기존 시설물(건축물) 내진성능

향상요령

2011. 7.

국 토 해 양 부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

한국시설안전공단

<차 례>

제 1 장. 총 칙 ····· 1

1.1 일반사항 ····· 1

1.1.1 구조물의 분류 ····· 1

1.1.2 성능향상설계자의 자격 ····· 1

1.2 내진성능 향상절차 ····· 2

1.2.1 내진성능의 평가 ····· 2

1.2.2 목표성능의 설정 ····· 2

1.2.3 성능향상 마스터플랜의 수립 ····· 3

1.2.4 성능향상설계 ····· 3

1.2.5 내진성능의 확인 (보강후 구조물의 성능평가) ····· 3

1.2.6 시공 및 유지관리 ····· 4

1.3 용어 정의 ····· 4

제 2 장. 내진성능향상방법 ····· 5

2.1 일반사항 ····· 5

2.2 성능향상방법의 분류 ····· 5

2.3 구조형식별 성능향상방법 ····· 8

제 3 장. 내진보강설계법 ····· 13

3.1 일반사항 ····· 13

3.1.1 재료의 강도 ····· 13

3.1.2 설계하중 ····· 13

3.2 휨 설계 ····· 13

3.2.1 일반사항 ····· 13

3.2.2 섬유복합체 보강 ····· 14

3.2.3 강판 보강 ····· 15

3.2.4 증타 보강 ····· 15

3.3 압축 설계 ····· 16

3.3.1 일반사항 ····· 16

3.3.2 섬유복합체 보강 ····· 16
3.3.3 강판 보강 ····· 17
3.3.4 증타 보강 ····· 17
3.4 전단 설계 ····· 18
3.4.1 일반사항 ····· 18
3.4.2 섬유복합체 보강 ····· 18
3.4.3 강판 보강 ····· 19
3.5 기존재료와 보강재료의 접합 ····· 19
3.5.1 신·구 콘크리트 사이의 접합 ····· 19
3.5.1.1 압축력의 전달 ····· 19
3.5.1.2 전단력의 전달 ····· 19
3.5.2 합성수지 접합 ····· 20
3.5.2.1 일반사항 ····· 20
3.5.2.2 콘크리트간의 접합 ····· 20
3.5.2.3 콘크리트와 강판의 접합 ····· 21
3.5.3 기계적 앵커 접합 ····· 21
3.5.4 보강 철근의 정착 ····· 21
3.5.4.1 기존 철근과의 이음 ····· 21
3.5.4.2 기존 콘크리트에 정착 ····· 22
3.6 기초 보강 ····· 22

제 4 장. 강도, 강성, 연성능력의 증대를 통한 내진성능향상방법 ····· 23
4.1 일반사항 ····· 23
4.2 구조시스템의 보강방법 ····· 24
4.2.1 RC부재의 신설에 의한 보강방법 ····· 24
4.2.1.1 전단벽 증설 및 신설 ····· 24
4.2.1.2 버팀벽 추가 ····· 24
4.2.1.3 기둥 날개벽 추가 ····· 24
4.2.1.4. 철근콘크리트 기둥 추가 ····· 24
4.2.2 철골부재의 신설에 의한 보강방법 ····· 25
4.2.2.1 가새 추가 또는 가새 단면 보강 ····· 25
4.2.2.2 내부 가새 프레임 추가 ····· 25
4.2.2.3 기둥 추가 ····· 26
4.2.2.4 단순접합을 모멘트접합으로 보강 ····· 26
4.3 구조부재의 보수보강방법 ····· 27

4.3.1 RC 부재의 보강방법 ····· 27
4.3.1.1 기존 부재에 덧씌우기 ····· 27
4.3.1.2 철근상세 개선 ····· 28
4.3.2 철골부재의 보수보강방법 ····· 28
4.3.2.1. 단면의 보강 ····· 28
4.3.2.2 좌굴 방지 가새 설치 ····· 31
4.3.2.3 스티프너 설치 ····· 31
4.3.2.4 접합부의 보강 ····· 32
4.3.2.5 패널존 보강 ····· 33
4.3.2.6 주각부 보강 ····· 34
4.3.2.7 특수부위의 보강 ····· 34

제 5 장. 에너지소산 장치 ····· 36
5.1 일반사항 ····· 36
5.2 건물목표성능 수준 ····· 36
5.3 에너지소산 장치의 일반적인 요구사항 ····· 36
5.4 에너지소산 장치 모델링 ····· 37
5.4.1 변위의존 장치 ····· 38
5.4.2 속도의존 장치 ····· 38
5.4.2.1 고체형 점탄성 장치 ····· 38
5.4.2.2 유체형 점탄성 장치 ····· 39
5.4.2.3 유체형 점성장치 ····· 39
5.4.3 기타 장치 형식 ····· 40
5.5 선형 절차 ····· 40
5.5.1 선형정적절차(LSP) ····· 40
5.5.1.1 변위의존 장치 ····· 40
5.5.1.2 속도의존 장치 ····· 41
5.5.1.3 설계하중 ····· 42
5.5.2 선형동적절차(LDP) ····· 43
5.5.2.1 변위의존 장치 ····· 43
5.5.2.2 속도의존 장치 ····· 44
5.6 비선형절차 ····· 45
5.6.1 비선형정적절차(NSP) ····· 45
5.6.2 비선형동적절차(NDP) ····· 46
5.7 시스템 상세 요구사항 ····· 47

5.7.1 일반 사항 ····· 47
5.7.2 작동 온도(Operating Temperature) ····· 47
5.7.3 환경 조건 ····· 47
5.7.4 풍하중 ····· 47
5.7.5 검사 및 교체 ····· 47
5.7.6 제품 품질 관리 ····· 48
5.7.7 유지 관리 ····· 48
5.8 설계 검토 ····· 48

부록 A. 내진보강방법 및 공법 ····· 51
A.1 RC 전단벽의 증설 ····· 53
A.2 기둥 날개벽 증설 ····· 56
A.3 RC조에 정착되는 철골 가새의 신설 ····· 57
A.4 RC 버팀벽 신설 ····· 59
A.5 RC 강판전단벽 신설 ····· 60
A.6 기둥과 내력벽의 신설 ····· 61
A.7 충전벽의 신설 ····· 62
A.8 철골조에 연결되는 철골조 가새 신설 ····· 64
A.9 철골조 내진골조 신설 ····· 68
A.10 내진 기둥 신설 ····· 71
A.11 철근콘크리트 기둥의 보강 ····· 72
A.12 철근콘크리트 보의 보강 ····· 76
A.13 철근콘크리트 전단벽의 보강 ····· 78
A.14 철근콘크리트 슬래브의 보강 ····· 79
A.15 철골 보의 보강 ····· 81
A.16 철골기둥의 보강 ····· 87
A.17 접합부 보강 공법 ····· 89

부록 B. 철근콘크리트조 성능향상 예제 ····· 93
B.1 건물개요 ····· 95
B.2 내진성능 향상방법 ····· 97

부록 C. 조적조 성능향상 예제 : 전단벽 추가 ····· 101
C.1 건물개요 ····· 103
C.2 1단계 상세평가 ····· 104

부록 D. 조적조 성능향상 예제 : 조적벽 추가 ····· 111
D.1 건물개요 ····· 113
D.2 1단계 상세평가 ····· 114
D.3 2단계 상세평가 ····· 120

<표 차례>

표 1.1.1 건축물의 구조시스템별 분류 ····· 1
표 1.2.1 요구성능수준 ····· 3
표 2.3.1 철근콘크리트 모멘트골조의 성능향상방법 ····· 8
표 2.3.2 철근콘크리트 전단벽의 성능향상방법 ····· 8
표 2.3.3 철근콘크리트 전단벽+모멘트골조의 성능향상방법 ····· 9
표 2.3.4 철골 모멘트골조의 성능향상방법 ····· 9
표 2.3.5 철골 가새골조의 성능향상방법 ····· 10
표 2.3.6 철골 모멘트 골조+ RC 전단벽의 성능향상방법 ····· 10
표 2.3.7 비보강 조적조의 성능향상방법 ····· 11
표 2.3.8 SRC 모멘트골조의 성능향상방법 ····· 11
표 2.3.9 SRC 모멘트 골조 + 전단벽의 성능향상방법 ····· 12
표 3.2.1 환경감소계수 ····· 15
표 5.5.1 감쇠수정계수 ····· 41

부록 표 B.1.1 원구조물의 Pushover 해석을 위한 모델링 파라메터와 허용수준 ····· 95
부록 표 C.2.1 1층 기본사항 ····· 106
부록 표 C.2.2 1층 기본사항 ····· 106
부록 표 C.2.3 2층 기본사항 ····· 107
부록 표 C.2.4 2층 기본사항 ····· 107
부록 표 C.2.5 1층 상세평가 결과 ····· 108
부록 표 C.2.6 2층 상세평가 결과 ····· 108
부록 표 C.2.7 상세평가 결과 ····· 109
부록 표 D.2.1 1층 기본사항 ····· 116
부록 표 D.2.2 1층 기본사항 ····· 116
부록 표 D.2.3 2층 기본사항 ····· 117
부록 표 D.2.4 2층 기본사항 ····· 117
부록 표 D.2.5 1층 상세평가 결과 ····· 118
부록 표 D.2.6 2층 상세평가 결과 ····· 118
부록 표 D.2.7 상세평가 결과 ····· 119
부록 표 D.3.1 1층 기본사항 ····· 121

부록 표 D.3.2 2층 기본사항 ····· 121
부록 표 D.3.3 1층 상세평가 결과 ····· 122
부록 표 D.3.4 2층 상세평가 결과 ····· 122
부록 표 D.3.5 상세평가 결과 ····· 123

<그림 차례>

그림 1.2.1 내진성능 향상절차 ····· 2
그림 2.2.1 내진성능 향상방법 : 강도향상 ····· 7
그림 2.2.2 내진성능 향상방법 : 연성능력 향상 ····· 7
그림 2.2.3 내진성능 향상방법 : 강도와 연성능력 향상 ····· 7
그림 3.5.1 기존철근과 보강철근의 용접이음 ····· 22
그림 4.2.1 가새 추가 개념도 ····· 25
그림 4.2.2 가새 프레임 추가 개념도 ····· 26
그림 4.2.3 샛기둥 추가 개념도 ····· 26
그림 4.3.1 기둥 단면에 보강판 첨부 개념도 ····· 28
그림 4.3.2 각형강관 기둥에 콘크리트 충전 보강 개념도 ····· 29
그림 4.3.3 H형강 보 상단과 하단의 형강 용접 보강 개념도 ····· 29
그림 4.3.4 H형강 보 상하부 플랜지에 강판용접 보강 개념도 ····· 30
그림 4.3.5 H형강 보 하부에 CT형강 용접 보강 개념도 ····· 30
그림 4.3.6 보강판의 사다리꼴 형태 변화 ····· 31
그림 4.3.7 볼트접합 이음판 주변의 용접보강 개념도 ····· 32
그림 4.3.8 볼트접합 가셋플레이트 주변의 용접보강 개념도 ····· 32
그림 4.3.9 패널존의 이중판 보강 개념도 ····· 33
그림 4.3.10 주각부를 철근콘크리트로 감싼 보강 개념도 ····· 34
그림 5.6.1 할선강성 K_s의 계산 ····· 46

부록 그림 A.1.1 전단벽의 추가 ····· 53
부록 그림 A.1.2 기존 부재와 증설전단벽의 일체화 공법 ····· 54
부록 그림 A.1.3 전단벽의 일체화를 위한 배근상세 ····· 55
부록 그림 A.2.1 기둥 주위에 날개벽을 붙이는 공법 ····· 56
부록 그림 A.2.2 날개벽 증설 공법 상세 ····· 56
부록 그림 A.3.1 가새 설치 공법 ····· 57
부록 그림 A.3.2 철골가새 설치 공법 상세 ····· 58
부록 그림 A.4.1 버팀벽 설치 공법 ····· 59
부록 그림 A.5.1 강판전단벽 설치 공법 ····· 60
부록 그림 A.6.1 추가 내부 전단벽 연결부위 상세 ····· 61

부록 그림 A.6.2 프리캐스트 콘크리트 벽체와 바닥판 연결 부위의 보강공법 상세 ····· 61
부록 그림 A.7.1 철근콘크리트 충전벽 설치 공법 상세 ····· 62
부록 그림 A.7.2 기존 개구부의 충전을 이용한 기존 전단벽체 보강 ····· 62
부록 그림 A.7.3 철근콘크리트 충전벽 상세 ····· 63
부록 그림 A.8.1 보가 없는 H형강 기둥 약축 방향으로 인장가새를 추가하는 보강 상세 ····· 64
부록 그림 A.8.2 보가 있는 H형강 기둥 약축 방향으로 ㄷ형강 인장가새를 추가하는 보강 상세65
부록 그림 A.8.3 각형강관 기둥의 보가 있는 부위에 쌍ㄱ형강 가새를 추가하는 보강 상세 ····· 66
부록 그림 A.8.4 각형강관 기둥의 보가 있는 부위에 CT형강 가새를 추가하는 보강 상세 ····· 67
부록 그림 A.9.1 6각형 가새골조를 추가하는 보강 상세 ····· 68
부록 그림 A.9.2 K형 가새골조를 추가하는 보강 상세 ····· 69
부록 그림 A.10.1 기둥을 추가하는 보강 상세 ····· 71
부록 그림 A.11.1 기둥의 내진성능향상 공법 ····· 73
부록 그림 A.11.2 기둥의 콘크리트 덧씌우기 공법 상세 ····· 73
부록 그림 A.11.3 기둥의 내진성능향상 시공법 ····· 74
부록 그림 A.12.1 보의 내진성능향상 공법: 강판보강법 ····· 76
부록 그림 A.12.2 보의 내진성능향상 공법 : 탄소섬유보강법 ····· 76
부록 그림 A.12.3 커플링 보의 보강공법 상세 ····· 77
부록 그림 A.13.1 철근콘크리트 전단벽의 두께보강 공법 ····· 78
부록 그림 A.14.1 슬래브 두께보강 공법 ····· 79
부록 그림 A.14.2 철근콘크리트 다이아프램 개구부 보강공법 ····· 80
부록 그림 A.14.3 덧침콘크리트를 이용한 다이아프램 개구부 보강 공법 ····· 80
부록 그림 A.15.1 보 플랜지의 커버 플레이트 맞댐용접 상세 ····· 81
부록 그림 A.15.2 보 하부 플랜지의 CT형강 맞댐용접 상세 ····· 82
부록 그림 A.15.3 보 상하부에 플랜지를 가진 헌치 리브 보강 상세 ····· 83
부록 그림 A.15.4 보 상하부에 플랜지가 없는 헌치 리브 보강 상세 ····· 84
부록 그림 A.15.5 삼각 플레이트에 의한 보 플랜지 보강 상세 ····· 85
부록 그림 A.15.6 보 양면 플레이트의 추가 용접 후 ㅁ자형 플레이트가 된 보강 상세 ····· 86
부록 그림 A.16.1 H형강 기둥과 패널존 내부에 철근콘크리트 충전 보강 상세 ····· 87
부록 그림 A.16.2 H형강 기둥에 CT형강 용접 보강 상세 ····· 88
부록 그림 A.17.1 보 플랜지의 커버 플레이트 보강 상세 ····· 89
부록 그림 A.17.2 보 플랜지의 상면을 가우징 후 용접 보강 상세 ····· 90
부록 그림 A.17.3 보 플랜지의 상면과 하면을 가우징 후 용접 보강 상세 ····· 90
부록 그림 A.17.4 웨브 패널에 이중판으로 보강하는 상세 ····· 91

부록 그림 B.2.1 변형능력을 증가시키는 방법 ····· 97
부록 그림 B.2.2 연성능력을 증가시키는 방법 ····· 98
부록 그림 B.2.3 에너지소산형 장치 ····· 99
부록 그림 B.2.4 에너지소산장치 설치형상 ····· 100
부록 그림 B.2.5 변위-의존 에너지소산 장치를 사용한 보강방안 ····· 100
부록 그림 C.1.1 예제건물의 평면도 ····· 103
부록 그림 C.1.2 예제건물의 입면도 ····· 103
부록 그림 C.2.1 1층 해석모델 ····· 104
부록 그림 C.2.2 2층 해석모델 ····· 104
부록 그림 D.1.1 예제건물의 평면도 ····· 113
부록 그림 D.1.2 예제건물의 입면도 ····· 113
부록 그림 D.2.1 1층 해석모델 ····· 114
부록 그림 D.2.2 2층 해석모델 ····· 114
부록 그림 D.3.1 X방향 ····· 120
부록 그림 D.3.2 Y방향 ····· 120

제1장 총 칙

1.1 일반사항

이 요령은 중저층의 기존건축물의 내진성능향상에 있어서의 절차, 성능향상방법별 요구조건 및 설계방법등의 제반사항을 규정한다. 기존 건축물의 내진성능을 평가하는데 관련된 사항은 “기존 건축물의 내진성능 평가요령”을 따른다. 이 요령의 규정을 따르지 않더라도 법적인 지위를 갖는 심의기구에서 허용할 경우 구조공학의 원리에 맞는 정밀한 해석과 합리적인 설계 및 시공절차에 따른 내진보강을 통해 내진성능을 향상할 수 있다.

1.1.1 구조물의 분류

이 향상 요령의 적용대상구조물은 크게 구조재료에 따라 철근콘크리트구조, 철골구조, 조적조, 철골철근콘크리트조로 나뉘며 표 1.1.1과 같이 소분류로 세분할 수 있다.

표 1.1.1 건축물의 구조시스템별 분류

대분류	소분류
철근콘크리트구조 (RC)	RC 모멘트골조
	RC 전단벽+모멘트골조
	RC 전단벽
철골구조 (S)	철골 모멘트골조
	철골 가새골조
	철골 모멘트골조+RC 전단벽
비보강 조적조 (M)	비보강 조적조
철골철근콘크리트조 (SRC)	SRC 모멘트골조
	SRC 모멘트골조 + 전단벽

1.1.2 성능향상설계자의 자격

신뢰할 만한 설계를 위해서 구조물의 내진성능향상을 위한 설계자는 지진공학 및 내진설계에 대한 전문적인 지식을 갖는 건축구조기술사 혹은 이와 동등한 자격을 가진 구조전문가로 제한한다.

1.2 내진성능 향상절차

내진성능향상의 절차는 그림 1.1.1 과 같으며 이 절차에 따라 체계적으로 진행되어야 한다.

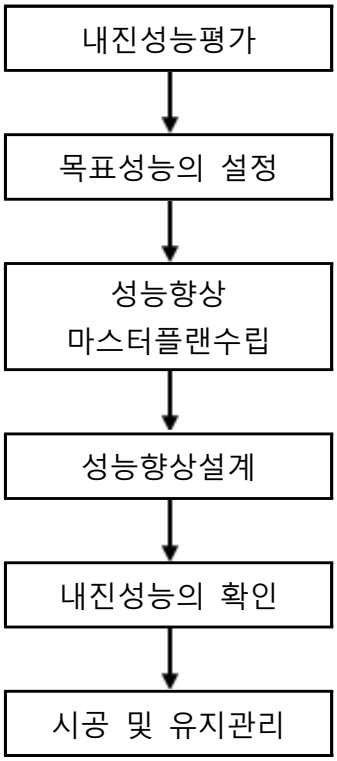


그림 1.2.1 내진성능 향상절차

1.2.1 내진성능의 평가

기존 구조물의 내진성능평가절차는 “기존 건축물의 내진성능 평가요령”을 따른다. 단, 내진성능향상을 목표로 할 경우 상세평가 1단계 이상의 절차를 통해 내진성능을 평가하여야 하며 이때 대상 구조물에 대한 현장조사 및 재료시험을 통해 구조물의 상태 및 구조재료의 노후화를 고려하여 성능평가를 수행하여야 한다.

1.2.2 목표성능의 설정

성능향상 후 대상 건축물이 만족하여야 하는 기본 요구성능수준은 표 1.2.1과 같다. 건축주의 요구에 의해 추가적인 목표성능을 설정할 수 있다. 단, 에너지소산장치에 의해 성능향상을 꾀할 경우 내진평가 기준지진작용시 기준 성능목표로는 거주가능, 혹은 인명안전으로 설정하여야 한다.

[해설]

표 1.2.1은 “기존 건축물의 내진성능 평가요령”에 따른 내진평가기준지진작용시 내진성능등급별 요구성능수준으로써, 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 성능목표는 각각 KBC2009에 따른 내진특등급, 내진 1등급, 내진 2등급의 건물의 요구성능수준에 해당한다. 따라서, 내진성능평가 결과 요구

성능수준을 만족하지 못할 경우 성능향상 후 대상 건축물은 기본적으로 표 1.2.1의 해당 성능수준을 만족하여야 한다. 에너지소산장치를 사용할 경우 기준 성능목표를는 거주가능, 혹은 인명안전으로 제한한 것은 붕괴방지의 성능수준은 구조물에 상당한 비탄성변형이 발생하는 것을 전제로 하는 것이므로 이 경우 설계시 가정한 에너지소산 장치와 구조물 사이의 힘의 분배효과 및 감쇠효과를 보장하기 어렵기 때문이다.

표 1.2.1 요구성능수준

KBC2009의 내진등급	2400년 지진의 2/3 수준의 지진작용시 성능목표
내진특등급	거주가능
내진 1등급	인명안전
내진 2등급	붕괴방지

1.2.3 성능향상 마스터플랜의 수립

성능향상 마스터플랜의 수립단계에서는 성능향상을 위한 방법별로 성능향상 후 구조물의 사용성, 성능향상공사시의 영향범위 및 경제성분석을 통해 기본적인 성능향상방향 및 보강부위, 보강절차 등을 설정한다.

이때, 성능향상방법별로 예상되는 각종 문제점들을 다각적으로 검토하고 그에 대한 대책이 포함되어야 하며 공사 중에 일어나는 환경변화를 고려하여 성능향상계획 및 순서를 점검하여야 한다.

실제의 경우, 보강방법 및 보강부위를 선정하고 보강되는 부재의 능력을 가정한 후 구조해석을 통해 구조물이 전체적으로 목표성능을 만족할 수 있도록 하는 피드백과정을 통해 전체적인 보강방안을 마련하게 된다.

1.2.4 성능향상설계

성능향상 설계 단계에서는 수립된 마스터플랜에 따라 사용가능한 보수보강재료, 시공방법, 건축물의 현재 상태를 고려하여 “3장 보강설계법” 혹은 “5장 지진하중의 저감을 통한 성능향상방법”에 의해 구조설계를 수행한다.

성능향상설계시 보수보강재료와 에너지소산장치의 역학적 특성은 적절한 실험을 수행하여 그 결과를 사용할 수 있다.

1.2.5 내진성능의 확인 (보강후 구조물의 성능평가)

대상 건축물의 성능향상 후 상태를 기준으로 “기존 건축물의 내진성능 평가요령”에 따라 내진평가를

수행하여 목표성능을 만족하는지 확인한다.

보강후 구조물의 내진성능평가에서는 상세 1단계이상의 평가법사용하여야 한다. 에너지소상장치의 설치를 통해 내진성능을 향상시킬 경우 성능확인을 위한 해석법으로는 5장의 규정이외에 시간이력해석법을 사용할 수 있다.

1.2.6 시공 및 유지관리

내진성능 향상 후에 건축물이 목표한 성능을 유지할 수 있도록 정기적인 안전점검을 통하여 사전에 유해요인을 제거하여야 한다.

1.3 용어 정의

이 "내진성능 향상요령"에 사용되는 주요 용어의 정의는 원칙적으로 "내진성능 평가 요령"에 따른다. 그 밖의 용어에 대해서는 아래의 정의를 따른다.

전단벽 : 지진하중에 의한 횡력을 부담하도록 설계된 벽으로 대부분의 전단력을 부담한다.
날개벽 : 철근콘크리트 모멘트 골조 내부에 기둥의 내진성능 향상을 위해 기둥에 덧붙여 설치한 작은 벽체
버팀벽 : 공간상의 제약으로 전단벽이나 날개벽 등의 내진성능 향상을 위한 부재를 건물 내부에 설치하지 못하는 경우 횡하중의 지지를 위해 외부에 별도로 설치되는 벽체
충전벽 : 기존 건물의 개구부를 철근콘크리트를 이용하여 채워 만든 벽체
내화피복재 : 구조물이 화재시 고온에서 일정시간 이상 강도를 유지할 수 있도록 하기 위해 부재에 입히는 재료
뽑힘파괴 : 앵커가 인장력을 받을 때 충분히 콘크리트에 정착되지 못하여 앵커가 뽑혀져 나오는 파괴유형
원추형파괴 : 인장력을 받는 앵커에 의해 원뿔모양의 파괴면을 형성하며 콘크리트가 떨어져 나가는 파괴유형
프라이아웃파괴 : 전단을 받는 앵커의 지렛대 작용으로 콘크리트가 튕겨져 나오듯 일어나는 파괴
인장지배형 부재 : 콘크리트의 압축파괴 이전에 철근이 항복하여 일정한 연성도를 갖는 휨부재
패널존 : 보와 기둥이 교차하는 부분의 웨브와 주변 플랜지 및 스티프너를 포함하는 부위
커버플레이트 : 보 또는 기둥의 플랜지에 이중으로 밀착하여 보강하는 판
CT형강 : 압연H형강을 절반으로 절단한 형강

제2장 내진성능 향상방법

2.1 일반사항

기존 건축물의 평가결과 목표로 하는 성능수준을 만족하지 못하는 부재가 있을 경우 성능향상을 위해서는, 이들 부재 자체를 보강하는 방법, 결함부재를 철거하고 재시공하는 방법, 혹은 결함부재 이외의 다른 부분을 보강하여 결함부재가 성능수준을 만족하도록 하는 방법을 사용할 수 있다.

모든 경우 성능향상이후의 구조물의 내진성능을 이 요령에 제시된 방법을 사용하여 성능수준을 다시 평가하여야 한다.

결함부재를 철거하고 재시공하는 경우, 재시공하는 부재는 현재의 구조설계기준에 따라 요구되는 성능을 만족하도록 설계한다.

결함부재 자체 혹은 타 부위를 보강하는 경우, 보강에 따른 강도, 강성, 변형능력의 변화를 고려하여 구조물의 내진성능을 다시 평가하여야 한다.

기존 구조물과 새로 설치되는 부분 사이의 접합부는 3.5.1의 규정에 따라 평가한다.

2.2 성능향상방법의 분류

기존 건축물의 내진보강방법은 기본적으로 다음과 같은 4가지 방법으로 분류할 수 있으며 내진성능 향상을 위해 이중 하나 혹은 다수를 사용할 수 있다.

가. 신규 부재의 설치
나. 기존 부재의 보강
다. 지진하중의 저감
라. 부재의 제거

[해설]

위에서 제시된 성능향상방법의 분류중 가, 나, 라의 방법은 구조물의 저항능력(Capacity)를 증가시키는 방법으로 전통적으로 많이 사용되어지는 성능향상방법이며 다의 방법은 지진하중에 크기 즉, 요구량(Demand)를 감소시키는 방법이다.

건축물에서는 기둥, 벽, 가새와 같은 수직부재가 구조물의 지진하중 및 수직하중의 저항에 큰 역할을 하므로 대부분의 경우 내진보강은 건축물의 수직부재를 대상으로 한다. 따라서, 내진성능이 부족할 경우 사용되는 가장 일반적인 방법은 추가적인 모멘트 골조, 전단벽, 가새, 혹은 버팀벽의 설치를 통해 전체구조물의 강성 및 강도를 증가시키는 방법과 함께 강재, 콘크리트, 유리섬유, 탄소섬유, 에폭시 등을 이용하여 기존부재의 강도와 변형능력을 증가시키는 방법이다. 또한 연직하중 저항시스템의 낮은 횡변형능력이 문제가 될 경우 추가적인 연직하중저항시스템의 설치가 횡하중저항부재의 보강에 비해 경제적인 방법이 될 수 있다.

이와 같은 신규 구조부재의 설치와 기존 부재의 보강시에는 하중의 흐름이 바뀌므로, 기존 부재를 포함한 하중경로 상의 구조요소가 변화된 하중을 견딜 수 있는지를 확인하여 설계자가 의도한 바와 같은 하중의 분포가 이루어질 수 있도록 접합부, 보강층 하층부의 수직부재, 기초 등의 보강이 적절히 이루어져야 한다.

또한, 가능한 한 부재의 항복순서가 이상적으로 이루어질 수 있도록 즉, 보의 항복이후 기둥이 항복하며, 가새부재의 항복이후 접합부가 항복하고, 기둥과 전단벽의 경우 휨항복이 전단파괴보다 선행하도록 유도하여야 한다.

성능향상을 위한 또 다른 접근방법으로는 상층부를 제거하거나 비구조재를 경량재로 교체하는 방법을 통한 구조물의 중량을 저감시켜 결과적으로 지진하중의 크기를 저감시키는 방법을 사용할 수도 있다. 이 경우 중량의 저감에 따라 구조물의 주기가 짧아지므로 스펙트럼 가속도가 증가할 수도 있다.

또한 제진장치를 통해 구조물의 동특성을 변화시켜 (주로 감쇠비의 증가) 지진하중을 감소시키는 방법을 사용할 수도 있다. 제진장치의 경우 크게 점탄성댐퍼 혹은 이력댐퍼등 감쇠비를 증가시키는 에너지소산장치와 부가질량의 운동을 통해 주구조체의 변위를 감소시키는 동조질량장치로 구분할 수 있다. 이 요령의 5장에서는 에너지소산장치를 이용한 성능향상기법만을 다루고 있다. 동조질량장치의 경우 일반적으로 강진시 내진성능의 향상에는 큰 효과가 없는 것으로 보고되고 있으나 경우에 따라 효과가 있을 것으로 판단될 경우 또한 이 요령에 소개되지 않은 에너지소산장치의 경우에도 구조공학의 원리에 맞는 해석과 설계절차를 통해 성능향상을 위해 사용될 수 있다.

마지막으로는 충분한 변형능력을 가진 부재에 취성적인 거동을 하는 요소가 같이 붙어있을 경우 취성거동 요소를 제거하거나 분리시켜 전체적인 내진성능을 향상시킬 수 있다. 모멘트골조의 기둥사이에 채움벽이 있을 경우 채움벽을 제거하는 방법이 여기에 해당한다.

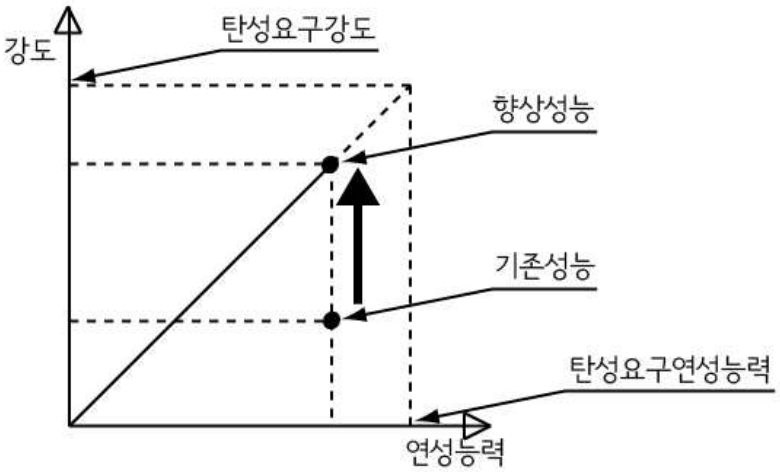


그림 2.2.1 내진성능 향상방법: 강도향상

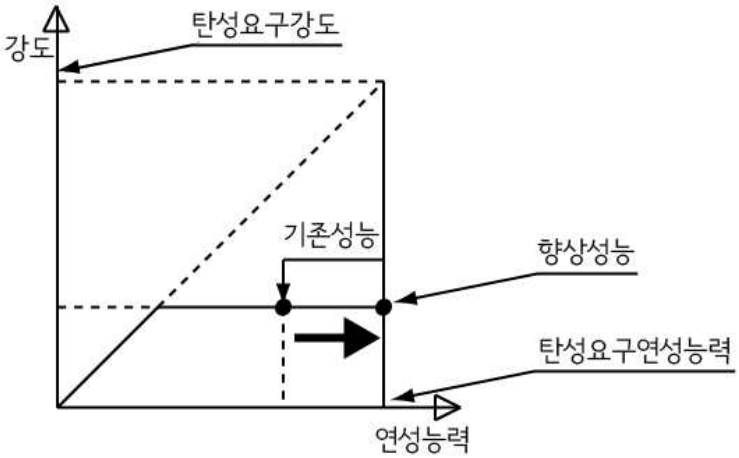


그림 2.2.2 내진성능 향상방법: 연성능력 향상

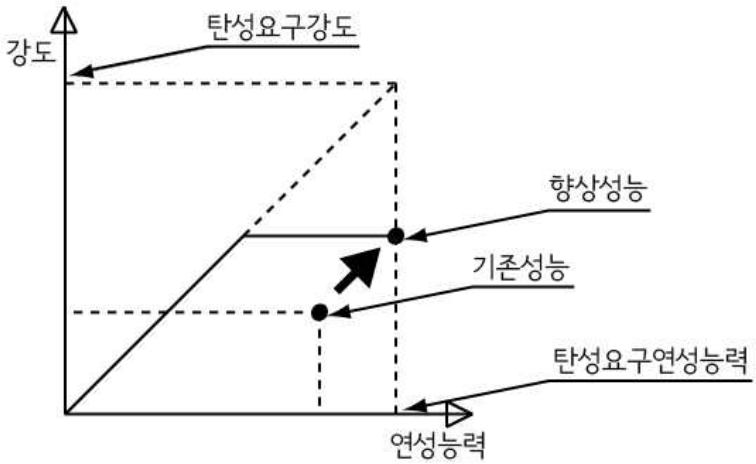


그림 2.2.3 내진성능 향상방법: 강도와 연성능력 향상

2.3 구조형식별 성능향상방법

이 절에서는 표 1.1.1에 따른 구조형식별로 일반적인 성능향상방법을 제시한다. 여기서 제시되지 않는 성능향상방법도 사용될 수 있다.

