

KDS 41 17 00 : 2022

건축물 내진설계기준

2022년 10월 11일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 제·개정 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 건축 구조물 및 공작물 등의 구조설계에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

| 건설기준 | 주요내용 | 제정 또는 개정 (년.월) |
|---------------------|-----------------|-------------------|
| KDS 41 17 00 : 2019 | • 건축물 내진설계기준 제정 | 제정 (2019.3) |
| KDS 41 17 00 : 2022 | • 건축물 내진설계기준 개정 | 개정 (2022.10) |

| | |
|--------------------|-------------------------|
| 제 정 : 2019년 3월 14일 | 개 정 : 2022년 10월 11일 |
| 심 의 : 중앙건설기술심의위원회 | 자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회 |
| 소관부서 : 국토교통부 건축안전과 | |
| 관련단체 : 대한건축학회 | 작성기관 : 대한건축학회 |

- 국토교통부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2023년 1월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

목차

| | |
|----------------------|----|
| 1. 일반사항 | 1 |
| 1.1 적용범위 | 1 |
| 1.2 용어의 정의 | 1 |
| 1.3 기호의 정의 | 4 |
| 1.4 내진설계의 절차 | 7 |
| 1.5 내진구조계획 | 7 |
| 1.6 구조해석 | 7 |
| 1.7 내진구조설계 | 8 |
| 1.8 구조물 내진성능의 확인 | 8 |
| 1.9 증축 구조물의 설계 | 8 |
| 1.10 용도변경 | 8 |
| 1.11 구조변경 | 9 |
| 1.12 기준의 구성 및 적용 | 9 |
| 1.13 내진설계책임구조기술자 | 9 |
| 2. 내진등급 및 성능목표 | 9 |
| 2.1 일반사항 | 9 |
| 2.2 건축물의 내진등급과 중요도계수 | 9 |
| 2.3 지진위험도 | 10 |
| 2.4 성능목표 | 10 |
| 3. 지진구역 및 지진구역계수 | 11 |
| 3.1 지진구역 및 지진구역계수 | 11 |
| 3.2 유효지반가속도 | 11 |
| 4. 지반조건 및 설계응답스펙트럼 | 13 |
| 4.1 지반의 분류 | 13 |
| 4.2 설계응답스펙트럼 | 13 |
| 5. 내진설계범주 | 16 |

| | |
|---------------------------|----|
| 5.1 일반사항 | 16 |
| 5.2 내진설계범주의 결정 | 16 |
| 5.3 건물의 비정형성 | 16 |
| 6. 지진력저항시스템 | 18 |
| 6.1 지진력저항시스템의 설계계수 | 18 |
| 6.2 지진력저항시스템의 정의 | 18 |
| 6.3 서로 다른 축에서 시스템의 조합 | 21 |
| 6.4 동일축에서 시스템의 조합 | 21 |
| 6.5 시스템 제한과 높이제한 | 23 |
| 6.6 내진설계범주 'D'에 대한 시스템 제한 | 23 |
| 7. 지진하중의 계산 및 구조해석 | 23 |
| 7.1 해석법의 적용 | 23 |
| 7.2 등가정적해석법 | 24 |
| 7.3 동적해석법 | 30 |
| 8. 하중조합 및 설계 요구사항 | 35 |
| 8.1 지진하중의 조합 | 35 |
| 8.2 설계 요구사항 | 36 |
| 8.3 비정형 구조물 | 37 |
| 9. 콘크리트구조의 고려사항 | 38 |
| 9.1 일반사항 | 38 |
| 9.2 시스템의 분류 | 38 |
| 9.3 재료요구사항 | 39 |
| 9.4 보와 기둥에 대한 요구사항 | 39 |
| 9.5 보-기둥 접합부에 대한 요구사항 | 40 |
| 9.6 전단벽에 대한 요구사항 | 40 |
| 9.7 시스템별 상세설계 | 41 |
| 9.8 기타요구사항 | 41 |
| 10. 강구조의 고려사항 | 43 |
| 10.1 일반사항 | 43 |
| 10.2 강구조건물의 지진력저항시스템 | 44 |

| | | |
|------|--------------------------|----|
| 10.3 | 재료요구사항 | 45 |
| 10.4 | 접합부, 조인트 및 파스너에 대한 요구사항 | 45 |
| 10.5 | 보와 기둥에 대한 요구사항 | 45 |
| 10.6 | 보-기둥 접합부에 대한 요구사항 | 46 |
| 10.7 | 가새골조에 대한 요구사항 | 46 |
| 10.8 | 강판전단벽에 대한 요구사항 | 46 |
| 10.9 | 시스템별 상세설계 | 47 |
| 11. | 합성구조의 고려사항 | 47 |
| 11.1 | 일반사항 | 47 |
| 11.2 | 지진력저항시스템의 정의와 설계계수 | 48 |
| 11.3 | 재료, 접합부, 부재에 대한 요구사항 | 48 |
| 11.4 | 콘크리트와 강재의 연결 | 49 |
| 11.5 | 보-기둥 접합부 | 49 |
| 11.6 | 합성시스템의 설계 | 49 |
| 12. | 목구조의 고려사항 | 50 |
| 13. | 조적구조의 고려사항 | 50 |
| 13.1 | 일반사항 | 50 |
| 13.2 | 지진력저항시스템의 정의와 설계계수 | 50 |
| 13.3 | 내진성능의 확보 | 51 |
| 13.4 | 비구조 조적벽체 | 51 |
| 13.5 | 채움벽체 | 51 |
| 14. | 지하구조물의 내진설계 | 51 |
| 14.1 | 일반사항 | 51 |
| 14.2 | 지하구조물의 중요도 | 51 |
| 14.3 | 지진력저항시스템 | 52 |
| 14.4 | 지진하중과 하중조합 | 52 |
| 14.5 | 지진토압의 계산 | 53 |
| 14.6 | 지하구조를 고려한 지진해석 및 내진설계 방법 | 53 |
| 15. | 성능기반설계 | 55 |
| 15.1 | 적용범위 | 55 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 15.2 설계응답스펙트럼 | 55 |
| 15.3 성능목표 및 설계지진력의 정의 | 55 |
| 15.4 구조물과 부재의 허용변위 | 56 |
| 15.5 해석 및 설계요구사항 | 56 |
| 15.6 최소강도규정 | 57 |
| 15.7 성능기반설계 결과의 검증 | 57 |
| 16. 면진구조 | 57 |
| 16.1 일반사항 | 57 |
| 16.2 설계 요구사항 | 57 |
| 16.3 해석절차 | 59 |
| 16.4 설계검토 | 62 |
| 16.5 면진장치 시험 | 62 |
| 17. 감쇠시스템을 적용한 구조물 | 65 |
| 17.1 일반사항 | 65 |
| 17.2 설계 요구사항 | 66 |
| 17.3 해석절차 | 68 |
| 17.4 감쇠시스템 적용 구조물의 허용기준 | 69 |
| 17.5 설계 검토 | 70 |
| 17.6 감쇠장치의 시험 | 70 |
| 18. 비구조요소 | 72 |
| 18.1 일반사항 | 72 |
| 18.2 설계지진력 및 변위 | 74 |
| 18.3 건축비구조요소 | 79 |
| 18.4 기계 및 전기 비구조요소 | 87 |
| 18.5 비구조요소의 정착부 | 93 |
| 19. 건물외구조물 | 94 |
| 19.1 일반사항 | 94 |
| 19.2 다른 구조물에 의해 지지되는 건물외구조물 | 94 |
| 19.3 내진설계 규정 | 95 |
| 19.4 건물과 유사한 건물외구조물에 대한 요구사항 | 101 |

| | |
|---|-----|
| 19.5 건물과 유사하지 않은 건물외구조물에 대한 요구 사항 | 103 |
| 19.6 탱크 및 저장용기 | 105 |
| 20. 기능수행 고려사항 | 120 |
| 20.1 일반사항 | 121 |
| 20.2 구조체의 강도 및 강성 요구조건 | 121 |
| 20.3 건축 비구조요소의 기능수행 | 121 |
| 20.4 기계 및 전기 비구조요소의 기능수행 | 121 |



1. 일반사항

1.1 적용범위

- (1) 이 기준은 건축법과 주택법에 따라 건축하거나 대수선 및 유지·관리하는 건축물 및 건물외구조물의 구조체와 부구조체 및 비구조요소의 내진설계에 적용한다.

1.2 용어의 정의

- 가새골조 : 횡력에 저항하기 위하여 건물골조방식 또는 이중골조방식에서 중심형 또는 편심형의 수직트러스 또는 이와 동등한 구성체.
- 감쇠 : 점성, 소성 또는 마찰에 의해 구조물에 입력된 동적 에너지가 소산되어 구조물의 진동이 감소하는 현상
- 감쇠시스템 : 개별 감쇠장치 및 그로부터 구조물의 기초와 지진력저항시스템에 하중을 전달하는 구조요소 또는 가새 등을 모두 포함하는 구조체.
- 감쇠장치 : 감쇠시스템의 일부로서 장치 양 단부의 상대적 움직임에 따라 에너지를 소산시키는 유연한 구조요소. 감쇠장치를 다른 구조요소에 연결하기 위해 필요한 핀, 볼트, 거싯플레이트, 가새연장재 등의 구성요소들을 모두 포함. 감쇠장치는 변위의존형이나 속도의존형 또는 이들의 조합형으로 분류할 수 있으며, 선형 또는 비선형으로 거동.
- 강한 격막 : 유연한 격막으로 분류되지 않는 격막.
- 건물골조방식 : 수직하중은 입체골조가 저항하고, 지진하중은 전단벽이나 가새골조가 저항하는 구조방식.
- 건물외구조물 : 건축법과 주택법의 적용을 받는 구조물 중 건물을 제외한 구조물
- 건물과 유사한 건물외구조물 : 건물외구조물 중 건물과 유사한 형태를 가지나 강도, 강성 혹은 질량의 분포가 건물과 다른 구조물.
- 건물과 유사하지 않은 건물외구조물 : 건물외구조물 중 건물과 유사하지 않은 형태를 가지는 구조물.
- 경계요소 : 격막이나 전단벽의 가장자리, 내부 개구부, 불연속면과 요각부에서의 인장 혹은 압축요소와 수집재.
- 기반암: 연암층, 퇴적층 또는 토층의 아래에 위치하는 전단파속도가 760m/s 이상인 단단한 암석층(보통암 등)
- 내력벽방식 : 수직하중과 횡력을 전단벽이 부담하는 구조방식.
- 내진설계책임구조기술자 : KDS 41 10 05의 7장에서 규정된 책임구조기술자의 자격을 갖춘 자로서 내진설계에 관련된 설계경험과 공학적 지식이 있는 자.
- 내진성능목표: 설계지반운동에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표
- 내진성능수준: 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 성능수준. 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준과 붕괴방지수준으로 구분
- 내진슬릿 : 내진설계상 조적조 혹은 비구조 콘크리트벽이 기둥과 접한 부분에 부재의 취성과괴

를 방지하기 위해 설치하는 줄눈.

- 내진중요도 그룹 : 표 2.2-1에 따른 건물용도 및 내진중요도의 분류.
- 면진시스템 : 모든 개별 면진장치 사이에 힘을 전달하는 구조요소 및 모든 연결부의 집합체.
- 면진장치 : 설계지진 시 큰 횡변위가 발생되도록 수평적으로 유연하고 수직적으로 강한 면진시스템의 구조요소.
- 면진층 : 면진시스템과 상부·하부구조의 경계에 위치한 연결요소를 포함하는 부분.
- 모멘트골조방식 : 수직하중과 횡력을 보와 기둥으로 구성된 라멘골조가 저항하는 구조방식.
- 밀면 : 지반운동에 의한 수평지진력이 작용하는 기준면.
- 밀면전단력 : 구조물의 밀면에 작용하는 설계용 총 전단력.
- 변위의존형 감쇠장치 : 하중응답이 주로 장치 양 단부 사이의 상대변위에 의해 결정되는 감쇠장치로서, 근본적으로 장치 양단부의 상대속도와 진동수에는 독립적임.
- 보통모멘트골조 : 연성거동을 확보하기 위한 특별한 상세를 사용하지 않은 모멘트골조.
- 부착물 : 구성요소나 그 지지물을 구조물의 내진시스템에 연결하거나 견고하게 하는 장치(앵커볼트나 용접연결부, 기계적 고정장치를 포함).
- 비구조부재 : 차양·장식탑·비내력벽, 기타 이와 유사한 것으로서 구조해석에서 제외되는 건축물의 구성부재.
- 비구조요소 : 건축비구조요소와 기계·전기비구조요소를 총칭.
- 설계변위 : 면진시스템의 강성 중심에서 구한 설계지진 시 횡변위.
- 설계스펙트럼가속도 : 설계지진에 대한 단주기와 주기 1초에서의 응답스펙트럼가속도 (S_{Ds} , S_{D1}).
- 설계지진 : 건축물 혹은 비구조요소의 중요도 및 성능목표별 지진의 재현주기에 따라 2장에서 정의한 기본설계지진에 중요도계수 및 위험도계수를 곱한 지진
- 성능기반 내진설계 : 엄격한 규정 및 절차에 따라 설계하는 사양기반설계에서 벗어나서 목표로 하는 내진성능수준을 달성할 수 있는 다양한 설계기법의 적용을 허용하는 설계
- 속도의존형 감쇠장치 : 하중응답이 주로 장치 양 단부 사이의 상대속도에 의해 결정되는 감쇠장치로서, 추가로 상대변위의 함수에 종속될 수도 있음.
- 수집재 : 구조물의 일부분으로부터 지진력저항시스템의 수직요소로 횡력을 전달하기 위해 설치된 부재 혹은 요소.
- 연성모멘트골조 : 횡력에 대한 저항능력을 증가시키기 위하여 부재와 접합부의 연성을 증가시킨 모멘트골조. 중연성도와 고연성도의 연성능력을 발휘할 수 있도록 각 재료기준에 따라서 연성요구조건을 만족해야 함.
- 유연한 격막 : 격막의 횡변위가 그 층에서 평균 층간변위의 두 배를 초과하는 격막, 층전단력과 비틀림의 분포를 위하여 유연한 격막으로 분류.
- 유효감쇠 : 면진시스템의 이력거동에 의해 소산되는 에너지로부터 산정되는 등가점성감

쇠.

- 유효강성 : 면진시스템의 수평력을 그에 상응하는 수평변위로 나눈 값.
- 유효지반가속도 : 지진하중을 산정하기 위한 기반암의 지반운동 수준으로 유효수평지반가속도와 유효수직지반가속도로 구분
- 응답스펙트럼 : 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼
- 위험물 : 유해화학물질관리법 또는 산업안전보건법에 따라 건강장해물질, 환경유해성 물질 또는 물리적 위험물로 분류되어 일반 대중의 안전에 위협을 미칠 수 있는 물질.
- 이중골조방식 : 지진력의 25 % 이상을 부담하는 연성모멘트골조가 전단벽이나 가새골조와 조합되어 있는 구조방식.
- 전단벽 : 벽면에 평행한 횡력을 지지하도록 설계된 벽.
- 전단벽-골조상호작용시스템 : 전단벽과 골조의 상호작용을 고려하여 강성에 비례하여 지진력을 저항하도록 설계되는 전단벽과 골조의 조합구조시스템.
- 중간모멘트골조 : 연성모멘트골조의 일종으로서 중연성도의 연성능력을 가지도록 설계된 모멘트골조.
- 중심가새골조 : 트러스메카니즘에 의하여 부재의 축력에 의하여 횡하중을 저항하는 가새골조.
- 중요도계수 : 건축물의 중요도에 따라 지진응답계수를 증감하는 계수 (표 2.2-1), I_E
- 재현주기 : 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수
- 지반종류 : 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류
- 지반증폭계수 : 기반암의 스펙트럼 가속도에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도의 증폭비율
- 지진구역 : 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분으로서 지진구역I, 지진구역II로 구분
- 지진구역계수 : 지진구역I과 지진구역II의 기반암 상에서 평균재현주기 500년 지진의 유효수평지반가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값, Z
- 지진력 : 지진운동에 의한 구조물의 응답에 대하여 구조물과 그 구성요소를 설계하기 위하여 결정된 힘.
- 지진력저항시스템 : 지진력에 저항하도록 구성된 구조시스템.
- 지진위험도 (=지진재해도) : 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 연초과 발생빈도
- 지진위험지도 (=지진재해지도) : 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도로서 정의된 재현주기 또는 초과확률 내에서 지리적 영역에 걸쳐 예상되는 유효지반가속도를 등고선의 형태로 나타낸 지도
- 지진응답계수 : 식 (7.2-2) ~ 식 (7.2-5)에 따라 결정된 계수, C_s
- 지진하중 : 지진에 의한 지반운동으로 구조물에 작용하는 하중.
- 총 설계변위 : 비틀림에 의한 추가변위를 포함한 면진시스템의 설계지진 시 횡변위.
- 총 최대변위 : 비틀림에 의한 추가변위를 포함한 면진시스템의 최대고려지진 시 횡변위.

- 최대변위 : 면진시스템의 강성중심에서 구한 최대고려지진 시 횡변위.
- 최대응답 : 응답의 절대값의 최댓값
- 최대지반가속도 : 지진에 의한 진동으로 특정위치에서의 지반이 수평 2방향 또는 수직방향으로 움직인 가속도의 절대값의 최댓값
- 층간변위 : 인접층 사이의 상대수평변위.
- 층간변위각 : 층간변위를 층 높이로 나눈 값.
- 층지진하중 : 밀면 전단력을 건축물의 각 층별로 분포시킨 하중.
- 편심가새골조 : 경사가새가 설치되어 가새부재 양단부의 한쪽 이상이 보-기둥 접합부로부터 약간의 거리만큼 떨어져 보에 연결되어 있는 가새골조. 중심가새골조에 비하여 연성능력을 향상시킬 수 있음.
- 특수모멘트골조 : 연성모멘트골조의 일종으로서 고연성도의 연성능력을 가지도록 설계된 모멘트골조.
- 필로티구조 : 건축물 상층부는 내력벽이나 가새골조등 강성과 강도가 매우 큰 구조로 구성되어 있으나, 하층부는 개방형 건축공간을 위하여 대부분의 수직재가 기둥으로 구성되어 내진성능이 크게 저하될 수 있는 구조.
- 활성단층 : 지난 11,000년(충적세) 동안 지진활동의 지질학적 증거나 역사적으로 연평균 1mm 이상의 미끄러짐이 있는 단층.

1.3 기호의 정의

- A_e : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 전단단면적, m^2
- a_i : 건물 i층의 층응답가속도
- A_{ix} : i층에서 x모드의 층가속도,
- a_p : 비구조요소의 증폭계수
- b : 구조물의 가장 짧은 평면치수로서 d 에 대하여 직각으로 측정된 값, m
- B_D : 유효감쇠(β_D)에 대한 표 16.3-1의 수치계수
- d : 구조물의 가장 긴 평면치수, m
- D : 탱크(또는 저장용기) 직경
- D_i : 탱크(또는 저장용기) 내부 직경
- D_{AF} : 비구조요소의 동적증폭계수 (그림 18.2-1)
- D_e : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 길이, m
- D_D : 면진시스템의 강성중심에서 식 (16.3-2)로 구한 설계변위, m
- D_M : 면진시스템의 강성중심에서 식 (16.3-3)로 구한 최대변위, m
- D_p : 비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위
- D_{pl} : 비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위로 건물의 중요도계수가 고려된 값
- D_{TD} : 비틀림에 의한 추가변위를 포함한 면진시스템의 총 설계변위, m
- D_{TM} : 비틀림에 의한 추가변위를 포함한 면진시스템의 총 최대변위, m
- e : 면진 상부구조의 질량중심과 면진시스템의 강성중심 사이의 실제 편심거리와 힘의 방향

에 직각인 건물 치수 중 최댓값의 5%로 정의되는 우발편심거리를 합한 값, m

- E_D : 설계변위에서의 사이클당 소산에너지, $kN \cdot m$
- E_{loop} : 한 사이클의 하중재하 시 면진장치에서 소산된 에너지로서 힘-변위 곡선에 따라 둘러싸인 면적, $kN \cdot m$
- E_M : 최대변위에서의 사이클당 소산에너지, $kN \cdot m$
- F_i : i 층의 층지진하중
- F_p : 비구조요소의 수평지진하중
- F_x : x 층의 층지진하중
- g : 중력가속도
- h : 구조물의 밑면에서 지붕층까지의 높이
- H_L : 탱크(또는 저장용기) 내부의 액체 높이
- I_E : 지진하중에서의 중요도계수
- I_p : 비구조요소의 중요도계수
- k_{Dmax} : 식 (16.5-3)로 구한 설계변위에서의 면진시스템 최대유효강성, kN/m
- k_{Dmin} : 식 (16.5-4)로 구한 설계변위에서의 면진시스템 최소유효강성, kN/m
- k_{eff} : 개개 면진장치의 유효강성, kN/m
- k_{Mmax} : 식 (16.5-5)로 구한 최대변위에서의 면진시스템 최대유효강성, kN/m
- k_{Mmin} : 식 (16.5-6)로 구한 최대변위에서의 면진시스템 최소유효강성, kN/m
- N_h : 원통형 탱크 또는 저장용기 벽에서 단위길이당 유체역학적 후프 힘
- p_{ix} : i 층에서 x 모드의 모드참여계수,
- R : 반응수정계수
- R_p : 비구조요소의 반응수정계수
- S : 재현주기 2400년을 기준으로 정의되는 최대고려지진의 유효지반가속도
- S_{ac} : 슬로싱 성분의 스펙트럼가속도
- S_{ai} : 지반운동에 대한 5% 감쇠비의 스펙트럼가속도에서 T_i 에 해당하는 값, (g)
- S_{aV} : 수직설계응답가속도스펙트럼의 최댓값 또는 합리적인 해석을 통해 결정된 수직방향주기에 해당하는 수직설계스펙트럼가속도의 값
- S_{D1} : 주기 1초의 설계스펙트럼가속도
- S_{DS} : 단주기의 설계스펙트럼가속도
- T : 건축물 또는 건물외구조물의 기본진동주기(초)
- T_i : 탱크 구조물과 충격하중에 기여하는 내용물의 고유주기
- T_c : 슬로싱 1차모드의 고유 주기
- T_p : 비구조요소의 기본진동주기(초)
- T_{1D} : 설계지진에 대한 구조물의 비선형거동에 따라 최대변위에서 결정되는 1차모드의 유효주기, 초(s)
- T_{1M} : 최대고려지진에 대한 구조물의 비선형 거동에 따라 최대변위에서 결정되는 1차모드의

유효주기, 초(s)

- T_D : 설계변위에서 면진구조물의 유효주기, 초(s)
- T_M : 최대변위에서 면진구조물의 유효주기, 초(s)
- V : 밀면전단력
- V_b : 식 (16.3-6)으로 구한 면진시스템 또는 면진 하부구조물의 최소지진력, kN
- V_c : 유효슬로싱질량의 슬로싱 효과에 의해 의한 밀면전단력
- V_d : 시간이력해석을 통하여 얻은 밀면 전단력, kN
- V_h : 설계지진에 대하여 시간이력해석을 통해 결정된 감쇠시스템 적용 구조물의 밀면 전단력, kN
- V_{he} : V_h 와 동일한 절차를 따르되, 감쇠장치의 하중-변위 관계에서 속도의존적 성분은 제거하고, 변위의존적 성분은 유효강성으로 치환하여 얻어진 밀면 전단력, kN
- V_i : 탱크 및 내용물의 충격효과에 의한 밀면전단력
- V_{min} : 감쇠시스템적용 구조물의 해당 방향별 지진력저항시스템 설계를 위한 밀면전단력의 하한치, kN
- V_s : 식 (16.3-7)로 구한 면진 상부구조의 최소지진력, kN
- V_x : x 층의 층전단력
- W : 건축물의 전 중량
- W_c : 슬로싱 하중을 유발하는 액체 중량의 일부
- $W_{D+0.5L}$: 건축구조물의 내진중량, 활하중에 의한 효과의 1/2과 평균 고정하중의 합, kN
- W_i : 건물의 구조물에서 충격하중을 유발하는 중량으로 내용물, 지붕·장비, 탱크 외벽·바닥, 내부요소 등의 충격효과를 포함.
- W_i, W_x : i, x 층의 건축물 중량
- W_p : 비구조요소의 작동상태를 고려한 중량
- y : 지진방향과 직각인 대상요소와 면진시스템의 강성중심과의 거리, 19장에서 탱크(또는 저장용기) 바닥으로부터 후프 힘이 고려되는 지점까지의 높이, m
- Z : 지진구역계수, g
- z : 구조물의 밀면으로부터 비구조요소가 부착된 높이
- β_D : 식 (16.5-7)로 구한 설계변위시 면진시스템 유효감쇠
- β_{eff} : 식 (16.5-2)로 구한 개개 면진장치의 유효감쇠
- β_M : 식 (16.5-8)로 구한 최대변위 시 면진시스템 유효감쇠
- δ_x : x 층의 수평변위량
- δ_{xe} : 탄성해석에 따라 구한 x 층의 수평변위량
- γ_L : 저장된 액체의 단위중량
- λ_{max} : 장치원형시험 결과에 품질관리 및 유지관리상의 추가적인 변동성을 고려한 특성치 증가시 변동계수
- λ_{min} : 장치원형시험 결과에 품질관리 및 유지관리상의 추가적인 변동성을 고려한 특성치 감소

시 변동계수

- $|F_D^+|_{\max}$: 정방향 설계변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN
- $|F_D^+|_{\min}$: 정방향 설계변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN
- $|F_D^-|_{\max}$: 부방향 설계변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN
- $|F_D^-|_{\min}$: 부방향 설계변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN
- $|F_M^+|_{\max}$: 정방향 최대변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN
- $|F_M^+|_{\min}$: 정방향 최대변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN
- $|F_M^-|_{\max}$: 부방향 최대변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN
- $|F_M^-|_{\min}$: 부방향 최대변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN

1.4 내진설계의 절차

건축물의 일반적인 내진설계 절차는 다음을 따른다.

- (1) 지진위험도, 내진등급, 성능목표의 결정
- (2) 내진구조계획
- (3) 지진력저항시스템 및 설계계수의 결정
- (4) 지진하중의 산정
- (5) 구조해석
- (6) 해석결과의 분석
- (7) 구조시스템과 부재에 대한 강도설계
- (8) 부재 및 연결부의 구조상세에 대한 설계
- (9) 필요시 비선형 해석에 대한 결과 검증
- (10) 비구조요소에 대한 설계

1.5 내진구조계획

구조물의 내진안정성을 제고하기 위한 고려사항은 다음과 같다.

- (1) 각 방향의 지진하중에 대하여 충분한 여유도를 가질 수 있도록 횡력저항시스템을 배치한다.
- (2) 지진하중에 대하여 건물의 비틀림이 최소화되도록 배치한다. 긴 장방형의 평면인 경우, 평면의 양쪽 끝에 지진력저항시스템을 배치한다.
- (3) 약층 또는 연층이 발생하지 않도록 수직적으로 구조재의 크기와 층고는 강성 및 강도에 급격한 변화가 없도록 계획한다.
- (4) 한 층의 유효질량이 인접층의 유효질량보다 과도하게 크지 않도록 계획한다.
- (5) 가급적 수직재는 연속되어야 한다.
- (6) 슬래브에 과도하게 큰 개구부는 피한다.
- (7) 증축계획이 있는 경우, 내진구조계획에 증축의 영향을 반영한다.

1.6 구조해석

- (1) 구조해석모델에는 구조부재 뿐만 아니라 지진력과 구조물의 저항성능에 큰 영향을 줄 수 있는 비구조요소도 포함해야 한다.
- (2) 구조물의 주기와 지진하중을 과소평가하지 않도록 구조물의 질량과 초기강성을 과소평가하지 않아야 한다.
- (3) 구조물의 비탄성변형을 과소평가하지 않도록 항복 후 구조물의 강성을 과대평가하지 않아야 한다.
- (4) 비틀림의 영향을 고려할 수 있도록 3차원 구조해석모델을 사용한다.

1.7 내진구조설계

- (1) 각 부재가 연성능력을 발휘할 수 있도록 취성파괴를 억제하도록 설계해야 한다. 즉, 휨항복을 유도하기 위하여 전단파괴와 연결부파괴가 억제되도록 안전하게 설계한다.
- (2) 취성파괴를 피할 수 없는 부재는 초과강도계수를 고려한 특별지진하중을 적용하여 안전하게 설계한다. 수직재가 연속이 아닌 경우와 취약한 연결부위 등이 이에 속한다.
- (3) 보-기둥 연결부에서 가능한 한 강기둥-약보가 되도록 설계한다. 기둥이 큰 축력을 받는 경우 기둥의 휨강도가 보의 휨강도보다 크도록 설계한다.
- (4) 기둥과 큰 보의 단부는 성능목표에 해당하는 연성능력을 유지할 수 있도록 콘크리트 기준과 강구조기준에서 요구하는 연성상세를 사용한다.
- (5) 보-기둥 접합부의 보강, 철근의 정착 및 이음, 강재의 접합(용접, 볼트이음) 등의 상세도서와 시방서에 설계 및 시공요구사항을 정확히 제공한다.

1.8 구조물 내진성능의 확인

- (1) 시설물이 지진하중에 대하여 안전한 구조를 갖기 위해서는 설계단계에서부터 시공, 감리 및 유지·관리단계에 이르기까지 이 기준에 적합하여야 한다.

1.9 증축 구조물의 설계

1.9.1 독립증축

- (1) 기존 구조물과 구조적으로 독립된 증축구조물은 신축구조물로 취급하여 이 장에 따라 설계 및 시공하여야 한다.

1.9.2 일체증축

- (1) 기존 구조물과 구조적으로 독립되지 않은 증축구조물의 경우에는 전체 구조물을 신축 구조물로 취급하여 이 장에 따라 설계 및 시공하여야 한다. 단, 기존 부분에 대해서는 전체 구조물로서 증가된 하중을 포함한 소요강도가 기존 부재의 구조내력을 5% 미만 까지 초과하는 것은 허용된다.

1.10 용도변경

- (1) 용도변경으로 인해 구조물이 KDS 41 10 05 건축구조기준 총칙의 3. 건축물의 중요도 분류에 따른 건축물의 중요도 분류에서 더 높은 내진중요도 그룹에 속하는 경우에 이 구조물은 변경된 그룹에 속하는 구조물에 대한 하중기준을 따라야 한다.

1.11 구조변경

- (1) 기존 구조물의 구조변경으로 인하여 이 기준에 따라 산정한 소요강도가 기존 부재의 구조내력을 5% 이상 초과하는 경우에는 해당 부재에 대하여 이 장에서 정의되는 기준을 만족하도록 구조보강 등의 조치를 하여야 한다.

1.12 기준의 구성 및 적용

- (1) 건물의 내진설계는 1장 ~ 14장을 따른다.
- (2) 콘크리트구조를 비롯한 각 재료별 내진설계고려사항은 9장 ~ 13장을 따른다.
- (3) 지하구조의 내진설계는 14장을 따른다.
- (4) 건축물의 성능기반내진설계는 15장을 따른다.
- (5) 면진구조와 감쇠시스템을 사용하는 내진설계는 각각 16장과 17장을 따르며, 추가하여 15장을 만족해야 한다.
- (6) 비구조요소에 대한 내진설계는 18장을 따른다. 비구조요소에 대한 내진설계적용범위는 18.1.1을 따른다.
- (7) 건물외구조물의 내진설계는 19장을 따른다.
- (8) 건물의 기능유지를 위한 검토사항은 20장을 따른다.

1.13 내진설계책임구조기술자

- (1) 내진설계책임구조기술자는 KDS 41 10 05의 7장에 규정된 책임구조기술자의 자격을 갖춘 자로서 내진설계에 관련된 설계경험과 공학적 지식이 있는 자로 한정한다.

2. 내진등급 및 성능목표

2.1 일반사항

- (1) 구조물은 기본적으로 낮은 지진위험도의 지진에 대하여 기능을 유지하고, 높은 지진위험도의 지진에 대해서는 붕괴를 방지함으로써 인명의 안전을 확보하는 것을 내진설계의 원칙으로 한다.
- (2) 높은 내진등급의 건축물은 중요도를 고려하여 상향된 지진위험도에 대하여 내진설계를 수행한다.

2.2 건축물의 내진등급과 중요도계수

- (1) KDS 41 10 05(3.)에서 정의된 건물의 중요도를 고려하여 표 2.2-1에 따라 건물의 내

진등급과 내진설계 중요도계수 I_E 를 결정한다.

- (2) 2개 이상의 건물에 공유된 부분 또는 하나의 구조물이 동일한 중요도에 속하지 않는 2개 이상의 용도로 사용되는 경우에는 가장 높은 중요도를 적용해야 한다.
- (3) 건축물이 구조적으로 분리된 2개 이상의 부분으로 구성된 경우에는 각 부분을 독립적으로 분류하여 설계할 수 있다. 다만, 한 구조물에서 구조적으로 분리된 부분이 더 높은 중요도를 가진 다른 부분에 대해 그 중요도에 부합하는 사용을 위해서 필수 불가결한 접근로나 탈출로를 제공하거나 인명안전 또는 기능수행 관련 요소를 공유할 경우에는 양쪽 부분 모두 높은 중요도를 적용하여야 한다.

표 2.2-1 내진등급과 중요도계수

| 건축물의 중요도 ¹⁾ | 내진등급 | 내진설계 중요도계수 (I_E) |
|------------------------|------|----------------------|
| 중요도(특) | 특 | 1.5 |
| 중요도(1) | I | 1.2 |
| 중요도(2), (3) | II | 1.0 |

1) KDS 41 10 05(3.)에 따름.

2.3 지진위험도

- (1) 최대고려지진은 내진설계에서 고려하는 가장 큰 지진으로서 국가지진위험지도의 2400년 재현주기에 해당하며, 그 유효지반가속도의 크기는 3장의 규정에 따라서 정한다.
- (2) 기본설계지진은 스펙트럼가속도가 최대고려지진에 의한 값의 2/3 수준에 해당하는 지진으로 정의한다.

2.4 성능목표

- (1) 건축물의 성능수준은 기능수행, 즉시복구, 인명보호, 붕괴방지 수준으로 구분할 수 있으며, 이를 만족하기 위하여 건축물을 구성하는 구조요소와 비구조요소가 각각 갖추어야 할 성능수준은 표 2.4-1과 같다.

표 2.4-1 건축물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준 사이의 관계

| 건축물의 성능수준 | 구조요소의 성능수준 | 비구조요소의 성능수준 |
|-----------|------------|-------------|
| 기능수행 | 거주가능 | 기능수행 |
| 즉시복구 | 거주가능 | 위치유지 |
| 인명보호 | 인명안전 | 인명안전 |
| 붕괴방지 | 붕괴방지 | - |

- (2) 내진안전성을 위하여 건축물의 내진설계에서 고려되어야 하는 내진등급별 최소성능목표는 표 2.4-2와 같다. 또는 15장에 따라 성능기반설계를 수행하여 구조요소의 성능목표 만족여부를 직접 확인할 수 있다.

표 2.4-2 건축물의 내진등급별 최소성능목표

| 내진등급 | 성능목표 | | 설계지진 |
|------|-------|------|-------------------------|
| | 재현주기 | 성능수준 | |
| 특 | 2400년 | 인명보호 | 기본설계지진 × 중요도계수(I_E) |
| | 1000년 | 기능수행 | - |
| I | 2400년 | 붕괴방지 | - |
| | 1400년 | 인명보호 | 기본설계지진 × 중요도계수(I_E) |
| II | 2400년 | 붕괴방지 | - |
| | 1000년 | 인명보호 | 기본설계지진 × 중요도계수(I_E) |

- (3) 구조요소는 이 기준에 따라 인명보호 성능수준의 설계지진에 대하여 강도설계법 또는 허용응력설계법을 적용하여 설계한 경우 표 2.4-2의 건축물 최소성능목표를 모두 만족하는 것으로 간주한다.
- (4) 비구조요소는 18장에 따라 설계한 경우 성능목표를 만족하는 것으로 간주한다. 기계/전기 비구조요소의 경우 20장에 따라 장치의 작동여부를 추가로 검토하여야 한다.
- (5) 설계자는 성능목표에 대하여 건축주 또는 발주처와 협의하여야 하며, 건축주 또는 발주처가 요구하는 경우 표 2.4-2의 성능목표를 만족시키는 동시에 추가적인 성능목표를 설정하여 설계하여야 한다.

3. 지진구역 및 지진구역계수

3.1 지진구역 및 지진구역계수

- (1) 우리나라 지진구역 및 이에 따른 지진구역계수(Z)는 각각 KDS 17 10 00의 표 4.2-1과 표 4.2-2를 따른다.

3.2 유효지반가속도

- (1) 설계스펙트럼가속도 산정을 위한 유효지반가속도(S)는 지진구역계수(Z)에 KDS 17 10 00의 표 4.2-3에 제시된 2400년 재현주기에 해당하는 위험도계수(I) 2.0을 곱한 값으로 하거나 그림 3.2-1 국가지진위험지도로부터 구할 수 있다. 단, 국가지진위험지도를 이

용하여 결정한 S는 지진구역계수에 위험도계수를 곱하여 구한 S값의 80%보다 작지 않아야 한다.

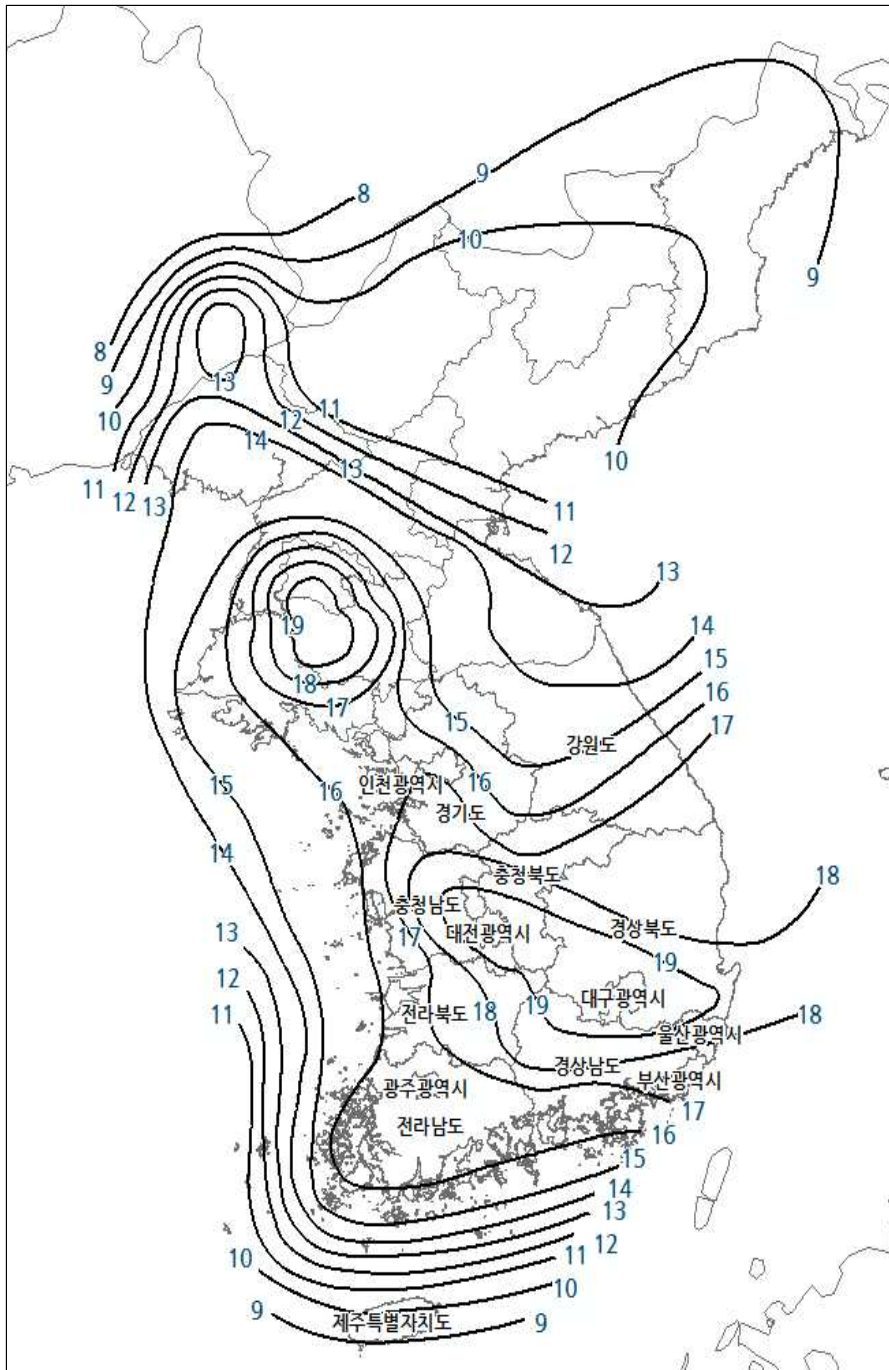


그림 3.2-1 국가지진위험지도, 재현주기 2400년 최대고려지진의 유효지반가속도 (S)%(소방방재청, 2013)

4. 지반조건 및 설계응답스펙트럼

4.1 지반의 분류

4.1.1 지반 종류

(1) 지반의 분류는 KDS 17 10 00의 4.2.1.2를 따른다. 단, 건축물의 특성을 반영하여 아래와 같이 수정하여 적용할 수 있다.

