기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정

신·구조문 대비표

2022. 5.

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
제 1 장 총 칙	**제 1 장 총 칙**	
1.1 일반사항	**1.1 일반사항**	
1. 본 내진성능 향상요령은 개착 또는 비개착 공법으로 건설된 지중구조물에 대하여 적용한다.	***1.*** 본 내진성능 향상요령은 개착 또는 굴착(비개착)공법으로 건설된 터널 구조물에 대하여 적용한다.	**[수정]** 기존 시설물(터널) 평가요령(2020)을 따라 대상을 한정하여 문구 수정
2. ~~내진성능 향상기준지진은 사용목표수명을 고려하지 않은 지진과 사용목표수명을 고려한 지진을 선택적으로 사용할 수 있다.~~	<삭제>	**[삭제]** 「지진·화산재해대책법」 제15조(기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 등)와 상충될 우려가 있는 사항(사용목표수명 고려) 삭제
3. 본 요령의 내용은 기술수준이 향상되거나 필요에 따라 내용을 추가 또는 보완할 필요가 있을 때에는 개정하여 시행하는 것을 원칙으로 한다.	***2.*** 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.~~	***3.*** 본 요령은 터널의 내진성능 향상과 관련한 최소한의 사항을 규정하고 있다. 따라서 본 요령에서 규정하고 있지 않은 사항에 대해서는 관련 규정을 따른다. 따라서 내진성능 향상과 관련하여 본 요령에서 규정하고 있지 않은 사항에 대해서는 다음 기준(요령)을 참고하여 내진성능 향상을 적용한다. 또한, 관련 기준(요령)의 제·개정으로 인해 본 요령과 상이한 사항이 확인되면 최신 기준을 우선하여 따른다. 가. 기존 시설물(터널)의 내진성능 평가요령, 국토교통부/한국시설안전공단 (이하 내진성능 평가요령) 나. 기존 시설물(공동구)의 내진성능 평가요령, 국토교통부/한국시설안전공단 다. 기존 시설물(기초및지반)의 내진성능 평가요령, 국토교통부/한국시설안전공단 라. 내진설계기준 공통적용사항, 행정안전부 마. ***KDS 14 20 01*** 콘크리트구조 설계(강도설계법), 국토교통부 바. ***KDS 17 10 00*** 내진설계 일반, 국토교통부 사. ***KDS 27 17 00*** 터널 내진설계 기준, 국토교통부 아. ***KDS 29 17 00*** 공동구 내진설계 기준, 국토교통부 자. 도시철도내진설계기준, 국토교통부	**[수정]** 항목번호 수정 **[수정]** 항목번호 및 관련기준 보완

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~5.~~ 내진성능 향상은 본 요령에서 제시하는 바와 다르더라도 역학적으로 타당한 절차와 방법에 의해서 실시될 수 있다.	4. 내진성능 향상은 본 요령에서 제시하는 바와 다르더라도 역학적으로 타당한 절차와 방법에 의해서 실시될 수 있다.	[수정] 항목번호 수정
~~6.~~ 지반액상화 내진성능 평가에 대해서는 [기존시설물의 기초 및 지반의 내진성능 평가요령]에 준한다.	5. 지반액상화 내진성능 평가에 대해서는 「KDS 17 10 00」 또는 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 따른다.	[수정] 항목번호 수정
1.2 요령의 구성	1.2 요령의 구성	
본 요령의 구성은 다음과 같다.	본 요령의 구성은 다음과 같다.	
1. 총칙 2. 내진성능 향상기준 지진과 향상절차 3. 내진성능 향상방법 4. 부록 A. 내진성능 향상 예제	1. 총칙 2. 내진성능 향상기준 지진과 향상절차 3. 내진성능 향상방법 4. 내진성능 향상보고서 부 록 A. 내진보강 사례 및 예제 – 개착식 터널 B. 내진보강 사례 및 예제 – 굴착식 터널 참고문헌	[추가] 해당 장의 추가에 의한 삽입
1.3 용어의 정의	1.3 용어의 정의	
본 요령에 사용되는 용어의 정의는 ~~[내진설계기준연구 II], [도시철도내진설계기준], [터널설계기준], [공동구설계기준], [콘크리트구조설계기준] 등의 관련 기준~~에 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.	본 요령에 사용되는 용어의 정의는 「KDS 17 10 00」, 「KDS 27 17 00」, 「KDS 29 17 00」, 「도시철도내진설계기준」, 「KDS 14 20 01」, 「기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령」, 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」에 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.	[수정] 기준 인용 양식 변경에 따른 수정
(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~~	(1) 가속도 계수 (Acceleration coefficient, A) : 구역계수(Z)에 지진 위험도계수(I)를 곱한 값(무차원량)	[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
(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 제***2***조 제***9***호의 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 발생되는 힘으로서 그 크기는 질량과 절대가속도를 곱한 값이며 작용방향은 가속도와 반대방향임.~~ ~~***(12)*** 기반면 ***(Seismic base) :*** 지반분류 S_B에 해당되는 전단파속도(V_S) ***760m/s*** 이상인 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 ***2***단계 평가~~ ~~***(16)*** 내진성능 예비평가 ***:*** 터널 구조물의 내진그룹화를 위하여 개략적으로 수행되는 ***1***~~	***(2)*** 가속도 응답스펙트럼 ***(Acceleration response spectrum) :*** 주어진 가속도를 단자유도 구조물의 지지점에 작용하여 구한 절대가속도 응답의 최댓값을 단자유도 구조물 고유주기와 감쇠비에 따라 도표로 나타낸 스펙트럼	[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~단계 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.~~		[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제
(20) 동적전단탄성계수 ***(Dynamic shear modulus) :*** 동적변형이 작용될 때 재료의 전단탄성계수 값으로서 질량밀도와 전단파속도를 이용하여 구할 수 있음.	***(3)*** 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.	***(4)*** 동적해석법 ***(Dynamic analysis method) :*** 시간에 따른 구조물(또는 지반)의 응답을 구하는 구조해석방법으로서, 해석방법으로는 시간영역해석법과 주파수영역해석법이 있음	
	(5) 부상 ***(Uplift) :*** 물 위로 떠오름	[추가] 신규 용어 정의 삽입
~~***(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***) ***TBM***공법과 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~~		[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~***(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~~		[추가] 신규 용어 정의 삽입 [삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제
	(6) 소산 ***(Dissipation) :*** 발생한 과잉간극수압이 작아지면서 정수압에 도달하는 현상	
~~***(34)*** 소성 ***(Plasticity) :*** 응력-변형률 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~~		[추가] 신규 용어 정의 삽입 [삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제
	(7) 수제선 ***:*** 바다, 강, 호수의 물과 땅이 닿아서 이루는 선	
~~***(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.	***(8)*** 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~~		[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~***(42)*** 위험도계수 ***(I) : 500***년 재현주기를 기준으로 지진의 위험도를 나타내는 계수~~ ~~***(43)*** 응답변위법 ***(Seismic deformation method) :*** 지진에 의한 지하구조물의 거동을 해석하기 위한 해석방법으로서, 구조물과 지반의 구조해석모형(일반적으로 구조물은 프래임요소, 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 발생되는 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-전단변형율 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.~~	***(9)*** 양압력***(Uplift pressure) :*** 물체를 밑에서 위로 올려 미는 압력	[추가] 신규 용어 정의 삽입

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~***(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 ***500***년에 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 발생되는 최대의 지반가속도로 가속도계수에 중력가속도를 곱한 값으로 정의***(m/s^2)***~~ ~~***(64)*** 최대진폭 ***(Peak amplitude)*****:** 지진에 의해 구조물***(***또는 지반***)***에 발생된 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***(Rayleigh***파, ***Love***파 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.~~		[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~*(69)* 통제주기 *(Control period)* : 가속도 설계응답스펙트럼을 정의하는데 사용하는 주기로서 두 값이 정의됨. 두 주기 사이에서 최대증폭이 발생함.~~ ~~*(70)* 특수공법 : 일반적으로 적용되는 개착공법, 발파공법, *TBM*공법 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 *100*년을 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 *81cm*의 스플릿 스푼형*)*를 장착하여 무게 *63.5kgf*의 해머를 *76cm*의 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~~		[삭제] 상위 기준 정의와 중복에 따른 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	1.4 기호 B_v : 구조물 저판 폭 (m) C_D : 암반지반에서 주기 T에 따른 감쇠보정계수 E_D : 지진하중 상태의 성능수준을 고려한 지반의 탄성계수 F_a : 토사지반의 단주기 지반증폭계수 f_{ck}, f_{ctk} : 콘크리트의 설계기준압축강도 및 인장강도(MPa) F_v : 토사지반의 장주기 지반증폭계수 G_D : 지반의 동적전단탄성계수 H : 대상구조물의 최대 단면높이(m) I : 위험도계수 K_h : 지표면에서의 수평가속도 K_h' : 기반면에서의 수평가속도 S : 내진성능 평가기준지진의 유효수평지반가속도 S_i : 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 분류한 지반의 종류, i=1, 2, 3, 4, 5, 6 T_L : 내진성능 평가기준지진의 응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 주기 T의 제곱에 반비례하여 감소하기 시작하는 구간의 전이주기(sec) T_S : 상한통제주기로 내진성능 평가기준지진의 응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간의 최대주기(sec) T_s : 표층지반의 고유주기$(\sec) = 1.25T_G$ T_0 : 하한통제주기로 내진성능 평가기준지진의 응답스펙트럼에서 스펙트럼가속도가 상수인 구간의 최소주기(sec) V_s : 전단파속도(m/s) V_{si} : i층 지반의 평균전단파속도(m/s) Z : 지진구역계수 Z_B : 개착터널 하부까지 깊이	[추가] 본 요령에서 사용되는 용어 정의 삽입

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	Z_U : 개착터널 상부까지 깊이 ϕ : 강도감소계수 ξ : 감쇠비(%)	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
제 2 장 내진성능 향상기준지진과 향상절차	**제 2 장 내진성능 향상기준지진과 향상절차**	
2.1 일반사항	**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.	**내진성능 향상은 관련 기준에 따른다.** [해설] 지중에 건설되는 터널 구조물은 관련 기준(터널 설계기준(KDS 27 00 00), 공동구 설계기준(KDS 29 10 00), 도시철도 내진설계기준 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.	**[삭제]** 항목 번호 삭제 **[수정]** 문구 수정
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.	<삭제>	**[삭제]** 「지진·화산재해대책법」 제15조(기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 등)와 상충될 우려가 있는 사항(사용목표수명 고려) 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
2.2 설계지반운동	2.2 내진성능기준 **1. 내진성능** **지중구조물의 내진등급은 시설물별 내진설계기준에서 정하는 바에 따라 설정한다.** [해설] 시설물의 내진등급은 시설물의 중요도에 따라 내진특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 구분된다. 시설물의 내진등급은 시설물별 내진설계기준에서 정하는 바에 따라 설정하며, 터널 구조물은 대부분 내진I등급 구조물에 속한다. 시설물별 내진설계기준에서 정하는 바가 명확하지 않은 경우, <해설표 2.2.1>을 참조하여 정할 수 있다. <해설표 2.2.1> 구조물별 내진등급 구조물 종류 / 내진Ⅰ등급 / 내진Ⅱ등급 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 소요내진성능수준은 [기능수행수준]과 [붕괴방지수준]에 대해서 고려한다.** [해설] 터널의 내진성능목표는 「KDS 17 10 00」(4.1.4)의 표 4.1-1 최소 내진성능목표 중 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 한다.	**[수정]** 교량 향상요령과의 구성의 일관성을 위하여 항목 조정하여 2.2절과 2.3절을 합치고 일부 항목 위치 변경 **[삽입]** KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정 **[삽입]** KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정 **[삽입]** KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td></td><td>나. 내진성능평가에 이용하는 지진세기는 구조물의 내진등급과 성능수준에 따라 설정한다.
[해설] 현행 기준에서는 터널 구조물의 내진등급별 내진성능목표에 따라 <해설표 2.2.2> ~ <해설표 2.2.3>와 같은 지진세기를 규정하고 있다.
<해설표 2.2.2> 내진성능목표 (붕괴방지수준)
<table><tr><th>관련기준 / 재현주기</th><th>도시철도 내진설계기준</th><th>KDS 27 10 00</th><th>KDS 29 17 00</th></tr><tr><td>500년</td><td>내진Ⅱ등급</td><td>내진Ⅱ등급</td><td>-</td></tr><tr><td>1,000년</td><td>내진Ⅰ등급</td><td>내진Ⅰ등급</td><td>내진Ⅰ등급</td></tr><tr><td>2,400년</td><td>내진특등급</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>
<해설표 2.2.3> 내진성능목표 (기능수행수준)
<table><tr><th>관련기준 / 재현주기</th><th>도시철도 내진설계기준</th><th>KDS 27 10 00</th><th>KDS 29 17 00</th></tr><tr><td>50년</td><td>내진Ⅱ등급</td><td>내진Ⅱ등급</td><td>-</td></tr><tr><td>100년</td><td>내진Ⅰ등급</td><td>내진Ⅰ등급</td><td>내진Ⅰ등급</td></tr><tr><td>200년</td><td>내진특등급</td><td>-</td><td>-</td></tr></table></td><td>[삽입] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정</td></tr>
<tr><td>~~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.</td><td>3. 지진구역은 2개 구역으로 설정하고, 각 지진구역별로 구역계수를 설정한다.
[해설] 관련 기준에서는 지진구역을 <해설표 2.2.4>와 같이 2개 구역으로 설정하고 있고, 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년의 지진지반운동에 해당하는 구역계수는 <해설표 2.2.5>와 같이 규정하고 있다. 따라서, 본 요령에서도 이를 준용한다. 단, <해설표 2.2.4>의 지진구역에서 구분된 행정구역의 경계를 통과하는 평가대상 구조물에는 상위 지진구역계수를 적용한다.</td><td>[수정] 항목 번호 수정</td></tr>
</table>

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)

2. ~~설계~~가속도는 ~~자진에 의한 자반진동의 강도를 의미한다.~~

[해설]

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

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정

4. 유효지반가속도(수평가속도)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준을 나타낸다.