표 2.3.1 철근콘크리트 모멘트골조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	전단벽의 신설 철골가새의 신설 버팀벽 신설 철근콘크리트기둥신설	강도 및 강성의 증가	4.2.1.1, A-1 4.2.2.1, A-3 4.2.1.2, A-4 4.2.1.4, A-6
기존 부재의 보강	기둥과 보단면적 증가 기둥과 보의 섬유보강 및 강판보강	강도 및 변형능력의 증가	4.3.1.1, A-11, A-12 4.3.1.1, A-11, A-12
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	전단파괴형 기둥의 제거 채움벽 제거	연성거동유도	- -

표 2.3.2 철근콘크리트 전단벽의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	전단벽의 신설 버팀벽 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.1.1, A-1 4.2.1.2, A-4
기존 부재의 보강	전단벽의 섬유보강 전단벽의 콘크리트덧침	강도 및 변형능력의 증가	4.3.1.1, A-13
지진하중의 저감	댐퍼 설치	감쇠비의 증가	5장
부재의 제거	연결보의 제거 채움벽 제거	연성거동유도	- -

표 2.3.3 철근콘크리트 전단벽+모멘트골조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	전단벽의 신설 버팀벽 신설 철골가새의 신설 철근콘크리트기둥신설	강도 및 강성의 증가	4.2.1.1, A-1 4.2.1.2, A-4 4.2.2.1, A-3 4.2.1.4, A-6
기존 부재의 보강	전단벽의 섬유보강 전단벽의 콘크리트덧침 기둥과 보단면적 증가 기둥과 보의 섬유보강 및 강판보강	강도 및 변형능력의 증가	4.3.1.1, A-13 4.3.1.1, A-13 4.3.1.1, A-11, A-12 4.3.1.1, A-11, A-12
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	연결보의 제거 채움벽 제거	연성거동유도	- -

표 2.3.4 철골 모멘트골조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골가새의 신설 전단벽의 신설 강판전단벽의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.1, A-3 4.2.1.1, A-1 A-5
기존 부재의 보강	기둥 단면보강 보 단면보강	강도 및 변형능력의 증가	4.3.1.1, A-11 4.3.1.1, A-12
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	채움벽 제거	연성거동유도	-

표 2.3.5 철골 가새골조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골가새의 신설 전단벽의 신설 강판전단벽의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.1, A-3 4.2.1.1, A-1 -
기존 부재의 보강	가새의 교체 가새의 보강 기둥단면보강 보 단면보강	강도 및 변형능력의 증가	4.2.2.1 4.2.2.1 A-16 A-15
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	채움벽 제거	연성거동유도	-

표 2.3.6 철골 모멘트골조+RC 전단벽의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골가새의 신설 전단벽의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.1, A-3 4.2.1.1, A-1
기존 부재의 보강	기둥 단면보강 보 단면보강 전단벽의 섬유보강 전단벽의 콘크리트덧침	강도 및 변형능력의 증가	A-16 A-15 4.3.1.1, A-13 4.3.1.1, A-13
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	채움벽 제거	연성거동유도	-

표 2.3.7 비보강 조적조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골골조의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.3, A-3
	전단벽의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.1.1, A-1
	대린벽의 설치	강도 및 강성의 증가	4.2.1.2, A-4
기존 부재의 보강	조적벽의 기둥 단면보강	강도 및 변형능력의 증가	-
	보 단면보강		A-12
	조적벽의 섬유보강		-
	조적벽의 콘크리트덧침		-
	개구부의 채움		-
	강재 스크류 앵커보강		-
	코어링 보강		-

표 2.3.8 SRC 모멘트골조의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골가새의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.1, A-3
	전단벽의 신설		4.2.1.1, A-1
			-
기존 부재의 보강	기둥 단면보강	강도 및 변형능력의 증가	4.2.2.1
	보 단면보강		4.2.2.1
	전단벽의 섬유보강		A-13
	전단벽의 콘크리트덧침		A-13
지진하중의 저감	상층부 철거	질량의 감소	-
	댐퍼 설치	감쇠비의 증가	5장
부재의 제거	채움벽 제거	연성거동유도	-

표 2.3.9 SRC 모멘트골조 + 전단벽의 성능향상방법

보강법의 분류	보강방법	효과	비고
신규 부재의 설치	철골가새의 신설 전단벽의 신설	강도 및 강성의 증가	4.2.2.1, A-3 4.2.1.1, A-1
기존 부재의 보강	기둥 단면보강 보 단면보강 전단벽의 섬유보강 전단벽의 콘크리트덧침	강도 및 변형능력의 증가	A-16 A-15 4.3.1.1, A-13 4.3.1.1, A-13
지진하중의 저감	상층부 철거 댐퍼 설치	질량의 감소 감쇠비의 증가	- 5장
부재의 제거	채움벽 제거	연성거동유도	-

제3장 내진보강설계법

3.1 일반사항

내진보강을 위해 신설되는 부재 및 보강되는 부재의 설계는 기본적으로 건축구조기준(KBC2009)을 따른다. 단, 강도감소계수는 사용하지 않으며 재료강도는 휨모멘트와 같이 연성적인 거동의 경우에는 평균강도를, 전단, 압축 및 기존 콘크리트와의 접합부에 발생하는 휨모멘트, 이음, 정착 등 취성적인 거동의 경우에는 공칭강도를 사용한다. 기존 건축물의 재료강도 및 부재특성은 성능평가요령의 방법에 따라 평가한다. 섬유복합체로 부재를 보강할 경우 섬유복합체의 단면적은 에폭시의 화학적 접착력이 갖는 강도 이하로 하여야 하며 이를 초과할 경우 기계적 정착을 병행하여 충분한 정착력을 확보하여야 한다. 또한 강판보강의 경우는 반드시 기계적 정착을 사용하여야 한다.

3.1.1 재료의 강도

가. 기존 건축물의 재료강도는 성능평가 요령을 따른다.

나. 보강 또는 신설되는 부재에 대한 재료의 강도는 공인기관에 의하여 확인된 값을 사용한다. 재료강도의 통계적인 특성이 확인된 경우, 연성거동의 평균강도 산정시 적절한 보정계수를 사용하여 구한 평균강도를 사용할 수 있다.

다. 콘크리트, 철근 및 강재를 제외한 구조재료는 공인기관에 의하여 구조성능, 내구성, 내화성능 등이 확인되어야 한다.

3.1.2 설계하중

가. 하중조합은 성능평가 시와 동일하게 사용한다.

나. 탄소섬유, 철판보강 등의 내화가 입증되지 않은 구조재를 사용하면서 내화피복을 하지 않는 경우에는 다음 조건을 만족하여야 한다.

(1) 비내화 보강재의 보강효과를 제외한 구조체 또는 부재가 중력하중의 75% 이상을 지지하여야 한다.

(2) 지진하중을 포함한 하중조합에 대해서는 비내화 보강재를 포함하는 보강된 부재가 전하중을 지지하여야 한다.

3.2 휨 설계

3.2.1 일반사항

가. 휨 설계 및 해석은 실제 부재의 역학적인 거동을 고려하여 변형률 적합조건 및 힘의 평형조건을 만족하여야 하며, 해석 및 설계시 다음의 가정을 사용할 수 있다.

(1) 부재의 단면은 부재가 휨 변형한 후에도 그 평면을 유지한다.

(2) 콘크리트 압축연단의 최대 압축변형률은 0.003이다.

(3) 보강재와 콘크리트 사이에는 미끄러짐이 발생하지 않는다.

나. 이질 재료 간에는 미끄러짐이나 탈락이 발생하지 않도록 접합되어야 한다. 신·구 재료가 완전 접착이 된 경우에는 모든 재료가 일체로 거동하는 것으로 가정하여 부재의 강도를 산정할 수 있다.

3.2.2 섬유복합체 보강

가. 섬유복합체로 접착 보강된 콘크리트 부재의 공칭휨강도는 콘크리트와 철근에 섬유복합체 보강 효과를 고려하여 식 (3.2.1)로 산정한다. 단, 강도의 증가는 기존의 40%까지만 허용한다.

$$M_n = A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c}{2}) + \Psi_f A_f f_{fe} (h - \frac{\beta_1 c}{2}) \tag{3.2.1}$$

여기서 f_s와 f_{fe}는 각각 인장철근의 응력, 섬유복합체의 유효응력으로 보강공사방법에 따라 철근의 기존변형률의 영향을 고려하여야 한다. A_f는 섬유복합체의 단면적이고, Ψ_f는 부분강도감소계수로서 0.85를 사용한다.

나. 섬유복합체의 인장변형률이 과도한 경우에는 재료의 탈락에 따른 파괴가 발생할 수 있으므로 부재의 공칭휨강도는 이 변형률에 의하여 제한하여야 한다. 변형률 적합성에 근거하여 극한 상태에서 섬유복합체의 유효 변형률은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{fe} = 0.003\left(\frac{d_f - c}{c}\right) - \epsilon_{bi} \leqq \epsilon_{fd} \tag{3.2.2}$$

여기서, ϵ_{fu} 와 ϵ_{bi} 는 각각 섬유복합체의 유효변형률, 모재콘크리트 초기 변형률이다. 박리가 발생할 때 섬유복합체의 유효변형률 ϵ_{fd}는 다음 식과 같다.

$$\epsilon_{fd} = 0.41\sqrt{\frac{f_{ck}}{nE_f t_f}} \leq 0.9\epsilon_{fu} \tag{3.2.3}$$

여기서 n은 섬유복합체 개수, E_f는 섬유복합체의 탄성계수, t_f는 섬유복합체의 두께다. ϵ_{fu}는 섬유복합체의 설계파단변형률로서 다음 식으로 구한다.

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^{*} \tag{3.2.4}$$

여기서 ϵ_{fu}^{*}는 섬유복합체 제조사로부터 제공된 극한인장변형율이며 C_E는 섬유복합체의 종류 및 노출조건에 따른 환경감소계수다. C_E는 다음 표와 같다.

표 3.2.1 환경감소계수

노출조건	섬유 종류	환경감소계수
내부 노출	탄소	0.95
	유리	0.75
	아라미드	0.85
외부 노출	탄소	0.85
	유리	0.65
	아라미드	0.75

다. 보강재는 탈락이나 단부 박리가 일어나지 않도록 설계하여야 한다. 단부 부착면적은 모재의 수평전단응력과 인장응력에 기초하여 산정한다. 섬유복합체는 겹쳐 잇는 방법으로 연속성을 유지할 수 있는데, 소요 겹침길이는 인장강도와 두께, 각 층사이의 접착력에 따라 달라진다. 보강 공법에서 소요 겹침 길이는 재료의 제조자에 의해 제시되어야 하며 실험을 통해 입증되어야 한다.

3.2.3 강판 보강

가. 기존 휨부재의 인장철근이 단배근이고 보 하단에 강판이 보강된 경우 공칭휨강도는 식 (3.2.5)로 산정할 수 있다.

$$M_n = A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c}{2}) + A_{sp} f_{sp} (h - \frac{\beta_1 c}{2}) \tag{3.2.5}$$

여기서 f_s , f_{sp}는 각각 인장철근의 응력, 강판의 응력으로 보강공사방법에 따라 철근의 기존변형률의 영향을 고려하여야 한다.

나. 강판의 단부 박리가 일어나지 않도록 설계하여야 한다. 모재의 수평전단응력과 인장응력에 기초하여 검토하여야 한다.

3.2.4 증타 보강

가. 공칭휨강도의 산정은 일반적인 철근콘크리트 휨부재의 설계방법을 따른다.

나. 기존콘크리트와 증타설된 콘크리트의 충분한 부착을 확보하도록 기존콘크리트의 표면처리 후 증타설 시공되어야 한다.

다. 증타설 보강한 부분에는 보강된 부재의 상세가 KBC2009의 기준을 만족하도록 휨철근과 함께 스터럽 철근을 설치하여야 한다.

라. 보강 강재단면을 사용하는 경우 철근콘크리트 부재와 일체화되도록 철물 앵커 등의 기계적 연결재로서 충분히 부착하여야 한다.

3.3 압축 설계

3.3.1 일반사항

가. 휨과 압축을 동시에 받는 부재의 내력은 휨모멘트와 압축력의 상호작용을 고려한다.

나. 압축부재의 설계 및 해석은 변형률 적합조건 및 힘의 평형조건을 만족하도록 하며, “3.2.1 일반사항”의 가정을 사용할 수 있다.

다. 신·구재료가 완전접착이 된 경우에는 모든 재료가 일체로 거동하는 것으로 가정하여 부재의 압축내력을 산정할 수 있다.

3.3.2 섬유복합체 보강

가. 섬유복합체의 섬유방향은 콘크리트의 횡구속에 의하여 발생하는 인장력에 저항할 수 있도록 배치한다.

나. 섬유복합체로 부재를 횡구속시킨 압축재의 설계압축강도는 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다. 단, 아래 식 (3.3.1)과 식 (3.3.2)은 모멘트에 의한 편심이 부재 장변 길이의 10%이하일 때만 유효하다. 편심이 부재 장변 길이의 10%를 초과할 때는 축력-모멘트 상호작용을 고려해야 한다.

(1) 나선형 철근을 가진 철근콘크리트 부재

$$P_n = 0.85[0.85f_{cc}'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \tag{3.3.1}$$

(2) 띠철근을 가진 철근콘크리트 부재

$$P_n = 0.80[0.85f_{cc}'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \tag{3.3.2}$$

식 (3.3.1)과 (3.3.2)에서 f_{cc}'는 횡구속된 콘크리트의 압축강도이며 다음 식으로 구한다.

$$f_{cc}' = f_{ck}\Psi_f(3.3)\kappa_a f_l \tag{3.3.3}$$

여기서, f_{ck}는 횡구속되지 않은 콘크리트의 압축강도, Ψ_f는 감소계수로서 0.95를 사용하며, κ_a는 단면의 형상을 반영하는 유효계수, f_l은 횡구속응력이다.

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \epsilon_{fe}}{D} \tag{3.3.4}$$

$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \tag{3.3.5}$$

여기서, b와 h는 각각 섬유복합체로 둘러싸인 사각형 기둥 단면의 단변 및 장변 방향 길이다. κ_a는 원형단면일 때는 1.0, 원형단면이 아닌 사각형 단면일 때는 다음 식을 사용한다.

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{b}{h}\right)^2 \tag{3.3.6}$$

여기서, A_c는 섬유복합체로 둘러싸인 사각형 기둥 단면적, A_e는 사각형 기둥에서 섬유복합체로 둘러싸인 콘크리트의 유효 횡구속 면적이다. A_e는 다음 식으로 구한다.

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r_c)^2\right]}{3A_g} - \rho_g}{1-\rho_g} \tag{3.3.7}$$

여기서, r_c는 사각형 단면 모퉁이에서 섬유복합체의 회전 반경, ρ_g는 주철근비, A_g는 기둥의 순 단면적이다.

3.3.3 강판 보강

강판 부착으로 보강된 단면에서는 강판 부착에 의한 콘크리트 압축강도의 증가를 고려하지 않는다. 다만 실험에 의하여 입증된 경우는 그러하지 아니하다.

3.3.4 증타 보강

가. 증타설 부분의 주철근과 띠철근의 이음과 정착은 KBC2009를 따라야 한다.

나. 증타설된 부재는 기존 콘크리트기둥과 완전일체가 되도록 전단연결재를 설치한 경우에는 일체가 된 부재로 가정하고 KBC2009에 따라 설계한다.

다. 기존 압축부재의 둘레를 감싸서 증타설한 부재로서 가. 항을 따른 부재는 일체로 설계할 수 있다.

라. 콘크리트로 증타설한 부재가 기존 콘크리트 기둥과 완전일체가 되지 않은 부재는 각각 부재의 저항능력을 더하여 강도를 계산한다. 이 때 증설되는 부분은 KBC2009를 따라야 한다.

마. 합성부재의 설계도 위의 가.~라. 항을 따른다. 다만, 독립된 강재단면을 사용하는 경우에는 기존 압축부재와 분리되어 독립적으로 하중을 전달하도록 설계하여야 한다.

3.4 전단 설계

3.4.1 일반사항

가. 각 재료의 전단성능을 합하여 부재의 전단내력으로 산정할 수 있다.

나. 전단보강을 하는 경우에도 전단철근과 보강재에 의한 전단강도의 합은 $0.66\sqrt{f_{ck}}b_w d$ 를 초과할 수 없다.

3.4.2 섬유복합체 보강

섬유복합체로 부착 보강된 콘크리트 부재의 공칭전단강도는 콘크리트와 철근에 섬유복합체 보강 효과를 더하여 결정한다.

$$V_n = (V_c + V_s + \Psi_f V_f) \tag{3.4.1}$$

여기서, V_c , V_s , V_f 는 각각 콘크리트, 전단보강근, 섬유복합체가 저항하는 전단강도이며, Ψ_f 는 부분강도감소계수로 다음과 같다.

Ψ_f = 0.95: 전단면의 둘레를 감싼 경우

Ψ_f = 0.85: 양면 혹은 U형으로 부착한 경우

섬유복합체의 전단강도 V_f는 다음 식으로 구한다.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin\alpha + \cos\alpha) d_{fv}}{s_f} \tag{3.4.2}$$

여기서,

$$A_{fv} = 2n t_f w_f \tag{3.4.3}$$

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \tag{3.4.4}$$

여기서, α는 보 수평면과 섬유복합체가 이루는 각, d_{fv}는 보 옆면에서 보강된 섬유복합체의 상부 끝에서 인장측 철근까지의 거리다. w_f는 개별 섬유복합체의 폭이며, ϵ_{fe}는 섬유복합체의 유효변형율로서 다음과 같다.

$$\epsilon_{fe} = 0.75\epsilon_{fu} \le 0.004\text{: 전단면의 둘레를 감싼 경우} \tag{3.4.5}$$

$$\epsilon_{fe} = \kappa_v \epsilon_{fu} \le 0.004\text{: 양면 혹은 U형으로 부착한 경우} \tag{3.4.6}$$

여기서, κ_v는 부착감소계수로서 다음 식으로부터 구한다.

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11,900\epsilon_{fu}} \leq 0.75 \tag{3.4.7}$$

$$L_e = \frac{23,300}{(n_f t_f E_f)^{0.58}} \tag{3.4.8}$$

$$k_1 = \left(\frac{f_{ck}}{27}\right)^{2/3} \tag{3.4.9}$$

$$k_2 = \begin{cases} \dfrac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & : U\text{형 부착} \\ \dfrac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & : \text{양면 부착} \end{cases} \tag{3.4.10}$$

3.4.3 강판 보강

강판으로 접착 보강한 콘크리트 부재의 공칭전단강도는 콘크리트의 전단강도에 강판의 전단보강 효과를 더하여 결정한다.

$$V_n = (V_c + V_s + V_{sp}) \tag{3.4.11}$$

여기서, V_{sp} 는 강판에 의한 공칭전단강도이다.

3.5 기존재료와 보강재료의 접합

기존 콘크리트와의 접합부에 발생하는 전단력, 인장력, 휨모멘트, 지랫대작용(prying action) 등은 하중지배거동으로 본다. 따라서 접합부의 강도는 재료강도의 하한값인 공칭강도에 따라 설계기준과 동일하게 산정하나 강도감소계수 Φ는 1.0으로 한다.

접합부에 균열이 발생할 수 있는 경우 그 접합부의 강도는 50% 저감한다.

3.5.1 신・구 콘크리트사이의 접합

3.5.1.1 압축력의 전달

가. 접촉면에 수직방향 압축강도는 두 재료의 압축강도 중 작은 값으로 한다.

나. 기존 재료와 새로운 재료의 접합면에서 발생하는 국부적인 응력과 변형의 변화는 무시한다.

3.5.1.2 전단력의 전달

가. 보, 기둥 등의 주요 부재에서 접합면의 직각방향으로 압축력이 작용하지 않거나 철근이 배근되

어 있지 않은 경우 부착력은 무시한다.

나. 전단마찰철근을 사용하는 경우, 콘크리트의 접합강도는 무시하며, 철근의 항복강도에 의하여 발생되는 전단미끄러짐 강도만을 고려한다. 전단미끄러짐 강도 산정시에는 다음 사항을 고려한다.

(1) 접촉면에 수직으로 설치된 전단마찰철근에 의한 접촉면의 공칭전단강도 V_n는 다음과 같다.

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \tag{3.5.1}$$

여기서, A_{vf} = 전단마찰철근의 단면적, μ = 전단마찰계수로 미끄러짐면에 대한 철근의 방향을 고려하여야 한다.

(2) 일체로 시공되지 않은 경우, 이질재료의 접합면인 경우에는 미끄러짐 강도를 감소시켜야 한다.

(3) 경량콘크리트를 사용할 경우에는 전단미끄러짐 강도를 감소시킨다.

(4) 압축력이 작용하는 경우에는 이를 고려하여 전단미끄러짐 강도를 증가시킬 수 있다.

(5) 전단미끄러짐 공칭강도 V_n 은 $0.2 f_{ck} A_c$과 $5.6 A_c$을 초과해서는 안 된다. A_c 는 전단력에 저항하는 콘크리트 단면적이다.

(6) 전단마찰철근의 설계항복강도는 400 MPa 를 넘지 않아야 한다.

(7) 전단마찰철근은 접촉면을 따라 균등히 배근되어야 하고 박아넣기, 후크, 정착기구 등을 이용하여 항복강도를 발휘할 수 있도록 충분히 정착되어야 한다.

(8) 기존 콘크리트 위에 새로운 콘크리트를 타설하는 경우, 접촉면을 깨끗하게 하여 레이턴스가 발생하지 않도록 한다.

(9) 기존 강재 부재에 새로운 콘크리트를 스터드나 철근의 용접으로 접착시킬 경우, 강재의 접촉면은 깨끗해야 하고 페인트를 칠해서는 안된다.

3.5.2 합성수지 접합

3.5.2.1 일반사항

가. 합성수지에 의한 직접 인장력의 전달은 무시한다.

나. 전단력의 전달은 환경적 요인과 시간경과에 따라서 부착강도가 저하될 우려가 있는 부분에서는 무시한다.

다. 철근 또는 패스너와 함께 사용하는 경우, 합성수지의 부착강도는 무시한다.

3.5.2.2 콘크리트간의 접합

가. 합성수지로 부착된 접촉면에서의 설계압축강도는 콘크리트의 압축강도와 같은 값을 갖는다.

나. 접촉면에서 전단강도를 사용할 수 있으나. 강도, 내구성 등의 성능은 실험을 통하여 입증되어야 한다. 그러나 온도가 높고 습기가 많은 환경에서는 접촉면의 전단강도에 대한 부착력의 기여를 무시한다.

다. 접촉면에 전단력과 압축력이 함께 작용하는 경우 전단강도는 압축력의 효과를 고려하여 증가시킬 수 있다.

3.5.2.3 콘크리트와 강판의 접합

강판의 내력을 확보하기 위하여 강판 단부에서 콘크리트와 박리가 일어나지 않도록 접합면의 인장력과 전단력에 대하여 충분히 접합한다. 접착길이 l_a 는 강판 단부로부터 적어도 식 (3.10)으로부터 계산한 값 이상이 되어야 한다.

$$l_a = \frac{f_y}{f_t/\gamma_m} t_s \tag{3.5.2}$$

여기서, f_t = 콘크리트의 공칭인장강도, γ_m = 콘크리트의 재료안전계수로 1.5, t_s = 강판 두께

3.5.3 기계적 앵커 접합

기계적 앵커가 사용될 경우 인장강도, 전단강도, 인장과 전단의 조합강도는 콘크리트 구조설계기준의 부록 4의 규정에 의해 산정한다. 단, 강도감소계수 Φ는 1.0으로 한다.

3.5.4 보강 철근의 정착

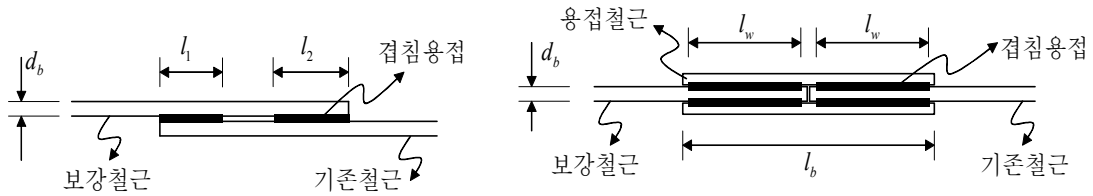
3.5.4.1 기존 철근과의 이음

가. 기존 및 보강 철근은 KBC2009의 규정에 따라 겹침이음한다.

나. 만약 KBC2009의 규정이 요구하는 이음길이를 만족시키지 못할 경우, 보강철근은 직경과 항복강도가 같거나 더 큰 기존 철근에 용접하여 정착시킨다. 단, 철근에 작용하는 응력이 큰 경우 용접하지 말아야 한다.

다. 보강철근이 기존의 철근 옆에 배치되거나 붙어 배근되는 경우 겹침용접한다. 겹침용접의 길이는 적어도 보강철근 직경 d_b 의 15배 이상이어야 한다. 적어도 두 군데 이상에서 용접해야 하고, 모든 용접부위의 용접길이는 $5d_b$ 보다 작지 않아야 한다.

라. 두 철근의 맞댐용접은, 동일한 현장조건에서 표준용접을 실시하여 인장 및 다른 타당한 하중시험을 실시한 경우에 한에서 허용된다. 맞댐 용접 대신, 길이가 $10d_b$ 이상인 두 개의 짧은 용접철근을, 기존 및 보강철근의 길이방향에 대하여 대칭으로 양옆에 겹침용접하여 편심이 없도록 기존 철근과 보강 철근을 잇는 방법을 사용할 수 있다. 용접철근과 이음철근 사이의 겹침용접의 길이는 적어도 $5d_b$ 이상이어야 한다.



$l_1 \geq 5d_b,\ l_2 \geq 5d_b,\ and\ l_1 + l_2 \geq 15d_b$

(a) 겹침이음

$l_b \geq 10d_b,\ and\ l_w \geq 5d_b$

(b) 맞댐이음

그림 3.5.1 기존철근과 보강철근의 용접이음

마. 보강철근을 기존 철근의 옆에 붙여 이을 수 없거나 이음부에 편심이 발생한 경우, 충분한 해석 및 실험으로 증명한 적당한 방법을 사용하여야 한다. 스터럽으로 보강철근을 둘러싸는 경우 정착성능을 크게 향상시킬 수 있다.

바. 모든 경우에 보강철근이 겹침이음되어 있거나 용접되어 있는 기존 철근의 총 정착강도는 구조설계기준에 따른다.

3.5.4.2 기존 콘크리트에 정착

가. 보강철근은 기존의 콘크리트에 정착하거나 다우얼바를 통하여 정착되어야 한다.

나. 앵커 혹은 다우얼바를 이용한 정착강도는 " 3.5.3 기계적 앵커 접합"을 따른다. 접착물 혹은 캡슐을 이용하는 철근을 정착시킬 경우 공급자가 제공하는 상세와 권고사항을 고려하여야 한다.

3.6 기초 보강

가. 기존 건축물의 기초 구조물의 내진성능 향상은 "기존 시설물의 기초 및 지반의 내진성능 향상요령"을 따른다.

나. 기초의 신설, 기존 기초의 보강 및 지반을 개량한 경우 하중이 안전하게 전달되도록 하여야 한다.

다. 부등침하가 발생되지 않도록 하여야 한다.

제4장 강도, 강성, 연성능력의 증대를 통한 내진성능향상방법

4.1 일반사항

보강부위를 고려하여 내진안전성과 경제성이 확보되도록 보강 공법을 선택하여야 하며, 보강한 주요 구조부는 적절한 구조적 성능을 발휘하여야 한다.

보강을 하기 위하여 공사 시방서를 작성하여야 하며, 적절한 공사 순서에 따라 시공하여야 한다. 시방서에는 다음과 같은 공사순서에 따른 내용이 포함되어야 한다.

(1) 각종 조사 결과의 분석, 보강의 시기 및 범위와 규모
(2) 작용하중, 시공 제약조건
(3) 보강공법, 재료의 선정
(4) 보강용 기계 기구
(5) 임시 보강 지지대
(6) 작업 안전 계획
(7) 작업원 배치 및 수
(8) 보강 중, 후의 미관
(9) 보강효과의 확인

보강 재료는 보강 대상 건축물의 종류, 보강 부위 및 보강 공법에 따라 적절한 것을 선정하여야 한다. 보강 재료의 선정 시에는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

(1) 보강에 사용되는 강부재, 강판, 철근, PC 강재 및 연결재, 앵커 볼트 등의 품질은 KS 규격에 적합한 것으로 한다. 기타 보강 재료는 공인기관에 의하여 구조성능과 내구성이 입증되어야 한다.
(2) 프리스트레싱 공법에 사용되는 재료 및 기구의 선정 시에는 현장시공 제약 조건을 고려하여 결정한다.
(3) 에폭시 수지계의 보강재료 선정 시에는 수지의 종류와 피접착재와의 적합성, 시공 시의 조건과 경화 속도 및 강도 발현성에 대하여 충분한 사전 조사를 행한 후 사용 목적에 맞는 적정한 재료를 선택하여야 한다. 또 그 품질의 기준은 KS 규격에 규정한 바에 따른다.
(4) 시멘트계 재료는, 보강 공법의 종류에 따라서 그 품질을 사전에 검토하여야 한다. 가능한 건조수축 및 수화열이 작도록 한다.

보강에 앞서 기존 부재는 원 구조성능을 회복하도록 보수되어야 한다.

4.2 구조시스템의 보강방법

4.2.1 RC부재의 신설에 의한 보강방법

4.2.1.1 전단벽 증설 및 신설

RC 전단벽의 증설 및 신설에 의해 구조시스템을 보강할 경우 보강되는 전단벽의 직하부에 위치한 모든 하부구조와 기초구조의 내력을 검토하여 필요시 보강하여야 하며, 그 방법은 다음과 같다.

가. 전단벽 신설

건물 내부 또는 테두리부분의 모멘트골조의 일부에 철근콘크리트 전단벽을 삽입하여 건축물의 내진성능을 향상시킨다. 이때 전단벽은 평면상 균형적으로, 입면상 연속성이 확보되도록 설치해야 한다.

나. 전단벽의 단면성능증대

기존 전단벽의 두께를 증가시켜 벽체의 단면성능을 향상시킨다. 이 경우 증설된 부분은 기존의 벽체와 일체화하여야 한다.

다. 전단벽으로 치환

기존의 철골가새골조를 철근콘크리트 전단벽으로 치환하여, 또는 기존의 가새골조에 철근콘크리트를 추가하는 합성전단벽으로 보강한다.

4.2.1.2 버팀벽 추가

철근콘크리트 골조 내부에 공간 기능상의 제약으로 전단벽 또는 가새 설치가 불가능한 경우 건물 외측에 버팀벽을 설치한다.

4.2.1.3 기둥 날개벽 추가

철근콘크리트 골조의 기둥에 철근콘크리트 날개벽을 설치하여 내진성능을 향상시킨다. 이 경우 날개벽은 평면적, 입면적으로 균형있게 설치하여야 한다. 이때, 추가된 날개벽 주변 부재의 내력을 검토하고 필요시 강도와 연성도 등의 내진성능을 향상시켜야 한다.

4.2.1.4. 철근콘크리트 기둥 추가

철근콘크리트 골조에 철근콘크리트 기둥을 추가하여 기존 부재에 작용하는 내력을 줄인다. 이 경우 추가되는 기둥과 기존 부재의 강도와 강성이 균형있도록 한다. 또한 기둥은 평면적, 입면적으로 균형있게 배치하여야 한다.

이때, 새로 설치된 기둥과 슬래브는 일체화되어야 하고, 접합부에서 전단에 대한 내진성능이 확보되고 있는지 검토하여야 한다. 또한 새로 설치된 기둥의 기초를 설치하여야 한다.

4.2.2 철골부재의 신설에 의한 보강방법

4.2.2.1 가새 추가 또는 가새 단면 보강

가새 추가 또는 가새 단면의 보강에 의해 내진성능을 향상시킬 경우 사용할 수 있는 방법은 다음과 같으며 이때 추가 또는 보강하는 가새와 함께 가새골조를 형성하는 인접 보와 기둥을 비롯하여, 가새골조 내의 접합부와 기초구조를 보강하여야 한다.

