한옥(명지대 무루정)



그림 28. 예제한옥(무루정)  
측정위치 1



그림 29. 예제한옥(무루정)  
측정위치 2



그림 30. 예제한옥(무루정)  
측정위치 3

## 1.2 구조모니터링 측정 과정

### 1) 주요 구조부재의 변형 측정

#### (1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 측정

##### 가) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 측정일지

### 시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 8월 14일	측정시간	온도	32.0°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	11:15	습도	50.0%	정선영, 최호중, 김진강

#### 처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2622.7	2621.9	2621.9	
	b	5379.8	5376.5	5375.8	
추녀	a	2874.2	2874.4	2873.7	
	b	2862.7	2862.6	2863.0	
	c	5622.7	5624.2	5624.2	
	d	5672.6	5673.5	5674.9	
	e	5656.6	5655.8	5655.6	
기둥	a	2585.2	2584.9	2585.0	
	b	2581.6	2581.9	2582.0	
	c	2581.3	2581.8	2581.8	
	d	2584.6	2583.2	2583.8	
	e	2582.8	2583.1	2583.3	

#### 함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기둥	a	10.3	10.7	9.7	
	b	8.2	8.0	8.0	
	c	9.0	8.5	8.9	
	d	11.6	11.9	11.9	
	e	9.8	10.1	10.1	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 9월 12일	측정시간	온도	26.8°C	조사자
날씨	<input type="checkbox"/> 맑음, <input checked="" type="checkbox"/> 흐림, <input type="checkbox"/> 비 <input type="checkbox"/> 눈, <input type="checkbox"/> 기타( )	17:30	습도	64.6%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2621.2	2621.1	2621.4	
	b	5396.3	5397.0	5397.3	
추 녀	a	2879.2	2878.0	2877.3	
	b	2862.1	2861.0	2860.5	
	c	5623.7	5621.8	5621.5	
	d	5671.4	5670.6	5669.3	
	e	5659.4	5659.8	5660.2	
기 동	a	2585.4	2585.5	2585.7	
	b	2581.9	2581.9	2581.8	
	c	2581.1	2581.9	2583.7	
	d	2581.7	2581.9	2581.8	
	e	2584.1	2583.5	2584.0	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	10.5	10.0	11.5	
	b	10.2	10.0	10.6	
	c	10.6	11.0	11.5	
	d	10.6	10.9	11.6	
	e	10.3	10.4	10.4	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 10월 5일	측정시간	온도	23.1°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:55	습도	57.6%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류중수

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2630.8	2632.5	2631.5	
	b	5395.3	5395.9	5397.0	
추 녀	a	2872.9	2872.5	2872.6	
	b	2863.0	2862.6	2862.4	
	c	5636.5	5637.2	5636.9	
	d	5671.4	5669.6	5669.5	
	e	5660.7	5660.1	5660.2	
기 동	a	2585.3	2585.7	2585.3	
	b	2581.9	2581.9	2581.8	
	c	2579.8	2579.8	2579.7	
	d	2579.6	2579.6	2579.9	
	e	2578.1	2578.2	2578.3	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	9.8	10.3	9.9	
	b	9.5	9.6	9.3	
	c	9.8	9.7	10.2	
	d	10.3	10.3	9.9	
	e	10.4	10.5	10.2	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 11월 7일	측정시간	온도	12.3°C	조사자
날씨	<input type="checkbox"/> 맑음, <input checked="" type="checkbox"/> 흐림, <input type="checkbox"/> 비 <input type="checkbox"/> 눈, <input type="checkbox"/> 기타( )	17:30	습도	61.4%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류중수

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2617.0	2617.1	2617.6	
	b	5391.8	5392.6	5392.8	
추 녀	a	2875.7	2875.9	2875.7	
	b	2875.1	2877.1	2878.3	
	c	5630.1	5630.4	5630.4	
	d	5672.2	5672.6	5672.5	
	e	5651.0	5650.5	5650.6	
기 동	a	2585.1	2584.9	2585.1	
	b	2582.2	2581.9	2582.3	
	c	2579.7	2579.8	2579.6	
	d	2586.2	2586.0	2582.7	
	e	2578.5	2578.5	2578.2	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	11.4	11.0	10.8	
	b	10.7	10.6	10.0	
	c	12.1	11.4	11.0	
	d	9.8	10.3	10.0	
	e	11.0	11.1	11.1	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 12월 6일	측정시간	온도	0.0℃	조사자
날씨	☐맑음, ☐흐림, ☐비 ■눈, ☐기타( )	15:35	습도	49.9%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류종수, 이지혜, 신다빈

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2628.4	2627.5	2627.8	
	b	5388.6	5388.7	5389.5	
추 녀	a	2870.7	2876.6	2871.5	
	b	2864.0	2863.7	2863.3	
	c	5629.1	5630.0	5629.5	
	d	5663.9	5662.0	5661.9	
	e	5655.9	5643.9	5648.8	
기 동	a	2584.7	2584.1	2584.6	
	b	2581.4	2581.7	2581.3	
	c	2582.1	2581.9	2581.4	
	d	2579.3	2578.8	2577.4	
	e	2578.7	2579.2	2578.9	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	11.3	11.4	11.0	
	b	11.0	11.2	11.3	
	c	12.2	12.0	10.8	
	d	11.0	11.2	11.2	
	e	11.8	12.2	12.0	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 1월 2일	측정시간	온도	-6.3°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:15	습도	31.3%	김진강, 김동휘, 류종수, 이지혜, 신다빈, 이창근

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2632.6	2632.1	2632.1	
	b	5393.1	5390.5	5390.7	
추 녀	a	2866.4	2866.6	2866.0	
	b	2861.6	2861.2	2861.1	
	c	5025.0	5024.7	5625.2	
	d	5671.8	5672.3	5670.4	
	e	5654.4	5654.5	5654.8	
기 동	a	2584.3	2584.0	2584.7	
	b	2581.2	2581.2	2581.6	
	c	2582.3	2582.5	2582.3	
	d	2578.0	2578.0	2578.0	
	e	2578.0	2578.3	2578.0	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	12.8	12.8	12.5	
	b	12.3	12.4	12.0	
	c	13.0	13.5	12.7	
	d	13.0	12.7	12.6	
	e	13.5	13.9	14.1	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 2월 06일	측정시간	온도	3.0°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:15	습도	56.2%	정선영, 김동휘, 류종수, 최호중

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2620.6	2621.3	2621.0	
	b	5326.5	5326.0	5327.8	
추 녀	a	2868.8	2872.0	2869.4	
	b	2861.3	2861.3	2861.2	
	c	5624.4	5623.6	5623.0	
	d	5671.1	5672.0	5672.4	
	e	5639.5	5639.2	5640.0	
기 동	a	2584.6	2584.7	2585.0	
	b	2581.6	2581.6	2581.4	
	c	2581.3	2581.2	2581.8	
	d	2579.2	2579.2	2579.3	
	e	2576.8	2578.7	2578.4	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	13.6	14.1	13.7	
	b	12.2	12.7	12.2	
	c	14.6	14.7	14.5	
	d	12.7	12.7	12.8	
	e	13.3	13.0	13.1	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 3월 14일	측정시간	온도	11.5°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:45	습도	45.4%	정선영, 김동휘, 류중수

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2631.9	2631.2	2631.5	
	b	5389.5	5391.6	5391.6	
추 녀	a	2875.3	2875.9	2868.3	
	b	2861.4	2861.4	2861.8	
	c	5628.9	5629.1	5628.6	
	d	5671.3	5671.3	5671.4	
	e	5657.4	5657.7	5657.8	
기 등	a	2584.7	2585.0	2585.2	
	b	2581.7	2581.8	2581.4	
	c	2580.1	2580.1	2580.3	
	d	2580.0	2579.7	2579.4	
	e	2578.4	2577.8	2578.0	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 등	a	9.6	9.3	9.6	
	b	8.7	8.8	9.2	
	c	9.5	9.6	9.3	
	d	7.8	8.0	7.8	
	e	9.7	9.4	9.3	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 4월 11 일	측정시간	측정 온도	11.5°C	조사자
날씨	□맑음, ■흐림, □비	16:50	지역 최저온도	°C	정선영, 류중수, 김동휘
	□눈, □기타( )		지역 최고온도	°C	
	일 강수량 적설량		습도	25.6%	

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(mm)			측정값2(mm)			측정값3(mm)			기타
서까래	a	2632.2			2632.2			2632.7			
	b	5386.6			5385.8			5387.6			
추녀	a	2870.1			2869.1			2869.3			
	b	2862.5			2862.5			2862.2			
	c	5636.9			5637.3			5637.7			
	d	5670.2			5670.2			5669.3			
	e	5654.4			5655.0			5655.2			
기둥	a	2585.3			2584.6			2585.1			
	b	2582.1			2582.1			2582.1			
	c	2581.6			2581.4			2581.9			
	d	2579.7			2579.6			2575.6			
	e	2578.3			2579.9			2579.5			
보		빗면길 이	수평거 리	각도	빗면길 이	수평거 리	각도	빗면길 이	수평거 리	각도	
	a	5.0923	4.205	34.3°	5.1120	4.2371	34.0°	5.1109	4.2329	34.1°	
	b	3.7227	2.4334	49.2°	3.7225	2.4478	48.9°	3.7325	2.4501	49.0°	
	c	3.7766	2.5417	47.7°	3.9596	2.8010	45.0°	3.9824	2.8129	45.1°	
	d	3.7789	2.5231	48.1°	3.7656	2.4997	48.4°	3.7659	2.5013	48.4°	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타
기둥	a	8.4	8.5	8.5	
	b	8.2	8.2	8.1	
	c	7.8	7.8	7.8	
	d	7.9	8.0	7.9	
	e	8.7	8.7	8.7	

시공 및 성능 테스트동(2층 Mock-up) 연구일지

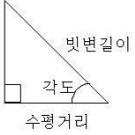
1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 5월 3일	측정시간	측정 온도	22.4℃	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비	15:27	지역 최저온도	℃	정선영, 류중수, 최호중
	□눈, □기타( )		지역 최고온도	℃	
	일 강수량 적설량		습도	40.2%	

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(mm)			측정값2(mm)			측정값3(mm)			기타
서까래	a	2627.28			2627.2			2627.1			
	b	5389.9			5388.7			5389.3			
추녀	a	2868.4			2869.3			2868.6			
	b	2861.9			2862.7			2863.2			
	c	5614.3			5614.0			5613.9			
	d	5670.3			5670.3			5670.2			
	e	5659.5			5655.3			5653.7			
기둥	a	2584.6			2585.2			2584.4			
	b	2581.8			2581.9			2582.1			
	c	2581.8			2581.1			2581.5			
	d	2579.9			2580.0			2579.8			
	e	2578.2			2578.1			2577.7			
보		빗면길	수평거	각도	빗면길	수평거	각도	빗면길	수평거	각도	
	a	4.2735	3.1695	42.1°	4.2708	3.1640	42.2°	4.2509	3.1494	42.2°	
	b	4.1728	3.1150	41.7°	4.2101	3.1390	41.8°	4.1937	3.1307	41.7°	
	c	3.8837	2.7088	45.8°	3.8828	2.7091	45.8°	3.8856	2.7101	45.8°	
d	3.7390	2.4934	48.2°	3.7355	2.4969	48.1°	3.7542	2.5031	48.2°		

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타
기둥	a	11.5	10.5	11.4	
	b	10.2	9.8	9.9	
	c	11.4	10.8	11.9	
	d	11.0	11.5	11.0	
	e	10.0	10.0	10.0	

나) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 실험과정

2012.9.12 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 31. 시공 및 성능 테스트 동



그림 32. 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 33. 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 34. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 35. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 흡수율 측정

2012.10.05 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 36. 시공 및 성능 테스트 동



그림 37. 시공 및 성능 테스트동  
서까래 치짐 측정



그림 38. 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 치짐 측정



그림 39. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 40. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2012.11.07 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 41. 시공 및 성능 테스트 동



그림 42. 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 43. 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 44. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 45. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2012.12.05 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 46. 시공 및 성능 테스트 동



그림 47. 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 48. 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 49. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 50. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 흡수율 측정

2013.01.02 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 51 . 시공 및 성능 테스트 동



그림 52 . 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 53 . 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 54 . 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 55 . 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 합수율 측정

2013.02.06 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 56 . 시공 및 성능 테스트 동



그림 57 . 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 치짐 측정



그림 58 . 시공 및 성능 테스트 동  
추녀 치짐 측정



그림 59 . 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 60 . 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2013.03.14 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 61. 시공 및 성능 테스트동



그림 63. 시공 및 성능 테스트동  
추녀 처짐 측정



그림 62. 시공 및 성능 테스트동  
서까래 처짐 측정



그림 64. 시공 및 성능 테스트동  
기둥 길이 측정



그림 65. 시공 및 성능 테스트동  
기둥 함수율 측정

2013.04.11 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 66. 시공 및 성능 테스트동



그림 67. 시공 및 성능 테스트동  
서까래 처짐 측정



그림 68. 시공 및 성능  
테스트동 기둥 길이  
측정



그림 69 시공 및 성능 테스트동  
보 처짐 측정



그림 70. 시공 및 성능 테스트동  
추녀 처짐 측정



그림 71. 시공 및 성능 테스트동  
기둥 함수율 측정

2013.05.03 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정사진



그림 72. 시공 및 성능 테스트 동



그림 74. 시공 및 성능 테스트 동  
추너 처짐 측정



그림 73. 시공 및 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 75. 시공 및 성능 테스트 동  
보 처짐 측정



그림 76. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 77. 시공 및 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 측정

가) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 측정일지

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 8월 9일	측정시간	온도	32.6°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	17:20	습도	54.5%	정선영, 최호중

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2744.0	2744.8	2744.5	
	b	2717.3	2717.7	2717.7	
추 녀	a	2990.7	2990.4	2990.2	
	b	2971.2	2971.5	2971.5	
	c	2992.8	2993.0	2992.5	
기 동	a	2234.9	2234.1	2234.4	
	b	2535.0	2534.7	2535.3	
	c	2402.4	2402.5	2402.7	
	d	2404.5	2404.4	2404.9	
	e	2540.6	2540.7	2540.7	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	11.3	10.5	10.9	
	b	11.1	11.1	11.1	
	c	10.7	10.7	10.6	
	d	11.4	11.7	11.7	
	e	11.7	11.8	12.1	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 9월 12일	측정시간	온도	26.0°C	조사자
날씨	<input type="checkbox"/> 맑음, <input checked="" type="checkbox"/> 흐림, <input type="checkbox"/> 비 <input type="checkbox"/> 눈, <input type="checkbox"/> 기타( )	17:40	습도	60.0%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2760.1	2744.9	2762.1	
	b	2724.1	2731.8	2716.0	
추 녀	a	2992.1	2993.4	2993.3	
	b	2974.5	2980.2	2978.8	
	c	2994.4	2994.1	2994.5	
기 동	a	2234.4	2234.4	2234.6	
	b	2536.1	2535.3	2535.3	
	c	2402.9	2403.2	2403.4	
	d	2404.2	2404.3	2404.1	
	e	2540.7	2540.8	2540.8	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	14.1	13.4	13.6	
	b	13.4	13.6	13.2	
	c	13.8	13.9	13.8	
	d	14.4	14.2	15.2	
	e	14.2	14.2	14.3	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 10월 5일	측정시간	온도	23.0°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:50	습도	54.9%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류종수

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2765.7	2766.5	2767.0	
	b	2721.4	2721.7	2721.7	
추 녀	a	2990.2	2990.5	2991.0	
	b	2970.2	2970.5	2971.9	
	c	2993.5	2993.4	2995.0	
기 동	a	2234.0	2234.3	2234.4	
	b	2535.8	2535.7	2535.5	
	c	2402.2	2402.5	2402.4	
	d	2404.1	2403.7	2404.2	
	e	2540.6	2540.4	2540.5	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	10.5	10.9	10.3	
	b	10.6	10.5	10.2	
	c	10.3	10.4	10.6	
	d	11.0	11.4	11.7	
	e	11.7	12.4	12.3	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 11월 7일	측정시간	온도	13.2°C	조사자
날씨	<input type="checkbox"/> 맑음, <input checked="" type="checkbox"/> 흐림, <input type="checkbox"/> 비 <input type="checkbox"/> 눈, <input type="checkbox"/> 기타( )	17:20	습도	54.4%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류종수

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2751.8	2749.6	2760.7	
	b	2718.9	2716.5	2718.0	
추 녀	a	2989.7	2989.7	2996.9	
	b	2971.1	2972.0	2972.3	
	c	2997.5	2997.2	2997.6	
기 동	a	2235.1	2235.1	2235.2	
	b	2535.2	2534.9	2535.3	
	c	2402.5	2402.3	2402.6	
	d	2403.4	2403.3	2403.0	
	e	2540.9	2541.1	2540.6	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	11.8	12.2	12.5	
	b	11.9	11.4	11.2	
	c	11.2	11.1	11.0	
	d	13.6	13.6	13.7	
	e	13.2	12.8	13.1	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 12월 6일	측정시간	온도	1.8°C	조사자
날씨	□맑음, □흐림, □비 ■눈, □기타( )	15:32	습도	41.6%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류중수, 신다빈, 이지혜

저짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2741.5	2739.4	2736.7	
	b	2721.1	2723.7	2724.1	
추 녀	a	2954.8	2994.7	2995.0	
	b	2967.2	2967.5	2967.4	
	c	2996.5	2996.5	2995.9	
기 동	a	2227.4	2227.5	2227.6	
	b	2536.0	2535.5	2535.7	
	c	2401.5	2401.9	2402.7	
	d	2398.5	2400.8	2401.5	
	e	2540.2	2540.3	2540.0	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	11.0	10.8	11.1	
	b	11.4	11.3	11.4	
	c	10.8	10.7	10.8	
	d	13.0	12.9	12.7	
	e	13.0	12.6	13.1	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 1월 2일	측정시간	온도	-5.3℃	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	15:50	습도	35.2%	김진강, 김동휘, 류종수, 신다빈, 이지혜, 이창근

저짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2729.7	2729.2	2729.9	
	b	2714.7	2714.0	2714.9	
추 녀	a	2988.8	2989.0	2989.6	
	b	2966.4	2969.9	2967.0	
	c	2993.4	2992.6	2992.9	
기 동	a	2234.4	2234.5	2234.6	
	b	2534.6	2535.0	2534.7	
	c	2403.4	2402.4	2402.1	
	d	2402.5	2402.4	2402.7	
	e	2540.1	2540.1	2540.1	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	12.4	12.9	13.2	
	b	12.4	12.5	12.6	
	c	12.7	12.7	13.0	
	d	14.2	14.0	14.1	
	e	14.4	14.3	14.1	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 2월 06일	측정시간	온도	2.6℃	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:10	습도	56.7%	정신영, 김동휘, 류중수, 최호중

저짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2751.3	2750.8	2750.6	
	b	2731.7	2733.5	2735.4	
추 녀	a	2987.7	2987.3	2987.7	
	b	2963.1	2963.0	2963.3	
	c	2992.6	2991.9	2993.2	
기 동	a	2228.3	2228.0	2228.2	
	b	2535.0	2535.1	2535.4	
	c	2402.2	2402.7	2402.5	
	d	2540.0	2540.2	2539.9	
	e	2403.8	2403.8	2404.1	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 동	a	13.5	14.2	14.2	
	b	13.0	14.2	13.8	
	c	14.1	14.2	14.3	
	d	16.4	16.1	15.9	
	e	15.9	16.1	16.2	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 3월 14일	측정시간	온도	12.8°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:40	습도	41.2%	정선영, 김동휘, 류중수

치짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)
서까래	a	2749.8	2749.3	2749.4	
	b	2709.9	2709.7	2709.6	
추 녀	a	2985.1	2985.0	2985.1	
	b	2961.3	2962.1	2962.0	
	c	2992.7	2992.9	2993.1	
기 등	a	2234.6	2234.7	2234.5	
	b	2535.0	2534.9	2534.6	
	c	2402.1	2402.4	2401.5	
	d	2403.5	2403.7	2403.4	
	e	2540.7	2540.4	2540.4	

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)
기 등	a	8.6	8.7	8.9	
	b	9.0	9.2	9.4	
	c	9.3	9.2	9.3	
	d	10.6	10.7	10.2	
	e	11.0	10.8	10.8	

전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 4월 11일	측정시간	측정 온도	16.0°C	조사자
날씨	<input type="checkbox"/> 맑음, <input checked="" type="checkbox"/> 흐림, <input type="checkbox"/> 비	16:30	지역 최저온도	°C	정선영, 류종수, 김동휘
	<input type="checkbox"/> 눈, <input type="checkbox"/> 기타( )		지역 최고온도	°C	
	일강수량 적설량		습도	21.6%	