- ① 기반암깊이가 3m 미만인 경우 S_1 지반으로 볼 수 있다.
- ② 기반암의 위치가 기준면으로부터 30m를 초과하는 경우 상부 30m에 대한 평균 전단파속도를 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)로 볼 수 있다.
- ③ 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

4.1.2 지반조사

(1) 대규모 건물, 경사지에 건설되는 건물, 또는 토사지반의 분포가 일정하지 않은 지반에 건설되는 건물에서 지반조사의 위치는 최소한 3곳 이상을 선정하고 지반조사를 수행한다.

4.1.3 지반분류의 기준면

(1) 각 지반조사 위치에서 지반분류의 기준면은 해당 위치의 지표면으로 정한다. 여기서, 지표면은 대상 건축물의 완공 후 지표면을 가리킨다.

4.2 설계응답스펙트럼

4.2.1 설계응답스펙트럼의 정의

(1) 지진의 설계응답스펙트럼은 다음 식에 따라 구한 후 그림 4.2-1과 같이 작성한다.

- ① $T \leq T_0$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (4.2-1)에 의한다.
- ② $T_0 < T \leq T_s$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 4.2.2에 따라 산정되는 S_{DS} 와 같다.
- ③ $T_s < T \leq T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (4.2-2)에 의한다.
- ④ $T > T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (4.2-3)에 의한다.

$$S_a = 0.6 \frac{S_{DS}}{T_0} T + 0.4 S_{DS} \quad (4.2-1)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (4.2-2)$$

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (4.2-3)$$

여기서, T : 구조물의 고유주기(초)

$$T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_S = S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_L = 5 \text{ 초}$$

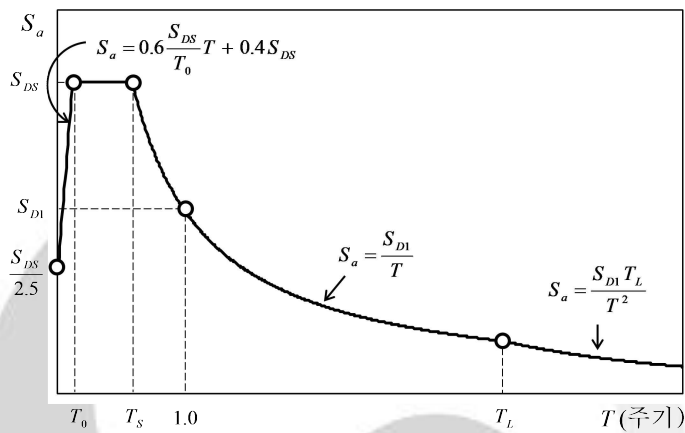


그림 4.2-1 설계응답가 속도스펙트럼

4.2.2 단주기와 1초주기 설계스펙트럼가속도

(1) 단주기와 주기 1초의 설계스펙트럼가속도 S_{DS} , S_{D1} 은 식 (4.2-4), (4.2-5)에 의하여 산정한다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \quad (4.2-4)$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3 \quad (4.2-5)$$

여기서, F_a 와 F_v 는 각각 표 4.2-1과 표 4.2-2에 규정된 지반증폭계수이다.

- (2) 기반암의 깊이가 20 m를 초과하고 지반의 평균 전단파속도가 360 m/s 이상인 경우, 표 4.2-2에 규정된 F_v 의 80%를 적용한다.
- (3) 지반분류가 s_5 이고 기반암의 깊이가 불분명한 경우, 표 4.2-1과 표 4.2-2에 규정된 F_a 와 F_v 의 110%를 적용한다.

4.2.3 지반증폭계수

(1) 단주기 지반증폭계수 F_a 와 1초 주기 지반증폭계수 F_v 는 각각 표 4.2-1과 표 4.2-2에 따른다.

표 4.2-1 단주기 지반증폭계수, F_a

| 지반종류 | 지진지역 | | |
|-------|--------------|---------|---------|
| | $s \leq 0.1$ | $s=0.2$ | $s=0.3$ |
| s_1 | 1.12 | 1.12 | 1.12 |
| s_2 | 1.4 | 1.4 | 1.3 |
| s_3 | 1.7 | 1.5 | 1.3 |
| s_4 | 1.6 | 1.4 | 1.2 |
| s_5 | 1.8 | 1.3 | 1.3 |

* s 는 3.2에서 정의된 유효지반가속도의 값이다. 위 표에서 s 의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

표 4.2-2 1초주기 지반증폭계수, F_v

| 지반종류 | 지진지역 | | |
|-------|--------------|---------|---------|
| | $s \leq 0.1$ | $s=0.2$ | $s=0.3$ |
| s_1 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| s_2 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| s_3 | 1.7 | 1.6 | 1.5 |
| s_4 | 2.2 | 2.0 | 1.8 |
| s_5 | 3.0 | 2.7 | 2.4 |

* s 는 3.2에서 정의된 유효지반가속도의 값이다. 위 표에서 s 의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

- ① 지하층 및 지상층 건물의 설계에는 단일값의 대표지반증폭계수를 사용해야 하며, 이때 대표지반증폭계수는 각 지반조사 위치에서 결정된 값의 평균값으로 정하거나, 설계상에 가장 불리한 값으로 정한다. 하나의 지하층 구조로 연결된 복수의 지상층 건물의 설계에도 단일값의 대표지반증폭계수를 사용한다.
- ② 건물이 급격한 경사지에 건설되는 경우 대표지반증폭계수는 각 지반조사위치에서 결정된 값 중에서 설계상에 가장 불리한 값으로 정한다.
- ③ F_a 와 F_v 값을 부지고유 지진응답해석을 수행하여 결정할 수 있다. 이 경우 부지고유 응답해석으로 산정한 설계스펙트럼가속도 S_{DS} 와 S_{D1} 는 지진구역계수(Z)와 2400년 재현주기에 해당하는 위험도계수(I) 2.0을 곱한 값에 표 4.2-1, 표 4.2-2, 4.2.2의 (2)항에 제시된 해당지반의 증폭계수를 적용하여 구한 값의 80% 이상이어야 한다.

4.2.4 지하구조의 영향을 고려한 지반증폭계수의 보정

(1) 지하구조물이 14장 지하구조물의 내진설계에 따라 지진토압에 대하여 안전하게 설계

되어 있는 것으로 판단되는 경우, 지반종류가 S_1 , S_2 또는 S_4 에 속하며, 기초저면에서 암반까지의 평균 전단파속도가 260 m/s 이상이고 지진토압과 지진하중이 기초저면의 지반에 직접 전달될 수 있도록 기초저면이 지반에 견고히 정착되어 있다면, 지하구조강성에 대한 지표면 운동의 강도를 반영하여 지진시 지반운동에 의한 지표면의 변위와 지진토압에 의한 지하구조물의 변위의 비율에 따라 지상구조에 적용되는 지반 증폭계수를 조정할 수 있다.

5. 내진설계범주

5.1 일반사항

- (1) 구조물은 내진등급과 지반상태를 고려하여 분류한 내진설계범주 A~D 중 하나에 속하며, 내진설계범주에 따라 구조물에 허용되는 지진력저항시스템, 높이와 비정형성에 대한 제한, 내진설계 대상 부재, 구조해석방법 등을 결정한다.

5.2 내진설계범주의 결정

- (1) 모든 구조물은 2.2에 따라 결정된 내진등급과 4.2.2에 따라 결정된 설계스펙트럼가속도 S_{DS} 및 S_{D1} 을 사용하여, 표 5.2-1과 표 5.2-2로부터 내진설계범주를 결정한다. 표 5.2-1과 표 5.2-2에 따라 결정한 내진설계범주가 다를 경우에는 높은 내진설계범주로 분류한다.

표 5.2-1 단주기 설계스펙트럼가속도에 따른 내진설계범주

| S_{DS} 의 값 | 내진등급 | | |
|---------------------------|------|---|----|
| | 특 | I | II |
| $0.50 \leq S_{DS}$ | D | D | D |
| $0.33 \leq S_{DS} < 0.50$ | D | C | C |
| $0.17 \leq S_{DS} < 0.33$ | C | B | B |
| $S_{DS} < 0.17$ | A | A | A |

표 5.2-2 주기 1초 설계스펙트럼가속도에 따른 내진설계범주

| S_{D1} 의 값 | 내진등급 | | |
|---------------------------|------|---|----|
| | 특 | I | II |
| $0.20 \leq S_{D1}$ | D | D | D |
| $0.14 \leq S_{D1} < 0.20$ | D | C | C |
| $0.07 \leq S_{D1} < 0.14$ | C | B | B |
| $S_{D1} < 0.07$ | A | A | A |

5.3 건물의 비정형성

(1) 모든 구조물은 이 조항에 따라 평면 비정형 및 수직 비정형의 유형을 구분한다.

5.3.1 평면 비정형성

(1) 표 5.3-1에 나열된 특징 중 하나 이상에 해당되는 건물은 평면 비정형성을 가진 것으로 정의한다.

5.3.2 수직 비정형성

(1) 표 5.3-2에 나열된 특징 중 하나 이상에 해당되는 건물은 수직 비정형성을 갖는 것으로 정의한다. 다만, 다음의 경우에는 예외로 한다.

- ① 설계지진하중 작용 시 임의의 층의 층간변위각에 대한 인접한 상부층의 층간변위각의 비가 130% 이하이면 표 5.3-2의 유형 V-1 혹은 V-2의 수직비정형성을 적용하지 않는다. 여기서 층간변위각의 산정에 비틀림효과를 고려할 필요가 없다. 또한 건축물의 최상 2개 층에 대한 층변위각 관계는 평가하지 않아도 된다.
- ② 표 5.3-2의 수직비정형성 유형 V-1과 V-2는 2층 이하의 건축물에 대하여는 적용하지 않아도 된다.

표 5.3-1 평면비정형성의 유형과 정의

| 유형번호 | 유형 | 정 의 | 관련 항목 | 적용내진 설계범주 |
|------|---------|--|---------|-----------|
| H-1 | 비틀림비정형 | 격막이 유연하지 않을 때 고려함. 어떤 축에 직교하는 구조물의 한 단부에서 우발편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 클 때 비틀림 비정형인 것으로 간주한다. | 7.2.6.4 | C, D |
| | | | 표 7.1-1 | D |
| | | | 7.2.8.1 | C, D |
| H-2 | 요철형 평면 | 돌출한 부분의 치수가 해당하는 방향의 평면치수의 15%를 초과하면 요철형 평면을 갖는 것으로 간주한다. | - | - |
| H-3 | 격막의 불연속 | 격막에서 잘려나간 부분이나 뚫린 부분이 전체 격막 면적의 50%를 초과하거나 또는 인접한 층간 격막 강성의 변화가 50%를 초과하는 경우, 격막의 불연속이 존재하는 것으로 간주한다. | - | - |
| H-4 | 면외 어긋남 | 수직 부재의 면외 어긋남 등과 같이 하중전달 경로의 불연속성이 존재하는 경우 | 8.3.3 | B, C, D |
| H-5 | 비평행 시스템 | 횡력저항 수직 요소가 전체 횡력저항 시스템에 직교하는 주축에 평행하지 않은 경우 | 8.1.3.2 | C |
| | | | 8.1.3.3 | D |

표 5.3-2 수직비정형성의 유형과 정의

| 유형번호 | 유형 | 정 의 | 관련 항목 | 내진설계 범주 |
|------|-------------------|---|---------|---------|
| V-1 | 강성비 정형-연층 | 어떤 층의 횡강성이 인접한 상부층 횡강성의 70% 미만이거나 상부 3개 층 평균강성의 80% 미만인 연층이 존재하는 경우에는 강성분포의 비정형이 있는 것으로 간주한다. | 표 7.1-1 | D |
| V-2 | 중량비 정형 | 어떤 층의 유효중량이 인접층 유효중량의 150%를 초과할 때 중량 분포의 비정형이 존재하는 것으로 간주한다. 단, 지붕층이 하부층보다 가벼운 경우는 이를 적용하지 않는다. | 표 7.1-1 | D |
| V-3 | 기하학적 비정형 | 횡력저항 시스템의 수평치수가 인접층치수의 130%를 초과할 경우에는 기하학적 비정형이 존재하는 것으로 간주한다. | 표 7.1-1 | D |
| V-4 | 횡력저항 수직저항 요소의 비정형 | 횡력저항요소의 면내 어긋남이 그 요소의 길이보다 크거나 인접한 하부층 저항요소에 강성감소가 일어나는 경우에는 수직저항요소의 면내불연속에 의한 비정형이 있는 것으로 간주한다. | 8.3.3 | B, C, D |
| V-5 | 강도의 불연속-약층 | 임의 층의 횡강도가 직상층 횡강도의 80% 미만인 약층이 존재하는 경우에는 강도의 불연속에 의한 비정형이 존재하는 것으로 간주한다. 각층의 횡강도는 층전단력을 부담하는 내진요소들의 저항방향 강도의 합을 말한다. | 8.3.1 | B, C, D |

6. 지진력저항시스템

6.1 지진력저항시스템의 설계계수

(1) 밀면전단력, 부재력, 층간변위를 산정할 때에는 표 6.2-1에 정해진 적절한 반응수정계수 R , 시스템초과강도계수 Ω_0 , 그리고 변위증폭계수 C_d 를 사용해야 한다. 표 6.2-1에 열거되지 않은 지진력저항시스템을 사용할 경우에도 해석과 실험을 통하여 평가된 횡력저항능력과 에너지소산능력이 표 6.2-1에 열거된 구조시스템 중 하나와 유사하다고 입증된다면 해당 시스템의 반응수정계수 R , 시스템초과강도계수 Ω_0 , 그리고 변위증폭계수 C_d 를 사용할 수 있다.

6.2 지진력저항시스템의 정의

6.2.1 내력벽시스템

(1) 내력벽시스템은 수직하중과 함께 횡하중을 벽체가 지지하는 지진력저항시스템으로, 벽체는 지진하중에 대하여 충분한 면내 횡강성과 횡강도를 발휘해야 한다.

6.2.2 모멘트저항골조 시스템

(1) 모멘트저항골조시스템은 수직하중과 횡하중을 보와 기둥으로 구성된 모멘트골조가 저항하는 지진력저항시스템이다.

표 6.2-1 지진력저항시스템에 대한 설계계수

| 기본 지진력저항시스템 ¹⁾ | 설계계수 | | | 시스템의 제한과 높이(m) 제한 | | |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------------|-----------|-----------|
| | 반응수정 계수 R | 시스템 초과강도 계수 Ω_0 | 변위증폭 계수 C_d | 내진설계 범주 A 또는 B | 내진설계 범주 C | 내진설계 범주 D |
| 1. 내력벽시스템 | | | | | | |
| 1-a. 철근콘크리트 특수전단벽 | 5 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 1-b. 철근콘크리트 보통전단벽 | 4 | 2.5 | 4 | - | - | 60 |
| 1-c. 철근보강 조적 전단벽 | 2.5 | 2.5 | 1.5 | - | 60 | 불가 |
| 1-d. 무보강 조적 전단벽 | 1.5 | 2.5 | 1.5 | - | 불가 | 불가 |
| 1-e. 구조용 목재패널을 덧댄 경골목 구조 전단벽 | 6 | 3 | 4 | - | 20 | 20 |
| 1-f. 구조용 목재패널 또는 강판시트를 덧댄 경량철골조 전단벽 | 6 | 3 | 4 | - | 20 | 20 |
| 2. 건물골조시스템 | | | | | | |
| 2-a. 철골 편심가새골조 (링크 타단 모멘트 저항 접합) | 8 | 2 | 4 | - | - | - |
| 2-b. 철골 편심가새골조 (링크 타단 비모멘트 저항접합) | 7 | 2 | 4 | - | - | - |
| 2-c. 철골 특수중심가새골조 | 6 | 2 | 5 | - | - | - |
| 2-d. 철골 보통중심가새골조 | 3.25 | 2 | 3.25 | - | - | - |
| 2-e. 합성 편심가새골조 | 8 | 2 | 4 | - | - | - |
| 2-f. 합성 특수중심가새골조 | 5 | 2 | 4.5 | - | - | - |
| 2-g. 합성 보통중심가새골조 | 3 | 2 | 3 | - | - | - |
| 2-h. 합성 강판전단벽 | 6.5 | 2.5 | 5.5 | - | - | - |
| 2-i. 합성 특수전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 2-j. 합성 보통전단벽 | 5 | 2.5 | 4.5 | - | - | 60 |
| 2-k. 철골 특수강판전단벽 | 7 | 2 | 6 | - | - | - |
| 2-l. 철골 좌굴방지가새골조 (모멘트 저항 접합) | 8 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 2-m. 철골 좌굴방지가새골조 (비모멘트 저항 접합) | 7 | 2 | 5.5 | - | - | - |
| 2-n. 철근콘크리트 특수전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 2-o. 철근콘크리트 보통전단벽 | 5 | 2.5 | 4.5 | - | - | 60 |
| 2-p. 철근보강 조적 전단벽 | 3 | 2.5 | 2 | - | 60 | 불가 |
| 2-q. 무보강 조적 전단벽 | 1.5 | 2.5 | 1.5 | - | 불가 | 불가 |
| 2-r. 구조용 목재패널을 덧댄 경골목 구조 전단벽 | 6.5 | 2.5 | 4.5 | - | 20 | 20 |
| 2-s. 구조용 목재패널 또는 강판시트를 덧댄 경량철골조 전단벽 | 6.5 | 2.5 | 4.5 | - | 20 | 20 |
| 3. 모멘트-저항골조 시스템 | | | | | | |
| 3-a. 철골 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| 3-b. 철골 중간모멘트골조 | 4.5 | 3 | 4 | - | - | - |

| | | | | | | |
|---|------|-----|------|---|----|----|
| 3-c. 철골 보통모멘트골조 | 3.5 | 3 | 3 | - | - | - |
| 3-d. 합성 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| 3-e. 합성 중간모멘트골조 | 5 | 3 | 4.5 | - | - | - |
| 3-f. 합성 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 2.5 | - | - | - |
| 3-g. 합성 반강접모멘트골조 | 6 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| 3-h. 철근콘크리트 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| 3-i. 철근콘크리트 중간모멘트골조 | 5 | 3 | 4.5 | - | - | - |
| 3-j. 철근콘크리트 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 2.5 | - | - | 30 |
| 4. 특수모멘트골조를 가진 이중골조시스템 | | | | | | |
| 4-a. 철골 편심가새골조 | 8 | 2.5 | 4 | - | - | - |
| 4-b. 철골 특수중심가새골조 | 7 | 2.5 | 5.5 | - | - | - |
| 4-c. 합성 편심가새골조 | 8 | 2.5 | 4 | - | - | - |
| 4-d. 합성 특수중심가새골조 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 4-e. 합성 강판전단벽 | 7.5 | 2.5 | 6 | - | - | - |
| 4-f. 합성 특수전단벽 | 7 | 2.5 | 6 | - | - | - |
| 4-g. 합성 보통전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 4-h. 철골 좌굴방지가새골조 | 8 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 4-i. 철골 특수강판전단벽 | 8 | 2.5 | 6.5 | - | - | - |
| 4-j. 철근콘크리트 특수전단벽 | 7 | 2.5 | 5.5 | - | - | - |
| 4-k. 철근콘크리트 보통전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 5. 중간모멘트골조를 가진 이중골조시스템 | | | | | | |
| 5-a. 철골 특수중심가새골조 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 5-b. 철근콘크리트 특수전단벽 | 6.5 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 5-c. 철근콘크리트 보통전단벽 | 5.5 | 2.5 | 4.5 | - | - | 60 |
| 5-d. 합성 특수중심가새골조 | 5.5 | 2.5 | 4.5 | - | - | - |
| 5-e. 합성 보통중심가새골조 | 3.5 | 2.5 | 3 | - | - | - |
| 5-f. 합성 보통전단벽 | 5 | 3 | 4.5 | - | - | 60 |
| 5-g. 철근보강 조적 전단벽 | 3 | 3 | 2.5 | - | 60 | 불가 |
| 6. 역추형 시스템 | | | | | | |
| 6-a. 캔틸레버 기둥 시스템 | 2.5 | 2.0 | 2.5 | - | - | 10 |
| 6-b. 철골 특수모멘트골조 | 2.5 | 2.0 | 2.5 | - | - | - |
| 6-c. 철골 보통모멘트골조 | 1.25 | 2.0 | 2.5 | - | - | 불가 |
| 6-d. 철근콘크리트 특수모멘트골조 | 2.5 | 2.0 | 1.25 | - | - | - |
| 7. 철근콘크리트 보통 전단벽-골조 상호 작용 시스템 | 4.5 | 2.5 | 4 | - | - | 60 |
| 8. 6의 역추형 시스템에 속하지 않으면서 강구조기준의 일반규정만을 만족하는 철골구조시스템 | 3 | 3 | 3 | - | - | 60 |
| 9. 6의 역추형시스템에 속하지 않으면서 철근콘크리트구조기준의 일반규정만을 만족하는 철근콘크리트구조 시스템 | 3 | 3 | 3 | - | - | 30 |
| 10. 지하외벽으로 둘러싸인 지하구조시스템 | 3 | 3 | 2.5 | | | |

1) 시스템별 상세는 각 재료별 설계기준 및 또는 신뢰성 있는 연구기관에서 실시한 실험, 해석 등의 입증자료를 따른다.

6.2.3 건물골조시스템

- (1) 건물골조시스템은 수직하중은 보, 슬래브, 기둥으로 구성된 골조가 저항하고 지진하중은 전단벽이나 가새골조 등이 저항하는 지진력저항시스템이다.

6.2.4 특수모멘트골조 혹은 중간모멘트골조를 가진 이중골조시스템

- (1) 이중골조시스템에서 모멘트골조는 적어도 설계지진력(밀면전단력)의 25%를 저항할 수 있어야 한다. 이중골조 전체의 횡력저항능력은 모멘트골조와 전단벽 또는 모멘트골조와 가새골조 각각의 횡력저항능력의 합으로 각각의 횡력저항능력은 그들의 횡강성에 비례하여 발휘된다.

6.2.5 역추형 시스템

- (1) 역추형 시스템이란 바닥에 고정된 캔틸레버 기둥처럼 거동하며 횡력을 지지하는 지진력저항시스템을 말한다.

6.2.6 철근콘크리트 보통 전단벽-골조 상호작용 시스템

- (1) 철근콘크리트 보통 전단벽-골조 상호작용 시스템은 보통전단벽과 보통모멘트골조가 같이 사용되는 구조이다. 철근콘크리트 보통 전단벽-골조 상호작용 시스템에서 전단벽의 전단강도는 각 층에서 최소한 설계층전단력의 75% 이상이어야 하고, 골조는 각 층에서 최소한 설계층전단력의 25%를 저항할 수 있어야 한다.

6.2.7 강구조기준의 일반규정만을 만족하는 철골구조시스템

- (1) KDS 41 31 00 건축물 강구조 설계기준에서 4.10 강구조의 내진설계와 4.11 합성구조의 내진설계를 제외한 나머지 규정을 준수한 철골구조시스템을 말한다.

6.2.8 콘크리트구조기준의 일반규정만을 만족하는 철근콘크리트구조 시스템

- (1) KDS 41 30 00 건축물 콘크리트구조 설계기준에서 4.18 내진설계 시 특별 고려사항을 제외한 나머지 규정을 준수한 콘크리트구조시스템을 말한다.

6.3 서로 다른 축에서 시스템의 조합

- (1) 구조물의 직교하는 2축을 따라 서로 다른 지진력저항시스템을 사용할 경우에는 표 6.2-1에서 각 시스템에 해당하는 반응수정계수 R , 시스템초과강도계수 Ω_0 , 그리고 변위증폭계수 C_d 를 사용하여야 한다.

6.4 동일축에서 시스템의 조합

- (1) 서로 다른 지진력저항시스템이 동일방향의 지진하중에 저항하지만 이중골조시스템으로 분류되지 않는 구조물의 경우, 표 6.2-1에서 가장 불리한 시스템 제한사항을 적용하여 설계하여야 하며 또한 6.4.1 ~ 6.4.3의 요구사항을 따라야 한다.

6.4.1 수직 조합에 대한 계수

(1) 동일방향의 지진하중에 대하여 지진력저항시스템이 수직으로 조합되어 사용된 구조물의 경우, 다음 요구사항을 따른다. 단, 지하구조물은 이 절의 적용대상에서 제외한다.

- ① 하부 시스템의 R 이 상부 시스템의 R 보다 더 작은 경우, 상부 시스템의 설계에는 상부 시스템의 설계계수(R, Ω_o , 및 C_d)를 사용할 수 있다. 하부 시스템의 설계에는 하부 시스템의 설계계수(R, Ω_o , 및 C_d)를 적용하여야 하고, 또한 상부 시스템으로부터 하부 시스템으로 전달되는 힘은 상부 시스템의 R 을 하부 시스템의 R 로 나눈 값을 곱하여 증가시켜야 한다.
- ② 하부 시스템의 R 이 상부 시스템의 R 보다 큰 경우, 상부 시스템의 설계계수(R, Ω_o , 및 C_d)를 상부 및 하부 시스템 모두에 적용하여야 한다.

(2) 다만, 다음의 경우는 예외로 한다.

- ① 높이가 2층 이하이고 전체 구조물 중량의 10% 이하인 옥상 구조물
- ② 전체 구조물 중량의 10% 이하의 중량을 갖는 별도 지지된 구조물
- ③ 1가구 및 2가구 단위의 경량골조 독립주택

6.4.2 2단계 해석에 의한 설계

(1) 강한 하부 구조 위에 유연한 상부 구조가 사용된 구조물의 경우, ①과 ②를 만족시킬 경우에는 ③과 ④의 2단계 등가정적해석을 사용할 수 있다.

- ① 하부 부분의 강성이 상부에 비해 10배 이상일 경우
- ② 전체 구조물의 주기가 상부 부분을 밀면이 고정된 별도의 구조물이라고 가정 하였을 때 얻어진 기본 주기의 1.1배를 초과하지 않을 경우
- ③ 유연한 상부 부분은 적절한 R 값을 사용하여 별도의 구조물로서 설계한다.
- ④ 강한 하부 부분은 적절한 R 값을 사용하여 별도의 구조물로 설계한다. 상부 부분으로부터의 반력은 상부 부분의 해석으로부터 얻은 반력값에 하부 부분의 R 값에 대한 상부 부분의 R 값의 비를 곱하여 구한다. 이 비는 1.0 이상이어야 한다.

6.4.3 수평 조합에 대한 계수

(1) 반응수정계수 R 은 옥상층을 제외하고, 상부층들의 동일방향 지진력저항시스템에 대한 R 값 중 최솟값을 사용하여야 한다. 변위중폭계수 C_d 및 시스템초과강도계수 Ω_o 는 그 방향의 R 에 상응하는 값을 사용하여야 한다.

6.4.4 조합골조의 설계

- (1) 반응수정계수가 서로 다른 시스템들에 의하여 공유되는 구조부재의 경우에는 그중 큰 반응수정계수 R 에 상응하는 상세를 갖도록 설계하여야 한다.

6.5 시스템 제한과 높이제한

- (1) 각 지진력저항시스템에 대하여 내진설계범주에 해당되는 표 6.2-1의 시스템 사용제한과 높이제한 사항을 적용한다.

6.6 내진설계범주 'D'에 대한 시스템 제한

- (1) 내진설계범주 'D'에 해당하는 구조물은 표 6.2-1의 시스템 제한과 다음을 만족하여야 한다.

6.6.1 상호작용 효과

- (1) 강성이 큰 비구조요소에 연결되어 있는 모멘트골조는 이러한 요소의 영향으로 인해 수직하중 및 지진력저항능력이 저해되지 않도록 설계하여야 한다. 설계 시 7.2.8.1에서 산정된 설계층간변위 Δ 에 해당하는 변형에서 구조시스템에 대한 이 요소의 영향을 고려하고 대비하여야 한다. 또한 어떤 구조물이 5.3에서 정의한 하나 혹은 그 이상의 비정형성을 갖는지 여부를 결정할 때에도 이 요소들의 영향을 반드시 고려하여야 한다.

6.6.2 변형의 적합성

- (1) 고려하는 방향의 지진력저항시스템에 포함되지 않은 모든 구조요소는 7.2.7.1에 따라 결정된 설계층간변위 Δ 에 의하여 발생하는 모멘트와 전단력뿐만 아니라 수직하중에 저항할 수 있는 연성능력을 발휘하도록 설계한다. 허용응력설계법을 사용할 경우, Δ 는 하중계수 0.7을 곱하지 않은 지진력에 대해 산정한다. 고려하는 방향의 지진력저항시스템에 포함되지 않은 부재에 발생하는 모멘트와 전단력은 인접한 강한 구조 및 비구조요소에 의한 강성 증가효과를 포함하여 산정한다.

7. 지진하중의 계산 및 구조해석

7.1 해석법의 적용

- (1) 내진설계범주에 따라 다음과 같은 구조해석방법을 적용한다.

7.1.1 내진설계범주 'A'와 'B'에 대한 해석법

- (1) 내진설계범주 'A' 또는 'B'에 해당하는 구조물의 해석은 7.2에 규정한 등가정적해석법에 의하여 설계할 수 있다.

7.1.2 내진설계범주 'C'에 대한 해석법

(1) 내진설계범주 'C'에 해당하는 구조물의 해석은 7.2에서 정한 등가정적해석법에 의하여 설계할 수 있다. 단, 다음 중의 하나에 해당하는 경우에는 7.3에서 제시하는 동적해석법을 사용하여야 한다.

- ① 높이 70m 이상 또는 21층 이상의 정형구조물
- ② 높이 20m 이상 또는 6층 이상의 비정형구조물

7.1.3 내진설계범주 'D'에 대한 해석법

(1) 내진설계범주 'D'에 해당하는 구조물의 해석에는 표 7.1-1에 지정한 해석방법 또는 그보다 정밀한 해석방법을 사용하여야 한다. 이 경우에 구조물이 표 5.3-1의 H-1 혹은 H-4에 해당하는 평면비정형성이 없거나 표 5.3-2의 V-1, V-4 혹은 V-5에 해당하는 수직비정형성이 없는 경우에 정형으로 볼 수 있다.

표 7.1-1 내진설계범주 'D'에 대한 해석법

| 구조물 형태 | 내진설계를 위한 해석방법 |
|--|------------------|
| 1. 3층 이하인 경량골조구조와 각 층에서 유연한 격막을 갖는 2층 이하인 기타 구조로서 내진등급 II의 구조물 | 등가정적해석법 또는 동적해석법 |
| 2. 상기 1항 이외의 높이 70m 미만의 정형구조물 | 등가정적해석법 또는 동적해석법 |
| 3. 표 5.3-2에서 유형 1, 2, 3을 제외한 수직비정형성 또는 표 5.3-1의 유형 1을 제외한 평면비정형성을 가지면서 높이가 5층 또는 20m를 초과하지 않는 구조물. | 등가정적해석법 또는 동적해석법 |
| 4. 평면 또는 수직 비정형성을 가지는 기타 구조물 또는 높이가 70m를 초과하는 정형구조물 | 동적해석법 |

7.2 등가정적해석법

7.2.1 밀면전단력

(1) 밀면전단력 V 는 식 (7.2-1)에 따라 구한다.

$$V = C_s W \quad (7.2-1)$$

여기서, C_s : 식 (7.2-2)에 따라 산정한 지진응답계수

W : 고정하중과 아래에 기술한 하중을 포함한 유효 건물 중량

- ① 창고로 쓰이는 공간에서는 활하중의 최소 25% (공용차고와 개방된 주차장 건물의 경우에 활하중은 포함시킬 필요가 없음.)
- ② 바닥하중에 칸막이벽 하중이 포함될 경우에 칸막이의 실제중량과 0.5kN/m² 중 큰 값
- ③ 영구설비의 총 하중
- ④ 적설하중이 1.5kN/m²을 넘는 평지붕의 경우에는 평지붕 적설하중의 20%.

⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게

7.2.2 지진응답계수

(1) 지진응답계수 C_s 는 식 (7.2-2)에 따라 구한다.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_E} \right]} \quad (7.2-2)$$

식 (7.2-2)에 따라 산정한 지진응답계수 C_s 는 다음 값을 초과하지 않아도 된다.

$$T \leq T_L:$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[\frac{R}{I_E} \right] T} \quad (7.2-3)$$

$$T > T_L:$$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{\left[\frac{R}{I_E} \right] T^2} \quad (7.2-4)$$

그러나 지진응답계수 C_s 는 다음 값 이상이어야 한다.

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_E \geq 0.01 \quad (7.2-5)$$

여기서, I_E : 표 2.2-1에 따라 결정된 건축물의 중요도계수

R : 표 6.2-1에 따라 결정한 반응수정계수

S_{DS} : 4.2에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도

S_{D1} : 4.2에 따라 결정한 주기 1초에서의 설계스펙트럼가속도

T : 7.2.3에 따라 산정한 건축물의 고유주기(초)

T_L : 5초

7.2.3 고유주기 산정법

(1) 구조물의 고유주기는 7.2.4의 약산식에 따라 산정하거나 저항요소의 변형특성과 구조적 특성을 고려한 수치해석적 방법으로 구할 수 있다. 다만, 수치해석적 방법에 의하여 산정한 고유주기는 약산식에 따라 구한 고유주기 T_a 에 표 7.2-1의 주기상한계수 C_u 를 곱한 값을 초과할 수 없다.

표 7.2-1 주기상한계수, C_u

| s_{D1} | C_u |
|----------|-------|
| 0.4 이상 | 1.4 |
| 0.3 | 1.4 |
| 0.2 | 1.5 |
| 0.15 | 1.6 |
| 0.1 이하 | 1.7 |

※ s_{D1} 의 중간값에 해당할 경우 주기상한계수 C_u 는 직선보간한다.

7.2.4 고유주기의 약산법

(1) 근사고유주기 T_a (초)는 식 (7.2-6)에 따라 구한다.

$$T_a = C_t h_n^x \tag{7.2-6}$$

여기서, $C_t = 0.0466, x=0.9$: 철근콘크리트모멘트골조

$C_t = 0.0724, x=0.8$: 철골모멘트 골조

$C_t = 0.0731, x=0.75$: 철골 편심가새골조 및 철골 좌굴방지가새골조

$C_t = 0.0488, x=0.75$: 철근콘크리트전단벽구조, 기타골조

h_n : 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이 (m)

(2) 강성에 영향을 줄 수 있는 비보강채움벽이 있는 철근콘크리트모멘트골조, 철골모멘트골조의 주기는 상기식에 2/3를 곱하여 산정한다. 콘크리트 전단벽체가 주요 횡저항 시스템인 경우에는 기타골조의 주기식을 적용한다.

(3) 철근콘크리트와 철골 모멘트저항골조에서 12층을 넘지 않고 층의 최소높이가 3m 이상일 때 근사고유주기 T_a 는 아래 식에 의하여 구할 수 있다.

$$T_a = 0.1N \tag{7.2-7}$$

여기서, N : 층수

7.2.5 지진력의 연직분포

(1) 밑면전단력을 수직분포시킨 층별 횡하중 F_x 는 다음 식에 따라 결정한다.

$$F_x = C_{vx} V \tag{7.2-8}$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \tag{7.2-9}$$

여기서, C_{vx} : 수직분포계수

k : 건축물 주기에 따른 분포계수

$k = 1$: 0.5초 이하의 주기를 가진 건축물

$k = 2$: 2.5초 이상의 주기를 가진 건축물

단, 0.5초와 2.5초 사이의 주기를 가진 건축물의 경우 k 는 1과 2 사이의 값을 직선보간하여 구한다.

h_i, h_x : 밑면으로부터 i 또는 x 층까지의 높이

V : 밑면전단력

w_i, w_x : i 또는 x 층 바닥에서의 중량

n : 층수

7.2.6 수평전단력분포

7.2.6.1 수평전단력의 계산

(1) x 층에서의 층전단력 V_x 는 다음 식에 의해 결정한다.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \tag{7.2-10}$$

여기서, F_i : i 층 바닥에 작용하는 지진력

7.2.6.2 강한 격막

(1) 격막이 강한 격막으로 분류될 경우에 설계층전단력은 그 층의 지진력저항 시스템을 구성하는 수직부재들의 횡강성비에 따라 분배한다.

7.2.6.3 유연한 격막

(1) 유연한 격막으로 분류될 경우에 설계층전단력은 격막의 설계면내강성을 고려하여 분배하거나 또는 각 저항선상에 위치한 격막의 작용면적을 기초로 각 수직부재에 분배한다.

7.2.6.4 수평비틀림모멘트

(1) 격막이 유연하지 않을 경우에는 설계 시 수평비틀림모멘트를 고려하여야 한다. 수평비틀림모멘트는 구조물의 질량 중심과 강성 중심 간의 편심에 의한 비틀림모멘트 M_t 와 우발비틀림모멘트 M_{t_a} 의 합으로 한다. 이때 비틀림모멘트 M_t 는 편심거리에 층전단력을 곱하여 산정하고, 우발비틀림모멘트 M_{t_a} 는 지진력 작용방향에 직각인 평면치수의 5%에 해당하는 우발편심과 층전단력을 곱하여 산정한 모멘트로 한다. 우발편심은 질량 중심에 대하여 양방향 모두 고려하여야 한다.

7.2.6.5 비틀림의 동적증폭

(1) 표 5.3-1에 의한 비틀림비정형(유형 H-1) 건물이 5.2에 따라 내진설계범주 'C' 또는 'D'로 분류되는 경우에는 다음 식에 의한 비틀림증폭계수 A_x 를 각 층에서 우발비틀림 모멘트 M_{t_a} 에 곱하여야 한다.

$$A_x = \left[\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{\text{avg}}} \right]^2 \tag{7.2-11}$$

여기서, δ_{\max} : x 층 바닥에서의 최대변위
 δ_{avg} : x 층 바닥에서 건물 각 모서리 변위의 평균

(2) 단, 비틀림증폭계수 A_x 가 3.0을 초과할 필요는 없다. 각 부재의 설계 시 가장 불리한 하중조건을 고려하여야 한다.

7.2.7 전도모멘트

(1) 건축물은 7.2에 따라 결정된 지진하중으로 인한 전도모멘트에 대하여 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

x 층에서의 전도모멘트 M_x 는 다음 식에 따라 결정한다.

$$M_x = \tau \sum_{i=x}^n F_i (h_i - h_x) \tag{7.2-12}$$

여기서, F_i : i 층 바닥에 작용하는 지진력

h_i 및 h_x : 밑면으로부터 층바닥 i 또는 x 까지의 높이 (m)

τ : 다음에 의해 결정되는 전도모멘트감소계수

- ① 최상층으로부터 10번째 층까지는 1.0
- ② 최상층으로부터 20번째 층과 그 이하는 0.8
- ③ 최상층으로부터 10번째 층과 20번째 층 사이는 1.0과 0.8 사이를 직선보간한 값

7.2.8 층간변위 결정과 P-Δ효과

7.2.8.1 층간변위의 결정

(1) 층간변위 Δ 는 주어진 층의 상·하단 질량 중심의 횡변위 차이로서 산정한다. 허용응력 설계의 경우에도 Δ 는 지진하중에 하중계수 0.7을 곱하지 않고 산정하여야 한다. 건물이 표 5.3-1에 의한 평면비정형성의 유형 H-1과 내진설계범주 'C'와 'D'로 분류된 경우에 Δ 는 주어진 층의 상·하단 모서리 변위 간 차이 중 최대 값으로 한다.

(2) x 층의 층변위 δ_x 는 다음 식에 의해서 결정한다.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_E} \tag{7.2-13}$$

여기서, C_d : 표 6.2-1에 의한 변위증폭계수

δ_{xe} : 지진력저항시스템의 탄성해석에 의한 층변위

I_E : 표 2.2-1에 따른 건축물의 중요도계수

표 8.2-1에 있는 허용층간변위에 대한 판정에 있어서 x 층에서의 변위 δ_x 는 이 조항의 규정에 따라 산정하여야 한다.

- (3) 변위해석만을 목적으로 할 경우에는 건축물의 고유주기 T 의 산정에 7.2-3에 제시된 주기의 상한값을 적용할 필요는 없다.

또한, 설계층간변위 Δ 는 $P-\Delta$ 효과에 의한 증폭계수 $a_d=1.0/(1-\theta)$ 를 곱하여 산정한다. 여기서, θ 는 7.2.8.2에 정의된 안정계수이다.

7.2.8.2 P-Δ효과

- (1) 다음 식에 따라 산정한 안정계수 θ 가 0.1 이하인 경우에는 층전단력과 모멘트로 인한 부재력 및 층간변위의 산정에 $P-\Delta$ 효과를 고려하지 않아도 좋다.

$$\theta = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx} C_d} \tag{7.2-14}$$

여기서, P_x : x 층 및 그 상부층의 수직하중 합. 단, P_x 산정 시 각 하중의 하중계수는 1.0을 넘을 필요가 없다.

Δ : V_x 에 의한 설계층간변위

V_x : x 층과 $x-1$ 층 사이의 지진하중 전단력

h_{sx} : x 층 아래의 층높이

C_d : 표 6.2-1에 의한 변위증폭계수

- (2) 식 (7.2-14)에 따라 산정한 안정계수 θ 는 다음 식에 의한 θ_{max} 를 초과할 수 없다. θ 가 θ_{max} 를 초과할 경우에는 구조물이 불안정할 가능성이 크기 때문에 재설계하여야 한다.

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \tag{7.2-15}$$

여기서, β : x 층과 $x-1$ 층 사이의 설계전단강도에 대한 소요전단강도의 비이며, 별도의 산정 없이 안전측으로 $\beta=1$ 을 사용할 수 있다.