가. 가새 부재 추가

가새골조가 아닌 경우 또는 가새골조이지만 내력이 부족한 경우 가새 부재를 그림 3.2.9 와 같이 추가하여 시스템 전체를 보강한다.

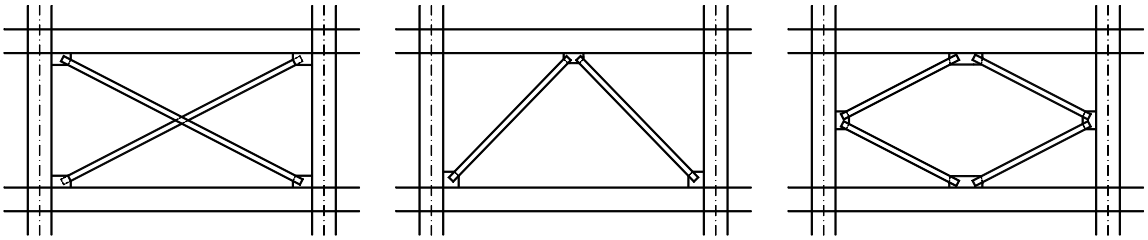


그림 4.2.1 가새 추가 개념도

나. 가새 단면성능 증대

이미 존재하는 가새의 단면성능, 즉 단면적과 단면2차반경을 증대하여 보강한다.

다. 판폭두께비 감소

인장력만 받는 가새로 역할하는 경우 단순히 단면적을 증대시키면 되지만, 인장력과 압축력을 동시에 받는 가새로 역할하는 경우 단면적의 증대뿐만 아니라 국부좌굴을 방지하기 위한 판폭두께비의 감소도 고려한다.

라. 압축가새로 치환

인장력은 저항하지만 압축력에 저항하지 못하는 세장한 가새를 압축가새로 치환하여 좌굴로 인한 부적절한 영향을 방지하여 강도뿐만 아니라 연성도를 증대시킨다.

4.2.2.2 내부 가새 프레임 추가

가새를 추가하여 기존의 기둥과 보의 강도가 부족한 경우에, 그림 4.2.2 와 같이 가새뿐만 아니라 가새주변의 기둥과 보를 신설한 프레임을 기존의 기둥과 보 사이에 삽입하여 보강한다.

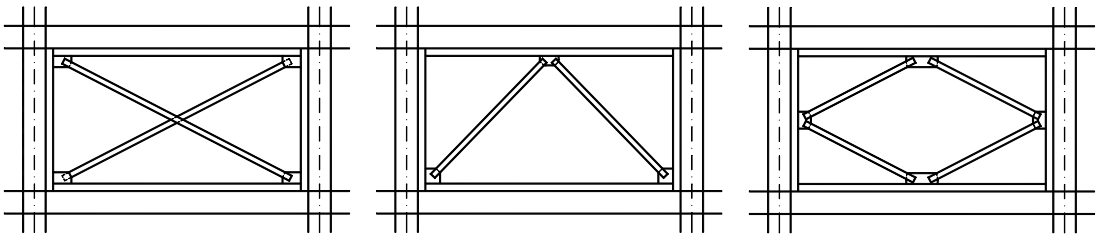


그림 4.2.2 가새 프레임 추가 개념도

4.2.2.3 기둥 추가

철골기둥을 추가하여 내진성능을 보강할 경우 사용될 수 있는 방법은 다음과 같으며, 이때 추가되는 기둥의 하부구조와 기초구조의 내력을 검토하여 보강이 필요할 경우 보강한다. 하부에 기둥이 없을 경우 전이보(transfer girder)의 형태로 하중을 전달되어야 하므로 전이보의 보강여부를 판단하여야 한다. 추가되는 기둥에 하부 구조를 설치하지 않는 경우에는 추가된 기둥을 포함하는 비렌디일보로서 내력을 검토하여야 한다.

가. 모멘트 골조에 기둥 추가

기존의 모멘트 골조에 그림 4.2.3 과 같이 일종의 샛기둥을 추가하여, 보의 강성과 연성도를 증대시킨다.

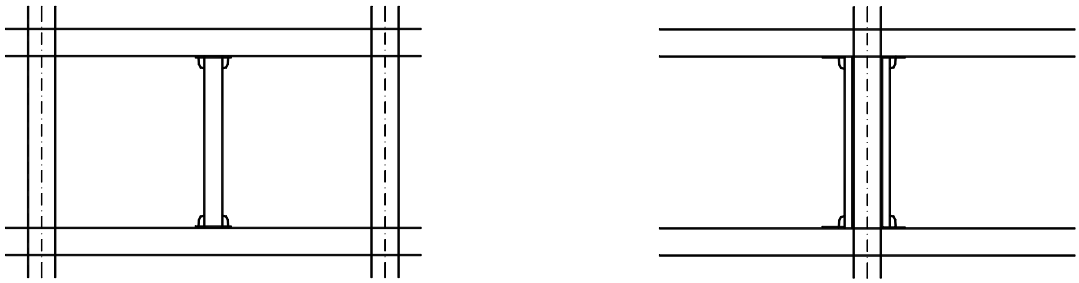


그림 4.2.3 샛기둥 추가 개념도

나. 튜브구조로 기둥 추가

기존의 외곽기둥에 샛기둥을 추가하여, 건물 골조 전체가 일종의 튜브구조로 역할 하도록 보강한다.

4.2.2.4 단순접합을 모멘트접합으로 보강

큰보와 기둥과의 기존 접합이 단순접합인 경우에 상하부 플랜지를 연결하는 모멘트 접합, 즉 일종의 강접합으로 보강한다. 이때, 큰보의 모멘트접합으로 인하여 발생하는 휨모멘트를 추가하여 기둥의 내력을 검토하여야 한다.

4.3 구조부재의 보수보강방법

구조부재 수준의 향상방법은 내진평가를 통해 내진성능이 부족하다고 판단되는 부재들의 전부 혹은 일부의 보강을 통해 구조물전체의 내진성능을 확보하는 방법이다. 즉, 부재에 새로운 재료를 덧붙이거나 단면을 증대시켜 강도 및 연성도를 높이는 내진성능 향상방법으로서, 건물의 강도 요구량이 그다지 크지 않을 경우나 시스템 수준의 내진성능 향상방법을 사용하기 어려운 경우에 사용할 수 있다.

4.3.1 RC 부재의 보강방법

4.3.1.1 기존 부재에 덧씌우기

기존 RC부재를 철근, 강판, 섬유보강체등을 사용하여 보강할 수 있다.

가. 기둥에 용접철망 감기

기존 기둥에 용접철망을 감은 후 콘크리트를 타설하여 부재의 휨 및 축방향 강도와 연성을 향상시킨다.

나. 기둥에 용접폐쇄형 후프 감기

기존 기둥에 용접폐쇄형 후프를 감은 후 콘크리트를 타설하여 부재의 휨 및 축방향 강도와 연성을 향상시킨다.

다. 기둥에 철판 감기

기존 기둥에 철판을 감은 후 기둥과 철판 사이에 모르타르나 에폭시로 충전하여 기둥의 휨, 전단 및 축방향 강도와 연성을 향상시킨다.

라. 기둥에 띠철판 감기

기존 기둥에 띠철판을 감아 연성을 향상시킨다.

마. 기둥의 탄소섬유보강

기둥 둘레에 탄소섬유를 붙여 기둥의 휨 및 축방향 강도 및 연성를 향상시킨다.

바. 보의 강판보강

보의 하단에 강판을 붙여 보의 휨강도를 향상시키거나 보의 측면에 강판을 붙여 전단강도를 향상시킨다.

사. 보의 탄소섬유보강

보 단면의 하부에 탄소섬유를 붙여 보의 휨강도를 향상시키거나 보의 측면에 탄소섬유를 붙여 전단강도를 향상시킨다.

아. 기존벽에 콘크리트 타설하기

기존 벽체에 추가로 콘크리트를 타설하여 벽체의 단면적을 증대시켜, 휨 및 전단강도를 향상시킨다.

자. 기존벽의 강판보강

전단벽에 강판을 설치하여 휨 및 전단강도를 증대시키고 연성능력과 에너지 소산능력을 향상시킨다.

차. 슬래브의 두께보강

슬래브의 두께를 크게하여 휨 및 전단강도를 증대시켜 다이아프램 작용을 확보한다.

카. 슬래브 접합부 보강

슬래브와 수직재 사이 접합부에 철물을 삽입하거나 콘크리트를 추가로 타설하여, 접합부의 휨 및 전단성능, 연성능력 등을 향상시킨다.

4.3.1.2 철근상세 개선

기둥이나 보의 피복콘크리트를 제거하고 철근의 상세를 변경한 후 콘크리트를 새로 타설하여 강도와 연성을 향상시킨다. 이 경우 콘크리트 제거시 중심부의 콘크리트에 손상을 입히지 않도록 해야 한다.

4.3.2 철골부재의 보수보강방법

4.3.2.1. 단면의 보강

철골부재 단면의 보강을 위해 다음과 같은 방법을 사용할 수 있다.

가. 보강판 첨부

단면형상을 보강하여 단면적 또는 단면이차모멘트 등을 그림 4.3.1 과 같이 증대시키는 방법으로서 용접 또는 고력볼트로 보강판을 첨부한다.

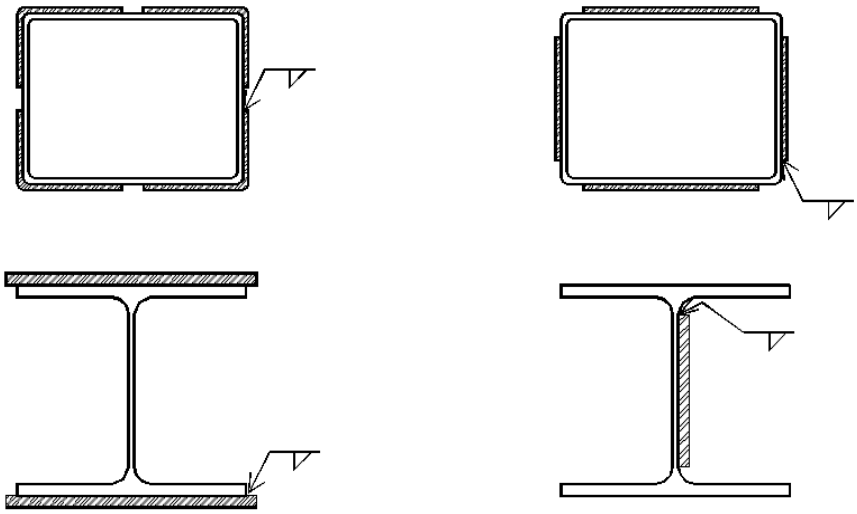


그림 4.3.1 기둥 단면에 보강판 첨부 개념도

나. 기둥 플랜지 보강판 첨부

H형강 기둥에서 플랜지의 덧판으로 또는 H형태를 박스 형태로 보강하기 위하여 보강판을 첨부한다. 다만, 강재 보가 접합하는 부분의 기둥면에 대해서 박스 형태로 보강하는 작업은 곤란할 수 있다. 한편, 세장비가 큰 기둥의 좌굴내력을 증대시키고자 하는 경우에, 보-기둥 접합부 부분에 박스 형태의 보강이 없더라도 기둥 순간격내의 박스형태 보강은 효과적이다.

다. 기둥 웨브 이중판 보강

H형강 기둥에서 웨브의 덧판으로 이중판을 설치하여 보강한다.

라. 기둥 내부 콘크리트 충전 보강

H형강, 각형강관 또는 Box형 기둥에 그림 4.3.2 와 같이 콘크리트를 충전하여 보강하되, 단면 내력뿐만 아니라 국부좌굴 방지의 효과가 있다.

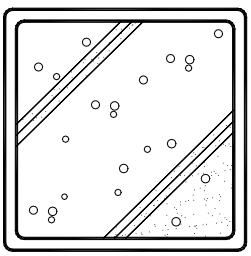


그림 4.3.2 각형강관 기둥에 콘크리트 충전 보강 개념도

마. 보 상부 또는 하부 플랜지에 보강판 첨부

H형강 보에서 상부 또는 하부 플랜지의 덧판으로서 그림 4.3.3 ~ 4.3.5와 같이 H형강을 첨부한

다. 다만, 보 상부에 기존 슬래브가 있는 경우에 상부 플랜지 보강은 작업이 곤란할 수 있다. 한편, 하부 플랜지만 보강하는 경우 상부 플랜지의 응력의 삭감 정도는 매우 적다. 그러나 단면2차 모멘트는 증가되므로 골조 횡변위를 크게 감소시킬 수 있다.

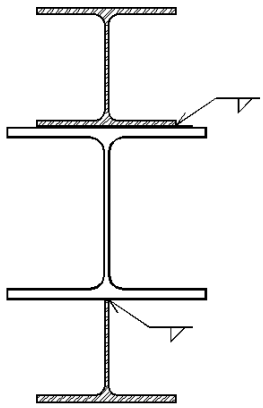


그림 4.3.3 H형강 보 상단과 하단의 형강 용접 보강 개념도

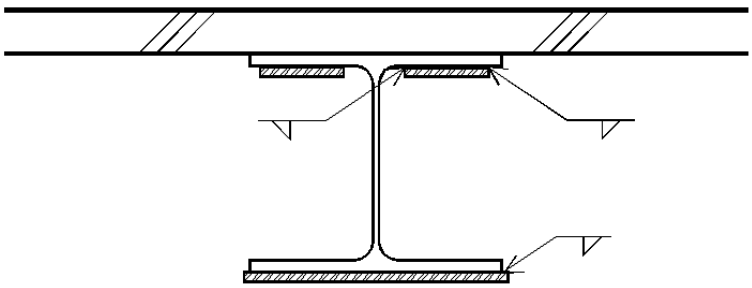


그림 4.3.4 H형강 보 상하부 플랜지에 강판용접 보강 개념도

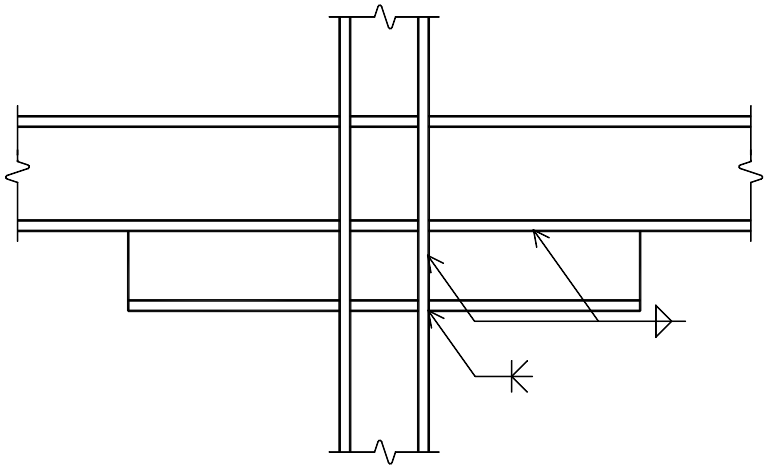


그림 4.3.5 H형강 보 하부에 CT형강 용접 보강 개념도

설계시 고려할 점은 다음과 같다.

(1) 보강판의 길이 산정

H형강 보의 덧판 보강에서 중력하중과 지진하중을 조합한 경우의 휨모멘트도에 근거하여 덧판의 길이를 산정하여야 한다.

(2) 보강판의 급격한 변화 방지

단면계수를 증가시킬 목적의 덧판 또는 헌치가 필요한 시점으로부터 사다리꼴 형태로 단면계수를 감소시키는 방법으로 단면을 점차적으로 감소시켜서 급작스러운 단면변화에 따른 파단 가능성을 방지하여야 한다.

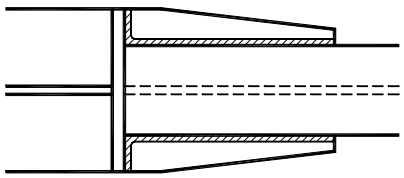


그림 4.3.6 보강판의 사다리꼴 형태 변화

(3) 단면변화에 따른 모멘트 분배 변화 고려

그림 4.3.6 과 같이 보의 단부에만 덧판을 사용한 경우, 보 길이 전체적으로 단면2차모멘트가 등분포가 아니므로 휨모멘트 분배가 달라지게 된다. 덧판을 사용한 부위인 단면2차모멘트가 큰 부위에서 존재 모멘트가 증가하므로, 보 단부에 이러한 모멘트 증대 효과를 고려하여야 한다.

4.3.2.2 좌굴 방지 가새 설치

가. 보 횡좌굴 방지 가새 설치

보의 중앙부인 정모멘트 구간에서는 압축응력을 받는 상부플랜지를 슬래브가 구속하여 횡좌굴이 방지되지만, 보의 단부인 부모멘트 구간에서는 압축응력을 받는 하부플랜지에 횡좌굴이 발생할 우려가 있으므로 적절한 횡지지 가새를 설치하여 보강한다.

나. 압축재의 좌굴 방지 가새 설치

기둥 또는 트러스의 압축 현재가 세장한 경우 좌굴길이를 감소시키는 횡지지 가새를 설치한다.

4.3.2.3 스티프너 설치

가. 국부좌굴 가능 부위에 설치

국부좌굴이 발생할 가능성이 큰 세장판요소나 비콤팩트요소를 포함하는 단면인 경우에 압축응력이 발생하는 세장판요소 주변에 스티프너를 설치한다.

나. 집중하중 부위에 설치

집중하중이 작용하거나 집중반력이 발생하는 부위에 보강스티프너를 설치하여 국부적인 파괴를 방

지한다. 특히, 집중하중이나 집중반력이 인장력인 경우에는 파단의 우려를 검토하여 스티프너를 설치한다.

4.3.2.4 접합부의 보강

접합부를 보강하는 경우에, 특히 응력의 흐름 방향이 급변하는 부위의 접합방법으로서 용접보다는 고력볼트로 시공한다. 용접은 재질과 형상의 변화를 초래하여, 파단 발생에 의한 취성파괴 우려가 있다.

고력볼트 접합에서 너무 촘촘한 볼트 간격은 순단면의 파단 우려가 있으므로 적당한 볼트 간격 유지할 필요가 있다.

보-기둥 접합부에서 보 플랜지의 연속성을 위해 기둥에 스티프너를 설치하여 응력집중에 따른 파단을 방지한다.

가. 용접에 의한 보강

(1) 볼트접합 이음판 주변 용접보강

고력볼트 또는 볼트로 접합되어 볼트 개수가 부족한 경우에 그림 4.3.7 과 같이 이음판 주변을, 그림 4.3.8 과 같이 가셋플레이트 주변을 용접으로 보강한다.

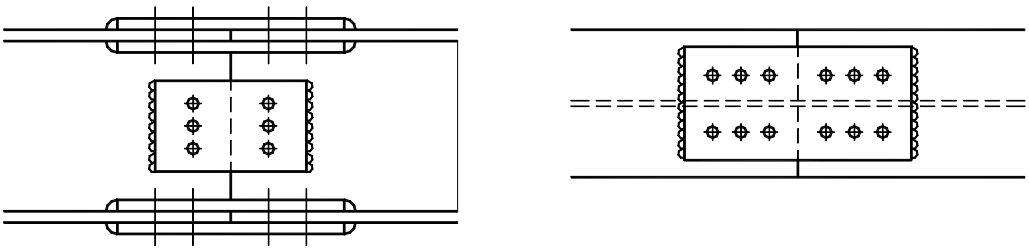


그림 4.3.7 볼트접합 이음판 주변의 용접보강 개념도

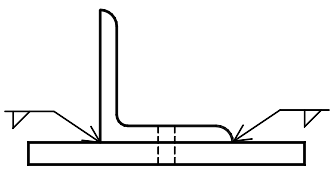


그림 4.3.8 볼트접합 가셋플레이트 주변의 용접보강 개념도

(2) 용접 유효목두께 증대

모살용접에서 유효목 두께가 부족한 경우에 표면 처리한 후에 용접을 추가하여 유효목 두께를 증대 시킨다.

(3) 용접 불량 보강

용접검사에서 확인된 내부 공극 또는 균열부위는 가우징한 후에 재용접을 시행하며, 외부 표면의 용접불량 역시 부분 가우징 후에 재용접을 시행한다.

나. 고력볼트에 의한 보강

(1) 고력볼트만의 추가

기존의 고력볼트 간격이 큰 경우 볼트간 사이에 구멍을 신설하여 고력볼트를 추가한다.

(2) 이음판과 고력볼트 추가

이음판 또는 고력볼트 내력이 추가로 필요한 경우 새로운 이음판을 주변에 신설하여 고력볼트를 추가한다.

4.3.2.5 패널존 보강

패널존의 전단내력이 부족한 경우 그림 4.3.9 와 같이 이중판(doubler plate)으로 보강한다.

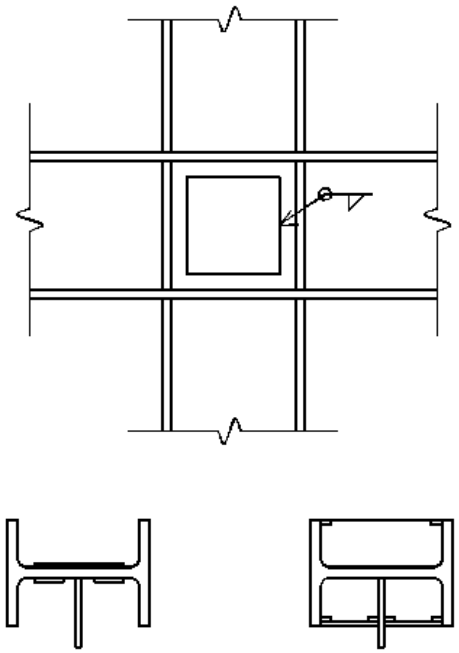


그림 4.3.9 패널존의 이중판 보강 개념도

기둥의 약축 방향으로 보가 없는 경우에는 기둥웨브의 한 면 또는 양 면에 이중판을 설치할 수 있다(그림 4.3.9 위 그림). 기둥의 약축 방향으로 보가 있는 경우에는 보 웨브 접합면 좌우로 나누어서 이중판을 설치할 수 있다(그림 4.3.9 아래 왼쪽 그림). 한편, 기둥 웨브에 이중판을 설치하는 대신에 기둥의 양쪽 플랜지 끝단을 연결하는 형태로 이중판을 설치할 수 있다(그림 4.3.9 아래 오른쪽 그림).

4.3.2.6 주각부 보강

주각부는 지진하중의 증가 또는 상부 골조시스템의 변화에 따라 기둥에 증가된 부재력, 즉 축력과 모멘트, 전단력을 기초로 전달할 수 있어야 한다.

주각부를 구성하는 모든 소재, 즉 베이스 플레이트의 휨내력, 앵커볼트의 인장내력 및 전단내력, 기초판의 지압내력이 확보되었는지를 검토하여 필요시 보강하여야 한다. 내력이 심하게 부족한 경우 그림 4.3.10 과 같이 철근콘크리트로 감싸 주각을 보강할 수 있다.

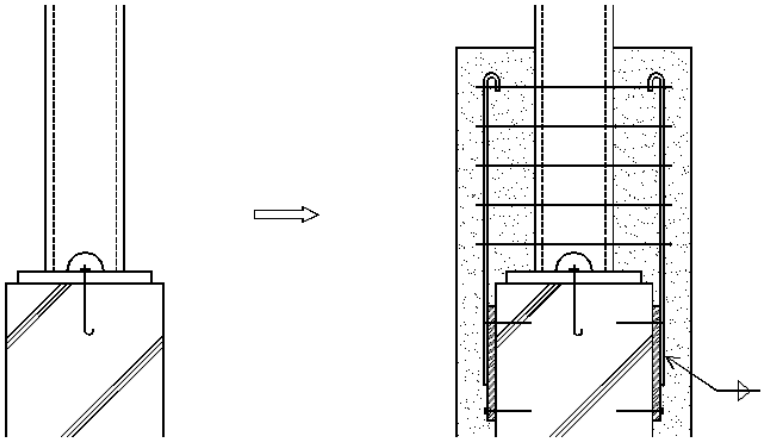


그림 4.3.10 주각부를 철근콘크리트로 감싼 보강 개념도

가. 베이스 플레이트의 보강

기둥에 증가된 축력 또는 모멘트에 의해 베이스 플레이트의 휨내력 증대가 필요한 경우 두께를 증가시키거나, 대신에 윙플레이트 등의 스티프너를 추가하여 보강할 수 있다.

나. 앵커볼트의 보강

인장력 또는 전단력에 저항하는 앵커볼트를 증가시키기 위해서는 베이스 플레이트와 기초판을 천공하여 기계적 정착이음을 사용할 수 있다.

전단력만 전달하는 앵커볼트의 경우 볼트 단부의 앵커링이 불필요하지만, 인장력도 전달하는 경우 볼트 단부의 적절한 앵커링이 필요하다.

4.3.2.7 특수부위의 보강

가. 녹제거와 방청 처리

녹 발생이 심한 경우에 단면적의 부족뿐만 아니라 일종의 노치가 형성되어 파단의 우려가 있으므로 녹을 제거한 후, 노치부분을 매끈하게 간 후 적절한 방청처리를 하여야 한다.

나. 피로 균열 부위 보강

반복하중에 따른 반복응력이 발생되는 부위는 피로 균열 여부를 검사하여야 하며, 피로 균열이 발생시 보강하여야 한다.

다. 소성변형 부위 보강

응력이 집중되어 또는 충격 등에 의해 소성변형이 발생한 부위는 강판 또는 형강을 첨부하여 추가적인 변형에 따른 파단을 방지하여야 한다.

라. 라멜라 테어링 가능 부위 보강

형강 또는 강판의 두께가 크거나, Z방향의 강재 재질이 미흡한 경우에는 라멜라 테어링의 가능성이 크므로 보강하여야 한다.

제5장 에너지소산 장치

5.1 일반사항

5장은 수동형 에너지소산 장치를 사용하여 건물의 내진보강을 수행하기 위한 해석 및 설계 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다. 수동형 에너지소산 장치를 가지는 건물의 요소 및 부재들은 이 장에서 특별한 요구사항이 없으면 이 기준의 1장~4장의 요구사항을 따른다. 변위의존, 속도의존, 또는 기타로 분류된 수동 에너지소산 장치는 5.3과 5.4절의 요구사항을 따른다. 선형 및 비선형 해석은 각각 5.5절과 5.6절의 요구사항을 따른다. 또한, 5.7절에 정의된 에너지소산 장치에 대한 추가적인 요구사항에 따라야 한다. 에너지소산 장치는 5.8절에 따라 설계가 검토되어야 한다.

5.2 건물목표성능 수준

에너지소산 장치는 건물의 중요도가 특등급 혹은 1등급 구조물로 에너지소산 장치를 설치하여 만족시켜야 할 구조물의 목표성능수준이 거주가능 혹은 인명안전인 경우에만 적용한다.

[해설]

에너지소산 장치는 4장에 기술된 전통적인 강도, 강성, 연성능력의 증대를 통한 내진성능향상방법의 대안으로서 사용되는 것으로 전통적인 방법과 동등한 성능 수준을 달성할 수 있을 것으로 판단되고 있다. 그러나, 에너지소산장치를 사용할 경우 기준 성능목표를 거주가능, 혹은 인명안전으로 제한한 것은 붕괴방지의 성능수준은 구조물에 상당한 비탄성변형이 발생하는 것을 전제로 하는 것으로 비탄성변형이 큰 경우 성능향상설계시 가정한 에너지소산 장치와 구조물 사이의 힘의 분배효과 및 감쇠효과를 보장하기 어렵기 때문이다. 에너지소산상치는 현재까지 국내에서 설계 및 시공이 많이 되지 않아 구조물이 비탄성영역에 있을 때 에너지소산장치의 효과에 대해서 아직 충분한 검증이 이루어지지 않았다. 또한, 비교적 고가인 에너지소산 장치는 일반적으로 건축주가 대상건물이 보강후 우수한 내진성능을 가질 것을 요구하는 경우에 사용되기 때문이기도 하다.

FEMA356에서도 에너지소산 장치는 인명안전 또는 거주가능의 목표성능수준을 달성하기 위해서는 좋은 선택이 될 수 있으나, 붕괴방지를 목표로 할 경우 그 효과는 제한적이므로, 에너지소산 장치가 설치된 건물의 목표성능수준은 거주가능으로 할 것을 권고하고 있다.

5.3 에너지소산 장치의 일반적인 요구사항

에너지소산 장치는 바람, 노후도, 크리프, 피로, 대기 온도, 작동 온도, 습기 또는 손상 물질에 노출 등을 포함한 환경조건을 고려하여 설계하여야 한다. 에너지소산 장치가 적용된 구조물의 해석모델은 수평방향 및 수직방향으로 에너지소산 장치의 분포(갯수 및 위치)에 의한 영향을 고려할 수 있어야

하며, 또한 장치의 진동수, 대기 및 작동 온도, 속도, 하중의 크기, 그리고 양방향 하중 등에 의한 장치의 의존성을 고려하여 수행하여야 한다.

에너지소산 장치는 다음의 기준에 따라 재현주기 2400년의 2/3수준인 평가기준지진하중에서 계산된 최대응답보다 변위의존 장치는 더 큰 변위, 속도-의존 장치는 더 큰 속도에 저항할 수 있어야 한다.

(1) 4개 이상의 에너지소산 장치가 건물의 주축방향 중 한축에 평행하게 특정 층에 설치되고, 고려방향으로 그 층의 강성 중심을 기준으로 양방향으로 각각 2개 이상씩으로 배치된 경우, 양단에 배치된 에너지소산장치는 평가기준지진작용시 그 지점에서 발생하는 최대응답의 130%의 응답에 해당하는 하중을 견딜 수 있어야 한다. 즉, 변위의존장치의 경우 최대변위의 130%의 변위가 발생할 때의 힘을, 속도의존장치의 경우 최대속도의 130%의 속도가 발생할 때의 힘을 저항할 수 있어야 한다.

(2) 4개 미만의 에너지소산 장치가 건물의 주축방향 중 한축에 평형하게 특정 층에 설치되거나, 고려방향으로 그 층의 강성 중심을 기준으로 양방향으로 2개 미만이 배치된 경우, 양단에 배치된 에너지소산장치는 평가기준지진작용시 그 지점에서 발생하는 최대응답의 200%의 응답에 해당하는 하중을 견딜 수 있어야 한다.

에너지소산 장치와 연결된 구조부재와 접합부는 위의 1)과 2)에 제시된 하중작용시 선형 탄성을 유지해야 한다.

[해설]

이 장에 기술된 선형 및 비선형 정적해석 방법을 사용하는 경우 건물의 지붕층 변위는 비교적 정확하게 예측할 수 있으나, 에너지소산장치가 설치된 지점에서의 층간변위 및 인접 층간의 상대속도 값은 정확도가 떨어질 수 있다. 따라서 이 기준은 에너지소산 장치가 해석으로 계산한 최대값보다 더 큰 변위 혹은 속도에 저항할 수 있는 능력을 갖추도록 요구한다. 각 층에서 각 주축방향으로 4개 이상의 장치가 설치된 건물의 응답이 각 주축 방향으로 그보다 작은 수의 장치가 있는 골조보다 더 신뢰도가 높을 것이므로 에너지소산 장치에 요구되는 변위(혹은 속도) 능력의 증가는 에너지소산 시스템의 여유도의 수준에 따라 좌우된다고 할 수 있다. 또한, 에너지소산 장치를 지지하는 구조체와 접합부는 이러한 에너지소산 시스템에 추가적으로 요구되는 힘에 대하여 탄성을 유지하도록 설계되어야 전체 건물이 목표성능수준을 안정적으로 달성할 수 있다.

5.4 에너지소산 장치 모델링

에너지소산 장치는 장치가 구현하는 감쇠력 특성에 따라 변위의존, 속도의존, 그리고 그 이외의 기타 장치로 분류된다. 변위의존 장치는 강체소성(마찰형댐퍼), 이선형(금속항복형댐퍼), 또는 삼선형 이력거동을 보이는 장치이다. 변위의존 장치의 응답은 속도 및 진동수에 영향을 받지 않는다. 속도의존 장치는 고체 및 유체 점탄성장치 혹은 유체 점성장치이다. 변위의존형과 속도의존형이 아닌 그 밖의 장치는 기타 장치로 분류한다.

해석모델에는 에너지소산장치에 힘을 전달하는 하중경로에 있는 구조요소의 변형에 의한 효과를 고려할 수 있도록 이들 구조요소 즉, 가새, 접합부, 지반 등의 강성이 모델링되어야 한다.
에너지소산 장치는 별도의 실험이나 해석을 통해 검증된 방법을 사용하지 않는 한 다음의 세부 절에 명시된 대로 모델링한다.

5.4.1 변위의존 장치

변위의존 장치의 특성은 장치 양 끝단 사이의 상대변위와 하중의 관계로 표현된다. 변위의존 장치의 응답은 장치 양 끝단 사의의 상대속도 및 진동주기에 영향을 받지 않는다. 변위의존 장치는 장치의 하중-변위 관계뿐만 아니라, 축력-전단력-휨 상호작용 혹은 2축 변형에 대한 장치의 의존성이 있을 경우, 이를 고려하여 모델링되어야 한다.