[해설] 본 요령에서는 기존 구조물에 대해서도 신설구조물과 동일한 지진세기에 대하여 동일한 성능을 만족하도록 요구하고 있다. 따라서, 평균재현주기가 다른 지진의 유효지반가속도(수평가속도)는 <해설표 2.2.6>의 위험도계수(I)를 <해설표 2.2.5>의 지진구역계수(Z)에 곱하여 계산한다. 한편, 지중구조물의 가속도는 지진해석시 기반면에서의 수평가속도(K_h')와 지표면에서의 수평가속도(K_h)를 사용하며 대상 깊이의 수평가속도는 지표면과 기반면의 수평가속도를 직선 보간하여 구할 수 있다. 기반면이라 함은 전단파속도 V_s = 760 m/s 이상의 보통암 수준을 의미하며 개략적으로 20~30m의 심도에 해당되나, 지반조사에 의하여 산정토록 한다. 유효지반가속도(수평가속도), S는 다음 식과 같이 구하고, 지표면에서의 수평가속도(K_h)는 <해설표 2.2.7>을 이용하여 구할 수 있다.

$$S = Z \times I \qquad \text{해설식(2.2.1)}$$

여기서, Z : 지진구역계수

I : 위험도계수

<해설표 2.2.4> 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부[1]
II	도	강원 북부[2], 제주

1 강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백
2 강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

<해설표 2.2.5> 지진구역계수(재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
지진구역계수, Z	0.11	0.07

<해설표 2.2.6> 위험도계수

근거 / 사유

[수정] 문구 수정

[수정] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

[수정] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

[수정] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

해설표 2.2.~~4~~ 지진계수 C_a와 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 ~~2.2.5~~와 같이 분류한다. 각 내진성능 수준과 지진구역에 따른 기반면 및 지표면의 설계수평가속도의 값은 해설표 ~~2.2.6~~과 해설표 ~~2.2.7~~과 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_h에 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			

평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

<해설표 2.2.7> 장단주기 지반증폭계수 F_a와 F_v

지반분류	단주기 지반증폭계수, F_a			장주기 지반증폭계수, F_v		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

지진계수 결정을 위한 지반 종류는 <해설표 2.2.8>과 같이 분류한다. 지진구역에 따른 기반면 및 지표면의 수평가속도의 값은 <해설표 2.2.9>와 <해설표 2.2.10>과 같으며 심도에 따른 설계수평가속도는 <해설그림 2.2.1>과 같다.

<해설그림 2.2.1>은 구조물 상판과 저판의 수평가속도 K_{h1}, K_{h2}가 기반면의 수평가속도 K_h'와 지표면에서의 수평가속도 K_h에 따라 결정됨을 나타낸 것이다.

<해설표 2.2.8> 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

주 : 1) 기반암(Bed rock)은 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층으로 정의한다.

2) 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.

3) 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균전단파속도가 120 m/s 이하인 지반은 S_6지반으로 분류한다.

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

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)
$V_{S30}=\dfrac{30}{\sum_{i=1}^{n} d_i/V_{Si}}$ 여기서, V_{s30} : 상부30m 평균전단파속도 V_{si} : 각 층의 전단파속도	$\overline{N}=\dfrac{30}{\sum_{i=30}^{n} d_i/N}$ 여기서, $\overline{N}$: 상부 30m 평균 SPT-N값 N : 각 층의 SPT-N값	$\overline{S_u}=\dfrac{30}{\sum_{i=1}^{n} d_i/S_u}$ 여기서, $\overline{S_u}$: 상부 30m 평균비배수강도 S_u : 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

<해설표 2.2.9> 기반면의 수평가속도 (K_h')

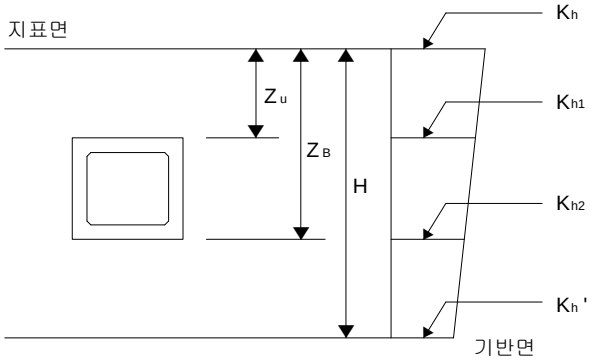
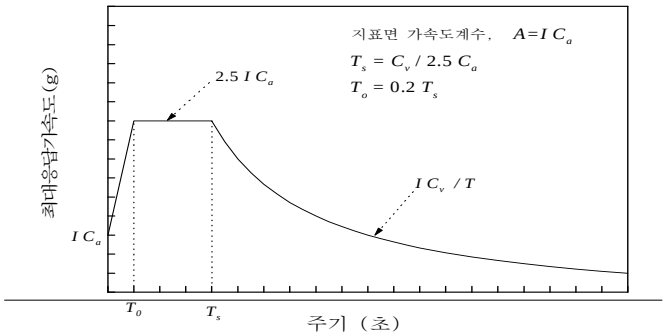
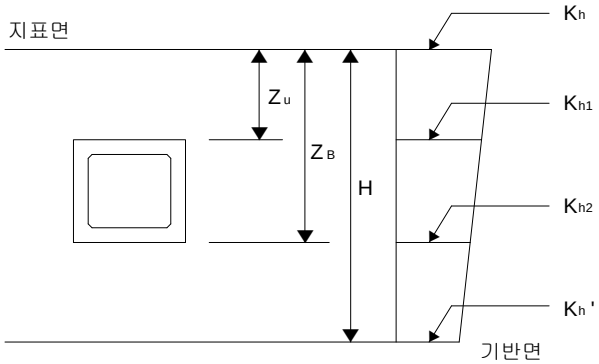
구 분	내진1등급(붕괴방지, 1000년)	
	지진구역I	지진구역II
수평가속도	0.154	0.098

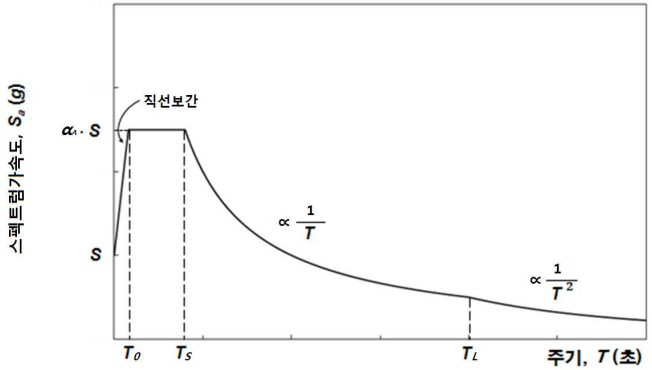
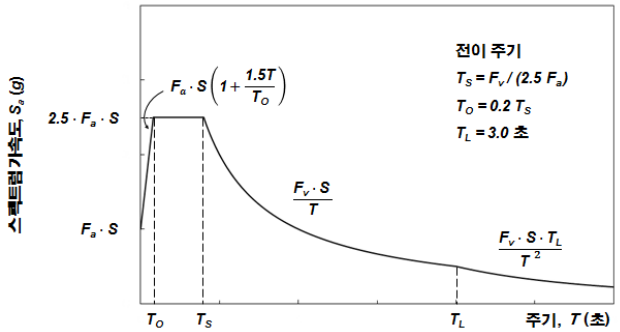
<해설표 2.2.10> 지표면의 수평가속도 (K_h)

지반분류	지진구역 I		지진구역 II	
	내진I등급 S=0.154	내진특등급 S=0.22	내진I등급 S=0.098	내진특등급 S=0.14
S_1	0.154	0.220	0.0980	0.1400
S_2	0.216	0.308	0.137	0.196
S_3	0.2618	0.374	0.167	0.238
S_4	0.246	0.352	0.157	0.224
S_5	0.277	0.396	0.176	0.252

주 : 예로써 S ≤ 0.1인 경우 단주기 지반증폭계수(F_a)를 적용하여 산정한 값임

[수정] KDS 17 11 00: 2018(내진설계 일반)과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령 개정에 따른 용어 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
 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. 설계~~지진 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%)~~	 여기서, Z_U, Z_B : 구조물 상부, 하부까지 깊이 H : 기반면까지 깊이 K_h, K_{h1}, K_{h2}, K_h' : 각 깊이에서 수평가속도 <해설그림 2.2.1> 심도에 따른 수평가속도 **5. 지진 응답스펙트럼** <삭제>	**[삭제]** 나. 항목이 기반암의 응답스펙트럼을 기술하고 있어, 삭제 **[수정]** 2.2절로 이동

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
나. 응답스펙트럼은 관련 기준에서 규정하고 있는 기반면에서의 설계가속도 스펙트럼을 적용한다.	가. 응답스펙트럼은 관련 기준에서 규정하고 있는 기반면에서의 수평가속도 스펙트럼을 적용한다. [해설] 본 요령에서는 성능수준별 감쇠율에 대한 보정계수를 적용한 응답스펙트럼을 사용하도록 한다. 5% 감쇠비에 대한 표준응답스펙트럼은 <해설그림 2.2.2>와 같다.  <암반지반>  <토사지반> <해설그림 2.2.2> 표준응답스펙트럼(감쇠비 5%)	[수정] 용어 수정 [수정] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

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	

나. 기반면에서의 가속도 스펙트럼은 감쇠율에 대한 보정계수를 곱하여 적용한다.

[해설] <해설그림 2.2.2>에서 규정하고 있는 표준응답스펙트럼은 감쇠비가 5%인 경우이다. 이는 지표상 콘크리트 구조물의 탄성상태의 감쇠를 적용한 값이므로 지중구조물의 경우 이와 다른 값을 적용하여야 하며, 내진성능수준에 따른 감쇠비값을 적용하여 응답스펙트럼의 보정을 다음과 같이 수행한다.

<해설표 2.2.11> 감쇠보정계수 C_D

주기(T, sec)	$T=0$	$0 \le T \le T_o$	$T_0 \le T$
C_D	1.0	$T=0$일 때, 1.0 $T=T_o$일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$

<삭제>

[수정] 항목 번호 수정

[수정] 용어 수정

[수정] KDS 17 11 00 : 2018 내진설계 일반과 기존 시설물(터널) 내진성능 평가 요령 개정에 따른 용어 수정

[수정] 2.2절로 이동

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td>

~~**2. 성능수준에 따른 지진세기**~~

~~**가. 기존 터널 구조물의 소요성능수준은 *[*봉괴방지수준*]*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 해설표 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.~~

</td><td><u><삭제></u></td><td>[삭제] 「지진·화산재해대책법」 제15조(기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 등)와 상충될 우려가 있는 사항(사용목표수명 고려) 삭제</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td>

~~(내진성능 평가기준지진의 연평균발생확률×사용목표수명)~~

~~= (설계기준지진의 연평균발생확률×평가설계수명) 해설식(2.3)~~

~~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.~~

</td><td><u><삭제></u></td><td>[삭제] 「지진·화산재해대책법」 제15조(기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 등)와 상충될 우려가 있는 사항(사용목표수명 고려) 삭제</td></tr>
</table>

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

~~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 *2.2.14*와 같다.~~

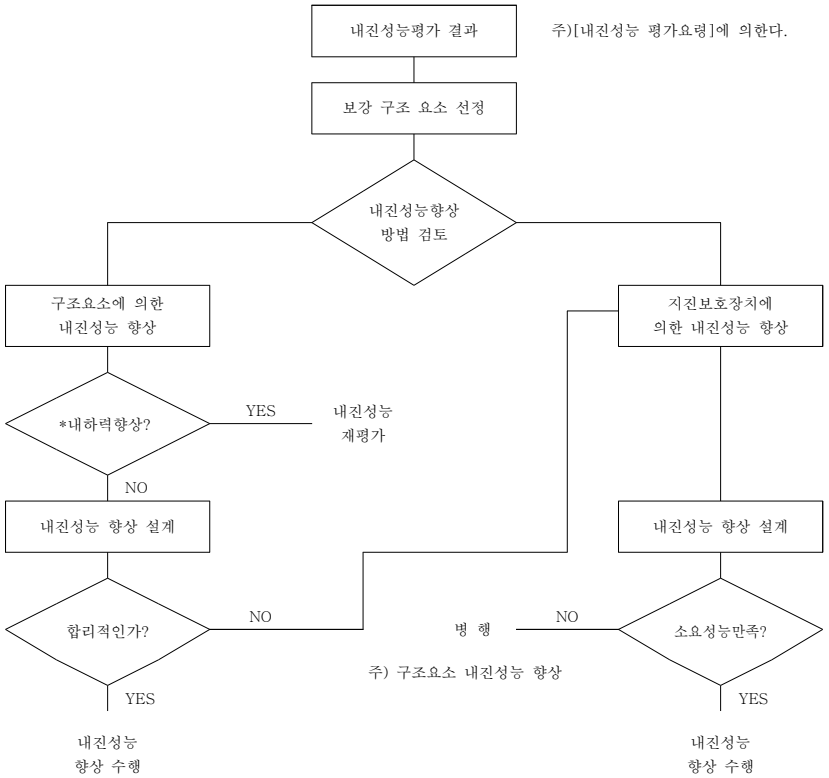
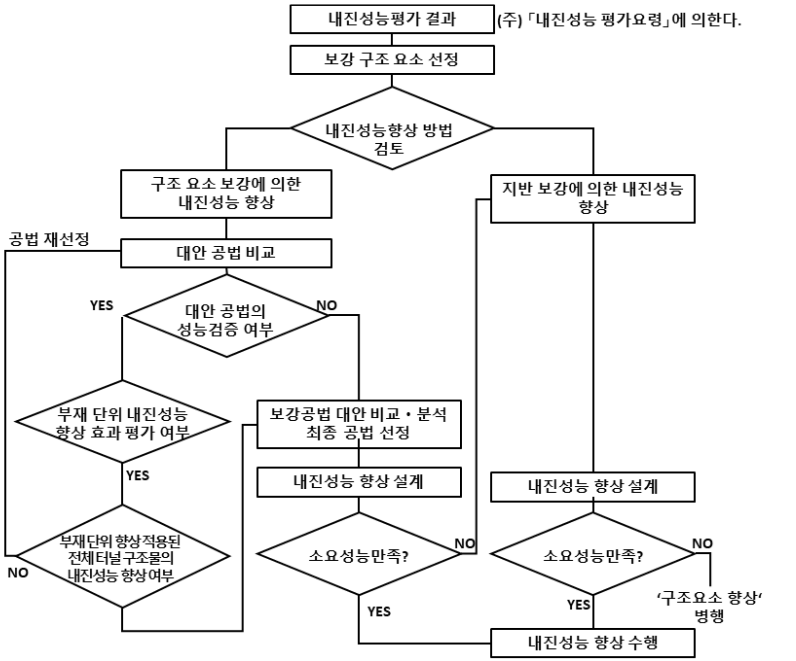
~~[해설] 지진구역계수(Z)와 수명비(사용목표수명/평가설계수명)에 따른 지진 위험도계수(I)를 곱하여 수명비에 따른 가속도계수(A)를 산정하면 해설표 2.2.13 및 해설표 2.2.14와 같다.~~