- (3) 안정계수 θ 가 0.1보다 크고, θ_{max} 이하일 경우에는 합리적인 방법으로 $P-\Delta$ 해석을 수행하여 층간변위와 부재력을 구하여야 한다. $P-\Delta$ 해석 대신에 증폭계수 $a_d=1.0/(1-\theta)$ 를 곱하여 층간변위와 부재력을 증대하여 사용하여도 좋다.
- (4) $P-\Delta$ 효과가 자동적으로 고려되는 해석을 하더라도 식 (7.2-15)의 제한값을 만족하여야 한다. 이 경우에는 $P-\Delta$ 해석에 의한 결과값으로 식 (7.2-14)의 θ 를 산정하고, 이 값을 $(1+\theta)$ 로 나눈 값을 안정계수 θ 로 하여 식 (7.2-15)의 제한값을 검토하여도 좋다.

7.2.9 지반-구조물 상호작용

- (1) 기초 하부는 고정단으로 가정 하거나 또는 기초 하부지반의 강성을 고려하여 구조해석을 수행할 수 있다.
- (2) 지하층이 있는 구조에 대하여 지상구조물의 지진하중 계산을 위해 주기를 산정하는 경우에는 지하층 벽체에 인접한 지반의 강성을 고려하거나 지표면에서 고정된 지상구조만을 고려해야 한다. 지진토압을 고려하는 지진해석과 내진설계는 14.6을 따른다.

7.3 동적해석법

7.3.1 해석방법의 선택

- (1) 동적해석을 수행하는 경우에는 다음 중 한 가지 방법을 선택할 수 있으며, 세부 절차는 이 조항의 규정에 의한다.
 - ① 응답스펙트럼해석법
 - ② 선형시간이력해석법
 - ③ 비선형시간이력해석법

7.3.2 모델링

- (1) 건축물의 수학적 모델은 질량과 강성의 공간적 분포를 표현할 수 있어야 한다.
 - ① 서로 독립적이고 직각으로 배치된 횡력저항시스템을 갖는 정형구조물에 있어서는 독립적인 2차원 모델을 사용할 수 있다.
 - ② 서로 독립적이 아닌 저항시스템을 갖는 비정형 구조물의 경우에는 각 층별로 평면상의 두 직각방향에 대한 변위와 수직축에 대한 회전을 포함하는 최소한 3개의 자유도를 갖는 3차원 모델을 사용하여야 한다.
 - ③ 격막이 횡력저항시스템의 수직부재에 비하여 유연한 경우에는, 해석모델은 격막의 유연성과 그것이 동적응답에 미치는 영향을 고려할 수 있는 추가적인 자유도를 포함시켜야 한다.
 - ④ 철근콘크리트조와 조적조의 경우 균열단면의 영향을 고려하여야 하고, 철골모멘트골조의 경우 변위 산정 시 패널존의 영향을 고려하여야 한다.

- ⑤ $P-\Delta$ 효과가 큰 경우에는 반드시 이를 고려할 수 있는 모델을 사용하거나 해석결과에 $P-\Delta$ 효과를 반영하여야 한다.
- ⑥ 지하층구조의 바닥면적이 지상구조의 바닥면적에 비하여 매우 큰 경우에는 지상구조를 분리하여 해석할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 지하구조를 지상구조와 함께 모델링하여야 한다.

7.3.3 응답스펙트럼해석법

7.3.3.1 모드특성

(1) 고유주기, 모드형상벡터, 질량참여계수, 모드질량 등과 같은 건축물의 진동모드특성은 횡력저항시스템의 질량 및 탄성강성에 의하여 밀면이 고정된 것으로 가정 하여 공인된 해석방법으로 구하여야 한다. 해석에 포함되는 모드개수는 직교하는 각 방향에 대하여 질량참여율이 90% 이상이 되도록 결정한다.

7.3.3.2 모드밀면전단력

(1) m 차 모드에 의한 밀면전단력 V_m 은 다음 식으로 구한다.

$$V_m = C_{sm} \overline{W}_m \tag{7.3-1}$$

$$\overline{W}_m = \frac{\left(\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im} \right)^2}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im}^2} \tag{7.3-2}$$

여기서,

C_{sm} : 식 (7.3-3)에 의하여 결정되는 m 차 모드 지진응답계수

\overline{W}_m : m 차 모드 유효중량

ϕ_{im} : m 차 모드벡터의 i 층 성분

w_i : 유효건물중량 W 중 i 층의 유효중량으로 W 는 모든 고정하중 및 다음의 하중을 포함한다.

- ① 창고로 쓰이는 공간에서는 활하중의 최소 25% (공용 차고와 개방된 주차장 건물의 경우에는 활하중은 포함시킬 필요가 없음)
- ② 바닥하중에 칸막이벽하중이 포함될 경우에는 칸막이의 실제중량과 0.5 kN/m² 중 큰 값
- ③ 영구설비의 총 하중
- ④ 적설하중이 1.5 kN/m²이 넘는 평지붕의 경우에는, 평지붕적설하중의 20%
- ⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게

(2) m 차 모드 지진응답계수 C_{sm} 은 식 (7.3-3)에 따라 결정한다.

$$C_{sm} = \frac{S_{am}}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \tag{7.3-3}$$

여기서, I_E : 표 2.2-1에 따라 결정되는 중요도계수

S_{am} : 설계스펙트럼 또는 대지특성에 맞는 응답스펙트럼에 따라 결정되는 모드별 주기 T_m 에 대응하는 모드 설계스펙트럼가속도

R : 표 6.2-1에 의한 반응수정계수

단, 각 방향별 1차 모드를 제외한 주기가 0.3초 미만인 고차모드의 지진응답계수 C_{sm} 은 식 (7.3-4)로도 구할 수 있다.

$$C_{sm} = \frac{S_{DS}}{2.5 \left(\frac{R}{I_E}\right)} (1.0 + 5.0 T_m) \tag{7.3-4}$$

여기서, I_E : 표 2.2-1에 따라 결정되는 중요도계수

R : 표 6.2-1에 의한 반응수정계수

S_{DS} : 4.2에 의한 단주기 설계스펙트럼가속도

T_m : m 차 모드의 진동주기

7.3.3.3 모드 층지진력, 변위, 층간변위

(1) 각 층의 모드하중 F_{xm} 은 다음 식으로 구한다.

$$F_{xm} = C_{vxm} V_m \tag{7.3-5}$$

$$C_{vxm} = \frac{w_x \phi_{xm}}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im}} \tag{7.3-6}$$

여기서, C_{vxm} : m 차 모드의 수직분포계수

V_m : 식 (7.3-1)에 의하여 산정된 m 차 모드의 밀면전단력

w_i, w_x : i 층과 x 층의 유효중량

ϕ_{im} : m 차 모드벡터의 i 층 성분

ϕ_{xm} : m 차 모드벡터의 x 층 성분

(2) 각 층에서의 모드변위 δ_{xm} 은 다음 식으로 구한다.

$$\delta_{xm} = \frac{C_d \delta_{xem}}{I_E} \tag{7.3-7}$$

여기서, C_d : 표 6.2-1에 의한 변위증폭계수

I_E : 표 2.2-1에 따라 결정되는 중요도계수

δ_{xem} : 탄성해석으로 구한 m 차 모드의 x 층 질량중심의 변위

탄성변위 δ_{xem} 은 다음과 같은 식을 이용하여 구할 수도 있다.

$$\delta_{xem} = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \left(\frac{T_m^2 F_{xm}}{w_x} \right) \tag{7.3-8}$$

여기서, F_{xm} : m 차 모드의 x 층 지진력

g : 중력가속도

T_m : m 차 모드의 진동주기

w_x : x 층의 유효중량

(3) 모드층간변위 Δ_m 은 상하층의 층변위 δ_{xm} 의 차로 구한다.

7.3.3.4 모드 층전단력, 모멘트, 부재력

(1) 7.3.3.3에 따라 산정된 지진하중에 의하여 발생하는 층전단력, 층전도모멘트, 부재력 등은 모드별로 선형정적해석법을 이용하여 구한다.

7.3.3.5 설계값의 산정

(1) 밀면전단력 V_t , 층전단력, 층간변위, 층변위, 부재력 등의 설계 값은 각 모드의 영향을 제곱합제곱근법(Square Root of Sum of Square : SRSS) 또는 완전2차조합법(Complete Quadratic Combination : CQC)으로 조합하여 구한다. 단, 일련된 각 모드의 주기 차이가 25퍼센트 이내일 때에는 CQC를 사용하여야 한다.

(2) 응답스펙트럼해석에 의한 밀면전단력 V_t 가 7.2.3에 따라 구한 고유주기를 사용하여 등가정적해석법으로 산정한 밀면전단력 V 의 85%보다 작은 경우에는 7.3.3.5(1)에서 구한 설계값에 다음의 보정계수 C_m 을 곱하여 사용한다. 단, 층간변위에는 보정계수 C_m 을 곱하지 않는다.

$$C_m = 0.85 \frac{V}{V_t} \geq 1.0 \tag{7.3-9}$$

7.3.3.6 횡변위 결정과 $P-\Delta$ 효과

(1) 비탄성횡변위의 결정과 $P-\Delta$ 효과에 대한 고려는 7.2.7에 따른다. 다만, 해석에서

$P-\Delta$ 효과를 고려하는 경우에는 추가로 $P-\Delta$ 효과를 고려하지 않는다.

7.3.4 시간이력해석

7.3.4.1 설계지진파

- (1) 시간이력해석은 지반조건에 상응하는 지반운동기록을 최소한 3개 이상 이용하여 수행한다. 3개의 지반운동을 이용하여 해석할 경우에는 최대응답을 사용하여 설계해야 하며, 7개 이상의 지반운동을 이용하여 해석할 경우에는 평균응답을 사용하여 설계할 수 있다.
- (2) 3차원해석을 수행하는 경우 각 지반운동은 평면상에서 서로 직교하는 2방향의 쌍으로 구성되며, 2방향의 성분이 대상 구조물의 평면상에 교대로 2회 해석되어야 한다. 개별 지반운동의 성분별로 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고, 주기별로 제곱합제곱근 (SRSS)을 취하여 제곱합제곱근 스펙트럼을 산정하며, 이 제곱합제곱근 스펙트럼들의 평균값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 지반운동기록의 조성 및 생성방법에 따라 다음의 최소응답스펙트럼 가속도 이상 되도록 해야 한다. 지반운동의 크기를 조정하는 경우에는 직교하는 2성분에 대해서 동일한 배율을 적용하여야 한다.
 - ① 4.1.1에서 정의된 지반조건에 해당하는 지진관측소에서 계측된 지반운동기록의 진폭을 조정하여 사용하는 경우에 최소응답스펙트럼 가속도는 설계응답스펙트럼의 1.3배의 90%로 정한다.
 - ② 4.1.1에서 정의된 지반조건에 해당하는 지진관측소에서 계측된 지반운동기록의 주파수 성분을 조정하여 설계응답스펙트럼에 맞게 생성한 경우에 최소응답스펙트럼 가속도는 설계응답스펙트럼의 1.3배의 110%로 정한다.
 - ③ 설계대상 구조물이 위치한 지반의 조건이 고려된 부지응답해석을 통해 지진동을 산정할 경우 최소응답스펙트럼 가속도는 설계응답스펙트럼의 1.3배의 80%로 정한다. 다만, 부지응답해석으로 구해진 지진파의 평균스펙트럼의 최대값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 구간 밖에 위치할 경우 최소응답스펙트럼 가속도는 설계응답스펙트럼의 1.3배의 90%로 정한다. 부지응답해석을 위한 입력 지진파는 4.1.1에서 정의하는 S_1 지반조건에서 계측된 지반운동기록을 사용하되 그 제곱합제곱근 스펙트럼들의 평균값은 S_1 지반의 설계응답스펙트럼의 1.3배와 비교하여 가속도 일정구간에서는 80% 이상, 그 외 구간에서는 100% 이상이어야 한다.
- (3) 2차원 해석을 수행하는 경우에는 개별 지반운동에 대해 작성된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균값이 해석을 수행하는 방향의 구조물 고유주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 지반운동기록의 조성 및 생성방법에 따라 7.3.4.1(2)의 ①, ②, ③에 부합하도록 조정한다. 단, 설계응답스펙트럼의 1.3배 대신에 1.0배를 적용한다.

7.3.4.2 선형시간이력해석

- (1) 충전단력, 충전도모멘트, 부재력 등 설계값은 시간이력해석에 의한 결과에 중요도계수

를 곱하고 반응수정계수로 나누어 구한다. 이렇게 구한 설계값들은 7.3.3.5의 규정에 따라 조정하여야 한다.

7.3.4.3 비선형시간이력해석

(1) 부재의 비탄성 능력 및 특성은 중요도계수를 고려하여 실험이나 충분한 해석결과에 부합하도록 모델링해야 한다. 응답은 R/I_E 에 의하여 감소시키지 않는다. 최대 비탄성 변위응답은 8.2.3을 만족하여야 한다. 더불어 개별 부재의 강도 및 변형 능력 만족 여부도 함께 검토해야 한다.

7.3.4.4 지반효과의 고려

(1) 지반운동의 영향을 직접적으로 고려하기 위하여 구조물 인접지반을 포함하여 해석을 수행할 수 있다. 기반암 상부에 위치한 지반을 모델링하여야 하며, 되도록 넓은 면적의 지반을 모델링하여 구조물로부터 멀리 떨어진 지반의 운동이 구조물과 인접지반의 상호작용에 의하여 영향을 받지 않도록 한다. 기반암의 특성을 가진 지진파를 이용하여 기반암의 지진입력에 대하여 해석을 수행한다. 이 때 기반암의 특성을 가진 입력 지진파의 선정은 7.3.4.1(2)③을 따른다.

8. 하중조합 및 설계 요구사항

8.1 지진하중의 조합

8.1.1 일반사항

(1) 이 절은 구조물 및 부재 설계를 위한 하중조합과 특별지진하중을 규정한다. 또한 지진하중의 방향과 수직지진력의 영향을 고려하여 설계지진력을 결정하는 방법을 규정한다.

8.1.2 하중조합

8.1.2.1 강도설계

(1) 강도설계 또는 한계상태설계를 수행하는 경우 지진하중을 포함하는 하중조합은 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중의 1.5 하중조합을 따른다.

8.1.2.2 허용응력설계

(1) 허용응력설계를 수행하는 경우 지진하중을 포함하는 하중조합은 KDS 41 10 15 건축구조기준 설계하중의 1.5 하중조합을 따른다.

8.1.2.3 특별지진하중

(1) 필로티 등과 같이 전체 구조물의 불안정성으로 붕괴를 일으키거나 지진하중의 흐름을 급격히 변화시키는 주요부재와 이를 지지하는 해당 위치의 수직부재 설계에는 지진하중을 포함한 하중조합에 일반 지진하중(E) 대신 특별지진하중(E_m)을 사용하여야 한다.

다.

$$E_m = \Omega_0 E \pm 0.2 S_{DS} D \quad (8.1-1)$$

여기서, Ω_0 는 표 6.2-1에서 정한 시스템초과강도계수, S_{DS} 는 4.2에서 정의한 단주기설계스펙트럼가속도, D 는 고정하중이다.

단, $\Omega_0 E$ 는 지진력저항 시스템에서 다른 부재의 내력에 의해 전달될 수 있는 최대하중을 초과할 필요는 없다.

8.1.3 지진하중의 방향

8.1.3.1 내진설계범주 'B'

(1) 설계지진력은 각 부재에 가장 큰 하중효과가 발생하는 방향으로 적용한다. 이러한 규정은 지진력을 직교하는 임의의 두 방향으로 각각 작용시켰을 때 만족하는 것으로 간주한다.

8.1.3.2 내진설계범주 'C'

(1) 8.1.3.1의 규정을 만족하여야 하며, 특히 표 5.3-1에 규정된 평면비정형 유형 H-5에 해당하는 구조물의 설계부재력은 다음의 두 가지 방법 중 한 가지 방법을 이용하여 결정한다.

- ① 한 방향 지진하중에 의한 하중효과의 100%와 그에 직교하는 방향 지진하중에 의한 하중효과의 30%에 대한 절대값을 더하되, 두 조합 중 큰 값을 택한다.
- ② 직교하는 두 방향 하중효과의 100%를 제곱합제곱근(SRSS) 방법으로 조합한다.

8.1.3.3 내진설계범주 'D'

(1) 구조물의 설계부재력은 다음의 두 가지 방법 중 한 가지 방법을 이용하여 결정한다.

- ① 한 방향 지진하중에 의한 하중효과의 100%와 그에 직교하는 지진하중에 의한 하중효과의 30%에 대한 하중효과의 절대값을 더하되, 두 조합 중 큰 값을 택한다.
- ② 직교하는 두 방향 하중효과의 100%를 제곱합제곱근(SRSS) 방법으로 조합한다.

8.1.4 수직지진력

(1) 내진설계범주 'D'로 분류된 구조물의 수평 내민보와 프리스트레스를 받는 수평요소는 해당 하중조합에 추가하여 고정하중의 20% 이상에 해당하는 수직지진력에 저항할 수 있도록 설계한다.

8.2 설계 요구사항

(1) 지진력저항시스템에 대한 각 구조요소의 설계는 이 조항의 규정을 만족해야 한다.

8.2.1 강도 조건

- (1) 지진력저항시스템을 구성하는 모든 구조부재는 재료별 설계기준을 따라 계산한 설계 강도가 지진하중조합에 의한 설계지진력보다 작지 않아야 한다.

8.2.2 연성 조건

- (1) 전체 구조물과 구조부재는 표 6.2-1의 지진력저항시스템별 연성 능력을 확보해야 한다. 연성능력 확보를 위한 재료별 요구사항 및 내진상세 규정은 9장~13장을 따른다.

8.2.3 변형과 횡변위 제한

- (1) 설계층간변위 Δ 는 어느 층에서도 표 8.2-1에 규정한 허용층간변위 Δ_a 를 초과할 수 없다.

표 8.2-1 허용층간변위 Δ_a

| | 내진등급 | | |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 특 | I | II |
| 허용층간변위 Δ_a | $0.010h_{sx}$ | $0.015h_{sx}$ | $0.020h_{sx}$ |

h_{sx} : x 층 층고

8.2.4 건물간의 거리

- (1) 내진설계범주 'D'로 분류된 구조물은 이웃한 구조물과 일정한 거리를 유지하여야 한다. 동일한 부지에서 인접한 2개의 건축물은 최소한 다음의 δ_{MT} 이상 격리시켜야 한다.

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (8.2-1)$$

여기서, δ_{M1} 과 δ_{M2} 는 7.2.8 또는 7.3.4에 따라 산정한 각 건축물의 횡변위이다.

- (2) 구조물이 대지경계선에 인접한 경우에는, 구조물은 대지경계선으로부터 최소한 건물의 횡변위 δ_M 만큼 떨어져야 한다.

8.3 비정형 구조물

- (1) 비정형 구조물의 구조부재는 8.2의 설계 요구사항 이외에 다음 규정을 만족해야 한다. 단, 내진설계범주 'A'에 해당하는 구조물은 예외로 한다.

8.3.1 수직시스템의 불연속

- (1) 표 5.3-2에 정의된 수직 비정형의 유형 V-5와 같이 횡력저항능력이 불연속이며, 약층의 강도가 바로 윗층 강도의 65% 미만인 구조물의 높이는 2층 또는 9m 이하이어야 한다. 단, 약층이 설계하중에 시스템초과강도계수 Ω_0 를 곱한 지진력을 지지할 수 있다면 높이 제한을 적용하지 않는다.

8.3.2 역추형 구조물

- (1) 역추형 구조물을 지지하는 기둥은 7.2에 따라 결정된 밑면에서의 휨모멘트 및 밑면휨모멘트의 1/2에 해당하는 최상부 모멘트 사이에 선형으로 변하는 모멘트에 대하여 설계하여야 한다.

8.3.3 불연속벽 또는 골조를 지지하는 부재

- (1) 표 5.3-1의 평면비정형 유형 H-4 또는 표 5.3-2의 수직비정형 유형 V-4에 해당하는 구조물의 불연속 벽 또는 골조를 지지하는 부재는 8.1.2.3의 특별지진하중과의 조합하중에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

8.4 격막과 수집재

- (1) 격막 및 그 경계요소와 수집재는 8.4.1와 8.4.2에 따라 설계해야 한다.

8.4.1 격막의 설계

- (1) 격막과 그 경계요소는 설계지진력으로부터 계산한 전단응력 및 휨응력에 대하여 설계해야 한다. 개구부, 오목한 모서리 등 격막의 불연속 부분에 대해서는 모서리 및 경계(또는 경계요소)에 작용하는 힘이 격막의 전단내력 및 인장내력보다 크지 않도록 설계해야 한다.

8.4.2 수집재의 설계

- (1) 구조물의 한 부분에서 발생한 지진력을 다른 곳에 위치한 지진력저항부재가 저항하는 경우, 해당 지진력을 전달할 수 있는 수집재를 설치해야 한다. 수집재의 설계지진력은 표 6.2-1에 제시된 시스템초과강도계수가 곱해진 특별지진하중을 고려한 하중조합에 대하여 산정해야 한다.

9. 콘크리트구조의 고려사항

9.1 일반사항

- (1) 이 절은 콘크리트구조의 내진설계를 위한 시스템분류, 설계요구사항, 상세요구사항, KDS 41 30 00 건축물 콘크리트구조 설계기준과의 연관관계를 정의한다. 세부규정은 KDS 41 30 00 을 따른다.

9.2 시스템의 분류

9.2.1 모멘트골조

- (1) 저연성도, 중연성도, 고연성도가 요구되는 모멘트골조는 각각 보통모멘트골조, 중간모멘트골조, 특수모멘트골조로 분류하며, 이러한 모멘트골조로 구성된 구조시스템의 지진하중 계산을 위한 설계계수는 6장을 따른다.

9.2.2 내력벽구조

- (1) 저연성도, 고연성도가 요구되는 내력벽은 각각 보통전단벽, 특수전단벽으로 분류하며, 이러한 내력벽으로 구성된 구조시스템의 지진하중 계산을 위한 설계계수는 6장을 따른다.

9.2.3 무량판슬래브구조

- (1) 기둥과 무량판슬래브로 구성되는 모멘트골조는 9.2.1을 따른다. 다만, 기둥을 연결하는 보가 없고 횡보강철근상세를 사용하지 않는 플랫플레이트 구조와 플랫슬래브 구조는 고연성도 구조로 사용할 수 없다.

9.2.4 모멘트골조와 전단벽 또는 가새골조의 혼합구조

- (1) 모멘트골조와 전단벽 또는 가새골조로 구성되는 혼합구조는 모멘트골조의 기여도와 부재의 연성상세에 따라서 분류되며, 건물골조방식, 이중골조방식, 전단벽-골조 상호 작용방식이 있다. 상세한 구조형식의 분류와 설계계수는 6장을 따른다.

9.2.5 일반규정만을 만족하는 철근콘크리트구조시스템

- (1) 내진상세가 아닌 일반상세를 사용하여 설계하고자 하는 경우에는 이 규정을 따를 수 있다. 관련 설계계수는 6장을 따른다. 제한적인 연성능력을 고려하여 반응수정계수가 상대적으로 작고, 건물높이 등이 제한된다. 대신에 구조형식의 제한없이 사용이 가능하며, 혼합구조에도 사용할 수 있다.

9.3 재료요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도가 요구되는 구조형식의 구조물에 사용하는 재료는 다음을 따른다.

9.3.1 철근

- (1) 모멘트골조부재, 벽체의 경계요소, 연결보에 사용되는 주철근에 대해서는 다음과 같은 성능을 가지는 한국산업규격의 내진용 철근(SD400S, SD500S, SD600S)을 사용해야 한다.

- ① 철근의 인장강도는 항복강도를 일정이상 초과하는 충분한 강도를 가져야 한다.
- ② 철근의 실제 항복강도는 설계기준 항복강도대비 과도한 강도를 나타내서는 안 된다.
- ③ 철근은 충분한 신장율을 나타내야 한다.

9.3.2 철근의 이음 및 정착

- (1) 보와 기둥의 소성힌지구간에서는 겹침이음과 용접이음이 허용되지 않는다.
- (2) 기계적이음의 강도는 철근의 강도보다 커야하며, 이음에서 취성과파괴가 발생하지 않아야 한다.

- (3) 철근의 이음과 정착은 콘크리트의 손상이 적을 것으로 예상되고 해당 철근의 인장력이 작은 구간에 설치한다.

9.4 보와 기둥에 대한 요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도가 요구되는 구조형식은 다음을 따른다.

9.4.1 전단강도

- (1) 보와 기둥 단부의 소성힌지에서 충분한 비탄성변형이 발생할 수 있어야 한다. 이를 위하여 단부에서 휨모멘트강도와 비탄성변형이 발휘될 때까지 전단파괴가 발생하지 않도록 충분한 전단강도를 가져야 한다.
- (2) 고연성도 구조에서는 비탄성변형의 증가에 따른 콘크리트의 전단강도저하를 고려해야 한다.

9.4.2 단부횡보강

- (1) 보와 기둥 단부의 소성힌지에서 충분한 비탄성변형이 발생할 수 있어야 한다. 이를 위하여 콘크리트의 취성파괴와 철근의 국부좌굴을 방지하도록 단부는 충분히 횡보강되어야 한다.
- (2) 소성힌지구간에서 보와 기둥의 횡보강근의 간격은 부재 춤의 1/2을 초과하지 않아야 한다.

9.5 보-기둥 접합부에 대한 요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도가 요구되는 구조형식은 다음을 따른다.

9.5.1 보와 기둥의 휨강도

- (1) 모멘트골조의 모든 접합부에서 상하기둥의 휨강도의 합은 해당방향 좌우 보의 휨강도의 합보다 커야 한다.
- (2) (1)을 만족하지 못하는 기둥에서는 전길이에 걸쳐서 횡보강근의 간격이 부재춤의 1/2 이하이고 기둥 단면 각 방향으로 1개 이상의 크로스타이를 설치해야 한다.

9.5.2 접합부의 횡보강

- (1) 외부접합부와 모서리접합부는 횡구속철근을 사용하여 적절히 횡구속하여야 한다.

9.5.3 접합부의 전단강도

- (1) 보 또는 기둥의 실제 휨모멘트강도가 발휘될 때 발생하는 전단력에 대하여 안전하도록 접합부를 설계하여야 한다.

9.5.4 외부접합부에서 보철근의 정착

- (1) 외부접합부와 코너접합부에서 보의 상하 휨철근은 90도 표준갈고리를 사용하여 정착되어야 하며, 충분한 정착길이를 가져야 한다. 접합부내에서 철근의 직선길이는 압축 정착길이를 만족해야 한다.

9.6 전단벽에 대한 요구사항

- (1) 고연성도가 요구되는 독립된 전단벽과 연결보로 연결된 병렬전단벽은 다음을 따른다.

9.6.1 단부횡보강

- (1) 전단벽이 충분한 연성능력을 나타낼 수 있도록, 단부 압축대를 적절히 횡보강하여야 한다.

9.6.2 전단강도

- (1) 벽체가 휨강도를 발휘할 수 있도록, 휨강도를 발휘하는데 필요한 전단력에 대하여 설계하여야 한다. 이때 벽체의 고차모드의 영향에 의한 전단력 증폭현상을 고려해야 한다.

9.6.3 연결보

- (1) 길이대 춤의 비가 2이하인 연결보에서는 조기압괴가 발생하지 않도록 대각콘크리트를 횡보강하여야 한다. 연결보의 강도요구사항을 만족해야 하는 경우에는 전단강도를 만족하기 위한 대각철근을 배치해야 한다.

9.7 시스템별 상세설계

9.7.1 보통모멘트골조

- (1) 저연성도가 요구되는 보통모멘트골조가 독립적으로 또는 지진력저항시스템과 함께 사용되는 경우, KDS 41 30 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.1에서 4.17까지의 규정을 적용한다.

9.7.2 중간모멘트골조

- (1) 중연성도가 요구되는 중간모멘트골조가 독립적으로 또는 지진력저항시스템과 함께 사용되는 경우, KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.1에서 4.17까지의 규정에 추가하여 4.18의 해당규정을 적용한다.

9.7.3 특수모멘트골조

- (1) 고연성도가 요구되는 특수모멘트골조가 독립적으로 또는 지진력저항시스템과 함께 사용되는 경우, KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.1에서 4.17까지의 규정에 추가하여 4.18의 해당규정을 적용한다.

9.7.4 보통전단벽

- (1) 저연성도가 요구되는 보통전단벽이 독립적으로 또는 모멘트골조와 함께 사용되는 경우, KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.1에서 4.17까지의 규정을 적용한다.

9.7.5 특수전단벽

- (1) 고연성도가 요구되는 특수전단벽이 독립적으로 또는 모멘트골조와 함께 사용하는 경우, KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.1에서 4.17까지의 규정에 추가하여 4.18의 해당규정을 적용한다.

9.8 기타요구사항

9.8.1 구조해석

- (1) 하중계산을 위한 구조물의 구조해석에서는 콘크리트부재의 균열강성을 과소평가하지 않아야 한다.
- (2) 비탄성변형을 계산하기 위한 구조해석에서는 콘크리트부재의 균열강성을 과대평가하지 않아야 한다.
- (3) 구조해석을 위한 콘크리트부재의 균열강성은 KDS 41 30 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 규정을 따를 수 있다.

9.8.2 비구조요소와의 연결

- (1) 큰 강성을 발휘할 수 있는 비구조요소는 구조부재와 이격하여야 한다. 그렇지 않은 경우에는 비구조요소를 구조요소로 고려하여 구조해석과 설계에 반영해야 한다.

9.8.3 조적채움벽과 허리벽의 고려사항

- (1) 조적채움벽이 모멘트골조로부터 이격되지 않아서 구조요소로 역할을 할 경우에는 채움벽의 영향을 구조해석에서 고려하여야 한다. 조적채움벽은 조적구조기준에 따라서 설계하여야 하며, 콘크리트 기둥과 보에는 조적채움벽으로부터 전달되는 추가하중에 대하여 설계하여야 한다.
- (2) 조적허리벽 또는 콘크리트허리벽이 모멘트골조로부터 이격되지 않은 경우에는 허리벽에 의한 기둥길이의 감소효과를 구조해석과 설계에 반영해야 한다.

9.8.4 필로티 기둥에 대한 고려사항

- (1) 상부 콘크리트 내력벽구조와 하부 필로티 기둥으로 구성된 3층 이상의 수직비정형 골조의 경우 이 조항을 준수해야 한다.
- (2) 계단실 등에 설치되는 콘크리트 코어벽구조는 건물평면에서 1개소 이상 설치하여야 하며 전이층에서 기초까지 연속되도록 설계하여야 한다. 코어벽 구조의 위치는 가급적 평면의 중앙에 또는 대칭으로 배치되도록 계획한다. 코어벽이 없는 경우에는 평면

상 두 직각방향의 각 방향에 두 개소 이상의 내력벽을 설치하여야 하며, 전이층에서 기초까지 연속되도록 설계하여야 한다. 내력벽은 평면상 각 방향으로 대칭으로 배치해야 한다.

- (3) 하부에 필로티기둥, 상부구조에 내력벽구조가 사용되는 경우, 필로티기둥과 내력벽이 연결되는 층바닥에서는 필로티기둥과 내력벽을 연결하는 전이슬래브 또는 전이보를 설치하여야 한다.
- (4) 지진하중계산 시에 반응수정계수 등의 지진력저항시스템의 내진설계계수는 내력벽구조에 해당하는 값을 사용한다.
- (5) 필로티기둥, 전이구조 및 그 연결부는 8장에 따라서 특별지진하중을 적용하여 증폭된 지진하중에 대하여 설계하여야 한다. 상부내력벽과 직접 연결되지 않는 독립된 필로티층의 전단벽의 설계에도 특별지진하중을 적용해야 한다.
- (6) 필로티 기둥에서는 전 길이에 걸쳐서 후프와 크로스타이로 구성되는 횡보강근의 수직 간격은 단면최소폭의 1/4 이하이어야 한다. 단 150mm 보다 작을 필요는 없다. 횡보강근에는 135도 갈고리정착을 사용하는 내진상세를 사용하여야 한다.
- (7) 횡보강근으로 외부후프철근과 더불어 각 방향 최소 1개 이상의 단면내부 크로스타이를 설치하여야 한다. 크로스타이의 정착을 위하여 한쪽은 135도 갈고리정착을, 그리고 다른 쪽은 90도 갈고리 정착을 사용할 수 있으며, 이때 각 정착을 수직적으로 교차로 배치하여야 한다.
- (8) 필로티 기둥의 설계전단력은 특별지진하중에 대한 구조해석을 사용하여 계산하되 $2M_n/L_n$ 이상이어야 한다. 여기서 M_n 은 기둥의 해당방향 휨모멘트강도로서 압축력의 영향을 고려한 값이며 L_n 은 기둥의 순길이이다.
- (9) 전이보 또는 전이슬래브와 필로티기둥의 접합부에는 필로티기둥에 사용되는 횡보강근의 간격과 동일한 간격의 횡보강근을 배치해야 한다. 접합부에는 90도 갈고리를 가진 후프의 사용이 허용된다. 단, 외부접합부와 모서리 접합부에서는 90도 갈고리정착이 건물외면에 위치하지 않아야 한다. 보가 접합되는 접합부면에서 기둥주철근의 위치가 보의 폭내에 위치하여 보에 의하여 횡구속되는 수직철근에는 크로스타이를 설치하지 않아도 된다.
- (10) 필로티 층에서 코어벽은 박스형태의 콘크리트 일체형으로 구성하며 개구부는 최소화한다. 각 콘크리트벽체에는 충분한 수직철근과 수평철근을 배치하며, 창문 등의 개구부 주위에는 추가로 보강철근을 배치한다.
- (11) 기둥, 코어벽, 전단벽등의 주요 구조부재 내부에는 우수관등 비구조재를 삼입할 수 없다.

9.8.5 1층이 약층인 모멘트골조에 대한 고려사항

- (1) 이 규정은 전 층이 동일한 구조형식인 모멘트골조로 구성되면서, 2층 이상의 상층부에는 콘크리트 채움벽 또는 조적채움벽으로 골조의 강성이 크고, 1층에서는 이러한 채움벽이 없이 개방형 골조로 되어 있어서 상대적으로 강성이 매우 작은 경우에 적용

- 한다. 채움벽이 모멘트골조 부재와 구조적으로 이격되어 있는 경우에는 이 규정을 적용하지 않는다.
- (2) 지진하중의 계산과 내진설계에 이 기준에 따른 수직비정형을 구조해석과 설계에 고려한다.
 - (3) 1층 기둥에서는 전 길이에 걸쳐서 후프와 크로스타이로 구성되는 횡보강근의 수직 간격은 단면최소폭의 1/4 이하이어야 한다. 단 150mm 보다 작을 필요는 없다. 횡보강근에는 135도 갈고리정착을 사용하는 내진상세를 사용하여야 한다.
 - (4) 횡보강근으로 외부후프철근과 더불어 각 방향 최소 1개 이상의 단면내부 크로스타이를 설치하여야 한다. 크로스 타이의 정착을 위하여 한쪽은 135도 갈고리정착을, 그리고 다른 쪽은 90도 갈고리 정착을 사용할 수 있으며, 이때 각 정착을 수직적으로 교차로 배치하여야 한다.
 - (5) 1층 기둥의 각 방향 설계전단력은 설계하중에 대한 구조해석으로부터 계산하되 $2M_n/L_n$ 이상이어야 한다. 여기서 M_n 은 기둥의 해당방향 휨모멘트강도로서 압축력의 영향을 고려한 값이며 L_n 은 기둥의 순길이이다.
 - (6) 가급적 콘크리트 코어벽을 설치하며, 코어벽에는 충분한 수직철근과 수평철근을 배치한다.

10. 강구조의 고려사항

10.1 일반사항

- (1) 이 절에서는 강구조건물에 사용되는 지진력저항시스템 설계기본사항을 규정한다. 이 절에서 언급되지 않은 사항은 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계를 따른다. 반응수정계수 R이 3이하인 지진력저항시스템에 대해서는 KDS 41 30 10의 4.13을 따를 필요가 없다.

10.2 강구조건물의 지진력저항시스템

- (1) 강구조건물의 기본 지진력저항시스템은 모멘트골조, 가새골조, 및 전단벽으로 대별된다. 이들은 비탄성 연성거동을 통한 지진에너지 흡수능력에 따라 고연성도, 중연성도 및 저연성도 시스템으로 세분된다. 특수시스템은 고연성도, 중간시스템은 중연성도, 그리고 보통시스템은 저연성도 시스템에 대응된다.

10.2.1 모멘트골조

- (1) 지진력저항시스템으로서 모멘트골조는 보유한 연성능력에 따라 철골 특수모멘트골조, 철골 중간모멘트골조, 및 철골 보통모멘트골조로 구분된다. 이들의 지진하중 산정을 위한 설계계수는 표 6.2-1을 따른다.

3. 모멘트-저항골조 시스템

3-a. 철골 특수모멘트골조

- 3-b. 철골 중간모멘트골조
- 3-c. 철골 보통모멘트골조
- 6. 역추형 시스템
 - 6-b. 철골 특수모멘트골조
 - 6-c. 철골 보통모멘트골조

10.2.2 가새골조

(1) 지진력저항시스템으로서 가새골조는 철골 특수중심가새골조, 철골 보통중심가새골조, 철골 편심가새골조, 및 철골 좌굴방지가새골조로 구분된다. 이 가운데 철골 특수중심가새골조, 철골 편심가새골조 및 철골 좌굴방지가새골조는 고연성도 시스템이다. 각 시스템의 지진하중 산정을 위한 설계계수는 표 6.2-1을 따른다.

2. 건물골조시스템

- 2-a. 철골 편심가새골조(링크타단 모멘트저항 접합)
- 2-b. 철골 편심가새골조(링크타단 비모멘트저항 접합)
- 2-c. 철골 특수중심가새골조
- 2-d. 철골 보통중심가새골조
- 2-l. 철골 좌굴방지가새골조(모멘트저항 접합)
- 2-m. 철골 좌굴방지가새골조(비모멘트저항 접합)

4. 특수모멘트골조를 가진 이중골조시스템

- 4-a. 철골 편심가새골조
- 4-b. 철골 특수중심가새골조
- 4-h. 철골 좌굴방지가새골조

5. 중간 모멘트골조를 가진 이중골조시스템

- 5-a. 철골 특수중심가새골조

10.2.3 강판전단벽구조

(1) 고연성 시스템인 철골 특수강판전단벽이 이에 해당되며, 강판의 인장항복 및 좌굴에 의해 안정적으로 지진에너지를 소산한다. 이 시스템의 지진하중 산정을 위한 설계계수는 표 6.2-1에 따른다.

2. 건물골조시스템

- 2-k. 철골 특수강판전단벽

4. 특수모멘트골조를 가진 이중골조시스템

- 4-i. 철골 특수강판전단벽

10.3 재료요구사항

- ① 지진력저항시스템에 속한 강구조는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준 3. 재료의 요구조건을 만족해야 한다.
- ② 강구조의 지진력저항시스템 중 반응수정계수가 상대적으로 큰 특수 및 중간모멘트골조, 특수중심가새골조, 편심가새골조, 좌굴방지가새골조 및 특수강판벽에서는 취성파단 방지 및 안정적 지진에너지 소산을 위해 내진강재를 사용하여야 한다. 내진구조용 강재는 1) 항복비가 0.85 이하이고(작을수록 바람직), 2) 항복강도의 상한과 하한이 규정되어 있으며, 3) 항복후 분명한 항복참을 형성한 후 충분히 변형경화하는 물성, 그리고 4) 양호한 용접성을 지녀야 한다. 내진강종에 대한 구체적 정보는 KDS 14 31 60 강구조 내진 설계기준의 3.1 재료규격을 참조한다.
- ③ 두께 40mm 이상의 플랜지를 지닌 압연형강 그리고 KDS 14 31 60 강구조 내진 설계기준(3.3 후판 단면의 샤프피노치(CVN)인성 요건)에 명시된 조건의 두께 40mm 이상의 후판재는 섭씨영도에서 최소 27J 이상의 샤프피노치인성을 지녀야 한다.

10.4 접합부, 조인트 및 파스너에 대한 요구사항

- (1) 지진력저항시스템을 구성하는 부재의 접합부는 조기취성과괴가 발생하지 않도록 접합부나 부재의 연성한계상태가 지배한계상태가 되도록 설계하여야 한다. 지진력저항시스템의 부재 및 접합부에 사용되는 모든 용접재는 지진 시에 의도한 성능을 나타내기 위해 충분한 CVN인성을 가져야 한다. 소성한지부 등 보호영역으로 규정된 곳에서는 용접 등과 같은 작업에 의해 노치나 결함이 발생치 않도록 한다.

10.5 보와 기둥에 대한 요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도가 요구되는 구조형식은 다음을 따른다.

10.5.1 판재의 폭두께비

- (1) 조기 국부좌굴이 방지될 수 있도록 폭두께비가 작은 콤팩트 또는 내진콤팩트 단면이어야 한다.

10.5.2 전단강도

- (1) 휨재의 소성한지부에서 충분한 휨강도와 비탄성변형이 발휘될 수 있도록 충분한 전단강도를 보유해야 한다.

10.5.3 부재의 연결

- (1) 기둥의 연결부는 기둥에 작용하는 실제 축력과 휨모멘트가 안정적으로 전달되도록 충분한 강도를 보유해야 한다.

10.6 보-기둥 접합부에 대한 요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도 시스템의 경우 다음을 따른다.

10.6.1 접합부 회전능력 및 기둥의 휨강도

- (1) 특수모멘트골조와 중간모멘트골조의 접합부는 각각 최소 0.03 라디안, 0.01 라디안의 소성회전능력을 발휘할 수 있어야 한다. 특수모멘트골조의 기둥은 KDS 14 31 60 강구조 내진 설계기준의 4.1.3 특수 모멘트골조의 규정에 따라 강기둥-약보 조건을 만족해야 한다.

