



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2024년 02월
석사학위 논문

레이저 계측을 활용한 해체 건축물 변위 진단과 구조안전성 평가

조선대학교 대학원

건축공학과

문선영

레이저 계측을 활용한 해체
건축물 변위 진단과 구조안전성
평가

A Study on The Displacement Diagnosis and Structural
Safety Evaluation of Demolished Buildings Laser
Measurement

2024년 2월 23일

조선대학교 대학원

건축공학과

문선영

레이저 계측을 활용한 해체
건축물 변위 진단과 구조안전성
평가

지도교수 조 창 근

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 10월

조선대학교 대학원

건축공학과

문 선 영

문선영의 석사학위논문을 인준함

위원장 김형기 (인)

위 원 조창근 (인)

위 원 최재혁 (인)

2023년 12월

조선대학교 대학원

<목 차>

제1장 서론	1
제1절 연구 배경 및 목적	1
제2절 국내 해체 사고 사례	3
제3절 연구방법	5
제2장 건축물 해체	8
제1절 해체공법	9
1. 해체장비 분류	9
2. 해체공법 분류 및 특징	13
3. 해체공법 선정	19
4. 해체공사 방식	20
제3장 토털스테이션 성능검증	25
제1절 계측기기 원리	25
1. EDM의 원리	25
2. 토털스테이션	27
제2절 계측기기 사용성 검증	28
1. 기기 정확성 검증 실험	31
2. 건축물 변위 계측가능성 검토	42
3. 고층 건축물 적용 검토	55
4. 계측 오차비교	63

제4장 해체 건축물 구조안전성 평가	70
제1절 구조안전성 평가	70
1. 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층)	74
2. 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 2층)	87
3. 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모)	98
제2절 소결	105
제5장 결론	106
참고문헌	107
부록	110

<표 목차>

[표 1.1] 최근 5년간(2012~2016년) 중대재해 발생현황	3
[표 1.2] 국내 해체 사고 사례	4
[표 2.1] 해체장비 비교	9
[표 2.2] 해체공법 비교	16
[표 2.3] 건축물 높이에 따른 해체 방식 특징	21
[표 3.1] EDM에 의한 측량 방법	26
[표 3.2] LVDT 제원	29
[표 3.3] 토털스테이션 제원	31
[표 3.4] 반사프리즘 제원	31
[표 3.5] Chart 1 변위	33
[표 3.6] Chart 2 변위	34
[표 3.7] Chart 3 변위	35
[표 3.8] Chart 4 변위	36
[표 3.9] Chart 5 변위	37
[표 3.10] Chart 6 변위	38
[표 3.11] Chart 7 변위	39
[표 3.12] Chart 8 변위	40
[표 3.13] Chart 9 변위	41
[표 3.14] 3m 측정 LVDT 변위(mm)	46
[표 3.15] 3m 측정 토털스테이션 변위(mm)	46
[표 3.16] 3m 측면 측정 LVDT 변위(mm)	49
[표 3.17] 3m 측면 측정 토털스테이션 변위(mm)	49
[표 3.18] 45m 측정 LVDT 변위(mm)	50
[표 3.19] 45m 측정 토털스테이션 변위(mm)	50
[표 3.20] 70m 측정 LVDT 변위(mm)	51
[표 3.21] 70m 측정 토털스테이션 변위(mm)	51
[표 3.22] 2.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)	52
[표 3.23] 2.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)	52
[표 3.24] 5.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)	53
[표 3.25] 5.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)	53
[표 3.26] 9.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)	54
[표 3.27] 9.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)	54
[표 3.28] 공과대학 계측 dN(X축) 변위(mm)	60
[표 3.29] 공과대학 계측 dE(Y축) 변위(mm)	61

[표 3.30] 공과대학 계측 dH(Z축) 변위(mm)	61
[표 3.31] 3m 정면 측정 오차 (mm)	64
[표 3.32] 3m 정면 측정 오차율	64
[표 3.33] 3m 측면 측정 오차 (mm)	64
[표 3.34] 3m 측면 측정 오차율	65
[표 3.35] 45m 측정 오차 (mm)	65
[표 3.36] 45m 측정 오차 (mm)	65
[표 3.37] 70m 측정 오차 (mm)	65
[표 3.38] 70m 측정 오차 (mm)	65
[표 3.39] 2.5m 측정 오차 (mm)	66
[표 3.40] 2.5m 측정 오차율	66
[표 3.41] 5.5m 측정 오차 (mm)	66
[표 3.42] 5.5m 측정 오차율	66
[표 3.43] 9.5m 측정 오차 (mm)	66
[표 3.44] 9.5m 측정 오차율	67
[표 3.45] 거리별 수평 오차 정리	67
[표 3.46] 거리별 수직 오차 정리	67
[표 4.1] 건물기울기 및 부동침하 기울기 평가방법	70
[표 4.2] 허용층간 변위	71
[표 4.3] 최대 허용처짐	71
[표 4.4] 구조해석 및 검토기준(강도설계법)	72
[표 4.5] 경과 년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소 계수	72
[표 4.6] 건설연도별 재료의 기본값	72
[표 4.5] 건축물 개요	74
[표 4.6] 탑재 장비 제원	74
[표 4.7] 지상 해체 장비 제원	75
[표 4.8] 고정하중	76
[표 4.9] 활하중	76
[표 4.10] 장비하중	76
[표 4.11] 건축물 개요	87
[표 4.12] 지상해체 장비 제원	87
[표 4.13] 고정하중	88
[표 4.14] 활하중	88
[표 4.15] 장비하중	88
[표 4.16] 건축물 개요	98
[표 4.17] 탑재 장비 제원	98

[표 4.18] 고정하중100
[표 4.19] 활하중100
[표 4.20] 장비하중100

<그림 목차>

[그림 1.1] 전국 건축물 노후도	1
[그림 1.2] 전국 해체허가 및 신고건수	2
[그림 1.3] 해체·철거·리모델링 공사 재해강도	3
[그림 1.4] 연구 Flow Chart	6
[그림 2.1] 해체공사 진행도	8
[그림 2.2] 브레이커	11
[그림 2.3] 절단톱	11
[그림 2.4] 와이어쏘	12
[그림 2.5] 롱붐암	12
[그림 2.6] 철제해머	13
[그림 2.7] 압쇄공법	14
[그림 2.8] 절단공법	14
[그림 2.9] 전도공법	15
[그림 2.10] 발파공법	16
[그림 2.11] 해체공법의 병용	18
[그림 2.12] 건축물 높이에 따른 해체 방식	22
[그림 3.1] 토털스테이션 계측원리	28
[그림 3.2] 사용 LVDT	29
[그림 3.3] 동적변형율 측정기(STC-16NB)	30
[그림 3.4] 사용 토털스테이션	30
[그림 3.5] 사용 반사프리즘	30
[그림 3.6] 기기 정확성 검증 실험	32
[그림 3.7] Chart 1	33
[그림 3.8] Chart 2	34
[그림 3.9] Chart 3	35
[그림 3.10] Chart 4	36
[그림 3.11] Chart 5	37
[그림 3.12] Chart 6	38
[그림 3.13] Chart 7	39
[그림 3.14] Chart 8	40
[그림 3.15] Chart 9	41
[그림 3.16] 수평변위 계측 실험	42
[그림 3.17] 구조물 수평변위 계측 실험	43
[그림 3.18] 3m 측정 T5 수평변위	44

[그림 3.19] 3m 측정 T4 수평변위	44
[그림 3.20] 3m 측정 T3 수평변위	45
[그림 3.21] 3m 측정 T2 수평변위	45
[그림 3.22] 3m 측정 T1 수평변위	46
[그림 3.23] 3m 측면 측정 T5 수평변위	47
[그림 3.24] 3m 측면 측정 T4 수평변위	47
[그림 3.25] 3m 측면 측정 T3 수평변위	48
[그림 3.26] 3m 측면 측정 T2 수평변위	48
[그림 3.27] 3m 측면 측정 T1 수평변위	49
[그림 3.28] 45m 측정 T5 수평변위	50
[그림 3.29] 70m 측정 T5 수평변위	51
[그림 3.30] 2.5m 측정 T5 수직변위	52
[그림 3.31] 5.5m 측정 T5 수직변위	53
[그림 3.32] 9.5m 측정 T5 수직변위	54
[그림 3.33] 공과대학 1호관 프리즘 설치 위치	55
[그림 3.34] dN(x축) 변위 그래프	57
[그림 3.35] dE(Y축) 변위 그래프	58
[그림 3.36] dH(Z축) 변위 그래프	59
[그림 3.37] 수평 변위 최대 오차	67
[그림 3.38] 수평변위 최대오차 오차율	68
[그림 3.39] 수직변위 최대 오차	68
[그림 3.40] 수직변위 최대오차 오차율	69
[그림 3.41] 수평변위 오차, 오차율 비교	69
[그림 4.1] 구조안전성 평가 흐름도	73
[그림 4.2] 대상 건축물 모델링	74
[그림 4.3] 탑재 해체 사용 장비	75
[그림 4.4] 지상 해체 사용 장비	75
[그림 4.5] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층) 시나리오 2 입면도	77
[그림 4.6] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층) 시나리오 2 평면도	78
[그림 4.7] 반사프리즘 위치	79
[그림 4.8] 반사프리즘 위치(평면도)	80
[그림 4.9] 모델링 입면도	80
[그림 4.10] 대인동 해체 진행 사진	81
[그림 4.11] X축 변위 그래프	82
[그림 4.12] Y축 변위 그래프	83
[그림 4.13] Z축 변위 그래프	84

[그림 4.14] DX 기울기 비교	85
[그림 4.15] DY 기울기 비교	86
[그림 4.16] 대상 건축물 모델링	87
[그림 4.17] 지상해체 사용 장비	88
[그림 4.18] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 2층) 시나리오 2 배면도	89
[그림 4.19] 소태동 해체 진행 현장	89
[그림 4.20] 반사프리즘 위치	90
[그림 4.21] 모델링 반사프리즘 위치	90
[그림 4.22] X축 변위 그래프	91
[그림 4.23] Y축 변위 그래프	92
[그림 4.24] Z축 변위 그래프	93
[그림 4.25] Step 1 기울기 비교	94
[그림 4.26] Step 2 기울기 비교	95
[그림 4.27] Step 3 기울기 비교	96
[그림 4.28] Step 4 기울기 비교	97
[그림 4.29] 탑재 해체 사용 장비	98
[그림 4.30] 대상 건축물 모델링	99
[그림 4.31] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 시나리오 1 평면도	101
[그림 4.32] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 시나리오 1 북측면도	102
[그림 4.33] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 프리즘 설치 위치	103
[그림 4.34] 해체 건축물 모니터링 프로그램	104

ABSTRACT

A Study on The Displacement Diagnosis and Structural Safety Evaluation of Demolished Buildings Laser Measurement

Mun Seon Yeong

Advisor : Prof. Cho Chang-Geun, Ph.D.

Department of Architectural Engineering,

Graduate School of Chosun University

In our society, buildings are built, used for appropriate purposes, and then demolished at the end of their lifespan, ending their life. Building a building within its life cycle requires a lot of time and effort, from planning and design to construction and maintenance. However, over time, it deteriorates, is affected by the external environment, and may be transformed. Dismantling of buildings takes place in various directions, such as when an aged and deformed building shows signs of collapse, when an empty or unlicensed house outside the safety management/inspection area has been abandoned for a long time and becomes a disaster-vulnerable area, or when a reconstruction or redevelopment project is promoted. there is. In most cases, dismantling construction sites that are carried out differently from the plan have insufficient procedures and unsystematic management and supervision. Dismantling work conducted under these conditions may cause unpredictable safety accidents. Recently, accidents leading to collapse have

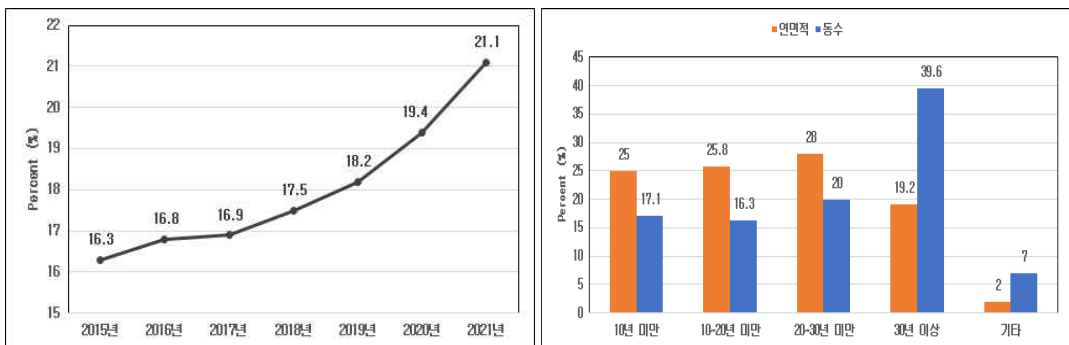
frequently occurred due to construction being carried out without following the decommissioning plan and structural safety inspection, or due to insufficient safety management during construction. A collapse accident at a demolition site is likely to cause a series of collapses in a short period of time, causing significant casualties. As demolition work is increasing, it is necessary to analyze the problems of the current demolition work and secure safety management for the insufficient dismantling process.

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

우리 사회에서 건축물은 지어진 후 적합한 용도로 사용되다 수명을 다하면 철거되며 생을 마감한다. 건축물의 생애주기 안에서 건축물을 짓기 위해 기획, 설계를 걸쳐 시공, 유지 관리까지 많은 시간과 노력이 필요하다. 하지만, 시간이 지남에 따라 노후화되고, 외부 환경에 영향을 받으며 변형되기도 한다. 노후화되고 변형된 건축물이 붕괴 징후가 보이는 경우, 안전관리·점검 대상 밖에 놓인 빈집이나 무허가 주택 오랫동안 방치되어 재해 취약지가 된 경우, 재건축 및 재개발 사업이 추진되는 경우 등 건축물의 해체는 다양한 방향에서 이루어지고 있다.

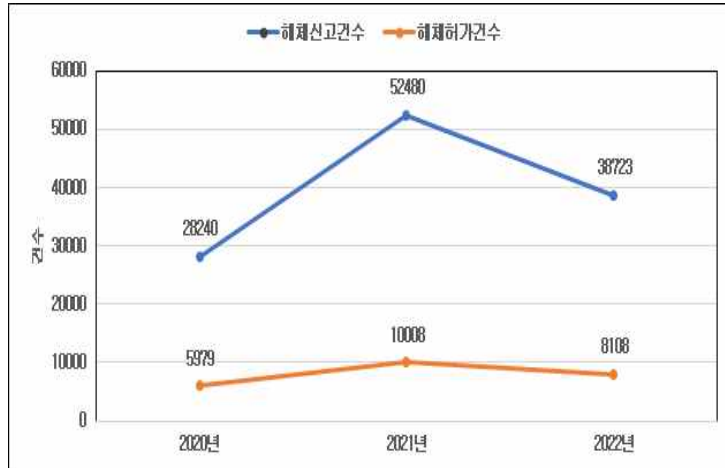
건축물의 수명주기에는 한계가 있다. 국토교통부가 발표한 “2021년 기준 전국 건축물 현황”에 따르면 전체 건축물 중 30년 이상의 노후 건축물의 비율이 39.6%를 차지하고 있으며, [그림 1.1] 통계청 지역통계 기획팀의 자료에 따르면 전국 30년 이상의 노후주택 비율은 2015년부터 2021년까지 꾸준히 증가하고 있으며, 이는 해체·철거·리모델링등의 공사 증가로 이어질 것으로 예상된다. 또한, 대도시의 건축물 노후화와 재건축 및 재개발의 활성화로 인해 건축물 해체공사 수요 또한 급증하고 있다는 것을 통계청 자료에 따라 작성한 [그림 1.2]에서 확인할 수 있다.



(a) 전국 노후주택비율

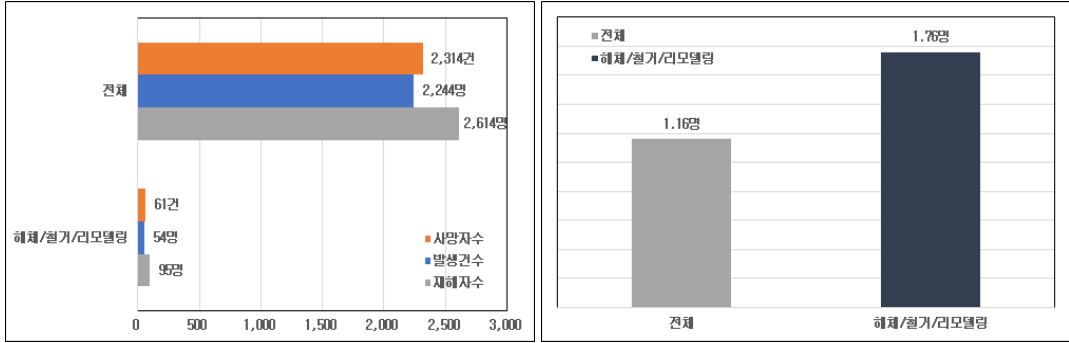
(b) 전국 노후 건축물 현황

[그림 1.1] 전국 건축물 노후도



[그림 1.2] 전국 해체허가 및 신고건수

현재 건축물의 안전확보를 위해 2020. 5. 1.부터 「건축물관리법」이 시행되었다. 하지만, 대부분의 해체공사 현장에서는 제정된 해체공사 법규가 있음에도 불구하고 계획서와 상이한 해체공사가 진행되고 있다. 계획서와 상이하게 이루어지는 해체공사 현장에서는 미흡한 절차진행과 더불어 관리·감독 등이 체계화되지 않은 경우가 대부분이다. 이런 상태에서 행해지는 해체 공사는 예측 불가능한 안전사고를 야기할 수 있다. 최근 해체 계획서를 따르지 않고, 구조안전점검을 실시하지 않은 상태에서 공사를 진행하거나 공사중 미흡한 안전관리로 인해 붕괴사고로 이어지는 사고가 자주 발생하고 있다. 건축물의 해체공사는 붕괴, 추락 등의 안전사고 위험이 큰 공사에 해당한다. 최근 5년간(2012년~2016년) 전체 및 철거·해체 관련공사 중 중대재해 발생현황에 따라 작성한 [그림 1.3]에서 일반 중대재해의 경우 2,244건의 재해에서 2,614명의 재해자 발생으로 1건당 1.16명의 재해자가 발생하였고, 철거·해체관련 중대재해에서는 54건 중 95명의 중대재해자 발생으로 1건당 1.76명의 재해자 발생하였다. 또한, [표 1.1]에서 철거·해체리모델링 공사에서 발생한 중대재해가 일반 중대재해에 비해 1건당 사망자 수 비율이 약 9.7% 높으면, 1건당 재해자 수 비율은 51.7% 높은 것을 확인할 수 있다. 해체현장에서의 붕괴사고는 짧은 시간에 연쇄적인 붕괴가 이루어질 가능성이 높아 큰 인명피해를 불러 일으킨다. 이렇듯 점점 증가하고 있는 해체공사에 있어 현행되는 해체공사의 문제점을 분석하고 미흡한 해체 진행 과정에 대한 안전관리 확보가 필요한 실정이다.



(a) 전체 및 철거·해체 관련공사 중 중대재해 발생현황

(b) 중대재해 1건당 재해자 수

[그림 1.3] 해체·철거·리모델링 공사 재해강도

[표 1.1] 최근 5년간(2012~2016년) 중대재해 발생현황

구분		2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	계
전체	발생건수(건)	485	477	374	441	467	2,244
	사망자수(명)	512	493	379	451	479	2,314
	강도(사망자수/건)	1.06	1.03	1.01	1.02	1.03	1.03
	재해자(명)	588	542	403	540	541	2,614
	강도(재해자수/건)	1.21	1.14	1.08	1.22	1.16	1.16
해체 철거 리모델링	발생건수(건)	10	5	12	15	12	54
	사망자수(명)	10	7	12	18	14	61
	강도(사망자수/건)	1.00	1.40	1.00	1.20	1.17	1.13
	재해자(명)	13	13	13	36	20	95
	강도(재해자수/건)	1.30	2.60	1.08	2.40	1.67	1.76

제2절 국내 해체 사고 사례

현행되고 있는 해체사업의 규모와 수요가 증가하고있는 시점에서 해체공사의 잦은 인명피해 및 안전사고는 반드시 해결해야 하는 문제이다. 안전성 향상은 반드시 해결해야할 문제이다. 2021년 6월 9일 일어난 광주광역시 학동 재개발현장 붕괴 사고가 그 일례이다. 국내 해체산업의 주요 문제점은 해체공사를 진행할 때 주요 구조부재를 해체하고 변경하는 경우 안전계획 검토가 선행되어야 한다. 하지만 대

다수의 해체현장에서는 실무자의 경험을 위주로 작업이 진행되는 경우가 많다. 또한, 붕괴위험이 큰 해체공사에서 공사기간의 제약과 비용 문제로 인해 공사를 무리하게 진행하여 많은 안전사고로 이어지고 있다. [표 1.2]는 국내에서 발생한 해체공사 사고 사례이다. 붕괴사고의 주된 원인은 경험에 의지한 공사 진행, 계획서의 미작성 및 미준수, 잭서포트 미설치 및 미흡한 보강 그리고 잔재물 과적치 등 이다.

[표 1.2] 국내 해체 사고 사례

2017.1 낙원동 붕괴사고	지상 1층에서 장비로 해체 작업 중 바닥 붕괴된 사고로서, 해체계획서의 장비보다 더 큰 장비를 탑재, 잭서포트 보강이 미흡
2017.4 역삼동 붕괴사고	지하 3층, 지상 5층 건물로서 철거잔재물 과적재 및 구조안정성 검토없이 잭서포트를 경험에 의해 설치
2018.6 신대방동 붕괴사고	해체순서 미준수에 따른 붕괴, 재건축 아파트 경계지역 건물 철거, 잘못된 건축물 해체 계획
2019.7 서울 잠원동 붕괴사고	도심지 건물 밀집지역, 철거시 상부에서부터 철거하지 않고 1층부터 철거하여 지상층기둥과 보가 손상되어 건물 외벽이 도로변으로 전도. 철거 시 필요한 잭서포트 보강 미흡, 슬래브 위 과도한 철거잔재 방치, 철거계획서 미이행 ※ 건축물관리법 제정 계기
2021.6 광주 학동 붕괴사고	재개발지역 내 5층 건축물을 철거하면서 철거계획서대로 상부부터 철거하지 않고 저층부분을 철거하여 건축물이 전도되어 지나가는 버스를 덮침 철거계획서 미 이행, 안전관리 소홀, 불법하도급 등의 문제 발생

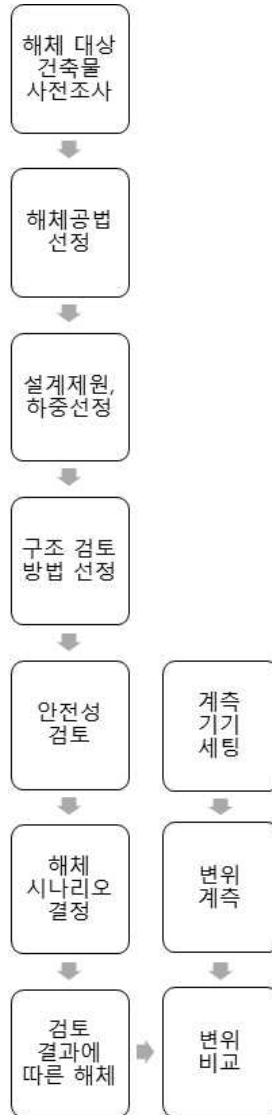
제3절 연구방법

대한민국에서 현행되고 있는 해체공사는 많은 문제점들이 있다. 최근까지도 해체공사 중 많은 안전사고가 일어나고 있으며, 사망사고로까지 이어진 경우가 많다. 해체공사 중 발생한 안전사고들은 대부분 체계적이지 못한 시공방식이나 해체계획서 미이행으로 발생한 사고가 다수이다. 해체현장에서의 붕괴사고는 짧은 시간에 발생하기 때문에 예측하고, 대처하기가 매우 어렵다. 그러므로 사고 발생 이후의 대처보다는 사고 발생 이전에 사고가 일어나지 않도록 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 해체공사 현장에서의 인명피해를 미연에 방지하기 위해서 안전성을 최우선 고려한 해체 프로세스의 구체화와 즉각적인 현장에서의 안전진단이 필요하다.

본연구에서는 건축물을 해체함에 있어 안전하면서도 효율적이고, 신속하게 진행될 수 있는 적합한 해체공법을 선정하여 해체 프로세스를 구축하고자 한다. 해체 대상 건축물의 사전조사를 통해 검토한 구조체의 형식에 알맞은 계획 도모한 후, 최종적으로는 광파기인 토털스테이션을 활용한 건축물 변위 계측과 접목시켜 실제 해체공사가 진행되고 있는 현장에서의 즉각적인 건축물 변위 계측을 통해 실시간으로 건축물이 위험 범위 내에서 거동하는지를 파악하여 붕괴 위험을 미리 감지할 수 있도록 안전진단 하는 것이 목표이다. 건축물의 부재를 제거해 나가는 해체공사는 다른공사에 비해 빠르고, 신속하게 이루어져야 한다. 현장에서는 진동, 충격 등 예상치 못한 하중들이 발생할 수 있으므로 안전성 검토를 실시할 때 빠르게 변화될 수 있는 요소를 모두 고려하여 안전하게 프로세스를 구축하여야 한다. 대상 건축물의 적합한 해체 프로세스 선정은 해체 완료 시까지 건축물의 붕괴 및 전도의 발생을 예방할 뿐만 아니라 안전사고에도 대비할 수 있다.

연구방법으로 우선 실제 해체대상 건축물의 높이 및 부지면적, 인접 구조물 등 사전조사를 밑바탕으로 현장에 적용하기에 가장 적합한 해체공법을 선정한 후, 건축물의 구조형식에 따라 부재 해체 순서 등 다양한 시나리오를 계획한다. 이후 장비하중, 잔재물하중 등 상황에 따라 변할 수 있는 하중들을 모두 고려하여 이에 맞는 하중계수를 적용해 단계별 구조해석을 실시한다. 구조해석을 통해 해체대상 건축물의 취약 부분을 확인하고, 잭서포트를 통해 보강이 필요한 부분은 보강하여 재해석을 실시했을 때, 각 부재에 과도한 처짐과 내력비가 발생하는 부분이 있는지를 확인하여 안전성을 높인다. 이후 실제 해체현장에 설치한 토털스테이션을 활용하여 해체중인 건축물을 계측하고, 해체 후 건축물의 거동과 사전에 실시한 구조해석 변

위를 비교함으로써 토털스테이션을 통한 계측으로 실시간 안전진단이 가능한지, 미리 붕괴위험을 감지할 수 있는지 성능을 검증하였다. 토털스테이션을 해체 현장에 활용하여 실시간 안전진단 및 모니터링을 실시한다면 해체현장에서의 안전사고 예방에 큰 도움을 줄 것으로 사료된다.



[그림 1.4] 연구 Flow Chart

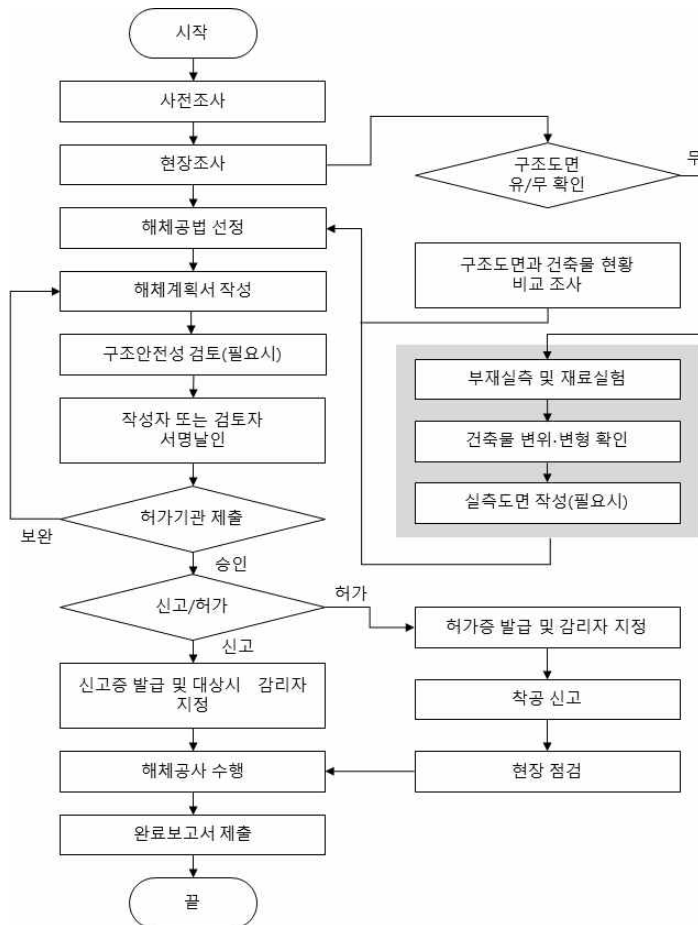
[표 1.2] 연구 목표 및 내용

<p>1. 연구목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 건축물 해체공사 수요의 증가의 따른 기존 건축물 해체 공사 중 발생하는 안전사고를 예방하고자 해체 건축물 구조안전성 검토 진행 ▪ 부재 해체 순서 및 방법 등의 프로세스를 검토 및 개발 ▪ 계측기기를 활용한 해체 공사중 안전진단 성능 검증
<p>2. 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해체 대상 건축물 사전조사를 통한 건축물에 적용되는 하중조사 및 최적의 장비, 공법 선정 ▪ 구조 모델링 및 해석 프로그램인 Midas Gen을 이용하여 해체 단계별 부재별 휨모멘트 및 전단 내력비 , 처짐을 검토 ▪ 해체 단계별 건물의 기울기 및 층간변위, 허용층간변위 Δ_a, 최대허용처짐을 평가 ▪ 각 부재별 최대 내력비가 1.0을 초과하거나 해체 단계별 건물의 기울기 및 층간변위, 허용층간변위 Δ_a, 최대 허용처짐을 만족하지 못하는 경우 잭서포트 보강 ▪ 실제 현장 계측값과 해석값의 비교, 분석

제2장 건축물 해체

건축물의 해체공사 계획에서 중요한 것은 해당 해체현장에 있어 가장 적합한 공법을 선정하는 일이다. 해체공사는 타 공사에 비해 빠르게 진행되므로 그 안에서 안전하고, 신속하게 진행하면서 환경적 요인과 경제적 요인을 모두 고려하여 공법을 선정해야 한다. 과거에는 주로 저층 건축물과 환경적 요소를 고려하지 않은 상태로 해체공사가 진행되었다. 하지만, 현재는 건축물의 대형화, 초고층화로 인해 도심지에서의 공사가 대부분을 차지하여 주변 인접 건축물, 환경성, 시공성 등을 고려하여 공법을 선정하여야 한다.

기본적인 해체공사의 업무 진행도는 [그림 2.1]과 같다.



[그림 2.1] 해체공사 진행도

제1절 해체공법

1. 해체장비 분류

서울특별시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼에 따라 해체 장비를 [표 2.1]과 같이 분류하였다.

[표 2.1] 해체장비 비교

해체원리		장점	단점
압쇄기 (Crusher)	유압에 의한 압쇄작용	<ul style="list-style-type: none"> - 작업능률이 좋음 - 기동성이 좋고 콘크리트 해체에 적합 - 도심지의 철거시 널리 사용됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진이 많이 발생 - 다량의 물이 필요
브레이커 (Breaker)	정에 의한 타격	<ul style="list-style-type: none"> - 작업능률이 좋음 - 기동성이 좋고 단독으로 작업 가능 - 지하 구조물 철거시 유리. 	<ul style="list-style-type: none"> - 방음·방진 필요 - 소음 많음 - 분진 다량 발생
절단톱 (Cutter)	다이아몬드 톱날에 의한 연삭작업	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물에 영향을 주지않고 절단 가능. - 해체부재의 운반이 용이. - 진동·분진이 거의 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> - 2차 파쇄가 필요 - 절단 깊이 제한 - 소음·매연 발생
와이어 쏘 (Wire Saw)	다이아몬드 와이어에 의한 연삭 작업	<ul style="list-style-type: none"> - 공해가 거의 없음. - 절단깊이나 대상물에 제한이 없음. - 좁은장소, 수중에서 절단이 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 다이아몬드 와이어가 고가 - 사전작업 필요
롱 붐 암 (Long Boom Arm)	유압에 의한 압쇄작용	<ul style="list-style-type: none"> - 작업능률이 좋음 - 기동성이 좋고 - 콘크리트 해체에 적합 - 도심지 해체작업에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 다량 발생

압쇄기는 유압력에 의한 강력한 압축력을 가하여 파쇄하는 장비이며, 저소음·저진동이어서 도심지 해체공사에 적합하다. 분진 발생으로 인한 살수 작업 인원 배치가 필요하다. 주로 굴삭기에 장착하여 사용한다. 주의사항으로는 압쇄기의 중량, 작업충격을 사전에 고려하고, 차체 지지력을 초과하는 중량의 압쇄기는 부착을 금지한다. 압쇄기를 설치할 때는 설치되는 지반이나 구조물 슬래브에 대한 안전성을 반드시 확인해야하며, 작업가능 높이보다 높은 부분을 해체할 때에는 잔재물을 깔고 올라가 작업을 진행한다. 압쇄기에 의한 파쇄작업순서는 일반적으로 상층에서 하층으로 진행하고, 슬래브, 보, 벽체, 기둥순으로 실시한다.



[그림 2.1] 압쇄기 장착도

브레이커는 압축공기 또는 유압장치에 의한 정의 반복 충격력으로 구조물을 파쇄하고, 굴삭기에 부착하여 사용하는 대형 브레이커와 손으로 조작하는 핸드브레이커가 있다. 소음이 많아 도심지에서 적용은 난해하다는 단점이 있다. 또한, 분진이 비교적 많이 발생하는 편이라 살수를 위한 작업인원이 반드시 필요하다. 주로 압쇄공법이나 절단공법의 적용이 곤란한 흙에 접해있는 지하구조물에 적용하는 것이 적합하다.

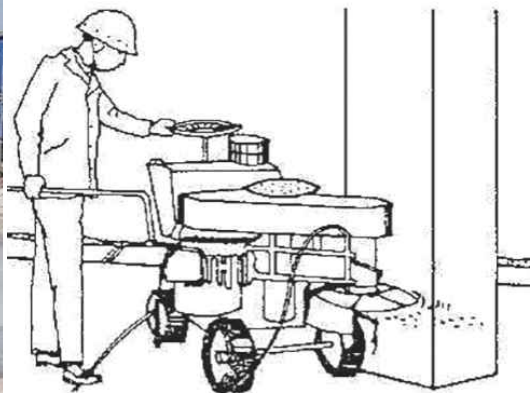


[그림 2.2] 브레이커

절단톱은 콘크리트 슬래브나 벽을 다이아몬드 날로 된 둥근톱을 사용해서 소단위로 절단한다. 정확한 절단이 필요한 작업에 주로 활용되며, 소음,진동에 대한 허용수준이 제한된 지역에 사용하기에 적당하다. 절단 진행방향은 직선으로 하고, 저항이 큰 자재는 최소단면으로 절단한다. 절단이 완료될 시 해체된 구조물의 낙하방지가 필요하다.



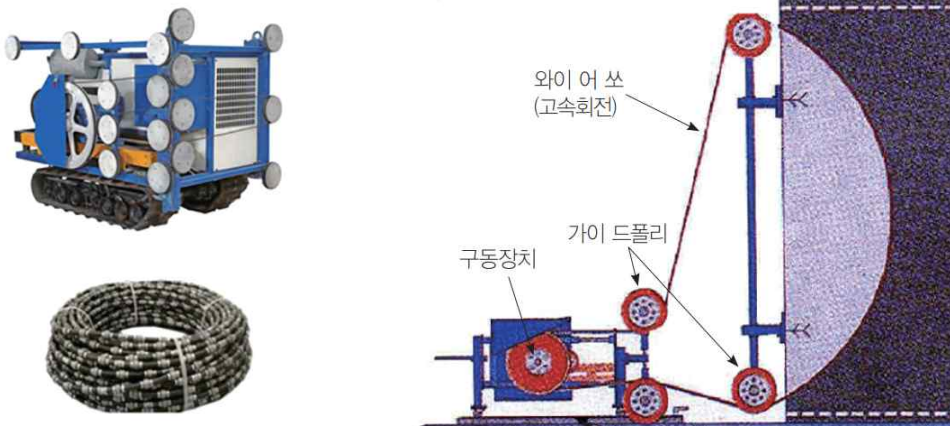
(a)수직 절단기



(b)수평 절단기

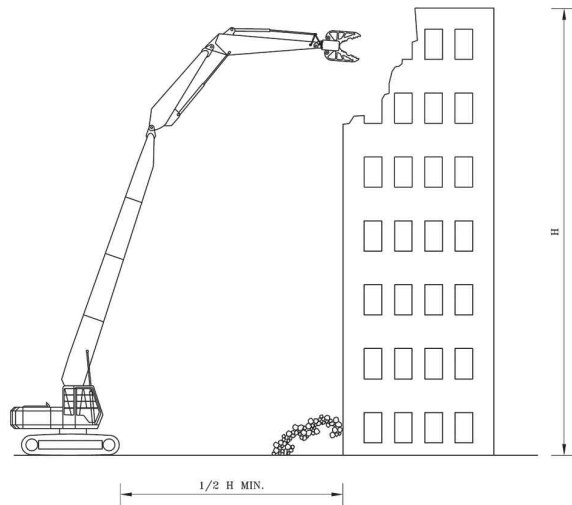
[그림 2.3] 절단톱

와이어 쏘는 절단 대상물에 다이아몬드 쏘를 감아 걸고 유압모터로 고속 회전시켜 구조물을 절단하는 것이 특징이다. 인접구조물이나 잔존 구조물에 손상을 주지 않고 깨끗한 절단면이 요구 될 때 주로 이용하고, 복잡하거나 협소한 장소에서의 작업이 편리하다. 또한, 수중에 있는 구조물의 절단이 용이하다. 절단이 완료됐을 때 해체된 구조물의 낙하방지가 필요하다.



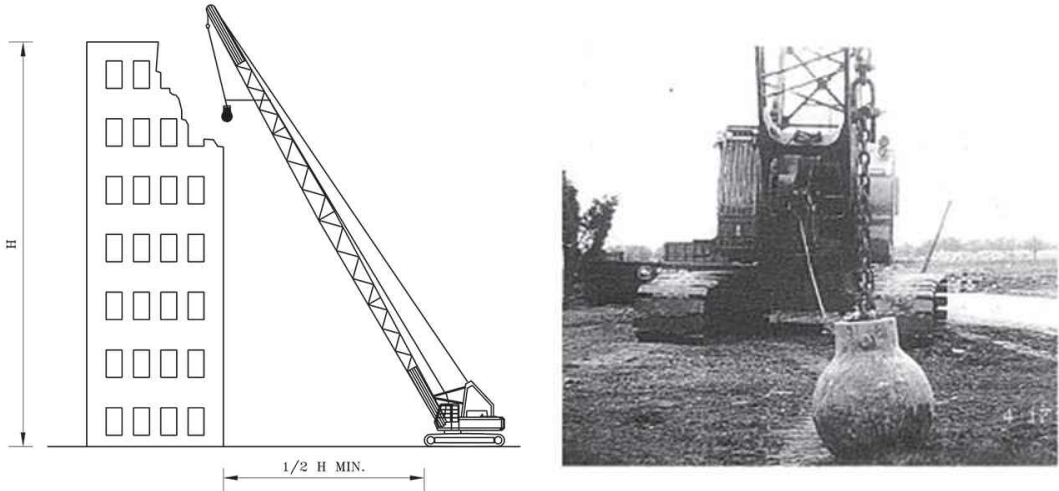
[그림 2.4] 와이어쏘

롱 붐 암은 장착된 유압식 분쇄기를 사용하여 해체하는 장비이다. 중층정도의 건축물 등을 지상에서 해체할 때 적합하며, 건축물 높이의 최소 1/2배에 해당하는 공터가 필요하다. 건축물의 안정성을 유지하기 위하여 각 부재를 탐다운 방식으로 해체하여야 한다.



[그림 2.5] 롱붐암

마지막으로 철제해머는 1톤 전후의 해머를 크롤러크레인 등에 부착하여 수직 또는 수평으로 흔들어 구조물에 충격을 주어 파쇄한다. 해체작업 시 강구가 크레인으로부터 이탈하지 않도록 접속부위 및 와이어로프의 상태를 수시로 점검 하여야 하고, 타격시 크레인의 전도나 타격실수 등에 주의 하여야 한다.



[그림 2.6] 철제해머

2. 해체공법 분류 및 특징

해체공법 선정시 주요 고려요소는 해체대상 건축물의 높이 및 층고, 인접건축물과의 거리, 구조형식 등이 있다. 해체공법은 일반적으로 크게 기계식 공법과 발파공법으로 구분할 수 있다. 기계식 공법은 압쇄공법과 절단공법, 전도공법으로 분류할 수 있다.

현행되는 해체공사는 기계식 해체공법을 주로 이용하고 있다. 그 중 압쇄공법은 가장 일반화된 공법이며, 7층 이상의 건축물을 해체할 시 장비 탑재에 의한 해체를 적용하고, $0.2m^3 \sim 1.0m^3$ 급 백호우에 브레이커 또는 압쇄기를 장착한 중장비를 주로 사용한다. 장비를 탑재하여 해체하는 경우 대상 건축물의 최상층에 장비를 인양하여 탑재한 후 아래 방향을 한층씩 파쇄하며 내려가는 방식으로 진행한다. 압쇄공법은 절단공법에 비해 분진이 다소 발생하지만, 소음·진동이 적어 도심지 해체에 많이 이용된다.



(a) 장비 탑재 해체



(b) 장비 탑재없는 외부 해체

[그림 2.7] 압쇄공법

절단공법은 절단톱, 와이어쏘를 이용하여 구조부재를 자르고 해체하여 양중장비로 달아 내리는 방법을 이용한다. 소음·진동·분진 등 환경적 영향이 거의 없는 가장 친환경적인 방법이며, 도심지 대형 고층 건축물의 정밀 해체에 적합하다. 절단공법을 이용할 때에는 예상치 못한 부재 파괴나 전도에 유의하며 작업하여야 한다.



[그림 2.8] 절단공법

전도공법은 사전에 건축물을 취약화 시키고 외력을 가하여 건축물을 전도시키면서 해체하는 공법이다. 해체하고자 하는 부재의 일부를 파쇄하거나 절단한 후 전도를 유도하거나 와이어의 인장력으로 전도시킨다. 주로 굴뚝, 기둥, 벽 등의 수직 부재 해체에 적용한다. 전도공법은 작업순서에 따라 구조물의 안전성이 크게 좌우하므로 전도위치, 파편의 비산거리 등을 예측하여 작업반경을 설정하고, 작업계획에 따라 작업하여야한다. 기둥철근 절단 순서는 전면, 양측면, 뒷부분 순으로 하고, 반대방향 전도를 방지하기 위해 전면철근을 2본 이상 남겨 두어야한다. 벽체의 절삭부분 철근 절단시 가로철근은 아래서 위쪽으로, 세로 철근은 중앙에서 양단방향으로 차례로 절단한다.



(a) 기둥하단부 취약화

(b) 와이어를 이용한 전도

[그림 2.9] 전도공법

발파 해체공법은 구조물에 시차를 두어 기둥, 보, 전단벽 등 주요 구조부재를 화약으로 파괴시켜 구조물을 불균형 상태로 만든 후 중력에 의하여 붕괴시키는 공법이다. 발파 해체공법은 전문가에 의하여 구조안전성 검토를 반드시 실시하여야하고, 시험발파를 실시하여 대상건축물의 파쇄강도를 파악하여야한다. 발파하는순간 폭풍압·순간소음·진동·분진이 발생된다. 폭발시 인접구조물 및 주변 영향을 최소화하기 위해 적정량의 폭약과 정확한 시간차를 계산한다. 출입금지구역 반경은 건물높이의 2.5배 이상 유지한다. 조기 발파, 불발, 전동에 의한 발파 중단 등 다양한 응급상황에 대한 대처방안을 확보하여야한다. [표 2.2]는 기계식 해체공법, 발파 해체공법의 비교를 나타낸 것이다.