실험 자료로부터 변위-의존 장치의 응답을 평가하기 위해서는 변위의존 장치의 힘을 식 (5.4.1)에 따라 계산한다.

$$F = k_{eff} D \tag{5.4.1}$$

여기서 유효강성, k_{eff},는 식 (5.4.2)를 따라 계산한다.

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} \tag{5.4.2}$$

여기서 하중 F^+와 F^-는 각각 장치 양단사이의 상대변위가 D^+와 D^-일 때 발생하는 힘을 나타낸다.

5.4.2 속도의존 장치

5.4.2.1 고체형 점탄성 장치

고체형 점탄성 장치는 스프링과 점성요소을 병렬로 연결한 캘빈모델(Kelvin model)로 이상화한다. 스프링계수과 감쇠계수는 성능향상후 건물의 기본진동수와 장치의 작동온도를 고려하여 선택되어야 한다. 반복하중(cyclic loading) 작용시 점탄성장치의 특성이 변화하여 고정된 스프링계수와 감쇠계수를 사용할 수 없을 경우 성능향상된 구조물의 응답은 스프링계수과 감쇠계수를 변화시키면서 반복적으로 해석하고 그중 최대값 및 최소값으로 표현한다.

점탄성 장치의 힘은 식 (5.4.3)에 따라 계산한다.

$$F = k_{eff} D + C\dot{D} \tag{5.4.3}$$

여기서, C는 점탄성 장치의 감쇠계수, D는 장치의 양단 상대사이의 상대변위, $\dot{D}$ 는 장치의 양단사이의 상대속도, k_{eff}는 식 (5.4.3)에 따라 계산된 장치의 유효강성으로 저장강성(storage stiffness) K'과 같다.

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} = K' \tag{5.4.4}$$

장치의 감쇠비는 식 (5.4.5)에 따라 계산한다.

$$C = \frac{W_D}{\pi \omega_1 D_{ave}^2} = \frac{K''}{\omega_1} \tag{5.4.5}$$

여기서, K''는 손실강성(loss stiffness), 각진동수 ω_1은 $2\pi f_1$, D_{ave}는 변위 D^+와 D^-의 절대값의 평균, 그리고 W_D는 한 사이클 동안 장치의 힘-변위 응답곡선 내부의 면적이다.

5.4.2.2 유체형 점탄성 장치

유체형 점탄성 감쇠장치는 스프링과 점성을 직렬로 연결한 맥스웰모델(Maxwell Model)로 이상화한다. 스프링계수과 감쇠계수는 성능향상 후 건물의 기본진동수와 장치의 작동온도를 고려하여 선택한다. 반복하중(cyclic loading) 작용시 점탄성장치의 특성이 변화하여 고정된 스프링계수와 감쇠계수를 사용할 수 없을 경우 성능향상된 구조물의 응답은 스프링계수과 감쇠계수를 변화시키면서 반복적으로 해석하고 그중 최대값 및 최소값으로 표현한다.

5.4.2.3 유체형 점성장치

성능향상 후 구조물 고유진동수의 50%~200%의 진동수범위에서 선형강성, 즉 힘이 변위에 비례하는 특성을 가지는 유체형 점성장치는 선형강성과 감쇠계수를 가지는 유체형 점탄성장치로 모델링한다.
성능향상 후 구조물 고유진동수의 50%~200%의 진동수범위에서 강성이 없는 장치의 경우 힘은 식 (5.4.6)으로 모델링한다.

$$F = C_o |\dot{D}|^{\alpha} sgn(\dot{D}) \tag{5.4.6}$$

여기서 C_o 는 장치의 감쇠, α는 장치의 속도지수, $\dot{D}$ 는 장치양단 사이의 상대속도, $sgn(\cdot)$은 상대속도항의 부호를 나타낸다.

5.4.3 기타 장치 형식

변위의존 또는 속도의존형으로 분류되지 않은 에너지소산 장치는 별도의 실험이나 해석을 통해 검증된 방법을 사용하여 모델링해야 한다. 그러한 모델은 중력, 지진력, 온도하중을 포함한 모든 고려하중 하에서 장치의 힘-속도-변위 응답을 정확하게 모사해야 한다.

5.5 선형 절차

선형 절차는 다음의 기준을 만족할 때만 사용할 수 있다:

가. 부가감쇠의 효과를 포함할 경우 평가용 기준지진 작용시 에너지소산장치를 제외한 구조물의 골조 시스템은 선형탄성범위내에 있어야 한다.

나. 에너지소산에 장치에 의해 증가되는 감쇠의 크기는 해석시 고려되는 모든 모드에서 임계감쇠의 30%를 초과하지 않는다.

다. 개별 에너지소산 장치의 최대변위에서 계산된 할선강성은 성능향상 후 구조물의 해석모델에 포함되어야 한다.

라. 에너지소산 장치의 효과를 고려하여 건물의 정형성을 평가하여야 한다.

5.5.1 선형정적절차(LSP)

5.5.1.1 변위의존 장치

5.5절의 요구사항에 추가해서 다음의 요구사항을 만족한다면 변위의존형 에너지소산 장치가 포함된 구조물을 선형정적절차를 이용하여 해석할 수 있다:

(1) '평가 요령'의 식 (4.2.5)와 식 (4.2.6)을 사용하여 계산한 특정층의 층전단력과 최대층지지력의 비율이 전체층의 계산한 비율의 평균값의 80%에서 120%를 벗어나지 않는다. 최대층지지력은 모든 구조부재, 요소, 에너지소산 장치에 의한 기여분을 포함한다.

(2) 특정층에서 에너지소산 장치에 의한 최대지지력은 골조의 지지력의 50%를 초과하지 않는다. 여기서 지지력은 평가용 기준지진 작용시 예상되는 변위로부터 계산된 값이다. 에너지소산 장치의 최대 지지력 산정시에는 노후화 및 환경적인 효과를 고려하여 계산하여야 한다.

에너지소산장치가 사용된 구조물의 의사횡하중은 '평가 요령'의 식 (4.2.1)에 의해 산정한다. 이때, 에너지소산 장치에 의해 구조물에 부가되는 감쇠효과를 고려하기 위해 응답스펙트럼가속도 S_a는 표 5.5.1 의 감쇠수정계수(damping modification factor) B_1, B_s를 사용하여 다음과 같이 감소된 값을 사용한다.

(1) $T \leq T_0$일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 식 (5.4.7)에 따른다.

(2) $T_0 \leq T \leq T_S$일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 S_{DS}/B_s와 같다.

(3) $T > T_S$일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 식 (5.4.8)에 따른다.

$$S_a = S_{DS}\left[\left(\frac{5}{B_s} - 2\right)\frac{T}{T_s} + 0.4\right] \tag{5.4.7}$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{B_1 T} \tag{5.4.8}$$

여기서, T : 주기 (초), $T_S = (S_{D1}B_s)/(S_{DS}B_1)$, $T_o = 0.2\,T_s$이다.

표 5.5.1 감쇠수정계수

유효 점성감쇠비 (β_{eff}, %)	B_s	B_1
≤ 2	0.8	0.8
5	1.0	1.0
10	1.3	1.2
20	1.8	1.5
30	2.3	1.7
40	2.7	1.9
≥ 50	3.0	2.0

* 사이의 값들은 선형보간하여 사용한다.

유효 점성감쇠비는 식 (5.4.9)를 사용하여 계산한다.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_k} \tag{5.4.9}$$

여기서, β는 구조물 고유의 감쇠비로서 0.05를 사용하며, W_j는 j번째 장치가 변위가 δ_i인 한 사이클을 통해 한 일로써 모든 장치에 대해 합을 구한다. W_k는 골조의 최대변형에너지로 식 (5.4.10)을 사용하여 계산한다.

$$W_k = \frac{1}{2}\sum_i F_i \delta_i \tag{5.4.10}$$

여기서 F_i는 i층에 작용하는 관성력이며 δ_i는 그 때의 층변위로서, 전 층에 걸쳐 합을 구한다.

5.5.1.2 속도의존 장치

5.5절의 요구사항에 추가해서 다음의 요구사항을 만족한다면 속도의존형 에너지소산 장치가 포함된 구조물을 선형정적절차를 이용하여 해석할 수 있다:

(1) 고려 방향으로 한 층의 모든 에너지소산 장치의 최대 지지력이 나머지 골조의 지지력의 50%를 초과하지 않는다. 여기서 지지력은 평가용 지진하중 작용시 예상되는 변위에서 계산된 값이다. 단, 노후 및 환경적인 효과를 고려하여 에너지소산 장치의 최대 지지력을 계산하여야 한다.

(2) '평가 요령'의 식 (4.2.1)의 의사횡하중은, 5.5.1.1 변위-의존 장치와 동일한 과정을 사용하여, 에너지소산 장치에 의해 구조물에 부가되는 감쇠 효과를 고려하기 위해 표 5.5.1 의 감쇠수정 계수를 사용하여 감소된 설계응답스펙트럼 가속도 S_a를 사용하여 계산한다.

유효 점성감쇠비는 식(5.4.11)을 사용하여 계산한다.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_k} \tag{5.4.11}$$

여기서, β는 구조물 고유의 감쇠비로서 0.05를 사용하며, W_j는 j번째 장치가 변위가 δ_i인 한 사이클을 통해 한 일로써 모든 장치에 대해 합을 구한다. W_k는 골조의 최대변형에너지로 식 (5.4.10)을 사용하여 계산한다.

한 사이클을 통해 선형 점성장치 j가 한 일은 식 (5.4.12)로 계산한다:

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T} C_j \delta_{rj}^2 \tag{5.4.12}$$

여기서, T는 속도의존 장치의 강성을 포함한 성능향상후 건물의 고유주기, C_j는 장치 j의 감쇠상수, δ_{rj}는 장치 j의 축을 따라 장치 j의 양단 사이의 상대변위다. 선형 점성장치의 경우 식 (5.4.11)이 아니라 식(5.4.13)을 사용하여 유효감쇠비를 계산할 수 있다:

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{T\sum_j C_j \cos^2\theta_j \delta_{rj}^2}{4\pi \sum_j \left(\frac{w_i}{g}\right)\phi_i^2} \tag{5.4.13}$$

여기서, θ_j는 고려방향과 장치 j가 설치된 각도, δ_{rj}는 고려방향으로 장치 j의 1차 모드의 양단사이의 상대변위, w_i는 i층 바닥의 층중량, ϕ_i는 i층 바닥의 1차 모드 변위이다.

5.5.1.3 설계하중

성능향상 후 건물의 구조요소설계용 하중은 다음과 같은 3개의 다른 경우에 대하여 각각 계산한 후,

이중 최대값을 사용한다.

가. 최대변위가 발생하는 경우 : 건물 각 층에서 횡하중은 '평가요령'의 식 (4.2.5)로 계산한다. 여기서, V는 에너지소산 장치에 의해 부가된 감쇠에 의해 감소된 밑면 전단력이다.

나. 최대 속도가 발생하고 변위가 0인 경우 : 각 에너지소산 장치에서 감쇠력 부분은 식 (5.4.3)또는 식 (5.4.6)로 계산한다. 여기서 상대속도 $\dot{D}$ 는 $2\pi f_1 D$로 계산하며, D는 최대변위가 발생하는 단계에서 계산된 장치 양단 사이의 상대 변위다. 산정된 감쇠력을 장치가 설치된 지점에 최대변위 발생시 건물이 변형형상과 일치되는 방향으로 건물에 가한다. 건물 각 층의 수평방향 관성력은 감쇠력과 동시에 적용하여 각 층의 수평 변위가 '0'이 되도록 한다.

다. 최대 층가속도가 발생하는 경우 : 성능향상 후 건물의 구조요소설계용 하중은 1의 최대변위가 발생하는 경우에서 계산된 설계하중에 CF_1를 곱한 값과 2의 최대속도가 발생하는 경우에서 계산된 설계하중에 CF_2를 곱한 값의 합으로 결정한다.

$$CF_1 = \cos\left[\tan^{-1}(2\beta_{eff})\right] \tag{5.4.14}$$

$$CF_2 = \sin\left[\tan^{-1}(2\beta_{eff})\right] \tag{5.4.15}$$

여기서 β_{eff} 는 식 (5.4.11) 또는 식 (5.4.13)에 정의되어 있다.

5.5.2 선형동적절차(LDP)

선형동적절차는 성능향상후 건물의 각 방향 기본모드 유효감쇠비가 0.3을 초과하지 않을 경우 사용할 수 있다.

5.5.2.1 변위의존 장치

5.5.1절에서 규정한 제한사항을 만족하는 경우, 변위의존 장치를 설치한 내진보강 건물의 해석을 위해 선형동적절차를 적용할 수 있다.

선형동적절차에서는 변위의존형 에너지소산장치의 감쇠효과를 반영하기 위해, 5% 감쇠 응답스텍트럼을 감쇠수정계수 B_s 또는 B_1을 사용하여 수정하여 사용한다. 감쇠수정계수의 값은 모드에 따라 다르다. 중요한 모드의 감쇠수정계수는 그 모드에서 계산된 유효감쇠비 및 표 5.5.1을 통해 결정한다. 유효감쇠비는 5.5.1절에 언급된 것과 유사한 방식을 사용하여 결정한다.

동적해석을 통해 계산된 최대 밑면전단력이 5.5.1절의 선형정적절차를 통해 얻어진 등가밑면전단력의 80% 이하일 경우, 부재 및 요소의 하중과 변형은 선형정적절차에 따른 등가밑면전단력의 80%에 일

치하게 비례적으로 증가시킨다.

5.5.2.2 속도의존 장치

선형동적절차에서는 속도의존형 에너지소산장치의 감쇠효과를 반영하기 위해, 5% 감쇠 응답스텍트럼을 감쇠수정계수 B_s 또는 B_1을 사용하여 수정하여 사용한다. 감쇠수정계수의 값은 모드에 따라 다르다. 중요한 모드의 감쇠수정계수는 그 모드에서 계산된 유효감쇠비 및 표 5.5.1을 통해 결정한다. 유효감쇠비는 5.5.1절에 언급된 것과 유사한 방식을 사용하여 결정한다.

m번째 진동모드의 유효감쇠비(β_{eff-m})는 식 (5.5.1)으로 계산한다.

$$\beta_{eff-m} = \beta_m + \frac{\sum_j W_{mj}}{4\pi W_{mk}} \tag{5.5.1}$$

여기서, β_m은 건물 골조의 m번째 모드의 감쇠비, W_{mj}는 모드층변위 δ_{mi}에 해당하는 한 사이클을 통해 장치 j가 한 일, W_{mk}는 m번째 모드에서 골조의 최대변형에너지로 식 (5.5.2)로 계산한다.

$$W_{mk} = \frac{1}{2}\sum_i F_{mi}\delta_{mi} \tag{5.5.2}$$

여기서, F_{mi}는 m번째 모드의 i층의 층관성력, δ_{mi}는 m번째 모드의 i층 층변위다. m번째 모드에서 한 사이클을 통해 선형 점성장치 j가 한 일은 식 (5.5.3)로 계산한다.

$$W_{mi} = \frac{2\pi^2}{T_m} C_j \delta_{mrj}^2 \tag{5.5.3}$$

여기서, T_m은 속도의존 장치의 강성을 포함한 성능향상후 건물의 m번째 모드의 고유주기, C_j는 장치 j의 감쇠상수, δ_{mrj}는 m번째 모드에서 장치 j의 양단 사이의 상대변위이다.
최대변위발생시에 해당하는 부재력은 이 절에 기술된 방법에 따라 응답스펙트럼법을 사용하여 계산할 수 있으며, 최대속도 및 최대가속도 발생시의 부재력은 5.5.1의 (2) 속도의존형 장치에 기술된 방법을 통해 산정할 수 있다. 이때 조합계수 CF_1과 CF_2는 식 (5.4.14)과 (5.4.15)에 근거해서 m번째 모드에 대한 (β_{eff-m})을 사용하여 결정한다.

동적해석을 통해 계산된 최대 밑면전단력이 5.5.1절의 선형정적절차를 통해 얻어진 등가밑면전단력의 80% 이하일 경우, 부재 및 요소의 하중과 변형은 선형정적절차에 따른 등가밑면전단력의 80%에 일치하게 비례적으로 증가시킨다.

5.6 비선형절차

5.6.1 비선형정적절차(NSP)

성능향상 후 건물의 비선형 해석모델은 에너지소산 장치의 비선형적인 힘-속도-변위 특성과 장치를 지지하는 요소의 기계적인 특성을 포함하여 구성하여야 한다. 강성특성은 목표변위에 상응하는 변형과 '평가요령'의 5.3절에서 정의된 주기 T_e의 역수인 진동수에 일치해야 한다.

외부 진동수 또는 온도에 독립적인 강성 및 감쇠 특성을 지닌 에너지소산 장치는 (1) 목표 변위에서 예상하는 변형, (2) 유효 주기의 역수에 상응하는 진동수에 맞게 모델링한다. 목표 변위 계산에는 식 (5.3.2)를 사용한다.

[해설]

변위의존 에너지소산 장치의 효과는, 건물 강성의 증가와 이에 따른 T_e 의 감소로 인한 목표 변위를 감소시키는 것으로 고려할 수 있다. 이 방법이외에 목표 변위 계산에 다른 방법을 사용하고 에너지소산 장치에 의해 공급되는 추가적인 감쇠를 정확하게 모델링하는 방법을 적용할 수도 있다. 속도-의존 에너지소산 장치의 효과는, 건물 골조의 강성과 등가 점성 감쇠의 증가이다.

가. 변위의존 장치
에너지소산 장치의 강성 특성은 수학적 모델에 포함되어야 한다.

나. 속도의존 장치
목표 변위와 '평가요령'의 식 (5.3.2)의 스펙트럴 가속도는 속도의존 에너지소산 장치에 의해 증가된 감쇠를 반영하기 위해 감소시킨다. 감쇠효과의 계산은 식 (5.6.1)를 사용한다.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_k} \tag{5.6.1}$$

여기서, β는 골조시스템의 감쇠로서 0.05를 사용하며, W_j는 j번째 장치가 변위가 δ_i인 한 사이클을 통해 한 일로써 모든 장치에 대해 합을 구한다. W_k는 골조의 최대변형에너지로 식 (5.4.10)을 사용하여 계산한다.

한 사이클을 통해 선형 점성장치 j가 한 일은 식 (5.6.2)에 근거해 계산한다.

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T_{ss}} C_j \delta_{rj}^2 \tag{5.6.2}$$

여기서, T_{ss}는 속도-의존 장치의 강성을 포함한 성능향상 후 건물의 할선고유주기로서 '평가요령'의 식 (5.3.1)을 사용하나 유효강성(K_e)를 그림 5.1에 있는 목표 변위에서 계산한 할선트 강성(K_s)으로 대체하여 계산한다. C_j는 장치 j의 감쇠상수, δ_{rj}는 목표 변위에 상응하는 지붕층 변위에서 장치 j의 축을 따라 계산된 장치 j의 양단사이의 상대변위이다.

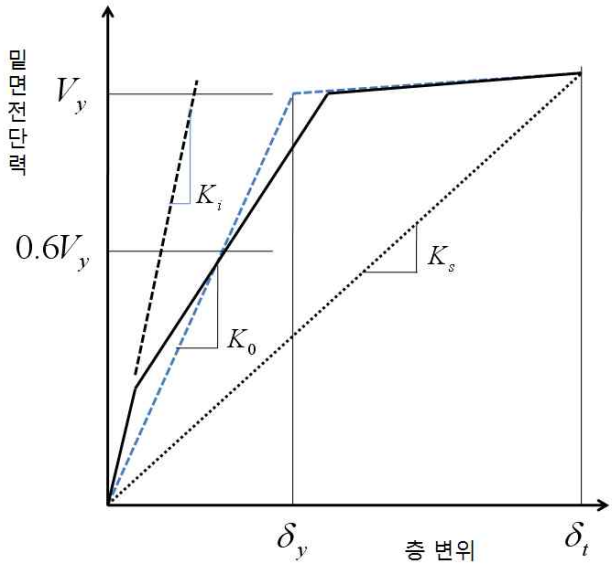


그림 5.6.1 할선강성 K_s의 계산

변위지배 거동은 허용여부 검토시는 성능점에서의 응답을 사용한다.
하중지배 거동은 3가지의 한계상태(최대 변위, 최대 속도, 최대 가속도)에서 계산된 요소의 하중 중 최대하중에 대하여 허용여부를 검토한다.

5.6.2 비선형동적절차(NDP)

에너지소산 장치가 설치된 구조물의 내진성능 평가를 위해 비선형동적절차를 사용할 수 있다. 이 때의 해석모델은 수평방향 및 수직방향으로 에너지소산 장치의 분포(갯수 및 위치)에 따른 영향을 고려할 수 있어야 하며, 해석모델은 성능향상 후 건물의 에너지소산 장치의 수평 및 수직적 분포를 고려해야 한다. 에너지소산 장치가 외력 진동수, 작동 온도(외력에 의한 온도 상승을 포함), 변형(또는 변형율), 속도, 지지력, 양방향 하중들에 영향을 받는다면 이러한 영향은 상한값 또는 하한값을 가정하여 해석에 반영해야 한다. 속도-의존 에너지소산 장치의 점성력은 설계 하중 및 변형의 계산에 포함되어야 한다. 에너지소산 장치의 점성 효과를 비선형 시간이력 해석의 전체 구조물 감쇠로 치환하는 것은 허용되지 않는다.

[해설]

에너지소산 장치가 외력 진동수, 작동 온도(외력에 의한 온도 상승을 포함), 변형(또는 변형율), 속도, 지지력, 양방향 하중들에 영향을 받는다면 그러한 영향은 비선형 시간이력 해석으로 반영해야 한다. 에너지소산 장치의 힘-변위 응답의 변동성을 반영하는 한 방법은 그 에너지소산 장치에서 발생할 확률이 높은 경계의 응답 특성을 사용하여 성능향상 후 건물에 대해 다수의 해석을 수행하는 것이다. 에너지소산 장치를 포함한 성능향상 후 건물의 설계는 다수의 해석으로부터 구한 최대 응답을 근거로 한다. 내진 골조시스템에서 발생한 점성력은 그 시스템의 해석 및 설계에 반영해야 한다. 부재하중이력의 평가는 (부재 강성행렬에 작용하는) 절점변위 및 (부재 감쇠행렬에 작용하는) 절점속도에 근거한다.

5.7 시스템 상세 요구사항

5.7.1 일반 사항

에너지소산 장치와 구조물은 이 절에 규정된 시스템 상세 요구사항을 따른다.

5.7.2 작동 온도(Operating Temperature)

내진보강된 건물의 해석은 대기 온도(ambient temperature)의 변화와 지진의 반복 하중에 의한 온도 상승에 의해 에너지소산 장치의 힘-변위 응답에 발생하는 변화를 반영해야 한다. 설계 지진에서 건물의 지진 응답의 최대값을 계산하고, 에너지소산 장치에서 허용가능한 응답의 수준을 결정하기 위한 다수의 해석을 수행해야 한다.

5.7.3 환경 조건

에너지소산 장치는 바람 및 지진 하중에 의한 수직 및 수평 하중에 대한 요구사항과 더불어, 노후 효과, 크리프, 피로, 대기 온도, 습기 및 손상 물질에 대한 노출을 포함하는 환경조건을 고려하여 설계해야 한다.

5.7.4 풍하중

에너지소산 장치 또는 장치의 구성요소(유체 점성 장치의 밀폐부 등)의 피로 수명을 조사하여 장치의 설계 수명에 맞는지 검토하여야 한다. 반복 횟수가 작은 피로하중에 의해서도 파괴가 예상되는 장치는 선형 탄성 영역에서 풍하중에 저항할 수 있어야 한다.

5.7.5 검사 및 교체

에너지소산 장치의 검사 및 교체를 할 수 있어야 한다.

5.7.6 제품 품질 관리

에너지소산 장치 생산을 위한 제품 품질 관리 계획이 전문 기술자에 의해 수립되어야 한다. 이 계획은 생산 과정, 검사 방법, 장치 제품의 품질 관리를 확인하는데 필요한 실험에 대한 기술을 포함하여야 한다.

5.7.7 유지 관리

전문 기술자는 장치의 설계 수명 동안 장치의 신뢰할 수 있는 성능을 보증하기 위해 에너지소산 장치의 유지관리 및 실험 일정을 수립해야 한다. 유지 관리 및 실험의 수준은 장치의 예상되는 사용 이력을 반영하여 수립하여야 한다.

5.8 설계 검토

에너지소산 장치의 설계 및 이와 관련된 실험 계획은 지진 해석과 에너지소산 장치를 적용한 설계 방법의 이론과 적용에 경험이 있는 사람을 포함하는 심의위원회에 의해 수행되어야 한다.
설계 검토에는 아래 항을 포함해야 한다.

(1) 장치의 크기에 대한 정보를 포함하는 예비 설계
(2) 에너지소산 장치 표준 실험
(3) 내진보강된 건물의 최종 설계 및 제반 해석
(4) 에너지소산 장치의 생산 품질 관리 프로그램

부 록

A. 내진보강방법 및 공법

B. 철근콘크리트조 성능향상 예제

C. 조적조 성능향상 예제 : 전단벽 추가

D. 조적조 성능향상 예제 : 조적벽 추가

A. 내진보강방법 및 공법

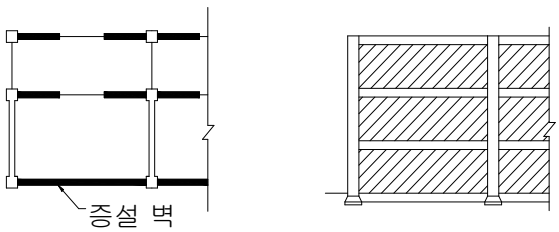
부록 A. 내진보강방법 및 공법

A.1 RC 전단벽의 증설

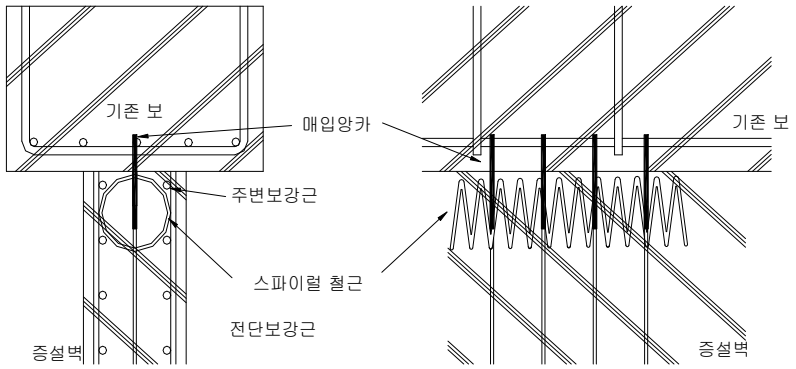
가. 기둥과 보로 구획된 골조 내에 새로운 벽을 증설하거나 기존 벽두께를 증가시켜 지진저항시스템을 변경하여 기존부재에 작용하는 부재력을 경감시킴으로서 내진성능을 향상시킨다.

나. 벽의 증설은 공간 기능상 장애가 되므로 배치를 충분히 고려해야 하고, 평면상 또는 입면상으로 균형있게 배치해야 한다.

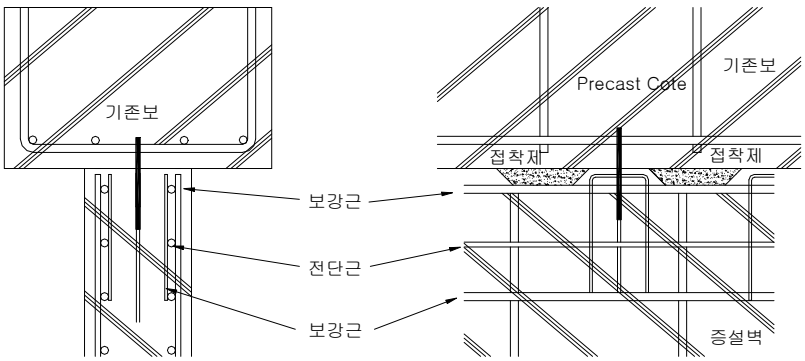
다. 증설된 전단벽이 기존 구체와 일체화 되지 않은 경우 연결부에서 파괴가 일어날 수 있으므로, 기존의 구체와 일체화되어야 한다. 새로운 재료와 기존 재료 사이의 연결부는 조합된 설계하중을 충분히 전달할 수 있도록 설계되어야 한다. 기존 골조의 기둥과 보는 새로 설치된 벽이나 가새의 경계요소로 거동하므로 강도, 정착, 변형성 등을 충분히 점검해야 한다. 일체화 기법에는 매입앵커법과 접착코우트법 등이 있다.



부록 그림 A.1.1 전단벽의 추가

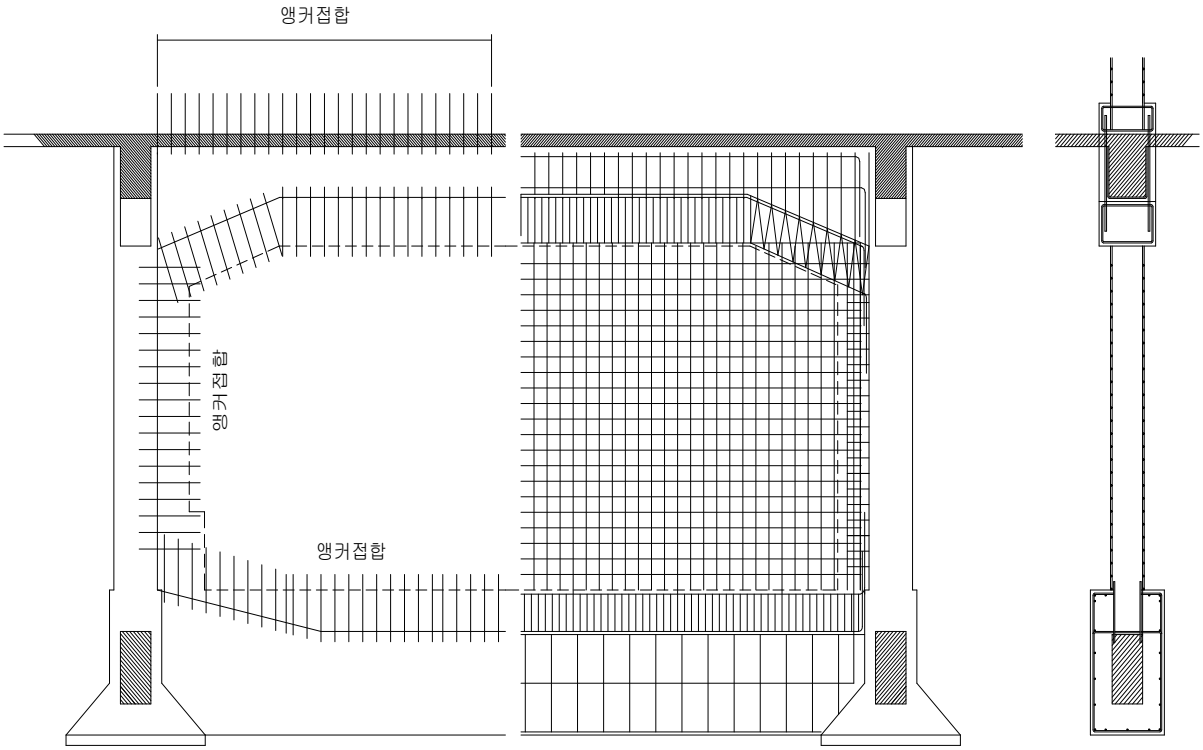


(a) 매입 앵커법



(b) 접착코우트법

부록 그림 A.1.2 기존 부재와 증설전단벽의 일체화 공법



부록 그림 A.1.3 전단벽의 일체화를 위한 배근상세

A.2 기둥 날개벽 증설

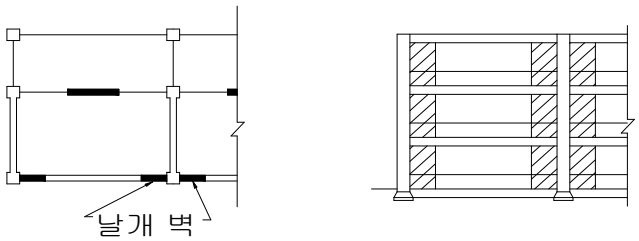
가. 기둥에 날개벽을 증설하여 기둥의 강도를 증대시킴으로서 내진성능을 향상하는 방법이다.

나. 일부의 기둥에만 날개벽을 증설할 경우 강성의 불균형을 초래하므로, 날개벽을 평면적, 입면적으로 균형있게 배치해야 한다.