10.6.2 접합부의 전단강도

- (1) 보 또는 기둥의 실제 휨모멘트강도가 발휘될 때 발생하는 전단력에 대하여 안전하도록 접합부가 설계되어야 한다.

10.7 가새골조에 대한 요구사항

- (1) 중연성도와 고연성도 시스템의 경우 다음을 따른다.

10.7.1 가새의 배치

- (1) 한방향의 지진력에 대하여 압축가새와 인장가새의 비율이 비슷하도록 배치한다. 가새는 보-기둥 접합부 또는 보의 중간에서 골조와 연결되도록 배치하며, 기둥의 중간에는 배치하지 않는다.

10.8 강판전단벽에 대한 요구사항

- (1) 강판의 인장항복 및 좌굴에 의해 안정적으로 지진에너지 소산이 가능하도록 강판이 연결되는 경계요소의 강도를 충분히 확보하고 강판과 경계요소를 접합한다.

10.9 시스템별 상세설계

- (1) 이 절의 모든 지진력저항시스템은 아래의 시스템별 연성설계 요구사항을 만족해야 한다.

10.9.1 특수모멘트골조

- (1) 특수모멘트골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.2 중간모멘트골조

- (1) 중간모멘트골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.3 보통모멘트골조

- (1) 보통모멘트골조의 설계는 KDS 41 30 10 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.4 특수중심가새골조

- (1) 특수중심가새골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.5 보통중심가새골조

- (1) 보통중심가새골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.6 편심가새골조

- (1) 편심가새골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.7 좌굴방지가새골조

- (1) 좌굴방지가새골조의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

10.9.8 특수강판전단벽

- (1) 특수강판전단벽의 설계는 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계의 규정을 따른다.

11. 합성구조의 고려사항

11.1 일반사항

- (1) 이 절에서는 강-콘크리트 합성구조에 사용하는 지진력저항시스템을 위한 기본규정을 기술한다. 이 절에서 언급되지 않은 사항은 KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준의 4.18 내진설계 시 특별 고려사항, KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준의 4.13 강구조의 내진설계 및 KDS 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.2 지진력저항시스템의 정의와 설계계수

- (1) 합성구조에 대한 지진력저항시스템의 정의 및 관련 설계계수값은 표 6.2-1 및 KDS 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준을 따른다.

2. 건물골조시스템

- 2-e. 합성 편심가새골조
- 2-f. 합성 특수중심가새골조
- 2-g. 합성 보통중심가새골조
- 2-h. 합성 강판전단벽

- 2-i. 합성 특수전단벽
- 2-j. 합성 보통전단벽
- 3. 모멘트-저항골조 시스템
 - 3-d. 합성 특수모멘트골조
 - 3-e. 합성 중간모멘트골조
 - 3-f. 합성 보통모멘트골조
 - 3-g. 합성 반강접모멘트골조
- 4. 특수모멘트골조를 가진 이중골조시스템
 - 4-c. 합성 편심가새골조
 - 4-d. 합성 특수중심가새골조
 - 4-e. 합성 강관전단벽
 - 4-f. 합성 특수전단벽
 - 4-g. 합성 보통전단벽
- 5. 중간 모멘트골조를 가진 이중골조시스템
 - 5-d. 합성 특수중심가새골조
 - 5-e. 합성 보통중심가새골조
 - 5-f. 합성 보통전단벽

11.3 재료, 접합부, 부재에 대한 요구사항

(1) 합성구조에서 콘크리트 및 강재에 대한 재료, 접합부, 부재에 대한 요구사항은 각각 KDS 41 20 00 건축물 콘크리트구조 설계기준과 KDS 41 30 10 건축물 강구조 설계기준, KDS 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준에 따른다. 구조시스템의 거동이 부재의 연성거동에 의하여 지배되도록 강-콘크리트 연결부, 부재의 접합부에서 조기파괴가 발생하지 않도록 충분한 강도를 가져야 한다.

11.4 콘크리트와 강재의 연결

- (1) 모든 접합부와 부재에서 콘크리트와 강재는 일체화 되어야 하며 이를 위하여 다음과 같은 연결상세를 사용한다.
- ① 콘크리트와 강재사이에 압축력을 전달하는 경우에는 충분한 콘크리트 지압강도가 확보되어야 한다.
 - ② 콘크리트와 강재사이에 전단력 또는 미끄러짐 전단력이 작용하는 경우에는 전단연결재를 설치한다.
 - ③ 철근과 강재사이에 인장력을 전달하는 경우에는 용접 또는 기계적 정착을 사용하여 연결한다.

11.5 보-기둥 접합부

- (1) 매입형 기둥을 사용하는 경우, 접합부는 횡보강철근에 의하여 횡구속하며, 강제보는 기둥내부에 정착되어야 한다. 접합부는 요구전단력에 대하여 충분히 안전하게 설계되어야 한다.
- (2) 충전형 강관기둥을 사용하는 경우, 강제보를 연결하고 접합부를 보강하기 위하여 강관내부 또는 외부에 연결판을 설치하여야 한다. 접합부는 요구전단력에 대하여 충분히 안전하게 설계되어야 한다.

11.6 합성시스템의 설계

- (1) 합성지진력시스템의 반응수정계수, 변위증폭계수, 시스템초과강도 등의 설계계수는 표 6.2-1을 따른다. 상세설계는 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.1 합성특수모멘트골조

- (1) 합성특수모멘트골조의 설계는 설계지진하중에 의해 주로 보에 상당한 크기의 비탄성 변형이 발생하고 기둥 또는 접합부에는 제한된 크기의 비탄성변형이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.2 합성중간모멘트골조

- (1) 합성중간모멘트골조의 설계는 설계지진하중에 의한 비탄성변형이 주로 보에서 발생하고 기둥 또는 접합부에는 부분적인 비탄성변형이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.3 합성보통모멘트골조

- (1) 합성보통모멘트골조의 설계는 설계지진하중에 의해 보와 기둥, 그리고 접합부에 제한된 비탄성변형이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.4 합성특수중심가새골조

- (1) 합성특수중심가새골조의 설계는 설계지진하중에 의해 주로 가새의 좌굴이나 인장항복을 통해 비탄성거동이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.5 합성보통가새골조

- (1) 합성보통중심가새골조의 설계는 설계지진에 의해 보, 기둥, 가새, 그리고 접합부에 제한된 비탄성거동이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.6 합성편심가새골조

- (1) 합성편심가새골조는 설계지진에 의해 오직 링크의 전단 항복에 의해 비탄성변형이 발생하도록 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.7 합성보통전단벽

- (1) 철근콘크리트 보통전단벽이 강제골조와 합성적으로 거동하는 경우에 적용하며 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

11.6.8 합성특수전단벽

- (1) 철근콘크리트 특수전단벽이 강제골조와 합성적으로 거동하는 경우에 적용하며 41 30 20 건축물 강합성구조 설계기준의 4.2 합성구조의 내진설계를 따른다.

12. 목구조의 고려사항

- (1) 목구조의 내진설계에 따르는 고려사항은 KDS 41 50 20 목구조 부재설계의 4.7 수평 하중저항구조의 설계에 따른다.

13. 조적구조의 고려사항

13.1 일반

- (1) 이 절은 조적구조의 내진설계를 위한 시스템분류, 설계요구사항, 상세요구사항, KDS 41 60 00의 조적구조기준과의 연관관계를 정의한다. 세부규정은 KDS 41 60 00을 따른다.

13.2 지진력저항시스템의 정의와 설계계수

- (1) 조적구조에 대한 지진력저항시스템의 정의 및 관련 설계계수값은 표 6.2-1 에 따른다.

1. 내력벽시스템

1-c. 철근보강 조적 전단벽

1-d. 무보강 조적 전단벽

2. 건물골조시스템

2-p. 철근보강 조적 전단벽

2-q. 무보강 조적 전단벽

5. 중간 모멘트골조를 가진 이중골조시스템

5-g. 철근보강 조적 전단벽

13.3 내진성능의 확보

- (1) 조적구조의 내진설계는 KDS 41 60 15 조적식구조 설계 일반의 4.5 내진설계에 따른다. 다만, KDS 42 60 00 소규모건축 조적식구조에 따르는 경우에는 해당 조적구조가

내진성능을 확보한 것으로 간주할 수 있다.

13.4 비구조 조적벽체

13.4.1 최소두께

- (1) 비구조 조적벽체는 최소 90 mm 이상 또는 0.035h를 확보해야 하며 공공장소 또는 비상구는 120 mm 이상 이어야 한다.

13.4.2 지진하중 산정

- (1) 층고에 따른 바닥의 공진효과와 표 18.3-1 건축비구조요소의 설계계수에 따라 면내 지진하중을 산정한다.

13.4.3 면외하중 고려사항

- (1) 외측에 배치된 비구조조적벽체는 풍하중을 포함하여 지진조건에 따라 안전성을 확보하여야 한다.

13.5 채움벽체

- (1) 철근콘크리트모멘트골조 또는 철골모멘트골조의 내부에 밀착하여 채움벽이 배치되는 경우에는 채움벽의 강성 및 강도 기여도를 고려해야 한다. 이때 채움벽체의 대각방향의 압축대의 강도는 골조의 강성을 고려한 유효폭을 산정하여 골조의 강도 및 강성 증가 효과를 고려한다.

14. 지하구조물의 내진설계

14.1 일반사항

- (1) 이 장에서 내진설계 대상으로 정하는 지하구조물은 건축물로 분류된 구조물(단독 지하주차장, 지하역사, 지하도 상가 등)과 건축물의 지상층과 연결되어 있는 지하구조물(공동주택의 지하주차장 등)이다.
- (2) 평지 또는 건축물에 접한 지표면의 최대 높이 차이가 1.5m 이내인 대지에 건설되고, 지표면으로부터 지하구조의 최하층바닥 상면까지의 깊이가 5.0 m 이내인 1개 층의 지하구조를 가지며, 지상구조가 2층 이하이고 연면적 500m² 이하인 규모가 작은 건축물에 대해서는 이 장의 규정을 적용하지 않는다.
- (3) 관련 전문가에 의하여 검증된 실험 및 정밀해석 등의 근거를 제시하는 경우에는 이 기준에서 제시하는 방법 외에 적절한 해석과 설계방법을 사용할 수 있다.

14.2 지하구조물의 중요도

- (1) 지하구조물의 중요도는 용도 및 규모에 따라 KDS 41 10 05 건축구조기준 총칙의 3. 건축물의 중요도 분류를 따른다. 다만, 지하층이 있는 건축물에서 지하층이 지상층에 비하여 넓은 평면을 가지는 경우, 지상층으로부터 전달되는 하중을 부담하는 영역 및 주요한 횡력(토압, 수압 등)을 지지하는 부재는 지상층의 중요도를 따르며, 그외 부분의 중요도는 지하층의 용도에 따라서 중요도계수를 다르게 적용할 수 있다.

14.3 지진력저항시스템

14.3.1 지상구조물의 지진력저항시스템

- (1) 지하구조와 지상구조로 구성된 건축물에서 지상구조물의 지진력저항시스템은 지상구조물의 구조형식에 따라 표 6.2-1을 적용한다. 단, 표 6.2-1의 높이제한규정 적용시 지하구조물의 높이는 산입하지 않는다.

14.3.2 지하구조물의 지진력저항시스템

- (1) 지하구조물은 콘크리트외벽으로 둘러싸여 있어서 큰 횡강성과 작은 연성능력을 가지고 있으므로 지하구조물 자체의 관성력에 의하여 발생하는 지진하중 산정 시 설계계수는 지상구조물의 설계계수와 별도로 표 6.2-1의 10에 따라 반응수정계수($R=3$), 시스템초과강도계수($\Omega_0 = 3$), 변위증폭계수($C_d = 2.5$)를 적용한다.

14.3.3 지하구조물의 연성상세

- (1) 지상구조와 연결되어 지상구조로부터 지진하중이 전달되는 지하구조물의 영역은 지상구조로부터 전달되는 지진하중을 전달할 수 있도록 안전하게 설계되어야 하며, 지상구조와 연결되는 부위는 지상구조와 동일한 연성등급의 상세를 사용하여 설계한다. 다만, 부재의 강도가 초과강도계수를 고려한 특별지진하중보다 큰 경우에는 연성상세를 사용할 필요는 없다.

14.4 지진하중과 하중조합

14.4.1 지진하중

- (1) 지하구조물의 관성력에 의한 지진하중은 지상구조물과 동일한 방법으로 14.2의 중요도계수와 14.3.2의 설계계수를 적용하여 계산한다.
- (2) 지진토압의 계산은 14.5에 따른다. 지진토압과 지진토압계수 산정 시 기본설계지진은 3.지진구역 및 지진구역계수에서 정의하는 2400년 재현주기 유효지반가속도(a)의 2/3 값을 적용한다. 설계지진토압은 구해진 지진토압에 14.2의 중요도계수와 14.3.2의 반응수정계수를 적용하여 산정한다.

14.4.2 하중조합

- (1) 하중조합은 KDS 41 12 00 건축물 설계하중의 1.7 하중조합을 따른다. 단, 정적토압의

하중계수는 H 의 1.6 대신에 1.0을 사용한다. 지진하중 E 는 지상구조물의 관성력에 의한 지진하중, 지하구조물의 관성력에 의한 지진하중, 설계지진토압(토사의 관성력에 의해 지하구조물에 작용하는 하중)을 포함한다.

14.4.3 정적토압과 설계지진토압의 조합

- (1) 하중조합 시 지하구조물의 한쪽 면에 정적토압과 설계지진토압이 함께 작용하고 반대 면에는 토압이 0인 경우를 포함하는 조합에 대하여 고려해야 한다. 다만, 지진시 유발되는 지반의 수평 관성력보다 지반의 자중에 의한 정적토압이 큰 깊이 아래에서는 지진토압작용의 반대면에 정적토압을 고려할 수 있다.

14.5 지진토압의 계산

14.5.1 지진토압산정의 기준면

- (1) 지진토압은 지표면으로부터 기반암(지층의 전단파속도, $V_s = 760\text{m/s}$ 이상)사이 토사의 운동을 고려하여 14.5.2에 따라 계산한다. 기반암은 지하구조물에 지진토압을 유발하지 않는 것으로 가정한다.

14.5.2 지진토압의 계산

- (1) 일반적으로 지하구조물에 대한 지진해석 및 내진설계를 위한 지진토압은 응답변위법, 시간이력해석법을 이용하여 계산할 수 있다.
- (2) 지표면으로부터 기반암까지 토사의 깊이가 15 m 이내이고, 지표면으로부터 지하구조물 기초의 저면까지의 깊이가 토사 깊이의 2/3 이하인 경우 지진토압은 (1)에서 기술된 두 가지 방법 이외에 추가로 등가정적법을 적용하여 구할 수 있다. 등가정적법에 의한 지진토압은 지표면에서 지하구조물 저면까지 깊이가 증가함에 따라 선형으로 증가하는 토압분포를 가지며 식 (14.5-1)~식 (14.5-3)으로 구한다.

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{ae} \quad (14.5-1)$$

$$K_{ae} = 0.75 \times EPGA_{ff} \quad (14.5-2)$$

$$EPGA_{ff} = S \times F_a \times \frac{2}{3} \quad (14.5-3)$$

여기서, P_{ae} : 등가정적법에 의한 지하구조물의 지하외벽에 작용하는 지진토압의 합력

γ : 지하외벽과 접하는 토사지반의 평균 단위중량

H : 지표면에서 지하외벽의 저면까지의 깊이

K_{ae} : 지진토압계수

$EPGA_{ff}$: 해당지반 지표면에서의 최대유효지반가속도

S : 3장에서 정하는 유효지반가속도

F_a : 표 4.2-1의 단주기 지반증폭계수

- (3) 지하구조가 계수정적토압과 수압에 대하여 안전하게 설계되어 있고, 평지 또는 건축

물에 접한 지표면의 최대 높이 차이가 1.5m 이내인 대지에 건설되며, 지표면으로부터 지하구조의 최하층 바닥의 상면까지의 깊이가 5.0m 이내인 경우에는 지진토압의 영향을 설계에 고려할 필요가 없다.

14.6 지하구조를 고려한 지진해석 및 내진설계 방법

- (1) 지진하중과 설계지진토압에 대하여 지상구조와 지하구조가 안전하도록 설계해야 한다.
- (2) 원칙적으로 구조물의 해석모델은 지상구조와 지하구조를 포함하고 기초면 하부가 고정된 해석모델을 사용한다. 부재력을 구하기 위한 해석모델에서 지표면으로부터 기반암 사이 토사에 접하는 지하구조의 측면에 어떠한 수평방향 구속조건도 적용하지 않아야 하나, 기반암에 접하거나 지진시 유발되는 지반의 관성력보다 지반의 자중에 의한 정적토압이 큰 깊이 아래에서는 지하구조의 측면에 수평방향 횡지지력과 구속조건을 적용할 수 있다. 지상구조의 지진하중과 주기를 계산하기 위한 해석모델에서는 지반에 의한 지하구조 측면의 구속효과를 고려해야 한다.
- (3) 지하구조의 강성이 지상구조의 강성보다 매우 큰 경우, 지상구조와 지하구조를 분리하여 해석할 수 있다. 이때, 지상구조의 해석모델은 지표면에서 고정조건을 사용할 수 있다. 지하구조의 해석모델은 기초하부가 고정된 해석모델을 사용하며, 지상구조로부터 전달된 하중, 지하구조의 지진하중, 지진토압, 정적토압을 고려해야 한다.
- (4) 말뚝기초를 포함한 모든 기초는 기초판저면의 밀면전단력이 지반에 안전하게 전달되도록 설계되어야 하며, 기초저면과 지반이 밀착되도록 시공되어야 한다.
- (5) 지하구조물과 지반을 함께 모델링할 경우 지하구조물 측면의 토사와 기반암 상부에서 기초하부까지의 토사를 해석모델에 포함해야 한다.
- (6) 지하구조에 대한 근사적인 설계방법으로, 설계지진토압을 포함하는 모든 횡하중을 횡하중에 평행한 외벽이 지지하도록 설계할 수 있다.
- (7) 지하외벽은 직각방향으로 재하되는 설계지진토압에 대해서 안전하도록 설계해야 한다. 다만, 해당영역의 손상이 중력하중과 횡하중에 대한 구조물 전체의 안전성과 인명피해에 영향을 주지 않는다면, 해당 벽체영역의 국부적인 파괴를 허용할 수 있다.

15. 성능기반설계

15.1 적용범위

- (1) 성능기반설계법은 비선형해석법을 사용하여 구조물의 초과강도와 비탄성변형능력을 보다 정밀하게 구조모델링에 고려하여 구조물이 주어진 목표성능수준을 정확하게 달성하도록 설계하는 기법으로, 표 6.2-1에 규정된 시스템 계수를 적용하기 어려운 구조물과, 다양한 성능수준을 만족하고자 하는 구조물의 내진설계에 적용할 수 있다. 면진 및 감쇠장치를 사용하는 경우에는 16장과 17장을 따른다. 다만, 면진 및 감쇠장치를 사용하는 경우에도 15.7의 요구사항은 준수하여야 한다.

15.2 설계응답스펙트럼

(1) 설계에 사용되는 탄성설계응답스펙트럼은 4.2에 따라서 정의되어야 한다. 동적해석을 위한 설계지진파의 결정은 7.3.4.1을 따른다. 비선형정적해석을 사용하는 경우에는 구조물의 비탄성변형능력 (또는 연성도) 또는 에너지소산능력에 따라서 탄성응답스펙트럼가속도를 저감시켜서 비탄성응답스펙트럼을 정의할 수 있다.

15.3 성능목표 및 설계지진력의 정의

15.3.1 성능목표

(1) 건축물 및 건물의구조물을 성능기반설계법으로 설계하고자 할 때 표 15.3-1에 제시된 최소성능목표 중 2가지 이상을 만족해야 한다. 표 15.3-1의 성능수준은 전체 건축물의 성능수준으로 이를 만족하기 위해서는 표 2.4-1에 제시된 구조물과 비구조요소에 해당하는 성능수준을 모두 만족하여야 한다.

표 15.3-1 내진등급과 성능목표

| 내진등급 | 성능목표 | |
|------|-------|--------------------|
| | 재현주기 | 성능수준 |
| 특 | 2400년 | 인명보호 |
| | 1000년 | 기능수행 |
| I | 2400년 | 붕괴방지 ¹⁾ |
| | 1400년 | 인명보호 |
| | 100년 | 기능수행 |
| II | 2400년 | 붕괴방지 |
| | 1000년 | 인명보호 |
| | 50년 | 기능수행 |

1) 내진1등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 허용변형기준값을 1.2로 나눈 값을 혹은 인명보호과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준을 적용

15.3.2 재현주기별 설계지진의 정의

(1) 표 15.3-1에서 2400년 재현주기지진은 최대고려지진, 1000년 재현주기지진은 2.3의 기본설계지진으로 정의한다. 또한, 1400년 재현주기지진은 기본설계지진의 1.2배에 해당하는 지진을 의미한다. 50년과 100년 재현주기지진은 기본설계지진에 각각 0.30과 0.43을 곱하여 구한다.

(2) 각 재현주기에 해당하는 지진의 설계응답스펙트럼은 기본설계지진의 설계응답스펙트럼에서 S_a 값에 재현주기에 따른 위험도계수를 반영하여 구한다.

15.4 구조물과 부재의 허용변위

- (1) 표 15.3-1의 성능목표를 만족할 수 있도록, 구조시스템의 변형특성과 연성상세를 고려하여 구조물의 층간변위와 각 부재의 변형은 허용값 이내로 제어되어야 한다. 단, 기능수행검토시에는 부재별 강도와 변형 능력에 대한 검토는 생략할 수 있다.
- (2) 내진특등급의 기능수행검토시 구조물의 허용층간변위는 1.0%로 한다. 또한 내진 1등급과 내진 2등급의 기능수행검토시 허용층간변위는 0.5%로 한다.
- (3) 최대고려지진에서의 붕괴방지를 위한 층간변위는 내진2등급을 기준으로 3%를 초과할 수 없다. 다른 내진등급에 대해서는 중요도계수로 나눈 값을 적용한다.

15.5 해석 및 설계요구사항

- (1) 비선형정적해석과 비선형동적해석법 중 적절한 방법을 사용하여 구조물에 대한 해석을 수행하고 선형해석결과와의 검증을 통해 해석결과의 신뢰성을 확인하여야 한다.
 - ① 정형인 저층건물에서는 비선형정적해석을 사용할 수 있다.
 - ② 비정형 건물 혹은 고층건물에서는 비선형동적해석을 사용해야한다. 비선형동적해석법을 적용할 경우 시간이력해석과 설계지진파의 선정은 7.3.4를 따른다.
 - ③ 성능기반설계법에서는 목표성능수준에 따른 층별 최대 층간변위비, 15.6의 밀면전단력 최소강도규정, 각 부재별 소성회전각의 성능수준별 허용값, 각 부재별 강도에 대한 성능수준별 허용값을 만족해야 하며, 다축가진효과를 고려해야 한다.
 - ④ 비선형정적해석 혹은 비선형동적해석결과로 구한 구조물 주기, 최대밀면전단력, 주요 횡력저항요소의 횡하중 분담비율 및 파괴모드, 최대층간변위의 수직분포형상, 최상층 최대변위 등은 등가정적 및 응답스펙트럼해석법 등 선형해석법으로 구한 결과와 비교하여 차이점과 유사점에 대한 분석을 통해 설계의 신뢰성을 제시해야 한다.
 - ⑤ 기능수행검토시 구조물과 비구조요소는 18장과 20장의 해당규정을 만족하여야 한다.

15.6 최소강도규정

- (1) 구조체의 설계에 사용되는 밀면전단력의 크기는 등가정적해석법에 의한 밀면전단력의 75% 이상이어야 한다.

15.7 성능기반설계 결과의 검증

- (1) 성능기반설계법을 사용하여 설계할 때는 그 절차와 근거를 명확히 제시해야 하며, 전반적인 설계과정 및 결과는 설계자를 제외한 성능기반 내진설계를 검증할 수 있는 2인 이상의 제3자검토자에게서 타당성을 검증받아야 한다. 제3자검토자는 해당분야 실무 실적을 보유한 국가기술자격법에 의한 건축구조기술사와 관련분야의 연구실적이 있는 박사 학위 취득자로 한다.

16. 면진구조

16.1 일반사항

- (1) 모든 면진구조물과 그 구성요소는 이 조항에 따라 설계하고 시공하여야 한다. 면진구조물의 해석은 그 구조물의 생애주기에 걸쳐 발생될 면진장치의 재료특성 변화를 고려해야 한다.
- (2) 16장에서 규정하는 면진구조의 설계는 15장에서 규정하는 성능기반설계의 일부로 본다.
- (3) 16장에서 별도로 규정하지 않은 사항에 대해서는 15장의 성능기반설계에 따른다.

16.2 설계 요구사항

16.2.1 기본 요구사항

- (1) 면진구조물은 중요도계수를 1.0으로 한다.
- (2) 면진구조물의 설계지진과 최대고려지진 가속도스펙트럼은 각각의 단주기와 1초주기의 스펙트럼가속도를 사용하여 4.2에 따라 작성한다. 최대고려지진의 단주기와 1초주기 스펙트럼가속도 S_{MS} 와 S_{M1} 는 다음 식에 따라 결정한다.

$$S_{MS} = (3/2) S_{DS} \quad (16.2-1)$$

$$S_{M1} = (3/2) S_{D1} \quad (16.2-2)$$

여기서, S_{DS}, S_{D1} : 단주기와 1초주기의 설계스펙트럼가속도 (4.2에 따른다)

16.2.2 면진시스템 요구사항

- (1) 면진시스템은 생애주기 동안의 성능저하, 크리프, 피로, 온도, 습기 등의 환경조건에 대한 요구조건을 만족하여야 한다.
- (2) 면진층에서 풍하중에 의한 횡변위는 면진 상부구조의 “8.2.3 변형과 횡변위 제한”에 따른 허용층간변위 이하로 구속하여야 한다.
- (3) 면진시스템은 건축법의 용도구분에 따른 내화구조 요구사항을 만족하여야 한다.
- (4) 면진시스템은 총 설계변위에서의 수평력이 총 설계변위의 50%에서의 수평력보다 최소 $0.025 W_{D+0.5L}$ 이상의 복원력 특성을 가져야 한다.
- (5) 면진구조물이 아래의 조건을 모두 만족하도록 설계된 경우가 아니라면, 면진시스템의 지진하중에 의한 횡변위는 최대고려지진 시의 변위 이하로 제한되어서는 안 된다.
 - ① 최대고려지진 시의 응답이 면진시스템과 면진 상부구조의 비선형특성을 명확히 고려한 동적해석에 따라 산정된다.
 - ② 면진시스템과 면진 하부구조의 극한성능이 최대고려지진 시의 강도와 변위 요구조건을 초과한다.
 - ③ 면진 상부구조가 최대고려지진 시의 안정성과 연성 요구사항에 대해 충분히 검토된다.
 - ④ 면진시스템의 지진하중에 대한 횡변위 제한 기능이 총 설계변위의 0.75배 이하에서는 작동하지 않는다.
- (6) 면진시스템의 각 요소는 총 최대변위와 설계수직하중에 대하여 안정하도록 설계하여야 한다. 이를 위하여 설계 수직하중과 관련된 하중조합에서 지진하중효과를 1.5배로

하여 검토한다.

- (7) 면진층에서 전체 구조물의 전도에 대한 안전계수는 요구하중조합에 대해 1.0 이상이 어야 한다. 전도계산에 사용되는 지진력은 최대고려지진에 근거해야 하고, 수직방향 복원력의 산정에는 $W_{D+0.5L}$ 를 사용하여야 한다. 개별 요소의 국부적인 들림은 발생하지 않아야 한다. 단, 국부적인 들림이 면진장치나 다른 구조요소에 과응력이나 불안정을 일으키지 않을 경우에는 예외로 한다.
- (8) 면진 상부구조의 변형이 작은 경우, 면진구조물의 감쇠는 면진시스템에 의한 에너지 소산 능력만을 고려해서 산정해야 한다. 면진시스템의 이력거동이 비선형해석 모델에서 고려되고, 변형이 면진층에 집중되어 상부구조의 변형이 작은 경우 구조물의 감쇠비는 0%를 사용해야 한다. 단, 상부구조에 감쇠장치가 설치되는 등 비고전적 감쇠 모델을 적용하는 경우에 상부구조의 감쇠를 포함할 수 있다.

16.2.3 구조시스템 요구사항

- (1) 수평격막이나 다른 구조요소들이 면진층 상부에 연속성을 부여하고, 지반운동에 의한 힘을 구조물의 한 부분으로부터 다른 부분으로 전달할 수 있는 적절한 강도와 연성을 지녀야 한다.
- (2) 주변 옹벽 또는 다른 고정 장애물과 면진구조물 사이의 최소 이격거리는 총 최대변위 이상이어야 한다.
- (3) 건물외구조물은 16.3에 따라 산정된 설계변위와 힘을 사용하여 19장의 요구조건을 만족하여야 한다.

16.2.4 구조·비구조 요소 요구사항

- (1) 면진구조물의 구조요소와 가스, 전기, 엘리베이터와 같은 안전관련 비구조요소는 18장과 다음 사항을 만족하도록 설계하여야 한다.
 - ① 면진층과 면진 상부구조의 구조·비구조 요소는 최대동적응답에 상응하는 전체 수평지진력을 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.
 - ② 면진층을 관통하는 면진구조물의 구조·비구조 요소는 총 최대변위에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.
 - ③ 면진층 하부에 있는 면진구조물의 구조·비구조 요소는 5장, 6장, 7장, 8장, 18장의 요건에 따라 설계하고 시공하여야 한다.

16.3 해석절차

16.3.1 일반사항

- (1) 면진구조물은 이 조항의 요구사항에 따라 직접적분법에 의한 3차원 시간이력해석을 수행하여야 한다.

16.3.2 모델링

- (1) 면진시스템은 하중-변위 관계의 비선형성을 고려하여 시험에 의해 검증된 변형특성에 따라 모델링하여야 한다.

16.3.3 지반운동

- (1) 시간이력해석을 위한 설계지진파는 7.3.4.1에 따른다. 다만, 지진파의 크기를 조정하기 위한 주기의 범위는 $0.5 T_D$ 부터 $1.25 T_M$ 으로 한다.

16.3.4 설계값의 산정

- (1) 각 층의 지진파에 대한 최대응답의 평균을 사용하여 설계한다. 시간이력해석을 통하여 얻은 밀면전단력 V_d 가 16.3.7(1)에서 제시하고 있는 최소지진력보다 작은 경우에는 해석을 통하여 얻은 부재력에 다음의 보정계수를 곱하여 사용한다.

$$C_m = \frac{V_b}{V_d} \geq 1.0 \quad (16.3-1)$$

여기서, V_b : 식 (16.3-6)로 구한 면진시스템 또는 면진 하부구조물의 최소지진력, kN

V_d : 시간이력해석을 통하여 얻은 밀면 전단력, kN

16.3.5 횡변위 제한

- (1) 면진구조물의 횡변위는 표 8.2-1의 횡변위 제한을 만족하여야 한다.

16.3.6 최소 횡변위

- (1) 면진시스템의 설계변위 D_D 와 최대변위 D_M 는 각각 다음 식에 의한 값보다 작아서는 안 된다.

$$D_D = 0.9 \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (16.3-2)$$

$$D_M = 0.8 \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (16.3-3)$$

여기서, S_{D1} : 1초주기 설계스펙트럼가속도(4.2에 따른다.)

S_{M1} : 최대고려지진의 1초주기 스펙트럼가속도

B_D, B_M : 유효감쇠(β_D, β_M)에 대한 감쇠계수 (표 16.3-1에 따른다.)

T_D : 설계변위에서 면진구조물의 유효주기

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Dmin} g}}$$

T_M : 최대변위에서 면진구조물의 유효주기

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} g}}$$

표 16.3-1 유효감쇠에 따른 감쇠계수, B_D 또는 B_M

| 유효 감쇠, β_D 또는 β_M (임계퍼센트) a, b | B_D 또는 B_M |
|--|----------------|
| ≤ 2 | 0.8 |
| 5 | 1.0 |
| 10 | 1.2 |
| 20 | 1.5 |
| 30 | 1.7 |
| 40 | 1.9 |
| ≥ 50 | 2.0 |

a 감쇠계수는 16.5.3(2)에 따라 결정된 면진시스템의 유효감쇠에 근거해야 한다.

b 주어진 유효감쇠 이외의 유효감쇠에 해당하는 감쇠계수는 선형보간으로 구한다.

(2) 면진시스템 요소들의 총 설계변위 D_{TD} 와 총 최대변위 D_{TM} 는 다음 식보다 작아서는 안 된다.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \tag{16.3-4}$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \tag{16.3-5}$$

여기서, D_D : 설계변위, m

D_M : 최대변위, m

b : 구조물의 가장 짧은 평면치수. d 에 대하여 직 각으로 측정된 값, m

d : 구조물의 가장 긴 평면치수, m

y : 지진방향과 직각인 대상요소와 면진시스템의 강성중심과의 거리, m

e : 면진 상부구조의 질량 중심과 면진시스템의 강성중심 사이의 실제 편심거리와 힘의 방향에 직각인 건물 치수 중 최댓값의 5%로 정의되는 우발편심거리를 합한 값, m

16.3.7 최소 지진력

(1) 면진시스템과 면진 하부구조의 밀면 전단력 V_b 는 다음 식으로 구한 값보다 작아서는 안 된다.

$$V_b = 0.9k_{Dmax} D_D \tag{16.3-6}$$

여기서, k_{Dmax} : 식 (16.5-3)로 구한 설계변위에서의 면진시스템 최대유효강성, kN/m

(2) 면진 상부구조의 최소전단력 V_s 은 다음 식으로 구한 값보다 작아서는 안 된다.

$$V_s = 0.6 \frac{k_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (16.3-7)$$

여기서, R_I 는 표 6.2-1의 반응수정계수에 3/8을 곱한 값으로 2 이하이다. 다만, 면진 상부 구조가 5.3에 정의된 비정형구조물인 경우에는 식 (16.3-7)에 1.33을 곱하여야 한다.

(3) V_s 는 계수풍하중에 상응하는 밀면전단력보다 커야 하며, 다음 값 중 최댓값의 60%보다 작아서는 안 된다. 단, 면진 상부구조가 5.3에 정의된 비정형구조물인 경우에는 다음 값의 80%보다 작아서는 안 된다.

- ① 동일 내진 중량 $W_{D+0.5L}$ 와 면진주기 T_D 를 갖는 밀면이 고정된 구조물에 대하여 7.2의 등가정적해석법에 의한 밀면전단력
- ② 면진시스템의 탄성한계에 상응하는 수평지진력의 1.5배

16.4 설계검토

(1) 면진구조물의 해석, 설계와 장치시험결과에 대한 설계검토는 지진해석법과 면진시스템의 이론과 실무에 경험이 있는 등록된 전문가로 구성된 독립된 집단에 의해 수행하여야 한다. 설계검토는 다음 사항을 포함하여야 한다.

- ① 총 설계변위, 총 최대변위와 최소전단력의 결정을 포함한 기본설계의 검토
- ② 장치원형시험의 참관 및 검토
- ③ 전체 구조시스템의 최종설계와 해석결과의 검토
- ④ 면진장치 제품시험의 참관 및 검토

16.5 면진장치 시험

16.5.1 일반사항

(1) 면진구조물의 설계와 해석에 사용된 장치는 이 조항에서 규정된 바에 따라 시공 전에 시험을 통하여 성능을 확인하여야 한다.

16.5.2 장치원형 시험

(1) 장치원형 시험은 면진시스템 내에서 면진장치의 종류별로 형상과 크기를 대표하는 2개 이상의 실물 시험체에 대하여 수행한다.

① 시험순서와 방법

면진장치의 압축-전단특성 결정을 위한 시험의 하중가력 순서와 방법은 다음의 사항에 따르며, 수직하중은 활하중의 50%와 고정하중의 조합(0.5L+D)으로 한다.

- 가. 설계 풍하중 값으로 20회 반복가력
- 나. 다음의 변위증분에 대하여 각각 3회 반복가력 : $0.25D_D$, $0.5D_D$, $1.0D_D$, $1.0D_M$,
- 다. 총 최대변위에 대하여 3회 반복가력 $1.0D_{TM}$

② 시험의 생략

다음의 두 조건을 모두 만족하는 경우에는 면진장치의 장치원형 시험을 수행할 필요가 없다.

- 가. 내진설계책임구조기술자가 유사한 장치와 관련 시험에 관한 모든 데이터를 열람할 수 있는 상태에서 시험의 생략을 허가
- 나. 내진설계책임구조기술자가 해당 면진장치와 사전에 시험이 수행된 장치 사이의 유사성을 인정

③ 하중-변위특성의 결정

개개 면진장치의 유효강성 k_{eff} 와 유효감쇠 β_{eff} 는 장치원형 시험 결과에 기초하여 다음의 각 가력 사이클에 대하여 산정한다.

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \tag{16.5-1}$$

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{loop}}{k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \tag{16.5-2}$$

여기서, F^+ : Δ^+ 에서 정방향 하중, kM

F^- : Δ^- 에서 부방향 하중, kN

E_{loop} : 사이클당 소산되는 에너지, kNm

④ 면진장치 종속성 시험

- 가. 속도의존성 : 면진장치의 하중-변형특성이 하중속도에 의존성이 있는 경우에는 16.5.2(1)①에서 규정된 각각의 시험은 유효진동수($1/T_D$)에서 동적으로 수행하여야 한다.
- 나. 압축하중 종속성 : 수직하중을 지지하는 면진장치는 총 최대변위에서 최소·최대 수직하중에 대하여 정적으로 시험하여야 한다. 지진하중 E 산정은 S_{DS} 를 S_{MS} 로 대체하여 산정하며, 지진에 의해 발생하는 수직하중 Q_E 는 최대고려지진에 의한 최대응답으로 한다.

⑤ 면진장치의 적합성 판정

다음의 조건을 만족하는 경우에 장치원형 시험의 성능은 적절한 것으로 판정한다.

- 가. 모든 시험시의 하중-변형 관계에서 변형 증가에 따른 하중저하가 없다.
- 나. 16.5.2(1)①나.에서 규정한 모든 변위 증분과 수직하중에 대응하는 시험에 대하여 다음을 만족한다.
- (㉠) 각 시험체에 있어서 3회 반복 시험시의 각 유효강성 값과 3회 평균 유효강성 값의 차이가 15% 이하

- (나) 각 시험 사이클에서 면진장치 시험체 2개의 유효강성과 평균 유효강성의 평균값 차이가 15% 이하
- 다. 각 시험체에 있어서 16.5.2(1)①다.에 규정된 반복가력시험에서 사이클별 강성변화가 초기 값의 20% 이내
- 라. 각 시험체에 있어서 16.5.2(1)①다.에 규정된 반복가력시험에서 사이클별 유효감쇠 저하가 초기 값의 20% 이내
- 마. 면진시스템의 수직하중저항요소에 대한 모든 시험체는 16.5.2(1)④나.의 시험에서 안정적인 거동을 보여야 한다.

16.5.3 면진시스템의 설계 특성값

(1) 최대·최소 유효강성

설계변위에서 면진시스템의 최대유효강성 k_{Dmax} 와 최소유효강성 k_{Dmin} 은 16.5.2(1)①나.의 $1.0D_D$ 변위에 대한 반복시험결과에 기초하여 다음 식에 따라 산정한다.

$$k_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2 D_D} \tag{16.5-3}$$

$$k_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2 D_D} \tag{16.5-4}$$

여기서, $|F_D^+|_{max}$: 정방향 설계변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN

$|F_D^+|_{min}$: 정방향 설계변위에서 면진장치 최소하중 절대값, kN

$|F_D^-|_{max}$: 부방향 설계변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN

$|F_D^-|_{min}$: 부방향 설계변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN

최대변위에서 면진시스템의 최대유효강성 k_{Mmax} 와 최소유효강성 k_{Mmin} 은 16.5.2(1)①나.의 $1.0D_M$ 변위에 대한 반복시험결과에 기초하여 다음 식에 따라 산정한다.

$$k_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2 D_M} \tag{16.5-5}$$

$$k_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2 D_M} \tag{16.5-6}$$

여기서, $|F_M^+|_{max}$: 정방향 최대변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN

$|F_M^+|_{min}$: 정방향 최대변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN

$|F_M^-|_{max}$: 부방향 최대변위에서 면진장치의 최대하중 절대값, kN

$|F_M^-|_{\min}$: 부방향 최대변위에서 면진장치의 최소하중 절대값, kN

(2) 유효감쇠

설계변위와 최대변위에서 면진시스템의 유효감쇠 β_D, β_M 는 16.5.2(1)①나.의 $1.0D_D$ 와 $1.0D_M$ 변위에 대한 반복시험결과에 기초하여 다음 식에 따라 각각 산정한다.

$$\beta_D = \frac{\sum E_D}{2\pi k_{Dmax} D_D^2} \tag{16.5-7}$$

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_{Mmax} D_M^2} \tag{16.5-8}$$

여기서, $\sum E_D$: 설계변위에서 사이클당 전체 소산에너지

$\sum E_M$: 최대변위에서 사이클당 전체 소산에너지

16.5.4 제품시험

(1) 설치에 앞서 면진장치의 하중-속도-변위특성이 내진설계책임구조기술자가 정한 설계조건을 만족하는지 검증하기 위한 제품시험을 수행한다. 각각의 제품시험 결과는 16.5.2의 장치원형 시험내용을 포함하여 시험성적서로 제출하여야 한다.

① 시험순서와 방법

제품시험은 설계변위에 대하여 각각 3회 반복가력하며, 수직하중은 활하중에 의한 효과의 1/2과 고정하중의 합으로 한다.

