



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](#)

2023년 08월
석사학위 논문

저품질 콘크리트 강도 저하
원인에 따른 성능변화 및
이를 고려한 해체공사 구조
안전성 평가

조선대학교 대학원

건축공학과

김유진

저품질 콘크리트 강도 저하
원인에 따른 성능변화 및
이를 고려한 해체공사 구조
안전성 평가

Effects of concrete strength degradation on the
safety of demolition work:
a structural performance evaluation

2023년 8월 25일

조선대학교 대학원

건축공학과

김유진

저품질 콘크리트 강도 저하
원인에 따른 성능변화 및
이를 고려한 해체공사 구조
안전성 평가

지도교수 김 형 기

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 4월

조선대학교 대학원

건축공학과

김 유 진

김유진의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 부교수 김 태 훈 (인)

위 원 조선대학교 조교수 이 희 영 (인)

위 원 조선대학교 교 수 김 형 기 (인)

2023년 5월

조선대학교 대학원

<목 차>

제1장 서론

.....	1
제1절 연구 배경 및 목적	1
제2절 연구 방법 및 범위	3

제2장 문헌 조사 및 선행연구

.....	6
제1절 레디믹스트 콘크리트	6
1. 레디믹스트 콘크리트 정의 및 종류	6
2. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 목적	7
3. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 문제점	8
4. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 대책	14
제2절 해체공사 안전관리	19
1. 해체대상 건축물 분류	19
2. 해체공사 업무순서	20
3. 해체구조물 안전성 검토 절차	21
4. 해체공사 사고 사례 및 대책	22

제3장 모르타르 및 콘크리트 강도 저하 원인에 따른 성능변화

.....	26
제1절 실험개요	26

제2절 사용재료, 배합비 및 배합표	26
제3절 실험 방법	31
1. 모르타르 플로우 및 슬럼프	31
2. 압축강도	32
3. 흡수율	34
제4절 실험 결과	36
1. 모르타르 플로우 및 슬럼프 측정결과	36
2. 압축강도 측정결과	42
3. 흡수율 측정결과	48
제5절 소결	50

제4장 콘크리트 강도 저하 원인에 따른 철근 부착 성능 변화

.....	52
제1절 실험개요	52
제2절 사용재료 및 배합표	52
제3절 실험 방법	55
1. 슬럼프	55
2. 철근 부착강도	55
제4절 실험 결과	56
1. 슬럼프 측정결과	56
2. 철근 부착강도 측정결과	59
제5절 인장 이형철근	60
제6절 소결	63

제5장 저품질 콘크리트 건축물의 구조 안전성 평가

.....	64
제1절 건축물 해체계획	64
1. 대상 건축물 선정	64
2. 해체공법 및 해체방식 선정	65
3. 해체 장비 개요	68
4. 해체방법	70
5. 건축물 해체 순서	70
제2절 구조 안전 계획	71
1. 적용 하중 및 하중조합, 설계방법	71
2. 모델링 및 하중재하	72
3. 구조 안전성 검토	72
제3절 구조 안전성 평가	74
1. 잭서포트 개요	74
2. 모델링	75
3. 구조 안전성 검토	77
4. 구조 안전성 평가 결과	83
제4절 강도 감소의 구조 안전성 평가	83
1. 강도 개요 및 모델링	83
2. 구조 안전성 검토	84
3. 구조 안전성 평가 결과	86
제5절 소결	87

제6장 결론

.....	88
참고문헌	90
부록	96

<표 목차>

[표 2.1] 레디믹스트 콘크리트 종류	7
[표 2.2] 초기 동해 피해 영향 및 규모	12
[표 2.3] 콘크리트 강도 부족 원인	14
[표 2.4] 한중 콘크리트 양생 종료 때 소요 압축강도 표준 (MPa)	16
[표 2.5] 소요 압축강도를 얻는 양생일수 표준 (보통 단면)	16
[표 2.6] 건축물관리법에 따른 해체신고 및 허가 대상	19
[표 3.1] 결합재로 사용한 재료의 밀도 및 흡수율	27
[표 3.2] 5×5×5cm 모르타르 배합비	29
[표 3.3] 10×20cm 콘크리트 배합표 (kg/m ³)	30
[표 4.1] 10×6cm 콘크리트 배합표 (kg/m ³)	54
[표 4.2] 정착길이 산정 보정계수	61
[표 4.3] λ , α , β 에 보정계수	62
[표 5.1] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 개요	64
[표 5.2] 건설연도별 재료의 기본값 중 해당연도의 공칭강도	65
[표 5.3] 해체공법 비교	66
[표 5.4] 건축물 높이에 따른 지상 건축물 해체방식	67
[표 5.5] 해체 장비 제원	68
[표 5.6] 해체 장비 비교	69
[표 5.7] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 해체방법	70
[표 5.8] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 적용 하중 및 하중조합	71
[표 5.9] 하중조합에 따른 적서포트 개수 비교	83

<그림 목차>

[그림 1.1] 본 연구 흐름도	5
[그림 2.1] 가수가 이루어지는 행위와 종류	8
[그림 2.2] 에지테이터 트럭 세척	9
[그림 2.3] 에지테이터 트럭 상부로 이어지는 밸브	10
[그림 2.4] 운반 후 배출구 세척	11
[그림 2.5] 초기 동해 피해	12
[그림 2.6] 레디믹스트 콘크리트 단위 수량 신속측정 방법	15
[그림 2.7] 압축강도가 불합격된 경우 조치	18
[그림 2.8] 해체공사 업무순서	20
[그림 2.9] 해체구조물 안전성 검토 절차	21
[그림 2.10] 서울 강남구 역삼동 ○○빌딩 붕괴 현장	22
[그림 2.11] 서울 서초구 잠원동 ○○빌딩 붕괴 현장	23
[그림 2.12] 광주 동구 학동4구역 주택재개발 건물 붕괴 현장	25
[그림 3.1] 슬럼프 시험기	31
[그림 3.2] 5×5×5cm 몰드	32
[그림 3.3] 압축강도 시험기	33
[그림 3.4] 10×20cm 몰드	34
[그림 3.5] 오븐	35
[그림 3.6] 진공펌프 기계	35
[그림 3.7] 골재의 함수 상태	36
[그림 3.8] 표준과 비교한 21강도 모르타르 플로우 측정결과	37
[그림 3.9] 표준과 비교한 35강도 모르타르 플로우 측정결과	38
[그림 3.10] 표준과 비교한 21강도 슬럼프 측정결과	40
[그림 3.11] 표준과 비교한 35강도 슬럼프 측정결과	41
[그림 3.12] 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르 21강도 압축강도 측정결과	43
[그림 3.13] 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르 35강도 압축강도 측정결과	44
[그림 3.14] 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트 21강도 압축강도 측정결과	46
[그림 3.15] 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트 35강도 압축강도 측정결과	47

[그림 3.16] 표준과 비교한 21강도 흡수율 측정결과	48
[그림 3.17] 표준과 비교한 35강도 흡수율 측정결과	49
[그림 4.1] 10×6cm 콘크리트 부착강도 상세도	55
[그림 4.2] 인발강도 시험기	56
[그림 4.3] 표준과 비교한 21강도 슬럼프 측정결과	57
[그림 4.4] 표준과 비교한 35강도 슬럼프 측정결과	58
[그림 4.5] 표준과 비교한 21강도 부착강도 측정결과	59
[그림 4.6] 표준과 비교한 35강도 부착강도 측정결과	60
[그림 4.7] 인장 이형철근 기본 정착 길이	62
[그림 5.1] 지상 건축물의 구조부재 해체 순서	70
[그림 5.2] 잭서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 모델링 및 하중재하	72
[그림 5.3] 잭서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 보 내력비 검토	73
[그림 5.4] 잭서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 기둥 내력비 검토	73
[그림 5.5] 잭서포트(∅-139.8×4.5t) 제원	74
[그림 5.6] ① D.L + L.L + I.E 모델링 및 잭서포트	75
[그림 5.7] ② D.L + L.L + I.E + W.L 모델링 및 잭서포트	76
[그림 5.8] ③ D.L + L.L + I.E + E.L 모델링 및 잭서포트	76
[그림 5.9] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 보 내력비 검토	77
[그림 5.10] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 기둥 내력비 검토	78
[그림 5.11] ① D.L + L.L + I.E 잭서포트 내력비 검토	78
[그림 5.12] 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L 보 내력비 검토	79
[그림 5.13] 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L 기둥 내력비 검토	80
[그림 5.14] ② D.L + L.L + I.E + W.L 잭서포트 내력비 검토	80
[그림 5.15] 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L 보 내력비 검토	81
[그림 5.16] 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L 기둥 내력비 검토	82
[그림 5.17] ③ D.L + L.L + I.E + E.L 잭서포트 내력비 검토	82
[그림 5.18] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 12MPa 보 내력비 검토	84
[그림 5.19] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 12MPa 기둥 내력비 검토	85
[그림 5.20] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 8MPa 보 내력비 검토	85
[그림 5.21] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 8MPa 기둥 내력비 검토	86

ABSTRACT

Effects of concrete strength degradation on the safety of demolition work: a structural performance evaluation

Yu Jin Kim

Advisor : Prof. Hyeong Ki Kim, Ph.D.

Department of Architectural Engineering,

Graduate School of Chosun University

This study aims to investigate the insufficiency of concrete strength and the peculiarities of winter weather conditions in relation to on-site ready-mixed concrete, based on the standard mixture. By creating low-quality concrete and comparing it with standard concrete in terms of strength and absorption rate, the study seeks to provide indicators for the utilization of concrete structures. Additionally, in order to ensure safety during the dismantling of low-quality concrete structures, various load combinations and strength reductions are applied, and the structural safety is evaluated. The findings of this evaluation can serve as fundamental data for securing safety during dismantling operations, considering the dismantling methods and equipment used.

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

2022년 1월 11일 광주 서구 화정동 아이파크인 고층 아파트 콘크리트 타설 작업 중 38층부터 23층까지 구조물이 붕괴하는 사고가 벌어지면서 저품질 콘크리트로 인한 피해에 대한 우려가 크게 늘고 있다. 주요 원인으로서는 원자재 불량과 실제 현장에서 가수 등 품질관리가 제대로 진행되지 않았고, 실제 설계와 다른 시공 및 겨울철 추운 날씨임에도 불구하고, 콘크리트 양생 불량 등이 있다. 이에 따라 전면 해체 후 재시공하기로 결정된다.

2021년 국토교통부가 실시한 레드믹스트 콘크리트 생산공장 품질관리 실태조사에 따르면, 공공공사에 납품하는 259개 생산공장 중 88%에 달하는 227개 공장에서 604건의 부적합 사항이 적발된다. 이는 한 공장당 평균 3건에 가까운 지적을 받았다는 의미이다. 시멘트·잔골재 품질저하, 고성능 감수제 소량사용, 현장 유동성 증가 요구 등으로 인해 요구 강도에 미치지 못한 저품질 콘크리트 생산이 불가피한 상황이다.

겨울철 기온이 떨어지면 콘크리트 제작 및 양생에 많은 문제점이 생긴다. 적절한 온도로 보온 양생하지 않을 시 콘크리트 내 물이 얼어 굳어있다가 기온이 상승하면 얼음이 녹아 콘크리트 내 공극을 만들어 강도 저하를 유발한다. 기온이 높은 상태보다 굳는 시간이 오래 걸리기 때문에 거푸집 존치 기간을 늘려 적절한 강도가 나온 후 거푸집을 해체하여야 한다. 이처럼 겨울철 양생은 콘크리트 강도와 직결되는 중요한 문제이다.

저품질 콘크리트에 따른 해체공사 중 붕괴를 방지하고, 구조물을 안전하게 해체하기 위해 해체계획 및 방법, 구조 안전성 확보방안 등 해체 전반에 대한 대책 마련이 시급한 상황이다. 현재 해체공사 시 사고 예방을 위한 실무자와 감리자, 감독관 등이 검토할 만한 세부기준과 관련 법규 등 제정되어있다. 하지만, 제대로 된 절차 진행과 해체계획 시 전문가의 협력 및 구조물에 대한 구조검토가 이루어지지 않고 있다. 계획서에 따라 구조검토가 이루어졌음에도 불구하고, 계획서대로 해체공사가 이루어지지 않고,

감리자 관리 감독 부실 등 체계화 단계에 이르지 못해 건축물 해체공사 중 안전·사망 사고가 빈번하게 발생하고 있다.

건축물 해체공사는 2019년 7월 4일 서울 서초구 잠원동 붕괴사고 계기로 해체공사 안전에 대한 중요성이 재인식되었다. 정부는 「건축법」에 따라 단순히 해체공사를 신고제로만 운영하던 제도를 2020년 5월 「건축물 관리법」을 시행하여 신고제와 허가제로 구분하고, 해체공사 감리제도 등을 도입하여 해체공사의 안전을 강화한다. 그러나, 2021년 6월 9일 광주 동구 학동4구역 재개발 현장 사업부지 내 건물 해체작업 중 건물이 대로변으로 붕괴하면서 17명(사망 9, 중상 8)의 사상자가 발생하는 대참사가 일어난다. 사고 조사결과 붕괴 원인은 해체계획서 미준수, 부실감리, 불법 하도급 등으로 나타나면서 형식적 제도만으로 해체공사장의 안전을 장담할 수 없다는 것을 다시 한번 인식하게 된다. 이후 2021년 10월 28일 「건축물 관리법」이 개정·시행되어 착공신고와 해체공사감리자 상주 및 현장점검이 의무화되고, 감리자 처벌규정이 강화된다. 법령상 건축물 관리자가 해체계획서를 작성하고, 건축사와 기술사 등 전문가가 해체계획서를 검토하게 되어 있으나, 해체계획서 작성은 기술적인 전문성이 요구되어 실제로는 건축물 관리자가 전문가에게 해체계획서 작성을 의뢰하고, 전문가는 해체계획서를 스스로 검토하는 방식으로 운영된다.

본 연구는 콘크리트 강도 부족 및 겨울철 날씨 특이성에 대해 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 저품질 콘크리트를 만들어 표준 콘크리트와 강도 및 흡수율 차이를 비교해 콘크리트 구조물에 활용되기 위한 지표를 제시하고자 한다. 또한, 저품질 콘크리트 건축물 해체 시 해체공법 및 사용 장비에 따라 안전성 확보를 위해 여러 가지 하중조합, 강도 감소를 적용하여 구조 안전성 평가를 진행해 해체공사 시 안전 확보를 위한 기초적 자료로 활용하고자 한다.

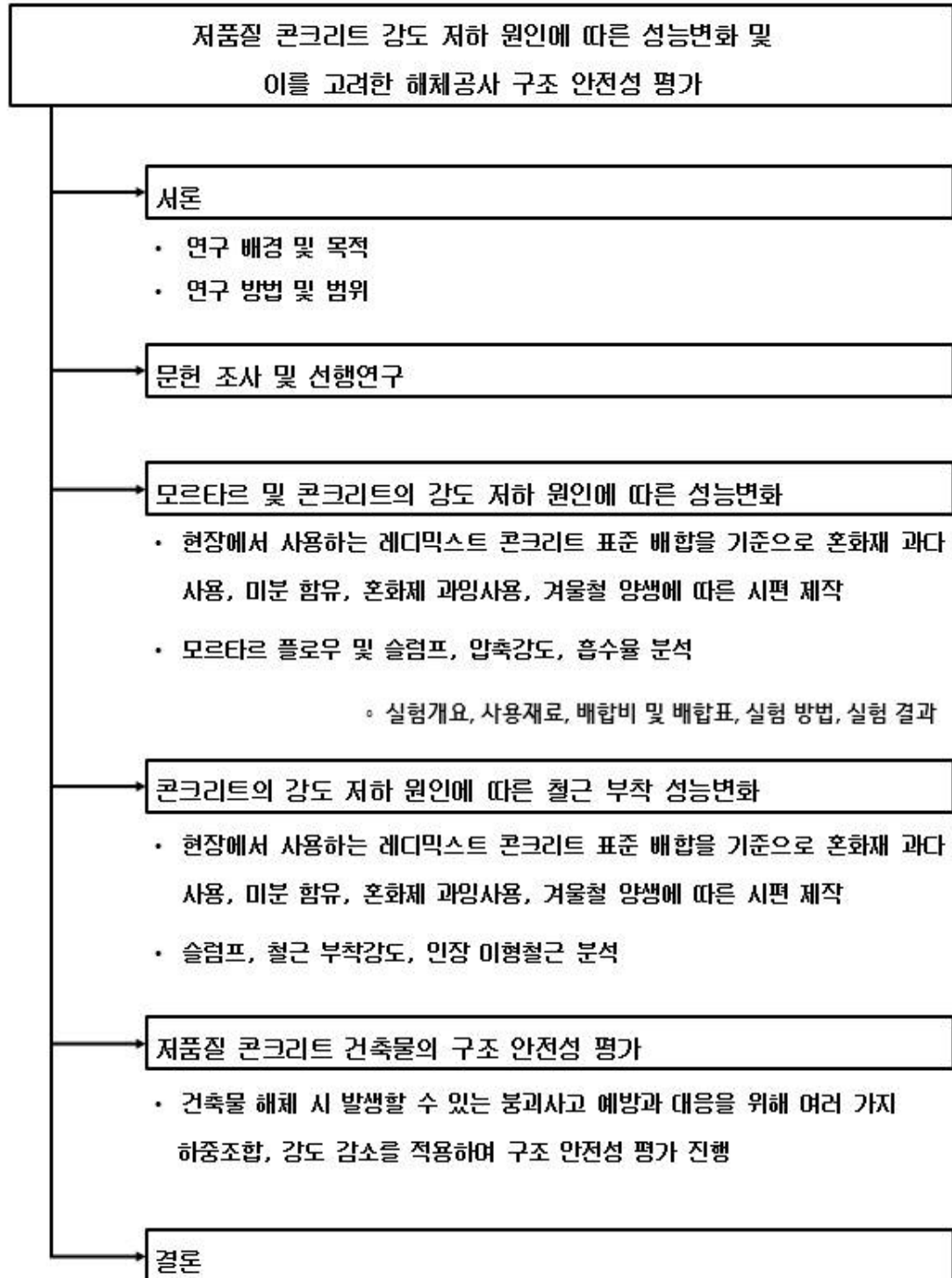
제2절 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 광주 서구 화정동 아이파크 붕괴사고 원인과 국토교통부가 실시한 레디믹스트 콘크리트 생산공장 품질관리 실태조사 결과에 따라 원자재 불량 사용 및 시멘트·잔골재 품질저하를 혼화제 과다사용과 미분 함유로, 현장 유동성 증가 요구를 혼화제 과잉사용으로, 겨울철 양생을 우리나라 겨울철 낮 평균 기온인 3~4℃를 냉장고로, 밤 평균 기온인 -10℃를 냉동고로 대체하여 시행한다. 이에 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 사용재료 및 양생을 각각 다르게 시행할 시 강도 저하 원인에 따른 성능변화를 조사하고 분석한다. 또한, 저품질 콘크리트 건축물 해체 시 발생할 수 있는 붕괴사고 예방과 대응을 위해 여러 가지 하중조합, 강도 감소를 적용하여 구조 안전성 평가를 진행한다. 다음과 같은 방법을 통해 연구하며, [그림 1.1]은 본 연구의 방법을 요약한 것이다.

- 1) 본 연구에서 결합재로 사용한 재료는 6종류로 1종 포틀랜드 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그, 모래, 미분 규사 8호, 굵은 골재 25mm이며, 혼화제로 사용한 재료는 2종류로 유동화제와 AE제이다. 모래는 100℃ 오븐에서 완전건조상태로 만들어 사용하고, 굵은 골재 25mm는 세척 후 표면건조 포화상태로 만들어 실험을 진행한다.
- 2) 재령 28일의 목표 압축강도를 21과 35로 하며, 모르타르는 단위 무게비로, 콘크리트는 콘크리트 1m³ 당 재료의 단위량으로 설정한다. 슬럼프 시험을 통해 슬럼프값을 150~180mm로 기준 잡아 설정된 유동화제를 증감해 비슷한 유동성으로 실험을 진행한다.
- 3) 겨울철 양생을 제외한 시편들은 제작 후 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생을 진행하지만, 겨울철 양생은 시편제작 후 초기 동해 방지를 위해 상온에 2시간 동안 양생 후 냉장고에서 6, 12시간 및 냉동고에서 3, 6시간 동안 양생을 추가로 진행한다.
- 4) 레디믹스트 콘크리트 표준 배합과 비교·분석하고자 배합마다 사용재료 및 양생을 각각 다르게 하여 비교군을 선정하며, 모르타르 플로우 및 슬럼프, 압축강도, 흡수

율, 인발강도 시험을 통해 평가한다.

- 5) 위의 실험 결과를 토대로 저품질 콘크리트에 의해 건축물 해체 시 발생할 수 있는 문제들을 구조 안전성 검토한다. 하중조합에 따른 잭서포트 보강 전과 후 및 강도 감소에 따른 내력비 차이를 평가해 위험도 차이가 어느 정도인지에 관한 결과를 도출한다.



[그림 1.1] 본 연구 흐름도

제2장 문헌 조사 및 선행연구

제1절 레디믹스트 콘크리트¹⁾

1. 레디믹스트 콘크리트 정의 및 종류

레디믹스트 콘크리트(ready-mixed concrete)는 줄여서 레미콘(REMICON)이라 한다. 물, 시멘트, 골재 및 혼화 재료 등 재료들을 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)에 규정된 제조 방법, 품질 검사 등에 의해 전문적인 콘크리트 생산설비를 갖춘 공장에서 제조한 후 트럭을 이용해 건설공사 현장까지 운반되는 건축재료로서, 굳지 않는 콘크리트이다. 현장에서 즉시 사용할 수 있으며, 건설현장의 작업효율을 높일 수 있는 편리한 제품이다. 건설 작업에 필요한 강도, 특성, 용도 등에 따라 다양한 레디믹스트 콘크리트가 제공된다.

레디믹스트 콘크리트 종류는 보통 콘크리트, 경량 콘크리트, 포장 콘크리트, 고강도 콘크리트로 하며, 굵은 골재 최대치수, 호칭 강도, 슬럼프 또는 슬럼프 플로를 조합한 [표 2.1]에 표시한 범위 내에서 종류를 지정하는 것을 원칙으로 한다.

1) 이 절은 레미콘품질관리위원회. (2013). 레디믹스트 콘크리트 품질문제의 원인 및 대책. 책의 내용을 인용한 것임.

[표 2.1] 레디믹스트 콘크리트 종류

콘크리트 종류	굵은 골재 최대치수 (mm)	슬럼프 또는 슬럼프 플로 (mm)	호칭강도 (MPa)													
			21	24	27	30	33	35	40	45	50	55	60	힘 4.0 ^a	힘 4.5 ^a	
보통 콘크리트	20,25	80, 120, 150, 180	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
		210	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	500 ^b , 600 ^b	-	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	50, 80, 120, 150	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
경량 콘크리트	13,20	80, 120, 150, 180, 210	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
포장 콘크리트	20,25,40	25,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
고강도 콘크리트	13,20,25	120, 150, 180, 210	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-
		500 ^b , 600 ^b , 700 ^b	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-

^a 힘 4.0, 힘 4.5는 포장용 콘크리트에서 힘 호칭 강도를 의미한다.

^b 슬럼프 플로 값을 의미한다.

2. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 목적

현장에서 제조되는 콘크리트는 타설되는 지역 온도, 습도 및 바람 등 외기조건에 따라 품질이 변할 수 있고, 경화하게 되면 외관에서 콘크리트 품질을 파악하기 어려우며, 결함이 발생하면 결함을 보수 및 제거하는데 막대한 비용과 공사 기간이 필요하게 된다. 따라서 콘크리트 구조물에 요구되는 성능을 확보하기 위해서는 콘크리트 공장에서 재료, 배합, 제조, 운반 및 현장에 도착하여 타설, 공사하는 전 과정에서 품질관리가 매우 중요하다.

레디믹스트 콘크리트 현장 품질관리를 위해서는 「건설기술 진흥법」 제55조부터 제61조까지의 규정에 따른다. 발주자, 건설사업자 또는 주택건설공급업자, 품질 검사를 대행하는 건설기술용역 사업자가 건설공사 품질관리, 레디믹스트 콘크리트 품질관리, 레디믹스트 콘크리트 현장 배치 플랜트 설치와 관리 등 품질 확보를 위해 품질관리 ·

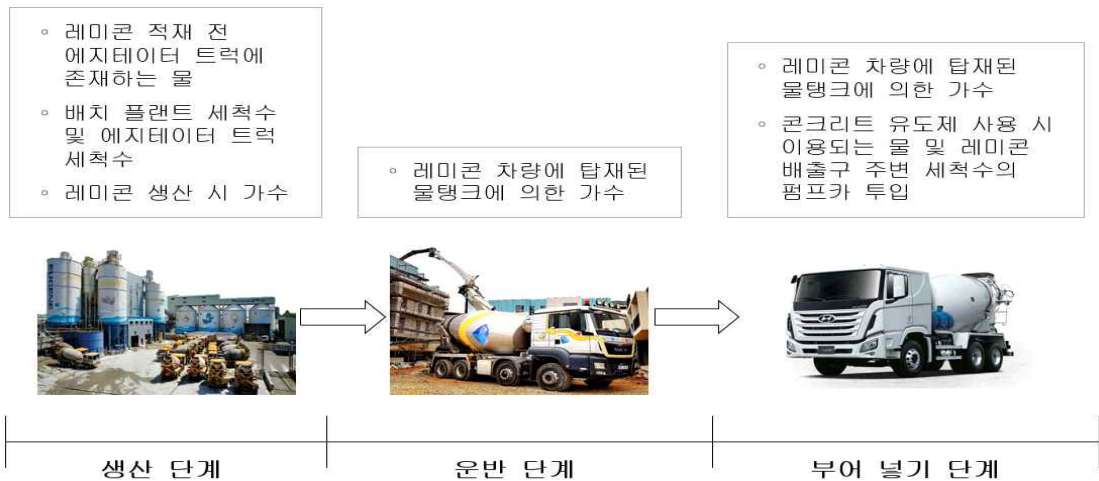
시험 계획을 조사 및 수립하고, 이에 따라 품질시험·검사를 진행해야 한다. 이때 발주자는 공사계약문서에 품질관리계획서 내용, 제출 시기 및 수량 등 사항들을 정해야 하며, 시공자는 지침에 따라 해당 건설공사의 여건을 종합적으로 고려한 품질관리 계획을 수립해야 하고, 공사감독자 또는 건설사업관리기술인은 시공자가 수립한 품질관리계획서의 적정 여부를 검토·확인해야 한다. 확인결과에 따라 시공자에게 시정 및 시정조치를 요구할 수 있으며, 조치를 요구받은 시공자는 이를 바로 이행해야 한다.

3. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 문제점

가. 가수

콘크리트 공사에서 가수란 콘크리트 제조, 운반 및 시공과정에서 물을 첨가하는 행위로 배합설계를 할 때 결정된 단위 수량보다 더 많은 물이 혼입되는 것을 말한다. “콘크리트에 가수 하게 되면 부실공사의 원인이 된다.” 라는 것은 건설관계자뿐만 아니라 일반인에게도 적극적인 캠페인을 통해 많이 알려져 사라졌다고 생각하고 있지만, 현재까지도 많은 부분에서 다양한 행위를 통해 이루어지고 있다.

[그림 2.1]은 레디믹스트 콘크리트 생산에서부터 부어 넣기까지 과정에서 가수가 이루어지는 행위와 종류를 나타낸 것이다.



[그림 2.1] 가수가 이루어지는 행위와 종류

◦ 레디믹스트 콘크리트 적재 전 에지테이터 트럭에 존재하는 물

레디믹스트 콘크리트를 현장에서 부어 넣은 후 공장으로 돌아가 새로운 제품을 에지테이터 트럭에 담을 때는 트럭 내부에 물이 남아 있지 않아야 한다. 그러나 전날 출하 후 씻어놓은 드럼에 잔류한 물이나 비가 온 다음 날 빗물 및 레디믹스트 콘크리트 납품 후 배출구 주위를 씻은 물이 어느 정도 잔류하고 있는데 이를 고려하지 않으면 가수와 같은 행위가 된다.

◦ 배치 플랜트 세척수 및 에지테이터 트럭 세척수

레디믹스트 콘크리트를 생산하고 나면 회사에 따라 배치 플랜트에서 배출구를 씻어주기 위해 물을 뿌려주거나, [그림 2.2]와 같이 운전사가 레디믹스트 콘크리트를 싣고 나면 주변에 묻은 콘크리트 부착물을 씻기 위해 어느 정도 물이 첨가되는데 장비보호 목적상 필요한 행위지만, 주의가 필요하다.



[그림 2.2] 에지테이터 트럭 세척

◦ 레디믹스트 콘크리트 생산 시 가수

된 비빔으로 설계되면 시공성이 저하된 콘크리트를 무리하게 타설해야만 하는데 이 때 콘크리트 노무자와 콘크리트 펌프 업자 사이에서 마찰이 발생해 타설이 중단되기도 한다. 이를 방지하기 위해 시공관리자는 레디믹스트 콘크리트 회사에 슬럼프를 높여달

라는 주문을 하게 된다. 이렇게 되면 값이 비싼 큰 슬럼프의 레디믹스트 콘크리트로 출하를 변경하는 경우는 거의 없고, 단순히 골재 표면 수율만 컴퓨터상에서 조정하여 가수 된 레디믹스트 콘크리트가 현장으로 운반된다. 예를 들어, 잔골재가 1m³ 에 600kg 정도 사용되고, 표면 수율이 5%임에 불구하고, 2%로 컴퓨터에 수동으로 입력하면, 1m³ 에 18kg인 6m 에지테이터 트럭에는 108kg의 물을 가한 것과 같은 결과가 되어 콘크리트는 매우 질게 된다. 이 경우 심각한 문제가 발생하지만, 레디믹스트 콘크리트 출하 기록상에는 문제가 없는 것으로 기록된다.

◦ 레디믹스트 콘크리트 차량에 탑재된 물탱크에 의한 가수

레디믹스트 콘크리트 차량이 현장에 도착하고 나면 고속으로 회전함으로써 재료 분리를 방지하기 위해 재혼합한 뒤 역회전하여 배출하게 된다. 차량 후면에 드럼을 회전하기 위해 설치되는 손잡이 주위에 [그림 2.3]과 같은 트럭 청소용 물탱크에서 에지테이터 트럭 상부로 가수 할 수 있는 밸브가 존재한다. 이 밸브를 호스 방향으로 일치시키면 레디믹스트 콘크리트 품질문제에서 크게 문제가 제시되는 가수가 발생하게 되는데 된 비빔 콘크리트 기능공들이 작업성에 문제가 있을 시 이 행위를 주로 사용한다.



[그림 2.3] 에지테이터 트럭 상부로 이어지는 밸브

◦ 콘크리트 유도제 사용 시 이용되는 물 및 레디믹스트 콘크리트 배출구 주변 세척수의 펌프카 투입

첫 레디믹스트 콘크리트 타설 시 원활한 압송을 위해 선송 모르타르를 사용하는 경우는 비교적 양호하나, 펌프 보조재로 사용하던 모르타르 대신 유도제를 사용할 경우

펌프카 운전기사는 미리 펌프카 후면에 부착된 호퍼에 다량의 물과 함께 유도제를 넣게 된다. 이때 넣은 물의 양은 상당히 많은 양이므로 처음 부어 넣는 콘크리트 품질 대부분이 문제시된다.

레디믹스트 콘크리트 배출이 완료되면 [그림 2.4]와 같이 에지테이터 트럭 배출구 주변에 묻은 콘크리트를 굳어지기 전에 즉시 씻어내야 한다. 이때 씻은 물은 레미콘 공장으로 운반하여 처리해야 하지만, 때에 따라 펌프카 호퍼에 대고 씻어내 부분적으로 집중 가수를 하는 것과 같은 시공 결함을 유발한다.