(a) 장약 및 방호

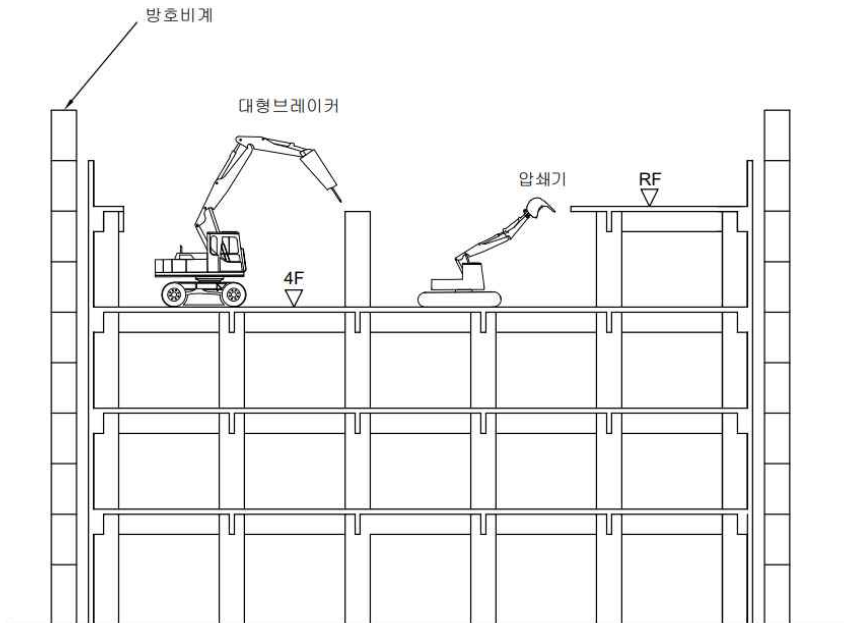
(b) 발파

[그림 2.10] 발파공법

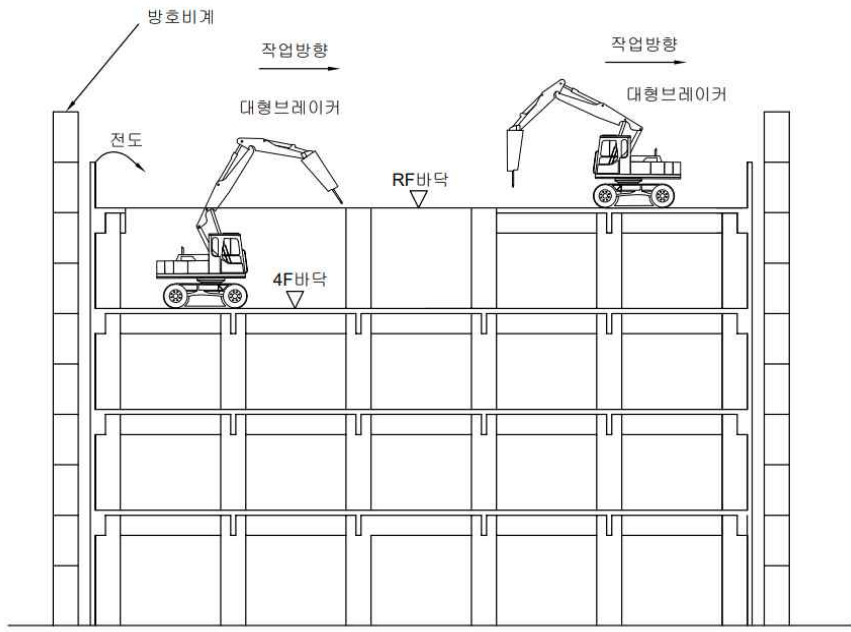
[표 2.2] 해체공법 비교

	기계식 공법			발파공법
	압쇄공법	절단공법	전도공법	
공법개요	백호우 장비에 브레이커 또는 압쇄기를 장착하여 상층에서 하층으로 파쇄하면서 해체하는 공법	콘크리트절단기 또는 산소절단공법을 사용하여 구조물을 절단하고 크레인을 사용하여 절단 부재를 인양하여 지상에서 압쇄하는 공법	구조물의 주요 연결부를 끊고 큰 부재를 전도하여 해체하는 공법	기둥이나 내력벽 등 주요 부재에 장약을 이용하여 파괴시킴으로서 구조물을 불안정한 상태로 만들어 스스로 붕괴시키는 공법
환경적 특성	절단공법에 비해 분진이 다소 발생되나 압쇄기를 사용하여 소음·진동 발생이 미미함	소음·진동·분진 등 환경적인 영향이 거의 없어 현존하는 공법 중 가장 친환경적임	전도시 분진·소음이 발생함.	발파하는 순간 폭풍압·순간소음·진동·분진이 발생됨.
작업 안전성	장비 작업시 지상에서 대형굴삭기를 이용하므로 작업 안전성이 우수함	사전 계획에 따른 순차적 철거가 가능하여 작업 안전성이 우수함	절단 후 기계를 사용하여 절단된 구조물들을 지정된 지역으로 인양함. 낙하사고에 주의해야함	주요 지점 천공에 의한 발파 해체로 구조적 안전성이 유리하고 안전사고가 감소함.

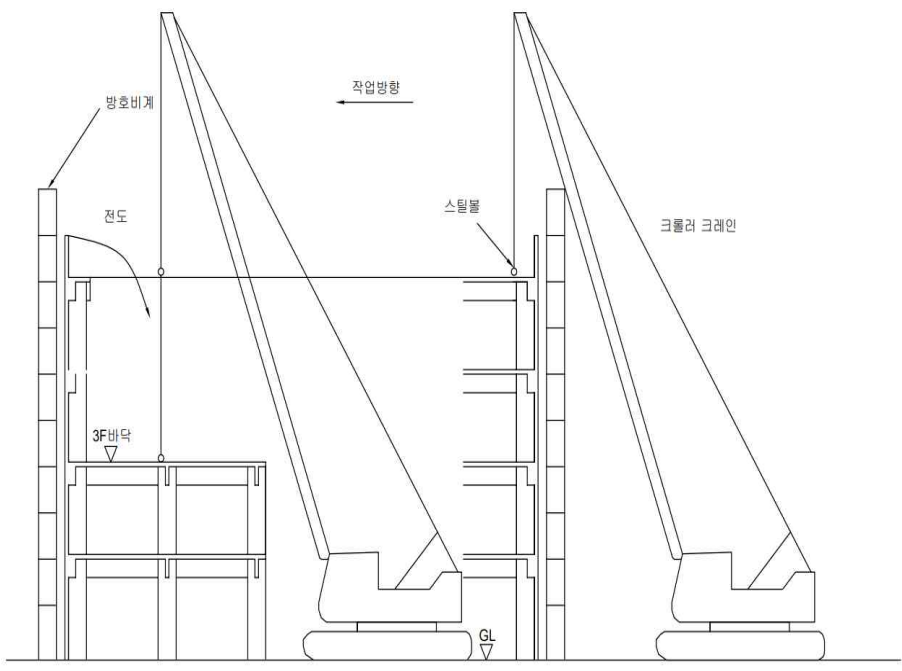
실제 해체공사시 대부분의 경우 한가지 공법만을 사용하는게 아닌 해당 건축물에 환경 및 구조형식에 적합한 공법들을 병용하는 경우가 많다. 압쇄공법과 대형브레이커 공법의 병용은 압쇄기로 우선 슬래브, 보, 내력벽 등을 해체하고 대형브레이커로 기둥을 해체하는 공법이다. 기둥을 해체할때에는 장비간 안전거리를 충분히 확보하여야 하고, 대형브레이커와 엔진으로 인한 소음을 최대한 줄일 수 있는 수단을 강구하여야 한다. 대형브레이커 공법과 전도공법의 병용은 사전에 계획된 작업 순서에 따라 단계별 확인이 반드시 필요하고, 전도를 목적으로 절삭할 부분은 시공 계획 수립 시 결정하고 절삭되지 않는 단면은 안전하게 유지되도록 하여 계획과 다른 방향의 전도를 방지하여야 한다. 월해머 공법과 전도 공법의 병용에서는 크레인 설치 위치의 적정여부를 우선 확인하고 붐 회전반경 및 해머 사양을 사전에 확인한다. 철해머를 매단 와이어로프 등을 반드시 점검하도록 하고 작업 중 와이어로프가 손상되지 않도록 주의한다. [그림 2.11]은 해체공법의 병용을 나타낸 것이다. 이와 같이 다양한 공법들중 해체 구조물의 특성에 따라 알맞은 방법을 선정하여 공사를 진행하는 것이 중요하다.



(a) 압쇄공법과 대형브레이커 공법 병용



(b) 대형브레이커 공법과 전도공법 병용



(c) 월 해머 공법과 전도공법 병용

[그림 2.11] 해체공법의 병용

3. 해체공법 선정

2023 건축물 해체계획서 예시집에서 발췌한 구조시스템에 따른 해체공법 선정을 정리하면 도심지주택의 조적조구조에 경우 주로 외부에서 06-1.0장비로 지상해체하고, 슬래브, 보를 해체한 후 조적벽(내력벽)을 해체한다. 또한, 전도방지를 위해 조적벽을 분할하여 해체하고, 도로에 근접한 R.C 라멘구조의 경우 상부에 03장비를 탑재하여 해체를 진행하고, 지상층은 08장비로 외부 해체한다. 지하구조물이 있을 경우에는 보강 후 해체를 진행한다. 외부 벽체 및 기둥의 전도 방지 계획을 세워야 하며, 마감재, 비내력벽, 슬래브, 보, 기둥, 내력벽체 순으로 해체한다. 주상복합 전이구조의 경우 상부층은 06장비를 탑재하여 해체하고 지상 및 지하층의 경우 10장비로 해체를 실시한다. 전이보 상부층까지 장비탑재를 우선으로 하고 전이보 구조체를 위보에서 해체할 시 해체순서에 대한 관계전문가의 검토가 필요하다. 전이보 상부는 R.C 라멘구조와 철거방법이 동일하다. R.C 전단벽 구조의 경우 상부에 08장비를 탑재하여 해체하고, 지상 및 지하 층은 10장비로 해체를 진행한다. 굴뚝은 절단공법을 사용하여 제거하고, 전도를 방지하기 위해 벽체는 분할하여 해체한다. 장비를 탑재하여 해체를 진행 할 때는 해체 층에서 하향하면서 철거하며 장비 이동 통로를 확보한다. 캔틸레버 발코니는 선 철거한다. 부재 해체순서는 마감재, 비내력벽, 슬래브, 내력벽체 순으로 해체한다. 도심지 고층아파트등의 SRC복합 구조의 경우 상부에 08장비 2대를 탑재하여 해체를 진행하고, 지상은 480장비급 장비로 해체한다. 마감재, 비내력벽, 슬래브, 보, 기둥, 내력벽체 순으로 해체를 진행한다. 보, 기둥을 철거할 시에는 절단하거나 콘크리트를 압쇄후 철골을 절단하는 등의 공법을 결정하여야 한다. 철골조 공장등의 특수구조는 외부에서 10장비 및 480장비 이상을 이용하여 해체한다. 단위구간을 분절한 후 지상으로 인양하여 최소 단위 해체를 실시할 것을 권장한다.

이와같이 해체 대상건축물의 구조시스템에 따라 알맞은 공법을 선정하여 해체를 진행하며 모든 해체공법에서 공통사항으로 외벽전도에 따른 안전사고 방지를 위해 외부에서부터 해체를 진행한다. 도로변을 우선적으로 해체한 후 단변에서 장변 방향으로 해체를 진행해나가고, 잔여구조체를 ‘ㄱ’ 자 형태로 유지시켜 해체 대상건축물이 해체를 진행하면서 안정적으로 자립할 수 있도록 해체를 진행해 나가야한다. 또한 구조적으로 횡력에 약한 건축물의 해체공사시, 구조안전성을 검토하고, 잭서포트 설치 등 보강하여 해체를 진행하여야 한다.

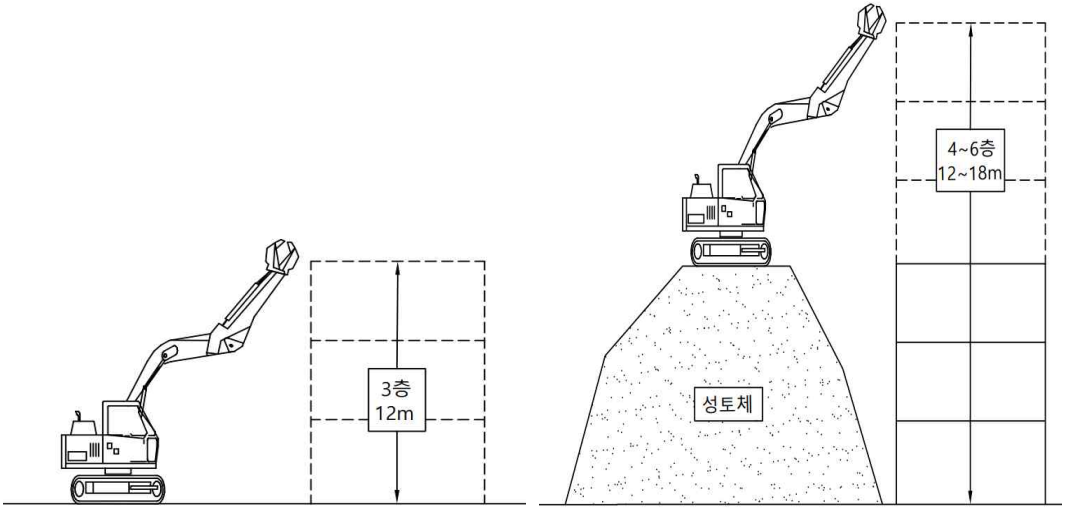
4. 해체공사 방식

주택정책실 지어진건축안전센터(2023)에 발표한 “서울특별시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼” 따르면 6층 또는 18m 이하의 건축물은 굴삭기만으로 해체가 가능하고, 주로 0.8~1.0 m^3 급 굴착기를 사용한다. 일반적으로 단독주택을 포함한 6층이하 공동주택의 해체공사에서는 중장비가 지상에서 대상물을 직접 파쇄하지만, 지상에서 성토체를 조성한 후, 굴착기만으로 해체하는 경우에는 건물의 4면 중 한면의 성토체 조성공간과 장비작업 공간이 충분한 경우 적용하여야 한다. 7층 또는 18m이상의 건축물 해체의 경우 굴착기의 작업반경에는 한계가 있기 때문에 지상에서 해체는 불가능하다. 이 경우에는 지상에서 롱붐암으로 해체하는 경우와 양중기로 장비를 탑재하는 방식이 있는데 지상에서 롱붐암으로 해체하는 경우에는 고층부는 롱붐암으로 해체한 후, 저층부는 굴착기로 해체한다. 저층부 해체 시 주로 0.8~1.0 m^3 급 굴삭기를 사용한다. 건축물의 높이가 높아진 만큼 해체 잔재 낙하로 인해 피해가 발생할 수 있으므로 대비를 철저히 하여야 한다. 장비를 탑재하여 해체하는 경우 철거장비를 크레인으로 양중하여 아래 방향으로 한층씩 해체 후, 저층부는 지상에서 굴삭기로 해체한다. 0.6 m^3 급 이하 굴착기를 탑재할 것을 권장하고, 건물 4면에 낙하물 방지망을 설치하여야 한다. 또한, 반드시 구조안전성을 검토하여야 하고, 잭서포트 설치 등 구조물 보강이 필요하다, 장비를 탑재하는 경우 타 공사 방식에 비해 공사기간이 길다는 단점이 있다. 건축물 높이에 따른 해체 방식의 특징을 [표 2.3], [그림 2.12]에 나타내었다.

굴착기는 대상 건축물의 작업반경 및 작업 높이에 따라 적절한 장비를 적용해야 하며, 해체장비의 최대작업 높이는 대상 건축물의 최대높이에서 3m 정도의 작업 여유분 이상이 되어야 하며, 해체장비를 2대 이상 운용하는 경우 장비들간에 1경간 이상 유지하여야 한다. 이는 [그림 2.13]에 나타내었다. 이동식 크레인의 경우 양중물의 중량과 작업 반경, 인양 높이 등을 확인하여 양중 가능성을 검토하여야 하며, 장비 이동 동선과 작업공간 확보 여부를 확인하여야 한다.

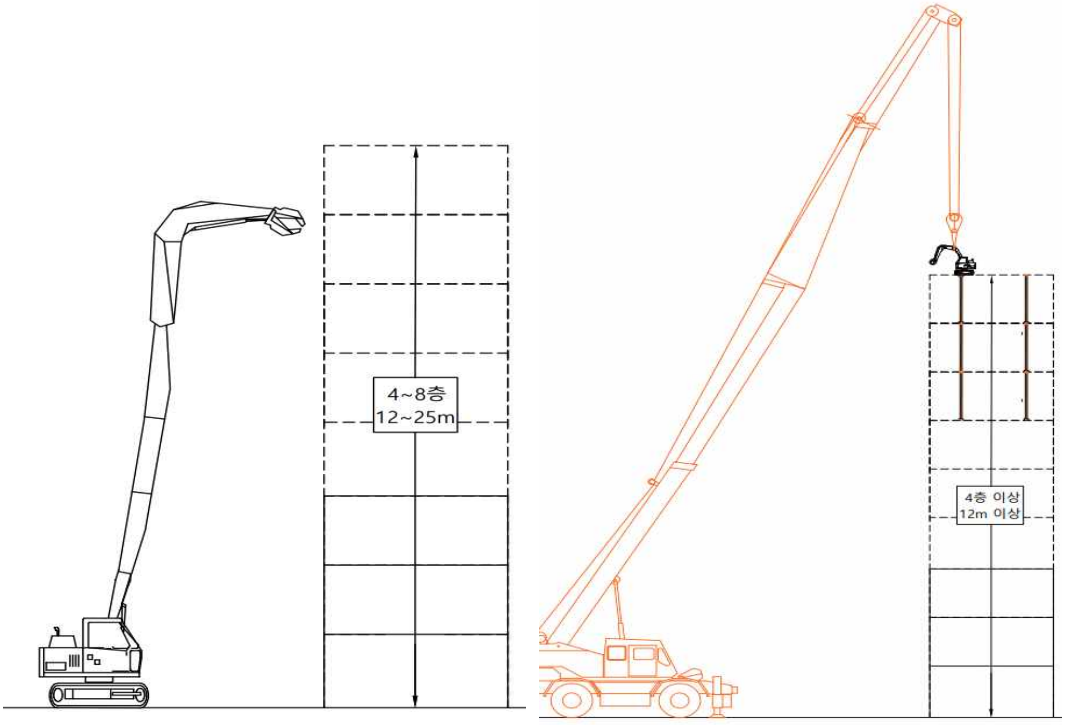
[표 2.3] 건축물 높이에 따른 해체 방식 특징

건축물 높이	굴착기만으로 가능		굴착기, 대형장비 필요	
	지상에서 해체	지상에서 성토하여 해체	지상에서 롱붐암으로 해체	장비탑재하여 해체
해체 방식 개요				
사용 장비	- 0.8~1.0 m^3 급 굴삭기	- 0.8~1.0 m^3 급 굴삭기	- 0.8~1.0 m^3 급 굴삭기 - 롱붐암	- 0.6 m^3 급 이하 의 굴삭기를 탑재할 것을 권 장함. - 양중크레인
주의 사항	- 해체잔재 낙하 로 인한 피해가 우려되므로, 대비를 철저히 할 것.	- 성토체에 의한 하중이 건물에 작용하지 않도록 성토체는 건물 과 이격 시킬 것.	- 해체잔재 낙하로 인한 피해가 우려되 므로, 대비를 철저히 할 것. - 건물과 장비는 H(건물높이)/2 이상 이격 시 켜야 함.	- 반드시 구조안전성 검토할 것. - 건물 4면에 낙하물 방지망 설치할 것.
단점	- 지상의 작업공간 필요.	- 재건축 현장과 같이 성토체 조성공간과 장비작업 공간이 충분한 경우에 한해 적용가능.	- 지상의 작업공간 필요. - 비용 고가.	- 잭서포트 설치 등 구조물 보강 필요. - 공사기간이 김.



(a) 지상에서 해체

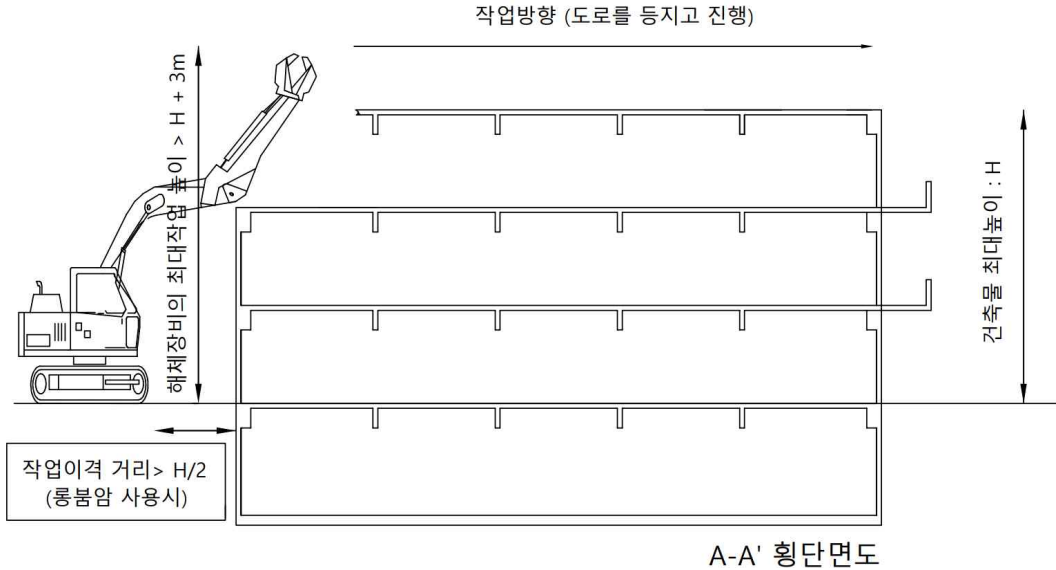
(b) 지상에서 성토하여 해체



(c) 지상에서 롱붐암으로 해체

(d) 장비 탑재하여 해체

[그림 2.12] 건축물 높이에 따른 해체 방식

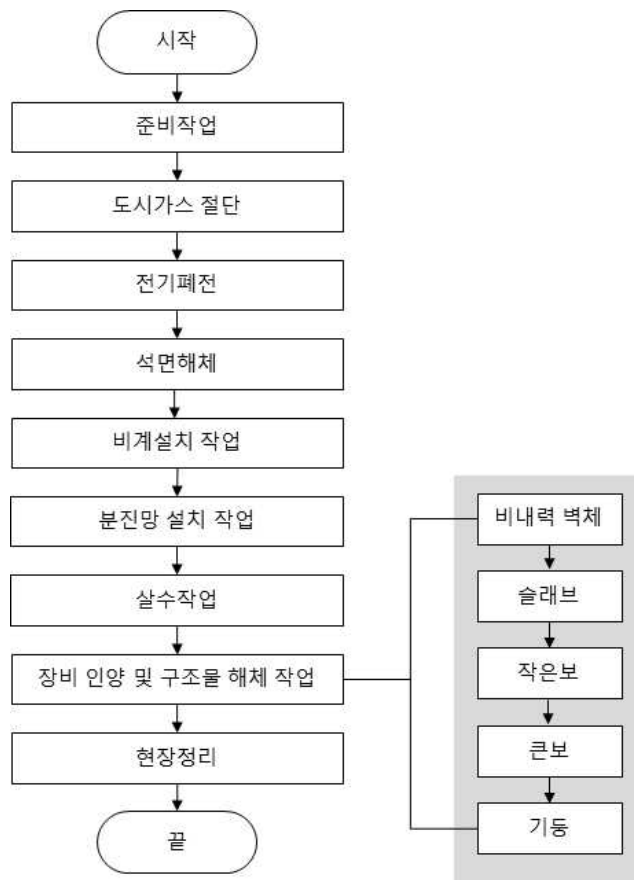


[그림 2.13] 해체장비 최대작업 높이

일반적인 지상층 해체 작업순서는 옥탑해체를 먼저 진행한 후, 비내력벽을 해체한다. 비내력벽을 해체할 때 상부에서부터 하부 쪽으로 진행하며, 한번에 해체하는 높이는 300mm 보다 작게 구획하여 진행할 것을 권장한다. 이후 캔틸레버 슬래브를 해체한 후, 캔틸레버 보를 해체한다. 캔틸레버 해체가 끝나면 주요구조부재 해체로 넘어간다. 슬래브 경간 중간에서부터 보쪽으로 진행하며 작은보를 해체할 때 해체 구속력이 손실되어 보의 구조적 안전성이 우려되는 경우에는 임시 버팀대로 지지하며 해체한다. 다음으로 큰보를 해체한다. 외부 보의 경우, 타이 와이어를 이용하여 건물 외부로 이탈하지 않도록 조치한 후 해체를 진행하며 보의 해체가 모두 마무리 된뒤 내력벽과 기둥 해체를 진행한다. 사전에 취약화를 진행한뒤 안전관리에 유의하며 기둥을 철선과 원치 등을 사용하여 내부쪽으로 끌어당겨 해체를 진행한다. 이러한 과정들을 총별로 하향하며 진행하며, 장비를 수직이동 할 시에는 이동식 크레인으로 이동할 것을 권장하고, 해체구획은 구조적 안전성을 고려하여 기둥열을 기준으로 설정하며 거더의 중심이 아닌 슬래브와 거더끝선을 경계로 구획한다. 잔재물의 경우 각 층 슬래브 위에 해체 잔재물이 높게 적재되지 않도록 하부로 낙하 시키는 작업을 반복하며, 지하층을 매워가며 진행한다.

지하층 해체 작업순서는 관계전문기술자(건축구조, 토질 및 기초분야)와 협력하

여 공사의 안전성을 검토한 후 진행하고, 해체 후 신축공사가 진행되는 경우, 지하층 굴토계획과 연계하여 검토하여야 한다. 우선 흙 또는 해체 잔재물을 이용하여 지하 구조물에 되메우기를 한다. 이후, 인접건물이 있는 경우 인접건물,지반 및 지하수위의 변화를 주의깊게 확인하면서 흙막이를 설치 한다. 되메우기 했던 흙 또는 해체잔재물을 제거하면서 1개층굴착을 진행하고, 지상층 해체순서와 동일하게 구조부재를 해체한다. 해체된 1개층 바닥구조물 높이에, 띠장 및 STRUT을 흙막이 구조물에 지지하여 설치한 후, 건물 평면의 중앙부에서부터 외벽쪽으로 기초를 해체한다. 지하층도 마찬가지로 위과정을 반복하면 해체를 완료한다. 기존 건축물의 흙막이를 그대로 이용하고자 하는 경우에는 토질 및 기초기술자의 확인이 반드시 필요하다. 지상층 해체와 연속하여 지하층을 해체할 시 해체잔재물을 되메우기 할 때 이용가능하며, 신축공사와 연계되어 지하층을 장기간 존치할 경우에는 양질의 토사로 되메우기 해야한다. 해체공사의 일반적 작업순서는 다음 [그림 2.14]와 같다.



[그림 2.14] 해체공사 작업순서

제3장 토털스테이션 성능검증

토털스테이션의 기본 원리가 되는 광파기란 전자파를 이용한 거리측정기이다. 광파기는 여러방면에서 활용되고 있다. 구조물의 유지관리를 위해 다양한 센서를 이용한 유지관리 방안은 꾸준히 제시되고 있다. 국내에서는 광파기, 레이저 변위계, 변형률계, 경사계 등 여러 계측기를 통해 구조물의 변위를 측정하고 있으며, 이를 통해 구조물의 거동을 관리하고 있다. 본 연구에서는 광파기를 활용한 실시간 구조물 변위 모니터링 목표하고, 실험을 통해 해체 건축물에 적용이 가능한지 사용성을 검증하고자 하였다.

제1절 계측기기 원리

1. EDM의 원리

1950년 최초로 광파기기가 상용화 되었고, 이후 정밀한 길이의 관측을 필요로 하는 여러 분야에서 널리 활용되고 있다. 광파기의 계측은 간단하게 말하면 관측지점의 반사 프리즘에 파가 반사되어야만 3차원 정보가 획득되는 원리이며 광원으로 부터 온 빛이 물체의 표면에서 다시 반사되어 광원으로 돌아오는 재귀반사의 원리를 이용한다. 반사프리즘에 관한 원리로서 빛의 속성인 투과, 반사, 흡수의 세가지 특성 중 반사의 원리를 이용한다. 반사란 물체에 아무런 영향을 주지 않고, 표면으로부터 빛이 되돌아오는 현상을 뜻한다. 반사의 종류에는 정반사, 난반사, 재귀반사로 구분할 수 있다. 정반사는 거울반사라고도 하며 매끈한 면을 경계로 빛이 일정하게 반사되는 현상으로서 물체의 표면에 30도 각도로 빛을 비추었다면 그 빛은 150도 각도로 반사하게 된다. 물체의 정면에서 빛을 비출 때만 광원으로 빛이 되돌아오게 된다. 난반사는 울퉁불퉁한 거친 면을 경계로 빛이 여러 방향으로 흩어져서 반사되는 현상을 말한다. 빛이 여러 방향으로 흩어져서 광원으로 돌아오는 빛의 양이 매우 적어 물체를 식별하기 어렵게 된다. 끝으로 측량용 프리즘에 응용되는 재귀반사는 광원으로부터 온 빛이 물체의 표면에서 반사되어 다시 광원으로 돌아가는 반사를 말한다. 어떠한 각도로 재귀반사 소재에 빛을 비추어도 그 광원의 방향을 빛을 반사한다. 광파기의 기본원리로서 전자파의 속도와 전자파가 두 점간을 진행한 시간을 안다면 두 점간의 거리를 알 수 있다. 전자파의 물리적 성질에 대해서 전자파의 전파속도와 파장과의 관계는 [식 3.1]로 표시된다. λ 는 전자파의 파장을 말하며, v 는 전자파의 전파속도, f 는 전자파의 주파수를 뜻한다.

$$V = f \times \lambda \quad [\text{식 3.1}]$$

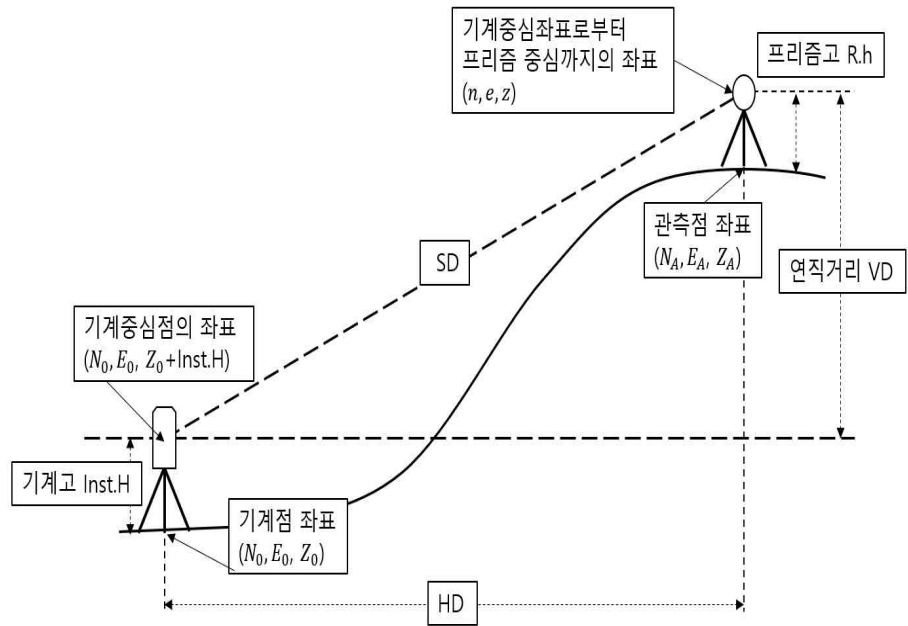
전자파거리측량기인 EDM은 광파기의 기본원리로서 EDM에 의한 측량방법의 대표적 예시로 광파거리측량기와 전파거리측량기가 있다. 초기의 EDM에서는 위상측정에 사용하는 각 주파수마다 하나하나 독립적으로 적용시켜 위상차를 측정하였으나 지금은 기계 자체에 내장된 컴퓨터에 의하여 순간적으로 계산되어 그 거리가 표시되어 나타난다. 현재 측량에서 사용되는 대부분의 EDM 기계에서는 위상차 방법을 사용하고 있다. 광파거리측정기는 수 m부터 수 Km까지의 단거리 측정용이 대부분이며 기준점 측량 및 일반적인 공사측량 등에 주로 사용된다. 광파를 이용한 EDM은 광파를 발생하는 광원, 광파변조기, 변조된 광파를 송신하고 수신하는 광학장치, 사진배율기, 읽음장치 등으로 구성되어 있다. 대부분의 광파 거리측정기에서는 적외선과 레이저를 매개전자파로 사용하고 있다. 이것은 이들 광선들이 쉽게 그리고 직접적으로 변조가 가능하며, 또 기계장치가 간단하기 때문이다. 적외선을 사용한 거리측정기는 관측거리가 비교적 짧으며 적외선을 생성하는 다이오드의 전력의 크기에 좌우된다. 반면에 레이저를 이용한 EDM은 상당히 먼 거리의 관측이 가능하다. 광파거리측정기를 사용하여 거리를 관측하기 위해서는 목표점에 반사경을 설치하여야 한다. 이때 반사경에 사용되는 프리즘의 수에 따라 관측되는 거리도 달라진다. 다시 말하면 1개의 프리즘을 사용할 때 보다 여러 개를 조합한 프리즘을 사용할 때가 최대거리를 관측할 수 있다는 것이다. 광파거리측정기는 전파거리 측정기처럼 굴절에 따른 큰 영향을 받지 않는다. 두 거리 관측에서는 굴절에 영향을 주는 온도, 습도, 기압등을 정밀히 측정할 필요가 없다. 그러나 안개, 비, 먼지 등에 의하여 시준이 불량할 때는 관측거리에 심각한 영향을 준다. 또한 바람의 영향으로 인하여 시준선이 흔들림 같은 영향도 발생한다. [표 3.1]은 EDM에 의한 측량 방법을 구분한 것이다.

[표 3.1] EDM에 의한 측량 방법

분류	광파거리측량기	전파거리측량기
정확도	$\pm(5mm + 5ppm \times D)$	$\pm(15mm + 5ppm \times D)$ 이내
최소 조작인원	1명(반사경이 놓여있는 경우)	2명(주·종국 각 1명)
관측가능 거리	약 10km~60km(원거리용) 약 1m~1km(근거리용)	약 100km~60km
조작시간	한 번당 10~20분	한 번당 20~30분
대표기종	Geodimeter	Tellurometer

2. 토털스테이션

본 연구에서는 측량기기로서 토털스테이션을 활용하여 연구를 진행하였다. 전자식 데오돌라이트가 가지고 있는 측각기능과 EDM이 가지고 있는 거리 측정기능을 동시에 가지고 있는 것을 토털스테이션(Total Station)이라 한다. 반사프리즘이 없이 무프리즘 측정하는 경우에도 대상물까지의 거리를 관측할 수 있는 장비로서, 펄스레이저를 사용하는 TOF 측정법과 위상변위 측정법으로 나눌 수 있다. 토털스테이션 측량은 마이크로컴퓨터의 조합에 의해 각과 거리를 동시에 관측하고 내장된 마이크로프로세서에 의하여 수평거리, 연직거리 등 필요한 사항들의 실시간 계산뿐만 아니라 모든 데이터는 자동적으로 기록되어 야장이 필요 없으며 주 컴퓨터 등 다른 주변장치와 연결되어 후속 작업을 할 수 있는 측량방법이다. 토털스테이션 측량은 전자파거리관측기와 각관측기인 데오돌라이트의 조합에 의한 각과 거리의 동시 관측과 소형 컴퓨터를 사용하며 3차원 좌표측량, 다각측량 등 여러 가지 응용측량 방법이 있다. 거리측정은 수평거리(HD), 연직거리(VD), 사거리(SD)를 자유로이 관측할 수 있으며 좌표점 및 표고의 관측이 가능하다. [그림 3.1]은 3차원 관측에 관한 측정원리이다. 토털스테이션의 각 측정 장치가 갖는 방법과 정밀도는 보통 초 단위로 되어 있으며 장비에 따라 0.5초까지 측정할 수 있는 정밀도를 가지고 있다. 토털스테이션에 의한 측량은 정밀을 필요로 하는 기준점 측량보다는 높은 정밀도를 필요로 하지는 않지만 공사측량과 같이 비교적 정밀하고 복잡하며 신속한 측량 등에 많이 활용된다. 거리측정장치는 보통의 전자파 거리측정기와 똑같이 적외선 또는 레이저광과 같은 광파를 매개 전자파로 사용하고 있다. 측정거리는 일반적으로 약 3~5km정도이며, 측정 정밀도는 제작회사 및 장비의 종류에 따라 다르며 $\pm(2+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$ 정도의 값을 갖는다. 시공현장에서 발생할 수 있는 위험요소를 미리 발견하고 대비하기 위해서는 현장에 대한 정확한 계측이 필요하다. 구조물이나 시설물의 정확한 위치를 결정하거나, 현황측량을 위해 각종 계측기나 사진측량 레이저스캔 등 여러 가지 방법을 사용하고 있으나 현재까지 시공현장에서 가장 많이 사용되는 것은 토털스테이션을 이용한 측량방법이다.



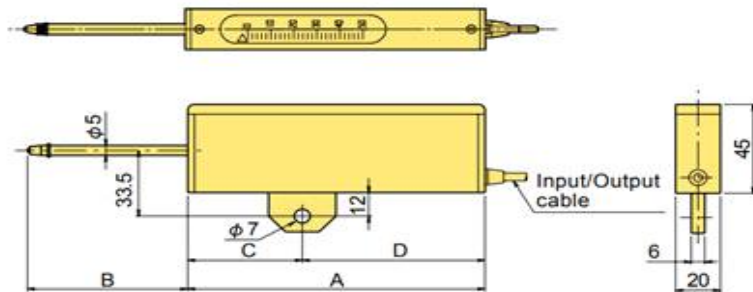
[그림 3.1] 토털스테이션 계측원리

제2절 계측기기 사용성 검증

거리측량이란 2점간의 거리를 직접 또는 간접으로 측량하는 것을 말한다. 측량에서 필요한 거리는 일반적으로 수평거리를 사용한다. 어떠한 것을 측량할 때 측량방법을 크게 2가지로 나누어 보면 직접거리 측량과 간접거리 측량이 있다. 직접거리 측량이란 말 그대로 자, 줄자 등을 이용하여 직접 거리를 측정하는 것을 말하며, 간접거리 측량은 각이나 거리 등을 이용한 기하학적 관계로 측정하고자 하는 거리를 측정하는 것을 말한다. 간접거리 측정의 대표적인 측량기기는 EDM, VLBI, GPS 등이 있다. 해당 광파기의 구조물 변위 계측 사용성을 검증하기 첫 번째로 대략적인 변위확인, 2번째로 건축물 변위 계측 가능성 검토, 마지막으로 고층 건축물에 적용가능성 등을 확인하기 위해 3번의 실험을 진행하였다. 실험의 비교값은 LVDT로 측정한 값을 참값으로 두었으며, 사용 LVDT 제원은 [그림 3.2~3], [표.3.2]에 나타내었다.

본 연구에서는 간접거리측량을 이용하며, 대표적인 EDM의 원리를 기반한 토털스테이션을 활용하였다. 사용한 장비는 T사의 S7 토털스테이션 이며, 이 장비는 프리즘 및 무프리즘을 같이 측정이 가능하며, 반사프리즘에 대한 오토트래킹이 가능

하다. [그림 3.4]은 본 검증실험에 사용된 장비이며, 관측 장비 제원은 [표 3.3]에 나타나 있다. 장비 제원 중 STD는 일반 거리측정을 의미하고, TRK는 Tracking으로 측량기가 계속적으로 거리를 측정하고 상태줄에 업데이트 하는 것을 말하며, 측설 및 연속 topo에 흔히 쓰인다. 해당실험에서는 TRK모드를 사용하였다. 해당 장비는 프리즘을 이용할 경우 최대 5500m까지 관측이 가능하다. [그림 3.5]는 사용된 반사 프리즘 이며, 동일회사의 제품을 사용하였다. 반사프리즘은 2가지 종류를 사용하였으며, 기지점에 설치하는 레퍼런스 프리즘과 계측 대상물에 부착하는 미니프리즘이 있다. 반사프리즘의 제원은[표 3.4]에 나타내었다.



[그림 3.2] 사용 LVDT

[표 3.2] LVDT 제원

TYPE	SDP-100C
Capacity	100mm
Sensitivity(xstrain)/mm	50
Spring force	5.9N
Frequency response	1Hz
Weight	350g



[그림 3.3] 동적변형을 측정기(STC-16NB)



[그림 3.4] 사용 토탈스테이션



(a) Large Monitoring Prism

(b) Small Monitoring Prism

[그림 3.5] 사용 반사프리즘

[표 3.3] 토털스테이션 제원

구분		1 “	2 “	3 “	5 “
거리측정	무타겟	1300m			
	반사지	2200m			
	프리즘	5500m			
	최소거리	0.2m			
정확도	프리즘 std.	$\pm(1+2ppm \times D)mm$			
	프리즘 trk.	$\pm(4+2ppm \times D)mm$			
	무타겟 std.	$\pm(2+2ppm \times D)mm$			
	무타겟 trk.	$\pm(4+2ppm \times D)mm$			
측정시간	프리즘 std.	1.2s			
	프리즘 trk.	0.4s			
	무타겟 std.	1.5s			
	무타겟 trk.	0.4s			
스캐닝	거리	1~250m			
	속도	15p/s			
	정확도	10mm(150m 거리)			
내구성	IP65				

[표 3.4] 반사프리즘 제원

구분	Large Monitoring Prism	Small Monitoring Prism
절대상수	-40mm	-17mm
높이	85mm	39mm

1. 기기 정확성 검증 실험

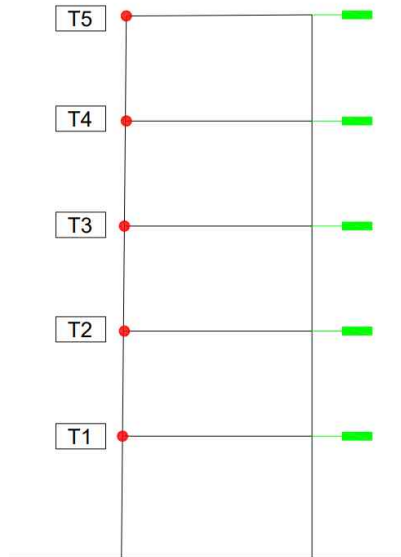
가. 실험개요

높이 1.8m, 길이 0.6m의 5층짜리 철제 앵글 각층 원편에 설치한 반사프리즘에 기계를 통한 일정한 압력을 가한 후 변위값을 각각 측정하여 결과값을 비교한다. 해당 토털스테이션으로 측정한 변위값과 LVDT로 측정한 변위값의 유사성 확인을 목적으로 한다. [그림 3.6]은 해당 실험에 사용된 앵글을 도식화한 것이다. 실험초기 세팅은 기지점인 레퍼런스 프리즘 2대(G1, G2)를 각각 측정장소 주변에 영향을 받지 않는 곳에 설치한 후, 5층부터 1층까지 철제앵글에 미니프리즘을 부착한다. 미

니 프리즘 이름은 5층부터 T5~T1으로 지정하였다. 앵글에 변위를 주기위해 설치된 철제 앵글 5층에 줄을 매달아 기계장치와 연결한 후, 토털스테이션 모니터링 프로그램과 기기를 연결한다. LVDT또한 각 층에 설치한 후 지속적인 변위를 주고, 층별 변위값을 비교한다.



(a) 실험사진

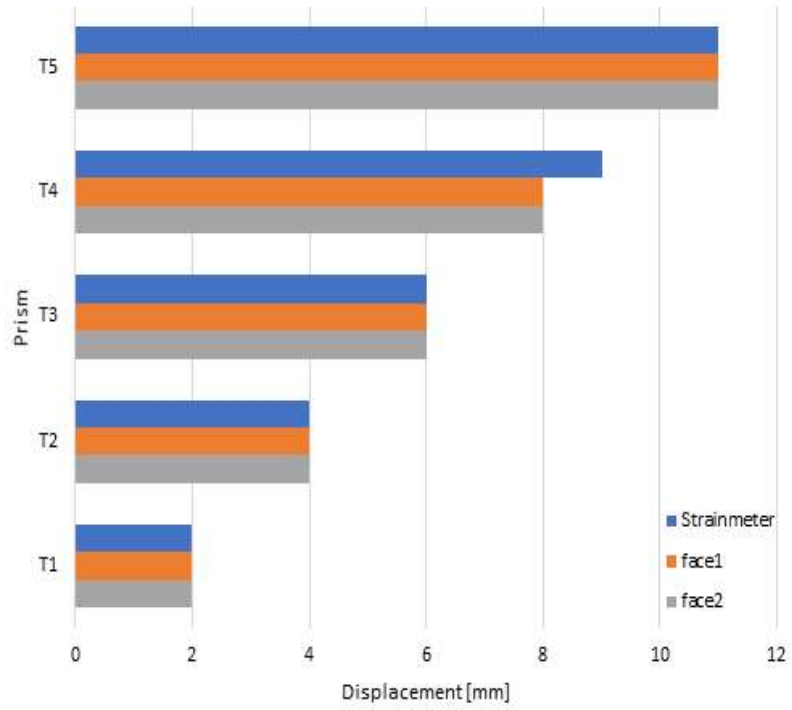


(b) 앵글 도식화

[그림 3.6] 기기 정확성 검증 실험

나. 실험결과

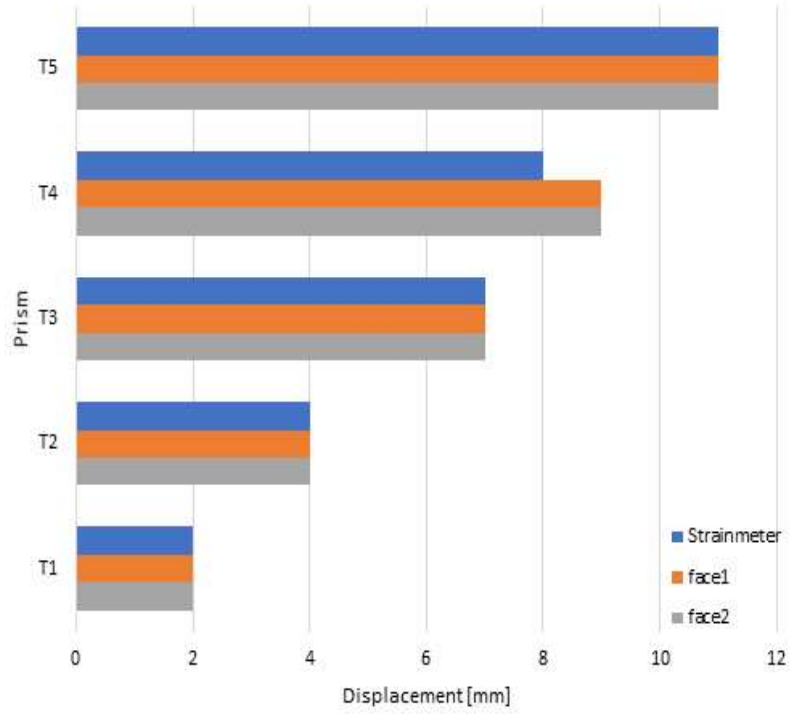
본 실험에서는 총 9번의 변위를 주었고, 해당 토털스테이션은 반사프리즘(측점)에 대해 7~9초 간격으로 순방향, 역방향 2회씩 관측하여 결과를 기록한다. 대상물에 대한 측정값과 LVDT로 측정한 측정값을 대략적으로 비교한 결과 기기제원상 오차인 $\pm(4+2ppm \times D)mm$ 내로 측정되었으며, 오차분포는 2mm 이내로 나타났다. dN(X축)값에서 설치된 토털스테이션을 기준으로 오른쪽으로 변위가 발생하면 +, 왼쪽으로 변위가 발생하면 - 값으로 기록되었고, dE(Y축)에 대해서는 기기를 기준으로 가까워 지면 -, 멀어지면 +값으로 기록되었다. dH(Z축)값은 하측으로 변위가 발생할시 -, 상측으로 변위가 발생할시 +값을 가졌다. [그림 3.7~15], [표 3.5~13]는 기계적 힘으로 당겼을때와 힘을 반대방향으로 풀었을 때 변위를 각각 비교한 그래프와 표이다. face 1은 기기의 순방향 측정값, face 2는 역방향 측정값이다.



