

기존 시설물(터널) 내진성능

향상요령

2011. 7.



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

한 국 시 설 안 전 공 단

차 례

제 1 장 총 칙	1
1.1 일반사항	1
1.2 요령의 구성	2
1.3 용어의 정의	3
 제 2 장 내진성능 향상기준지진과 향상절차	9
2.1 일반사항	9
2.2 설계지반운동	10
2.3 소요내진성능	15
2.4 내진성능 향상절차	19
 제 3 장 내진성능 향상방법	21
3.1 일반사항	21
3.2 자료조사 및 정리	21
3.3 개착식 터널의 내진성능 향상방법	22
3.4 굴착식 터널의 내진성능 향상방법	39

□ 부 록

A. 내진성능 향상예제(상부슬래브 보강, 측벽 H-형강 보강)

〈표차례〉

해설표 2.2.1 지진구역 구분	11
해설표 2.2.2 지진구역계수(재현주기 500년에 해당)	11
해설표 2.2.3 지진 위험도계수	11
해설표 2.2.4 지진계수 C_a 와 C_v	11
해설표 2.2.5 지반의 분류	12
해설표 2.2.6 기반면의 설계수평가속도	13
해설표 2.2.7 지표면의 설계수평가속도	13
해설표 2.2.8 구조물별 내진등급	15
해설표 2.2.9 내진성능 목표 (붕괴방지수준)	16
해설표 2.2.10 수명비에 따른 내진등급 평가기준지진의 평균재현주기	17
해설표 2.2.11 선형보간에 의한 지진 위험도계수(I)	17
해설표 2.2.12 수명비에 따른 지진 위험도계수(I)	17
해설표 2.2.13 지진구역 I에서의 내진성능 평가기준지진 가속도계수(A)	18
해설표 2.2.14 지진구역 I, II에서의 내진성능 평가기준지진 가속도계수(A)	18
표 3.3.1 주요 부재별 내진성능 향상방법	22
표 3.3.2 내진성능 향상방법 개요	23

〈그림차례〉

해설그림 2.2.1 심도에 따른 설계수평가속도	13
해설그림 2.2.2 표준설계응답스펙트럼(감쇠비 5%)	14
해설그림 2.3.1 내진성능 향상절차	19
그림 3.3.1 슬래브 두께증가 공법	25
그림 3.3.2 강관접착공법(주입법)	26
그림 3.3.3 강관접착공법(압착법)	27
그림 3.3.4 기존 구조물의 증설공법	29
그림 3.3.5 현장 설치 볼트공법	30
그림 3.3.6 후크에 의한 철근 연결방법	30
그림 3.3.7 H-형강 브레이싱 보강공법	31
그림 3.3.8 강제기둥추가 설치공법	32
그림 3.3.9 테두리보추가 설치공법	33
그림 3.3.10 기둥 보강공법	34
그림 3.3.11 벽체 보강공법	34
그림 3.3.12 H-형강 증설공법	35
그림 3.3.13 벽체부 강관 압착공법	36
그림 3.3.14 띠판 보강공법	37
그림 3.3.15 폴리머 내진격리공법(일본 나카가와역)	38
그림 3.4.1 록볼트 및 슛크리트 설치	39
그림 3.4.2 ○○터널의 내진보강 사례(일본)	39

제 1 장 총 칙

1.1 일반사항

1. 본 내진성능 향상요령은 개착 또는 비개착 공법으로 건설된 지중구조물에 대하여 적용한다.

[해설] 본 요령은 개착 또는 비개착 공법으로 지중에 건설된 구조물에 대한 내진성능 향상에 적용하며, 지상에 건설되는 구조물에 대하여는 건축구조물의 향상요령을 적용한다.

2. 내진성능 향상기준지진은 사용목표수명을 고려하지 않은 지진과 사용목표수명을 고려한 지진을 선택적으로 사용할 수 있다.

[해설] 내진성능 평가를 위한 기준지진은 사용목표수명을 고려하지 않는 경우 관련 기준에서 규정하는 설계지진으로 할 수 있다. 한편, 기존구조물의 경우 사용목표수명은 일반적으로 신설구조물의 평가설계수명에 비하여 짧아 사용목표수명 중에 경험하게 될 지진세기는 신설구조물이 평가설계수명내에 경험하게 되는 지진세기보다 작을 확률이 높다. 따라서, 내진성능 평가기준지진은 대상구조물의 사용목표수명을 고려하여 결정할 수도 있다. 그러나, 대상구조물의 사용목표수명이 신설구조물의 평가설계수명에 비하여 현저하게 작더라도 보수 또는 보강을 실시하여 신설구조물의 평가설계수명과 동등한 정도의 사용수명을 기대하는 경우에는 내진성능 평가기준지진은 관련 기준의 설계지진으로 하여야 한다. 사용목표수명의 정량적인 판단근거는 아직 확립되어 있지 않은 상태이다. 따라서, 향후 연구를 통하여 객관적인 판단기준이 마련되기까지 이의 판단은 관리주체의 시설물 사용계획에 따라 결정하도록 한다.

3. 본 요령의 내용은 기술수준이 향상되거나 필요에 따라 내용을 추가 또는 보완할 필요가 있을 때에는 개정하여 시행하는 것을 원칙으로 한다.

4. 본 요령과 관련된 규정은 다음과 같다.

- (1) 내진설계기준연구Ⅱ (건설교통부, 1997)
- (2) 도시철도내진설계기준 (국토해양부, 2009)

(3) 터널설계기준 (건설교통부, 2007)

(4) 공동구설계기준 (국토해양부, 2010)

(5) 콘크리트구조설계기준 (건설교통부, 2007)

(6) 기존시설물의 기초 및 지반의 내진성능 향상요령 (건설교통부, 2004)

[해설] 본 요령에서는 내진설계가 수행되지 않은 기존 구조물의 내진성능 향상과 관련한 최소한의 사항을 규정하고 있다. 따라서, 내진성능 향상과 관련하여 본 요령에서 규정하고 있지 않은 사항에 대해서는 관련 규정을 적용하여 향상하여야 한다.

5. 내진성능 향상은 본 요령에서 제시하는 바와 다르더라도 역학적으로 타당한 절차와 방법에 의해서 실시될 수 있다.

6. 지반액상화 내진성능 평가에 대해서는 [기존시설물의 기초 및 지반의 내진성능 평가 요령]에 준한다.

1.2 요령의 구성

본 요령의 구성은 다음과 같다.

1. 총칙
2. 내진성능 향상기준 지진과 향상절차
3. 내진성능 향상방법
4. 부록 A. 내진성능 향상 예제

1.3 용어의 정의

본 요령에 사용되는 용어의 정의는 [내진설계기준연구 II], [도시철도내진설계기준], [터널설계기준], [공동구설계기준], [콘크리트구조설계기준] 등의 관련 기준에 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.

- (1) 가속도 계수 (Acceleration coefficient, A) : 구역계수(Z)에 지진 위험도계수(I)를 곱한 값(무차원량)
- (2) 가속도 시간이력 (Acceleration time history) : 가속도의 시간에 따른 변동을 나타내는 함수
- (3) 가속도 응답스펙트럼 (Acceleration response spectrum) : 주어진 가속도를 단자유도 구조물의 지지점에 작용하여 구한 절대가속도 응답의 최대값을 단자유도 구조물 고유주기와 감쇠비에 따라 도표로 나타낸 스펙트럼
- (4) 감쇠비 (Damping ratio) : 임계 감쇠계수에 대한 구조물 또는 지반의 감쇠계수의 비율
- (5) 강진지속시간 : 지진에 의한 가속도 시간이력에서 최대가속도(PGA, Peak Ground Acceleration)에 해당하는 진동이 지속되는 시간
- (6) 개착공법 : 토류공을 설치하면서 지표면에서 소정의 위치까지 굴착하고 구조물을 구축한 후 되메움하는 공법
- (7) 고유주기 (Natural period) : 자유진동하는 구조물의 진동이 반복되는 시간간격(s)
- (8) 고유진동수 (Natural frequency) : 진동시스템의 질량과 강성으로부터 결정되는 일정한 진동수로서 외력의 진동수가 고유진동수와 일치할 때 공진이 발생
- (9) 고정하중 (Dead load) : 구조물의 시공 중 또는 건설이 완료된 후 변동없이 지속적으로 구조물에 작용되는 하중
- (10) 공동구 : 국토의 계획 및 이용에 관한 법 제2조 제9호의 규정에 의한 공동구를 말하며, 지하매설물(전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설, 소방설비 등)을 공동 수용함으로써 도시 미관의 개선, 도로 구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물을 말한다.
- (11) 관성력 (Inertia force) : 구조물의 가속도에 의해 발생하는 힘으로서 그 크기는 질량과 절대가속도를 곱한 값이며 작용방향은 가속도와 반대방향임.
- (12) 기반면 (Seismic base) : 지반분류 S_B 에 해당되는 전단파속도(V_S) 760m/s 이상

- 인 지반, 물성변화가 적고 해석대상 구조물의 아래면에 걸쳐 넓게 존재하는 지반으로 충분히 강성이 큰 암반과의 경계면을 갖는 지반
- (13) 내진그룹 (Seismic importance level : 터널 구조물의 내진성능 상세평가 수행여부를 결정하기 위하여 터널 구조물의 취약도, 영향도, 지진도를 고려하여 나눈 그룹
 - (14) 내진등급 (Seismic importance level) : 구조물의 중요도에 따라서 정해지는 내진설계상의 등급
 - (15) 내진성능 상세평가 : 터널 구조물의 구성부재가 내진성능 평가기준지진에 대하여 소요내진성능을 확보하고 있는지를 평가하는 2단계 평가
 - (16) 내진성능 예비평가 : 터널 구조물의 내진그룹화를 위하여 개략적으로 수행되는 1단계 평가
 - (17) 내진성능 평가기준지진 : 기존 터널 구조물의 내진성능을 평가하는 경우, 지진하중을 산정하는데 기준이 되는 지진
 - (18) 노두 (Outcrop): 지표면에 노출된 암반의 상단
 - (19) 도시철도 : 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다.
 - (20) 동적전단탄성계수 (Dynamic shear modulus) : 동적변형이 작용될 때 재료의 전단탄성계수 값으로서 질량밀도와 전단파속도를 이용하여 구할 수 있음.
 - (21) 동적해석법 (Dynamic analysis method) : 시간에 따른 구조물(또는 지반)의 응답을 구하는 구조해석방법으로서, 해석방법으로는 시간영역해석법과 주파수영역해석법이 있음.
 - (22) 붕괴방지수준 : 설계지진 작용 시 구조물이나 시설물에 상당한 변형이나 손상이 발생할 수는 있지만 그 수준과 범위는 구조물이나 시설물이 붕괴되거나 또는 그 손상으로 인하여 대규모 피해가 초래되는 것을 방지할 수 있는 성능수준
 - (23) 비개착공법 : 일반적으로 적용되는 개착공법 이외의 공법으로서 발파공법, TBM 공법, 쉴드(Shield)공법, 쉴드(Shield) TBM공법과 하천, 철도, 교량 등을 통과하기 위한 특수공법 등을 말함.
 - (24) 비선형거동 (Nonlinear behavior) : 변형률과 응력의 관계가 선형탄성이 아닌 거동
 - (25) 사용목표수명 : 내진성능 평가 대상구조물의 향후 목표로 하는 사용수명 년수로서 보수 및 보강이 되는 경우에는 이를 고려하여 평가된다. 시설물 관리주체의 시설물 사용계획에 따라 설정

- (26) 사용목표수명등급 : 내진성능 평가기준지진의 지진세기를 산출하는 경우, 사용목표수명을 용이하게 고려할 수 있도록 나눈 등급
- (27) 사용하중 (Service load) : 고정하중 및 활하중과 같이 이 기준에서 규정하는 각종 하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 하중 (작용하중이라고도 함.)
- (28) 상대변위 (Relative displacement) : 기반지반 상단에서 변위에 대한 지층에서 변위의 상대적인 값
- (29) 상시하중 : 지진하중을 제외한 고정하중, 활하중, 토압, 수압 및 부력 등
- (30) 설계가속도 응답스펙트럼 (Design acceleration response spectrum) : 구조물의 내진설계를 위한 지반의 가속도를 가속도응답스펙트럼 형태로 정의한 것임.
- (31) 설계고유주기 (Design natural period) : 설계전단파속도를 이용하여 구한 자유장 지반의 고유주기로서 지반의 고유주기 중 가장 큰 값
- (32) 설계전단파속도 (Design shear wave velocity) : 내진설계에 적용되는 지반의 전단파속도로서 지진에 의한 지반의 비선형성거동을 고려한 값
- (33) 파장 (Wave length) : 설계전단파속도를 이용하여 구한 자유장지반의 고유주기에 해당하는 지반 진동의 파장
- (34) 소성 (Plasticity) : 응력-변형을 관계가 탄성한계를 넘어 고체에 작용하고 있는 힘을 제거하여도 재료가 원래의 형상으로 복귀하지 않고 영구변형이 발생하는 현상
- (35) 속도응답스펙트럼 (Velocity response spectrum) : 주어진 가속도에 대한 단자유도 구조물 상대속도의 최대값을 구조물 주기와 감쇠비에 따라 도표로 나타낸 스펙트럼
- (36) 수평층상지반 (Horizontally layered soil) : 지층과 지층의 경계면이 수평인 지반
- (37) 스펙트럴 가속도 (Spectral acceleration) : 진동주기에 해당하는 가속도응답스펙트럼의 값
- (38) 스펙트럴 속도 (Spectral velocity) : 진동주기에 해당하는 속도응답스펙트럼의 값
- (39) 신축이음 (Expansion joint) : 콘크리트로 성형된 교량 등의 각종 구조물은 온도변화에 따라 미량의 신축을 하게 되며 하중이 재하됨에 따라 각 단면은 변형을 받게 됨. 이러한 온도변화에 의한 신축작용과 하중재하에 의한 균열을 방지하기 위하여 일정 길이마다 이 힘들을 흡수할 수 있도록 단면을 횡단하여 설치하는 이음을 말함.
- (40) 액상화 (Liquefaction) : 지진과 같은 진동하중 발생시, 느슨한 사질토 등이 비배수 상태에서 순간적인 과잉간극수압의 발생으로 지반의 전단저항력이 저하되거나 전단저항력을 잃게 되는 현상

- (41) 연직스프링 (Vertical spring) : 응답변위법을 적용하여 구조해석을 수행할 때 구조물 단면에 연직방향으로 변위에 대한 지반의 강성을 나타내는 스프링 요소
- (42) 위험도계수 (I) : 500년 재현주기를 기준으로 지진의 위험도를 나타내는 계수
- (43) 응답변위법 (Seismic deformation method) : 지진에 의한 지하구조물의 거동을 해석하기 위한 해석방법으로서, 구조물과 지반의 구조해석모형(일반적으로 구조물은 프레임요소, 지반은 스프링요소로 모델링)에 구조물이 없는 자유장지반에서의 수평상대변위, 가속도, 응력을 입력으로 작용하여 구조해석을 수행하는 방법
- (44) 응답수정계수 (Response modification factor) : 탄성해석으로 구한 각 요소의 내력으로부터 설계지진력을 산정하기 위한 수정계수
- (45) 응답스펙트럼 (Response spectrum) : 어떤 일정한 감쇠비를 가진 구조물의 고유주기나 진동수에 따른 지진의 최대응답을 나타낸 그래프
- (46) 응답진도법 (Response acceleration method) : 지진에 의해 발생하는 구조물(또는 지반)의 각 위치에서 최대가속도가 주어질 때, 각 질점의 질량에 주어진 가속도를 곱한 값을 지진방향의 정적하중으로 작용하여 지진응답해석을 수행하는 방법. 지하구조물인 경우에는 구조물과 구조물 주변의 지반을 모두 모형화한 다음 깊이에 따라 부지응답해석을 통해 구한 최대지반가속도(절대가속도)를 지진방향으로 작용하여 적용함.
- (47) 자유장지반 (Free-field soil layer) : 구조물 건설을 위하여 지반을 굴착하기 전의 지반상태
- (48) 부지응답해석 (Site response analysis) : 구조물 건설을 위하여 지반을 굴착하기 전의 지반상태에 대한 지진응답해석
- (49) 재현주기 (Return period) : 강우, 홍수, 지진 등과 같이 구조물에 영향을 미치는 환경조건의 강도와 발생의 변동을 통계적으로 표시하는 지표의 하나로서 어떤 크기의 연최대치가 몇 년에 한번 발생할 확률이 있는지를 정한 연수
- (50) 전단력 (Shear force) : 단면에 접하는 방향의 단면력 성분
- (51) 전단스프링 (Shear spring) : 응답변위법을 적용하여 지진응답해석을 수행할 때 사용하는 구조물 모형에서, 구조물과 지반의 접촉면을 따라 설치하는 스프링요소
- (52) 전단탄성계수 (Elastic shear modulus) : 재료의 전단응력-전단변형을 곡선에서 탄성영역의 기울기로서 재료의 전단변형에 대한 강성을 나타냄.
- (53) 전단탄성파속도 (Shear wave velocity) : 매질에서 전단파(S파)의 전달속도
- (54) 전단파 (Shear wave) : 파동 진행방향과 직각방향으로 진동하는 파로서 횡파, S파, 비틀림파라고도 함.