[그림 2.4] 운반 후 배출구 세척

나. 슬럼프 시험

슬럼프 시험은 아직 굳지 않은 콘크리트 반죽 질기를 측정, 평가하는 방법이다. KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 규정된 콘크리트 유동성 측정 표준 방법에 따라 현재까지 실험실·콘크리트 타설 공사현장에서 널리 이용되고 있다. 슬럼프 시험을 통해 얻을 수 있는 정보로는 일관성(consistency), 재료 분리 저항성, 성형성(plasticity) 등이 있다. 이 결과로부터 콘크리트의 운반이나 타설에 대해 작업성이 좋고, 나뭇을 나타내는 성질인 작업능률(workability)을 예측할 수 있다. 그러나, 굳지 않은 콘크리트 일관성은 콘크리트 구성재료의 성질, 모양 이외에도 혼화 재료 사용 여부, 배합조건, 비빔 정도, 온도 등 다양한 요소 및 조건에 따라 달라질 수 있으며, 전반적으로 시험 및 판정 방법이 시험자의 경험에 따라 크게 달라질 수 있다.

다. 초기 동해

초기 동해란 모르타르나 콘크리트가 경화 초기 단계에서 수분 동결 또는 동결융해 반복에 따라 강도 저하, 파손, 균열을 일으키는 피해이다. 우리나라 실무현장에서 초기 동해를 간과하거나, 시공상 부주의로 피해를 발생시키는 등 충분한 대책을 마련하지 못하고 있어 [그림 2.5]와 같은 초기 동해 피해를 보는 경우가 발생하고 있다.



[그림 2.5] 초기 동해 피해

초기 동해에 영향을 주는 요인과 이에 따른 피해 규모는 [표 2.2]와 같다.

[표 2.2] 초기 동해 피해 영향 및 규모

<ul style="list-style-type: none"> ◦ 물-시멘트비가 클수록 ◦ 콘크리트의 동결 시간이 길수록 ◦ 콘크리트의 동결온도가 낮을수록 ◦ 콘크리트의 동결융해가 반복될수록 ◦ 적절한 공기연행제를 사용하지 않을수록 ◦ 콘크리트가 동결할 경우, (특히 인장) 강도가 작을수록 ◦ 타설 후 콘크리트가 동결하기까지 경과 시간이 짧을수록 	초기 동해 피해가 커진다
---	------------------

라. 공시체 및 구조체 강도 저하

콘크리트 강도시험에는 여러 가지 종류가 있어 콘크리트를 사용하는 목적에 따라 가장 필요한 강도에 대해 시험을 하는 것이 바람직하다. 하지만, 압축강도는 측정함으로써 그 외의 강도를 추정할 수 있으므로 콘크리트 품질을 확인하기 위해 가장 중요한 항목으로 평가되고 있다.

콘크리트 압축강도는 시험체 형상, 치수, 재하방법 등에 따라 달라지므로 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 규정된 시험방법으로 구하는 것이 표준이다. 콘크리트 구조물은 일반적으로 재령 28일 압축강도를 기준으로 하여 설계되고 있으므로 재령 28일 압축강도에 의해 콘크리트 품질을 판단하는 것이 적절하다. 그러나, 시험체를 채취한 후 28일이 지나지 않고서는 값을 얻을 수 없으므로 시험 결과를 신속하게 공사에 반영하는 것이 품질관리에 있어서 큰 결점이 된다. 콘크리트 강도 관리 시험에 있어서 초기 재령 압축강도를 사용하는 것이 바람직하지만, 콘크리트 강도는 다양한 환경 조건에 대해 매우 다르게 나타나므로 관리 방안이 쉽지 않다. 특히, 28일이 지난 후 콘크리트 강도가 부족할 때는 구조물 안전성에 문제가 발생할 수 있고, 생산자와 시공자 사이 불만 제기 및 납품 후 반품이 불가능한 제품 등 특성이 있어 콘크리트를 제조할 때부터 타설 완료까지 기준강도를 발휘할 수 있도록 주의해야 한다. 따라서 콘크리트 강도에 미치는 영향 요인으로 콘크리트 원재료 구매부터 운반, 타설, 양생 등 구조물이 완성될 때까지 [표 2.3]과 같이 다양한 원인이 존재할 수 있다.

[표 2.3] 콘크리트 강도 부족 원인

구분	항목	요인	비고
원재료	시멘트	분말도, 화학성분, 이상 응결	생산자
	골재	형상, 입도, 입형, 밀도, 최대치수, 바닷모래의 염분	
	물	지하수, 회수수	
	혼화재료	화학 혼화제(AE제, AE감수제, 고성능 감수제) 광물질 혼화제(플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카 폼)	
배합	W/B, s/a	슬럼프, 공기량	구매자
	골재/시멘트비	단위골재량, 단위시멘트량	
	계량	계량 오차, 표면수 보정, 입도 보정	
	비빔시간	균질성, 재료 분리	
시공	운반	규정 운반시간 준수, 현장 대기시간	구매자
	타설	가수, 펌프 압송, 다짐 종류, 양생 방법, 양생 기간, 외기 환경	
품질관리	시험방법	시료 채취, 공시체 종류	생산자 구매자
	양생	표준 양생, 현장 양생	
	시험조건	온습도, 재하조건, 캐핑 종류	

4. 레디믹스트 콘크리트 품질관리의 대책

가. 가수

에지테이터 트럭에 남아 있는 물 및 레디믹스트 콘크리트를 적재하고, 배출구 주위를 씻을 때 투입되는 물의 경우는 장비 관리상 어쩔 수 없는 상황으로 표준량을 미리 정해놓고, 레디믹스트 콘크리트를 생산할 때 이만큼의 물은 빼고 배합하는 것이 바람직하다. 배치 플랜트에서 콘크리트를 생산할 때 가수 하는 것은 본래의 된 비빔 콘크리트 품질은 그대로 유지하고, 양호한 시공성을 갖는 유동화 콘크리트를 사용하거나, 묽은 비빔 콘크리트 또는 거의 다짐을 하지 않아도 스스로 채워질 수 있는 고유동 콘크리트를 사용한다.

[그림 2.6]과 같이 한국콘크리트 학회에 규정된 KCI-RM101(레디믹스트 콘크리트 단위 수량 신속측정 방법)을 참고하여 측정 일자, 온습도, 측정 단위 수량 값, 측정 소요시간 등 검사를 철저히 해야 한다.

	
<p>(a) 정전 용량 법 : 고주파 유전율 방식을 이용해 측정</p>	<p>(b) 단위용적 질량 법(에어미터 법) : 단위용적 질량 변화를 이용해 측정</p>
	
<p>(c) 고주파가열법 : 고주파가열장치를 이용해 가열건조 전후 질량 차를 통해 측정</p>	<p>(d) 마이크로파 법 : 콘크리트에 투과되는 마이크로파가 물 분자에 의해 진폭 감소, 주파수 변동, 시차가 발생하는 원리를 이용해 측정</p>

[그림 2.6] 레디믹스트 콘크리트 단위 수량 신속측정 방법

나. 슬럼프 시험

슬럼프 시험은 굳지 않은 콘크리트 품질을 신속히 판정할 수 있는 매우 유용한 유동성 평가 장비이다. 이 시험방법은 유동이 정지될 때 변형량을 측정하는 정성적인 평가 방법으로 시험 및 판정 방법이 시험자의 경험에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 슬럼프 시험의 물리적 의미 및 시험·판정 방법에 대한 명확한 이해가 매우 중요하다.

다. 초기 동해

콘크리트 초기 동해를 방지하기 위해서는 콘크리트 함수량, 연행공기량, 기포 크기와 분포, 사용 혼화제 종류와 양도 중요하나, 어느 범위 강도가 발휘될 때까지 절대로

얼지 않도록 하는 게 초기 양생에 중요하다. 어느 정도 강도가 발휘된 후에는 콘크리트가 동결되더라도 피해가 작아지기 때문이다.

초기 동해를 방지하기 위한 초기 양생은 다음과 같다.

- ① 콘크리트를 타설한 직후 찬바람이 콘크리트 표면에 닿는 것을 방지한다.
- ② 콘크리트 타설이 종료된 후 초기 동해를 받지 않도록 초기 양생 시행한다.
- ③ 초기 양생 방법 및 양생 기간은 외기 온도, 배합, 구조물 종류 및 크기 등을 고려하여 정한다.
- ④ 구조물 모서리나 가장자리 부분은 보온하기 어려운 곳이어서 초기 동해를 받기 쉬우므로 초기 양생에 주의한다.
- ⑤ 한중 콘크리트는 [표 2.4]와 같이 소요 압축강도가 얻어질 때까지 콘크리트 온도를 5℃ 이상으로 유지해야 하며, 소요 압축강도에 도달한 후 2일간은 구조물 어느 부분이라도 0℃ 이상이 되도록 유지한다.
- ⑥ [표 2.4]와 같이 강도를 얻기에 필요한 양생일수는 시험에 의해 정하는 것이 원칙이나, 5℃ 및 10℃에서 양생할 경우 일반적인 표준은 [표 2.5]과 같다.

[표 2.4] 한중 콘크리트 양생 종료 때 소요 압축강도 표준 (MPa)

구조물의 노출 상태	단면 (mm)	300 이하	300 초과, 800 이하	800 초과
	¹ 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분		15	12
² 보통의 노출 상태에 있고 ¹ 에 속하지 않는 부분		5	5	5

[표 2.5] 소요 압축강도를 얻는 양생일수 표준 (보통 단면)

구조물의 노출 상태		시멘트의 종류		혼합 시멘트 B종
		보통 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 보통 포틀랜드 + 촉진제	
¹ 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분	5℃	9일	5일	12일
	10℃	7일	4일	9일
² 보통 노출 상태에 있고, ¹ 에 속하지 않는 부분	5℃	4일	3일	5일
	10℃	3일	2일	4일

- ⑦ 초기 양생은 구조체 관리용 시험체를 제작하여, [표 2.4]에 표시된 압축강도가 얻어졌는지 확인 후 책임기술자 승인을 받아 종료해야 하며, 구조체 관리용 시험체는 타설된 구조체와 같은 조건으로 양생 후 압축강도 시험을 시행한다.
- ⑧ 단면 두께가 얇고, 보통 노출 상태 콘크리트는 초기 양생 종료 후 특별한 보온 양생하지 않는 경우 콘크리트 노출면은 시트, 기타 적절한 재료로 덮어서 초기 양생 완료 후 2일간 이상 콘크리트 온도를 0℃ 이상으로 보존한다.

라. 공시체 및 구조체 강도 저하

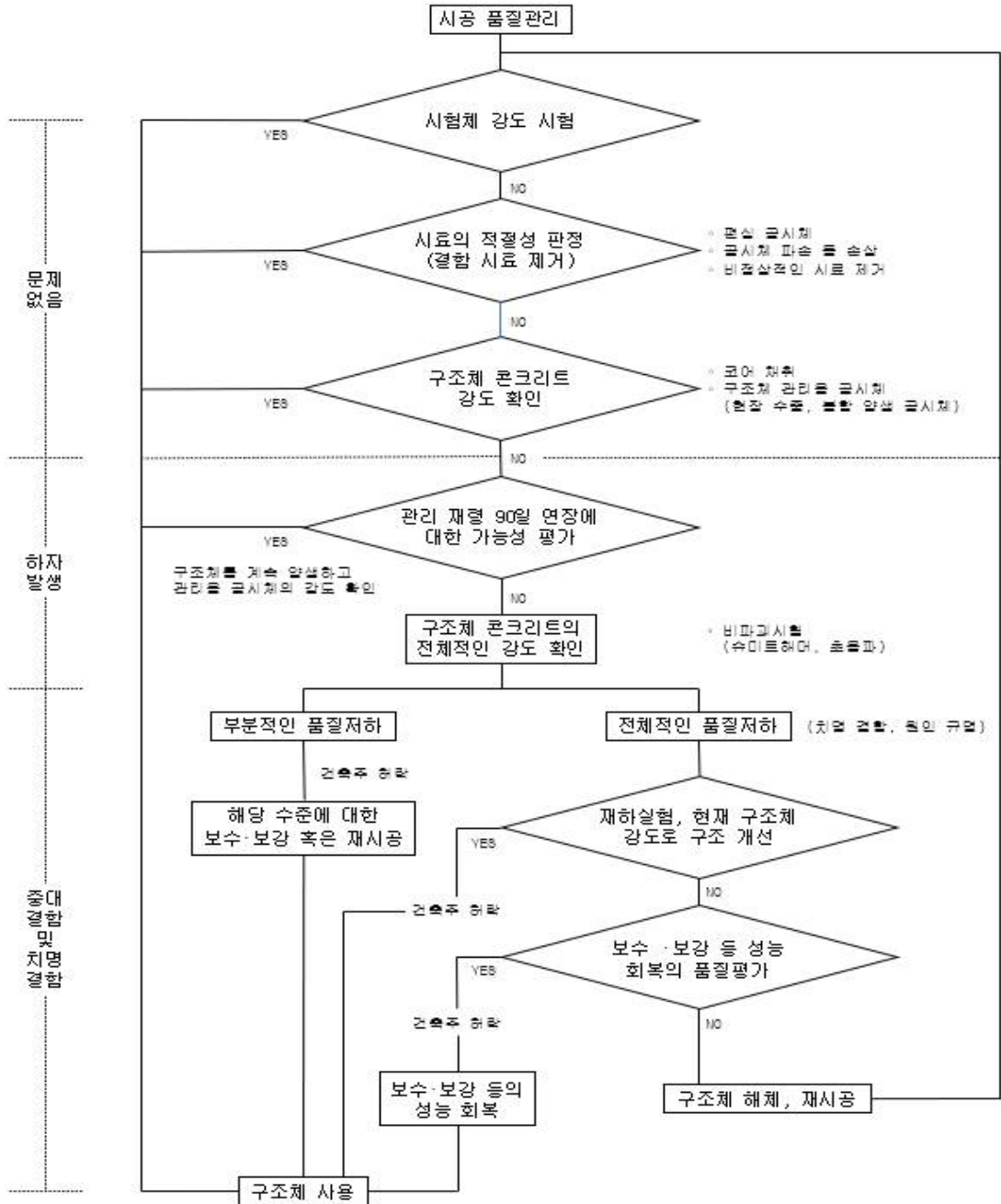
재령 28일에서 압축강도 시험 한 결과, 불합격이 발생할 때 구조물 해체 후 재시공 조치를 판정하기는 매우 어려운 일이다. 따라서 레디믹스트 콘크리트를 생산할 때 불합격이 발생하지 않도록 세심하게 주의를 하는 것이 무엇보다도 중요하다. 레디믹스트 콘크리트가 현장 도착할 때 굳지 않은 콘크리트 특성뿐 아니라 강도까지도 즉시 평가할 수 있는 품질관리 방법이 요구되기도 한다. 소정의 재령에 콘크리트 압축강도가 부족한 문제가 발생할 경우를 대비하여 공사 초기에 콘크리트 시험을 많이 하고, 콘크리트 구조물 압축강도 검사결과가 불합격이면 발주자와 협의를 통해 조치를 정하며, 정확한 원인을 찾아내 차후의 콘크리트를 타설할 때 영향을 받지 않도록 한다.

강도 부족 원인을 결정하기 위해 다음 다섯 가지 항목을 조사한다.

- ① 시험체 형상 및 시험할 때 상황
- ② 레디믹스트 콘크리트 실내 조사결과
- ③ 레디믹스트 콘크리트 공장 품질관리 데이터
- ④ 양생 기간 중 평균 기온 및 시험체 평균 양생 온도
- ⑤ 시료를 채취할 때 레디믹스트 콘크리트 슬럼프와 공기량

콘크리트 강도가 부족할 경우 [그림 2.7]과 같이 가벼운 강도 결함이면 관리 재령 연장으로 구조물을 사용하는 방안으로 유도하고, 중대한 결함(혼화제 과다 첨가, 다른 규격의 레디믹스트 콘크리트 타설, 콘크리트 양생 및 시공 오류 등) 중 부분 결함이면 해당 수준으로 보수·보강 혹은 재시공하는 것이 바람직하다. 전체적 결함은 어쩔 수

없는 경우 해체 후 재시공해야 하겠지만, 구조계산 재검토 및 구조물 용도 전환, 보수·보강 등 성능 회복을 검토하고, 자원 절약, 환경 보존 등 고려하여 일단 타설한 콘크리트 구조물을 가능한 활용 하도록 한다.



[그림 2.7] 압축강도가 불합격된 경우 조치

제2절 해체공사 안전관리²⁾

1. 해체대상 건축물 분류

해체란 건축물을 건축·대수선·리모델링하거나 멸실시키기 위해 건축물 전체 또는 일부를 파괴하거나 절단하여 제거하는 것이고, 이때 멸실이란 건축물이 해체, 노후화 및 재해 등으로 효용 및 형체를 완전히 상실한 상태이다.

관리자가 건축물을 해체하려는 경우에는 특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장(허가권자)의 허가를 받아야 한다. 다만, [표 2.6]과 같이 어느 하나에 해당하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 신고하면 허가받은 것으로 본다.

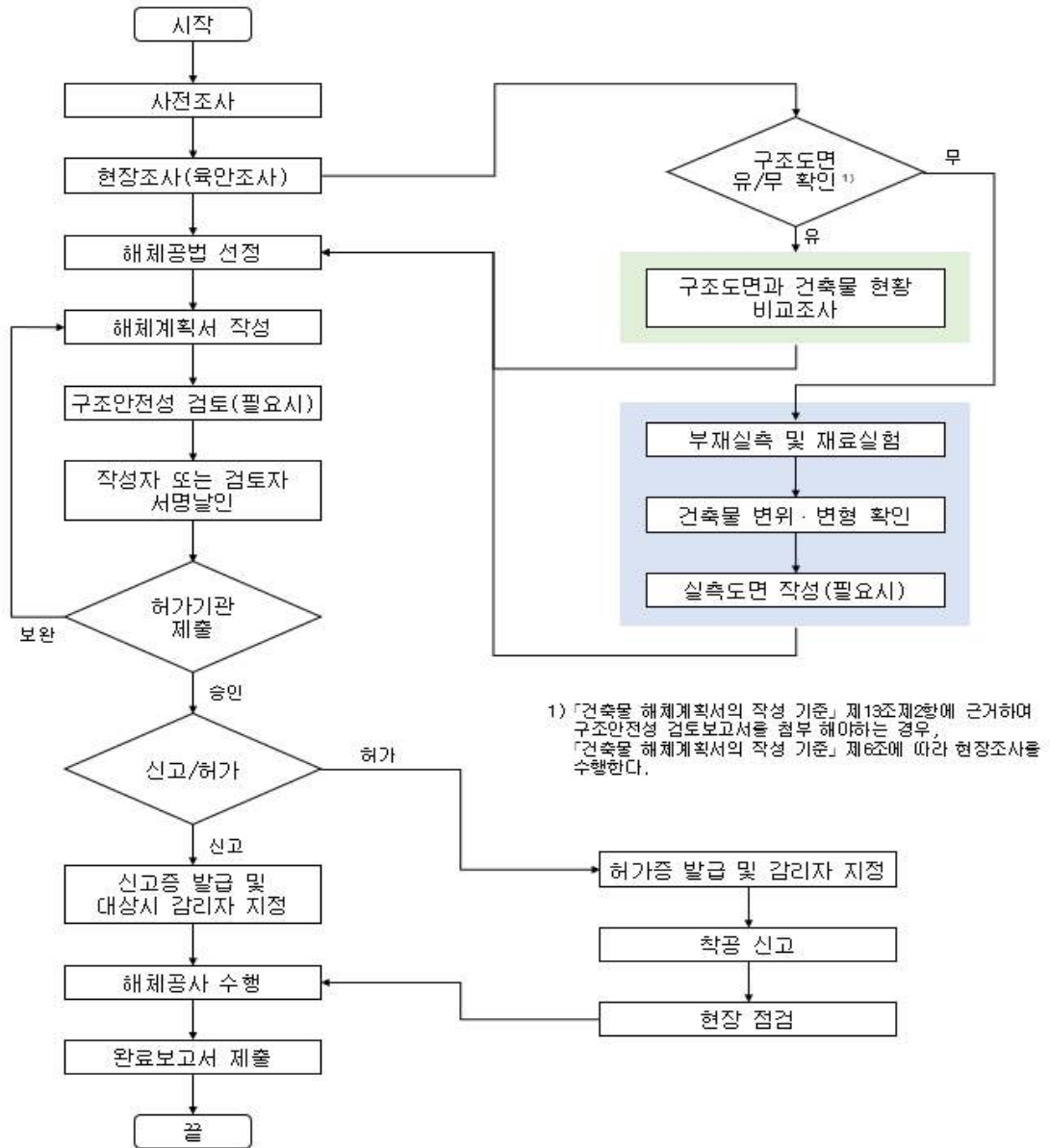
[표 2.6] 건축물관리법에 따른 해체신고 및 허가 대상

신 고	부분 해체	주요구조부 (내력벽, 기둥, 바닥, 보, 지붕틀 및 주계단)의 해체를 수반하지 않고, 건축물 일부를 해체하는 경우
	전체 해체	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 연면적 500m² 미만인 건축물 ◦ 건축물 높이 12m 미만인 건축물 ◦ 지상층과 지하층을 포함하여 3개 층 이하인 건축물
	그 밖의 해체	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 연면적 200m² 미만이고, 3층 미만인 건축물의 대수선인 경우 ◦ 바닥면적의 합계가 85m² 이내의 증축·개축·재축 (3층 이상 건축물의 경우 연면적의 1/10 이내인 경우) ◦ 관리, 농림지역 또는 자연환경보전지역에 높이 12m 미만인 건축물
허 가	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신고 대상 외 건축물 ◦ 해당 건축물 외벽으로부터 건축물의 높이에 해당하는 범위 내에 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 폭 이상의 도로가 있는 경우 ◦ 건축물의 안전한 해체를 위해 건축물 배치, 유동인구 등 해당 건축물의 주변 여건을 고려하여 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 경우 ◦ 해당 건축물 주변 일정 반경 내에 버스 정류장, 도시철도 역사 출입구, 횡단보도 등 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 시설이 있는 경우 	

2) 이 절은 국토교통부, 국토안전관리원. (2022). 건축물 해체공사 감리업무 매뉴얼. 매뉴얼의 내용을 인용한 것임.

2. 해체공사 업무순서

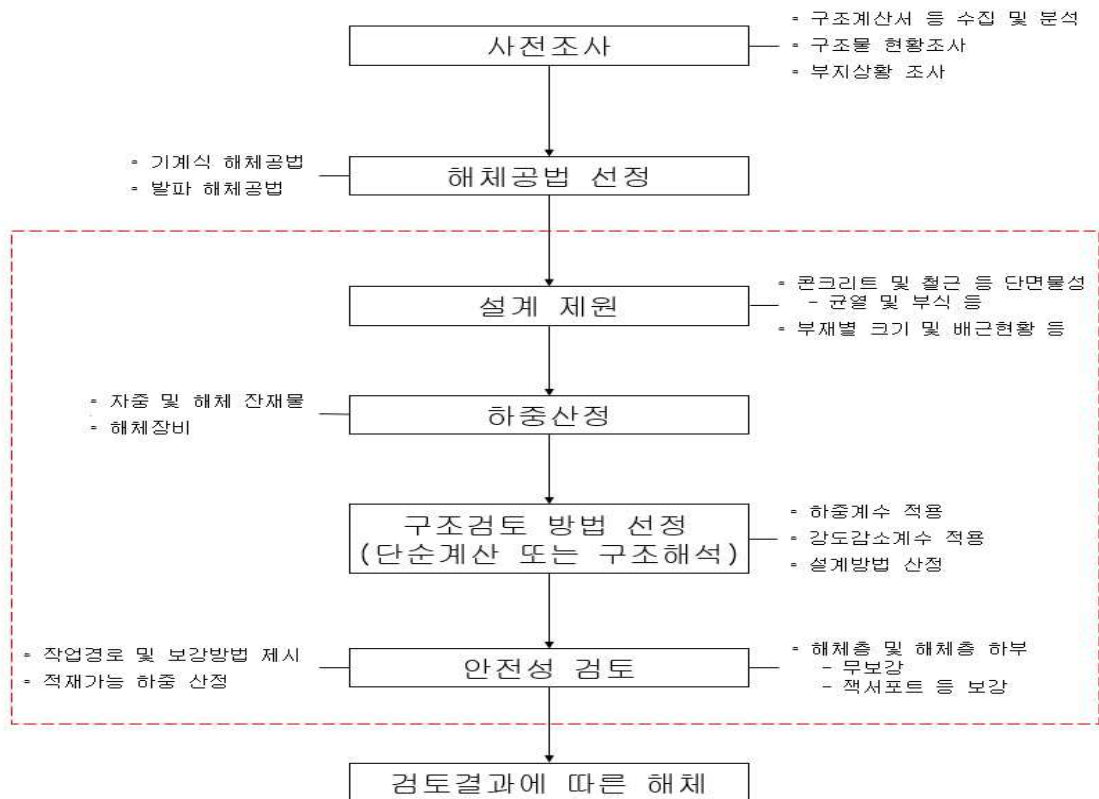
해체공사 업무순서는 [그림 2.8]과 같이 사전조사, 현장조사, 해체공법 선정, 해체 계획서 작성, 구조 안전성 검토(필요할 시), 작성자 또는 검토자 서명날인, 허가기관 제출, 감리자 지정, 해체공사 수행, 완료 보고서 제출의 순으로 진행해야 한다.



[그림 2.8] 해체공사 업무순서

3. 해체구조물 안전성 검토 절차

해체구조물 안전성 검토 절차는 [그림 2.9]와 같다. 해체 건축물 재료 강도는 반드시 정밀안전진단을 통한 재료시험에 의해 그 강도를 확인해야 하며, 현장 여건상 재료 시험이 불가능한 경우 건축구조 기준에 규정된 건설연도별 평균값 이하를 적용해야 한다. 해체 시 고려 하중은 장비 하중, 해체 잔재물 하중, 충격하중(해체 장비 및 잔재물), 작업 하중, 건축물 자중을 포함하고, 작업 여건에 따른 모든 하중을 고려하여 산정한다. 슬래브 상부에 해체 잔재물 적재 높이를 30cm 이하로 권장하고 (단, 구조검토가 된 경우에는 검토자의 판단에 의한다), 해체 잔재물의 단위 중량은 14kN/m^3 이상을 적용하되, 분진방지를 위한 해체 시 살수 작업에 따른 하중을 추가 고려하여 산정한다. 해체 장비 하중에 충격계수를 가산하고, 해체 건축물의 재료 강도와 적용 하중을 산정해 구조부재 해체 순서를 검토한다. 시공할 수 있는 해체공법 등을 고려하여 구조 해석을 통해 안전성 검토를 진행한다.



[그림 2.9] 해체구조물 안전성 검토 절차

4. 해체공사 사고 사례 및 대책

가. 서울 강남구 역삼동 ○○빌딩 붕괴사고

(1) 개요

2012.1.10(화) 서울 강남구 역삼동 ○○빌딩은 [그림 2.10]과 같이 해체공사 현장에서 굴착기(1.0m³, 29t)로 지상 7층 상부에서 옥탑, 지붕 및 7층 해체작업을 하던 중 해체 잔재물의 하중을 견디지 못하고, 6층 바닥 슬래브가 무너지면서 그 충격으로 1층 바닥 슬래브까지 연쇄적으로 붕괴한다. 그로 인해 지상 3층에서 작업 중이던 작업자 1명이 사망하고, 2명이 다친 재해이다.



[그림 2.10] 서울 강남구 역삼동 ○○빌딩 붕괴 현장

(2) 발생 원인 및 과정

- 출입금지조치 미시행
- 사전조사 및 작업계획서 미작성
- 해체방법 부적합 및 보강조치 미시행

건축물을 해체할 때는 사전 안전성 검토를 통해 해체 잔재물의 적재 가능 높이 이하가 되도록 반출을 하여야 하나, 사고현장은 해체 잔재물을 지상 6층 바닥에 과적재하여 슬래브 및 보가 해체 잔재물의 하중을 견디지 못한다. 굴착기 등 해체 장비 무게, 해체 잔재물 무게 등 하중이 증가하므로 잭서포트를 설치하여 보강조치 후 해체

작업을 해야 하나, 사고현장은 4~6층까지 굴착기 이동구간인 보 하부에만 잭서포트를 설치하고, 붕괴한 구간 보 및 슬래브 하부에는 아무런 보강조치 없이 작업을 진행한다.

(3) 예방 대책

- 출입금지조치 철저
- 사전조사 및 작업계획서 작성
- 해체방법 개선 및 보강조치 철저

건축물을 해체할 때는 해체한 잔재물의 과적재 및 과하중으로 인해 건축물이 붕괴할 위험이 크므로 해체 잔재물 처리방법 및 반출경로 등을 계획하여 안전한 방법으로 해체 잔재물을 처리한다. 굴착기 등 해체 장비 무게, 해체 잔재물 무게 등 하중이 증가하므로 해체 층 하부에 잭서포트를 누락 없이 설치하고, 안전하게 보강조치 후 해체작업을 진행한다.

나. 서울 서초구 잠원동 ○○빌딩 붕괴사고

(1) 개요

2019.7.4(목) 서울 서초구 잠원동 ○○빌딩은 [그림 2.11]과 같이 5층 건물을 압쇄기로 파쇄하여 해체하던 중 남아 있던 벽체가 인근 대로변으로 붕괴하면서 지나가던 차량을 덮쳐 1명이 사망하고, 3명이 다친 재해이다.



[그림 2.11] 서울 서초구 잠원동 ○○빌딩 붕괴 현장

(2) 발생 원인 및 과정

◦ 작업계획서 미준수

해체감리자는 상주 조건을 준수하지 않고, 구청의 해체 허가조건인 소형 굴착기로 고층부터 해체하는 대신 대형 굴착기로 중간층부터 해체하여 한쪽 벽면이 완전히 무너진다.

(3) 예방 대책

◦ 부지 상황조사 철저

해체대상 건축물 주변 상황을 조사하고, 해체공사에 의해 위험과 재해를 끼칠 우려가 있는지 검토하며, 재해 예방 대책을 수립하여 시행한다.

◦ 해체공사관계자 현장관리 철저

감리자는 해체계획서대로 해체공사가 이루어지는지 확인하고, 해체시공자는 해체계획서에 따라 장비를 투입하고, 해체 시공하는지 확인한다.

◦ 구조물 현황조사와 해체계획서 작성 철저

해체대상 구조물 구조형식과 상태를 자세히 조사하고, 해체방법에 따라 장비 하중과 잔재물 하중을 계산하며, 잭서포트 등 구조보강을 한다. 해체계획서가 전문가 참여를 통해 작성되고, 검토되어야 한다.

다. 광주 동구 학동4구역 주택재개발 건물 붕괴사고

(1) 개요

2021.6.9(수) 광주 동구 학동4구역 주택재개발 건물은 [그림 2.12]와 같이 정비사업 현장에서 사업부지 내 지상 건물 해체작업 중 해체 중이던 건물이 대로변으로 붕괴하면서 정차 중인 노선버스가 매몰되어 9명이 사망하고, 8명이 다친 재해이다.



[그림 2.12] 광주 동구 학동4구역 주택재개발 건물 붕괴 현장

(2) 발생 원인 및 과정

- 해체건물 구조부재 내력에 대한 안전성 검토 부족

지하 1층, 지상 5층 사고건물은 벽면에 대한 콘크리트 비파괴강도 측정결과만을 기준으로 해체 순서를 정한다. 지하층이 존재하는 건물에 성토체를 쌓을 때 상부 하중으로 인한 지하층 붕괴위험이 존재함에도 잭서포트 보강 등 적절한 구조보강이 이루어지지 않았고, 성토체 위에서의 해체작업도 애초 계획과는 달리 임의로 이루어진다.

(3) 예방 대책

- 해체계획서 수준 제고

해체계획서 작성 설명서를 통해 계획서 수준 편차를 최소화하고, 작성과 검토에 전문가가 참여하도록 한다.