[그림 3.7] Chart 1

[표 3.5] Chart 1 변위

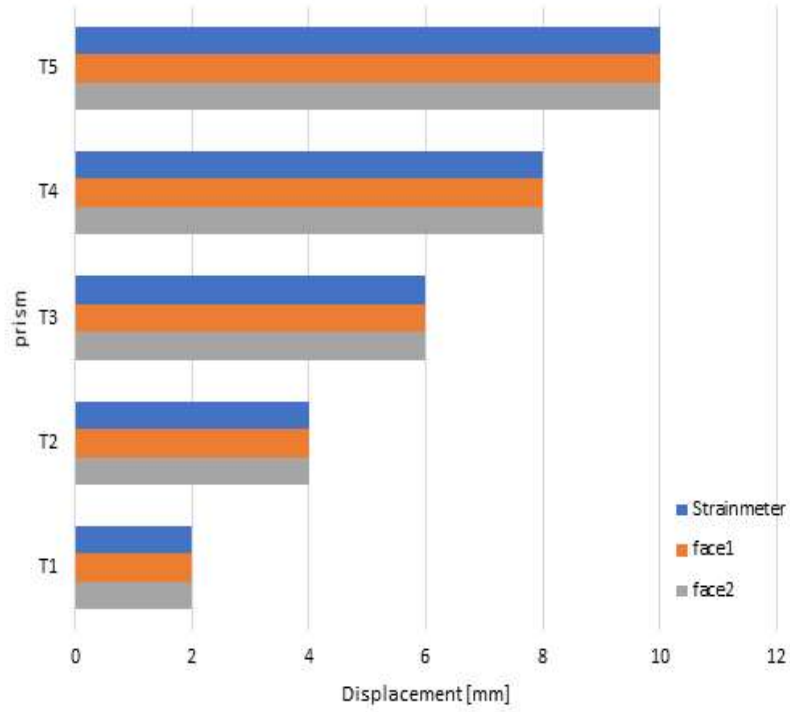
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	11	9	6	4	2
face 1	11	8	6	4	2
face 2	11	8	6	4	2



[그림 3.8] Chart 2

[표 3.6] Chart 2 변위

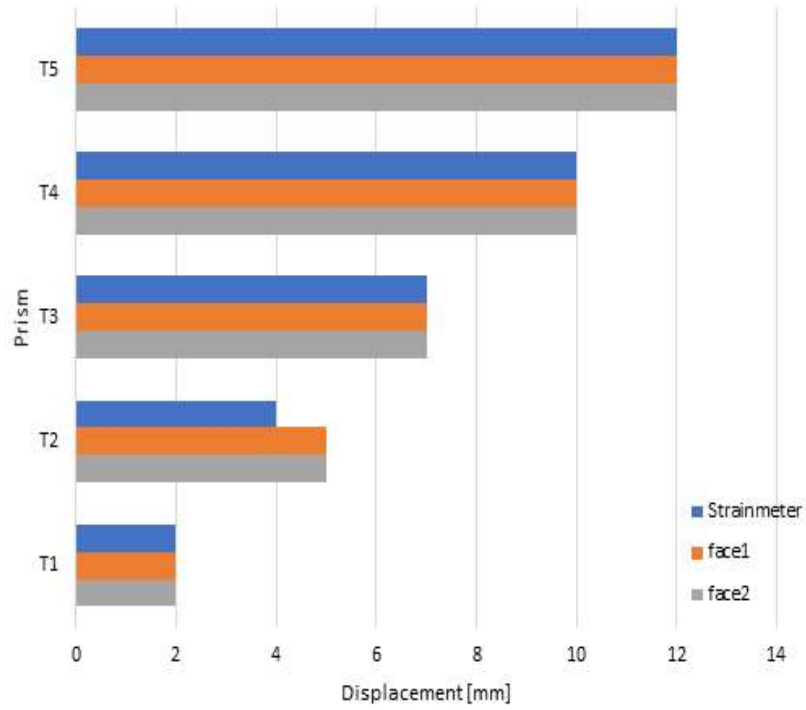
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	11	8	7	4	2
face 1	11	9	7	4	2
face 2	11	9	7	4	2



[그림 3.9] Chart 3

[표 3.7] Chart 3 변위

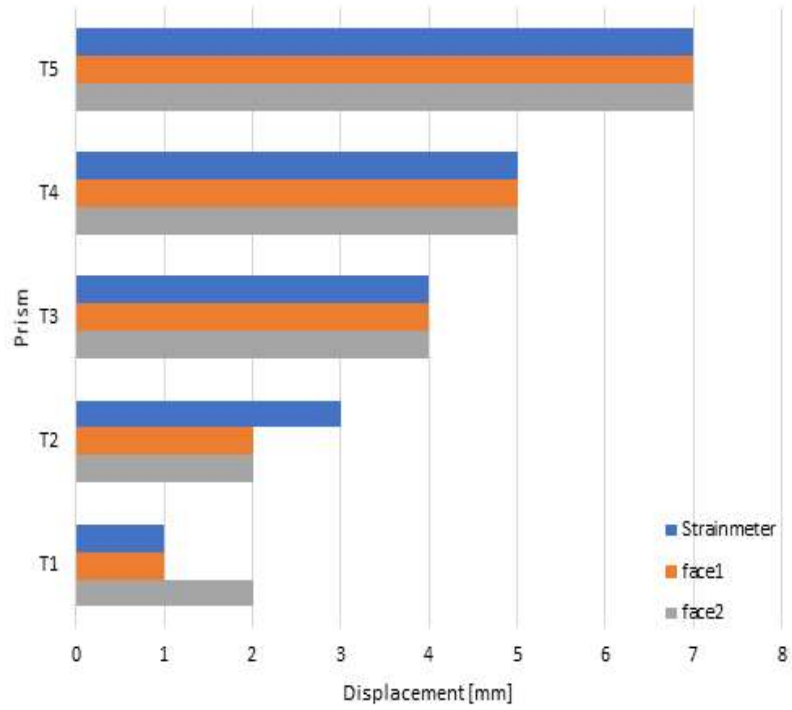
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	10	8	6	4	2
face 1	10	8	6	4	2
face 2	10	8	6	4	2



[그림 3.10] Chart 4

[표 3.8] Chart 4 변위

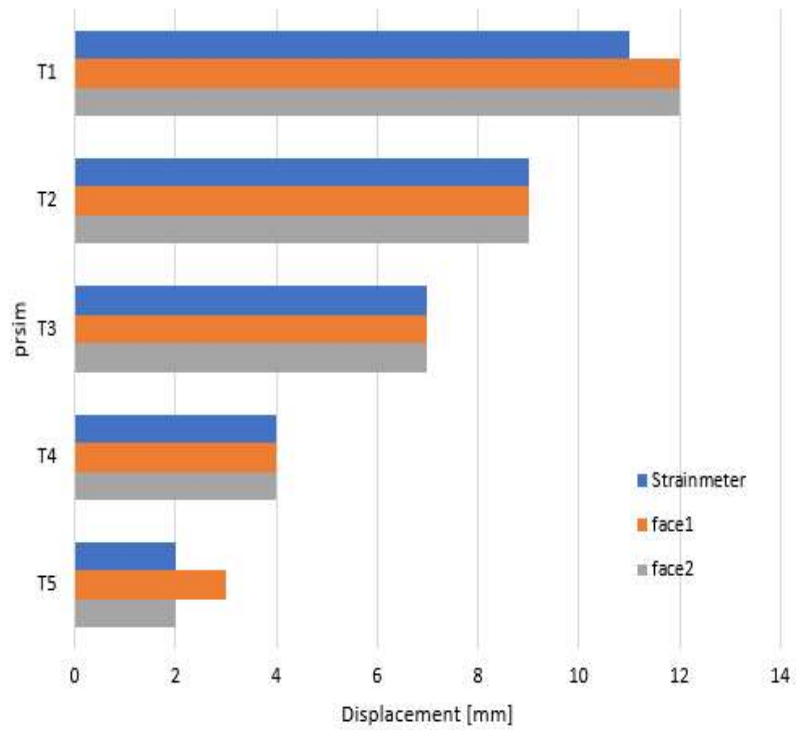
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	12	10	7	4	2
face 1	12	10	7	5	2
face 2	12	10	7	5	2



[그림 3.11] Chart 5

[표 3.9] Chart 5 변위

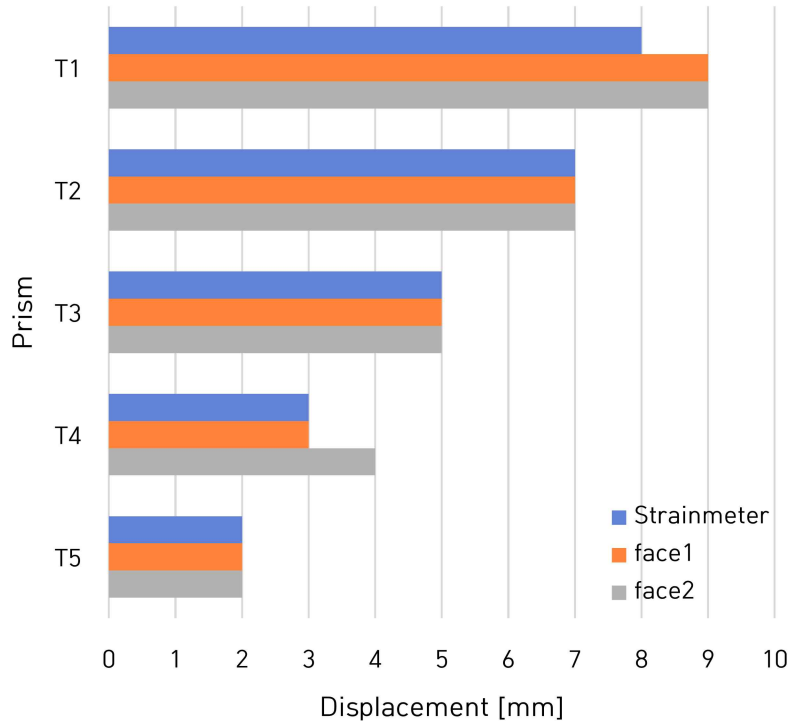
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	7	5	4	3	1
face 1	7	5	4	2	1
face 2	7	5	4	2	2



[그림 3.12] Chart 6

[표 3.10] Chart 6 변위

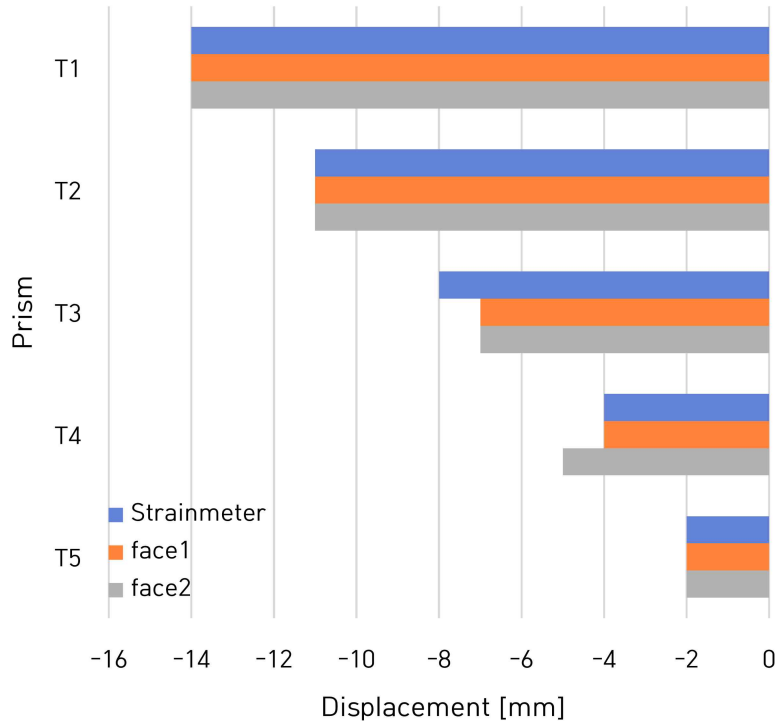
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	11	9	7	4	2
face 1	12	9	7	4	3
face 2	12	9	7	4	3



[그림 3.13] Chart 7

[표 3.11] Chart 7 변위

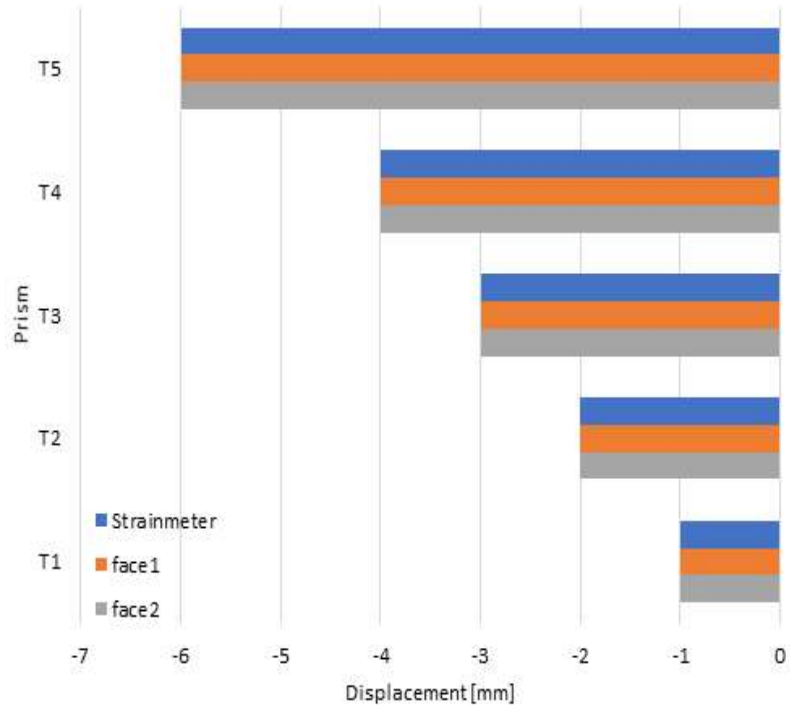
변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	8	7	5	3	2
순방향	9	7	5	3	2
역방향	9	7	5	4	2



[그림 3.14] Chart 8

[표 3.12] Chart 8 변위

변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	-14	-11	-8	-4	-2
순방향	-14	-11	-7	-4	-2
역방향	-14	-11	-8	-5	-2



[그림 3.15] Chart 9

[표 3.13] Chart 9 변위

변위[mm]	T5	T4	T3	T2	T1
LVDT	-6	-4	-3	-2	-1
순방향	-6	-4	-3	-2	-1
역방향	-6	-4	-3	-2	-1

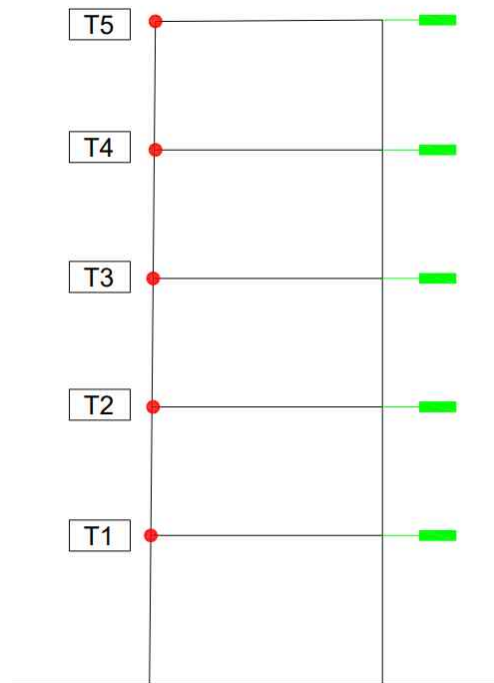
2. 건축물 변위 계측가능성 검토

가. 실험개요

위 실험과 동일한 5층짜리 철제 앵글 각층 원편에 설치한 반사프리즘에 기계를 통한 일정한 압력을 가한 후 변위값을 각각 측정하여 결과값을 비교한다. 해당 토털스테이션으로 측정한 변위값과 LVDT로 측정한 변위값을 더 정밀하게 비교하여 구조물 변위를 지속적으로 측정할 수 있는지 확인한다. 실험초기 세팅은 위 검증실험과 동일하다. 한 사이클 측정이 끝났을 때, 기기 위치를 철제앵글과 3m 정·측면, 45m, 70m 떨어진 위치에 설치하여, 거리별 수평변위 오차를 확인한다. 거리별 수직 변위를 측정하기 위하여, 1m 철제자 중앙에 프리즘을 설치하여 위와 동일하게 일정한 기계적 압력을 가하였다. 기기를 실험체와 2.5m, 5.5m, 9.5m 떨어진 위치에 설치하여 각각 거리별 수직변위 오차를 확인하였다. [그림 3.16~17]은 해당 실험 사진과 실험체를 도식화한 것이다.



(a) 실험 사진

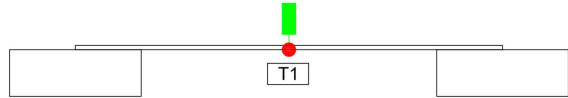


(b) 앵글 도식화

[그림 3.16] 수평변위 계측 실험



(a) 실험사진

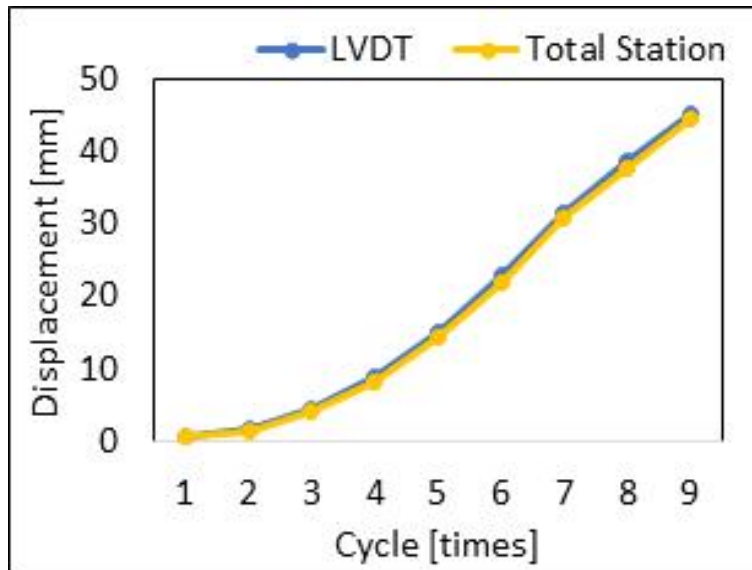


(b) 실험체 도식화

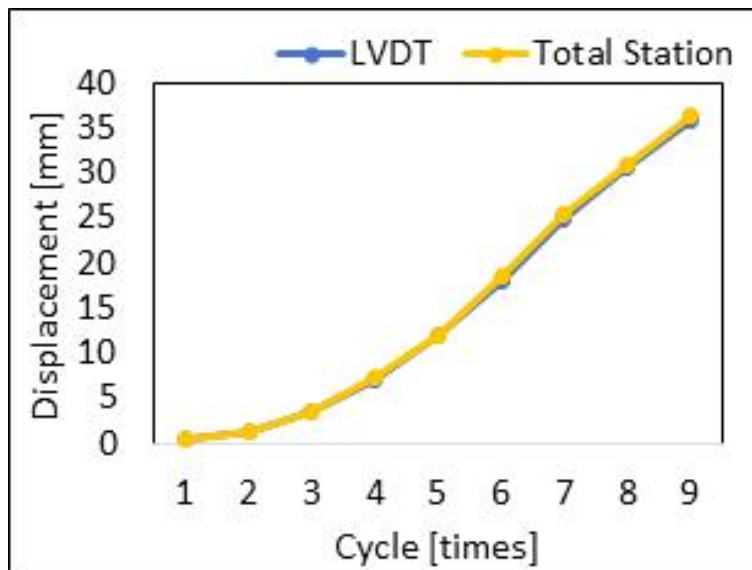
[그림 3.17] 구조물 수평변위 계측 실험

나. 실험결과

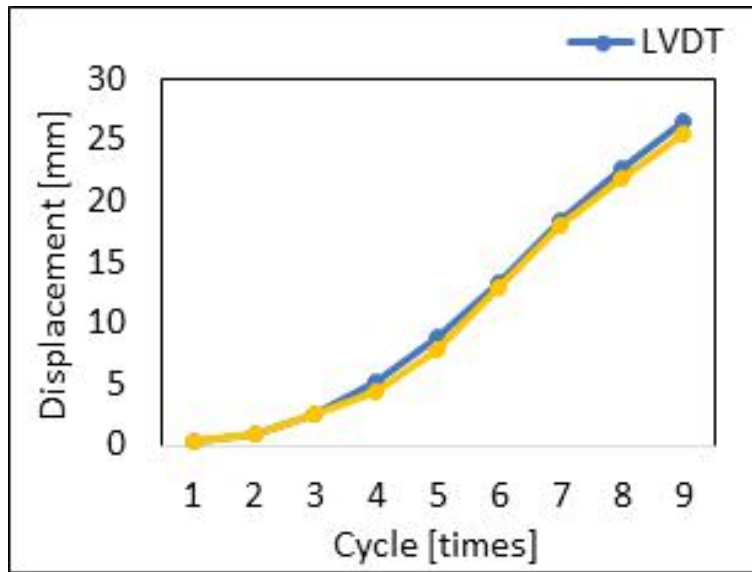
본 실험에서 수평변위를 계측은 총 9~10번의 변위를 주었고, 수직변위를 계측할 때는 5번의 변위를 주었다. 이전 실험보다 정확한 값을 획득하기 위해 토털스테이션에 입력된 데이터베이스 값을 SQL 프로그램을 통해 추출하여 비교하였다. 성능검정 실험에서의 face1, face2의 값은 기기자체에서 즉각적으로 전달되는 값이며, m 단위로 소숫점 셋째자리까지 표현되어 mm 단위로 환산하면 정수로 표현되지만, 데이터베이스의 저장된 값은 mm 단위로 환산하였을 때 소숫점 둘째자리까지 표현된다. 수평변위 계측 시 45m, 70m 거리에서 계측할 때 초기에 값이 측정되지 않는 오류를 발견하였다. 이 오류를 해결하기 위해 앵글 각층에 약 0.36m 간격으로 부착한 반사프리즘의 이격거리를 원인으로 생각하여, 상위층 T5 프리즘 한 개만 부착하고 재실험을 진행하였다. 재실험을 진행하였을 때 변위값이 들어오는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 계측하고자 하는 대상물과 기기가 일정거리 이상 멀어졌을 경우 반사프리즘간의 이격거리 확보가 필요하다는 것을 확인하였다. [그림 3.18~32], [표 3.14~ 27]은 수평변위, 수직변위 측정 결과값과 오차를 비교한 것이다.



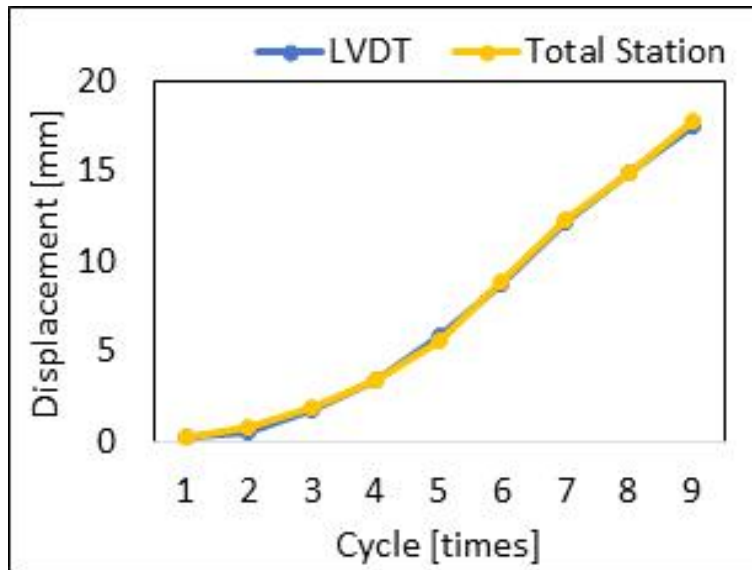
[그림 3.18] 3m 측정 T5 수평변위



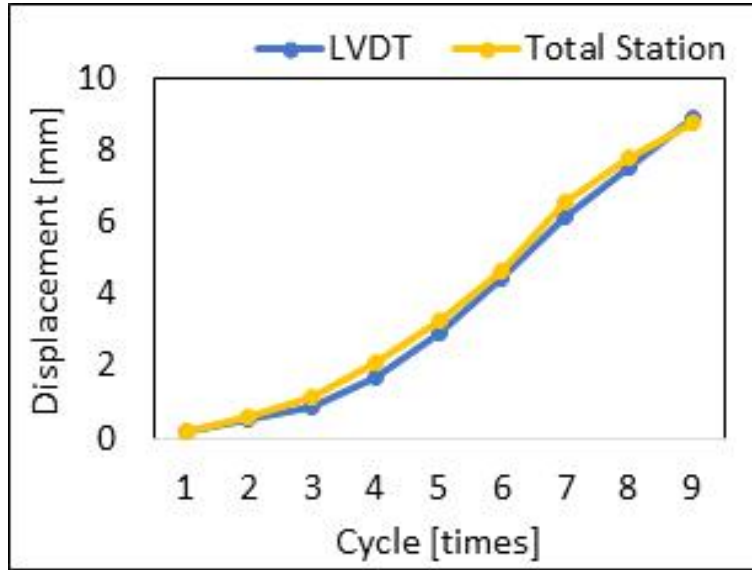
[그림 3.19] 3m 측정 T4 수평변위



[그림 3.20] 3m 측정 T3 수평변위



[그림 3.21] 3m 측정 T2 수평변위



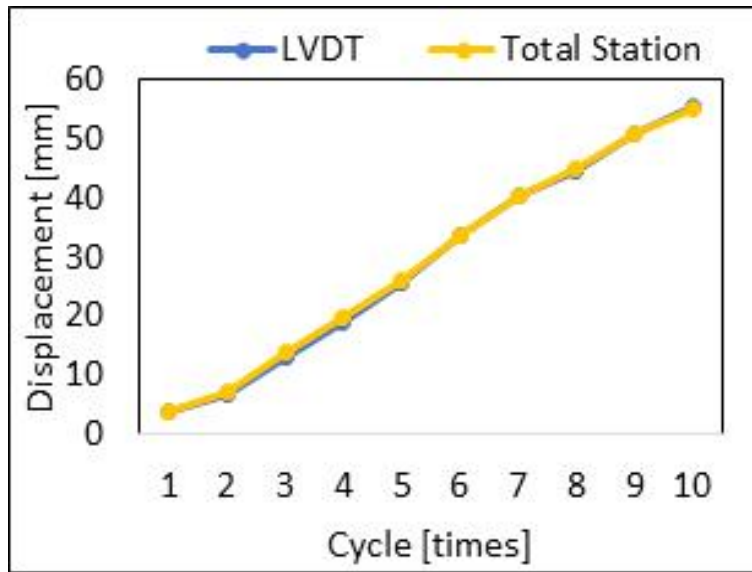
[그림 3.22] 3m 측정 T1 수평변위

[표 3.14] 3m 측정 LVDT 변위(mm)

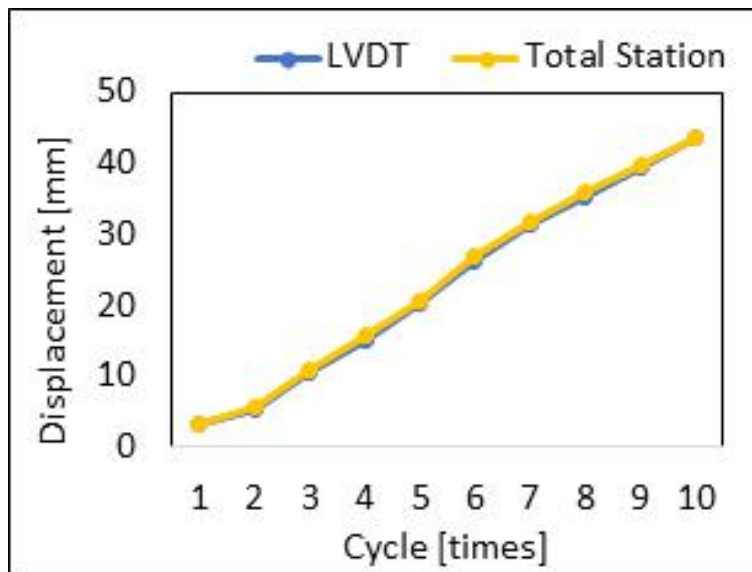
Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	0.5838	0.4758	0.3613	0.2066	0.2148
2	1.5726	1.2448	0.9045	0.5728	0.5369
3	4.429	3.5153	2.5891	1.6837	0.8984
4	8.8663	7.0493	5.1892	3.3804	1.7285
5	15.1468	12.0236	8.8757	5.7852	2.9553
6	22.7518	18.0844	13.3557	8.7759	4.4141
7	31.4981	24.9326	18.4583	12.2061	6.1536
8	38.5965	30.4623	22.5598	14.8795	7.5024
9	45.2982	35.6625	26.4966	17.5101	8.8635

[표 3.15] 3m 측정 토털스테이션 변위(mm)

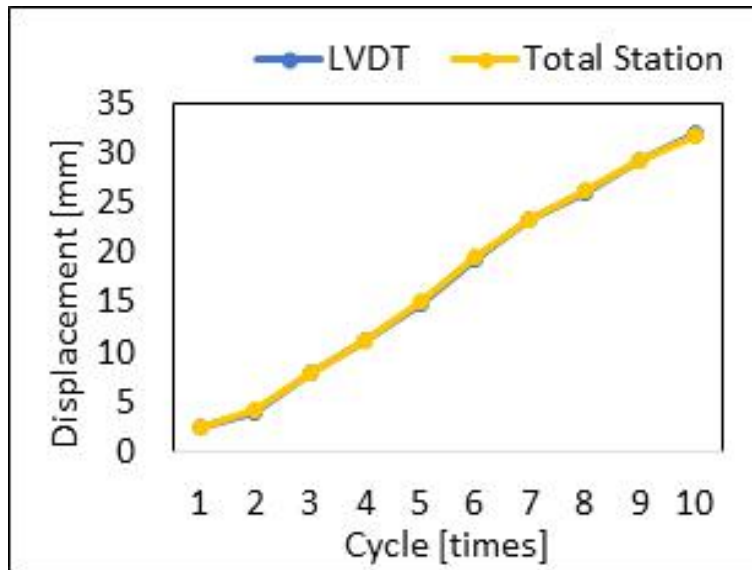
Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	0.54	0.47	0.4	0.23	0.19
2	1.45	1.17	0.94	0.75	0.61
3	4.24	3.49	2.53	1.87	1.18
4	8.1	7.45	4.37	3.35	2.12
5	14.44	12	7.88	5.59	3.25
6	21.96	18.51	12.95	8.93	4.67
7	30.62	25.3	17.97	12.34	6.55
8	37.47	30.94	21.84	14.93	7.76
9	44.34	36.35	25.51	17.72	8.77



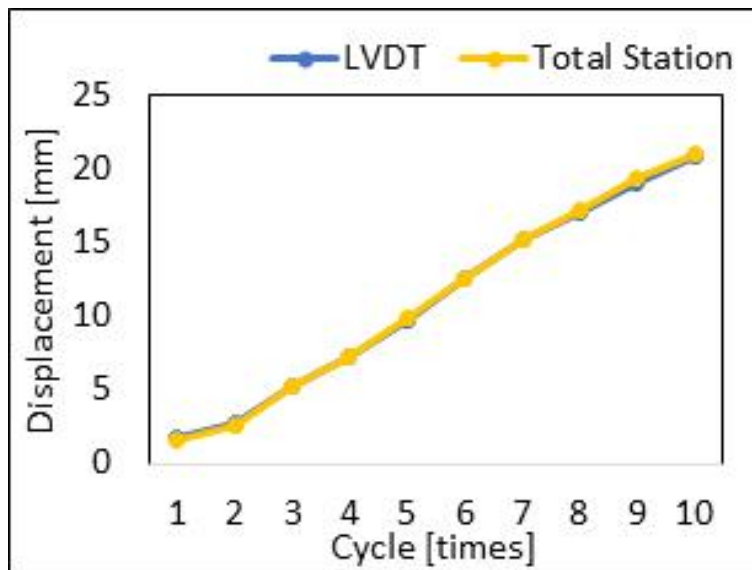
[그림 3.23] 3m 측면 측정 T5 수평변위



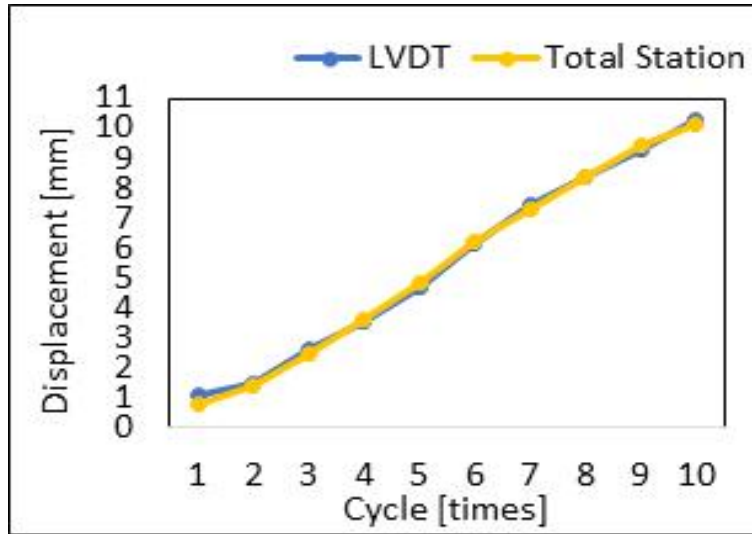
[그림 3.24] 3m 측면 측정 T4 수평변위



[그림 3.25] 3m 측면 측정 T3 수평변위



[그림 3.26] 3m 측면 측정 T2 수평변위



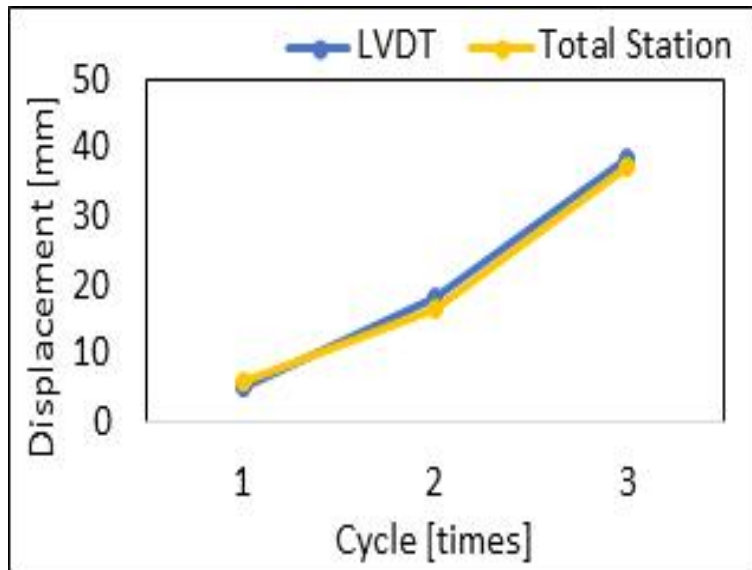
[그림 3.27] 3m 측면 측정 T1 수평변위

[표 3.16] 3m 측면 측정 LVDT 변위(mm)

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	3.9801	3.2755	2.47501	1.731	1.0733
2	6.6717	5.3751	4.03751	2.6954	1.4822
3	13.3185	10.6119	7.84611	5.1917	2.5869
4	19.19	15.1407	11.14201	7.3218	3.5574
5	25.6048	20.3287	14.93841	9.7266	4.6743
6	33.4173	26.182	19.32071	12.638	6.1392
7	40.1007	31.4982	23.19651	15.1954	7.4209
8	44.6783	35.0992	25.93081	16.9959	8.3242
9	50.5377	39.4755	29.15351	19.0284	9.313
10	55.2923	43.5831	32.07101	20.9632	10.2896

[표 3.17] 3m 측면 측정 토털스테이션 변위(mm)

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	4.07	3.3	2.5	1.56	0.77
2	7.48	5.8	4.17	2.62	1.36
3	13.9	10.87	7.85	5.29	2.5
4	19.62	15.7	11.25	7.23	3.65
5	26.24	20.7	15.15	9.84	4.84
6	33.71	26.74	19.58	12.65	6.19
7	40.19	31.82	23.33	15.26	7.29
8	45.05	35.77	26.19	17.25	8.34
9	50.78	39.88	29.16	19.36	9.46
10	55.06	43.58	31.64	21.11	10.12



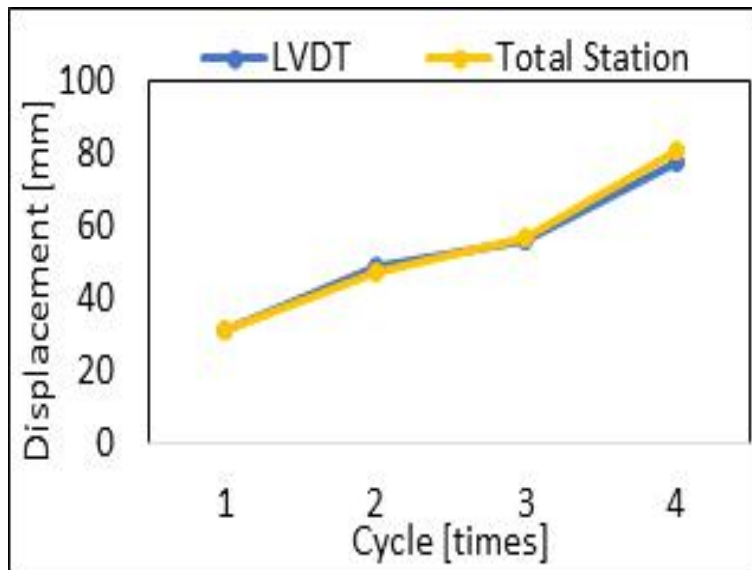
[그림 3.28] 45m 측정 T5 수평변위

[표 3.18] 45m 측정 LVDT 변위(mm)

Cycle	T5
1	5.17
2	18.08
3	38.52

[표 3.19] 45m 측정 토털스테이션 변위(mm)

Cycle	T5
1	5.77
2	16.69
3	37.38



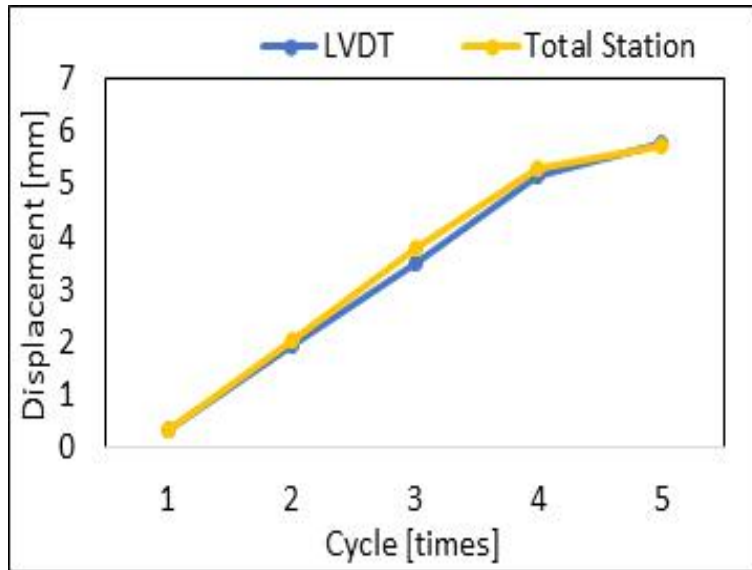
[그림 3.29] 70m 측정 T5 수평변위

[표 3.20] 70m 측정 LVDT 변위(mm)

Cycle	T5
1	31.26
2	49.33
3	56.62
4	78.23

[표 3.21] 70m 측정 토털스테이션 변위(mm)

Cycle	T5
1	31.11
2	47.71
3	57.02
4	81.31



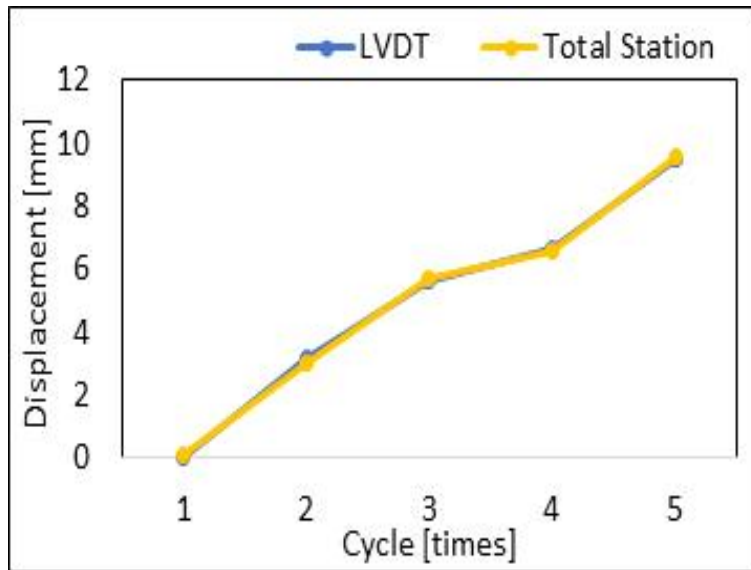
[그림 3.30] 2.5m 측정 T5 수직변위

[표 3.22] 2.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	0.3622
2	1.9764
3	3.5273
4	5.1793
5	5.7654

[표 3.23] 2.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	0.33
2	2.03
3	3.78
4	5.28
5	5.75



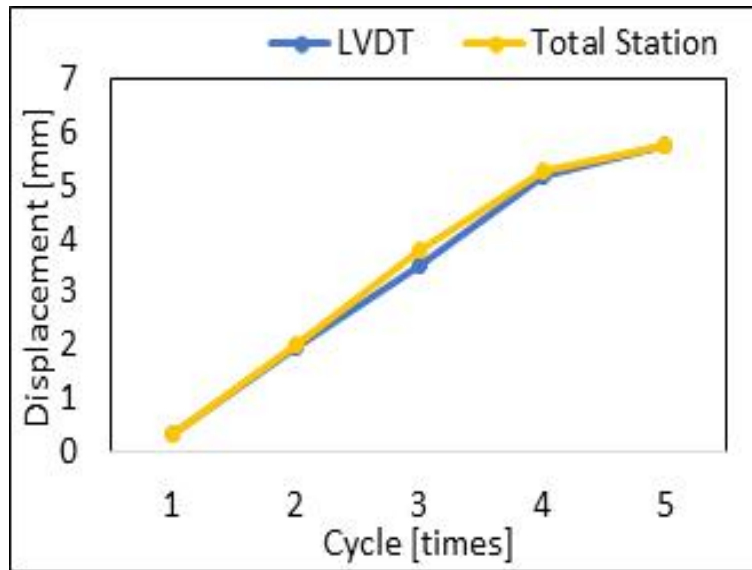
[그림 3.31] 5.5m 측정 T5 수직변위

[표 3.24] 5.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	0.0491
2	3.1513
3	5.6731
4	6.6425
5	9.4847

[표 3.25] 5.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	0.07
2	3.04
3	5.74
4	6.58
5	9.57



[그림 3.32] 9.5m 측정 T5 수직변위

[표 3.26] 9.5m 측정 LVDT 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	0.9541
2	2.4312
3	5.1034
4	5.4027
5	6.8768

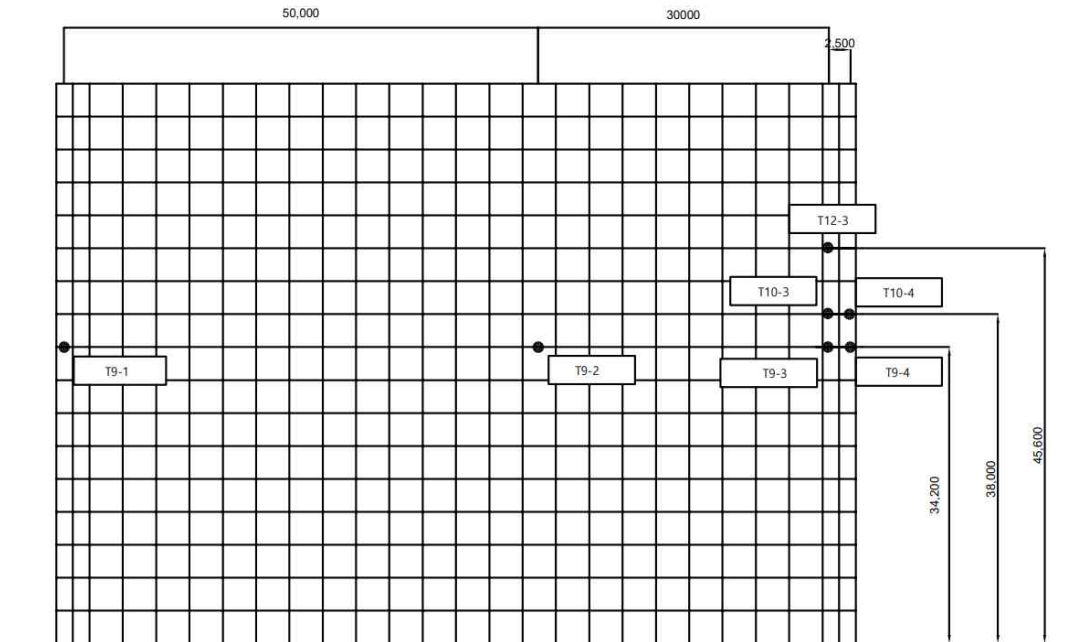
[표 3.27] 9.5m 측정 토털스테이션 수직변위(mm)

Cycle	T5
1	1.02
2	2.62
3	5.4
4	5.67
5	6.93

3. 고층 건축물 적용 검토

가. 실험개요

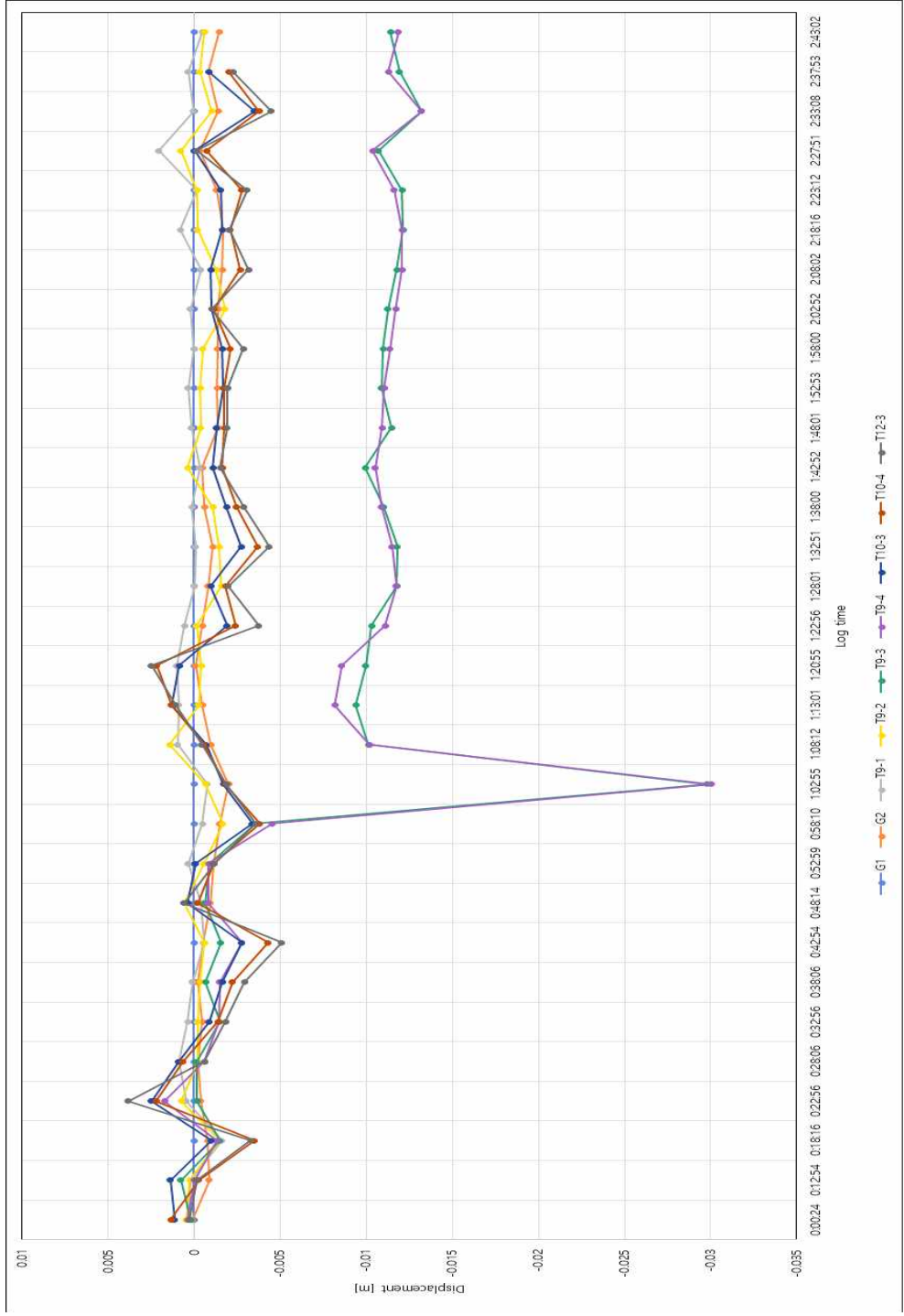
본 실험은 토털스테이션을 통해 고층 건축물 변위진단이 가능한지에 대하여 성능을 평가하기 위해 진행하였다. 실험은 조선대학교 공과대학 1호관에서 진행하였고, 계측대상과 200m 떨어진 곳에 기기를 설치하였다. 반사프리즘은 9층에 4개소 10층에 2개소 12층에 1개소로 총 7개 프리즘을 부착하였다. [그림 3.33]은 프리즘 설치 위치를 도식화한 것이다. 기기를 세팅한 후 T9-3 프리즘을 기기기준 X축 방향으로 1cm, Y축 방향으로 5cm 변위를 주어 그 계측 변위를 확인하였다. 또한 실시간으로 설정 변위에 관한 알람이 오는지 확인하였다. 알람기능은 해당 토털스테이션 모니터링 프로그램에 포함된 이메일 알람 기능을 사용하였다.