- (55) 정현하중 (Sine load) : 불규칙한 지진하중을 일정한 주기와 진폭을 가지는 사인 함수형태의 반복하중으로 치환한 값
- (56) 주면전단력 (Surface shear force) : 응답변위법에 의해 구조해석을 수행할 때 구조물과 지반 사이에 발생하는 전단응력에 해당하는 하중으로서, 자유장지반에서 구한 자유장 전단응력을 구조물 면을 따라 적분한 값
- (57) 지반응답해석 (Ground response analysis) : 토층의 저면에 입사되는 지진하중이 지표면으로 진행될 때 토층의 동적거동에 대한 해석
- (58) 지반진동 (Ground vibration) : 지진에 의한 자유장지반의 진동
- (59) 지반종류 (Soil profile type) : 지진시에 지반의 진동특성에 따라 공학적으로 분류하는 지반의 종류
- (60) 지진지속시간 (Earthquake duration): 지진에 의해 유발된 기반지반의 가속도가 존재하는 총 시간
- (61) 지진구역계수 (Zone factor, Z) : 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년에 해당하는 지진지반운동의 최대지반가속도값을 중력가속도(g)로 나눈 값
- (62) 지진하중 (Seismic load) : 지진에 의해 추가적으로 구조물에 작용되는 설계하중으로서 지하구조물에서는 관성력, 지반변위, 주면전단력으로 구성됨.
- (63) 최대지반가속도 (Peak ground acceleration) : 지진에 의해 발생하는 최대의 지반가속도로 가속도계수에 중력가속도를 곱한 값으로 정의(m/s^2)
- (64) 최대진폭 (Peak amplitude): 지진에 의해 구조물(또는 지반)에 발생한 응답(변위, 속도, 가속도, 응력)의 절대값 중에서 가장 큰 값
- (65) 축력 (Axial force) : 부재의 축방향으로 작용되는 힘으로 방향에 따라 인장력 또는 압축력으로 구분함.
- (66) 탄성지진응답계수 (Elastic seismic response coefficient) : 모든 스펙트럼 해석법에서 지진하중을 구하기 위한 무차원량
- (67) 탄성파 (Elastic wave) : 탄성체를 매체로 전달되는 파동으로서 기본적으로 P-파와 S-파로 구분되며, 지층의 형태에 따라 다양한 표면파(Rayleigh파, Love파 등)가 존재함.
- (68) 터널 (Tunnel) : 광의의 정의에 의하면 ‘지반 중에 어떤 목적이나 용도에 따라 만들어 높은 공간을 갖는 구조물’ 또는 협의의 정의에 의하면 ‘입구와 출구를 갖는 지하통로 역할을 하는 연속적인 공간’이라고 말할 수 있는데, 일반적으로 도로 및 철도 터널 등을 그 예로 들 수 있음.

- (69) 통제주기 (Control period) : 가속도 설계응답스펙트럼을 정의하는데 사용하는 주기로 두 값이 정의됨. 두 주기 사이에서 최대증폭이 발생함.
- (70) 특수공법 : 일반적으로 적용되는 개착공법, 발파공법, TBM공법 또는 쉴드 (Shield)공법 이외의 공법을 사용하여 하천, 철도, 교량 등을 통과하여 공동구 본체를 구축하는 공법
- (71) 파동전파이론 (Elastic wave propagation theory) : 탄성파가 매질을 통해 전파되는 현상을 분석하기 위한 이론
- (72) 평가설계수명 : 사용목표수명등급을 평가하기 위한 기준이 되는 수명으로서 잠정적으로 100년을 내구년한으로 정의
- (73) 평균재현주기 (Mean return period) : 어떤 크기나 특성을 가진 지진이 발생하는 평균 시간간격(s)
- (74) 평행층상 반무한지반 (Horizontally layered half-space soil) : 반무한지반 위에 층경계가 모두 수평인 층상지반이 있는 지반. 내진설계에서는 대부분 부지응답해석을 수행할 때 지반을 평행층상 반무한 지반으로 가정함.
- (75) 표준관입시험 (Standard penetration test) : 보링공을 이용하여 로드 끝에 중공의 표준샘플러(외경 5.2cm, 내경 3.5cm, 길이 81cm의 스플릿 스푼형)를 장착하여 무게 63.5kgf의 해머를 76cm의 높이에서 자유낙하로 타격시켜 30cm 관입하는데 요하는 타격회수(N 치)를 측정하여 토층의 경연을 조사하는 원위치시험임.
- (76) 표층지반 (Top soil layers) : 기반지반 위에 있는 수평층상지반
- (77) 활하중 (Live load) : 구조물의 사용 및 점용에 의해 발생하는 하중으로서 가구, 창고저장물, 차량, 군중에 의한 하중 등이 포함됨. 일반적으로 차량의 충격효과도 활하중에 포함되나, 풍하중, 지진하중과 같은 환경하중이나 고정하중은 포함되지 않음.
- (78) 휨모멘트 (Bending moment) : 부재를 휘게 하도록 작용하는 부재력

제 2 장 내진성능 향상기준지진과 향상절차

2.1 일반사항

1. 내진성능 향상은 관련 기준에 따른다.

[해설] 지중에 건설되는 터널 구조물은 관련 기준(도시철도 내진설계기준, 터널설계기준, 공동구 설계기준 등)에서 요구하는 구조물의 성능과 동등한 성능을 발휘할 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 이를 위해 현행 기준에 규정된 지진구역계수, 지반계수, 설계응답스펙트럼 등이 사용되어야 하고, 당 기준에서 요구하는 강도 및 연성도를 달성할 수 있어야 한다. 따라서, 내진성능 향상은 기존 터널 구조물이 이러한 목표성능을 확보할 수 있어야 한다.

2. 내진성능 향상을 위한 “내진성능 향상기준지진”은 터널 구조물의 사용목표수명을 고려하여 결정한다.

[해설] “내진성능 향상기준지진”은 관련 기준에서 규정하는 설계지진으로 하는 것이 원칙이나 기존구조물의 경우 사용목표수명은 일반적으로 신설구조물의 평가설계수명에 비하여 짧아 사용목표수명 중에 경험하게 될 지진세기는 신설구조물이 평가설계수명 내에 경험하게 되는 지진세기보다 작을 확률이 높기 때문에 이를 반영하기 위함이다. 그러나, 대상구조물의 사용목표수명이 신설구조물의 평가설계수명에 비하여 현저하게 작더라도 보수 또는 보강을 하여 신설구조물의 평가설계수명과 동등한 정도의 사용목표수명을 기대하는 경우에는 내진성능 향상기준지진은 내진설계기준의 설계지진으로 하여야 한다. 사용목표수명의 정량적인 판단근거는 아직 확립되어 있지 않은 상태이다. 따라서, 향후 연구를 통하여 객관적인 판단기준이 마련되기까지 이의 판단은 관리주체의 시설물 사용계획에 따라 결정하도록 한다.

2.2 설계지반운동

1. 지진구역은 2개 구역으로 설정하고, 각 지진구역별로 구역계수를 설정한다.

[해설] 관련 기준에서는 지진구역을 해설표 2.2.1과 같이 2개 구역으로 설정하고 있고, 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년의 지진지반운동에 해당하는 구역계수는 해설표 2.2.2와 같이 규정하고 있다. 따라서, 본 요령에서도 이를 준용한다. 단, 해설표 2.2.1의 지진구역에서 구분된 행정구역의 경계를 통과하는 평가대상 구조물에는 상위 지진구역계수를 적용한다.

2. 설계가속도는 지진에 의한 지반진동의 강도를 의미한다.

[해설] 본 요령에서는 기존구조물에 대해서도 신설구조물과 동일한 지진세기에 대하여 동일한 성능을 만족하도록 요구하고 있다. 따라서, 평균재현주기가 다른 지진의 설계가속도는 해설표 2.2.3의 위험도계수(I)를 해설표 2.2.2의 지진구역계수(Z)에 곱하여 계산한다. 한편, 지중 구조물의 설계가속도는 지진해석시 기반면에서의 수평가속도(K_h')와 지표면에서의 수평가속도(K_h)를 사용하며 대상깊이의 수평가속도는 지표면과 기반면의 수평가속도를 직선 보간하여 구할 수 있다. 기반면이라 함은 전단파속도 $V_s=760\text{m/s}$ 이상의 보통암 수준을 의미하며 개략적으로 20~30m의 심도에 해당되나, 지반조사에 의하여 산정토록 한다. 수평가속도는 지반의 종류에 따라 지진계수 C_a 와 C_v (해설표 2.2.4 참고)로 세분화된다. 수평가속도는 다음 식과 같이 구한다.

$$K_h = C_a \cdot I \quad \text{해설식(2.1)}$$

여기서, C_a : 지진계수

I : 지진 위험도계수

해설표 2.2.1 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

해설표 2.2.2 지진구역계수(재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
구역계수, Z	0.11	0.07

해설표 2.2.3 지진 위험도계수

재현주기(년)	50	100	200	500	1000	2400
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

해설표 2.2.4 지진계수 C_a 와 C_v

지반 종류	C_a		C_v	
	I	II	I	II
S_A	0.09	0.05	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07	0.11	0.07
S_C	0.13	0.08	0.18	0.11
S_D	0.16	0.11	0.23	0.16
S_E	0.22	0.17	0.37	0.23

지진계수 결정을 위한 지반 종류는 해설표 2.2.5와 같이 분류한다. 각 내진성능 수준과 지진구역에 따른 기반면 및 지표면의 설계수평가속도의 값은 해설표 2.2.6과

해설표 2.2.7과 같으며 심도에 따른 설계수평가속도는 해설그림 2.2.1과 같다.

해설그림 2.2.1은 구조물 저판과 상판의 설계수평가속도 K_{h1} , K_{h2} 가 기반면의 설계수평가속도 K_h' 와 지표면에서의 설계수평가속도 K_h 에 따라 결정됨을 나타낸 것이다.

해설표 2.2.5 지반의 분류

지반 종류	지반상태	상부 30.0m 에 대한 평균 지반 특성 ¹⁾		
		평균전단파속도 $\overline{V_s}$ (m/sec)	평균표준관입시험 $\overline{N}$ (타격수)	평균비배수전단강도 $\overline{S_u}$ (kPa)
S _A	경암 지반	1500 초과	-	-
S _B	보통암 지반	760초과 1500이하		
S _C	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360초과 760이하	50초과	100초과
S _D	단단한 토사지반	180이상 360이하	15이상 50 이하	50이상 100이하
S _E	연약한 토사지반	180미만	15미만	50미만
S _F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주 : 1) 상부 30.0m 이내에 기반암층이 있는 경우는 지표층(기반암 상부 토층)의 평균 지반특성을 고려한다. 상부 30.0m의 평균 전단파속도는 아래 식을 이용한다. 전단파속도 또는 표준관입시험치는 현장시험 결과치를 이용하는 것을 원칙으로 한다. 또한, 전단파속도와 표준관입시험치를 모두 측정한 경우는 전단파속도에 의해 분류한다.

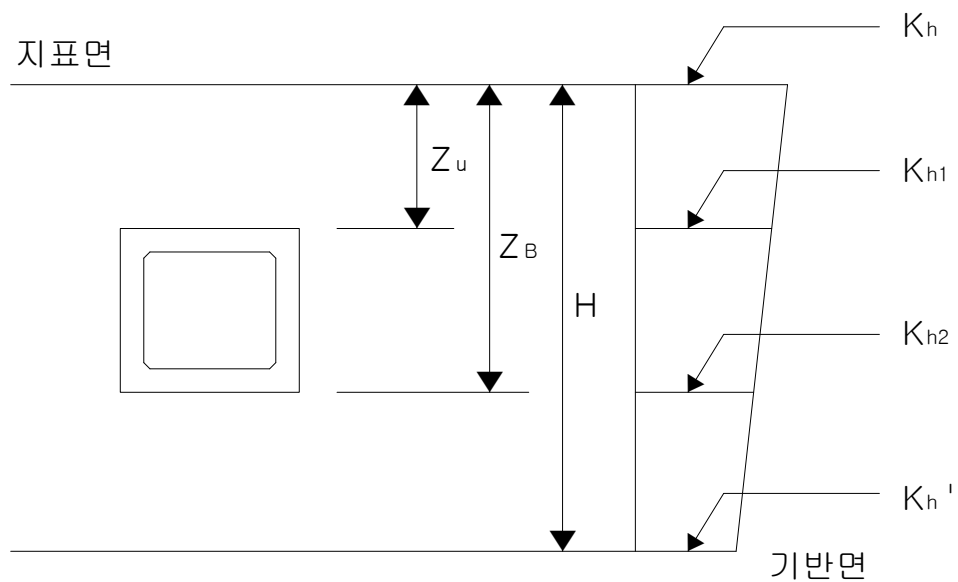
상부 30m 평균 전단파 속도	상부 30m의 평균 SPT-N값	상부 30m의 평균 비배수강도(S_u)
$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n d_i / V_{si}}$ 여기서, V_{s30} : 상부30m 평균전단파속도 V_{si} : 각 층의 전단파속도	$\overline{N} = \frac{30}{\sum_{i=30}^n d_i / N}$ 여기서, $\overline{N}$: 상부 30m 평균 SPT-N값 N : 각 층의 SPT-N값	$\overline{S_u} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n d_i / S_{ui}}$ 여기서, $\overline{S_u}$: 상부 30m 평균비배수강도 S_{ui} : 각 층의 비배수강도 d_i : 각 층의 두께

해설표 2.2.6 기반면의 설계수평가속도 (K_h')

구 분	1등급(붕괴방지, 1000년)	
	I	II
설계수평가속도	0.154	0.098

해설표 2.2.7 지표면의 설계수평가속도 (K_h)

지반 종류	1 등급(붕괴방지, 1000년)	
	I	II
S_A	0.126	0.070
S_B	0.154	0.098
S_C	0.182	0.112
S_D	0.224	0.154
S_E	0.308	0.238



Z_u, Z_B : 구조물 상부, 하부까지 깊이

H : 기반면까지 깊이

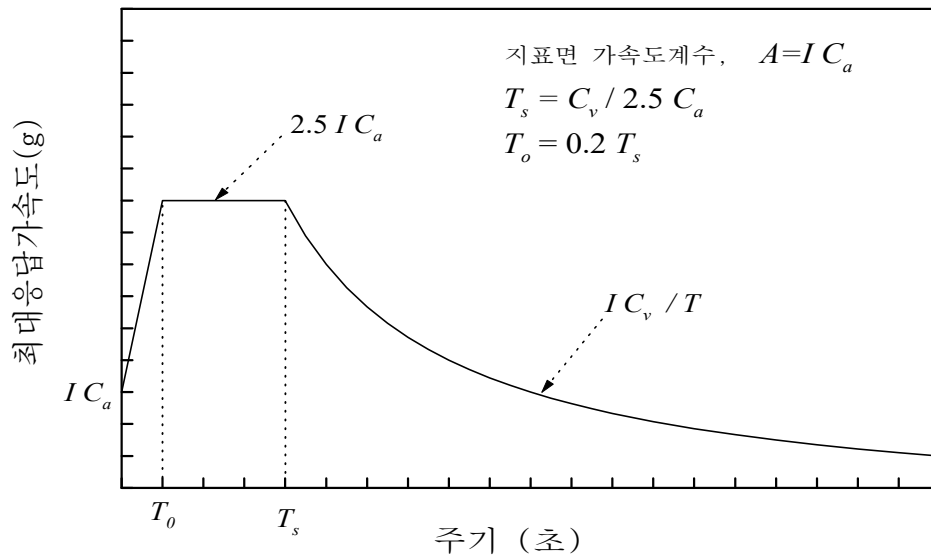
$K_h, K_{h1}, K_{h2}, K_h'$: 각 깊이에서 설계수평가속도

해설그림 2.2.1 심도에 따른 설계수평가속도

3. 설계지진 응답스펙트럼

가. 표준설계응답스펙트럼은 해설그림 2.2.2와 같다.

[해설] 본 요령에서는 성능수준별 감쇠율에 대한 보정계수를 적용한 설계응답스펙트럼을 사용하도록 한다. 5% 감쇠비에 대한 표준설계응답스펙트럼은 해설그림 2.2.2와 같다.



해설그림 2.2.2 표준설계응답스펙트럼(감쇠비 5%)

나. 응답스펙트럼은 관련 기준에서 규정하고 있는 기반면에서의 설계가속도 스펙트럼을 적용한다.

다. 기반면에서의 설계가속도 스펙트럼은 감쇠율에 대한 보정계수를 곱하여 적용한다.

[해설] 해설그림 2.2.2에서 규정하고 있는 표준설계응답스펙트럼은 감쇠비가 5%인 경우이다. 이는 지표상 콘크리트 구조물의 탄성상태의 감쇠를 적용한 값이므로 지중구조물의 경우 감쇠비는 이와 다른 특성을 보이며, 성능수준에 따른 응답스펙트럼의 보정을 다음과 같이 수행한다.

○ 감쇠율에 대한 보정계수(C_D) : $C_D = \frac{1.5}{(40h+1)} + 0.5$ 해설식(2.2)

여기서, 성능수준별 감쇠율(h)은 붕괴방지수준 0.2를 적용

(단, 별도의 합리적인 해석에 의하여 구한 값을 적용할 수도 있다.)

2.3 소요내진성능

1. 내진성능

지중구조물의 내진등급은 지중구조물의 중요도에 따라 설정한다.

[해설] 구조물의 등급은 내진 특등급, 내진 1등급, 내진 2등급으로 구분된다. 터널 구조물은 대부분 내진 1등급 구조물에 속하며 일반적인 지중구조물의 내진등급은 해설표 2.2.8에 의거한다.