- 해체공사관계자 책임 강화

해체계획서 작성자와 감리자 등에 대한 교육시행으로 안전의식을 높이며, 감리자의 감리일지 등이 누락 되지 않도록 한다. 허가권자의 현장점검 등을 통해 공사현장관리·점검이 실효성 있게 이루어지도록 하고, 불법 하도급 처벌수준 강화하며, 인명피해가 발생한 경우 처벌 대상 확대를 적용한다.

제3장 모르타르 및 콘크리트 강도 저하 원인에 따른 성능변화

제1절 실험개요

본 장에서는 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 혼화제 과다사용, 미분 함유, 혼화제 과잉사용, 겨울철 양생으로 사용재료 및 양생을 각각 다르게 시행할 시 강도 저하 원인에 따른 성능변화를 조사하고 분석한다.

기준인 표준 배합에 혼화재인 플라이애시 20%와 40%, 고로슬래그 50%와 80%, 미분인 규사 8호 30%와 60%, 혼화제인 AE제 1%와 2%를 혼입하여 배합하고, 우리나라 겨울철 낮 평균 기온인 3~4℃를 냉장고로, 밤 평균 기온인 -10℃를 냉동고로 대체하여 겨울철 양생을 시행한다. 온도변화나 충격에 영향을 받지 않도록 최종적으로 수중 양생을 한다. 레디믹스트 콘크리트가 제조된 후 현장에서 부어 넣기까지 시간을 1시간으로 설정하여 슬럼프 시험을 진행해 모르타르 플로우 및 슬럼프를 분석한다. 굵은 골재 25mm를 넣지 않은 5×5×5cm 모르타르와 굵은 골재 25mm를 넣은 10×20cm 콘크리트로 압축강도 시험을 진행해 표준 배합 대비 강도 감소 차이를 알아보고, 굵은 골재 25mm를 넣지 않은 5×5×5cm 모르타르로 흡수율 시험을 진행해 강도 편차에 따른 압축강도를 예측해 분석하고자 한다. 따라서 실험 배합의 시편들을 재령 1, 3, 7, 28, 56일로 설정하여 각각 분석한다.

제2절 사용재료, 배합비 및 배합표

1. 사용재료

본 연구에서 결합재로 사용한 재료는 6종류로 1종 포틀랜드 시멘트(Portland cement), 플라이애시(fly ash), 고로슬래그(blast furnace slag), 모래(sand), 미분 규사(silica sand) 8호, 굵은 골재(coarse aggregate) 25mm이며, 혼화제로 사용한 재료는 2종류로 유동화제와 AE제이다.

1종 포틀랜드 시멘트는 삼표시멘트에서 제조된 것을 포대로 구매하고, 플라이애시는 아시아 특수재료에서 구매 후 상온에서 마대에 포장된 상태로 저장해 사용하며, 고로슬래그는 지역의 제철소에서 생산된 후 소량의 경석고(anhydrite)와 함께 분쇄한 것을 가져와 사용한다. 모래는 주월 건재에서 구매 후 1t bag를 통해 운반 후 사용하고, 미분 규사 8호는 대호 상사에서 포대로 구매하며, 굵은 골재 25mm는 한양 골재에서 구매 후 1t bag를 통해 운반 후 사용한다. 유동화제와 AE제는 이코박스에서 폴리 카르본산계를 주성분으로 하는 것을 통으로 구매해 사용한다.

결합재로 사용한 재료는 가져온 재료 그대로 각각의 방법에 따라 시험을 진행한다. KS F 2502(골재의 체 가름 시험방법)에 규정된 방법에 따라 모래의 조립률 시험을 진행하며, 시험 결과로 모래의 조립률은 2.8이다. 1종 포틀랜드 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그, 모래, 규사 8호는 KS F 2504(잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)에 규정된 방법으로, 굵은 골재 25mm는 KS F 2503(굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)에 규정된 방법으로 밀도 및 흡수율 시험을 진행한다. [표 3.1]은 밀도 및 흡수율 시험 결과이며, 해당 밀도는 표면건조 포화상태의 시료이다.

[표 3.1] 결합재로 사용한 재료의 밀도 및 흡수율

재료명	밀도	흡수율 (%)
1종 포틀랜드 시멘트	3.05	-
플라이애시	2.20	-
고로슬래그	2.95	-
모래	2.65	2
규사 8호	2.65	-
굵은 골재 25mm	2.65	0.8

2. 배합비 및 배합표

재령 28일의 목표 압축강도를 21과 35로 하며, 모르타르는 시멘트를 1의 비율로 설정하기 위해 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 중량값을 더해 기준을 잡는다. 사용 결합재들을 기준 잡은 값으로 나눠주며, 혼화제는 기준 잡은 값에 0.01% 한 값을 곱해 단위 무게비로 나타낸다. 이때, 기준 잡은 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그를 더한 무게비는 1이 된다. 콘크리트는 레디믹스트 콘크리트에 따른 배합설계를 적용해 콘크리

트 1m³ 당 재료의 단위량으로 나타내며, 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 값을 더해 혼화제 중 유동화제는 0.1%, AE제는 1% 한 값을 곱해 나타낸다. 여기서 AE제는 고성능 AE감수제로 물에 희석하여 혼입한다.

물-결합재비(W/B)의 경우 자기수축의 감소 효과를 더 명확하게 확인하고자 0.4%로 결정한다. 유동화제를 배합 전체에 혼입하는 것으로 설정하나, 슬럼프 시험을 통해 슬럼프값을 150~180mm로 기준 잡아 설정된 유동화제를 증감해 비슷한 유동성으로 실험을 진행한다. 미분 배합의 경우 규사 8호가 들어가 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수로 유동성을 맞춰준다. 해당 시험 결과 21PW60, 35PW30, 35PW60은 모르타르 배합비에서 물의 기존 무게비는 0.56, 0.42, 0.41이지만, 가수 한 무게비는 0.61, 0.43, 0.46으로 0.05, 0.01, 0.05만큼 증가한다. 콘크리트 배합표에서 물의 기존 단위 중량은 175, 169, 169이지만, 가수 한 단위 중량은 184, 174, 181로 9, 5, 12만큼 증가한다. 이에 따른 [표 3.2]는 5×5×5cm 모르타르 최종 배합비이고, [표 3.3]은 10×20cm 콘크리트 최종 배합표이다.

본 연구에서 사용되는 모래는 완전건조하여 함수량 0%의 상태로 사용하고, 굵은 골재 25mm는 표면건조 포화상태로 함수량 100%의 상태로 사용한다.

[표 3.2] 5×5×5cm 모르타르 배합비

손상 원인	시편명	물	시멘트	플라이 애시	고로 슬래그	모래	규사 8호	유동 화제	AE제
표준	21	0.56	1.00	-	-	2.15	-	-	-
	35	0.41	1.00	-	-	1.46	-	-	-
혼화제	21FA20	0.60	0.85	0.15	-	2.27	-	-	-
	21FA40	0.63	0.68	0.32	-	2.42	-	-	-
	35FA20	0.43	0.85	0.15	-	1.55	-	0.02	-
	35FA40	0.38	0.73	0.27	-	1.34	-	0.02	-
	21S50	0.57	0.51	-	0.49	2.18	-	-	-
	21S80	0.58	0.21	-	0.79	2.21	-	-	-
	35S50	0.42	0.51	-	0.49	1.49	-	0.02	-
	35S80	0.42	0.21	-	0.79	1.50	-	0.02	-
미분	21PW30	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	0.68	0.01	-
	21PW60	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	1.37	0.01	-
	35PW30	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	0.46	0.02	-
	35PW60	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	0.93	0.02	-
혼화제	21AE1	0.57	0.62	0.08	0.30	1.56	-	-	0.01
	21AE2	0.43	0.62	0.08	0.30	1.06	-	-	0.01
	35AE1	0.61	0.62	0.08	0.30	0.89	-	-	0.02
	35AE2	0.46	0.62	0.08	0.30	0.61	-	-	0.02
겨울	21C6	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	-	-	-
	21C12	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	-	-	-
	35C6	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	-	-	-
	35C12	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	-	-	-
	21F3	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	-	-	-
	21F6	0.59	0.62	0.08	0.30	2.23	-	-	-
	35F3	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	-	-	-
	35F6	0.43	0.62	0.08	0.30	1.52	-	-	-

[표 3.3] 10×20cm 콘크리트 배합표 (kg/m³)

손상 원인	시편명	물	시멘트	플라이 애시	고로 슬래그	모래	규사 8호	굵은 골재	유동 화제	AE제
표준	21	175	337	-	-	738	-	1034	-	-
	35	169	444	-	-	661	-	1039	-	-
혼화제	21FA20	175	270	49	-	738	-	1034	-	-
	21FA40	175	202	97	-	738	-	1034	-	-
	35FA20	169	355	64	-	661	-	1039	-	-
	35FA40	169	355	128	-	661	-	1039	0.48	-
	21S50	175	169	-	163	738	-	1034	-	-
	21S80	175	67	-	261	738	-	1034	-	-
	35S50	169	222	-	215	661	-	1039	0.44	-
	35S80	169	89	-	343	661	-	1039	-	-
미분	21PW30	175	202	24	98	517	222	1034	-	-
	21PW60	184	202	24	98	295	443	1034	0.32	-
	35PW30	174	266	32	129	463	198	1039	0.43	-
	35PW60	181	266	32	129	264	397	1039	0.43	-
혼화제	21AE1	175	202.3	24	98	738	-	1034	-	3.24
	21AE2	175	202.3	24	98	738	-	1034	-	3.24
	35AE1	169	266.2	32	129	661	-	1039	-	4.27
	35AE2	169	266.2	32	129	661	-	1039	-	4.27
겨울	21C6	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	21C12	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	35C6	169	266	32	129	661	-	1039	0.43	-
	35C12	169	266	32	129	661	-	1039	0.43	-
	21F3	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	21F6	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	35F3	169	266	32	129	661	-	1039	0.43	-
	35F6	169	266	32	129	661	-	1039	0.43	-

제3절 실험 방법

1. 모르타르 플로우 및 슬럼프

슬럼프를 측정하기 위해 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 규정된 방법으로 시험을 진행한다. [그림 3.1]은 슬럼프 시험기로 (a)와 같은 슬럼프 콘을 (b)와 같이 평판 위에 놓고, 10L 믹서를 통해 2분간 배합한 시료를 3층으로 나누어 슬럼프 콘에 채운다. (c)와 같은 다짐기로 시료가 아래층에 거의 도달할 정도로 각 층 단면이 균일하게 25회씩 돌려 다져준다. 만약 다질 때 재료 분리가 일으킬 염려가 있을 때는 분리를 일으키지 않을 정도로 돌리는 횟수를 줄인다. 슬럼프 콘에 채운 시료 윗면을 슬럼프 콘 상단에 맞춰 고르게 한 후 즉시 슬럼프 콘을 수직 방향으로 높이 300mm에서 3.5 ± 1.5 초로 들어 올린다. 슬럼프 콘에 시료를 채우기 시작하고 나서 슬럼프 콘을 들어 올리기를 종료할 때까지 시간은 3분 이내로 한다. 시료 중앙부 기준으로 최댓값과 최솟값을 5mm 단위로 측정하여 이것을 슬럼프값으로 한다. 시료가 슬럼프 콘 중심축에 대하여 치우치거나 무너져 모양이 불균형이 된 경우 다른 시료에 의해 재시험을 진행한다.



(a) 슬럼프 콘



(b) 평판 위 슬럼프 콘



(c) 다짐기

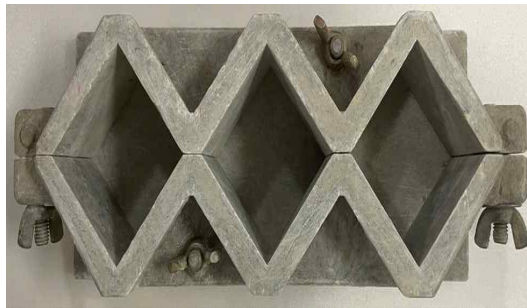
[그림 3.1] 슬럼프 시험기

슬럼프 측정한 후 10L 믹서 통에 시료를 다시 담아 1시간 동안 보관한다. 시간 경과 후 담아둔 믹서 그대로 1분 30초간 배합을 한 후 슬럼프 측정과 같은 시험방법으로 슬럼프 측정한다. 이에 처음으로 배합해 측정한 슬럼프와 1시간 경과 후 측정한 슬럼프 차로 모르타르 플로우 및 슬럼프를 구한다.

2. 압축강도

가. 5×5×5cm 모르타르

10L 믹서를 통해 2분간 배합한 시료를 [그림 3.2]와 같은 5×5×5cm 몰드에 넣고, 진동과 충격을 주어 몰드 상단에 맞춰 고르게 다짐한 후 봉지로 덮고, 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생한다. 겨울철 배합은 전과 같으나, 다짐한 후 2시간 동안 봉지로 덮고, 겨울철 양생 시간에 맞추어 냉장고에서 6, 12시간 및 냉동고에서 3, 6시간 동안 양생하고, 처음 다짐한 후 봉지로 덮을 때의 시간으로 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생한다.



[그림 3.2] 5×5×5cm 몰드

실험 배합의 시편들은 재령 1, 3, 7, 28, 56일로 설정하여 표준편차를 줄이기 위한 배합당 3개의 시편을 제작하며, 압축강도를 측정하기 위해 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 규정된 방법으로 시험을 진행한다. [그림 3.3]과 같은 압축강도 시험기에 시편 중심축이 가압판 중심 차이가 시편의 지름 1% 이내로 일치하도록 놓고, 시편에 충격을 주지 않도록 $0.6 \pm 0.2 \text{MPa/s}$ 범위에서 똑같은 속도로 하중을 가한다. 시편이 파괴될 때까지 시험기가 나타내는 최대하중을 유효숫자 3자리까지 읽어 측정한다.



[그림 3.3] 압축강도 시험기

나. 10×20cm 콘크리트

10L 믹서를 통해 2분간 배합한 시료를 표면건조 포화상태로 만든 굵은 골재 25mm와 함께 손 비빔 하여, [그림 3.4]와 같은 10×20cm 몰드에 넣고, 진동다짐기(vibrator)로 진동과 충격을 주어 몰드 상단에 맞춰 고르게 다짐한 후 철판으로 덮고, 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생한다. 겨울철 배합은 전과 같으나, 다짐한 후 2시간 동안 철판으로 덮고, 겨울철 양생 시간에 맞추어 냉장고에서 6, 12시간 및 냉동고에서 3, 6시간 동안 양생하고, 처음 다짐한 후 철판으로 덮을 때의 시간으로 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생한다.

실험 배합의 시편들은 재령 1, 3, 7, 28, 56일로 설정하여 표준편차를 줄이기 위한 배합당 3개의 시편을 제작하며, 압축강도 시험방법은 5×5×5cm 모르타르와 같다.



[그림 3.4] 10×20cm 몰드

3. 흡수율

앞서 말한 5×5×5cm 모르타르 압축강도 시편제작과 같다.

실험 배합의 시편들을 재령 1, 3, 7, 28, 56일로 설정하여 표준편차를 줄이기 위한 배합당 3개의 시편을 제작한다. 일차별로 26개 배합을 3개씩 수중 양생 중이던 시편을 꺼내 [그림 3.5]와 같은 105℃ 오븐에 넣어 절대건조 상태를 만들어 무게를 측정하고, 다시 물에 담가 냉각기 온도를 -20℃쯤으로 설정한 [그림 3.6]과 같은 진공펌프 기계에서 진공이 0MPa에서 -0.1MPa 되게 당겨 2분간 놔두며, 2분이 지난 후 냉각기를 꺼 표면건조 포화상태를 만들어 무게를 측정한다. 절대건조 상태와 표면건조 포화상태의 무게를 다 잰 시편을 공기 중에 건조 시켜 무게를 측정한다. 측정한 각각의 무게들로 [식 3.1]을 통해 흡수율을 구한다.

$$\text{흡수율} = \frac{\text{흡수량}}{\text{절대건조 상태}} \times 100\%$$

[식 3.1]

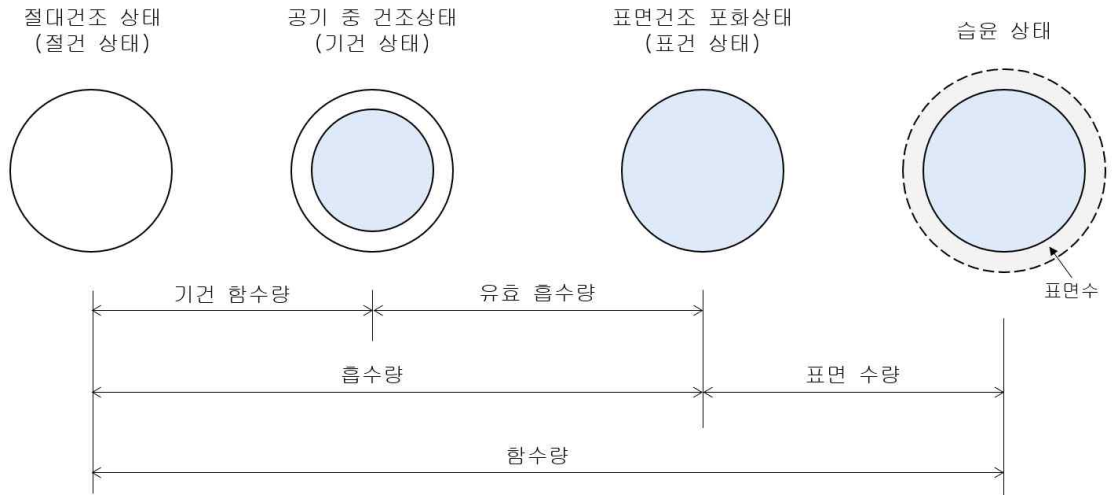
여기서, 흡수율은 표면건조 포화상태의 골재에 함유된 전체 물의 양이며, 흡수량은 표면건조 포화상태와 절대건조 상태의 골재 내 함유된 물의 양의 차이이며 즉, 표면건조 포화상태 골재 내 함유된 물의 양이다. 이에 따라 [그림 3.7]은 골재의 함수 상태를 정리한 것이다.



[그림 3.5] 오븐



[그림 3.6] 진공펌프 기계



[그림 3.7] 골재의 함수 상태

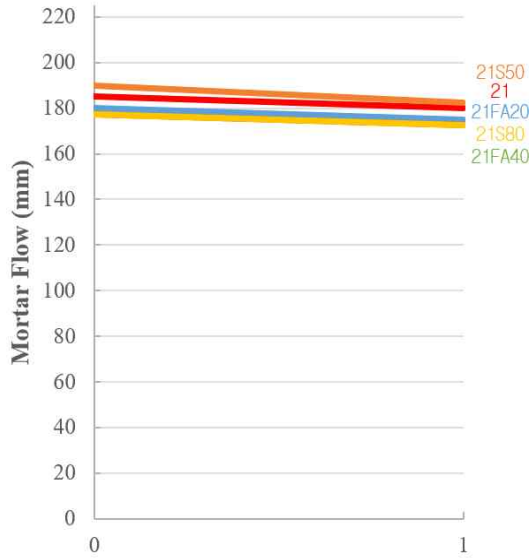
제4절 실험 결과

1. 모르타르 플로우 및 슬럼프 측정결과

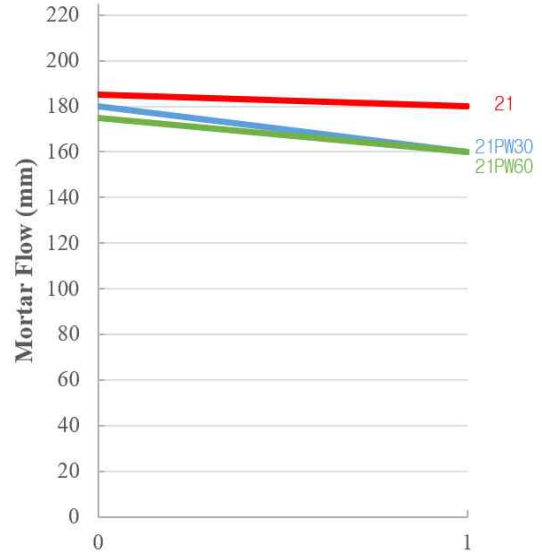
가. 5×5×5cm 모르타르

레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 5×5×5cm의 [그림 3.8]은 21강도 모르타르 플로우 측정결과이며, [그림 3.9]는 35강도 모르타르 플로우 측정결과이다.

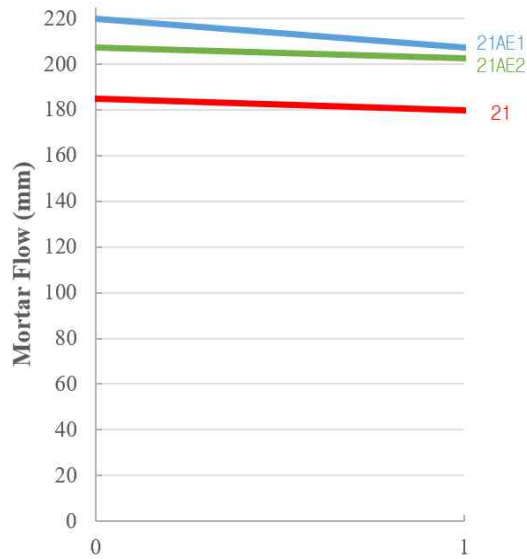
(a)는 혼화재 과다사용으로 표준과 비교해보면 플라이애시, 고로슬래그 혼입에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타난다. (b)는 미분 함유로 표준과 달리 규사 8호가 들어가 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수를 하므로 1시간이 지난 후 측정된 슬럼프가 더 많이 감소하는 것으로 나타난다. (c)는 혼화재 과잉사용으로 표준과 달리 AE제를 과잉 혼입해 처음 배합해 측정된 슬럼프가 유동성이 큰 것으로 나타난다.



(a) 혼화재 과다사용

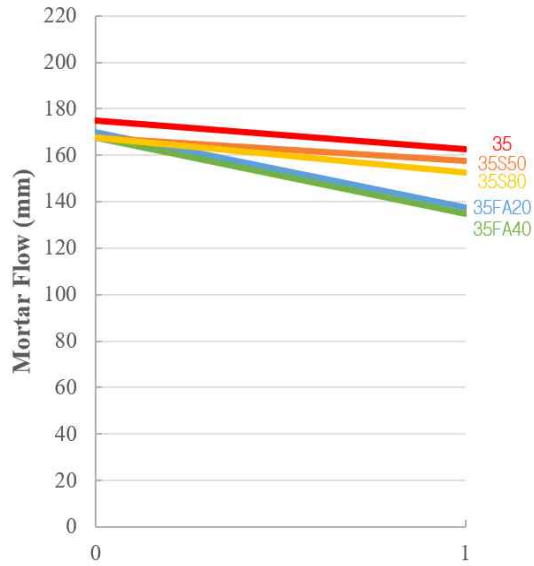


(b) 미분 함유

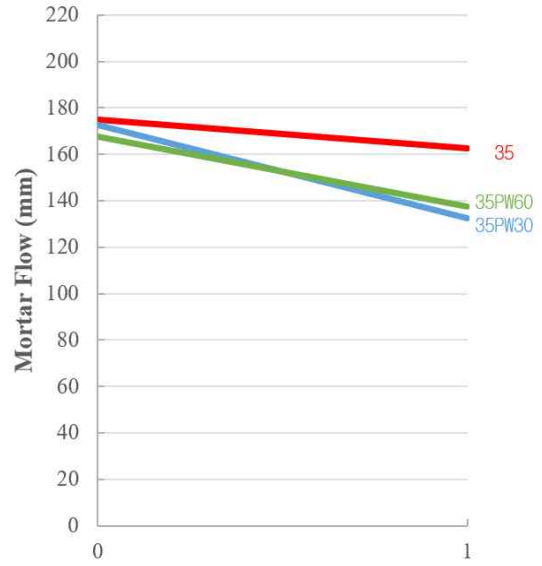


(c) 혼화재 과잉사용

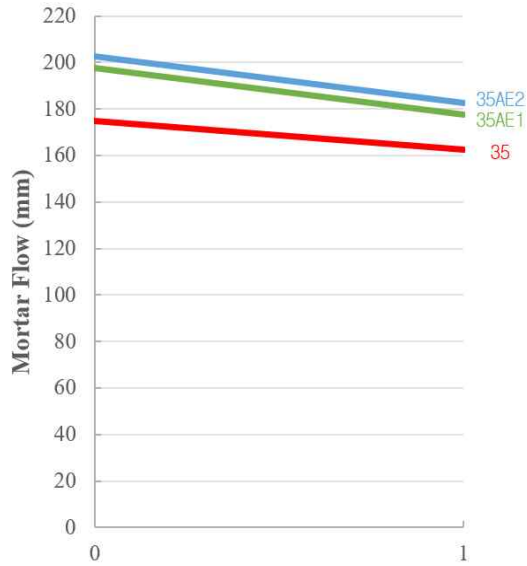
[그림 3.8] 표준과 비교한 21강도 모르타르 플로우 측정결과



(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유



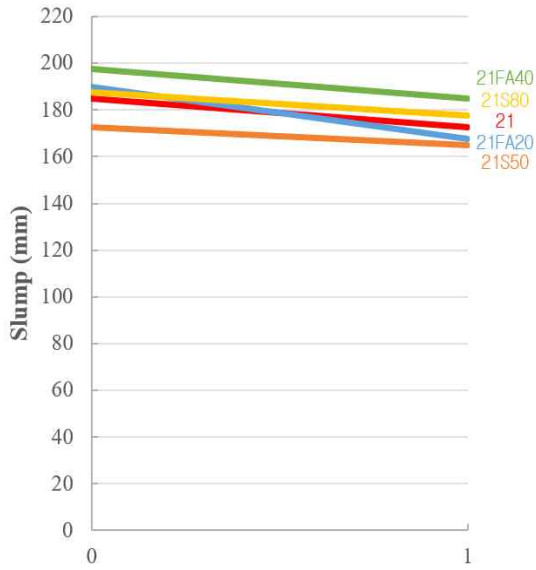
(c) 혼화제 과잉사용

[그림 3.9] 표준과 비교한 35강도 모르타르 플로우 측정결과

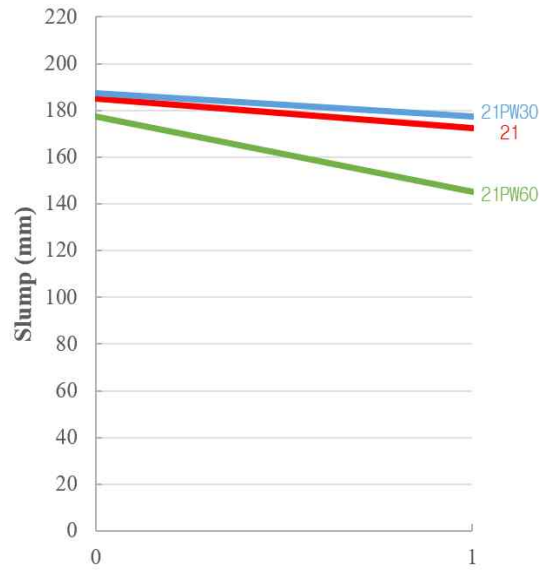
나. 10×20cm 콘크리트

레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트의 [그림 3.10]은 21강도 슬럼프 측정결과이며, [그림 3.11]은 35강도 슬럼프 측정결과이다.

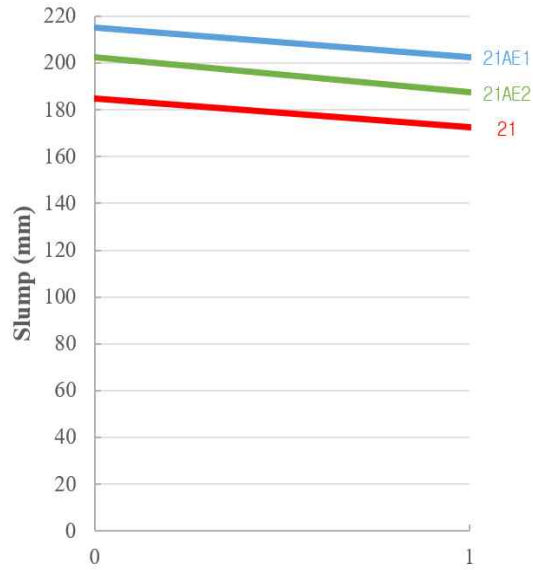
(a)는 혼화재 과다사용으로 표준과 비교해보면 플라이애시, 고로슬래그 혼입에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타난다. (b)는 미분 함유로 표준과 달리 규사 8호가 들어가 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수를 하므로 1시간이 지난 후 측정한 슬럼프가 더 많이 감소하는 것으로 나타난다. (c)는 혼화재 과잉사용으로 표준과 달리 AE제를 과잉 혼입해 처음 배합해 측정한 슬럼프가 유동성이 큰 것으로 나타난다.



(a) 혼화제 과다사용

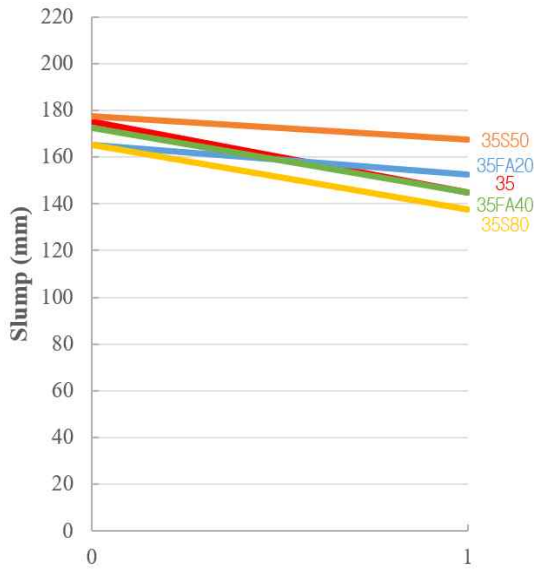


(b) 미분 함유

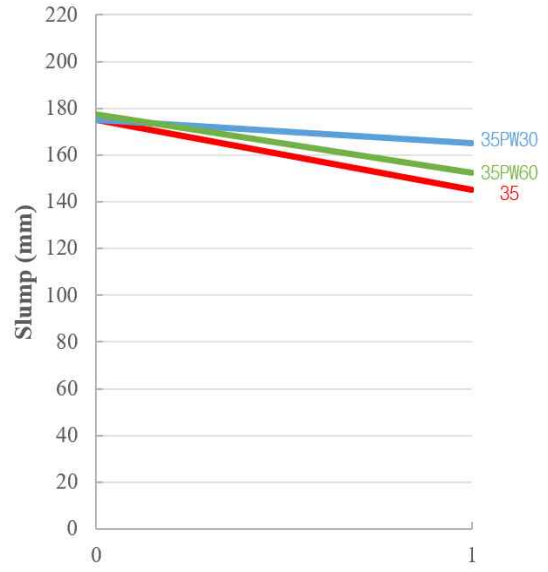


(c) 혼화제 과잉사용

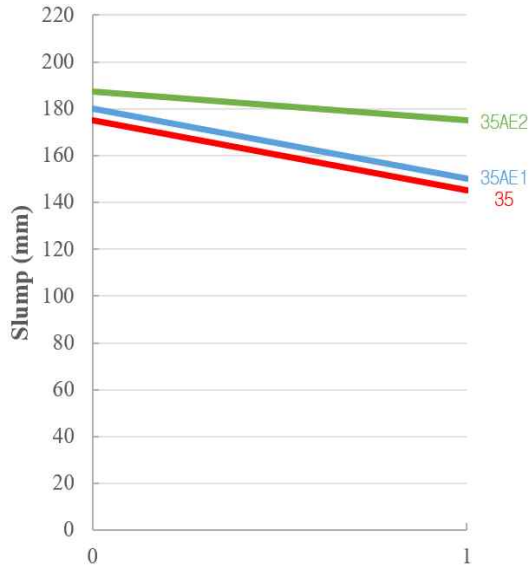
[그림 3.10] 표준과 비교한 21강도 슬럼프 측정결과



(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유



(c) 혼화재 과잉사용

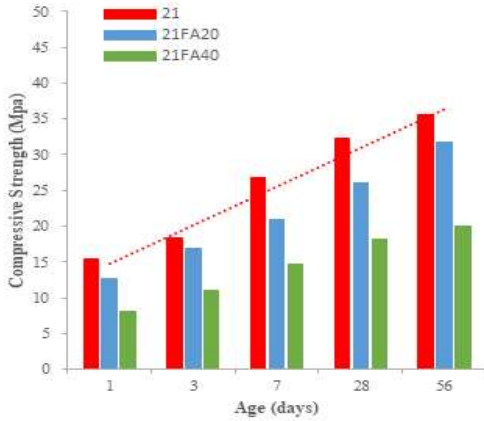
[그림 3.11] 표준과 비교한 35강도 슬럼프 측정결과

2. 압축강도 측정결과

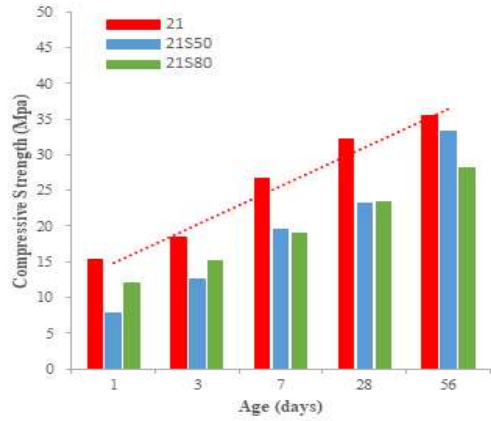
가. 5×5×5cm 모르타르

재령 1, 3, 7, 28, 56일에 따른 레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르의 [그림 3.12]는 21강도 압축강도 측정결과이며, [그림 3.13]은 35강도 압축강도 측정결과이다.