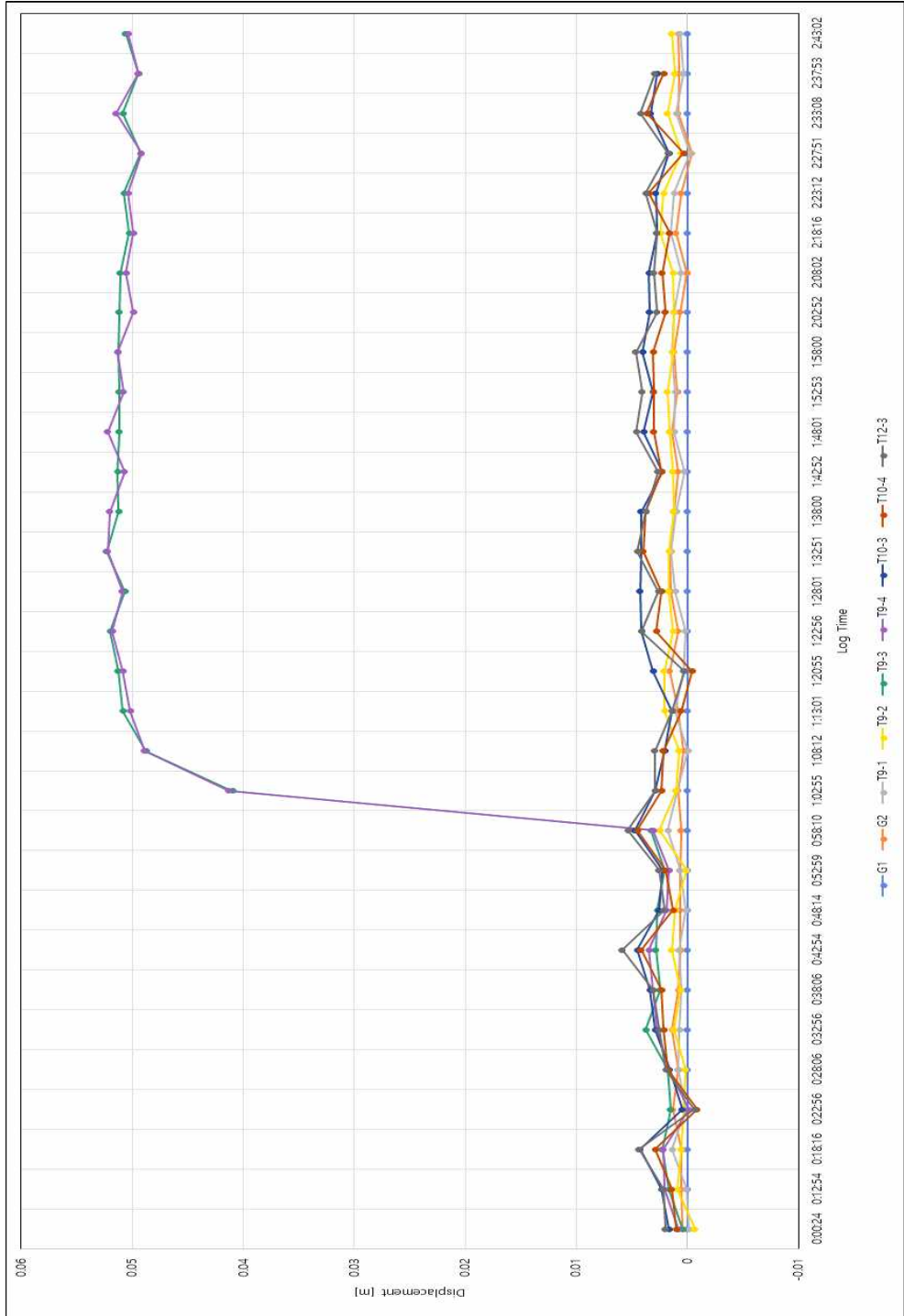
[그림 3.33] 공과대학 1호관 프리즘 설치 위치

나. 실험결과

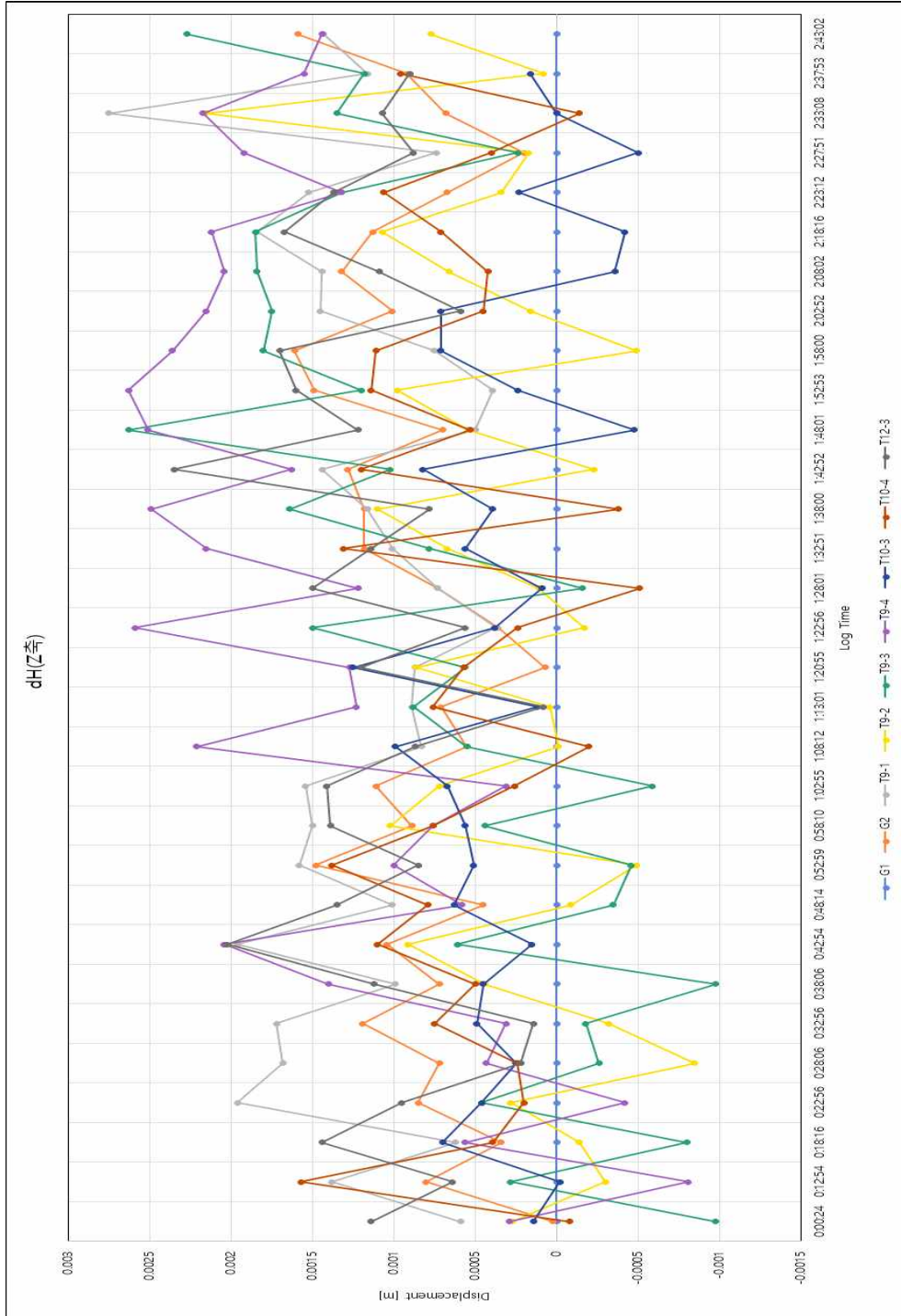
계측값을 분석한 결과 출력되는 변위값의 좌표는 계측기기의 좌표 기준으로 X 축, Y 축, Z 축을 지정한다. 측정된 T9-3 프리즘과 T9-4 프리즘이 동일한 프리즘으로 인식되었고, T10-3, T10-4 프리즘의 경우 T12-3 프리즘과 동일한 프리즘으로 인식되었다. T9-3, T10-4 프리즘을 인위적으로 가린 후 재촬영하였을 때 T9-3, T10-4 프리즘이 좌표값이 올바르게 잡히는 것을 확인하였다. 프리즘 사이의 충분한 이격거리 미확보로 인해 생긴 오류임을 본 실험에서 증명하였고, 이를 근거로 기기와 프리즘 사이의 직선거리와 프리즘사이의 이격거리 관계를 계산하였다. T9-3프리즘과 T9-4 프리즘의 거리가 2.5~3m 정도 떨어져 있었고, 한 층의 높이는 3.8m~4m 정도이다. 해당 계측에 있어서 기계와 프리즘 간의 직선거리가 약 200m 정도일 때 프리즘의 이격거리를 최소 4m 이상으로 확보하여야 개별의 프리즘으로 인식하는 것을 확인하였다. 보수적으로 이격거리를 계산하여보면 1m 당 0.2m 이상의 이격거리가 확보 되어야 대형 구조물 등의 측정에 누락되는 프리즘 없이 계측될 것으로 사료된다. 알람기능의 경우 임계값을 5cm로 설정한 후 인위적으로 이동시켰을 때 알람이 들어오기까지의 시간은 2분정도 소요되었다. 한 개의 프리즘 자체를 측정하는 시간은 약 15초 가량으로 모든 프리즘 측정이 끝난 후 값이 들어오는 시간이 2분가량인 것으로 보아 모든 프리즘의 측정이 끝난 후 알람이 오는 것으로 판단된다. 더욱 즉각적인 알림을 받기 위해서는 사전에 구조해석을 통해 해체 건축물의 취약부재를 우선적으로 하여 소요되는 프리즘 개수를 최소화하여야 할 것으로 보인다. 관측결과는 [그림 3.34~36], [표 3.28~30]에 나타내었다.



[그림 3.34] dN(x축) 변위 그래프



[그림 3.35] dE(Y축) 변위 그래프



[그림 3.36] dH(Z축) 변위 그래프

[표 3.28] 공과대학 계측 dN(X축) 변위(mm)

Log Time	T9-1	T9-2	T9-3	T9-4	T10-3	T10-4	T12-3
2023-04-07 11:00:24	0.36	0.47	0.2	0.37	1.15	1.36	0.28
2023-04-07 11:12:54	0.21	0.25	0.79	-0.03	1.39	-0.26	-0.15
2023-04-07 11:18:16	-1.59	-1.48	-1.47	-1.34	-1	-3.49	-3.29
2023-04-07 11:22:56	0.46	0.73	-0.17	1.72	2.47	2.21	3.84
2023-04-07 11:28:06	0.91	-0.21	-0.15	-0.61	0.9	0.66	-0.59
2023-04-07 11:32:56	0.39	-0.19	-1.48	-1.42	-0.88	-1.38	-1.82
2023-04-07 11:38:06	0.1	-0.34	-0.67	-1.47	-1.64	-2.22	-2.92
2023-04-07 11:42:54	-0.58	-0.59	-1.53	-2.77	-2.78	-4.28	-5.09
2023-04-07 11:48:14	-0.42	0.55	-0.64	-0.82	0.39	-0.2	0.58
2023-04-07 11:52:59	0.36	-0.57	-0.89	-0.85	-0.09	-1.13	-1.19
2023-04-07 11:58:10	-0.47	-1.67	-3.55	-4.52	-3.36	-3.79	-3.59
2023-04-07 12:02:55	-0.76	-0.65	-29.76	-30.06	-1.69	-1.81	-1.89
2023-04-07 12:08:12	0.97	1.43	-10.13	-10.19	-0.69	-0.57	-0.45
2023-04-07 12:13:01	0.91	-0.25	-9.38	-8.18	1.29	1.34	1.08
2023-04-07 12:20:55	1.03	-0.43	-9.98	-8.56	0.88	2.19	2.48
2023-04-07 12:22:56	0.55	-0.15	-10.31	-11.11	-1.92	-2.39	-3.74
2023-04-07 12:28:01	-0.02	-1.57	-11.76	-11.75	-0.97	-1.81	-1.98
2023-04-07 12:32:51	-0.09	-1.45	-11.81	-11.49	-2.72	-3.69	-4.36
2023-04-07 12:38:00	0.14	-1.09	-11.01	-10.88	-1.89	-2.47	-2.88
2023-04-07 12:42:52	-0.33	0.37	-9.94	-10.52	-1.08	-1.65	-1.52
2023-04-07 12:48:01	0.17	-0.37	-11.47	-10.91	-1.3	-1.75	-1.9
2023-04-07 12:52:53	0.34	-0.35	-10.87	-11.04	-1.7	-1.77	-1.95
2023-04-07 12:58:00	0.01	-0.51	-10.96	-11.36	-1.63	-2.09	-2.85
2023-04-07 13:02:52	0.23	-1.78	-11.26	-11.7	-1.01	-1.15	-1.03
2023-04-07 13:08:02	-0.38	-1.27	-11.77	-12.06	-0.97	-2.66	-3.15
2023-04-07 13:18:16	0.81	-0.21	-12.12	-12.06	-1.64	-2.08	-2.02
2023-04-07 13:23:12	-0.14	-0.16	-12.06	-11.63	-1.53	-2.77	-3.07
2023-04-07 13:27:51	2.06	0.77	-10.71	-10.36	-0.03	-0.71	-0.14
2023-04-07 13:33:08	0.04	-1.03	-13.19	-13.2	-3.5	-3.78	-4.46
2023-04-07 13:37:53	0.35	-0.32	-11.92	-11.28	-0.85	-2	-2.26

[표 3.29] 공과대학 계측 dE(Y축) 변위(mm)

Log Time	T9-1	T9-2	T9-3	T9-4	T10-3	T10-4	T12-3
2023-04-07 11:00:24	-0.15	-0.67	0.42	0.82	1.64	1.01	2
2023-04-07 11:12:54	0.07	0.88	1.68	2.09	2.32	1.42	2.18
2023-04-07 11:18:16	1.37	0.59	2.27	2.2	4.26	2.9	4.38
2023-04-07 11:22:56	0.16	0.39	1.52	-0.09	0.48	-0.85	-0.62
2023-04-07 11:28:06	0.87	0.18	1.75	1.69	1.59	1.76	1.92
2023-04-07 11:32:56	0.69	1.23	3.74	2.75	2.89	2.15	2.54
2023-04-07 11:38:06	0.59	0.6	2.48	3.12	3.37	2.33	3.07
2023-04-07 11:42:54	0.76	1.44	2.84	3.45	4.5	4.19	5.88
2023-04-07 11:48:14	0.13	1.11	2.72	1.9	2.54	1.28	2.1
2023-04-07 11:52:59	0.68	0.08	2.04	1.65	2.24	2	2.57
2023-04-07 11:58:10	1.76	2.5	3.25	3.08	4.74	4.5	5.34
2023-04-07 12:02:55	0.97	1.05	40.98	41.3	2.89	2.34	2.89
2023-04-07 12:08:12	-0.07	0.75	48.76	48.92	2.04	2.16	2.93
2023-04-07 12:13:01	1.15	2.04	50.84	50.19	1.36	0.57	1.36
2023-04-07 12:20:55	0.37	2.07	51.27	50.86	3.06	-0.45	0.29
2023-04-07 12:22:56	0.19	1.26	51.97	51.77	4.13	2.79	4.13
2023-04-07 12:28:01	1.09	1.72	50.65	50.88	4.29	2.33	2.59
2023-04-07 12:32:51	1.48	1.64	52.31	52.22	4.14	3.97	4.53
2023-04-07 12:38:00	1.01	1.22	51.24	52.02	4.17	3.76	3.75
2023-04-07 12:42:52	0.3	1.31	51.31	50.7	2.26	2.3	2.65
2023-04-07 12:48:01	1.16	1.61	51.18	52.2	3.95	3.04	4.59
2023-04-07 12:52:53	1.08	1.79	51.18	50.78	3.09	3.02	4.1
2023-04-07 12:58:00	1.38	1.32	51.29	51.3	4.02	3.1	4.64
2023-04-07 13:02:52	1.18	1.22	51.18	49.87	3.4	1.98	2.74
2023-04-07 13:08:02	0.55	1.26	51.07	50.55	3.44	2.28	3.05
2023-04-07 13:18:16	1.53	2.41	50.28	49.91	2.73	1.63	2.76
2023-04-07 13:23:12	1.19	2.11	50.77	50.37	2.85	3.45	3.77
2023-04-07 13:27:51	-0.23	0.59	49.22	49.17	1.67	0.31	1.77
2023-04-07 13:33:08	0.98	1.79	50.84	51.47	3.32	3.66	4.22
2023-04-07 13:37:53	0.4	1.13	49.43	49.47	2.71	2.14	2.93

[표 3.30] 공과대학 계측 dH(Z축) 변위(mm)

Log Time	T9-1	T9-2	T9-3	T9-4	T10-3	T10-4	T12-3
2023-04-07 11:00:24	0.59	0.27	-0.98	0.29	0.14	-0.08	1.14
2023-04-07 11:12:54	1.38	-0.3	0.28	-0.81	-0.02	1.57	0.64
2023-04-07 11:18:16	0.62	-0.14	-0.8	0.56	0.7	0.39	1.44
2023-04-07 11:22:56	1.96	0.28	0.46	-0.42	0.46	0.2	0.95
2023-04-07 11:28:06	1.68	-0.85	-0.26	0.43	0.25	0.24	0.22
2023-04-07 11:32:56	1.72	-0.32	-0.18	0.31	0.49	0.75	0.14
2023-04-07 11:38:06	0.99	0.44	-0.98	1.4	0.45	0.5	1.12
2023-04-07 11:42:54	1.96	0.91	0.61	2.04	0.15	1.1	2.02
2023-04-07 11:48:14	1.01	-0.09	-0.35	0.58	0.63	0.79	1.35
2023-04-07 11:52:59	1.58	-0.49	-0.46	1	0.51	1.38	0.85
2023-04-07 11:58:10	1.5	1.02	0.44	0.76	0.56	0.76	1.39
2023-04-07 12:02:55	1.54	0.72	-0.59	0.31	0.67	0.26	1.41
2023-04-07 12:08:12	0.83	-0.01	0.55	2.21	0.99	-0.2	0.87
2023-04-07 12:13:01	0.89	0.04	0.88	1.23	0.12	0.76	0.08
2023-04-07 12:20:55	0.87	0.86	0.56	1.27	1.25	0.57	1.2
2023-04-07 12:22:56	0.37	-0.17	1.5	2.59	0.38	0.24	0.56
2023-04-07 12:28:01	0.73	0.11	-0.16	1.22	0.09	-0.51	1.5
2023-04-07 12:32:51	1.01	0.67	0.78	2.15	0.56	1.31	1.14
2023-04-07 12:38:00	1.16	1.1	1.64	2.49	0.39	-0.38	0.78
2023-04-07 12:42:52	1.44	-0.23	1.02	1.63	0.82	1.2	2.35
2023-04-07 12:48:01	0.5	0.54	2.63	2.51	-0.48	0.53	1.22
2023-04-07 12:52:53	0.39	0.98	1.2	2.63	0.24	1.14	1.6
2023-04-07 12:58:00	0.75	-0.49	1.8	2.36	0.71	1.11	1.7
2023-04-07 13:02:52	1.45	0.16	1.75	2.15	0.71	0.45	0.59
2023-04-07 13:08:02	1.44	0.66	1.84	2.04	-0.36	0.42	1.09
2023-04-07 13:18:16	1.84	1.07	1.85	2.12	-0.42	0.71	1.67
2023-04-07 13:23:12	1.52	0.34	1.32	1.32	0.23	1.06	1.37
2023-04-07 13:27:51	0.74	0.17	0.24	1.92	-0.5	0.4	0.88
2023-04-07 13:33:08	2.75	2.15	1.35	2.17	0	-0.14	1.07
2023-04-07 13:37:53	1.16	0.08	1.18	1.55	0.16	0.96	0.9

4. 계측 오차비교

본 장에서는 토털스테이션을 활용하여 거리별 계측을 진행하였으며, 수평변위 계측에 관한 오차와 오차율은 [표 3.31~38]에 나타내었다. 또한, 수직변위 계측에 관한 오차와 오차율은 [표 3.39~44]에 나타내었다. 수평, 수직 오차 계측에서 각 거리별 최대오차에 대한 정확도 범위와 오차, 오차율 평균은 [표 3.45~46]에 나타내었으며, 그래프는 [그림 3.37~40]에 나타내었다. [그림 3.41]에서는 수평변위 측정 데이터를 기반으로 하여 총 오차와 오차율을 비교하였다. 실험에서 진행한 모든 데이터를 종합하여 분석해본 결과 기기와 측정 대상물사이의 거리 1m 당 프리즘사이의 이격거리는 최소 0.021m 이상 떨어져 있어야 한다는 사실을 발견했다. 또한 해당계측에서 기기제원상 정확도 범위 이상의 오차는 발생하지 않았으며 모드 기기에서 발생할 수 있는 기본 오차 내에서 측정된 것을 확인하였다. 거리별 측정을 진행하였을 때 유의미한 오차의 증가는 보여지지 않았으며 그 차이는 매우 근소하였다. 다만 오차율은 측정 변위가 커질수록 감소하는 경향을 보였주었다. 이는 실제 토털스테이션에서 측정된 변위값의 오차는 정확도 내에서 큰 차이 없이 측정되었지만 오차율을 산정할 때 모수가 되는 참값이 커지면서 오차율이 감소하게 된다. 결론적으로 토털스테이션 계측에서의 오차는 측정되는 변위크기와 대상물과의 거리 영향을 크게 받지 않으며, 해체 건축물의 변위계측과 안전진단에 큰 도움을 줄 것으로 사료된다.

[표 3.31] 3m 정면 측정 오차 (mm)

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	0.0438	0.0058	0.0387	0.0234	0.0248
2	0.0788	0.069	0.0032	0.1538	0.2979
3	0.0664	0.0495	0.0946	0.0091	0.0085
4	0.5773	0.426	0.7601	0.2167	0.1099
5	0.0595	0.4243	0.1765	0.1648	0.0968
6	0.085	0.4492	0.59	0.3493	0.0388
7	0.0863	0.0582	0.0826	0.0202	0.1405
8	1.2484	0.1103	0.2315	0.0834	0.1388
9	0.1683	0.2098	0.2668	0.1594	0.3511

[표 3.32] 3m 정면 측정 오차율

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	7.50%	1.22%	10.71%	11.33%	11.55%
2	7.80%	6.01%	3.92%	30.94%	81.06%
3	4.27%	0.72%	2.28%	11.06%	31.34%
4	8.64%	5.68%	15.79%	0.90%	22.65%
5	4.67%	0.20%	11.22%	3.37%	9.97%
6	3.48%	2.35%	3.04%	1.76%	5.80%
7	2.79%	1.47%	2.65%	1.10%	6.44%
8	2.92%	1.57%	3.19%	0.34%	3.43%
9	2.12%	1.93%	3.72%	1.20%	1.05%

[표 3.33] 3m 측면 측정 오차 (mm)

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	0.0899	0.0245	0.02499	0.171	0.3033
2	0.8083	0.4249	0.13249	0.0754	0.1222
3	0.5815	0.2581	0.00389	0.0983	0.0869
4	0.43	0.5593	0.10799	0.0918	0.0926
5	0.6352	0.3713	0.21159	0.1134	0.1657
6	0.2927	0.558	0.25929	0.012	0.0508
7	0.0893	0.3218	0.13349	0.0646	0.1309
8	0.3717	0.6708	0.25919	0.2541	0.0158
9	0.2423	0.4045	0.00649	0.3316	0.147
10	0.2323	0.0031	0.43101	0.1468	0.1696

[표 3.34] 3m 측면 측정 오차율

Cycle	T5	T4	T3	T2	T1
1	2.26%	0.75%	1.01%	9.88%	28.26%
2	12.12%	7.90%	3.28%	2.80%	8.24%
3	4.37%	2.43%	0.05%	1.89%	3.36%
4	2.24%	3.69%	0.97%	1.25%	2.60%
5	2.48%	1.83%	1.42%	1.17%	3.54%
6	0.88%	2.13%	1.34%	0.09%	0.83%
7	0.22%	1.02%	0.58%	0.43%	1.76%
8	0.83%	1.91%	1.00%	1.50%	0.19%
9	0.48%	1.02%	0.02%	1.74%	1.58%
10	0.42%	0.01%	1.34%	0.70%	1.65%

[표 3.35] 45m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.6
2	1.39
3	1.14

[표 3.36] 45m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	11.61%
2	7.69%
3	2.96%

[표 3.37] 70m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.15
2	1.47
3	2.02
4	2.68

[표 3.38] 70m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.48%
2	3.28%
3	0.71%
4	3.94%

[표 3.39] 2.5m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.0322
2	0.0858
3	0.2527
4	0.1007
5	0.0154

[표 3.40] 2.5m 측정 오차율

Cycle	T5
1	8.89%
2	2.71%
3	7.16%
4	1.94%
5	0.27%

[표 3.41] 5.5m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.0209
2	0.1322
3	0.1782
4	0.1294
5	0.1478

[표 3.42] 5.5m 측정 오차율

Cycle	T5
1	42.57%
2	3.53%
3	1.18%
4	0.94%
5	0.90%

[표 3.43] 9.5m 측정 오차 (mm)

Cycle	T5
1	0.0659
2	0.1888
3	0.2966
4	0.2673
5	0.0532

[표 3.44] 9.5m 측정 오차율

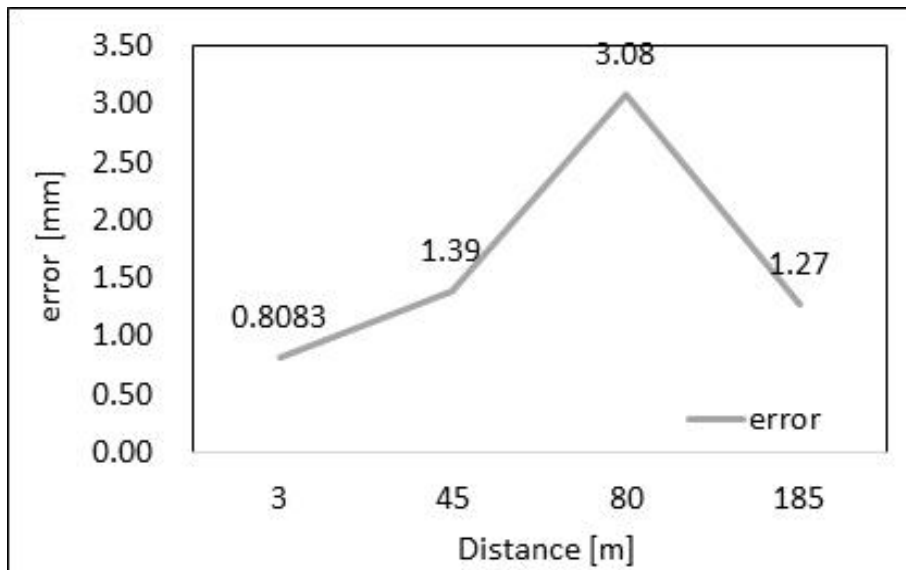
Cycle	T5
1	6.91%
2	7.77%
3	5.81%
4	4.95%
5	0.77%

[표 3.45] 거리별 수평 오차 정리

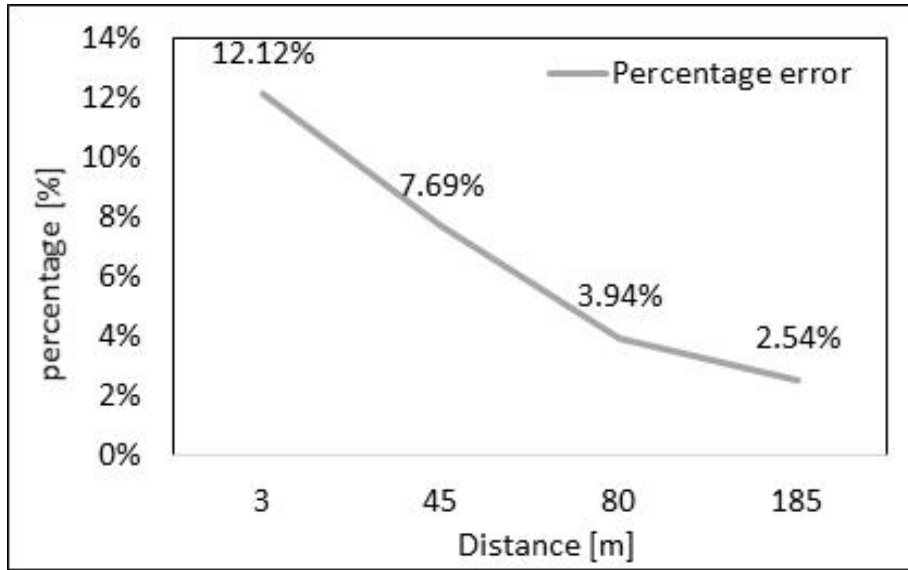
	3m 정면	3m 측면	45m	70m
오차 평균 (mm)	0.3522	0.2574	1.0433	1.3125
오차율 평균	6.44%	2.87%	7.42%	2.10%
정확도 (mm)	4.006	4.006	4.09	4.14

[표 3.46] 거리별 수직 오차 정리

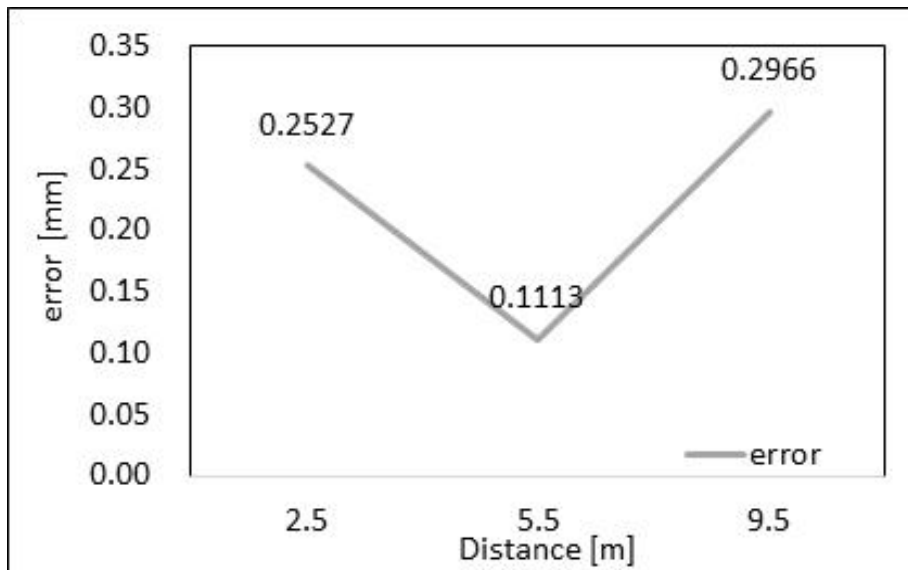
	2.5m	5.5m	9.5m
오차 평균 (mm)	0.0909	0.1113	0.1744
오차율 평균	4.20%	9.82%	5.24%
정확도 (mm)	4.005	4.011	4.019



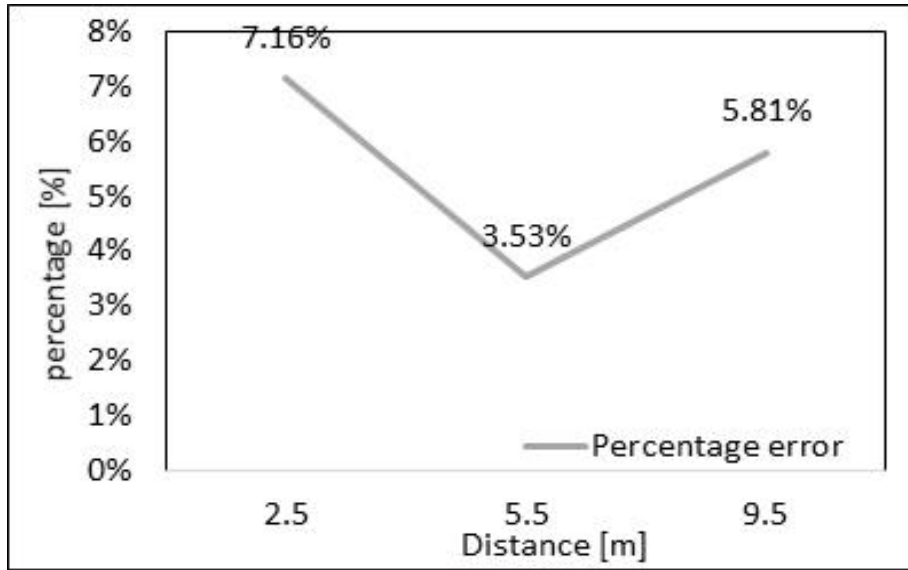
[그림 3.37] 수평 범위 최대 오차



[그림 3.38] 수평변위 최대오차 오차율



[그림 3.39] 수직변위 최대 오차



[그림 3.40] 수직변위 최대오차 오차율



[그림 3.41] 수평변위 오차, 오차율 비교

제4장 해체 건축물 구조안전성 평가

철근콘크리트 건축물에 중장비를 탑재하여 해체작업을 시행할 때, 중장비와 철거 잔재물의 중량은 건축물을 설계할 당시에 고려하지 못한 하중으로 작용한다. 그러나 우리나라 해체 현장에서는 건축물의 안전성에 대한 구조전문가의 검토 없이, 현장 관리자나 작업자의 경험에 의하여 중장비 탑재와 해체작업이 이루어지고 있어 작업 중에 건축물이 붕괴하거나 중장비가 추락하는 사례도 발생하고 있다. 따라서 해체공사 시행 과정에서 해체 대상 건축물의 구조안전성을 평가할 수 있는 평가방법과 해체프로세스의 체계화가 필요한 실정이다. 해체공사는 주로 중장비를 대상물의 최상층에 인양, 탑재한 후 아래 방향으로 한 층씩 파쇄하여 내려가는 방식으로 수행한다. 그러나 이러한 방식에서는 해체작업 도중 중장비의 추락, 구조적 불안정으로 인한 건축물 붕괴 등 안전사고 위험성을 내재한다. 중장비 자체하중, 작업 중 발생하는 충격 및 진동 하중, 작업 층에 적재되는 철거잔재의 하중 등 건축물 설계 당시에는 고려하지 않은 다양한 변수가 존재하기 때문이다.

제1절 구조안전성 평가

본 연구에서는 실제 해체공사가 진행된 3개의 해체건축물의 구조안전성 평가를 MIDAS Gen 프로그램을 통해 진행하였다. 국토교통부의 건축물 정기점검 매뉴얼을 참고하여 건물기울기 및 부동침하기울기 평가를 하였고, KDS 41 17 00 건축물내진설계기준의 허용층간변위 기준과, KDS 14 20 30 콘크리트구조 사용성설계기준의 최대 허용처짐을 활용하여 해체건축물의 구조안전성 평가를 진행하였다.

[표 4.1] 건물기울기 및 부동침하 기울기 평가방법

평가기준	평가점수(대푯값)	평가내용	
		기울기(각변위)	내용
우수	90	1/750 이내	예민한 기계기초의 위험 침하 상태
양호	70	1/500 이내	구조물의 균열발생 한계
보통	50	1/250 이내	구조물의 경사도 감지
미흡	30	1/150 이내	구조물의 구조적 손상이 예상되는 한계
불량	10	1/150 초과	구조물이 위험할 정도

[표 4.2] 허용층간 변위 Δ_α

내진등급		
특	I	II
$0.010h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.020h_{sx}$

[표 4.3] 최대 허용처짐

부재의 형태	고려하여 할 처짐	처짐한계
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조요소를 지지 또는 부착하지 않은 평지붕구조	활하중에 의한 순간처짐	$l/180$
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조요소를 지지 또는 부착하지 않은 바닥구조	활하중에 의한 순간처짐	$l/360$
과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조요소를 지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조	전체 처짐 중에서 비구조요소가 부착된 후에 발생하는 처짐부분(모든 지속하중에 의한 장기처짐과 추가적인 활하중에 의한 순간처짐의합)	$l/480$
과도한 처짐에 의해 손상될 염려가 없는 비구조요소를 지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조		$l/240$

해체대상 건축물의 구조안전성 검토를 실시할 때, 장비의 고정하중과 해체작업에 따른 충격하중을 동시에 고려하여야 한다. 먼저, 장비의 고정하중은 장비별 최고하중을 고정하중으로 계산한다. 장비하중을 선정할 때에는 장비의 충격하중계수를 고려하여 산정하여야 한다. 충격하중계수의 경우 해체작업에 따른 충격하중은 바닥의 요철, 차량의 가속과 감속 및 하중의 분포 등에 따라 변화하며, 이를 충격이라고 하고 충격계수로서 충격의 정도를 나타낸다. 본 연구에서는 장비를 탑재하였을 때 증가할 수 있는 충격하중을 도로교설계기준에 적용되는 최대충격 계수인 0.3을 적용하여 하중계수 1.3을 사용한다. 장비하중을 집중하중으로 재하할 때에는 장비중량의 70%를 집중하중으로 적용시킨다. 구조검토시 사용되는 하중은 고정하중으로 구조물의 자중과 활화중으로는 탑재시 장비하중 그리고 철거잔재물 하중이다. 철거잔재물의 적재하중은 600kg/m^2 이내가 되도록 하여야 하며, 그에 따른 폐기물의 높이는 40cm 이내로 할 것을 권고하고 있다.

[표 4.4] 구조해석 및 검토기준(강도설계법)

구분		내용	계수	비고
하중계수	고정하중	자중	1.0	변동성 없음
	활하중	장비 하중	1.0	변동성 없음
		하중 잔재물 하중	1.2	해체 잔재물 높이, 공극률 등의 변동성을 고려함
	충격하중	장비의 충격하중	1.3	해체 장비의 작업 시 충격하중을 고려
강도감소 계수	인장	인장강도	1.0	KDS 14 20 90의 [기존 콘크리트 구조물의 안전성 평가기준]에 따라 현장 조사 등의 세부 기준을 충실히 따른 경우 적용
	압축	압축강도	0.8	
	전단	전단강도	0.8	

해체 건축물의 구조해석을 통해 부재별 휨모멘트 및 전단내력비를 확인하였고, 잭서포트 사용시 허용응력을 초과하지 않는지 검토하였다. 구조안전성 평가를 위한 흐름도는 [그림 4.1]에 나타내었다.

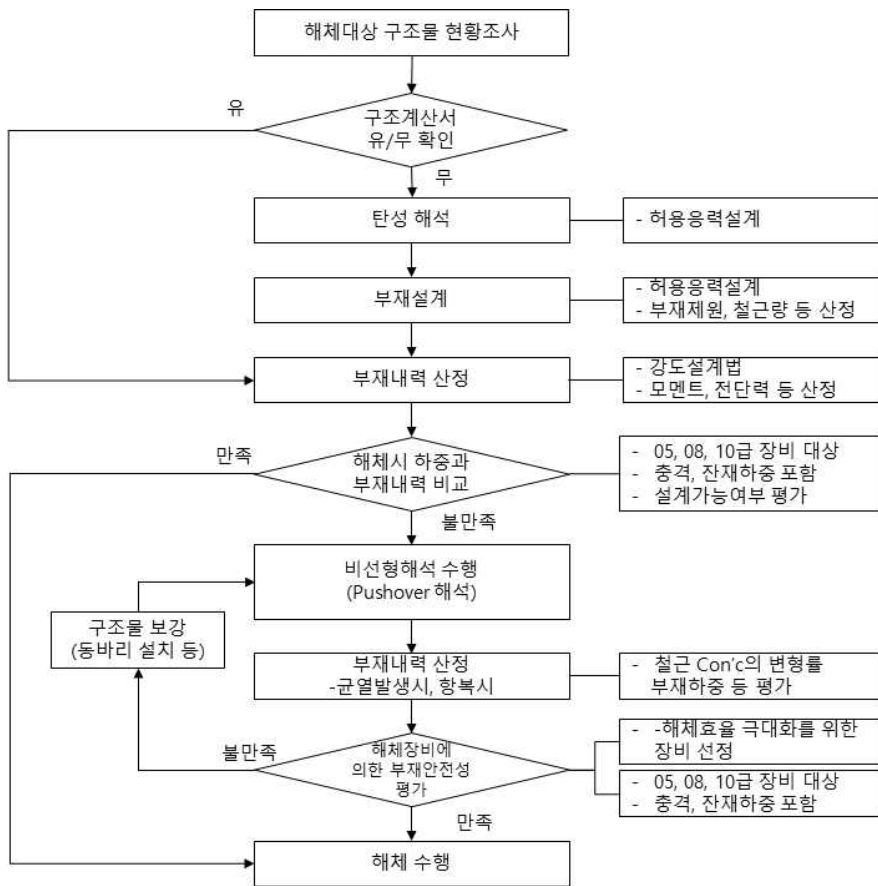
[표 4.5] 경과 년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소 계수

	구분	콘크리트	조적조	조적조
		압축강도	압축강도	전단강도
경과년수	30년 이상	0.8	0.5	0.7
	20년 이상	0.9	0.6	0.8
	20년 미만 ~ 10년이상	1.0	0.8	0.9
	10년 미만	1.0	1.0	1.0
재료상태	양호	1.0	1.0	1.0
	보통	0.9	0.8	0.85
	불량	0.8	0.5	0.7

[표 4.6] 건설연도별 재료의 기본값

건설연도	1970 이전		1971~1987년		1988~2000년		2001년 이후	
	하한	평균	하한	평균	하한	평균	하한	평균
콘크리트 강도 (f_{ck} , Mpa)	13	15	15	18	18	21	21	24
주근의 항복강도 (f_y , Mpa)	240	300	240	300	240	300	300	375
강재의 항복강도 (F_y , Mpa)	235	294	235	294	235	294	235	294

안전성 검토시 재료의 강도는 해체 대상 건축물의 현장시험을 실시한 경우 그 결과값을 적용하고, 현장시험을 실시하지 못한 경우 설계도서상 설계기준강도에 사용연수 및 재료 상태에 따른 감소계수를 곱한값을 적용하였고 설계도서에 명시된 설계기준강도 정보가 없는 경우 연도별 기본재료강도에 재료상태에 따른 감소계수를 곱한값을 적용하였다. 재료강도의 감소계수와 연도별 재료기본값은 [표 4.5~6]과 같다.



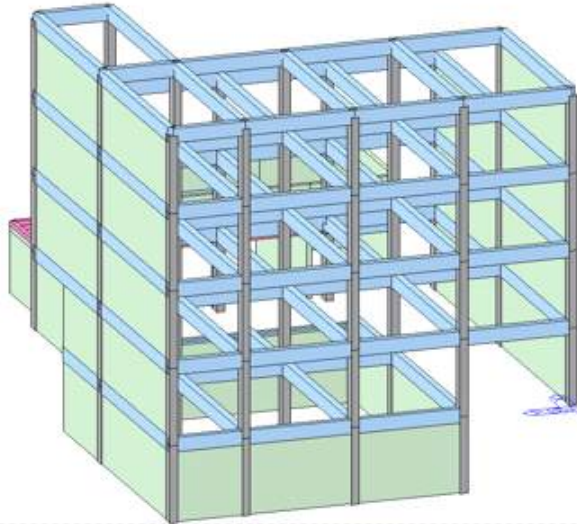
[그림 4.1] 구조안전성 평가 흐름도

1. 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층)

해체 대상 건축물은 광주광역시 동구 대인동에 위치한 지하 1층 지상 4층 건물로서 장비를 탑재하는 해체 방식과 지상해체를 병행하여 실제 공사가 진행되었다. 검토 건축물 개요와 장비 개요는 [표 4.5~7], [그림 4.2~4]에 나타내었다.