해설표 2.2.8 구조물별 내진등급

구조물 종류	내진 1등급	내진 2등급
주거·문화 시설	지하박물관, 지하음악당, 도서관, 지하상가, 위락시설	지하사무실, 스포츠센터
교통시설	도시철도, 철도·도로시설	지하주차장, 지하보도
라이프라인 시설	가스·석유 수송시설, 상수도, 전력·통신관로	하수도, 도수터널
산업시설	식수·정수처리장, 지하발전시설, 핵폐기물 처리시설	폐하수처리장, 산업폐기물 처리장
에너지 저장시설	전력시설, 전기공급시설, 열저장·지역냉난방공급시설, 지하원유·LNG·LPG 비축시설	곡물·식품저온 저장소, 수산물 냉장·냉동 저장소, 압축공기저장시설
방어시설	지하대피소, 지휘·통신시설, 군사기지, 해안방어기지	

2. 성능수준에 따른 지진세기

가. 기존 터널 구조물의 소요성능수준은 [붕괴방지수준]에 대해서 고려한다.

[해설] 성능수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분되지만, 최근 제·개정된 터널설계기준(2007), 공동구설계기준(2010), 도로교설계기준(2010), 철도설계기준(2011) 등 관련 기준의 개정된 내용을 반영하여 본 요령에서는 내진성능 평가시 붕괴방지수준에 대해서만 고려하는 것으로 한다.

나. 성능평가에 이용하는 지진세기는 구조물의 내진등급과 성능수준에 따라 설정한다.

[해설] 현행 기준에서는 터널 구조물의 내진등급별, 내진성능 목표에 따라 해설 표 2.2.9와 같은 설계지진세기를 규정하고 있다.

해설표 2.2.9 내진성능 목표 (붕괴방지수준)

관련기준 재현주기	도시철도 내진설계기준	터널설계기준	공동구설계기준
500년	2 등급	2 등급	-
1000년	1 등급	1 등급	1 등급

3. 사용목표수명을 고려한 평균재현주기

가. 사용목표수명을 고려한 내진성능 평가기준지진은 사용목표수명동안 내진성능 평가기준지진의 발생확률이 동일 등급의 신설구조물이 평가설계수명 동안 경험할 수 있는 설계지진의 발생확률과 동일하도록 결정한다.

[해설] 설계지진의 평균재현주기는 구조물의 등급별로 주어지며, 연평균발생확률은 평균재현주기의 역수로 정의된다. 현행 설계개념은 설계지진하에서 구조물이 붕괴하지 아니하여 인명피해를 방지할 수 있고, 이렇게 설계된 구조물에 최대가능지진이 발생하더라도 붕괴될 확률은 매우 낮을 것이라는 가정에 근거하고 있다. 여기서는 구조물의 수명기간동안 손상 또는 붕괴할 확률은 명시적으로 도입되어 있지 아니하다. 그러나, 본 요령에서는 아직 그 타당성이 완전하게 입증되지는 아니하였으나 잠정적으로 사용목표수명동안 지진을 경험할 확률을 고려하는 개념을 다음 식과 같이 채택하고자 한다.

$$\begin{aligned}
 & (\text{내진성능 평가기준지진의 연평균발생확률} \times \text{사용목표수명}) \\
 & = (\text{설계기준지진의 연평균발생확률} \times \text{평가설계수명}) \qquad \text{해설식(2.3)}
 \end{aligned}$$

나. 사용목표수명은 평가설계수명에 대한 수명비(사용목표수명/평가설계수명)에 따라 다음과 같이 3개 등급(1/4 이하, 1/4-1/2, 1/2 이상)으로 구분한다.

[해설] 내진성능 평가에 있어서 사용목표수명을 효율적으로 고려하기 위하여 평가설계수명의 비에 따라 3개 등급으로 구분하여 사용하도록 한다.

다. 내진성능 평가기준지진의 지진세기는 사용목표수명 등급에 따라 평균재현주기를 고려하여 결정한다. 이는 해설표 2.2.10과 같다.

해설표 2.2.10 수명비에 따른 내진등급 평가기준지진의 평균재현주기

내진등급	수명비(사용목표수명/평가설계수명)		
	1/2 이상	1/2-1/4	1/4 이하
1등급	1000년	500년	250년
2등급	500년	250년	125년

4. 사용목표수명을 고려한 가속도계수

가. 사용목표수명을 고려한 내진성능 평가기준지진의 가속도계수(A)는 지진구역계수(Z)와 지진 위험도계수(I)의 곱으로 정의한다.

나. 지진구역계수(Z)는 2.2절의 해설표 2.2.2와 같다.

다. 사용목표수명을 고려한 지진 위험도계수(I)는 [내진설계기준연구II(건교부,1997)]에 제시된 값을 기본으로 하고 필요시에는 이를 선형보간하여 사용한다.

[해설] 지진 위험도계수(I)는 재현주기 500년 설계지진의 가속도계수에 대한 특정재현주기의 설계지진의 가속도계수의 비로서 해설표 2.2.11과 같이 정의된다. 또한, 수명비(사용목표수명/평가설계수명)에 따른 지진 위험도계수(I)는 해설표 2.2.12와 같다.

해설표 2.2.11 선형보간에 의한 지진 위험도계수(I)

재현주기 (년)	50	100	200	500	1000
위험도계수, I	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4

해설표 2.2.12 수명비에 따른 지진 위험도계수(I)

내진등급	수명비(사용목표수명/평가설계수명)		
	1/2이상	1/2-1/4	1/4이하
1등급	1.4	1.0	0.78
2등급	1.0	0.78	0.6

라. 수명비에 따른 가속도계수(A)는 해설표 2.2.13 및 해설표 2.2.14와 같다.

[해설] 지진구역계수(Z)와 수명비(사용목표수명/평가설계수명)에 따른 지진 위험도계수(I)를 곱하여 수명비에 따른 가속도계수(A)를 산정하면 해설표 2.2.13 및 해설표 2.2.14와 같다.

해설표 2.2.13 지진구역 I 에서의 내진성능 평가기준지진 가속도계수(A)

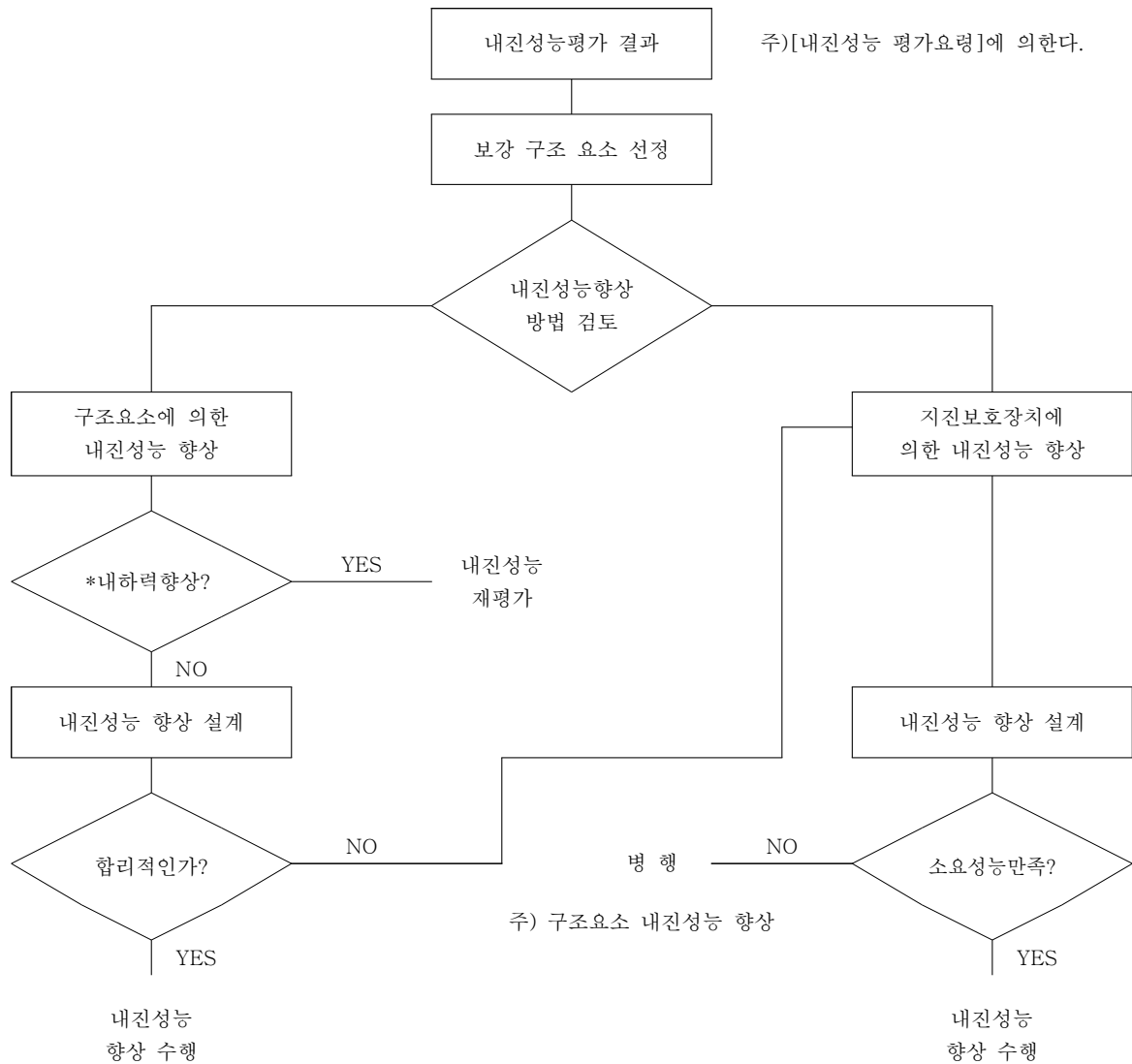
내진등급	수명비(사용목표수명/평가설계수명)		
	1/2 이상	1/2-1/4	1/4 이하
1등급	0.154 g	0.11 g	0.086 g
2등급	0.11 g	0.086 g	0.066 g

해설표 2.2.14 지진구역 I, II에서의 내진성능 평가기준지진 가속도계수(A)

지진구역 (1등급)	수명비(사용목표수명/평가설계수명)		
	1/2 이상	1/2-1/4	1/4 이하
I구역	0.154 g	0.11 g	0.086 g
II구역	0.098 g	0.07 g	0.055 g

2.4 내진성능 향상절차

본 요령에서 제시하는 내진성능 향상절차는 해설그림 2.3.1과 같다.



* 내진성능 향상에 의하여 내하력 향상이 있는 경우에는 지진하중을 다시 산정하여 구조요소별 내진성능을 다시 평가하여야 한다.

해설그림 2.3.1 내진성능 향상절차

활성단층지역에는 터널을 건설하지 않는 것이 바람직하지만, 이를 통과하는 터널 구간에 대해서는 지진발생이력, 활단층 확실도, 단층 활동도 등에 대한 면밀한 조사를 실시하여 지진발생에 따른 손상이 최소화되도록 내진성능 향상을 실시하여야 한다.

제 3 장 내진성능 향상방법

3.1 일반사항

내진성능 향상의 주요 목표는 내진성능 평가에서 지진에 대한 강도가 약한 부재에 대하여 구조물 보강을 통하여 구조피해를 방지하는 것이다.

[해설] 일반적인 구조물의 노화, 균열 등에 대한 보수·보강은 별도검토에 따르며, 여기서는 내진성능 향상에 국한하여 기술하였다.

3.2 자료조사 및 정리

내진성능 향상을 위한 자료조사에는 설계도서에 나타난 구조물의 직접정보뿐만 아니라 현장조사를 통하여 구조물의 보수·보강이력 및 상태, 구조물의 현재 여건, 구조물 주위의 환경적 요인 등을 함께 조사하여 정리한다.

1. 일반사항 조사

- 가. 터널명, 위치, 관리주체 등을 조사한다.
- 나. 터널 구조물이 위치한 지진구역, 시설물의 내진등급, 지반조건 등을 조사한다.
- 다. 준공년도, 준거 시방서, 내진설계의 유무 등을 조사한다.

2. 설계도서 조사

- 가. 구조물 구조형식 및 제원, 각 구성부재의 제원 및 재료 특성 등을 조사한다.
- 나. 구조물의 제원, 평면도, 종·횡단면도, 지반지질도, 상세도 등을 조사한다.
- 다. 보수·보강 등에 따른 내진성능의 변화 요인을 조사한다.

3. 현장조사

- 가. 구조물의 현재 상태 등을 조사하여 설계도서와의 차이점을 조사한다.
- 나. 중요 연결시설물, 주변 현황 등을 조사한다.

4. 환경조사

- 가. 재료 및 제원의 특성값에 영향을 주는 환경요인을 조사한다.
- 나. 지진 외적인 보수·보강계획 등을 조사한다.
- 다. 평균 이용객 현황 및 교통량 등과 같은 교통환경, 사회경제적 여건을 고려한 터널 구조물의 중요도 또는 특이사항 등을 조사한다.

3.3 개착식 터널의 내진성능 향상방법

3.3.1 주요 부재별 내진성능 향상방법

가. 개착식 터널 구조물의 상·하부, 중간 슬래브 및 벽체 등에 대한 내진성능 향상은 지하구조물의 특성상 지반굴착을 시행하지 않은 상태에서 구조물 내부에서 보강작업이 이루어져야 하는 제한조건을 가지고 있다. 이러한 조건에서 주요 부재별 적용 가능한 성능향상에는 다음의 표 3.3.1과 같은 방법이 있다.

표 3.3.1 주요 부재별 내진성능 향상방법

주요 부재		보 강 공 법
슬래브	상부	• 슬래브 하부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 압착법) • 부재증설 보강공법 • 브레이싱 증설에 의한 보강공법
	하부	• 슬래브 상부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 압착법) • 부재증설 보강공법
	중간	• 강판접착공법(주입법, 압착법) • 개구부 보강공법(강재기둥 또는 테두리보 추가설치) • 두께증가 보강공법
벽체 또는 기둥		• 벽체(기둥) 두께증가 보강공법 • H-형강 증설공법 • 벽체부 강판 압착공법 • 기둥의 띠판 보강공법
주변 지반보강		• 지반보강을 통한 지진격리공법

나. 주요 부재별 내진성능 향상방법에 대한 개요는 다음의 표 3.3.2와 같다.

표 3.3.2 내진성능 향상방법 개요

No.	공법명		공법개요
1	슬래브 상·하부 두께증가 보강공법		상부 또는 하부 슬래브의 휨모멘트 및 전단내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재하부 또는 상부에서 보강조치가 가능한 경우에 적용하는 공법이다.
2	강판접착공법 (주입법, 압착법)		콘크리트 슬래브(상·하부 및 벽체슬래브)의 인장면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트 슬래브와 일체화시켜서 지진하중에 대한 부재저항력을 증진시키는 공법이다.
3	부재증설 보강공법		기존구조물에 기둥 및 벽체를 추가로 설치함으로서 강성증대에 의한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다.
4	브레이싱 증설에 의한 보강공법		수평부재와 수직부재가 연결되는 우각부에 지진력에 의한 전단력 및 휨모멘트가 크게 발생하므로, 이들 부분에 H-형강 브레이싱을 설치함으로서 부재 내하력을 증진시키는 공법이다.
5	개구부 보강 공법	강재기둥 추가설치	기존 내부슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨기시의 소음, 진동을 최소화 하는 경우에 적용하는 공법이다.
		테두리보 추가설치	기존 내부슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 개구부 하부에 보강 기둥을 설치하지 못하는 경우에 적용하는 공법이다.
6	벽체(기둥) 두께 증가 보강공법		기존구조물의 두께를 증가시킴에 따라 내하력을 증진시키는 공법이다.
7	H-형강 증설공법		벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬래브 개구부 위치의 측벽부 등에 내하력 부족시 H-형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법이다.
8	벽체부 강판 압착공법		구조물내 토압을 받는 측벽부 중간 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위하여 측벽슬래브 상·하면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트와 일체화시켜 내하력을 증진시키는 공법이다.
9	기둥의 띠판 보강공법		지진에 의해 발생하는 전단력에 대하여 기존 기둥에 급격한 전단파괴가 발생하지 않도록 기둥의 인성(Toughness)을 증진시키는 공법이다.
10	지진격리공법		구조물 주변지반에 시공된 벽체를 지진격리장치로 활용하여 지진력을 감소시키는 공법이다.

3.3.2 내진성능 향상방법

개착식 터널 구조물의 적용 가능한 성능향상방법에 대해서 보다 상세한 설명은 다음과 같다.

1. 슬래브 상·하부 두께증가 보강공법

가. 공법개요

구조물의 상부 및 하부슬래브의 휨모멘트 및 전단내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재하부 또는 상부에서 보강조치가 가능한 경우에 적용한다. 부재하부에 추가적으로 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하는 경우에는 추가 타설된 콘크리트의 수축 등으로 신·구 콘크리트의 접합이 불확실해지기 쉬우므로 이에 대한 확실한 대책이 필요하다.