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(mm)			측정값2(mm)			측정값3(mm)			기타
서까래	a	2734.0			2736.2			2734.8			
	b	2702.4			2702.7			2702.1			
추녀	a	2988.8			2988.1			2984.7			
	b	2960.2			2960.3			2960.5			
	c	2990.0			2990.1			2989.9			
기둥	a	2234.4			2234.4			2234.4			
	b	2535.2			2535.3			2534.9			
	c	2401.7			2402.1			2402.3			
	d	2540.3			2540.3			2540.4			
	e	2403.6			2403.1			2403.3			
보		빗면길이	수평거리	각도	빗면길이	수평거리	각도	빗면길이	수평거리	각도	
	a	4.3083	3.2539	41.0°	4.3977	3.2566	40.9°	4.3083	3.2556	40.9°	
	b	4.1558	3.0737	42.3°	4.1273	3.0659	42.0°	4.1239	3.0576	42.1°	
	c	5.7629	5.0197	29.4°	5.7491	5.0038	29.5°	5.7599	5.0107	29.5°	
d	3.8383	2.6021	47.3°	3.8437	2.6181	47.1°	3.8474	2.6208	47.1°		

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타
기둥	a	7.8	7.9	7.8	
	b	8.3	8.2	8.3	
	c	8.6	8.6	8.6	
	d	9.0	9.1	9.0	
	e	9.5	9.5	9.6	

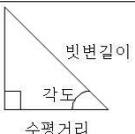
전통한옥 성능 테스트동 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 5월 3일	측정시간	측정 온도	21.4°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비	15:20	지역 최저온도	°C	정선영, 류종수, 김동휘
	□눈, □기타( )		지역 최고온도	°C	
	일 강수량 적설량		습도	39.5%	

처짐측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(mm)			측정값2(mm)			측정값3(mm)			기타
서까래	a	2722.9			2725.3			2726.5			
	b	2699.6			2699.4			2699.1			
추녀	a	2985.4			2985.9			2984.7			
	b	2960.1			2960.1			2960.3			
	c	2991.4			2991.4			2991.3			
기둥	a	2234.2			2234.6			2234.6			
	b	2535.1			2535.1			2535.5			
	c	2403.0			2402.5			2402.5			
	d	2403.5			2403.5			2403.3			
	e	2540.2			2540.2			2540.4			
보		빗면길이	수평거리	각도	빗면길이	수평거리	각도	빗면길이	수평거리	각도	
	a	4.2820	3.2366	40.9°	4.2745	3.2275	41.0°	4.2635	3.2228	40.9°	
	b	4.1129	3.0426	42.3°	4.1151	3.0440	42.3°	4.1061	3.0371	42.3°	
	c	5.7754	5.0254	29.5°	5.7845	5.0288	29.6°	5.7852	5.0328	29.5°	
d	3.8551	2.6311	47.0°	3.8246	2.6104	47.0°	3.8627	2.6364	47.0°		

함수율측정

(동쪽부터 시계방향순)

부재	부위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타
기둥	a	10.0	10.2	10.3	
	b	10.9	10.8	10.7	
	c	11.3	11.0	11.0	
	d	11.5	11.7	11.9	
	e	11.7	12.4	12.0	

나) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 측정과정

2012.9.19. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 78. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 79. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 치짐 측정

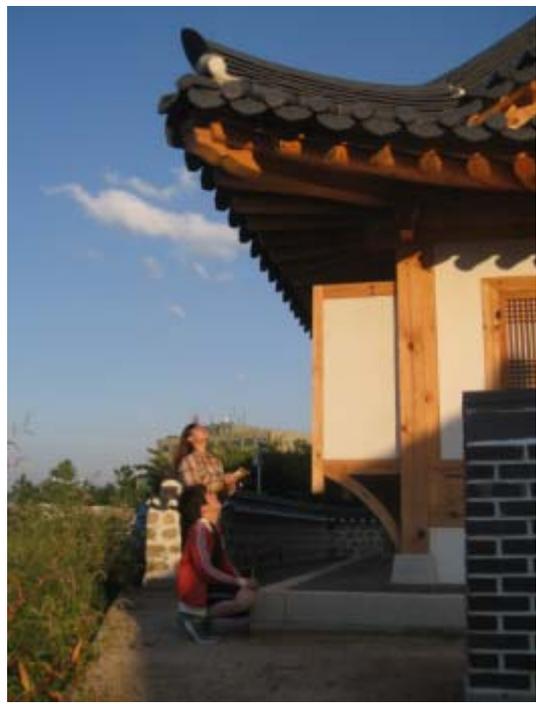


그림 80. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 치짐 측정



그림 81. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 82. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 합수율 측정

2012.10.05 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 83. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 84. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 85. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 86. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 87. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2012.11.07 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 88. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 89. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 90. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 91. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 92. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2012.12.05 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 93. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 94. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 95. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 96. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 처짐 측정



그림 97. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2013.01.02 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 98 . 전통한옥 성능 테스트 동



그림 99 . 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 100 . 전통한옥 성능 테스트 동  
주너 처짐 측정



그림 101 . 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 102 . 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2013.02.14 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 103 . 전통한옥 성능 테스트 동



그림 104 . 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 105 . 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 106 . 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 107 . 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 흡수율 측정

2013.03.14 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 108. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 109. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 110. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 111. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 112. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2013.04.11. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 113. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 114. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 115. 전통한옥 성능 테스트 동  
추녀 처짐 측정



그림 116. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 117. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수율 측정

2013.05.03 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정사진



그림 118. 전통한옥 성능 테스트 동



그림 120. 전통한옥 성능 테스트 동  
추너 처짐 측정



그림 119. 전통한옥 성능 테스트 동  
서까래 처짐 측정



그림 121. 전통한옥 성능 테스트 동  
보 처짐 측정



그림 122. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 길이 측정



그림 123. 전통한옥 성능 테스트 동  
기둥 함수를 측정

(3) 예제한옥(명지대 무루정) 측정 내용

가) 예제한옥(명지대 무루정) 측정일지

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 8월 2일	측정시간	온도	29.6°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	17:00	습도	64.9%	정선영, 최호중

처짐측정

(동쪽부터 abcd순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (디조 방향)	2041.2	2040.4	2040.2		
	남쪽 (운동장 방향)	2056.3	2056.3	2056.0		
서까래	북쪽	a	2365.2	2359.0	2364.4	
		b	2353.7	2346.5	2347.6	
		c	2342.2	2337.0	2343.8	
		d	2358.9	2357.8	2356.3	
	남쪽	a	2375.7	2374.4	2370.6	
		b	2364.3	2360.3	2363.7	
		c	2340.7	2338.7	2339.2	
		d	2354.4	2346.6	2346.1	
기 동	북쪽	a	2319.1	2311.2	2319.2	
		b	2322.1	2321.7	2321.5	
		c	2290.2	2289.5	2289.7	
		d	2354.3	2354.8	2353.8	
	남쪽	a	2354.5	2353.5	2353.7	
		b	2240.3	2240.4	2240.4	
		c	2292.7	2292.3	2293.2	
		d	2300.1	2300.6	2300.4	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	9.8	9.4	9.1	
		b	12.3	12.1	12.1	
		c	12.0	12.1	10.9	
		d	10.7	10.6	10.7	
	남쪽	a	10.8	11.0	10.7	
		b	11.9	11.3	11.8	
		c	11.7	12.0	11.7	
		d	12.0	11.5	11.5	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 9월 5일	측정시간	온도	25.6°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	17:00	습도	54.7%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (더조 방향)	2042.1	2041.6	2041.4		
	남쪽 (운동장 방향)	2049.6	2049.4	2049.5		
서까래	북쪽	a	2364.0	2366.2	2362.7	
		b	2358.6	2352.3	2354.2	
		c	2342.6	2345.7	2344.7	
		d	2358.8	2360.6	2362.1	
	남쪽	a	2383.0	2382.7	2382.1	
		b	2363.5	2362.1	2366.0	
		c	2345.0	2343.4	2345.7	
		d	2361.8	2362.0	2366.4	
기 동	북쪽	a	2319.4	2319.6	2319.8	
		b	2321.8	2321.5	2321.7	
		c	2290.2	2290.2	2290.1	
		d	2353.6	2353.5	2353.9	
	남쪽	a	2353.3	2353.6	2353.5	
		b	2240.7	2240.9	2240.5	
		c	2292.7	2290.0	2292.8	
		d	2297.6	2297.6	2297.4	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	9.0	8.5	8.3	
		b	14.1	14.6	14.1	
		c	13.9	12.7	12.3	
		d	11.7	13.3	12.7	
	남쪽	a	12.2	11.2	11.9	
		b	13.3	13.8	13.7	
		c	13.9	14.3	14.6	
		d	13.6	13.4	12.3	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 10월 5일	측정시간	온도	23.5°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:30	습도	55.5%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류중수

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (다조 방향)	2041.1	2041.0	2040.9		
	남쪽 (운동장 방향)	2049.9	2049.7	2050.6		
서까래	북쪽	a	2358.2	2359.2	2357.8	
		b	2346.5	2348.7	2348.0	
		c	2335.8	2338.8	2337.3	
		d	2356.8	2356.0	2356.1	
	남쪽	a	2370.6	2370.3	2369.5	
		b	2353.9	2351.2	2354.8	
		c	2333.9	2332.2	2332.9	
		d	2350.4	2342.4	2344.9	
기 동	북쪽	a	2318.0	2318.2	2318.3	
		b	2321.6	2321.9	2321.8	
		c	2290.1	2290.0	2289.8	
		d	2353.4	2353.4	2353.6	
	남쪽	a	2352.6	2359.5	2352.8	
		b	2239.7	2239.5	2239.9	
		c	2293.2	2293.0	2292.8	
		d	2300.0	2299.5	2299.5	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	12.0	10.4	9.9	
		b	14.3	14.2	14.2	
		c	12.0	12.2	9.9	
		d	10.8	10.9	10.6	
	남쪽	a	10.1	10.3	10.1	
		b	10.7	10.1	10.3	
		c	13.2	13.2	11.0	
		d	12.4	12.2	12.7	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 11월 7일	측정시간	온도	15.5°C	조사자
날씨	☐맑음, ■흐림, ☐비 ☐눈, ☐기타( )	17:10	습도	52.0%	정선영, 최호중, 김진강

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (디조 방향)	2040.7	2040.9	2040.6		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.8	2050.2	2050.5		
서까래	북쪽	a	2358.4	2359.8	2357.3	
		b	2346.2	2344.4	2345.4	
		c	2336.0	2336.7	2336.5	
		d	2352.9	2361.3	2353.9	
	남쪽	a	2377.6	2377.3	2378.5	
		b	2354.1	2354.8	2352.2	
		c	2331.7	2333.0	2334.1	
		d	2342.9	2341.8	2345.5	
기 동	북쪽	a	2318.3	2328.1	2318.3	
		b	2322.7	2322.7	2322.4	
		c	2289.8	2290.2	2290.2	
		d	2354.3	2353.4	2352.8	
	남쪽	a	2354.2	2354.2	2353.8	
		b	2239.6	2240.2	2240.2	
		c	2293.1	2293.4	2292.7	
		d	2300.4	2300.7	2300.3	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	10.8	10.3	10.2	
		b	13.1	13.2	13.3	
		c	10.2	10.2	10.3	
		d	11.0	11.8	10.8	
	남쪽	a	9.1	9.1	9.2	
		b	9.9	10.2	9.8	
		c	8.9	8.8	8.7	
		d	11.3	11.2	10.9	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 12월 6일	측정시간	온도	6.1°C	조사자
날씨	☐맑음, ☐흐림, ☐비 ■눈, ☐기타( )	15:10	습도	35.7%	정선영, 최호중, 김진강, 김동휘, 류중수, 신다빈, 이지혜

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (디조 방향)	2039.7	2039.7	2040.1		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.0	2050.4	2050.3		
서까래	북쪽	a	2356.5	2355.2	2357.7	
		b	2345.3	2345.7	2346.1	
		c	2338.8	2337.0	2337.5	
		d	2353.4	2352.2	2352.4	
	남쪽	a	2368.5	2368.7	2368.7	
		b	2350.6	2352.5	2351.7	
		c	2334.4	2330.9	2334.7	
		d	2344.9	2343.7	2346.3	
기 동	북쪽	a	2318.5	2318.4	2318.3	
		b	2323.4	2323.5	2323.4	
		c	2289.7	2289.6	2289.5	
		d	2359.7	2353.9	2353.3	
	남쪽	a	2354.3	2354.1	2354.8	
		b	2240.2	2239.8	2239.9	
		c	2292.4	2292.7	2292.8	
		d	2299.4	2299.9	2299.6	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	10.3	10.7	10.8	
		b	11.4	11.5	10.7	
		c	9.8	9.6	9.6	
		d	9.8	10.4	10.1	
	남쪽	a	10.1	10.3	10.4	
		b	10.4	10.3	10.1	
		c	10.2	10.1	10.0	
		d	9.8	9.9	10.1	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 1월 2일	측정시간	온도	0.1℃	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	15:25	습도	24.2%	김진강, 김동휘, 류종수, 신다빈, 이지혜, 이창근

처짐측정

(동측부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (디조 방향)	2040.5	2039.8	2039.9		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.2	2050.1	2050.2		
서까래	북쪽	a	2353.6	2353.1	2355.8	
		b	2344.5	2343.0	2344.1	
		c	2332.6	2332.1	2332.7	
		d	2348.7	2348.0	2349.1	
	남쪽	a	2368.5	2367.0	2368.1	
		b	2353.0	2352.5	2354.1	
		c	2330.4	2332.2	2331.0	
		d	2343.0	2339.8	2341.7	
기 동	북쪽	a	2318.2	2318.0	2318.7	
		b	2321.7	2321.2	2321.2	
		c	2289.2	2289.5	2290.1	
		d	2353.4	2353.1	2353.2	
	남쪽	a	2354.6	2354.5	2354.5	
		b	2239.2	2239.5	2239.7	
		c	2293.0	2292.8	2293.4	
		d	2299.8	2299.6	2299.7	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	10.8	11.3	10.8	
		b	12.9	12.7	13.0	
		c	10.2	10.4	10.3	
		d	11.2	11.0	11.6	
	남쪽	a	11.2	10.9	10.5	
		b	11.6	11.5	10.3	
		c	11.3	11.2	10.9	
		d	12.5	12.2	11.7	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2012 년 2월 06일	측정시간	온도	3.6°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	15:55	습도	55.7%	정선영, 김동휘, 류중수, 최호중

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (더조 방향)	2041.0	2040.9	2041.5		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.9	2050.5	2051.0		
서까래	북쪽	a	2354.9	2354.1	2356.9	
		b	2345.7	2345.1	2345.1	
		c	2333.9	2337.4	2335.2	
		d	2349.5	2349.7	2350.0	
	남쪽	a	2368.0	2367.4	2368.7	
		b	2356.4	2352.8	2355.4	
		c	2333.5	2333.8	2335.5	
		d	2341.0	2342.5	2342.8	
기 동	북쪽	a	2320.1	2320.1	2319.9	
		b	2322.5	2322.5	2321.9	
		c	2390.6	2289.8	2289.3	
		d	2353.3	2353.6	2354.0	
	남쪽	a	2353.1	2353.4	2353.1	
		b	2239.8	2240.4	2240.3	
		c	2293.5	2293.6	2293.5	
		d	2300.2	2300.3	2300.4	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	13.0	12.9	13.1	
		b	15.5	15.4	15.2	
		c	15.1	15.0	14.9	
		d	13.7	13.7	13.8	
	남쪽	a	12.3	12.0	12.1	
		b	12.7	12.7	12.6	
		c	13.7	13.6	13.8	
		d	13.4	13.3	13.2	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발  
 연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 3월 14일	측정시간	온도	15.8°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비 □눈, □기타( )	16:20	습도	34.0%	정선영, 김동휘, 류중수

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부 재	부 위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	평균값(mm)	
주심도리	북쪽 (디조 방향)	2040.2	2039.5	2039.9		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.5	2050.7	2051.0		
서까래	북쪽	a	2356.4	2357.1	2354.3	
		b	2342.7	2343.8	2344.6	
		c	2337.2	2333.7	2333.4	
		d	2348.5	2348.1	2347.8	
	남쪽	a	2366.3	2368.2	2367.3	
		b	2352.1	2349.3	2349.4	
		c	2334.8	2332.8	2331.9	
		d	2342.3	2342.3	2341.4	
기 동	북쪽	a	2319.5	2319.3	2319.6	
		b	2321.9	2321.7	2321.9	
		c	2289.4	2289.2	2289.2	
		d	2353.6	2356.5	2354.1	
	남쪽	a	2353.6	2353.8	2353.3	
		b	2240.3	2240.3	2239.7	
		c	2292.7	2293.0	2292.7	
		d	2299.8	2300.3	2299.7	

함수율측정

부 재	부 위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	평균값(mm)	
기 동	북쪽	a	9.2	8.5	8.3	
		b	10.3	10.6	10.5	
		c	8.6	8.2	8.3	
		d	8.6	8.6	8.7	
	남쪽	a	8.7	8.9	8.9	
		b	8.4	8.2	8.2	
		c	8.0	8.3	8.5	
		d	7.8	8.0	8.1	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 4월 11일	측정시간	측정 온도	16.7°C	조사자
날씨	☐맑음, ■흐림, ☐비 ☐눈, ☐기타( ) 일 강수량 적설량		지역 최저온도	°C	
			지역 최고온도	°C	
			습도	19.9%	

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부재	부위	측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	기타	
주심 도리	북쪽 (디조 방향)	2038.6	2039.0	2038.8		
	남쪽 (운동장 방향)	2050.9	2050.7	2051.0		
서까 래	북쪽	a	2354.9	2358.0	2353.6	
		b	2345.3	2345.5	2346.9	
		c	2334.6	2335.8	2335.6	
		d	2346.3	2348.9	2344.1	
	남쪽	a	2368.1	2366.0	2367.8	
		b	2348.8	2348.9	2353.6	
		c	2332.4	2331.8	2331.0	
		d	2337.4	2339.7	2340.1	
기 둥	북쪽	a	2319.5	2318.8	2319.0	
		b	2322.9	2321.8	2321.8	
		c	2289.8	2289.2	2289.6	
		d	2354.1	2353.3	2353.5	
	남쪽	a	2354.5	2354.5	2354.2	
		b	2239.4	2240.0	2240.0	
		c	2293.4	2293.4	2292.8	
		d	2299.1	2299.9	2299.7	

함수율측정

부재	부위	측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타	
기 둥	북쪽	a	7.3	7.2	7.3	
		b	9.8	9.9	9.8	
		c	7.6	7.6	7.5	
		d	8.7	8.6	8.8	
	남쪽	a	7.4	7.4	7.4	
		b	7.9	7.8	7.7	
		c	8.2	8.1	8.1	
		d	7.8	8.0	8.1	

예제한옥(명지대 무루정) 연구일지

1-3 신한옥 통합구조 기술개발

연구책임자 : 명지대 김 영 민 교수

조사일자	2013 년 5월 3일	측정시간	측정 온도	21.0°C	조사자
날씨	■맑음, □흐림, □비	15:00	지역 최저온도	°C	정선영, 류중수, 김동휘
	□눈, □기타( )		지역 최고온도	°C	
	일 강수량 적설량		습도	37.36%	

처짐측정

(동쪽부터 a,b,c,d순)

부재	부위		측정값1(mm)	측정값2(mm)	측정값3(mm)	기타
주심 도리	상대변위 (하인방 위에서 측정)	북쪽 (디조 방향)	2039.0	2039.2	2039.7	
		남쪽 (운동장 방향)	2050.3	2050.5	2050.5	
서까 래	북쪽	a	2356.3	2356.9	2358.4	
		b	2340.1	2342.4	2342.7	
		c	2334.1	2335.3	2334.8	
		d	2346.3	2346.1	2346.8	
	남쪽	a	2368.6	2368.2	2367.9	
		b	2350.0	2351.1	2348.5	
		c	2333.1	2332.6	2331.6	
		d	2342.7	2340.7	2340.3	
기 등	북쪽	a	2318.6	2318.6	2318.2	
		b	2321.6	2321.6	2321.2	
		c	2289.4	2289.7	2289.6	
		d	2351.7	2353.4	2354.0	
	남쪽	a	2353.9	2354.4	2354.3	
		b	2239.5	2239.0	2239.4	
		c	2293.2	2292.9	2293.3	
		d	2299.7	2300.1	2300.0	