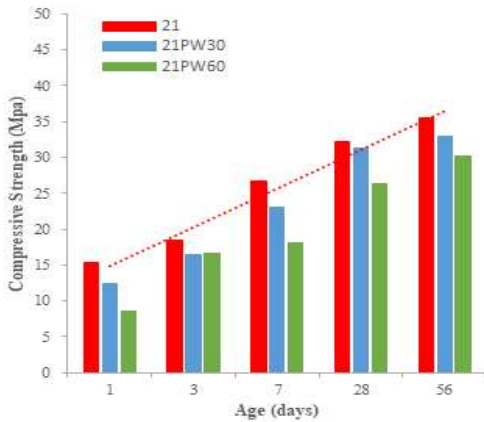
혼화재 중 (a)는 플라이애시 과다사용, (b)는 고로슬래그 과다사용이며, (c)는 미분 함유, (d)는 혼화제 과잉사용이다. 겨울철 양생 중 (e)는 냉장고, (f)는 냉동고이다. 표준 배합 대비 강도 발현율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 비교해보면 저품질 콘크리트 배합의 경우 표준 배합보다 압축강도가 현저히 떨어지는 것으로 나타난다.



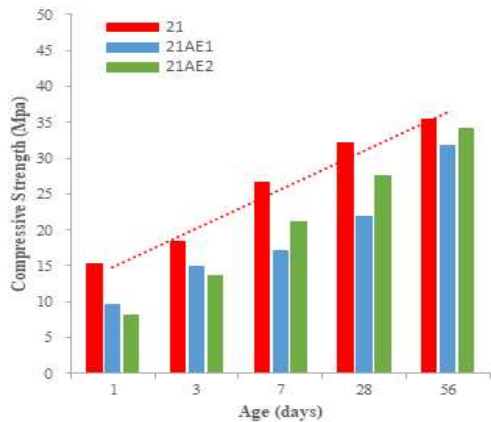
(a) 혼화재 과다(플라이애시)사용



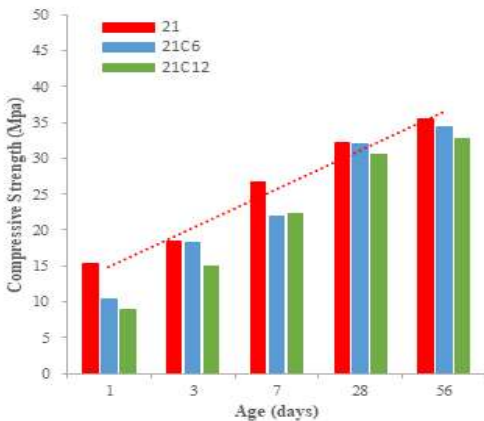
(b) 혼화재 과다(고로슬래그)사용



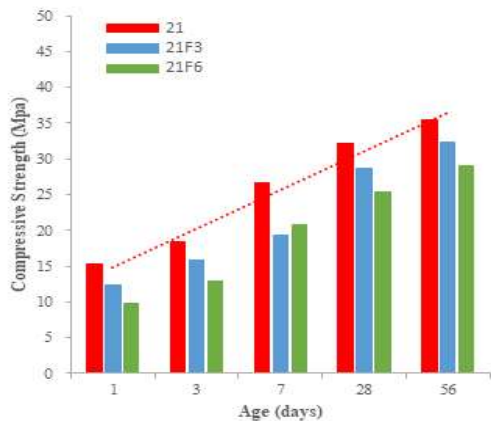
(c) 미분 함유



(d) 혼화재 과잉사용

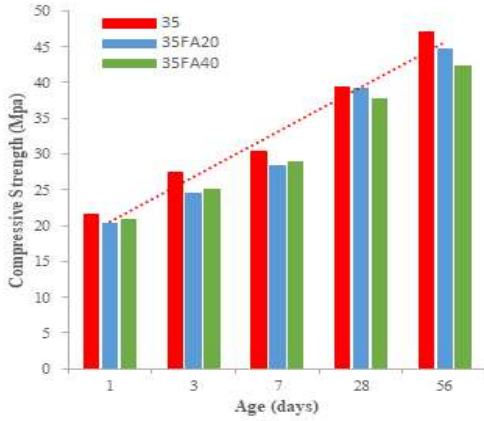


(e) 겨울철 양생(냉장고)

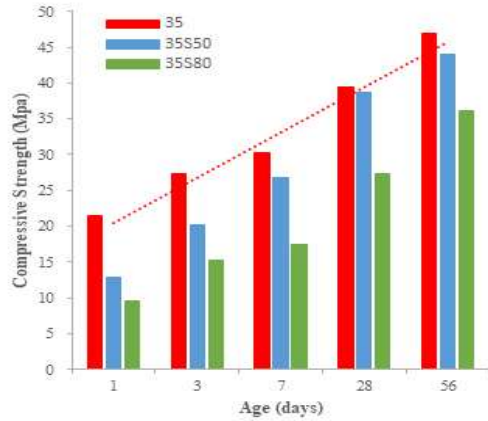


(f) 겨울철 양생(냉동고)

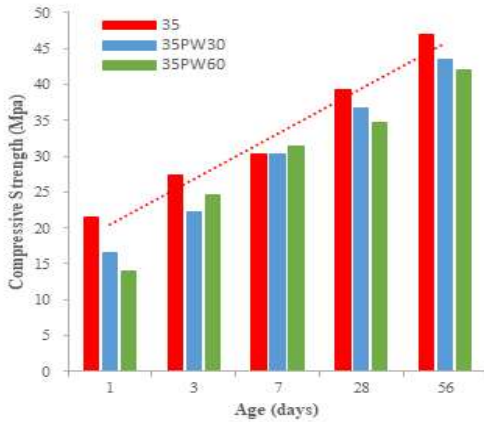
[그림 3.12] 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르 21강도 압축강도 측정결과



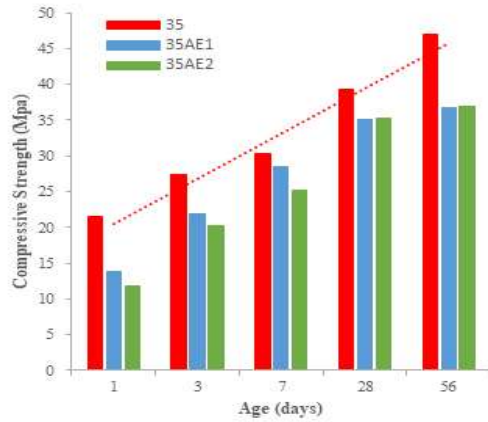
(a) 혼화재 과다(플라이애시)사용



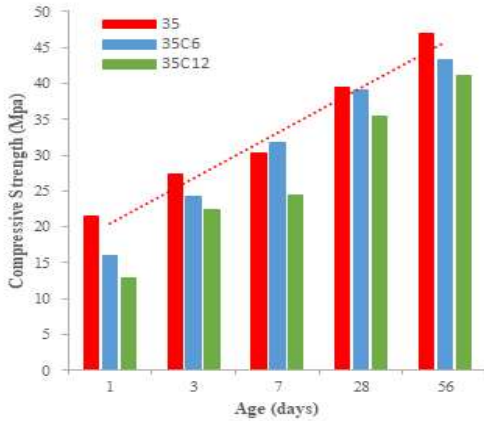
(b) 혼화재 과다(고로슬래그)사용



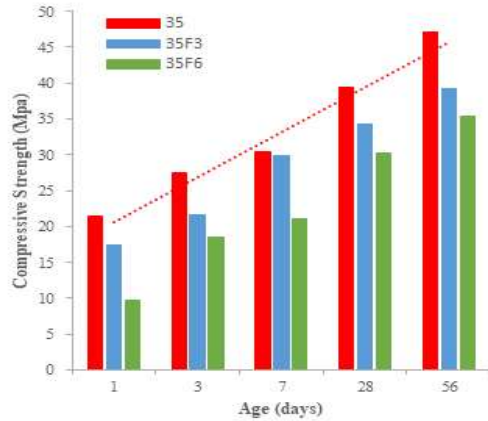
(c) 미분 함유



(d) 혼화재 과잉사용



(e) 겨울철 양생(냉장고)



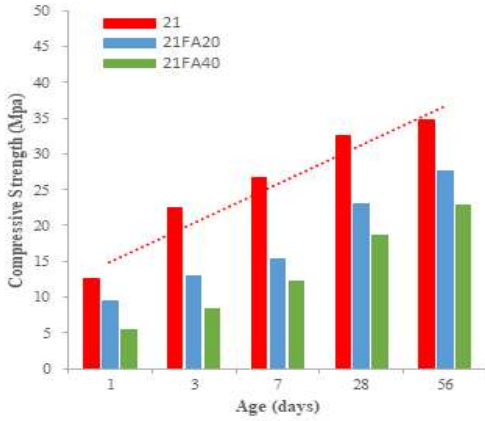
(f) 겨울철 양생(냉동고)

[그림 3.13] 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르 35강도 압축강도 측정결과

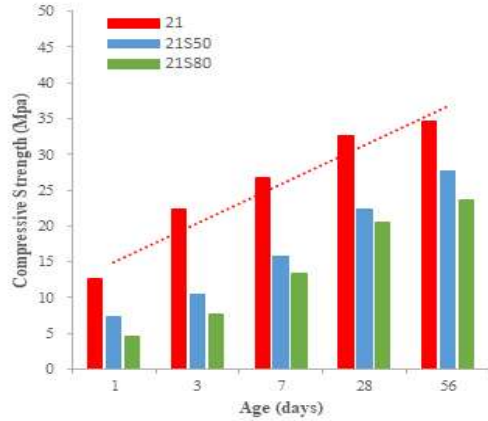
나. 10×20cm 콘크리트

재령 1, 3, 7, 28, 56일에 따른 레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트의 [그림 3.14]는 21강도 압축강도 측정결과이며, [그림 3.15]은 35강도 압축강도 측정결과이다.

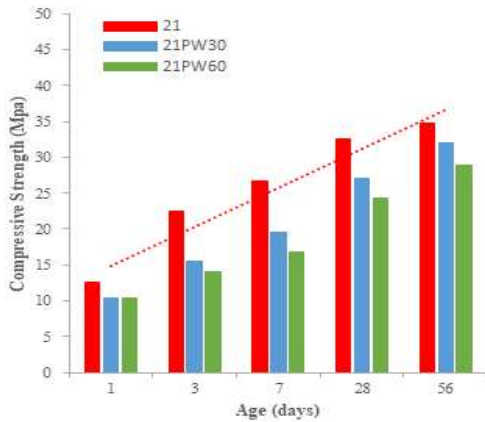
혼화재 중 (a)는 플라이애시 과다사용, (b)는 고로슬래그 과다사용이며, (c)는 미분 함유, (d)는 혼화제 과잉사용이다. 겨울철 양생 중 (e)는 냉장고, (f)는 냉동고이다. 표준 배합 대비 강도 발현율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 비교해보면 저품질 콘크리트 배합의 경우 표준 배합보다 압축강도가 현저히 떨어지는 것으로 나타난다.



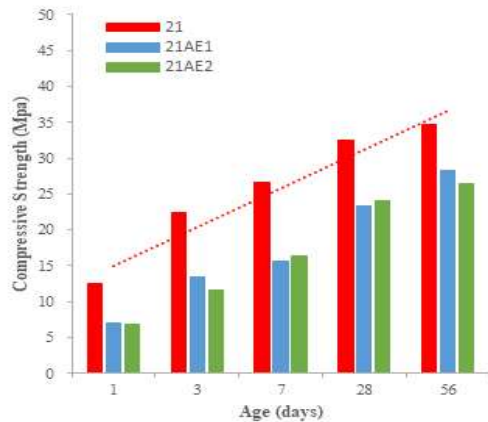
(a) 혼화재 과다(플라이애시)사용



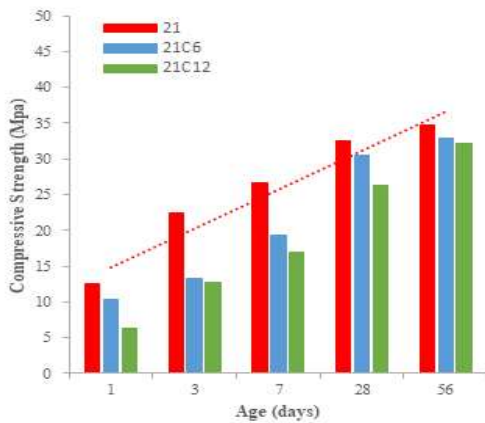
(b) 혼화재 과다(고로슬래그)사용



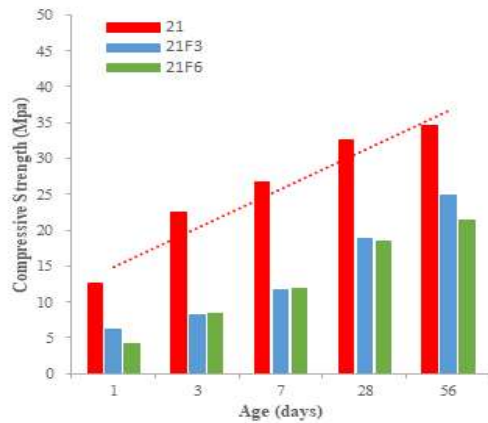
(c) 미분 함유



(d) 혼화재 과잉사용

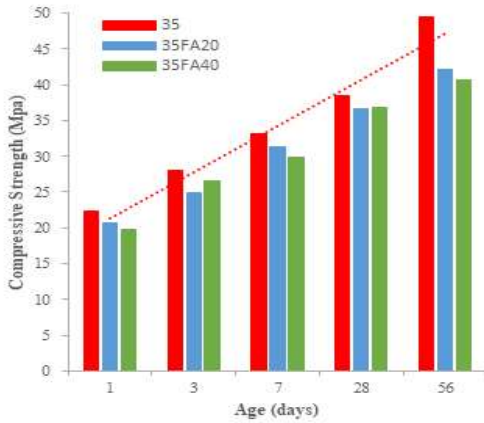


(e) 겨울철 양생(냉장고)

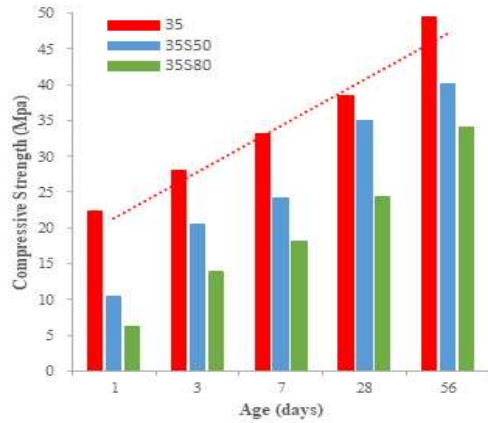


(f) 겨울철 양생(냉동고)

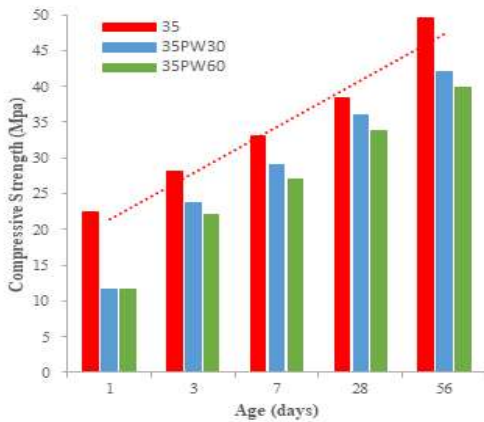
[그림 3.14] 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트 21강도 압축강도 측정결과



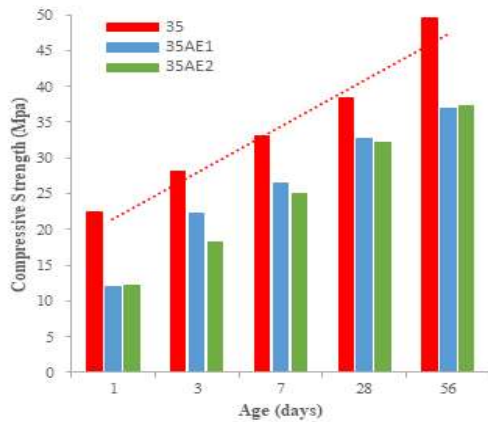
(a) 혼화재 과다(플라이애시)사용



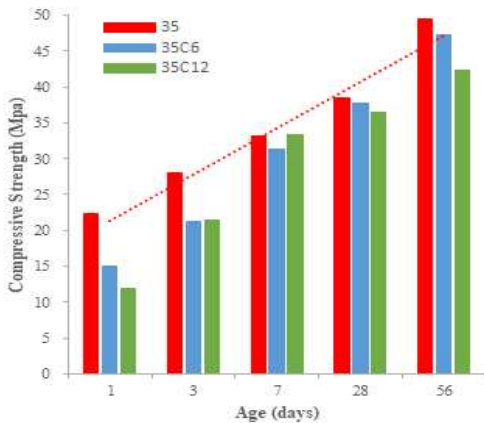
(b) 혼화재 과다(고로슬래그)사용



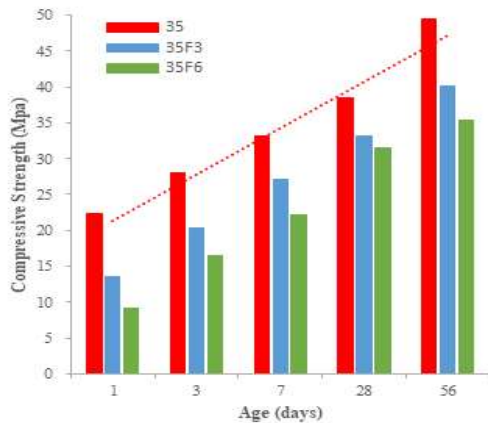
(c) 미분 함유



(d) 혼화재 과잉사용



(e) 겨울철 양생(냉장고)



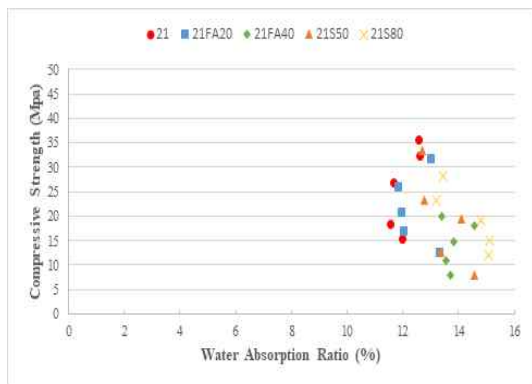
(f) 겨울철 양생(냉동고)

[그림 3.15] 표준과 비교한 10×20cm 콘크리트 35강도 압축강도 측정결과

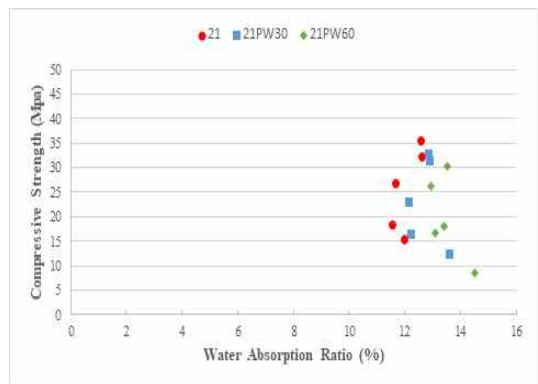
3. 흡수율 측정결과

재령 1, 3, 7, 28, 56일에 따른 레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 5×5×5cm 모르타르의 [그림 3.16]은 21강도 흡수율 측정결과이며, [그림 3.17]은 35강도 흡수율 측정결과이다.

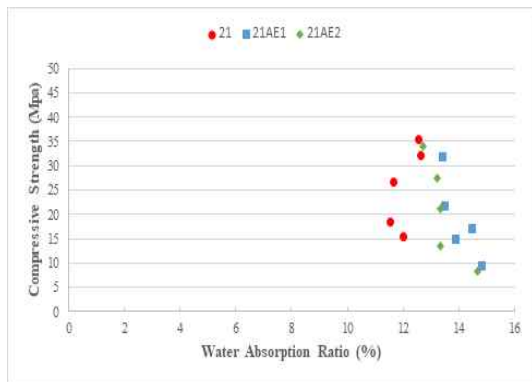
(a)는 혼화재 과다사용, (b)는 미분 함유, (c)는 혼화제 과잉사용, (d)는 겨울철 양생이다. 표준 배합 대비 흡수율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 5×5×5cm 모르타르의 압축강도 발현율로 비교해보면 흡수율이 모두 10% 이상으로 나타난다.



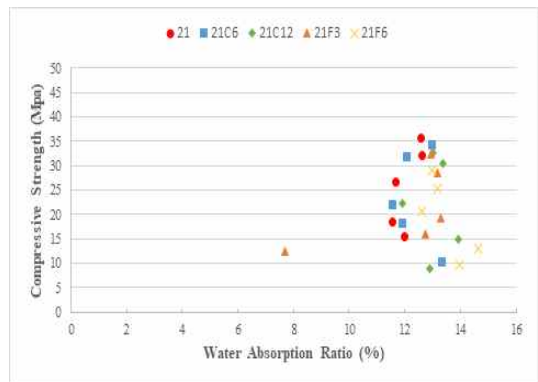
(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유

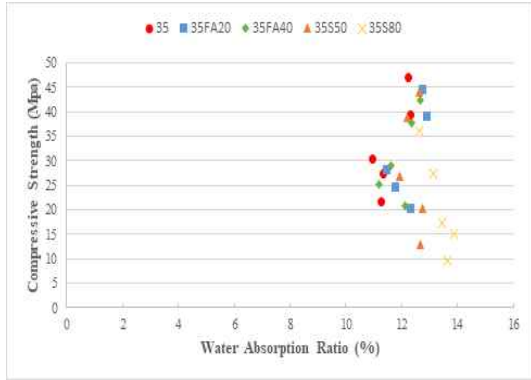


(c) 혼화제 과잉사용

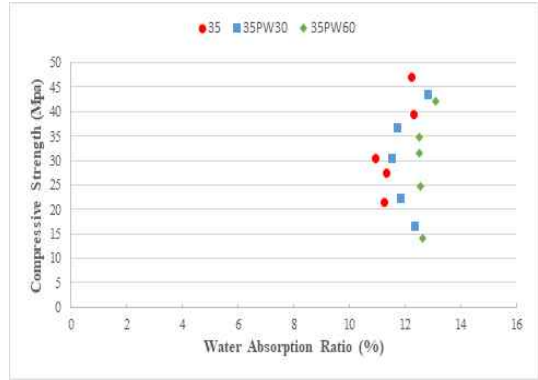


(d) 겨울철 양생

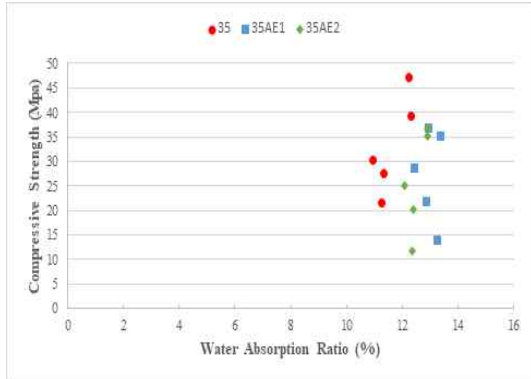
[그림 3.16] 표준과 비교한 21강도 흡수율 측정결과



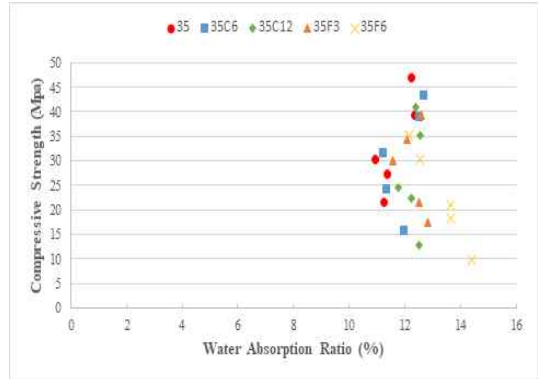
(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유



(c) 혼화제 과잉사용



(d) 겨울철 양생

[그림 3.17] 표준과 비교한 35강도 흡수율 측정결과

제5절 소결

본 연구에서는 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 혼화재 과다사용, 미분 함유, 혼화제 과잉사용, 겨울철 양생으로 사용재료 및 양생을 각각 다르게 시행할 시 슬럼프 시험을 진행해 모르타르 플로우 및 슬럼프를 분석한다. 재령 1, 3, 7, 28, 56일에 따른 5×5×5cm 모르타르로 압축강도와 흡수율을 측정해 분석하고, 10×20cm 콘크리트로 압축강도를 측정해 분석한다. 이를 통해 다음과 같은 결과가 도출된다.

- 1) 모르타르 플로우 및 슬럼프 측정결과 결합재 종류에 따라 차이가 나타나지 않는 것도 있지만, 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수를 하므로 1시간이 지난 후 측정한 슬럼프가 더 많이 감소하는 것으로 나타나며, AE제를 과잉 혼합해 처음 배합해 측정한 슬럼프가 유동성이 더 큰 것으로 나타난다.

이에 따라 현장에서 레디믹스트 콘크리트 타설 작업 전 및 레디믹스트 콘크리트가 제조된 후 현장에서 부어 넣기까지 시간을 1시간으로 설정하였음에도 불구하고, 모르타르 플로우 및 슬럼프 차이가 나타나는 것으로 보아 공사 진행마다 시간을 설정하여 슬럼프 시험을 진행해 비슷한 유동성으로 맞추어 공사를 진행해야 한다.

- 2) 압축강도 측정결과 표준 배합 대비 강도 발현율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 비교해보면 저품질 콘크리트 배합의 경우 표준 배합보다 압축강도가 현저히 떨어지는 것으로 나타난다.

이에 따라 원자재 불량 사용 및 시멘트·잔골재 품질저하, 현장 유동성 증가 요구 시 품질관리가 무엇보다 중요하며, 콘크리트 구조물에 피해가 가지 않도록 주의해야 한다. 또한, 현재 우리나라는 보통시멘트의 경우 20℃ 이상에서는 3일, 10~20℃에서는 4일 동안 거푸집을 존치해야 한다. 하지만, 기온이 영하로 떨어지는 겨울철의 경우 평균 온도만을 기준으로 존치 기간을 설정하고 있다. 독일의 경우 평균 기온이 5~15℃에서는 12일 동안 거푸집을 존치하여야 하는데, 겨울철 추운 날씨를 고려해 5℃보다 기온이 떨어지는 날은 기존 존치 기간을 따로 합산하여 추가 양생하

는 방식으로 진행되고 있다. 이 점을 우리나라에서도 적용해야 한다고 판단되며, 겨울철 콘크리트 타설 후 초기에 보온 양생을 진행하여 강도를 높이거나, 적절한 강도가 나올 때까지 동바리를 해체하지 않아야 한다.

- 3) 흡수율 측정결과 표준 배합 대비 흡수율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 $5 \times 5 \times 5$ cm 모르타르의 압축강도 발현율로 비교해보면 흡수율이 모두 10% 이상으로 나타난다.

흡수율이 높은 경우 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프가 저하하고, 단위 수량이 증가한다. 굳은 콘크리트에서는 수축 균열이 발생하며, 강도 저하가 일어난다. 여름에는 콜드 조인트(cold joint)와 건조수축이 발생하고, 겨울에는 동결융해가 발생한다. 이에 따라 흡수율은 콘크리트 구조물의 내구성을 좌우하게 되므로 골재의 함수 상태 관리가 매우 중요하다. 또한, 흡수율 시험을 진행해 강도 편차에 따른 압축강도를 예측해 분석하고자 했으나, 표준 배합 대비 흡수율에 따른 차이가 나지 않아 강도 편차를 볼 수 없어, 압축강도 예측이 불가한 것으로 판단된다.

제4장 콘크리트 강도 저하 원인에 따른 철근 부착 성능 변화

제1절 실험개요

본 장에서는 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 혼화재 과다사용, 미분 함유, 혼화제 과잉사용, 겨울철 양생으로 사용재료 및 양생을 각각 다르게 시행할 시 강도 저하 원인에 따른 철근 부착 성능변화를 조사하고 분석한다.

기준인 표준 배합에 혼화재인 플라이애시 20%와 40%, 고로슬래그 50%와 80%, 미분인 규사 8호 30%와 60%, 혼화제인 AE제 1%와 2%를 혼입하여 배합하고, 우리나라 겨울철 낮 평균 기온인 3~4℃를 냉장고로, 밤 평균 기온인 -10℃를 냉동고로 대체하여 겨울철 양생을 시행한다. 온도변화나 충격에 영향을 받지 않도록 최종적으로 수중 양생을 한다. 레디믹스트 콘크리트가 제조된 후 현장에서 부어 넣기까지 시간을 1시간으로 설정하여 슬럼프 시험을 진행해 슬럼프를 분석한다. 굵은 골재 25mm를 넣은 10×6cm 콘크리트로 인발강도 시험을 진행해 제3장 제4절 2.에서 나온 압축강도 측정결과를 활용하여 부착강도와 비교해 분석한다. 최종적으로 실험에 나온 강도 값들로 인장 이형철근의 정착길이를 산정해 검토한다. 따라서 실험 배합의 시편들을 재령 28, 56일로 설정하여 각각 분석한다.

제2절 사용재료 및 배합표

본 연구에서는 제3장 제2절에서 언급한 재료와 같으며, 배합표 경우 콘크리트와 이론은 같으나, 시편 크기 차이로 인해 배합표가 달라진다.

물-결합재비(W/B)의 경우 자기수축의 감소 효과를 더 명확하게 확인하고자 0.4%로 결정한다. 유동화제를 배합 전체에 혼입하는 것으로 설정하나, 슬럼프 시험을 통해 슬럼프값을 150~180mm로 기준 잡아 설정된 유동화제를 증감해 비슷한 유동성으로 실험을 진행한다. 미분 배합의 경우 규사 8호가 들어가 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌

리티가 감소해 가수로 유동성을 맞춰준다. 해당 시험 결과 35PW60은 콘크리트 배합표에서 물의 기존 단위 중량은 169이지만, 가수 한 단위 중량은 178로 9만큼 증가한다. 이에 따른 [표 4.1]은 10×6cm 콘크리트 최종 배합표이다.