[표 4.5] 건축물 개요

구 분	내 용
해체 규모/높이	지하 1층~지상 4층/ 14m
용도	근린생활시설
건축구조	철근콘크리트구조
건물위치	광주광역시 동구 대인동 소재



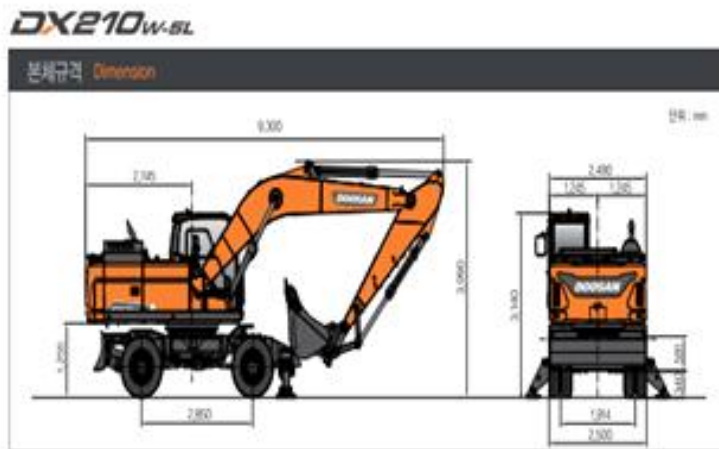
[그림 4.2] 대상 건축물 모델링

[표 4.6] 탑재 장비 제원

구 분	내 용
구 분	Vio17
철거가능높이	최대 2,200 mm
장비중량	1,851kg
최대 덤프높이	3,365 mm
전장	4,760 mm
전폭	1,550mm
최대 굴착반경	7,470 mm



[그림 4.3] 탑재 해체 사용 장비



[그림 4.4] 지상 해체 사용 장비

[표 4.7] 지상 해체 장비 제원

구분	내용
구분	DX210W-5L
철거가능높이	최대 9,870 mm
장비중량	20,500kg
최대 덤프높이	7,085 mm
전장	93,000 mm
전폭	2,500 mm
최대 굴착반경	9,735 mm

하중상태가 확인된 해체구조물임으로 하중계수는 적용하지 않았지만, 장비에 대한 충격하중을 고려하였다. 해당 건축물에 맞는 하중선정은 [표 4.8~10]과 같다.

[표 4.8] 고정하중

고정하중	두께(mm)	비중	(kg/m^2)	(kN/m^2)
근린생활시설	120	2.4	360	2.88
문서고	180	2.4	600	4.32

[표 4.9] 활하중

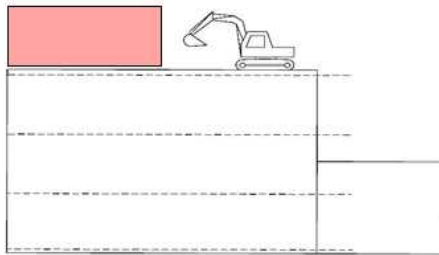
폐기물 활하중	높이(m)	비중(kN/m^2)	공극률	검토타중(kN/m^2)
철거 잔재물(300mm)	0.3	23	0.7	4.83
철거 잔재물(200mm)	0.2	23	0.7	3.22

[표 4.10] 장비하중

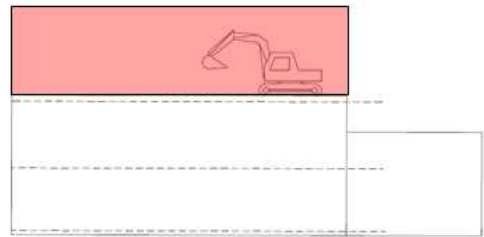
장비하중	중량(kg)	전폭(mm)	텀블러 중심간 거리(mm)	검토타중
탑재용 활하중	1,851	1,550	1,280	$11.9kN/m^2$
지상용 집중하중	20,500	2,500	-	$182.95kN$

가. 해체 시나리오

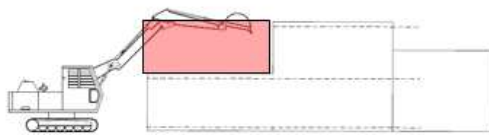
해당 시나리오는 계층값과의 비교를 위해 실제 공사 공정과 동일하게 계획하였으며, 상층부에 장비를 탑재하여 옥탑층부터 3층까지 철거한 후, 2층부터는 지상해체를 진행한다. 해체 프로세스의 과정은 [그림 4.5~6]에 나타내었다.



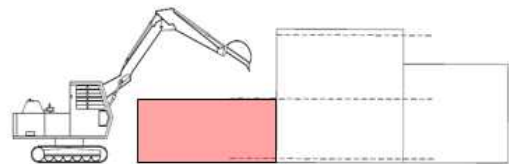
(a) Step 1



(b) Step 2

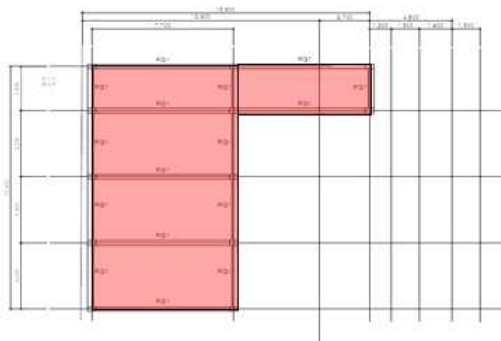


(c) Step 3

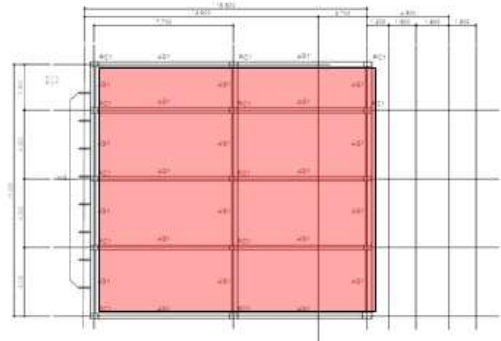


(d) Step 4

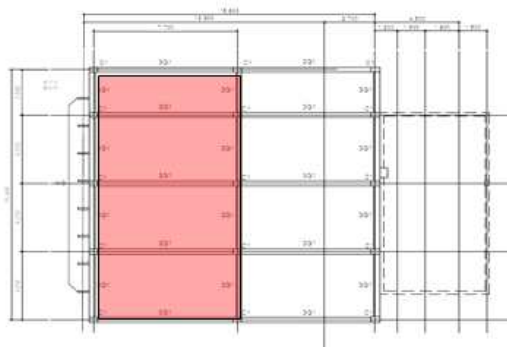
[그림 4.5] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층) 시나리오 2 입면도



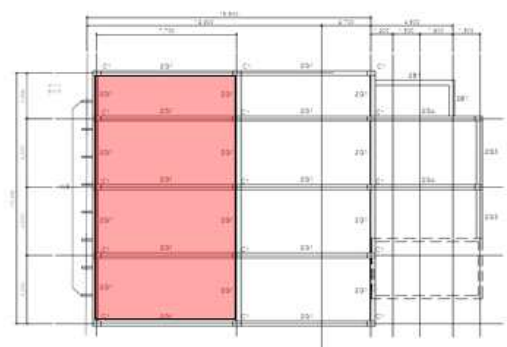
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3

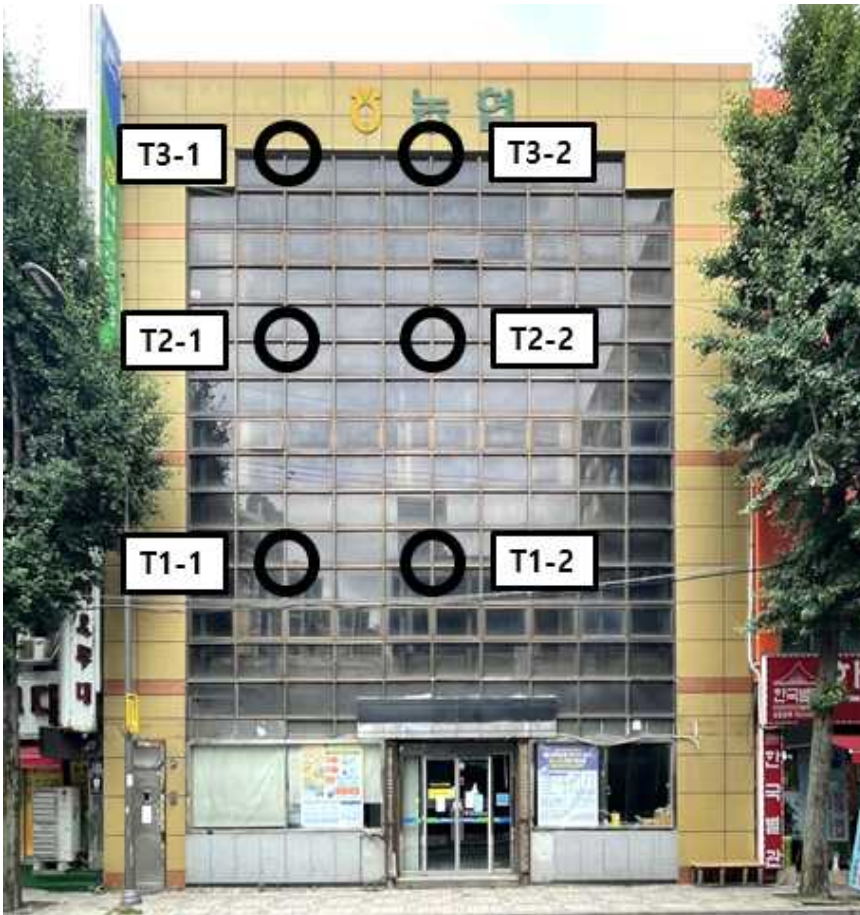


(d) Step 4

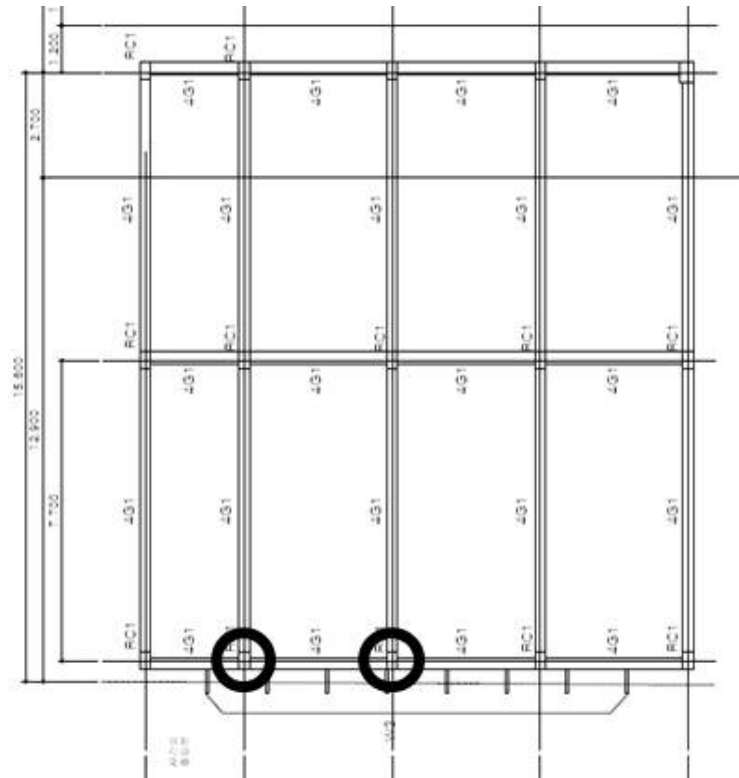
[그림 4.6] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 4층) 시나리오 2 평면도

나. 계측값 비교

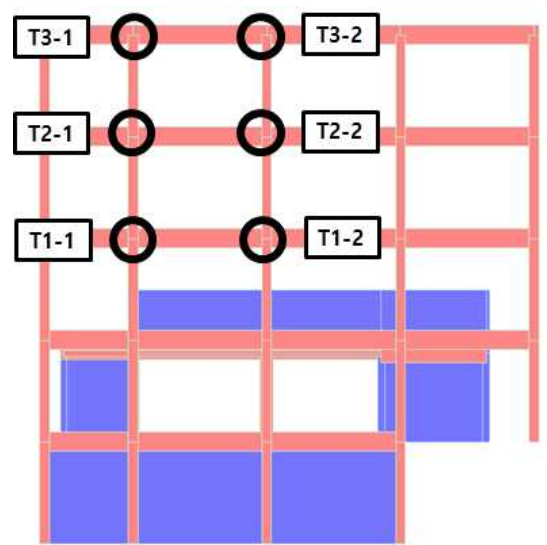
해당 건축물은 실제 해체가 진행된 건축물이다. 프로세스 2는 실제 해체공사를 기반으로 프로세스를 계획하였고, 측정 대상 건축물로부터 영향을 받지 않도록 도로 건너편 건물 상층부에 토털스테이션을 설치하여 해체 공사 중 생긴 변위값과 구조해석 값을 비교하였다. 해당 건축물의 반사프리즘 부착 위치는 [그림 4.7~8]과 같다. 반사프리즘은 건물의 전면부 골조 기둥에 층당 2개소씩 설치하여 총 6개 설치하였고, 내부마감재를 철거한 시점에서 계측을 진행하였다. 모델링상 프리즘 위치는 [그림 4.9]과 같으며 실제 공사 진행과정은 [그림 4.10]에 나타내었다.. 토털스테이션에 대한 X, Y, Z 축 계측 결과는 [그림 4.11~13]이다. Midas Gen 프로그램을 통한 해석과 실제 현장에서 계측된 기울기 비교는 [그림 4.14~15]와 같다.



[그림 4.7] 반사프리즘 위치



[그림 4.8] 반사프리즘 위치(평면도)

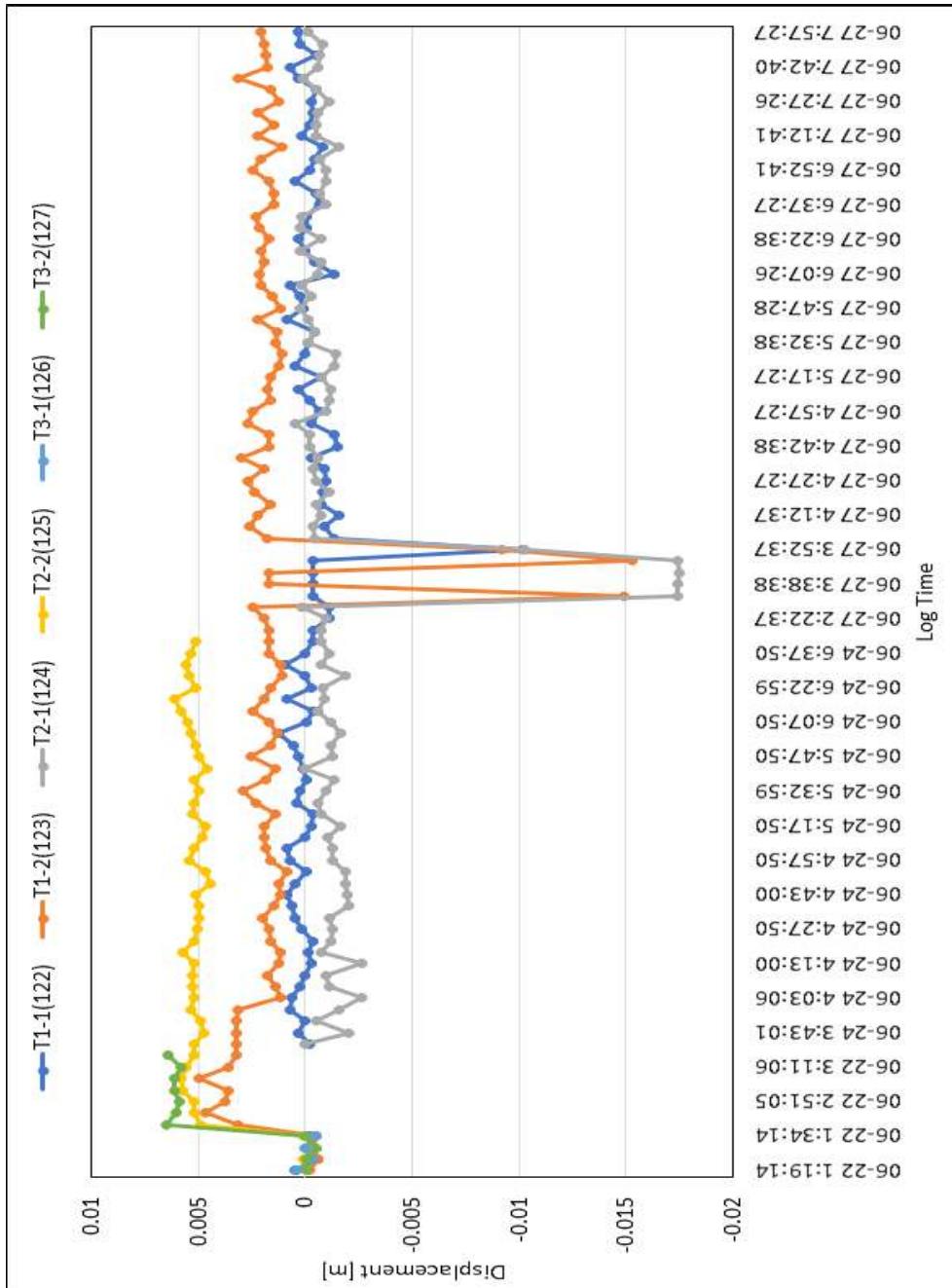


[그림 4.9] 모델링 입면도

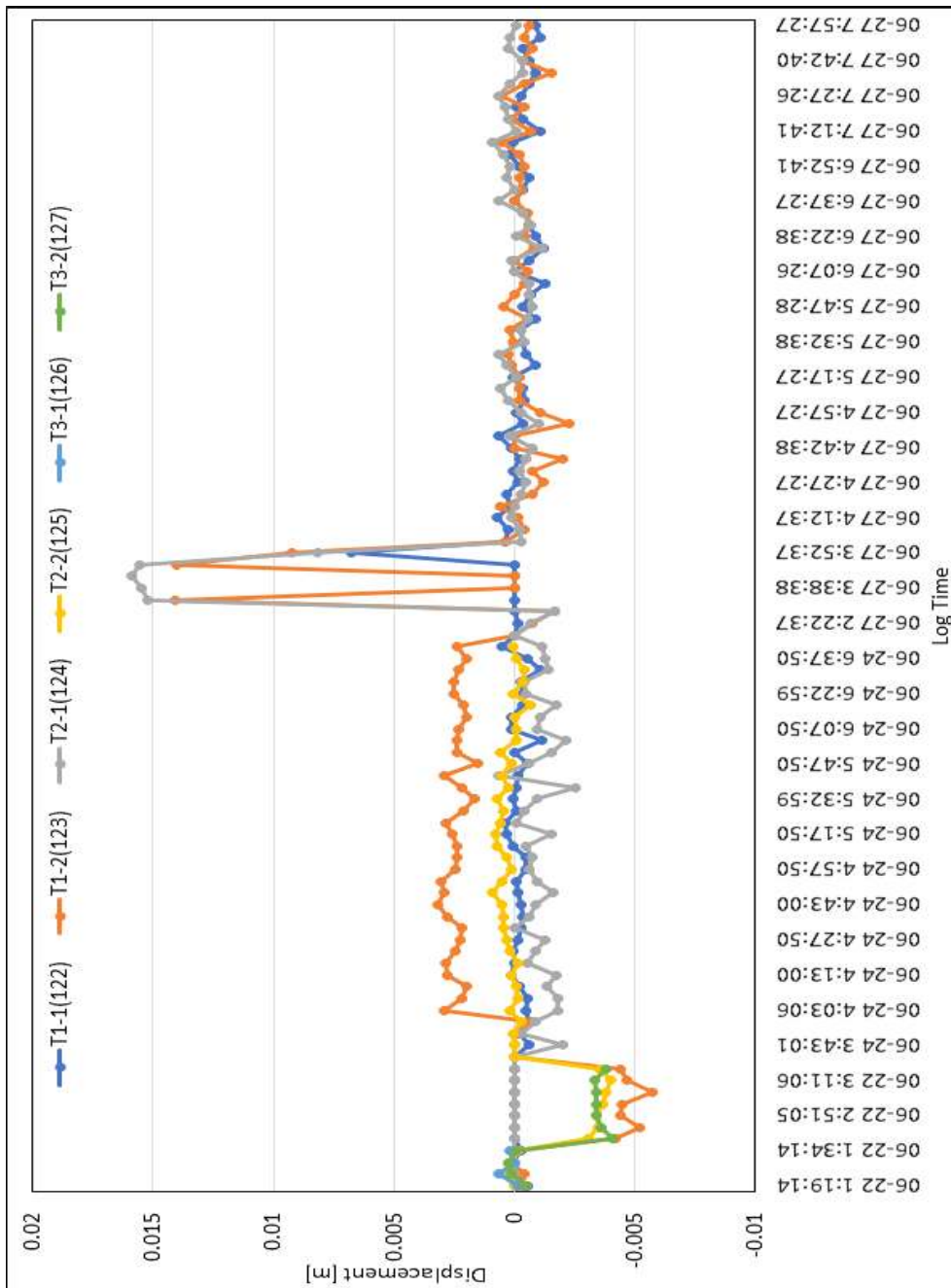


[그림 4.10] 대인동 해체 진행 사진

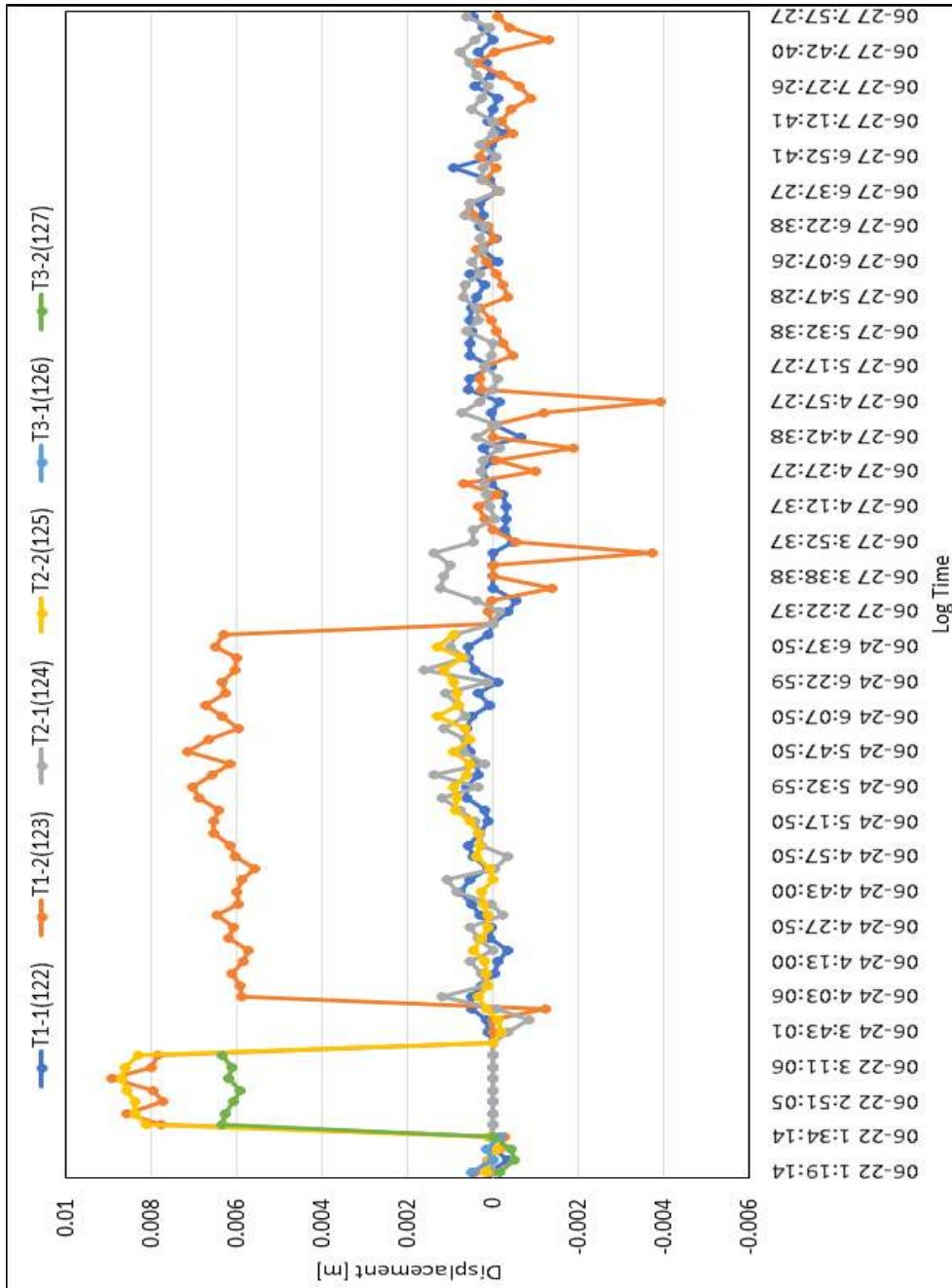
계측결과 일부공정에서 변위가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 실제 변위가 크게 발생한 시간대에서는 외벽을 위주로 해체를 진행하였다. 3층부터 해체를 진행해가면서 프리즘 또한 유실되어 계측결과가 나오지 않는 것을 확인하였고, 해당프리즘들은 유실되기 전 시점에서 큰 변위가 발생한 것을 확인할 수 있었다.



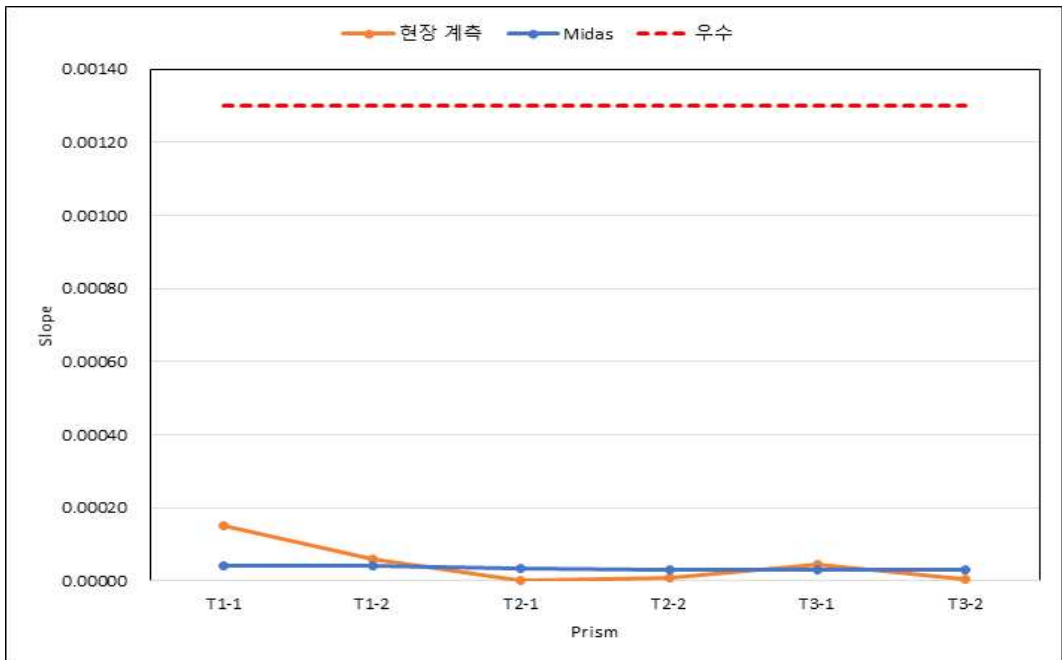
[그림 4.11] X축 변위 그래프



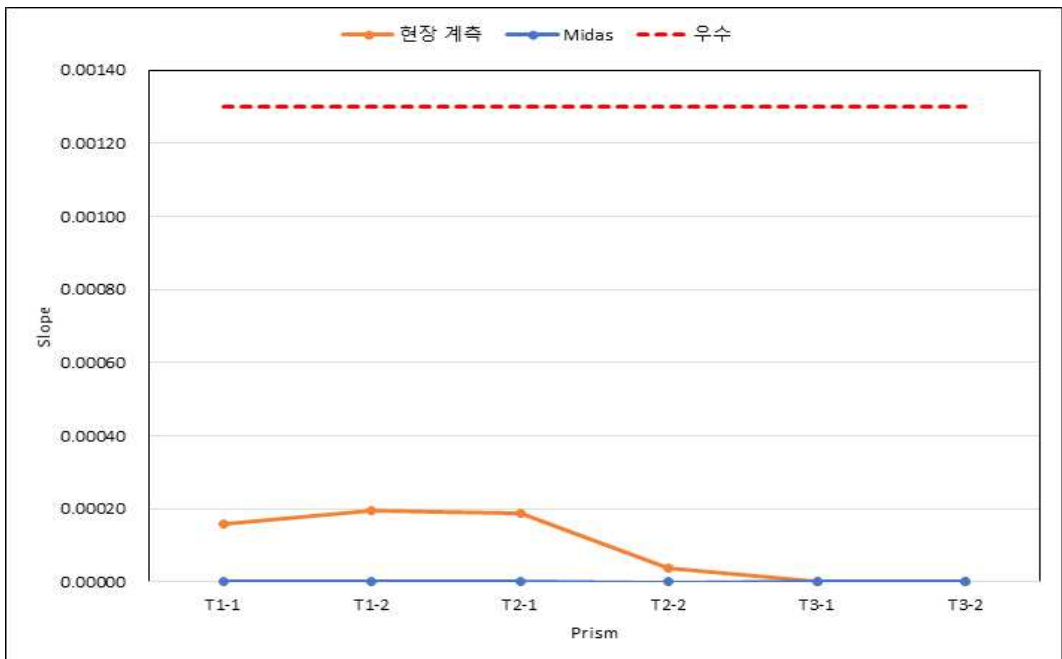
[그림 4.12] Y축 변위 그래프



[그림 4.13] Z축 변위 그래프

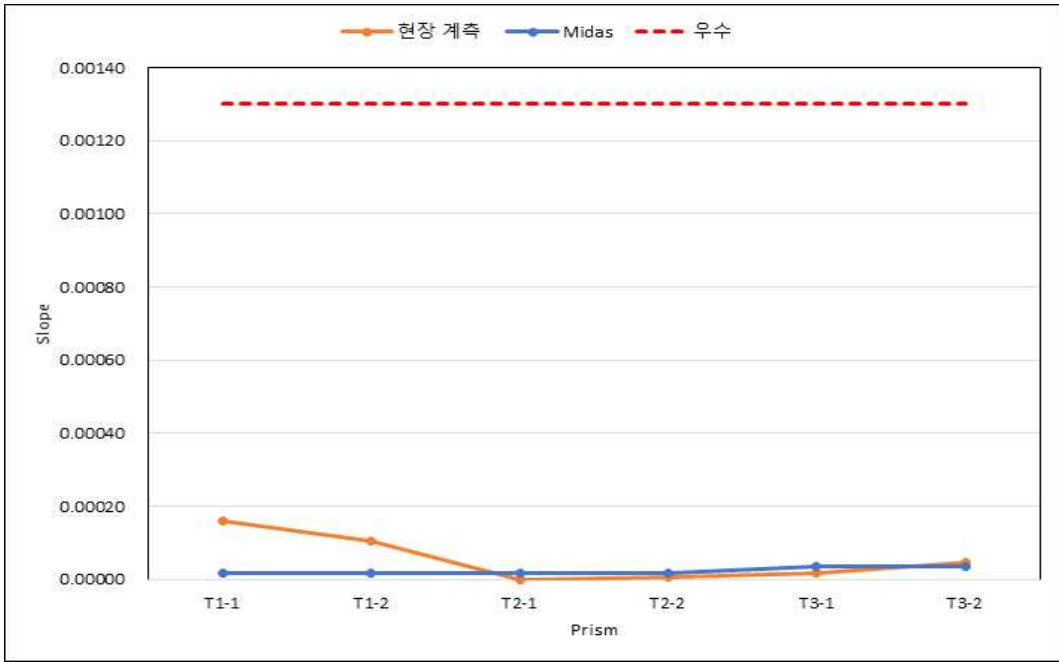


(a) Step 1 DX

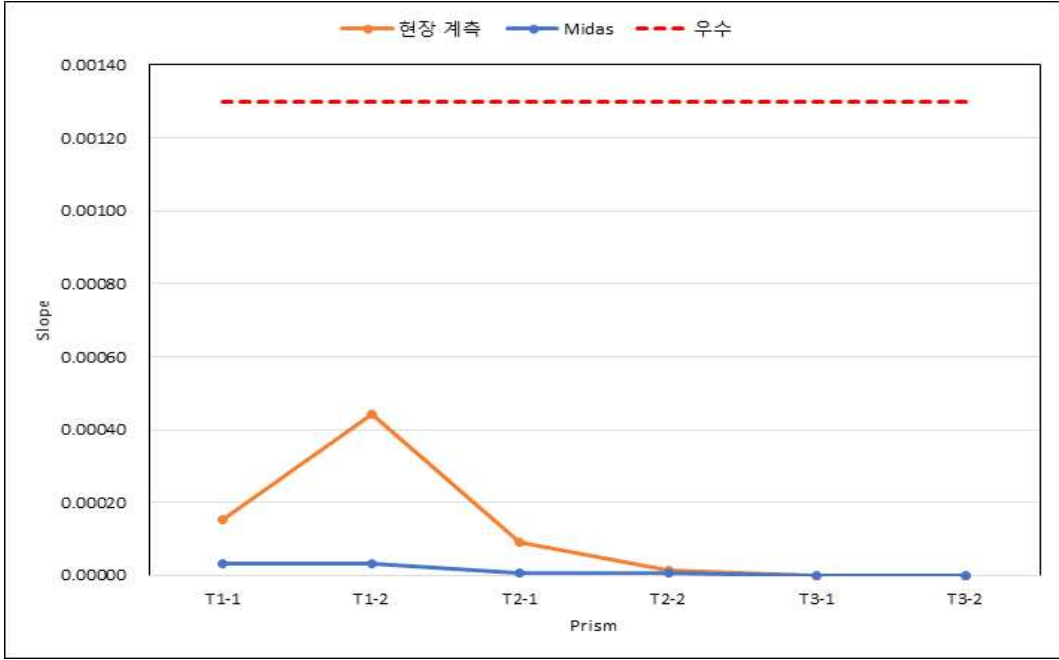


(b) Step 2 DX

[그림 4.14] DX 기울기 비교



(a) Step 1 DY



(b) Step 2 DY

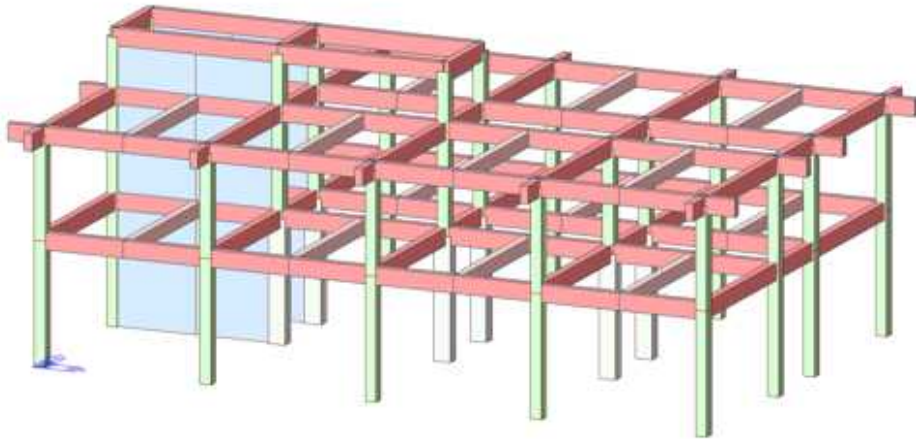
[그림 4.15] DY 기울기 비교

2. 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 2층)

본 해체 대상 건축물은 광주광역시 동구에 소태동 위치한 지상 2층 건물로서 지상해체방식으로 해체가 진행되었다. 대상 건축물의 개요와 구조해석 모델링사진은 [표 4.11], [그림 4.16]에 나타내었으며, 사용 장비[그림 4.17]의 제원은 [표 4.12]이다. 하중선정은 [표 4.13~15]와 같다.

[표 4.11] 건축물 개요

구 분	내 용
규모/높이	지상 2층/ 9.9m
연 면 적	752m ²
건축구조	연와조, 철근콘크리트구조
건물위치	광주광역시 동구 소태동 소재



[그림 4.16] 대상 건축물 모델링

[표 4.12] 지상해체 장비 제원

구 분	내 용
구 분	EC300E
철거가능높이	최대 9.98 m
장비중량	30,700~34,700kg
최대 덤프높이	7,040 mm
전장	10,510 mm
전폭	3,190mm
최대 굴착반경	10,710 mm



[그림 4.17] 지상해체 사용 장비

[표 4.13] 고정하중

고정하중	두께 (mm)	비중	(kg/m^2)	(kN/m^2)
슬래브(t=135)	13.5	2.4	324	3.24
슬래브(t=150)	15.0	2.4	360	3.60
슬래브(t=180)	18.0	2.4	432	4.32

[표 4.14] 활하중

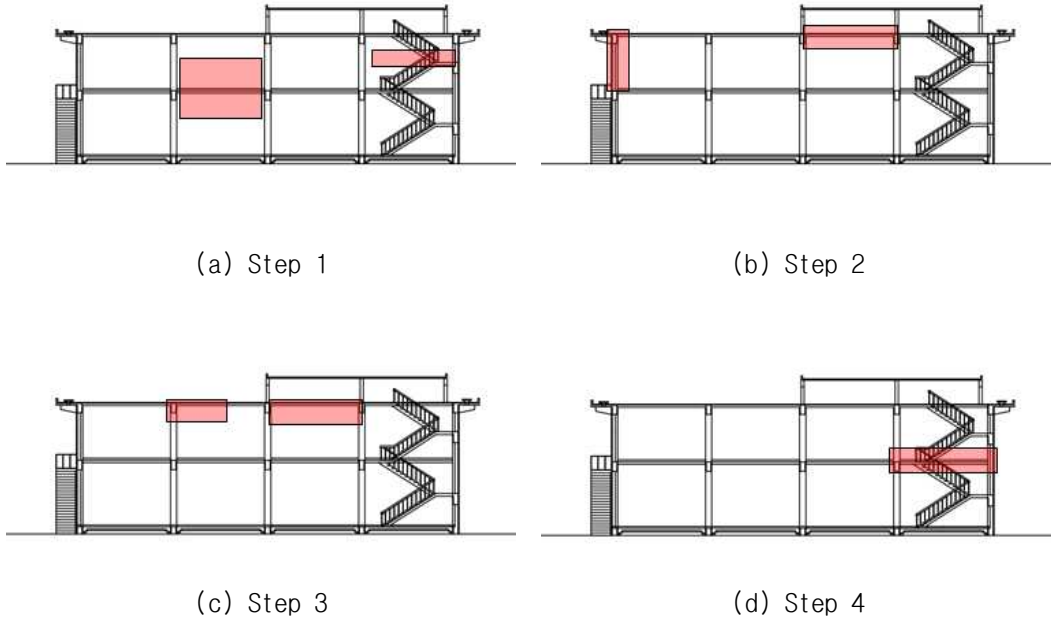
폐기물 활하중	높이(m)	비중(kN/m^2)	공극률	검토허중(kN/m^2)
철거 잔재물(300mm)	0.3	22	0.5	3.3

[표 4.15] 장비하중

장비하중	중량(kg)	전폭(mm)	덤블러 중심간 거리(mm)	검토허중
지상용 집중하중	34,700	3,190	-	238.20kN

가. 해체 시나리오

해당 시나리오는 실제 공사를 바탕으로 계획하였다. 지상해체로 진행되었고, 장비 2대가 동시에 현장에 투입되어 해체가 진행되었다. 해체 프로세스의 과정은 [그림 4.18]에 나타내었다. 실제 진행된 해체 과정은 [그림 4.19]에 나타내었다.



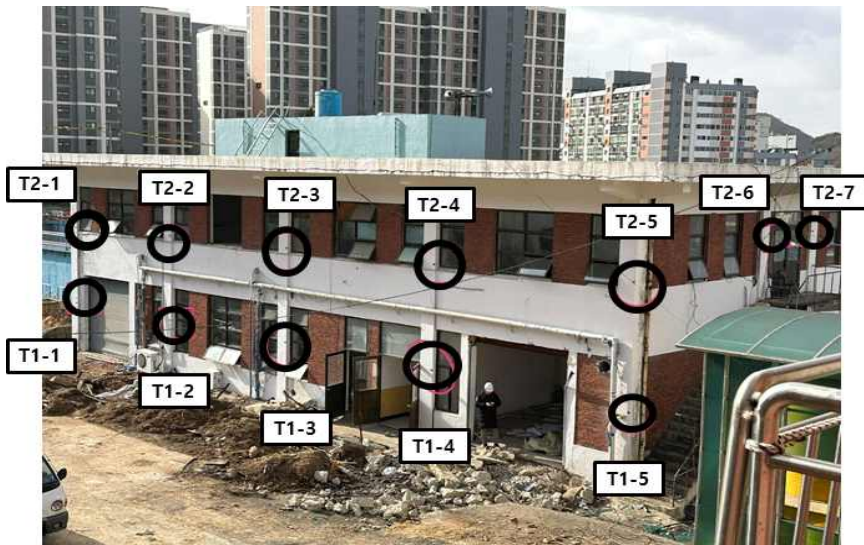
[그림 4.18] 철근콘크리트 구조 건축물 (지상 2층) 시나리오 2 배면도



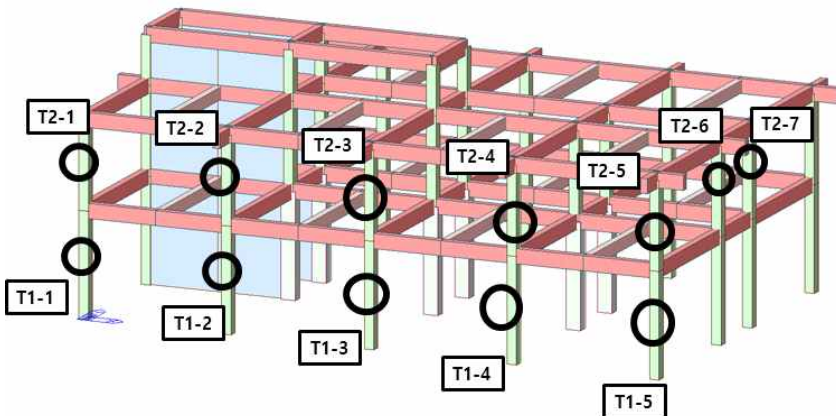
[그림 4.19] 소태동 해체 진행 현장

나. 계측값 비교

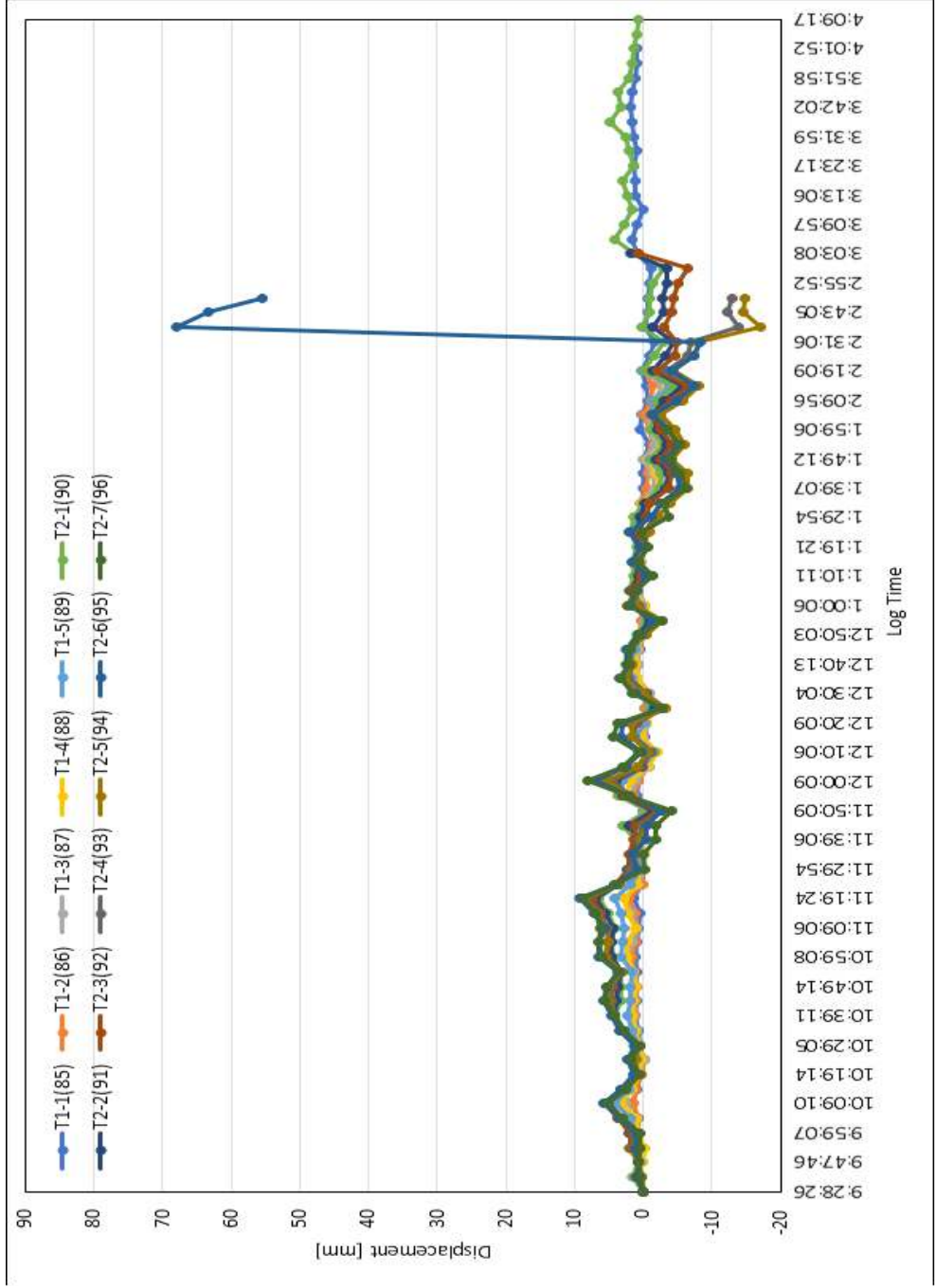
해당 건축물은 실제 해체가 진행된 건축물이다. 실제 해체공사를 기반으로 프로세스를 계획하였고, 측정 대상 건축물로부터 영향을 받지 않도록 건너편 건물 상층부에 토털스테이션을 설치하여 해체 공사중 생긴 변위값과 구조해석 값을 비교하였다. 해당 건축물의 반사프리즘 부착 위치는 [그림 4.20]과 같다. 반사프리즘은 건물의 전면부 골조 기둥에 층당 5개소씩, 측면 기둥에 2개소를 설치하여 총 12개 설치하였다. 모델링상 프리즘 위치는 [그림 4.21]과 같다. 토털스테이션에 대한 X, Y, Z 축 계측 결과는 [그림 4.22~24]이다. Midas Gen 프로그램을 통한 해석결과와 실제 현장 변위의 비교는 [그림 4.25~28]와 같다.