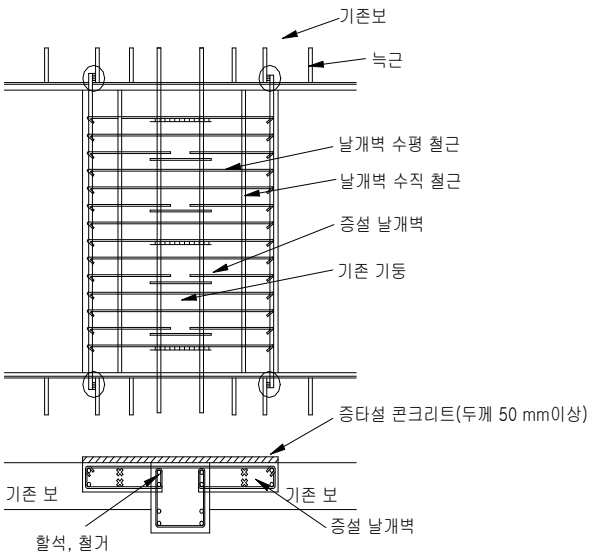
다. 기둥 날개벽 증설 공법에는 다음 두 가지가 있다.

(1) 기둥 콘크리트의 일부를 제거하고 날개벽의 횡보강근을 충분히 배근한 후 콘크리트를 타설하여 기존 기둥과 일체화되도록 시공하는 방법

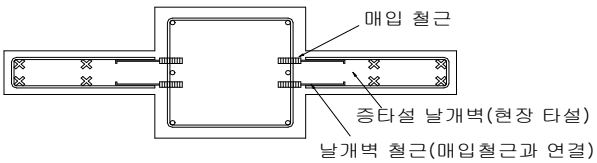
(2) 앵커를 이용하여 증설 날개벽을 기존의 보와 기둥에 정착시키는 방법



부록 그림 A.2.1 기둥 주위에 날개벽을 붙이는 공법



(a) 기존 벽체와 일체화된 기둥 날개벽 상세

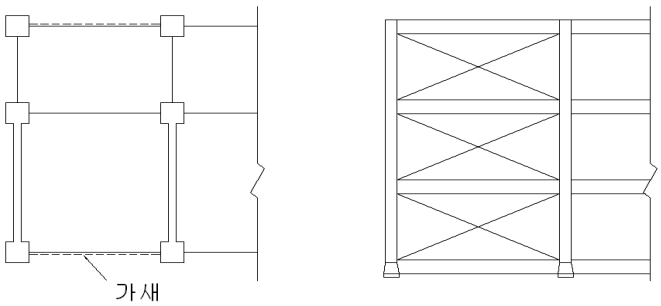


(b) 앵커를 이용한 날개벽 증설 공법

부록 그림 A.2.2 날개벽 증설 공법 상세

A.3 RC조에 정착되는 철골 가새의 신설

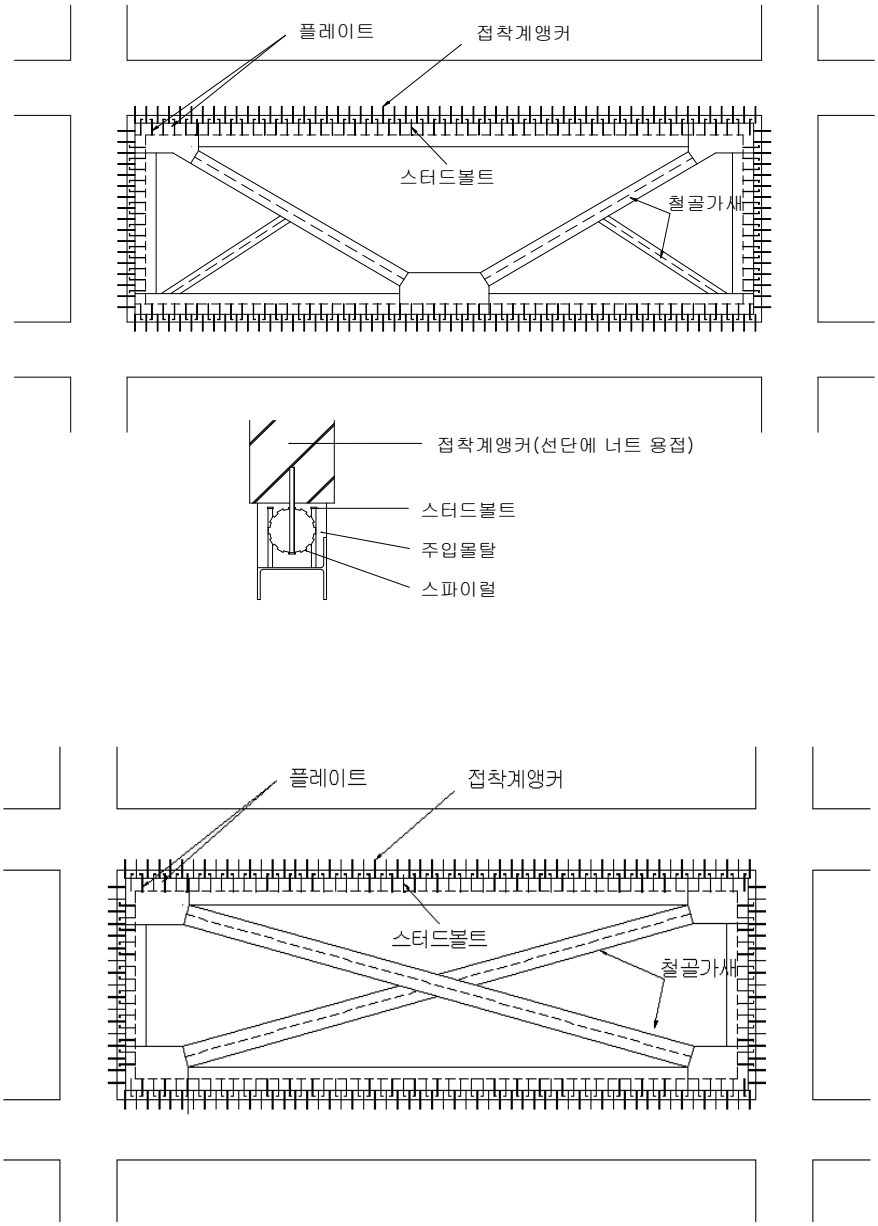
가. 골조 내에 전단벽의 증설로 인한 중량의 증가로 기초 허용지지력에 문제가 발생할 경우, 기초의 축력증가를 억제할 수 있는 방법으로 기존 골조 내에 철골가새를 설치한다.



부록 그림 A.3.1 가새 설치 공법

나. 철골가새의 좌굴에 대한 저항을 높이기 위하여 강재 단면의 강축방향을 면내 방향으로 일치시키거나 좌굴방지용 서브가새를 설치한다.

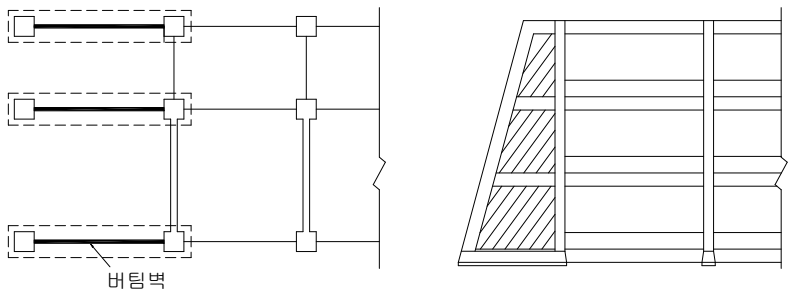
다. 가새를 설치하는 공법에는 틀부착 철골보강공법과 기존 골조에 직접 부착하는 공법이 있다.



부록 그림 A.3.2 철골가새 설치 공법 상세

A.4 RC 버팀벽 신설

가. 건물 외측에 버팀벽을 신설하여 내진성능을 향상시키는 방법이다.



부록 그림 A.4.1 버팀벽 설치 공법

나. 버팀벽과 기존 구체가 연결되는 부위의 부재에 대하여 내력을 검토하여 필요시 강도와 연성도를 향상시켜야 한다.

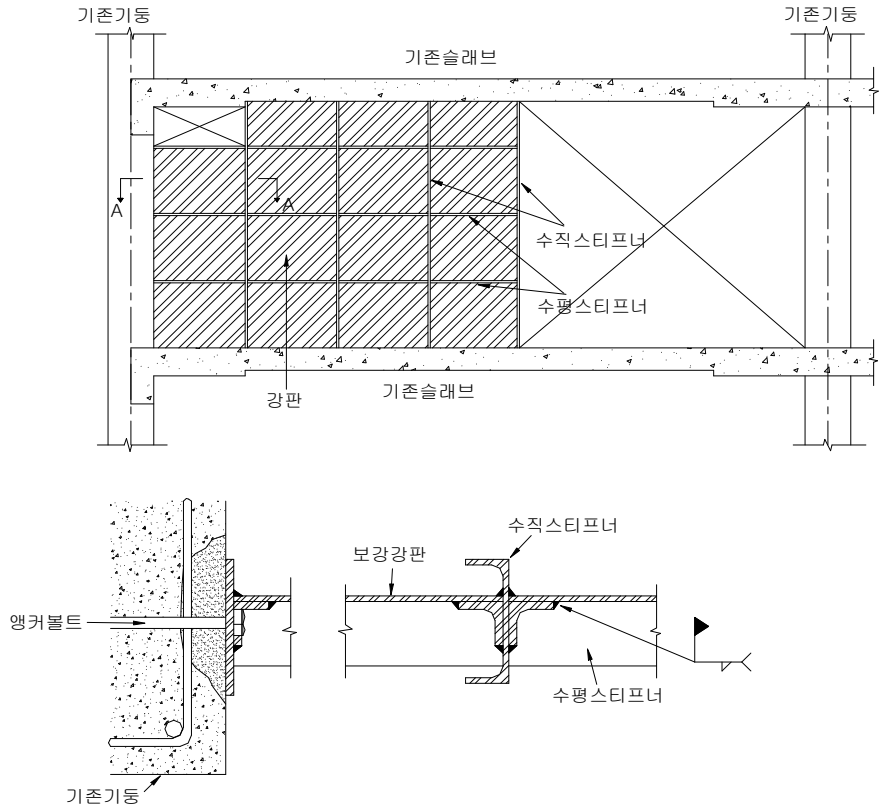
다. 건물 외부에 새로 설치되는 버팀벽을 따라 새로운 기초를 설치해야 한다.

A.5 강판전단벽 신설

가. 연성능력을 증가시키면서 벽체의 폭을 감소시키고 건식공법을 사용해야할 경우 강판전단벽을 사용할 수 있다.

나. 강판의 국부좌굴을 고려하지 않는 경우에는 강판에 충분한 보강재를 격자형으로 설치한다.

다. 강판의 국부좌굴을 허용하는 경우에는 강도 계산시 텐션필드액션(tension-field action)을 고려하여 인장내력만을 고려한다.

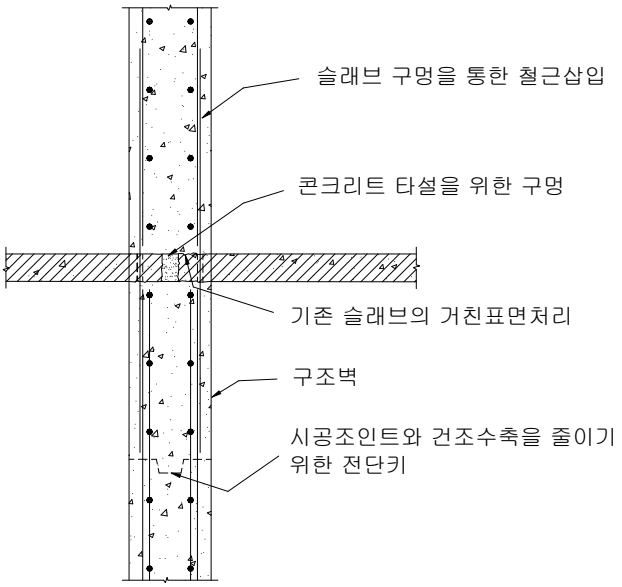


부록 그림 A.5.1 강판전단벽 설치 공법

A.6 기둥과 내력벽의 신설

가. 기존 건축물이 중력하중에 대한 저항력이 부족하거나 수직부재에 지나치게 큰 인발하중이 작용하는 경우 기둥과 내력벽을 설치하여 내진성능을 향상시킨다.

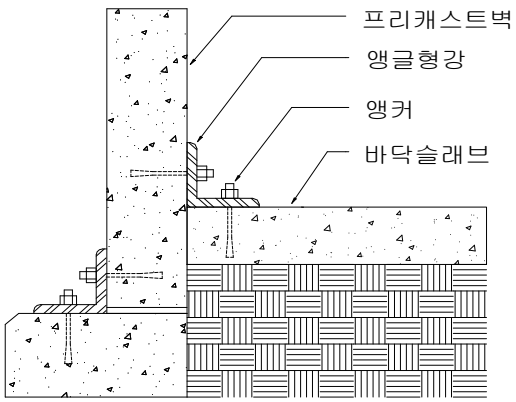
나. 새로 설치된 수직부재와 기존의 부재가 접하는 부분에서 기존 부재에 대한 내력을 검토하고 필요시 강도와 연성도를 향상시킨다.



부록 그림 A.6.1 추가 내부 전단벽 연결부위 상세

다. 새로 설치된 기둥과 내력벽을 따라 새로운 기초를 설치하여야 한다.

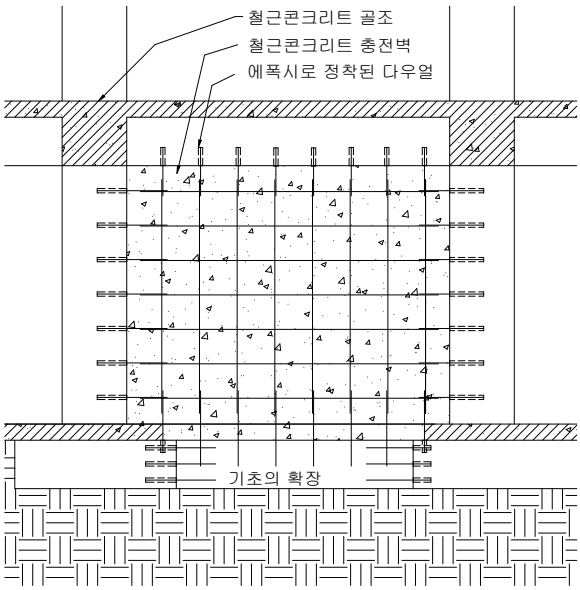
라. 수직부재와 바닥판 또는 기초를 연결하는 새로운 철재를 설치하여 접합부의 성능을 증대시킨다.



부록 그림 A.6.2 프리캐스트 콘크리트 벽체와 바닥판 연결 부위의 보강공법 상세

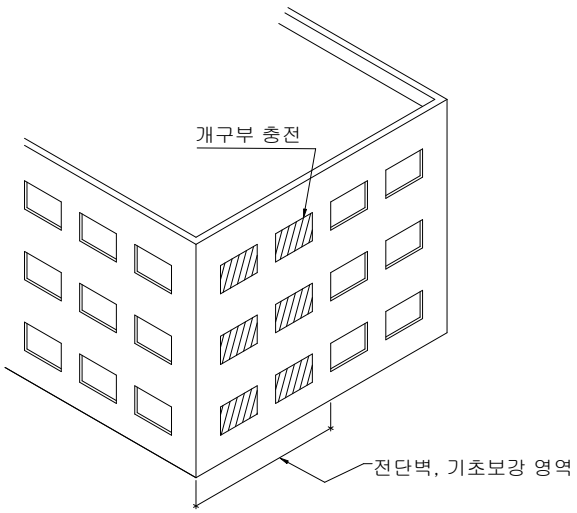
A.7 충전벽의 설치

가. 철근콘크리트로 기존 골조내부의 기둥과 보 사이를 충전하여 전단벽 시스템으로 바꾼다. 이 경우 충전벽과 기존 골조를 연결하여 일체로 거동하도록 한다.

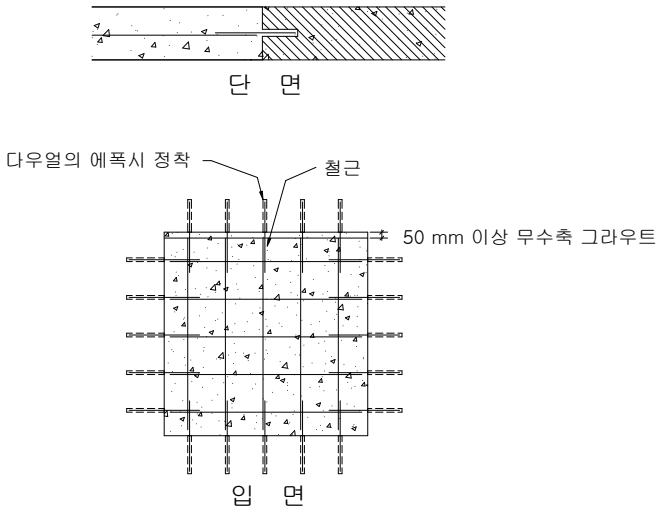


부록 그림 A.7.1 철근콘크리트 충전벽 설치 공법 상세

나. 개구부가 있는 철근콘크리트 건축물의 경우 개구부를 철근콘크리트로 충전함으로서 내진성능을 향상시킨다. (부록 그림 A.7.2, A.7.3)



부록 그림 A.7.2 기존 개구부의 충전을 이용한 기존 전단벽체 보강



부록 그림 A.7.3 철근콘크리트 충전벽 상세

다. 비연속 전단벽을 지지하는 기둥사이의 충전벽 설치

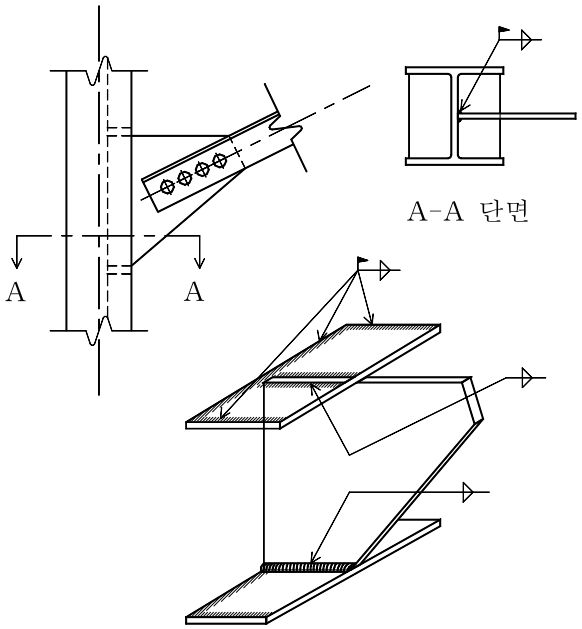
(1) 비연속 전단벽을 지지하는 기둥의 강도와 변형능력이 설계기준을 만족하지 못하는 경우 기둥과 기둥사이를 철근콘크리트로 충전함으로서 연속된 벽체를 설치한다.

(2) 추가적인 강도와 구속효과의 증가를 위하여 철골 덧씌우기를 수행할 수 있다.

(3) 비연속 전단벽의 개구부는 설계조건을 만족하도록 강재가새를 이용하여 보강한다.

A.8 철골조에 연결되는 철골조 가새 신설

가. 인장 가새 추가 상세 1 : H형강 기둥의 약축 방향에 보가 없는 부위에 ㄱ형강 가새를 추가하여 설치하는 경우는 부록 그림 A.8.1과 같다.

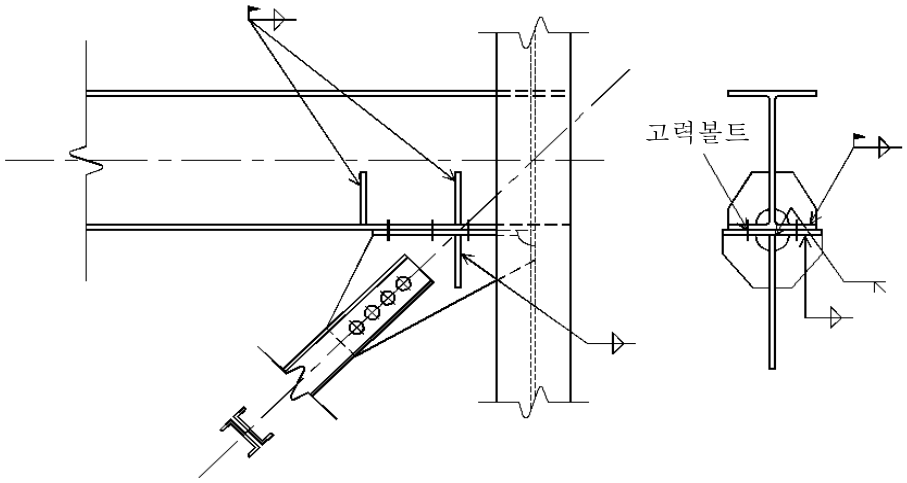


부록 그림 A.8.1 보가 없는 H형강 기둥 약축 방향으로 인장가새를 추가하는 보강 상세

시공요령은 다음과 같다.

(1) 가새의 구면을 평면적, 입체적인 접합의 위치로 배치한다.
(2) 기둥의 부가 축력, 기초의 부가 응력에 대해 검사한다.
(3) 가새의 인장력에 의해 기둥에 발생하는 휨모멘트에 전단력을 고찰하여 설계한다.
(4) 현장 용접에 대해 충분히 관리 이행한다

나. 인장 가새 추가 상세 2 : H형강 기둥의 약축 방향에 보가 있는 부위에 ㄷ형강 가새를 추가하여 설치하는 경우는 부록 그림 A.8.2와 같다.

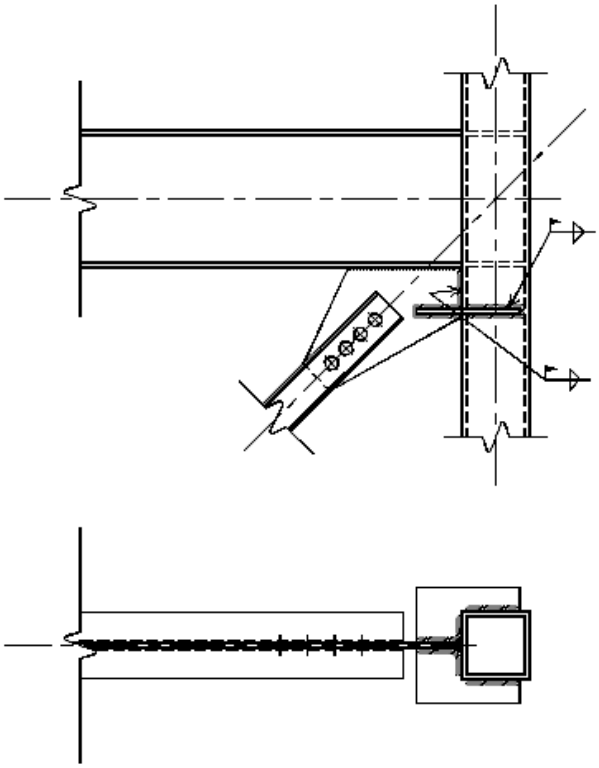


부록 그림 A.8.2 보가 있는 H형강 기둥 약축 방향으로 ㄷ형강 인장가새를 추가하는 보강 상세

시공요령은 다음과 같다.

(1) 가새의 구면을 평면적, 입체적인 결합의 위치로 배치한다.
(2) 기둥・보의 부가 축력, 기초의 부가 응력을 기둥・보 접합부의 내력에 대해 검사한다.
(3) 기둥과 보의 도심선에 가새 축선이 일치하지 않는 편심접합인 경우 편심모멘트에 의한 응력을 고려하여 설계한다.
(4) 가셋 플레이트와 부재와의 현장용접은 가능한 적게하며 현장에서는 고력볼트접합을 사용하되, 위 예에서 현장용접은 모살용접이고, 완전용입 용접부는 공장에서 시행한다.
(5) 기둥, 보에는 보강 리브, 스티프너 등을 설계하여 국부변형을 방지하고, 시공시에는 모재 취급에 주의한다.

다. 인장 가새 추가 상세 3 : 각형강관 또는 H형강의 강축방향에 보가 있는 부위에 쌍ㄱ형강 가새를 추가하여 설치하는 경우는 부록 그림 A.8.3과 같다.

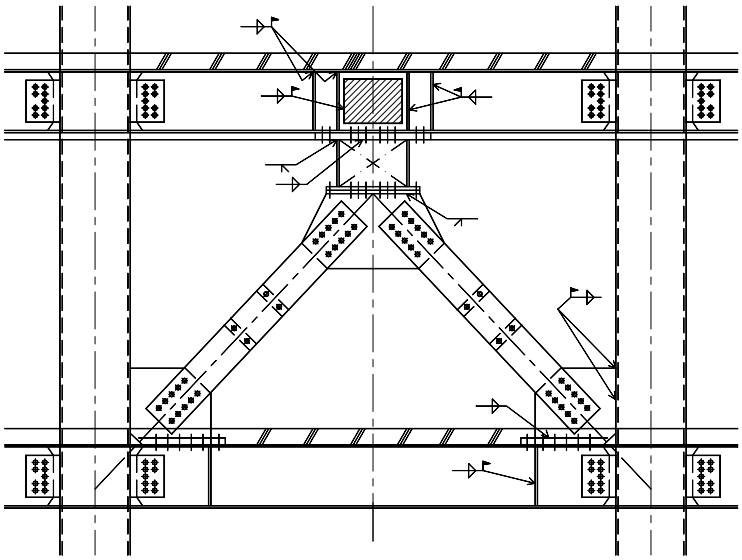


부록 그림 A.8.3 각형강관 기둥의 보가 있는 부위에 쌍ㄱ형강 가새를 추가하는 보강 상세

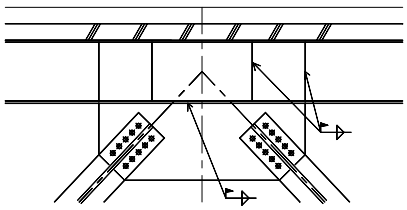
시공요령은 다음과 같다.

(1) 가새의 구면을 평면적, 입체적인 결합의 위치로 배치한다.
(2) 기둥・보의 부가 축력, 기초의 부가 응력을 기둥・보 접합부의 내력에 대해 검사한다.
(3) 기둥과 보의 도심선에 가새 축선이 일치하지 않는 편심접합인 경우 편심모멘트에 의한 응력을 고려하여 설계한다.
(4) 냉간성형 각형강관의 코너 부분의 현장 용접은 피한다.
(5) 용접부는 도장과 녹을 완전하게 제거하고 용접을 행하는 등 충분한 관리가 필요하다.

라. 압축 가새 추가 상세 : 각형강관 또는 H형강의 강축방향에 보가 있는 부위에 CT형강 가새를 추가하여 설치하는 경우는 부록 그림 A.8.4과 같다.



(a) 전단패널이 설치된 경우



(b) 전단패널없이 도심축을 일치시킨 경우

부록 그림 A.8.4 각형강관 기둥의 보가 있는 부위에 CT형강 가새를 추가하는 보강 상세

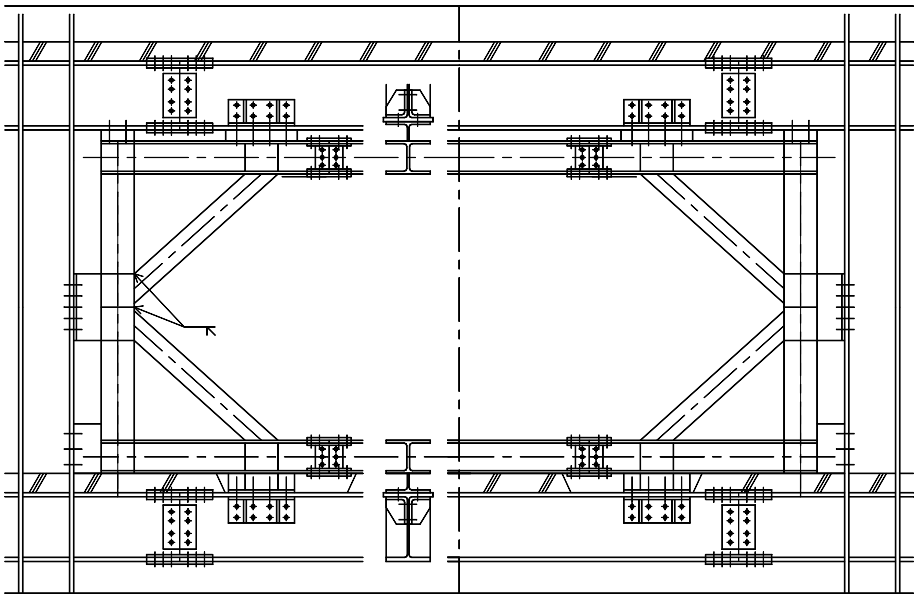
부록 그림 A.8.4 (a)는 가새의 좌굴에 따른 소성변형능력의 저하를 피하기 위해 상부 보와 가새의 사이에 전단변형 패널을 설치하는데, 이 패널의 전단항복이 가새 좌굴보다 선행되게 하여, 안정성이 유지되는 상태에서 복원력 특성을 확보하는 예가 된다. 부록 그림 A.8.4 (b)는 상부 보에 가새를 직접 접합하는 예인데, 가셋 플레이트가 보에 직접 용접한 것이다. 이 경우는 현장 용접에 관해 충분한 관리가 필요하다.

시공요령은 다음과 같다.

(1) 가새의 구면을 평면적, 입체적인 결합의 위치로 배치한다.
(2) 기둥・보의 부가 축력, 기초의 부가 응력을 기둥・보 접합부의 내력에 대해 검사한다.

A.9 철골조 내진 골조 신설

가. 내진 골조 추가 상세 1 : 기존의 기둥과 보가 모두 H형강으로 구성되어 있는 부위의 구면 내에 6각형 가새골조를 추가하며, 현장접합으로 고력볼트를 사용하는 경우는 부록 그림 A.9.1과 같다.



부록 그림 A.9.1 6각형 가새골조를 추가하는 보강 상세

시공요령은 다음과 같다.

(1) 기존의 기둥과 보에 추가하는 골조의 취부용 볼트구멍을 확인한다. 하부 보의 상단 플랜지에 구멍을 확인하는 이유는 슬래브의 일부를 통과하기 때문이다.
(2) 공장제작으로 종방향 K형 가새를 포함하는 ㄷ형 프레임 2대를 기존의 구조체의 기둥과 보에 고력 볼트를 사용하여 연결한다.
(3) 설치 지점에 좌우 2개의 프레임을 중간 보에 볼트 접합한다. 프레임이 적어서 운반 가능한 경우는 2개의 프레임 보에 직접 접합하는 것도 가능하다.
(4) 내진 프레임 기둥의 상하 방향 반력에 대해, 기존 보의 단부 내력이 여유가 있고, 기존 기둥의 상하단에 있는 보-기둥 접합 강도 내력이 여유가 있는 경우는 신설하는 내부 프레임 기둥의 중앙에 있는 기존 기둥과의 접합부를 생략해도 된다.

내진 골조를 추가하는 경우의 일반적인 유의 사항은 다음과 같다.

(1) 추가되는 내진 골조가 부담하는 수평력은 기존 보와의 전단력에 의해 전달되며, 이 전단력을

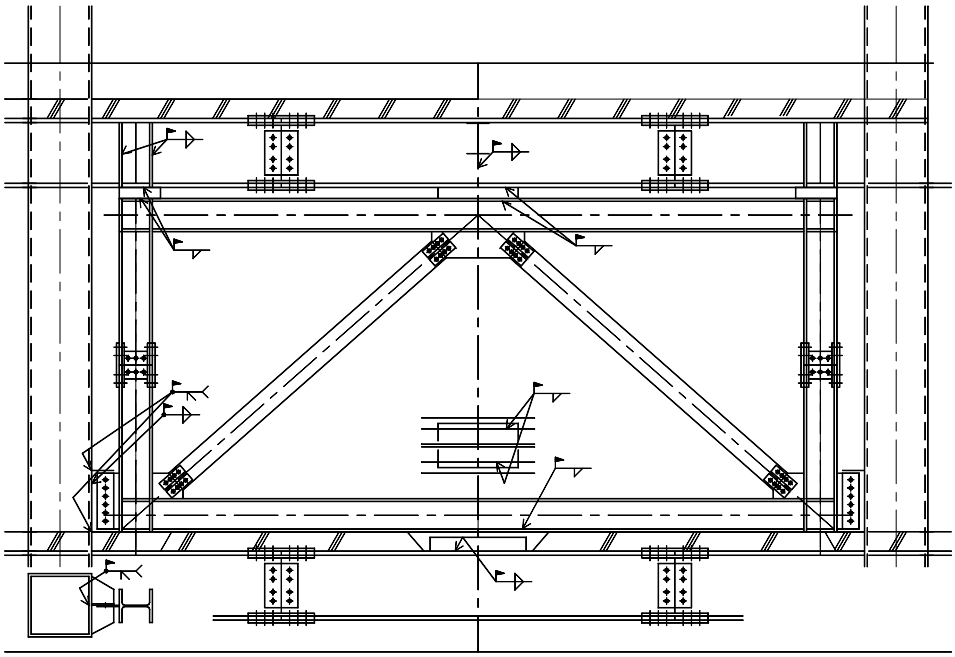
충분히 전달할 수 있는 접합 방법을 사용하도록 해야 한다.