나. 보강요령

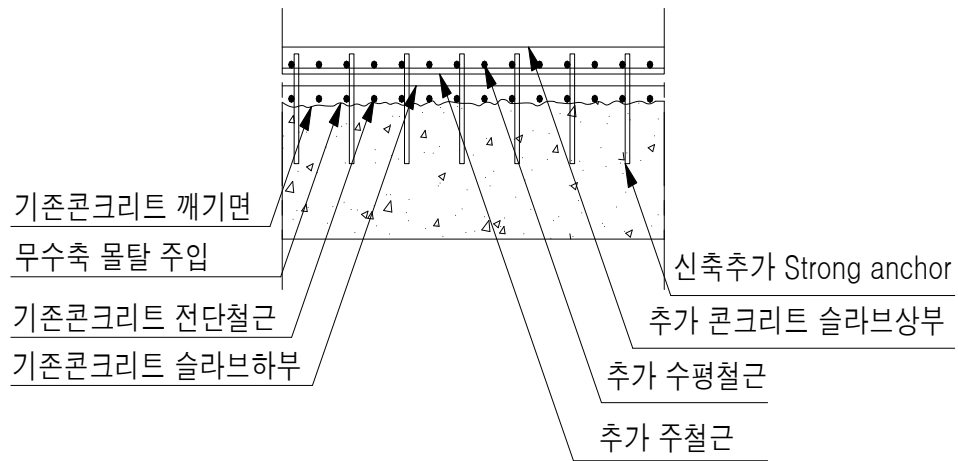
(1) 슬래브 상부 두께증가

부재의 휨강도와 전단강도 향상을 위하여 추가 배치된 철근과 콘크리트의 구조적 성능이 효과적으로 발휘되기 위해서는 기존 구조물과의 확실한 부착이 필요하다. 이를 위하여 슬래브 부재의 하단에서 콘크리트 피복을 깨낸 후 기존의 주철근 및 전단철근이 노출된 상태에서 앵커(Anchor) 처리 등에 의한 전단연결체를 설치한 후 추가 주철근과 배력철근을 배근한 후 소정의 두께의 콘크리트를 덧입힌다. 신·구 콘크리트 이음면에는 추가적인 무수축 모르타르 시멘트를 충전한다.

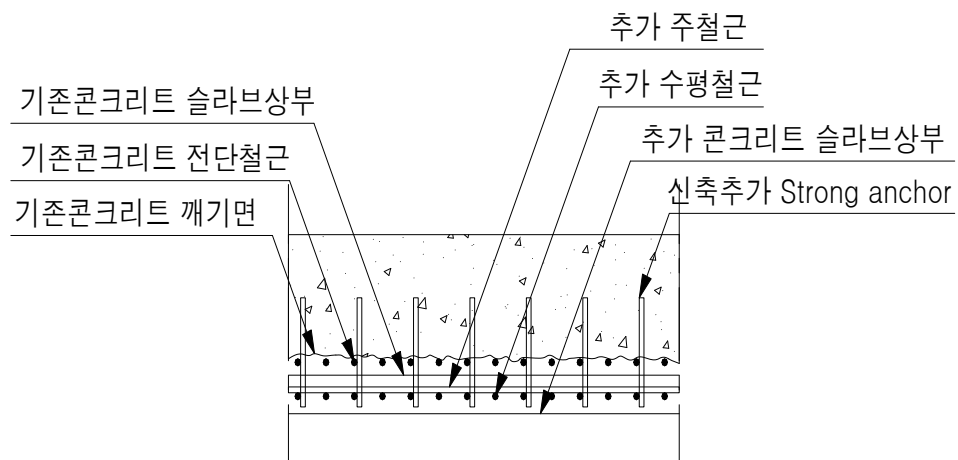
(2) 슬래브 하부 두께증가

부재의 휨강도와 전단강도를 향상시키기 위하여는 추가된 주철근의 강도가 충분히 발휘될 수 있도록 확실한 정착장 확인이 필요하다. 또한 확실한 전단내하력 확보를 위하여 증가된 두께부분과 기존구조물과의 부착이 확실해야하므로 기존 표면의 거칠게 처리 및 앵커(Anchor) 처리 등에 조치가 필요하며, 추가타설 콘크리트의 확실한 충전이 되어야 한다.

다. 공법개요도



(a) 슬래브 상부 보강



(b) 슬래브 하부 보강

그림 3.3.1 슬래브 상·하부 두께증가 공법

2. 강판접착공법

강판접착공법에는 주입법과 압착법 두 가지가 있다.

가. 공법개요

콘크리트 슬래브(상·하부 및 벽체슬래브)의 인장면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트 슬래브와 일체화시켜서 지진하중에 대한 부재저항력을 증진시킨다.

접착하는 강판으로는 두께 4.5~6mm 정도가 일반적으로 사용된다. 강판의 접착길이는 소요 휨모멘트발생 구간보다 저항휨모멘트가 커지는 범위까지 충분히 길게 연장한다. 강판접착공법은 주하중 단면방향뿐만 아니라 배력철근 방향에 대하여도 부재저항력을 증진시키는 효과를 가져 온다.

나. 주입법

콘크리트면과 강판면의 사이에 스페이서 등에 의해 빈 공간을 지지시키고, 주위를 시일(Seal)해서 한쪽으로 주입용 에폭시계 수지를 주입함과 동시에, 공기를 빼면서 접착하는 공법이다. 약간의 기포가 남아있을 위험이 있고, 주입에 상당한 시간을 요하지만 콘크리트면이 평활하지 않고 일부 또는 전체 면에 곡면이 포함되어 있는 경우에 적용시키고 있다.

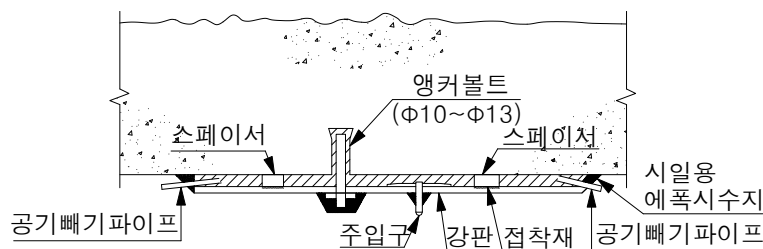


그림 3.3.2 강판접착공법(주입법)

다. 압착법

콘크리트면 및 강판면에 에폭시계 수지를 도포하고, 다시금 콘크리트 면에 고정해 있는 앵커류를 이용해서 강판을 콘크리트면에 압착하는 공법이다.

에폭시계 수지의 일부를 압착에 의해 압출함과 동시에 접착면에 포함된 공기를 빼내면서 시공한다. 이 공법은 콘크리트면이 평활해서 콘크리트면에 압착용 앵커볼트를 고정시킬 수 있는 부분에 적용시키고 있다. 강판압착공법을 효과적으로 시공하

기 위해서는 적절한 에폭시계 수지의 선정과 충분한 시공관리가 필요하다.

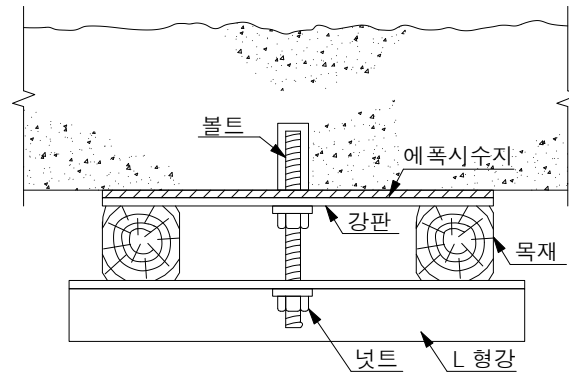


그림 3.3.3 강판접착공법(압착법)

[해설] 강판접착공법시행에 주의사항은 다음과 같다.

가. 강판가공

- (1) 강판의 절단에 의해서 발생된 변형은 바로잡기를 하고 절단 끝부분의 누락이나 재변형에 주의한다.
- (2) 접착면의 오염이나, 흙의 부착, 녹 등의 발생은 접착효과를 현저하게 방해하므로, 접착면은 일제히 블래스트 처리 등을 하여 강판 1장씩을 비닐 등으로 포장하고 운반시에 손 등으로 접촉되는 일이 없도록 주의한다.
- (3) 앵커용 천공 위치는 현장에서 실물치수를 측정하고 공장에서 천공 작업을 하여 현장에서 구멍의 위치를 수정하는 일이 없도록 한다. 천공으로 생긴 구멍 주변의 버력은 긁어낸다. 구멍직경은 앵커볼트의 직경보다 5~10mm 정도 크게 뚫는다.

나. 준비공

- (1) 철근 위치를 조사하여 철근을 피해서 앵커를 설치한다. 또한 앵커는 인발 저항력을 사전에 조사해 둔다.
- (2) 압착공법의 경우에는 에폭시계 수지도포전에 앵커 1개당의 도입 토크치를 구해 두고 소정의 압착력을 전 앵커에 균등하게 줄 수 있도록 한다.
- (3) 주입공법의 경우에는 시공성을 고려하여 콘크리트면과 강판면의 빈공간을 2~6mm 평균 4mm 정도로 유지하면서 스페이서의 위치 등으로 조정한다.
- (4) 주입공법의 경우는 강판에 설치하는 주입구멍의 간격을 50~100mm 정도로 한

다. 또한 강판주변은 주입압력에 의해 흘러나오지 않도록 퍼티용 에폭시계 수지로 시일(Seal)해 둔다. 시일부분에는 강판의 네 모퉁이를 포함해서 50cm 정도의 간격으로 공기빼기 파이프를 설치해 둔다.

다. 접착 및 주입

(1) 압착공법의 경우에는 고무주걱 등을 이용해서 콘크리트면 및 강판면에 에폭시계 수지를 각 1~2mm 균등하게 도포한다.

(2) 압착공법에는 각재, 형강 등을 이용해서 앵커의 인발 저항력을 이용해 외면으로부터 강판에 균등한 압력을 가해서 접착한다.

접착압력은 여분의 수지가 밖으로 밀려나와 최종 접착층이 0.3mm 정도가 되는 경우를 생각하면 5tf/m² 정도의 압력이 되지만, 점도가 높은 상태에서 접착재를 사용하는 경우는 앵커의 강도, 압착력에 관해 검토할 필요가 있다.

또한 압착에 의해 유출된 에폭시계 수지는 제거한다.

(3) 주입공법에는 한쪽 주입구멍에 펌프로 적절한 압력을 가하면서 에폭시계 수지주입을 개시하고 다음 주입구멍으로부터 에폭시계수지가 나오는 것을 확인한 다음 펌프를 떼어내고, 첫 번째 주입구멍을 나무못으로 막고, 2번째 주입구멍으로 옮긴다. 이 사이 공기빼기로부터 에폭시계 수지가 유출되지만 내부에 기포가 남아 있지 않게끔 충분히 유출하는 것을 확인한 후, 공기빼기 파이프를 잠근다. 더욱이 종단경사가 있는 경우에는 낮은 쪽에서부터 한다. 주입상태의 확인은 주입작업과 동시에 햄머 등으로 가볍게 두드려 밀도상태를 확인한다.

라. 마무리

(1) 압착공법의 경우, 소정의 양생기간을 경과했을 시, 지보공 등을 철거하지만, 앵커를 남기고, 너트를 체결해서 만일의 경우의 강판의 낙하를 막게끔 한다.

앵커 볼트는 일정한 길이로 절단하고 강판에 부착해 있는 수지는 그라인더 등으로 제거한다. 또한 강판도장은 강교의 도장에 준하는 것이 좋다.

(2) 주입공법의 경우, 상기 (1)에 준하지만, 시일은 그라인더 등으로 깨끗하게 마무리하는 것만으로 하고 제거하지 않는다. 단 공기 뽑기 파이프는 절단한다.

3. 부재증설 보강공법

가. 공법개요

기존구조물에 기둥 및 벽체를 추가로 설치함으로써 지진하중에 대한 구조물의 내진 성능을 향상시키는 공법이다. 그 구조계는 강도와 함께 강성이 증가되면서 전체 구조계의 강성분포에 변화를 일으키므로 균형 있는 증설 배치에 대한 고려가 필요하다.

나. 보강요령(현장 타설 콘크리트에 의한 벽체증설 방법)

그림 3.3.4에 보이는 바와 같이 거푸집의 상단에 투입구멍을 두어 콘크리트를 타설한다. 기존구조물과 증설벽체와의 전단력전달을 위하여 여러가지 상세가 있으나 다음과 같이 현장설치볼트(그림 3.3.5)를 이용하는 방법과 후크에 의한 철근을 연결하는 방법(그림 3.3.6)이 많이 사용된다.

다. 보강 개요도

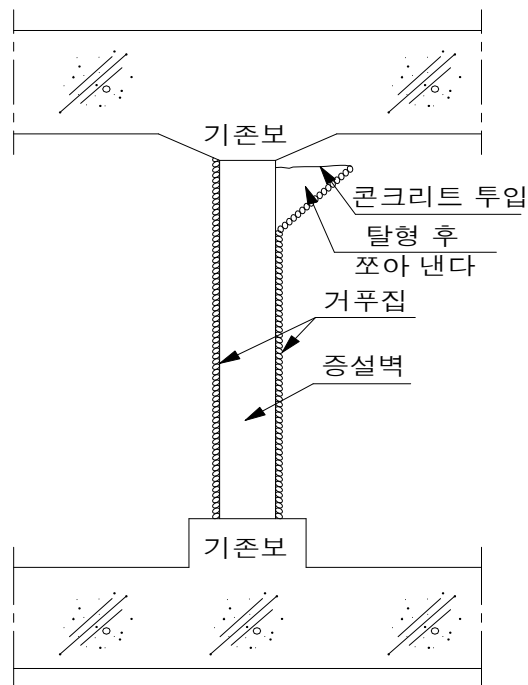


그림 3.3.4 기존 구조물의 증설공법

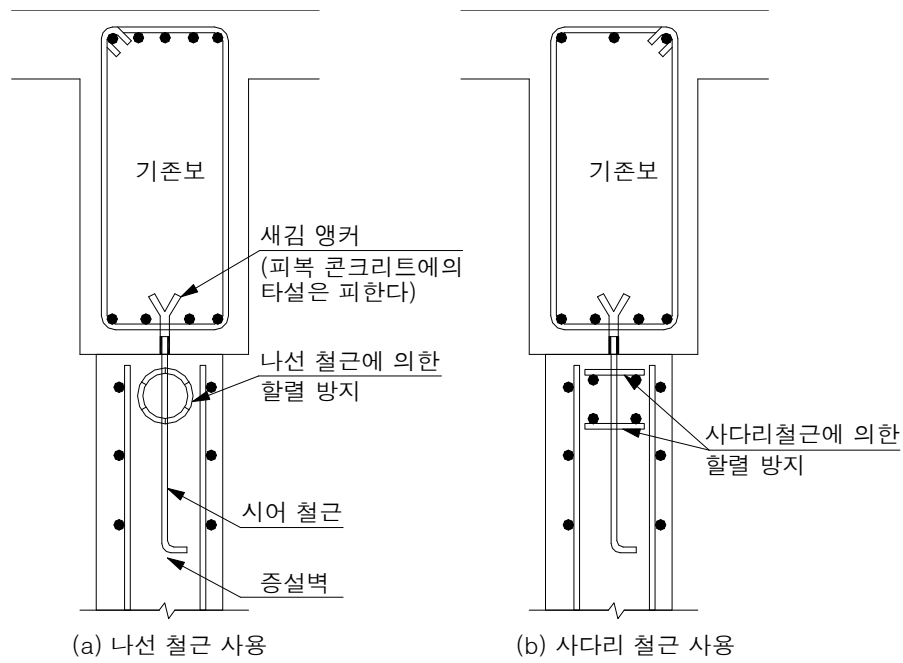


그림 3.3.5 현장 설치 볼트공법

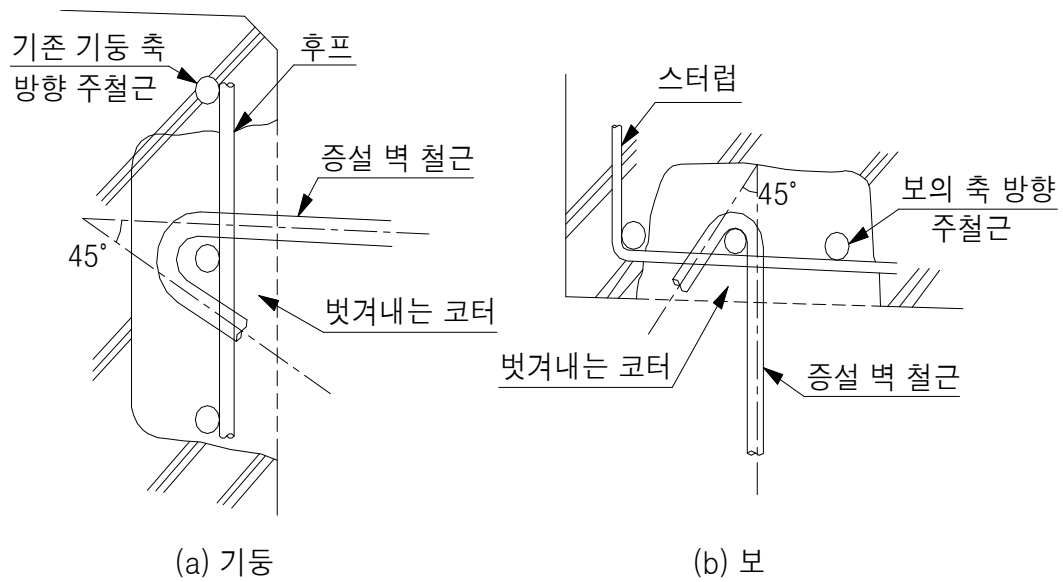


그림 3.3.6 후크에 의한 철근 연결방법

4. 브레이싱 증설에 의한 보강공법

가. 공법개요

수평부재와 수직부재가 연결되는 우각부에 지진력에 의한 전단력 및 휨모멘트가 크게 발생하므로, 이들 부분에 H-형강 브레이싱을 설치함으로써 부재 내하력을 증진시키는 공법이다. 우각부에 설치하는 브레이싱 부재는 축방향 작용지진하중에 대하여 효과적인 내하력을 발휘한다.