[표 4.1] 10×6cm 콘크리트 배합표 (kg/m³)

손상 원인	시편명	물	시멘트	플라이 애시	고로 슬래그	모래	규사 8호	굵은 골재	유동 화제	AE제
표준	21	175	337	-	-	738	-	1034	-	-
	35	169	444	-	-	661	-	1039	0.87	-
혼화제	21FA20	175	270	49	-	738	-	1034	-	-
	21FA40	175	202	97	-	738	-	1034	-	-
	35FA20	169	355	64	-	661	-	1039	-	-
	35FA40	169	355	128	-	661	-	1039	0.97	-
	21S50	175	169	-	163	738	-	1034	-	-
	21S80	175	67	-	261	738	-	1034	-	-
	35S50	169	222	-	215	661	-	1039	-	-
	35S80	169	89	-	343	661	-	1039	-	-
미분	21PW30	175	202	24	98	517	222	1034	-	-
	21PW60	175	202	24	98	295	443	1034	0.65	-
	35PW30	169	266	32	129	463	198	1039	1	-
	35PW60	178	266	32	129	264	397	1039	1	-
혼화제	21AE1	175	202	24	98	738	-	1034	-	3.2
	21AE2	175	202	24	98	738	-	1034	-	3.2
	35AE1	169	266	32	129	661	-	1039	-	4.3
	35AE2	169	266	32	129	661	-	1039	-	4.3
겨울	21C6	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	21C12	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	35C6	169	266	32	129	661	-	1039	1	-
	35C12	169	266	32	129	661	-	1039	1	-
	21F3	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	21F6	175	202	24	98	738	-	1034	-	-
	35F3	169	266	32	129	661	-	1039	1	-
	35F6	169	266	32	129	661	-	1039	1	-

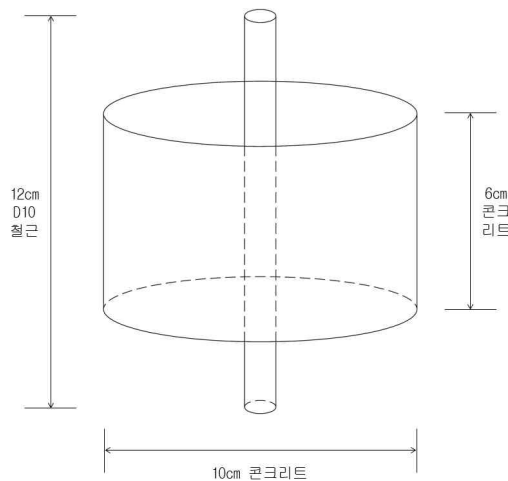
제3절 실험 방법

1. 슬럼프

본 연구에서는 제3장 제3절 1.에서 언급한 시험방법과 같으며, 측정 방법 또한 같다.

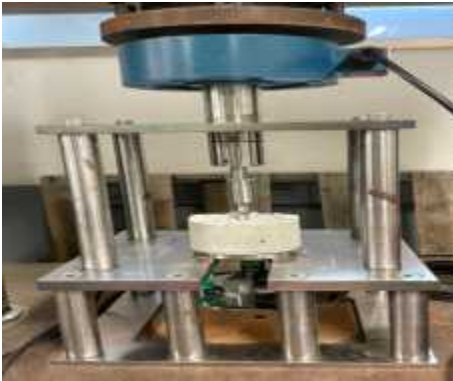
2. 철근 부착강도

10L 믹서를 통해 2분간 배합한 시료를 표면건조 포화상태로 만든 굵은 골재 25mm와 함께 손 비빔 하여, 10×6cm를 만들기 위해 10×20cm 몰드에 6cm 위치를 표시한 뒤 폼포드를 이용해 높이를 맞춘다. 시편 가운데 12cm D10 철근을 타설하기 위해 높이를 맞춘 폼보드 가운데에 구멍을 뚫어 타설한다. 진동다짐기(vibrator)로 진동과 충격을 주어 몰드 상단에 맞춰 고르게 다짐한 후 뚜껑으로 덮고, 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생을 한다. 겨울철 배합은 전과 같으나, 다짐한 후 2시간 동안 뚜껑으로 덮고, 겨울철 양생 시간에 맞추어 냉장고에서 6, 12시간 및 냉동고에서 3, 6시간 동안 양생하고, 처음 다짐한 후 뚜껑으로 덮을 때의 시간으로 종결시간을 측정해 탈형하여 수중 양생한다. [그림 4.1]은 10×6cm 콘크리트 부착강도 상세도이다.



[그림 4.1] 10×6cm 콘크리트 부착강도 상세도

실험 배합의 시편들은 재령 28, 56일로 설정하여 표준편차를 줄이기 위해 한 배합당 3개의 시편을 제작하며, 부착강도를 측정하기 위해 [그림 4.2]의 (a)는 인발강도 시험기로 (b)와 같이 압축강도 시험기에 올린다. 인발강도 시험기에 시편 중심축이 가압판 중심 차이가 시편의 지름 1% 이내로 일치하도록 놓고, 시편에 충격을 주지 않도록 $0.6 \pm 0.2 \text{MPa/s}$ 범위에서 똑같은 속도로 하중을 가한다. 시편이 파괴될 때까지 시험기가 나타내는 최대하중을 유효숫자 3자리까지 읽어 측정한다.



(a) 인발강도 시험기



(b) 인발강도 시험기를
압축강도 시험기에 올린 모습

[그림 4.2] 인발강도 시험기

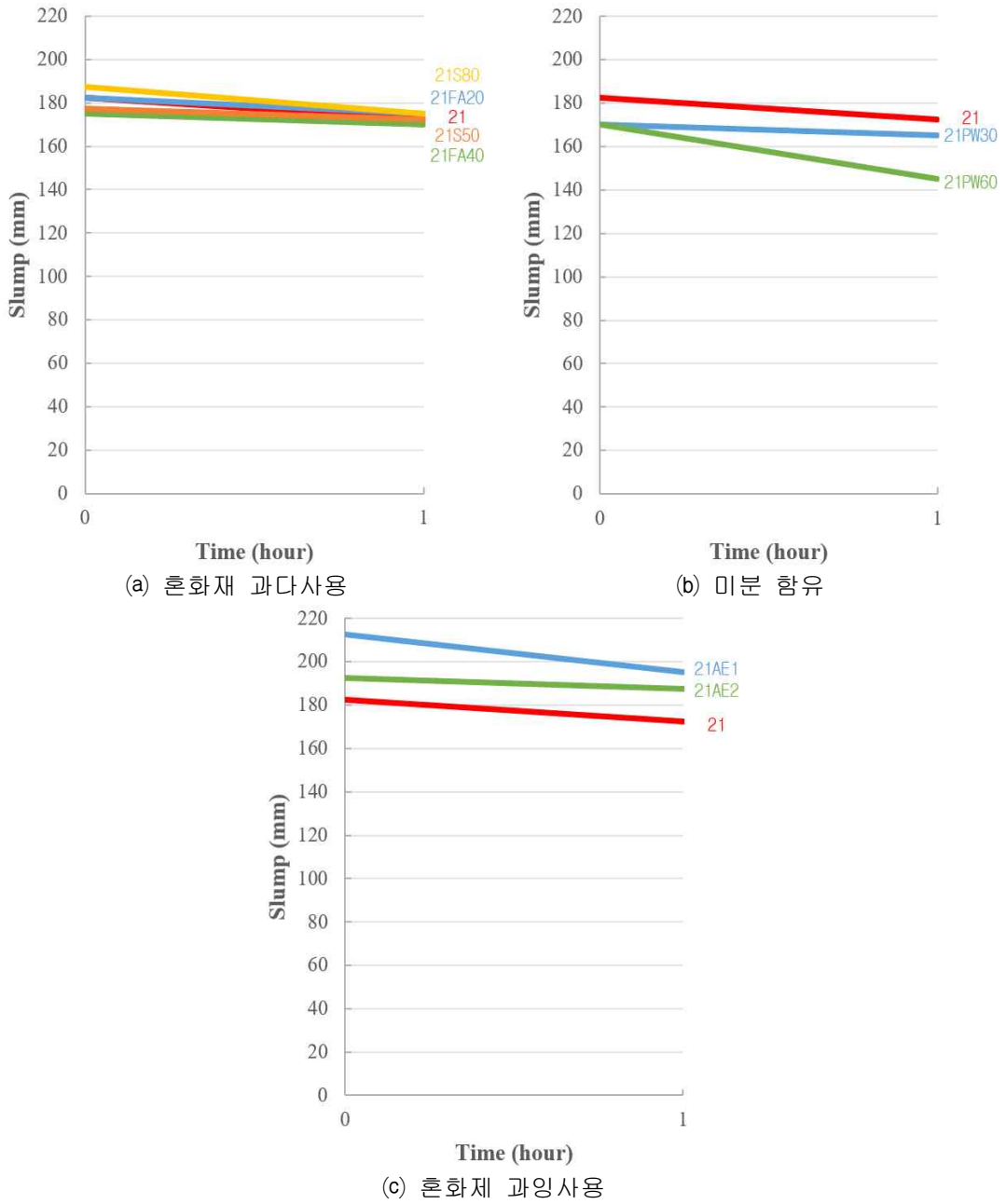
제4절 실험 결과

1. 슬럼프 측정결과

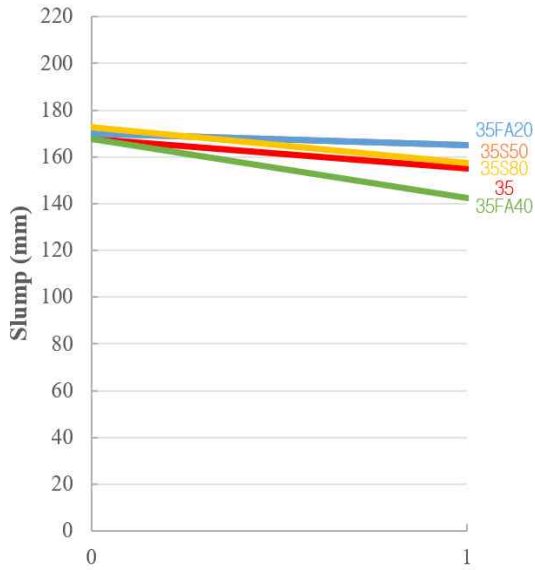
레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 $10 \times 6 \text{cm}$ 콘크리트의 [그림 4.3]은 21강도 슬럼프 측정결과이며, [그림 4.4]는 35강도 슬럼프 측정결과이다.

(a)는 혼화재 과다사용으로 표준과 비교해보면 플라이애시, 고로슬래그 혼입에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타난다. (b)는 미분 함유로 표준과 달리 규사 8호가 들어가 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수를 하므로 1시간이 지난 후 측정된 슬럼프가 더 많이 감소하는 것으로 나타난다. (c)는 혼화재 과잉사용으로 표준과 달리 AE제를 과잉 혼입해 처음 배합해 측정된 슬럼프가 유동성이 큰 것으로 나타난

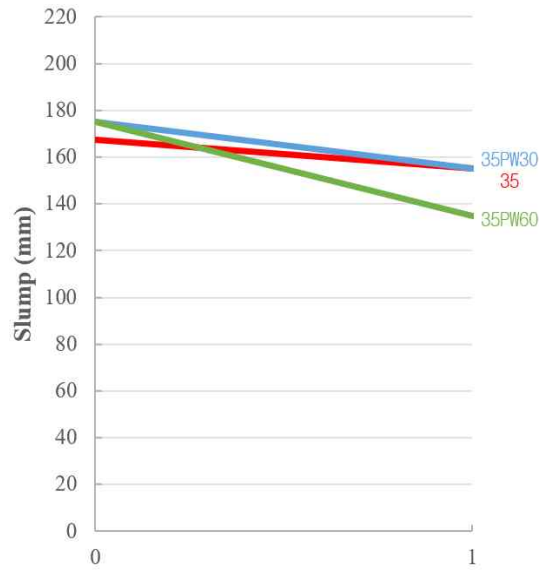
다.



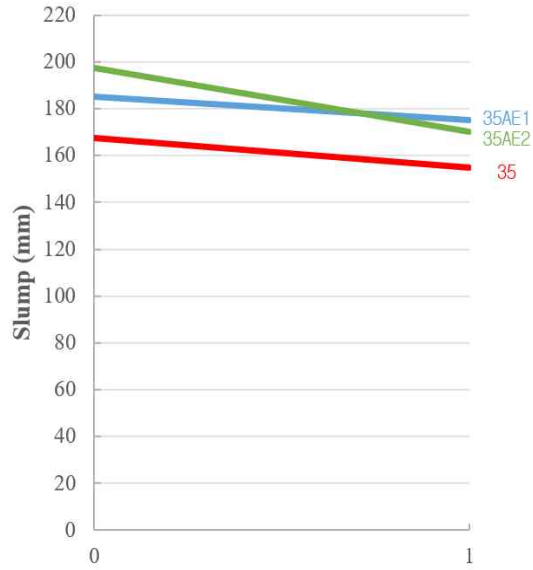
[그림 4.3] 표준과 비교한 21강도 슬럼프 측정결과



(a) 혼화제 과다사용



(b) 미분 함유



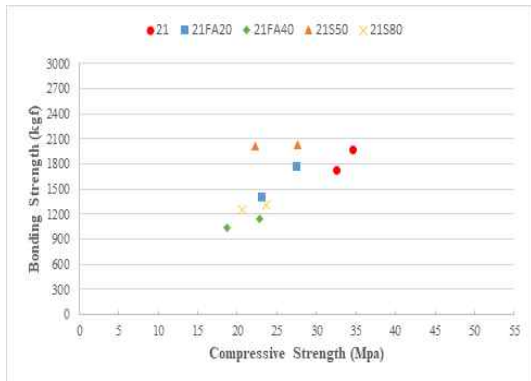
(c) 혼화제 과잉사용

[그림 4.4] 표준과 비교한 35강도 슬럼프 측정결과

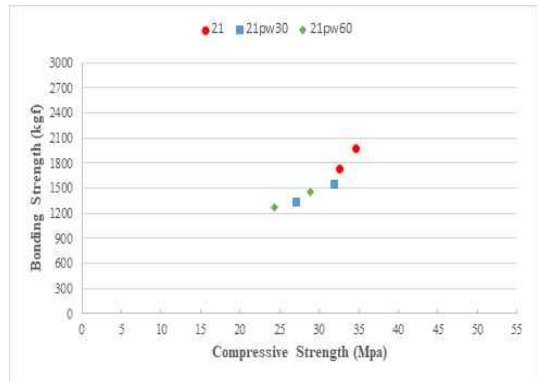
2. 철근 부착강도 측정결과

재령 28, 56일에 따른 레디믹스트 콘크리트 표준과 비교한 10×6cm 콘크리트의 [그림 4.5]는 21강도 부착강도 측정결과이며, [그림 4.6]은 35강도 부착강도 측정결과이다.

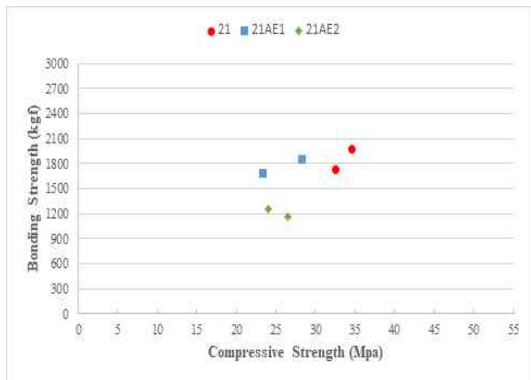
(a)는 혼화재 과다사용, (b)는 미분 함유, (c)는 혼화제 과잉사용, (d)는 겨울철 양생이다. 표준 배합 대비 10×20cm 콘크리트 압축강도 발현율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 10×6cm 콘크리트 부착강도로 비교해보면 저품질 콘크리트 배합의 경우 표준 배합보다 부착강도가 떨어지는 것으로 나타난다. 하지만, 시편제작 시 콘크리트 다짐이나 철근 기울기 등 외부적인 요인이 작용해 부착강도가 표준보다 더 높게 나오거나, 표준편차가 큰 경우가 나타난다.



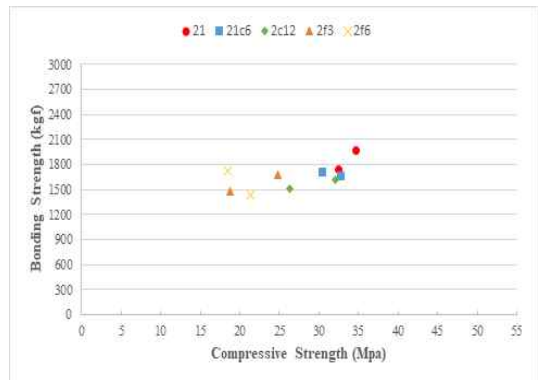
(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유

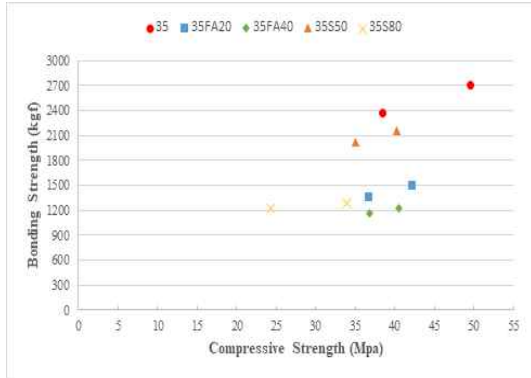


(c) 혼화제 과잉사용

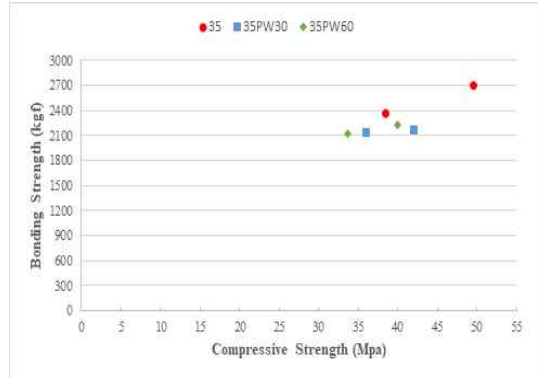


(d) 겨울철 양생

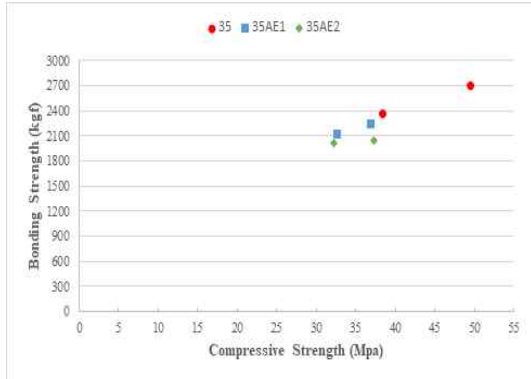
[그림 4.5] 표준과 비교한 21강도 부착강도 측정결과



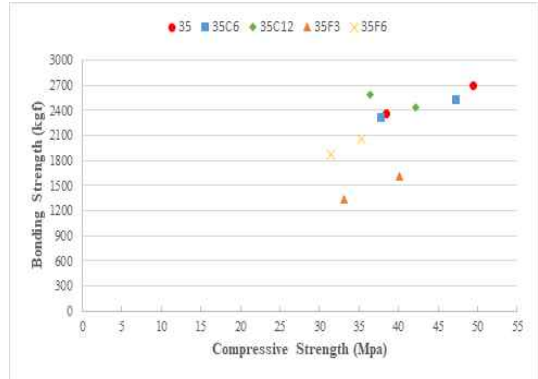
(a) 혼화재 과다사용



(b) 미분 함유



(c) 혼화재 과잉사용



(d) 겨울철 양생

[그림 4.6] 표준과 비교한 35강도 부착강도 측정결과

제5절 인장 이형철근

부착강도 실험에 사용된 철근은 인장을 받는 철근으로 중앙부에 콘크리트 묻힘 깊이가 60mm로, D10 철근을 1단으로 배근한다. 설계기준에서 갈고리가 없이 묻힘 길이만으로 인장 이형철근을 정착할 경우 그 정착 길이를 계산해 검토한다.

$$l_d = l_{db} \times \text{보정계수}$$

[식 4.1]

정착길이(l_d)는 [식 4.1]과 같이 기본 정착길이(l_{db})에 보정계수를 곱하여 구한다. 인장철근에 대한 정착길이(l_d)는 [식 4.1]의 기본 정착길이(l_{db})와 보정계수를 고려하

여 [식 4.2]에 의해 구한다. [표 4.2]는 정착길이 산정 보정계수로 본 연구에서 D10 철근을 사용하므로 [식 4.2]에 구해지는 정착길이(l_d)에 0.8을 곱하여 정착 길이를 구하며, 구한 값이 300mm 이상이어야 한다. ($l_d \geq 300\text{mm}$)

$$l_{db} = \frac{0.8d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \times \alpha \beta$$

[식 4.2]

여기서, d_b 는 철근 지름(mm), f_y 는 철근의 설계기준 항복강도(MPa), f_{ck} 는 콘크리트 압축강도(MPa), λ 는 경량 콘크리트 계수, α 는 철근 위치 계수, β 는 에폭시 도막 계수이다. 이때, α , β 곱한 값이 1.7을 넘지 않아야 한다. ($\alpha\beta \leq 1.7$) [표 4.3]은 λ , α , β 에 대한 보정계수 값들이다.

보정계수로는 콘크리트 쪼갬 인장강도(f_{sp}) 값이 규정되어 있지 않고, 전 경량 콘크리트이므로 $\lambda=0.75$, 기타 철근이므로 $\alpha=1.0$, 아연 도금 또는 도막 되지 않은 철근이므로 $\beta=1.0$ 을 적용한다.

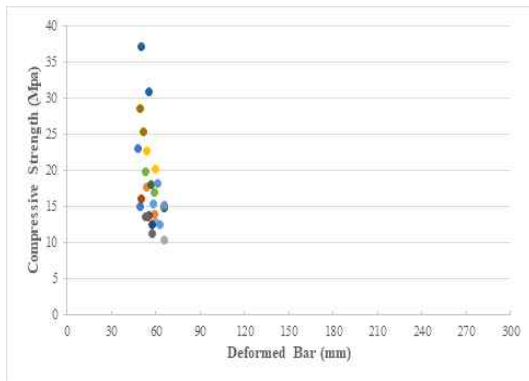
[표 4.2] 정착길이 산정 보정계수

조건	철근 지름 (mm)	
	D19 이하	D22 이상
① 정착되거나 이어지는 철근의 순 간격과 피복두께가 모두 d_b 이상이고, 정착길이 전 구간에 걸쳐 설계기준에 규정된 최소 철근량 이상의 스티럽 또는 띠철근이 배근 된 경우	0.8	1
② 정착되거나 이어지는 철근의 순 간격이 $2d_b$ 이상이고, 피복두께가 d_b 이상인 경우		
기타	1.2	1.5

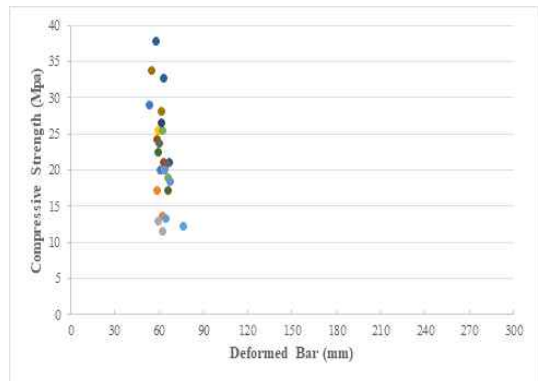
[표 4.3] λ , α , β 에 대한 보정계수

λ	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 콘크리트 쪼갬 인장강도(f_{sp}) 값이 규정되어 있지 않으며, 전 경량 콘크리트의 경우 0.75 ◦ f_{sp} 값이 규정되어 있지 않으며, 모래 경량 콘크리트의 경우 0.85 ◦ f_{sp}가 주어진 경량 콘크리트 $\frac{\sqrt{f_{ck}}}{0.56f_{sp}} \leq 1.0$ ◦ 보통 콘크리트 1.0
α	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 정착길이나 이음부 아래 굳지 않는 콘크리트가 300mm 이상 타설되는 수평 배근 된 상부 철근 1.3 ◦ 기타 철근 1.0
β	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 피복두께가 $3d_b$ 미만이거나 순간격이 $6d_b$ 미만인 에폭시 도막 혹은 아연-에폭시 이중 도막 철근 또는 철선 1.5 ◦ 기타 에폭시 도막 혹은 아연-에폭시 이중 도막 철근 또는 철선 1.2 ◦ 아연 도금 또는 도막 되지 않은 철근 1.0

기본 정착길이 [식 4.2]에 부착강도 실험에 적용한 정착 길이(l_{db})에 120mm, 철근 지름(d_b)에 D10 철근 공칭 지름인 9.53mm, 콘크리트 압축강도(f_{ck})에 실험기준인 21MPa, 35MPa을 대입해 철근의 설계기준 항복강도(f_y)를 구한다. 실험값인 콘크리트 압축강도를 산정 식에 대입해 기본 정착 길이를 계산한다. [그림 4.7]은 계산된 인장 이형철근 기본 정착 길이로 (a)는 21강도, (b)는 35강도이다.



(a) 21강도



(b) 35강도

[그림 4.7] 인장 이형철근 기본 정착 길이

제6절 소결

본 연구에서는 현장에서 사용하는 레디믹스트 콘크리트 표준 배합을 기준으로 혼화재 과다사용, 미분 함유, 혼화제 과잉사용, 겨울철 양생으로 사용재료 및 양생을 각각 다르게 시행할 시 슬럼프 시험을 진행해 슬럼프를 분석한다. 재령 28, 56일에 따른 10×6cm 콘크리트로 부착강도를 측정해 분석한다. 이를 통해 다음과 같은 결과가 도출된다.

- 1) 슬럼프 측정결과 결합재 종류에 따라 차이가 나타나지 않는 것도 있지만, 낮은 물-결합재비(W/B)로 인한 워커빌리티가 감소해 가수를 하므로 1시간이 지난 후 측정된 슬럼프가 더 많이 감소하는 것으로 나타나며, AE제를 과잉 혼입해 처음 배합해 측정한 슬럼프가 유동성이 더 큰 것으로 나타난다.

이에 따라 현장에서 레디믹스트 콘크리트 타설 작업 전 및 레디믹스트 콘크리트가 제조된 후 현장에서 부어 넣기까지 시간을 1시간으로 설정하였음에도 불구하고, 슬럼프 차이가 나타나는 것으로 보아 공사 진행마다 시간을 설정하여 슬럼프 시험을 진행해 비슷한 유동성으로 맞추어 공사를 진행해야 한다.

- 2) 부착강도 측정결과 표준 배합 대비 10×20cm 콘크리트 압축강도 발현율을 사용재료 및 양생에 따라 각각 10×6cm 콘크리트 부착강도로 비교해보면 저품질 콘크리트 배합의 경우 표준 배합보다 부착강도가 떨어지는 것으로 나타난다. 하지만, 시편제작 시 콘크리트 다짐이나 철근 기울기 등 외부적인 요인이 작용해 부착강도가 표준보다 더 높게 나오거나, 표준편차가 큰 경우가 나타난다. 향후 연구에서는 다짐에 주의해야 하며, 철근 기울기를 보완해 실험을 진행해야 한다.
- 3) 인장 이형철근 정착길이 계산 결과 저품질 콘크리트 압축강도에 따른 부착강도를 실험한 결과가 이상적으로 나온 것을 알 수 있다. 기본 정착 길이 계산 결과 평균 60mm로 이 이상인 120mm로 설계해 실험 진행하므로 안전성이 높아진 것으로 판단된다. 추후 이점을 고려하여 부착강도 실험을 진행해 저품질 콘크리트의 불안전성을 확인해야 한다.

제5장 저품질 콘크리트 건축물의 구조 안전성 평가

제1절 건축물 해체계획

1. 대상 건축물 선정

위의 실험 결과를 토대로 저품질 콘크리트에 의해 건축물 해체 시 발생할 수 있는 붕괴사고 예방과 대응을 위해 여러 가지 하중조합, 강도 감소를 적용하여 구조 안전성 평가를 진행해 비교·분석한다. [표 5.1]은 광주 서구 광천동 ○○빌딩 개요이며, 해당 건축물 검토 부재인 [부록 1.1]은 보 배근도이고, [부록 1.2]는 기둥 배근도이다.

[표 5.1] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 개요

구분	내용
주구조	철근콘크리트조
층수	지하 1층, 지상 6층
높이	24.1m
주용도	제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설
대지면적	282m ²
건축면적	193.98m ²
연면적	1,359.88m ²
사용승인일	1995.11.17

[표 5.2]와 같이 대상 건축물은 설계도서가 없어 사용승인일 기준으로 건설연도별 재료의 기본값 중 해당연도의 공칭강도를 적용한다. 저품질 콘크리트가 목적이므로 사용승인일 기준으로 공칭강도 중 하한값을 적용하여 콘크리트 압축강도(f_{ck})는 18MPa, 철근 항복강도(f_y)는 240MPa이다. 구조 안전성 평가를 진행해 안전 확보를 하기 위해 구조해석 프로그램인 MIDAS GEN을 사용하여 평가한다.

[표 5.2] 건설연도별 재료의 기본값 중 해당연도의 공칭강도

	1970 이전		1971~1988 이전		1988~2000		2001 이후	
	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값
콘크리트								
압축강도 (f_{ck} , MPa)	13	15	15	18	18	21	21	24
철근								
항복강도 (f_y , MPa)	240	300	240	300	240	300	300	400

2. 해체공법 및 해체방식 선정

가. 해체공법 선정

해체대상 건축물의 높이 및 층고와 해체대상 건축물과 보호 대상 인접 건축물과의 거리 및 입지여건, 해체대상 건축물의 평면형상 및 구조형식, 해체공법 특성에 따른 비산각도 및 낙하반경의 현장 적용성을 확인하여 [표 5.3]은 해체공법을 비교한 것으로 이 중 기계식 공법의 파쇄공법과 절단공법을 적용한다.

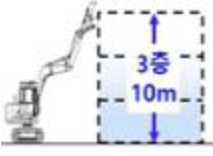

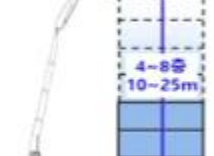

[표 5.3] 해체공법 비교

	기계식 공법			발파공법
	파쇄공법	절단공법	전도공법	
공법 개요	백호우 장비에 브레이커 또는 압쇄기를 장착해 상층에서 하층으로 파쇄하면서 해체하는 공법	콘크리트절단기 또는 산소절단 공법을 사용해 구조물을 절단하고, 크레인을 사용해 절단 부재를 인양하여 지상에서 압쇄하는 공법	구조물의 주요 연결부를 끊고, 큰 부재를 전도해 해체하는 공법	기둥이나 내력벽 등 주요부재에 장약을 이용해 파괴함으로써 구조물을 불안정한 상태로 만들어 스스로 붕괴시키는 공법
현장 사진				
환경적 특성	절단공법에 비해 분진이 다소 발생하나, 압쇄기를 사용해 소음·진동 발생이 미미	소음·진동·분진 등 환경적인 영향이 거의 없어 현존하는 공법 중 가장 친환경적	전도 시 분진·소음이 발생	발파하는 순간 폭풍압·순간 소음·진동·분진이 발생
작업 안전성	장비 작업 시 지상에서 대형 굴착기를 이용하므로 작업 안전성이 우수	사전 계획에 따른 순차적 해체가 가능해 작업 안전성이 우수	절단 후 기계를 사용해 절단된 구조물들을 지정된 지역으로 인양하고, 낙하사고에 주의	주요 지정 천공에 의한 발파 해체로 구조 안전성이 유리하고, 안전사고가 감소

나. 해체방식 선정

해당 건축물은 지상 4층 이상인 건물로 추후 잭서포트 설치 및 해체계획을 적용하여 구조 안전성 검토를 하기 위해 [표 5.4]는 건축물 높이에 따른 지상 건축물 해체방식으로 이 중 장비탑재에 의한 해체방식을 적용한다.