② 면진장치의 적합성 판정

다음의 조건을 만족하는 경우에 제품시험에 따른 성능은 적절한 것으로 판정하며, 제품시험을 만족하지 못하는 면진장치는 현장에 설치되어서는 안 된다.

가. 개개 면진장치에 있어서 설계변위에 대한 3회 반복시험시의 각 유효강성값과 3회 평균 유효강성값의 차이가 15% 이하

나. 설계변위에 대한 면진시스템의 평균 유효강성값과 설계값의 차이가 10% 이하

③ 제품시험결과의 설계반영

제품시험에 대한 적합성이 확인된 제품에 대하여 각 유효강성의 편차를 고려한 강성중심이 질량중심과 일치하도록 재배치한다.

17. 감쇠시스템을 적용한 구조물

17.1 일반사항

(1) 지진하중 저감을 목적으로 감쇠시스템이 적용된 모든 구조물(이하 '감쇠시스템 적용 구조물')과 감쇠시스템의 모든 구성요소는 이 조항의 요구사항에 따라 설계 및 시공하여야 한다.

- (2) 17장에서 규정하는 감쇠시스템 적용 구조물의 설계는 15장에서 규정하는 성능기반 설계의 일부로 본다.
- (3) 17장에서 별도로 규정하지 않은 사항에 대해서는 15장의 성능기반설계에 따른다.
- (4) 감쇠장치가 면진구조물의 면진경계면에 설치되는 경우에 변위, 속도, 가속도는 16장에 따라 산정하여야 한다.

17.2 설계 요구사항

17.2.1 내진설계범주 'A'에 대한 설계

감쇠시스템 적용 구조물은 내진설계범주 'A'에 속하더라도 내진설계범주 'B'에 해당되는 해석방법과 설계요구사항을 반영하여 설계하여야 한다.

17.2.2 시스템 요구사항

- (1) 감쇠시스템 적용 구조물은 지진력저항시스템 단독으로 다음 ①항에 정의된 하중을 지지할 수 있는 내력을 보유해야 한다.

① 지진력저항시스템

감쇠시스템 적용 구조물은 각각의 횡방향으로 표 6.2-1에 제시된 지진력저항시스템 중 하나를 보유해야 한다. 각 방향의 지진력저항시스템의 설계는 17.4의 요구사항과 다음을 만족하여야 한다.

- 가. 지진력저항시스템의 설계에 사용된 지진하중에 의한 밀면전단력은 V_{min} 보다 작아서는 안되며, V_{min} 은 식 (17.2-1)과 식 (17.2-2)에 따라 산정한다.

$$V_{min} = \eta V \tag{17.2-1}$$

$$\eta \geq 0.75 \tag{17.2-2}$$

여기서, V : 7.2.1에 따라 결정되는 해당 방향의 설계지진하중에 의한 밀면 전단력, kN
 η : 감쇠장치의 감쇠성능에 따라 구조물에 작용하는 하중이 저감되는 정도를 고려한 예상감쇠보정계수로서, 17.4.3의 절차에 따라 확인하여야 한다.

- 나. 지진력저항시스템의 구조요소 중에서 감쇠시스템에 속하거나 감쇠장치에 따라 발생하는 힘에 저항하도록 요구되는 구조요소의 최소강도는 17.2.2(1)②의 추가적인 요구조건을 만족하여야 한다.

② 감쇠시스템

- 가. 감쇠장치에서 에너지소산을 발생시키지 않는 부분 및 감쇠장치를 다른 구조요소에 연결하기 위해 사용되는 요소들은 접합부를 포함하여 성능목표를 규정하는 지진에 대하여 탄성상태를 유지하도록 설계하여야 한다. 그 밖의 구조요소들은 감쇠시스템의 기능에 부정적인 영향을 미치지 않음을 구조해석 또는 실험을 통해 입증한다면 비탄성

변형을 허용할 수 있다.

- 나. 에너지소산을 발생시키는 부분을 포함하여 감쇠장치와 그 접합부는 최대고려지진에 따라 발생하는 힘, 변위, 속도에 대하여 파단 또는 심각한 강도저하 없이 저항할 수 있어야 한다.
- 다. 가.와 나.에서 감쇠장치에 유발되는 힘은 강도저감계수를 곱하거나 반응수정계수로 나누지 않아야 한다.
- 라. 감쇠시스템 구성요소의 힘지배작용은 성능목표를 규정하는 지진에 대하여 17.3.4에서 규정한 평균응답의 1.2배를 적용하여 설계한다.

17.2.3 감쇠시스템 요구사항

(1) 장치 설계

감쇠장치는 최대고려지진에 대한 응답과 다음의 조건들을 고려하여 설계, 시공, 설치하여야 한다.

- ① 지진하중에 의한 저진동·대변위 거동 시의 성능저하
- ② 풍하중·온도하중에 의한 고진동·소변위 거동 시의 성능저하
- ③ 중력하중에 의한 하중 또는 변위
- ④ 부식, 마모, 생물분해, 화학물 등에 의한 장치 일부분의 고착
- ⑤ 온·습도, 수분, 자외선 등과 그 밖의 환경조건에의 노출

(2) 다축 이동

감쇠장치의 접합부는 감쇠시스템에 동시에 발생하는 종방향, 횡방향, 수직방향 변위를 흡수할 수 있는 충분한 마디구조를 갖추어야 한다.

(3) 검사와 주기적 시험

모든 감쇠장치는 검사와 교체를 위한 접근방법을 확보해야 한다. 설계수명 동안 감쇠장치의 신뢰성을 보증하기 위하여 내진설계책임구조기술자는 모든 유형의 감쇠장치에 대한 적절한 검사와 시험계획을 수립하여야 한다. 검사와 시험방법의 수준은 감쇠장치의 사용기간과 설계수명 동안의 특성변화 가능성을 반영하여야 한다.

(4) 품질관리

KDS 41 10 10의 품질보증계획의 일환으로 내진설계책임구조기술자는 감쇠장치의 제작에 대한 품질관리계획을 수립하여야 한다. 품질관리계획은 최소한 17.6.2와 17.6.3의 시험요구조건을 포함하여야 한다.

(5) 설계특성치

감쇠장치의 공칭설계특성치를 17.6.2(3)에 따라 결정한다. 설계특성치의 변동성을 고려하기 위해 다음과 같이 상한계설계특성치 및 하한계설계특성치를 산정한다.

$$\text{상한계설계특성치} = \text{공칭설계특성치} \times \lambda_{\max} \quad (17.2-3)$$

$$\text{하한계설계특성치} = \text{공칭설계특성치} \times \lambda_{\min} \quad (17.2-4)$$

여기서,

λ_{\max} = 장치원형시험 결과에 품질관리 및 유지관리상의 추가적인 변동성을 고려한

특성치 증가 시 변동계수로서 1.2 이상의 값

λ_{\min} = 장치원형시험 결과에 품질관리 및 유지관리상의 추가적인 변동성을 고려한 특성치 감소 시 변동계수로서 0.85 이하의 값

(6) 설계특성치의 적용

상한계설계특성치와 하한계설계특성치를 적용하여 상한계해석 및 하한계해석을 수행한다. 상한계해석은 속도계수, 강성, 강도, 에너지소산 등의 최대치가 함께 고려된 해석이다. 하한계해석은 속도계수, 강성, 강도, 에너지소산 등의 최소치가 함께 고려된 해석이다.

17.3 해석절차

17.3.1 일반사항

- (1) 감쇠시스템 적용 구조물은 17.3.2에 따라 수학적 모델을 작성하여 7.3.4.3에 따라 3차원 비선형 시간이력해석을 수행하여야 한다.
- (2) 감쇠장치로 인해 구조물이 비고전적 감쇠의 특성을 갖게 되는 경우 시간이력해석법은 이를 반영할 수 있어야 한다.
- (3) 연직하중의 효과가 시간이력해석에 반영되어야 한다.

17.3.2 모델링

- (1) 구조물의 수학적 모델은 7.3.2의 규정을 따르는 3차원 모델로서 구조물과 감쇠장치의 비선형이력거동을 직접적으로 고려하되 구조요소의 강도는 강도저감계수를 곱하지 않은 값을 적용해야 한다.

① 지진력저항시스템

구조물의 거동 특성을 고려하여 원감쇠비를 적용한다. 실험을 통해 지진력저항시스템이 유효항복변위나 이보다 약간 작은 변위에서 더 큰 감쇠비를 가진다는 것을 입증하지 못하는 경우에 감쇠시스템이 적용된 구조물의 지진력저항시스템에 적용하는 원감쇠비는 임계감쇠의 3%보다 큰 값을 취할 수 없다.

② 감쇠시스템

감쇠장치의 강성과 감쇠특성은 17.6에 규정된 시험에 따라 검증하거나 이를 근거로 결정하여야 하며, 비선형하중-변위특성은 지진하중의 진동수, 진폭, 지속시간 등에 대한 의존성을 명확하게 반영할 수 있도록 모델링하여야 한다. 변위의존형 감쇠장치의 수학적 모델은 강도, 강성, 이력곡선형상의 중요한 변화가 시험자료에 부합하는 이력거동을 모사할 수 있어야 한다. 속도의존형 감쇠장치의 수학적 모델은 시험자료에 부합하는 속도계수를 포함하여야 하며, 속도계수가 시간과 온도에 종속성이 있는 경우에는 그 영향을 명확히 반영하여야 한다. 감쇠장치를 구조물에 연결하는 구조요소는 반드시 구조해석 모델에 포함하여야 하며, 감쇠장치를 제외한 모든 구조요소는 탄성으로 모델링한다.

예외사항 : 시간이력해석 동안 감쇠장치의 특성변화가 예상되는 경우에 장치특성의 상한치와 하한치에 따라 동적응답의 변동범위를 결정할 수 있다. 17.2.3(5)의 상한계설계특성치 및 하한계설계특성치에 이를 반영할 수 있다.

17.3.3 지반운동

- (1) 시간이력해석은 지반조건에 상응하는 지반운동기록을 7쌍 이상 이용하여 수행한다. 지반운동기록은 7.3.4.1의 절차에 따라 선정 및 조정한다. 단, 응답스펙트럼 조정 대상 주기 범위는 다음과 같이 산정한다.
 - ① 주기 범위의 하한치를 결정하기 위한 구조해석 모델에서 감쇠장치의 강성은 초기강성을 적용한다.
 - ② 주기 범위의 상한치를 결정하기 위한 구조해석 모델에서 감쇠장치의 강성은 최대고려 지진에 대한 최대변위에서 결정되는 유효강성을 적용한다.

17.3.4 설계값 산정

- (1) 시간이력해석에 사용된 각각의 지반운동에 대한 응답변수로서 최대층간변위, 감쇠시스템 구조요소의 최대하중, 개별 감쇠장치의 최대하중, 최대변위와 최대속도(속도의존형 감쇠장치의 경우)를 결정하여야 한다. 7개 이상의 지반운동에 대한 평균응답을 사용하여 설계한다.

17.4 감쇠시스템 적용 구조물의 허용기준

- (1) 17.3의 시간이력해석법을 적용함에 있어서 지진력저항시스템과 감쇠시스템에 대한 하중조건과 설계값의 허용기준은 이 조항에 따라야 한다.

17.4.1 지진력저항시스템

- (1) 지진력저항시스템은 감쇠시스템 없이 단독으로 17.2.2(1)①에 주어진 밀면 전단력 V_{min} 에 저항할 수 있어야 한다. 내진설계범주와 비정형성에 따라 7.1에서 허용한 해석법을 적용하여 확인할 수 있다.
- (2) 지진력저항시스템은 성능목표에 부합하는 강도와 변형능력을 갖고 있음을 감쇠장치를 포함한 비선형시간이력해석을 통해 확인하여야 한다.
- (3) 층간변위의 요구조건은 15.4의 규정에 따르며 감쇠장치를 포함한 비선형시간이력해석에 의해 확인한다.

17.4.2 감쇠시스템

- (1) 감쇠장치의 접합부를 포함한 감쇠시스템의 모든 구조요소는 17.2.2(1)②의 요구조건을 만족하여야 한다.

17.4.3 감쇠성능 확인

(1) 감쇠보정계수

17.2.2(1)①의 지진력저항시스템 설계를 위한 최소밀면전단력 V_{min} 결정에 적용된 감쇠보정계수 η 는 다음 식에 따라 결정된 η_h 보다 작지 않아야 한다.

$$\eta_h = \frac{V_h}{V_{he}} \quad (17.4-1)$$

여기서, V_h : 인명보호 성능목표에 해당되는 지진에 대하여 17.3에서 규정한 해석절차에 따라 결정된 감쇠시스템 적용 구조물의 밀면전단력, kN

V_{he} : V_h 와 동일한 절차를 따르되, 감쇠장치의 하중-변위 관계에서 속도의존적 성분은 제거하고, 변위의존적 성분은 유효강성으로 치환하여 얻어진 밀면전단력, kN

단, V_h 와 V_{he} 를 산정할 때 지진력저항시스템에 속하는 부분의 밀면전단력만 산입한다.

(2) 감쇠장치의 변위의존적 성분의 유효강성

개별 감쇠장치의 하중-변위 관계에서 변위의존적 성분의 유효강성은 V_h 의 산정과정에서 얻어진 감쇠장치의 변위와 하중에 기초하여 다음 식에 따라 산정한다.

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (17.4-2)$$

여기서, Δ^+ , Δ^- : 각각 감쇠장치의 정, 부방향으로 발생하는 최대변위, m

F^+ , F^- : 각각 Δ^+ , Δ^- 에서 발생하는 감쇠장치의 하중, kN

17.5 설계 검토

(1) 감쇠시스템의 해석, 설계와 장치시험결과에 대한 설계검토는 지진해석법과 에너지소산시스템의 이론과 실무에 경험이 있는 등록된 전문가로 구성된 독립된 집단에 따라 수행하여야 한다.

(2) 설계 검토는 최소한 다음 사항을 포함하여야 한다.

- ① 감쇠장치의 설계변수를 포함한 지진력저항시스템과 감쇠시스템 예비설계의 검토
- ② 지진력저항시스템과 감쇠시스템의 최종설계와 모든 관련 해석의 검토
- ③ 감쇠장치 시험 요구조건, 장치의 품질관리와 성능보증, 유지관리 일정과 점검사항의 검토

17.6 감쇠장치의 시험

17.6.1 일반사항

- (1) 감쇠시스템 설계에 적용된 감쇠장치의 힘-속도 또는 힘-변위관계와 감쇠특성은 이 조항에 규정한 장치원형 시험에 따라야 한다. 품질관리시험에 적용되는 감쇠장치의 제작과 품질관리 절차는 장치원형 시험과 똑같아야 한다.

17.6.2 장치원형 시험

- (1) 설계에 사용된 감쇠장치의 종류와 크기별로 각각 2개의 실규모 감쇠장치에 대하여 이 조항에서 규정한 시험들을 실시하여야 한다. 구조물에 사용되는 장치의 종류와 크기별로 제조와 품질관리 절차가 동일하고, 동시에 내진설계책임구조기술자가 대표 크기에 대한 장치원형 시험을 허용한 경우에 한하여 각 종류별로 대표 크기의 감쇠장치만 장치원형 시험을 할 수 있다. 내진설계책임구조기술자가 허용하는 동시에 장치원형 시험과 제품시험에 관한 요구조건에 부합되지 않는다면 시험에 사용된 시험체는 구조물의 시공에 사용할 수 없다.

① 시험순서와 방법

시험은 다음과 같은 일련의 순서에 따라 수행하며, 각 감쇠장치를 실제 설치하였을 때의 고정하중과 활하중의 효과를 고려하고, 온도환경을 반영하여야 한다. 지진하중시험에서는 최대고려지진에 대한 장치의 변위를 사용하여야 한다.

- 가. 풍하중시험 : 설계풍하중에 상응하는 진폭과 기본진동주기의 역수에 해당하는 진동수 ($f_1 = 1/T_1$)로 2,000회 반복재하
- 나. 지진하중시험 : 다음과 같은 변위진폭 및 반복회수를 $1/(1.5T_1)$ 의 진동수를 갖는 정현파형태로 재하
 - (가) 최대고려지진 시 예상되는 장치변위의 0.33배를 10회씩 반복재하.
 - (나) 최대고려지진 시 예상되는 장치변위의 0.67배를 5회씩 반복재하.
 - (다) 최대고려지진 시 예상되는 장치변위의 1.0배를 3회씩 반복재하.

여기서, 감쇠장치 특성이 작동온도에 따라 변하는 경우에는 적어도 하나의 시험체는 온도범위를 포괄하는 최소한 3가지의 조건(최소온도, 상시온도, 그리고 최대온도)에서 지진하중시험을 수행

- 다. 진동수의존성 시험 : 감쇠장치가 진동수의존성이 있는 경우 풍하중시험과 지진하중시험을 진동수 $1/T_1$ 과 $2.5/T_1$ 에서 수행

② 시험의 생략

다음 조건들을 모두 만족하는 과거의 시험결과가 있는 경우에 장치원형 시험을 생략할 수 있다.

- 가. 치수, 내부 구조 및 압력 등이 유사한 장치
- 나. 유형과 재료가 동일하게 만들어진 장치
- 다. 문서화된 동일한 제작 및 품질관리 절차에 의해 제작
- 라. 유사한 최대변위 및 하중으로 시험

③ 하중-속도-변위특성 결정

- 가. 감쇠장치의 하중-속도-변위특성은 앞서 규정된 장치원형 시험용 반복가력시험에

근거해야 한다.

- 나. 감쇠장치의 유효강성은 식 (17.4-2)를 사용하여 각 진폭레벨에 대해 산정하여야 한다.
- 다. 감쇠장치의 공칭설계특성치는 주어진 변위 진폭레벨에 대해서 처음의 3회 반복재하에서 얻어진 평균값으로 산정한다.

④ 변위의존형 감쇠장치의 적합성

변위의존형 감쇠장치의 성능은 17.6.2(1)에 규정된 시험에 근거하여 다음 조건이 모두 만족된다면 적절하다고 간주한다.

가. 풍하중시험 : 누출, 항복, 파손을 포함하는 손상 징후가 없음

나. 지진하중시험과 진동수의존성 시험 :

- (가) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 변위 원점에서의 최대·최소하중이 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내
- (나) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 방향별 최대 장치변위에서의 하중이 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내
- (다) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 감쇠 장치의 이력곡선 면적이 모든 반복재하로부터 산정된 평균치의 15% 이내
- (라) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 모든 반복재하로부터 산정된 변위 원점에서의 최대·최소하중의 각각 평균치, 방향별 최대 장치변위에서의 하중의 각각 평균치 및 이력곡선 면적의 평균치가 내진설계책임구조기술자에 따라 제시된 목표 값의 15% 이내

⑤ 속도의존형 감쇠장치의 적합성

속도의존형 감쇠장치의 성능은 17.6.2(1)에 규정된 시험에 근거하여 다음 조건이 모두 만족된다면 적절하다고 간주한다.

가. 풍하중시험 : 누출, 항복, 파손을 포함하는 손상징후가 없음

나. 지진하중시험과 진동수의존성 시험 :

- (가) 강성을 가진 속도의존형 감쇠장치의 경우, 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 감쇠장치의 유효강성이 모든 반복재하로부터 산정된 평균치의 15% 이내
- (나) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 변위 원점에서의 최대·최소하중이 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내
- (다) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 감쇠 장치의 이력곡선 면적이 모든 반복재하로부터 산정된 평균치의 15% 이내
- (라) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 모든 반복재하로부터 산정된 변위 원점에서의 최대·최소하중의 각각 평균치, 유효강성(강성을 가진 감쇠장치에 한함)의 평균치와 이력곡선 면적의 평균치가 내진설계책임구조기술자에 따라 제시된 목표 값의 15% 이내

17.6.3 품질관리시험

(1) 건축구조물에 설치하기에 앞서 설치될 모든 감쇠장치의 하중-속도-변위특성이 내진 설계책임구조기술자가 정한 한계 내에 있는지를 보장하기 위한 시험을 수행한다. 제품시험의 범위와 빈도는 내진설계책임구조기술자에 따라 결정한다.

- ① 최대고려지진 장치변위의 0.67배의 진폭과 $1/(1.5T_1)$ 의 진동수로 3회 재하
- ② 시험에서 얻어진 설계특성치는 17.2.3(5)의 설계특성치 범위 설정에서 고려한 품질관리 변동폭 범위 이내에 들어야 한다.
- ③ 비탄성 변형이 발생한 시험체는 구조물의 시공에 사용할 수 없다.

18. 비구조요소

18.1 일반

- (1) 건축구조물에 영구히 설치되는 건축, 기계 및 전기설비 등의 비구조요소와 그 지지부 및 연결부는 이 절의 규정에 따라 설계되어야 한다. 단, 구조물 유효중량의 25%를 초과하는 비구조요소는 건물외구조로 분류하여 19장의 규정을 따른다.
- (2) 또한 기계 혹은 전기 비구조요소를 내장하고 있는 높이 1.8m 이상의 모듈형 공장제작품으로서 18장에 해당 설계규정이 없는 경우 19장의 건물과 유사한 건물외구조물의 규정에 따른다. 하지만 모듈형 시스템에 내장되거나 모듈형 시스템에 의해 지지되는 비구조요소는 18장의 규정에 따라 설계되어야 한다.
- (3) 창고용 선반과 탱크, 소화수조는 19장의 규정에 따라 설계한다.

18.1.1 적용범위

- (1) 다음의 비구조요소는 18장의 규정에 따라 내진설계가 수행되어야 한다.
 - ① 중요도계수 I_p 가 1.5인 비구조요소
 - ② 파라펫, 건물외부의 치장 벽돌 및 외부치장마감석재
- (2) 상기 (1)에 속하지 않으면서, 다음에 해당하는 전기 및 기계비구조요소는 18장의 규정에 따른 설계가 요구되지 않는다.
 - ① 중요도계수 I_p 가 1.0이면서 바닥으로부터 설치높이 1.2m 이하, 중량 1,800N 이하이고 덕트나 파이프와의 연결부가 유연한 재료로 구성되어 있는 경우
 - ② 중량 100N 이하, 단위길이당 중량이 70 N/m 이하인 경우
- (3) 상기 (1)과 (2)에 속하지 않는 비구조요소의 내진설계 여부는 건축주와의 협의에 따른다.

18.1.2 중요도계수

(1) 비구조요소의 중요도계수 I_p 는 1.0으로 한다. 단, 다음에 해당할 경우 I_p 를 1.5로 한다.

- ① 소화배관과 스프링클러 시스템, 소화수조 등 인명안전을 위해 지진 후에도 반드시 기능하여야 하는 비구조요소. 또한 피난경로상의 계단, 캐노피, 비상유도등, 칸막이벽 등 손상시 피난경로확보에 지장을 주는 비구조요소와 대형 창고형 매장 등에 설치되어 일반대중에게 개방된 적재장치
- ② 규정된 저장용량 이상의 독성, 맹독성, 폭발위험 물질을 저장하거나 지지하는 비구조요소
- ③ 표 2.2-1의 내진특등급에 해당하는 구조물에서 시설물의 지속적인 기능수행을 위해 필요하거나 손상시 시설물의 지속적인 가동에 지장을 줄 수 있는 비구조요소

18.1.3 설계 고려사항

18.1.3.1 설계절차

(1) 비구조요소의 설계는 다음 중 하나의 절차에 의해 수행될 수 있다.

- ① 내진설계책임구조기술자가 18장의 규정에 따라 해당건물내 비구조요소의 내진설계를 수행하는 경우
- ② 해당 비구조요소의 제조자가 정밀해석 혹은 18.1.3.2의 규정에 의한 실험을 통해 내진 성능을 보유하고 있음을 입증하는 문서를 제출하는 경우
- ③ 18.1.3.3의 절차에 따라 검토되고 승인된 경우

18.1.3.2 실험적 절차

(1) 18장에 규정된 해석적인 설계절차를 대신하여 실험을 통해 비구조요소 및 그 지지부의 내진성능을 확인할 수 있다. 실험적 절차에는 내진설계책임구조기술자가 인정한 공인된 실험규약이 사용되어야 하며 실험을 통해 이 기준이 요구하고 있는 내진요구 사항과 동등하거나 이를 초과하는 내진성능을 보유하고 있음이 증명되어야 한다. 실험적 절차를 적용할 경우 식 (18.2-1)에 의해 산정되는 최대지진력은 $3.2I_p W_p$ 를 초과할 필요는 없다.

18.1.3.3 설계의 검토와 승인

(1) 개별 비구조요소의 공인된 설계기준에 따라 내진설계를 수행하고 내진설계책임구조기술자가 이를 승인하는 경우 비구조요소의 내진설계는 구조체의 내진설계와 분리하여 수행될 수 있다. 이때 설계계산서 혹은 시험성적서를 근거로 시공상세도가 작성되어야 하며 내진설계책임구조기술자에 의해 검토 및 승인되어야 한다.

18.1.3.4 내진성능의 증명이 요구되는 비구조요소

- (1) 지진 이후에도 반드시 기능이 유지되어야 하는 비구조요소의 경우 다음의 규정을 통해 내진성능을 증명하여야 한다. 기능수행 목표의 설계지진은 2장 및 15장을 따른다.
 - ① 기능유지가 요구되는 기계 및 전기 비구조요소의 구동부분 혹은 동력부 부분은

18.1.3.2의 규정에 의한 진동대 실험을 통해 해당 설계지진 후에도 정상작동함을 증명하여야 한다.

- ② 중요도계수가 1.5인 위험물질과 관련된 비구조요소의 경우 제조자는 정밀해석과 진동대 실험 등을 통해 해당 설계지진 시에도 위험물질이 유출되지 않음을 증명하여야 한다.
- ③ 해석을 통한 증명은 움직이지 않는 비구조요소에만 허용하고 $R_p/I_p=1.0$ 을 적용한 지진력에 대하여 수행한다.

18.1.3.5 타 비구조요소에 대한 영향

- (1) 특정 비구조요소의 파괴가 다른 비구조요소의 손상을 유발하지 않도록 비구조요소들 간의 기능과 물리적인 간섭을 확인하여야 한다. 해석이나 실험을 통해 증명되지 않는 한 스프링클러 헤드 및 헤드연결관은 다음 항목으로부터 최소한 75mm의 유격을 확보하여야 한다.
 - ① 영구히 설치되는 설비 및 그 지지부와 가새
 - ② 다른 배관시스템 및 그 지지부와 가새
- (2) 단, 유연한 배관을 가진 스프링클러는 이 규정에서 제외된다.

18.1.3.6 유연성

- (1) 비구조요소와 그 지지부 혹은 연결부는 유연성과 강도를 고려하여 설계되고 평가되어야 한다.

18.2 설계지진력 및 변위

18.2.1 등가정적하중

18.2.1.1 수평설계지진력

- (1) 지진에 의한 수평방향 등가정적하중 F_p 는 식 (18.2-1)에 의하여 산정한다. 지진하중이 아닌 다른 하중이 F_p 를 초과하여 그에 따라 설계될 경우에도 이 절의 상세나 제한규정은 적용되어야 한다.

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \tag{18.2-1}$$

F_p 는 다음의 값을 초과할 필요는 없다.

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \tag{18.2-2}$$

그러나 F_p 는 다음의 값 이상이 되어야 한다.

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \tag{18.2-3}$$

여기서,

- F_p : 비구조요소 질량 중심에 작용하는 설계지진력
- a_p : 비구조요소의 증폭계수(표 18.3-1 또는 표 18.4-1)
- I_p : 비구조요소의 중요도계수
- h : 구조물의 밑면으로부터 지붕층의 평균높이
- R_p : 표 18.3-1 또는 표 18.4-1에 규정된 비구조요소의 반응수정계수
- S_{DS} : 4.2에 따라 결정한 단주기에서의 설계스펙트럼가속도
- W_p : 비구조요소의 작동상태를 고려한 중량
- z : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이
- $z = 0$: 구조물의 밑면 이하에 비구조요소가 부착된 경우
- $z = h$: 구조물의 지붕층 이상에 비구조요소가 부착된 경우

표 18.3-1과 표 18.4-1의 초과강도계수는 콘크리트나 조적조에 정착되는 앵커 설계 시 18.5에서 요구하는 경우에만 적용한다.

F_p 는 최소한 두 직교축에 대해 독립적으로 산정되어야 하며 필요할 경우 그 요소의 사용 하중 혹은 작동시 하중과 적절히 조합되어야 한다. 하지만 수직방향으로 캔틸레버 형식인 비구조요소의 경우 모든 수평방향으로 F_p 가 작용하는 것으로 고려되어야 한다.

18.2.1.2 수직설계지진력

(1) 수직방향 설계지진력은 $\pm 0.2S_{DS}W_p$ 으로 산정하며 작용하는 수직하중과 동시에 고려한다. 다만, 비부착식 바닥패널이나 비부착식 천장패널에는 적용하지 않는다.

18.2.2 동적해석법

(1) 식 (18.2-1)을 대신하여 다음과 같은 동적해석을 통해 구해진 구조물의 응답을 근거로 비구조요소의 수평설계지진력을 산정할 수 있다. 이때 구조물의 응답가속도는 $R=1.0$ 을 적용하여 산정한다.

- ① 응답스펙트럼해석법(7.3.3)
- ② 선형시간이력해석법(7.3.4.2)
- ③ 비선형 시간이력해석(7.3.4.3)
- ④ 층응답스펙트럼(18.2.2.1)
- ⑤ 간략층응답스펙트럼 (18.2.2.2)

(2) 동적해석법에 의한 비구조요소의 설계지진하중은 식 (18.2-4)을 통해 산정한다. 이 경우에도 식 (18.2-2)와 식 (18.2-3)의 F_p 의 상한치 및 하한치 규정은 적용되어야 한다.

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{R_p / I_p} A_x \tag{18.2-4}$$

- 여기서,
- F_p : 비구조요소 질량 중심에 작용하는 설계지진력
 - a_i : 건물 i층의 층응답가속도. 응답스펙트럼해석 결과를 사용할 경우 a_i 는 해석결과에 의한 i층의 최대응답가속도이다. 시간이력해석 결과를 사용할 경우 a_i 는 해석결과에 의한 i층의 층응답가속도이다. 이때, 7개 이상의 지진파가 사용된 경우 지진파별 최대응답가속도의 평균값을 사용할 수 있으며 7개 미만의 지진파가 사용된 경우 지진파별 최대응답가속도중 최대치를 사용하여야 한다. 시간이력해석을 위한 설계지진파는 7.3.4.1에 따라 선정하고 조정한다.
 - a_p : 비구조요소의 증폭계수(표 18.3-1 또는 표 18.4-1)
 - R_p : 비구조요소의 반응수정계수(표 18.3-1 또는 표 18.4-1)
 - I_p : 비구조요소의 중요도계수
 - A_x : 7.2.6.5에 규정된 비틀림 증폭계수

18.2.2.1 층응답스펙트럼

- (1) 층응답스펙트럼은 7.3.4.1에 따른 해당부지의 설계지진파를 사용한 7.3.4.2의 선형시간이력해석 혹은 7.3.4.3의 비선형시간이력해석을 통해 구해진 각 층의 층가속도로부터 산정한다. 감쇠시스템을 가진 구조물은 17장의 규정에 따른 비선형 시간이력해석 결과로부터 산정한다.
- (2) 층응답스펙트럼은 사용된 각 지진파에 의한 층가속도마다 산정되어야 한다. 이때 비구조요소의 감쇠비는 실험결과에 근거하지 않는 한 5%를 초과할 수 없다.
- (3) 식 (18.2-4)를 통한 설계지진하중 산정 시 a_i 는 비구조요소의 주기에 해당하는 지진파별 층응답스펙트럼 값들 중 최대치를 사용하며, a_p 는 1.0을 사용한다.

18.2.2.2 간략층응답스펙트럼

- (1) 간략층응답스펙트럼은 7.3.3에 의한 응답스펙트럼해석결과로부터 결정한다. 이때 구조물의 고유주기와 모드형상은 각 직교방향별로 최소한 3차모드까지 고려되어야 한다. 포함되는 모드의 가장 짧은 주기는 설계대상 비구조요소 고유주기의 80%보다 작거나 같아야 한다.
- (2) 각 방향별 모드별 층가속도스펙트럼은 식 (18.2-5)을 사용하여 비구조요소의 주기 T_p 의 함수로 표현된다.

$$A_{ix} = p_{ix} S_{ax} D_{AF} \tag{18.2-5}$$

- 여기서,
- A_{ix} : i층에서 x모드의 층가속도,

p_{ix} : i층에서 x모드의 모드참여계수,

S_{ax} : x모드의 스펙트럼가속도,

D_{AF} : 비구조요소의 동적증폭계수. 비구조요소의 고유주기 T_p 와 건물의 x 모드의 고유주기 T_x 의 비율의 함수로서 그림 18.2-1로부터 구한다.

(3) 간략응답스펙트럼은 각 모드의 증가속도스펙트럼중 최댓값으로 결정하나 건물저면의 스펙트럼가속도보다는 커야 한다.

(4) 수평방향의 설계지진력은 식 (18.2-4)에서 $a_i a_p$ 를 간략응답스펙트럼에서 해당비구조요소의 주기에 해당하는 값으로 대치하여 산정한다.

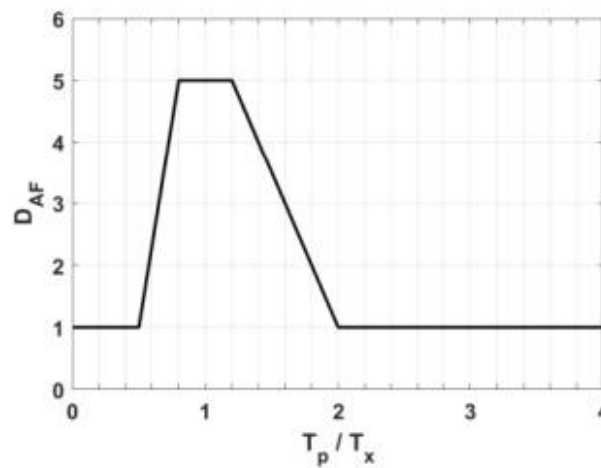


그림 18.2-1 비구조요소의 동적증폭계수 D_{AF}

18.2.3 상대변위

(1) 비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위 D_{pl} 는 다음과 같이 계산한다.

$$D_{pl} = D_p I_E \tag{18.2-6}$$

여기서,

I_E : 2.2의 중요도계수

D_p : 아래 (1)과 (2)의 규정에 의해 산정되는 상대변위

① 동일한 구조물 또는 구조시스템상의 수직 위치가 x 와 y 인 두 연결점에 대하여 D_p 는 다음과 같이 계산한다.

$$D_p = \delta_{xA} - \delta_{yA} \tag{18.2-7}$$

혹은 D_p 는 7.3.3의 응답스펙트럼해석법 혹은 7.3.4.2의 선형시간이력해석에 의해 구해진 값을 사용할 수 있다.

D_p 는 다음 값을 초과할 필요는 없다.

$$D_p = (X - Y) \frac{\Delta_{aA}}{h_{sx}} \tag{18.2-8}$$

② 독립된 2개의 구조물 또는 구조시스템상의 수직 위치가 각각 x 와 y 인 두 연결점에 대하여 D_p 는 다음과 같이 계산한다.

$$D_p = |\delta_{xA}| + |\delta_{yB}| \tag{18.2-9}$$

D_p 는 다음 값을 초과할 필요는 없다.

$$D_p = \frac{X \Delta_{aA}}{h_{sx}} + \frac{Y \Delta_{aB}}{h_{sx}} \tag{18.2-10}$$

여기서, D_p : 비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위

h_{sx} : 허용층간변위를 정의하기 위하여 사용된 층고

$\delta_{xA}, \delta_{yA}, \delta_{yB}$: 식 (7.2-13)에 의해 산정된 구조물 A 또는 B상의 수직위치 x 또는 y 에서의 변위

X : 구조물 밑면으로부터 상부부착지점 x 까지의 높이

Y : 구조물 밑면으로부터 하부부착지점 y 까지의 높이

Δ_{aA}, Δ_{aB} : 8.2.3에 규정된 구조물 A 또는 B의 허용층간변위

18.2.4 비구조요소의 주기

(1) 비구조요소의 기본주기(비구조요소의 지지점과 건물구조체와의 연결장치 포함) T_p 는 요소와 지지점, 그리고 연결장치가 간단한 스프링과 질량으로 이루어진 단자유도시스템으로써 해석적으로 나타낼 수 있는 경우 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$T_p = 2\pi \sqrt{\frac{W_p}{K_p g}} \tag{18.2-11}$$

여기서, T_p : 비구조요소의 기본주기

W_p : 비구조요소의 운전하중

g : 중력가속도

K_p : 지지점과 연결장치의 강성이 고려된 비구조요소의 무게중심에서 강성.

(2) 또 다른 방법으로, 기본주기 T_p 는 실험데이터 또는 적절히 입증된 해석에 의하여 결정할 수 있다.

(3) 주기가 0.06초 미만일 경우 강체로 간주한다.

18.3 건축비구조요소

18.3.1 일반

- (1) 표 18.3-1에 열거된 건축비구조요소 및 그 지지부와 연결부는 이 절의 규정에 따라 설계하여야 한다.
- (2) 단, 체인이나 다른 형태로 구조물에 매달린 비구조요소의 경우 다음의 모든 조건을 만족하는 경우 이 절의 지진하중과 상대변위에 대한 검토를 수행하지 않아도 된다.
 - ① 자중의 1.4배에 해당하는 연직하중과 자중의 1.4배에 해당하는 횡하중의 조합을 견딜 수 있도록 설계된 경우. 단, 이때 횡하중의 방향은 가장 불리한 방향이어야 한다.
 - ② 18.1.3.5에 따라 타 비구조요소에 미치는 영향을 고려하는 경우
 - ③ 비구조요소가 수평면내에서 360도의 모든 방향으로 움직일 수 있도록 구조체와 연결된 경우

18.3.2 설계절차

- (1) 모든 건축비구조요소 및 그 지지부와 부착부는 18.2의 규정에 따른 설계지진력을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 건축비구조요소는 인명안전에 위협이 되지 않도록 18.2.3의 규정에 따른 상대변위를 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.
- (2) 건축비구조요소는 캔틸레버 형식의 구조요소에서 발생하는 지점회전에 의한 수직방향 변위를 고려하여 설계되어야 한다.
- (3) 설계하중에 의한 비구조요소의 횡방향 혹은 면외방향의 휨이나 변형이 비구조요소의 변형한계를 초과하지 않아야 한다.

18.3.3 칸막이벽

- (1) 높이가 1.8m 이상인 칸막이벽 또는 천장재와 연결된 칸막이벽은 건물구조체에 횡지 지되어야 한다. 칸막이벽의 횡지지부재는 천장재의 횡지지부재와 별도로 설치되어야 한다. 횡지지는 칸막이벽 상부의 변위를 제한함으로써, 18.3.5의 규정에 의한 매달린 천장의 변위제한 및 이 기준에 의한 다른 시스템의 변위제한에 상응하도록 한다.
- (2) 매달린 천장의 경우 변위요구량은 18.3.5의 규정에 의해 구하며 다른 시스템의 경우 이 기준의 해당 규정으로부터 구한다.
- (3) 단, 칸막이벽 높이가 2.7m 이하, 칸막이벽의 단위면적당 무게가 0.48 kN/m^2 이하, 칸막이벽의 수평지진 하중이 0.25 kN/m^2 미만인 조건 모두를 충족할 경우 이 규정은 적용하지 않는다. 칸막이벽에 끼워진 유리는 18.3.4에 따라서 설계되고 설치되어야 한다.

다.

(4) 칸막이벽이 조적조 혹은 비구조 콘크리트벽으로 구성된 경우 다음을 만족하여야 한다.

- ① 구조설계 시 구조요소로 고려되지 않은 경우 내진슬릿과 같은 적절한 구조상세를 통해 인접한 기둥에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.
- ② 내진슬릿 없이 기둥과 밀실하게 접촉하도록 시공되는 경우 9.8.2 및 9.8.3의 규정에 따라 반드시 구조요소와의 상호작용을 고려하여 설계되어야 한다.

18.3.4 커튼월, 상점 앞면, 칸막이벽에 끼워진 유리

(1) 커튼월, 상점 앞면, 칸막이벽에 끼워진 유리는 식 (18.3-1)의 상대변위 요구조건을 만족하여야 한다.

$$\Delta_{fallout} \geq 1.25 D_{pI} \tag{18.3-1}$$

여기서,

$\Delta_{fallout}$: 커튼월, 상점 앞면, 칸막이벽에서 유리의 탈락이 발생하는 상대변위로 해석 혹은 실험을 통해 산정하되 13mm 보다 커야 한다.

D_{pI} : 18.2.3에 의해 산정되는 구조물의 상대변위
단, 다음 조건을 만족하는 경우 예외로 한다.