함수율측정

부재	부위		측정값1(%)	측정값2(%)	측정값3(%)	기타
기 등	북쪽	a	11.9	11.8	10.9	
		b	12.1	12.2	12.0	
		c	12.0	11.8	11.7	
		d	11.6	11.5	11.6	
	남쪽	a	9.2	9.1	9.2	
		b	10.4	10.5	10.2	
		c	11.6	11.3	11.1	
		d	10.4	10.3	10.6	

나) 예제한옥(명지대 무루정) 측정과정

2012.9.5 예제한옥(명지대 무루정) 측정사진



그림 124. 무루정



그림 125. 무루정 서까래 처짐 측정



그림 126. 무루정 기둥 길이 측정



그림 127. 무루정 기둥 함수율 측정

2012.10.05 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 128. 무루정 전체사진



그림 129. 무루정 주심도리 처짐 측정



그림 130. 무루정 서까래 처짐 측정



그림 131. 무루정 기둥 길이 측정



그림 132. 무루정 기둥 함수율 측정

2012.11.07 예제한옥(명지대 무루정) 측정사진



그림 133. 무루정 전체사진



그림 134. 무루정 주심도리 치짐 측정



그림 135. 무루정 서까래 치짐 측정



그림 136. 무루정 기둥 길이 측정



그림 137. 무루정 기둥 함수울 측정

2012.12.05 예제한옥(명지대 무루정) 측정사진



그림 138. 무루정 전체사진



그림 139. 무루정 주심도리 처짐 측정



그림 140. 무루정 서까래 처짐 측정



그림 141. 무루정 기둥 처짐 측정



그림 142. 무루정 기둥 함수율 측정

2013.01.02 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 143 . 무루정 전체사진



그림 144 . 무루정 주심도리 처짐



그림 145 . 무루정 서까래 처짐 측정



그림 146 . 무루정 기둥 길이 측정



그림 147 . 무루정 기둥 함수율 측정

2013.02.14 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 148 . 무루정 전체사진



그림 149 . 무루정 주심도리 처짐



그림 150 . 무루정 서까래 처짐 측정



그림 151 . 무루정 기둥 길이 측정



그림 152 . 무루정 기둥 함수율 측정

2013.03.14 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 153. 무루정 전체사진

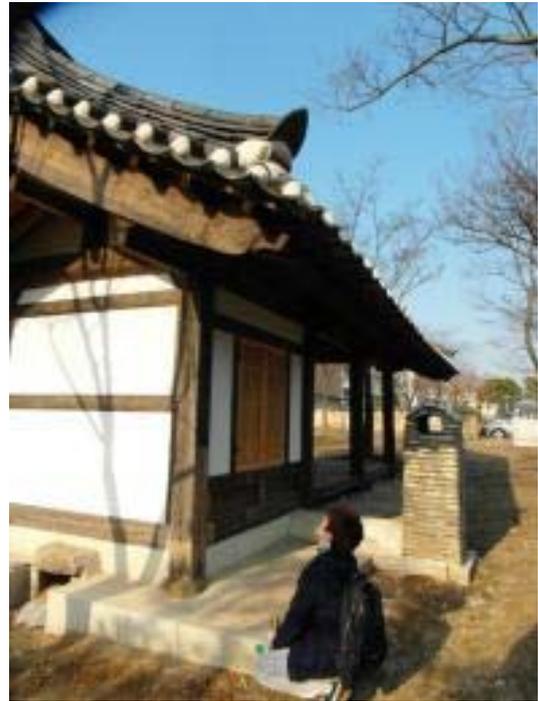


그림 155. 무루정 서까래 치집 측정



그림 154. 무루정 주심도리 치집 측정



그림 156. 무루정 기둥 길이 측정



그림 157. 무루정 기둥 함수울 측정

2013.04.11 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 158. 무루정 전체사진

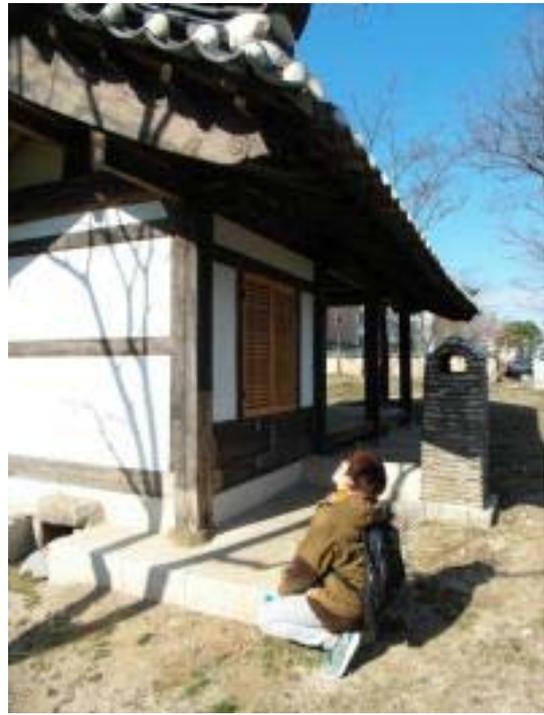


그림 160. 무루정 서까래 처짐 측정



그림 159. 무루정 주심도리 처짐 측정



그림 161. 무루정 기둥 길이 측정



그림 162. 무루정 기둥 함수율 측정

2013.05.03 예제한옥(명시대 무루정) 측정사진



그림 163. 무루정 전체사진



그림 165. 무루정 서까래 처짐 측정



그림 164. 무루정 주심도리 처짐 측정



그림 166. 무루정 기둥 길이 측정



그림 167. 무루정 기둥 함수율 측정

2) 3차원 스캐너를 이용한 변형 측정

(1) 3차원 스캐너

3차원 스캐너로 시공 및 성능 테스트 동의 스캔을 실시하여 DOT DATA로 레이저 거리 측정기의 측정부위와 같은 부분의 지점간 거리를 확인하였다.

가) 기둥

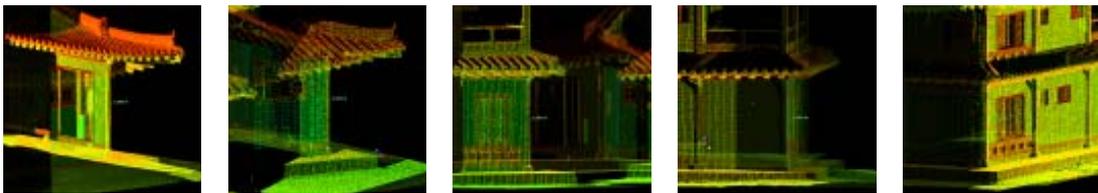


그림 168. (a)      그림 169. (b)      그림 170. (c)      그림 171. (d)      그림 172. (e)

표 4. 기둥의 3차원 스캐너 거리 측정값

	부재		3차원 스캐너 거리측정(mm)			변형차이
			측정값1	측정값2	평균값	
지 점 간 거 리	기 둥	a	2,566.0	2582.0	2574.0	11.3
		b	2,583.0	2590.0	2586.5	-4.1
		c	2,561.0	2584.0	2572.5	7.8
		d	2,573.0	2578.0	2575.5	6.8
		e	2,567.0	2576.0	2571.5	12.5

나) 추녀

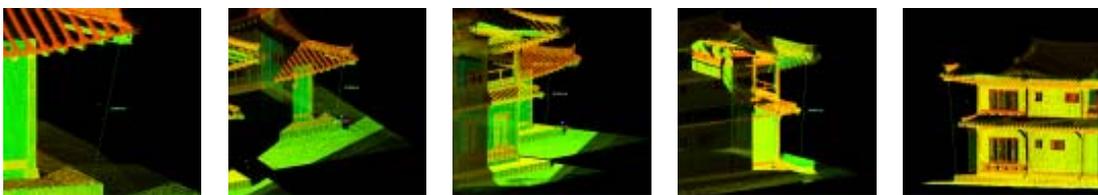


그림 173. (a)      그림 174. (b)      그림 175. (c)      그림 176. (d)      그림 177. (e)

표 5. 추녀의 3차원 스캐너 거리 측정값

	부재		3차원 스캐너 거리측정(mm)			변형차이
			측정값1	측정값2	평균값	
지 점 간 거 리	추 녀	a	2894.0	2898.0	2896.0	-24.3
		b	2880.0	2898.0	2889.0	-22.0
		c	5621.0	5625.0	5623.0	7.3
		d	5667.0	5671.0	5669.0	4.3
		e	5675.0	5646.0	5660.5	7.9

다) 서까래

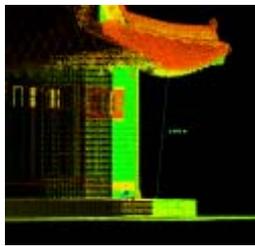


그림 178. (a)

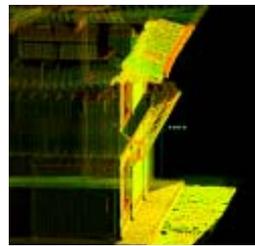


그림 179. (b)

표 6. 서까래의 3차원 스캐너 거리 측정값

	부재		3차원 스캐너 거리측정(mm)			변형 차이
			측정값1	측정값2	평균값	
지 점 간 거 리	서 까 래	a	2591.0	2602.0	2596.5	26.5
		b	5402.0	5404.0	5403.0	1.8

위의 기둥, 추녀, 그리고 서까래의 레이저 거리 측정 결과와 3차원 스캐너의 거리측정 결과를 정리하면 다음과 같다. 실제 3차원 스캐너의 경우 기계 자체적인 허용 오차와 데이터 분석의 오차가 있음을 알 수 있었다. 변형의 차이값은 서까래에서 최대 26.5mm, 최소 1.8mm의 오차를 보였다.

그러나, 다음과 같은 결과들은 실제 처짐에 비하여 상당히 오차가 크기 때문에, 실질적인 변형형상을 규명하기 어렵다. 따라서 1차 측정 이후, 3차원 스캐너 측정을 대신하여 저렴하고, 오차수준이 비슷하게 개발된 디지털 합성 영상 변형 분석을 통하여 변형형상을 측정하였다. 이는 오차수준이 비슷하면서도 저렴하고, 간편하게 측정을 할 수 있다는 장점이 있다.

표 7. 서까래, 추녀, 기둥의 변형차이의 오차값

	부재		레이저 거리 측정기의 거리측정(mm)				3차원 스캐너 거리측정(mm)			변형차이
			측정값 1	측정값 2	측정값 3	평균값	측정값 1	측정값 2	평균값	
지점간거리	서까래	a	2622.9	2623.2	2623.0	2623.0	2591.0	2602.0	2596.5	26.5
		b	5404.8	5404.4	5405.2	5404.8	5402.0	5404.0	5403.0	1.8
	추녀	a	2871.1	2871.7	2872.2	2871.7	2894.0	2898.0	2896.0	-24.3
		b	2866.8	2867.0	2867.3	2867.0	2880.0	2898.0	2889.0	-22.0
		c	5630.5	5630.2	5630.2	5630.3	5621.0	5625.0	5623.0	7.3
		d	5673.1	5673.4	5673.3	5673.3	5667.0	5671.0	5669.0	4.3
		e	5669.6	5668.1	5667.6	5668.4	5675.0	5646.0	5660.5	7.9
	기둥	a	2585.2	2585.1	2585.5	2585.3	2566.0	2582.0	2574.0	11.3
		b	2582.2	2582.3	2582.7	2582.4	2583.0	2590.0	2586.5	-4.1
		c	2580.4	2580.4	2580.0	2580.3	2561.0	2584.0	2572.5	7.8
		d	2582.2	2582.4	2582.2	2582.3	2573.0	2578.0	2575.5	6.8
		e	2584.0	2583.9	2584.0	2584.0	2567.0	2576.0	2571.5	12.5

3) 디지털 영상 합성 변형 분석

(1) 외곽선 추출 영상

가) 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동 및 전통한옥 성능 테스트 동)



그림 180. 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정위치1

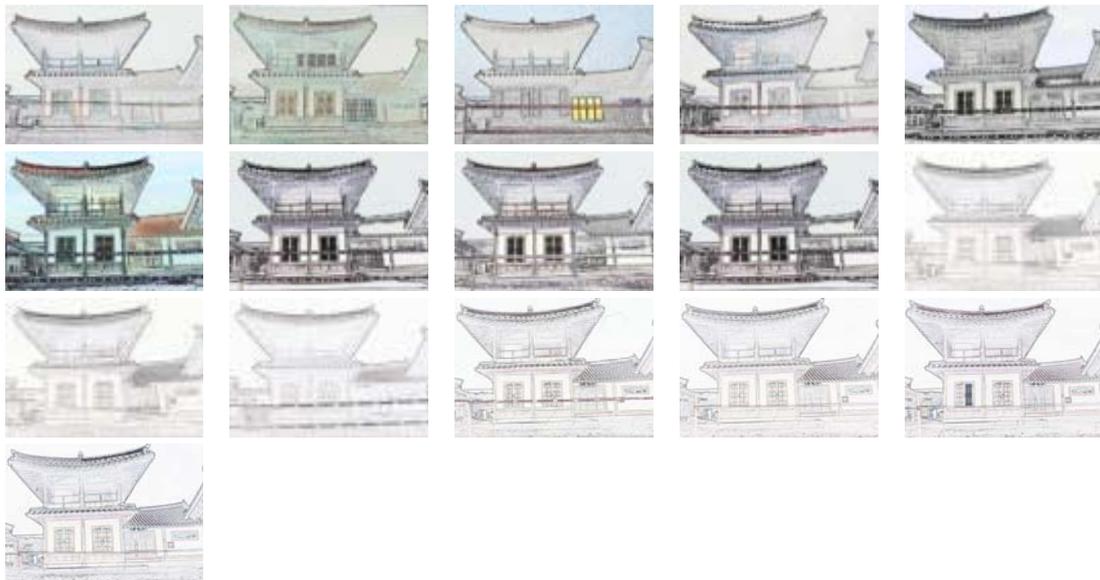


그림 188. 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정위치2

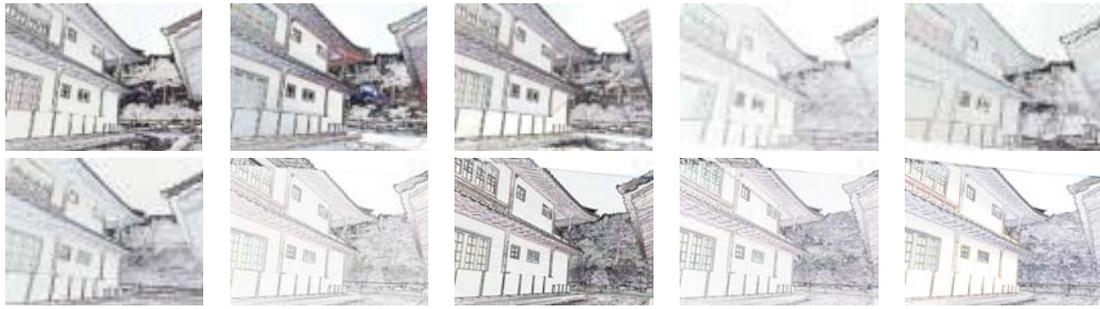


그림 205. 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동) 측정위치3



그림 216. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정위치1



그림 233. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정위치2

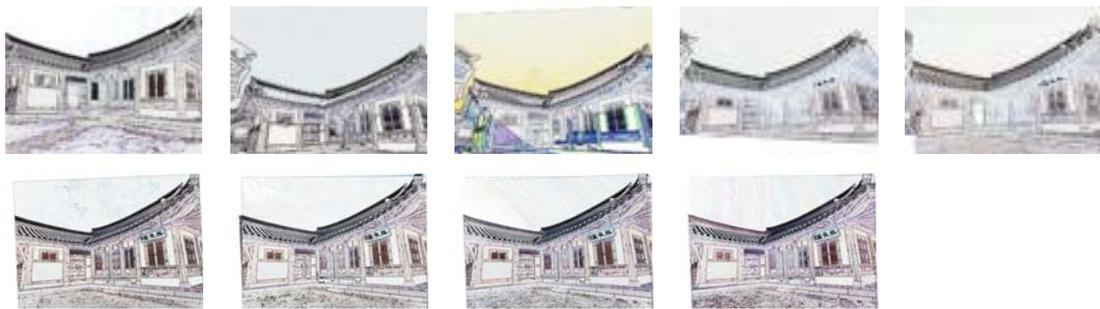


그림 250. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동) 측정위치3

나) 예제한옥(명지대 무루정)



그림 260. 예제한옥(명지대 무루정) 측정위치1

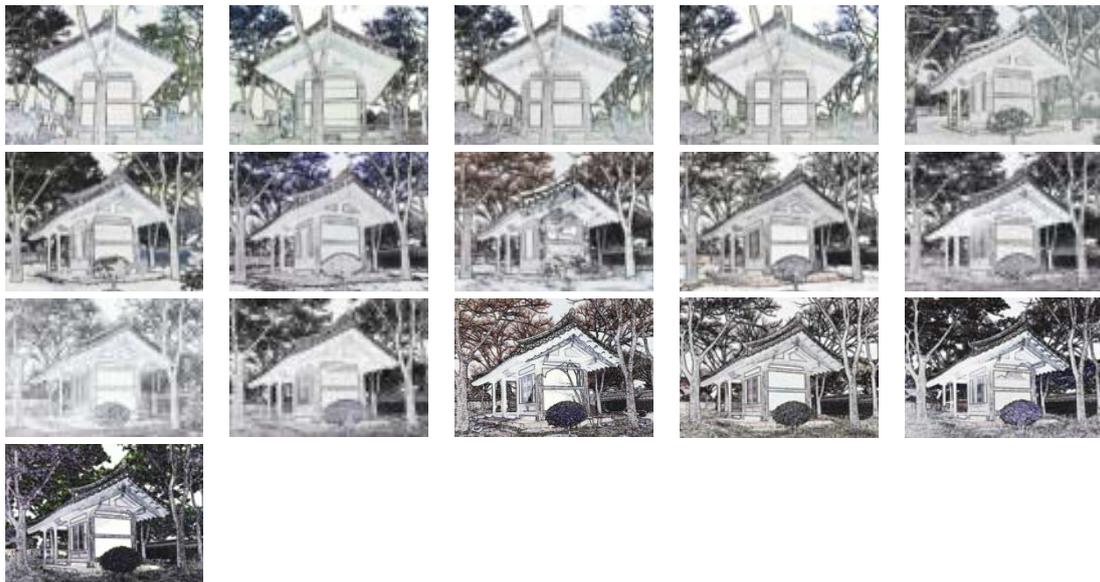


그림 277. 예제한옥(명지대 무루정) 측정위치2



그림 294. 예제한옥(명지대 무루정) 측정위치3

(2) 평균정지영상 추출

가) 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동)



그림 311. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2012년 11월 평균정지영상



그림 312. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2012년 12월 평균정지영상



그림 313. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2013년 1월 평균정지영상



그림 314. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2013년 2월 평균정지영상

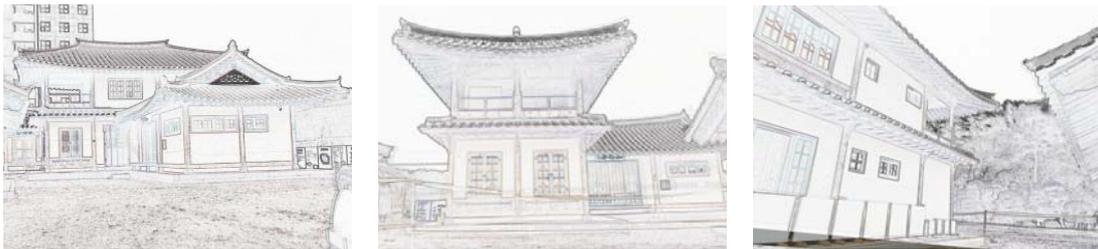


그림 315. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2013년 3월 평균정지영상



그림 316. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2013년 4월 평균정지영상

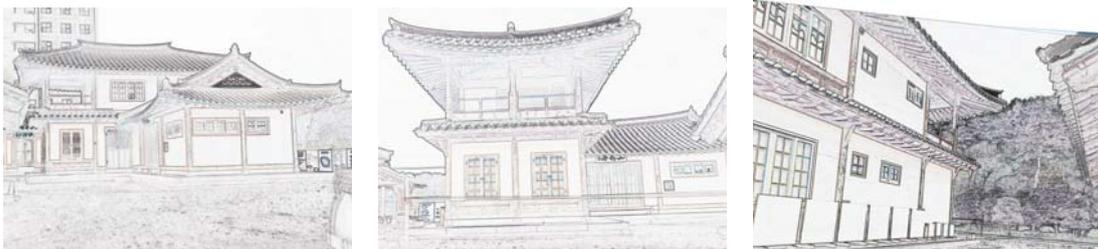


그림 320. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 2013년 5월 평균정지영상

나) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트 동)