나. 보강요령

우각부의 기존 콘크리트 수평부재(슬래브)와 수직부재(벽체)에 앵커 볼트를 견고하게 매입한 후, H-형강 브레이싱 부재를 설치한다. 앵커 볼트와 H-형강 브레이싱부재 간에 확실한 연결과 함께 H-형강의 베이스 플레이트(Base plate)는 기존콘크리트 면에 균등하게 밀착시킨다. 강재도장은 강교의 도장에 준하여 시행한다.

다. 보강개요도

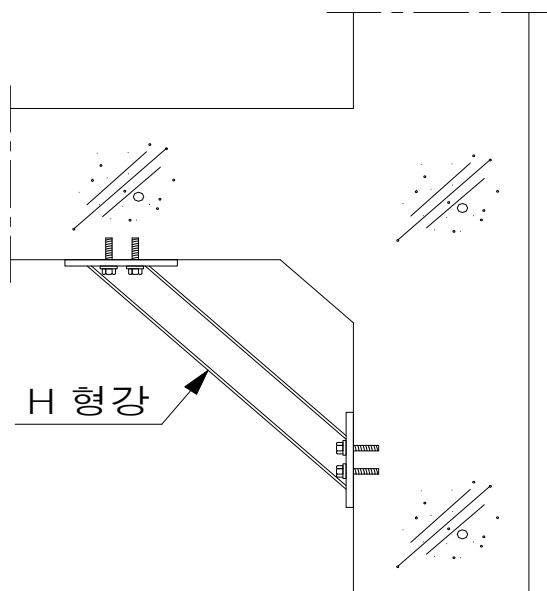


그림 3.3.7 H-형강 브레이싱 보강공법

5. 개구부 보강공법

가. 강재기둥 추가설치공법

(1) 공법개요

기존 내부 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨기시의 소음, 진동을 최소화 해야 하는 경우에 적용 할 수 있다. 강재기둥 및 보를 주철근 절단 예상 위치 하부에 밀착이 되도록 설치한 후 개구부 주변을 절단한다. 개요도는 그림 3.3.8과 같다.

(2) 보강개요도

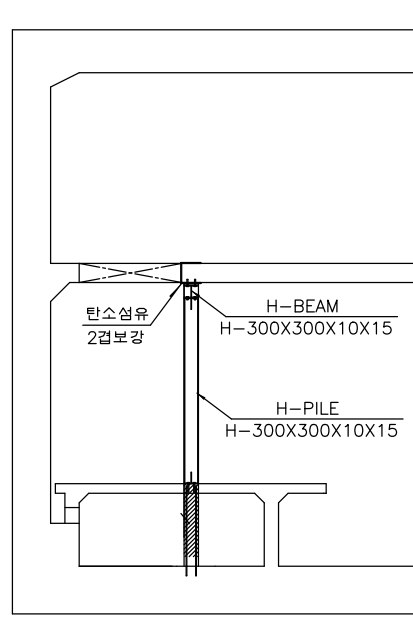


그림 3.3.8 강재기둥추가 설치공법

나. 테두리보 추가설치공법

(1) 공법개요

기존 내부 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적인 안정성 확보를 위해 필요한 경우 테두리보 추가설치공법을 적용하여 안정성을 확보할 수 있다. 또한, 개구부 하부에 보강 기둥을 설치하기 어려운 경우에 적용한다. 개구부 주변의 콘크리트만을 깨어낸 후 보철근을 추가 배근하고 콘크리트를 타설하는 공법이며, 개요도는 그림 3.3.9와 같다.

(2) 보강개요도

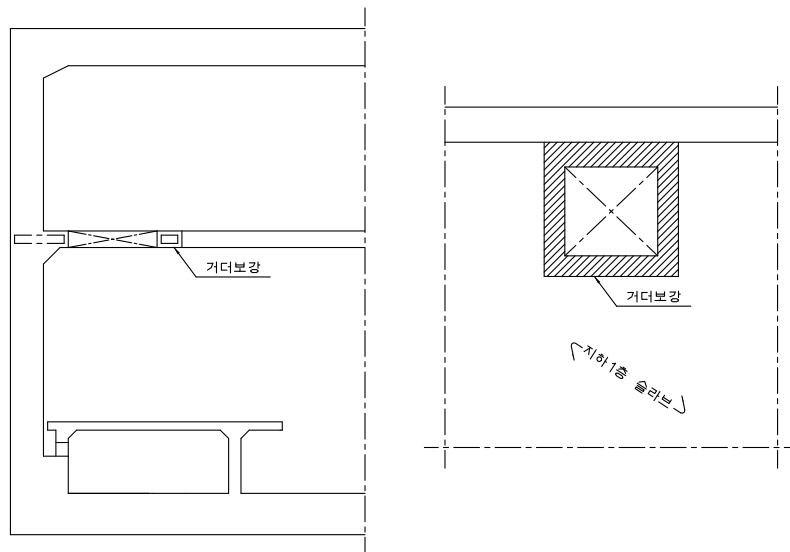


그림 3.3.9 테두리보추가 설치공법

6. 벽체(기둥) 두께증가 보강공법

가. 공법개요

구조물의 벽체 혹은 기둥부재 등의 내하력, 연성도 및 전단강도를 향상시키기 위하여 기존부재 주위에 띠철근 및 주철근을 추가 배근하고 콘크리트를 덧씌우는 공법이다. 즉, 기존 구조물의 단면을 증가시킴에 의하여 구조내하력을 증진시키는 공법이다.

나. 보강요령

부재의 휨강도와 전단강도를 향상시키기 위해서는 추가된 주철근의 강도가 충분히 발휘될 수 있도록 확실한 정착장 확인이 필요하다. 또한 확실한 전단내하력 확보를 위하여 증가된 두께부분과 기존구조물과의 부착이 확실해야하므로 기존벽체표면의 거칠게 처리 및 앵커(Anchor) 처리 등에 조치가 필요하며, 추가타설 콘크리트의 확실한 충전이 되어야 한다.

다. 보강개요도

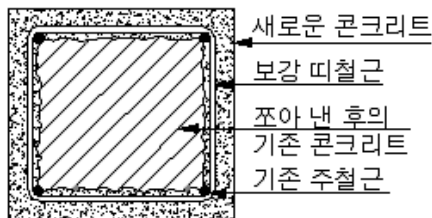


그림 3.3.10 기둥 보강공법



그림 3.3.11 벽체 보강공법

7. H-형강 증설 공법

가. 공법개요

벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬래브 개구부 위치의 측벽부 등에 내하력 부족시 H-형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법이다.

개구부로 인한 벽체의 종방향에 대하여 지진력에 의해 증가된 휨모멘트와 전단력에 저항하기 위한 목적으로 설치한다.

나. 보강개요도

기존 콘크리트벽체면에 H-형강을 부착시켜 벽체의 구조적 성능을 효과적으로 발휘하기 위해서는 소요되는 부분 보다 H-형강을 충분히 연장하여야 한다.

설치방법은 앵커 볼트를 천공삽입하여 H-형강과의 연결이음과 무수축 에폭시 모르타르를 주입함으로써 H-형강과 콘크리트 부재가 확실한 부착을 통한 일체거동이 이루어지도록 한다. 공법개요도는 그림 3.3.12와 같다.

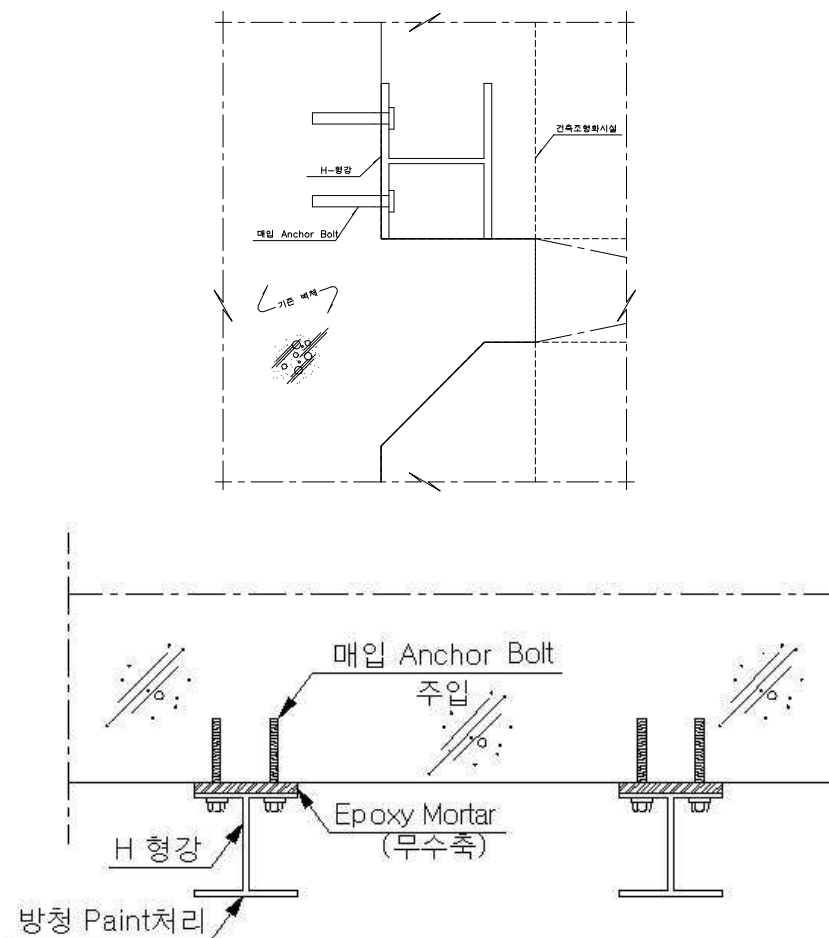


그림 3.3.12 H-형강 증설공법

8. 벽체부 강판 압착공법

가. 공법개요

구조물내 토압을 받는 축벽부 중간 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위하여 축벽슬래브 상·하면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트와 일체화시켜 내하력을 증진시키는 공법이며, 개요도는 그림 3.3.13과 같다.

나. 보강개요도

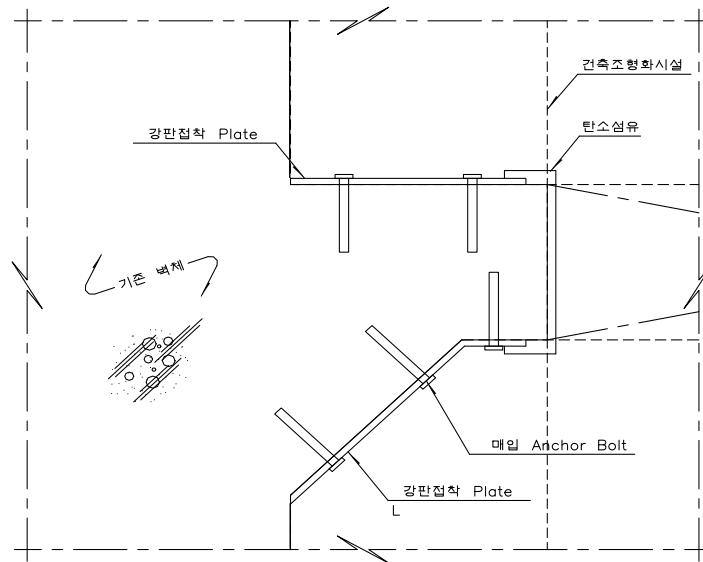


그림 3.3.13 벽체부 강판 압착공법

9. 기둥의 띠판 보강공법

가. 공법개요

지진에 의해 발생하는 전단력에 대하여 기존기둥에 급격한 전단파괴가 발생하지 않도록 기둥의 인성(Toughness)을 증진 시키는 공법으로 기둥의 띠철근을 보강시키는 효과를 갖도록 기둥 주위에 강제 띠판을 설치한다. 적용대상으로는 도시철도 승강장층 중앙기둥인 구형기둥을 비롯하여 대합실층의 원형기둥 모두가 될 수 있다. 특히 도시철도 승강장층 중앙기둥의 경우는 보강시의 두께선택에 있어서 열차 운행에 필요한 건축한계에 저촉되지 않도록 주의가 필요하다.

나. 보강개요도

전단에 대해 기존의 띠 철근외에 추가로 소요되는 철근량에 해당되는 띠판의 보강량을 산정하여 적절한 두께와 폭 및 간격을 결정한다. 띠판을 이용하여 기존 기둥의 바깥쪽 둘레에서 그림 3.3.14와 같이 보강한다.

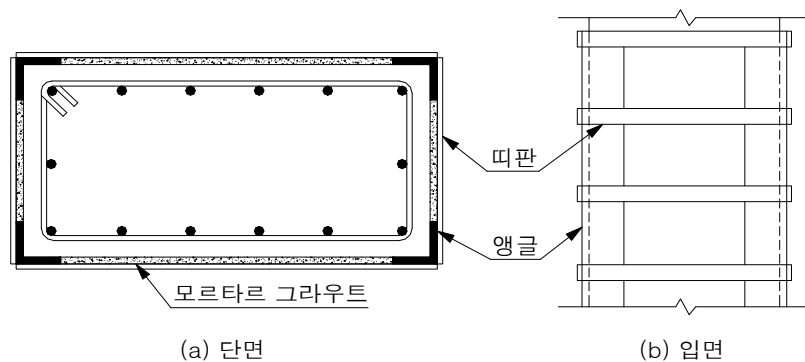


그림 3.3.14 띠판 보강공법

기둥 네 모서리의 수직앵글은 현장용접을 용이하게 하는데 유용하다. 띠판과 기존 기둥과의 유격은 무수축 모르타르로 채움으로서 기존 기둥과 띠판이 일체거동이 되도록 한다. 일반적으로 띠판의 두께는 3.2mm이상을 적용하고 간격과 띠폭은 10cm정도로 하는 것이 적당하다.

10. 지진격리공법 (개착식 구조물의 주변지반 내진보강)

개착식 터널 주변지반에 파일벽체를 시공하여 내진안정성을 확보하는 공법이다.

가. 공법개요

- (1) 최근 개발된 ‘폴리머 진동차단 공법(Polymer seismic isolation method)’은 주변 지반으로부터 구조물로 전달된 지진 거동을 감소시키기 위하여 지하구조물 양 측면에 폴리머 벽체를 시공한다.
- (2) 이 공법은 그 자체로 지진시 지반변형을 막거나 통제하기 위한 것이 아니고, 주변 지반으로부터 전달된 지진력을 차단하기 위한 목적이다.

나. 보강개요도

- (1) 가운데 기둥은 스틸 재킷공법으로 충분히 보강되어질 수 있지만, 측벽을 보강하는데 있어서는 기존의 유효한 공법이 부재한 실정이다.
- (2) 지진평가에서 상대 변형이 30%까지 감소됨과 함께 해석결과 측벽의 전단력은 대규모 지진에도 안전한 수준 이내로 유지되는 것으로 분석되었다.

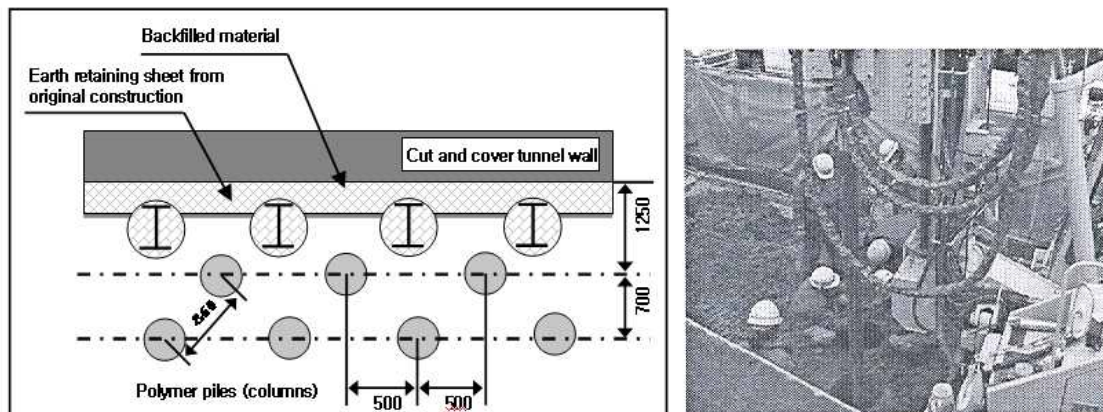


그림 3.3.15 폴리머 내진격리공법(일본 나카가와역)

3.4 굴착식 터널의 내진성능 향상방법

가. 공법개요

도로 및 철도 터널 등은 지진피해로 인하여 안전운행에 지장을 초래할 수 있으므로, 지진시 터널 라이닝의 국부적인 박락 및 탈락, 균열 발생 및 기존 균열의 심화, 노면융기 등의 지진피해를 방지하기 위한 내진대책공법을 필요로 한다.

내진대책공법으로는 터널내부의 록볼트, 슛크리트, 배면주입, 내면보강 등을 들 수 있으며 이들 공법은 지진에 대비한 공법이면서도 복구공법으로도 적용될 수 있다.

나. 보강개요도

그림 3.4.1은 터널 내부에서 록볼트 또는 슛크리트로 보강을 실시하는 개요도를 나타낸 것이고, 그림 3.4.2는 일본의 터널 내부 보강사례를 나타낸 것이다.