~~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~~

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
2.4 내진성능 향상절차	2.3 내진성능 향상절차	[수정] 절 번호 수정
~~본 요령에서 제시하는 내진성능 향상절차는 해설그림 2.3.1과 같다.~~	1. 개착식 터널 구조물의 내진성능 향상(또는 내진보강) 필요 여부의 판정은 「내진성능 평가요령」을 따른다.	[수정] 항목 번호 수정
	2. 이에 따라 내진보강이 필요하다고 판정된 경우, 본 요령에서 제시하는 내진성능 향상절차는 <그림 2.3.1>과 같다.	[신설] 향상 필요 여부 판단의 근거를 명시
 * 내진성능 향상에 의하여 내하력 향상이 있는 경우에는 지진하중을 다시 산정하여 구조요소별 내진성능을 다시 평가하여야 한다. ~~해설그림~~ 2.3.1 내진성능 향상절차	 * 내진성능 향상에 의하여 내하력 향상이 있는 경우에는 지진하중을 다시 산정하여 구조요소별 내진성능을 다시 평가하여야 한다. <그림 2.3.1> 내진성능 향상절차	[수정] 구조요소보강의 적절한 선정을 위한 검증 절차를 추가하고, 일부 용어의 수정 [수정] 본문 그림으로 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	3. 동일한 보강공법이라 하더라도 터널의 구조 상세에 따라 향상효과가 상이할 수 있으므로, 각 보강공법의 부재단위 내진성능(휨 또는 전단강도, 변형능력, 연성도 등) 향상효과는 관련 실험결과와 전문가 의견을 토대로 결정해야 한다. **4.** 부재단위 내진성능 향상효과가 검증된 후, 선정된 보강공법은 구조해석 모델에 반영하여, 보강 후 전체 터널 구조물의 내진성능 향상 여부를 검토해야 한다.	[신설] 구조요소 보강방법의 검증 방법 및 절차를 제시
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.	**5.** 활성단층지역에는 터널을 건설하지 않는 것이 바람직하지만, 불가피하게 이를 통과하는 터널 구간에 대해서는 지진발생이력, 활단층 확실도, 단층 활동도 등에 대해 면밀히 조사하여 지진발생에 따른 손상이 최소화되도록 내진성능 향상을 실시하여야 한다. ▌해설▐ 3. 내진성능 향상에 적용되는 보강공법은 실험을 통해 성능 보강 효과를 검증하여야 하고, 실험을 수행하지 않는 경우 보강공법에 대한 전문기관의 기술인증 또는 전문가 검토를 통해 성능 보강 효과를 입증하여야 한다. 4. 보강공법을 선정한 후에는 보강으로 인한 향상 효과를 반영한 전체 터널 구조물의 내진성능 평가를 통해 그 성능을 확인하여야 한다.	[신설] 구조요소 보강방법의 검증 방법 및 절차에 대한 해설 추가

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
제 3 장 내진성능 향상방법	**제 3 장 내진성능 향상방법**	
3.1 일반사항	**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.	내진성능 향상의 주요 목표는 내진성능 평가에서 지진에 대한 강도가 약한 부재에 대하여 구조요소보강 또는 지반보강을 통하여 구조물 피해를 방지하는 것이다. [해설] 일반적인 구조물의 노화, 균열 등에 대한 보수·보강은 별도 검토에 따르며, 여기서는 내진성능 향상에 국한하여 기술한다.	
3.2 자료조사 ~~및 정리~~	**3.2 자료조사**	[수정] 절 제목 수정
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.	내진성능 향상을 위한 자료조사에는 설계도서에 나타난 구조물의 직접 정보뿐만 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.	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
3.3 ~~개착식 터널의~~ 내진성능 향상방법	**3.3 향상방법**	[수정] 절 번호 및 제목 수정
3.3.1 ~~주요 부재별~~ 내진성능 향상방법	**3.3.1 개착식 터널의 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.~~	***1.*** 개착식 터널의 보강설계 시에는 해당 부재(슬래브, 벽체, 기둥 등)의 내진성능을 직간접적으로 높이는데 적용 가능한 다양한 보강공법을 비교, 분석해야 하며, 충분한 안전성 및 경제성을 고려하여 보강공법을 선정해야 한다.	[추가] 개착식 터널에 대한 내진보강 방법 선택시 다양한 보강공법의 고려가 필요함을 명시함
	2. 개착식 터널 구조물의 상·하부/중간 슬래브, 기둥 및 벽체 등에 대한 내진성능 향상은 지하구조물의 특성상 대체로 지반굴착을 하지 않은 상태로 구조물 내부에서 보강작업이 이루어져야 하는 제한조건을 가지고 있다. 이러한 조건 아래에서 개착식 터널의 주요 부재별로 적용 가능한 내진보강 방법은 아래 <표 ***3.3.1***>에 제시되어 있다.	[추가] 기존 향상요령의 내용을 작성함

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

<표 3.3.1> 개착식 터널의 주요 부재별 내진성능 향상방법

주요 부재		보 강 공 법
슬래브	상부	• 슬래브 하부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 압착법) • 브레이싱 증설에 의한 보강공법
	하부	• 슬래브 상부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 압착법)
	중간	• 강판접착공법(주입법, 압착법) • 개구부 보강공법(강재기둥 또는 테두리보 추가 설치) • 두께증가 보강공법
벽체 또는 기둥		• 벽체(기둥) 두께증가 보강공법 • 부재증설 보강공법 - 타설 콘크리트에 의한 벽체증설 방법 - 콘크리트채움 합성강관을 이용한 기둥증설 방법 • 브레이싱 증설에 의한 보강공법 - 우각부 H형강 증설 보강공법 - 우각부 스트럿 보강공법 • 벽체부 강판 압착공법 • 기둥의 띠판 보강공법

[삭제] 슬래브 대상 보강공법에서 부재증설 보강공법을 삭제함

[추가] 벽체 또는 기둥에 대한 보강공법에서 부재증설 보강공법 및 브레이싱 증설 보강공법과 관련된 내용을 보충함

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
주변 지반보강	• 지반보강을 통한 지진격리공법	

	• 기둥 단부 섬유보강폴리머 부착공법 • 기둥의 면진 또는 제진장치 적용을 통한 보강공법 • 측벽 철근 매립공법
주변 지반보강	• 지반보강을 통한 지진격리공법

3. 슬래브의 휨강도(또는 종방향 철근비)가 부족한 경우, 아래와 같은 슬래브의 두께 증가나 강판 보강 공법을 적절히 적용할 수 있다.

가. 슬래브 상·하부 두께증가 보강공법

나. 강판접착공법(주입법, 압착법)

다. 부재증설 보강공법

라. 브레이싱 증설에 의한 보강공법

[신설] 절 제목 수정 Morgan et al. (2006)에서 보고하고 있는 캐나다의 George Massey 터널에 대한 내진보강 사례를 참조하여 슬래브의 휨강도 또는 종방향 철근비가 부족한 경우 적용할 수 있는 보강공법에 대하여 서술함

4. 개착식 터널 구조물에 가해지는 지진력 감소를 위해 아래와 같이 중앙 기둥에 면진 또는 제진장치 적용, 측벽 철근 매립, 또는 주변 지반보강을 통한 지진격리공법을 사용할 수 있다.

가. 기둥의 면진 또는 제진장치 적용을 통한 보강공법

나. 측벽 철근 매립공법

다. 주변 지반보강을 통한 지진격리공법

[신설] 절 제목 수정최근 해석적/실험적 연구가 수행되고 있는 사례에 대하여 조사 후 서술을 추가함

▌해설▐

2.가. 위의 <표 3.3.1>에서 설명한 각 내진성능 향상방법에 대한 개요는 다음 <해설표 3.3.1>과 같다.

<해설표 3.3.1> 내진성능 향상방법 개요

주요 부재	공법명		공법개요
슬래브	슬래브 상·하부 두께 증가 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.
	강판접착공법 (주입법, 압착법)		콘크리트 슬래브(상・하부 및 벽체슬래브)의 인장면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트 슬래브와 일체화시켜서 지진하중에 대한 부재저항력을 증진시키는 공법이다.
	개구부	강재기둥	기존 내부슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성

[신설] 각 보강공법 별 공법의 개요는 요령에 대한 해설로 서술함
[수정] 각 보강공법의 상세내용 및 적용사례는 부록으로 옮김

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)

~~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 강성 증대에 의한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다.

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정

	보강 공법	추가설치	확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨기 시의 소음, 진동을 최소화하는 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.
벽체 또는 기둥	벽체(기둥) 두께 증가 보강공법		기존구조물의 두께를 증가시킴에 따라 내하력을 증진시키는 공법이다.
	부재증설 보강공법		기존구조물에 기둥 또는 벽체를 추가로 설치함으로서 강성 및 강도 증대에 의한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다.
	H형강 증설공법		벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬래브 개구부 위치의 측벽부 등에 내하력 부족 시 H형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법이다.
	브레이싱 증설에 의한 보강공법		수평부재와 수직부재가 연결되는 우각부에 지진력에 의한 전단력 및 휨모멘트가 크게 발생하므로, 이들 부분에 H형강 브레이싱을 설치함으로서 부재 내하력을 증진시키는 공법이다.
	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.
	기둥의 띠판 보강공법		지진에 의해 발생되는 전단력에 대하여 기존 기둥에 급격한 전단파괴가 발생하지 않도록 기둥의 인성(Toughness)을 증진시키는 공법이다.
	기둥 단부 섬유보강폴리머 부착공법		인장강도가 우수한 판형의 섬유보강폴리머(Fiber Reinforced Polymer, FRP)를 기둥의 상하 단부에 부착하여, 휨강도/전단강도 및 연성능력을 증진시키는 공법이다.
	기둥의 면진 또는 제진장치 적용을 통한 보강공법		주로 기둥 상부에 면진 또는 제진장치를 적용하여 기둥에 발생하는 지진응답을 감소시키는 공법이다.
	측벽 철근 매립공법		강판이 정착된 전단보강 철근을 벽체에 매립하여 측벽의 전단성능을 향상시키는 공법이다.
주변 지반보강	지반보강을 통한 지진격리공법		구조물 주변 지반에 파일벽체를 시공하여 지진격리장치로 활용함으로써 터널에 미치는 지진력을 감소시키는 공법이다.

근거 / 사유

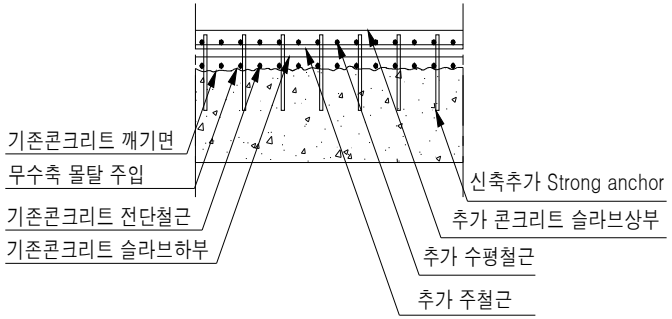
[추가] 표 3.3.1에 추가한 것과 같이 공법명과 관련 개요를 해설표 3.3.1에 추가함 (기존 요령의 표 3.3.2에 대응함)

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령				
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)			기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
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 발생되는 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.~~	

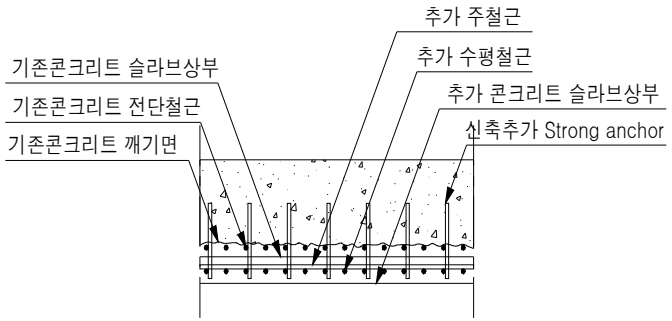
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~3.3.2 내진성능 향상방법~~ ~~개착식 터널 구조물의 적용 가능한 성능향상방법에 대해서 보다 상세한 설명은 다음과 같다.~~ **1.** 슬래브 ~~상·하부~~ 두께증가 보강공법 가. 공법개요 구조물의 상부 및 하부슬래브의 휨모멘트 및 전단내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재하부 또는 상부에서 보강조치가 가능한 경우에 적용한다. 부재하부에 추가적으로 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~~	2.나. 2.가.항에서 제시한 개착식 터널 구조물의 슬래브, 기둥 및 벽체의 내진성능 향상방법들에 대한 상세한 설명은 다음과 같다. (1) 슬래브 두께증가 보강공법 ① 공법개요 터널 구조물의 상부 및 하부 슬래브의 휨모멘트 및 전단 내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재의 하부 또는 상부에서만 보강조치가 가능한 경우에 적용한다. 부재 하부에 추가적으로 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하는 경우에는 추가 타설된 콘크리트의 수축 등으로 신·구 콘크리트의 접합이 불확실해지기 쉬우므로 이에 대한 확실한 대책이 필요하다. 상부 슬래브에 대한 두께 증가 보강의 경우 숏크리트(shotcrete)를 타설함으로써 효율적인 시공이 가능하다. 이 공법에서 유의할 점은 기존 슬래브와 새로 타설하는 콘크리트의 일체화를 위해서 충분한 단면적과 정착길이를 갖춘 앵커철근(dowels)을 조밀한 간격으로 설치해야 한다. <삭제>	**[수정]** 절 수정 **[수정]** 각 보강공법 별 소개를 해설로 서술함에 따른 장과 절의 수정 **[추가]** Morgan et al. (2006)의 캐나다 George Massey 터널 대상 보강사례에서는 상부 슬래브 보강을 위하여 철근 배근 및 숏크리트를 타설하요 효율적으로 두께 보강을 수행하였음 **[추가]** 이러한 공법 적용시 새로 타설한 콘크리트 부의 정착은 중요하므로 이와 관련된 서술을 추가함 **[삭제]** 보강요령과 관련된 상세는 부록으로 이동함

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td>~~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

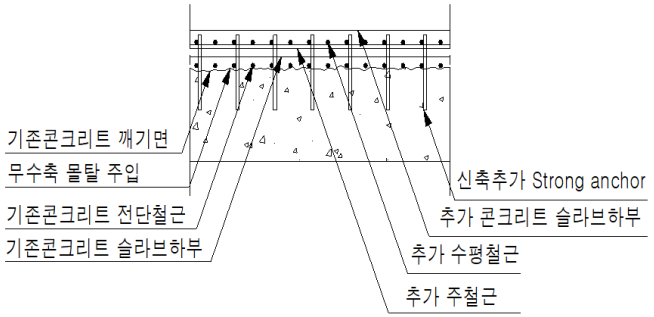
(a) 슬래브 상부 보강

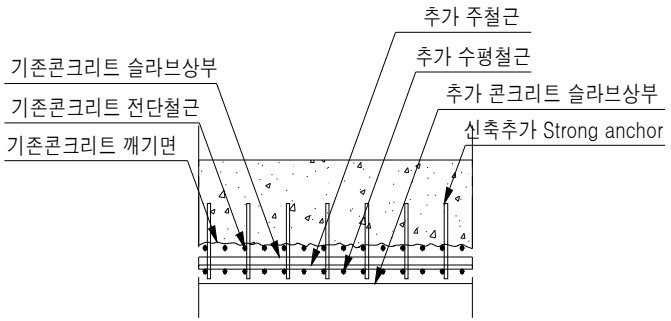
(b) 슬래브 하부 보강

~~그림 3.3.1~~ 슬래브 상·하부 두께증가 공법

~~2.~~ 강판접착공법</td><td>② 공법개요도

(a) 하부 슬래브 보강

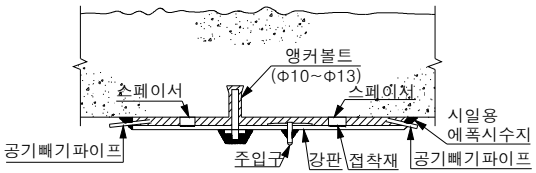
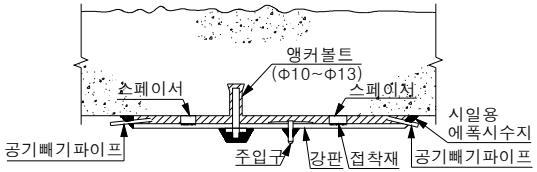
 