① 유리와 틀사이에 유격이 충분하여 요구되는 상대변위에서 유리와 틀사이에 접촉이 발생하지 않는 경우, 즉, 식 (18.3-2)를 만족하는 경우

$$D_{clear} \geq 1.25 D_{pI} \tag{18.3-2}$$

여기서,

D_{clear} : 유리와 틀사이에 접촉이 발생하게되는 틀의 상대변위로서 유리높이에 대해 정의됨. 직사각형 유리틀일 경우 식 (18.3-3)으로 산정한다.

$$D_{clear} = 2c_1 \left(1 + \frac{h_p c_2}{b_p c_1} \right) \tag{18.3-3}$$

여기서,

- h_p : 직사각형 유리패널의 높이
- b_p : 직사각형 유리패널의 폭
- c_1 : 유리와 틀 사이 좌우측 수직방향 유격의 평균값
- c_2 : 유리와 틀 사이 상하부 수평방향 유격의 평균값

- ② 내진 1등급 혹은 2등급 건축물에서 강화유리 재질의 통유리패널이 건물에 인접한 보도면으로부터 3m 이하의 높이에 설치된 경우
- ③ 열처리유리 혹은 중간층의 두께가 0.8 mm이하인 열강화이중유리가 노출창문틀 형식으로 사용되고 가장자리는 최소 13 mm폭의 탄성중합체 실런트, 습식보양재 등으로 보호된 경우

18.3.5 매달린 천장

- (1) 매달린 천장은 아래 조항을 따라야 한다. 단, 다음은 예외로 한다.
 - ① 면적이 13m²이하이고 벽이나 처마 등으로 횡지지된 매달린 천장
 - ② 석고보드 재질의 마감재가 나사나 못으로 부착된 매달린 천장으로, 전체 천장이 동일한 높이에 설치되며 벽이나 처마 등으로 횡지지된 경우

18.3.5.1 지진하중

- (1) 천장의 무게 w_p 는 천장 격자, 천장 타일 또는 패널, 천장격자에 부착되거나 횡지지되는 모든 비구조요소(조명기구 포함)의 무게를 포함하여야 하며 지진하중 산정을 위한 무게는 최소한 200N/m² 이상을 적용한다. 발생하는 지진력 F_p 는 슬래브와의 연결부 혹은 구조체와의 접촉을 통해 구조부재로 전달되어야 한다.

18.3.5.2 흡음타일과 비부착식 천장패널

- (1) 흡음타일 혹은 비부착식 천장패널은 18.1.3.2의 실험을 통한 검증 절차를 통해 인증되거나 18.3.5.3의 조항에 의해 설계되지 않는 한 아래의 규정을 만족하여야 한다.

- ① 내진설계범주 C와 D인 구조물에 설치될 때 흡음타일 혹은 비부착식 천장패널의 해당 산업규격이 있을 경우 그 규격을 만족하여야 한다.
- ② 내진설계범주 D인 구조물에 설치될 때 흡음타일 혹은 비부착식 천장패널은 아래 규정을 만족하여야 한다.

가. 인증된 주변지지클립이 사용되지 않는 한 가장자리에 사용되는 앵글이나 채널단면의 폭은 50mm 이상이어야 한다. 가장자리 앵글이나 채널단면은 벽에 매립된 스티드에 나사로 접합되거나 다른 구조부재에 단단히 접합되어야 한다. 주변지지 클립은 18.1.3.2에 따라 승인된 시험 기준에 따라 인증되어야 한다. 주변지지 클립은 클립당 최소 2개의 나사로 가장자리 앵글 또는 채널에 부착되어야 하며, 천장의 모든 가장자리를 따라 설치되어야 한다. 천장그리드의 한쪽 단부는 가장자리 앵글, 채널 또는 주변지지 클립에 부착되어야 하며 다른쪽 단부는 벽으로부터 20mm의 유격을 가지고 가장자리 앵글, 채널 또는 주변지지 클립 위에서 자유롭게 미끄러질 수 있도록 설치되어야 한다.

나. 천장면적이 250m²를 초과하는 경우, 구조해석을 통해 천장가새시스템이 설계지진력에 의해 예상되는 변위를 충분히 수용할 수 있을 정도로 천장관통물, 가장자리 앵글 혹

은 채널단면에 유격이 있음을 증명하지 않는 한, 천장은 지진분리 조인트 또는 전 층 높이의 파티션을 통해 250m²를 넘지 않는 구역으로 분리되어야 하며 이 때 각 구역의 장변과 단변의 비율은 4 이하이어야 한다.

18.3.5.3 스프링클러 시스템과의 일체화된 경우

- (1) 천장과 스프링클러 시스템을 일체화 하는 경우 천장재, 스프링클러, 조명, 기계공조설비 등 관련된 요소의 질량과 유연성을 고려하여 설계되어야 한다. 이러한 설계는 내진설계책임구조기술자에 의해 승인되어야 한다.

18.3.6 이중바닥

18.3.6.1 일반사항

- (1) 이중바닥의 무게 w_p 는 바닥시스템의 무게와 바닥에 고정된 모든 장비무게의 100%, 그리고 바닥에 지지되지만 고정되지 않은 장비 전체무게의 25%를 포함하여야 한다. 지진하중 F_p 는 이중바닥의 상부면에 작용하며 지지구조체로 전달되어야 한다.
- (2) 이중바닥 패널에 고정된 장비의 전도효과도 고려하여야 한다. 인장력을 받지 않도록 설계되는 슬립온 헤드를 사용할 경우 장비에 의해 발생하는 전도모멘트를 지지할 수 있는지 검토되어야 한다.
- (3) 전도효과에 대해 각 지주를 검토할 때 고려되는 축력의 크기는 전체 w_p 중 그 지주가 담당하는 분담면적에 의한 크기를 초과할 수 없다.

18.3.6.2 특수 이중바닥

- (1) 다음의 조건들을 만족할 경우 특수 이중바닥으로 간주하여 표 18.3-1의 특수 이중바닥의 설계계수를 사용할 수 있다.

- ① 이중바닥의 접합부가 기계적 접합, 18.5(1)② 및 ④에 따라 설계된 앵커, 용접 또는 지압을 통해 지진하중을 지지할 경우 그 설계하중은 공인된 설계기준에 부합하거나 실험에 의해 입증되어야 한다.
- ② 지진하중은 마찰력이나 동력고정앵커, 접착제로 지지되어서는 안된다.
- ③ 가새의 해석과 설계시 개별부재의 압축좌굴을 고려하여야 한다.
- ④ 가새와 지주부재의 재료는 관련산업규격을 만족하여야 한다. 단, 전기배관은 가새와 지주부재로 사용될 수 없다.
- ⑤ 수평격자구조는 지진하중에 의한 축력에 견딜 수 있어야 하며 지주와 기계적 접합으로 연결되어야 한다.

18.3.7 피난경로상의 계단 및 램프

- (1) 지진력저항시스템의 일부가 아니고 단지 그에 부착된 피난경로상의 계단 및 램프는 다이어프램 변형을 포함하여 18.2.3에 정의된 지진 상대변위 D_{pl} 를 수용할 수 있어야 한다. 순 상대변위는 임의의 수평방향으로 발생한다고 가정해야 한다. 이러한 요소는 다음의 요구 사항에 따라 직접적으로 구조에 지지되거나 기계적 연결 및 고정장치를 통해 지지되어야 한다.
- ① 슬롯 형 또는 대형 구멍이 있는 슬라이딩 연결부, 키퍼 어셈블리 또는 엔드 스톱이 있는 슬라이딩 베어링 지지부, 금속 부착물의 변형에 의한 이동을 허용하는 연결부는 수직방향 지지능력의 손실 혹은 변위에 의한 압축력의 유발없이 D_{pl} 혹은 13mm 중 큰 값에 해당하는 변위를 수용할 수 있어야 한다.
 - ② 키퍼 어셈블리 또는 엔드 스톱이 없는 슬라이딩 베어링 지지대는 수직 지지력의 손실 없이 $1.5D_{pl}$ 혹은 25mm 중 큰 값에 해당하는 변위를 수용할 수 있어야 한다. 이탈방지 장치는 파손시 연직지지력의 상실을 초래하지 않는다면 허용된다.
 - ③ 금속 지지대는 ②에 정의된 상대변위를 수용할 수 있는 회전능력을 가져야 한다. 이 금속 지지대의 강도는 볼트 전단, 용접 파괴 또는 다른 취성 파괴모드에 의해 지배되어서는 안된다.
 - ④ 볼트, 인서트, 용접, 다우얼 및 앵커와 같은 모든 고정 장치 및 부착물은 18.2에 따라 결정된 설계하중에 대해 표 18.3-1에 주어진 R_p , a_p 및 Ω_0 을 사용하여 설계되어야 한다.

예외 : 상대변위를 수용할 수 있는 슬라이딩 또는 연성 연결이 사용되지 않는 경우, 계단 또는 램프 구조의 강성 및 강도는 구조체 모델에 반영되어야 하며 계단은 지진력저항시스템의 Ω_0 를 사용하여 설계하되 Ω_0 는 2.5이상이어야 한다.

18.3.8 외부 비구조벽체와 그 접합부

- (1) 치장벽돌을 제외하고 구조물에 부착되거나 구조물을 둘러싸는 외부의 비구조벽 패널 또는 그 요소는 18.2.3에 정의된 상대변위와 온도 변화로 인한 움직임을 수용하도록 설계되어야 한다. 이러한 요소는 다음의 요구 사항을 만족시키도록 구조물에 직접 부착되거나 기계적 정착 및 고정 장치를 통해 지지되어야 한다.
- ① 연결부 및 패널 조인트는 18.2.3에서 결정된 상대 지진 변위 (D_{pl}) 또는 13mm 중 큰 값에 해당하는 층변형을 수용할 수 있어야 한다.
 - ② 미끄러짐 혹은 나사산이 있는 강봉의 휨을 통해 층변형을 수용하도록 설계된 연결부는 다음의 요구조건 모두를 만족해야 한다.
 - 가. 나사산이 있는 강봉 또는 볼트는 충분한 내부식성능과 기계적 성능을 확보하도록 관련 산업규격의 요구사항을 충족하여야 한다.
 - 나. 패널의 지지부에 슬롯 혹은 대형구멍이 사용된 경우 강봉의 길이 대 직경 비는 4 이하여야 한다. 이때 강봉의 길이는 너트 혹은 나사가 있는 강판 사이의 순길이이다. 슬롯 또는 대형구멍은 각 방향으로 설계층간변위를 수용할 수 있어야 하며, 너트는 풀림을 방지하는 상세를 가져야 한다.

다. 나선강봉의 휨에 의해 층변형을 수용하는 경우 연결부는 식 (18.3-4)를 만족하여야 한다.

$$(L/d)/D_{pl} \geq 0.24 \tag{18.3-4}$$

여기서,

L = 강봉의 순길이 (mm)

d = 강봉의 직경 (mm)

D_{pl} = 상대변위 요구량 (mm)

- ③ 연결 부재 자체는 용접부 또는 용접부 부근의 콘크리트 파손 또는 취성 파괴를 방지하기에 충분한 연성 및 회전능력을 가져야 한다.
- ④ 볼트, 인서트, 용접 및 다우얼과 같은 연결 시스템의 모든 접합재와 커넥터의 몸체는 18.2에 따라 결정된 설계하중 F_p 에 대해 표 18.3-1에 주어진 R_p , a_p 및 Ω_0 을 사용하여 설계되어야 한다 여기서 연결 시스템은 구조체와 벽 패널 또는 요소사이의 연결, 또한 벽 패널 또는 요소 사이의 상호연결 모두를 포함한다.

18.3.9 치장벽돌벽체와 그 접합부

- (1) 앵커지지 치장벽돌벽체는 18.3.9.1의 요구조건을 만족시켜야 하며, 접착식 치장벽돌벽체는 18.3.9.2의 요구조건을 만족시켜야 한다. 치장벽돌벽체는 온도변형을 고려한 상세를 적용하여야 한다.

18.3.9.1 앵커지지 치장벽돌벽체

- (1) 앵커지지 치장벽돌벽체는 18.3.9.1.1의 조건을 만족시키도록 합리적인 구조계산 또는 실험결과에 근거하여 설계하거나 18.3.9.1.2에 규정된 방식을 따라 설계할 수 있다.

18.3.9.1.1 앵커지지 치장벽돌벽체의 일반 설계

- (1) 주어진 지진하중에 대하여 치장벽돌벽체, 지지구조체, 그리고 이들을 연결하는 앵커에 작용하는 하중은 합리적인 역학원리에 따라 계산되어야 한다.
- (2) 앵커는 지진에 의해 치장벽돌벽체로부터 지지구조체로 전달되는 하중을 지지할 수 있는 강도를 가져야 한다. 앵커에 전달되는 하중은 각 앵커가 부담하는 면적에 작용하는 치장벽돌벽체의 지진하중을 통해 산정할 수 있다.
- (3) 콘크리트 또는 벽돌에 매립된 평평한 띠를 사용하여 앵커링되는 경우, 매립된 띠는 보강용 철근에 연결되거나, 그 주위로 갈고리정착되거나, 혹은 다른 적절한 방법 등을 통해 앵커의 뽑힘파괴를 억제하는 상세를 적용하여야 한다.

18.3.9.1.2 앵커지지 치장벽돌벽체의 사양설계

- (1) 조적개체의 기준치수 두께는 67mm 이상 100mm 이하이어야 하며, 지지구조체는 치장벽돌벽체 두께 이상의 두께를 가진 철근콘크리트벽체 또는 보강조적벽체여야 한다.

사양설계에 따른 앵커는 주름이 잡힌 철판형 앵커, 주름이 없는 철판형 앵커, 철선 앵커, 줄눈보강근과 일체화된 앵커, 조정식 앵커로 구분된다. 치장벽돌벽체 내부면에서 지지구조체면까지의 거리는 120 mm이하여야 하며, 줄눈보강근과 일체화된 앵커나 조정식 앵커를 사용하는 경우 각각 (10)과 (11)의 120mm 초과에 대한 요구사항 만족 시 170 mm 이하를 적용할 수 있다. 앵커의 지지구조체 정착부는 실험에 의해 검증된 뽑힘강도 1 kN 이상의 정착상세를 적용하여야 한다.

- (2) 기본적으로 치장벽돌벽체 0.25m² 당 1개 이상의 앵커를 설치하여야 한다. 단, 주름이 없는 철판형 앵커, 직경 4.8mm 이상의 철선을 사용한 철선 앵커, 직경 4.8mm 이상의 보강근을 사용한 줄눈보강근과 일체화된 앵커는 0.34m² 당 1개 이상의 앵커를 설치할 수 있다. 내진설계범주 D에 해당하는 경우 이 면적제한은 0.75배를 적용하여야 한다.
- (3) 앵커의 수평 간격은 800mm 이하, 수직 간격은 600mm 이하를 만족시켜야 한다.
- (4) 치장벽돌벽체에 어느 한 방향으로라도 400mm를 초과하는 크기를 가진 개구부가 있는 경우 개구부로부터 300mm 이내의 구간에 900mm 이내의 간격으로 추가 앵커를 설치하여야 한다.
- (5) 가로줄눈의 두께는 가로줄눈에 설치되는 앵커 또는 줄눈 보강근 두께의 두배 이상이어야 한다.
- (6) 치장벽돌벽체를 쌓을 때 조적개체 수평방향 길이의 4분의 1 미만으로 포개지는 조적개체 쌓기가 적용된 경우에는 가로줄눈 방향으로 직경 3.7mm 이상의 철선이 수직 간격 450mm 이내로 설치되어야 한다.
- (7) 주름이 잡힌 철판형 앵커는 폭 20mm 이상, 두께 0.8mm 이상, 주름 부분의 고점간 또는 저점간의 거리는 7.5mm 이상 13mm 이내, 주름 부분의 고점과 저점의 높이 차는 1.5mm 이상 2.5mm 이내여야 한다. 앵커는 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간에 40mm 이상 묻혀야 하며, 15mm 이상 외부 방향으로 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간이 확보되어야 한다.
- (8) 주름이 없는 철판형 앵커는 폭 20mm 이상, 두께 1.5mm 이상이어야 한다. 앵커는 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간에 40mm 이상 묻혀야 하며, 15mm 이상 외부 방향으로 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간이 확보되어야 한다. 모르타르 줄눈에서의 정착 파괴를 억제하기 위해 모르타르 줄눈에 묻힌 구간에서는 직경 3.7mm 이상의 철선이 부착되어야 하며, 철선은 앵커 좌우로 각각 50mm 이상씩 돌출되어야 한다.
- (9) 철선 앵커는 직경이 3.7mm 이상이어야 하며, 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간에 위치하는 구부러진 부분이 50mm 이상이어야 한다. 치장벽돌벽체와 지지구조체 사이에서 철선 앵커의 접힘은 허용되지 않는다. 철선 앵커는 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간에 40mm 이상 묻혀야 하며, 15mm 이상 외부 방향으로 모르타르 줄눈 또는 그라우트 구간이 확보되어야 한다.
- (10) 줄눈보강근과 일체화된 앵커는 사다리형을 사용하여야 하며, 보강근의 직경은 3.7mm 이상이어야 한다. 치장벽돌벽체의 내부면과 이에 인접한 지지구조체면과의 거리가 120mm를 초과하는 경우에는 4.8mm 이상의 직경을 가진 보강근을 적용하여야

한다. 줄눈보강근의 교차근은 중심 간격이 400mm 이하여야 하며, 주근에 용접되어야 한다. 교차근에서의 접합은 허용되지 않으며, 주근은 외부방향으로 15mm 이상의 모르타르 줄눈이 확보되어야 한다.

- (11) 조정식 앵커는 그 형태에 따라 철판형 부분, 철선 부분, 그리고 줄눈 보강근 부분을 가질 수 있다. 조정식 앵커의 각 부분은 (7), (8), (9) 및 (10)에 기술된 해당 부분의 요구사항을 만족하여야 하며, 연결부 틈새간격은 1.6mm 이하여야 한다. 다리걸침형 앵커의 경우 걸치는 철선 부분은 4.8mm 이상의 직경을 가져야 하며, 연결부에서의 이격거리는 30mm 이하, 그리고 치장벽돌벽체 내부면으로부터 연결부까지의 거리는 50mm 이하여야 한다. 조정식 앵커에서 치장벽돌벽체의 내부면과 이에 인접한 지지구조체면과의 거리가 120mm를 초과하는 경우에는 철선 부분이 4.8mm 이상의 직경을 가진 철선 2개 이상 또는 동등 수준 이상의 강도와 강성을 가진 상세로 이루어져야 한다.

18.3.9.2 접착식 치장벽돌벽체

- (1) 접착식 치장벽돌벽체는 18.3.9.2.1의 조건을 만족시키도록 합리적인 구조계산 또는 실험결과에 근거하여 설계하거나 18.3.9.2.2에 규정된 방식을 따라 설계할 수 있다.

18.3.9.2.1 접착식 치장벽돌벽체의 일반 설계

- (1) 주어진 지진하중에 대하여 치장벽돌벽체, 지지구조체, 그리고 이들을 연결하는 접착제에 작용하는 하중은 합리적인 역학원리에 따라 계산되어야 한다.
- (2) 접착제는 지진에 의해 치장벽돌벽체로부터 지지구조체로 전달되는 하중을 지지할 수 있는 강도를 가져야 한다. 접착제의 소요강도는 단위면적당 작용하는 치장벽돌벽체의 지진하중을 통해 산정할 수 있다.

18.3.9.2.2 접착식 치장벽돌벽체의 사양설계

- (1) 조적개체의 기준치수 두께는 67mm 이하, 중량은 0.73kN/m² 이하, 지지구조체는 치장벽돌벽체 두께 이상의 두께를 가진 철근콘크리트벽체 또는 보강조적벽체이어야 한다.
- (2) 치장벽돌벽체는 지지구조체에 전단강도 345kPa 이상인 접착제를 적용하여 접착하거나, 압축강도 12.5MPa 이상, 두께 9.5mm 이상 32mm 이하인 모르타르로 접착하여야 한다. 접착제나 모르타르는 치장벽돌벽체와 지지구조체 사이에 밀실하게 채워져야 한다. 모르타르를 적용할 경우 조적개체 설치 시 마지막에는 두드려서 약간의 압력을 가하여야 하며, 줄눈은 오목줄눈을 사용하여 모르타르가 압력을 받게 눌러져야 한다.

표 18.3-1 건축비구조요소의 설계계수

| 건축비구조요소 | 증폭계수 a_p | 반응수정계수 R_p | 초과강도계수 Ω_0 |
|----------------|------------|--------------|-------------------|
| 내부비구조벽체 및 칸막이벽 | | | |

| | | | |
|--|------|-----|-----|
| 비보강조적벽 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 그밖의 벽과 칸막이 | 1 | 2.5 | 2 |
| 캔틸레버 부재(횡지지되어 있지 않거나 질량중심 아래에서 구조체에 횡지지된 경우) | | | |
| 파라펫 및 내부 캔틸레버 비구조벽체 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 굴뚝 및 굴조구조에 지지된 수직 배기구 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 기타 캔틸레버형 수직구조물 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 캔틸레버 부재(질량중심 위에서 구조체에 횡지지된 경우) | | | |
| 파라펫 | 1 | 2.5 | 2 |
| 굴뚝 | 1 | 2.5 | 2 |
| 외측 비구조벽체 | 1 | 2.5 | 2 |
| 외측비구조벽체 부재 및 접합부 | | | |
| 벽체 부재 | 1 | 2.5 | NA |
| 벽체패널 접합부의 몸체 | 1 | 2.5 | NA |
| 연결시스템의 조임구 | 1.25 | 1 | 1 |
| 표면 마감재 | | | |
| 변형이 제한된 부재 및 부착물 | 1 | 2.5 | 2 |
| 변형능력이 낮은 부재 및 부착물 | 1 | 1.5 | 2 |
| 옥탑(건물 끝조가 연장된 끝조의 경우 제외) | 2.5 | 3.5 | 2 |
| 천장 | | | |
| 전체 | 1 | 2.5 | 2 |
| 캐비닛 | | | |
| 바닥판에 영구적으로 지지된 높이가 1,800 mm 이상인 캐비닛 | 1 | 2.5 | 2 |
| 바닥판에 영구적으로 지지된 높이가 1,800 mm 이상인 책장 | 1 | 2.5 | 2 |
| 실험실 장비 | 1 | 2.5 | 2 |
| 이중바닥 | | | |
| 특수 이중바닥 (18.3.6.2를 만족하는 경우) | 1 | 2.5 | 2 |
| 그 밖의 모든 것 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 부속장치 및 장식물 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 간판 | 2.5 | 3 | 2 |
| 기타 강제요소 | | | |
| 대변형이 가능한 부재 및 부착물 | 1 | 3.5 | 2 |
| 변형이 제한된 부재 및 부착물 | 1 | 2.5 | 2 |
| 변형능력이 낮은 재료 및 부착물 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 그밖의 유연한 비구조요소 | | | |
| 대변형이 가능한 부재 및 부착물 | 2.5 | 3.5 | 2.5 |
| 변형이 제한된 부재 및 부착물 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 변형능력이 낮은 재료 및 부착물 | 2.5 | 1.5 | 1.5 |
| 건물의 지진력저항시스템에 포함되지 않은 출구계단 | 1 | 2.5 | 2 |
| 출구계단 및 램프 체결장치 및 부착장치 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| a. 강제요소와 단단히 부착된 요소의 경우 $a_p = 1$ 이며, 유연한 요소와 유연하게 부착된 요소의 경우 $a_p = 2.5$ 이다. 상세한 동적해석에 의해 증명되는 경우 표에 규정된 값보다 더 낮은 a_p 를 사용할 수 있다. a_p 의 값은 1보다 작아서는 안 된다. | | | |
| b. 초과강도계수는 콘크리트 및 조적조에 비연성앵커가 사용되었을 경우 적용한다. | | | |

18.4 기계 및 전기 비구조요소

18.4.1 일반사항

(1) 기계 및 전기 비구조요소와 그 지지부는 18.4의 규정에 따라 설계하여야 한다. 설계

수는 표 18.4-1중 적절한 값을 선택한다. 기계 및 전기 비구조요소의 지지부와 정착부는 18.5의 규정을 따른다.

- (2) 단, 체인이나 다른 형태로 구조물에 매달려 있으면서 덕트나 파이프에 연결되지 않은 조명기구, 사인보드, 천장 선풍기는 다음의 모든 조건을 만족하는 경우 이 절의 지진 하중과 상대변위에 대한 검토를 수행하지 않아도 된다.
 - ① 자중의 1.4배에 해당하는 연직하중과 자중의 1.4배에 해당하는 횡하중의 조합을 견딜 수 있도록 설계된 경우, 이때 횡하중의 방향은 가장 불리한 방향으로 한다.
 - ② 18.1.3.5에 따라 타 비구조요소에 미치는 영향을 고려하는 경우
 - ③ 비구조요소가 수평면내에서 360도의 모든 방향으로 움직일 수 있도록 구조체와 연결된 경우
- (3) 기계나 전기비구조요소의 내진설계가 필요한 경우 구성요소, 내용물, 지지부와 연결부의 동적효과를 고려하여야 한다. 이때 각 구성요소와 지지구조 및 다른 구성요소들 사이의 동적상호작용도 고려되어야 한다.

18.4.2 설계절차

18.4.2.1 기계 비구조요소

- (1) 연성적이지 않은 재료로 이루어졌거나 사용시 연성도가 감소하는 환경에 놓이게 되어 (예를 들어 저온환경) 비구조요소가 충격에 취약해지는 경우 충격을 제거할 수 있도록 설계되어야 한다.
- (2) 구조체사이 지점의 상대변위에 의해 서로 연결된 설비배관으로부터 비구조요소에 하중이 전달될 가능성도 검토되어야 한다.
- (3) HVACR(난방, 환기, 공기조화, 냉장기기)의 파이프 혹은 배관이 구조물에 연결되어 있고 서로 상대변위가 발생하는 경우 또한 면진구조물에서 면진층을 통과하는 파이프와 배관의 경우 18.2.3에 의한 상대변위 요구량을 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.
- (4) HVACR(난방, 환기, 공기조화, 냉장기)설비는 아래의 고려사항을 포함하는 인증절차를 만족하는 경우 내진성능을 만족하는 것으로 인정한다.
 - ① 구동부 및 동력부의 내진성능은 진동대 실험을 통해 검증한다.
 - ② 구동부가 아닌 부분의 요구량은 $R_p/I_p = 1.0$ 에 근거한 해석에 의해 산정한다.
 - ③ 해석을 통해 구동부가 아닌 부분의 내진능력을 평가할 경우 이 기준을 적용한다.

18.4.2.2 전기 비구조요소

- (1) 지진 시 비구조요소사이의 부딪힘으로 인해 충격이 발생하지 않도록 설계되어야 한다
- (2) 서로 다른 구조물사이에 연결된 설비 및 관로에서 발생하는 하중을 평가하여야 한다.
- (3) 선반위의 축전지는 낙하하지 않도록 둘러싸는 고정장치로 고정되어야 하며 고정장치와 축전지사이에 스페이서를 두어 용기의 충돌로 인한 손상을 방지하여야 한다. 선반은 충분한 횡하중저항능력을 가져야 한다.
- (4) 건식 변압기의 내부코일은 용기내 하부지지구조에 적절히 고정되어야 한다.

- (5) 돌출 미단이선반을 가진 전기설비제어장치, 컴퓨터장비, 혹은 그 밖의 장비들은 각 부분을 제자리에 고정시키기 위한 결쇠장치가 있어야 한다.
- (6) 전기 캐비닛은 관련 산업규격에 따라 충분한 강도를 가지도록 설계되어야 한다.
- (7) 450N을 초과하는 장비의 정착부는 제조사가 인증하지 않은 경우 개별적으로 안전성을 검토하여야 한다.
- (8) 면진구조물에서 면진층을 통과하는 도관, 케이블 트레이 혹은 이와 유사한 배선 장치들은 18.2.3에 의한 상대변위 요구량을 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

18.4.2.3 지지부

- (1) 지지부의 종류로는 구조부재, 가새, 골조, 스킵트형 하부덮개, 지주, 안장, 케이블, 버팀줄 등과 주물 혹은 단조로 제작된 설비의 일부분 등이 있다.
 - ① 기계 및 전기비구조요소의 지지부가 표준규격을 따를 경우, 지지부는 실험을 통해 결정된 정격하중 혹은 기준에 의한 지진하중 중의 하나를 사용하여 설계할 수 있다. 또한 설계시 가정과 같이 하중이 전달되게 하기 위해 필요할 경우 지지부의 강성도 설계되어야 한다.
 - ② 지지부는 18.2.3에 의해 산정되는 각 지점사이의 상대변위를 수용할 수 있게 설계되어야 한다.
 - ③ 중요도계수가 1.5인 비구조요소에서 지지부가 일체형(즉, 주물이나 단조 등으로 제작된 경우)이 아닌 부착형일 경우 부착된 지지부와 본체사이의 하중전달에 문제가 없는지 검토되어야 한다. 지지부의 재료는 비구조요소의 작동환경(예를 들어 저온환경)에 맞는 적절한 재료로 구성되어야 한다.
 - ④ 얇은 판에 볼트 접합부가 사용될 경우 하중전달에 문제가 없도록 스티프너 혹은 스프링와셔로 보강하여야 한다. 18.1.3.2 혹은 18.1.3.3에 따라 인증을 받은 비구조요소일 경우 인증시 적용된 앵커볼트와 그 밖에 고정에 필요한 부품을 제조자가 고지한 절차에 따라 설치하여야 한다. 인증을 받지 않았거나 설치절차가 고지되지 않은 경우 내진설계책임기술자가 보강상세를 제시하여야 한다.
 - ⑤ 지지부에서 지진하중이 냉간성형된 강재 부재의 약축방향 휨을 통해 지지될 경우 지지부의 안전성을 개별적으로 검토하여야 한다.
 - ⑥ 진동격리장치를 가진 비구조요소는 수평방향으로 변위제한장치(범퍼)를 가져야 하며, 전도방지를 위해 필요할 경우 수직방향으로도 구속되어야 한다. 진동격리장치의 덮개와 변위제한장치는 연성이 있는 재료를 사용하여야 한다. 범퍼와 비구조요소사이에는 충격하중을 감소시키기 위해 적절한 두께를 가진 점탄성 혹은 이와 유사한 재질의 패드가 사용되어야 한다.

18.4.3 승강기와 에스컬레이터

- (1) 에스컬레이터, 승강기, 그리고 승강기 수직통로의 구조시스템은 18.2의 하중 및 변위 요구조건을 충족하도록 설계되어야 한다.

- (2) 승강기설비와 제어장치의 지지부, 그리고 연결부는 18.2의 하중 및 변위 요구조건을 충족하도록 설계되어야 한다.

18.4.4 도관, 케이블 트레이 및 전선로

- (1) 케이블 트레이와 전선로는 18.2의 설계지진력과 상대변위에 대해 설계되어야 한다.
- (2) 60mm 이상의 규격을 가진 도관으로 패널, 케비넷, 혹은 지진에 의해 상대변위가 발생하는 요소에 연결된 경우 18.2의 설계지진력과 상대변위를 만족하도록 설계되거나 유연한 연결부를 가져야 한다.

단, 다음의 경우는 예외로 한다.

- ① I_p 가 1.0인 전선로로써 상대변위를 수용할 수 있도록 유연한 연결부 혹은 그 밖의 장치가 적용되고 케이블트레이나 전선로가 구조물에 튼튼히 고정된 경우 설계지진력과 상대변위를 고려하지 않을 수 있다.
- ② 중요도계수와 상관없이 도관의 크기가 60 mm 미만의 규격을 가지는 경우 설계지진력과 상대변위를 고려하지 않을 수 있다.
- ③ 내진조인트를 지나가는 도관, 케이블 트레이 및 전선로로서 I_p 가 1.5인 경우 규격과 상관없이 상대변위에 대해 설계되어야 한다.

18.4.5 덕트

- (1) HVACR 및 그 밖의 덕트는 18.2의 설계지진력과 상대변위에 대해 설계되어야 한다. 단, 독성, 맹독성, 가연성 가스를 수송하거나, 배연설비로 사용되지 않는 덕트로서 다음의 조건을 만족하는 경우 예외로 한다.

- ① I_p 가 1.0인 덕트로서 상대변위를 수용하는 유연한 연결부 혹은 그 밖의 장치가 적용되고 덕트가 구조물에 튼튼히 고정된 경우 설계지진력과 상대변위를 고려하지 않을 수 있다.
- ② 18.2의 지진력 및 상대변위에 대한 설계는 다른 덕트 또는 기계 구성 요소와의 충돌을 방지하거나 그러한 충격이 가해질 경우 덕트를 보호하기 위한 조항이 있는 경우, 혹은 단면적이 $0.6m^2$ 미만이고 무게가 300N/m 이하인 덕트가 구조물에 튼튼히 부착된 경우 요구되지 않는다.

- (2) 팬(fan), 터미널 장치, 열교환기 및 가습기와 같이 덕트와 함께 설치되는 비구조요소로서 무게가 330 N 이상인 요소는 덕트와 별도로 횡지지되어야 하며 그 횡지지력은 18.2의 설계지진력보다 커야 한다. 덕트와 나란히 설치되고 소형 터미널 장치, 댐퍼, 루버, 디퓨저와 같이 무게가 330N 이하이며 독립적으로 횡지지되지 않는 구성요소는 기계적 정착장치를 통해 덕트의 양쪽에 확실히 고정되어야 한다. 파이프 및 도관은 18.2.3의 상대변위를 수용할 수 있도록 적절한 유연성을 가지고 있어야 한다.

18.4.6 파이프 및 배관 시스템

- (1) 파이프 및 배관 시스템은 18.2의 설계지진력 및 상대변위를 만족할 수 있도록 설계되어야 한다.
- (2) 적용할 재료설계기준이 없을 경우 배관설계 시 각 부분별로 다음과 같이 제시된 허용응력을 기초로 설계한다.
 - ① 연성재료(예 : 강철, 알루미늄 또는 구리)로 이루어진 배관의 경우 공칭항복강도의 90%,
 - ② 연성재료로 이루어진 배관의 나사부분의 경우 공칭항복강도의 70%
 - ③ 비연성재료(예 : 주철 또는 세라믹)로 이루어진 배관의 경우, 공칭 인장강도의 10%
 - ④ 비연성재료로 이루어진 배관의 나사부분의 경우 공칭인장강도의 8%
- (3) 다른 요소와의 연결부에 상대변위를 수용하기 위한 상세가 사용되지 않은 경우 유연한 연결부가 사용되어야 한다.
- (4) 배관시스템의 수평보강의 필요성과 보강부재크기를 결정할 때 밸브, 스트레이너, 트랩, 펌프, 공기분리기 및 탱크와 같이 배관에 단단히 연결되고 지지되는 요소는 배관시스템의 일부로 고려한다. 만약 이들 요소가 중량으로 인해 독립적으로 보강되지만 배관이 보강되지 않은 경우 상대변위를 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

18.4.7 보일러와 압력저장시설

- (1) 보일러와 압력저장시설은 18.2의 하중과 변위를 적용하며 설계하여야 한다. 공인된 전문기준에 따라 설계될 경우 이 기준에 부합하는 것으로 간주한다. 중요도계수가 1.5이지만 공인된 전문기준의 규정에 따라 설계되지 않은 보일러와 압력저장시설은 18.4.9의 규정을 만족하여야 한다.

18.4.8 수도 및 가스

- (1) 인접구조물과의 경계 혹은 동일구조물내에서 서로 독립적인 변위가 발생하는 부분을 가로지르는 설비배관의 경우 예상되는 상대변위를 수용할 수 있도록 적절한 유연성을 가져야 한다. 상대변위는 18.2.3에 따라 산정한다.
- (2) s_{Ds} 가 0.33 이상인 지반에 설치되는 지하수도관과 설비배관의 경우 지진 시 파손가능성에 대해 특별한 주의가 필요하다.

18.4.9 기타 기계 및 전기 비구조요소

- (1) 18장에서 설계법이 규정되지 않은 컨베이어 시스템을 포함한 기계, 전기비구조요소는 다음의 조건을 만족하여야 한다.
 - ① 구성요소와 그 지지물 및 부착물은 18.5, 18.4.2.1, 18.4.2.2 및 18.4.2.3의 요구 사항을 만족해야 한다.
 - ② 위험물질과 관련되어 중요도가 1.5인 기계비구조요소 그리고 공인된 전문기준에 따라 설계되지 않은 보일러와 압력용기의 사용하중 및 그 밖의 환경적 영향과 조합된 지진

하중에 대한 설계강도는 다음의 허용응력에 근거해야 한다.

- 가. 연성재료(강재, 알루미늄, 구리 등)로 이루어진 기계부품의 경우 공칭강도의 90%
- 나. 연성재료로 이루어진 나사 접합부의 경우 공칭강도의 70%
- 다. 비연성재료(플라스틱, 주철, 세라믹)로 이루어진 기계부품의 경우 공칭인장강도의 10%
- 라. 비연성재료로 이루어진 나사부분의 경우 공칭인장강도의 8%

표 18.4-1 기계 및 전기비구조요소의 설계계수

| 기계및전기비구조요소 | 증폭계수 a_p | 반응수정 계수 R_p | 초과강도 계수 Ω_0 |
|---|---------------|------------------|-----------------------|
| 기계및전기비구조요소 | | | |
| 건기축 HVACR, 팬, 공조기, 냉난방장치, 캐비닛히터, 공기분배기 및 금속판금으로 이루어진 기타 기계요소 | 2.5 | 6 | 2 |
| 습기축 HVACR, 보일러, 용광로, 공기탱크, 칠러, 온열기, 열교환기, 증발기, 공기분리기, 제조장비, 고변형성 재료로 구성된 기계요소 | 1 | 2.5 | 2 |
| 에어 클러 (핀 팬), 공냉식 열교환기, 응축기, 건식쿨러, 원격 라디에이터 및 일체형 구조강 또는 판금지지부를 가진 기계요소 | 2.5 | 3 | 1.5 |
| 스커트지지로 지지되지 않고 19장에 포함되지 않은 엔진, 터빈, 펌프, 압축기 및 압력 용기 | 1 | 2.5 | 2 |
| 19장에 포함되지 않으면서 스커트지지로 지지되는 압력용기 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 엘리베이터 및 에스컬레이터 구성품 | 1 | 2.5 | 2 |
| 발전기, 배터리, 인버터, 모터, 변압기 및 고변형재료로 구성된 전기요소 | 1 | 2.5 | 2 |
| 모터 컨트롤 센터, 패널 보드, 스위치 기어, 계기 캐비닛 및 그 밖의 금속판금으로 이루어진 유사한 비구조요소 | 2.5 | 6 | 2 |
| 통신 장비, 컴퓨터, 계측기 및 제어 장치 | 1 | 2.5 | 2 |
| 질량중심 아래에서 횡지지된 냉각 및 전기타워, 지붕에 설치된 굴뚝 | 2.5 | 3 | 2 |
| 질량중심 위에서 횡지지된 냉각 및 전기타워, 지붕에 설치된 굴뚝 | 1 | 2.5 | 2 |
| 조명기구 | 1 | 1.5 | 2 |
| 기타 기계 또는 전기 비구조요소 | 1 | 1.5 | 2 |
| 진동격리된 부품및시스템 | | | |
| 탄성중합체 완충장치 또는 탄성주변정지장치를 가진 네오프렌 요소 및 네오프렌 격리층으로 격리된 요소 및 시스템 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 탄성중합체 완충장치 또는 탄성주변정지장치를 가진 스프링 격리 장치 및 진동격리 바닥으로 격리된 요소 및 시스템 | 2.5 | 2 | 2 |
| 내부적으로 격리된 요소 및 시스템 | 2.5 | 2 | 2 |
| 매달림 형태의 진동방지장치를 가진 덕트 및 요소 | 2.5 | 2.5 | 2 |
| 배관시스템 | | | |
| 관련전문기준에 따른 파이프로 용접 또는 납땜을 사용한 접합부를 가진 경우 | 2.5 | 12 | 2 |
| 관련전문기준에 따른 파이프로 대변형이 가능한 재료 혹은 변형이 제한된 재료로 이루어져 있으면서 나사, 본드, 압축커플링, 그루브 커플링의 접합부를 가진 경우 | 2.5 | 6 | 2 |
| 관련전문기준을 따르지 않는 파이프 및 튜브로 대변형이 가능한 재료로 이루어져 있으면서 용접 또는 납땜을 사용한 접합부를 가진 경우 | 2.5 | 9 | 2 |
| 관련전문기준을 따르지 않는 파이프 및 튜브로 대변형이 가능한 재료 혹은 변형이 제한된 재료로 이루어져 있으면서 나사, 본드, 압축커플링, | 2.5 | 4.5 | 2 |

| | | | |
|--|-----|-----|---|
| 그루브 커플링의 접합부를 가진 경우 | | | |
| 주철, 유리 및 비연성 플라스틱과 같이 변형이 적은 재료로 제작된 파이프 및 튜브 | 2.5 | 3 | 2 |
| 대변형이 가능한 재료로 이루어져 있으면서 용접 또는 납땀 접합부를 가진 덕트 | 2.5 | 9 | 2 |
| 대변형이 가능한 재료 혹은 변형이 제한된 재료로 이루어져 있으면서 용접 또는 납땀이 아닌 형식의 접합부를 가진 덕트 | 2.5 | 6 | 2 |
| 주철, 유리 및 비연성 플라스틱 등의 변형이 적은 재료로 제작된 덕트 | 2.5 | 3 | 2 |
| 전기 전선 및 케이블 트레이 | 2.5 | 6 | 2 |
| 버스 덕트 | 1 | 2.5 | 2 |
| 급배수 배관 | 1 | 2.5 | 2 |
| 공압 튜브 수송 시스템 | 2.5 | 6 | 2 |

a. 강제요소와 단단히 부착된 요소의 경우 $a_p = 1$ 이며, 유연한 요소와 유연하게 부착된 요소의 경우 $a_p = 2.5$ 이다. 상세한 동적해석에 의해 증명되는 경우 표에 규정된 값보다 더 낮은 a_p 를 사용할 수 있다. a_p 의 값은 1보다 작아서는 안 된다.

b. 방진 장치에 장착된 부품은 각 수평 방향으로 범퍼구속 또는 완충장치가 있어야 한다. 설계하중은 공칭유격이 6 mm보다 큰 경우 $2F_p$ 로 하고 시공도면에 명시된 공칭유격이 6 mm이하일 경우 F_p 로 할 수 있다.

c. 초과강도계수는 콘크리트 및 조적조에 비연성앵커가 사용되었을 경우 적용한다

18.5 비구조요소의 정착부

(1) 비구조요소의 정착은 다음에 따라야 한다.