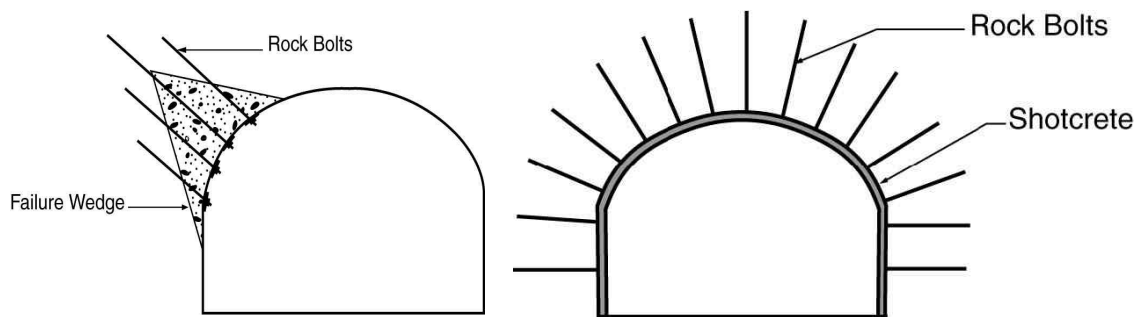


그림 3.4.1 록볼트 및 슛크리트 설치

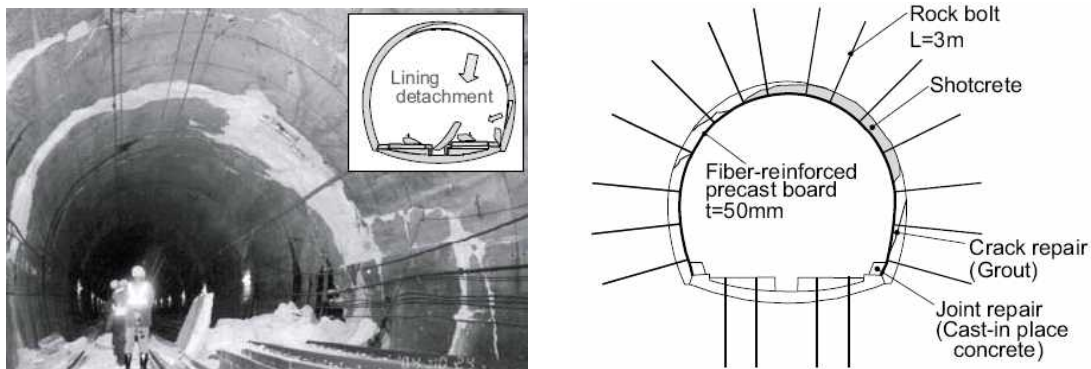
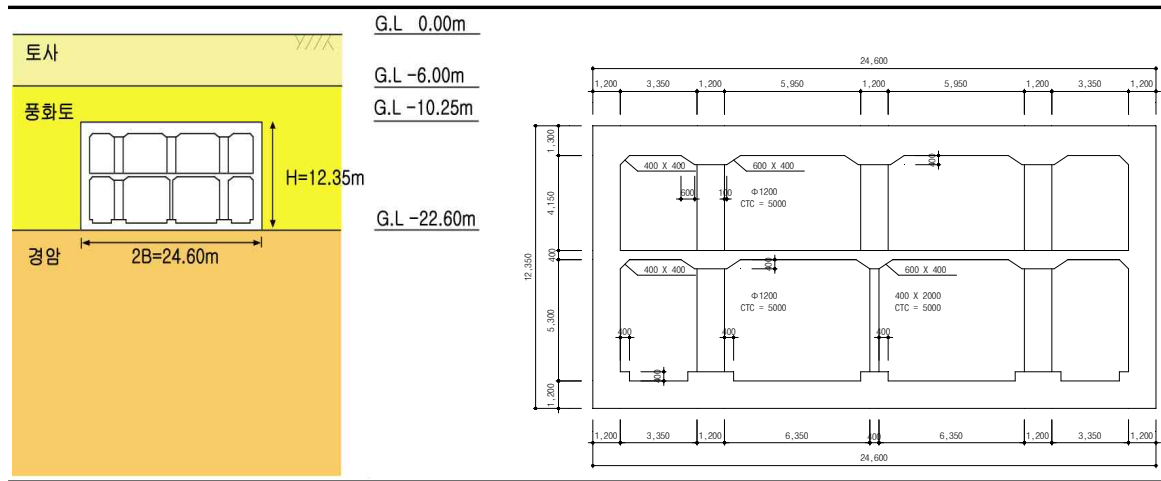


그림 3.4.2 ○○터널의 내진보강 사례(일본)

A. 내진성능 향상 예제

1. 상부슬래브 두께 증가보강기법
2. 측벽 H-형강 증설 공법

■ 상부슬래브 두께 증가보강기법



<그림 1> 2층 지반조건 및 단면제원

1. 내진성능 예비평가

1.1 지진도 평가

대상 구조물은 구역 I, 도시지역, 지반종류 S_A 에 위치하므로 아래의 <표 1>의 ‘지진도 등급 기준’에 의해 지진도 2그룹에 해당한다.

<표 1> 지진도 등급 기준

지진구역	구분	지반종류			
		S_E	S_D	S_C	S_B, S_A
I	도시	1그룹		2그룹	
	기타지역	1그룹	2그룹	3그룹	3그룹
II	도시				4그룹
	기타지역	2그룹	3그룹	4그룹	

1.2 취약도 평가

터널 구조물의 취약도는 지진으로 인해 구조물이 붕괴되거나 손상을 입기 쉬운 형태를 구분하는 것으로 지반상태, 사면활동, 저토피 구간, 불균형 토압, 터널 형상 등의 터널의 설계·시공에서부터 유지관리에 이르기까지 다양한 인자를 고려하여 다

음과 같이 취약도 지수(Vulnerability Index)로 나타낸다.

$$VI = 10 \times (Soil + Slope + Depth + Unbal + Shape + Lining \\ + Const + Size + Hist + De for + Deter + Damage)$$

여기서, *Soil* : 터널 주변의 지반(Soil) 상태에 따른 지수

Slope : 갱구부 사면(Slope)의 활동여부에 따른 지수

Depth : 터널 저토피(Shallow depth) 구간에 따른 지수

Unbal : 단면의 비정형성 및 편토압 등의 불균형(Unbalance) 토압에 따른 지수

Shape : 터널 형상(Shape)에 따른 지수

Lining : 터널 라이닝(Lining) 형식에 따른 지수

Const : 터널 시공(Construction) 방법에 따른 지수

Size : 터널의 굴착단면 크기(Size)에 따른 지수

Hist : 터널 시공당시의 재난 이력(History)에 따른 지수

De for : 터널의 지속적인 변형(Deformation) 여부에 따른 지수

Deter : 터널 구조물의 노후(Deterioration)화에 따른 지수

Damage : 터널 구조물의 손상(Damage)에 따른 지수

<표 2> 취약도 지수 평가결과

No.	세부지수	설명	내용	점수
1	<i>Soil</i>	주변 지반	보통지반(S_A)	0.2
2	<i>Slope</i>	갱구부 사면활동	없음	0.2
3	<i>Depth</i>	저토피 구간	$10m \leq h$	0.2
4	<i>Unbal</i>	불균형 토압	없음	0.2
5	<i>Shape</i>	터널 형상	박스형	1.0
6	<i>Lining</i>	라이닝 형식	철근콘크리트	0.2
7	<i>Const</i>	시공방법	개착식	0.5
8	<i>Size</i>	단면크기	$B=24.6m, H=12.35m$	0.8
9	<i>Hist</i>	재난이력	없음	0.2
10	<i>Deform</i>	지속적인 변형	없음	0.2
11	<i>Deterioration</i>	노후화	$30년 \leq t < 50년$	0.8
12	<i>Damage</i>	손상상태	C등급	0.8
합 계				5.3
■ 취약도 지수(VI) = $10 \times 5.3 = 53점$				

1.3 영향도 평가

터널 구조물의 영향도는 지진으로 인해 피해가 발생할 경우에 이로 인한 사회 및 경제적인 영향을 고려하여 교통량 또는 탑승인원, 인접 주요시설물, 주요 라이프라인 등의 다양한 인자를 고려하여 터널 구조물의 취약도 지수 산정과 유사한 방법으로 다음과 같이 터널 구조물의 영향도 지수(Impact Index)로 나타낸다.

$$II = 20 \times (Traffic + Facilities + Lifeline + Importance + Recovery)$$

여기서, *Traffic* : 터널을 이용하는 일평균 교통(Traffic)량 또는 일일 평균탑승인원

Facilities : 인접 주요 시설물(Facilities)의 존재여부

Lifeline : 터널 내·외부 주요 라이프라인(Lifeline)의 존재여부

Importance : 사회·경제적으로 영향을 주는 터널의 중요도(Importance)

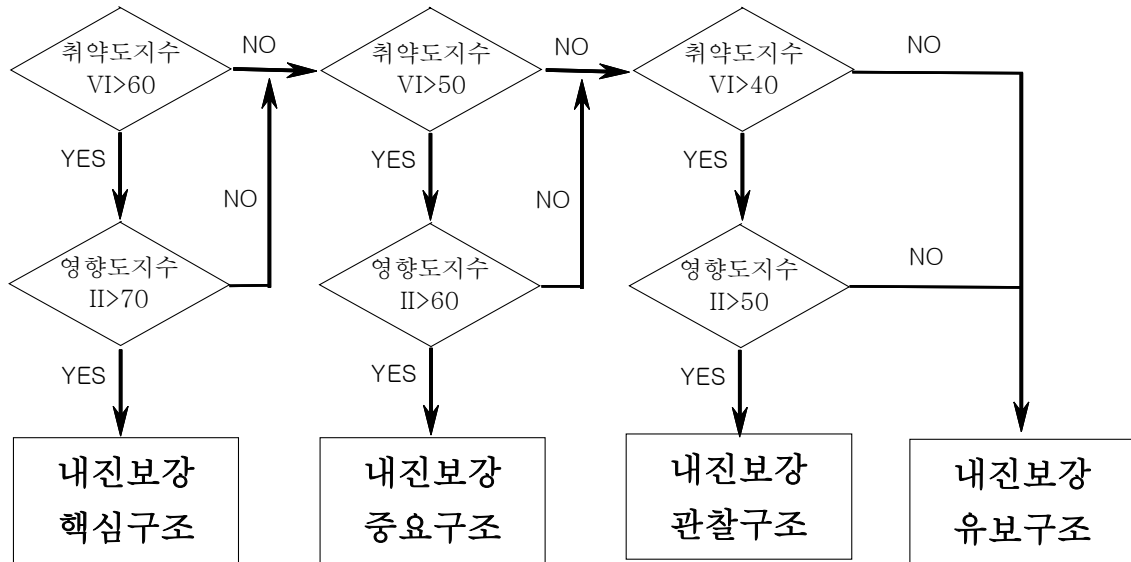
Recovery : 터널 구조물의 성능회복(Recovery)을 위한 비용지수

<표 3> 영향도 지수 평가결과

세부지수	설명	내용	점수
<i>Traffic</i>	교통량 또는 탑승인원	10만명 ≤ P	1.0
<i>Facilities</i>	주요시설물	존재	1.0
<i>Lifeline</i>	주요 라이프라인	가스 및 송유관	1.0
<i>Importance</i>	터널 중요도	인원수송, 1등급	1.0
<i>Recovery</i>	성능회복비용	정거장	1.0
합 계			5.0
■ 영향도 지수(VI) = 20 × 5.0 = 100점			

1.4 내진그룹화

지진도, 취약도, 영향도를 산정하여 그림 B-1과 같은 결정과정을 통하여 대상구조물의 내진등급을 그룹화한다.



<그림 2> 내진그룹화 방법

1.5 내진성능 예비평가 결과

<표 4> 예비평가 결과

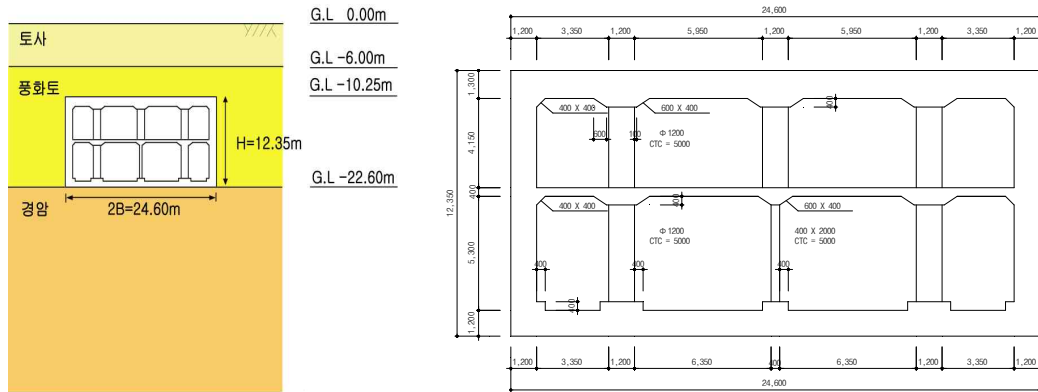
항 목	평 가 결 과
지진도 평가	2그룹
취약도 평가	53점
영향도 평가	100점
그룹 결정	내진보강 중요시설

본 터널 구조물은 내진성능 예비평가에서 내진보강 ‘중요시설’로 분류되었으며, 이

에 대한 내진성능 상세평가를 수행하면 다음과 같다.

2. 내진성능 상세평가(2층 정거장)

가. 지반조건 및 단면제원



<그림 3> 지반조건 및 단면제원

<표 5> 지반의 물성치

지반 구분	초기전단파속도 V_0 (m/s)	설계전단파속도 $V_s = 0.5V_0$	단위중량 (γ , kN/m ³)	설계탄성계수** E (kN/m ²)	포아송비 ν
토사	275	137.5	17.65	91,884.5	0.35
풍화토	500	250	19.61	337,500	0.35
풍화암	750	375	20.59	797,344	0.35
경암	1,500	1,500*	22.55	12,937,500	0.25

* 경암(기반암)의 전단파속도는 성능수준별 지반변형에 대한 보정계수(C)를 적용하지 않음.

** 탄성계수 : $E = 2(1+\nu)(\rho)(V_s)^2$

<표 6> 철근콘크리트의 물성치

구조물	단위중량 γ_{con} (kN/m ³)	설계탄성계수 E_c (kN/m ²)	포아송비 ν
철근콘크리트	24.02	3.123×10^7	0.17

- 콘크리트 설계기준강도 : $f_{ck} = 29.42 \text{ MPa} (= 300 \text{ kgf/cm}^2)$

- 설계탄성계수 : $E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt{f_{cu}} (f_{cu} = f_{ck} + 8)$

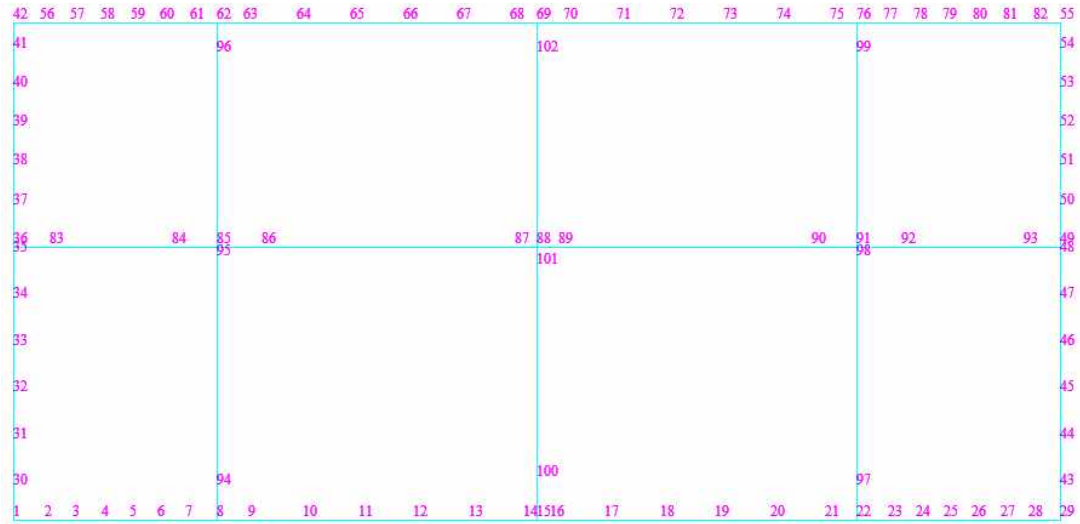
<표 7> 2층 정거장의 단면계수

부재구분	종방향 유효폭 B (m)	두께 H (m)	단면적 $A = BH$ (m ²)	단면 2차 모멘트 $I = 1/12 \cdot bh^3$ (m ⁴)
상부 슬래브	1	1.3	1.3	0.183083
중앙 슬래브	1	0.4	0.4	0.005333
하부 슬래브	1	1.2	1.2	0.14400
측벽	1	1.2	1.2	0.14400
사각기둥 (0.4m × 2m, CTC = 5m)	0.4	0.4	0.160	0.002133
원기둥 ($\phi 1.2$ m, CTC = 5m)	-	1.2	0.2262*	0.020358**

$$* \ A = \frac{1}{C_{TC}} \frac{\pi d^2}{4}, \quad ** \ I = \frac{1}{C_{TC}} \frac{\pi d^2}{4}$$

나. 응답변위법

1) 유한요소해석모델



<그림 4> 유한요소해석모델

2) 지진하중 산정

- 지진구역 : I 구역
- 내진등급 : I 등급
- 위험도계수 : $I=1.4$ (붕괴방지수준)
- 지진계수 : $C_a = 0.09, C_v = 0.09$ (기반암=경암 : S_A 지반)

① 표층지반의 설계고유주기(T_s) 산정

<표 8> 표층지반의 특성치(T_G)와 설계고유주기(T_s)