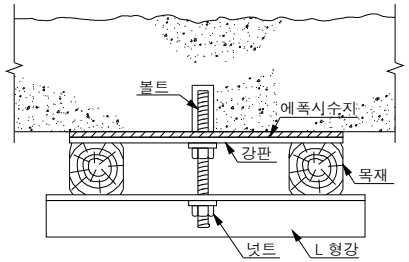
(b) 상부 슬래브 보강

<해설그림 3.3.1> 슬래브 상·하부 두께증가 공법

(2) 강판접착공법</td><td>[수정] 항목번호 수정

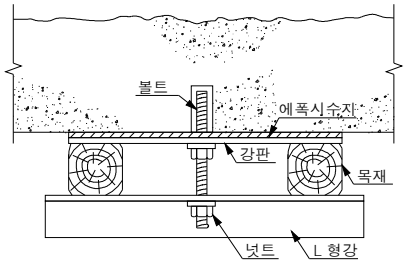
[수정] 항목번호 수정</td></tr>
</table>

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
강판접착공법에는 주입법과 압착법 두 가지가 있다.	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.	① 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 휨모멘트보다 휨모멘트강도가 큰 영역까지 충분히 길게 연장한다. 강판접착공법은 주하중 단면 방향뿐만 아니라 배력철근 방향에 대하여도 부재저항력을 증진시키는 효과를 가져온다. 이 공법에서 유의할 점으로는, 우각부 근처의 최대 모멘트 구간이 발생하는 벽체와 슬래브에 이 공법을 적용하기 위해서는 우각부에 접착된 강판의 정착길이 확보가 매우 중요하다. 또한 이 공법은 슬래브의 휨강도 증가에는 사용할 수 있으나, 전단강도를 증가시킬 수 없다.	[수정] 항목번호 수정 [추가] 슬래브에 적용시 정착길이 확보의 중요성과 주의점에 대하여 서술을 추가함
~~나.~~ 주입법 콘크리트면과 강판면의 사이에 스페이서 등에 의해 빈 공간을 지지시키고, 주위를 시일(***Seal***)해서 한편으로 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)	② 주입법 콘크리트면과 강판면의 사이에 스페이서 등에 의해 빈 공간을 지지시키고, 주위를 시일(Seal)해서 한편으로 주입용 에폭시계 수지를 주입함과 동시에, 공기를 빼면서 접착하는 공법이다. 약간의 기포가 남아 있을 위험이 있고, 주입에 상당한 시간을 요하지만 콘크리트면이 평활하지 않고 일부 또는 전체 면에 곡면이 포함되어 있는 경우에 적용시키고 있다.  <해설그림 3.3.2> 강판접착공법(주입법)	[수정] 항목번호 수정
~~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 빼	③ 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	[수정] 항목번호 수정

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr>
<td>내면서 시공한다. 이 공법은 콘크리트면이 평활해서 콘크리트면에 압착용 앵커볼트를 고정시킬 수 있는 부분에 적용시키고 있다. 강판압착공법을 효과적으로 시공하기 위해서는 적절한 에폭시계 수지의 선정과 충분한 시공관리가 필요하다.
 

~~그림 3.3.3~~ 강판접착공법(압착법)

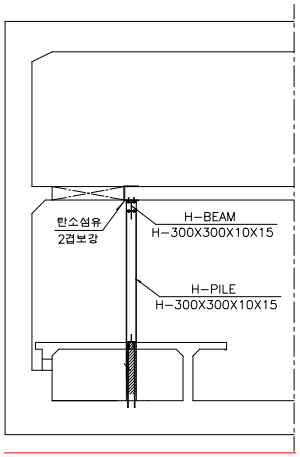
~~[해설] 강판접착공법시행에 주의사항은 다음과 같다.~~
~~가. 강판가공~~
~~(1) 강판의 절단에 의해서 발생된 변형은 바로잡기를 하고 절단 끝부분의 누락이나 재변형에 주의한다.~~
~~(2) 접착면의 오염이나, 흙의 부착, 녹 등의 발생은 접착효과를 현저하게 방해하므로, 접착면은 일제히 블래스트 처리 등을 하여 강판 1장씩을 비닐 등으로 포장하고 운반시에 손 등으로 접촉되는 일이 없도록 주의한다.~~
~~(3) 앵커용 천공 위치는 현장에서 실물치수를 측정하고 공장에서 천공 작업을 하여 현장에서 구멍의 위치를 수정하는 일이 없도록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

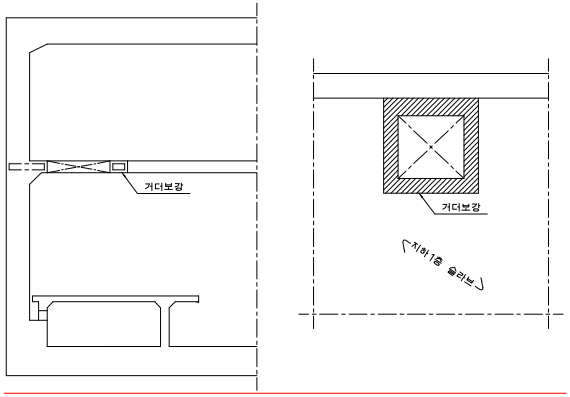
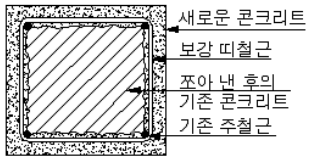
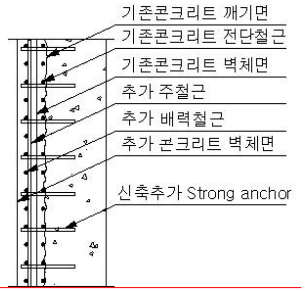
~~나. 준비공~~
~~(1) 철근 위치를 조사하여 철근을 피해서 앵커를 설치한다. 또한 앵커는 인발 저항력을 사전에 조사해 둔다.~~
~~(2) 압착공법의 경우에는 에폭시계 수지도포전에 앵커 1개당의 도입 토크치를 구해두고 소정의 압착력을 전 앵커에 균등하게 줄 수 있도록 한다.~~
~~(3) 주입공법의 경우에는 시공성을 고려하여 콘크리트면과 강판면의 빈공간을 2~6mm 평균 4mm 정도로 유지하면서 스페이서의 위치 등으로 조정한다.~~</td>
<td>빼내면서 시공한다. 이 공법은 콘크리트면이 평활해서 콘크리트면에 압착용 앵커볼트를 고정시킬 수 있는 경우에 적용할 수 있다. 강판압착공법을 효과적으로 시공하기 위해서는 적절한 에폭시계 수지의 선정과 충분한 시공관리가 필요하다.
 

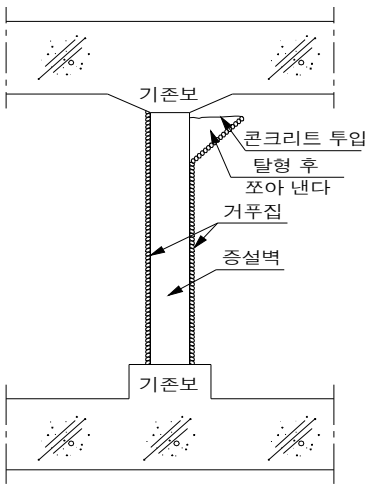
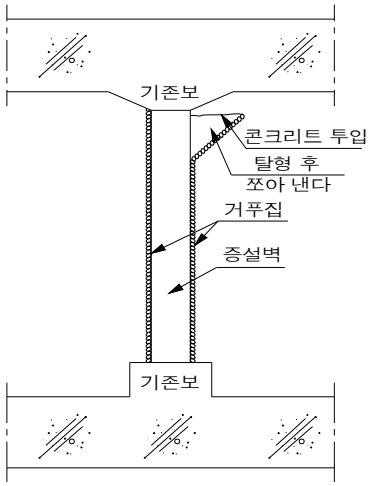
<해설그림 3.3.3> 강판접착공법(압착법)

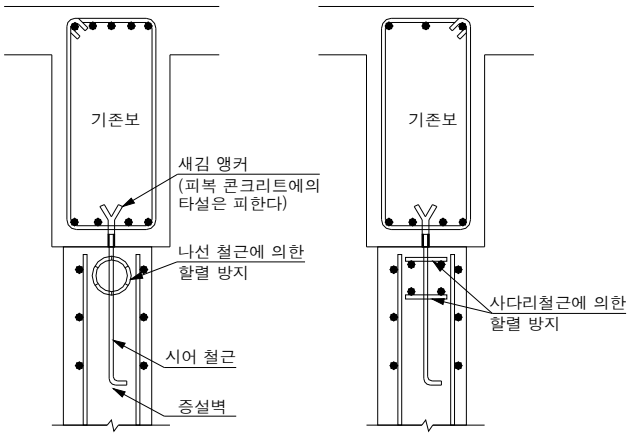
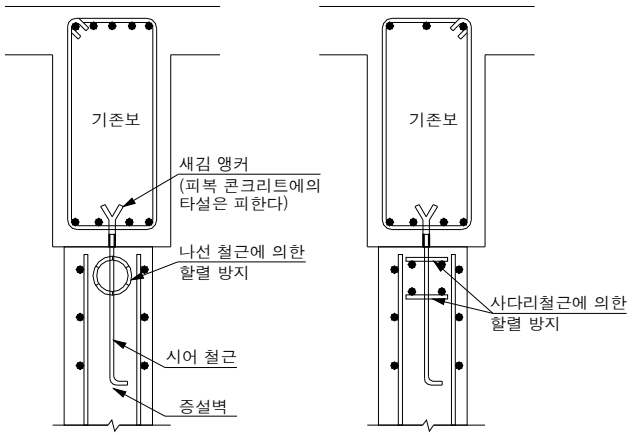
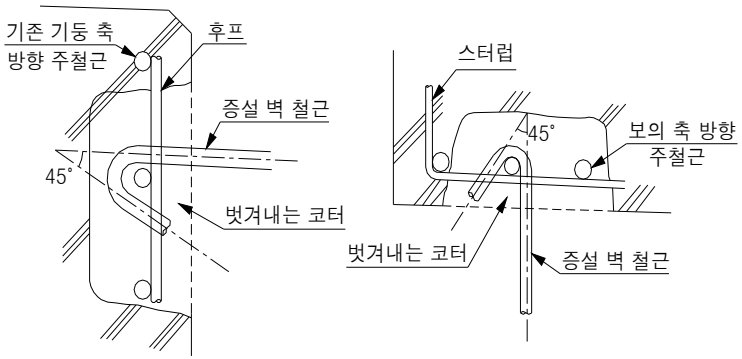
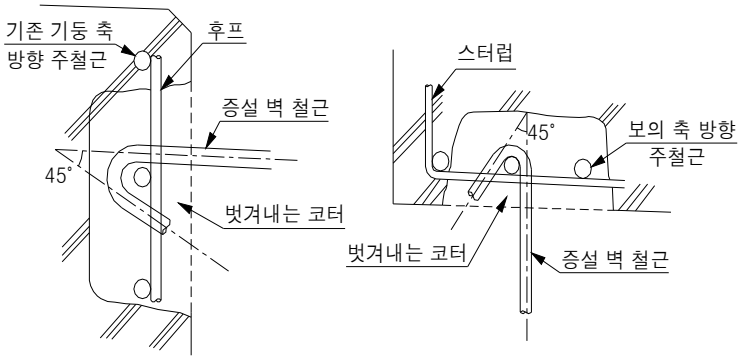
<삭제></td>
<td>[삭제] 보강공법의 상세한 적용과정은 부록으로 이동함</td>
</tr>
</table>

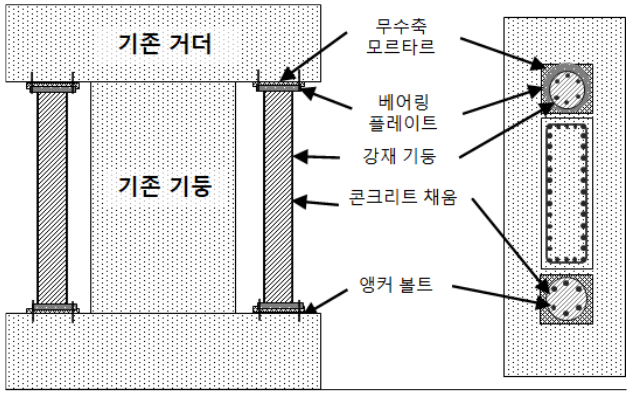
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~(4) 주입공법의 경우는 강판에 설치하는 주입구멍의 간격을 50~100mm 정도로 한다. 또한 강판주변은 주입압력에 의해 흘러나오지 않도록 퍼티용 에폭시계 수지로 시일(Seal)해 둔다. 시일부분에는 강판의 네 모퉁이를 포함해서 50cm 정도의 간격으로 공기빼기 파이프를 설치해 둔다.~~ ~~다. 접착 및 주입~~ ~~(1) 압착공법의 경우에는 고무주걱 등을 이용해서 콘크리트면 및 강판면에 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/m²정도의 압력이 되지만, 점도가 높은 상태에서 접착제를 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 남아있지 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, 넛트를 체결해서 만일의 경우의 강판의 낙하를 막게끔 한다.~~ ~~앵커 볼트는 일정한 길이로 절단하고 강판에 부착해 있는 수지는 크라인더 등으로 제거한다. 또한 강판도장은 강교의 도장에 준하는 것이 좋다.~~ ~~(2) 주입공법의 경우, 상기 (1)에 준하지만, 시일은 크라인더 등으로 깨끗하게 마무리하는 것만으로 하고 제거하지 않는다. 단 공기 뺍기 파이프는 절단한다.~~		