[표 5.4] 건축물 높이에 따른 지상 건축물 해체방식





건축물 높이	4층 또는 18m 이하 → 굴착기 사용		4층 또는 18m 이상 → 굴착기 · 대형장비 사용	
	해체방식 개요	지상에서 굴착기만으로 해체	지상에서 성토체를 조성한 후, 굴착기만으로 해체	지상에서 고층부는 롱붐암으로 해체 후, 저층부는 굴착기로 해체
				
사용 장비	0.8 ~ 1.0m ³ 급 굴착기	0.8 ~ 1.0m ³ 급 굴착기	<ul style="list-style-type: none"> 0.8 ~ 1.0m³ 급 굴착기 롱붐암 	<ul style="list-style-type: none"> 0.6m³ 급 이하 굴착기 탑재할 것을 권장 양중크레인
주의 사항	-	건물의 4면 중 1면의 성토체 조성공간과 장비 작업공간이 충분한 경우 적용	해체 잔재 낙하로 인한 피해가 우려되므로, 대비를 철저히 할 것	<ul style="list-style-type: none"> 반드시 구조 안전성 검토 건물 4면에 낙하물 방지망 설치
단점	지상의 작업공간 필요	지상의 작업공간 필요	<ul style="list-style-type: none"> 지상의 넓은 작업공간 필요 비용 고가(500 만원/일 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> 잭서포트 설치 등 구조물 보강 필요 공사 기간이 김

3. 해체 장비 개요

가. 해체 장비 제원

장비탑재에 의한 해체방식을 적용하므로 0.6m³ 급 이하 굴착기 탑재를 권장한다. [표 5.5]는 해체 장비 제원으로 지상 3층 이상에서는 0.2m³ 급 굴착기를 탑재해 탑다운방식을 사용해 해체를 진행하고, 지상 3층 미만에서는 0.8m³ 급이나 1.0m³ 급 굴착기를 사용해 측면파쇄 해체를 진행한다.

[표 5.5] 해체 장비 제원

	0.2m ³ 급	0.6m ³ 급	0.8m ³ 급	1.0m ³ 급
해체 장비				
버킷 용량 (m ³)	0.175	0.59	0.92	1.27
장비 중량 (kN)	57.6	146	226	320
전장 (mm)	5,940	7,130	9,520	10,570
전폭 (mm)	1,955	2,590	2,990	3,200
전고 (mm)	2,580	2,800	3,260	3,620
슈폭 (mm)	400	600	600	600
접지압 (kPa)	30	35	48	61
트랙거리 (mm)	1,600	1,990	2,390	2,600

나. 해체 장비 분류

[표 5.6]은 해체 장비를 비교한 것이며, 굴착기에 압쇄기(Crusher), 브레이커(Breaker)를 장착해 해체를 진행한다.

[표 5.6] 해체 장비 비교

장비	원리	사진	장점	단점
압쇄기 (Crusher)	유압에 의한 압쇄 작용		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업 능률 좋음 ◦ 기동성이 좋고, 콘크리트 해체에 적합 ◦ 도심지의 해체 시 널리 사용 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분진 많이 발생 ◦ 다량의 물 필요
브레이커 (Breaker)	정에 의한 타격		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업능률 좋음 ◦ 기동성이 좋고, 단독으로 작업 가능 ◦ 지하구조물 해체 시 유리 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 방음 · 방진 필요 ◦ 소음 많음 ◦ 분진이 비교적 많이 발생
절단톱 (Cutter)	다이아몬드 톱날에 의한 연삭 작용		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 구조물에 영향을 주지 않고, 절단 가능 ◦ 해체 부재 운반이 용이 ◦ 진동 · 분진이 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 2차 파쇄 필요 ◦ 절단 깊이 제한적 ◦ 소음 · 매연 발생
와이어 쏘 (Wire Saw)	다이아몬드 와이어에 의한 연삭 작용		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 공해가 거의 없음 ◦ 절단 깊이나 대상물에 제한 없음 ◦ 좁은 장소, 수중에서 절단 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 다이아몬드 와이어 고가 ◦ 사전작업 필요
롱붐암 (Long Boom Arm)	유압에 의한 압쇄 작용		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 작업능률 좋고, 콘크리트 해체에 적합 ◦ 도심지 해체작업에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분진 많이 발생 ◦ 다량의 물 필요 ◦ 지상의 작업공간 필요 ◦ 국내 장비 수가 많지 않음

4. 해체방법

[표 5.7]은 건축물에 적용한 해체방법이며, 지하 건축물 해체 순서가 따로 있지만, MIDAS GEN을 사용한 구조 안전성 평가가 목적이므로 따로 고려하지 않고, 존치하는 것으로 한정한다.

[표 5.7] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 해체방법

적용 방법	내·외장재	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천장재, 벽체마감재, 전기설비 해체 등 인력철거 ○ 바닥재, 무근 콘크리트 등 굴착기를 이용한 장비철거
	지붕층	○ 옥상층 난간 등 1.0m 간격으로 절단 후 전도
	고층부 (지상 3층~지상 10층)	○ 굴착기를 이용한 탑다운방식에 의한 해체
	저층부 (지상 1층~지상 2층)	○ 해체 시 철근 절단은 가스절단을 실시하며 인력철거
	지하층	○ 지하층 존치
	잭서포트 보강 층수	○ 지하 3층~지상 10층 / 13개 층 보강

5. 건축물 해체 순서

[그림 5.1]과 같이 장비 탑재한 경우 지상 건축물의 구조부재 해체 순서로 진행한다.



층별 반복

[그림 5.1] 지상 건축물의 구조부재 해체 순서

제2절 구조 안전 계획

1. 적용 하중 및 하중조합, 설계방법

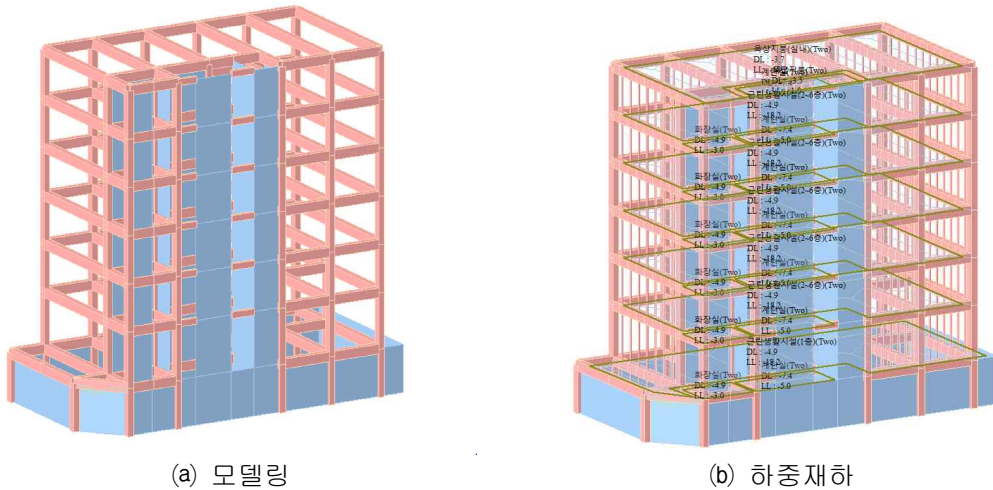
[표 5.8]은 건축물에 적용한 하중 및 하중조합으로 활하중(L.L)에서 해체 잔재물 하중을 보면 해체 잔재물 단위중량은 14kN/m^3 이상인 15kN/m^3 로 고정하고, 적재 높이를 0.3m, 0.6m, 1.0m 제한한 값을 각각 적용한다. 가장 불리한 조건으로 구조 안전성 평가하기 위해 건물 전체에 장비하중(I.E)을 적용한다. 해당 건축물의 지역은 광주광역시로 풍하중(W.L)과 지진하중(E.L)을 건축구조기준(KDS 41 12 00)에 규정된 건축물 설계하중을 고려해 산정한다. 본 건축물은 철근콘크리트 구조물로 극한강도 설계법을 적용하고, 보강 잭서포트는 허용응력 설계법을 적용한다.

[표 5.8] 광주 서구 광천동 ○○빌딩 적용 하중 및 하중조합

고정하중 (D.L)	구조체의 자중(골조 하중) 및 마감(모든 영구설비와 건축 마감) 등 지속적으로 구조물에 작용하는 고정하중을 고려하여 산정 [부록 2 참고]			
활하중 (L.L)	해체 잔재물 하중 (kN/m^2)	4.5 ($15\text{kN/m}^3 \times 0.3\text{m}$)		
		9.0 ($15\text{kN/m}^3 \times 0.6\text{m}$)		
		15.0 ($15\text{kN/m}^3 \times 1.0\text{m}$)		
장비 하중 (I.E)	장비명	0.2 m^2 급	장비 중량	57.6kN
	텀블러 중심간 거리	전폭	전고	슈폭
	2,100mm	1,955mm	2,580mm	400mm
	등분포하중: $W_{EW} = \frac{57.6 \times 1.3}{2,100 \times 1.955} = 18.2\text{kN/m}^2$ (충격계수=1.3)			
풍하중 (W.L)	기본 풍속(V_0)	노풍도	중요도 계수(I_W)	풍속할증계수 (K_{zt})
	28m/s	B	1.0 (1등급)	1.0
지진하중 (E.L)	지역 계수(A)	지반분류	중요도 계수(I_E)	내진설계범주
	S=0.11g (유효지반가속도 0.176)	S ₄ (깊고 단단한 지반)	1.2 (1등급)	D
하중조합	① D.L + L.L + I.E			
	② D.L + L.L + I.E + W.L			
	③ D.L + L.L + I.E + E.L			

2. 모델링 및 하중재하

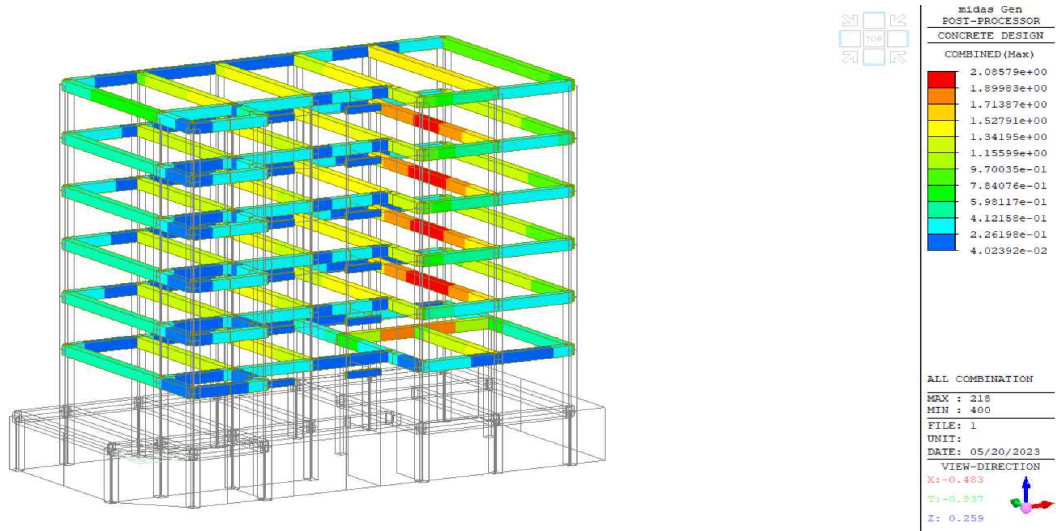
책서포트 보강 전과 후의 내력비 차이를 비교·분석하기 위해 책서포트 보강 전을 하중조합 중 ① D.L + L.L + I.E로 기준 잡아 하중을 재하한다. [그림 5.2]는 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E에 따른 모델링 및 하중재하 한 것이다.



[그림 5.2] 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 모델링 및 하중재하

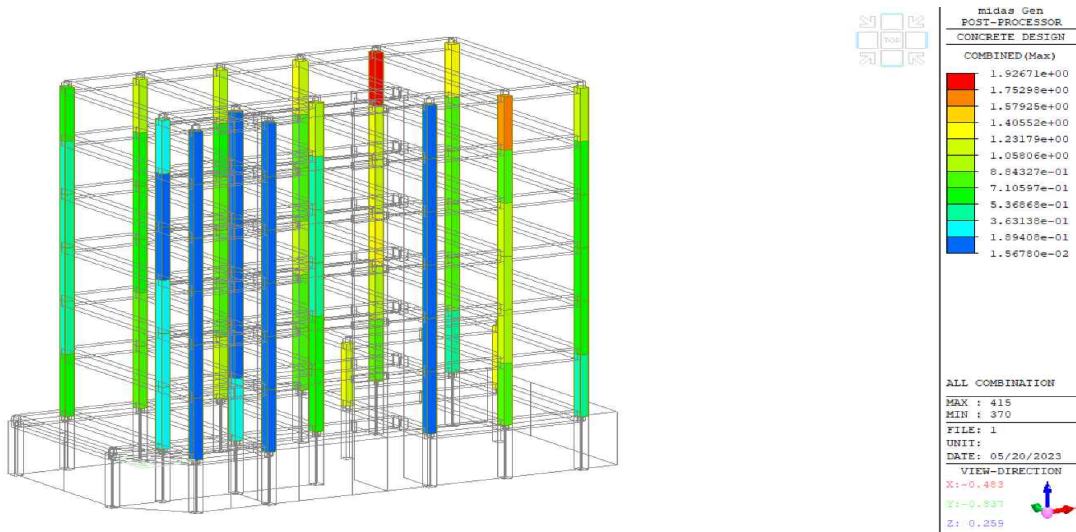
3. 구조 안전성 검토

[그림 5.3]은 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E에 따른 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 2.08579로 허용 내력비인 1.0을 초과하므로 책서포트 보강이 필요하다. [부록 3.1]은 책서포트 보강 전 보의 구조 안전성 검토 결과로 소요 모멘트 및 소요 전단력은 각각의 부재 위험 단면에서 산정된 값을 정리한 것이다.



[그림 5.3] 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 보 내력비 검토

[그림 5.4]는 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E에 따른 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 1.92671로 허용 내력비인 1.0을 초과하므로 책서포트 보강이 필요하다. [부록 3.2]는 책서포트 보강 전 기둥의 구조 안전성 검토 결과이다.



[그림 5.4] 책서포트 보강 전 ① D.L + L.L + I.E 기둥 내력비 검토

제3절 구조 안전성 평가

1. 잭서포트 개요

잭서포트(Jack Support)는 구조물에 과도한 작업 하중 및 진동으로 인한 균열, 붕괴 위험을 방지하고자 하중분산을 위해 보 및 슬래브의 중앙 일부분에 설치하는 동바리이다.

잭서포트 설치 시 주의 사항은 인양 및 회수할 때 인력운반을 기본으로 하며, 슬래브 하부 잭서포트 보강 부위 상·하단에 뚫림 전단방지 패드(400×400×15)를 설치한다. 상·하단 고정장치를 확인하고, 2개 층 이상에 연속으로 설치하므로 각층 같은 위치에 수직열이 일치하도록 한다. 잭서포트 보강은 해체작업 전에 설치하고, 해당 층 해체 전까지 유지한다. 슬래브 해체 전 상부에 적재된 해체 잔재물을 먼저 제거 후 하부 잭서포트 해체를 진행한다. 잭서포트 구조 안전성 검토 시 과도한 지지 고정에 따라 역하중이 발생하지 않도록 주의하며 설치한다.

[그림 5.5]는 광주광역시 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼에 규정된 잭서포트(∅-139.8×4.5t) 제원이다.

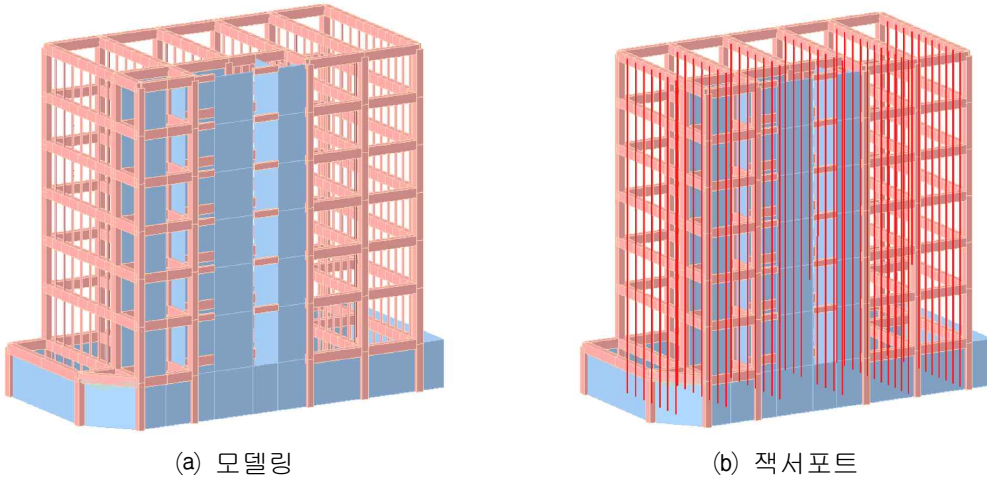


[그림 5.5] 잭서포트(∅-139.8×4.5t) 제원

2. 모델링

가. D.L + L.L + I.E

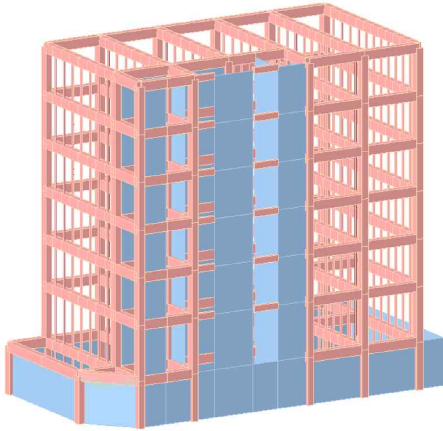
[그림 5.6]은 하중조합 중 ① D.L + L.L + I.E에 따른 잭서포트 보강 후 모델링 한 것이다.



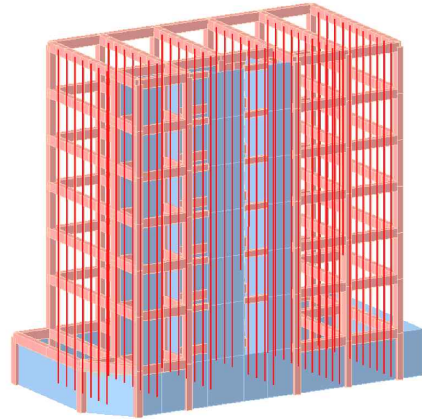
[그림 5.6] ① D.L + L.L + I.E 모델링 및 잭서포트

나. D.L + L.L + I.E + W.L

[그림 5.7]은 하중조합 중 ② D.L + L.L + I.E + W.L에 따른 잭서포트 보강 후 모델링 한 것이다.



(a) 모델링

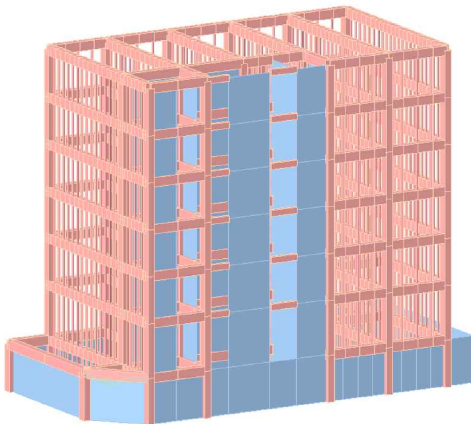


(b) 잭서포트

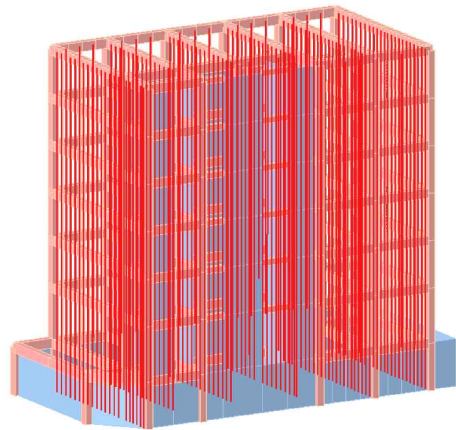
[그림 5.7] ② D.L + L.L + I.E + W.L 모델링 및 잭서포트

다. D.L + L.L + I.E + E.L

[그림 5.8]은 하중조합 중 ③ D.L + L.L + I.E + E.L에 따른 잭서포트 보강 후 모델링 한 것이다.



(a) 모델링



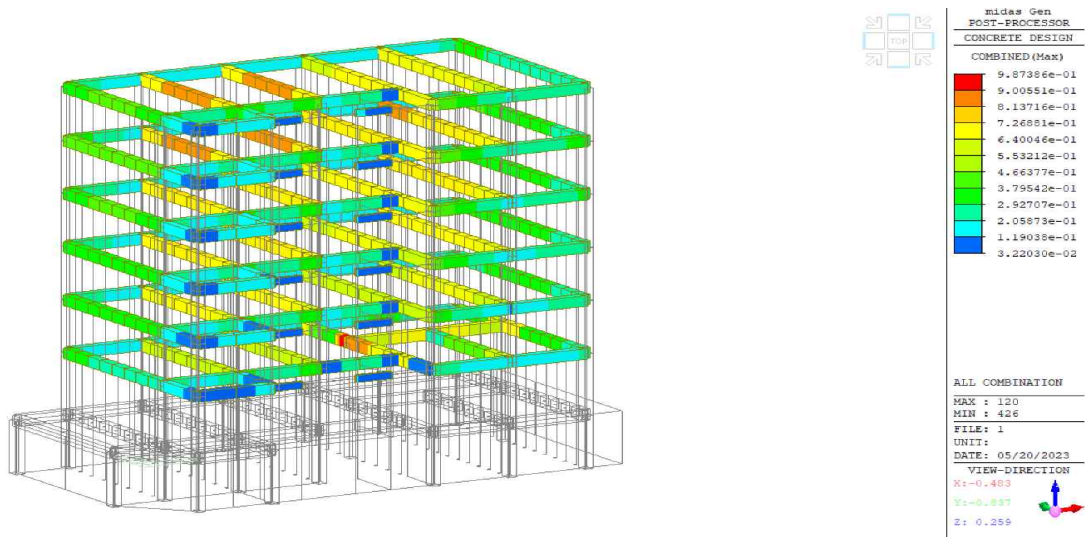
(b) 잭서포트

[그림 5.8] ③ D.L + L.L + I.E + E.L 모델링 및 잭서포트

3. 구조 안전성 검토

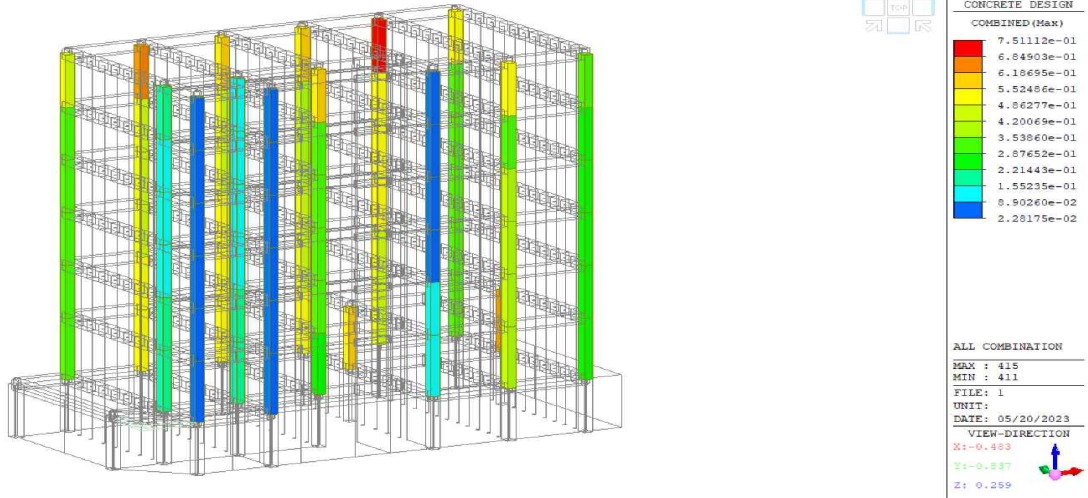
가. D.L + L.L + I.E

[그림 5.9]는 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 0.987386으로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다. [부록 4.1]은 잭서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과이다.



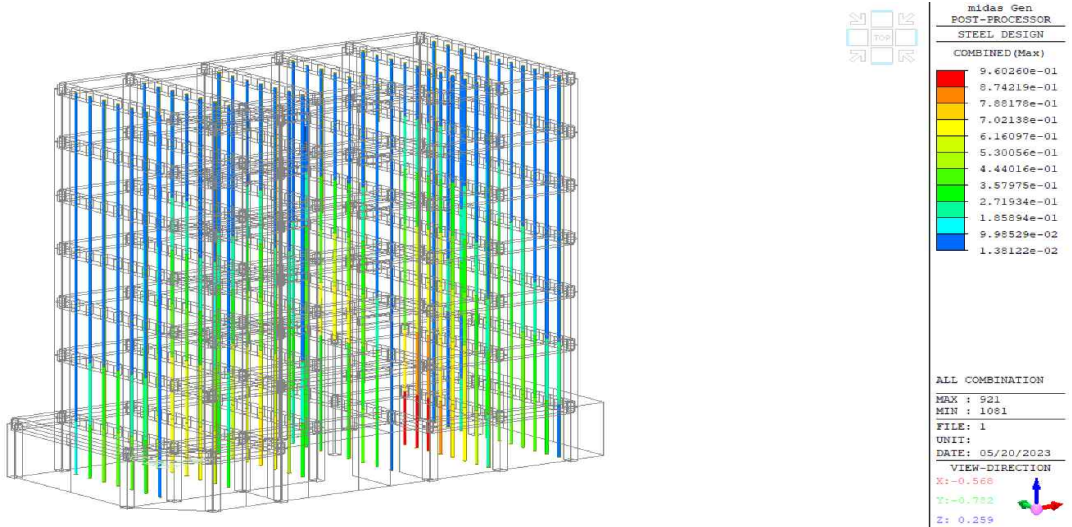
[그림 5.9] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 보 내력비 검토

[그림 5.10]은 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 0.751112로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다. [부록 4.2]는 잭서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과이다.



[그림 5.10] 책서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 기둥 내력비 검토

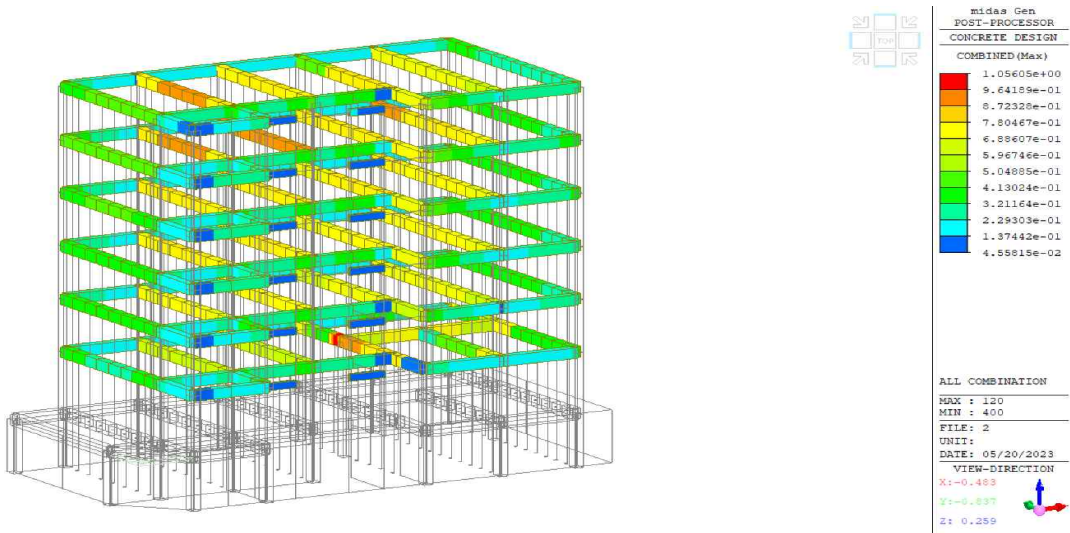
[그림 5.11]은 ① D.L + L.L + I.E에 따른 책서포트 내력비를 검토한 것이다. 책서포트 최대 내력비가 0.960260으로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다.



[그림 5.11] ① D.L + L.L + I.E 책서포트 내력비 검토

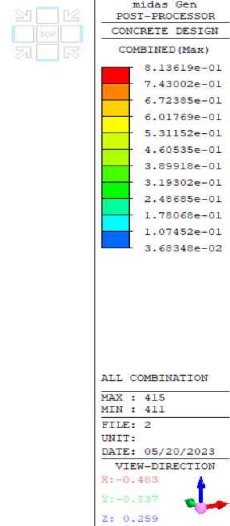
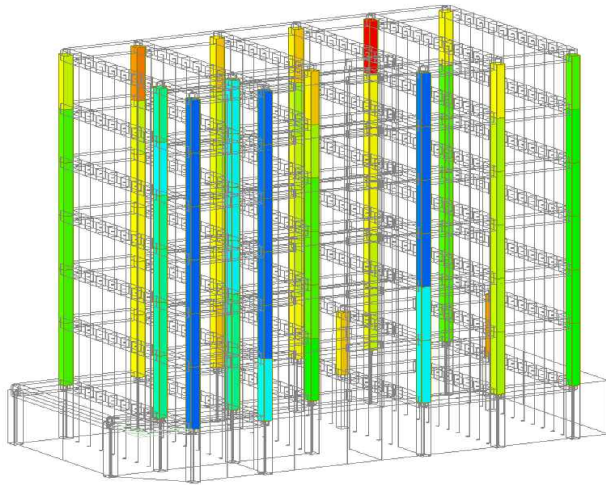
나. D.L + L.L + I.E + W.L

[그림 5.12]는 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L에 따른 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 1.05605로 허용 내력비인 1.0을 초과하나 8% 미만이므로 구조 안전성을 확보한다고 할 수 있다. [부록 5.1]은 잭서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과이다.



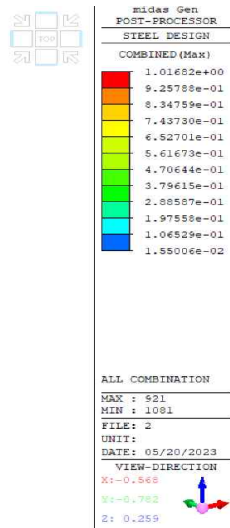
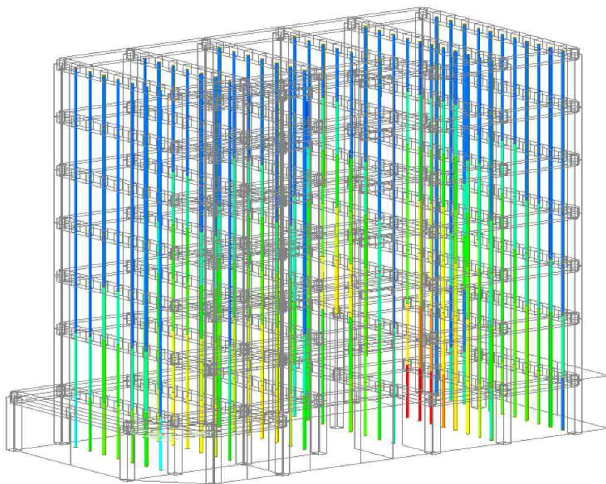
[그림 5.12] 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L 보 내력비 검토

[그림 5.13]은 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L에 따른 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 0.813619로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다. [부록 5.2]는 잭서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과이다.