- ① 비구조요소 정착부에 작용하는 하중은 18.2에 의해 산정된 지진하중과 상대변위로부터 구한다. 단, R_p 는 6을 초과하지 않아야 한다.
- ② 콘크리트에 묻히는 정착부의 내력은 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준에 따르며, KDS 14 20 54에서 규정하지 않은 사항은 공인된 설계기준에 따를 수 있다.
- ③ 조적조에 묻히는 정착부의 내력은 공인된 설계기준에 따라 구한다.
- ④ 콘크리트에 설치되는 후설치 앵커의 뽑힘 인장강도, 부착강도, 전단강도는 KDS 14 20 54의 규정에 따라 모의지진실험에 근거하여 평가되어야 하며, 공인기관의 인증서에 의해 공개된 것이어야 한다. 또한 조적조에 설치되는 후설치 앵커는 공인된 설계기준의 규정에 따라 내진인증된 것이어야 한다
- ⑤ 정착부의 내력은 편심과 프라잉효과의 영향을 고려하여 정한다.
- ⑥ 앵커 그룹의 경우 그룹내 개별 앵커간의 하중분배를 고려하여야 한다. 앵커그룹의 설계는 KDS 14 20 54에 따르며, KDS 14 20 54에서 규정하지 않은 사항은 공인된 설계기준에 따를 수 있다.
- ⑦ 동력 고정앵커

내진설계범주 D의 구조물에서 콘크리트 혹은 강재의 정착부를 동력을 이용하여 고정하는 앵커는 지진하중에 대해 인증되지 않는 한 계속적으로 인장을 받는 부위나 가새부재에 사용할 수 없다. 조적조에 묻히는 정착부에 동력을 이용하여 고정하는 앵커는 지진하중에 대해 인증되지 않는 한 사용할 수 없다. 단, 다음의 경우는 예외로 한다.

가. 콘크리트에 묻히는 정착부에 동력을 이용하여 고정하는 앵커는 각 앵커당 사용하중이 400N을 초과하지 않는 경우 흡음타일 혹은 비부착식 매달린 천장과 배관시스템에 적용할 수 있다.

나. 강재의 정착부를 동력을 이용하여 고정하는 앵커는 각 앵커당 사용하중이 1100N을 초과하지 않는 경우 적용할 수 있다.

⑧ 마찰클립

내진설계범주 D의 구조물에서 마찰클립은 지진하중을 지지하기 위해 사용될 수 있으나 추가로 연직하중지지를 위해 사용할 수 없다.

19. 건물외구조물

19.1 일반사항

19.1.1 적용범위

(1) 이 절은 건물외구조물의 내진설계에 적용한다. 건물외구조물은 이 절에서 규정된 최소 설계지진력에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 이 절에서 제시되지 않은 설계 절차는 다른 장의 규정과 부합하여야 한다.

19.1.2 구조해석

(1) 건물외구조물의 구조해석은 7.1에 규정된 해석법 또는 15장에 규정된 해석절차를 따를 수 있다.

19.1.3 건물외구조물의 건축, 기계 및 전기 비구조요소

(1) 건물외구조물에 의해 지지되는 건축, 기계 및 전기 비구조요소의 설계는 18장에 따른다.

19.2 다른 구조물에 의해 지지되는 건물외구조물

(1) 표 19.3-2에 정의된 건물외구조물이 다른 구조물에 의해 지지되고, 건물외구조물이 주된 지진력저항시스템의 일부가 아닌 경우, 건물외구조의 중량과 전체중량의 비에 따른 설계절차는 다음과 같다.

19.2.1 중량 합계의 25% 미만일 경우

(1) 건물외구조물의 중량이 건물외구조물과 지지구조물의 중량 합계의 25%보다 작은 경우, 건물외구조물에 작용하는 설계지진력은 18장에 따라 산정하여야 한다. 여기서 R_p 와 a_p 의 값은 18장의 규정에 따라 결정하여야 한다. 지지구조물은 그 유효중량에 건물외구조물의 중량을 포함하여 8장 또는 '19.4 건물과 유사한 건물외구조물'의 요구사항에 따라 적절하게 설계하여야 한다.

19.2.2 중량 합계의 25% 이상일 경우

- (1) 건물외구조물의 중량이 건물외구조물과 지지구조물의 중량 합계의 25% 이상인 경우, 건물외구조물의 설계지진력은 건물외구조물과 지지구조물로 구성된 전체 시스템의 해석결과로부터 다음과 같이 결정한다.
- ① 건물외구조물의 고유주기 T 가 0.06초 미만인 경우에는 강제요소로 간주한다. 지지구조물은 1장에서 18장까지 또는 '19.4 건물과 유사한 건물외구조물'의 요구사항에 따라 적절하게 설계되어야 하며, 조합 시스템의 R 값은 지지구조물의 R 값을 사용할 수 있다. 건물외구조물과 부속물은 18장의 절차에 따라 설계하여야 하며, 여기서 R_p 의 값은 표 19.3-2에 명시된 건물외구조물의 R 값을 사용하며, a_p 값은 1.0을 사용한다.
 - ② 건물외구조물의 고유주기 T 가 0.06초 이상인 경우에는 건물외구조물과 지지구조물은 적절한 강성과 유효중량 분포를 갖는 조합 모델로 함께 모델링해야 한다. 조합구조물은 건물외구조물 또는 지지구조물의 R 값 중 더 작은 값을 조합 시스템의 R 값으로 정하여 19.4에 따라 설계하여야 한다. 건물외구조물과 부속물은 함께 해석한 후 건물외구조물에 가해진 힘에 대하여 설계하여야 한다.

19.3 내진설계 규정

- (1) 지진력에 저항하는 건물외구조물은 19.3의 설계지진력에 저항하도록 19.4, 및 19.5에 따라 설계하여야 한다.

19.3.1 유효중량

- (1) 설계지진력 산정을 위한 유효중량은 7장의 규정에 따라 산정하되 탱크, 저장용기 및 파이프 내부의 내용물 등의 사용 시 중량도 포함하여야 한다. 눈이나 얼음으로 인한 하중이 유효중량의 25% 이상을 차지하는 경우에는 이 하중을 포함하여야 한다.

19.3.2 고유주기

- (1) 고유주기는 7.2.3과 같이 저항요소의 변형특성과 구조적 특성을 고려한 적절한 구조해석을 통해 산정한다. 식 (7.2-6) 및 (7.2-7)은 건물외구조물의 주기 결정에 사용해서는 안 된다. 그 대신, 고유주기 T 는 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \tag{19.3-1}$$

여기서, f_i : 구조역학의 원리에 따라 가정된 횡력 분포

g : 중력가속도

δ_i : f_i 를 적용하여 구한 탄성 변형

w_i : f_i 에 대응하는 유효중량

19.3.3 설계지진력

(1) 건물외구조물의 설계지진력은 7.2.1, 7.3 및 다음의 사항을 고려하여 산정한다. 설계지진력의 수직분포는 7.2.5에 따른다.

- ① 건물과 유사한 건물외구조물의 경우에는 표 6.2-1 또는 표 19.3-1의 반응수정계수를 사용한다.
- ② 건물과 유사하지 않은 건물외구조물의 경우에는 표 19.3-2의 반응수정계수를 사용한다. 이 경우 식 (7.2-5)는 다음과 같이 변경한다.

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_E \geq 0.03 \quad (19.3-2)$$

표 19.3-1 건물과 유사한 건물외구조물의 설계계수

| 지진력저항시스템 | 설계계수 | | | 시스템의 제한과 높이(m) 제한 | | |
|---------------------|------------|-----------------------|--------------|-------------------|----------|----------|
| | 반응수정계수 R | 시스템초과 강도계수 Ω_0 | 변위증폭계수 C_d | 내진설계범주 A 또는 B | 내진설계범주 C | 내진설계범주 D |
| 1. 골조시스템 | | | | | | |
| a. 철골 특수중심가새골조 | 6 | 2 | 5 | - | - | - |
| b. 철골 보통중심가새골조 | 3.25 | 2 | 3.25 | - | - | - |
| 2. 모멘트저항골조시스템 | | | | | | |
| a. 철골 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| b. 철근콘크리트 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| c. 철골 중간모멘트골조 | 4.5 | 3 | 4 | - | - | - |
| d. 철근콘크리트 중간모멘트골조 | 5 | 3 | 4.5 | - | - | - |
| e. 철골 보통모멘트골조 | 3.5 | 3 | 3 | - | - | - |
| f. 철근콘크리트 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 2.5 | - | - | 30 |
| 3. 철제 적재 선반 | 4 | 2 | 3.5 | - | - | - |
| 4. 철제 형강 캔틸레버 적재 선반 | | | | | | |
| a. 보통모멘트골조 | 2.5 | 3 | 3 | - | - | - |
| b. 보통가새골조 | 3 | 3 | 3 | - | - | - |
| 5. 철제 박판 캔틸레버 적재 선반 | | | | | | |
| a. 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 3 | - | - | - |
| b. 보통가새골조 | 3 | 3 | 3 | - | - | - |

표 19.3-2 건물과 유사하지 않은 건물외구조물의 설계계수

| 지진력저항시스템 | 설계계수 | | | 시스템의 제한과 높이(m) 제한 | | |
|---|------------|-----------------------|--------------|-------------------|----------|----------|
| | 반응수정계수 R | 시스템초과 강도계수 Ω_0 | 변위증폭계수 C_d | 내진설계범주 A 또는 B | 내진설계범주 C | 내진설계범주 D |
| 1. 고가탱크, 저장용기, 저장 상자 또는 깔대기형 상자 ¹⁾ | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|------|------|------|---|----|----|
| a. 대칭형 가새지주에 지지된 경우 | 3 | 2 | 2.5 | - | - | 50 |
| b. 비가새지주 또는 비대칭 가새지주에 지지된 경우 | 3 | 2 | 2.5 | - | - | 30 |
| 2.안장형 받침대에 지지된 용접접합의 철골조 수평저장용기 | 3 | 2 | 2.5 | - | - | - |
| 3.지면에 지지된 하부가 평평한 탱크 및 저장용기 | | | | | | |
| a. 철골조 또는 섬유보강 플라스틱조 기계적 앵커로 고정된 경우 | 3 | 2 | 2.5 | - | - | - |
| 자체고정식일 경우 | 2.5 | 2 | 2 | - | - | - |
| b. 철근콘크리트조 또는 프리스트레스 콘크리트조 | | | | | | |
| 미끄럼방지 밀면일 경우 | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| 고정된 유연한 밀면일 경우 | 3.25 | 2 | 2 | - | - | - |
| 고정되지 않은 유연한 밀면일 경우 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| c. 기타 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 4.기초까지 연속된 벽체를 사용한 현장타설 콘크리트 사일로, 연도, 굴뚝 | 3 | 1.75 | 3 | - | - | - |
| 5. 보강조적조 구조물 | 2 | 2.5 | 1.75 | - | 50 | 불가 |
| 6. 비보강조적조 구조물 | 1.25 | 2 | 1.5 | - | 불가 | 불가 |
| 7. 굴뚝 및 연도 | | | | | | |
| a. 콘크리트조 | 2 | 1.5 | 2 | - | - | - |
| b. 철골조 | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| 8. 표에서 언급되지 않은, 분포된 질량을 갖는 철골조 및 철근콘크리트조 단일 기둥 또는 스카트 지지 캔틸레버 구조물 (연도, 굴뚝, 사일로, 스카트 지지 수직 저장용기를 포함) | | | | | | |
| a. 용접 철골 | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| b. 특수상세를 가진 용접 철골 | 3 | 2 | 2 | - | - | - |
| c. 프리스트레스 또는 철근 콘크리트 | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| d. 특수상세를 가진 프리스트레스 또는 철근 콘크리트 | 3 | 2 | 2 | - | - | - |
| 9.트러스형 탑(자립형 또는 버팀줄형), 버팀 줄지지 연도 및 굴뚝 | 3 | 2 | 2.5 | - | - | - |
| 10. 냉각탑 | | | | | | |
| a. 콘크리트조 또는 철골조 | 3.5 | 1.75 | 3 | - | - | - |
| b. 목구조 골조 | 3.5 | 3 | 3 | - | - | - |
| 11.통신용 탑 | | | | | | |
| a. 트러스 : 철골 | 3 | 1.5 | 3 | - | - | - |
| b. 장대 : 철골 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 목구조 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 콘크리트 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| c. 골조 : 철골 | 3 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 목구조 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 콘크리트 | 2 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 12. 육상풍력발전기의 철골 지지구조물 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | - | - | - |
| 13. 놀이시설 구조물과 기념물 | 2 | 2 | 2 | - | - | - |

| | | | | | | |
|---|------|------|-----|---|---|----|
| 14. 역추형 구조물 (고가탱크 및 저장용기는 제외) ²⁾ | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| 15. 지면지지 캔틸레버 벽체 또는 울타리 | 1.25 | 2 | 2.5 | - | - | - |
| 16. 간판, 표지판, 광고판 | 3.0 | 1.75 | 3 | - | - | - |
| 17.위에 포함되지 않은 자립형 구조물, 탱크 또는 저장용기 | 1.25 | 2 | 2.5 | - | - | 15 |

- 1) 5.3에서 정의한 비정형성을 갖는 타워
- 2) 조명탑과 집중조명기 등을 포함

19.3.4 건물외구조물의 중요도 계수

(1) 건물외구조물의 중요도계수는 표 19.3-3에 주어진 값으로 한다. 구조물의 내진등급, 위험성, 기능성을 고려하여 가장 큰 중요도계수를 적용한다.

표 19.3-3 건물외구조물의 중요도계수(I_E)와 내진등급의 분류

| 중요도계수 | $I_E = 1.0$ | $I_E = 1.2$ | $I_E = 1.5$ |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.2에 따른 내진등급 | II | I | 특 |
| 위험성 | H-1 | H-1 | H-2 |
| 기능성 | F-1 | F-1 | F-2 |

- H-1 = 저장된 물품이 생물학적 또는 환경적으로 양호한 경우; 화재 또는 물리적 위험이 적은 경우
- H-2 = 저장된 물품이 소방법, 유해화학물질관리법 또는 산업안전보건법에 의해 건강장해물질, 환경유해성 물질 또는 물리적 위험물로 분류되는 경우
- F-1 = F-2로 분류되지 않은 건물외구조물
- F-2 = 내진특등급에 해당하는 건물외구조물 또는 내진특등급으로 분류되는 지정된 부속물로서 내진특등급에 해당하는 구조물의 운용에 필요한 건물외구조물(통신탑, 연료저장탱크, 냉각탑 또는 전력변전 구조물과 같은 구조물 등)

19.3.5 강체 건물외구조물

(1) 고유주기가 0.06초 미만인 건물외구조물과 그 정착부는 다음과 같은 밀면전단력에 대하여 설계하여야 한다.

$$V = 0.3 S_{DS} W I_E \tag{19.3-3}$$

여기서, I_E : 표 19.3-3에 의한 중요도계수

S_{DS} : 4.2.2에 의한 단주기의 설계스펙트럼가속도

V : 건물외구조물의 전체 밀면전단력

W : 19.3.1에 의한 건물외구조물의 유효중량

설계지진력의 수직분포는 7.2.5에 따른다.

19.3.6 수직지반운동에 민감한 건물외구조물

19.3.6.1 수직지진하중

- (1) 수평 캔틸레버를 가지는 탱크, 저장용기, 매달린 구조물의 경우, 수직방향 지반운동을 고려하여야 한다. 수직방향 지진력은 수직설계응답가속도스펙트럼을 사용하여 7.3.3의 응답스펙트럼해석법이나 7.2와 19.3의 등가정적해석법으로 산정할 수 있다. 시간이력 해석법을 사용할 경우 수직설계응답가속도스펙트럼과 적합한 수직방향 지반운동을 포함하여야 한다. 수직설계응답가속도스펙트럼은 수평설계응답가속도스펙트럼에 대한 비로 결정하는데, 암반지반(S1)에서는 0.77, 토사지반(S2~S5)에서는 2/3를 사용한다. 토사지반에서의 이 비율은 공학적 판단 또는 공인된 관련 전문기준에 따라 산정할 수도 있다.
- (2) 매달린 구조물과 수평 캔틸레버를 가지는 건물외구조물의 경우, 수직설계스펙트럼가속도 s_{av} 는 수직설계응답가속도스펙트럼에서 최댓값으로 하거나 합리적인 해석을 통해 결정된 수직방향주기에 해당하는 수직설계스펙트럼가속도의 값을 사용할 수 있다.
- (3) 탱크 및 저장용기의 수직 지진하중은 19.6.2(1)③에 따라 산정한다. 원통형 탱크 벽체에서 수직 설계지반운동에 의한 유체역학적 하중은 19.6.2(1)③나.에 따라 결정한다.
- (4) 수직방향 지진력에 적용되는 반응수정계수 R 은 원통형 탱크 벽체에서 유체역학적 후프 힘을 결정할 때를 제외하고는 1.0으로 한다.

19.3.6.2 수직지진하중의 하중조합

- (1) 매달린 구조물과 수평 캔틸레버를 가지는 구조물의 경우, 수직방향 지진력은 다음의 규정에 따라 수평방향 지진력과 조합되어야 한다.

① 강도 설계

구조 부재의 강도설계에서는 가장 위험한 하중효과를 발생시키는 방향으로 작용하는 지진하중을 고려하여야 한다. 이 요구사항은 구조 부재가 다음의 하중조합에 대해 설계될 경우 만족하는 것으로 간주한다.

가. 수평방향 힘(100%) + 수평직각방향 힘(30%) + 수직방향 힘(30%)

나. 수직방향 힘(100%) + 수평방향 힘(30%) + 수평직각방향 힘(30%)

② 전도 및 안정성

구조물의 전도에 대한 안정성 및 미끄러짐 평가에서는 가장 위험한 하중효과를 발생시키는 방향으로 작용하는 지진하중을 고려하여야 한다. 이 요구사항은 구조물 및 기초가 다음의 하중조합에 대해 설계될 경우 만족하는 것으로 간주한다.

가. 수평방향 힘(100%) + 수평직각방향 힘(30%) + 수직방향 힘(30%)

19.3.7 우발 비틀림

- (1) 다음에 해당하는 건물외구조물에서 구조체, 건물외구조물내의 내용물과 비구조요소, 지지구조 등 전체적인 강성과 질량분포가 7.3.2에 따른 3차원해석을 통해 고려될 경우 7.2.6.4의 우발 비틀림 요구사항은 고려하지 않아도 된다.

① 강체로 볼 수 있는 건물외구조물

- ② 3.5 이하의 R 값으로 설계하는 건물과 유사하지 않은 건물외구조물
- ③ 3.5 이하의 R 값으로 설계하는 건물과 유사한 건물외구조물 중 다음 조건 중 하나를 만족할 때
 - 가. 각 다이어프램에서 계산된 강성중심과 질량중심의 거리가 각 방향 다이어프램의 평면 치수의 5% 보다 큰 경우
 - 나. 수평비틀림 비정형유형 H-1에 해당하지 않고, 각 주축방향 에서 2개 이상의 횡하중 저항경로를 가지는 경우. 이때 적어도 1개의 횡하중 저항경로는 질량중심으로부터 구조물 평면 치수의 20%를 초과하지 않는 거리 내에서 확보되어야 한다.

19.3.8 변위제한

- (1) 변위제한은 8.2.3의 규정에 따른다. 단, 합리적인 해석을 통해 구조적 안정성에 지장을 주지 않는 것으로 검증된 경우에는 8.2.3의 규정을 적용하지 않아도 된다.

19.3.9 기타 설계요구사항

- (1) 19.6에서 다루고 있는 기초에 의해 직접 지지되는 액체, 기체, 가루형태의 고체를 담고 있는 건물외구조물의 경우, 설계지진력은 해당 시스템의 공인된 관련 전문기준에서 요구하는 값보다 작을 수 없다.
- (2) 19장에서 다루고 있는 건물외구조물 중 특정 유형에 대해 내진설계 절차를 규정하는 전문기준이 있더라도 그 기준을 적용하기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.
 - ① 지반가속도와 설계계수는 3장 및 4장의 요구 사항을 따라야 한다.
 - ② 설계에서 사용되는 총 횡하중과 총 전도모멘트는 이 기준에 따라 지반-구조물 상호작용을 고려하여 산정된 밀면전단력 및 전도모멘트의 80% 이상이어야 한다.
- (3) 지반-구조물 상호작용에 의한 기초 감쇠의 영향을 고려할 경우 밀면전단력을 감소시킬 수 있으나 감소된 밀면전단력은 이 기준에 의한 밀면전단력의 70% 이상이어야 한다.
- (4) 별도로 명시되어 있지 않는 한, 중력하중과 지진하중은 각 구조재료별로 제시된 계수 하중 조합에 따라 조합되어야 한다.
- (5) 공인된 관련 기술표준 또는 관련 행정기관에서 요구하는 경우, 특정 형식의 건물외구조물은 부지고유 응답스펙트럼을 사용할 수 있다. 단, 대상 부지의 지역적인 지진활동도, 지질구조, 예상재현주기, 알려진 지진위험도로부터 구한 지진의 규모 등이 명확히 규명되어야 한다. 특정 건물외구조물의 전문기준에서 더 큰 재현주기를 정의한다면 해당 재현주기를 따를 수 있다.

19.3.10 콘크리트 또는 조적조 앵커

- (1) 콘크리트에 묻히는 정착부의 내력은 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준에 따르며, KDS 14 20 54에서 규정하지 않은 사항은 공인된 설계기준에 따를 수 있다. 단, KDS 14 20 54의 4.1 설계 일반사항 (3)⑥은 “④와 ⑤의 조건을 만족하지 못하는 경

우, 앵커 또는 앵커 그룹은 초과강도계수 Ω_o 에 의해 증대된 지진하중 E 에 대하여 설계되어야 한다.”로 수정하여 적용한다.

- (2) 조적조에 묻히는 정착부의 내력은 공인된 설계기준에 따라 구한다.
- (3) 콘크리트에 설치되는 후설치 앵커의 뽑힘 인장강도, 부착강도, 강재 전단강도는 KDS 14 20 54의 규정에 따라 모의지진실험에 근거하여 평가되어야 하며, 공인기관의 인증서에 의해 공개된 것이어야 한다. 또한 조적조에 설치되는 후설치 앵커는 공인된 설계기준의 규정에 따라 내진인증된 것이어야 한다

19.4 건물과 유사한 건물외구조물에 대한 요구사항

19.4.1 일반사항

- (1) 건물과 유사한 건물외구조물은 19.3를 포함한 KDS 41 17 00의 규정에 따라 설계하여야 한다. 지진하중 E 의 조합은 각 구조재료별로 제시된 계수하중 조합을 따른다.

19.4.2 파이프 선반

19.4.2.1 설계고려사항

- (1) 기초를 가진 파이프 선반은 19.4.1의 규정과 함께 7.2(등가정적해석법) 또는 7.3.3(응답스펙트럼해석법)의 하중 요구사항을 만족하도록 설계하여야 한다. 또한, 식 (19.4-1)에 의한 변위를 사용하여 파이프 선반의 변위와 상호 작용(배관 시스템의 부딪힘)의 발생가능성을 검토하여야 한다.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_E} \tag{19.4-1}$$

여기서, C_d : 표 19.3-1의 변위증폭계수

δ_{xe} : 설계지진력을 사용하여 산정된 변위

I_E : 표 19.3-3에서 정의한 중요도계수

- (2) 파이프 시스템과 정착부의 설계는 18장을 참조한다. 중력하중으로 인한 마찰력은 지진력에 대한 저항력으로 고려해서는 안 된다.

19.4.3 적재 선반

- (1) 지표면 또는 지표면 아래에서 철골로 지지되는 캔틸레버 적재선반의 설계는 19.1, 19.2, 19.3, 19.4.1 및 19.4.3.1에서 19.4.3.4에 따른다.

19.4.3.1 주요 요구사항

- (1) 적재선반은 19.4.3의 하중 요구사항을 충족해야 한다. 창고형 판매장과 같이 대중에게 공개된 적재선반의 중요도계수 I_E 는 1.5로 한다.

예외 : 기초로 지지되는 철골조 적재선반은 KDS 41 17 00의 요구사항을 만족한다면 $R=4$ 를 갖는 구조물로 설계할 수 있다.

19.4.3.2 유효중량

- (1) 적재선반은 다음과 두 경우에 해당하는 선반중량과 적재하중의 분포 모두를 고려하여 설계되어야 한다. 이때 각 적재물 질량중심의 실제 높이를 고려해야 한다.
 - ① 선반의 모든 층에 정격 적재하중의 67%가 작용할 경우
 - ② 선반의 최상층에 정격 적재하중의 100%가 작용할 경우

19.4.3.3 지진력의 수직 분포

- (1) 적재선반의 지진력의 수직분포는 7.2.5의 규정을 다음과 같이 적용하여 산정한다.
 - ① 철골조 적재선반의 밀면전단력은 일반건물의 밀면전단력 v 와 동일한 방법으로 산정한다.
 - ② 적재선반을 지지하는 바닥을 구조물의 밀면으로 한다. 식 (7.2-9)에서 h_i 과 h_x 는 밀면에서부터 측정한 선반 각 층의 높이로 한다.
 - ③ 계수 k 는 1.0으로 할 수 있다.

19.4.3.4 횡변위

- (1) 적재선반은 인접한 요소와의 사이에서 발생하는 상대변위를 수용할 수 있도록 설치되어야 한다. 철골조 적재선반의 총 상대변위는 시험자료 또는 해석에 의해 검증되지 않은 한, 바닥으로부터 구조체의 높이 h_n 의 5% 보다 작을 수 없다.

19.4.4 발전시설

- (1) 집단에너지 공급시설을 포함한 발전시설은 19.3에 규정된 계수 및 18장과 19장의 규정에 따라 설계하여야 한다.

19.4.5 탱크 및 저장용기 지지구조

- (1) 탱크 및 저장용기를 지지하지만 탱크와 일체가 아닌 지지구조는 19.3의 요구 사항 및 아래의 사항을 만족하도록 설계하여야 한다.
 - ① 지진하중의 수직분포는 탱크 또는 저장용기와 지지구조의 상대적인 강성을 고려하여 결정한다.
 - ② 수직 반력의 분포는 탱크 또는 저장용기와 지지구조의 상대적인 강성을 고려하여 결정한다. 탱크 또는 저장용기가 격자 보로 지지되는 경우, 중량과 전도에 의해 계산된 수직 반력은 불균등 지지를 고려하여 최소한 20% 할증되어야 한다. 격자 보와 저장용기의 부착물은 할증된 하중에 대해 설계하여야 한다.
 - ③ P- Δ 효과 혹은 구조물과 탱크의 부딪힘을 검토할 경우 탱크 및 저장용기의 횡변위와 지지구조의 횡변형 모두를 고려하여야 한다. P- Δ 효과는 표 19.3-2의 적절한 C_d 값을 이용하여 탄성해석에 의한 변위에 C_d/I_e 를 곱한 값을 사용하여 평가한다.
- (2) 지지구조와 일체인 탱크 및 저장용기는 19.6.10에 따라 설계하여야 한다.

19.5 건물과 유사하지 않은 건물외구조물에 대한 요구 사항

- (1) 건물과 유사한 수평 및 수직 지진력저항시스템이 없는 건물외구조물은 이 절에서 수정된 사항을 포함해서 KDS 41 17 00에서 제시된 사항과 관련된 전문기준에 따라 설계하여야 한다. 하중과 하중 분포는 KDS 41 17 00을 따라 결정된 것보다 작지 않아야 한다. 지진하중 E 의 조합은 각 구조재료별로 제시된 하중조합을 따른다.

19.5.1 흙막이 구조물

- (1) 이 절은 건축대지위의 건축물에 부속되거나 인접한 흙막이 구조물에 적용한다. 지반 운동에 의한 횡방향 토압은 14.5 및 관련 전문기준에 따라 계산한다. 내진등급은 흙막이 구조물이 주위의 건물과 구조물에 얼마나 근접하였는지에 따라 결정한다. 흙막이 구조물의 파괴가 인접한 건물 또는 구조물에 영향을 미칠 경우 흙막이 구조물의 내진등급은 인접한 건물 또는 구조물의 내진등급보다 작아서는 안 된다.
- (2) 흙막이 벽은 지진하중에 대해 항복 또는 비항복 벽으로 설계할 수 있다. 철근 콘크리트 캔틸레버 또는 조적조 옹벽은 항복하는 벽으로 가정해야 하고, 단순 휨벽체 요소로 설계하여야 한다.

19.5.2 굴뚝

19.5.2.1 일반사항

- (1) 굴뚝은 콘크리트, 철골 또는 조적조로 건설될 수 있다. 굴뚝은 적절하게 산정된 수평 지진력에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다. 굴뚝 내부에 라이너(chimney liner)가 있을 경우 상호 작용을 고려해야 한다. 굴뚝과 라이너는 횡변위를 고려하여 충분히 이격되어 있어야 한다.

19.5.2.2 콘크리트 굴뚝

- (1) 응답스펙트럼해석법을 설계에 사용하는 경우 7.3.3의 절차를 적용할 수 있다. 콘크리트 굴뚝은 공인된 전문기술표준의 요구 사항에 따라 설계하나 다음의 사항을 준수하여야 한다.
 - ① 설계밀면전단력은 19.3에 근거하여 결정한다.
 - ② 설계계수는 표 19.3-2에 제시된 값을 적용한다.
 - ③ 개구부는 다음의 요구사항을 만족하여야 한다.
- (2) 내진설계범주 D에 해당하는 콘크리트 굴뚝의 경우 수직철근의 이음위치는 50% 이상의 수직철근의 이음이 한군데에서 중복하지 않도록 엇갈려 배치되어야 한다. 겹침이음의 경우 정착길이만큼 서로 엇갈려야 한다.
- (3) 개구부에 의한 단면적의 감소가 10%를 초과하는 경우 개구부의 가장 큰 폭의 절반에 해당하는 거리만큼 개구부의 위와 아래로 확장된 구간에 대해 초과강도계수 1.5를 사용하여 결정된 수직력, 전단력, 휨모멘트에 대하여 설계되어야 하며 수직철근은 그 구

간 밖으로 적절한 정착길이를 가지고 정착되어야 한다.

- (4) 개구부 주변은 KDS 14 20 50의 4.4.2 압축부재의 횡철근 규정에 따라 배근하여야 한다. 개구부 보강이 필요한 부분의 폭은 벽두께의 2배이상이어야 하며, 높이는 개구부 위아래 방향으로 벽두께의 2배이상 연장된 길이 혹은 수직철근의 정착길이 이상이어야 한다. 개구부 보강이 필요한 구간 내에 기초 또는 기초판이 있을 경우에도 보강이 이루어져야 한다. 보강부분의 수직철근비는 KDS 14 20 20의 4.3.2 압축부재의 철근량 제한 규정을 만족하여야 한다.

19.5.2.3 철골 굴뚝

- (1) 응답스펙트럼해석법을 설계에 사용하는 경우, 7.3.3의 절차를 적용할 수 있다. 철골 굴뚝은 공인된 전문기술표준의 요구 사항에 따라 설계할 수 있으나 다음의 사항을 준수하여야 한다.
 - ① 설계밀면전단력은 19.3에 근거하여 결정한다.
 - ② 설계계수는 표 19.3-2에 제시된 값을 적용한다.

19.5.3 놀이시설 구조물

- (1) 놀이시설 구조물은 주로 사람들의 수송과 오락을 위해 영구히 고정된 구조물이다. 놀이시설 구조물은 19.3에 따라 결정된 수평지진력에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

19.5.4 하수처리시설

- (1) 하수처리시설은 유체를 담고 있는 구조물로 평상시의 경우 이 구조물의 양측 벽에는 동일한 높이의 유체에 의한 압력이 작용하나 지진 시에는 양측 벽에 서로 다른 유체력이 지진과 위상차를 가지고 작용한다. 하수처리시설에는 분리 벽, 저수조 벽, 둑 및 기타 유사 구조물이 포함된다.

19.5.4.1 설계 고려사항

- (1) 하수처리시설은 구조물과 유체의 관성력 및 유체의 슬로싱에 의해 발생하는 힘 모두를 고려하여 설계하여야 한다. 유체의 슬로싱에 의한 불균형력은 양측벽에 동시에 적용하여야 하며 지진과의 위상차를 고려하여야 한다. 예측된 슬로싱의 높이와 구조물의 여유 높이를 비교하여야 한다. 정류장치 또는 지붕 지지대와 같은 내부요소 또한 불균형력과 슬로싱 효과에 대해 설계되어야 한다.

19.5.4.2 저수조 벽

- (1) 저수조 벽은 공인된 관련 전문기준과 관련 행정기관의 요구 사항을 만족해야 한다. 저수조가 비어있을 경우에는 3장에 따라 결정된 최대고려지진에 대해, 가득차 있을 경우에는 최대고려지진의 2/3 및 모든 유체역학적 힘에 대해 설계되어야 한다. 공인

된 관련 전문기준 또는 관련 행정기관에 의해 요구된 위험도 평가에 의해 해당부지에서 최대고려지진과 동일한 규모의 여진이 발생할 수 있다고 판단되는 경우, 저수조벽은 최대고려지진 및 모든 유체역학적 힘을 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

- (2) 저수조 벽의 높이는 유체의 출렁임을 고려하여 여유고를 가지도록 설계되어야 한다.
- (3) 주구조물의 중요도계수가 공인된 전문기술표준에 따라 완화된 경우 여유고의 높이 δ_s 는 식 (19.5-1)의 의한 값 이상이어야 한다.

$$\delta_s = 0.42DS_{ac} \quad (19.5-1)$$

여기서 S_{ac} 는 슬로싱 성분의 스펙트럼가속도이며 0.5% 감쇠를 사용하여 19.6.6.1에 따라 결정한다. 원형 저수조인 경우 D 는 저수조 벽의 직경을 사용한다. 직사각형 저수조일 경우, D 는 고려하는 방향에 대한 저수조 벽의 평면 치수 L 을 사용한다. 주구조물이 중요도계수 I_E 의 완화 없이 설계된 경우 여유고 규정은 적용하지 않을 수 있다.

19.5.5 조명탑 및 통신용 탑

19.5.5.1 조명탑

- (1) 광범위한 지역을 조명하기 위하여 많은 조명등기구 및 기타 부속장치를 장착하여 설치되는 조명탑은 19.3에 따라 결정된 설계지진력을 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

19.5.5.2 통신용 탑

- (1) 스스로 지지하거나 버팀줄로 지지되는 통신용 탑은 19.3에 따라 결정된 설계지진력을 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

19.5.6 육상 풍력발전기의 지지구조물

- (1) 육상풍력발전기를 위한 원형강관 지지구조물은 19.3에 따라 결정된 설계지진력을 저항할 수 있도록 설계하여야 한다.

19.5.7 지표면에 지지되는 담장 또는 울타리

- (1) 건축대지에 설치되며 지표면에 지지되는 높이 2.0m 이상인 담장이나 울타리는 19.3에 따라 결정된 설계지진력을 저항할 수 있도록 설계하여야 한다. 흙막이 구조는 19.5.1을 따라야 한다.

19.6 탱크 및 저장용기

19.6.1 일반사항

- (1) 이 절은 건축대지에 설치되며 다른 구조물에 지지되지 않고 독립적으로 지어진 액체, 기체, 가루형태의 고체 등을 보관하는 탱크, 저장용기, 통, 사일로, 유사한 컨테이너

(이하 탱크 및 저장용기)에 적용한다. 탱크 및 저장용기에는 철근콘크리트, 프리스트레스트콘크리트, 강재, 알루미늄, 섬유강화플라스틱 재료를 사용한다. 건물 내부에 설치되어 건물 구조체에 의하여 지지되는 탱크는 19.2에 따라 설계한다.

19.6.2 설계 고려사항

(1) 액체, 기체, 가루형태의 고체를 저장하는 탱크 및 저장용기의 내진설계 시 다음 사항을 고려하여 지진에 대한 안전성을 검증해야 한다.

- ① 슬로싱 하중(출렁거림 효과)에 대한 감쇠비는 0.5%로 한다.
- ② 충격과 슬로싱의 모드주기가 완전히 분리된 경우, 두 하중효과는 직접합 또는 제곱합제곱근(SRSS)으로 합산한다. 충격과 슬로싱 모드 사이에서 커플링이 발생할 경우, 완전2차조합(CQC)을 사용한다.
- ③ 수직 지진하중은 다음과 같이 정의한다.

가. 비원통형 탱크 벽면에 작용하는 유체역학적 수직방향 및 수평방향 하중 : 유체의 수직운동에 의하여 발생하는 수직방향하중은 $0.4S_{aV}\gamma_L$ 로 계산한다. 여기서 γ_L 은 유체의 단위중량이고 S_{aV} 는 19.3.6에 정의된 수직설계응답가속도스펙트럼의 최댓값이다.

나. 원통형 탱크 벽면에 작용하는 유체역학적 하중 : 원통형 탱크에서 유체의 수직운동에 의하여 높이 y 에 작용하는 후프 힘 N_h 는 식 (19.6-1)에 따라 계산한다. 직접합 또는 제곱합제곱근을 사용하여 충격 및 슬로싱 하중과 조합되어야 한다.

$$N_h = \frac{S_{aV}}{R} \gamma_L (H_L - y) \left(\frac{D_i}{2}\right) \quad (19.6-1)$$

여기서,

D_i : 탱크(또는 저장용기) 내부 직경

H_L : 탱크(또는 저장용기) 내부의 액체 높이

y : 탱크(또는 저장용기) 바닥으로부터 후프 힘이 고려되는 지점까지의 높이

γ_L : 저장된 액체의 단위중량

S_{aV} : 액체 수직운동의 고유주기에 해당하는 수직설계스펙트럼가속도

N_h : 원통형 탱크 또는 저장용기 벽에서 단위길이당 유체역학적 후프 힘

다. 원통형 및 직사각형 탱크 벽체의 수직관성력 : 구조물 자체 수직방향 관성력은 $0.4 S_{aV}W$ 로 계산한다. 여기서 S_{aV} 는 19.3.6에 정의된 수직설계응답가속도스펙트럼의 최댓값이다.

19.6.3 강도 및 연성

(1) 지진력저항시스템을 구성하는 구조부재들은 다음의 요구조건을 만족하도록 설계한다.

- ① 콘크리트에 매입된 앵커를 제외하고, 지진력저항시스템을 구성하는 부재의 접합부는 산정된 설계하중의 Ω_0 배에 대하여 설계한다. 콘크리트에 매입된 앵커는 19.6.5의 요구사항을 만족해야 한다. 단, 탱크 또는 저장용기에 연결되는 앵커 접합부는 앵커 인장강도와 산정된 설계하중의 Ω_0 배 중 작은 값에 대하여 설계해야 한다. 8.1.2.3의 특별지진하중과 표 19.3-2의 Ω_0 값은 탱크 또는 저장용기의 내벽을 포함한 벽면 설계에는 적용하지 않는다.
- ② 탱크 및 저장용기의 벽면에 배관통, 맨홀, 개구부 등을 설치하는 경우, 막 작용을 통하여 하중을 전달하는 탱크 벽면의 강도와 안정성이 유지되도록 설계해야 한다.
- ③ 탱크 및 저장용기와 일체이면서 불규칙 가새, 비지지 패널, 비대칭 가새, 또는 집중질량을 갖는 타워형 지지대는, 5.3의 비정형 구조물에 대한 요구사항을 고려하여 설계해야 한다. V형 또는 편심가새골조를 사용하는 타워형 지지대는 이 절의 내진설계 요구사항을 따른다. 인장가새만을 사용하는 타워형 지지대에서 가새부재는 전단면 항복에 대하여 설계해야 한다.
- ④ 탱크 및 저장용기와 일체로 시공된 타워형 지지대에서, 인장가새에 대응하여 압축력을 지지하는 스트럿부재는 가새의 항복하중 $A_g F_y$ 와 소요인장력의 Ω_0 배 중 작은 값을 저항하도록 설계한다.
- ⑤ 저장용기, 저항부재, 접합부 등에 작용하는 소요하중을 결정할 때 기초, 타워, 스커트(skirt) 등 지지구조에 대한 저장용기의 강성비를 고려하여야 한다.
- ⑥ 액체를 저장하는 콘크리트 구조물의 경우 사용성에 지장을 줄 만한 수준의 비탄성변형에서 발휘되는 연성과 에너지소산능력은 인정되지 않는다. 구조물에 손상이 없거나 약간의 미세균열이 발생한 수준에 해당하는 강성의 감소와 에너지의 소산만이 허용된다.

19.6.4 배관 연결부의 유연성

- (1) 배관시스템 파괴로 인한 누출을 방지하기 위해 탱크 및 저장용기에 연결되는 배관의 접합부는 지진에 의한 배관의 변위를 수용할 수 있도록 충분한 신축성을 가져야 한다. 배관시스템과 그 지지부는 연결부에 큰 하중이 전달되지 않도록 설계되어야 한다. 필요할 경우, 지진변위 및 사용 중 압력에 대하여 충분한 신축성을 가진 기계장치 또는 특수상세를 배관 접합부에 사용할 수 있다.
- (2) 배관 연결부는 표 19.6-1에 제시된 최소변위를 수용할 수 있도록 설계되어야 한다. 지지부 혹은 기초보다 높은 곳에 위치한 연결부의 경우 표 19.6-1의 최소변위에 추가하여 지지부와 탱크 및 저장용기 사이에서 발생하는 상대변위를 고려하여야 한다.
- (3) 별도로 계산하지 않는다면 배관시스템과 그 접합부는 표 19.6-1에 제시된 최소변위의 C_d 배까지 파단없이 견디도록 설계해야 한다. 이 경우 배관 지지부와 탱크의 비탄성거동과 그로 인한 영구변형의 발생은 허용된다. 지지부 혹은 기초보다 높은 곳에 위치한 연결부의 경우 지지부와 탱크 및 저장용기 사이에서 발생하는 상대변위를 추가로 고려하여야 한다.