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	(3) 개구부 보강공법 ① 공법개요 - 강재기둥 추가 설치공법 기존 내부 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨기 시의 소음, 진동을 최소화해야 하는 경우에 적용할 수 있다. 강재기둥 및 보를 주철근 절단 예상 위치 하부에 밀착이 되도록 설치한 후 개구부 주변을 절단한다. 개요도는 <해설그림 3.3.4>와 같다. - 테두리보 추가 설치공법 기존 내부 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적인 안정성 확보를 위해 필요한 경우 테두리보 추가 설치공법을 적용하여 안정성을 확보할 수 있다. 또한, 개구부 하부에 보강 기둥을 설치하기 어려운 경우에 적용한다. 개구부 주변의 콘크리트만을 깨어낸 후 보 철근을 추가 배근하고 콘크리트를 타설 하는 공법이며, 개요도는 <해설그림 3.3.5>와 같다. ② 공법개요도 - 강재기둥 추가 설치공법  <해설그림 3.3.4>강재기둥 추가 설치공법	**[추가]** 해설표3.3.1 체계에 따른 이동 삽입 (기존 향상요령의 내용 변화는 없음) **[수정]** 공법개요 제목 안에 강재기둥 추가설치공법과 테두리보 추가설치공법을 삽입하여 체계 변경(내용변경 없음)

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	- 테두리보 추가 설치공법  <해설그림 3.3.5> 테두리보 추가 설치공법 (4) 벽체/기둥 두께 증가 보강공법 ① 공법개요 구조물의 벽체, 기둥부재 등의 내하력, 연성도 및 전단강도를 향상시키기 위하여 기존부재 주위에 띠철근 및 주철근을 추가 배근하고 콘크리트를 덧씌우는 공법이다. 즉, 기존 구조물의 단면을 증가시켜 구조내하력을 증진시키는 공법이다. ② 보강개요도   <해설그림 3.3.6> 기둥 보강공법 <해설그림 3.3.7> 벽체 보강공법	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~3.~~ 부재증설 보강공법	(3) 부재증설 보강공법 이 공법에는 타설 콘크리트에 의한 벽체 증설 방법, 콘크리트 채움 강관을 이용한 기둥 증설 방법 등이 있다.	[추가] 기존의 벽체증설 방법외의 보강공법을 소개하기 위하여 서술을 추가함
~~가.~~ 공법개요 기존구조물에 기둥 및 벽체를 추가로 설치함으로서 지진하중에 대한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다. 그 구조계는 강도와 함께 강성이 증가되면서 전체 구조계의 강성분포에 변화를 일으키므로 균형 있는 증설 배치에 대한 고려가 필요하다.	① 공법개요 기존 구조물에 기둥 또는 벽체를 추가로 설치함으로써 지진하중에 대한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다. 해당 보강 부위는 강도와 함께 강성이 증가되면서 전체 구조계의 강성 분포(하중 배분)에 변화를 일으키므로 균형 있는 증설 배치에 대한 고려가 필요하다. 이 공법을 활용하는 경우, 중앙 기둥의 휨 및 전단 내하력이 증가함에 따라 슬래브에 전달되는 휨모멘트 및 전단력의 증가를 고려해야 한다.	[수정] 항목번호 수정 [추가] 공법의 유의사항 추가
~~나. 보강요령(현장~~ 타설 콘크리트에 의한 벽체증설 방법) ~~그림 3.3.4에 보이는 바와 같이 거푸집의 상단에 투입구멍을 두어 콘크리트를 타설 한다. 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	② 보강개요도 - 타설 콘크리트에 의한 벽체 증설 방법 <해설그림 3.3.8>에 보이는 바와 같이 거푸집의 상단에 투입구멍을 두어 콘크리트를 타설 한다. 기존 구조물과 증설 벽체와의 전단력 전달을 위하여 다양한 상세가 있으나 다음과 같이 현장설치볼트(<해설그림 3.3.9>)를 이용하는 방법과 후크에 의한 철근을 연결하는 방법(<해설그림 3.3.10>)이 많이 사용된다.  <해설그림 3.3.8> 기존 구조물의 증설공법	[수정] 그림번호 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
 (a) 나선 철근 사용 (b) 사다리 철근 사용 ~~그림 3.3.5 현장~~ 설치 볼트공법	 (a) 나선 철근 사용 (b) 사다리 철근 사용 <해설그림 3.3.9> 현장 설치 볼트공법	[수정] 그림번호 수정
 (a) 기둥 (b) 보 ~~그림 3.3.6~~ 후크에 의한 철근 연결방법	 (a) 기둥 (b) 보 <해설그림 3.3.10> 후크에 의한 철근 연결방법	[수정] 그림번호 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	③ 보강개요도 - 콘크리트 채움 강관을 이용한 기둥증설 방법 한편 <해설그림 3.3.11>과 같이 콘크리트 채움 강관을 사용하여 개착식 터널의 중앙 기둥을 증설하는 보강기법도 연구된 사례가 있다 (Morisaki et al. 2000). 해당 기법은 강재 기둥의 단부에는 베어링 플레이트가 설치되며, 기존 거더와 베어링 플레이트, 그리고 강재 기둥 내의 콘크리트는 앵커볼트를 사용하여 연결된다.  <해설그림 3.3.11> 콘크리트 채움 합성강관을 사용한 공법 개요	**[추가]** Morisaki et al. (2000)에 의해 보고된 일본 지하철역 역사 내의 보강 사례를 참조하여 서술을 추가
	(6) H-형강 증설 공법 ① 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. ② 보강개요도 기존 콘크리트 벽체면에 H-형강을 부착시켜 벽체의 구조적 성능을 효과적으로 발휘하기 위해서는 소요되는 부분보다 H-형강을 충분히 연장하여야 한다. 설치방법은 앵커 볼트를 천공 삽입하여 H-형강과의 연결 이음과 무수축 에폭시 모르타르를 주입함으로써 H-형강과 콘크리트 부재가 확실한 부착을 통한 일체 거동이 이루어지도록 한다. 공법개요도는 <해설그림 3.3.12>와 같다.	**[수정]** 해설표3.3.1 체계에 따른 이동 삽입 (기존 향상요령의 내용 변화는 없음)

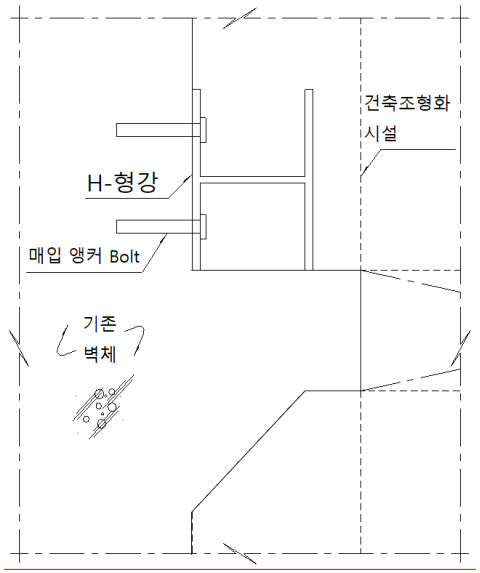
<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td>

~~4.~~ 브레이싱 증설에 의한 보강공법

~~가.~~ 공법개요

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

</td><td>



<해설그림 3.3.12> H-형강 증설공법

(7) 브레이싱 증설에 의한 보강공법

이 공법에는 우각부 H형강 증설 보강공법, 우각부 스트럿 보강공법 등이 있다.

① 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 수평방향 지진하중에 대하여 효과적인 내하력을 발휘한다.

이 공법을 적용하는 보강설계에서 유의할 점은, 우각부 스트럿이 설치된 단면과 그렇지 않은 단면 사이에 불균일한 변형 형상 및 힘의 분배가 발생할 수 있으며, 이로 인한 전체 구조물의 파괴모드를 예측하기 위해서는 3차원 모델링과 구조해석이 필요하다. 또한, 스트럿 장치가 우각부의 양방향 변형(열림모멘트 및 닫힘모멘트)에 모두 유효하기 위해서는 압축력과 인장력 성능을 모두 검증하여야 한다.

</td><td>

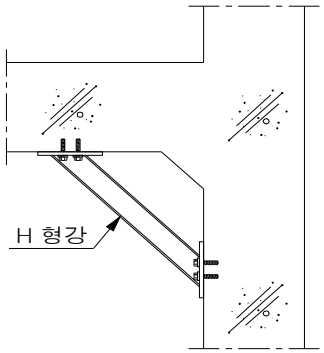
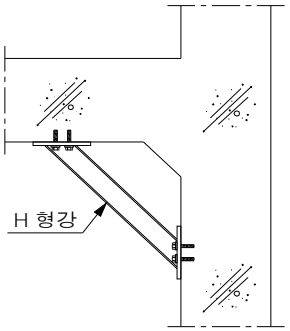
[수정] 항목번호 수정

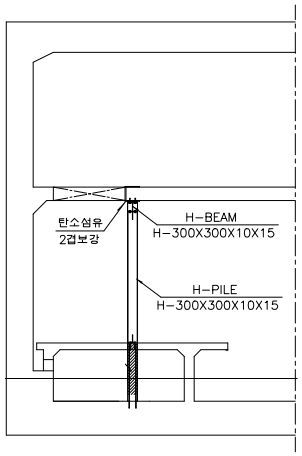
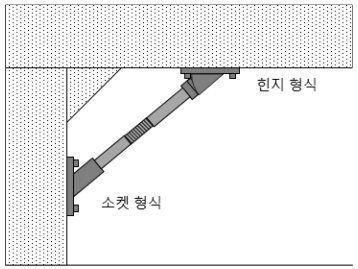
[추가] 문구 추가

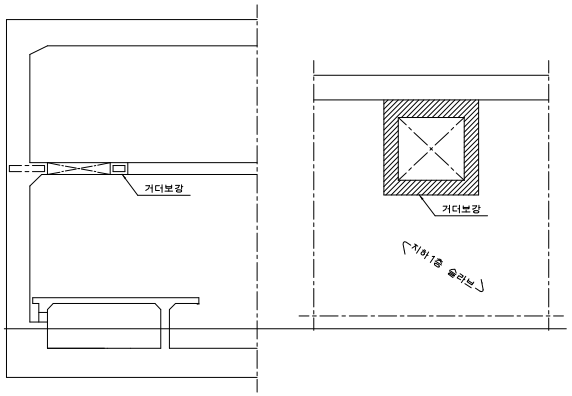
[수정] 항목번호 수정

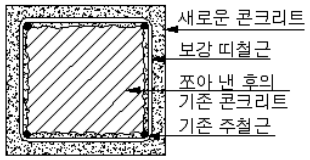
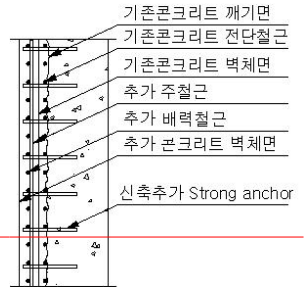
[추가] 브레이싱 증설 보강공법 적용 시 발생할 수 있는 문제점 및 이를 사전에 방지하기 위해 확인하여야 하는 기준에 대해 설명을 추가

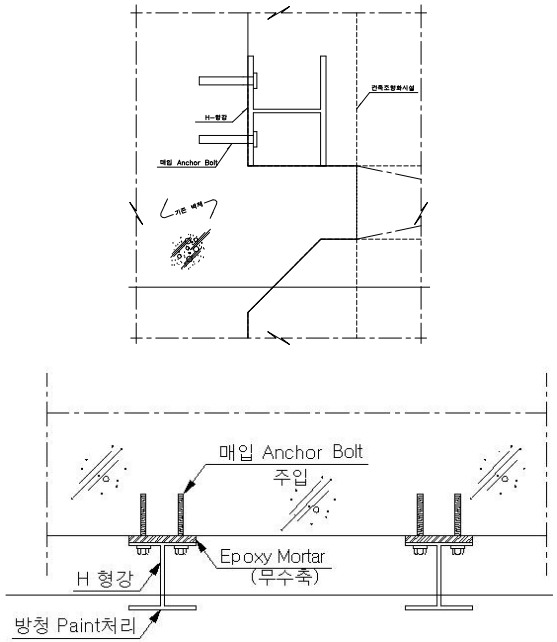
</td></tr>
</table>

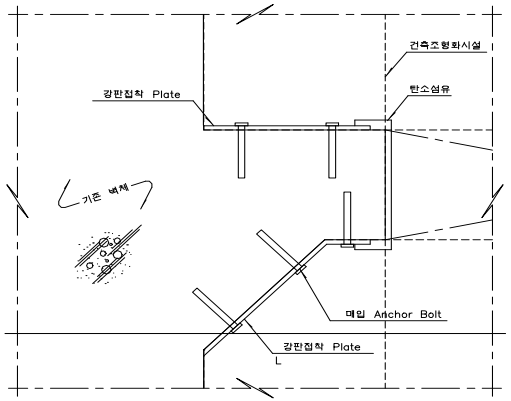
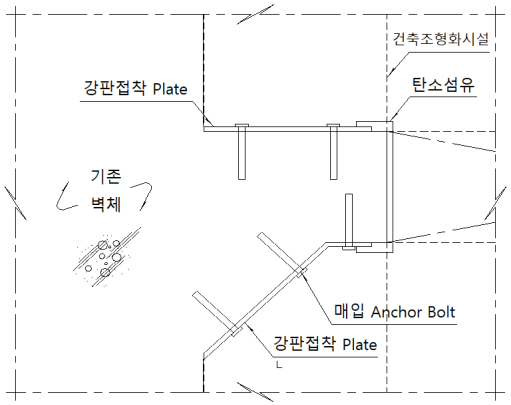
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~나.~~ 우각부 ***H*형강** 증설 보강공법 ~~***(1)*** 보강요령~~ **우각부의 기존 콘크리트 수평부재(슬래브)와 수직부재(벽체)에 앵커 볼트를 견고하게 매입한 후, *H-*형강 브레이싱 부재를 설치한다. 앵커 볼트와 *H-*형강 브레이싱부재 간에 확실한 연결과 함께 *H-*형강의 베이스 플래이트(*Base plate*)는 기존콘크리트 면에 균등하게 밀착시킨다. 강재도장은 강교의 도장에 준하여 시행한다.** ~~***(2)*** 보강개요도~~  ~~그림 ***3.3.7***~~ H-형강 브레이싱 보강공법	② 보강개요도 - 우각부 H형강 증설 보강공법 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 플래이트(Base plate)는 기존콘크리트 면에 균등하게 밀착시킨다. 강재도장은 강교의 도장에 준하여 시행한다.  <해설그림 3.3.13> H-형강 브레이싱 보강공법 ③ 보강개요도 - 우각부 스트럿 보강공법 개구부에 가압력 도입이 가능한 보강 장치를 설치하여 구조물의 전단력 및 휨모멘트를 감소시킴으로써 보강효과를 얻을 수 있는 공법이다. <해설그림 3.3.14>와 같이 소켓과 고정너트, 고정핀을 사용함으로써 우각부의 인장력 발생을 방지하고 가압력 손실 또한 막을 수 있다.	**[수정]** 항목번호 및 문구 수정 **[수정]** 그림번호 수정 **[추가]** 정지승 등 (2013)에서 보고된 우각부 스트럿 보강공법에 관한 내용을 참조하여 서술을 추가함