[그림 5.13] 잭서포트 보강 후 ② D.L + L.L + I.E + W.L 기둥 내력비 검토

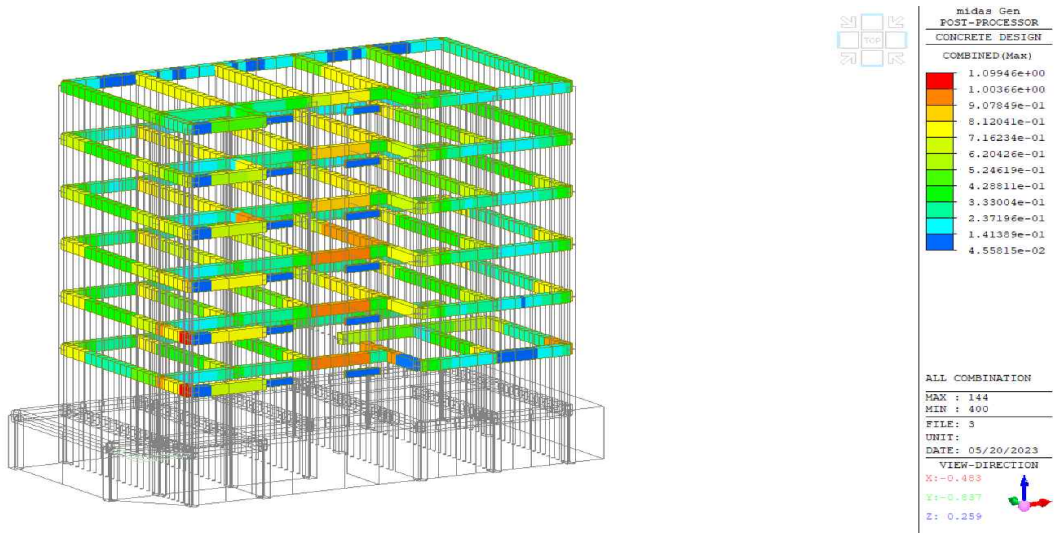
[그림 5.14]는 ② D.L + L.L + I.E + W.L에 따른 잭서포트 내력비를 검토한 것이다. 잭서포트 최대 내력비가 1.01682로 허용 내력비인 1.0을 초과하나 8% 미만이므로 구조 안전성을 확보한다고 할 수 있다.



[그림 5.14] ② D.L + L.L + I.E + W.L 잭서포트 내력비 검토

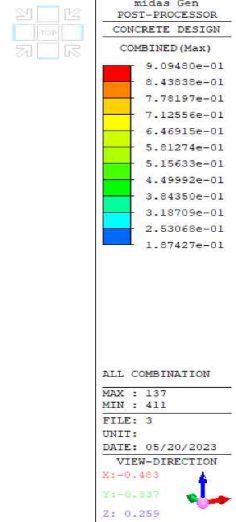
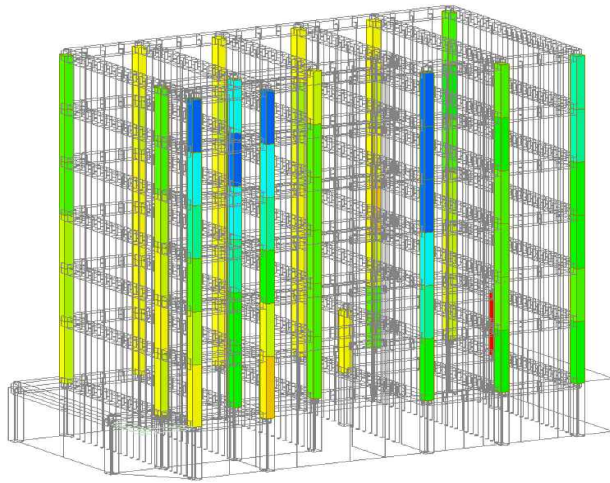
다. D.L + L.L + I.E + E.L

[그림 5.15]는 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L에 따른 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 1.09946으로 허용 내력비인 1.0을 초과하고, 8% 이상이므로 해체공사 시 주의가 필요하다. [부록 6.1]은 잭서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과이다.



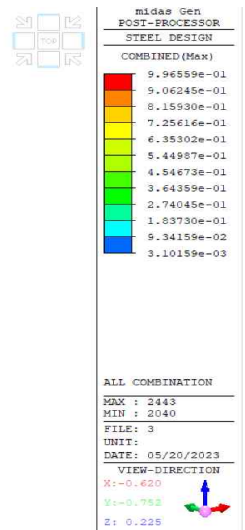
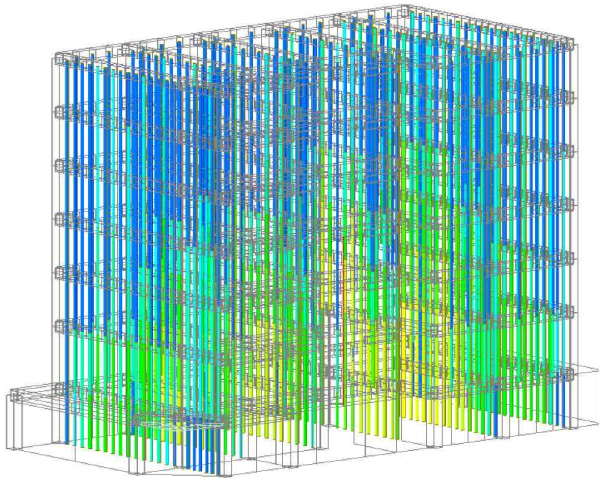
[그림 5.15] 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L 보 내력비 검토

[그림 5.16]은 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L에 따른 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 0.813619로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다. [부록 6.2]는 잭서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과이다.



[그림 5.16] 잭서포트 보강 후 ③ D.L + L.L + I.E + E.L 기둥 내력비 검토

[그림 5.17]은 ③ D.L + L.L + I.E + E.L에 따른 잭서포트 내력비를 검토한 것이다. 잭서포트 최대 내력비가 0.96559로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다.



[그림 5.17] ③ D.L + L.L + I.E + E.L 잭서포트 내력비 검토

4. 구조 안전성 평가 결과

[표 5.9]는 하중조합에 따른 구조 안전성 검토에 따라 잣서포트 개수 차이를 비교한 것이다.

[표 5.9] 하중조합에 따른 잣서포트 개수 비교

① D.L + L.L + I.E		② D.L + L.L + I.E + W.L		③ D.L + L.L + I.E + E.L	
층수	개수 (EA)	층수	개수 (EA)	층수	개수 (EA)
지하 1층	49	지하 1층	49	지하 1층	112
지상	1층	49	지상	1층	135
	2층	51		2층	137
	3층	51		3층	137
	4층	51		4층	137
	5층	51		5층	137
	6층	51		6층	137
총	353	총	353	총	932

D.L + L.L + I.E에 풍하중을 고려한 경우와 지진하중을 고려한 경우 잣서포트 개수를 비교해보면 해당 건축물은 철근콘크리트 구조물로 바람에 의해 구조물에 가해지는 하중보다 구조물에 작용하는 지진의 효과가 더 지배적이므로 지진하중을 고려한 경우 잣서포트 개수가 2배 이상 증가한다. 또한, 지진하중 산정 시 안전율을 맞추기 위해 잣서포트를 최대로 배치하여 구조부재 간격 당 잣서포트 개수가 늘어나 잣서포트 배치 간격이 500mm가 되므로 충분한 작업공간 확보에 어려움이 있다.

제4절 강도 감소의 구조 안전성 평가

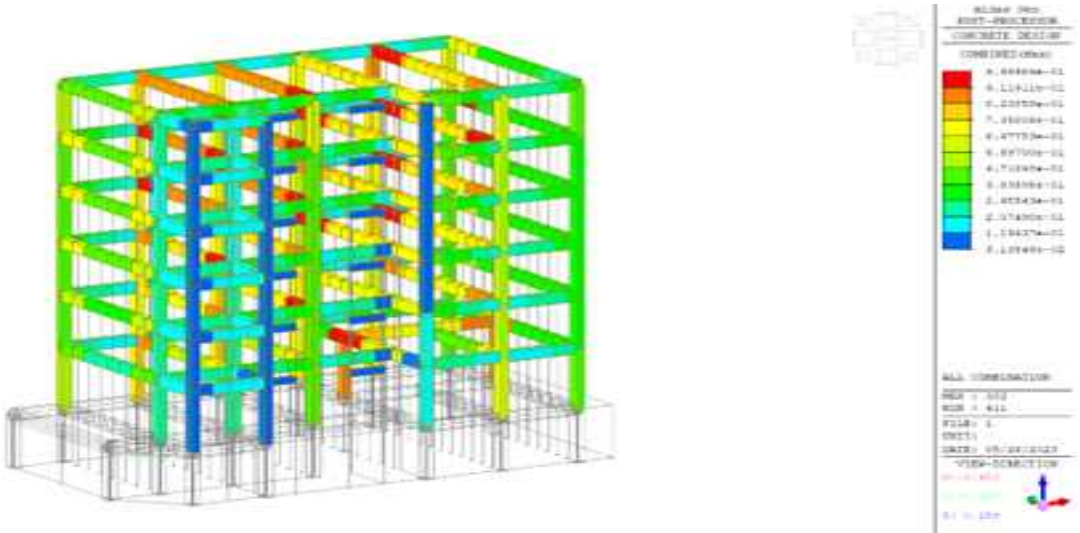
1. 강도 개요 및 모델링

잣서포트 보강 후 콘크리트 압축강도(f_{ck}) 감소를 적용하여 내력비 차이를 비교·분석하기 위해 잣서포트 보강 후 하중조합 중 ① D.L + L.L + I.E로 기준 잡는다. 콘크리트 압축강도를 18MPa로 설정한 값을 12MPa, 8MPa로 강도 감소해 하중을 재하한다.

2. 구조 안전성 검토

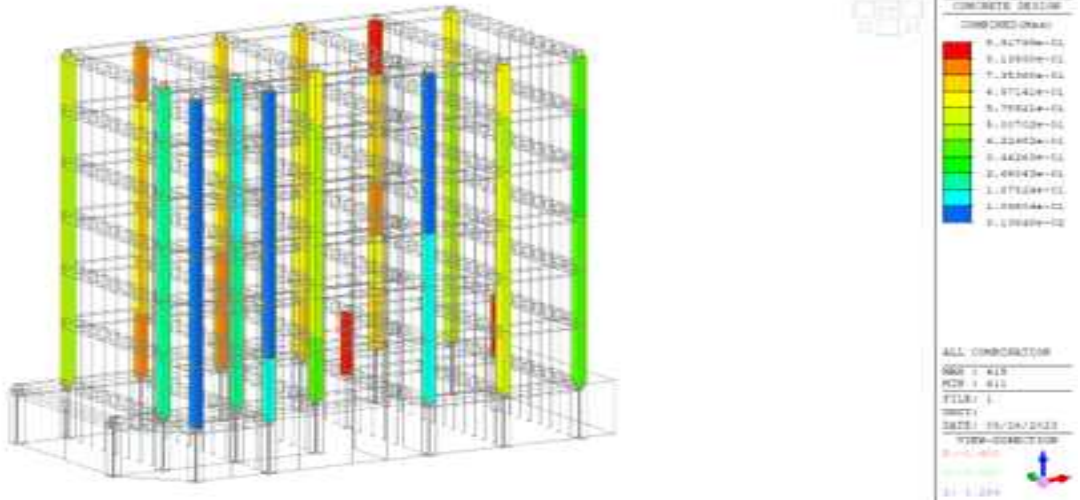
가. 12MPa

[그림 5.18]은 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 12MPa 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 0.999964로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다.



[그림 5.18] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 12MPa 보 내력비 검토

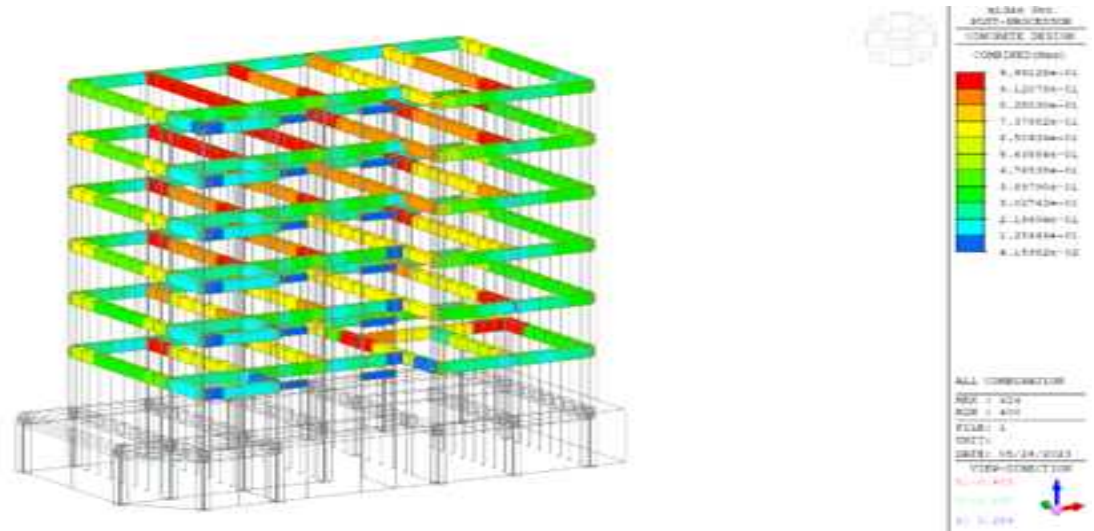
[그림 5.19]은 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 12MPa 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 0.891799로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다.



[그림 5.19] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 12MPa 기둥 내력비 검토

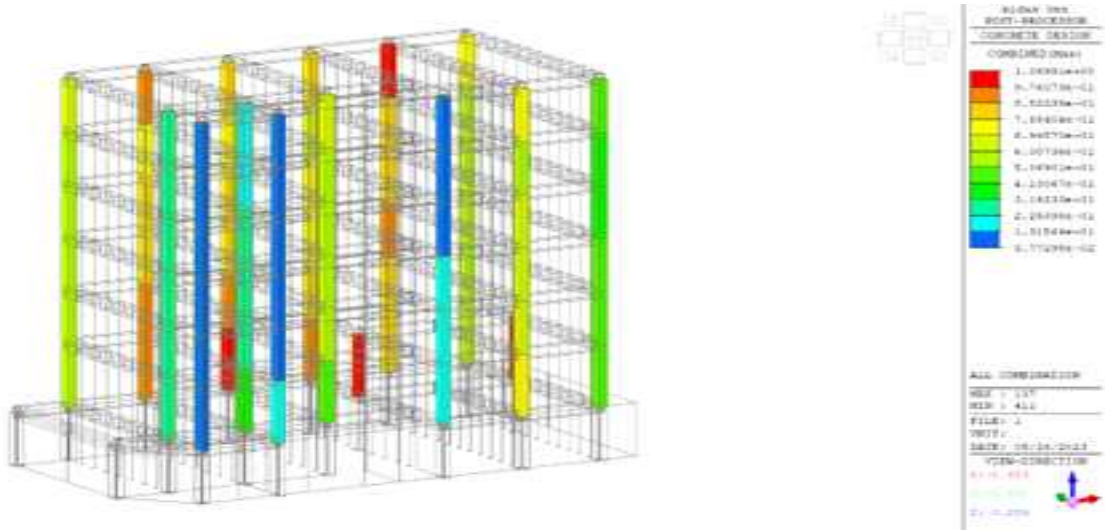
나. 8MPa

[그림 5.20]은 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 8MPa 보의 내력비를 검토한 것이다. 보의 최대 내력비가 0.999126으로 허용 내력비인 1.0 미만이므로 구조 안전성을 확보한다.



[그림 5.20] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 8MPa 보 내력비 검토

[그림 5.21]은 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E에 따른 8MPa 기둥의 내력비를 검토한 것이다. 기둥의 최대 내력비가 1.06991로 허용 내력비인 1.0을 초과하나 8% 미만이므로 구조 안전성을 확보한다고 할 수 있다.



[그림 5.21] 잭서포트 보강 후 ① D.L + L.L + I.E 8MPa 기둥 내력비 검토

3. 구조 안전성 평가 결과

D.L + L.L + I.E에 강도 감소를 고려한 경우 내력비를 비교해보면 강도 감소에 따라 부재가 힘을 발휘하지 못해 내력비 차이가 발생하며, 강도 감소 시 일부 부재에서 부재 내력이 여유가 없는 부분이 생기나, 내력비 차이가 크지 않아 해당 부재를 해체공사 시 주의하며 진행해야 한다.

제5절 소결

본 연구에서는 저품질 콘크리트에 의해 건축물 해체 시 발생할 수 있는 붕괴사고 예방과 대응을 위해 여러 가지 하중조합, 강도 감소를 적용하여 구조 안전성 평가를 진행해 비교·분석한다. 이를 통해 다음과 같은 결과가 도출된다.

- 1) 저품질 콘크리트 건축물이므로 건설연도별 재료의 기본값 중 해당연도의 공칭강도를 하한값으로 적용하므로 해체작업 시 상부 하중의 원활한 전달 및 구조 안전성 확보를 위하여 각층에 대해 해체공사 중 잭서포트를 사용한 보강이 필요하다.
- 2) 대상 건축물의 해체작업에 따른 구조 안전성 검토한 결과 일부 부재에서 부재 내력이 여유가 없는 것으로 검토된다. 일부 부재 내력이 여유가 없는 상태이므로 해체공사 시 주의하며 진행해야 한다.
- 3) 지진하중을 고려한 경우 잭서포트 개수가 일반 하중조합 D.L + L.L + 1.E에 비해 2배 이상 증가한 것으로 나타난다. 안전율을 맞추기 위해 잭서포트를 최대로 배치하여 구조부재 간격 당 잭서포트 개수가 늘어나 충분한 작업공간 확보에 어려움이 있다. 이에 따라 실제 건축물 해체공사 구조 안전성 평가 시 지진하중을 고려하지 않는 것으로 판단된다.
- 4) 잭서포트 내력비는 풍하중, 지진하중을 고려한 경우 내력비 차이가 나고, 강도 감소한 경우 내력비 차이가 나지 않는다. 이는 풍하중, 지진하중을 고려한 경우 하중조합이 달라져 내력비 차이가 발생한 것으로 판단된다.

제6장 결론

본 연구는 저품질 콘크리트 강도 저하 원인에 따른 성능변화 및 이를 고려한 해체공사 구조 안전성 평가를 진행해 연구하고, 분석한다. 이러한 내용을 바탕으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 광주 서구 화정동 아이파크 붕괴사고로 인해 저품질 콘크리트가 큰 사회적인 문제로 대두되고 있다. 초고층 건축물임에도 불구하고, 원자재 불량과 실제 현장에서 가수 등 품질관리가 제대로 진행되지 않았고, 실제 설계와 다른 시공 및 겨울철 추운 날씨임에도 콘크리트 양생 불량 등이 있다. 또한, 레디믹스트 콘크리트 품질관리 실태조사에 따르면, 88%에 달하는 공장에서 부적합 사항이 적발되고 있다.

이는 콘크리트 구조물의 강도 문제와 직결되며, 추후 안전사고에 영향을 미치므로 저품질 콘크리트에 대해서 반드시 생각해야 할 것이다. 레디믹스트 콘크리트 회사와 건설공사 현장에서 콘크리트 생산 시 시멘트 및 잔골재 품질을 높이고, 경제적인 배합과 고성능 감수제의 적절한 사용 등 기초적 자료를 마련하고, 국토교통부에서 겨울철 추운 날씨를 고려해 $-x^{\circ}\text{C}$ 이하로 떨어질 시 기존 존치 기간을 따로 합산하여 추가 양생하는 방안을 마련한다면, 저품질 콘크리트에 따른 구조물의 활용에 긍정적인 영향을 가져올 것으로 기대된다.

- 2) 광주 서구 화정동 아이파크 붕괴사고로 해당 건축물은 전면 해체를 진행하기로 결정된 현재, 저품질 콘크리트에 의해 건축물 해체 시 발생할 수 있는 붕괴사고 예방과 대응을 위해 여러 가지 하중조합, 강도 감소를 적용하여 구조 안전성 평가를 진행해 해체공사 시 안전 확보를 위한 기초적 자료로 활용되고자 한다.

이에 해체공사 시 해당 구조물의 강도가 낮거나, 불가피한 자연재해로 인해 사고가 발생할 수 있으므로 여러 가지 상황을 고려하여 구조 안전성 평가를 필요시가 아닌 의무적으로 해야 한다. 안전성을 최대로 확보된 상태에서 해체공사를 실시해야 한다고 판단된다. 국토안전관리원에서 해체공법, 해체방식, 해체 장비 등에 따라서만 해체공사를 분류하지 않고, 혹시 모르는 만약의 상황들도 가정해서 기초적 자료를

마련한다면, 해체공사 시 안전사고 예방과 대응에 긍정적인 영향을 가져올 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 건설교통부, (1999), 국내 콘크리트용 골재현황.
- 2) 건설교통부, (2002), 건설공사 품질시험실무.
- 3) 건축물관리법, (2019), 제4장 건축물의 해체 및 멸실.
- 4) 고용노동부, (2017), 철거·해체공사 표준안전작업 절차서, 안전보건공단.
- 5) 광주광역시, (2022), 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼.
- 6) 국경훈, 신현오, 곽임중, 윤영수, (2010), 초고성능 콘크리트(UHPC)의 부착특성에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 22(6), 753-761.
- 7) 국토교통부, (2019), 전국 건축물 현황통계.
- 8) 국토교통부, (2021), 건축물 해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준.
- 9) 국토교통부, (2022), 건설공사 품질관리 업무지침.
- 10) 국토교통부, (2022), 건축물관리법.
- 11) 국토교통부, 국토안전관리원, (2022), 건축물 해체공사 감리업무 매뉴얼.
- 12) 국토안전관리원, (2012), 건축물 하체계획서 검토 사례집.
- 13) 국토안전관리원, (2022), 해체계획서 작성 매뉴얼 및 표준서식.
- 14) 국토안전관리원, (2022), 해체계획서 표준서식.
- 15) 국토해양부, (2009), 레미콘·아스콘 품질관리지침 해설 및 공장점검 매뉴얼.
- 16) 국토해양부, (2009), 콘크리트표준시방서.
- 17) 김맹기, (1990), 콘크리트 품질문제의 사례와 그 대책, 한국레미콘공업협회, 61, 74-86.
- 18) 김무한, (1988), 레미콘의 품질관리 및 시공관리에 대한 소고, 레미콘, 17, 20-34.
- 19) 김무한, (1988), 콘크리트의 품질과 시공관리에 관한 기초적 고찰(II), 대한건축학회지, 32(4), 65-69.
- 20) 김무한, (1999), 레미콘 품질관리와 품질보증에 관한 고찰(II), 한국레미콘공업협회, 61, 18-24.
- 21) 김상준, 이재열, 이용세, 최완철, (1999), 콘크리트와 철근의 부착강도에 대한 횡구속 설계변수, 콘크리트학회논문집, 11(1), 653-658.
- 22) 김상준, 조규필, 허준, 최완철, (1998), 고성능 Belite 시멘트 콘크리트의 철근

- 부착성능, 콘크리트학회지, 10(6), 169-178.
- 23) 김선영, (1998), 콘크리트의 7일강도를 이용한 28일 강도의 추정, 콘크리트학회논문집, 10(1), 119-125.
 - 24) 김성욱, 강수태, 한상목, (2006), 초고성능 시멘트 복합재의 특성 및 활용 현황, 콘크리트학회지, 18(1), 16-21.
 - 25) 김성욱, 박정준, 강수태, 류금성, 고경택, 이장화, (2008), 초고성능 콘크리트의 개발과 활용, 콘크리트학회논문집, 20(1), 1117-1120.
 - 26) 김용부, (1990), 콘크리트 강도의 분석, 콘크리트 학회지, 2(2), 3-12.
 - 27) 김우, 이기열, 염환석, (2001), 고강도 콘크리트 인장부재의 부착특성과 균열 거동에 관한 연구 (1), 대한토목학회논문집, 21(5A), 687-698.
 - 28) 김우, 이기열, 문인, (2001), 고강도 콘크리트 인장부재의 부착특성과 균열거동에 관한 연구 (2), 대한토목학회논문집, 21(5A), 699-706.
 - 29) 김원술, 김준, 강윤빈, 안충원, (2020), 건축물 해체허가 및 감리제도 소개 및 발전 방향, 한국건설안전학회지, 3(1), 59-66.
 - 30) 김장수, (2000), 레미콘산업의 현안 문제점과 향후 방향, 콘크리트학회지, 12(4), 57-59.
 - 31) 김정호, 윤재환, (1996), 콘크리트용 혼화제-AE제와 감수제, 콘크리트학회지, 8(2), 13-19.
 - 32) 김창도, (2008), 현장타설 콘크리트의 품질관리 기법에 관한 실험적 연구, 충남대학교, 석사학위논문.
 - 33) 김형기, 김태훈, 조창근, (2022), [제도 고찰] 구조물 해체 안전 관련 규정과 기준에 대한 고찰, 한국건설관리학회지, 23(2), 8-12.
 - 34) 김형기, 김태훈, 조창근, (2022), 공공 구조물 해체를 위한 의사결정: 일본의 사례, 콘크리트학회지, 34(3), 58-65.
 - 35) 대한토목학회, (1996), 콘크리트 시방서.
 - 36) 레미콘품질관리위원회, (2013) 레디믹스트 콘크리트 품질문제의 원인 및 대책.
 - 37) 문한영, 최재진, (1987), 레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 관리에 관한 일고, 레미콘, 13, 61-67.
 - 38) 박승범, 윤의식, (1997), 현장에서의 콘크리트의 시공 및 품질관리, 콘크리트학회지, 9(2), 30-98.
 - 39) 박춘태, (2001), 레미콘 제조공정의 품질수준평가에 관한 연구, 창원대학교, 석사

학위논문.

- 40) 방형운, (2010), 건설현장 품질관리 확보를 위한 품질관리제도 개선방안 연구, 경상대학교, 석사학위논문.
- 41) 서울특별시, (2019), 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼.
- 42) 성낙준, (1996), 콘크리트 부실공사사례 및 원인진단, 콘크리트학회지, 8(6), 67-73.
- 43) 송영찬, 김용로, 민충식, 송용원, 박종호, 정용, (2013), 지상 지상층용 저시멘트 콘크리트의 압축강도 특성에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회논문집, 15, 46-47.
- 44) 신현오, 민경환, 류두열, 곽임중, 윤영수, (2009), 강섬유 보강 고강도 콘크리트의 부착 특성, 콘크리트학회논문집, 21(2), 401-402.
- 45) 안지호, (2019), 건설현장의 품질시험·검사 장비의 적정성에 관한 연구 : 일반 건축현장을 중심으로, 경기대학교, 석사학위논문.
- 46) 양재균, (1990), 레미콘 제조의 사회적 역할과 품질관리, 레미콘, 23, 36-57.
- 47) 오태근, 이성태, 김진근, (2001), 콘크리트의 강도와 재령을 고려한 응력-변형을 관계식의 개발, 콘크리트학회논문집, 13(5), 447-456.
- 48) 윤기원, 최재진, 한천구, (2011), 콘크리트 품질관리 관련 실태 및 문제점, 콘크리트학회지, 23(1), 26-31.
- 49) 이기열, 김우, 이화민, (2009), 고강도 콘크리트 횡부재의 인장 겹침이음길이에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 21(6), 753-762.
- 50) 이재삼, 한천구, (2013), 레디믹스트 콘크리트 산업의 비전, 콘크리트학회지, 5(1), 25-28.
- 51) 임양재, (1983), 한국의 온도기후와 생물의 계절변화, 식물학회지, 26(2), 101-117.
- 52) 임창훈, 지남용, 조홍범, (2003), 배합표에 의한 혼화재를 사용한 콘크리트의 압축강도 추정, 대한건축학회논문집, 23(1), 251-254.
- 53) 전희영, 김원술, 지명호, (2020), 건축물 해체계획서 작성 사례분석을 통한 해체허가 제도의 개선방향, 대한건축학회논문집, 40(2), 606-607.
- 54) 정시진, (2003), 레미콘의 품질에 관한 통계적 연구, 건국대학교, 박사학위논문.
- 55) 정재동, (1998), 콘크리트용 화학혼화제, 최근의 기술개발동향, 콘크리트학회지, 10(1), 65-72.

- 56) 정진우, (2022), 건설 현장의 레디믹스트 콘크리트 품질 확보를 위한 콘크리트 품질 이력 관리시스템 구축 : 모바일 OCR 기반으로, 한경대학교, 박사학위논문.
- 57) 조재병, 정상진, 최완철, (1995), 국외 현장콘크리트 품질확보 현황 및 제기준, 콘크리트학회지, 7(2), 12-22.
- 58) 조창근, 김태훈, 임현진, 김형기, (2022), 스마트 기술을 이용한 건축물 해체 과정의 안전관리 모니터링 사례, 콘크리트학회지, 34(3), 66-72.
- 59) 조홍범, 윤상천, 지남용, (2001), 콘크리트 배합표에 의한 현장 콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 13(2), 257-261.
- 60) 차헌주, 최종수, (2007), AHP 방법론에 의한 건축물 해체공사의 안전관리 개선사항 평가, 한국건축시공학회지, 7(3), 99-105.
- 61) 최민수, 김지철, 김무한, (1990), 레미콘 산업의 현황 및 과제에 대한 기초적 조사, 대한건축학회논문집, 10(1), 490-493.
- 62) 최민수, 조성우, 김무한, (1992), 레미콘 품질관리 현황 설문 조사보고, 대한건축학회논문집, 12(1), 439-442.
- 63) 최승원, (2021), 콘크리트 압축 모델에 따른 휨부재의 설계 강도에 대한 비교 연구, 한국산학기술학회논문지, 22(9), 655-662.
- 64) 최진원, 김성배, 김장호, (2010), 함성섬유 보강 콘크리트 압축강도 예측, 대한토목학회, 1466-1469.
- 65) 한경보, (2006), 레미콘 가수에 따른 콘크리트의 품질 결함, 36, 65-72.
- 66) 한국콘크리트학회, (2006), 레디믹스트 콘크리트의 품질관리, 81-146.
- 67) 한국콘크리트학회, (2007), 최신콘크리트공학, 239-274.
- 68) 한국콘크리트학회, (2007), 콘크리트구조설계기준 해설, 기문당, 523.
- 69) 한국콘크리트학회, (2007), 콘크리트구조설계기준 해설, 205-209.
- 70) 한국콘크리트학회, (2022), KCI-RM101 레미콘 단위 수량 신속측정 방법.
- 71) 한국표준협회, (2019), KS F 2502 골재의 체가름 시험방법.
- 72) 한국표준협회, (2019), KS F 2503 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험방법.
- 73) 한국표준협회, (2002), KS F 2509 잔골재의 표면수 측정 방법.
- 74) 한국표준협회, (2020), KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법.
- 75) 한국표준협회, (2022), KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법.
- 76) 한국표준협회, (2022), KS F 2405 콘크리트 압축 강도 시험방법.
- 77) 한국표준협회, (2022), KS F 4009 레디믹스트콘크리트.

- 78) 한인덕, 장명훈, (2020), 잔골재의 미립분 보충재로 순환골재 미분말을 활용하는 모르타르의 기초적 특성, 공학기술논문지, 13(4), 187-192.
- 79) 한천구, (1988), 콘크리트 강도의 조기추정에 관한 연구, 충남대학교, 박사학위논문.
- 80) 황인성, 한천구, (2005), 레미콘 품질관리 실무, 7-42.

감사의 글

지난 2년간 노력이 열매를 맺을 수 있게 도와주신 분들에게 감사의 글을 전합니다.

먼저, 2년간 저를 지도해주시고, 많은 것을 가르쳐주신 김형기 교수님께 감사드립니다. 교수님 덕분에 석사졸업이라는 큰일을 해낼 수 있었던 것 같습니다. 교수님께 배운 지식과 베풀어주신 은혜 절대 잊지 않고, 사회에 나가서도 멋진 건축인이 되겠습니다. 항상 응원해주시고, 따뜻한 격려의 말씀 아끼지 않으신 김태훈 교수님, 이희영 교수님, 황태연 교수님, 조규만 교수님, 최재혁 교수님, 김주욱 교수님, 조창근 교수님, 박난 선생님 감사드립니다.