구분	내 용		비 고
표층지반의 특성치	$T_G = \sum(4H_i/V_{Si})$		$V_{Si} = 0.5 \times V_{oi}$
	1	0.175 sec	V_{oi} : 초기전단파속도 V_{Si} : 설계전단파속도
	2	0.265 sec	
	Σ	0.440 sec	
표층지반의 설계고유주기	$T_s = 1.25T_G = 0.550 \text{ sec}$		

② 설계속도 응답스펙트럼(S_v) 산정

•통제주기(T_s, T_0) : $T_s = C_v/2.5C_a = 0.4 \text{ sec}$, $T_0 = 0.2T_s = 0.08 \text{ sec}$

<표 9> 설계속도 응답스펙트럼(S_v)

설계속도 응답스펙트럼, $S_v = T_s/2\pi \times S_a$		$S_v (\text{m/sec})$
$0 \leq T_s < T_0$	$S_a = C_D \times (C_a + (2.5C_a - C_a)/T_0 \times T_s) \times g \times I$	-
$T_0 \leq T_s < T_s$	$S_a = C_D \times 2.5 \times C_a \times g \times I$	-
$T_s \leq T_s$	$S_a = C_D \times C_v \times g \times I/T_s$	0.131

- 성능수준에 대한 보정 : $I=1.4$ (붕괴방지수준)

- 지반적용위치에 대한 보정 : $C_a = C_v = 0.09$ (S_A 지반)

- 감쇠율에 대한 보정 : $h=0.2$ (붕괴방지수준), $C_D = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 = 0.667$

③ 지반반력계수(K_v, K_H, K_{SS}, K_{SB}) 산정

<표 10> 지반반력계수

구 분		내 용	비 고
풍 화 토	V_s	$= C \times V_0 = 250 \text{ m/sec}$	$C = 0.5, V_0 = 500 \text{ m/sec}$
	G_D	$= \gamma_t/g \times V_s^2 = 125,000 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_t = 19.61 \text{ kN/m}^3$
	E_D	$= 2(1+\nu)G_D = 337,500 \text{ kN/m}^2$	$\nu = 0.35$
	k_{v0}, k_{h0}	$= E_D/0.3 = 1,125,000 \text{ kN/m}^3$	
경 압	V_s	$= V_0 = 1,500 \text{ m/sec}$	성능수준별 지반변형에 대한 보정계수(C)를 적용하지 않음.
	G_D	$= \gamma_t/g \times V_s^2 = 5,175,000 \text{ kN/m}^2$	$\gamma_t = 22.55 \text{ kN/m}^3$
	E_D	$= 2(1+\nu)G_D = 12,937,500 \text{ kN/m}^2$	$\nu = 0.25$
	K_{v0}	$= E_D/0.3 = 43,125,000 \text{ kN/m}^3$	

구 분		내 용	비 고
상부 슬래브 (풍화토)	K_V	$= k_{v0} (B_v/0.3)^{-3/4} = 41,285 \text{ kN/m}^3$	$B_v = 24.6 \text{ m}$
	K_{SB}	$= K_V/3.5 = 11,796 \text{ kN/m}^3$	
벽 체 (풍화토)	K_H	$= k_{h0} (B_h/0.3)^{-3/4} = 69,222 \text{ kN/m}^3$	$B_h = 12.35 \text{ m}$
	K_{SS}	$= K_H/3.5 = 19,778 \text{ kN/m}^3$	
저 판 (경 암)	K_V	$= k_{v0} (B_v/0.3)^{-3/4} = 1,582,591 \text{ kN/m}^3$	$B_v = 24.6 \text{ m}$
	K_{SB}	$= K_V/3.5 = 452,169 \text{ kN/m}^3$	

④ 스프링계수($(K_{Vi}, K_{Sbi}, K_{Hi}, K_{Ssi})$) 산정

<표 11> 저판 및 상판의 스프링계수

저판 절점	A_i (m)	K_{Vi}^* (kN/m/m)	K_{Sbi}^{**} (kN/m/m)	상판 절점	A_i (m)	K_{Vi}^* (kN/m/m)	K_{Sbi}^{**} (kN/m/m)
1	0.950	1,503,500	429,600	42	0.9000	37,200	10,600
2	0.665	1,052,400	300,700	56	0.6350	26,200	7,500
3	0.630	997,000	284,900	57	0.6700	27,700	7,900
4	0.630	997,000	284,900	58	0.6700	27,700	7,900
5	0.630	997,000	284,900	59	0.6700	27,700	7,900
6	0.630	997,000	284,900	60	0.6700	27,700	7,900
7	0.665	1,052,400	300,700	61	0.6350	26,200	7,500
8	0.700	1,107,800	316,500	62	0.6000	24,800	7,100
9	0.965	1,527,200	436,300	63	0.8950	37,000	10,600
10	1.230	1,946,600	556,200	64	1.1900	49,100	14,000
11	1.230	1,946,600	556,200	65	1.1900	49,100	14,000
12	1.230	1,946,600	556,200	66	1.1900	49,100	14,000
13	1.230	1,946,600	556,200	67	1.1900	49,100	14,000
14	0.765	1,210,700	345,900	68	0.8950	37,000	10,600
15	0.300	474,800	135,700	69	0.6000	24,800	7,100
16	0.765	1,210,700	345,900	70	0.8950	37,000	10,600
17	1.230	1,946,600	556,200	71	1.1900	49,100	14,000
18	1.230	1,946,600	556,200	72	1.1900	49,100	14,000
19	1.230	1,946,600	556,200	73	1.1900	49,100	14,000
20	1.230	1,946,600	556,200	74	1.1900	49,100	14,000
21	0.965	1,527,200	436,300	75	0.8950	37,000	10,600
22	0.700	1,107,800	316,500	76	0.6000	24,800	7,100
23	0.665	1,052,400	300,700	77	0.6350	26,200	7,500
24	0.630	997,000	284,900	78	0.6700	27,700	7,900
25	0.630	997,000	284,900	79	0.6700	27,700	7,900
26	0.630	997,000	284,900	80	0.6700	27,700	7,900
27	0.630	997,000	284,900	81	0.6700	27,700	7,900
28	0.665	1,052,400	300,700	82	0.6350	26,200	7,500
29	0.950	1,503,500	429,600	55	0.9000	37,200	10,600

* $K_{Vi} = A_i \times K_V$

** $K_{Sbi} = A_i \times K_{SB}$

<표 12> 측벽의 스프링계수

측벽 절점	A _i (m)	K _{Hi} [*] (kN/m/m)	K _{SSi} ^{**} (kN/m/m)	측벽 절점	A _i (m)	K _{Hi} [*] (kN/m/m)	K _{SSi} ^{**} (kN/m/m)
42	0.975	67,500	19,300	55	0.975	67,500	19,300
41	0.760	52,600	15,000	54	0.760	52,600	15,000
40	0.870	60,200	17,200	53	0.870	60,200	17,200
39	0.870	60,200	17,200	52	0.870	60,200	17,200
38	0.870	60,200	17,200	51	0.870	60,200	17,200
37	0.870	60,200	17,200	50	0.870	60,200	17,200
36	0.535	37,000	10,600	49	0.535	37,000	10,600
35	0.620	42,900	12,300	48	0.620	42,900	12,300
34	1.040	72,000	20,600	47	1.040	72,000	20,600
33	1.040	72,000	20,600	46	1.040	72,000	20,600
32	1.040	72,000	20,600	45	1.040	72,000	20,600
31	1.040	72,000	20,600	44	1.040	72,000	20,600
30	0.870	60,200	17,200	43	0.870	60,200	17,200
1	0.950	65,800	18,800	29	0.950	65,800	18,800

* K_{Hi} = A_i × K_H

** K_{SSi} = A_i × K_{SS}

⑤ 지반변위(U_h) 산정

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \times S_v \times T_s \times \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

<표 13> 지반변위(U_h)

간격(m)	누적심도(m)	지반변위(U _h (x), m) [*]	비고
0.000	0.000	0.0146233	
2.000	2.000	0.0144822	
2.000	4.000	0.0140618	
2.000	6.000	0.0133700	
2.000	8.000	0.0124204	
2.900	10.900	0.0106237	상부슬래브
0.650	11.550	0.0101590	
0.870	12.420	0.0095048	
0.870	13.290	0.0088158	

0.870	14.160	0.0080947	
0.870	15.030	0.0073439	
0.870	15.900	0.0065663	중간슬래브
0.200	16.100	0.0063840	
1.040	17.140	0.0054172	
1.040	18.180	0.0044221	
1.040	19.220	0.0034039	
1.040	20.260	0.0023679	
1.040	21.300	0.0013195	
0.700	22.000	0.0006097	하부슬래브
0.600	22.600	0.0000000	기반암

* 단일코사인 적용

⑥ 지진토압($P_{(z)}$) 산정

$$\text{상판지진토압 } P_{(0)} = K_{SB} \times (u(z_U) - u(z_B)) = 198.05 \text{ kN/m}$$

$$\text{측벽지진토압 } P_{(z)} = K_H \times (u(z) - u(z_B))$$

<표 14> 지진토압($P_{(z)}$)

측벽절점		심도(m)	변위(m)	상대변위(m)	K_H (kN/m/m)	지진토압 ($P_{(z)}$, kN/m)
42	55	10.900	0.01062	0.01001	69,222	693.19
41	54	11.550	0.01016	0.00955	69,222	661.02
40	53	12.420	0.00950	0.00890	69,222	615.74
39	52	13.290	0.00882	0.00821	69,222	568.05
38	51	14.160	0.00809	0.00749	69,222	518.13
37	50	15.030	0.00734	0.00673	69,222	466.16
36	49	15.900	0.00657	0.00596	69,222	412.33
35	48	16.100	0.00638	0.00577	69,222	399.71
34	47	17.140	0.00542	0.00481	69,222	332.79
33	46	18.180	0.00442	0.00381	69,222	263.90
32	45	19.220	0.00340	0.00279	69,222	193.42
31	44	20.260	0.00237	0.00176	69,222	121.71
30	43	21.300	0.00132	0.00071	69,222	49.14
1	29	22.000	0.00061	0.00000	69,222	0.00

⑦ 주면전단력(τ) 산정

$$\tau = \frac{G_D}{\pi H} \times S_v \times T_s \times \sin\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

<표 15> 주면전단력(τ)

구분	내 용	주면전단력(τ , kN/m)
상판	$\tau_U = \frac{125,000}{\pi \times 22.6} \times 0.197 \times 0.550 \times \sin\left(\frac{\pi \times 10.9}{2 \times 22.6}\right)$	87.304
저판	$\tau_B = \frac{125,000}{\pi \times 22.6} \times 0.197 \times 0.550 \times \sin\left(\frac{\pi \times 22}{2 \times 22.6}\right)$	126.937
측벽	$\tau_S = \frac{87.304 + 126.937}{2}$	107.121

⑧ 관성력(f) 산정

$$\begin{aligned} f &= m_i \times a_i = w_i \times K_{hi} = (\gamma \times b \times h) \times K_h \times C_U(z) \\ &= (\gamma \times b \times h) \times (I \times C_a) \times (1 - 0.015z) \end{aligned}$$

<표 16> 지표에서의 설계수평가속도(K_h)

구분	내 용		비 고
표층지반의 평균전단파속도	$V_{0avg} = \sum (V_{0i} \cdot H_i / H)$		
	1	73.01 m/sec	
	2	367.26 m/sec	
	Σ	440.27 m/sec	$\Rightarrow S_c$ 지반
지진계수	$C_a = 0.13$		
수평가속도	$K_h = I \cdot C_a = 1.4 \times 0.13 = 0.182$		

<표 17> 관성력(f)

구분	내 용	관성력(kN/m)
상판	$f_U = (24.02 \times 1.3 \times 1) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 10.9)$	4.754
중판	$f_U = (24.02 \times 0.4 \times 1) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 15.9)$	1.332
저판	$f_B = (24.02 \times 1.2 \times 1) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 22.0)$	3.515
측벽	$f_W = (24.02 \times 1.2 \times 1) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 16.45)$	3.952
지하 1층 기둥	$f_{P1} = \left(24.02 \times \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times \frac{1}{5}\right) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 13.4)$	0.790
지하 2층 기둥	$f_{P2} = \left(24.02 \times \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times \frac{1}{5}\right) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 18.95)$	0.708
지하 2층 측벽	$f_{W1} = \left(24.02 \times 0.4 \times 2 \times \frac{1}{5}\right) \times 0.182 \times (1 - 0.015 \times 18.95)$	0.501

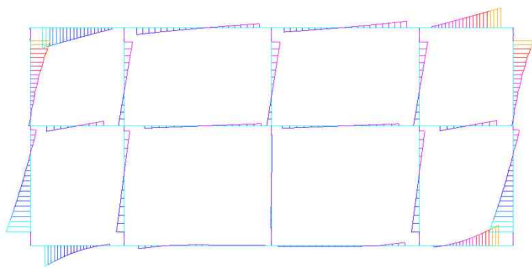
3) 하중조합

·붕괴방지수준의 하중조합(콘크리트 구조설계기준, 2007)

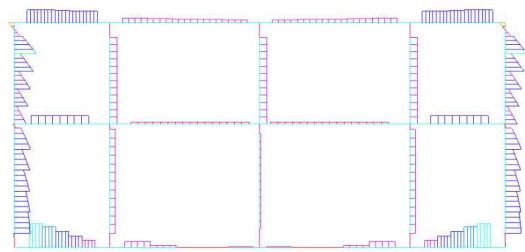
$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$$

$$U = 0.9D + 1.0E + 1.6(\alpha_H H_v + H_h)$$

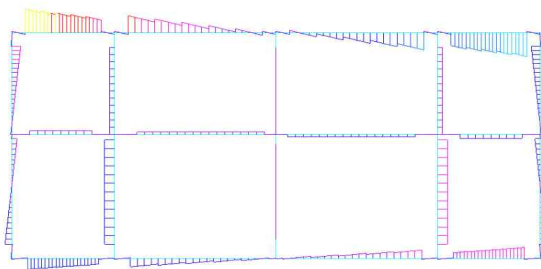
여기서, D : 고정하중
 E : 지진하중(=상판지진토압+ 측벽지진토압+ 주면전단력+ 관성력)
 L : 활하중
 S : 적설하중 (본 예제에서는 해당사항 없음)
 α_H : 토피두께에 따른 보정계수
 H_v : 연직토압 및 수압
 H_h : 수평토압 및 수압



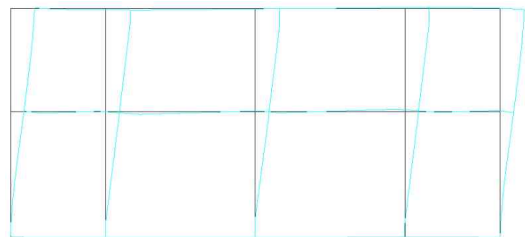
(a) 모멘트도



(b) 전단력도



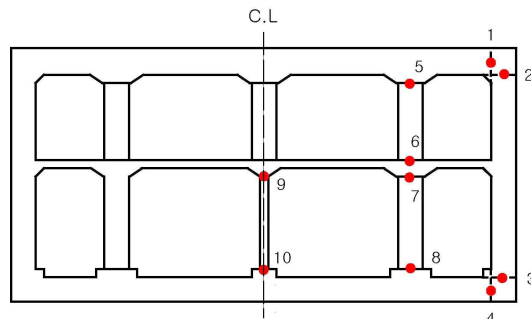
(c) 축력도



(d) 변위도

<그림 5> 지진하중에 의한 해석결과

4) 단면검토



<그림 6> 2층 정거장의 부재력 산정위치

<표 18> 슬래브/측벽의 성능평가

부재위치		1	2	3	4
B (m)		1.00	1.00	1.00	1.00
H (m)		1.30	1.20	1.20	1.20
Mu (kN-m)		2,758.19	2,649.29	3,025.13	2,958.18
Md (kN-m)		1,404.43	2,381.05	2,719.40	2,016.93
Vu (kN)		1,195.70	1,480.39	1,567.03	1,598.41
Vd (kN)		1,134.81	1,095.99	1,326.44	1,601.38
인장철근		D25@125	D25@125	D25@125	D32@125
압축철근		-	-	-	-
전단보강근		2-D13@400	2-D13@400	4-D13@400	4-D13@200
성 능 평 가	Mu/Md	1.96	1.11	1.11	1.47
		N.G	N.G	N.G	N.G
	Vu/Vd	1.05	1.35	1.18	1.00
		N.G	N.G	N.G	O.K