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~5. 개구부 보강공법~~ ~~가. 강재거둥 추가설치공법~~ ~~(1) 공법개요~~ ~~기존 내부 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨거서의 소음, 진동을 최소화 해야 하는 경우에 적용 할 수 있다. 강재거둥 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 강재거둥추가 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~~	 <해설그림 3.3.14> 우각부 스트럿 내진보강공법 개요 <삭제>	[삭제] 해설표3.3.1 체계에 따른 위치 수정에 따른 삭제 후 이동 [삭제] 위치 변경으로 인한 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~보강 거동을 설치하기 어려운 경우에 적용한다. 개구부 주변의 콘크리트만을 깨어 낸 후 보 철근을 추가 배근하고 콘크리트를 타설하는 공법이며, 개요도는 그림 ***3.3.9***와 같다.~~ ~~***(2)*** 보강개요도~~  ~~그림 3.3.9 테두리보추가 설치공법~~	<삭제>	
~~***6.*** 벽체, 기둥 두께증가 보강공법~~ ~~가. 공법개요~~ ~~구조물의 벽체, 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.~~	<삭제>	[삭제] 위치 변경으로 인한 삭제 [삭제] 보강요령은 부록으로 이동 삭제

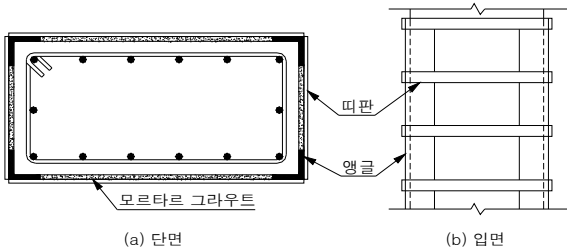
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~다. 보강개요도~~   ~~그림 3.3.10 기둥 보강공법~~ ~~그림 3.3.11 벽체 보강공법~~ ~~***7. H-*** 형강 증설 공법~~ ~~가. 공법개요~~ ~~벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬래브 개구부 위치의 측벽부 등에 내하력 부족시 ***H-*** 형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법이다.~~ ~~개구부로 인한 벽체의 종방향에 대하여 지진력에 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 ***3.3.12***와 같다.~~	<삭제>	[삭제] 위치 변경으로 인한 삭제

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
 ~~그림 3.3.12 H-형강 증설공법~~		

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~8.~~ 벽체부 강판 압착공법	(8) 벽체부 강판 압착공법	[수정] 항목번호 수정
~~가.~~ 공법개요	① 공법개요	[수정] 항목번호 수정
구조물내 토압을 받는 측벽부 중간 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위하여 측벽슬래브 상·하면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트와 일체화시켜 내하력을 증진시키는 공법이며, 개요도는 그림 ***3.3.13***과 같다.	구조물 내 토압을 받는 측벽부 중간 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위하여 측벽슬래브 상·하면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트와 일체화시켜 내하력을 증진시키는 공법이며, 개요도는 <해설그림 3.3.15>와 같다.	
~~나.~~ 보강개요도	② 보강개요도	[수정] 항목번호 수정
		[수정] 그림의 글자 크기를 수정함
~~그림 3.3.13~~ 벽체부 강판 압착공법	<해설그림 3.3.15> 벽체부 강판 압착공법	[수정] 그림번호 수정
~~9.~~ 기둥의 띠판 보강공법	(9) 기둥의 띠판 보강공법	[수정] 항목번호 수정
~~가.~~ 공법개요	① 공법개요	[수정] 항목번호 수정
지진에 의해 발생되는 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 두께선정에 있어서 열차 운행에 필요한 건축한계에 저촉되지 않도록 주의가 필요하다.	지진에 의해 발생되는 전단력에 대하여 기존 기둥에 급격한 전단파괴가 발생하지 않도록 기둥의 인성(toughness)을 증진시키는 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 보강 시의 두께 선정에 있어서 열차 운행에 필요한 건축한계에 저촉되지 않도록 주의가 필요하다.	

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr>
<td>~~나.~~ 보강개요도

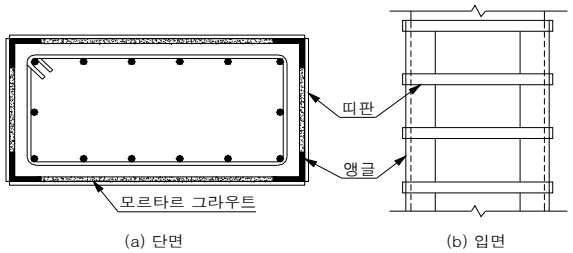
전단에 ~~대해 기존의 띠 철근외에 추가로 소요되는 철근량에 해당되는 띠판의 보강량을 산정하여~~ 적정한 두께와 폭 및 간격을 결정한다. 띠판을 이용하여 기존 기둥의 바깥쪽 둘레에서 ~~그림 3.3.14~~와 같이 보강한다.

~~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 ***3.2mm***이상을 적용하고 간격과 띠폭은 ***10cm*** 정도로 하는 것이 적당하다.</td>
<td>② 보강개요도

전단에 대한 저항을 위하여 설치되는 기존 횡철근 이외에 추가로 소요되는 철근량에 해당되는 띠판의 보강량을 산정하여 적정한 두께와 폭 및 간격을 결정한다. 띠판을 이용하여 기존 기둥의 바깥쪽 둘레에서 <해설그림 3.3.16>과 같이 보강한다.

<해설그림 3.3.16> 띠판 보강공법

기둥 네 모서리의 수직앵글은 현장용접을 용이하게 하는데 유용하다. 띠판과 기존 기둥과의 유격은 무수축 모르타르로 채움으로써, 기존 기둥과 띠판이 일체 거동이 되도록 한다. 일반적으로 띠판의 두께는 3.2mm 이상을 적용하고 간격과 띠폭은 10cm 정도로 하는 것이 적당하다.

(10) 기둥 단부 섬유보강폴리머 부착공법

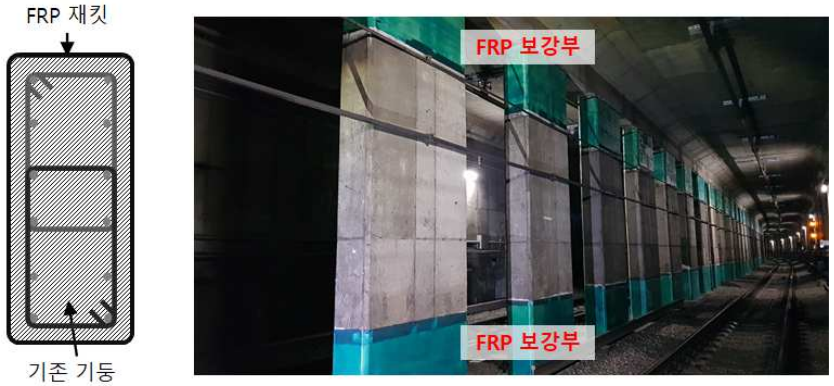
① 공법개요
철근콘크리트 기둥 부재의 휨강도 또는 전단강도와 연성능력을 증진시키기 위하여 인장강도가 높은 복합재료인 섬유보강폴리머(Fiber Reinforced Polymer, FRP)를 사용하는 공법이다. 기둥 단부 주변의 표면에 판형의 FRP를 접착하여 콘크리트에 대한 구속효과를 주며, 이를 바탕으로 휨/전단강도 및 연성능력의 증대 효과를 가져올 수 있다.
해당 공법은 그 특성상 기둥의 단면을 크게 증가시키지 않으면서도 휨/전단강도의 증대를 얻을 수 있으며, 부가적으로 보강 위치의 내부식성을 향상시킬 수 있다. 일반</td>
<td>[수정] 항목번호 수정

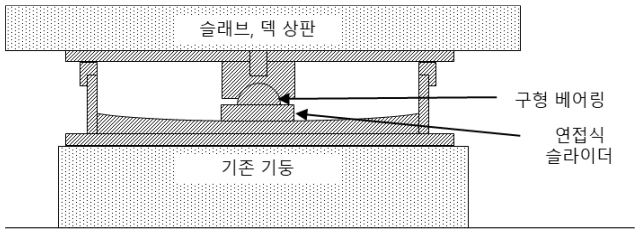
[수정] 그림번호 수정

[수정] 그림번호 수정

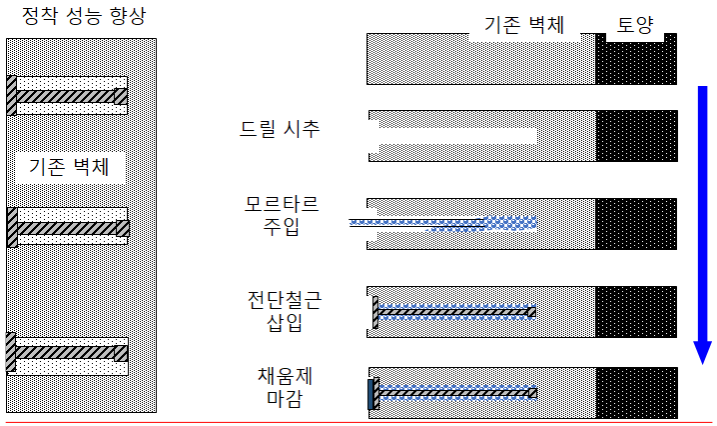
[추가] 신규 공법을 추가함 (기둥 단부 섬유보강폴리머 부착공법)

[추가] 개요와 개요도, 적용 사례를 본 요령 해설에 추가하였으며, 기타 적용시 고려가 필요한 사항의 상세에 대해서는 부록에 첨부하였음</td>
</tr>
</table>

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	시설물의 경우 기둥 및 보 등에 널리 적용되어 왔으며 개착식 터널에서의 주요 적용대상은 중앙 기둥의 단부이다. 다만, 이 공법은 기둥 단면의 폭이 두께의 2배 이상인 경우 철근콘크리트 단면에 대한 섬유보강폴리머의 구속효과(즉, 휨강도 및 연성도 증가)뿐만 아니라 전단강도에 기여하는 정도가 제한적인 것으로 알려져 있다. 따라서 적용 대상 기둥에 대한 각 공법의 내진성능 향상효과는 세밀한 실험 결과를 토대로 판단해야 한다. ② 보강개요도 해당 공법이 적용된 기둥은 <해설그림 3.3.17>과 같은 단면을 가진다.  <해설그림 3.3.17> 기둥 단부 섬유보강폴리머 부착공법 개념도(좌) 및 실제 개착식 터널 적용사례(우) 4. 최근 추가로 연구되고 있는 개착식 터널의 내진보강 공법들은 다음과 같다. 4.가. 기둥의 면진 및 격리 장치 적용을 통한 보강공법 ① 공법개요 해당 공법은 면진 또는 제진장치를 사용하여 기둥의 에너지 소산 및 감쇠 능력을 증진시킴으로써, 최종적으로 터널 구조물 전체의 지진 응답을 감소시키는 공법으로 다음과 같은 연구들로 보고된 바 있다. - Chen et al. (2014): 전단패널 댐퍼(shear panel damper, SPD)	**[추가]** 실험적/해석적으로 주로 연구가 이루어지고 있는 보강공법들에 대한 자료를 확인하고 추가하였음 **[추가]** 면진, 격리장치 등은 아직 실 적용 사례에 대한 한계를 명시

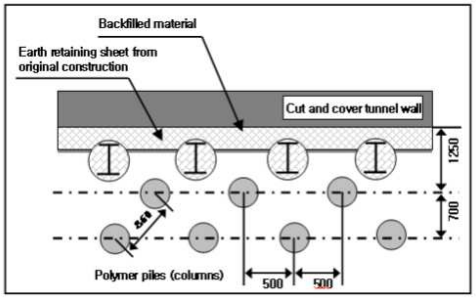
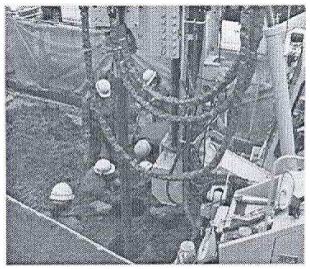
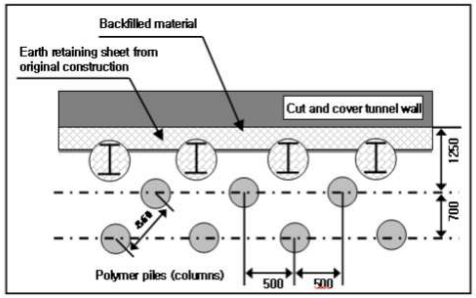
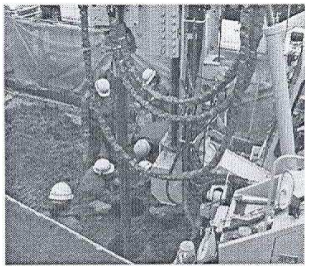
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	- Ma et al. (2018): 미끄러짐 베어링 면진 장치(sliding isolation bearing) - Chen et al. (2019): 자기조정 에너지소산 장치 (self-centering energy dissipation) - Xu et al. (2020): 마찰진자형 면진받침(friction pendulum bearing, FPB) 이상의 면진 또는 제진장치들은 지하구조물 기둥 상단 혹은 하단에 적용하였을 때 구조물 전체의 수평방향 변형이나 전단력을 감소시킬 수 있음이 보고되었다. 이 공법은 아직까지 개착식 터널에 대해 실적용 되지 않은 공법으로서, 해석 및 소규모 실험을 통해 그 가능성을 확인한 사례가 대부분이며 보다 연구가 필요하다. ② 보강개요도 해당 공법은 터널에 대한 실적용 사례가 없으므로 교량에 대해 적용된 사례들을 참조하여 <해설그림 3.3.18>과 같이 보강개요도를 작성하였다. 교량의 경우 기존에 사용되던 교량받침을 해체하여 제거하고 교체하는 방식으로 수월하게 내진성능 보강이 가능하나 터널의 경우 실적용을 위해서는 보다 상세한 공법에 대한 연구가 필요하다.  <해설그림 3.3.18> 마찰진자형 면진받침 개요도 4.나. 측벽 전단철근 매립공법 (embedding plate anchored shear reinforcement) ① 공법개요 개착식 터널의 내부로부터 양쪽에 강판을 용접한 철근을 매립함으로써, 정착 성능을 확보하면서 벽체의 전단강도를 증진시킬 수 있는 공법이다 (Kawamura et al. 2013). 매립하는 부분에 추가하는 원형 강판은 정착 성능을 확보하는데 도움이 되며, 노출부분에 설치하는 사각형 강판 또한 매립 철근의 중심을 잡는 역할을 할 수 있다.	**[추가]** Kawamura et al. (2013)이 실험 연구를 통해 제안하고 있는 공법을 확인하고 추가함