그림 324. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2012년 11월 평균정지영상



그림 325. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2012년 12월 평균정지영상



그림 326. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2013년 1월 평균정지영상



그림 327. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2013년 2월 평균정지영상



그림 328. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2013년 3월 평균정지영상



그림 332. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2013년 4월 평균정지영상



그림 336. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 2013년 5월 평균정지영상

다) 예제한옥(명지대 무루정)



그림 340. 예제한옥(명지대 무루정) 2012년 11월 평균정지영상

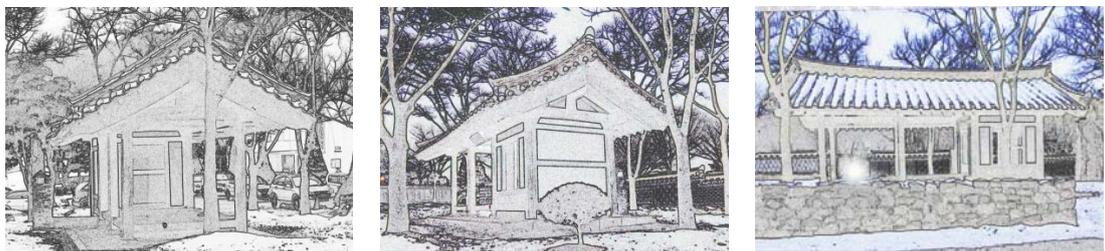


그림 341. 예제한옥(명지대 무루정) 2012년 12월 평균정지영상

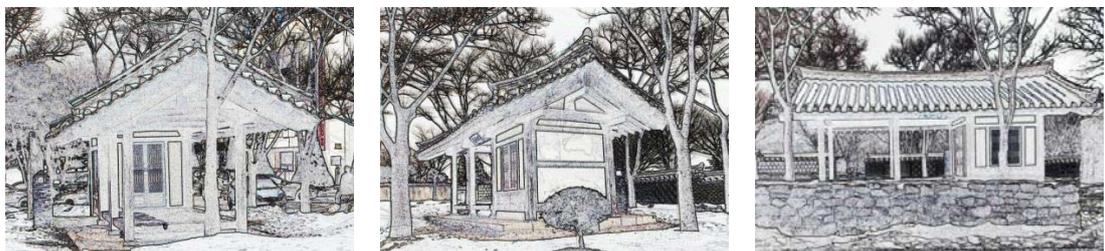


그림 342. 예제한옥(명지대 무루정) 2013년 1월 평균정지영상

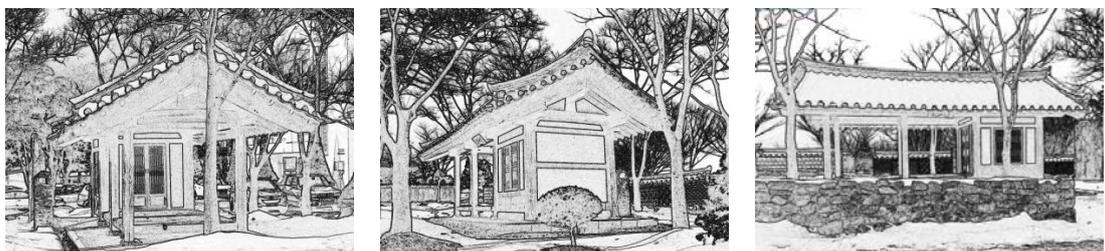


그림 343. 예제한옥(명지대 무루정) 2013년 2월 평균정지영상

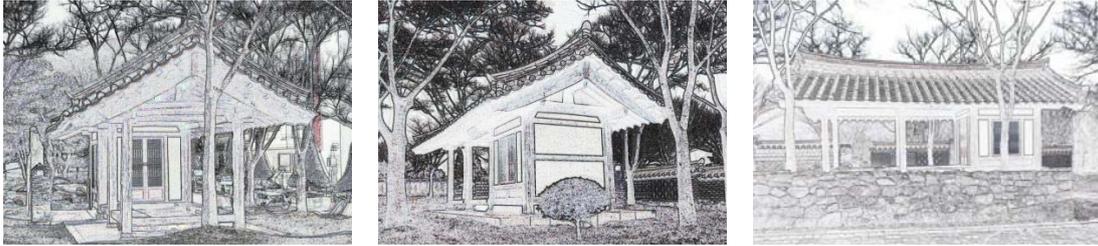


그림 344. 예제한옥(명지대 무루정) 2013년 3월 평균정지영상



그림 348. 예제한옥(명지대 무루정) 2013년 4월 평균정지영상



그림 352. 예제한옥(명지대 무루정) 2013년 5월 평균정지영상

### 1.3 구조모니터링 결과

#### 1) 주요 구조부재의 변형 측정 결과

##### (1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트 동)

표 8. 시공 및 성능 테스트동 서까래 처짐 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
서까래	a	2623.03	2622.17	2627.63	2621.23	2622.77
	b	5404.80	5377.37	5399.87	5396.87	5400.30
단위 : mm		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
서까래	a	2624.47	2631.60	2624.20	2622.57	2629.53
	b	5394.77	5396.07	5377.53	5381.60	5401.50
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
서까래	a	2622.36	2617.23	2650.40	2606.07	2624.57
	b	5410.23	5392.40	5397.30	5379.63	5389.78
단위 : mm		12월 06일	12월 14일	12월 27일	01월 02일	01월 18일
서까래	a	2627.90	2547.50	2626.47	2632.27	2591.53
	b	5388.93	5396.27	5380.83	5391.43	5389.59
단위 : mm		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
서까래	a	2606.21	2599.45	2599.06	2630.47	2631.53
	b	5386.03	5387.77	5387.47	5379.37	5390.90
단위 : mm		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
서까래	a	2634.50	2637.03	2632.37	2630.93	2636.23
	b	5390.90	5391.37	5386.67	5389.13	5387.10
단위 : mm		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
서까래	a	2627.19	2629.73	2630.50	2635.43	2634.90
	b	5389.30	5409.20	5399.60	5388.77	5389.10
단위 : mm		06월 21일				
서까래	a	2634.53				
	b	5389.33				

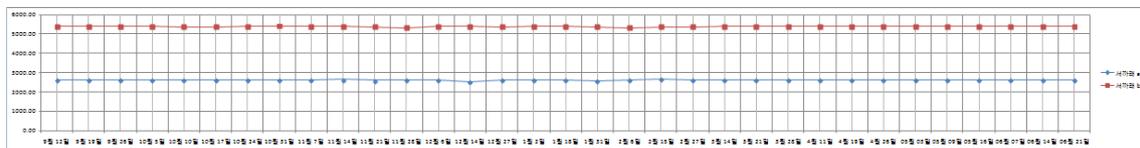


그림 356. 시공 및 성능 테스트 동 서까래 처짐

표 9. 시공 및 성능 테스트동 기둥 함수율 측정 데이터

단위 : %		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
기둥	a	9.57	10.23	12.50	10.67	13.80
	b	8.47	8.07	11.47	10.27	12.13
	c	8.90	8.80	10.90	11.03	12.83
	d	9.30	11.80	10.50	11.03	12.33
	e	9.00	10.00	10.53	10.37	11.80
단위 : %		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
기둥	a	10.83	10.00	12.30	10.83	11.17
	b	9.43	9.47	10.97	9.17	9.83
	c	10.07	9.90	11.23	9.10	9.77
	d	9.07	10.17	10.50	8.50	10.50
	e	9.93	10.37	10.63	10.20	10.30
단위 : %		10월 31일	11월 7일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
기둥	a	10.43	11.07	12.47	11.60	11.71
	b	9.20	10.43	11.57	11.20	11.07
	c	9.87	11.50	12.87	11.57	11.98
	d	8.77	10.03	11.97	10.70	10.90
	e	9.37	11.07	11.47	11.47	11.33
단위 : %		12월 06일	12월 14일	12월 27일	1월 2일	01월 18일
기둥	a	11.23	16.43	11.03	12.70	13.46
	b	11.17	14.80	12.00	12.23	13.15
	c	11.67	16.83	11.37	13.07	13.83
	d	11.13	14.67	11.83	12.77	13.01
	e	12.00	14.37	11.60	13.83	12.87
단위 : %		01월 31일	02월 06일	02월 15일	02월 27일	03월 14일
기둥	a	12.46	12.94	12.95	11.23	9.50
	b	12.60	14.80	12.85	10.47	8.90
	c	12.83	13.32	13.32	11.03	9.47
	d	12.46	12.67	12.72	8.90	7.87
	e	12.38	12.64	12.63	11.87	9.47
단위 : %		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
기둥	a	8.60	9.83	8.47	10.57	11.50
	b	7.93	8.83	8.17	9.63	10.53
	c	8.70	9.50	7.80	10.40	10.90
	d	8.00	7.80	7.93	10.57	11.60
	e	8.63	9.50	8.70	9.70	10.67
단위 : %		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
기둥	a	11.13	7.07	6.90	10.27	10.17
	b	9.97	6.57	6.73	9.73	9.53
	c	11.37	6.53	6.37	10.00	10.20
	d	11.17	5.97	6.07	9.27	8.87
	e	10.00	5.97	6.07	8.77	9.13

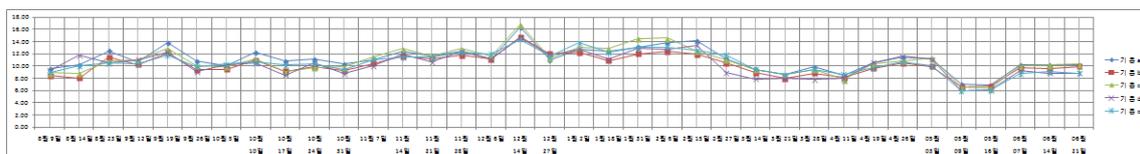


그림 357. 시공 및 성능 테스트동 기둥 함수율 측정

표 10. 시공 및 성능 테스트동 추녀 처짐 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
추녀	a	2871.67	2874.10	2875.17	2878.17	2856.87
	b	2867.03	2862.77	2728.67	2861.20	2860.97
	c	5630.30	5623.70	5626.20	5622.33	5631.10
	d	5673.27	5673.67	5674.93	5670.43	5671.83
	e	5668.43	5656.00	5670.83	5659.80	5661.73
단위 : mm		10월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
추녀	a	2871.73	2872.67	2872.67	2873.90	2873.87
	b	2861.17	2862.67	2872.07	2862.07	2868.97
	c	5620.63	5636.87	5631.80	5625.57	5625.70
	d	5671.47	5670.17	5670.97	5673.10	5671.83
	e	5660.77	5660.33	5675.07	5673.13	5654.53
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
추녀	a	2877.00	2875.77	2870.17	2873.03	2872.99
	b	2861.93	2876.83	2872.90	2862.03	2870.59
	c	5626.83	5630.30	5630.20	5610.80	5623.77
	d	5667.70	5672.43	5671.60	5670.90	5671.64
	e	5657.13	5650.70	5658.87	5656.13	5655.23
단위 : mm		12월 06일	12월 14일	12월 27일	1월 2일	01월 18일
추녀	a	2874.12	2872.70	2903.40	2866.33	2886.50
	b	2863.67	2861.90	2877.13	2861.30	2869.12
	c	5629.53	5681.57	5622.53	5224.97	5648.59
	d	5662.60	5645.57	5667.83	5671.50	5658.56
	e	5649.53	5653.33	5646.63	5654.57	5651.13
단위 : mm		01월 31일	02월 06일	02월 15일	02월 27일	03월 14일
추녀	a	2891.10	2887.00	2888.20	2862.63	2873.17
	b	2871.52	2869.66	2870.10	2863.07	2861.53
	c	5637.60	5642.63	5642.94	5641.33	5628.87
	d	5662.89	5661.24	5660.90	5672.13	5671.33
	e	5650.40	5651.65	5651.06	5650.27	5657.63
단위 : mm		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
추녀	a	2868.67	2870.83	2869.50	2872.40	2876.93
	b	2863.10	2861.87	2862.40	2861.90	2862.10
	c	5620.20	5614.97	5637.30	5613.50	5613.07
	d	5667.37	5668.47	5669.90	5666.67	5667.10
	e	5656.63	5671.73	5654.87	5655.50	5669.43
단위 : mm		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
추녀	a	2868.77	2869.83	2870.83	2867.07	2868.03
	b	2862.60	2861.60	2860.57	2861.97	2862.20
	c	5614.07	5632.33	5632.33	5627.20	5622.43
	d	5670.27	5685.70	5686.60	5673.43	5669.50
	e	5656.17	5662.57	5660.90	5664.47	5666.07

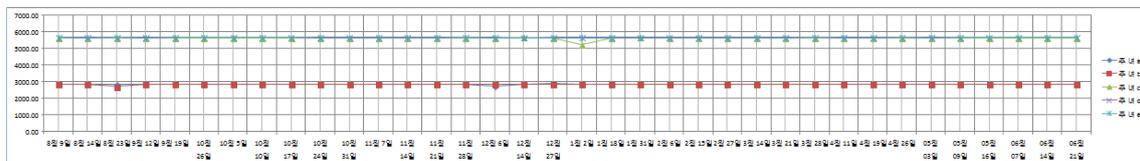


그림 358. 시공 및 성능 테스트동 추녀 처짐 측정

표 11. 시공 및 성능 테스트 동 기둥 축소 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
기둥	a	2585.27	2585.03	2585.07	2585.53	2585.03
	b	2582.40	2581.83	2582.33	2581.87	2581.83
	c	2580.27	2581.63	2582.07	2582.23	2582.33
	d	2582.27	2583.87	2583.83	2581.80	2583.43
	e	2583.97	2583.07	2583.37	2583.87	2579.57
단위 : mm		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
기둥	a	2585.77	2585.43	2582.37	2585.47	2585.53
	b	2581.77	2581.87	2586.77	2586.50	2582.27
	c	2582.73	2579.77	2581.93	2581.03	2578.30
	d	2584.23	2579.70	2580.00	2579.93	2578.67
	e	2578.50	2578.20	2578.30	2579.73	2582.73
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
기둥	a	2585.33	2585.03	2585.20	2584.83	2585.02
	b	2581.77	2582.13	2581.80	2581.50	2581.81
	c	2581.67	2579.70	2582.90	2578.70	2580.43
	d	2578.37	2584.97	2579.70	2579.23	2581.30
	e	2578.23	2578.40	2578.20	2577.70	2578.10
단위 : mm		12월 06일	12월 14일	12월 27일	01월 02일	01월 18일
기둥	a	2584.47	2584.33	2581.43	2584.33	2584.83
	b	2581.47	2581.90	2581.70	2581.33	2581.57
	c	2581.80	2579.37	2581.33	2582.37	2581.01
	d	2578.50	2579.87	2578.70	2578.00	2578.98
	e	2578.93	2578.24	2577.57	2578.10	2578.40
단위 : mm		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
기둥	a	2584.81	2584.79	2584.81	2585.50	2584.97
	b	2581.47	2581.56	2581.56	2582.27	2581.63
	c	2581.15	2581.13	2581.10	2580.87	2580.17
	d	2578.95	2578.93	2578.95	2579.83	2579.70
	e	2578.45	2578.46	2578.44	2578.30	2578.07
단위 : mm		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
기둥	a	2584.73	2584.67	2585.00	2584.70	2584.57
	b	2581.77	2581.80	2582.10	2581.80	2581.83
	c	2579.77	2579.57	2581.63	2579.63	2580.30
	d	2579.30	2579.13	2579.63	2579.80	2579.53
	e	2577.57	2577.53	2579.23	2577.63	2577.10
단위 : mm		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
기둥	a	2584.73	2584.27	2584.73	2584.27	2584.70
	b	2581.93	2582.03	2581.83	2581.73	2581.77
	c	2581.47	2580.43	2580.83	2579.57	2581.17
	d	2579.90	2578.03	2581.33	2579.63	2580.00
	e	2578.00	2578.23	2573.67	2577.80	2577.80

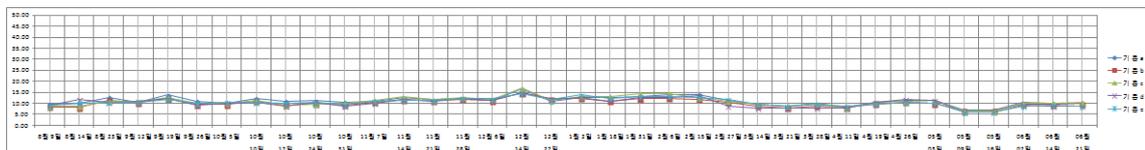


그림 359. 시공 및 성능 테스트 동 기둥 축소 측정

표 12. 시공 및 성능 테스트 동 보 처짐 측정 데이터

단위 : mm		04월 11일	04월 19일	04월 26일	05월 03일	05월 09일
보	a	2864.76	2859.63	2862.37	2863.40	2856.53
	b	2812.53	2955.02	2783.00	2790.82	2867.69
	c	2804.99	2780.38	2759.99	2783.02	2884.28
	d	2814.90	2801.56	2787.01	2787.52	2863.45
	e	2583.97	2583.07	2583.37	2583.87	2579.57
단위 : mm		05월 16일	06월 07일	06월 14일	06월 21일	
보	a	2842.78	2843.27	2843.19	2843.31	
	b	2859.54	2870.89	2860.62	2860.67	
	c	2874.81	2875.37	2876.19	2872.94	
	d	2861.98	2861.99	2862.22	2861.09	
	e	2578.50	2578.20	2578.30	2579.73	

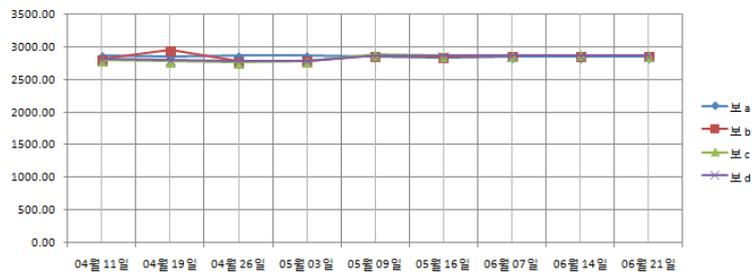


그림 360. 시공 및 성능 테스트 동 보 처짐 측정

(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동)

표 13. 전통한옥 및 성능 테스트 동 서까래 처짐 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
서까래	a	2744.43	2740.90	2721.20	2755.70	2737.40
	b	2717.57	2711.07	2708.77	2723.97	2718.73
단위 : mm		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
서까래	a	2729.67	2766.40	2737.73	2751.17	2755.43
	b	2716.83	2721.60	2717.60	2708.93	2727.47
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
서까래	a	2758.43	2754.03	2737.40	2753.60	2748.34
	b	2725.90	2717.80	2718.70	2705.53	2714.01
단위 : mm		12월 06일	12월 14일	12월 27일	1월 2일	01월 18일
서까래	a	2739.20	2700.63	2759.60	2759.60	2731.13
	b	2722.97	2678.67	2675.53	2675.53	2682.20
단위 : mm		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
서까래	a	2741.29	2735.19	2735.87	2749.87	2749.50
	b	2683.37	2685.99	2683.85	2713.03	2709.73
단위 : mm		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
서까래	a	2752.37	2764.97	2735.00	2709.20	2734.37
	b	2737.07	2707.13	2702.27	2745.47	2711.87
단위 : mm		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
서까래	a	2724.90	2748.40	2747.40	2748.27	2751.80
	b	2699.37	2712.43	2716.50	2710.70	2713.23
단위 : mm		06월 21일				
서까래	a	2749.90				
	b	2713.70				