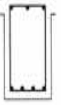

저에게 연구실 생활은 즐거움과 두려움이 있었지만, 잘 적응할 수 있게 도와주신 이효경 박사님, 전상민 박사님, 안재성 석사님, 김정은 석사님, 말은 잘 안 통하지만, 도움이 필요할 때 항상 흔쾌히 도와준 아벨, 미뉴에, 미카엘 감사드립니다. 사소한 도움과 응원을 아낌없이 해준 연구실 학부생 이정익, 홍수빈, 엘사 감사드립니다. 많은 양의 실험을 함께하고, 방학에도 나와 1년 동안 같이 고생해 준 윤태현, 홍수빈, 박채현, 강다경, 조영찬, 김진혁, 김도엽, 최찬 감사드립니다. 대학교 동기로서 언제나 힘이 되고, 투정 받아주고, 든든한 내 편인 국민재, 김민성, 김신, 김정우, 노석영, 홍정완 감사드립니다. 논문 쓰는 내내 많은 도움과 고민 상담을 해 준 이인혜 언니, 강경화 석사님, 신지섭 오빠, 박성호 오빠, 최민수 오빠, 국승지 언니, 박정은 석사님, 김지수 언니, 김초원 석사님, 지현서 석사님, 최재영 오빠 감사드립니다. 옆에서 항상 할 수 있다며 열심히 서포트 해 준 자존감 지킴이 남성현, 김수현, 강주연, 임소현, 고유라, 김지효, 고은지, 전해수, 김원재, 문소정, 문지미, 박지희, 신지연, 이승준, 정지윤, 정유진, 남생들, 초록핑쿠단 감사드립니다. 마지막으로 사랑하는 우리 아빠, 엄마, 오빠 항상 응원해주시고, 아낌없이 지원해주셔서 정말 감사드립니다.

제가 힘들 때나 어려움이 닥칠 때 응원해주시고 격려해주신 모든 분께 감사드리며 모든 분을 적을 수 없기에 너그러운 마음으로 이해해주시길 바라며 다시 한번 감사의 말 전합니다.





부록

1.1 제5장 제1절 1. 보 배근도

부호	2G1		2G2		2G3	
형태	양단면	중앙부	양단면	중앙부	양단면	중앙부
길이 (m)	7.9		6.7		6.7	
BXH (mm)	400 X 600		400 X 600		400 X 600	
상부근	5-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22
하부근	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22
스터럽 (mm)	2-HD10@200	2-HD10@250	2-HD10@150	2-HD10@250	2-HD10@200	2-HD10@250
부호	2G3, 2G3A	2G4		2G5	2WG1	LB1
형태	전단면	양단면	중앙부	전단면	전단면	전단면
길이 (m)	3.8	7.2		3.9	3.8	1.635
BXH (mm)	400 X 600	400 X 600		400 X 600	400 X 600	200 X 400
상부근	3-HD22	4-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	2-HD22
하부근	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	2-HD22
스터럽 (mm)	2-HD10@250	2-HD10@200	2-HD10@200	2-HD10@150	2-HD10@300	2-HD10@300
부호	3~5G1		3~5G2		3~5G3, 3~5GA	3~5WG1
형태	양단면	중앙부	양단면	중앙부	전단면	전단면
길이 (m)	7.9		10.6		3.8	3.8
BXH (mm)	400 X 600		400 X 600		400 X 600	400 X 600
상부근	5-HD22	3-HD22	7-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22
하부근	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22
스터럽 (mm)	2-HD10@200	2-HD10@250	2-HD10@200	2-HD10@250	2-HD10@250	2-HD10@300

부호	RG1		RG2		RG3, RG3A	RWG1
형태	양단면	중앙부	양단면	중앙부	전단면	전단면
						
길이 (m)	7.9		10.6		3.8	3.8
BXH (mm)	400 X 600		400 X 600		400 X 600	400 X 600
상부근	4-HD22	3-HD22	6-HD22	3-HD22	3-HD22	3-HD22
하부근	3-HD22	3-HD22	3-HD22	4-HD22	3-HD22	3-HD22
스터립 (mm)	2-HD10@200	2-HD10@250	2-HD10@200	2-HD10@250	2-HD10@250	2-HD10@300

1.2 제5장 제1절 1. 기둥 배근도

부호	C1	C1A	C2	C3
형태				
층별	B1~6F	B1	B1~6F	B1~1F
BXH (mm)	500 X 400	500 X 400	500 X 400	400 X 400
주근	10-HD22	8-HD22	8-HD22	8-HD22
중앙부	HD10@400	HD10@400	HD10@400	HD10@400
단부	HD10@200	HD10@200	HD10@200	HD10@200

2. 제5장 제2절 1. 고정하중(D.L)

옥탑 지붕 (PHRF)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈 및 방수	t = 45	0.90
	무근(Con' c)	t = 60	1.38
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계		5.36
옥탑 물탱크실 (PHRF)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈 및 방수	t = 30	0.60
	무근(Con' c)	t = 70	1.61
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계		5.29

옥상 지붕	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈 및 방수	t = 30	0.60
	무근(Con' c)	t = 60	1.38
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	5.06	
공조 기계실	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈 및 방수	t = 45	0.90
	무근(Con' c)	t = 70	1.61
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	5.59	
근린생활시설 (1~10F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	3.68	
화장실 (1~10F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	타일	t = 50	0.90
	몰탈 및 방수	t = 80	1.60
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	5.58	
복도 (1~10F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	3.68	
로비 (1~10F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 120	2.88
	천정		0.20
	합계	3.68	

옥외주차장	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.40	
근린생활시설 (B1F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.40	
화장실 (B1F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	타일 및 몰탈	t = 50	0.90
	몰탈 및 방수	t = 80	1.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	6.30	
복도 (B1~B3F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.40	
주차장 (B1F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.40	
주차장 (B1F)	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	몰탈	t = 30	0.60
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.40	
계단실	고정하중(D.L)		
	구분	Thk (mm)	(kN/m ²)
	대리석	t = 30	0.81
	슬래브(Con' c)	t = 150	3.60
	천정		0.20
	합계	4.61	

3.1 제5장 제2절 3. 책서포트 보강 전 보의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	Moment				Shear			
		부재 강도	소요 강도	내력비	비고	부재 강도	소요 강도	내력비	비고
2G1	외단부	233.13	55.92	0.2399	0.K	269.43	288.61	1.0712	N.G
	중앙부	232.11	251.47	1.0834	N.G	243.41	187.92	0.7721	0.K
	내단부	233.13	95.82	0.4110	0.K	269.43	268.41	0.9962	0.K
2G1	외단부	233.13	107.00	0.4590	0.K	269.43	280.70	1.0418	N.G
	중앙부	232.11	279.14	1.2026	N.G	243.41	189.85	0.7800	0.K
	내단부	233.13	86.54	0.3712	0.K	269.43	291.06	1.0803	N.G
2G2A	외단부	232.48	2.66	0.0115	0.K	269.43	287.81	1.0682	N.G
	중앙부	232.11	236.15	1.0174	N.G	243.41	213.48	0.8770	0.K
	내단부	232.48	220.30	0.9476	0.K	269.43	157.88	0.5860	0.K
2G4	외단부	232.48	174.59	0.7510	0.K	269.43	292.92	1.0872	N.G
	중앙부	232.11	424.31	1.8280	N.G	269.43	207.85	0.7714	0.K
	내단부	232.48	178.29	0.7669	0.K	269.43	292.13	1.0843	N.G
3~5G1	외단부	233.13	108.29	0.4645	0.K	269.43	280.98	1.0429	N.G
	중앙부	232.11	280.97	1.2105	N.G	243.41	189.57	0.7788	0.K
	내단부	233.13	88.93	0.3814	0.K	269.43	290.78	1.0792	N.G
3~5G1	외단부	233.13	58.01	0.2488	0.K	269.43	287.59	1.0674	N.G
	중앙부	232.11	251.54	1.0837	N.G	243.41	186.90	0.7679	0.K
	내단부	233.13	93.88	0.4027	0.K	269.43	269.43	1.0000	0.K
3~5G1	외단부	233.13	109.34	0.4690	0.K	269.43	279.93	1.0390	N.G
	중앙부	232.11	279.96	1.2061	N.G	243.41	190.62	0.7831	0.K
	내단부	233.13	85.85	0.3682	0.K	269.43	291.83	1.0831	N.G
3~5G1	외단부	233.13	59.58	0.2556	0.K	269.43	286.72	1.0642	N.G
	중앙부	232.11	251.40	1.0831	N.G	243.41	186.03	0.7643	0.K
	내단부	233.13	92.02	0.3947	0.K	269.43	270.30	1.0032	N.G
3~5G1	외단부	233.13	111.25	0.4772	0.K	269.43	279.93	1.0390	N.G
	중앙부	232.11	281.87	1.2144	N.G	243.41	190.62	0.7831	0.K
	내단부	233.13	87.76	0.3764	0.K	269.43	291.83	1.0831	N.G
3~5G1	외단부	233.13	60.07	0.2577	0.K	269.43	286.90	1.0649	N.G
	중앙부	232.11	252.25	1.0868	N.G	243.41	186.22	0.7650	0.K
	내단부	233.13	93.23	0.3999	0.K	269.43	270.12	1.0025	N.G
3~5G1	외단부	233.13	106.28	0.4559	0.K	269.43	277.94	1.0316	N.G
	중앙부	232.11	272.96	1.1760	N.G	243.41	192.61	0.7913	0.K
	내단부	233.13	74.91	0.3213	0.K	269.43	293.82	1.0905	N.G
3~5G1	외단부	233.13	62.35	0.2674	0.K	269.43	283.76	1.0532	N.G
	중앙부	232.11	248.31	1.0698	N.G	243.41	183.07	0.7521	0.K
	내단부	233.13	83.08	0.3563	0.K	269.43	273.26	1.0142	N.G
3~5G2	외단부	234.10	125.84	0.5375	0.K	269.43	202.12	0.7796	0.K
	중앙부	232.11	262.84	1.1324	N.G	243.41	136.18	0.5595	0.K
	내단부	234.10	67.92	0.2901	0.K	269.43	223.98	0.8639	0.K

3~5G2	외단부	234.10	189.15	0.8080	0.K	269.43	389.71	1.5031	N.G
	중앙부	232.11	484.14	2.0858	N.G	243.41	241.98	0.9941	0.K
	내단부	234.10	154.96	0.6619	0.K	269.43	402.61	1.5528	N.G
3~5G2	외단부	234.10	121.58	0.5193	0.K	269.43	199.84	0.7708	0.K
	중앙부	232.11	252.53	1.0880	N.G	243.41	138.46	0.5688	0.K
	내단부	234.10	51.56	0.2203	0.K	269.43	226.26	0.8727	0.K
3~5G2	외단부	234.10	186.09	0.7949	0.K	269.43	385.52	1.4869	N.G
	중앙부	232.11	469.99	2.0249	N.G	243.41	246.17	1.0113	N.G
	내단부	234.10	129.73	0.5541	0.K	269.43	406.79	1.5690	N.G
3~5G2	외단부	234.10	129.42	0.5528	0.K	269.43	198.68	0.7663	0.K
	중앙부	232.11	257.32	1.1086	N.G	243.41	139.61	0.5736	0.K
	내단부	234.10	53.29	0.2276	0.K	269.43	227.41	0.8771	0.K
3~5G2	외단부	234.10	192.92	0.8241	0.K	269.43	385.12	1.4854	N.G
	중앙부	232.11	475.75	2.0497	N.G	243.41	246.57	1.0130	N.G
	내단부	234.10	134.42	0.5742	0.K	269.43	407.20	1.5705	N.G
3~5G2	외단부	234.10	122.21	0.5220	0.K	269.43	196.78	0.7590	0.K
	중앙부	232.11	245.04	1.0557	N.G	243.41	141.52	0.5814	0.K
	내단부	234.10	35.96	0.1536	0.K	269.43	229.32	0.8845	0.K
3~5G2	외단부	234.10	182.52	0.7797	0.K	269.43	383.31	1.4784	N.G
	중앙부	232.11	460.54	1.9841	N.G	243.41	248.39	1.0205	N.G
	내단부	234.10	114.40	0.4887	0.K	269.43	409.01	1.5775	N.G
3~5G2	외단부	497.32	283.74	0.5705	0.K	269.43	284.18	1.0961	N.G
	중앙부	232.11	322.80	1.3907	N.G	243.41	284.18	1.1675	N.G
	내단부	497.32	435.37	0.8754	0.K	269.43	298.12	1.1498	N.G
3~5G2	외단부	497.32	273.39	0.5497	0.K	269.43	279.13	1.0766	N.G
	중앙부	232.11	311.12	1.3404	N.G	243.41	279.13	1.1468	N.G
	내단부	497.32	460.91	0.9268	0.K	269.43	302.83	1.1680	N.G
3~5G2	외단부	497.32	273.50	0.5499	0.K	269.43	279.11	1.0765	N.G
	중앙부	232.11	311.52	1.3421	N.G	243.41	279.11	1.1467	N.G
	내단부	497.32	455.46	0.9158	0.K	269.43	302.09	1.1651	N.G
3~5G2	외단부	497.32	263.12	0.5291	0.K	269.43	274.41	1.0584	N.G
	중앙부	232.11	299.89	1.2920	N.G	243.41	274.41	1.1274	N.G
	내단부	497.32	481.37	0.9679	0.K	269.43	306.84	1.1835	N.G
RG1	외단부	232.48	135.35	0.5822	0.K	269.43	271.18	1.0065	N.G
	중앙부	232.11	307.41	1.3244	N.G	243.41	175.93	0.7228	0.K
	내단부	232.48	133.12	0.5726	0.K	269.43	272.31	1.0107	N.G
RG1	외단부	232.48	53.33	0.2294	0.K	269.43	284.70	1.0567	N.G
	중앙부	232.11	259.48	1.1179	N.G	243.41	188.82	0.7757	0.K
	내단부	232.48	132.07	0.5681	0.K	269.43	244.84	0.9087	0.K
RG2	외단부	234.10	238.04	1.0168	N.G	261.53	367.98	1.4070	N.G
	중앙부	306.31	511.83	1.6710	N.G	243.41	232.24	0.9541	0.K
	내단부	234.10	192.80	0.8236	0.K	261.53	385.05	1.4723	N.G
RG2	외단부	432.25	278.68	0.6447	0.K	261.53	275.68	1.0541	N.G
	중앙부	232.48	320.14	1.3770	N.G	243.41	275.68	1.1326	N.G
	내단부	432.25	346.98	0.8027	0.K	261.53	273.24	1.0448	N.G

3.2 제5장 제2절 3. 액서포트 보강 전 기둥의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	축력	강축 모멘트	약축 모멘트	내력비	비고
		P_r	M_{uy}	M_{uz}		
		P_c	M_{cy}	M_{cz}		
C1	소요 강도	1790.51	296.920	7.93190	1.004	N.G
	부재 강도	1797.42	-295.10	7.7148		
	소요 강도	2214.99	269.022	4.67201	1.036	N.G
	부재 강도	2295.63	278.805	4.72444		
	소요 강도	1355.99	319.226	10.3670	1.056	N.G
	부재 강도	1405.09	333.895	-10.954		
	소요 강도	1350.33	322.747	2.25875	1.339	N.G
	부재 강도	1833.09	-432.31	3.06336		
	소요 강도	1072.12	330.792	20.1278	0.966	O.K
	부재 강도	1014.92	-319.44	18.7730		
	소요 강도	1168.07	334.217	5.74906	1.176	N.G
	부재 강도	1348.09	381.903	-6.7615		
	소요 강도	845.960	349.748	7.80942	1.059	N.G
	부재 강도	899.594	-370.39	8.27905		
	소요 강도	198.380	311.991	20.0198	1.574	N.G
	부재 강도	319.321	-491.09	30.0679		
	소요 강도	209.935	306.966	42.3556	1.306	N.G
	부재 강도	286.507	418.305	-55.337		
	소요 강도	224.789	319.190	4.52923	1.977	N.G
	부재 강도	428.461	614.983	-8.9521		
소요 강도	352.612	300.843	18.1684	1.151	N.G	
부재 강도	392.424	376.162	20.9054			
소요 강도	360.695	332.060	17.0842	1.025	N.G	
부재 강도	369.579	334.746	16.6835			
C3	소요 강도	382.813	176.993	65.5075	1.221	N.G
	부재 강도	465.676	-214.28	-79.995		
	소요 강도	573.163	200.142	35.3207	1.073	N.G
	부재 강도	610.119	214.951	-37.888		

4.1 제5장 제3절 가. 책서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	Moment				Shear			
		부재 강도	소요 강도	내력비	비교	부재 강도	소요 강도	내력비	비교
2G1	외단부	233.13	56.40	0.0019	0.K	269.43	134.07	0.4976	0.K
	중앙부	232.11	122.02	0.0012	0.K	243.41	98.53	0.4048	0.K
	내단부	233.13	45.30	0.0012	0.K	269.43	149.94	0.5565	0.K
2G2	외단부	232.11	64.19	0.2766	0.K	312.80	64.88	0.2074	0.K
	중앙부	232.11	136.40	0.5876	0.K	243.41	107.07	0.4399	0.K
	내단부	232.11	180.79	0.7789	0.K	312.8	269.74	0.8623	0.K
2G2A	외단부	232.48	8.30	0.0357	0.K	269.43	118.60	0.4402	0.K
	중앙부	232.11	83.47	0.3596	0.K	243.41	93.75	0.3852	0.K
	내단부	232.48	53.73	0.2311	0.K	269.43	28.32	0.1051	0.K
2G3	외단부	232.11	47.90	0.2064	0.K	243.41	87.34	0.3588	0.K
	중앙부	232.11	13.87	0.0598	0.K	243.41	47.10	0.1935	0.K
	내단부	232.11	54.61	0.2353	0.K	243.41	92.76	0.3811	0.K
2G3A	외단부	232.11	4.09	0.0176	0.K	243.41	25.18	0.1034	0.K
	중앙부	232.11	39.88	0.1718	0.K	243.41	51.62	0.2121	0.K
	내단부	232.11	5.07	0.0218	0.K	243.41	14.94	0.0614	0.K
2G4	외단부	232.48	110.79	0.4765	0.K	269.43	168.89	0.6268	0.K
	중앙부	232.11	151.95	0.6547	0.K	269.43	85.83	0.3186	0.K
	내단부	232.48	109.08	0.4692	0.K	269.43	170.90	0.6343	0.K
2G5	외단부	232.11	161.59	0.6962	0.K	312.80	253.01	0.8089	0.K
	중앙부	232.11	106.46	0.4586	0.K	243.41	240.34	0.9874	0.K
	내단부	232.11	142.97	0.6160	0.K	312.80	210.93	0.6743	0.K
3~5G1	외단부	233.13	88.37	0.3791	0.K	269.43	218.45	0.8108	0.K
	중앙부	232.11	194.70	0.8388	0.K	243.41	135.01	0.5547	0.K
	내단부	233.13	63.28	0.2714	0.K	269.43	217.71	0.8080	0.K
3~5G2	외단부	497.32	280.70	0.5644	0.K	259.27	185.92	0.7171	0.K
	중앙부	232.11	171.99	0.7410	0.K	243.41	168.48	0.6922	0.K
	내단부	497.32	386.16	0.7765	0.K	259.27	224.05	0.8642	0.K
3~5G3	외단부	232.11	114.53	0.4934	0.K	243.41	92.47	0.3799	0.K
	중앙부	232.11	36.41	0.1569	0.K	243.41	78.02	0.3205	0.K
	내단부	232.11	76.08	0.3278	0.K	243.41	79.14	0.3251	0.K
3~5 G3A	외단부	232.11	10.65	0.0459	0.K	243.41	47.58	0.1955	0.K
	중앙부	232.11	65.48	0.2821	0.K	243.41	64.43	0.2647	0.K
	내단부	232.11	17.23	0.0742	0.K	243.41	27.74	0.1140	0.K
RG1	외단부	232.48	88.88	0.3823	0.K	269.43	185.91	0.6900	0.K
	중앙부	232.11	193.37	0.8331	0.K	243.41	127.63	0.5243	0.K
	내단부	232.48	66.35	0.2854	0.K	269.43	147.71	0.5482	0.K
RG2	외단부	432.25	198.97	0.4603	0.K	261.53	148.62	0.5683	0.K
	중앙부	232.48	168.60	0.7252	0.K	243.41	148.62	0.6106	0.K
	내단부	432.25	262.65	0.6076	0.K	261.53	137.67	0.5264	0.K

RG3	외단부	232.11	110.88	0.4777	0.K	243.41	88.47	0.3635	0.K
	중앙부	232.11	36.20	0.1559	0.K	243.41	74.53	0.3062	0.K
	내단부	232.11	60.06	0.2588	0.K	243.41	68.69	0.2822	0.K
RG3A	외단부	232.11	13.94	0.0600	0.K	243.41	43.22	0.1776	0.K
	중앙부	232.11	65.46	0.2820	0.K	243.41	65.12	0.2675	0.K
	내단부	232.11	16.37	0.0705	0.K	243.41	27.82	0.1143	0.K

4.2 제5장 제3절 가. 책서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	축력	강축 모멘트	약축 모멘트	내력비	비고
		P_r	M_{uy}	M_{uz}		
		P_c	M_{cy}	M_{cz}		
C1	소요 강도	278.683	323.353	13.3880	0.735	0.K
	부재 강도	208.748	242.883	-9.8401		
C2	소요 강도	159.351	272.247	4.11406	0.572	0.K
	부재 강도	93.3081	-155.82	-2.3201		
C3	소요 강도	1080.02	165.183	71.1182	0.633	0.K
	부재 강도	696.415	-104.64	-44.450		

5.1 제5장 제3절 나. 책서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	Moment				Shear			
		부재 강도	소요 강도	내력비	비고	부재 강도	소요 강도	내력비	비고
2G1	외단부	233.13	61.93	0.2657	0.K	269.43	151.94	0.5639	0.K
	중앙부	232.11	129.51	0.5580	0.K	243.41	107.57	0.4419	0.K
	내단부	233.13	54.29	0.2329	0.K	269.43	165.59	0.6146	0.K
2G2	외단부	232.11	94.30	0.4063	0.K	312.80	80.39	0.2570	0.K
	중앙부	232.11	186.89	0.8052	0.K	243.41	132.99	0.5464	0.K
	내단부	232.11	206.89	0.8913	0.K	312.80	294.73	0.9422	0.K
2G2A	외단부	232.48	17.44	0.0750	0.K	269.43	135.06	0.5013	0.K
	중앙부	232.11	88.64	0.3819	0.K	243.41	103.42	0.4249	0.K
	내단부	232.48	56.29	0.2421	0.K	269.43	30.23	0.1122	0.K
2G3	외단부	232.11	25.86	0.1114	0.K	269.43	96.62	0.3970	0.K
	중앙부	232.11	37.94	0.1635	0.K	269.43	54.03	0.2220	0.K
	내단부	232.11	23.15	0.0997	0.K	269.43	102.44	0.4208	0.K
2G3A	외단부	232.11	41.88	0.1804	0.K	243.41	64.06	0.2632	0.K
	중앙부	232.11	64.95	0.2798	0.K	243.41	66.31	0.2724	0.K
	내단부	232.11	15.95	0.0687	0.K	243.41	27.22	0.1118	0.K

2G4	외단부	232.48	118.19	0.5084	0.K	269.43	179.47	0.6661	0.K
	중앙부	232.11	161.16	0.6943	0.K	269.43	91.29	0.3388	0.K
	내단부	232.48	116.52	0.5012	0.K	269.43	181.59	0.6740	0.K
2G5	외단부	232.11	172.42	0.7428	0.K	312.80	270.48	0.8647	0.K
	중앙부	232.11	108.56	0.4677	0.K	243.41	257.05	1.0560	N.G
	내단부	232.11	1.17	0.0050	0.K	312.80	225.96	0.7224	0.K
3~5G1	외단부	233.13	96.69	0.4148	0.K	269.43	235.30	0.8733	0.K
	중앙부	232.11	204.36	0.8804	0.K	243.41	146.17	0.6005	0.K
	내단부	233.13	73.56	0.3155	0.K	269.43	232.27	0.8621	0.K
3~5G2	외단부	497.32	308.06	0.6194	0.K	259.27	197.97	0.7636	0.K
	중앙부	232.11	200.78	0.8650	0.K	243.41	180.35	0.7409	0.K
	내단부	497.32	420.61	0.8458	0.K	259.27	238.82	0.9211	0.K
3~5G3	외단부	232.11	124.84	0.5378	0.K	243.41	100.13	0.4114	0.K
	중앙부	232.11	40.39	0.1740	0.K	243.41	84.27	0.3462	0.K
	내단부	232.11	82.60	0.3559	0.K	243.41	85.51	0.3513	0.K
3~5 G3A	외단부	232.11	55.92	0.2409	0.K	243.41	75.27	0.3092	0.K
	중앙부	232.11	9.66	0.0416	0.K	243.41	75.27	0.3092	0.K
	내단부	232.11	8.06	0.0347	0.K	243.41	34.65	0.1424	0.K
RG1	외단부	232.48	97.11	0.4177	0.K	269.43	197.78	0.7341	0.K
	중앙부	232.11	203.38	0.8762	0.K	243.41	137.57	0.5652	0.K
	내단부	232.48	76.09	0.3273	0.K	269.43	155.63	0.5776	0.K
RG2	외단부	234.10	103.43	0.4418	0.K	261.53	159.67	0.6105	0.K
	중앙부	306.31	191.69	0.6258	0.K	243.41	159.67	0.6560	0.K
	내단부	234.10	115.85	0.4949	0.K	261.53	145.58	0.5567	0.K
RG3	외단부	232.11	120.38	0.5186	0.K	243.41	95.32	0.3916	0.K
	중앙부	232.11	40.09	0.1727	0.K	243.41	80.06	0.3289	0.K
	내단부	232.11	66.42	0.2861	0.K	243.41	73.77	0.3031	0.K
RG3A	외단부	232.11	18.52	0.0798	0.K	243.41	59.17	0.2431	0.K
	중앙부	232.11	76.22	0.3284	0.K	243.41	72.69	0.2986	0.K
	내단부	232.11	20.35	0.0877	0.K	243.41	32.96	0.1354	0.K

5.2 제5장 제3절 나. 책서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	축력	강축 모멘트	약축 모멘트	내력비	비고
		P_r	M_{uy}	M_{uz}		
		P_c	M_{cy}	M_{cz}		
C1	소요 강도	271.728	323.916	7.87782	0.832	0.K
	부재 강도	220.141	263.541	-6.5580		
C2	소요 강도	147.268	270.186	4.45569	0.637	0.K
	부재 강도	95.4319	-172.04	-2.8939		
C3	소요 강도	1020.62	151.170	90.4884	0.719	0.K
	부재 강도	725.751	-108.71	-63.783		

6.1 제5장 제3절 다. 책서포트 보강 후 보의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	Moment				Shear			
		부재 강도	소요 강도	내력비	비고	부재 강도	소요 강도	내력비	비고
2G1	외단부	376.58	247.22	0.6565	0.K	269.43	175.50	0.6514	0.K
	중앙부	232.11	28.64	0.1234	0.K	243.41	91.05	0.3741	0.K
	내단부	376.58	272.95	0.7248	0.K	269.43	175.74	0.6523	0.K
2G2	외단부	232.11	22.86	0.0985	0.K	312.80	32.58	0.1042	0.K
	중앙부	232.11	223.34	0.9622	0.K	243.41	144.86	0.5951	0.K
	내단부	232.11	230.08	0.9912	0.K	312.80	343.91	1.0995	N.G
2G2A	외단부	306.31	239.98	0.7835	0.K	269.43	156.62	0.5813	0.K
	중앙부	232.11	36.97	0.1593	0.K	243.41	96.60	0.3969	0.K
	내단부	306.31	2.73	0.0089	0.K	269.43	55.60	0.2064	0.K
2G3	외단부	232.11	239.73	1.0328	N.G	243.41	216.03	0.8875	0.K
	중앙부	232.11	107.52	0.4632	0.K	243.41	186.60	0.7666	0.K
	내단부	232.11	221.96	0.9563	0.K	243.41	207.57	0.8527	0.K
2G3A	외단부	232.11	215.52	0.9285	0.K	243.41	236.71	0.9725	0.K
	중앙부	232.11	202.21	0.8712	0.K	243.41	236.71	0.9725	0.K
	내단부	232.11	65.48	0.2821	0.K	243.41	79.28	0.3257	0.K
2G4	외단부	232.48	106.71	0.4590	0.K	269.43	147.78	0.5485	0.K
	중앙부	232.11	106.71	0.4598	0.K	269.43	92.44	0.3431	0.K
	내단부	232.48	102.99	0.4430	0.K	269.43	153.36	0.5692	0.K
2G5	외단부	232.11	165.84	0.7145	0.K	312.80	305.48	0.9766	0.K
	중앙부	232.11	79.90	0.3442	0.K	243.41	159.35	0.6547	0.K
	내단부	232.11	247.77	1.0675	N.G	312.80	185.02	0.5915	0.K
2G5	외단부	232.11	152.60	0.6574	0.K	312.80	206.85	0.6613	0.K
	중앙부	232.11	119.54	0.5150	0.K	243.41	156.56	0.6432	0.K
	내단부	232.11	277.76	1.1967	N.G	312.80	183.11	0.5854	0.K
3~5G1	외단부	376.58	330.54	0.8777	0.K	269.43	219.03	0.8129	0.K
	중앙부	232.11	44.84	0.1932	0.K	243.41	134.15	0.5511	0.K
	내단부	376.58	320.99	0.8524	0.K	269.43	190.04	0.7053	0.K
3~5G2	외단부	497.32	275.76	0.5545	0.K	259.27	173.46	0.6690	0.K
	중앙부	232.11	211.84	0.9127	0.K	243.41	173.46	0.7126	0.K
	내단부	497.32	349.18	0.7021	0.K	259.27	189.75	0.7319	0.K
3~5G3	외단부	232.11	235.73	1.0156	N.G	243.41	188.67	0.7751	0.K
	중앙부	232.11	117.08	0.5044	0.K	243.41	191.68	0.7875	0.K
	내단부	232.11	228.78	0.9856	0.K	243.41	209.65	0.8613	0.K
3~5 G3A	외단부	232.11	223.95	0.9648	0.K	243.41	241.88	0.9937	0.K
	중앙부	232.11	216.46	0.9326	0.K	243.41	241.88	0.9937	0.K
	내단부	232.11	82.18	0.3541	0.K	243.41	96.95	0.3983	0.K
RG1	외단부	232.48	106.05	0.4561	0.K	269.43	164.63	0.6110	0.K
	중앙부	232.11	157.74	0.6796	0.K	243.41	124.80	0.5127	0.K
	내단부	232.48	94.02	0.4044	0.K	269.43	110.26	0.4092	0.K

RG2	외단부	432.25	162.95	0.3770	0.K	261.53	90.53	0.3462	0.K
	중앙부	232.48	172.81	0.7433	0.K	243.41	90.53	0.3719	0.K
	내단부	432.25	217.89	0.5041	0.K	261.53	96.96	0.3707	0.K
RG3	외단부	232.11	67.23	0.2897	0.K	243.41	84.31	0.3464	0.K
	중앙부	232.11	62.70	0.2701	0.K	243.41	82.21	0.3378	0.K
	내단부	232.11	52.75	0.2272	0.K	243.41	74.58	0.3064	0.K
RG3A	외단부	232.11	156.70	0.6751	0.K	243.41	174.04	0.7150	0.K
	중앙부	232.11	64.03	0.2758	0.K	243.41	174.04	0.7150	0.K
	내단부	232.11	36.13	0.1556	0.K	243.41	90.60	0.3722	0.K

6.2 제5장 제3절 다. 잭서포트 보강 후 기둥의 구조 안전성 검토 결과

부재	구분	축력	강축 모멘트	약축 모멘트	내력비	비고
		P_r	M_{uy}	M_{uz}		
		P_c	M_{cy}	M_{cz}		
C1	소요 강도	977.503	117.193	29.7086	0.773	0.K
	부재 강도	-753.81	90.6080	23.1508		
C2	소요 강도	49.6928	253.226	7.65870	0.697	0.K
	부재 강도	33.0546	168.623	5.33503		
C3	소요 강도	681.540	100.410	147.004	0.921	0.K
	부재 강도	619.847	-92.515	-129.23		