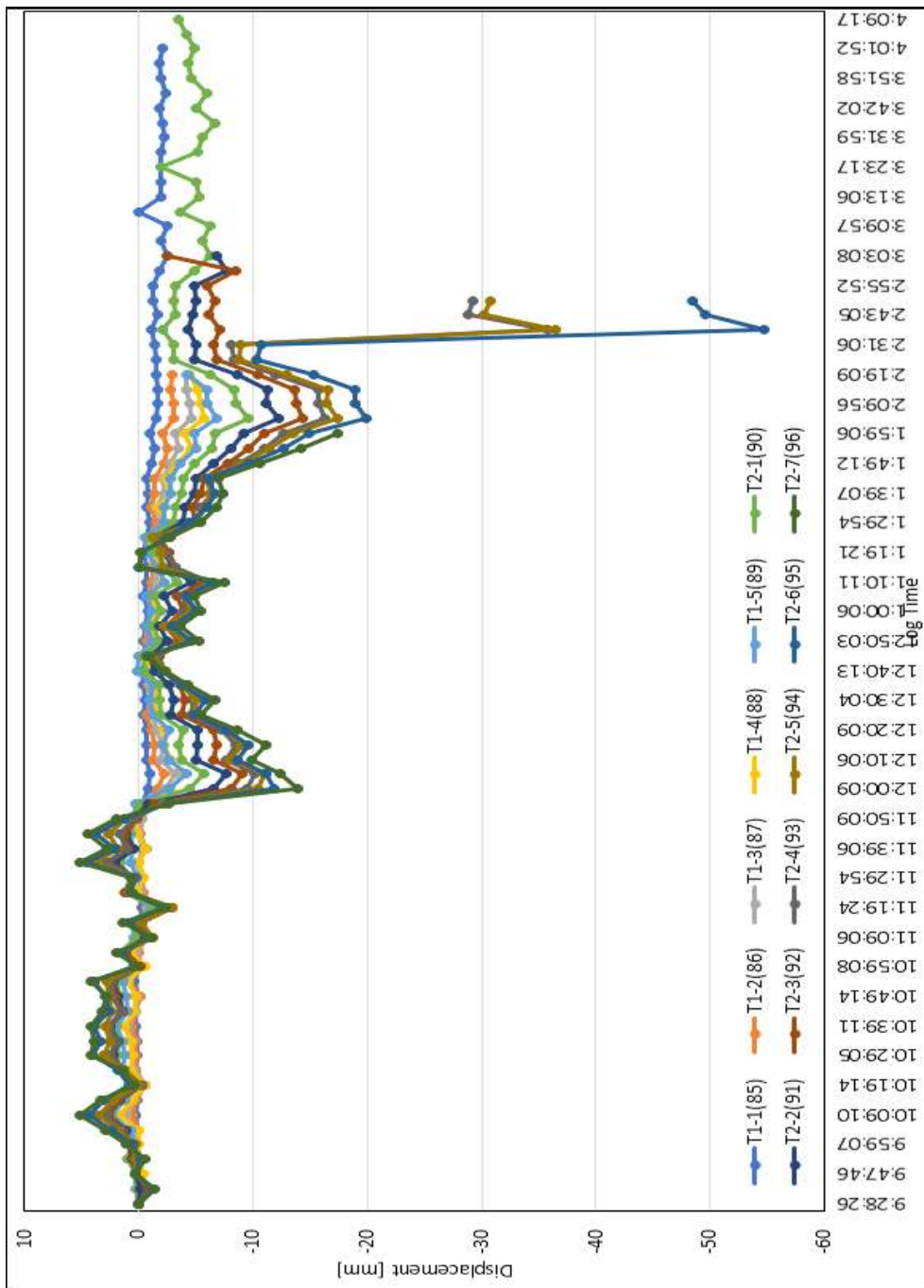
[그림 4.20] 반사프리즘 위치



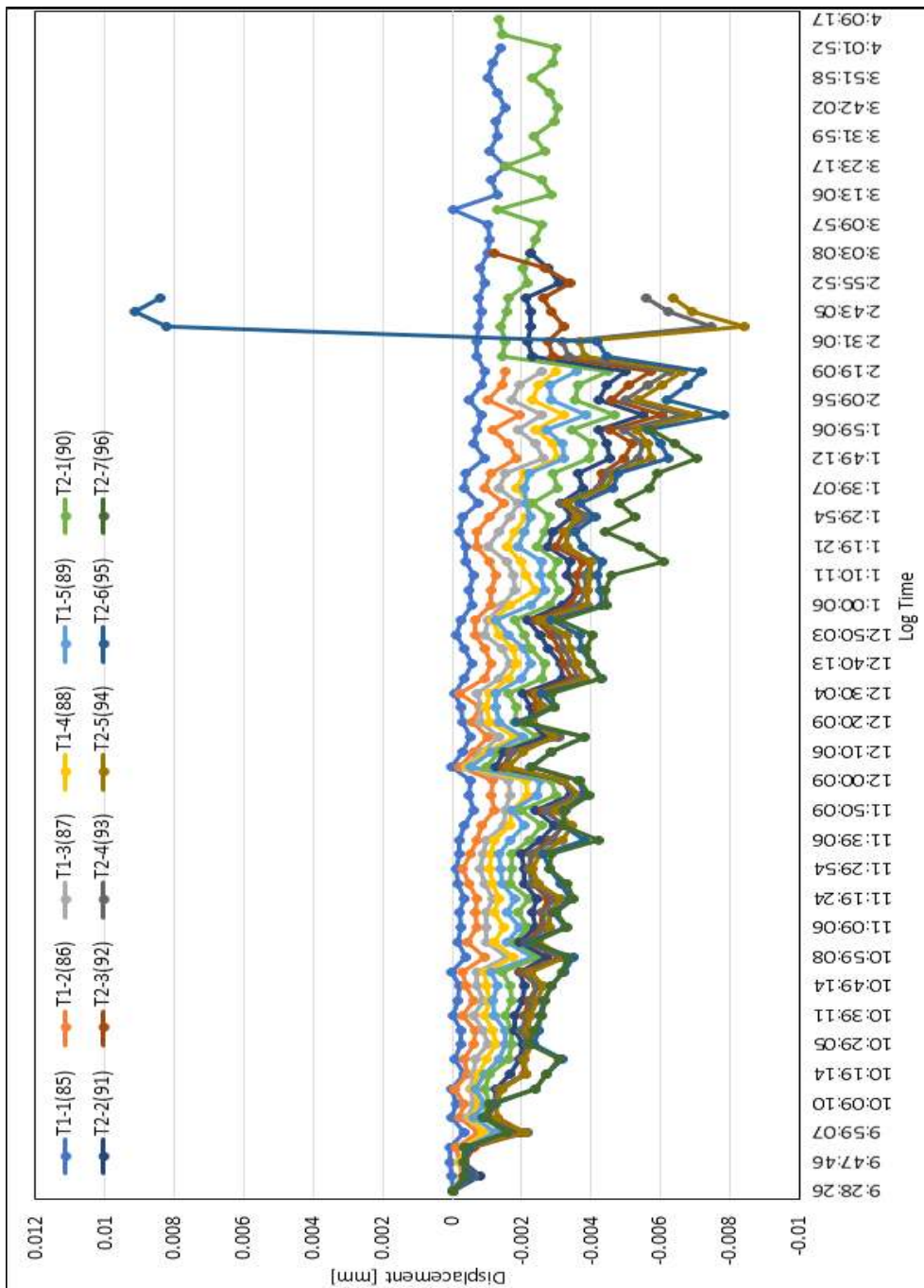
[그림 4.21] 모델링 반사프리즘 위치



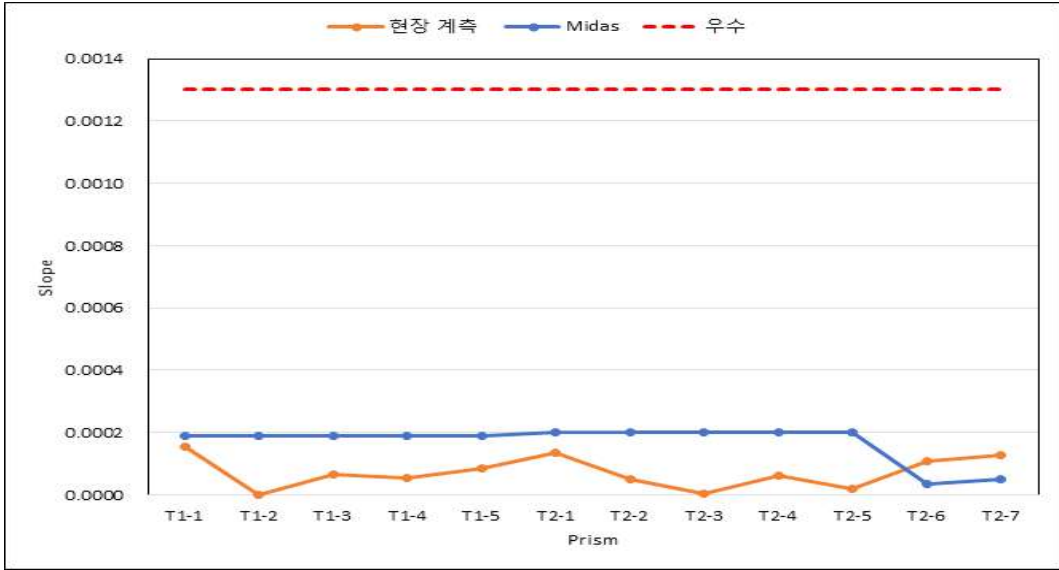
[그림 4.22] X축 변위 그래프



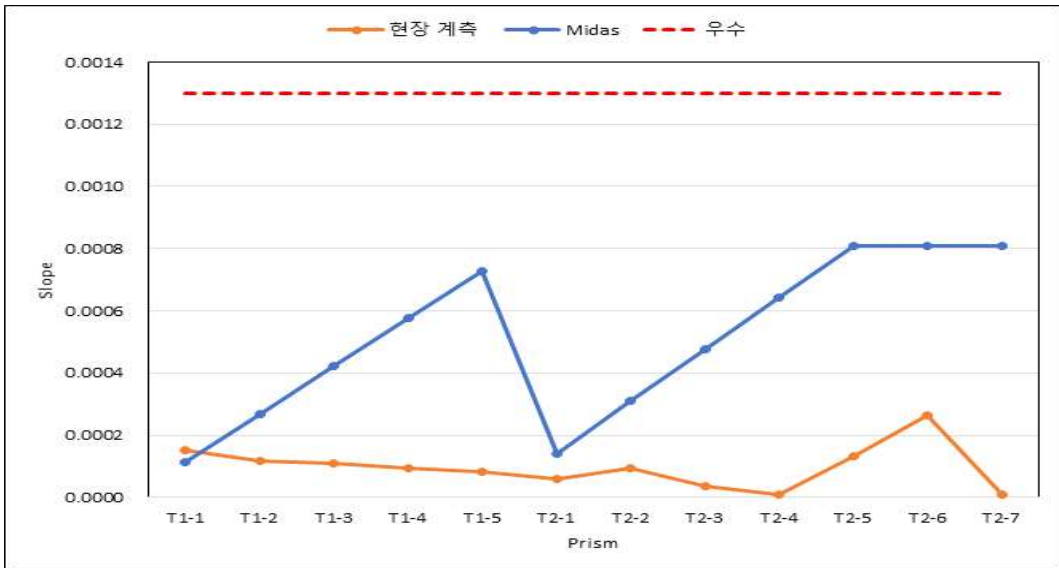
[그림 4.23] Y축 변위 그래프



[그림 4.24] Z축 변위 그래프

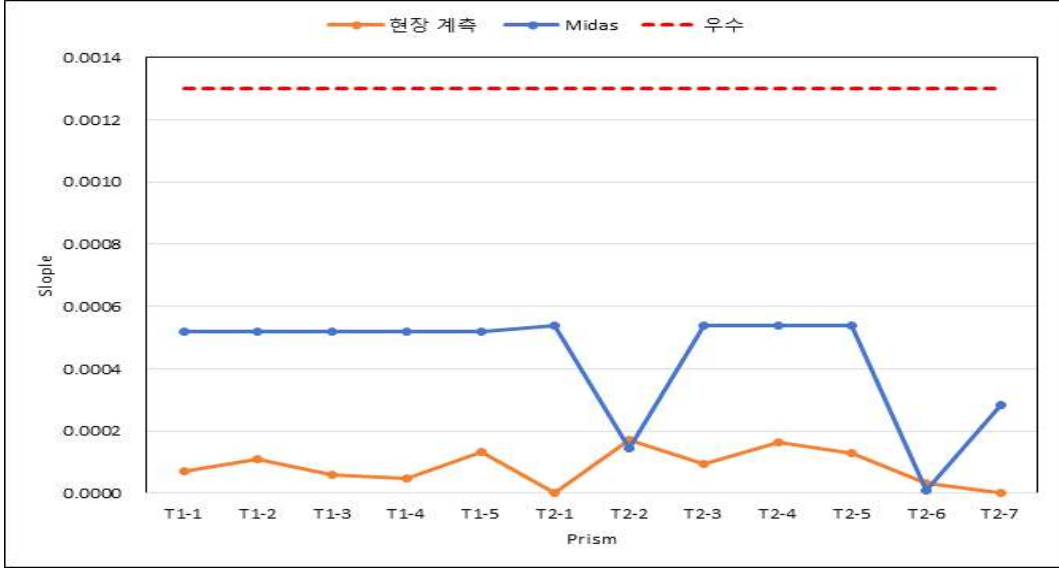


(a) DX

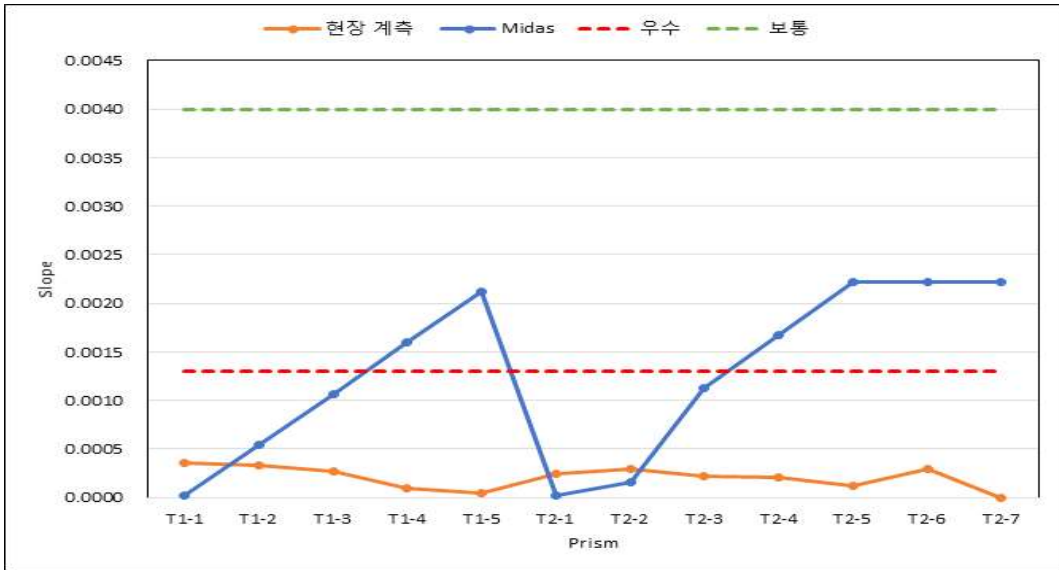


(b) DY

[그림 4.25] Step 1 기울기 비교

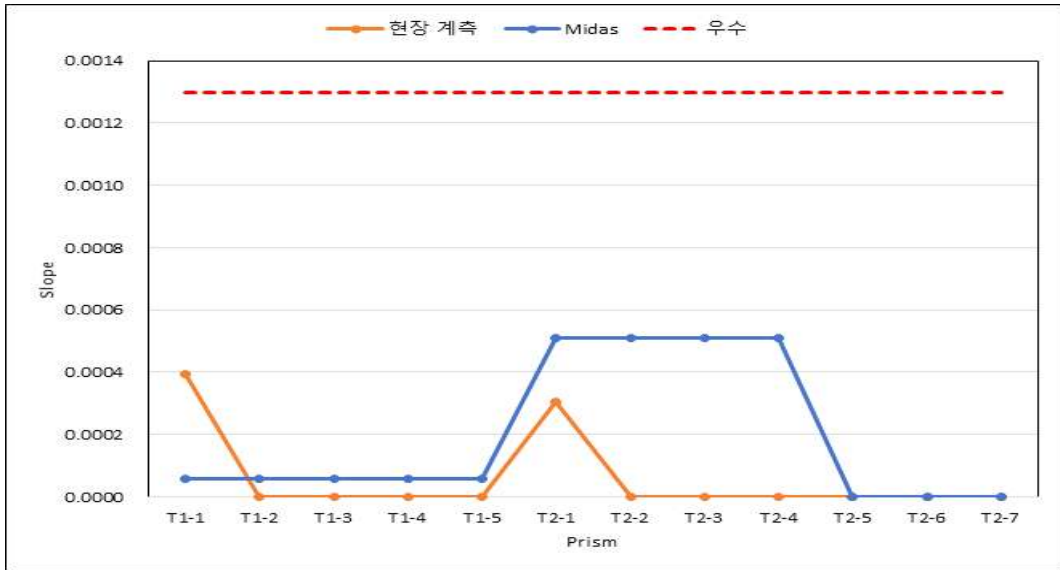


(a) DX

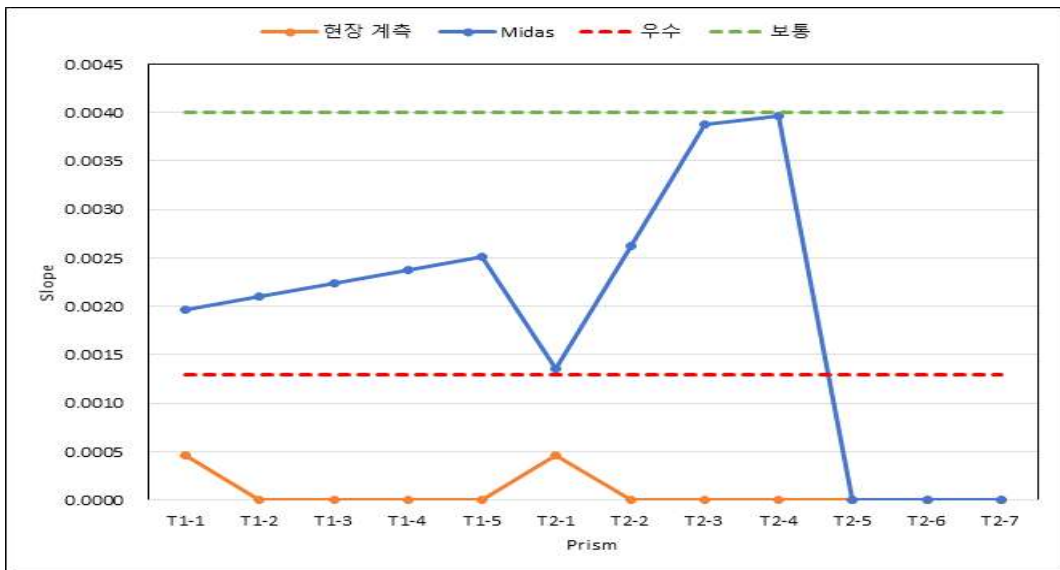


(b) DY

[그림 4.26] Step 2 기울기 비교

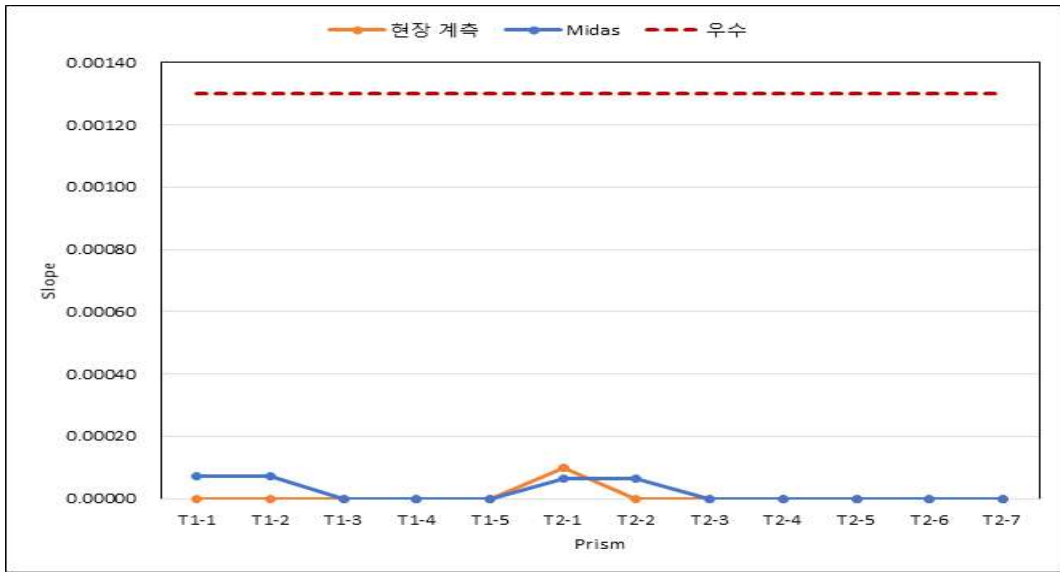


(a) DX

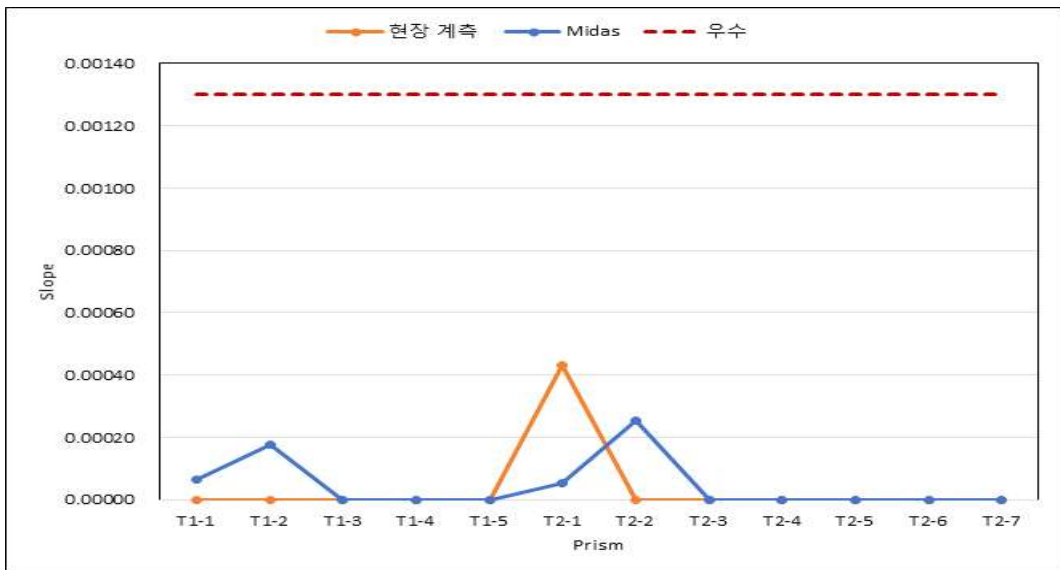


(b) DY

[그림 4.27] Step 3 기울기 비교



(a) DX



(b) DY

[그림 4.28] Step 4 기울기 비교

3. 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모)

본 해체 대상 건축물은 광주광역시 서구 소재의 지상 29층 건물로서 장비를 탑재하여 해체를 진행하였다. 시나리오의 구성은 일반적으로 고층아파트의 한층을 해체하는 과정과 여러층을 해체하였을 때를 가정하여 계획하였다. 또한, 해당 구조물은 설계기준강도(f_{ck})는 24MPa, 철근의 항복강도(f_y)는 400MPa이다. 하지만, 현장에서 콘크리트 강도측정 결과 24MPa보다 낮은 강도로 조사되었다. 이에 24MPa보다 적은 강도일 경우의 콘크리트 압축강도 16MPa, 12MPa의 Case를 비교하여 구조검토를 실시하였다. 건축물의 개요와 모델링 [표 4.16], [그림 4.29]에 나타내었고, 사용장비 제원과 사진은 [표 4.17], [그림 4.30]에 나타내었다. 해당 건축물에 맞는 하중선정은 [표 4.18~20]과 같다.

[표 4.16] 건축물 개요

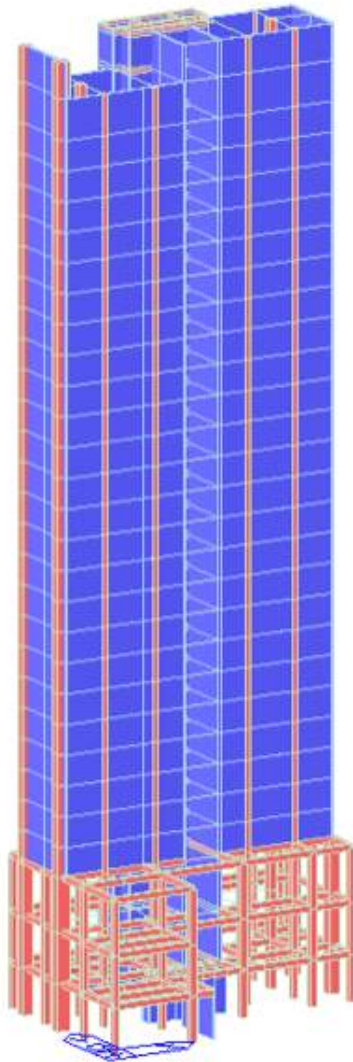
구분	내용
해체 규모/높이	지상 4층~지상 29층/ 98
용도	무시설, 오피스텔
건축구조	철근콘크리트구조
건물위치	광주광역시 서구 소재



[그림 4.29] 탑재 해체 사용 장비

[표 4.17] 탑재 장비 제원

구 분	내 용
구 분	HX140A
철거가능높이	최대 7,975 mm
장비중량	13,975~14,805kg
최대 덤프높이	2,780 mm
전장	6,820 mm
전폭	2,490mm
최대 굴착반경	7,470 mm



[그림 4.30] 대상 건축물 모델링

[표 4.18] 고정하중

고정하중	두께(mm)	비중	(kg/m^2)	(kN/m^2)
코어 슬래브(t=150)	150	2.4	360	3.60
슬래브(t=250)	250	2.4	600	6.00

[표 4.19] 활하중

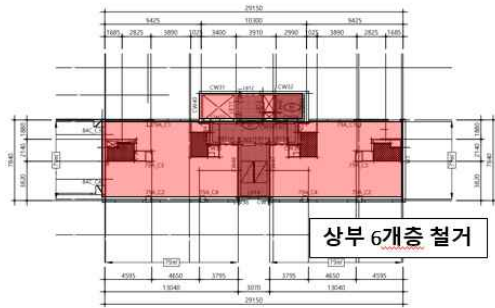
폐기물 활하중	높이(m)	비중(kN/m^2)	공극률	검토허중(kN/m^2)
철거 잔재물(300mm)	0.3	23	0.7	4.83
철거 잔재물(200mm)	0.2	23	0.7	3.22

[표 4.20] 장비하중

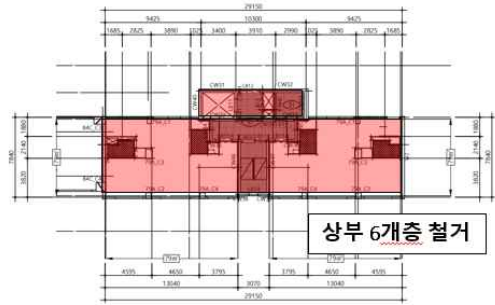
장비하중	중량(kg)	전폭(mm)	텀블러 중심간 거리(mm)	검토허중
탑재용 활하중	14,805	2,490	2,490	27.267 kN/m^2

가. 구조 안전성 검토

구조안전성 검토를 위해 해체 시나리오 1가지를 선정하여 강도별 구조안전성 검토를 진행하였다. 상층부에 장비를 탑재하여 지붕층부터 6개층씩 해체하는 과정으로 계획하였다. 해체 시나리오의 과정은 [그림 4.31~32]에 나타내었다. 해당 벽식구조 아파트의 프리즘 설치 위치는 [그림 4.33]와 같다. 해당 해체는 진행중에 있으며, 이를 실시간을 판단하기 위해 개발한 프로그램은 [그림 4.34]와 같다.



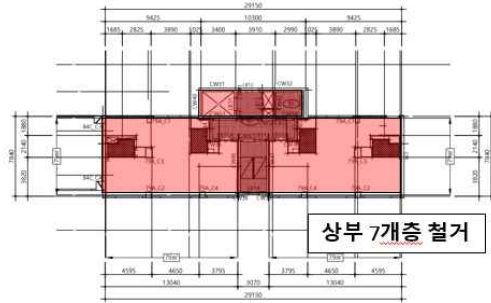
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3

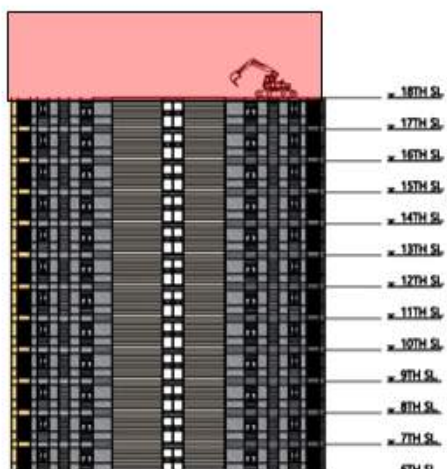


(d) Step 4

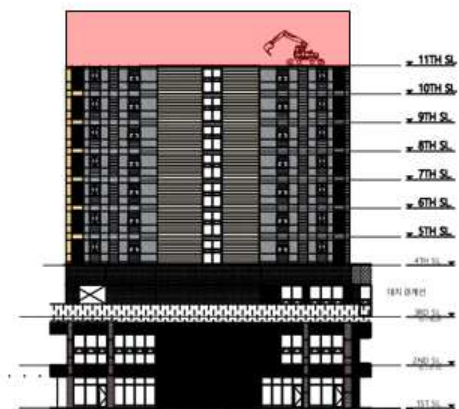
[그림 4.31] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 시나리오 1 평면도



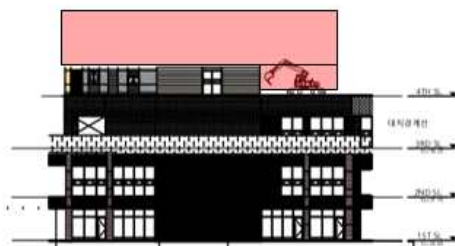
(a) Step 1



(b) Step 2

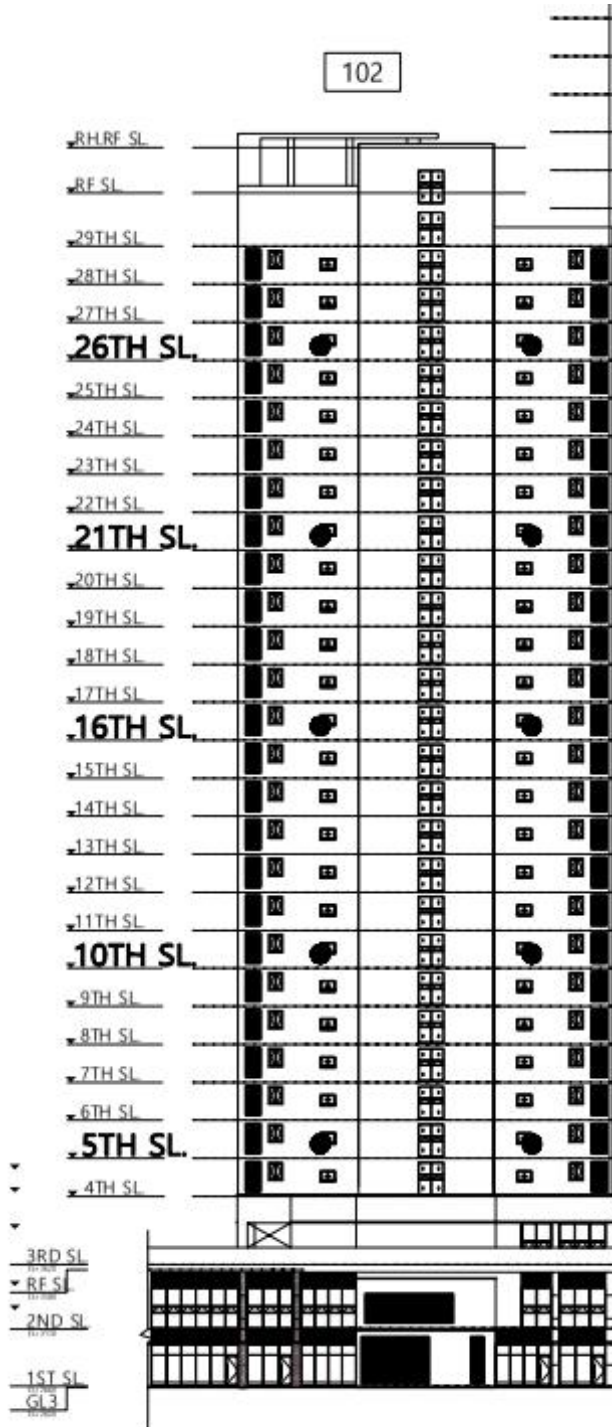


(c) Step 3

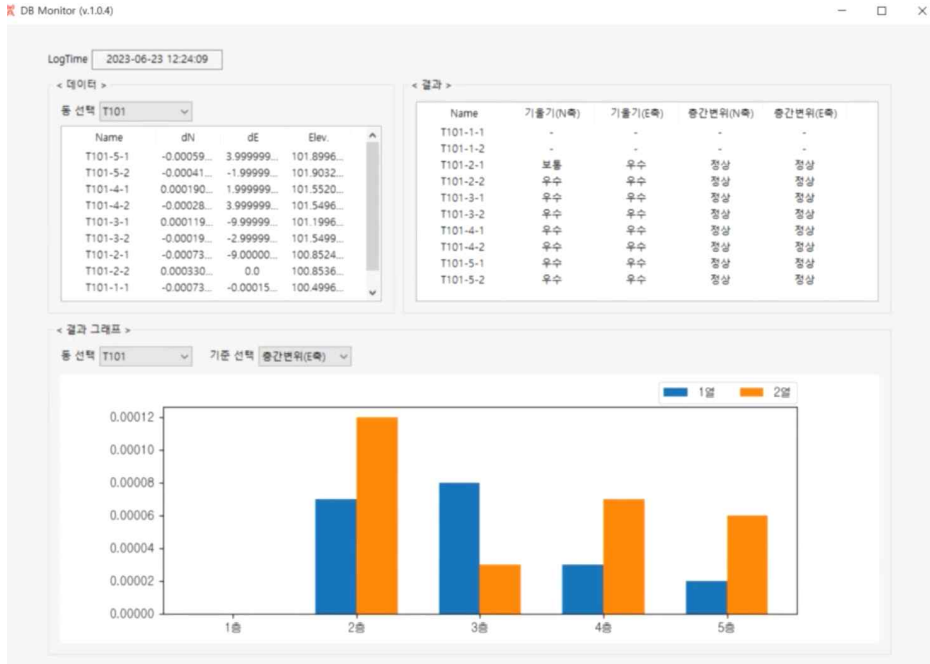


(d) Step 4

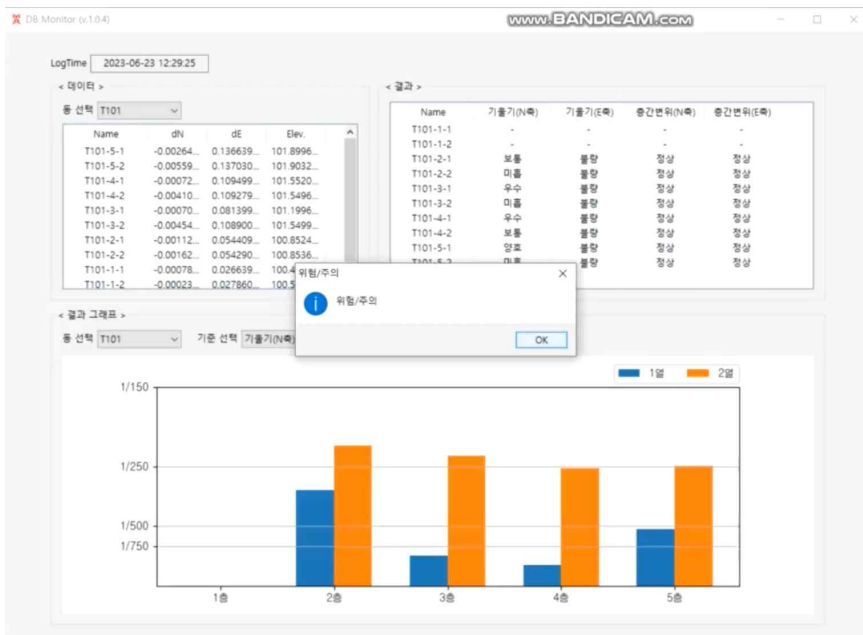
[그림 4.32] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 시나리오 1 북측면도



[그림 4.33] 철근콘크리트 벽식구조 아파트 (29층 규모) 프리즘 설치 위치



(a) DB Monitor



(b) DB Monitor 팝업 알림

[그림 4.34] 해체 건축물 모니터링 프로그램

나. 모니터링 프로그램

해당 벽식아파트 해체 중에서는 토털스테이션에서 바로 값을 받아 위험한지 판단해주는 프로그램을 개발하였다. 기존 토털스테이션에서 변위값을 받아볼 때 별도의 프로그램을 쓰지 않으면 약간의 딜레이가 생겨 결과 도출이 지연되었다. 또한, 실시간으로 받아보기에 단점이 존재하여 좀 더 빠르고 신속하게 결과를 불러오기 위해 DB Monitor 라는 프로그램을 개발하여 해당 현장에 연동하였다. 이 프로그램은 [그림 4.34]와 같이 토털스테이션에서 측정되는 변위를 즉각적으로 표현하고 이를 미리 입력해놓은 안전기준에 맞게 계산하여 기울기 및 층간변위 수준 등이 만족하는지 바로 알 수 있다. 또한, 과도한 변위가 생겨 사전에 설정한 위험기준이 넘어가는 기울기나 층간 변위가 발생할 시 팝업알람이 뜨는 기능도 추가하였다. 본 프로그램의 발달은 앞으로 레이저 계측으로 해체현장 실시간 변위진단 가능성을 높여줄 것으로 사료된다.

제2절 소결

본 연구는 해체 공사 중 발생할 수 있는 안전사고를 방지하고 인명피해를 감소시키기 위해 체계화된 해체 프로세스개발과 실시간 변위 진단을 통한 해체 안전 모니터링 기술을 도출하고자 하였다. 실험과 해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다. 토털스테이션을 활용하여 변위 측정을 실시한 결과 오차분포는 0.001~0.002m 이내로 나타나는 것을 확인하였다. 다만 실제 현장계측에서 계측값과 프로그램을 통한 구조해석 변위 값의 차이가 다소 있는 것으로 확인하였다. 이는 실제 현장에서는 연속적으로 하중이 가해지는 반면, 구조해석 시 현장과 같이 연속적으로 발생하는 하중은 부여하기 어렵기 때문에 구조물의 거동 양상은 비슷하나 변위 값의 차이가 발생하는 것으로 보인다. 계측을 통한 안전진단과 모니터링을 현장에 적용하기 위해서는 구조해석 시 해당 공정과 최대한 유사한 구조모델링과 하중 부여가 필요하다고 판단된다. 또한, 공사 이전 구조검토를 실시하고 현장기계 계측을 통해 구조적 안전 모니터링을 실시한다면 많은 사고 예방에 큰 도움을 줄 것으로 예상된다. 해체건축물 안전성검토를 위한 구조해석을 진행할 시 최대한 실제 공사공정과 유사한 시나리오를 작성하고, 하중을 선정하여 안전성 검토를 실시하여야 유의미한 결과가 도출될 것으로 판단된다. 현재 해체건축물의 안전을 진단하는 기준은 매우 미비한 실정에 있다. 해체공사를 진행함에 있어서 안전사고를 예방하기 위한 더 정교한 평가기준이 마련된다면 앞으로의 안전사고 예방에 기여가 될 것으로 기대된다.

제5장 결론

- 1) 본 연구는 해체공사 중 붕괴 및 인명 사고를 감소하기 위해 3차원 자동변위계측 시스템을 통해 건축물 해체의 안전 모니터링 기술을 도출하고자함
- 2) 공사 진행에 따른 해체 영상과의 타임라인을 맞춰 비교검토를 진행하였고, 외벽 해체 및 슬래브해체, 굴삭기와 같은 대형장비 이동 및 인력이동, 잔재물투하 및 정리 등의 작업에 따른 공사 하중 발생과 변위 발생의 유사성 및 하중 발생 지점을 기준으로 거리 및 층간 변위량의 차이에 대한 비교분석을 통해 변위 데이터의 신뢰성 확인 타겟별변위의 발생 방향은 대부분 동일하게 나타났으나, 일부 시간대에서 변위 크기는 비슷하나 상이한 방향성을 나타냄. 이는 타겟별측정시간의 딜레이(각 타겟간 20s정도의 딜레이 발생)와 날씨 영향(비, 바람)및 비계 위 인력이동의 영향이 있을 것으로 사료됨.
- 3) 최대 처짐이 발생하는 부재의 잭서포트 보강은 해체 안전성의 향상을 확인할 수 있었다.
- 4) 구조해석 결과를 통해 건축물 해체공사 전반에 대한 구조안정성 확보가 크게 개선되는 효과를 기대할 수 있다.
- 5) 단계별 해체 과정에 따른 건축물의 상태변화를 구조해석을 통해 확인하여 취약부분 보강을 통해 구조안전성 확보가 가능하다.
- 6) .부재 철거 순서, 장비, 하중 등 여러가지의 상황의 해체 시나리오를 계획하고 구조해석을 통해 해체 대상 건축물에 적합한 해체 방식을 선정하는 것이 중요함.
- 7) 선정 건축물이 고층건물로서 지진에 대한 영향력을 무시할 수 없어 내진성능평가가 필요함. Pushover 해석 이후 인명안전·붕괴방지수준에서의 층간변형각이 허용 층간변형각이내 임을 확인할 수 있고, 구조물 저층부에 소성힌지가다수 분포하였으나, 모든 1차부재가 붕괴방지를 만족하며, 인명안전, 즉시거주, 기능수행을 만족하는 부재가 부담하는 중력하중의 합이 전체 중력하중의 80% 이상으로 인명안전·붕괴방지수준 둘 다 만족함.