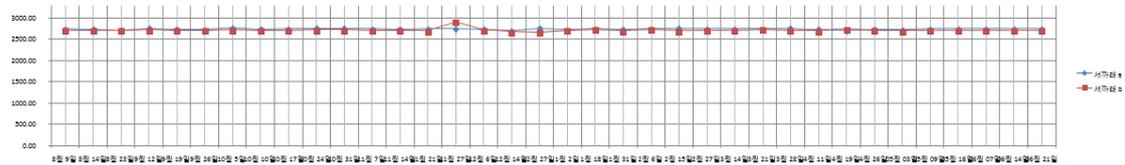


그림 361. 전통한옥 및 성능 테스트 동 서까래 처짐 측정

표 14. 전통한옥 성능 테스트 동 기둥 함수율 측정 데이터

단위 : %		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
기둥	a	10.90	10.03	13.33	13.70	15.37
	b	11.10	11.53	12.73	13.40	14.47
	c	10.67	10.67	13.07	13.83	14.67
	d	11.60	11.97	12.43	14.60	14.77
	e	11.87	11.97	11.97	14.23	15.20
단위 : %		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
기둥	a	10.87	10.57	13.17	10.43	11.00
	b	10.73	10.43	12.23	10.43	11.10
	c	10.43	10.43	12.23	10.60	10.87
	d	11.77	11.37	12.47	10.47	12.30
	e	11.63	12.13	13.47	11.20	12.40
단위 : %		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
기둥	a	11.07	12.17	12.87	11.70	12.24
	b	10.53	11.50	12.37	10.87	11.58
	c	10.37	11.10	12.10	10.83	11.34
	d	11.57	13.63	14.60	12.80	13.68
	e	11.83	13.03	14.10	12.83	13.32
단위 : %		12월 06일	12월 14일	12월 27일	01월 02일	01월 18일
기둥	a	10.97	14.57	12.64	10.53	13.31
	b	11.37	15.33	10.73	10.73	12.85
	c	10.77	15.13	10.73	10.73	12.69
	d	12.87	16.10	13.10	13.10	14.41
	e	12.90	16.57	12.57	12.57	14.38
단위 : %		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
기둥	a	12.89	12.98	13.06	11.37	8.73
	b	12.02	12.45	12.44	10.97	9.20
	c	11.88	12.26	12.28	11.17	9.27
	d	13.84	14.09	14.11	14.00	10.50
	e	13.65	14.02	14.02	14.27	10.87
단위 : %		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
기둥	a	8.53	8.87	7.85	9.67	11.17
	b	8.40	8.80	8.27	9.43	11.90
	c	8.70	8.73	8.60	10.60	11.77
	d	9.83	9.83	9.03	10.83	13.03
	e	10.00	10.73	9.53	10.67	12.43
단위 : %		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
기둥	a	10.17	6.93	7.07	10.33	11.23
	b	10.80	6.93	6.93	10.70	10.50
	c	11.10	7.27	7.73	9.87	10.23
	d	11.70	7.17	7.20	9.80	9.83
	e	12.03	8.13	8.23	9.87	9.87

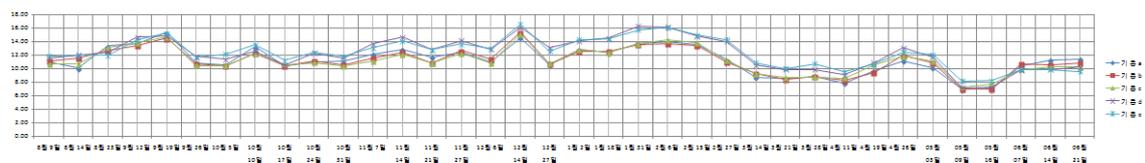


그림 362. 전통한옥 성능 테스트 동 기둥 함수율 측정

표 15. 전통한옥 성능 테스트동 추녀 처짐 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
추녀	a	2990.43	2995.07	2992.77	2992.93	2994.10
	b	2971.40	2972.87	2974.23	2977.83	2977.43
	c	2992.77	2994.80	2996.10	2994.33	2995.63
단위 : mm		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
추녀	a	2991.07	2990.57	2993.93	2990.97	2995.60
	b	2971.23	2970.87	2970.33	2970.67	2974.87
	c	2995.23	2993.97	2994.30	2994.67	2992.23
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
추녀	a	2989.77	2992.10	2994.40	2992.09	2992.86
	b	2973.07	2971.80	2970.77	2971.88	2971.48
	c	2996.43	2997.43	2995.33	2996.40	2996.39
단위 : mm		12월 06일	12월 14일	12월 27일	01월 02일	01월 18일
추녀	a	2981.50	2988.01	2988.77	2988.77	2987.62
	b	2967.37	2969.77	2967.53	2967.53	2968.51
	c	2996.30	2995.47	2991.30	2991.30	2993.71
단위 : mm		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
추녀	a	2987.49	2987.07	2987.39	2986.53	2985.07
	b	2968.09	2968.27	2968.29	2962.40	2961.80
	c	2993.12	2993.73	2993.52	2988.80	2992.90
단위 : mm		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
추녀	a	2985.30	2984.80	2987.20	2980.80	2989.57
	b	2960.77	2963.20	2960.33	2959.87	2961.60
	c	2990.83	2992.17	2990.00	2991.30	2994.90
단위 : mm		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
추녀	a	2985.33	2988.30	2990.83	2986.10	2985.57
	b	2960.17	2960.10	2960.23	2962.73	2961.47
	c	2991.37	2980.50	2990.90	2990.87	2990.97
단위 : mm		06월 21일				
추녀	a	2985.63				
	b	2962.00				
	c	2989.37				

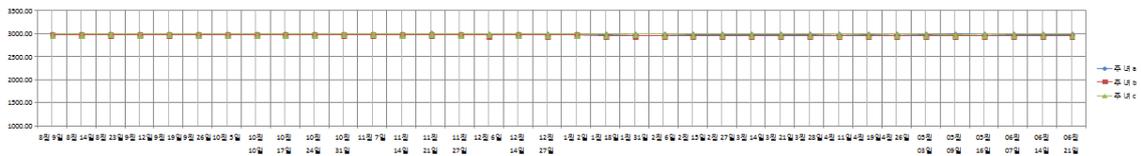


그림 363. 전통한옥 성능 테스트동 추녀 처짐 측정

표 16. 전통한옥 성능 테스트동 기둥 축소 측정 데이터

단위 : mm		08월 09일	08월 14일	08월 23일	09월 12일	09월 19일
기둥	a	2234.47	2234.57	2235.27	2234.47	2234.03
	b	2535.00	2535.53	2535.47	2535.57	2535.70
	c	2402.53	2402.90	2403.20	2403.17	2391.30
	d	2404.60	2404.43	2404.43	2404.20	2404.40
	e	2540.67	2540.60	2540.50	2540.77	2540.67
단위 : mm		09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
기둥	a	2234.53	2234.23	2235.73	2235.47	2235.20
	b	2535.83	2535.67	2535.53	2535.97	2535.97
	c	2397.85	2402.37	2403.13	2397.43	2402.40
	d	2404.23	2404.00	2403.97	2403.87	2404.03
	e	2540.87	2540.50	2541.20	2540.50	2541.07
단위 : mm		10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일
기둥	a	2228.73	2235.13	2235.27	2235.33	2235.24
	b	2535.37	2535.13	2535.17	2535.27	2535.19
	c	2402.27	2402.47	2402.37	2402.23	2402.36
	d	2403.67	2403.23	2403.83	2403.77	2403.61
	e	2540.43	2540.87	2540.43	2540.17	2540.49
단위 : %		12월 06일	12월 14일	12월 27일	01월 02일	01월 18일
기둥	a	2227.50	2236.93	2234.40	2234.40	2235.62
	b	2535.22	2535.67	2536.10	2536.10	2535.81
	c	2402.03	2402.10	2368.70	2368.70	2387.29
	d	2400.27	2404.07	2403.50	2403.50	2403.74
	e	2540.17	2537.93	2539.83	2539.83	2539.03
단위 : %		01월 31일	02월 06일	02월 14일	02월 27일	03월 14일
기둥	a	2235.19	2235.45	2235.42	2228.23	2234.60
	b	2535.86	2535.78	2535.81	2534.90	2534.83
	c	2382.36	2386.91	2385.52	2402.10	2402.00
	d	2403.63	2403.67	2403.68	2403.63	2403.53
	e	2539.40	2539.25	2539.22	2540.27	2540.50
단위 : %		03월 21일	03월 28일	04월 11일	04월 19일	04월 26일
기둥	a	2234.87	2234.47	2234.40	2234.20	2234.40
	b	2534.63	2534.87	2535.00	2534.53	2535.40
	c	2402.20	2402.13	2402.03	2401.67	2402.50
	d	2402.97	2403.20	2540.33	2403.30	2403.47
	e	2540.37	2540.53	2403.33	2539.37	2540.33
단위 : %		05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일	06월 14일
기둥	a	2234.47	2234.27	2234.23	2228.47	2228.77
	b	2535.23	2535.27	2535.33	2535.43	2535.43
	c	2402.67	2402.37	2402.57	2402.70	2402.80
	d	2403.43	2403.87	2403.97	2540.23	2539.73
	e	2540.27	2539.97	2540.03	2403.80	2403.77

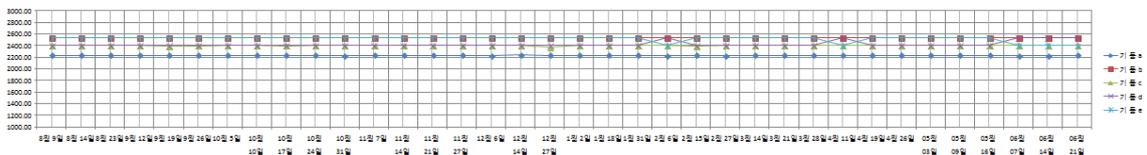


그림 364. 전통한옥 성능 테스트동 기둥 축소 측정

표 17. 시공 및 성능 테스트 동 보 처짐 측정 데이터

단위 : mm		04월 11일	04월 19일	04월 26일	05월 03일	05월 09일
보	a	2867.35	2771.81	2799.34	2799.13	2785.31
	b	2775.79	2767.71	2770.63	2766.63	2743.77
	c	2834.14	2845.07	2825.52	2852.58	2829.92
	d	2817.52	2806.50	2805.37	2811.99	2788.00
단위 : mm		05월 16일	06월 07일	06월 14일	06월 21일	
보	a	2786.66	2799.13	2785.31	2786.66	
	b	2735.05	2766.63	2743.77	2735.05	
	c	2823.73	2852.58	2829.92	2823.73	
	d	2794.31	2811.99	2788.00	2794.31	

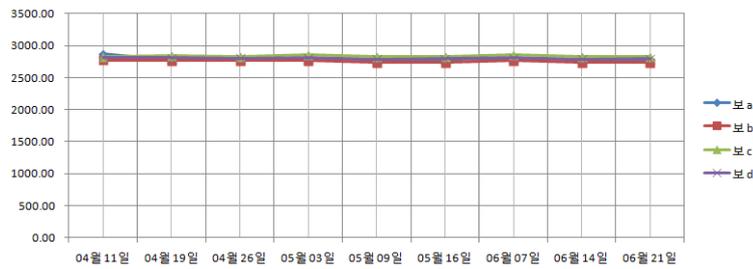


그림 365. 시공 및 성능 테스트 동 보 처짐 측정 데이터

(3) 예제한옥(명지대 무루정)

표 18. 무루정 주심도리 처짐 측정 데이터

단위 : mm	4월 18일	4월 25일	5월 2일	5월 9일	5월 16일	7월 26일
주심도리(북)	2039.13	2039.60	2038.60	2038.13	2038.97	2041.00
주심도리(남)	2058.37	2058.77	2058.23	2058.60	2058.40	2054.87
단위 : mm	8월 2일	8월 9일	8월 14일	08월 23일	09월 05일	09월 12일
주심도리(북)	2040.60	2039.70	2040.37	2041.37	2041.70	2041.03
주심도리(남)	2056.20	2057.00	2056.53	2050.47	2049.50	2049.37
단위 : mm	9월 19일	09월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일
주심도리(북)	2041.43	2040.40	2041.00	2040.43	2039.97	2039.67
주심도리(남)	2048.83	2049.27	2050.07	2050.37	2049.83	2050.47
단위 : mm	10월 31일	11월 07일	11월 14일	11월 21일	11월 28일	12월 06일
주심도리(북)	2039.57	2040.73	2040.60	2039.87	2040.40	2039.83
주심도리(남)	2050.63	2050.50	2050.40	2050.77	2050.56	2050.23
단위 : mm	12월 13일	12월 27일	1월 2일	01월 18일	01월 31일	02월06일
주심도리(북)	2040.10	2040.03	2040.07	2040.04	2040.02	2040.02
주심도리(남)	2056.47	2051.30	2053.88	2053.48	2052.48	2052.88
단위 : mm	02월 14일	02월 27일	03월14일	03월21일	03월28일	04월 11일
주심도리(북)	2040.03	2039.67	2039.87	2039.53	2039.27	2038.80
주심도리(남)	2052.94	2050.57	2050.73	2050.57	2050.90	2050.87
단위 : mm	04월 19일	04월 26일	05월 03일	05월 09일	05월 16일	06월 07일
주심도리(북)	2038.70	2039.57	2039.30	2038.63	2039.30	2039.93
주심도리(남)	2050.13	2050.87	2050.43	2050.23	2050.67	2050.17
단위 : mm	06월 14일	06월 21일				
주심도리(북)	2039.73	2040.00				
주심도리(남)	2049.93	2050.00				

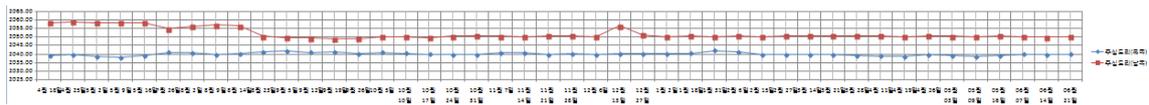


그림 366. 무루정 주심도리 처짐 측정

표 19. 무루정 기둥 함수율 측정 데이터

단위 : %		4월 18일	4월 25일	5월 2일	5월 9일	5월 16일	7월 26일	
기둥	북쪽	a	9.03	13.50	9.70	8.77	9.73	10.13
		b	8.87	14.97	10.70	10.77	10.33	13.40
		c	8.53	14.43	10.77	10.77	12.87	13.67
		d	7.73	13.20	10.40	9.97	11.87	11.97
	남쪽	a	7.33	14.30	10.40	9.70	11.30	11.00
		b	8.40	14.23	11.47	10.17	11.70	12.97
		c	7.40	13.73	9.93	9.63	12.90	13.07
		d	7.47	12.90	9.77	9.37	11.70	12.80
단위 : %		8월 2일	8월 9일	8월 14일	8월 23일	9월 05일	9월 12일	
기둥	북쪽	a	9.43	9.77	8.93	12.33	8.60	11.27
		b	12.17	12.13	12.37	16.70	14.27	14.87
		c	11.67	12.33	12.63	16.67	12.97	13.40
		d	10.67	11.93	10.77	14.07	12.57	14.37
	남쪽	a	10.83	11.33	10.83	14.40	11.77	11.23
		b	11.67	12.07	11.37	15.07	13.60	12.80
		c	11.80	13.47	11.40	16.43	14.27	14.23
		d	11.67	12.43	12.00	16.70	13.10	12.47
단위 : %		9월 19일	9월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일	
기둥	북쪽	a	15.17	11.43	10.77	10.83	8.27	10.10
		b	17.03	13.63	14.23	13.63	11.10	11.87
		c	15.10	10.70	11.37	11.23	8.93	9.50
		d	13.87	10.67	10.77	11.23	9.17	9.70
	남쪽	a	13.37	10.23	10.17	10.47	8.57	9.00
		b	15.20	10.47	10.37	11.17	9.57	9.83
		c	16.13	12.17	12.47	12.20	9.67	9.43
		d	16.10	10.70	12.43	12.67	10.83	11.33
단위 : %		10월31일	11월07일	11월14일	11월21일	11월28일	12월06일	
기둥	북쪽	a	8.80	10.43	9.27	10.60	10.1	10.60
		b	11.90	13.20	11.90	12.47	12.5	11.20
		c	7.87	10.23	10.20	11.50	10.6	9.67
		d	8.67	11.20	10.67	10.60	10.8	10.10
	남쪽	a	8.60	9.13	8.50	9.17	8.9	10.27
		b	9.07	9.97	9.97	10.00	10.0	10.27
		c	8.73	8.80	10.30	10.13	9.7	10.10
		d	9.47	11.13	9.80	10.67	10.5	9.93
단위 : %		12월13일	12월27일	01월 2일	01월18일	01월31일	02월06일	
기둥	북쪽	a	10.17	11.13	10.97	10.64	10.80	10.69
		b	12.13	9.30	12.87	10.77	10.32	10.65
		c	9.67	10.90	10.30	10.21	10.40	10.23
		d	10.60	11.40	11.27	10.90	11.00	10.87
	남쪽	a	9.97	10.93	10.87	10.43	10.58	10.47
		b	9.80	10.43	11.13	10.13	10.24	10.18
		c	10.87	10.87	11.13	10.78	10.75	10.72
		d	10.23	10.53	12.13	10.33	10.37	10.31

단위 : %			02월14일	02월27일	03월14일	03월21일	03월28일	04월11일
기 동	북쪽	a	10.71	11.60	8.67	8.87	7.20	7.27
		b	10.58	13.47	10.47	9.77	9.73	9.83
		c	10.28	10.70	8.37	9.57	7.77	7.57
		d	10.92	11.30	8.63	8.10	7.47	8.70
	남쪽	a	10.49	9.37	8.83	8.93	8.03	7.40
		b	10.19	9.97	8.27	8.23	7.47	7.80
		c	10.75	10.60	8.27	7.87	7.37	8.13
		d	10.34	10.17	7.97	8.83	8.10	7.97
단위 : %			04월19일	04월26일	05월03일	05월09일	05월16일	06월07일
기 동	북쪽	a	11.40	12.13	11.53	6.27	6.90	9.47
		b	11.00	12.97	12.10	7.70	7.73	13.20
		c	11.43	11.70	11.83	8.63	8.40	10.93
		d	10.77	10.40	11.57	6.27	6.37	11.23
	남쪽	a	9.77	9.97	9.17	6.70	6.37	10.73
		b	9.17	9.87	10.37	6.77	7.40	11.40
		c	10.83	11.77	11.33	7.43	7.67	9.73
		d	9.53	10.63	10.43	6.97	8.73	10.50
단위 : %			06월14일	06월21일				
기 동	북쪽	a	10.20	10.10				
		b	13.17	12.80				
		c	10.93	13.37				
		d	11.50	11.47				
	남쪽	a	10.80	10.93				
		b	10.90	10.67				
		c	10.10	9.97				
		d	9.97	10.00				

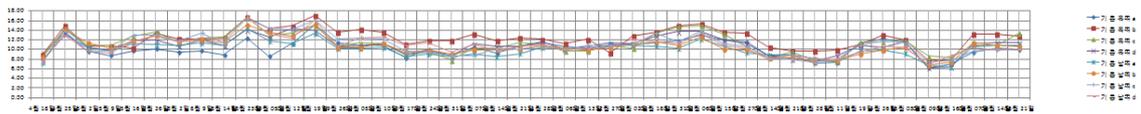


그림 367. 무루정 기동 함수율 측정

표 20. 무루정 서까래 처짐 측정

단위 : mm		4월 18일	4월 25일	5월 2일	5월 9일	5월 16일	7월 26일	
서까래	북쪽	a	2358.03	2358.03	2356.30	2355.07	2357.03	2357.90
		b	2343.47	2344.83	2345.23	2345.03	2344.30	2354.37
		c	2341.13	2338.50	2337.07	2337.70	2335.80	2338.37
		d	2356.93	2358.83	2363.57	2354.03	2355.07	2356.60
	남쪽	a	2343.33	2348.23	2341.73	2342.03	2343.27	2372.10
		b	2332.80	2336.57	2332.87	2331.70	2343.37	2337.83
		c	2357.60	2357.67	2352.27	2350.00	2352.37	2345.07
		d	2372.13	2373.63	2373.23	2373.17	2373.03	2345.13
단위 : mm		8월 2일	8월 9일	8월 14일	8월 23일	9월 05일	9월 12일	
서까래	북쪽	a	2362.87	2361.37	2361.97	2361.43	2364.30	2361.57
		b	2349.27	2355.40	2352.80	2348.03	2355.03	2369.53
		c	2341.00	2343.40	2339.93	2341.60	2344.33	2340.43
		d	2357.67	2356.77	2356.07	2357.47	2360.50	2358.80
	남쪽	a	2373.57	2370.70	2372.17	2372.87	2382.60	2371.83
		b	2362.77	2359.20	2357.00	2358.07	2363.87	2360.47
		c	2339.53	2339.07	2334.43	2338.33	2344.70	2344.27
		d	2349.03	2349.40	2351.53	2354.67	2363.40	2347.07
단위 : mm		9월 19일	9월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일	
서까래	북쪽	a	2359.60	2362.40	2358.40	2357.50	2367.57	2363.23
		b	2355.57	2351.53	2347.73	2346.33	2355.07	2360.97
		c	2342.47	2346.43	2337.30	2340.40	2345.53	2358.57
		d	2359.07	2357.63	2356.30	2355.57	2357.57	2359.37
	남쪽	a	2375.20	2374.90	2370.13	2370.43	2372.50	2372.03
		b	2361.63	2366.33	2353.30	2352.80	2365.83	2373.83
		c	2342.10	2344.87	2333.00	2334.70	2346.37	2355.13
		d	2360.07	2351.07	2345.90	2342.87	2355.33	2345.17
단위 : mm		10월31일	11월07일	11월14일	11월21일	11월28일	12월06일	
서까래	북쪽	a	2377.87	2358.50	2360.43	2374.13	2364.36	2356.47
		b	2359.77	2345.33	2345.77	2355.77	2348.96	2345.70
		c	2344.63	2336.40	2335.93	2349.93	2340.76	2337.77
		d	2356.43	2356.03	2353.80	2363.27	2357.70	2352.67
	남쪽	a	2372.70	2377.80	2370.20	2381.43	2376.48	2368.63
		b	2375.30	2353.70	2356.00	2374.90	2361.53	2351.60
		c	2347.97	2332.93	2337.60	2352.03	2340.86	2333.33
		d	2361.67	2343.40	2348.50	2351.60	2347.83	2344.97
단위 : mm		12월13일	12월27일	1월 2일	01월18일	01월31일	02월06일	
서까래	북쪽	a	2359.13	2355.40	2355.40	2357.18	2356.53	2356.90
		b	2348.57	2342.97	2342.97	2345.76	2344.82	2345.44
		c	2341.60	2337.57	2337.57	2339.38	2338.64	2339.00
		d	2356.83	2348.20	2348.20	2352.53	2351.10	2352.07
	남쪽	a	2371.63	2368.10	2368.10	2369.73	2369.10	2369.43
		b	2356.37	2355.07	2355.07	2355.26	2354.89	2354.83
		c	2339.97	2333.70	2333.70	2336.44	2335.27	2335.79
		d	2349.03	2346.43	2346.43	2347.43	2346.89	2347.04