※ Mu/Md, Vu/Vd, Pu/Pd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

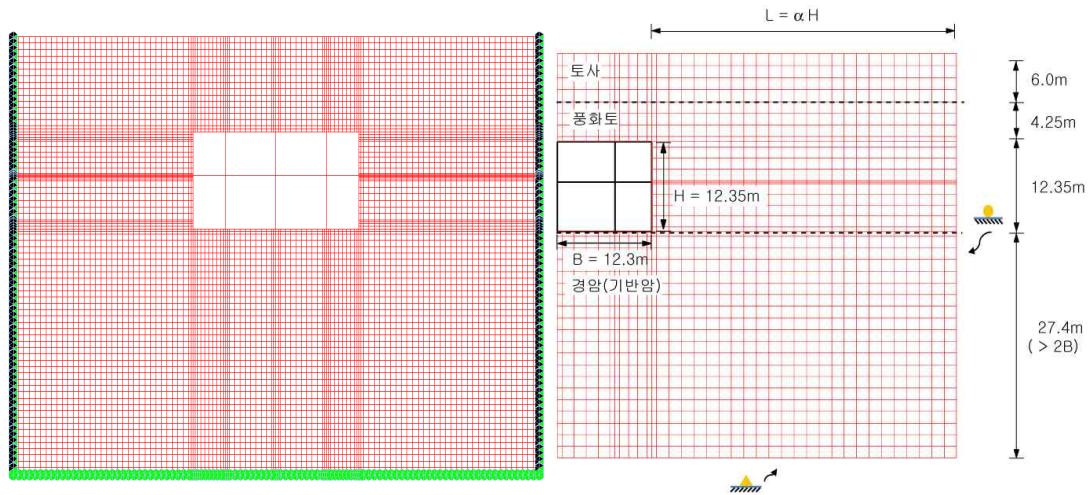
<표 19> 기둥의 성능평가

부재 위치	폭 또는 직경 (m)	e (cm)	철근	Mu (kN-m)	성능평가 (Mu/Md)	Pu (kN)	성능평가 (Pu/Pd)
				Md (kN-m)		Pd (kN)	
5	Φ1.2CTC 5.0	-	11-D32	991.23	0.34	1,720.78	0.34
				2,887.39	∴ O.K	5,012.52	∴ O.K
6	Φ1.2CTC 5.0	-		698.71	0.23	1,741.71	0.23
				3,069.40	∴ O.K	7,651.24	∴ O.K
7	Φ1.2CTC 5.0	-	14-D32	560.97	0.18	2,037.91	0.18
				3,062.82	∴ O.K	11,126.70	∴ O.K
8	Φ1.2CTC 5.0	-	7-D32	851.98	0.25	2,063.00	0.25
				3,467.97	∴ O.K	8,397.41	∴ O.K
9	0.4×2.0CTC 5.0	-	16-D32	53.90	0.09	2,284.60	0.14
				574.37	∴ O.K	16,535.60	∴ O.K
10	0.4×2.0CTC 5.0	-	11-D32	83.20	0.14	2,300.96	0.14
				592.49	∴ O.K	16,385.80	∴ O.K

※ Mu/Md, Vu/Vd, Pu/Pd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

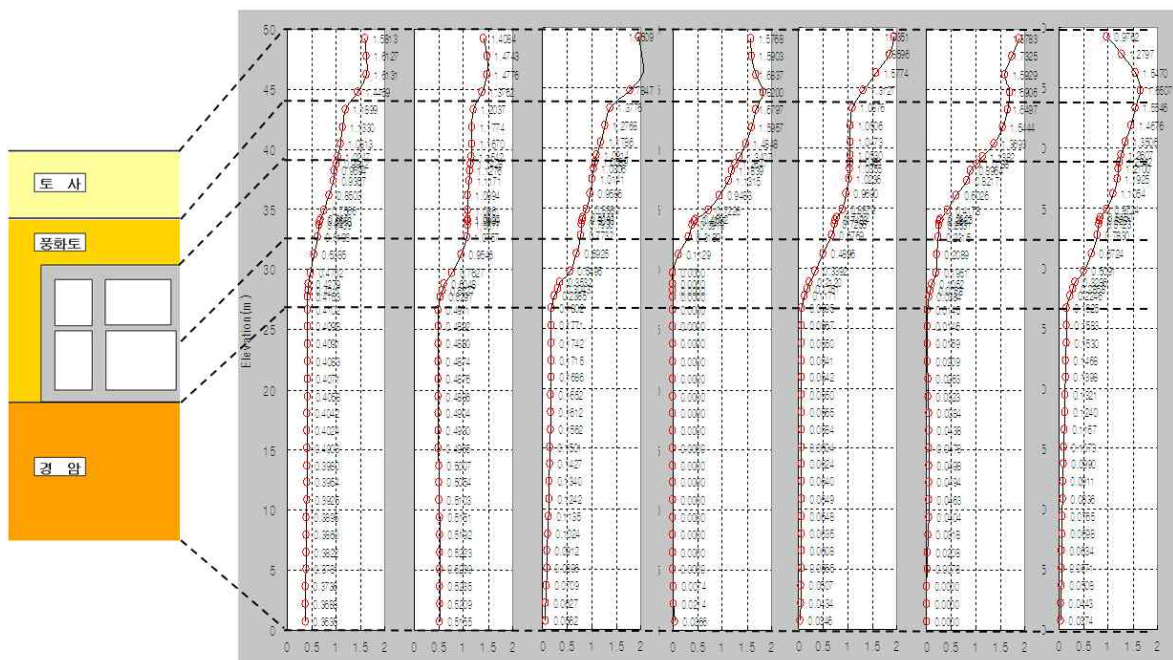
다. 응답진도법(GRSCM)

1) 유한요소해석모델



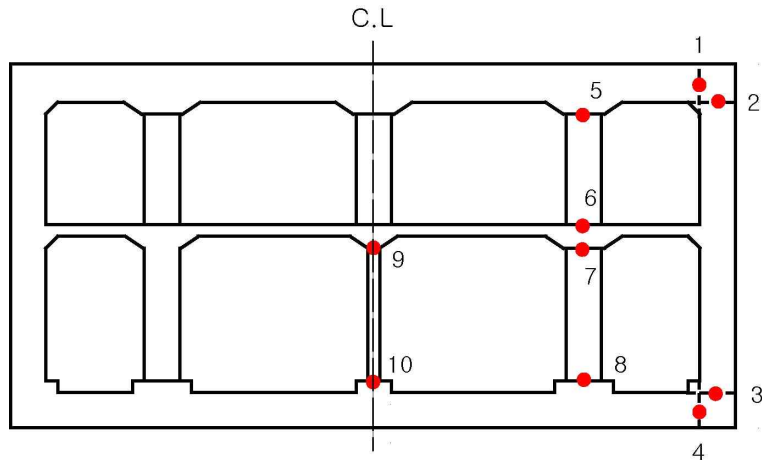
<그림 7> 유한요소해석모델

2) 깊이별 최대응답가속도 산정



<그림 8> 깊이에 따른 최대응답가속도

3) 단면검토



<그림 9> 2층 정거장의 부재력 산정위치

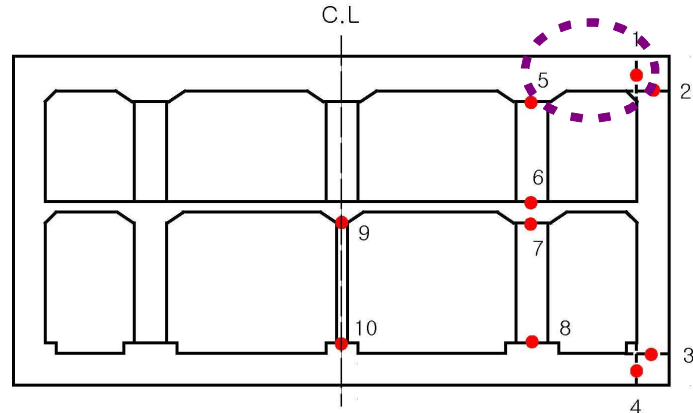
<표 20> 슬래브/측벽의 성능평가

부재위치			1	2	3	4
B (m)			1.00	1.00	1.00	1.00
H (m)			1.30	1.20	1.20	1.20
상 시 (①)		Mu	913.99	929.29	911.43	1,058.38
		Vu	652.50	605.19	927.73	619.61
지진시	단면력 (②)	Mu	421.60	407.79	530.71	502.90
		Vu	122.87	123.91	176.79	223.86
	보정 단면력 (③=②×1.5배)	Mu'	632.40	611.69	796.07	754.36
		Vu'	184.30	185.87	265.19	335.79
검토 단면력 (=① + ③)		Mu''	1,546.39	1,540.98	1,707.50	1,812.74
		Vu''	836.80	791.06	1,192.92	955.40
설계강도		Md	1,404.43	2,381.05	2,719.40	2,016.93
		Vd	1,134.81	1,095.99	1,326.44	1,601.38
인장철근			D25@125	D25@125	D25@125	D32@125
압축철근			-	-	-	-
전단보강근			2-D13@400	2-D13@400	4-D13@400	4-D13@200
성능평가	Mu''/Md		1.10	0.65	0.63	0.90
			N.G	O.K	O.K	O.K
	Vu''/Vd		0.74	0.72	0.90	0.60
			O.K	O.K	O.K	O.K

※ Mu'/Md , Vu'/Vd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

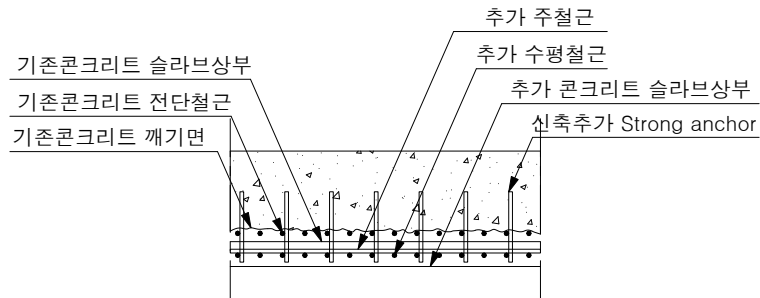
라. 내진성능보강

1) 보강이 필요한 부재



<그림 10> 보강이 필요한 부재 위치

2) 해당부재 단면 확대



<그림 11> 상부 슬래브 보강 개요도

<표 21> 상부슬래브의 성능평가(1번 부재)

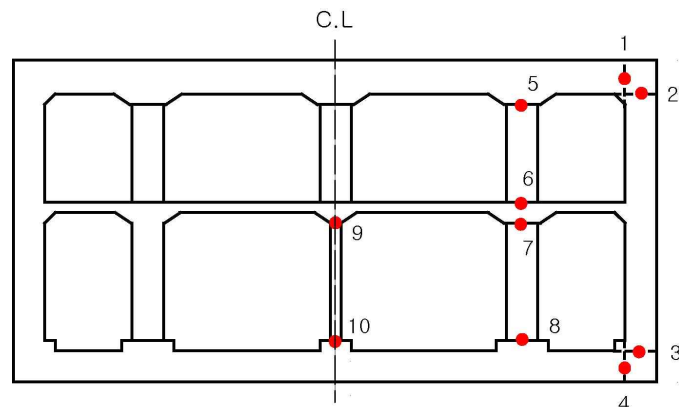
부재위치		보강전	보강후	
B (m)		1.00	1.00	
H (m)		1.30	1.40(10cm 보강)	
지진시	상 시 (①)	Mu	913.99	954.90
	단면력 (②)	Mu	421.60	450.91
	보정 단면력 (③=②×1.5배)	Mu'	632.40	676.37
	검토 단면력 (=① + ③)	Md''	1,546.39	1,631.27
설계강도		Md	1,404.43	2,563.48
인장철근		D25@125	D25@125	D29@200 (보강철근량)
압축철근		-	-	
성능평가	Mu''/Md	1.10	0.64	
		N.G	O.K	

※ Mu'/Md, Vu'/Vd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

■ 측벽 H-형강 증설 공법

본 예제에서 예비평가/상세평가 결과는 전술의 예제와 동일하다. 단, 단면검토에서 철근량을 달리하여 2층 정거장 측벽의 2번 부재가 취약한 경우로 가정하여 내진성능이 취약한 부재에 대해 H-형강을 증설하는 내진성능 보강방법을 제시하고자 한다.

가. 단면검토



<그림 11> 2층 정거장의 부재력 산정위치

<표 22> 슬래브/측벽의 성능평가

부재위치		1	2	3	4
B (m)		1.00	1.00	1.00	1.00
H (m)		1.30	1.20	1.20	1.20
Mu (kN-m)		2,758.19	2,649.29	3,025.13	2,958.18
Md ((kN-m)		3,284.02	2,495.25	3,228.24	3,034.07
Vu (kN)		1,195.70	1,480.39	1,567.03	1,598.41
Vd (kN)		1,321.98	1,630.73	1,679.99	1,769.88
인장철근		D29@100 D25@150	D25@150 D19@150	D29@150 D19@150	D29@100 D25@150
압축철근		-	-	-	-
전단보강근		2-D13@200	4-D13@200	4-D13@200	5-D13@200
성 능 평 가	Mu/Md	0.84	1.06	0.94	0.97
		O.K	N.G	O.K	O.K
	Vu/Vd	0.90	0.91	0.93	0.93
		O.K	O.K	O.K	O.K

※ Mu/Md, Vu/Vd, Pu/Pd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

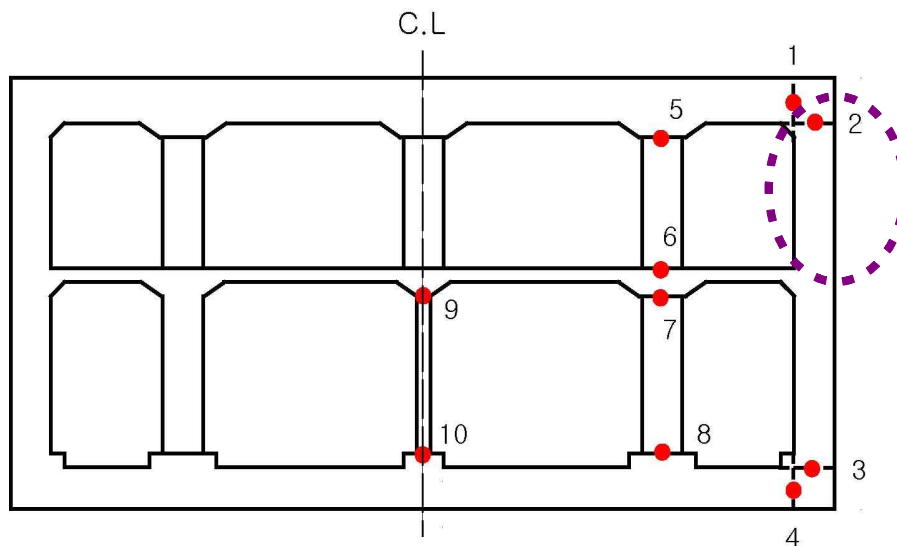
<표 23> 기둥의 성능평가

부재 위치	폭 또는 직경 (m)	e (cm)	철근	Mu (kN-m)	성능평가 (Mu/Md)	Pu (kN)	성능평가 (Pu/Pd)
				Md (kN-m)		Pd (kN)	
5	Φ1.2CTC 5.0	-	11-D32	991.23	0.35 ∴ O.K	1,720.78	0.21 ∴ O.K
				2,813.63		8,059.75	
6	Φ1.2CTC 5.0	-	11-D32	698.71	0.27 ∴ O.K	1,741.71	0.15 ∴ O.K
				2,614.51		11,755.61	
7	Φ1.2CTC 5.0	-	14-D32	560.97	0.18 ∴ O.K	2,037.91	0.19 ∴ O.K
			7-D32	3,116.21		10,645.75	
8	Φ1.2CTC 5.0	-	14-D32	851.98	0.26 ∴ O.K	2,063.00	0.26 ∴ O.K
			7-D32	3,222.78		7,965.80	
9	0.4×2.0CTC 5.0	-	17-D32	53.90	0.09 ∴ O.K	2,284.60	0.13 ∴ O.K
			12-D32	627.25		16,989.84	
10	0.4×2.0CTC 5.0	-	17-D32	83.20	0.13 ∴ O.K	2,300.96	0.14 ∴ O.K
			12-D32	627.25		16,989.84	

※ Mu/Md, Vu/Vd, Pu/Pd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

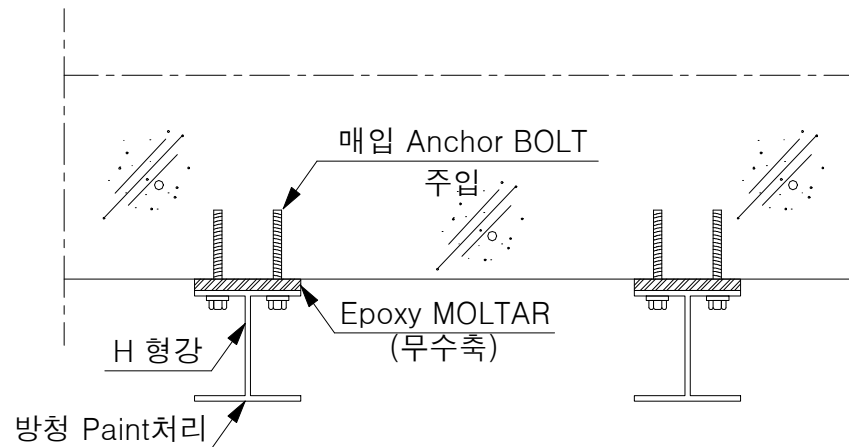
나. 내진성능보강

1) 보강이 필요한 부재



<그림 12> 보강이 필요한 부재 위치

2) H-형강 증설



<그림 13> 측벽 H-형강 증설 공법 개요도

<표 24> 측벽의 성능평가(2번 부재)

부재위치		보강전	보강후
B (m)		1.00	1.00
H (m)		1.20	1.20 (30cm×30cm@500 H-형강설치)
단면력 (kN-m)	Mu	2,649.29	2,478.10
설계강도 (kN-m)	Md	2,495.25	2,495.25
인장철근		D25@150 D19@150	D25@150 D19@150
압축철근		-	-
성능 평가	Mu/Md	1.06	0.99
		N.G	O.K

※ Mu'/Md, Vu'/Vd 가 1.0보다 작거나 같으면 OK, 그 이외는 NG

기존 시설물(터널) 내진성능 평가 및 향상요령

승인 국토해양부 건설안전과

발행 한국시설안전공단

2004년 5월 제정

2011년 7월 개정

2011년 7월 발행

* 본 요령의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은 국토해양부 건설안전과 또는 한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 411-758 경기도 고양시 일산서구 고양대로 315번지 대표전화 1599-4114, 031-910-4199

본 요령의 내용은 공단 홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.