참고문헌

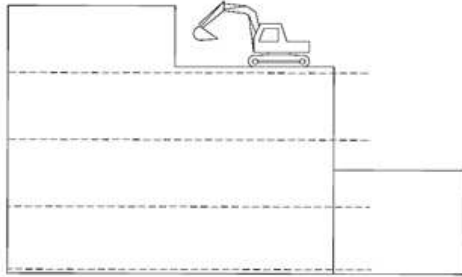
1. 박성식, 이범식, 김효진, 손창학, "RC건축물 해체공사의 안전성 평가기법 및 탑재 장비 등급 제안." LHI journal of land, housing, and urban affairs 2.2, pp. 195-204, 2011
2. 박성식, 이범식, 박지영, 김효진, 손창학, "해체공사 실무자를 위한 기계식 해체대상 RC구조물의 해석기법 제안." LHI journal of land, housing, and urban affairs 2.4, pp. 569-575, 2011
3. 이택규(Lee Taek-Gyu), and 윤태호(Yoon Tae-Ho). "건축물 해체공사시 해체잔재물의 허용적재높이에 관한 연구." 대한건축학회 학술발표대회 논문집 vol. 34, no. 2, pp. 489-490, 2014
4. 박성우(Park Sung Woo), 이은석(Lee Eun Seok), 이동철(Lee Dong Chul), and 박효선(Park Hyo Sun). "모션 캡처를 이용한 구조물의 변위 계측." 대한건축학회 학술발표대회 논문집 vol. 30, no. 1, pp. 117-118, 2010
5. 안전보건공단(2017) 철거·해체공사 표준안전작업 절차서, 고용노동부, p.135.
6. 최원일, 박근영, 조국환, Choi Won-Il, Park Geun-Young, and Cho Kook-Hwan. "3차원 스캔을 이용한 터널계측의 경제성에 관한 연구." 한국방재학회논문집 vol. 10, no. 2, pp. 77-82, 2010
7. 박운용, 이동락, 광두호, and 김진수. "GPS와 TS(Total Station)을 이용한 댐구조물의 모니터링과 3차원 변위 검출." 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 573-576, 2000
8. 박준규 and 엄대용, "구조물 및 지형변위 모니터링을 위한 토털스테이션의 활용," 한국산학기술학회 논문지, vol. 21, no. 4, pp. 582-587, 2020.
9. 윤태호 and 손보식, "10층 이하 건축물 해체공사시 해체잔재물의 허용하중에 관한 연구," 대한건축학회연합논문집, vol. 24, no. 3, pp. 41-48, 2022.
10. 이세강. "국내 토털스테이션 검정을 위한 국제규격 적용 방안 연구." 국내석사 학위논문 한남대학교 대학원, 2017
11. 박기현 and 홍성언, "지적재조사 측량에 적용을 위한 반사시트 타깃 토털스테이션 측량의 정확도 평가," 대한공간정보학회지, vol. 22, no. 4, pp. 91-97, 2014
12. 박경식, 함창학, and 이재기. "터널계측을 위한 1인 무프리즘 측량시스템의 효율

- 성 평가." 대한공간정보학회지, vol.15, no. 4, pp. 89-96, 2007
13. 서동주, "지형측량을 위한 무 프리즘 토털스테이션 정확도 평가," 한국측량학회지, vol 24, no. 5, pp. 433-441, 2006.
 14. 주택정책실 지역건축안전센터 "서울특별시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼", 2023
 15. 이종출, 김희규, 최철웅, 노태호. "교량 변위 측정을 위한 무프리즘 토털스테이션 적용." 대한토목학회 학술대회, 2006
 16. 박기현, 홍성언, 지적재조사 측량에 적용을 위한 반사시트 타깃 토털스테이션 측량의 정확도 평가. 대한공간정보학회지, vol. 22, no. 4, pp. 91-97, 2014
 17. 박성식, 이범식, 박지영, 김효진, and 손창학, "해체공사 실무자를 위한 기계식 해체대상 RC구조물의 해석기법 제안," LHI 저널, vol. 2, no. 4, pp. 569-575, 2011.
 18. 김희창, "건물해체 공법과 전망," 기술사, vol. 25, no. 5, pp. 76-91, 1992.
 19. 조창근, 김태훈, 임현진, 김형기, "스마트 기술을 이용한 건축물 해체 과정의 안전관리 모니터링 사례," 콘크리트학회지, vol. 34, no. 3, pp. 66-72, 2022.
 20. 이택규, 윤태호, "건축물 해체공사시 해체잔재물의 허용적재높이에 관한 연구," in 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp. 489-490, 2014
 21. 박기현 and 홍성언, "지적재조사 측량에 적용을 위한 반사시트 타깃 토털스테이션 측량의 정확도 평가," 대한공간정보학회지, vol. 22, no. 4, pp. 91-97, 2014.
 22. 박기현 and 홍성언, "지적재조사 측량에 적용을 위한 반사시트 타깃 토털스테이션 측량의 정확도 평가," 대한공간정보학회지, vol. 22, no. 4, pp. 91-97, 2014.
 23. 주한돈. "오토 트래킹 토털스테이션의 지적측량 적용 방안 연구." 국내박사학위논문 청주대학교 대학원, 2023
 24. 이형용. "건축물 해체공사를 위한 QFD-FMEA기반의 공법선정 및 위험성 평가 통합모델." 국내박사학위논문 단국대학교 일반대학원, 2022
 25. 조재명, 윤홍식, and 이원춘, "정밀 기선장 관측에 의한 EDM 장비의 영점오차와 축척오차의 결정," 한국측량학회지, vol. 22, no. 2, pp. 137-143, 2004.
 26. 국토교통부 "2021년 기준 전국 건축물 현황.", 2021
 27. 서울특별시 "건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼(2023)", 2023

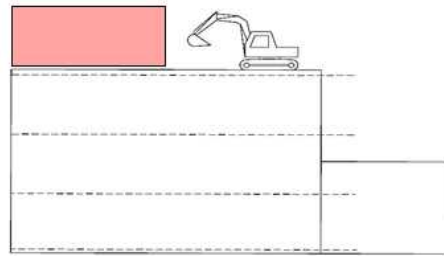
28. 광주광역시 " 광주광역시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼", 2022
29. 안전보건공단 " 해체공사 안전작업절차서", 2021
30. 안전보건공단 "[Quick Message] 건축물 해체철거 붕괴사고", 2021
31. 박현용. "지형측량을 위한 무프리즘 토털스테이션의 평가." 국내석사학위논문
부경대학교, 2007
32. 국토교통부, "최근 3년간의 전국 해체허가 및 신고건수.", 2022
33. 김구연. "영상기반 변위계측 시스템의 대형구조물 적용성 연구." 국내석사학위
논문 경북대학교 대학원, 2020
34. 정현지. "건축물 해체공사 시스템의 Safety Control Structure Model 개발."
국내석사학위논문 충북대학교, 2023
35. 장재윤. "건축물의 철거와 해체허가에 관한 공법적 연구." 국내석사학위논문
서울대학교 대학원, 2021
36. 안전보건공단 "중대사고 이슈리포트", 2021
37. 차광찬 and 김수경, "해체공사 붕괴사고 사례 및 원인분석," 건축구조, vol.
19, no. 3, pp. 35-36, 2012
38. 이민경 신치후 이규철 이종민 조영진 진태승, "건축도시공간연구소 건축물 유
지관리 및 해체 등에 관한 법령 정비 방안," 국립중앙도서관, 2017
39. 이세강. "국내 토털스테이션 검정을 위한 국제규격 적용 방안 연구." 국내석사
학위논문 한남대학교 대학원, 2017
40. 주택정책실 지역건축안전센터 "건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼", 2023
41. 주택건축본부 지역건축안전센터 "서울특별시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼
", 2019
42. 강미령, 최준호, 김대혁, 이기세, and 강영중, "구조물 형상 추정을 위한 변위
계측 위치 선정기법 연구.", 대한토목학회 학술대회, pp. 538-541, 2012
43. 민윤기, 박복만, and 최인성, "철근 콘크리트 건축물의 해체에 관한 연구 - 해
체공법의 적용과 Claim의 원인을 중심으로 (A study on the Demolition of
Reinforced Concrete Buildings)," in 대한건축학회 학술발표대회 논문집 -
구조계, pp. 549-552, 1990
44. 박성우, 이은석, 이동철, and 박효선, "모션 캡처를 이용한 구조물의 변위 계
측," in 대한건축학회 학술발표대회 논문집 vol. 30, no. 1, pp. 117-118,
2010

부록

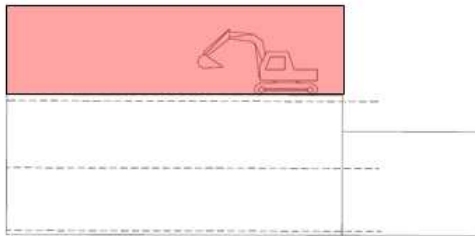
1. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 입면도



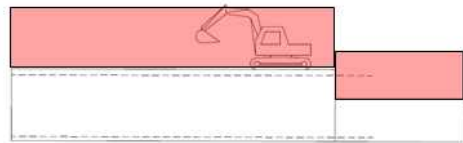
(a) Step 1



(a) Step 2

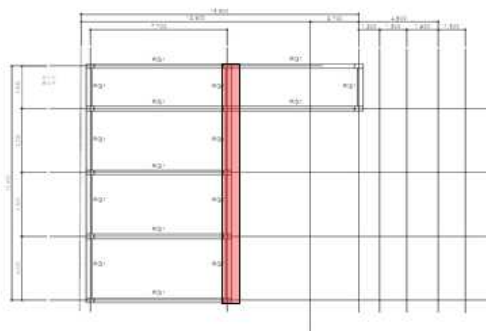


(a) Step 3

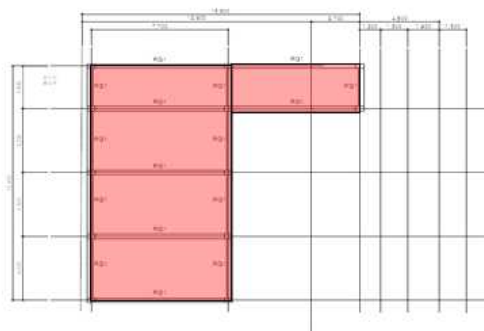


(a) Step 4

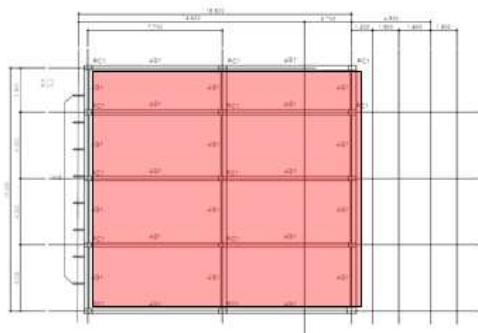
2. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 평면도



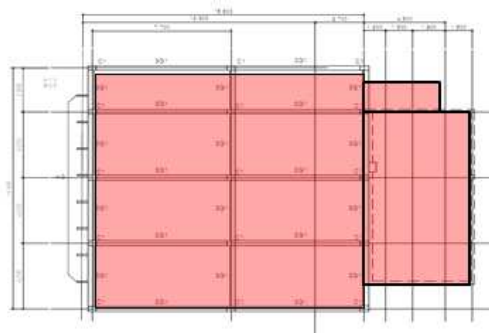
(a) Step 1



(b) Step 2

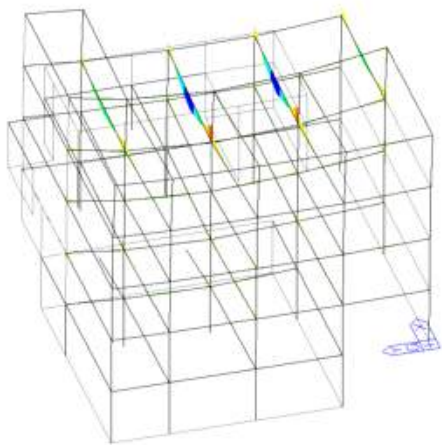


(c) Step 3

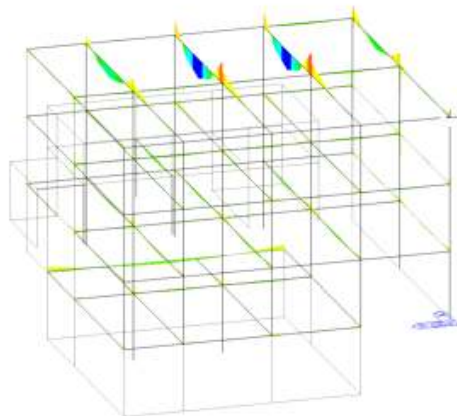


(d) Step 4

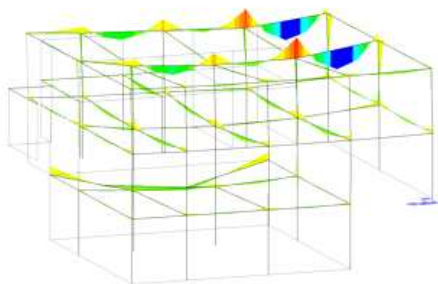
3. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 횡모멘트



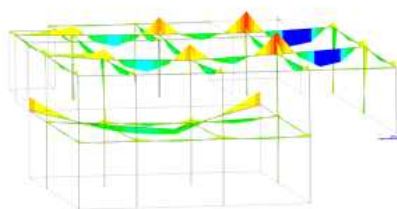
(a) Step 1



(b) Step 2

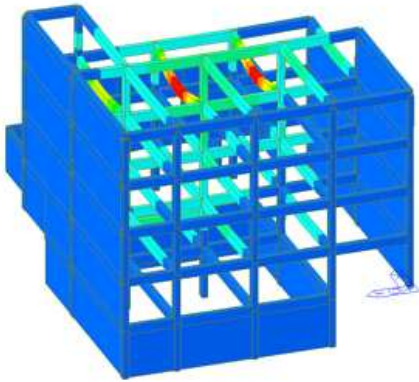


(c) Step 3

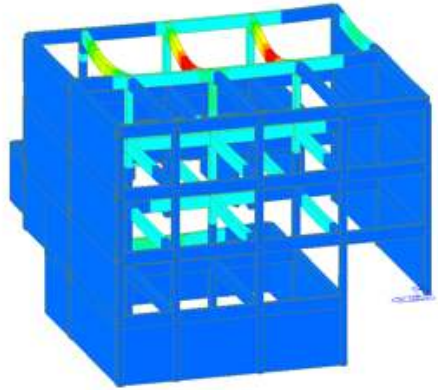


(d) Step 4

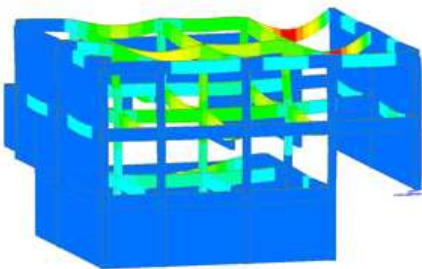
4. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 처짐



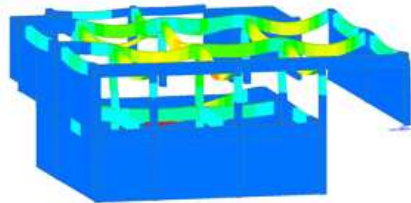
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

5. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 축력

Case	축력 (kN)	
	기둥	벽체
Step 1	-1,136.92	-2,041.87
Step 2	-1,057.09	-1,866.48
Step 3	-970.49	-1,629.50
Step 4	-716.74	-964.58

6. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 휨모멘트

Case	보&기둥 휨모멘트(kN · m)		벽체 휨모멘트
	기둥	벽체	
Step 1	-528.08	-292.86	-5,050.13
Step 2	-487.01	-305.58	4,090.54
Step 3	-294.08	-39.99	3,168.99
Step 4	-181.33	53.40	1,488.36

7. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 전단력

Case	보&기둥 전단력(kN)		벽체 전단력
	약축	강축	
Step 1	-124.51	-472.79	-289.62
Step 2	-129.44	-465.78	115.31
Step 3	21.46	-486.80	115.31
Step 4	24.54	-265.52	38.81

8. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	3.65
Step_2	17.53
Step_3	4.51
Step 4	3.43

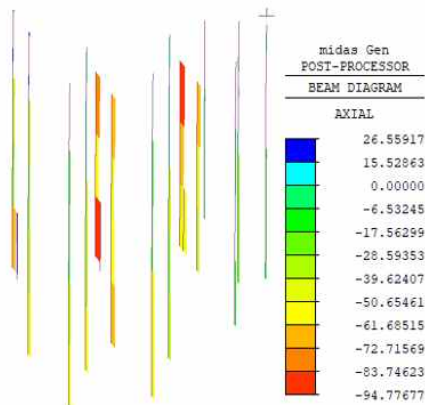
9. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
	Step 1	4.33	4.86	2.05
Step 2	2.92	3.12	2.05	2.05
Step 3	1.88	3.26	1.05	1.08
Step 4	1.12	1.78	0.56	0.56

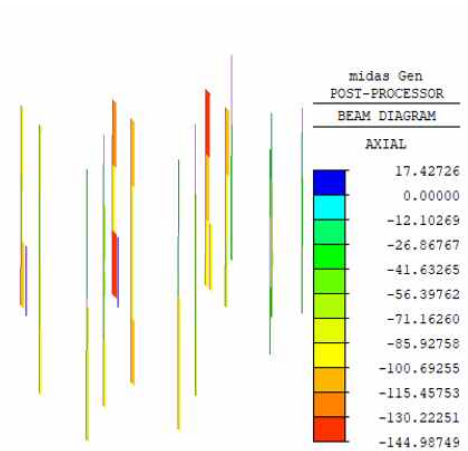
10. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 부재 전단 내력비

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	1.00	1.00	0.09	0.10
Step 2	1.00	1.00	0.07	0.06
Step 3	0.43	0.43	0.07	0.06
Step 4	0.22	0.22	0.05	0.03

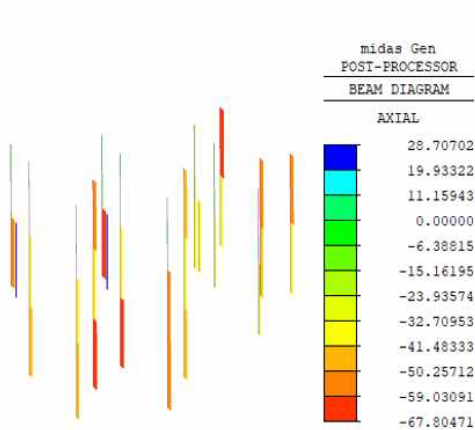
11. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 액서포트 축력



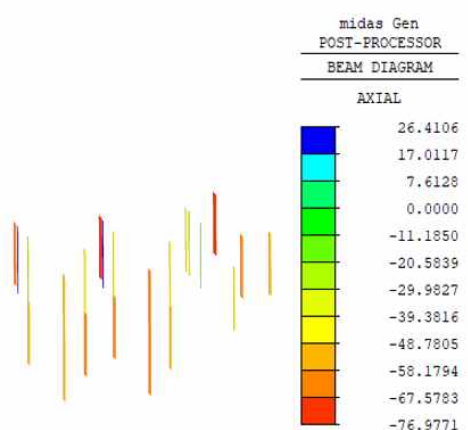
(a) Step 1



(b) Step 2

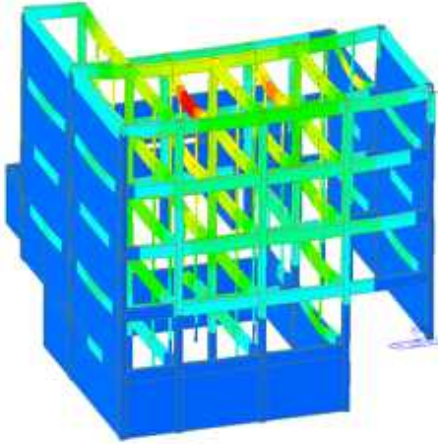


(c) Step 3

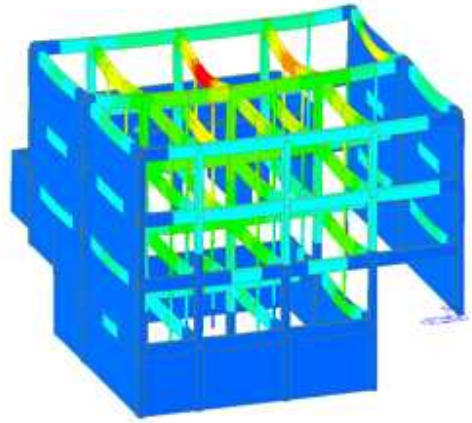


(d) Step 4

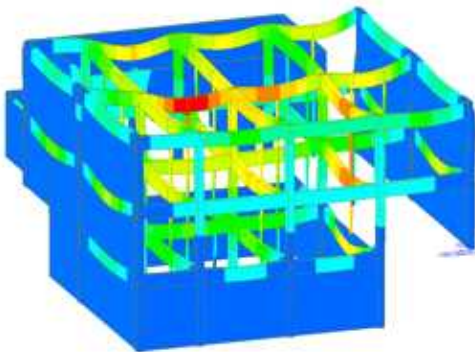
12. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 보강 후 처짐



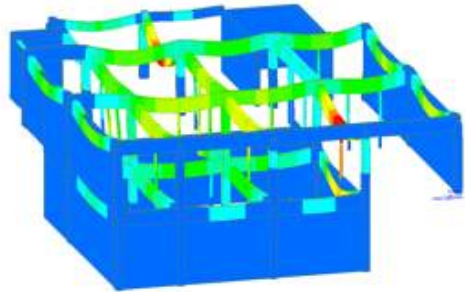
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

13. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 보강 후 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	2.84
Step_2	4.36
Step_3	2.36
Step 4	2.65

14. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 보강 후 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.79	0.76	0.75	0.74
Step 2	1.07	1.00	0.68	0.67
Step 3	0.64	1.06	0.55	0.54
Step 4	0.74	1.06	0.43	0.42

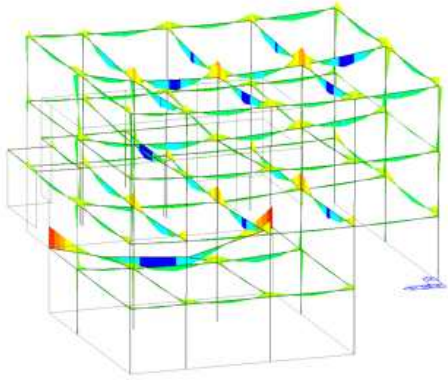
15. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 보강 후 부재 전단 내력비

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.20	0.20	0.09	0.12
Step 2	0.43	0.43	0.06	0.05
Step 3	0.18	0.18	0.05	0.05
Step 4	0.18	0.18	0.04	0.02

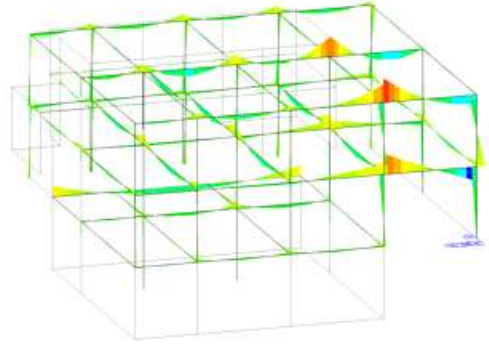
16. 지상 4층 해체 건축물 시나리오 1 최상층 기준 수직기울기

수직기울기	DX		DY	
	보강전	보강후	보강전	보강후
Step 1	0.0000238	0.00000121	0.0000256	0.0000197
Step 2	0.0000018	0.000001	0.000009	0.0000069
Step 3	0.00000113	0.0000016	0.000009	0.0000066
Step 4	0.00000066	0.00000357	0.0000153	0.00000447

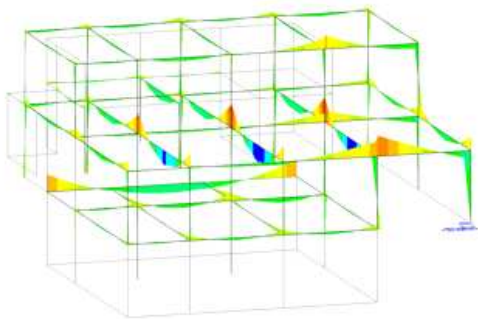
17. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 횡모멘트



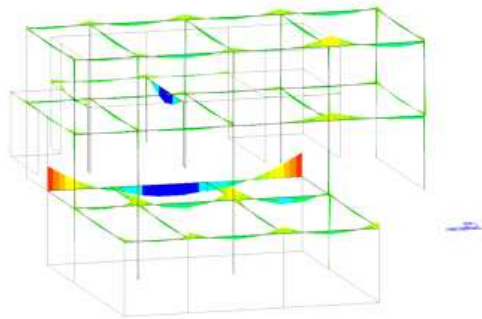
(a) Step 1



(b) Step 2

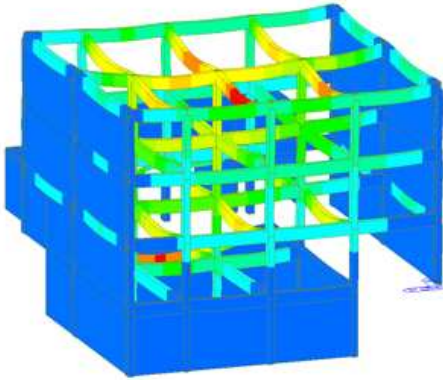


(c) Step 3

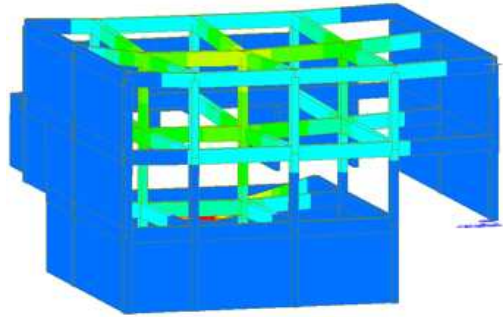


(d) Step 4

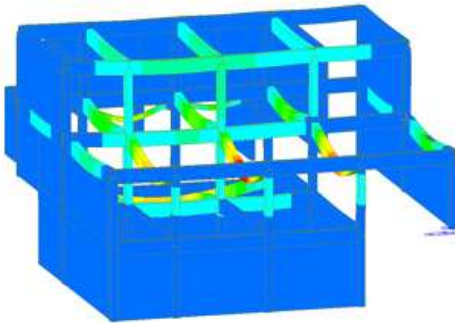
18. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 처짐



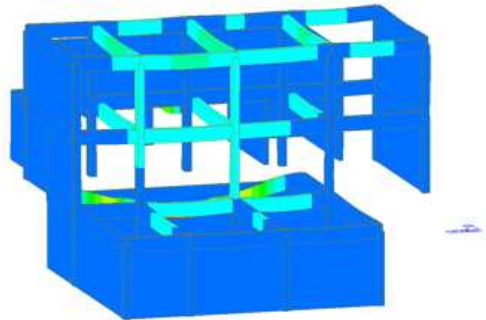
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

19. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 축력

Case	축력 (kN)	
	기둥	벽체
Step 1	-1,157.55	-1,844.36
Step 2	-924.31	-1,350.63
Step 3	-638.78	-989.95
Step 4	-386.48	-629.06

20. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 휨모멘트

Case	보&기둥 휨모멘트(kN · m)		벽체 휨모멘트
	기둥	벽체	
Step 1	-150.48	69.09	3,535.40
Step 2	-170.71	-52.85	1,629.71
Step 3	-225.36	110.57	850.57
Step 4	-141.43	-23.25	506.91

21. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 전단력

Case	보&기둥 전단력(kN)		벽체전단력
	약축	강축	
Step 1	30.96	-150.62	139.70
Step 2	26.14	-241.16	140.42
Step 3	48.65	174.64	1,404.24
Step 4	-8.65	-88.60	140.42

22. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	5.1
Step_2	4.59
Step_3	5.94
Step 4	4.38

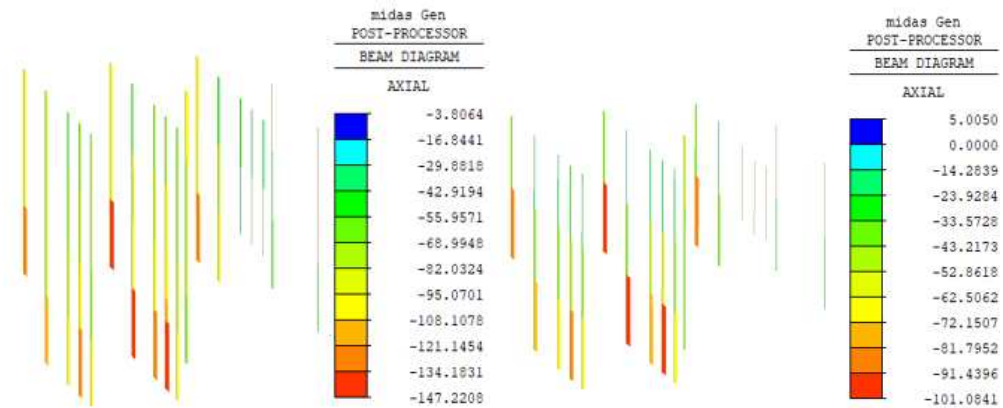
23. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.90	0.91	1.52	0.07
Step 2	0.72	0.72	1.51	0.06
Step 3	0.77	0.77	1.50	0.05
Step 4	0.40	0.39	1.43	0.05

24. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 전단 내력비

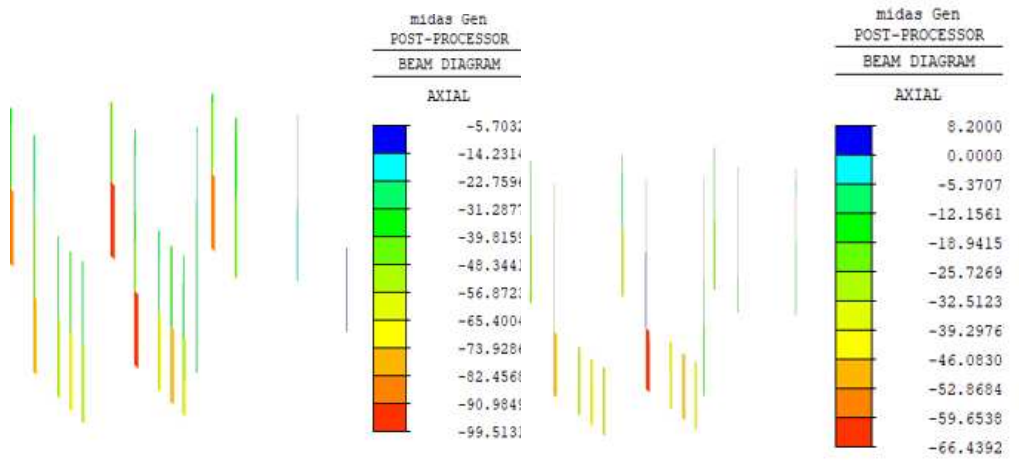
Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.28	0.28	1.00	0.07
Step 2	0.22	0.22	1.61	0.07
Step 3	0.42	0.42	1.17	0.07
Step 4	0.16	0.16	0.57	0.07

25. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 잭서포트 축력



(a) Step 1

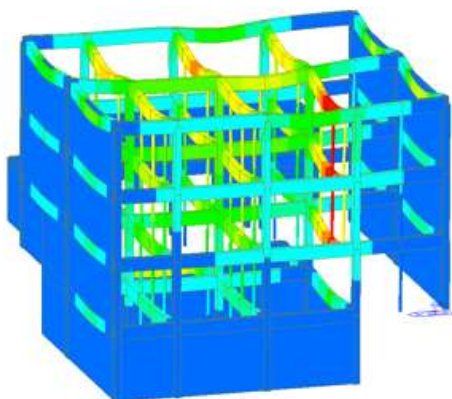
(b) Step 2



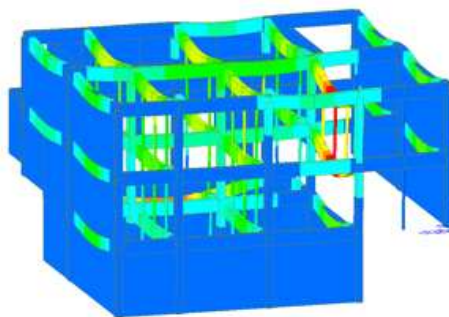
(c) Step 3

(d) Step 4

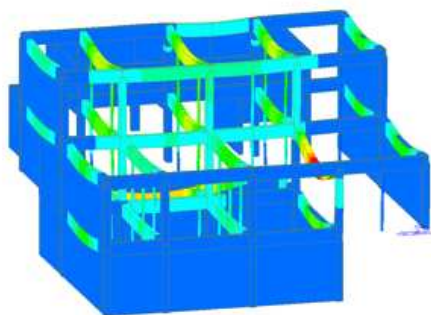
26. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 보강 후 처짐



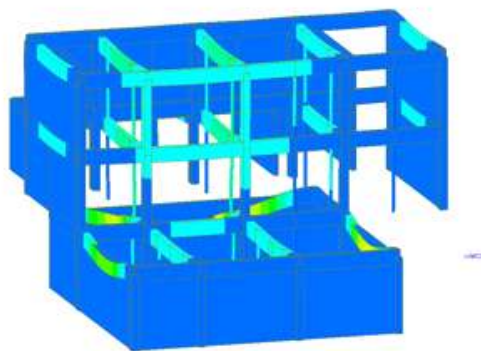
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

27. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 보강 후 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	4.53
Step_2	2.76
Step_3	3.02
Step 4	2.26

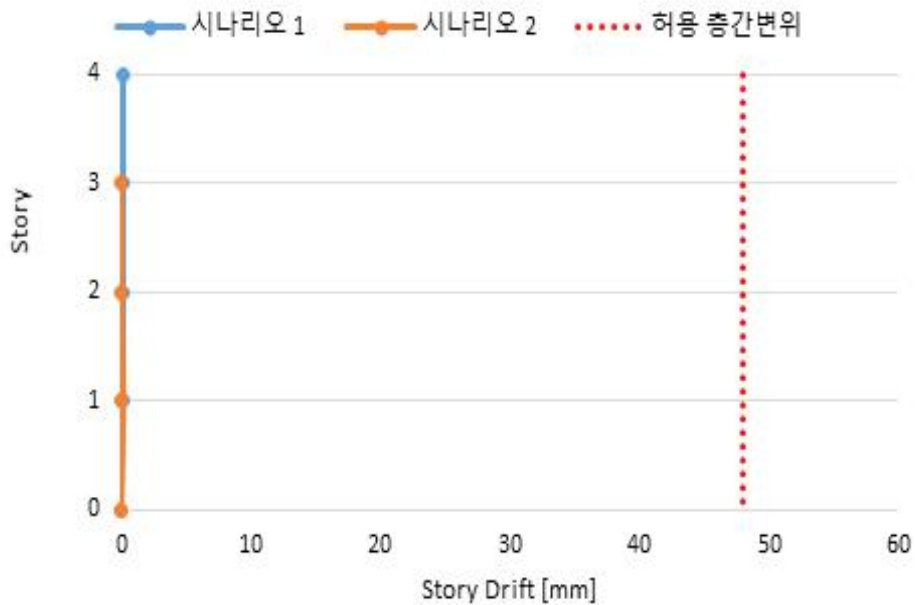
28. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 보강 후 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.75	0.71	0.75	0.06
Step 2	0.72	0.41	0.72	0.04
Step 3	0.40	0.40	0.72	0.04
Step 4	0.72	0.24	0.72	0.04

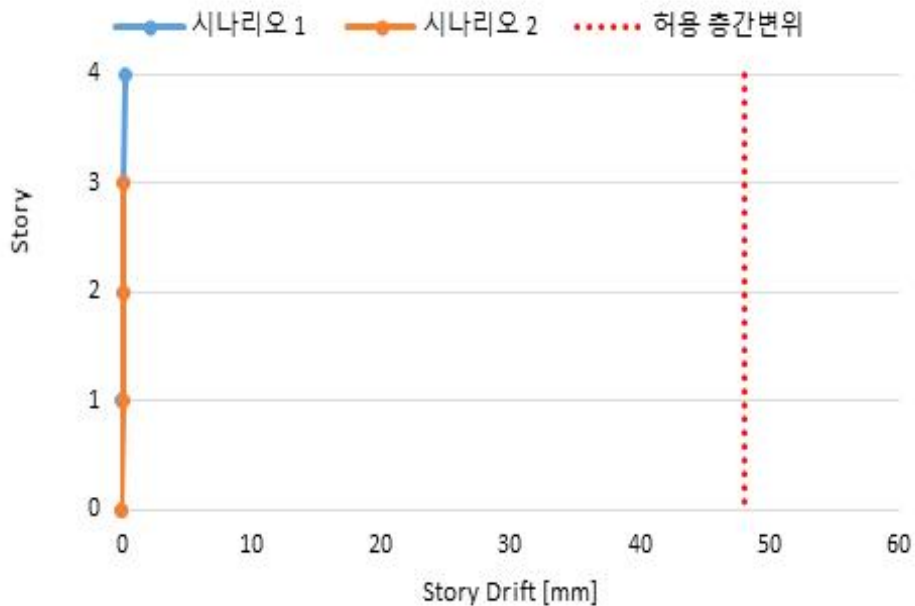
29. 지상 4층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 보강 후 부재 전단 내력비

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.42	0.86	0.86	0.04
Step 2	0.29	0.65	0.65	0.04
Step 3	0.23	0.23	0.65	0.04
Step 4	0.14	0.49	0.49	0.04

30. 지상 4층 해체 건축물 Step 1 층간변위 비교

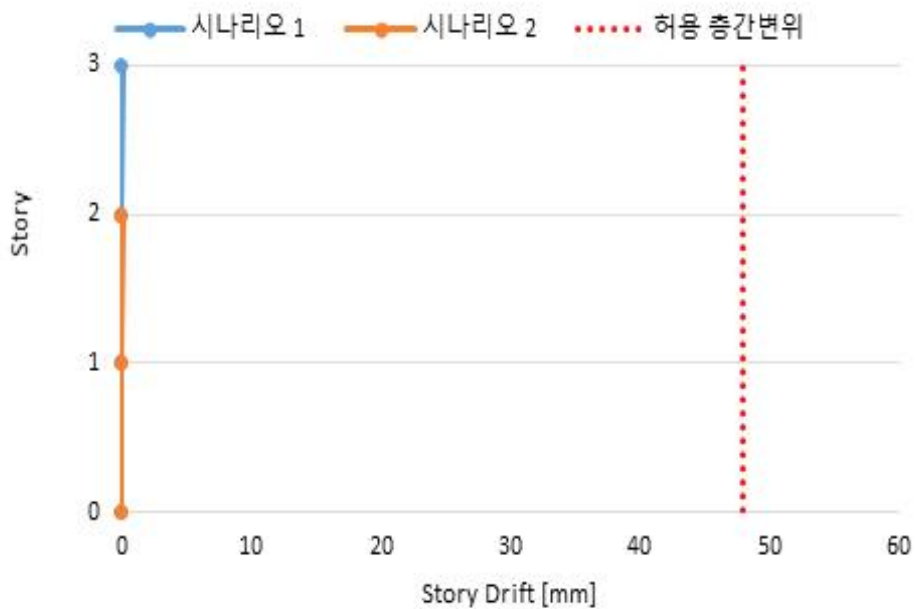


(a) DX

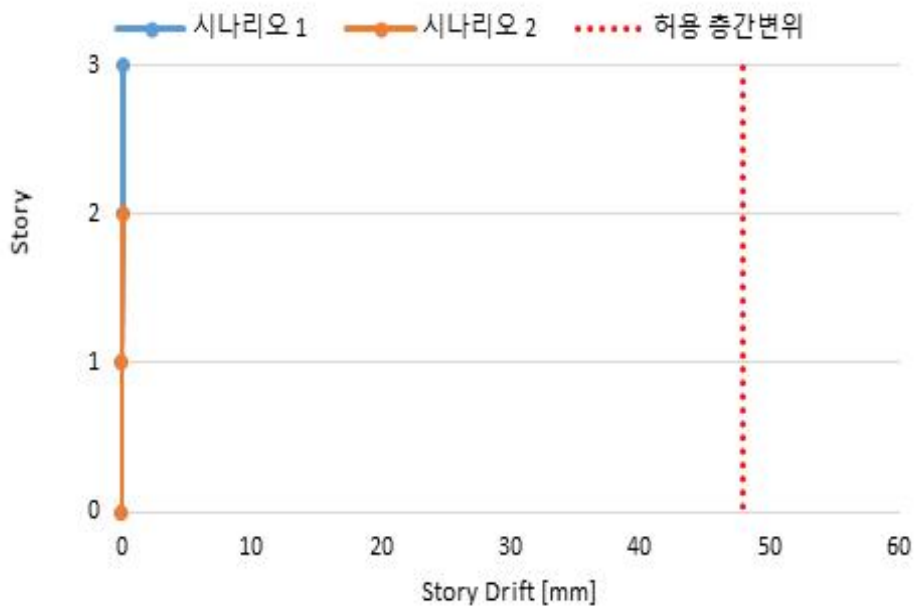


(b) DY

31. 지상 4층 해체 건축물 Step 2 층간변위 비교

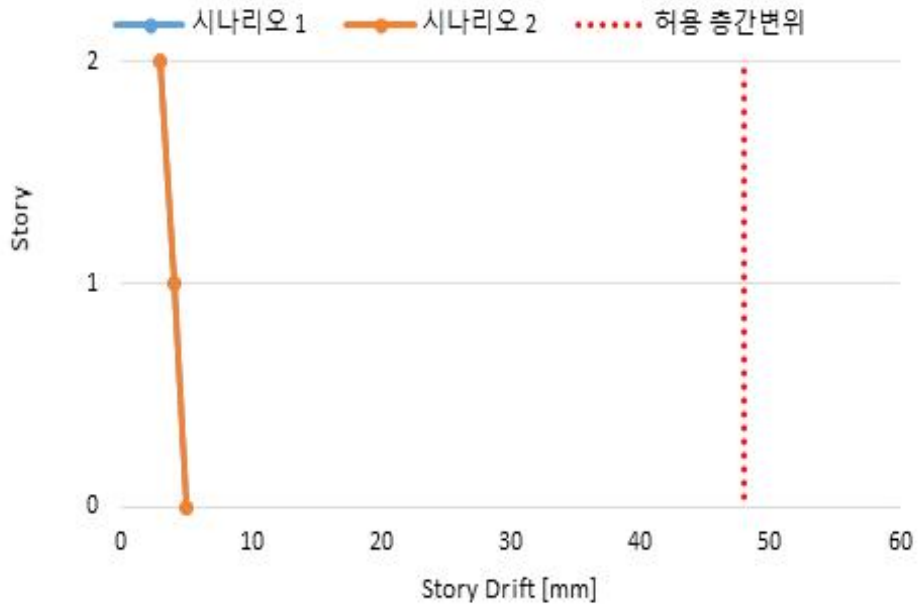


(a) DX

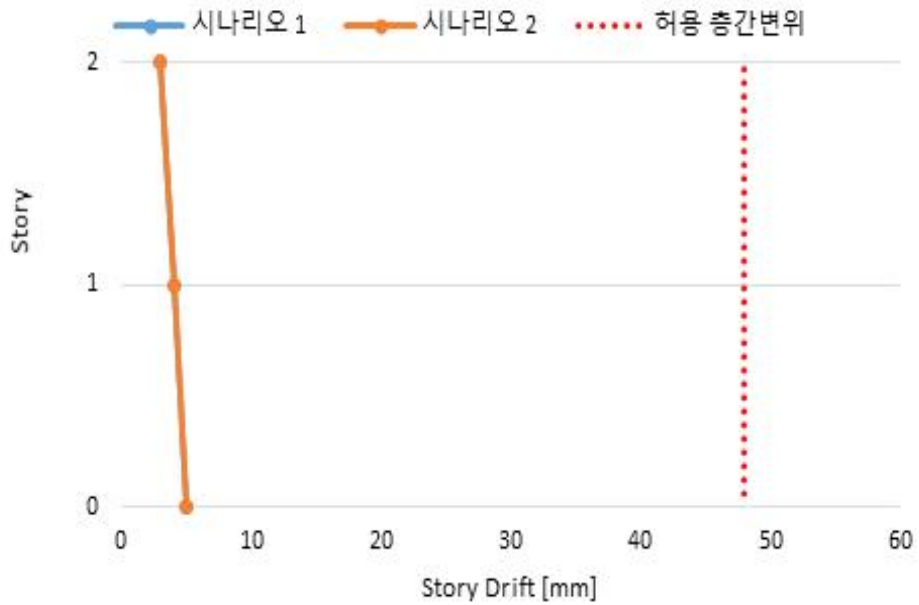


(b) DY

32. 지상 4층 해체 건축물 Step 3 층간변위 비교

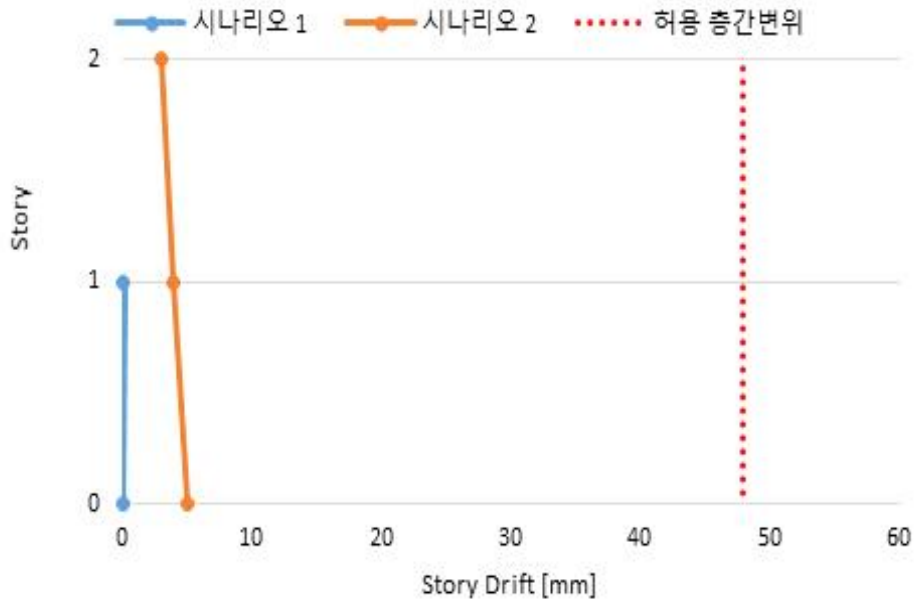


(a) DX

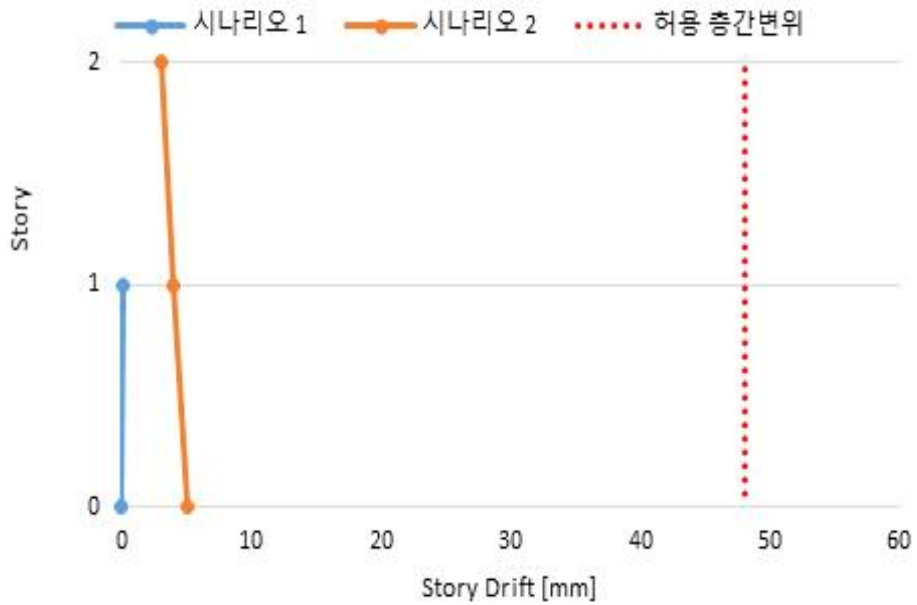


(b) DY

33. 지상 4층 해체 건축물 Step 4 층간변위 비교

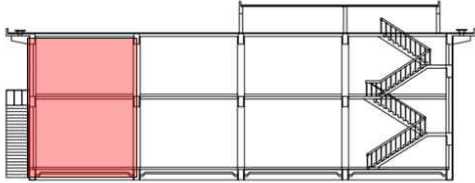


(a) DX

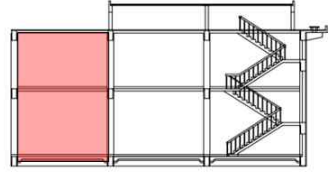


(b) DY

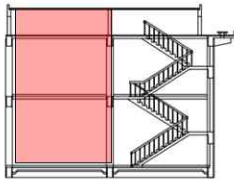
34. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 배면도



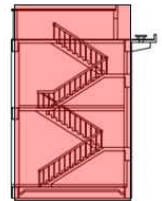
(a) Step 1



(b) Step 2

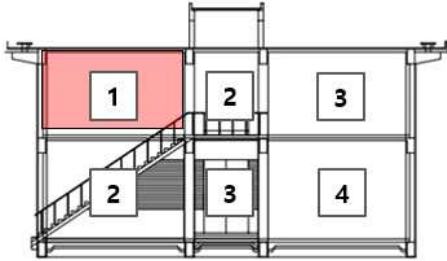


(c) Step 3

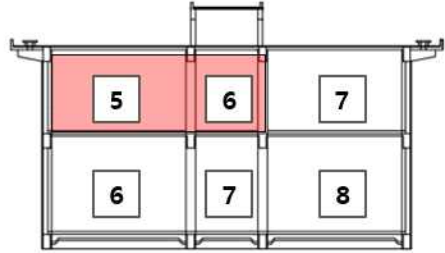


(d) Step 4

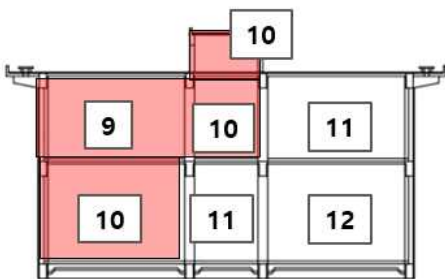
35. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 철거진행 순서