(4) 표 19.6-1에 제시된 값은 침하와 지진변위 등에 의한 기초의 움직임은 고려되어 있지 않다. 배관시스템 설계 시 기초 움직임의 영향은 탱크 및 저장용기의 설계하중과 배관연결부의 전체변형능력 검토시 고려되어야 한다.

표 19.6-1 배관 연결부의 최소 설계 변위

| 조건 | 변위(mm) |
|---------------------------------------|--------|
| 기계적앵커로 고정된 탱크 및 저장용기 | |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수직 변위 (위 방향) | 25 |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수직 변위 (아래 방향) | 12.5 |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수평 변위의 범위 (직경 및 접선 방향) | 12.5 |
| 자체고정식 탱크 또는 저장용기 (지면에 위치) | |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수직 변위 (위 방향): | |
| 참고문헌(이 기준에서 일부 변경된 사항 포함)에 따라 설계한 경우: | |
| $J \leq 0.785$ (인발이 없음을 의미) | 25 |
| $J > 0.785$ (인발을 의미) | 100 |
| 참고문헌이 아닌 이 기준에 따른 지진력에 대해 설계한 경우: | |
| 직경이 12.2m 미만인 탱크 및 저장용기 | 200 |
| 직경이 12.2m 이상인 탱크 및 저장용기 | 300 |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수직 변위 (아래 방향): | |
| 벽/매트 기초를 가진 탱크 | 12.5 |
| 독턱(berm) 기초를 가진 탱크 | 25 |
| 지지부 또는 기초와의 상대 수평 변위의 범위 (직경 및 접선 방향) | 50 |

표 19.6-1에서 자체고정식 탱크는 인발을 저항하기 위해 앵커가 필요하지 않는 탱크로서 식 (19.6-2)에 의해 산정되는 전도모멘트에 대한 고정비 J 에 따라 표 19.6-2로 판정한다.

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2(w_t + w_a)} \tag{19.6-2}$$

$$w_t = \frac{W_s}{\pi D} + w_r \tag{19.6-3}$$

여기서,

w_r : 외피 둘레를 따라 탱크 벽면에 작용하는 지붕하중(N/m). 영구적인 지붕하중만 포함하며, 지붕 활하중은 제외한다.

w_a : 전도모멘트(N-m)에 저항하는 탱크 외벽 주변의 내용물 중량으로, 그 크기는 탱크 바닥판의 휨강도에 의하여 결정됨.

M_{rw} : 설계지진하중에 의하여 탱크 바닥 위치에 작용하는 전도모멘트

D : 탱크 직경

W_s : 탱크 외벽의 총중량

표 19.6-2 고정비에 따른 자체고정식 탱크의 판정

| 고정비J | 기준 |
|--------------------|--|
| $J < 0.785$ | 자체고정식 탱크 : 설계지진전도모멘트 작용 시 인발력이 발생하지 않음 |
| $0.785 < J < 1.54$ | 자체고정식 탱크 : 인발력이 발생할 수 있으나 탱크 가 압축력을 견딜 수 있을 경우 설계하중에 대하여 안정적임. |
| $J > 1.54$ | 탱크는 인발력에 대하여 불안정하며, 기계적 정착이 요구됨. |

19.6.5 정착 및 고정

- (1) 지면에 설치한 탱크 및 저장용기의 경우, 자체 고정식 탱크에 대한 요구사항을 만족한다면 정착없이 설계할 수 있다.
- (2) 타워구조 또는 건축물에 의하여 지지된 지상 탱크 및 저장용기는 지지부에 고정되어야 한다. 다음의 특별요구사항은 내진설계범주 C 및 D의 강제 탱크 및 저장용기에 설치하는 앵커볼트에 적용해야 한다.
 - ① 정착은 19.3.9에 따르고, 앵커를 콘크리트에 매설할 때에는 앵커 강재의 인장강도를 발휘하도록 충분한 묻힘 깊이로 설계해야 한다. 앵커 강재의 인장강도는 KDS 14 20 54의 식 (4.3-1)에 따라 결정한다.
 - ② 앵커 길이는 최소한 직경의 8배 이상이어야 한다.
 - ③ 앵커가 강재인장강도를 발휘하도록 콘크리트에 매입된다면, 후설치앵커를 19.3.10에 따라 사용할 수 있다.
 - ④ 탱크와 수평·수직 저장용기에서 앵커볼트의 크기를 결정할 때에는, 8.1.2.3의 초과강도계수를 포함한 특별지진하중조합을 사용할 필요는 없다.

19.6.6 지표면에 지지되는 액체저장탱크

19.6.6.1 일반사항

- (1) 지반에 지지된 평바닥의 액체저장탱크는 다음 중 한 가지 방법으로 산정한 지진하중을 저항하도록 설계해야 한다.
 - ① 밀면전단력 및 전도모멘트는 19.3.5에 따라 탱크 및 전체 내용물을 강체질량으로 가정하여 계산한다.
 - ② 내진특등급이면서 액체를 저장하거나 또는 직경이 6m를 초과하는 탱크·저장용기는, 19.6의 요구사항과 공인된 전문기술표준에 따라 액체 저장물의 유체역학적인 거동을 고려하여 등가의 밀면전단력과 그 수직분포를 산정한다.
 - ③ 19.3의 하중 및 변위 요구사항을 적용한다.
- (2) 액체저장탱크의 설계는 탱크, 기초, 부착요소 등에 영향을 미치는 내용물의 충격 및 슬로싱(출렁거림) 효과를 고려해야 한다. 충격의 영향은 탱크 지붕, 외벽, 외벽과 일체로 움직이는 내용물 일부의 수평 지진운동에 대한 고주파 증폭 응답에 해당한다. 슬로싱의 영향은 슬로싱에 관한 1차모드에서 내용물의 저주파 증폭 응답에 해당한다. 공인된 전문기술표준에서 다르게 정의하지 않는 한 출렁거리는 액체의 경우 슬로싱의

감쇠비는 0.5%로 한다.

(3) 액체저장탱크에서 밀면전단력은 다음과 같이 충격 및 슬로싱 성분의 조합으로 산정한다.

$$V = V_i + V_c \tag{19.6-4}$$

$$V_i = \frac{S_{ai} W_i}{\left(\frac{R}{I_E}\right)} \tag{19.6-5}$$

$$V_c = \frac{S_{ac} I_E}{1.5} W_c \tag{19.6-6}$$

여기서,

V_i : 탱크 및 내용물의 충격효과에 의한 밀면전단력

V_c : 유효슬로싱질량의 슬로싱 효과에 의해 의한 밀면전단력

W_i : 충격하중을 유발하는 중량으로 내용물, 지붕·장비, 탱크 외벽·바닥, 내부요소 등의 충격 효과를 포함한다.

W_c : 슬로싱 하중을 유발하는 액체 중량의 일부

S_{ai} : 중력가속도의 단위로 나타낸 지반운동에 대한 5% 감쇠비의 스펙트럼가속도에서 T_i 에 해당하는 값으로 다음과 같이 산정할 수 있다.

T_i : 탱크 구조물과 충격하중에 기여하는 내용물의 고유주기

$$T_i \leq T_s \text{인 경우, } S_{ai} = S_{DS} \tag{19.6-7}$$

$$T_s < T_i \leq T_L \text{인 경우, } S_{ai} = \frac{S_{D1}}{T_i} \tag{19.6-8}$$

$$T_L < T_i \text{인 경우, } S_{ai} = \frac{S_{D1} T_L}{T_i^2} \tag{19.6-9}$$

식 (19.6-8)과 식 (19.6-9)에 의한 S_{ai} 는 19.3.3(2)에서 요구하는 최솟값 이상이어야 한다. 충격하중 및 슬로싱 하중은 식 (19.6-4)의 직접합 대신 제곱합제곱근법을 사용하여 조합할 수 있다.

S_{ac} : 슬로싱주기 T_c 와 0.5% 감쇠비에 근거한 슬로싱 액체의 스펙트럼가속도로 다음과 같이 산정한다.

$$T_c \leq T_L \text{인 경우, } S_{ac} = \frac{1.5 S_{D1}}{T_c} \leq S_{DS} \tag{19.6-10}$$

$$T_c > T_L \text{인 경우, } S_{ac} = \frac{1.5 S_{D1} T_L}{T_c^2} \quad (19.6-11)$$

단, S_{ac} 산정 시 $T_c > 4$ 초일 경우, S_{ac} 는 부지특성을 반영하여 결정할 수 있다.
슬로싱 1차모드의 고유 주기 T_c 는 다음과 같이 산정한다.

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g \tanh\left(\frac{3.68H}{D}\right)}} \quad (19.6-12)$$

여기서,

D : 탱크의 직경(m)

H : 탱크 내부의 액체 높이(m)

g : 중력가속도(m/sec²)

19.6.6.2 유체역학을 고려한 관성력의 분포

(1) 원형 및 직사각형 탱크 벽면에 작용하는 액체 내용물의 수직·수평 지진하중 분포는 공인된 전문기술표준을 따른다.

19.6.6.3 슬로싱

(1) 탱크 및 저장용기의 내진설계 시 저장된 액체의 슬로싱효과는 다음 요구사항을 따른다.

① 슬로싱 높이 δ_s 는 식 (19.6-13)을 사용하여 산정한다.

$$\delta_s = 0.42 D_i I_E S_{ac} \quad (19.6-13)$$

D_i 는 원통형 탱크일 경우 탱크의 내부 직경, 직사각형 탱크일 경우 고려 대상 지진력에 평행한 방향의 탱크 내부 길이 L 을 사용한다.

② 슬로싱에 대비한 탱크의 여유고를 결정하는 경우 중요도계수 $I_E = 1.0$ 을 적용한다.

③ 다음 중 한 가지 방법을 통해 슬로싱에 대비하여야 한다.

가. 탱크 내부저장공간에 탱크 저장물의 설계높이에 추가로 표 19.6-3에 규정된 최소 여유고를 확보한다.

표 19.6-3 탱크의 최소 여유고

| S _{DS} | 내진등급 | | |
|-------------------------|----------------|-------------------|----|
| | 특 | I | II |
| S _{DS} < 0.33g | δ _s | - | - |
| S _{DS} ≥ 0.33g | δ _s | 0.7δ _s | - |

- 가. 확보된 탱크 여유고가 계산된 슬로싱 높이 δ_s 보다 작은 경우 지붕 및 지지 구조를 슬로싱 액체를 가두도록 설계한다. 이때 탱크의 지붕과 지지구조물은 여유고를 초과하는 슬로싱 높이에 해당하는 슬로싱 하중에 대해 설계해야 하며 탱크·저장용기의 설계에는 슬로싱의 억제로 인한 충격효과를 추가로 고려해야 한다.
- 나. 저장된 액체의 유출을 막기 위한 2차 봉쇄 시스템의 설치
- 다. 개방형 탱크·저장용기의 경우 저장물 범람에 대비하여 탱크·저장용기 주변에 배수구를 확보한다.
- (2) 단, 저장된 내용물이 독성 혹은 고독성, 폭발성 물질이 아니며 관계기관에 의해 내용물이 유출되어도 문제없음을 승인받은 경우, 또는 유출후 사후처리에 관한 계획이 수립되고 이를 관계기관에 승인을 받은 경우 이 규정은 적용되지 않는다.

19.6.6.4 설비 및 부속 배관

- (1) 구조물에 부착된 설비, 배관, 보행로, 기타 부속물은 지진에 의한 변위에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 배관 부착물에 대해서는 19.6.4를 따른다.

19.6.6.5 내부 요소

- (1) 탱크의 외벽·바닥에 부착되거나 또는 주요 구조요소를 지지하는 내부설비와 부속품은 관성력 외에 슬로싱 액체에 의한 횡하중을 추가로 고려하여 설계해야 한다.

19.6.6.6 미끄러짐 저항

- (1) 탱크 또는 저장용기와 지면 사이에 작용하는 수평전단력은 다음과 같이 고려한다.
 - ① 평평한 바닥을 가진 강구조 탱크의 경우, 전체 수평지진하중은 탱크 바닥과 기초 또는 지면 사이의 마찰에 의해 저항할 수 있다. 탱크가 내용물로 가득 차 있는 경우, 미끄러짐이 발생하지 않도록 설계해야 한다. 계산된 최대 밀면전단력 V 는 다음과 같이 제한되어야 한다.

$$V < W \tan 30^\circ \quad (19.6-14)$$

W 는 지진에 의한 수직운동으로 감소하는 탱크, 지붕, 내용물 등의 유효지진중량을 사용한다. 기초와 탱크 바닥 사이의 접합면에서 상기 마찰력을 확보하기 어려운 경우, 마찰계수를 줄여야 한다. 마찰계수는 공인된 전문기술표준을 따르거나 실험으로 결정할 수 있다.

- ② 요철이 있는 바닥, 흙이 높은 탱크 바닥, 목재 위에 설치한 탱크 등 특수 탱크의 경우, 별도의 공인된 전문기술표준을 따르거나 실험에 근거하여 설계한다.

19.6.6.7 국부적인 전단력의 전달

- (1) 탱크 및 저장용기는 지붕, 외벽, 바닥으로 이어지는 전단력의 전달을 고려하여 설계해야 한다. 원통형 탱크 및 저장용기의 경우, 횡하중 V 에 의하여 탱크 외벽 둘레를 따라 발생하는 단위길이당 최대 면내전단흐름은 식 (19.6-15)로 계산한다.

$$v_{\max} = \frac{2V}{\pi D} \quad (19.6-15)$$

- ① 평평한 바닥을 갖는 강재 탱크에서, 외벽에 작용하는 전단력은 용접으로 접합된 바닥 구조으로 전달되어야 한다.
- ② 활동하는 기초를 갖는 콘크리트 탱크에서 수평전단력을 탱크 벽면과 기초 사이의 마찰에 의해 저항하는 경우, 설계에 사용되는 마찰계수는 $\tan 30^\circ$ 를 초과할 수 없다.
- ③ 고정단 또는 회전단 기초를 갖는 콘크리트 탱크에서 수평 밀면전단력은 탱크 벽면에 나란한 방향으로 작용하는 면내전단과 기초 전체에 방사형으로 퍼져가는 면외방향 전단에 의하여 기초로 전달된다. 유연한 기초에 고정된 콘크리트 탱크의 경우, 대부분의 밀면전단력은 탱크 외벽 바로 아래에서 벽면과 나란한 방향으로 작용하는 면내전단에 의하여 저항되며, 이러한 면내전단에 의하여 탱크 외벽에 발생하는 휨은 크지 않으므로 무시할 수 있다. 탱크 벽면과 기초 바닥 사이의 접합은 최대 면내전단력에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

19.6.6.8 압력 안정성

- (1) 강재 탱크의 경우, 저장물의 내부압력은 얇은 원통형 셸요소인 탱크 외벽에 면내 인장응력을 유발하여 좌굴에 대한 안정성을 높인다. 이러한 효과는 지진에 의하여 탱크 외벽에 유발되는 압축력에 대하여 저항성능을 추가로 제공하는 것으로 간주할 수 있다.

19.6.6.9 탱크 벽면의 지지

- (1) 콘크리트 원형 벽체 또는 슬래브 위에 놓인 강재 탱크는 균일한 지지를 위하여 벽면 아래에 등근 테두리 보강재를 설치해야 한다. 또한 가동하중 및 지진하중으로 인한 최대압축력에 대하여 강재 탱크 외벽의 국부좌굴을 고려해야 한다.

19.6.6.10 수선, 개축, 또는 재축

- (1) 탱크 및 저장용기의 수선, 개축, 또는 재축은 공인된 전문기술표준과 KDS 41 17 00을 따른다. 액체를 저장하는 용접 강재 탱크에 대해서는 공인된 전문기술표준을 따른다. 위치를 이동하여 재배치된 탱크는 공인된 전문기술표준과 KDS 41 17 00에 따라 새로운 부지의 지진하중과 신축에 대한 요구사항을 만족해야 한다.

19.6.7 저수 및 수처리를 위한 탱크와 저장용기

19.6.7.1 용접 강재

- (1) 용접하여 제작하는 강재 물탱크 및 저장용기는 3.2에 정의된 지반운동에 대하여 공인된 전문기술표준의 요구사항을 만족하도록 내진설계를 수행할 수 있다.

19.6.7.2 볼트접합 강재

- (1) 볼트로 접합된 강재 저수 구조물은 3.2에 정의된 지반운동에 대하여 공인된 전문기술 표준의 요구사항을 만족하도록 내진설계를 수행할 수 있다.

19.6.7.3 철근콘크리트 및 프리스트레스콘크리트

- (1) 철근콘크리트 및 프리스트레스콘크리트 탱크는 공인된 전문기술표준의 요구사항을 만족하도록 내진설계를 수행할 수 있다. 다만, 중요도계수 I_E 는 표 19.3-3에 따르고, 반응수정계수 R 은 표 19.3-2를 따른다. 설계지반운동은 3.2에 따라 결정한다.

19.6.8 액체 저장 석유화학·산업용 탱크 및 저장용기

19.6.8.1 용접 강재

- (1) 평평한 바닥을 갖고 지면에 지지된 액체 저장용 석유화학 탱크, 산업용 탱크, 저장용기 등은 공인된 전문기술표준에 따라 내진설계를 수행할 수 있다.

19.6.8.2 볼트접합 강재

- (1) 액체저장에 사용되는 볼트접합된 강재 탱크의 내진설계가 요구되는 경우, 공인된 전문기술표준을 따라 내진설계를 수행할 수 있다.

19.6.8.3 철근콘크리트 및 프리스트레스콘크리트.

- (1) 석유화학 및 산업용 액체의 저장을 위한 철근콘크리트 탱크는 19.6.7.3의 요구사항을 고려하여 내진설계를 수행한다.

19.6.9 지표면에 지지되는 입상물질 저장탱크

19.6.9.1 일반사항

- (1) 탱크의 유효질량 및 하중경로를 결정할 때에는 다음과 같은 입상물질의 상호작용을 고려해야 한다.
 - ① 지진 시 진동하는 입자간 마찰손실로 인하여 발생하는 횡압력 증가와 그로인한 탱크의 후프응력 증가
 - ② 탱크 내부에서 다져진 입상물질의 온도변화에 의한 팽창으로 발생하는 후프응력의 증가
 - ③ 지진에 의한 수평전단력을 기초구조로 직접 전달할 수 있는 입자간 마찰작용

19.6.9.2 횡하중의 결정

- (1) 입상물질을 저장하는 탱크 및 저장용기에 작용하는 밀면전단력은 단주기 구조물에 대한 요구사항과 스펙트럼가속도(S_{DS})를 고려하여 결정해야 한다.

19.6.9.3 탱크 외벽 및 기초로의 하중 분배

- (1) 증가된 횡압력: 정적설계횡압력 산정 시 탱크 외벽에 작용하는 면외방향 횡압력의 증

가를 고려해야 한다. 하지만, 탱크 외벽의 축방향 좌굴에 대한 안정성 검토에는 적용하지 않는다.

- (2) 유효질량: 유효질량은 전체 저장물 중 탱크 외벽과 함께 거동하는 부분의 질량을 의미하며 이 값은 저장된 입상물질의 물리적 특성, 탱크의 높이와 직경비(H/D), 지진강도 등의 영향을 받는다. 탱크 구조체가 저항해야하는 전단력과 전도모멘트 산정 시 유효질량을 고려하여야 한다.
- (3) 유효밀도: 유효밀도계수(전체 저장물 중 지진에 의하여 가속도운동을 하는 부분의 질량)는 공인된 전문기술표준에 따라 결정한다.
- (4) 수평방향 활동: 강재 바닥을 가진 입상물 저장탱크에서 강재바닥과 기초 사이의 마찰작용에 의하여 수평지진하중을 지지하도록 설계된 경우 미끄러짐 방지를 위한 추가적인 정착은 필요하지 않다. 강재 바닥판 없이 입상물질이 기초 위에 직접 놓인 있는 경우, 미끄러짐 방지를 위한 전단정착이 필요하다.
- (5) 복합정착시스템: 전도 및 활동을 방지하기 위한 정착시스템을 각각 분리하여 설치한 경우, 각 정착시스템의 강성비를 고려하여 지진하중의 수평분포를 결정해야 한다.

19.6.9.4 용접 강구조

- (1) 용접접합으로 제작된 입상물 저장 강구조물은 KDS 41 17 00의 내진 요구사항에 따라 설계해야 한다. 구조요소별 허용응력은 공인된 전문기술표준을 따른다.

19.6.9.5 볼트접합 강구조

- (1) 볼트접합으로 제작된 입상물 저장 강구조물은 이 절의 내진 요구사항에 따라 설계해야 한다. 구조요소별 허용응력은 공인된 전문기술표준을 따른다.

19.6.9.6 철근콘크리트 구조

- (1) 입상물 저장을 위한 철근콘크리트 구조물은 KDS 41 17 00의 지진하중과 공인된 전문기술표준의 내진설계 규정에 따라 설계할 수 있다.

19.6.9.7 프리스트레스트콘크리트 구조

- (1) 입상물 저장을 위한 프리스트레스트콘크리트 구조물은 KDS 41 17 00의 지진하중과 공인된 전문기술표준의 내진설계 규정에 따라 설계할 수 있다.

19.6.10 액체 및 입상물질 저장용 고가 탱크 및 용기

19.6.10.1 일반사항

- (1) 이 절은 탱크를 지지하는 타워가 일체로 시공된 고가 탱크 및 저장용기에 적용한다. 자립하지 못하여 다른 구조물에 의해 지지된 탱크와 저장용기는 기계설비로 간주하여 19.2에 따라 설계해야 한다. 고가 탱크 및 저장용기는 19.3의 지진하중과 변위 요구사

항을 만족하도록 설계해야 한다.

19.6.10.2 유효질량

- (1) 타워 또는 지지대, 정착부, 기초의 진도에 대한 설계는 저장물을 무게중심에 작용하는 강체질량으로 가정하여 수행한다. 유체-구조물 상호작용의 영향은 다음의 경우에 한하여 하중, 유효주기, 시스템 질량중심 등을 결정할 때 고려할 수 있다.
 - ① 슬로싱주기 T_c 가 저장된 액체를 강체질량으로 볼 경우의 탱크의 고유주기 T 의 3배보다 클 경우
 - ② 용기의 형상을 고려하여 저장물의 슬로싱 효과(슬로싱에 참여하는 질량비율, 중심 등)가 정밀한 유체-구조물 상호작용 해석 또는 실험에 의하여 결정된 경우

19.6.10.3 P- Δ 효과

- (1) 고가 탱크의 횡변위 산정 시 다음을 고려한다.
 - ① 2차효과에 의하여 지지구조물에 부가되는 하중을 고려하기 위하여, 탄성해석에 의하여 산정된 설계변위를 C_d/I_E 만큼 증가시킨다.
 - ② 탱크 바닥은 회전과 수평이동에 대하여 고정단으로 가정한다.
 - ③ 휨모멘트, 축방향 인장력 또는 압축력으로 인한 변형을 고려한다. 높이-직경 비가 5 미만이인 받침형 탱크의 경우, 받침부의 전단변형을 고려한다.
 - ④ 해석시 지붕에 고정된 장비 또는 플랫폼에 의한 고정하중을 포함한다.
 - ⑤ 공사시방서에 지정된 수직도를 만족하도록 시공될 경우 기하학적 비선형을 고려하는 2차해석에서 초기 기울어짐을 무시할 수 있다.

19.6.10.4 타워구조로의 횡하중 전달

- (1) 기둥으로 지지된 탱크 및 저장용기를 X형 가새로 브레이싱한 경우, 다음 사항을 고려한다.
 - ① 가새는 양방향 횡하중에 대해 균일한 저항성능을 가지도록 설치되어야 한다.
 - ② 기둥과 탱크사이의 연결재와 가새 하중작용선 사이의 편심에 의하여 가새에 추가로 발생하는 하중을 포함해야 한다.
 - ③ 압축스트럿(지진력저항시스템에서 가새에 의하여 작용하는 인장력에 저항하는 요소)의 작용선과 접합지점 사이의 편심을 고려해야 한다.
 - ④ 기둥과 기초 사이의 접합부에서는 가새의 항복강도에 의하여 발생할 수 있는 수직력 및 수평력에 저항할 수 있도록 설계해야 하고, 지진하중은 기둥-기초의 접합면에서 최대 수평전단을 발생시키는 방향으로 가정한다. 여러 가새 부재가 동일한 위치에 연결되는 경우, 정착부는 가새 부재에서 동시에 발생하는 인장하중을 저항하도록 설계해야 한다.

19.6.10.5 좌굴에 민감한 구조물의 평가

- (1) 큰 하중을 지지하는 셸구조는 지진하중으로 인한 받침부의 국부 또는 전체좌굴로 인하여 파괴될 수 있다. 이러한 구조에는 단일 받침 수조타워, 스킵구조로 지지된 저장용기, 이와 유사한 단일부재 타워가 포함된다. 구조평가결과 지지구조의 좌굴이 지배적인 파괴모드인 경우, 내진특등급인 구조물은 다음의 지진하중을 저항하도록 설계해야 한다.
- ① 지진하중에 대한 설계계수는 6.1을 따르되 $I_E/R = 1.0$ 을 사용한다. 지반-구조물 및 유체-구조물 상호 작용은 구조물의 응답 산정 시 고려할 수 있다. 지진하중의 수직조합 또는 직교조합을 고려할 필요는 없다.
 - ② 구조물의 저항력은 지지구조요소의 임계좌굴강도로 한다. 즉, 안전계수로 1.0을 사용한다.

19.6.10.6 용접 강제 수조

- (1) 용접으로 제작된 고가 강제 수조는 표 19.3-2에서 제시된 높이제한을 만족해야 하며, 공인된 전문기술표준에 따라 내진설계와 상세설계를 수행할 수 있다.

19.6.10.7 콘크리트 받침 탱크

- (1) 콘크리트 받침을 갖는 고가 수조는 3.2에 따라 결정된 설계지반운동에 대하여 공인된 전문기술표준에 따라 내진설계를 수행할 수 있다.

19.6.11 보일러 및 압력용기

19.6.11.1 일반사항

- (1) 보일러 및 압력용기의 압력경계부, 지지부, 지진력에 저항하는 정착부에 설치하는 부속물은 19.2 또는 19.3의 하중 및 변위 요구사항과 이 절에 규정된 요구사항을 추가로 고려해야 한다. 내진1등급 또는 내진특등급으로 분류된 보일러와 압력용기는 19.2 또는 19.3의 하중 및 변위 요구사항을 만족하도록 설계해야 한다.

19.6.11.2 내부설비 및 내화물의 부착

- (1) 압력경계부에 설치하는 내화물, 집진장치, 트레이 등 내외부 부속물은 KDS 41 17 00에 명시된 지진하중을 저항할 수 있도록 설계해야 한다. 다만, 부속물이 파괴되더라도 압력경계부가 위협하지 않다면, 압력경계부를 손상시키기 전에 부속물이 파괴되도록 설계할 수 있다. 액체를 저장하는 보일러 또는 저장용기의 경우, 내부설비가 압력경계부의 일체성을 훼손할 수 있다면 슬로싱 효과가 내부설비에 미치는 영향을 고려해야 한다.

19.6.11.3 저장용기와 지지구조의 상호작용

- (1) 가동 중인 저장용기만의 질량이 저장용기와 지지구조물 총 질량의 25%를 초과하는 경우, 지지구조와 저장용기의 설계 시 동적 상호작용을 고려해야 한다. 다중타워와 같

이 인접한 지지구조물 상호간에 하중을 전달하는 구조요소가 설치된 경우, 인접한 구조물 사이의 상호작용을 고려해야 한다.

19.6.11.4 유효질량

- (1) 슬로싱이 일어날 수 있는 액체 표면이 존재하고 T_c 가 $3T$ 보다 큰 경우, 유체-구조물 상호작용(슬로싱)을 고려하여 저장물의 유효질량을 결정해야 한다. 압력, 온도 등과 함께 물질밀도의 변화 또는 변동을 고려한다.

19.6.11.5 보일러 및 압력용기의 지지대와 부속물

- (1) 보일러 및 압력용기의 부속물과 지지대는 다음 요구 사항을 만족해야 한다.
 - ① 지진하중을 전달하는 부속물 및 지지대는 용도와 사용환경에 적합한 연성재료로 제작해야 한다.
 - ① 정착부는 19.3.10을 따른다. 여기서 콘크리트에 매입한 앵커는 인장에 대하여 앵커 강재의 강도를 발휘하도록 설계한다. 앵커 강재의 강도는 KDS 14 20 54의 식 (4.3-1)에 따라 결정해야 한다. 앵커의 최소길이는 직경의 8배이다. 8.1.2.3에 규정된 초과강도계수를 포함한 특별지진하중조합은 탱크 및 저장용기에 사용되는 앵커볼트의 치수를 결정하는데 사용할 필요는 없다.
 - ② 내진 지지대 및 부속물(또는 부착물)은 정·부 방향의 지진하중 및 변위에 대하여 연성을 유지하도록 설계·제작해야 한다.
 - ③ 저장용기 부속물(또는 부착물)의 설계는 지지요소의 강성비, 상세 차이, 불균일한 끼움판, 비정형 지지 등에 의하여 유발되는 불균등한 수직반력이 저장용기와 지지대에 미치는 영향을 고려해야 한다. 수평지진하중의 분포는 지지요소의 배열, 접합부의 거동, 저장용기 전단력 분포 등을 고려하여 결정해야 한다.
 - ④ 19.3과 19.6.10.5의 요구사항을 만족해야 한다.

19.6.12 액체 및 가스 저장용 구형 용기

19.6.12.1 일반사항

- (1) 액체 또는 가스를 저장하는 구형 용기에서 압력경계부, 액체경계부, 지지대, 지진력저항 정착부에 설치하는 부착물은 19.2 또는 19.3에 규정된 하중 및 변위 요구사항과 함께 이 절의 요구사항을 만족해야 한다. 내진1등급 또는 내진특등급으로 분류된 구형 용기는 내진설계 시 19.2 또는 19.3의 하중 및 변위 요구사항을 만족해야 한다.

19.6.12.2 내부설비 및 내화물의 부착

- (1) 압력경계부에 설치하는 내화물, 집진장치, 트레이 등 내외부 부속물은 KDS 41 17 00에 명시된 지진하중을 저항할 수 있도록 설계해야 한다. 다만, 부속물이 파괴되더라도 압력경계부가 위험하지 않다면, 압력경계부를 손상시키기 전에 부속물이 파괴되도록 설계할 수 있다. 액체를 저장하는 구형 용기에서 내부설비가 압력경계부의 일체성을

훼손할 수 있다면, 슬로싱 효과가 내부설비에 미치는 영향을 고려해야 한다.

19.6.12.3 유효 질량

(1) 슬로싱이 일어날 수 있는 액체가 존재하고 T_c 가 $3T$ 보다 큰 경우, 유체-구조물 상호작용(슬로싱)을 고려하여 저장물의 유효질량을 결정해야 한다. 압력, 온도 등과 함께 물질밀도의 변화 또는 변동을 고려한다.

19.6.12.4 기둥과 가새로 지지된 구형 저장용기

(1) 기둥과 X형 가새로 지지된 구형 저장용기는 다음 요구사항을 고려해야 한다.

- ① 19.6.10.4의 요구사항을 만족해야 한다.
- ② 가새의 프리텐션으로 인한 영향(강성 증가 또는 횡변위 감소)을 고유주기 산정에 포함한다.
- ③ 기둥의 세장비와 국부좌굴을 고려한다.
- ④ 기둥과 저장용기의 접합부에서 저장용기의 외벽에 발생할 수 있는 국부좌굴을 고려한다.
- ⑤ 액체를 저장하는 구체의 경우, 가새 접합부는 가새 부재의 공칭항복강도를 발휘하도록 설계·제작하여야 한다. 가스만을 저장하는 구체의 경우, 가새 접합부는 가새 부재의 최대 설계하중에 초과강도계수 Ω_0 를 곱한 값에 대하여 설계한다. 압력경계부와 액체 경계부에서는 가새를 직접 접합하지 않는다.

19.6.12.5 스킨트로 지지된 구형 저장용기

(1) 스킨트로 지지된 구형 저장용기의 내진설계 시 다음 요구사항을 고려해야 한다.

- ① 19.6.10.5의 요구사항을 만족해야 한다.
- ② 압축하중과 휨모멘트에 의하여 스킨트구조에 작용하는 면내 압축력에 대하여 강판의 국부좌굴을 고려해야 한다.
- ③ 스킨트 지지대에 맨홀, 배관 등 개구부를 설치하는 경우, 개구부를 설치하기 이전 강도를 유지하도록 설계·제작해야 한다.

19.6.13 냉각액체가스 저장용 탱크 및 저장용기

(1) 액화탄화수소 및 냉각액체의 저장을 위한 탱크 및 시설은 KDS 41 17 00의 요구사항을 만족해야 한다. 액화탄화수소가스(액화석유가스, 부탄 등)와 냉각액체가스(암모니아 등)를 저장하기 위한 평바닥, 지표면지지 저압 용접 강제 탱크의 경우, 19.6.8의 요구사항을 만족해야 한다.

19.6.14 액체 또는 증기 저장용 안장지지 수평저장용기

19.6.14.1 일반사항

(1) 안장형태의 받침으로 지지된 수평저장용기는 19.2 또는 19.3의 하중 및 변위 요구사항

을 만족하도록 설계해야 한다.

19.6.14.2 유효질량

- (1) 저장물의 밀도 변화와 변동을 고려해야 한다. 전도에 대한 안장형 받침, 정착부, 기초의 설계는 저장물을 무게중심에서 작용하는 강제질량으로 가정하여 수행한다.

19.6.14.3 저장용기 설계

- (1) 직경에 대한 길이의 비가 6 이상인 수평저장용기는 안장형 받침을 힌지로 하는 단순 지지보로 가정하여 고유주기와 전체 구조체에 대한 모멘트를 결정할 수 있다.
- (2) 직경에 대한 길이의 비가 6 미만인 수평저장용기는 고유주기와 응력을 결정할 때 깊은보에서 나타나는 전단의 영향을 고려해야 한다.
- (3) 받침부에서는 지진하중조합에 의하여 저장용기 외벽에 발생하는 국부적인 휨과 좌굴을 고려해야 한다. 내부압력에 의하여 저장용기 외벽에 발생하는 면내 인장응력이 강판의 좌굴저항을 증가시키는 안정화 효과는 고려해서는 안 된다.
- (4) 액체 및 가스 병용 저장용기인 경우, 저장용기와 그 받침은 가스압이 작용하는 경우와 작용하지 않는 경우 모두에 대하여 설계해야 한다.

20. 기능수행 고려사항

20.1 일반사항

- (1) 기능수행 성능수준은 지진 이후에도 건축물이 그 용도에 따른 고유한 기능을 그대로 유지하여 지진 이전과 다름없이 사용될 수 있음을 의미한다. 이를 위하여 구조적 안전성 외에도 건축물의 용도와 관련된 각종 설비 및 내용물이 고유의 기능을 유지하면서 작동할 수 있어야 한다.
- (2) 기능수행 성능수준에서 기능수행이 요구되는 비구조요소의 최소범위는 18.1.2에서 $I_p = 1.5$ 를 적용하도록 요구되는 비구조요소이다.
- (3) 발주자가 요구하는 경우 15장에 따라서 성능목표, 지진위험도를 결정하고 해당 지진 위험도에 대하여 비구조재의 기능수행 수준을 만족하도록 설계한다.
- (4) 기능수행 성능수준이 요구되는 건축물은 이 기준에서 정한 수준의 지진 발생 직후 처짐, 횡변형 또는 다른 변형이 해당 시설물의 기능 장애를 유발하지 않도록 구조시스템과 부재 및 연결부가 충분한 강도와 강성을 갖도록 설계하여야 한다.
- (5) 기능수행 성능수준이 요구되는 비구조요소의 시스템 및 그 정착부는 이 기준에서 정한 수준의 지진 발생 직후 해당 시설물의 기능에 장애가 발생하지 않도록 충분한 강도와 강성을 갖도록 설계되어야 한다.
- (6) 기능수행 성능수준이 요구되는 기계 및 전기 비구조요소의 시스템 및 그 구성요소는 이 기준에서 정한 수준의 지진 발생 직후 중요한 기능을 수행할 수 있도록 설계되거나, 인증되거나 또는 보호되어야 한다.

20.2 구조체의 강도 및 강성 요구조건

- (1) 기능수행이 요구되는 건축물에서 구조체의 강도는 이 기준에서 규정하는 내진특등급의 중요도계수를 적용하여 설계함으로써 충족되는 것으로 본다.
- (2) 기능수행이 요구되는 건축물에서 구조체의 강성은 층간변위비를 표 8.2-1에 규정된 내진특등급의 허용층간변위비로 제한함으로써 충족되는 것으로 본다. 다만, 비구조요소의 기능수행을 위하여 요구되는 경우 구조체의 변위를 요구조건에 맞도록 제한할 수 있다.

20.3 건축 비구조요소의 기능수행

- (1) 기능수행이 요구되는 건축 비구조요소는 해당 성능목표에 대하여 18장에 따라서 내진안전성이 확보되어야 한다.
- (2) 인명안전에 관련된 건축비구조요소는 18장에 따라서 내진안전성이 확보되어야 한다.

20.4 기계 및 전기 비구조요소의 기능수행

- (1) 20.1(2)에 따라 기능수행이 요구되는 비구조요소 중 기계 및 전기 비구조요소는 18.1.3.2 및 18.1.3.4에 따라 기능수행에 해당되는 내진성능을 입증하여야 한다.
- (2) 기능수행이 요구되지 않는 내진설계대상 기계 및 전기 비구조요소는 18장에 따라서 내진안전성이 확보되어야 한다.

집필위원

| 성명 | 소속 | 성명 | 소속 |
|-----|------------|-----|------------|
| 전봉수 | 전우구조건축사사무소 | 유은종 | 한양대학교 |
| 박홍근 | 서울대학교 | 윤병익 | 아이맥스트럭처 |
| 김대호 | 한울구조 | 이기학 | 세종대학교 |
| 김동관 | 청주대학교 | 이상현 | 단국대학교 |
| 김태완 | 강원대학교 | 이철호 | 서울대학교 |
| 박지훈 | 인천대학교 | 조성우 | 조 구조기술사사무소 |
| 엄태성 | 단국대학교 | | |

자문위원

| 성명 | 소속 | 성명 | 소속 |
|-----|-----------|-----|----------|
| 홍성길 | 서울대학교 | 안충원 | 한국시설안전공단 |
| 유영찬 | 한국건설기술연구원 | | |

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

| 성명 | 소속 | 성명 | 소속 |
|-----|-----------|-----|-----------------|
| 이영호 | 한국건설기술연구원 | 신영수 | 이화여자대학교 |
| 구재동 | 한국건설기술연구원 | 강현구 | 서울대학교 |
| 김기현 | 한국건설기술연구원 | 곽동삼 | (주)원우구조기술사사무소 |
| 김태송 | 한국건설기술연구원 | 김대영 | (주)한빛구조이엔지 |
| 김희석 | 한국건설기술연구원 | 김대호 | (주)한울구조안전기술사사무소 |
| 류상훈 | 한국건설기술연구원 | 김두기 | 공주대학교 |
| 안준혁 | 한국건설기술연구원 | 김세일 | 빛과울구조건설팅 |
| 원훈일 | 한국건설기술연구원 | 김승원 | 뉴테크구조기술사사무소 |
| 이상규 | 한국건설기술연구원 | 박지훈 | 인천대학교 |
| 이승환 | 한국건설기술연구원 | 양영태 | (주)건우기술 |
| 이여경 | 한국건설기술연구원 | 이강민 | 충남대학교 |
| 이용수 | 한국건설기술연구원 | 이현호 | 동양대학교 |
| 주영경 | 한국건설기술연구원 | 임준택 | (주)한양풍동실험연구소 |
| 최봉혁 | 한국건설기술연구원 | 최준식 | (주)단이엔씨 |
| 허원호 | 한국건설기술연구원 | | |

중앙건설기술심의위원회

| 성명 | 소속 | 성명 | 소속 |
|-----|-------------|-----|------------|
| 김태진 | 티아이구조기술사사무소 | 이지은 | 한국토지주택공사 |
| 류은영 | (주)태암엔지니어링 | 장범수 | 국토안전관리원 |
| 송복섭 | 한밭대학교 | 한용섭 | (주)사림엔지니어링 |
| 이영도 | 경동대학교 | | |

국토교통부

| 성명 | 소속 | 성명 | 소속 |
|-----|-------------|-----|-------------|
| 김연희 | 국토교통부 건축안전과 | 조윤빈 | 국토교통부 건축안전과 |
| 이지형 | 국토교통부 건축안전과 | | |

KDS 41 17 00 : 2022 건축물 내진설계기준

2022년 10월 11일 개정

소관부서 국토교통부 건축안전과

관련단체 대한건축학회
06687 서울특별시 서초구 효령로 87(방배동 917-9)
Tel : 02-525-1841 E-mail : webmaster@aik.or.kr
<http://www.aik.or.kr/>

작성기관 대한건축학회
06687 서울특별시 서초구 효령로 87(방배동 917-9)
Tel : 02-525-1841 E-mail : webmaster@aik.or.kr
<http://www.aik.or.kr/>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>