(2) 내진 골조의 전도모멘트에 의해, 추가된 내진 골조 기둥들의 상하단에 연직 반력이 발생한다. 이 반력에 의해 기존 보는 물론이고 기둥·보 접합부의 응력이 허용응력을 초과하는 경우는 내진 골조 기둥과 기존 기둥을 접합하되, 내진 골조 기둥의 축력을 기존 기둥에 직접 부담하는 방법을 사용한다.

(3) 기둥과 보에는 보강 리브, 스티프너 등을 설치하여 국부 변형을 방지하되, 시공시 모재에 손상을 주지 않도록 주의한다.

(4) 일반적으로, 추가된 내진 골조의 내력을 기존의 모멘트 골조 내력에 가산하지만, 내진 골조의 양측의 기존 기둥에는 부가적인 축력이 발생하므로 기초를 포함하여 하부 구조를 검사하여야 한다.

나. 내진 골조 추가 상세 2 : 기존의 기둥이 H형강 또는 각형강관이며 보가 H형강으로 구성되어 있는 부위의 구면 내에 K형 가새골조를 추가하며, 현장접합으로 용접접합을 사용하는 경우는 부록 그림 A.9.2와 같다.



부록 그림 A.9.2 K형 가새골조를 추가하는 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

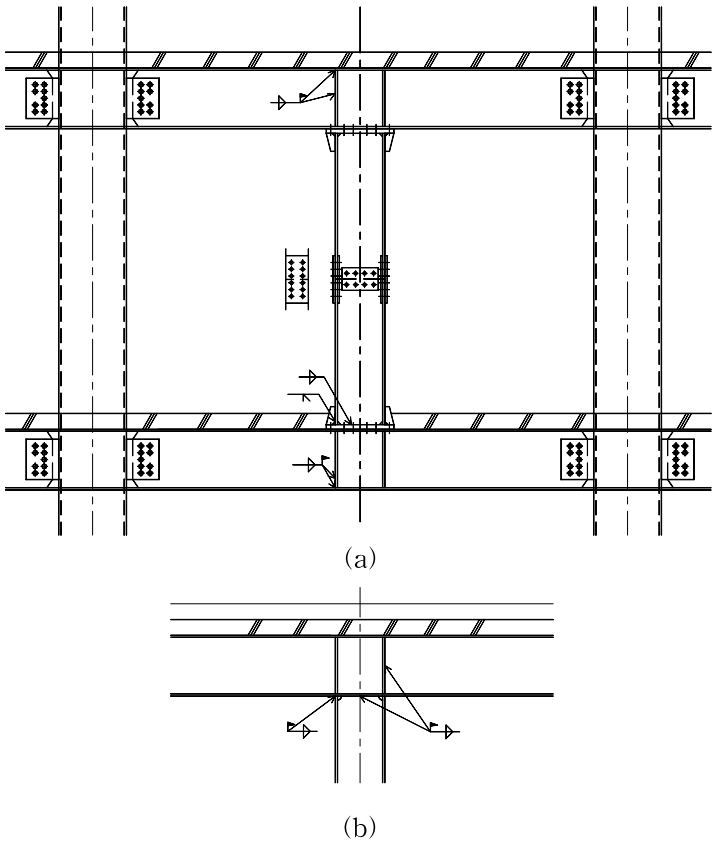
(1) 기존 기둥에 내진 K형 가새골조를 연결하는 가셋 플레이트를 모살용접하고, 가셋 플레이트 상하단의 보강 플레이트는 상측으로 부분용입 용접한다. 또한, 상측 기존 보에는 리브 플레이트를 용접하며, 하측 기존 보에는 수평력을 전달하도록 T형 부품을 용접한다. 이 T형 부품의 스템 하단은 기존 보 플랜지 상면에 모살용접하며, 이 경우 슬래브의 일부를 관통하여야 한다.

(2) 공장제작에 의한 ㄷ형 골조 2대와 K형 가새를 현장에서 조립하여, 기존의 모멘트골조 내에 조립한다.

(3) 기존의 기둥에는 가셋 플레이트를 끼고 고력볼트로 접합한다. 추가하는 K형 가새골조의 하측보의 하부 플랜지를 T형 부품 상면에 모살용접한다. K형 가새골조의 상측보는 채움판을 끼워 기존 보의 하단에 모살용접하여 접합한다. 기존 보의 강성과 강도가 충분히 큰 경우 내진 K형 가새골조의 상측 보를 생략하고, 가새의 교차점에 가셋 플레이트를 설치하여 기존 보에 직접 접합할 수 있다. 이 경우 압축 가새를 추가하는 경우의 상세와 동일하다.

A.10 내진 기둥 신설

가. 내진 기둥 추가 상세 : 기존의 H형강 보의 구면 내에 기둥을 설치하는 경우는 부록 그림 10.1 과 같다.



부록 그림 A.10.1 기둥을 추가하는 보강 상세

부록 그림 A.10.1 (a)는 추가되는 기둥을 기존 보와 고력볼트로 접합한 예이다. 반면에, 용접에 대하여 충분한 품질관리를 확보할 경우에는 부록 그림 A.10.1 (b)와 같이 추가되는 기둥을 직접 기존 보에 용접할 수 있다.

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 추가되는 내진 기둥의 상하단에 소성힌지를 형성하고자 하는 경우에, 기존 보의 휨내력 뿐만 아니라 추가 기둥과 보의 접합부 패널의 전단내력이 추가 기둥의 휨내력을 상회하여야 한다.
(2) 기존 보에 소성힌지를 형성하고자 하는 경우에, 기존 보가 충분한 소성변형 능력을 확보할 수 있는 판폭두께비와 횡좌굴 방지에 유의하여야 한다.
(3) 기존 보에는 보강 리브와 스티프너 등을 설치하여 국부변형을 방지하고, 시공시에 모재가 손상되지 않게 주의하여야 한다.
(4) 보의 전단 스팬이 적을 때는 전단내력의 확보에도 유의한다.

A.11 철근콘크리트 기둥의 보강

가. 단면의 보강 및 증대는 다음 공법을 고려한다.

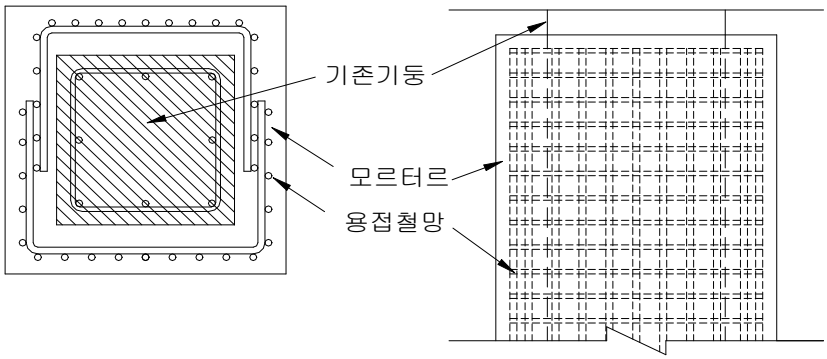
(1) 기둥에 용접철망감기 후 모르타르 혹은 콘크리트 타설법

(2) 기둥에 용접폐쇄형후프감기 후 모르타르 혹은 콘크리트 타설법

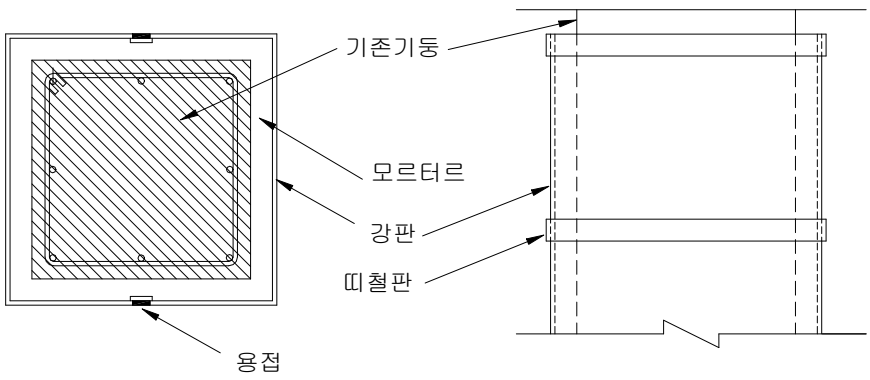
(3) 기둥에 강판감기 후 기둥과 철판사이에 모르타르 혹은 에폭시 충전법

(4) 기둥에 띠철판 감는 방법

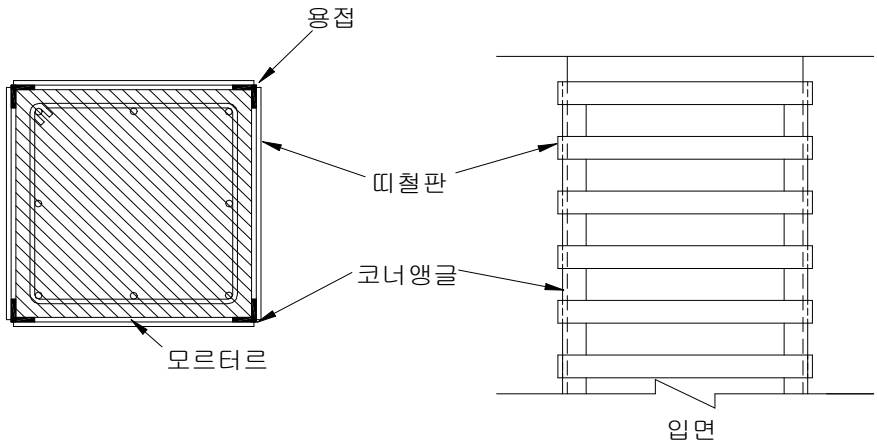
(5) 기둥 둘레 탄소섬유 부착방법



(a) 용접철망 감기 공법

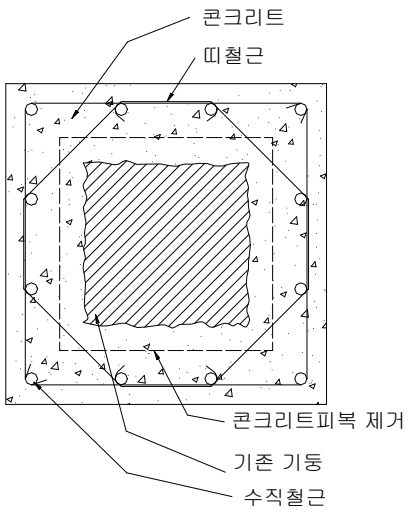


(b) 강판감기 공법

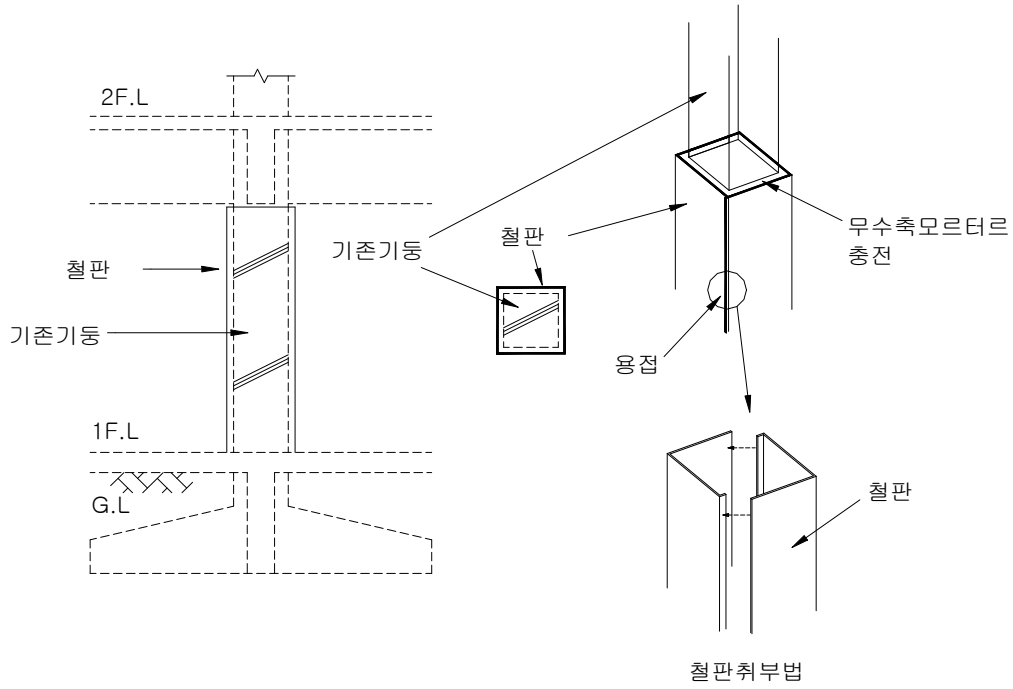


(c) 띠철판감기 공법

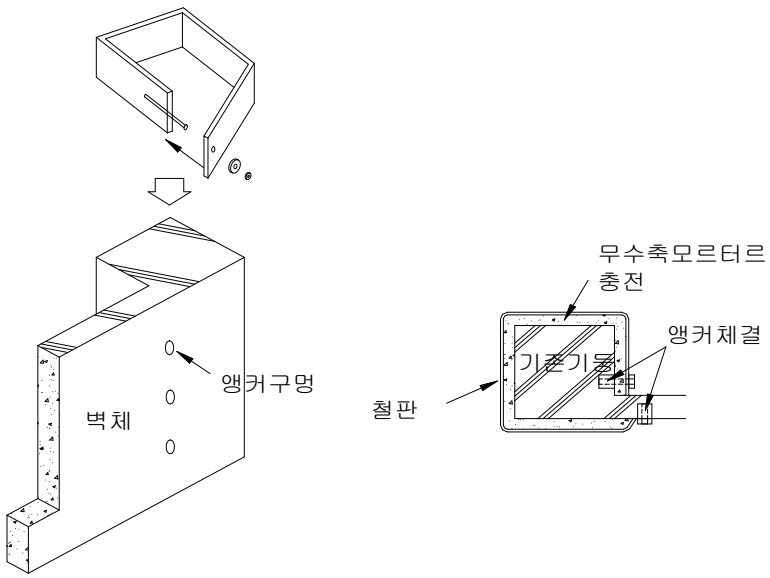
부록 그림 A.11.1 기둥의 내진성능향상 공법



부록 그림 A.11.2 기둥의 콘크리트 덧씌우기 공법 상세



(a) 단독기둥의 철판 덧씌우기 상세



(b) 벽체와 붙어있는 기둥의 철판 덧씌우기 상세

부록 그림 A.11.3 기둥의 내진성능향상 시공법

나. 기존 부재와 접합부에 포스트텐션을 가하는 공법

(1) 포스트텐션을 가하기 위한 추가 긴장재는 지진하중으로 인한 힘의 변화를 고려하여 설계해야 한다.

(2) 부재의 외부에 설치된 포스트텐션 긴장재는 비탄성거동이 예상되는 소성힌지영역으로부터 유효깊이의 두 배 이상 떨어진 곳에 정착한다.

다. 배근상세의 개선 방법

(1) 콘크리트 피복을 제거하고 철근의 상세를 변경한 후 콘크리트를 새로 타설하여 피복하는 방법이다.

(2) 기존 콘크리트 피복제거시 철근의 접착과 콘크리트 기둥의 중심부에 손상을 입히지 말아야 한다.

(3) 새로운 콘크리트 피복은 기존의 재료와 일체로 거동하도록 시공해야 한다.

라. 설계시 유의사항

(1) 새로운 재료들은 기존의 재료와 일체가 되도록 시공하여야 하고, 덧씌운 부위에서는 연성을 증가시키기 위한 상세가 제공되어야 한다.

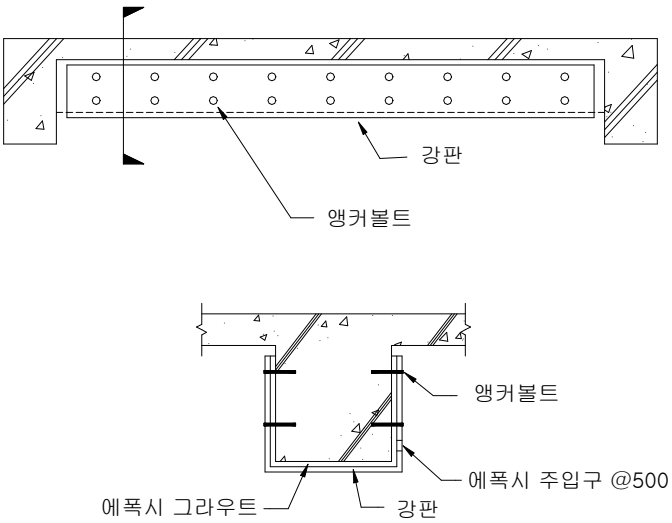
(2) 보강된 기둥의 강도는 인접한 보 부재의 강도를 초과하여야 한다.

A.12 철근콘크리트 보의 보강

가. 건물의 용도변경 또는 지진하중의 증가로 인하여 보에 과도한 하중이 작용할 경우에 보의 내진성능을 향상시킨다.

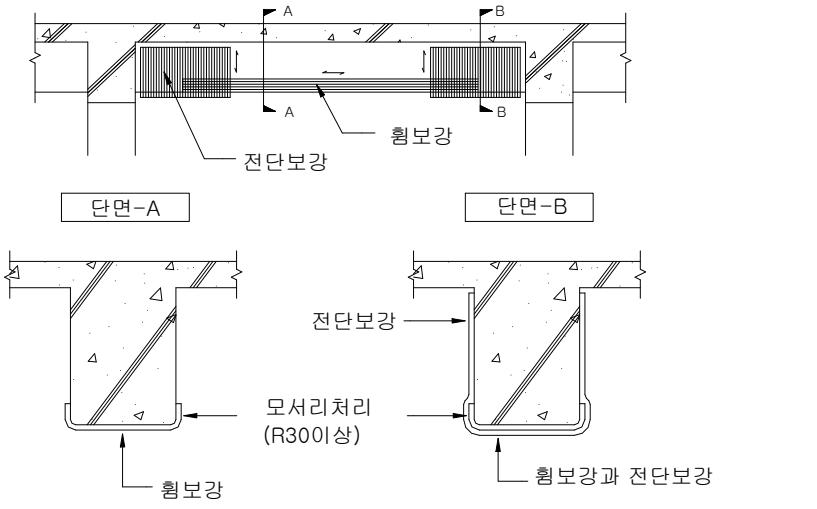
나. 보의 내진성능향상법은 보강 재료에 따라 다음과 같이 구분된다.

(1) 강판보강법: 보의 하단에 강판을 붙여 보의 휨강도를 향상시키거나 보의 측면에 강판을 붙여 전단강도를 향상시킨다.



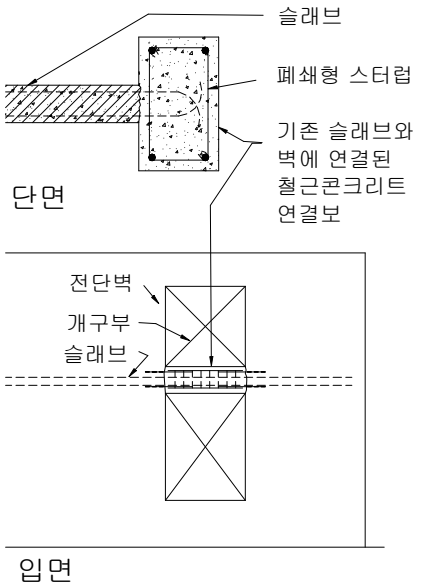
부록 그림 A.12.1 보의 내진성능향상 공법: 강판보강법

(2) 탄소섬유보강법: 보의 하단에 탄소섬유를 붙여 보의 휨강도를 향상시키거나 보의 측면에 탄소섬유를 붙여 전단강도를 향상시킨다.



부록 그림 A.12.2 보의 내진성능향상 공법 : 탄소섬유보강법

다. 철근콘크리트 병렬 전단벽 구조에 대하여 기존의 보를 제거하고 크게 보강된 철근콘크리트 보를 설치하여 연결보를 보강한다.



부록 그림 A.12.3 커플링 보의 보강공법 상세

라. 설계시 유의사항

(1) 새로운 재료들은 기존의 재료와 일체가 되도록 시공하여야 하고, 덧씌운 부위에서는 연성을 증가시키기 위한 상세가 제공되어야 한다.

(2) 보강된 보의 강도는 인접 기둥 부재 혹은 접합부의 강도를 초과하지 말아야 한다.

A.13 철근콘크리트 전단벽의 보강

가. 벽 경계에 부재를 추가

(1) 충분한 휨강도를 가지지 못한 전단벽 또는 분할벽에는 현장타설 콘크리트나 철골로 된 경계 부재를 추가한다.

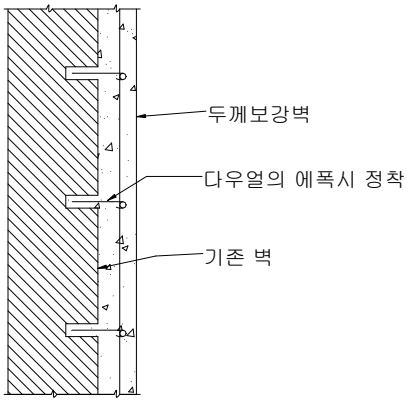
(2) 기존의 벽과 새로운 부재 사이에 충분한 접합을 해야 하고, 보강된 벽체의 전단성능은 다시 평가되어야 한다.

나. 벽 경계에 구속용 콘크리트 덧씌우기

(1) 벽단부에 강재 또는 철근콘크리트 덧씌우기를 통하여 콘크리트를 구속함으로서 휨변형 성능을 증가시킨다.

(2) 콘크리트 덧씌우기 최소두께는 75 mm 이며, 압축을 받는 콘크리트의 구속증대를 위해 탄소섬유둘레보강을 사용할 수 있다.

다. 철근콘크리트를 이용하여 기존 벽체의 두께를 증가시킨다. 이 경우 기존 벽체와 새로 설치되는 벽체를 강하게 접착시켜 일체화되도록 한다.



부록 그림 A.13.1 철근콘크리트 전단벽의 두께보강 공법

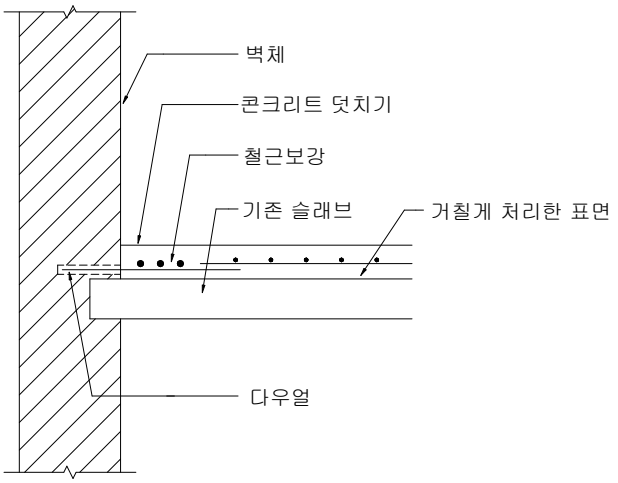
A.14 철근콘크리트 슬래브의 보강

가. 각 부재의 철근을 추가하거나 다이아프램의 두께를 크게 하여 강도를 증가시킨다. 다만, 다이아프램의 두께증가는 자중의 증가로 인한 지진하중의 증가와 기초의 하중증가 우려가 있으므로 주의해야 한다.

나. 철근콘크리트를 이용한 기존 슬래브의 두께보강공법

(1) 기존 구체와 새로 타설된 슬래브가 일체화거동을 할 수 있도록 기존 벽체에 천공하여 다우얼을 설치하여야 한다.

(2) 기존 슬래브의 접촉면은 불순물이 포함되지 않도록 깨끗이 하고, 거칠게 표면처리 하여야 한다.



부록 그림 A.14.1 슬래브 두께보강 공법

다. 슬래브와 수직부재 접합부의 보강 공법

(1) 기존 슬래브의 상부 또는 하부에 새로운 철근콘크리트 또는 강재를 설치하여 새로운 현재를 설치한다. 이 경우 새로 타설한 콘크리트가 충분한 강도를 발휘할 수 있을 때까지 지주를 설치하여야 한다.

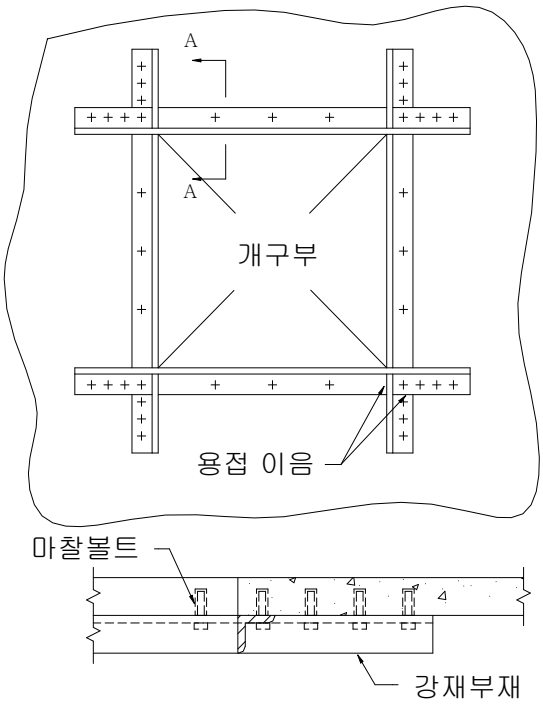
(2) 다이아프램-벽체 접합부에 대한 응력집중을 감소시키기 위해 연결재를 다이아프램 아래에 설치한다.

(3) 기존 다이아프램-벽체 접합부의 성능을 향상시키기 위해 드릴로 천공한 후 다우얼바를 추가한다.

(4) 3.3.2.1 6절에 제시된 방법을 따라 추가 수직부재를 설치하여 기존 접합부에 작용하는 전단응력을 줄인다.

라. 슬래브 개구부의 내진성능향상법

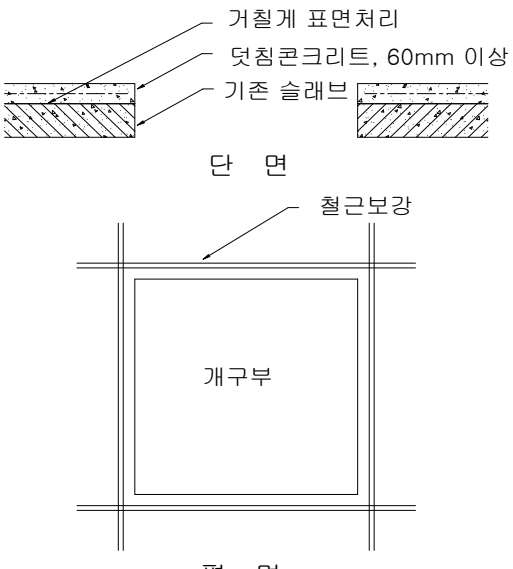
(1) 강재를 사용하여 다이아프램에 작용하는 하중을 분산시킴으로서 국부응력을 경감시킨다.



단면 A-A

부록 그림 A.14.2 철근콘크리트 다이아프램 개구부 보강공법

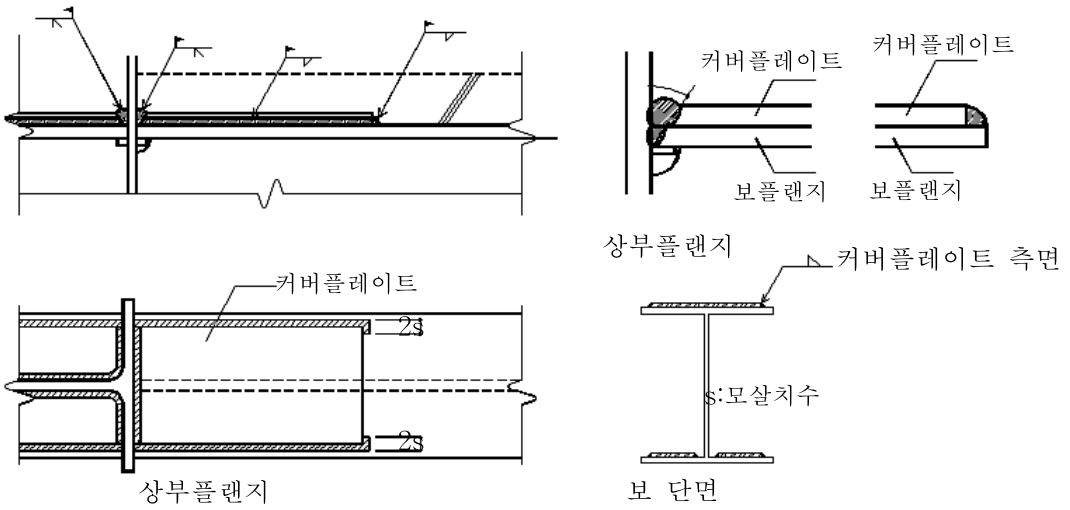
(2) 철근콘크리트를 이용하여 개구부 주변의 슬래브 전체의 두께를 증가시킨다.



부록 그림 A.14.3 덧침콘크리트를 이용한 다이아프램 개구부 보강 공법

A.15 철골 보의 보강

가. 커버 플레이트에 의한 보 플랜지 보강 상세 : H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어 있는 경우에는 커버 플레이트를 추가하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.15.1과 같다.



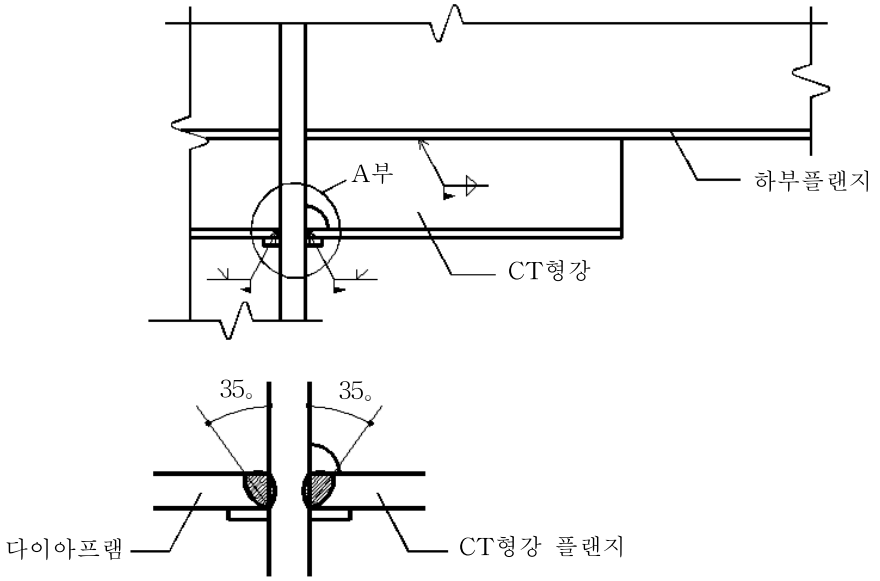
부록 그림 A.15.1 보 플랜지의 커버 플레이트 맞댐용접 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 슬래브를 철거하며, 내화피복과 도장, 먼지, 기름, 녹 등을 완전하게 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 커버 플레이트를 맞댐용접하며, 측면은 모살 용접한다.
(4) 개선 및 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.
(5) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간이 경과한 후에 초음파탐상 검사를 행한다.

보강 후 내력은 커버 플레이트의 맞댐용접에 의한 내력증가를 포함하여 평가한다. 하부 플랜지의 경우는 커버 플레이트의 폭을 보 플랜지 폭보다 크게 할 경우 측면의 모살 용접을 하향으로 행하는 것이 양호하다. 시공상 부득이한 경우 상부 플랜지의 하면에, 또한 하부 플랜지의 상면에 커버 플레이트를 설치하는 상세가 좋다.

나. CT형강에 의한 보 플랜지 보강 상세 : H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어 있는 경우에 하부 플랜지에 CT형강을 추가하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.15.2와 같다.



CT형강 플랜지 맞댐용접(A부)

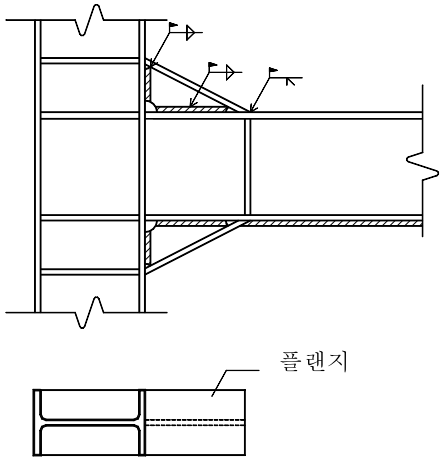
부록 그림 A.15.2 보 하부 플랜지의 CT형강 맞댐용접 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 내화피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.
(3) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간이 경과 후에 초음파탐상 검사를 행한다.

보강 후 내력은 CT형강을 부가하는 합성형상단면에 의해 평가한다. 단, CT형강의 길이는 응력전달이 충분하도록 길어야 한다. 또한, CT형강의 용접 시공성을 고려하여 150 mm 이상의 스템 춤을 권장한다.
한편, CT형강의 스템을 보하단에 상향용접하는 부분은 용접자세가 불리하므로 품질확보에 유의하여야 한다.