단위 : mm		02월14일	02월27일	03월14일	03월21일	03월28일	4월 11일	
서까래	북쪽	a	2356.87	2357.60	2355.93	2357.57	2357.03	2355.50
		b	2345.34	2348.77	2343.70	2344.23	2345.63	2345.90
		c	2339.01	2340.33	2334.77	2336.13	2335.40	2335.33
		d	2351.90	2348.57	2348.13	2348.43	2346.80	2346.43
	남쪽	a	2369.42	2368.20	2367.27	2366.53	2367.50	2367.30
		b	2354.99	2349.93	2350.27	2351.07	2352.23	2350.43
		c	2335.84	2330.37	2333.17	2331.17	2332.47	2331.73
		d	2347.12	2342.23	2342.00	2341.30	2342.20	2339.07
단위 : mm		4월 19일	4월 26일	05월03일	05월09일	05월16일	06월07일	
서까래	북쪽	a	2356.43	2355.00	2357.20	2355.93	2354.23	2356.17
		b	2343.90	2344.40	2341.73	2343.00	2344.20	2343.93
		c	2333.03	2335.10	2334.73	2334.70	2334.63	2337.37
		d	2346.00	2347.40	2346.40	2345.63	2345.93	2348.20
	남쪽	a	2366.87	2367.70	2368.23	2368.40	2368.10	2369.57
		b	2356.10	2352.10	2349.87	2351.80	2352.13	2351.63
		c	2329.90	2332.83	2332.43	2330.80	2330.47	2335.10
		d	2340.30	2339.50	2341.23	2338.33	2338.53	2339.30
단위 : mm		06월14일	06월21일					
서까래	북쪽	a	2356.57	2356.17				
		b	2342.17	2344.07				
		c	2335.03	2335.53				
		d	2348.03	2348.27				
	남쪽	a	2369.93	2369.80				
		b	2352.10	2352.97				
		c	2330.87	2332.57				
		d	2339.27	2341.50				

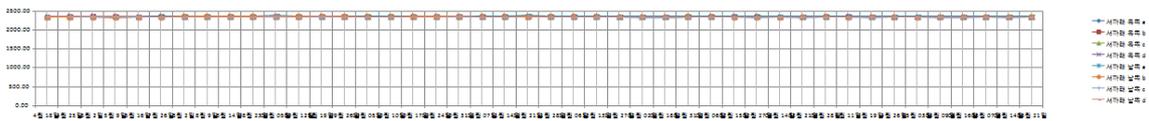


그림 368. 무루정 서까래 처짐 측정

표 21. 무루정 기둥 처짐 측정

단위 : mm		4월 18일	4월 25일	5월 2일	5월 9일	5월 16일	7월 26일	
기둥	북쪽	a	2319.83	2318.43	2318.57	2317.87	2318.93	2318.13
		b	2320.87	2321.73	2321.23	2320.90	2321.27	2321.70
		c	2289.73	2289.73	2289.90	2289.17	2289.37	2290.27
		d	2353.60	2354.50	2353.47	2353.67	2352.57	2353.67
	남쪽	a	2300.07	2298.57	2300.67	2300.70	2301.07	2354.50
		b	2280.77	2293.43	2293.13	2291.67	2293.60	2240.20
		c	2273.03	2239.90	2238.73	2238.73	2239.37	2293.53
		d	2353.07	2334.97	2345.53	2352.60	2338.97	2299.90
단위 : mm		8월 2일	8월 9일	8월 14일	8월 23일	9월 05일	9월 12일	
기둥	북쪽	a	2316.50	2316.67	2319.40	2318.33	2319.60	2319.10
		b	2321.77	2322.10	2323.23	2320.67	2321.67	2321.77
		c	2289.80	2290.07	2290.23	2294.47	2290.17	2289.50
		d	2354.30	2353.37	2353.17	2353.10	2353.67	2354.27
	남쪽	a	2353.90	2353.07	2354.23	2351.00	2353.47	2354.33
		b	2240.37	2239.50	2240.07	2240.33	2240.70	2239.57
		c	2292.73	2292.53	2292.40	2292.87	2291.83	2292.83
		d	2300.37	2300.57	2299.40	2299.93	2297.53	2300.10
단위 : mm		9월 19일	9월 26일	10월 05일	10월 10일	10월 17일	10월 24일	
기둥	북쪽	a	2318.97	2318.20	2318.17	2318.37	2316.40	2317.77
		b	2322.20	2321.77	2321.77	2321.57	2321.83	2319.07
		c	2290.40	2290.10	2289.97	2289.90	2289.63	2289.77
		d	2353.77	2353.70	2353.47	2353.27	2354.00	2353.63
	남쪽	a	2353.80	2352.90	2354.97	2353.47	2352.40	2352.70
		b	2239.40	2240.20	2239.70	2240.00	2239.03	2239.77
		c	2292.93	2293.27	2293.00	2293.40	2292.83	2292.80
		d	2300.37	2300.57	2299.67	2300.23	2299.90	2276.10
단위 : mm		10월31일	11월07일	11월14일	11월21일	11월28일	12월06일	
기둥	북쪽	a	2318.30	2321.57	2319.70	2317.83	2319.70	2318.40
		b	2322.07	2322.60	2321.47	2317.33	2320.47	2323.43
		c	2289.47	2290.07	2289.67	2289.93	2289.89	2289.60
		d	2347.00	2353.50	2353.60	2353.63	2353.58	2355.63
	남쪽	a	2352.47	2354.07	2353.73	2352.07	2353.29	2354.40
		b	2239.73	2240.00	2239.57	2239.63	2239.73	2239.97
		c	2293.43	2293.07	2292.73	2291.97	2292.59	2292.63
		d	2300.37	2300.47	2299.67	2300.17	2300.10	2299.63
단위 : mm		12월13일	12월27일	1월 2일	01월08일	01월31일	02월06일	
기둥	북쪽	a	2315.33	2318.03	2318.03	2316.87	2317.39	2317.17
		b	2321.97	2320.77	2320.77	2321.60	2321.47	2321.71
		c	2290.37	2289.80	2289.80	2290.03	2289.92	2289.96
		d	2354.33	2353.20	2353.20	2353.97	2353.85	2354.07
	남쪽	a	2354.47	2355.40	2355.40	2354.87	2355.01	2354.88
		b	2239.00	2236.77	2236.77	2238.11	2237.82	2238.17
		c	2292.33	2293.20	2293.20	2292.75	2292.89	2292.79
		d	2299.33	2299.97	2299.97	2299.65	2295.75	2299.68

단위 : %		02월14일	02월27일	03월14일	03월21일	03월28일	04월 11일	
기 등	북쪽	a	2317.14	2319.10	2319.47	2319.33	2319.67	2319.10
		b	2321.59	2322.83	2321.83	2321.90	2321.90	2322.17
		c	2289.97	2289.97	2289.27	2285.97	2289.37	2289.53
		d	2353.97	2351.83	2354.73	2353.63	2353.73	2353.63
	남쪽	a	2354.92	2353.63	2353.57	2354.87	2354.23	2354.40
		b	2238.04	2240.30	2240.10	2239.97	2238.73	2239.80
		c	2292.81	2293.40	2292.80	2292.80	2292.50	2294.53
		d	2299.69	2300.40	2299.93	2300.07	2299.90	2299.43
단위 : %		04월19일	04월26일	05월03일	05월09일	05월16일	06월07일	
기 등	북쪽	a	2318.37	2318.77	2318.47	2318.50	2317.97	2319.70
		b	2321.33	2322.27	2321.47	2321.73	2321.50	2322.60
		c	2289.83	2289.70	2289.57	2289.77	2289.30	2290.00
		d	2353.43	2353.33	2353.03	2353.30	2353.07	2353.53
	남쪽	a	2355.17	2354.87	2354.20	2354.07	2353.20	2353.50
		b	2239.07	2239.07	2239.30	2238.57	2238.97	2239.17
		c	2292.90	2292.40	2293.13	2293.20	2293.13	2292.87
		d	2299.90	2299.83	2299.93	2299.93	2300.23	2300.27
단위 : %		06월14일	06월21일					
기 등	북쪽	a	2319.57	2319.53				
		b	2321.93	2322.83				
		c	2289.87	2289.60				
		d	2354.10	2353.53				
	남쪽	a	2353.83	2354.40				
		b	2239.10	2239.40				
		c	2293.20	2293.07				
		d	2300.17	2299.77				

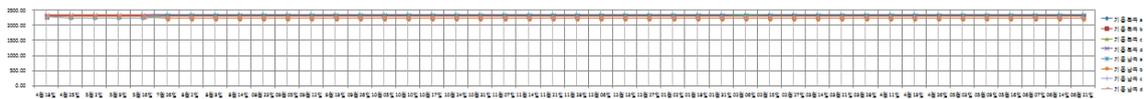


그림 369. 무루정 기등 처짐 측정

2) 디지털 영상 합성 변형 분석 결과

(1) 실험한옥(시공 및 성능 테스트동)



그림 370. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 평균정지영상 제작

기준점1	2층 추녀처짐1				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	65.29	671.37	674.54	0.00	0.000
2013년 2월	55.45	669.55	671.84	2.70	22.602
2013년 3월	55.61	674.89	677.18	-2.64	-21.966
2013년 4월	51.81	677.92	679.90	-5.36	-44.417
2013년 5월	51.55	686.66	678.62	-4.08	-33.905

기준점2	1층 추녀처짐1				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	73.58	466.23	472.00	0.00	0.000
2013년 2월	80.93	467.55	474.50	-2.50	-15.370
2013년 3월	79.44	468.32	475.01	-3.01	-18.466
2013년 4월	78.50	469.77	476.28	-4.28	-26.212
2013년 5월	73.80	466.52	472.32	-0.32	-1.980

기준점3	서까래처집				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	94.31	398.89	409.89	0.00	0.000
2013년 2월	80.03	403.41	411.27	-1.38	-9.354
2013년 3월	83.68	404.80	413.36	-3.47	-23.336
2013년 4월	83.52	399.83	408.46	1.43	9.710
2013년 5월	84.38	402.33	411.08	-1.20	-8.084

기준점4	1층 추너처집2				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	78.17	446.78	453.57	0.00	0.000
2013년 2월	68.86	445.66	450.95	2.62	0.017
2013년 3월	66.73	445.90	450.87	2.70	17.430
2013년 4월	67.46	446.02	451.09	2.47	15.956
2013년 5월	68.90	447.30	452.58	0.99	6.373

기준점5	2층 추너처집2				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	136.56	1208.53	1216.22	0.00	0.000
2013년 2월	132.31	1205.00	1212.24	3.98	18.691
2013년 3월	123.29	1207.66	1213.94	2.28	10.714
2013년 4월	182.68	1200.51	1214.33	1.89	8.870
2013년 5월	185.53	1193.82	1208.15	0.00	0.000

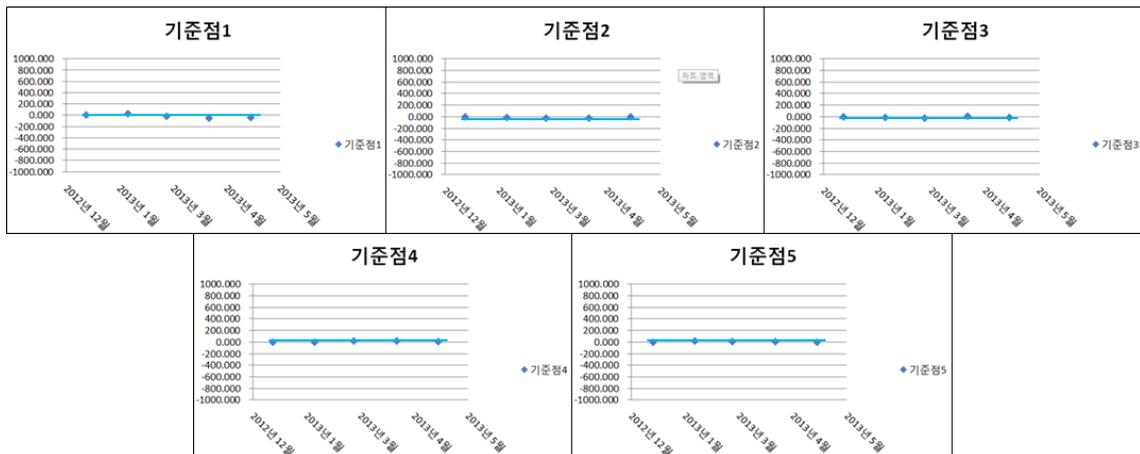


그림 371. 실험한옥(시공 및 성능 테스트동) 디지털영상합성변형분석 결과 그래프

(2) 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동)



그림 372. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 평균정지영상 제작

기준점1	추녀처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	96.38	733.57	739.87	0.00	0.000
2013년 2월	88.65	730.27	735.63	4.24	17.991
2013년 3월	84.16	734.26	739.07	0.81	3.405
2013년 4월	80.51	738.23	742.61	-2.73	-11.478
2013년 5월	77.45	768.96	772.85	0.00	0.000

기준점2	서까래처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	18.15	612.50	612.77	0.00	0.000
2013년 2월	13.00	604.59	604.73	8.04	35.227
2013년 3월	12.30	614.87	614.99	-2.22	-9.584
2013년 4월	10.39	615.24	615.33	-2.56	-11.020
2013년 5월	3.21	608.71	608.72	0.00	0.000

기준점3	서까래처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	252.25	597.33	648.41	0.00	0.000
2013년 2월	253.79	596.31	648.07	0.34	1.524
2013년 3월	258.59	589.79	643.99	4.42	20.061
2013년 4월	266.63	594.29	651.36	-2.95	-13.254
2013년 5월	244.60	561.51	612.47	0.00	0.000

기준점4	기둥 축소				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	37.22	582.98	584.17	0.00	0.000
2013년 2월	38.63	578.83	580.12	4.05	17.065
2013년 3월	37.89	577.45	578.69	5.48	23.131
2013년 4월	32.95	586.90	587.82	-3.66	-15.211
2013년 5월	34.81	546.62	547.73	36.44	162.648

기준점5	추녀처짐				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	54.60	1413.00	1414.05	0.00	0.000
2013년 2월	35.56	1412.10	1412.55	1.51	3.691
2013년 3월	67.51	1411.06	1412.67	1.38	3.381
2013년 4월	87.80	1413.42	1416.14	-2.09	-5.106
2013년 5월	171.66	1457.22	1467.30	0.00	0.000

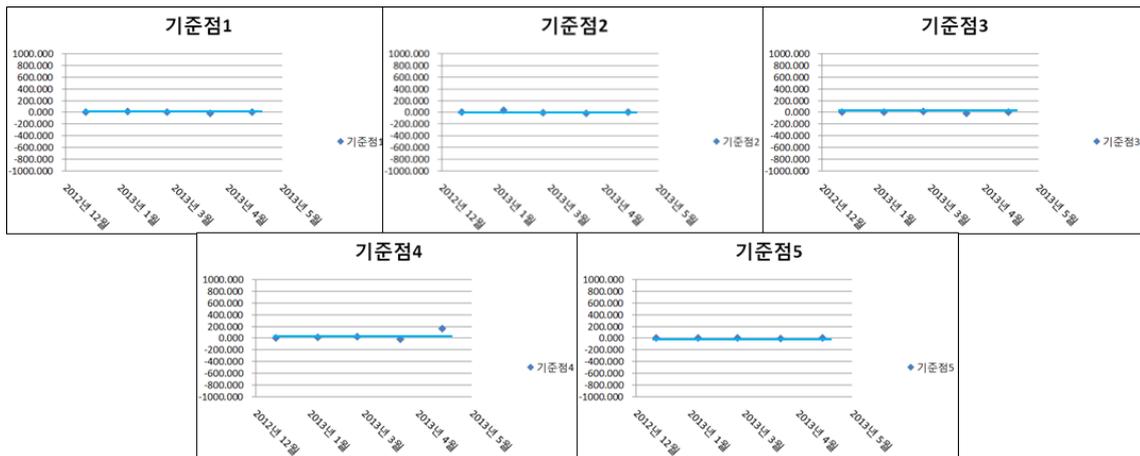


그림 373. 실험한옥(전통한옥 성능 테스트등) 디지털영상합성변형분석 결과 그래프

(3) 예제한옥(명지대 무루정)

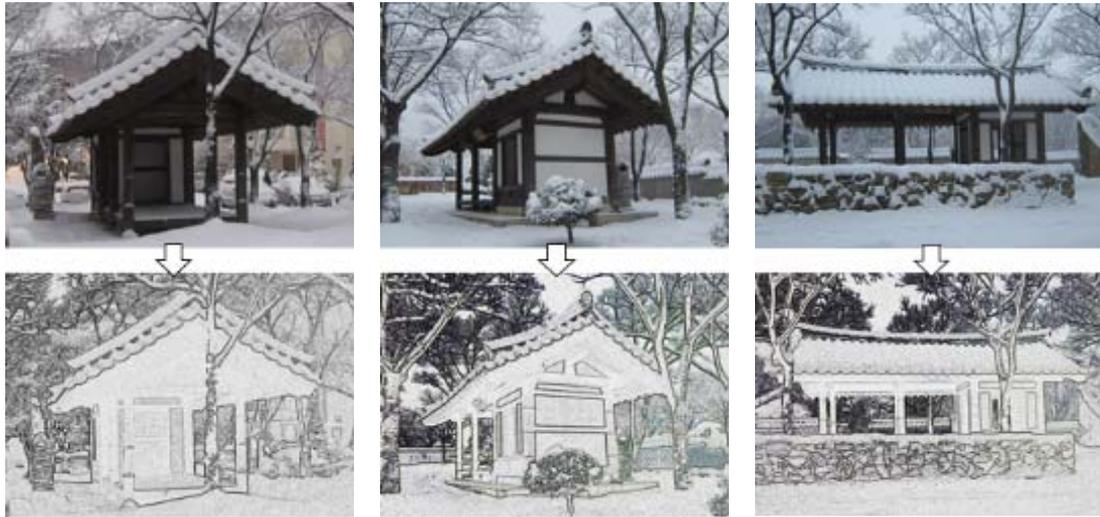


그림 374. 예제한옥(명지대 무루정) 평균정지영상 제작

기준점1	서까래처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	377.69	904.87	980.53	0.00	0.000
2013년 2월	376.13	906.02	980.99	-0.46	-1.201
2013년 3월	368.49	907.22	979.20	1.33	3.463
2013년 4월	363.94	907.51	977.77	2.76	7.208
2013년 5월	365.05	912.02	982.37	0.00	0.000

기준점2	주심도리처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	100.33	583.60	592.16	0.00	0.000
2013년 2월	97.09	589.13	597.08	-4.92	-21.732
2013년 3월	101.26	594.69	603.25	-11.09	-48.521
2013년 4월	101.33	578.26	587.07	5.09	22.889
2013년 5월	86.12	541.50	548.31	0.00	0.000

기준점3	서까래처짐				
	이미지상 픽셀				실제이동거리 (mm)
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	50.09	791.35	792.93	0.00	0.000
2013년 2월	49.52	772.46	774.05	18.89	56.221
2013년 3월	42.89	772.88	774.07	18.86	56.149
2013년 4월	61.06	774.95	777.35	15.58	46.183
2013년 5월	44.63	781.69	782.96	0.00	0.000

기준점4	서까래처집				실제이동거리 (mm)
	이미지상 픽셀				
측정날짜	X방향	Y방향	픽셀거리	픽셀거리 증감	
2013년 1월	47.78	632.56	634.36	0.00	0.000
2013년 2월	47.50	632.40	634.18	0.18	0.663
2013년 3월	43.06	645.65	647.08	-12.72	-45.801
2013년 4월	40.52	650.86	652.12	-17.76	-63.436
2013년 5월	62.47	623.01	626.13	0.00	0.000

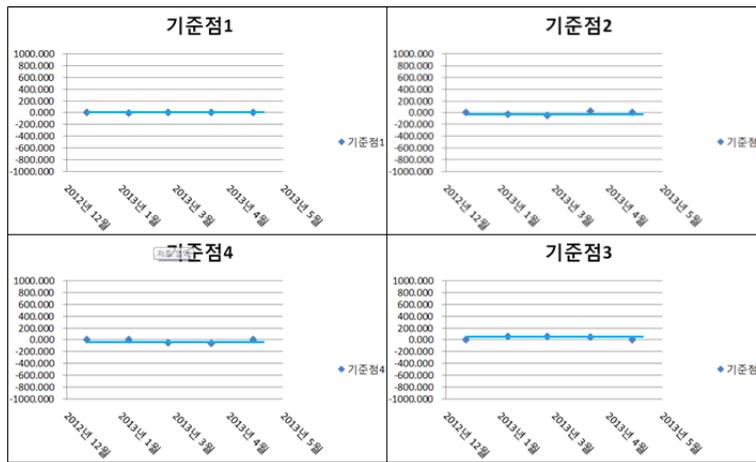


그림 375. 예제한옥(무루정) 디지털영상합성변형분석 결과 그래프

## 1.4 결론

### 1) 주요 구조부재의 변형 측정

#### (1) 함수율

##### 가) 기둥의 위치별 함수율 변화

하나의 건축물일지라도, 빛을 받는 일조량 등에 의하여 표면의 함수량이 달라질 수 있다. 특히 북반구에 위치한 장소에서는 동, 서, 남, 북 네 방위 중 남과 북의 방위가 가장 큰 차이를 보인다. 따라서 현재까지 측정된 측정 대상 구조물들의 함수율을 남측사면과 북측사면으로 나누어 분석하였다.