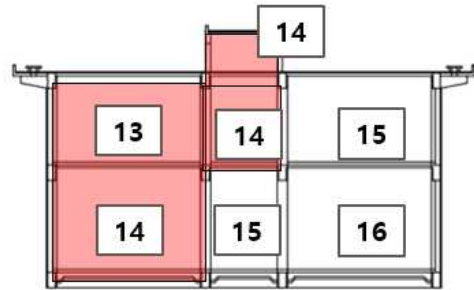
(a) Step 1



(b) Step 2

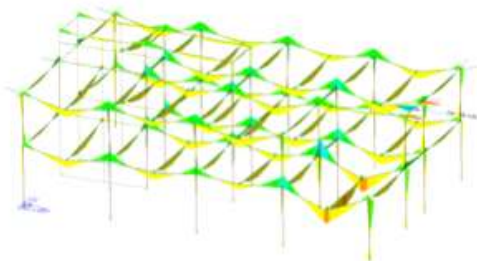


(c) Step 3

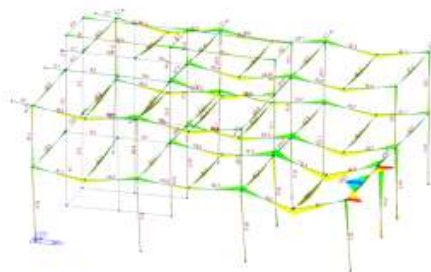


(d) Step 4

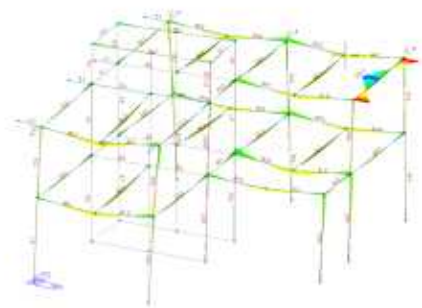
36. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 횡모멘트



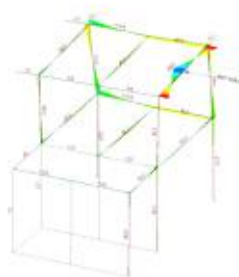
(a) Step 1



(b) Step 2

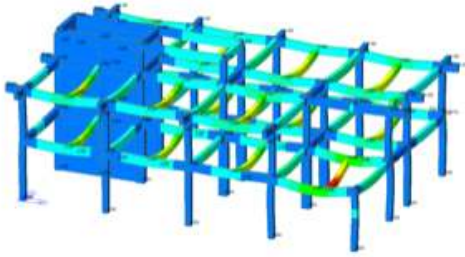


(c) Step 3

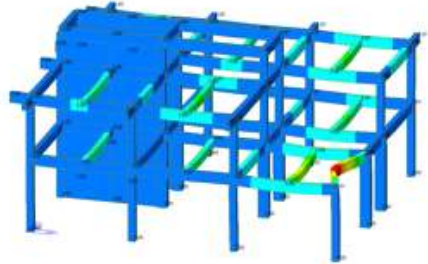


(d) Step 4

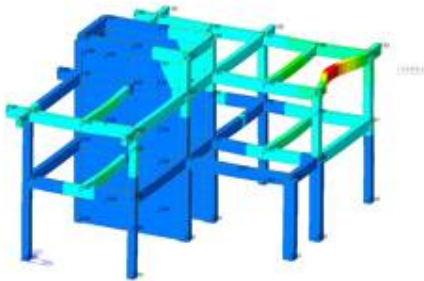
37. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 처짐



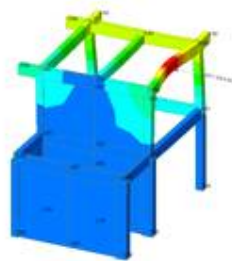
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

38. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 축력

Case	축력 (kN)	
	기둥	벽체
Step 1	-387.84	-977.18
Step 2	-393.48	-885.85
Step 3	-274.88	-960.35
Step 4	-198.12	-399.01

39. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 휨모멘트

Case	보&기둥 휨모멘트(kN · m)		벽체 휨모멘트
	기둥	벽체	
Step 1	-101.92	116.12	430.82
Step 2	-110.41	232.25	-873.37
Step 3	-92.61	232.25	1416.27
Step 4	-114.79	232.25	2022.11

40. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재에 작용하는 전단력

Case	보&기둥 전단력(kN)		벽체전단력
	약축	강축	
Step 1	-154.83	81.02	169.24
Step 2	154.82	91.73	326.51
Step 3	154.83	-70.33	423.91
Step 4	66.01	154.83	572.42

41. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	5.100
Step_2	10.800
Step_3	11.700
Step 4	14.700

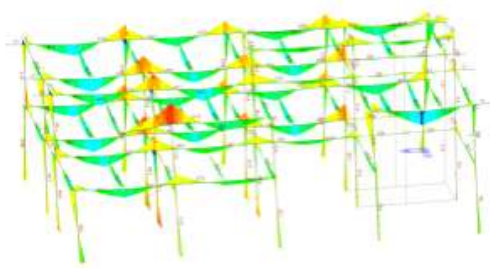
42. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.283	0.285	0.672	0.061
Step 2	0.307	0.307	0.671	0.058
Step 3	0.266	0.267	0.531	0.120
Step 4	0.736	0.738	0.592	0.286

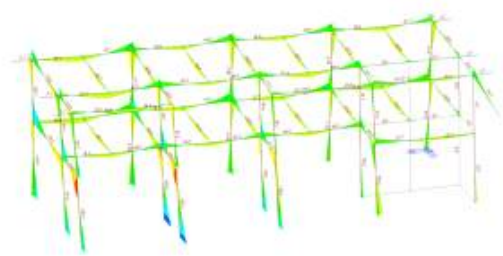
43. 지상 2층 해체 건축물 시나리오 1 부재 전단 내력비

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.119	0.119	0.477	0.114
Step 2	0.179	0.179	0.538	0.024
Step 3	0.146	0.146	0.454	0.287
Step 4	0.475	0.475	0.487	0.351

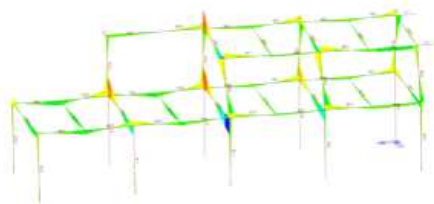
44. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 횡모멘트



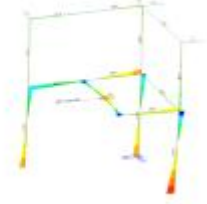
(a) Step 1



(b) Step 2

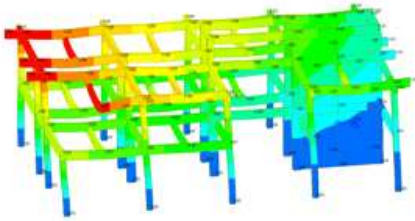


(c) Step 3

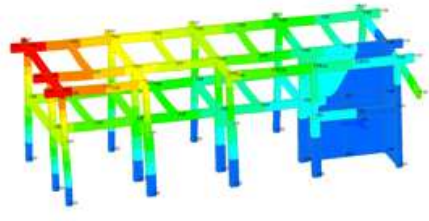


(d) Step 4

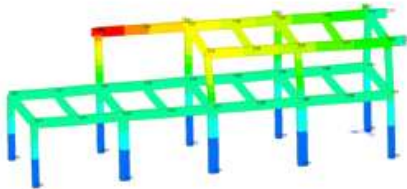
45. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 처짐



(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

46. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 축력

Case	축력 (kN)	
	기둥	벽체
Step 1	-430.61	-1276.05
Step 2	-442.37	-786.56
Step 3	-483.54	-
Step 4	-206.88	-

47. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 휨모멘트

Case	보&기둥 휨모멘트(kN · m)		벽체 휨모멘트
	기둥	벽체	
Step 1	-86.74	-78.13	-1554.43
Step 2	209.86	-205.80	-648.47
Step 3	-337.63	-329.31	-
Step 4	-315.62	232.25	-

48. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재에 작용하는 전단력

Case	보&기둥 전단력(kN)		벽체전단력
	약축	강축	
Step 1	34.01	-60.98	338.91
Step 2	85.58	-140.82	72.91
Step 3	177.66	-152.39	-
Step 4	-154.83	122.73	-

49. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 처짐

Case	*처짐(mm)
Step_1	6.8
Step_2	18.9
Step_3	43.1
Step 4	35.9

50. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 휨모멘트 내력비

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.460	0.461	0.551	0.459
Step 2	0.957	0.969	1.774	0.100
Step 3	2.133	2.160	2.318	-
Step 4	1.908	1.879	1.365	-

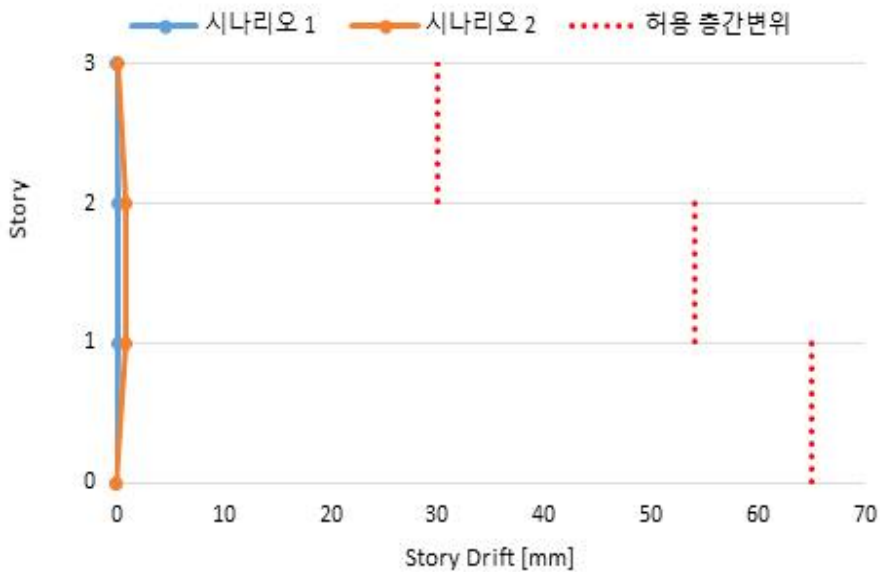
51. 지상 2층 해체 건축물 실제 바탕 시나리오 부재 전단 내력비

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.257	0.257	0.464	0.379
Step 2	0.623	0.623	1.080	0.101
Step 3	1.315	1.315	1.096	-
Step 4	0.929	0.929	0.666	-

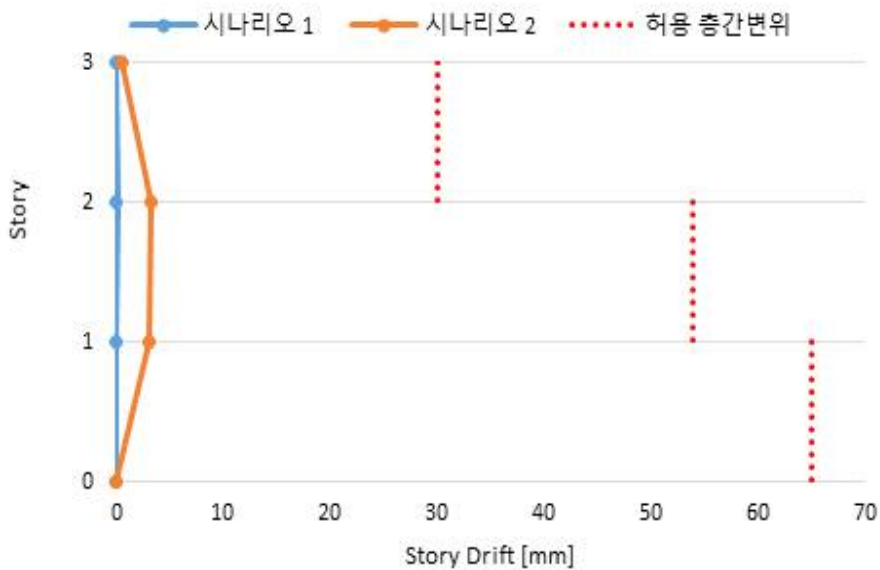
52. 지상 2층 해체 건축물 최상층 기준 수직기울기 비교

수직기울기	DX		DY	
	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 1	시나리오 2
Step 1	0.00001	0.00025	0.000006	0.0008
Step 2	0.00005	0.00083	0.00009	0.0023
Step 3	0.0002	0.0008	0.00028	0.0051
Step 4	0.001	0.0045	0.0005	0.00177

53. 지상 2층 해체 건축물 Step 1 층간변위 비교

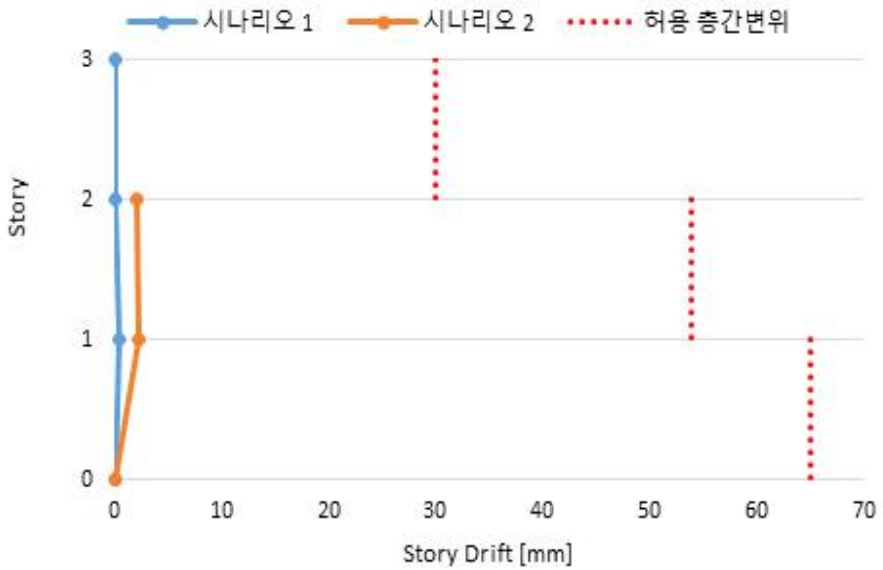


(a) DX

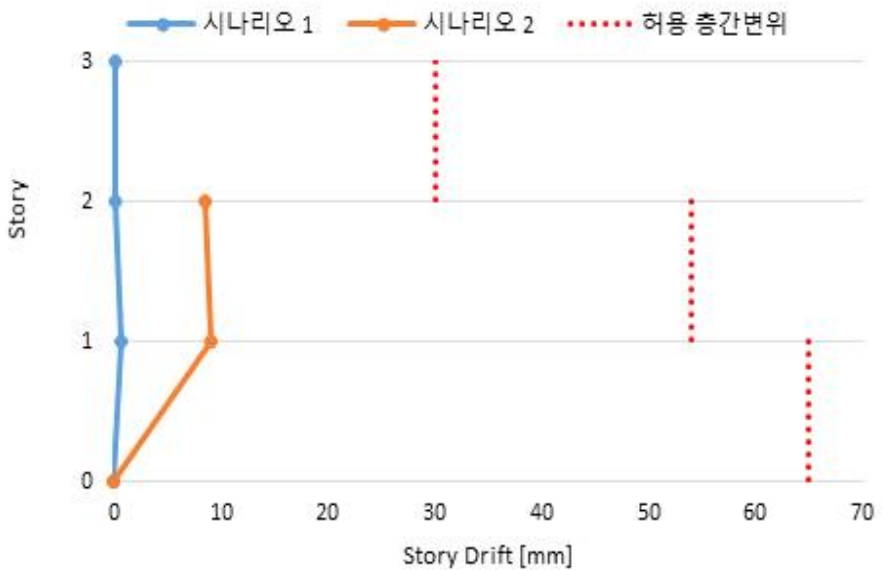


(b) DY

54. 지상 2층 해체 건축물 Step 2 층간변위 비교

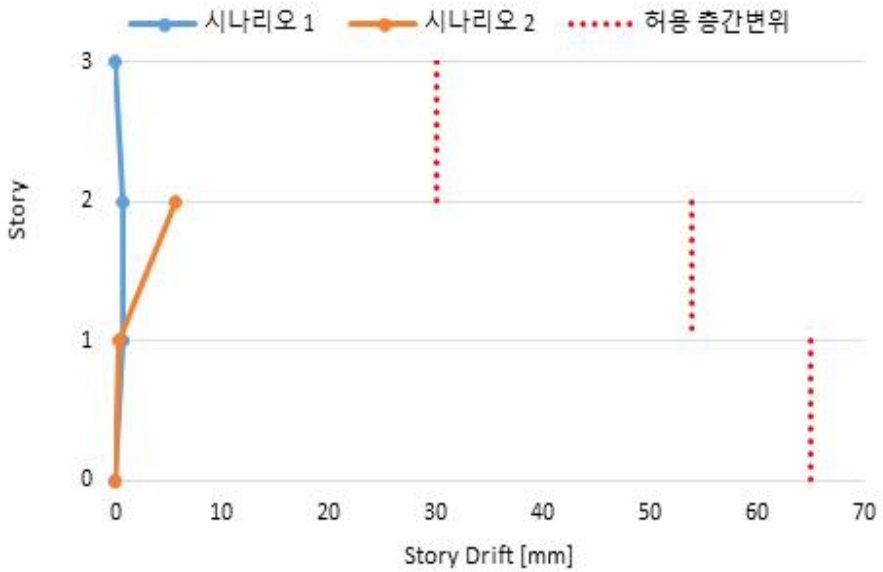


(a) DX

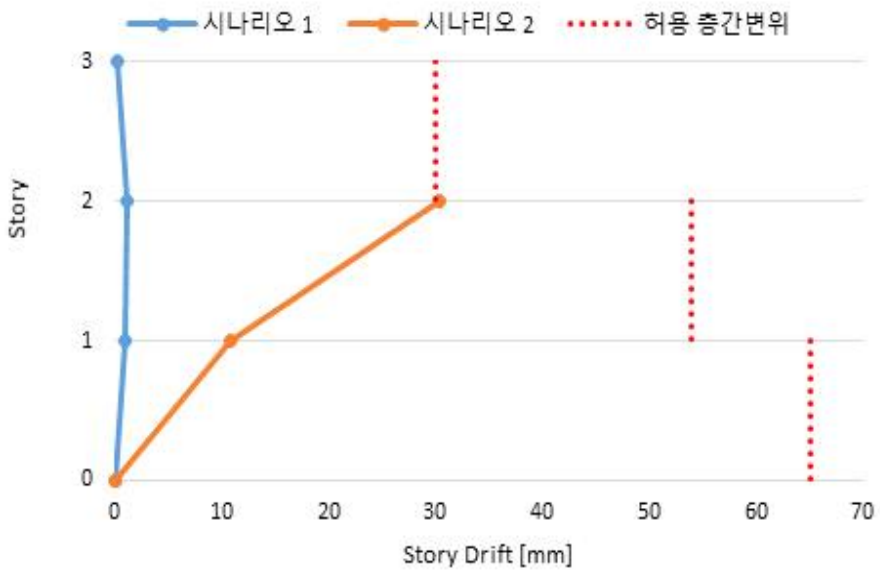


(b) DY

55. 지상 2층 해체 건축물 Step 3 층간변위 비교

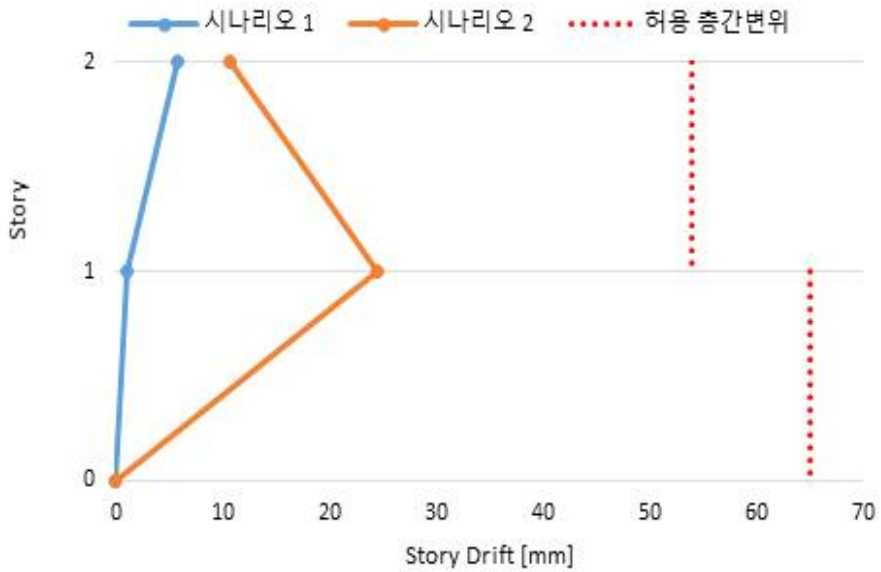


(a) DX

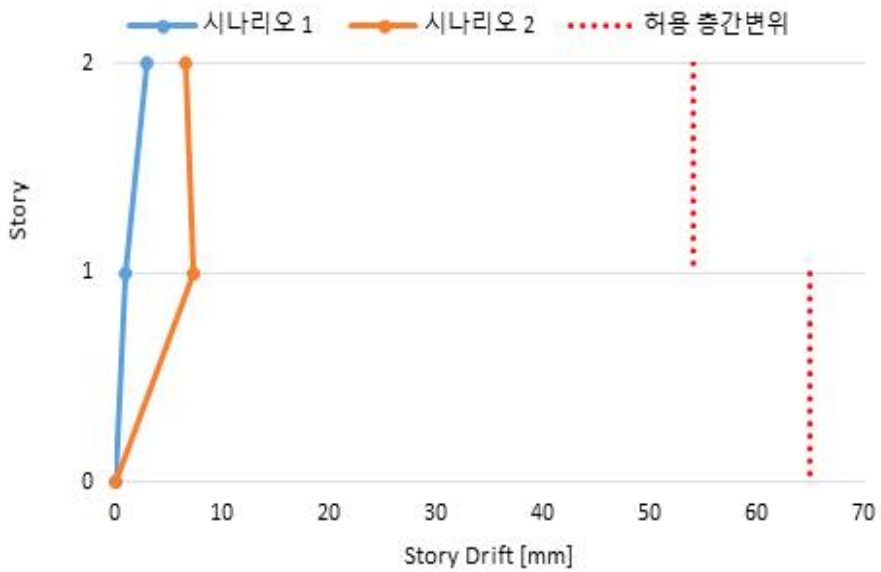


(b) DY

56. 지상 2층 해체 건축물 Step 4 층간변위 비교

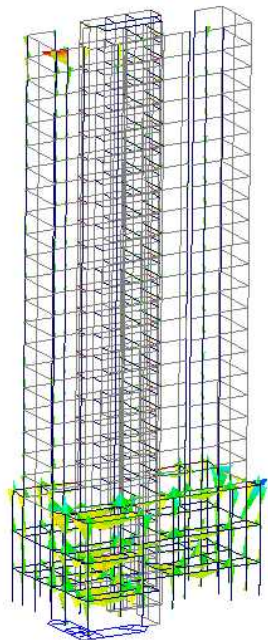


(a) DX

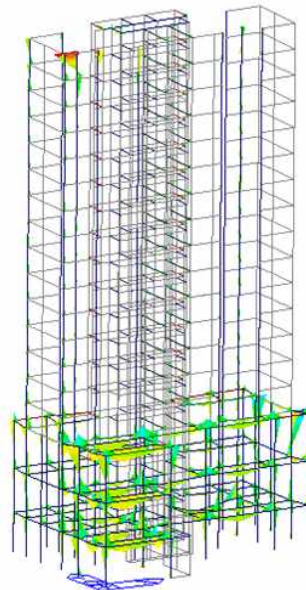


(b) DY

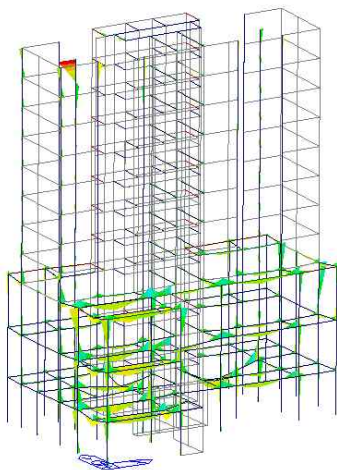
57. 벽식구조 해체 건축물 Step 별 휨모멘트



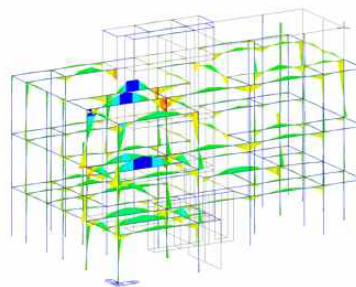
(a) Step 1



(b) Step 2

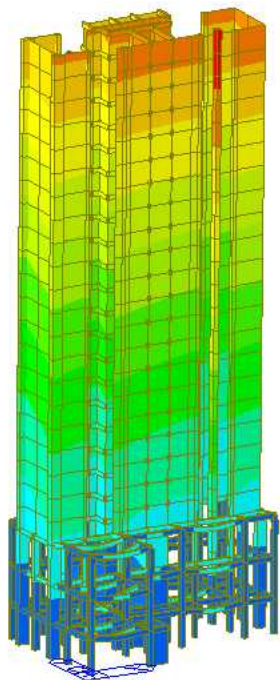


(c) Step 3

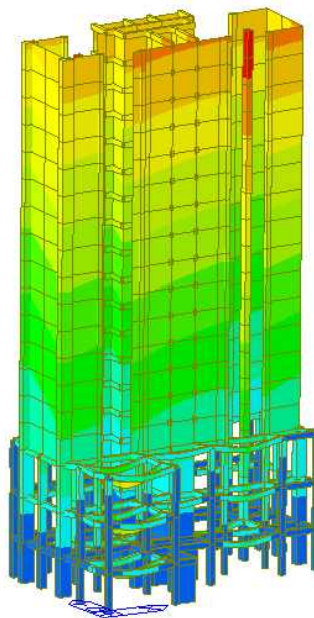


(d) Step 4

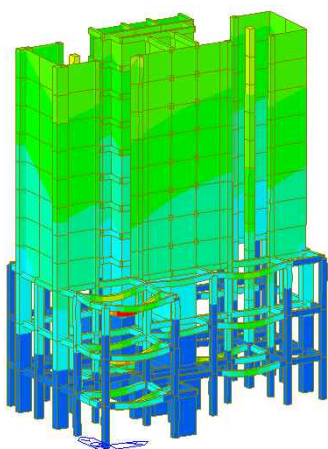
58. 벽식구조 해체 건축물 Step 별 처짐



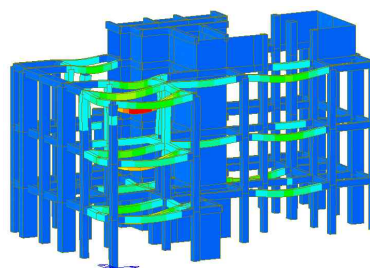
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

59. 벽식구조 해체 건축물 부재에 작용하는 축력 (24MPa)

Case	축력 (kN)	
	기둥	벽체
Step 1	-6156.31	-12055.39
Step 2	-4572.51	-8471.53
Step 3	-2728.13	-4476.71
Step 4	-1051.73	-2102.19

60. 벽식구조 해체 건축물 부재에 작용하는 휨모멘트(24MPa)

Case	보&기둥 휨모멘트(kN · m)		벽체 휨모멘트
	기둥	벽체	
Step 1	180.80	-244.56	16808.67
Step 2	-168.92	-186.25	12398.37
Step 3	-168.71	-117.59	7245.25
Step 4	-164.25	-75.88	2642.72

61. 벽식구조 해체 건축물 부재에 작용하는 전단력(24MPa)

Case	보&기둥 전단력(kN)		벽체전단력
	약축	강축	
Step 1	-60.35	-189.56	633.17
Step 2	-46.46	-142.66	482.57
Step 3	-30.11	109.44	302.90
Step 4	-20.02	171.62	286.65

62. 벽식구조 해체 건축물 부재 처짐(24MPa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	17.15
Step_2	9.36
Step_3	6.42
Step 4	6.50

63. 벽식구조 해체 건축물 부재 휨모멘트 내력비(24MPa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.50	0.51	0.93	0.97
Step 2	0.39	0.40	0.90	0.87
Step 3	0.27	0.27	0.89	0.92
Step 4	0.44	0.44	0.98	1.01

64. 벽식구조 해체 건축물 부재 전단 내력비(24MPa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.23	0.23	0.69	0.65
Step 2	0.23	0.23	0.63	0.50
Step 3	0.23	0.23	0.63	0.35
Step 4	0.15	0.15	0.99	0.29

65. 벽식구조 해체 건축물 부재 처짐(15MPa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	19.19
Step_2	10.47
Step_3	7.19
Step 4	7.27

66. 벽식구조 해체 건축물 부재 휨모멘트 내력비(15MPa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.69	0.71	0.96	0.93
Step 2	0.44	0.44	0.92	0.93
Step 3	0.36	0.36	0.92	0.84
Step 4	0.56	0.57	0.98	1.02

67. 벽식구조 해체 건축물 부재 전단 내력비(24MPa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.27	0.27	0.77	0.67
Step 2	0.27	0.27	0.71	0.52
Step 3	0.27	0.27	0.71	0.37
Step 4	0.17	0.17	0.99	0.30

68. 벽식구조 해체 건축물 부재 처짐(12MPa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	2.067
Step_2	11.28
Step_3	7.74
Step 4	7.83

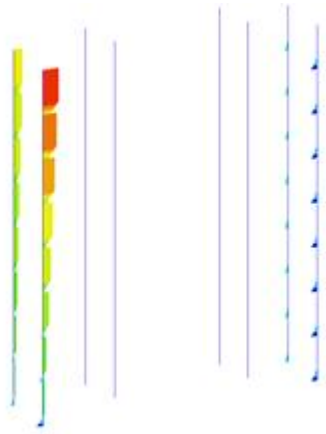
69. 벽식구조 해체 건축물 부재 휨모멘트 내력비(12MPa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.85	0.90	0.97	0.94
Step 2	0.67	0.70	0.95	0.97
Step 3	0.45	0.46	0.95	0.83
Step 4	0.68	0.67	0.97	1.02

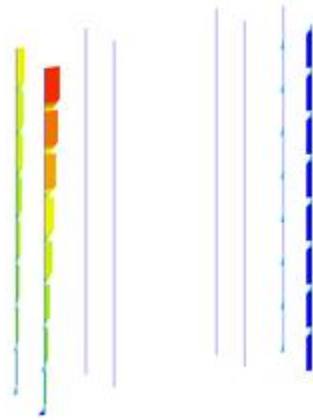
70. 벽식구조 해체 건축물 부재 전단 내력비(12MPa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.31	0.31	0.84	0.69
Step 2	0.31	0.31	0.76	0.53
Step 3	0.31	0.31	0.76	0.38
Step 4	0.19	0.19	0.99	0.33

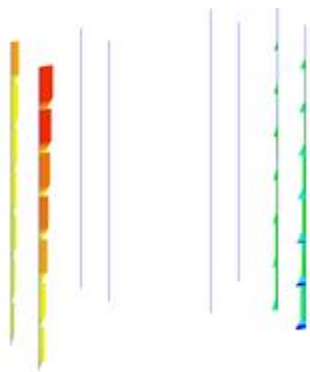
71. 벽식구조 해체 건축물 잭서포트 축력



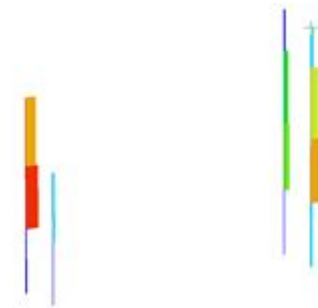
(a) Step 1



(b) Step 2

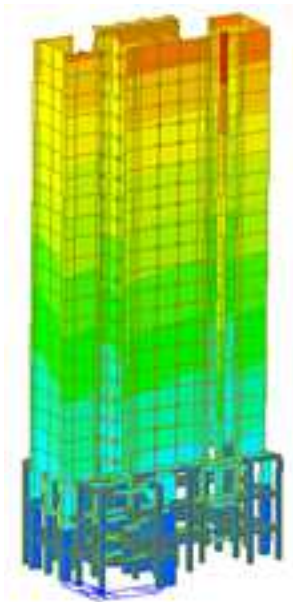


(c) Step 3

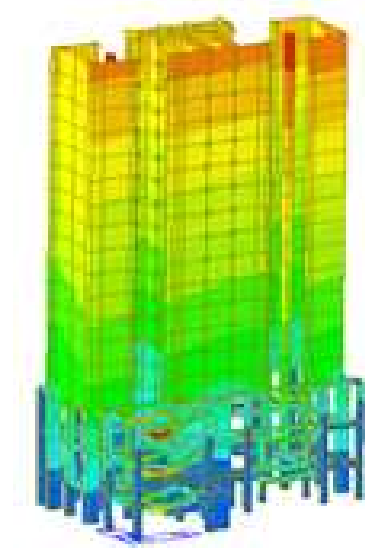


(d) Step 4

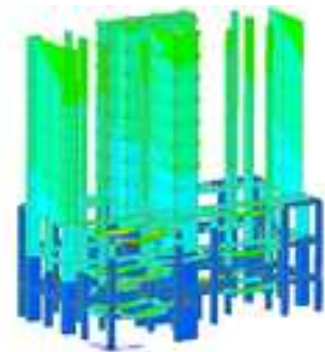
72. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 해체 Step별 처짐



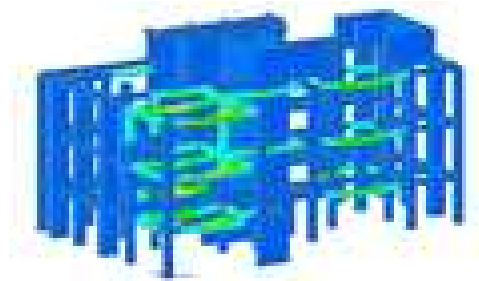
(a) Step 1



(b) Step 2



(c) Step 3



(d) Step 4

73. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 처짐(24Mpa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	11.98
Step_2	6.39
Step_3	6.44
Step 4	6.45

74. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 휨모멘트 내력비(24Mpa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.42	0.43	0.98	0.45
Step 2	0.23	0.22	0.90	0.31
Step 3	0.27	0.27	0.89	0.16
Step 4	0.28	0.28	0.98	0.12

75. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 전단 내력비(24Mpa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.14	0.14	0.66	0.57
Step 2	0.14	0.14	0.63	0.43
Step 3	0.14	0.14	0.63	0.23
Step 4	0.14	0.14	0.99	0.21

76. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 처짐(15Mpa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	13.40
Step_2	6.39
Step_3	7.20
Step 4	10.01

77. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 휨모멘트 내력비(15Mpa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.58	0.59	0.92	0.67
Step 2	0.32	0.33	0.89	0.3
Step 3	0.31	0.31	0.92	0.24
Step 4	0.37	0.37	0.99	0.13

78. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 전단 내력비(15Mpa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.16	0.16	0.74	0.59
Step 2	0.14	0.14	0.63	0.43
Step 3	0.16	0.16	0.64	0.27
Step 4	0.24	0.24	0.99	0.32

79. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 처짐(12Mpa)

Case	*처짐(mm)
Step_1	14.43
Step_2	7.70
Step_3	7.76
Step 4	10.01

80. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 휨모멘트 내력비(12Mpa)

Case	기둥 휨모멘트내력비		보 휨모멘트 내력비	벽체 휨모멘트 내력비
	강축	약축		
Step 1	0.73	0.76	0.8	0.87
Step 2	0.55	0.57	0.95	0.57
Step 3	0.36	0.36	0.95	0.3
Step 4	0.37	0.37	0.99	0.13

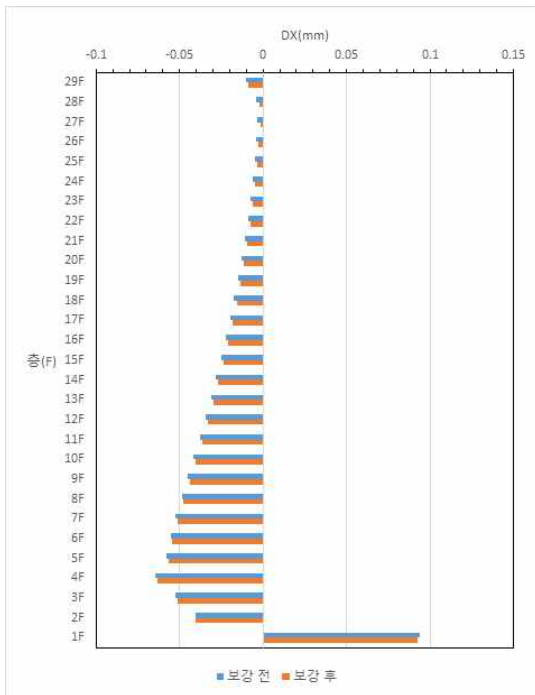
81. 벽식구조 해체 건축물 보강 후 부재 전단 내력비(12Mpa)

Case	기둥 전단내력비		보 전단 내력비	벽체 전단 내력비
	약축	강축		
Step 1	0.18	0.18	0.95	0.6
Step 2	0.18	0.18	0.77	0.45
Step 3	0.18	0.18	0.77	0.28
Step 4	0.22	0.22	0.99	0.32

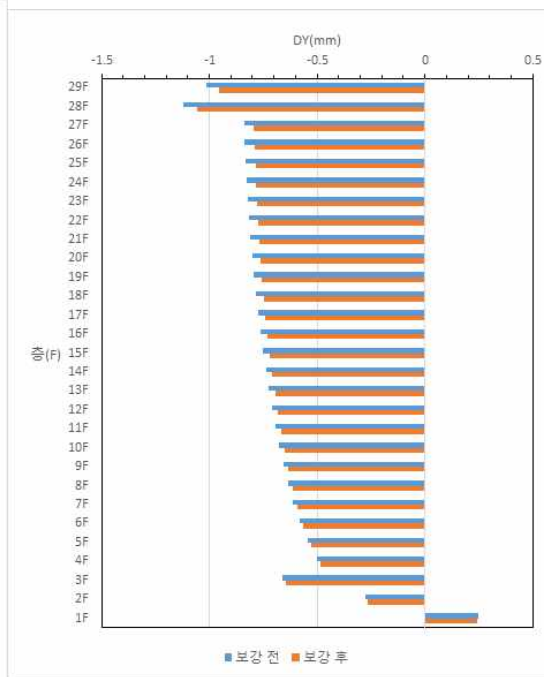
82. 벽식구조 해체 건축물 최상층 기준 DX 수직기울기

수직기울기	DX		DY	
	보강전	보강후	보강전	보강후
Step 1	0.00001	0.00001	0.00002	0.00001
Step 2	0.000009	0.000008	0.000099	0.000047
Step 3	0.000009	0.000013	0.000099	0.000006
Step 4	0.000002	0.000002	0.000011	0.000005

83. 벽식구조 해체 건축물 Step 1 층간변위

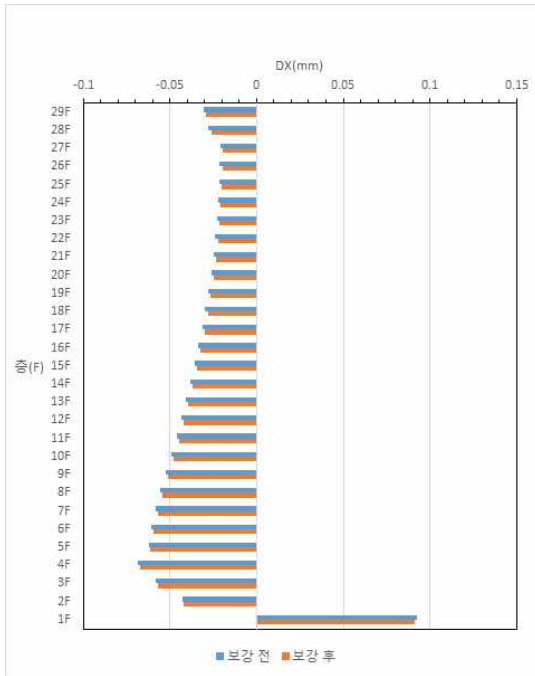


(a) DX

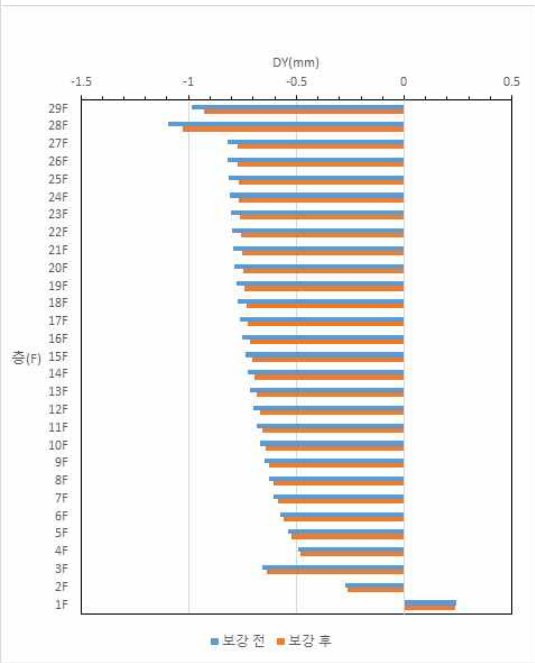


(b) DY

84. 벽식구조 해체 건축물 Step 2 층간변위

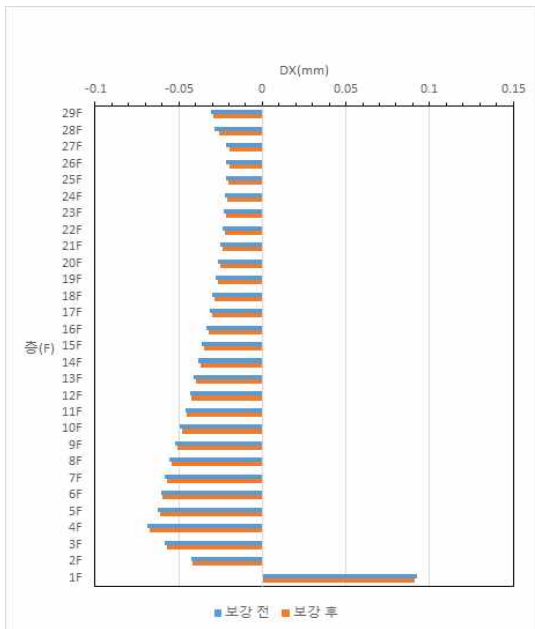


(a) DX

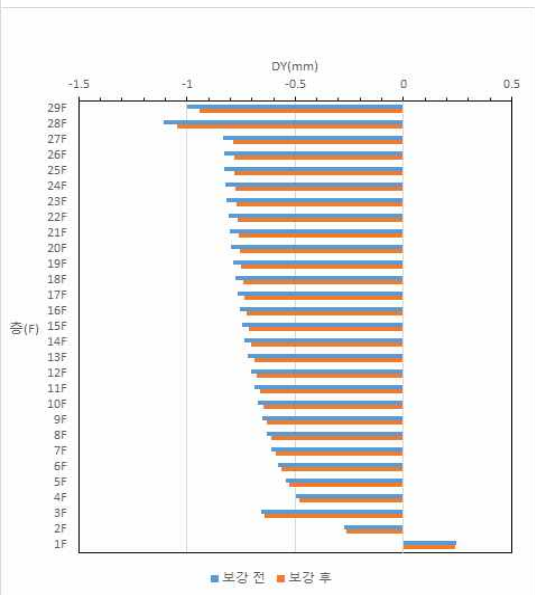


(b) DY

85. 벽식구조 해체 건축물 Step 3 층간변위

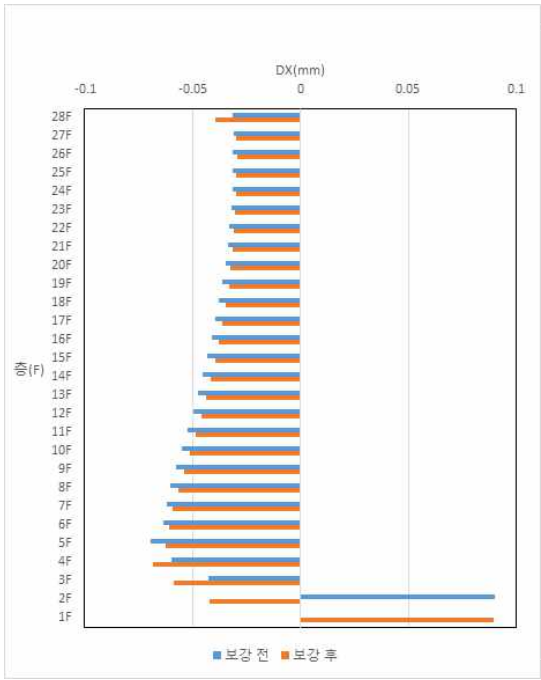


(a) DX

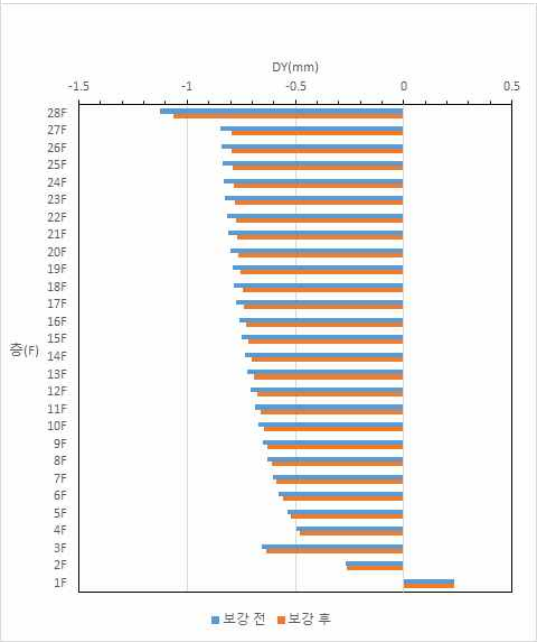


(b) DY

86. 벽식구조 해체 건축물 Step 4 층간변위



(a) DX



(b) DY