다. 플랜지를 가진 헌치 리브에 의한 보 플랜지 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어있는 경우에 상부, 하부, 또는 상하부 플랜지에 플랜지를 가진 헌치 리브를 추가하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.15.3과 같다.



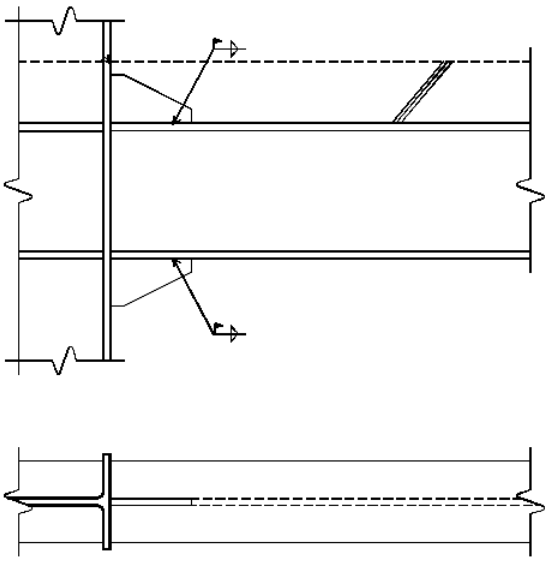
부록 그림 A.15.3 보 상하부에 플랜지를 가진 헌치 리브 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 내화피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.
(4) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간이 경과한 후에 초음파탐상 검사를 행한다.

보강 후 내력은 헌치 리브 부재를 추가한 합성단면으로 평가한다. 단, 추가 부재의 길이는 응력전달이 충분하도록 길어야 한다. 또한, 리브의 판두께가 H형강 기둥의 웨브 두께에 비해 과대한 경우는 기둥 웨브를 이중판으로 보강하여야 한다.

라. 헌치 리브에 의한 보 플랜지 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어 있는 경우에 상부, 하부, 또는 상하부 플랜지에 플랜지가 없는 헌치 리브를 추가하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.15.4와 같다.



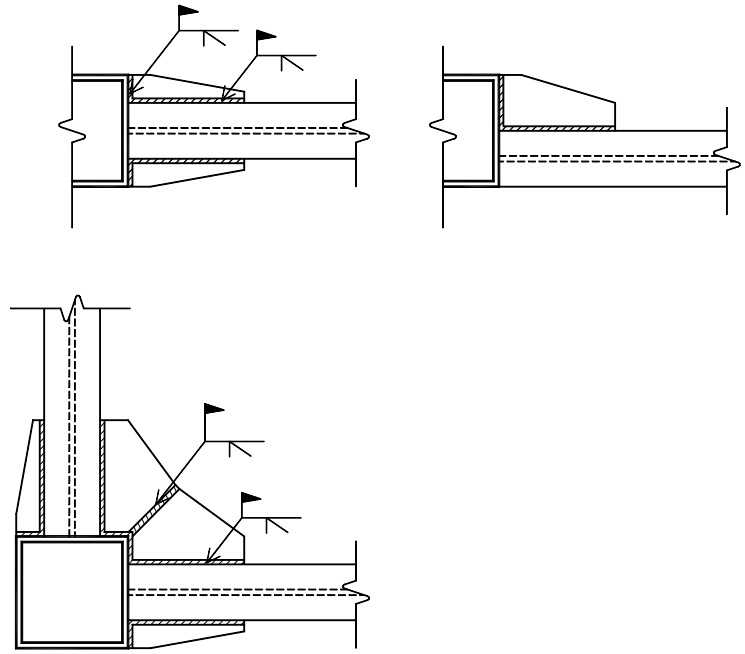
부록 그림 15.4 보 상하부에 플랜지가 없는 헌치 리브 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변 슬래브를 제거한다. 내화 피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.

보강 후 내력은 리브의 연직 단면적에 대한 내력을 추가하여 평가한다. 리브의 판두께가 H형강 기둥의 웨브 두께에 비해 과대한 경우는 기둥 웨브를 이중판으로 보강하여야 한다.
아울러, 보의 휨모멘트에 대해 압축응력이 발생하는 헌치는 좌굴에 대한 검토를 하여야 한다.
물론, 매우 큰 헌치가 필요한 경우에는 헌치 대신에 CT형강으로 보강하는 방법이 효과적이다.

마. 삼각 플레이트에 의한 보 플랜지 보강 상세: 각형강관 또는 박스형 기둥에 내 다이아프램이 있는 경우에 H형강 보 플랜지에 삼각플레이트를 추가로 용접하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.15.5와 같다.



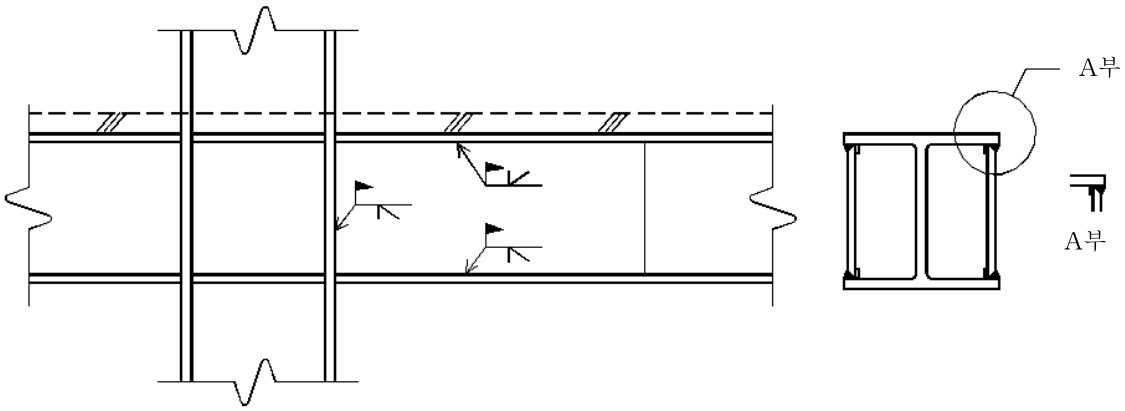
부록 그림 A.15.5 삼각 플레이트에 의한 보 플랜지 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 슬래브를 철거한다. 내화피복과 도장, 먼지, 기름 등을 완전하게 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.
(4) 맞댐용접부는 접합 종료 24시간 경과 후에 초음파탐상 검사를 행한다.

보강 후 내력은 삼각 플레이트의 맞댐 용접 내력에 의해 평가한다. 각형 강관의 경우는 모서리 우각부의 용접은 피한다.

바. ㅁ자형 플레이트에 의한 보 횡좌굴 및 플랜지 국부좌굴 및 상세 : 지진하중에 의하여 철골보의 하부 플랜지에 압축응력이 생겨 횡좌굴 발생이 우려되거나 플랜지가 세장하여 국부좌굴 발생이 우려되는 경우에는, 보 양면에 수직 플레이트를 추가하여 ㅁ자형 플레이트로서 단면성능을 증대하며 보강상세는 부록 그림 A.15.6과 같다.



부록 그림 A.15.6 보 양면 플레이트의 추가 용접 후 ㅁ자형 플레이트가 된 보강 상세

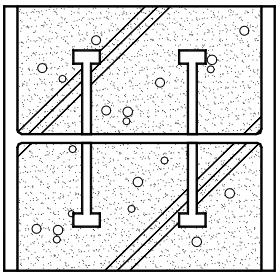
시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 내화피복과 도장, 먼지, 기름 등을 완전하게 제거한다.
(2) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.

보강 후는 ㅁ 단면의 판폭두께비를 사용하는 것으로 한다. 보강 범위는 소성 힌지가 발생하는 범위를 고찰하여 결정하되, 보 춤의 약 3배 정도이다.

A.16 철골기둥의 보강

가. H형강 기둥 내부 콘크리트 충전 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어있는 경우에 H형강 기둥 및 패널존 내부에 철근콘크리트를 추가하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.16.1과 같다.



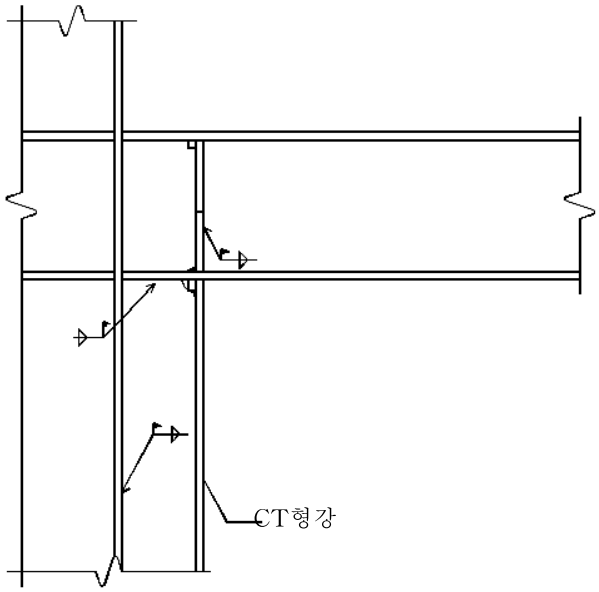
부록 그림 A.16.1 H형강 기둥과 패널존 내부에 철근콘크리트 충전 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 내화 피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 필요한 경우 철골면에 스터드 등의 시어커넥터를 설치한다.
(3) 거푸집을 설치한다.
(4) 슬래브 등에 콘크리트 타설구를 만든다.
(5) 콘크리트 타설시 누수방지 대책을 충분히 한다.
(6) 콘크리트 블리딩을 고려하여 무수축 콘크리트를 주입한다.

보강 후 내력은 철근콘크리트의 압축내력 증대뿐만 아니라 강기둥의 국부좌굴 구속효과가 있다.

나. CT형강에 의한 기둥 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 되어있는 경우에 H형강 기둥에 CT형강을 추가로 용접하여 단면성능을 증대하며, 보강상세는 부록 그림 A.16.2와 같다.



부록 그림 A.16.2 H형강 기둥에 CT형강 용접 보강 상세

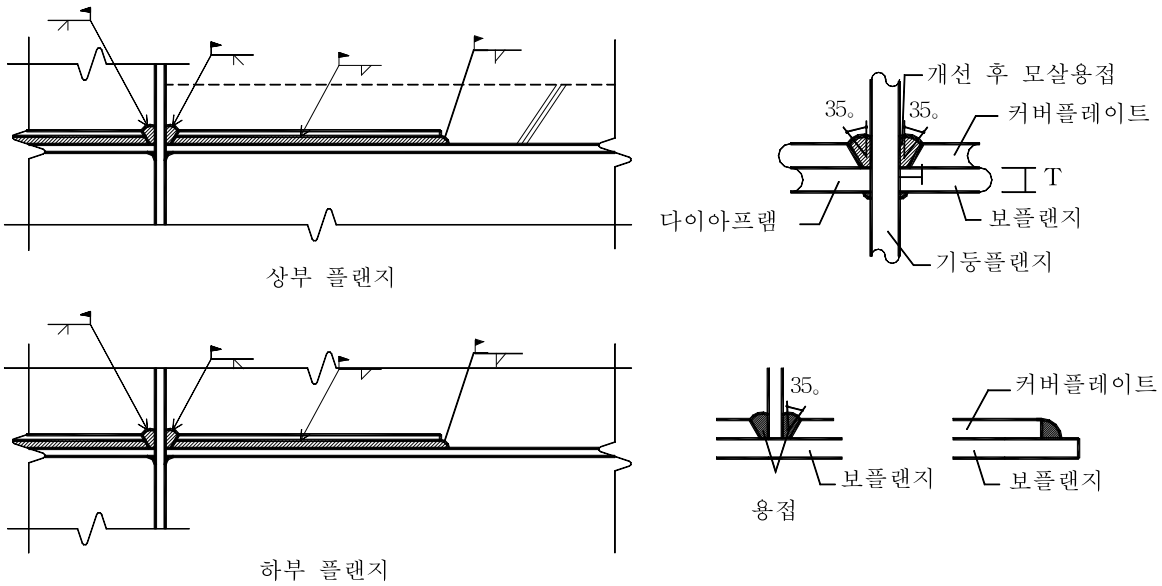
시공 요령은 다음과 같다.

(1) 내화 피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.
(4) 맞댐용접부는 접합 종료 24시간 경과 후에 초음파탐성 검사를 행한다.

보강 후 내력은 CT형강이 부가되는 합성형상단면에 의해 평가한다. CT형강의 올바른 용접의 시공성을 고려하여 150 mm 이상의 스템 길이를 권장한다. 하부구조와 주각부까지의 보강이 필요한 경우는 용접부 주변의 슬래브를 철거한다.

A.17 접합부 보강 공법

가. 커버 플레이트에 의한 보강 상세 : H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 모살용접으로 연결된 경우에 커버 플레이트를 추가로 설치하는 보강상세는 부록 그림 A.17.1과 같다.



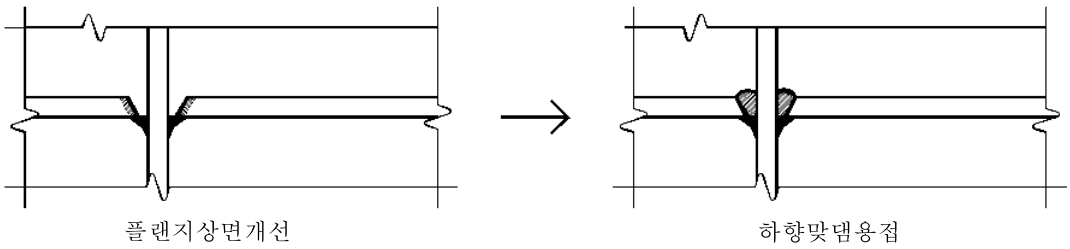
부록 그림 A.17.1 보 플랜지의 커버 플레이트 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부의 상판 슬래브를 철거한다. 내화피복과 도장, 먼지, 기름 등을 완전하게 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 모살 용접부를 개선한다. (판두께의 1/3정도)
(4) 커버 플레이트를 맞댐용접한다. 측면은 모살 용접한다.
(5) 개선 및 용접시에 방화대책을 충분히 행한다.
(6) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간 이상 경과 후에 초음파 탐상검사를 시행한다.

보강 후의 내력은 커버 플레이트의 맞댐 용접 내력으로 평가한다. 시공상 주의를 요할 경우에는 기존 플랜지의 하면에 내력 커버 플레이트를 설치하고 상향 용접을 하도록 한다. 하부 플랜지의 경우는 커버 플레이트의 폭을 보 플랜지 폭보다 크게 하여, 측면의 모살용접을 하향으로 할 수 있다.

나. 플랜지 상면을 가우징 후 용접 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 모살용접으로 연결된 경우에 플랜지의 상면만을 가우징 후 용접보강하는 상세는 부록 그림 A.17.2와 같다.



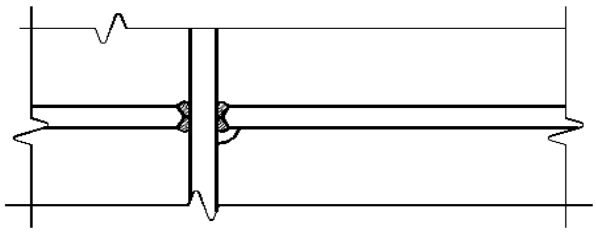
부록 그림 A.17.2 보 플랜지의 상면을 가우징 후 용접 보강 상세

시공 요령은 다음과 같다.

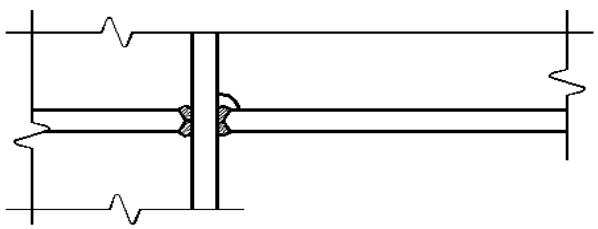
(1) 용접부의 상부 슬래브를 철거한다. 내화피복과 도장, 먼지, 기름, 등을 완전하게 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 용접에 필요한 최소한의 두께를 가우징 한다. (깊이는 판 두께 정도)
(4) 플랜지의 용접에서 요구되는 웨브 스켈럽이 없는 경우에는 스켈럽을 설치한다.
(5) 개선 및 용접시의 방화대책을 충분히 이행한다.
(6) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간 이상 경과 후에 초음파탐상 검사를 시행한다.

보강 후 내력은 플랜지 맞댐용접 내력으로 평가한다.

다. 플랜지 상하면을 가우징 후 용접 보강 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 모살용접으로 연결된 경우에 플랜지의 상면과 하면을 모두 가우징 후 용접보강하는 상세는 부록 그림 A.17.3 과 같다.



(a) 상부플랜지부



(b) 하부플랜지부

부록 그림 A.17.3 보 플랜지의 상면과 하면을 가우징 후 용접 보강 상세

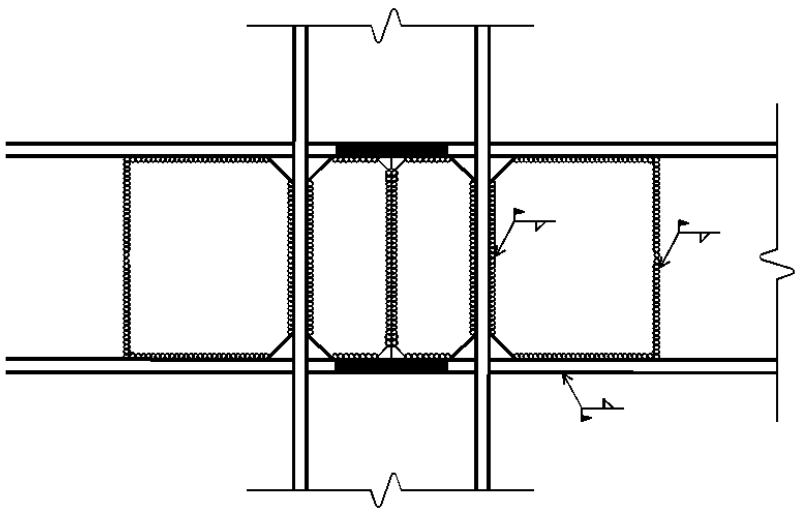
부록 그림 A.17.3 (a)는 상부 플랜지의 용접상세로서, 하면을 개선 후 상향 맞댐용접을 시행하고, 다시 상면 개선 후 하향으로 맞댐용접을 시행하여야 한다. 부록 그림 A.17.3 (b)는 하부 플랜지의 용접상세로서, 역시 하면을 개선 후 상향 맞댐용접을 시행하고, 다시 상면 개선 후 하향으로 맞댐용접을 시행하여야 한다.

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 슬래브를 철거한다. 내화피복과 도장, 먼지, 기름, 녹 등을 완전하게 제거한다.
(2) 필요한 경우 예열을 행한다.
(3) 맞댐 용접에 필요한 최소 두께를 가우징한다.
(플랜지 상면부터 판두께의 3/4, 하면부터 1/2정도)
(4) 플랜지의 용접에서 요구되는 웨브 스켈럽이 없는 경우에는 스켈럽을 설치한다.
(5) 개선 및 용접시의 방화대책을 충분히 이행한다.
(6) 맞댐용접부는 용접 종료 24시간 이상 경과 후에 초음파탐상 검사를 시행한다.

양면을 가우징하는 상세는 플랜지가 아주 두꺼운 단면으로서 한 쪽면만의 용접이 곤란한 경우에 사용하며, 보강 후 내력은 플랜지 맞댐용접 내력으로 평가한다.

라. 이중판에 의한 웨브 패널 추가 상세: H형강 기둥에 보의 플랜지와 웨브가 맞댐용접으로 연결된 경우에 접합부 주변의 웨브 패널을 이중판으로 보강하는 상세는 부록 그림 A.17.4와 같다.



부록 그림 A.17.4 웨브 패널에 이중판으로 보강하는 상세

시공 요령은 다음과 같다.

(1) 용접부 주변의 내화 피복과 도장, 먼지, 기름 녹 등을 완전히 제거한다.
(2) 용접시 방화대책을 충분히 이행한다.

보강 후 내력은 이중판의 전단내력을 추가하여 평가한다. 패널존 부위 이중판의 내측 용접은 기둥단면 폭이 적을 경우 곤란할 수가 있으므로 유의하여야 한다.

B. 철근콘크리트조

성능향상 예제

부록 B. 철근콘크리트조 성능향상 예제

B.1 건물개요

성능향상에 사용된 예제는 성능평가의 예제건물과 의 평면, 입면과 부재치수는 동일하나 층당 질량만을 1.2배 증가시켜 사용하였다. 성능평가에 사용된 1985년 건설된 건물의 층당 질량을 1.2배 증가시킨 건물(이하 원구조물)의 2단계 상세평가에 의한 역량곡선과 Se지반에서의 성능점은 부록그림 B.2.2에 나타나 있다. 그림에 나타난 바와 같이 원구조물은 붕괴위험의 성능수준을 나타내므로 이 예제에서는 성능향상을 통해 Se 지반에서 거주가능의 성능수준을 가지도록 보강후 성능목표를 설정하였다.

원구조물의 2단계 상세평가를 분석해 보면 y 방향의 성능이 x 방향보다 낮으며, 모든 부재가 소성힌지구간에서 전단철근이 d/3간격 이내로 배근되어야 한다는 내진상세를 만족하고 있지 못하기 때문에 비선형정적해석시 비선형능력이 낮게 모델링되어 최대강도도달이후에 급격하게 성능이 저하되고 전체적으로 구조물의 연성능력이 크게 낮은 것이 성능이 낮은 원인 중의 하나로 볼 수 있다. 따라서 내진성능향상을 통해 연성을 보강하거나 혹은 강도를 보강하여 최대하중점에서 좀 더 멀리 떨어진 지점에서 성능점이 형성되도록 할 필요가 있다.

부록 표 B.1.1 원구조물의 Pushover 해석을 위한 모델링 파라메터와 허용수준

		모델링 파라메터			허용기준				
		소성회전각		잔류강도비	거주가능	1차부재		2차부재	
		a	b	c		인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
1) 휨에 의해 지배되는 경우									
축력비	작용전단력의 크기								
0.1 이하	0.25 이하	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
	0.5 이상	**0.005**	**0.012**	**0.2**	**0.005**	**0.005**	**0.005**	**0.008**	**0.012**
0.4 이상	0.25 이하	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
	0.5 이상	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008

원구조물과 같이 비선형능력이 낮은 기둥부재의 Pushover 해석을 위한 모델링 파라메터는 부록 표 B.1.1로부터 결정하였다. 즉, 축력검토결과 축력비가 대부분 0.1이하였으므로 소성회전각의 크기 a를 표와 같이 0.005 수준으로 결정하고 단면해석결과 기둥의 항복회전각은 0.0011-0.002정도였으므로 이의 중간값인 0.0015을 모든 기둥부재의 항복회전각으로 하였다. 따라서 항복변위 대 최대강도시의 변위비를 (0.0015+0.005)/0.0015=4.33으로 하여 모든 기둥의 소성힌지의 모델링파라메터로 결정하여 푸쉬오버해석을 수행하였다.

허용기준의 경우 부록 표 B.1.1 표에서 알 수 있듯이 거주가능, 인명안전, 붕괴방지에서 허용되는 소

성회전각이 동일한 수준이다. 이는 내진상세가 아닌 경우 거주가능 이후에 바로 붕괴가 발생하는 취성적인 거동을 보이는 것을 고려한 것으로, 원구조물은 이러한 원인에 의해 취성적인 변위곡선을 나타내며 전체 성능수준도 붕괴로 이어진 것으로 판단된다.

B.2 내진성능 향상방법

기존 건물의 내진성능을 향상시키는 방법으로는 건물의 강도와 강성을 증가시키는 방법, 건물의 변형능력을 향상시키는 방법, 그리고 에너지소산형 장치를 설치하여 요구곡선의 크기를 줄이는 방법 등이 있다. 이 예제의 경우 연성능력이 크게 부족하기 때문에, 연성을 증가시키는 방법과, 에너지소산형 감쇠장치를 사용하여 감쇠를 증가시키는 방법을 사용하여 보강을 수행하도록 한다.

가. 변형능력을 증가시키는 방법

구조물의 변형능력을 증가시킴으로써 요구된 성능을 확보하는 방법으로 몇몇 부재에 대한 보강으로 변형능력을 확보할 수 있을 때 유효하며, 보강해야 하는 부재의 수가 증가함에 따라 비용이 크게 증가한다.

(a) 강판기둥보강

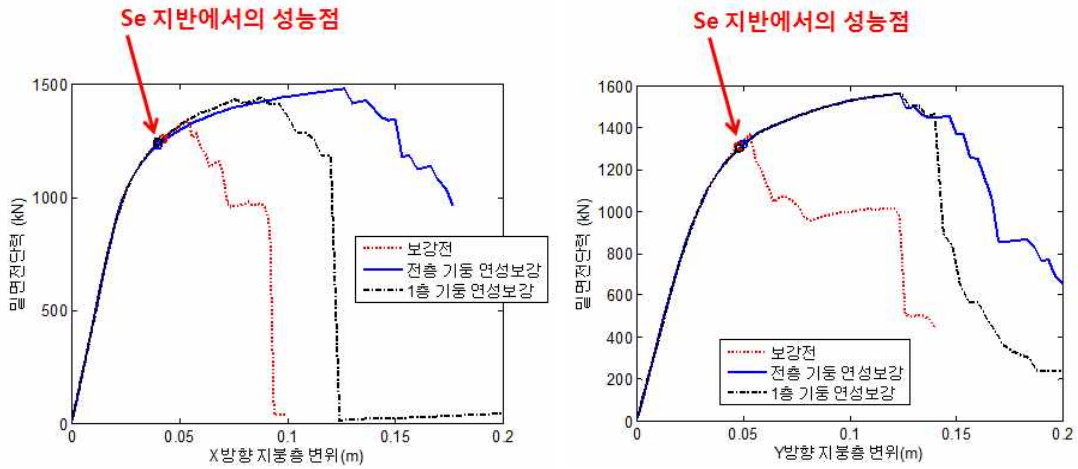
(b) CFRP 기둥보강

(c) 프리스트레스트 기둥보강

부록 그림 B.2.1 변형능력을 증가시키는 방법

비연성 콘크리트 기둥의 변형능력은 강판이나 탄소섬유시트로 외부를 구속함으로써 크게 증가될 수 있다. 구속효과가 발휘되기 위해서는 구속재가 압축력을 받아 외부로 팽창하려는 내부 콘크리트에 대하여 강체로서 작용해야 하며 원기둥보다는 사각기둥의 구속효과가 상대적으로 떨어진다. 또한, 철근콘크리트 건축물은 약기둥-강보의 형태를 가지는 경우가 일반적이며, 이때 특정 층의 기둥의 양단에 힌지가 형성되어 그 층에 모든 변형이 집중되어 파괴되는 취성파괴 모드를 가진다. 강기둥-약보가 될 수 있도록 기둥을 보강되면 전체 구조물의 변형능력을 크게 증가시킬 수 있다.

이 예제에서는 강판 혹은 탄소섬유시트를 사용하여 기둥의 연성능력이 항복회전각의 4.33에서 2배 수준인 8로 향상될 경우에 대한 푸쉬오버해석을 수행하였다. 방안으로는 모든 기둥의 연성도를 증가시키는 방안 1과 일부 하중이 집중되는 1층 기둥부재에만 보강하는 방안2로 구분하여 해석을 수행하였다.



(a) X방향 성능곡선 (b) Y방향 성능곡선

부록 그림 B.2.2 연성능력을 증가시키는 방법

해석결과, 기둥의 연성보강을 통해 전체 구조물의 연성을 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 모든 기둥의 연성을 증가시키는 것이 가장 좋은 성능을 보이나, 이는 보강비용을 크게 증가시킬 수 있으므로, 취성파괴를 보이고 축력분담비율이 큰 1층 기둥만을 연성보강하는 것을 대안으로 생각할 수 있으며, 이 경우에도 전체 구조물의 연성도를 2배 이상 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 성능향상 후 2단계 상세평가를 수행한 결과 붕괴방지수준의 부재가 부담하는 연직하중의 비율이 x 방향, y방향 모두 77.2%로 나타나 붕괴방지를 만족하는 것으로 나타났다.

나. 에너지소산형 장치를 사용하는 방법

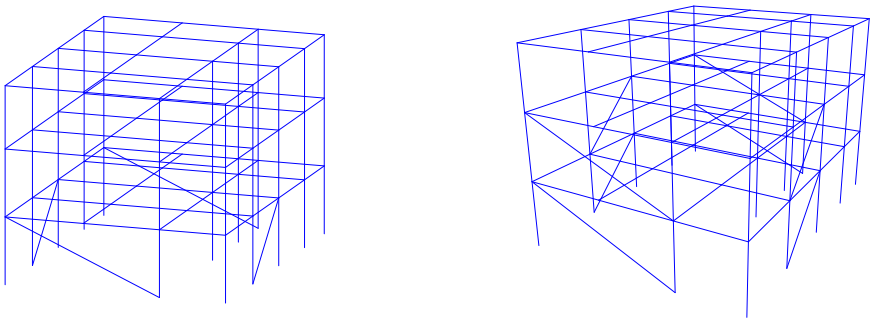
에너지소산형 장치는 구조물의 감쇠를 증가시킴으로써 지진에너지를 소산하는 장치로, 현재 FEMA 356에서는 진동감쇠기를 크게 속도-의존 장치(velocity-dependent device)와 변위-의존 장치(displacement-dependent device) 및 기타 장치 등으로 분류하고 있다. 속도-의존 장치는 감쇠력이 속도에 비례하는 점성 및 점탄성감쇠기 등이 있다. 변위-의존 장치로는 금속항복형 장치, 마찰형 감쇠기, 비좌굴가새 등이 대표적이며 장치 자체가 소성거동에 의하여 에너지를 소산하므로 감쇠성능을 파악하기 위하여 탄소성해석을 수행하여야 한다. 그러나 에너지소산형 장치가 효과적이기 위해서는 감쇠장치에 큰 변형이 발생해야 하며, 건축물의 강성이 큰 경우에는 감쇠장치가 작동하기 전에 구조물에 파괴가 발생할 수 있으므로 감쇠장치는 일반적으로 골조 구조물에 적용가능하다.

(a) 마찰감쇠기

(b) 금속항복형 장치

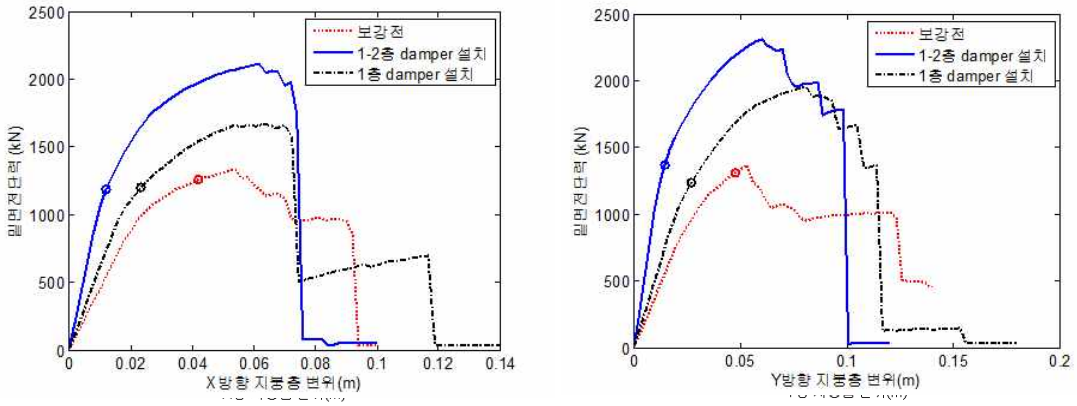
부록 그림 B.2.3 에너지소산형 장치

이 예제건물에서는 감쇠장치 중 변위-의존 감쇠장치를 사용하여 구조물의 내진성능을 향상하도록 한다. 변위-의존 장치는 다음과 같이 장치의 항복강도 F_y, 탄성강성 k_d, 그리고 항복후 강성 αk_d로 모델링 될 수 있다. 마찰형감쇠기의 경우 항복후 강성비 α=0인 장치로 모델링 되며, 일반적으로 비좌굴가새 혹은 금속항복형 장치는 항복후 강성비를 가진다. 이 예제건물에서는 x방향 및 y방향으로 1층 및 2층 항복강도 F_y=500kN, k_d=96000kN/m, 항복후 강성비 α=0.1을 가지는 변위-의존 장치를 대각가새의 형태로 설치하였다. 항복강도 F_y=500kN은 변위-의존 장치가 분담하는 지지력 분담비율이 나머지 골조의 지지력의 50%를 초과하지 않는다는 제한조건을 고려하여 결정하였다.