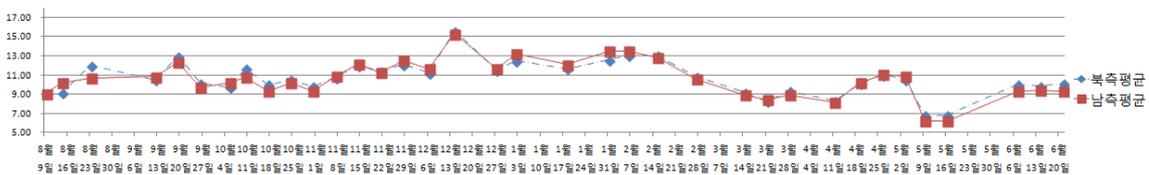


그림 376. 시공 및 성능 테스트동 위치별 함수율



그림 377. 전통한옥 성능 테스트동 위치별 함수율

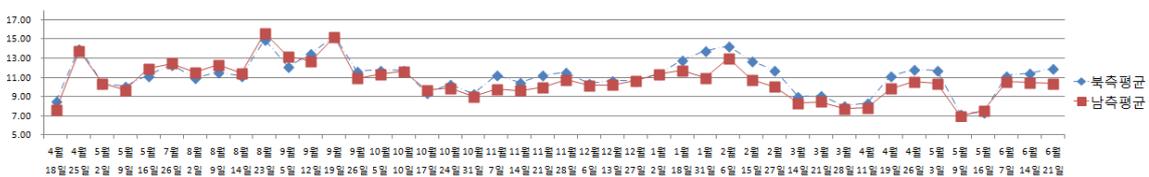


그림 378. 예제한옥(명지대 무루정) 위치별 함수율

각 동의 위치별 함수율 그래프를 살펴보면, 전체적인 형상에서 북측사면의 남측사면의 함수율에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 북측사면의 함수율이 전통한옥 성능 테스트동은 최대 1.97%, 예제한옥(명지대 무루정)은 최대 2.85% 높았다. 그러나, 시공 및 성능 테스트동은 남측사면과 북측사면의 차이가 크게 벌어지지 않았으며, 북측사면의 함수율이 남측사면의 함수율에 비하여 높은 경우도 상당수 있다. 이는 시공 및 성능 테스트동의 기둥에 쓰인 목재가 집성재를 사용되었기 때문이라 판단한다. 집성재는 작은 단면적을 가진 여러개의 목재를 가공하여 하나의 부재로 만들어내는 것이기 때문에, 그 과정에서 집성재는 전체적으로 잘 건조된 부재가 되었다. 하지만, 전통한옥 성능 테스트동과 예제한

옥(명지대 무루정)에 사용된 제재목은 원목을 건조 및 치목하여 사용한 목재로, 집성재에 비하여 건조되지 못하였다. 때문에 구조물로 만들어진 이후, 크고 작은 할렬(목재의 수축시 발생하는 갈라짐)현상이 발생하여 목재에 수분이 침투하기 쉬운 상태가 되었고, 그로인하여 함수율이 외부환경에 따라 변화하기 쉽다. 하지만, 집성재는 건조상태가 좋기 때문에 목재의 할렬현상이 일어나지 않았고, 그로인하여 외부의 환경에 보다 영향을 적게 받았기 때문에 남측과 북측의 차이가 나타나지 않은 것이다.



그림 379. 시공 및 성능 테스트동 기둥 표면 상태



그림 380. 전통한옥 성능 테스트동 기둥 표면 상태



그림 381. 예제한옥(명지대 무루정) 기둥 표면 상태

#### 나) 목재 종류별 함수율 변화

목재의 종류별 함수율은 위에 언급한 바와 같이 목재의 제작과정에 따른 차이로 인하여 함수율의 차이가 발생한다. 이 차이를 비교하기 위하여 같은 시기 기둥부재에 집성재를 사용하여 시공된 시공 및 성능 테스트동과 제재목으로 시공된 전통한옥 성능 테스트동을 비교하였다.



그림 382. 시공 및 성능 테스트동과 전통한옥 성능 테스트동의 함수율 비교

집성재로 시공된 시공 및 성능 테스트동과 제재목으로 시공된 전통한옥 성능 테스트동의 함수율 그래프는 외부환경에 따라 비슷한 선형을 보이며 변화하였다. 하지만 집성재의 함수율이 제재목의 함수율보다 낮음을 알 수 있다. 집성재는 제재목에 비하여 함수율이 평균 1.30%, 최대 3.27% 낮았다. 이는 위에서 언급한 바와 같이, 목재의 제조과정상 건조상태에 따른 크고 작은 할렬의 유무에 따라서 다른 결과를 얻은 것으로 판단된다.

#### 다) 목재 기간별 함수율 변화

시간의 변화에 따른 목재 함수율 변화를 비교분석 하기 위하여 2009년 완공된 예제한옥(명지대 무루정)과 2012년 완공된 전통한옥 성능 테스트동을 비교하였다. 예제한옥(명지대 무루정)과 전통한옥 성능 테스트동은 모두 제재목으로 시공되었으며, 목재의 표면

에 별다른 처리를 하지 않은 상태이다.

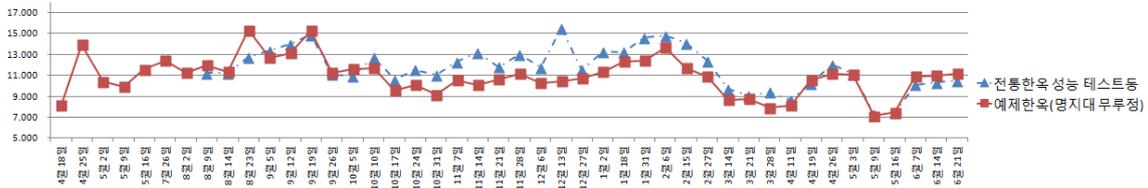


그림 383. 전통한옥 성능 테스트동과 예제한옥(명지대 무루정)의 함수율 비교

예제한옥(명지대 무루정)의 함수율이 전체적으로 전통한옥 성능 테스트동에 비하여 낮은 양상을 보이고 있으나, 전통한옥 성능 테스트동의 측정이 시작된 2012년 8~9월의 함수율은 전통한옥 성능 테스트동에 비하여 예제한옥이 더욱 높은 모습을 보였다. 이는 1) 기둥의 위치별 함수율 변화에서 언급한 바와 같이 시간의 흐름에 따라서 표면의 할렬 현상이 발생하였고, 그로 인하여 습도가 높은 여름철에 일시적으로 예제한옥의 함수율이 높아진 것으로 판단된다. 추후의 측정 데이터에서도 예제한옥의 함수율이 전통한옥 성능 테스트동에 비하여 낮을 것이며, 습도가 높은 여름철에는 일시적으로 높아지는 현상이 보일 것으로 예상된다. 하지만, 시간이 지날수록 전통한옥 성능 테스트동의 함수율 또한 예제한옥의 함수율과 비슷한 양상을 보인 후 많은 시간이 지나면 예제한옥과 전통한옥 성능 테스트동 모두 거의 차이가 없는 함수율과 함수율 변화 양상을 보이며 지속적으로 함수율이 감소할 것으로 예상된다.

(2) 변형

가) 수평부재의 위치별 변형 차이

구조물의 위치가 남측을 향하여 있는지, 북측을 향하여 있는지에 따라서 일조가 달라지고, 그에 따라 함수율과 적설하중 등이 달라진다. 이는 서까래 또는 추녀부재의 변형의 양상에 영향을 미친다. 따라서 서까래, 추녀부재, 보 부재의 위치에 따라 데이터를 분석하였다.

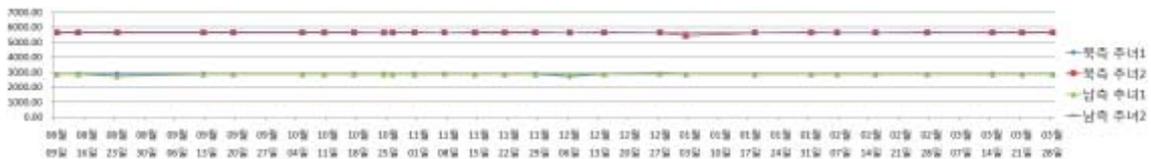


그림 384. 시공 및 성능 테스트동 위치별 추녀의 변형 비교

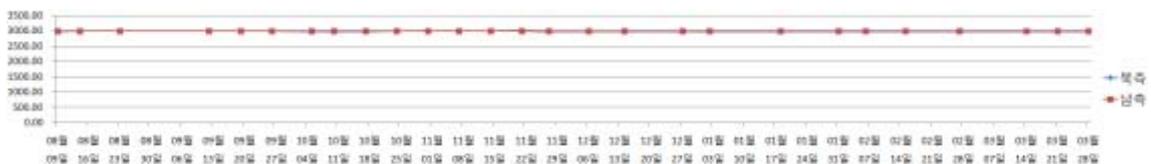


그림 385. 전통한옥 성능 테스트동 위치별 추녀의 변형 비교

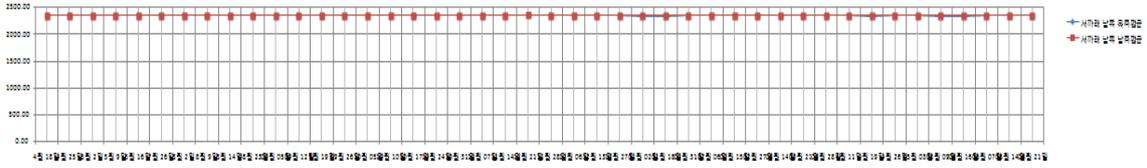


그림 386. 예제한옥(명지대 무루정) 위치별 서까래의 변형 비교

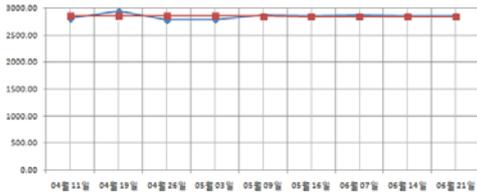


그림 387. 시공 및 성능 테스트동 위치별 보의 처짐 비교

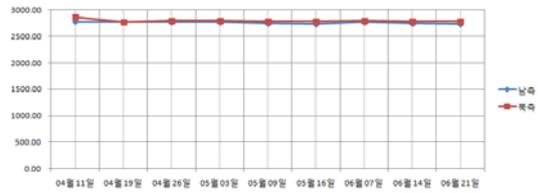


그림 388. 전통한옥 성능 테스트동 위치별 보의 처짐 비교

측정데이터가 충분히 축적되지 않은 보 부재를 제외한 나머지 부재의 현재까지 측정데이터 상에서는 위치에 따른 변형의 차이가 보이지 않았다. 하지만, 추후 지속적으로 데이터를 수집하였을 때, 남측사면에 비하여 북측사면에 위치한 부재들의 변형률이 크게 나타날 것으로 예상된다.

나) 목재 종류별 변형 차이

목재의 종류별 변형의 차이를 알아보기 위하여 비슷한 시기에 집성재로 시공된 시공 및 성능 테스트동과 전통한옥 성능 테스트동의 서까래의 변형을 비교하였다.

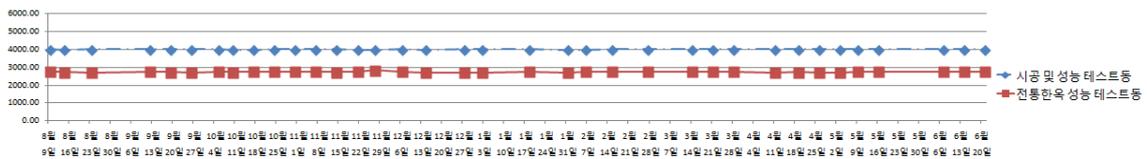


그림 389. 시공 및 성능 테스트동과 전통한옥 성능 테스트동의 서까래 변형 비교

두 건물의 서까래 내민 길이와 기울기 등이 다르므로, 선형을 살펴보아야한다. 하지만 지금까지의 측정 데이터 상에서 집성재와 제재목의 변형의 차이점을 발견할 수 없었다. 하지만, 지속적으로 변형 데이터가 쌓인다면 제재목의 변형이 집성재에 비하여 클 것으로 예상된다. 건조가 잘 되어있는 집성재에 비하여 제재목은 함수율의 감소에 따른 뒤틀림, 처짐 등의 변형이 발생하며 또한 집성재에 비하여 제재목의 강성이 낮기 때문이다.

다) 목재 기간별 변형 차이

목재로 구성된 구조물에서는 시간이 지남에 따라 장기적으로 변형이 발생하게 된다.

하지만, 현재까지 측정된 변형(3. 구조모니터링 결과의 그림478~491 참조)은 없는 것으로 나타났다. 이는 본 구조모니터링의 측정이 구조물의 탄성변형구간이 아닌, 비탄성변형구간을 대상으로 하기 때문이다. 장기적으로는 수평부재의 처짐과 수직부재의 축방향 축소가 발생할 것으로 예상된다.



그림 390. 시간의 흐름에 따른 수평/수직 부재의 처짐/축소량 예상

라) 접합방식별 변형 차이

전통한옥과 신한옥의 접합방식은 상당히 상이하다. 전통한옥은 맞춤이음이고, 신한옥은 철물접합으로 접합이 이루어진다. 전통한옥과 신한옥의 접합방식의 차이에도 불구하고, 두 가지 접합방식 모두 전단접합이다. 하지만, 한옥의 특성상 지붕의 하중이 무겁게 부재들을 누르게 되면, 미소하지만 회전강성이 발생하게 된다. 그렇지만 그 회전강성은 실험을 통해 도출하지 않는 한 알 수가 없다. 접합방식의 차이는 회전강성을 다르게 만들고, 그에 따른 변형의 양상 또한 달라지게 된다. 따라서 철물접합으로 시공된 시공 및 성능 테스트동과 맞춤이음으로 시공된 전통한옥 성능 테스트동을 비교하였다.



그림 391. 전통한옥의 맞춤이음 접합



그림 392. 신한옥의 철물접합

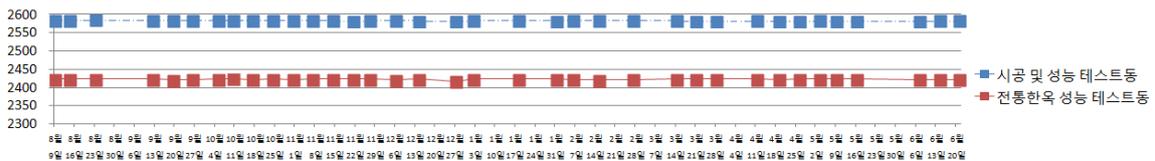


그림 393. 시공 및 성능 테스트동과 전통한옥 성능 테스트동의 기둥 변형 비교

두 개의 건물은 부재의 길이, 하중 등 많은 점에서 차이를 보이기 때문에 완전한 비교

를 하기 어렵지만, 변형의 양상을 통하여 차이점을 유추할 수 있다.

현재까지의 측정결과, 서까래의 변형(그림 235 참조) 및 기둥의 변형(그림 239 참조) 등 부재들의 변형의 양상에 변화가 보이지 않았다. 하지만, 장기적인 측정시 접합방식 차이에 따른 부재변형의 차이를 도출 할 수 있을 것이다.

## 2) 디지털 영상 합성 변형 분석

디지털 영상 합성 변형 분석은 월1회 평균 정지영상을 이용하여 변형을 측정한다. 현재까지 축적된 데이터의 양이 많지 않아 현 상태로는 구조물의 전체적인 변형 과정을 파악하기에는 무리가 있다. 하지만, 추후 지속적인 측정을 수행한다면 전체 구조물의 장기 변형을 분석할 수 있다.

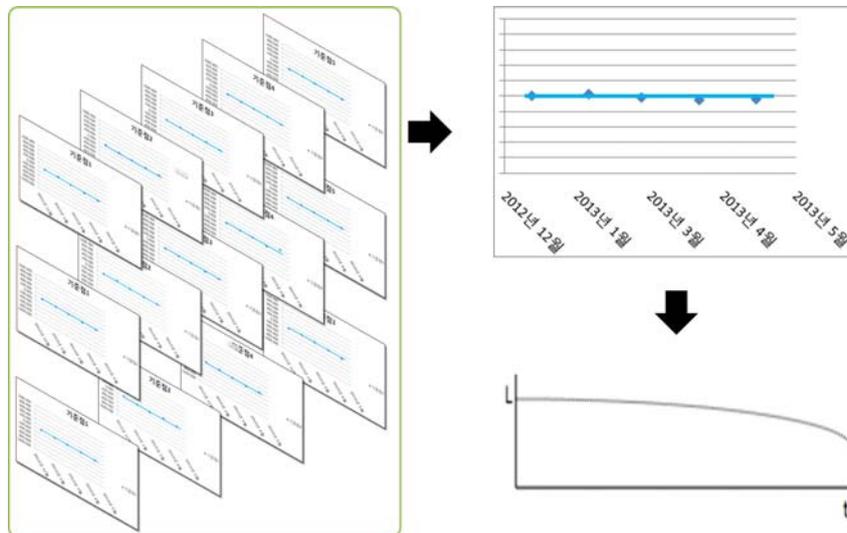


그림 394. 디지털영상합성변형분석 결과 예측

현재까지의 데이터는 대략적으로 수평의 직선형을 보이며 변형이 되지 않은 모습을 살펴볼 수 있다. 하지만 장기적인 측정을 지속할 경우 장기적인 처짐을 확인 할 수 있을 것이다.

현재 본 연구진이 개발한 디지털 영상합성 변형분석 방법은 목조구조물의 장기변형을 측정하기 적합할 것으로 예상되며, 특허출원 중에 있다.