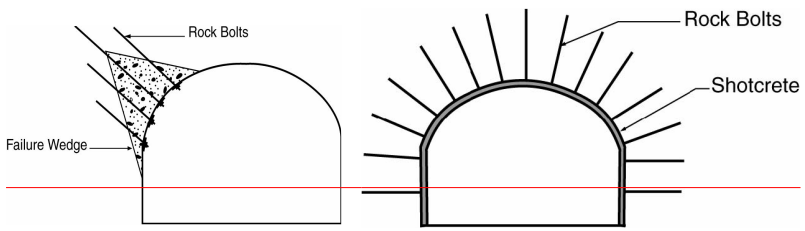
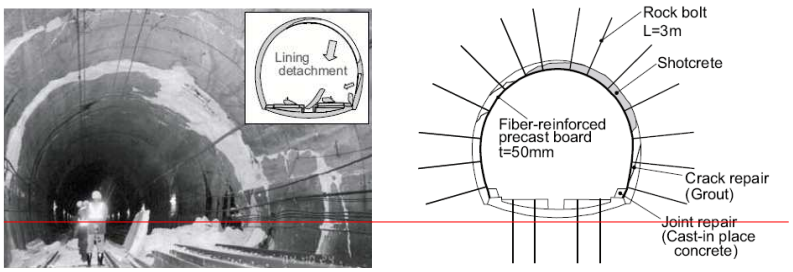
<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td></td><td>② 적용과정
해당공법의 적용을 위해서는 보강할 위치에 미리 드릴로 삽입공을 시추하는 과정이 필요하며, 레이더나 기타 비파괴 탐지 기법을 바탕으로 위치를 선정할 수 있다. 이렇게 삽입공을 시추하고 청소한 뒤 모르타르를 타설하고 철근을 매립한다. 이후 철근 노출부 또한 보수재로 마감함으로써 철근 매립을 완료한다. 관련 공법의 적용 절차를 <해설그림 3.3.19>에 요약하였다.

③ 보강개요도
 

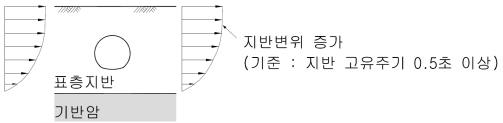
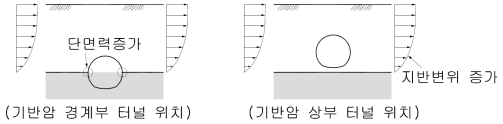
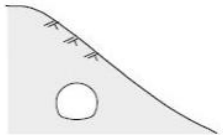
<해설그림 3.3.19> 측벽 철근 매립공법</td><td></td></tr>
<tr><td>~~10.~~ 지진격리공법 (개착식 구조물의 주변지반 내진보강)
개착식 터널 주변지반에 파일벽체를 시공하여 내진안정성을 확보하는 공법이다.</td><td>4.다. 지진격리공법 (개착식 구조물의 주변지반 내진보강)
개착식 터널 주변지반에 파일벽체를 시공하여 내진안정성을 확보하는 공법이다.</td><td>[수정] 항목번호 수정</td></tr>
<tr><td>~~가.~~ 공법개요
~~(1)~~ 최근 개발된 '폴리머 진동차단 공법(Polymer seismic isolation method)'은 주변 지반으로부터 구조물로 전달된 지진 거동을 감소시키기 위하여 지하구조물 양 측면에 폴리머 벽체를 시공한다.
~~(2)~~ 이 공법은 그 자체로 ~~자진사~~ 지반변형을 막거나 통제하기 위한 것이 아니고, 주변 지반으로부터 전달된 지진력을 차단하기 위한 목적이다.</td><td>① 공법개요
- 최근 개발된 '폴리머 진동차단 공법(Polymer seismic isolation method)'은 주변 지반으로부터 구조물로 전달된 지진 거동을 감소시키기 위하여 지하구조물 양 측면에 폴리머 벽체를 시공한다.
- 이 공법은 그 자체로 지진 시 지반변형을 막거나 통제하기 위한 것이 아니고, 주변 지반으로부터 전달된 지진력을 차단하기 위한 목적이다.</td><td>[수정] 항목번호 수정

[수정] 맞춤법 수정</td></tr>
</table>

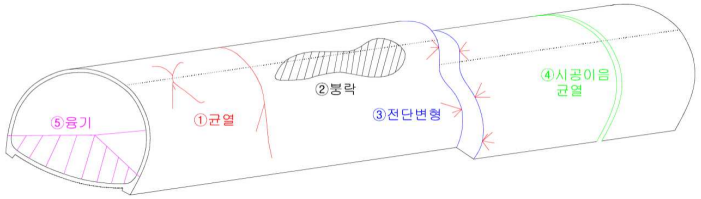
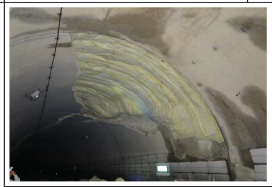
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~나.~~ 보강개요도 ***(1)*** 가운데 기둥은 스틸 재킷공법으로 충분히 보강되어질 수 있지만, 측벽을 보강하는데 있어서는 기존의 유효한 공법이 부재한 실정이다. ***(2)*** ~~지진평가~~에서 상대 변형이 ***30%***까지 감소됨과 함께 해석결과 측벽의 전단력은 대규모 지진에도 안전한 수준 이내로 유지되는 것으로 분석되었다.   ~~그림 3.3.25~~ 폴리머 내진격리공법(일본 나까가와역)	② 보강개요도 - 가운데 기둥은 스틸 재킷공법으로 충분히 보강되어질 수 있지만, 측벽을 보강하는데 있어서는 기존의 유효한 공법이 부재한 실정이다. - 내진성능평가에서 상대 변형이 30%까지 감소됨과 함께 해석결과 측벽의 전단력은 대규모 지진에도 안전한 수준 이내로 유지되는 것으로 분석되었다. - 해당 공법은 구조물의 깊이에 대한 피복 토양의 깊이 비가 1.5 이하인 얕은 구조물에 대해서는 높은 변형 저감효과를 보이나, 깊은 곳에 위치한 구조물에 대해서는 상대적으로 효과가 낮을 수 있다. - 이를 보완하기 위한 일환으로 Shadabi et al. (2021) 등은 구조물 상부의 피복 토양 일부를 발포 폴리에스티렌(expanded polystyrene, EPS) 등으로 대체함으로서 지진력을 감소시키는 기술을 연구한 바 있다.   <해설그림 3.3.20> 폴리머 파일의 내진격리공법(일본 Nakagawa 역)	[수정] 항목번호 수정 [수정] 용어 수정 [추가] Shadabi et al. (2021)의 연구에서 해석적으로 확인한 결과들을 확인한 이후 수록함 [수정] 그림번호 수정

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
~~3.4 굴착식 터널의 내진성능 향상방법~~	3.3.2 굴착식 터널의 내진성능 향상방법	[수정] 장번호 수정
~~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, 숏크리트, 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 숏크리트로 보강을 실시하는 개요도를 나타낸 것이고, 그림 3.4.2는 일본의 터널 내부 보강사례를 나타낸 것이다.~~  ~~그림 3.4.1 록볼트 및 숏크리트 설치~~  ~~그림 3.4.2 ○○터널의 내진보강 사례(일본)~~	**1.** 터널의 내진성능 확보 필요 위치는 다음과 같은 구간으로 제시되어 있어, 해당 구간의 포함 여부에 대한 조사가 필요하다. 가. 토피의 두께가 얇고 지반이 연약한 터널의 갱구부, 주요 구조물 접속부 구간 나. 대규모 단층대 및 파쇄대 통과구간, 지층구조가 급변하는 계곡부 다. 천층터널 및 편경사 지형으로 지진 시 터널의 안정성이 취약하다고 판단되는 구간 **2.** 지진으로 인한 굴착식 터널 피해 사례에 따르면 지진 시 횡방향 변형으로 인한 피해가 종방향 변형으로 인한 피해보다 크다. 따라서, 터널의 횡방향 파괴, 상대변위 발생량을 분석하는 것이 내진성능 향상을 효과적으로 할 수 있다. **3.** 지진 시 굴착식 터널의 주요 피해는 지반 안전성 확보를 위한 록볼트· 숏크리트와 라이닝에서 발생된다. 터널 안정성 확보 측면에서 록볼트, 숏크리트는 공사 중 가설구조물로 설계되는 것이 국내 터널 설계개념임에 따라, 지반이완 하중에 저항하도록 설계된다. 지진피해가 육안으로 확인되는 라이닝 구조물에 대하여 균열, 붕락, 전단변형, 시공·신축이음부 균열, 바닥부 융기 등에 초점을 맞추어 향상 방안을 수립하는 것이 효과적이다. ▌해설▐ 1. 굴착식 터널은 지반과 일체가 되어 있기 때문에 지진 시 구조물에 작용하는 관성력이 작고, 교량 및 성토 등의 지표 구조물에 비해 내진성능이 높다. 그러나 기반암 내에 시공되지 않은 터널의 경우 지진파의 증폭, 상대변위 발생 가능성이 높기 때문에 지진에 대한 대응성 및 내진성능 향상 방안이 필요하다. 「KDS 27 17 00」에서 제시하고 있는 내진설계 대상 지역에 대한 내용 이외에 지진발생시 지진피해가 다수 있었던 해외 사례를 살펴보면 다음과 피해가 발생한다. ① 지진에 의해 생긴 경사면 움직임, 붕괴, 지진 단층의 상대변위 발생부 ② 편토압을 받고 있는 터널 ③ 라이닝이 없거나 라이닝 두께가 매우 얇은 구간 ④ 시공 불량 구간 또는 지속적인 동결융해 등으로 라이닝의 강도가 저하된 구간	[추가] KDS 27 17 00(터널 내진설계)에 제시되어 있는 내진 취약부(내진성능 확보 필요위치)에 대한 내용 추가 (추가 상세 내용을 해설에 추가) [추가] 터널의 주요 내진저항 특성을 추가하여 활용자 이해도 증진 (추가 상세 내용을 해설에 추가) [추가] 터널 내진성능 향상방안 수립에 대한 방향을 제시 (기존 내진성능 향상요령에 포함되어 있는 내용은 해설에 삽입)

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	⑤ 상부 지반의 이완구간 (공사 중 지반붕괴 이력이 있는 곳 등) 상기의 항목들을 도식적으로 표현하면 다음과 같다. <해설표 3.3.2> 굴착식 터널의 지진 시 피해발생 구간(宮林, 2011)	

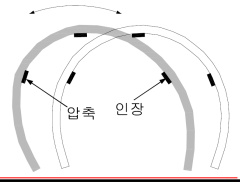
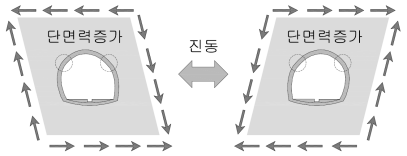
No.	피해발생 구간	개요도
1	연약지반에 시공된 터널	
2	기반암 경계부 및 상부에 위치한 터널	
3	편토압 경사면에 시공된 터널	
4	국부적 연약지반 노출 터널	
5	단면 변화 부	

지진 시 라이닝의 주요 피해는 다음의 그림과 같이 라이닝 균열, 붕락, 전단변형, 시공·신축이음 균열, 바닥부 융기 등으로 나눌 수 있다.

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	 <해설그림 3.3.21> 굴착식 터널의 지진 시 주요 피해(宮林, 2011) <해설표 3.3.3> 굴착식 터널의 지진 시 주요 피해(宮林, 2011) 구 분: 2016년 구마모토 지진(진도 6), 타와라야마 터널 균열/박락: 전주면 균열; 박리(측벽); 박락(천단) 붕락/전단변형:  복공 붕락; 전단변형 2. 해외 사례를 보면 지진시 터널에서는 횡방향 변형으로 인한 피해가 종방향의 변형으로 인한 피해보다 크다. 이러한 현상의 원인으로 종방향의 변형은 라이닝 시공 및 신축이음이 종방향으로 약 10.0m 간격으로 다수 시공되어 있음에 따라 종방향의 변형이 흡수되었다고 설명하고 있으나, 아직까지 명확한 근거를 찾지는 못하고 있는 상황이다. 횡방향의 경우 지진동 발생시 한쪽이 압축을 받을 때 다른 한쪽은 인장을 받고 있게 되고, 이러한 하중-응력 조건의 반복으로 라이닝 전단변형이 발생되게 되며, 이러한 상대변위 발생을 고려한 내진성능 향상방안 수립이 필요하다.	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

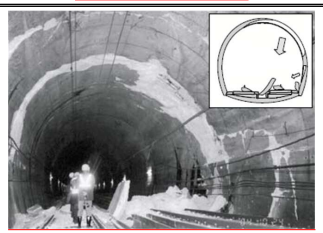
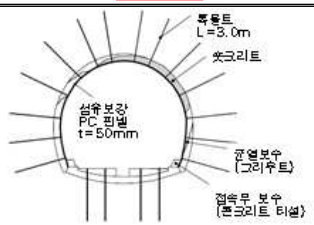
<해설표 3.3.4> 굴착식 터널의 지진 시 변형모드 및 응력발생 양상(宮林, 2011)

구 분	지진동 시 터널 변형모드	응력 발생 양상
개요도		

3. 라이닝의 내진성능 향상방법으로는 지진력에 대한 저항을 증가시키기 위해 라이닝의 인성을 높이는 방법을 적용할 수 있다. 라이닝 구조물의 두께를 증가시키는 경우 관성력이 크게 작용될 수 있기 때문에, 철근보강, 시트보강(탄소섬유, 아라미드섬유, 강판접착, FRP시트 등) 등을 통해 구조물 인성을 높이는 방법이 효과적이다. 아울러 단층대, 파쇄대 또는 연약지반과 같이 지진에 취약한 구간은 지반과 구조물의 일체 거동을 유도할 수 있도록 인버트 라이닝을 설치하거나 주변 지반 보강 등이 방안이 될 수 있으나, 터널 운용 중에 인버트 라이닝 설치는 많은 어려움이 따르므로 대상 터널의 현황에 맞춰 보강 방안을 수립하여야 한다.

라이닝 붕락 또는 탈락이 발생된 해외 사례의 보강 방안을 살펴보면, 라이닝 탈락은 라이닝 배면 암반(또는 토사)의 쐐기 파괴(Failure Wedge) 구간을 보강하거나, 이완대 영역 증가가 예상되는 구간의 경우 배면 충진 및 록볼트·숏크리트 보강 이후, 섬유가 보강된 프리캐스트 패널을 라이닝 전면에 추가 보강을 하고 있다.