(a) 1층에만 설치 (b) 1-2층에 설치

부록 그림 B.2.4 에너지소산장치 설치형상



(a) X방향 성능곡선 (b) Y방향 성능곡선

부록 그림 B.2.5 변위-의존 에너지소산 장치를 사용한 보강방안

해석결과, 변위-의존 에너지소산 장치를 사용하여 구조물의 강도와 연성능력을 모두 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 1층-2층에 동시에 설치하는 것이 강도와 연성능력을 증가시키는 데에 있어 가장 효과적이나, 1층에만 설치하는 경우에도 강도와 연성능력을 확보할 수 있다. 따라서 변위-의존 에너지소산 장치를 설치하는 경우 구조물의 내진성능평가 결과에 기초하여, 성능수준에 따라 추가적으로 요구되는 강도와 연성을 고려하여 적절한 방안을 선택하여야 한다.

C. 조직조

성능향상 예제 :

진단벽 추가

부록 C. 조적조 성능향상 예제 : 전단벽 추가

C.1 건물개요

예제건물의 서울에 위치한 2층 주거용 조적조 건물로서 평면과 입면은 다음 그림과 같다.
보강 방법은 평면도에서 X방향은 X3, Y방향은 Y3에 기존 조적벽체를 대신하여 두께 155mm의 철근콘크리트 전단벽을 설치하는 것으로 가정하였다.

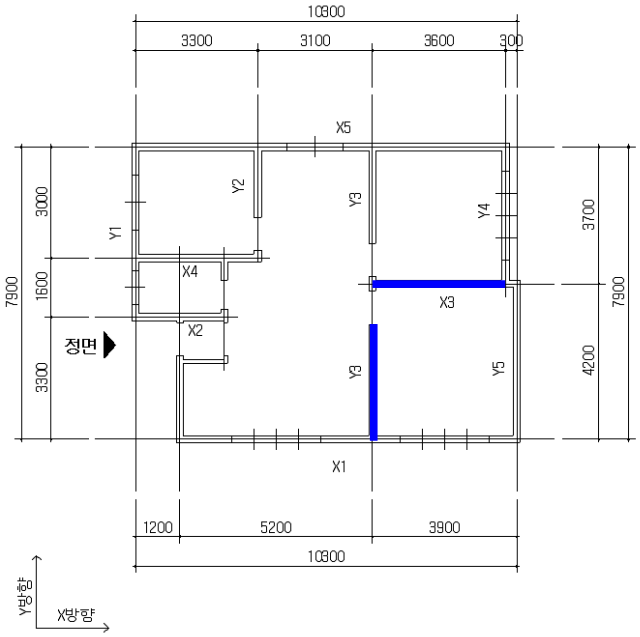


그림 C.1.1 예제건물의 평면도

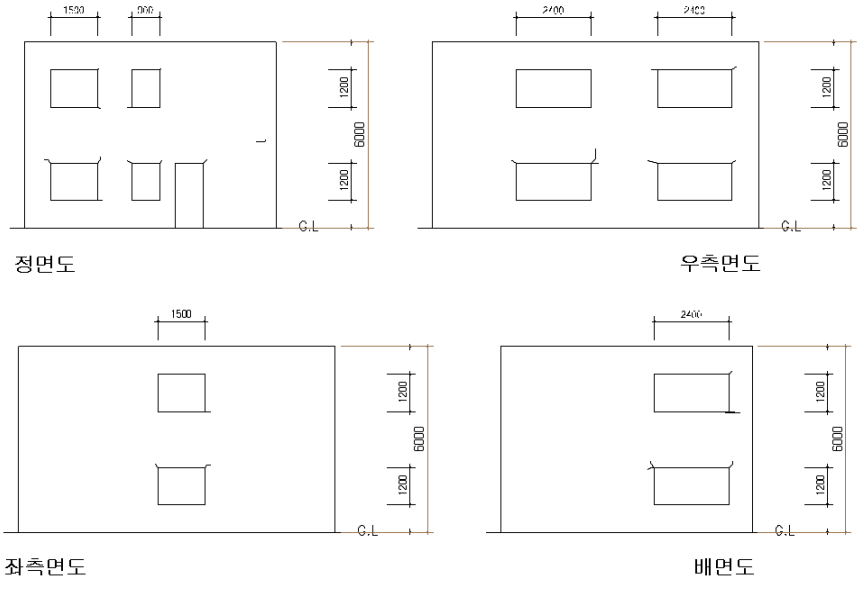


그림 C.1.2 예제건물의 입면도

C.2 1단계 상세평가

해석모델

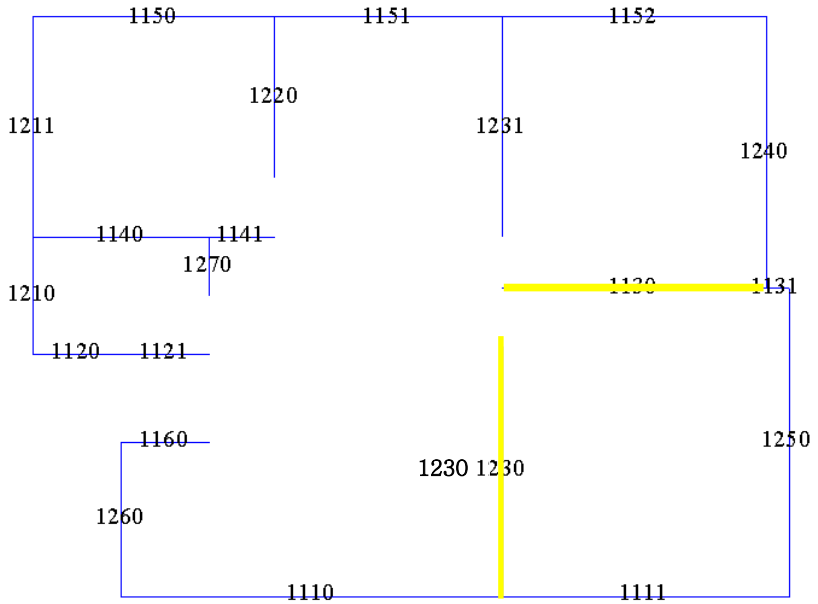


그림 C.2.1 1층 해석모델

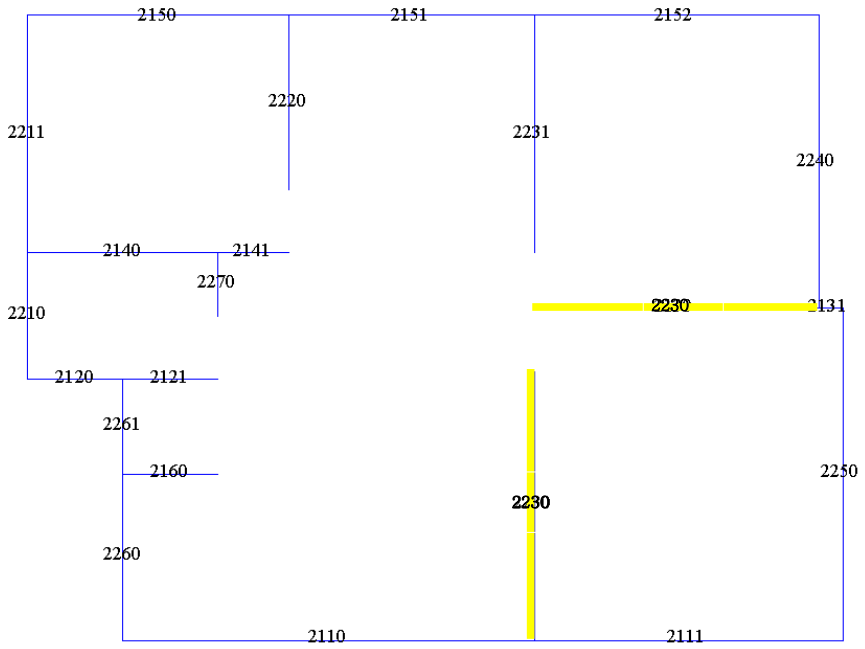


그림 C.2.2 2층 해석모델

1. 기본 정보

(1) 너비, 높이, 개구부 유무

* 개구부율I I= 개구부수평길이/벽체수평길이
  개구부율II = 개구부면적/벽체면적

(2) 재료 특성값

모르타르 압축강도: 10.4 MPa
벽돌 압축강도: 10 MPa
프리즘 압축강도: 3.62 MPa
프리즘 탄성계수: 318.6 MPa

철근콘크리트 압축강도: 24 MPa
철근콘크리트 탄성계수: 27000 MPa
철근콘크리트 전단벽 유효강성: 0.5EcIg

1층:

표 C.2.1 1층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	개구부유무	개구부율 Ⅰ	개구부율 Ⅱ
1110	5.2	3	1	0.46	0.18
1111	3.9	3	1	0.615	0.246
1120	1.2	3	-1	0	0
1121	1.2	3	-1	0	0
1130	3.6	3	-	-	-
1131	0.3	3	-1	0	0
1140	2.4	3	-1	0	0
1141	0.9	3	-1	0	0
1150	3.3	3	-1	0	0
1151	3.1	3	1	0.484	0.194
1152	3.6	3	-1	0	0
1160	1.2	3	-1	0	0
1210	1.6	3	1	0.562	0.225
1211	3	3	1	0.5	0.2
1220	2.2	3	-1	0	0
1230	3.4	3	-	-	-
1231	3	3	-1	0	0
1240	3.7	3	1	0.649	0.259
1250	4.2	3	-1	0	0
1260	2.1	3	-1	0	0
1270	0.8	3	-1	0	0

표 C.2.2 1층 기본사항

벽 ID	P_{CE}	전단강도(Q_{CE})	파괴모드	Q_{UD}
1110	34.66	49.4	2	62.88
1111	12.86	23.9	2	25.44
1120	41.17	37.7	2	8.26
1121	45.31	39.8	2	6.82
1130	278.45	960.0	-	584.94
1131	1.57	2.3	1	1.9
1140	91.6	80.0	2	12.87
1141	42.56	37.0	2	2.91
1150	93	93.5	2	28.37
1151	41.26	33.4	2	18.17
1152	110.03	106.3	2	40.91
1160	47.68	40.9	2	4
1210	19.38	14.2	2	15.49
1211	33.92	29.9	2	30.56
1220	79.79	71.3	2	22.05
1230	321.13	999.6	-	595.4
1231	133.36	109.4	2	35.18
1240	13.6	20.9	2	9.28
1250	37.12	78.4	2	52.6
1260	76.28	23.9	2	31.63
1270	36.09	29.4	2	3.73

2층:

표 C.2.3 2층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	개구부유무	개구부율 Ⅰ	개구부율 Ⅱ
2110	5.2	3	1	0.46	0.18
2111	3.9	3	1	0.615	0.246
2120	1.2	3	-1	0	0
2121	1.2	3	-1	0	0
2130	3.6	3	-	-	-
2131	0.3	3	-1	0	0
2140	2.4	3	-1	0	0
2141	0.9	3	-1	0	0
2150	3.3	3	-1	0	0
2151	3.1	3	1	0.484	0.194
2152	3.6	3	-1	0	0
2160	1.2	3	-1	0	0
2210	1.6	3	1	0.562	0.225
2211	3	3	1	0.5	0.2
2220	2.2	3	-1	0	0
2230	3.4	3	-	-	-
2231	3	3	-1	0	0
2240	3.7	3	1	0.649	0.259
2250	4.2	3	-1	0	0
2260	2.1	3	-1	0	0
2261	1.2	3	-1	0	0
2270	0.8	3	-1	0	0

표 C.2.4 2층 기본사항

벽 ID	P_{CE}	전단강도(Q_{CE})	파괴모드	Q_{UD}
2110	4.57	35.7	1	97.82
2111	1.14	9.5	1	25.51
2120	8.13	20.7	1	14
2121	10.81	22.8	2	7.81
2130	115.38	1133.1	-	243.54
2131	2.66	3.4	1	3.57
2140	30.64	49.5	2	13.7
2141	18.19	24.8	2	10.61
2150	26.22	60.1	2	38.17
2151	11.73	25.8	2	31.9
2152	30.02	66.3	2	64.19
2160	15.46	24.8	2	11.19
2210	4.53	8.9	1	17.4
2211	8.96	23.6	2	33.89
2220	29.35	46.0	2	10.75
2230	138.5	1081.9	-	245.91
2231	61.23	73.4	2	47.43
2240	0.97	7.6	1	23.07
2250	4.26	51.6	1	88.4
2260	21.67	14.3	2	25.53
2261	9.34	7.6	1	20.22
2270	14.49	18.6	1	0.46

2. 상세 평가

표 C.2.5 1층 상세평가 결과

벽 ID				성능수준 판정			OK 부재의 축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
1110	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1111	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1120	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	41.2	41.2	41.2
1121	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	45.3	45.3	45.3
1130	2.00	2.00	3.00	OK	OK	OK	278.5	278.5	278.5
1131	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	1.6
1140	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	91.6	91.6	91.6
1141	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	42.6	42.6	42.6
1150	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	93.0	93.0
1151	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	41.3	41.3
1152	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	110.0	110.0
1160	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	47.7	47.7	47.7
1210	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1211	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1220	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	79.8	79.8
1230	2.00	2.00	3.00	OK	OK	OK	321.1	321.1	321.1
1231	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	133.4	133.4
1240	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	13.6	13.6
1250	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	37.1	37.1
1260	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1270	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	36.1	36.1	36.1

표 C.2.6 2층 상세평가 결과

벽 ID				성능수준 판정			OK 부재의축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
2110	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2111	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2120	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	8.1	8.1
2121	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	10.8	10.8
2130	2.00	2.00	3.00	OK	OK	OK	115.4	115.4	115.4
2131	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2140	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	30.6	30.6
2141	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	18.2	18.2
2150	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	26.2	26.2
2151	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2152	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	30.0
2160	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	15.5	15.5
2210	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2211	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2220	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	29.4	29.4	29.4
2230	2.00	2.00	3.00	OK	OK	OK	138.5	138.5	138.5
2231	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	61.23	61.2
2240	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2250	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2260	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2261	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2270	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	14.5	14.5	14.5

표 C.2.7 상세평가 결과

		IO	LS	CP
1층	OK축력비율	0.57	0.89	0.89
2층	OK축력비율	0.52	0.82	0.88

3. 성능수준의 결정

(각 층별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 수준을 최종 수준으로 정함)

1층: 인명안전

2층: 인명안전

최종 수준 : 인명안전

* 1단계 상세평가 결과 모든 층과 방향에서 인명안전 수준을 만족하였다. 이는 철근콘크리트 전단벽의 추가로 대부분의 힘이 전단벽에 집중되어 그 외 조적벽체에 가해지는 하중이 감소한 결과이다. 이와 같이 전단벽의 추가가 조적조 건물의 성능향상에 효과가 있음을 알 수 있다.

D. 조적조 성능향상 예제 : 조적벽 추가

부록 D. 조적조 성능향상 예제 : 조적벽 추가

D.1 건물개요

예제건물의 서울에 위치한 2층 주거용 조적조 건물로서 평면과 입면은 다음 그림과 같다. 보강 방법은 기존 조적벽체에 0.5B로 조적벽을 추가하는 것으로 가정하였다.

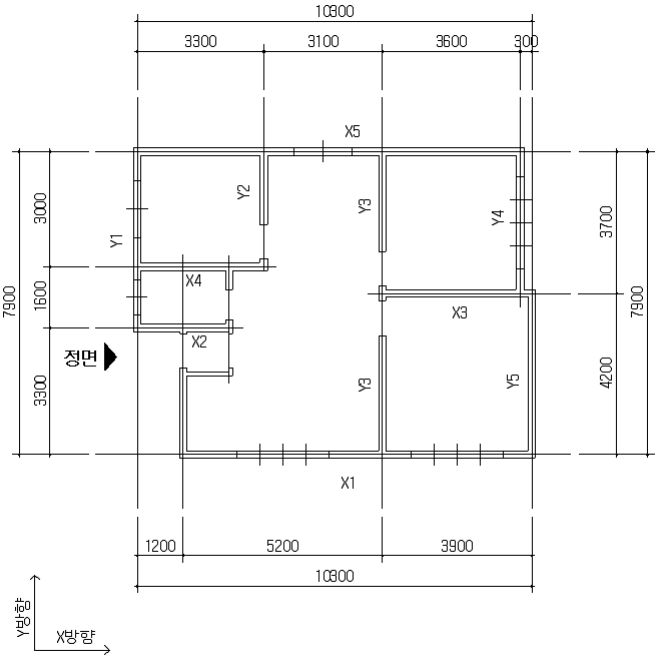


그림 D.1.1 예제건물의 평면도

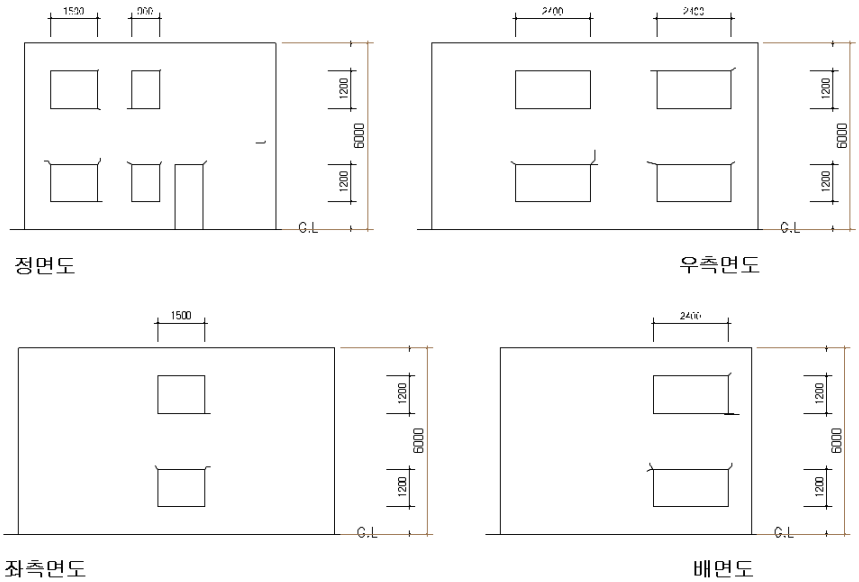


그림 D.1.2 예제건물의 입면도

D.2 1단계 상세평가

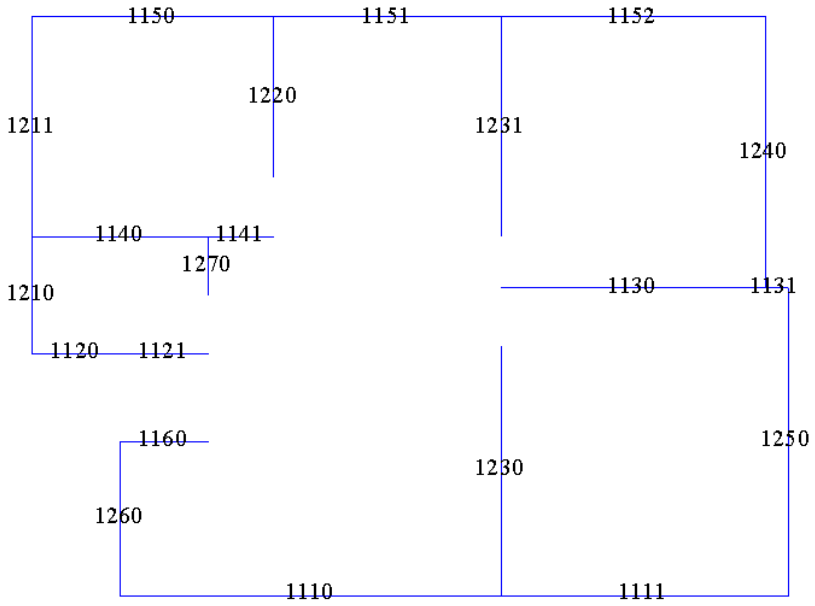


그림 D.2.1 1층 해석모델

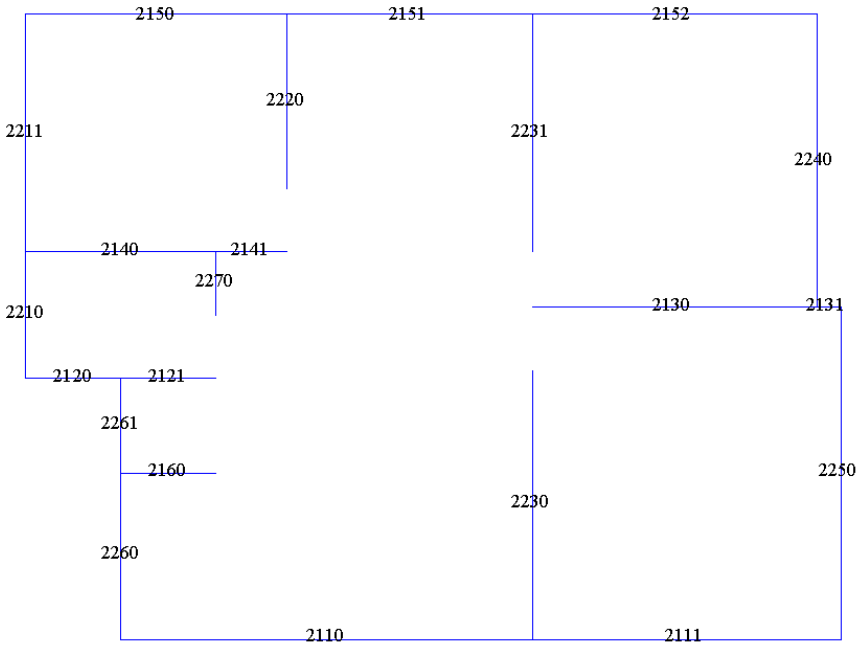


그림 D.2.2 2층 해석모델

1. 기본 정보

(1) 너비, 높이, 개구부 유무

* 개구부율I I= 개구부수평길이/벽체수평길이
  개구부율II = 개구부면적/벽체면적

(2) 재료 특성값

모르타르 압축강도: 10.4 MPa

벽돌 압축강도: 10 MPa

프리즘 압축강도: 3.62 MPa

프리즘 탄성계수: 318.6 MPa

표 D.2.1 1층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	개구부유무	개구부율 Ⅰ	개구부율 Ⅱ
1110	5.2	3	1	0.46	0.18
1111	3.9	3	1	0.615	0.246
1120	1.2	3	-1	0	0
1121	1.2	3	-1	0	0
1130	3.6	3	-1	0	0
1131	0.3	3	-1	0	0
1140	2.4	3	-1	0	0
1141	0.9	3	-1	0	0
1150	3.3	3	-1	0	0
1151	3.1	3	1	0.484	0.194
1152	3.6	3	-1	0	0
1160	1.2	3	-1	0	0
1210	1.6	3	1	0.562	0.225
1211	3	3	1	0.5	0.2
1220	2.2	3	-1	0	0
1230	3.4	3	-1	0	0
1231	3	3	-1	0	0
1240	3.7	3	1	0.649	0.259
1250	4.2	3	-1	0	0
1260	2.1	3	-1	0	0
1270	0.8	3	-1	0	0

표 D.2.2 1층 기본사항

벽 ID	P_{CE}	전단강도(Q_{CE})	파괴모드	Q_{UD}
1110	107.67	88.0	2	153.73
1111	68.27	44.7	2	107.38
1120	50.21	50.3	2	36.14
1121	54.54	52.5	2	32.88
1130	149.98	150.6	2	140.37
1131	12.34	6.8	1	11.57
1140	109.11	105.0	2	76.66
1141	48.97	47.6	2	24.47
1150	115.02	126.8	2	133.79
1151	50.35	46.6	2	71.19
1152	144.45	147.8	2	152.84
1160	57.14	53.8	2	26.66
1210	23.79	19.9	2	46.88
1211	42.54	42.1	2	90.15
1220	92.63	92.5	2	85.42
1230	186.61	164.7	2	145.37
1231	154.04	140.0	2	139.68
1240	50.42	36.1	2	96
1250	178.25	177.3	2	241.57
1260	93.52	31.9	2	112.98
1270	41.64	33.8	1	15.26

표 D.2.3 2층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	개구부유무	개구부율 Ⅰ	개구부율 Ⅱ
2110	5.2	3	1	0.46	0.18
2111	3.9	3	1	0.615	0.246
2120	1.2	3	-1	0	0
2121	1.2	3	-1	0	0
2130	3.6	3	-1	0	0
2131	0.3	3	-1	0	0
2140	2.4	3	-1	0	0
2141	0.9	3	-1	0	0
2150	3.3	3	-1	0	0
2151	3.1	3	1	0.484	0.194
2152	3.6	3	-1	0	0
2160	1.2	3	-1	0	0
2210	1.6	3	1	0.562	0.225
2211	3	3	1	0.5	0.2
2220	2.2	3	-1	0	0
2230	3.4	3	-1	0	0
2231	3	3	-1	0	0
2240	3.7	3	1	0.649	0.259
2250	4.2	3	-1	0	0
2260	2.1	3	-1	0	0
2261	1.2	3	-1	0	0
2270	0.8	3	-1	0	0

표 D.2.4 2층 기본사항

벽 ID	P_{CE}	전단강도(Q_{CE})	파괴모드	Q_{UD}
2110	35.03	68.4	2	140.03
2111	22.23	35.8	2	115.17
2120	7.98	20.4	1	32.06
2121	10.89	23.9	1	14.64
2130	44.28	97.7	2	49.96
2131	3.51	3.4	1	5.1
2140	31.47	66.1	2	9.63
2141	20.27	30.5	1	11.46
2150	26.67	82.6	2	100.1
2151	11.73	32.8	1	79.95
2152	33.39	92.3	2	121.82
2160	15.81	29.1	1	17.77
2210	4.4	8.8	1	44.72
2211	9.03	26.9	1	80.43
2220	27.88	60.1	2	11.64
2230	61.56	102.2	2	23.42
2231	64.22	95.1	2	60.44
2240	13.61	28.7	1	98
2250	47.82	112.1	2	162.35
2260	20.25	19.0	2	53.82
2261	8.97	5.7	1	52.09
2270	16.16	19.9	1	3.34

2. 상세 평가

표 D.2.5 1층 상세평가 결과

벽 ID				성능수준 판정			OK 부재의 축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
1110	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1111	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1120	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	50.2	50.2
1121	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	54.5	54.5
1130	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	150.0
1131	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1140	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	109.1	109.1
1141	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	49.0	49.0
1150	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1151	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1152	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1160	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	57.1	57.1
1210	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1211	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1220	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	92.6
1230	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	186.6
1231	0.25	0.75	1.00	NG	NG	OK	0	0	154.0
1240	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1250	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1260	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
1270	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	41.6	41.6

표 D.2.6 2층 상세평가 결과

벽 ID				성능수준 판정			OK 부재의 축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
2110	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2111	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2120	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2121	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	10.9	10.9
2130	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	44.3	44.3
2131	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2140	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	2.4	2.4	2.4
2141	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	20.3	20.3
2150	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2151	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2152	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2160	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	15.8	15.8
2210	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2211	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2220	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	27.9	27.9	27.9
2230	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	61.6	61.6	61.6
2231	0.25	0.75	1.00	NG	OK	OK	0	64.2	64.2
2240	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2250	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2260	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2261	0.25	0.75	1.00	NG	NG	NG	0	0	0
2270	0.25	0.75	1.00	OK	OK	OK	16.2	16.2	16.2

표 D.2.7 상세평가 결과

		IO	LS	CP
1층	OK축력비율	0.00	0.23	0.59
2층	OK축력비율	0.19	0.46	0.46

3. 성능수준의 결정

(각 층별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 수준을 최종 수준으로 정함)

1층: 붕괴위험

2층: 붕괴위험

최종 수준 : 붕괴위험

* 개별 조적벽체의 단면적 증가로 인해 전단강도가 증가하나 동시에 건물 중량이 증가하여 요구수준도 함께 증가하는 현상이 나타나 성능수준의 향상으로 이어지지 못하였다.

D.3 2단계 상세평가

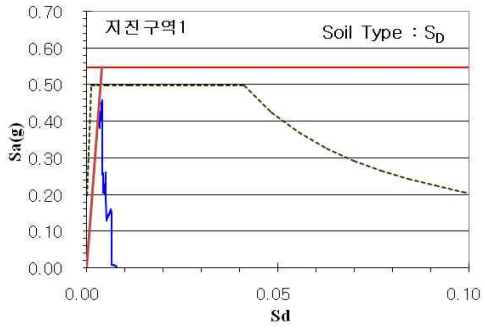


그림 D.3.1 X방향

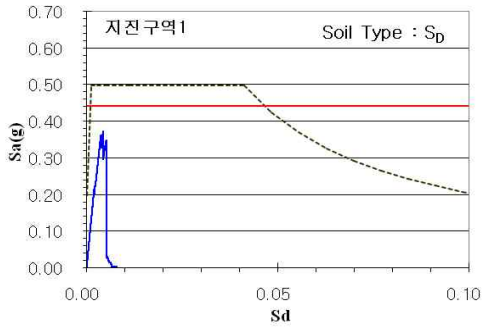


그림 D.3.2 Y방향

층간변위각(%)

층	X축	Y축
1F	0.08	1.00
2F	0.06	1.00

1. 기본사항

표 D.3.1 1층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	P_{CE}	파괴모드
1110	5.2	3	107.67	2
1111	3.9	3	68.27	2
1120	1.2	3	50.21	2
1121	1.2	3	54.54	2
1130	3.6	3	149.98	2
1131	0.3	3	12.34	1
1140	2.4	3	109.11	2
1141	0.9	3	48.97	2
1150	3.3	3	115.02	2
1151	3.1	3	50.35	2
1152	3.6	3	144.45	2
1160	1.2	3	57.14	2
1210	1.6	3	23.79	2
1211	3	3	42.54	2
1220	2.2	3	92.63	2
1230	3.4	3	186.61	2
1231	3	3	154.04	2
1240	3.7	3	50.42	2
1250	4.2	3	178.25	2
1260	2.1	3	93.52	2
1270	0.8	3	41.64	2

표 D.3.2 2층 기본사항

벽 ID	너비(L)	높이(H)	P_{CE}	파괴모드
2110	5.2	3	35.03	2
2111	3.9	3	22.23	2
2120	1.2	3	7.98	1
2121	1.2	3	10.89	1
2130	3.6	3	44.28	2
2131	0.3	3	3.51	1
2140	2.4	3	31.47	2
2141	0.9	3	20.27	2
2150	3.3	3	26.67	2
2151	3.1	3	11.73	1
2152	3.6	3	33.39	2
2160	1.2	3	15.81	2
2210	1.6	3	4.4	1
2211	3	3	9.03	1
2220	2.2	3	27.88	2
2230	3.4	3	61.56	2
2231	3	3	64.22	2
2240	3.7	3	13.61	2
2250	4.2	3	47.82	2
2260	2.1	3	20.25	2
2261	1.2	3	8.97	1
2270	0.8	3	16.16	1

2. 상세 평가

표 D.3.3 1층 상세평가 결과

벽 ID	허용 수준			성능수준 판정			OK 부재의 축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
1110	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	107.7	107.7	107.7
1111	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	68.3	68.3	68.3
1120	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	50.2	50.2	50.2
1121	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	54.5	54.5	54.5
1130	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	150.0	150.0	150.0
1131	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	12.3	12.3	12.3
1140	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	109.1	109.1	109.1
1141	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	49.0	49.0	49.0
1150	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	115.0	115.0	115.0
1151	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	50.4	50.4	50.4
1152	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	144.5	144.5	144.5
1160	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	57.1	57.1	57.1
1210	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1211	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1220	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1230	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1231	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1240	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1250	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1260	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
1270	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0

표 D.3.4 2층 상세평가 결과

벽 ID	허용 수준			성능수준 판정			OK 부재의 축력		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP	IO	LS	CP
2110	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	35.0	35.0	35.0
2111	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	22.2	22.2	22.2
2120	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	8.0	8.0	8.0
2121	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	10.9	10.9	10.9
2130	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	44.3	44.3	44.3
2131	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	3.5	3.5	3.5
2140	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	31.5	31.5	31.5
2141	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	20.3	20.3	20.3
2150	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	26.7	26.7	26.7
2151	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	11.7	11.7	11.7
2152	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	33.4	33.4	33.4
2160	0.10	0.15	0.20	OK	OK	OK	15.8	15.8	15.8
2210	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2211	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2220	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2230	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2231	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2240	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2250	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2260	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2261	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0
2270	0.10	0.15	0.20	NG	NG	NG	0.0	0.0	0.0

표 D.3.5 상세평가 결과

		IO	LS	CP
1층	X방향 OK축력비율	1.00	1.00	1.00
	Y방향 OK축력비율	0.00	0.00	0.00
2층	X방향 OK축력비율	1.00	1.00	1.00
	Y방향 OK축력비율	0.00	0.00	0.00

3. 성능수준의 결정

(각 층별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 수준을 최종 수준으로 정함)

1층: X축 거주가능 Y축 붕괴위험

2층: X축 거주가능 Y축 붕괴위험

최종 수준 : 붕괴위험

* X축 방향으로는 개별 조적벽체의 단면적 증가로 인해 성능수준이 향상되었으나 Y축 방향으로는 성능수준의 향상으로 이어지지 못하였다. 평면 형태상 Y축 방향으로 벽체의 길이가 X축 방향보다는 작은 것이 원인으로 판단된다.