## 1.5 구조모니터링 평가검증회의

### 1) 개요

#### (1) 목적

구조모니터링 평가검증회의는 실험한옥 구조모니터링에 대해 각 분야 전문가의 의견을 통하여 수행과정과 수행내용의 적절성을 평가하고, 전문가들의 의견을 적극 반영하여 구조모니터링의 질적 향상을 이끌어내는데 목적이 있다.

### 2) 실험한옥 구조모니터링 평가검증회의

#### (1) 일시

일 시 : 2013년 03월 08일 (금요일) 14:00~16:10

장 소 : 명지대학교 실험한옥 시공 및 성능테스트동(지신재)

주 최 : 4차년도 한옥기술연구단

연구과제명 : 신한옥 통합구조기술 개발

연구책임자 : 명지대학교 김영민 교수

#### (2) 평가위원단 소개

본 평가는 다음의 다섯 전문가를 초빙하여 진행하였다.

-홍성목 서울대학교 명예교수

-박준영 LH토지주택연구원

-소승영 전북대학교 교수

-이성민 한국건설품질연구원

-이승복 연세대학교 교수

#### (3) 발표내용

##### 가) 실험한옥 구조모니터링

실험한옥 구조모니터링 발표는 실험한옥 구조모니터링의 방법과 결과 그리고 구조물의 변형예측에 대하여 발표하고, 새로이 개발된 측정기법인 디지털영상합성변형분석에 대하여 설명하였다.

**01 통합 시공시스템 개발** <실험한옥 구조모니터링> **1-3 신한옥 통합구조기술 개발** 1세부

### 1. 실험한옥 구조모니터링 개요

➔ 실험한옥 정기 구조모니터링

**목적** · 한옥의 장기적인 변형 분석

**내용** · 주요 구조부재의 주기적인 변형 계측  
· 시간에 따른 구조부재의 합수를 변화 계측  
· 한옥의 전체변형 계측 (디지털 영상합성)

**일정** · 2012년 7월 30일 ~ 2013년 9월 20일  
· 후속연구에서도 지속적인 계측 예정

영지대 실험한옥 전경

측정위치	3차년도	2012년				2013년			
		8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	
저장, 전통한옥 합수측									
측정, 2층신한옥 합수측									
전체변형 계측									
모니터링 결과									

측정위치	3차년도	2013년				후속 연구
		3월	4월	5월	6월	
저장, 전통한옥 합수측						
측정, 2층신한옥 합수측						
전체변형 계측						
모니터링 결과						최종평가

**측정방법 및 측정대상**

**주기적인 변형 측정**

- 일정 : 주 1회, 저점 및 합수측 측정
- 측정도구 : 레이저 거리 측정기, 목재 합수측 측정기
- 측정대상 : 전통한옥, 2층신한옥, 예제한옥(무로정)

▲ 모니터링 일자 및 보고서 ▲ 모니터링 결과

**3차원 스캐너를 이용한 변형 측정 (중단)**

- 1/4분기에 1회 측정함
- 측정 오차가 커서 변형분석에 적합하지 않은 것으로 판단
- 디지털 영상합성 분석으로 변경함

**디지털 영상합성 변형분석**

- 일정 : 1개월 1회
- 측정대상 : 2층신한옥, 전통한옥, 예제한옥(무로정)
- 측정방법 : 전체 구조물의 디지털 정지영상 분석을 통한 변형과정 측정

▲ 정지영상 ▲ 정지영상분석

(a) 실험한옥 구조모니터링 개요

**01 통합 시공시스템 개발** <실험한옥 구조모니터링> **1-3 신한옥 통합구조기술 개발** 1세부

### 5. 실험한옥 구조모니터링 결론

➔ 구조모니터링 결과 분석 - 주요 구조부재의 변형

**목재 종류별 합수율 변화**

▲ 예제한옥(영지대 무로정) 위치별 합수율

원목(개재목) < 전통한옥 성능 테스트용 > > 목재의 활력, 외부환경 등

집성재 시공 및 성능 테스트용 < < 평균 1.30% 최대 3.27% 차이

◀ 시공 및 성능 테스트용 기구 표면상태

◀ 전통한옥 성능 테스트용 기구 표면상태

◀ 예제한옥(영지대 무로정) 기구 표면상태

(b) 실험한옥 구조모니터링 결론

그림 395. 실험한옥 구조모니터링 발표내용

3) 종합평가 및 보완답변

표 37. 평가 및 보완답변사항

평가위원 의견사항	보완답변
연구진이 개발한 디지털 영상합성 변형분석 기법은 실무에서 상당히 유용할 것으로	계속적인 계측으로 데이터가 축적되면 가능한 빠른 시일 내에 디지털 영상합성 변

<p>평가된다. 다만, 전반적으로 계측의 정확성 및 신뢰성 확보할 필요가 있다.</p>	<p>형분석 기법의 정확성 및 신뢰성을 평가하도록 하겠음. 또한, 본 계측기법을 실용화할 수 있도록 하겠음</p>
<p>1. 새로 개발한 디지털영상 합성 변형 측정 방법은 경제적이며 혁신적인 방법으로 훌륭한 성과이다. 타분야에서도 활용가능성이 높으나 측정에 따른 오차에 대한 신뢰와 확신이 있어야 한다.</p>	<p>디지털 영상합성 변형분석법은 본 연구기간동안 본 연구진이 개발하여 아직 데이터가 많이 축적되지 않은 상황이기 때문에 정확도를 정확하게 평가하기는 어려운 상황임. 추후 지속적 측정으로 데이터가 확보되면 데이터의 정확도 및 신뢰수준을 정의하도록 보완하겠음</p>
<p>2. 보와 주요구조부재의 변형 모니터링을 보완할 필요가 있으며 접합부의 고유진동수 측정이 보완될 필요성이 있다.</p>	<p>실험한옥의 수평부재는 마감재로 덮여 있어 측정이 어려운 상황임. 이에 대한 대체 변형측정방안을 수립하여 시행하겠음. 접합부의 구조특성은 1/4 시험체의 진동실험 및 정적가력실험결과로부터 간접적으로 도출하도록 하겠음</p>
<p>3. 경제적이고 지속성 있는 측정방법을 찾아가는 것은 바람직하다고 판단된다.</p>	<p>현재의 구조모니터링은 경제적이고 지속성 있는 방법으로 추후 계속적으로 진행하겠음</p>
<p>4. 구조 및 재료에 대한 정보를 먼저 정리할 필요성 있음.</p>	<p>구조모니터링 보고서 전반부에 모니터링 대상 한옥의 구조 및 재료정보를 기술하도록 하겠음</p>
<p>5. 측정원칙, 기준 등의 객관성, 안정성 등의 확보 고려.</p>	<p>구조모니터링 보고서 전반부에 모니터링 측정원칙과 기준 및 측정결과의 신뢰성을 기술하도록 하겠음</p>
<p>6. 측정 일시→정확한 동일 시각 확보 필요 →날씨, 온도 등의 세부적 자료 검토 필요 - 예, 눈 :적설량-무게하중, 예측가능 / 구름, 비 :정도 등에 관한 자료 검토</p>	<p>가급적 동일 시간에 모니터링을 수행하도록 하겠으며, 적설량, 강우량 등의 데이터는 기상청 데이터를 참조하여 모니터링 일지에 포함하도록 하겠음</p>
<p>7. 측정장치 ⇒ 측정의 안정성, 정확성 등의 확보를 위한 고정 장치 검토 필요, 측정기기의 동일성</p>	<p>측정장치의 안정성과 정확성을 확보하기 위하여 현재, 측정위치에 표식을 하는 등의 방법을 적용하고 있음추후, 측정을 진행해가며 지속적으로 안정화 방법을 마련토록 하겠음.</p>
<p>8. 측정방법의 신뢰범위 설정 필요</p>	<p>구조모니터링 보고서 전반부에 모니터링 측정원칙과 기준 및 측정결과의 신뢰성을 기술하도록 하겠음</p>
<p>9. 측정 결론의 객관성 지향 필요 - 예, P84 목재 기간별 함수율 변화 (측정결과와 Matrix 분석 등에 기안한 결과 도출 필요)⇒목재 표면의 할렬현상으로 습도가 높은 여름철에 함수율 높아진 것으로 판단된다 지양한다 일시적으로</p>	<p>현재는 측정 데이터가 많지 않아 아직 의미 있는 결과는 얻기 어려움. 보고서에는 예상되는 결과를 기술하였음. 추후, 모니터링 결과를 객관적으로 분석하여 결론을 도출하도록 하겠음</p>
<p>10. 측정 기기와 방법의 정밀도 확보 방안. (특히 디지털 영상합성 변형분석 방법에 대해)</p>	<p>디지털 영상합성 변형분석법은 본 연구기간동안 본 연구진이 개발하여 아직 데이터가 많이 축적되지 않은 상황이기 때문에 정확도를 정확하게 평가하기는 어려운 상황임. 추후 지속적 측정으로 데이터가 확보되면 데이터의 신뢰수준을 정의하도록 보완하겠으며, 측정지점을 고정시켜 데이터의</p>

	정확성도 확보하도록 하겠음
11. 건물 전체의 변형 측정보다 단위 부재의 거동 (각변형, 응력)을 데이터 근거로 측정할 필요성 검토요망)	현재 건물 전체의 변형과 더불어 기둥 및 추녀, 처마의 변형도 함께 측정하고 있음. 응력 측정을 위해서는 Strain gauge 등의 측정기구를 실험한옥에 매립해야 하는 어려움이 있어 수행하기는 어렵고, 간접적으로 구조해석 S/W를 통한 해석모델링으로 응력수준을 평가하도록 하겠음
12. ‘디지털 영상합성 변형분석’ 기법은 기존의 ‘3차원 스캐너’에 의한 방법과 비교할 때, 실용화만 되면 매우 획기적이고, 문화재 구조물 등에 대한 활용도가 높을 것으로 생각되므로, 이 측정기법에 대한 보완연구를 수행하여 한옥기술개발연구의 부차적 성과를 낼 수 있기 바랍니다.	디지털 영상합성 변형분석 기법은 현재 특허 출원중임. 추후 실용화하여 본 연구단의 성과가 될 수 있도록 하겠으며, 관련 분야 연구에 기여하도록 하겠음.
13. 창방이나 주심도리와 같은 보 부재의 장기처짐을 직접 측정하는 방안도 고려하시기 바랍니다.	실험한옥의 수평부재는 마감재로 덮여 있어 측정이 어려운 상황임. 이에 대한 대체 변형측정방안을 수립하여 시행하겠음.
14. 동적특성 (고유진동수)의 변화를 관찰하는 것도 중요한 것으로 생각합니다.	이미 실험한옥에 대한 상시미진동 계측과 인력가진 실험을 하여 고유진동수 특성을 도출하였음
15. 구조 모니터링의 목적을 분명히 하시기 바랍니다. 가령 구조시스템의 안정성 평가, 구조부재(목재)의 변형	현재 구조모니터링의 목적은 실험한옥의 장기적인 변형과정 및 특성을 밝히는 것임. 부차적으로 일정 변형 이상이 되는 경우 안정성 평가도 수행할 수 있을 것으로 판단됨
16. 모니터링 방법(과학적, 정밀도 고려표) - 디지털 영상 합성 변형 분석 vs GPS를 이용한 구조 모니터링 기법 (연세대 박효선 교수 자문)	현재 모니터링 방법의 정밀성은 지속적인 계측으로 확인하여 보완토록 하겠음. GPS를 이용한 구조모니터링 기법은 완공된 소규모 건물의 미세한 변형을 측정하기에는 현실적으로 오차가 크며, 여러 군데 측정장치를 설치하는 것도 비용상의 문제로 현 연구기간 내에는 실현하기 어려움. 다만, 장기적으로 인력운영 측면에서 소수의 인력으로 운영하기 적합한 방법이므로 검토하도록 하겠음
17. 구조성능모니터링 - 부동침하 측정함이 바람직함 - 추녀선의 곡선 계측이 요구됨	부동침하는 건물 전체 변형형상을 통하여 간접적으로 측정하도록 하겠음. 추녀선의 곡선 계측은 현재 수행중인 디지털 영상합성 변형분석 기법으로 계측하고 있음

## 1.6 시범한옥 구조모니터링 계획

한옥의 주요구조부재는 수직하중과 수평하중을 받는 부재로써 시간이 지남에 따라 변형이 생기고 함수율에 따라 성능의 차이가 나타난다. 실험한옥에서와 마찬가지로 성능의 차이와 변형은 장기적으로 서서히 발생하게 된다. 은평구 시범한옥에 대한 장기적인 변형에 대하여 조사함으로써 한옥의 거동특성을 밝히고자 한다.

### 1) 구조모니터링 측정 방법

#### (1) 주요 구조부재의 변형 측정

예제한옥(명지대 무루정)과 실험한옥(Mock-up)의 각 부재의 함수율과 처짐 값을 다음의 장비를 통해 주기적으로 실시한다. 연구 초기에는 월 1회 실시하며, 이후 분기별 1회 실시한다.

#### 가) 주요 구조부재의 변형 측정 장비

다음의 레이저 거리 측정기(라이카 DISTO D5)를 통해 각 부재의 처짐을 체크하며, 주변 환경에 민감하게 반응하는 목재의 특성을 고려하여 함수율 측정기로 함수율도 함께 확인하며 그 상관관계에 대해 조사 연구한다.



그림 396. 레이저 거리 측정기와 함수율 측정기

#### 나) 측정방법

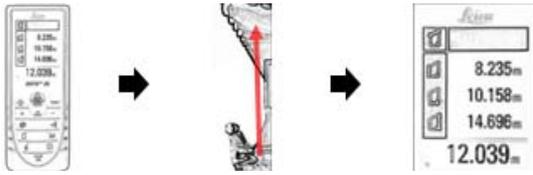


그림 397. 레이저거리 측정 방법

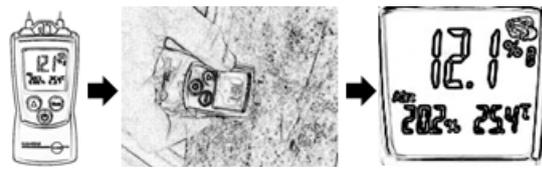


그림 398. 목재 함수율 측정 방법

다) 측정계획위치

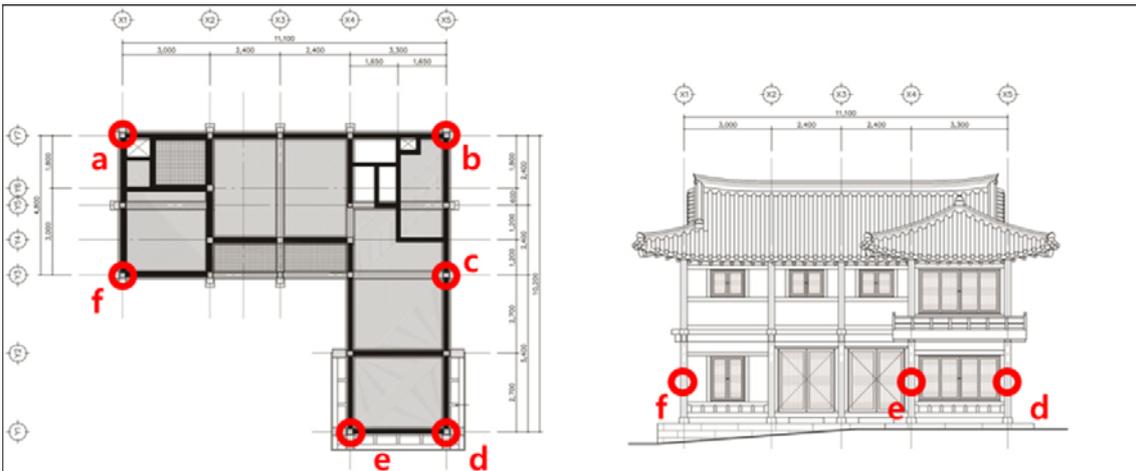


그림 399. 시범한옥 기둥 함수율 측정위치

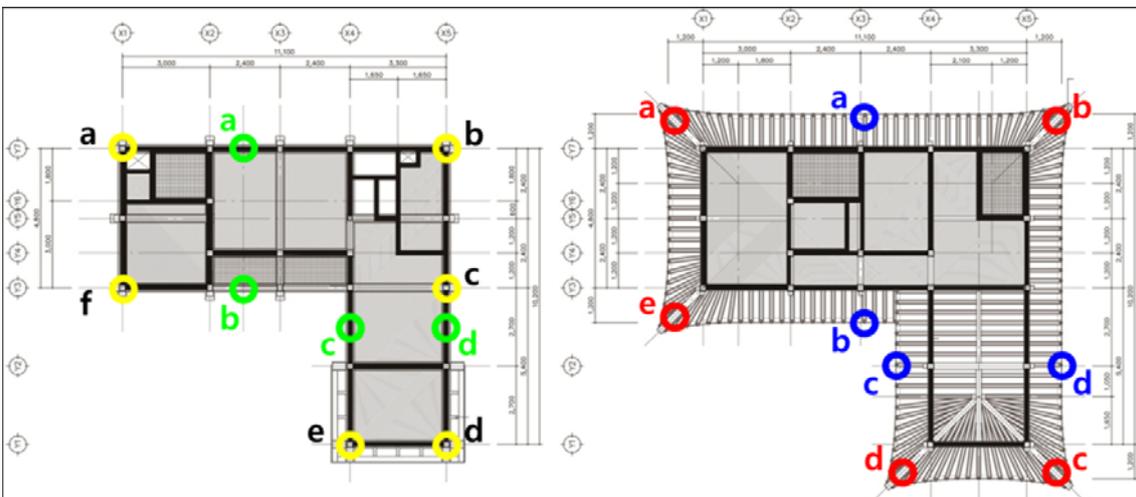


그림 400. 시범한옥 은평구 시범한옥 기둥 변형(노란색), 보 변형(녹색), 추녀(빨간색) 및 서까래(파란색) 측정 위치

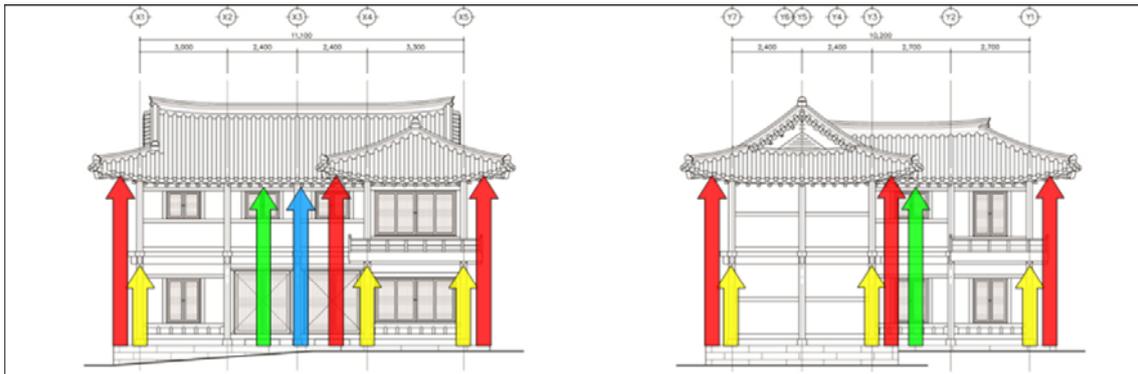


그림 401. 시범한옥 은평구 시범한옥 기둥 변형(노란색), 보 변형(녹색),  
추녀(빨간색) 및 서까래(파란색) 측정 위치

(2) 디지털 영상 합성 변형 분석

가) 디지털 영상 합성 변형 분석 장비

(가) 디지털 카메라

디지털 영상 합성 변형 분석은 디지털 카메라를 이용하여 지속적이며 연속적인 정지영상을 축적한다.



그림 402. 디지털 카메라

나) 디지털 영상 합성 변형 분석 방법

한옥의 변형은 지어진 직후에 일어나는 탄성변형과 시간이 지남에 따라 지속적으로 발생하는 비탄성변형이 지배한다. 이 구조 모니터링에서는 비탄성변형을 장기적으로 계측하고, 한옥의 장기적 거동을 파악하고자 한다. 그 방법으로 직접 레이저 측정, 함수율 측정을 하는 외에 정지영상을 통한 분석을 통해, 분기별 1회 평균정지영상을 추출하여, 변형형상과 변형 수치를 도출하고자 한다.



그림 403. 디지털 영상 합성 변형 분석 예시  
실험한옥(전통한옥 성능 테스트동) 평균정지영상

### (3) 측정위치

디지털 영상 합성 변형 분석의 측정위치는 현장상황에 따라서 달라지므로, 시범한옥의 완공이후 측정위치를 정하도록한다.