<해설표 3.3.5> 굴착식 터널의 지진 피해 및 보강 사례(宮林, 2011)

구 분	라이닝 탈락 전경	보강단면
개요도		
터널명	오우누마 터널(신칸센)	
피해정도	라이닝 대규모 붕괴	
지진정도	2004년 니가타현 주에쓰 지진 (규모 6.8, 최대진도 7)	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	3.3.3 개착식 터널의 액상화 보강방법 **개착식 터널의 액상화 보강의 주요 목표는 액상화 발생의 억제 또는 액상화 발생에 따른 피해가 발생하지 않도록 하는 것이다.** **1. 터널 주변 지반의 지진시 액상화 발생 가능성을 검토한다.** **2. 지진 시 주변 지반이 액상화 할 가능성이 있는 경우 터널의 부상(浮上) 및 주변 지반 변형에 따른 터널의 안정성을 확보해야 한다.** ▌해설▐ 개착식 터널은 지반의 액상화에 기인하는 부상 및 주변지반 변형 등에 따른 피해에 대한 검토가 필요하다. 지반의 액상화에 기인하는 측방유동이 구조물에 추가 하중으로 작용하지 않도록 하는 것이 중요하다(일본터널표준시방서, 2016). 또한 지반의 액상화 및 그에 따른 지반의 측방유동은 지중구조물의 내진성능에 큰 영향을 미치기 때문에 내진설계에 있어 지반의 안정성을 충분히 검토해야 한다. 터널 주변 지반이 액상화하게 되면 큰 양압력(Uplift pressure)이 발생하여 터널의 부상이 발생할 수 있다. 따라서 액상화로 인해 발생하는 양압력에 의한 부상을 방지할 수 있는 대책이 필요하다. 또한, 액상화로 인해 발생한 과잉간극수압의 소산과 함께 주변 지반의 침하가 발생하는 경우가 있다. 게다가 경사 지반 및 수제선 근방에서는 측방유동이 발생하여 영구지반변위에 의한 피해가 발생 할 수 있다(일본터널표준시방서, 2016). 제반 지반조건 및 시설물의 중요도 등에 따른 최적의 액상화 보수보강계획을 위해서는 액상화 위험정도, 구조물에 대한 액상화 발생 시 예상 피해정도, 성능목표 그리고 가용한 시공재료와 구현 가능한 보강방법에 대한 충분한 이해가 필요하다. 기존 개착식 터널에 적용할 수 있는 액상화 대책공법은 다음과 같다(일본토목학회, 2012).	[신설] 장 번호 신설 [신설] 개착식터널의 액상화 성능 향상 시 고려해야 할 사항 및 적용 가능한 공법 소개 추가

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

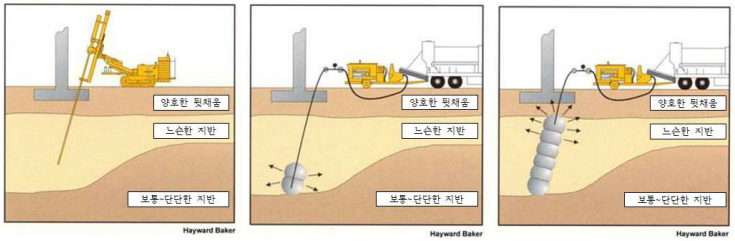
<해설표 3.3.6> 개착식 터널에 적용할 수 있는 액상화 대책공법

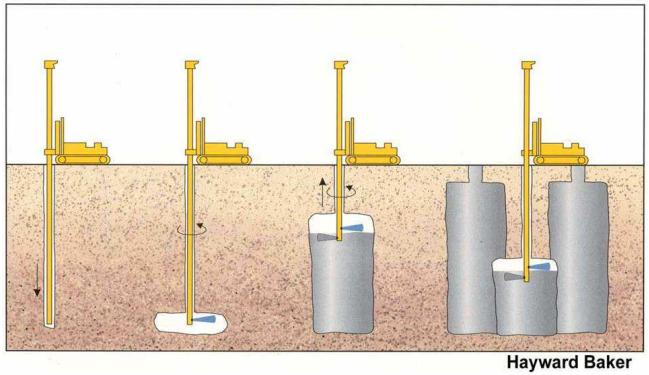
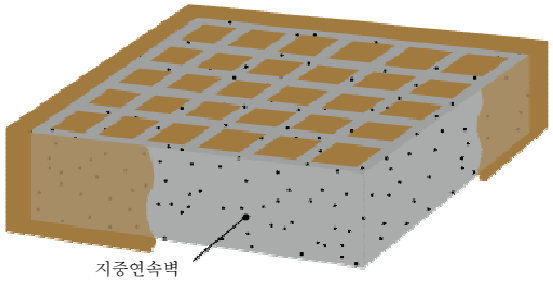
개 량 종 류	공 법 원 리	액상화 발생 억제	액상화후 피해 발생 억제	부상 (浮上) 방지
고결 공법	느슨한 사질토 지반 내에 시멘트 및 안정 재료를 주입하여 지반을 안정시키는 공법	○	○	○
지하수위 저하공법	Deep well 등으로 지하수위를 저하(불포화)시켜 지반의 유효응력을 증가시키는 공법	○	×	×
치환 공법	연약토를 굴착하여 제거하고 양질토로 치환하는 공법	○	×	×
기타	지반에 널말뚝이나 말뚝 등을 설치하여 기초를 강화하는 방법, 직접기초의 지오그리드 등을 통한 보강, 성토부에 대한 시트파일 마감공법 등 지반을 구속하여 구조적으로 액상화 피해를 저감시키는 공법	△	△	△

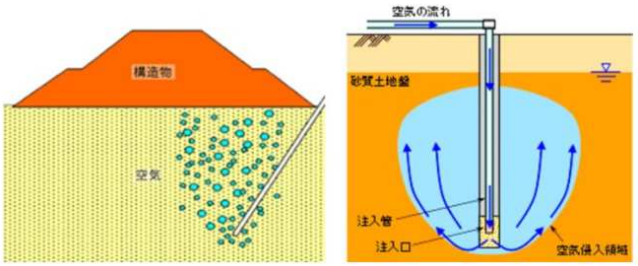
1. 고결공법

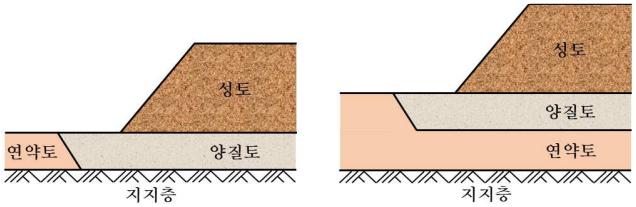
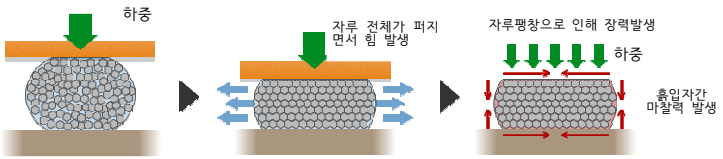
고결처리 공법은 느슨한 지반 내에 시멘트 및 안정 재료를 주입하여 지반을 안정시키는 공법으로, 기존 구조물 주변 및 직하부에 액상화가 발생할 것으로 예상되는 지반에 적용이 가능하다. 고결공법을 통해 주변 지반의 액상화 발생을 억제하는 것이 가능하다. 또한 측방유동 등이 발생하지 않는 수평지반의 경우 개착식 터널의 상부에 고결공법을 적용함으로써 터널 주변 지반의 액상화 발생에 따른 개착식 터널의 부상을 방지 할 수 있다.

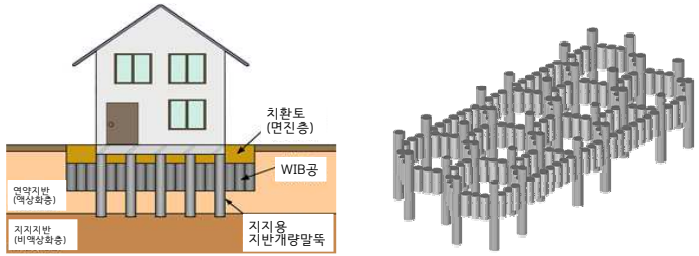
이 공법은 비교적 소규모 장비를 적용하여 작업여건 및 시공성이 양호하고, 공기단축이 가능하지만, 지반에 안정제를 주입하므로 지하수 흐름이 존재하거나 해안에서는 각별한 품질관리가 요구된다.

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	① 저유동성 모르타르 주입공법 저유동성 모르타르 주입공법은 중금속 용출방지용 기능성 혼합재가 포함된 슬럼프치가 10cm 이하의 저유동성 모르타르를 지중에 주입하여 주변 토사를 방사형으로 압밀 다짐시킴으로서 지반을 압축강화 및 밀도 증진, 사석층과 세굴 지반 내 압밀 충전 시킴과 동시에 고결 기둥체를 형성하여 지반을 개량하는 공법이다.  <해설그림 3.3.22> 저유동성 모르타르 주입공법 (Hayward Baker, Inc) ② 약액주입 그라우팅공법 지반의 빈틈에 주입제를 압입하여 주입제가 굳어짐과 동시에 지반을 엉기어 굳혀서 물의 이동을 멈추거나 흙을 강화하는 공법이다. 사용되는 약액은 시멘트, 모르타르 등 여러 가지 종류가 있으며, 약액의 안전성에 대한 충분한 검토가 필요하다. ③ 고압분사교반공법 지반 경화제를 고압으로 분사하여 원지반을 교반 및 혼합하여 지반을 고결시키는 공법이다. 소구경 보링공을 활용하여 대구경의 개량체를 조성할 수 있으며 사질토 및 점성토 둘 다 적용 가능하며 진동과 소음이 적은 장점이 있다. 시공 시 발생하는 잔여 경과제의 처리가 필요한 단점이 있다.	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	 <해설그림 3.3.23> 고압분사교반공법 (Hayward Baker, Inc) ④ 지중 연속벽 공법 지중에 커터샤프트를 삽입하여 수직상하 절삭과 동시에 수평방향 연속이동하면서 시멘트와 지중토사를 혼합하여 격자모형의 슬러리월을 형성함으로써 지반개량과 동시에 주변 지반의 변위가 억제되는 공법이다.  <해설그림 3.3.24> 지중연속벽공법 (CCC method Assoc.) 2. 지하수위 저하공법 (불포화 공법) 지하수위 저하공법(불포화공법)은 Deep Well 등으로 지하수위를 저하시켜 지반의 유효응력을 증가시키거나 지반에 공기를 주입하여 지반을 불포화하여 액상화 강도를 증가시키는 공법이다. 본 공법은 영구적으로 구조물 기초하부 지반의 품질관리가	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	필요하므로 경제성을 염두하여야 한다. ① 슈퍼 웰 포인트 공법 (Super Well Point method) 슈퍼 웰 포인트 공법 (SWP공법)은 종래의 웰포인트공법 (강제배수), 딥웰공법 (중력배수), 진공딥웰공법 (중력+강제배수)의 단점을 보완하여 여러 가지 장점을 개선시킨 새로운 진공압입배수 공법이다. 대심도에서 진공효과로 강제배수가 가능하며, 양수량은 종래공법과 비교하여 5~20배이고 보다 광범위한 지역의 지하수를 빠르게 저하시키는 대심도 진공배수, 압밀배수공법이다. ② 공기주입 불포화화 공법 (Air-des) Air-des 공법은 지반 내에 공기를 주입하여 지반을 불포화하여 지반의 액상화 강도를 증가시키는 액상화 대책공법이다. Air-des 공법은 지반 내에 공기를 주입하는 몹시 간단한 작업에 의해 액상화 대책을 실시하는 공법으로 주입한 기포가 균일하게 지반의 간극수에 5~10% 정도 포함되는 것이며 지반의 기본적인 성질(강도, 투수성, 지진 발생 시 진동특성 등)을 거의 변화시키지 않고 액상화 저항강도가 증가하게 된다.  <해설그림 3.3.25> 공기주입 불포화 공법 3. 치환공법 치환공법은 지표면 가까이 있는 액상화에 취약한 연약지반을 양질의 사질토로 치환하는 공법으로 굴착치환과 강제치환(성토나 폭파)이 있다. 해당 심도가 얕을 경우 시공성 및 품질관리가 확실하다. ① 굴착치환 공법	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	굴착치환공법은 굴착장비로 연약층 전체 또는 부분적으로 굴착하고 양질의 사질토를 채우는 방법이며, 시공심도가 3m 까지가 효과적이며 배출토를 처리할 토사장이 필요하다.  <해설그림 3.3.26> 굴착치환 공법 4. 기타공법 고결공법, 배수공법, 지하수위 저하공법, 치환공법 외에도 액상화 가능한 지반 주위 또는 내부에 널말뚝 및 지오그리드, 말뚝공법 등을 적용하여 지반의 구속효과에 의해 액상화를 저감하는 공법 등을 소개한다. ① D-BOX (Divided Box) 공법 D-BOX 공법이란 "구획구속원리" 효과에 의해 내하력이 증대되도록 고안된 자루를 사용하여 진동저감효과를 고려하는 액상화 대책공법이다. 자루 상부에서 힘을 가하면 자루가 편평하게 늘어나기 때문에 자루 전체에 장력이 발생하고, 이때 토립자 간의 재배치로 마찰력이 발생하며 자루의 장력에 의한 입자간의 마찰력이 진동저감 효과를 발휘하게 된다.  <해설그림 3.3.27> D-BOX공법 (Mitanisekizai LLC.) ② 성토 내진보강 시트파일 마무리 공법 (시트파일+타이로드) 지진 시 지반의 지지력이 감소되는 액상화 지반 상의 성토 대책으로써 성토부 외측에 시트파일을 시공하고 시트파일 사이에 타이로드를 설치하여 성토 본체의	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	침하나 변형을 저감 할 수 있는 공법이다. ③ WIB(Wave Impeding barrier) 공법 WIB공법(Wave Impedign Barrier)은 땅속의 소요 깊이에 지반 개량 말뚝에 의한 강성이 높은 판 모양 또는 벽 모양의 셀 형식 구조체를 구축하여 도로 및 철도건설공사, 플랜트 등의 환경진동이나 지진 발생 시 구조물의 지진 작용력을 감소하는 지반 진동 대책공법이다. 본 공법은 지반진동파의 전파를 억제 단절하는 대체토(면진층)와 흡수 단절하는 셀 구조체(제진층)로 구성된다. 면진 효과와 제진효과의 조화로 진동전파 저감하고 연약지반에서는 셀 벽과 주변 지반의 강성비가 커지기 때문에 진동전파 저감 성능이 높아진다. 수평방향진동도 연직방향진동과 거의 동일한 정도의 진동전파 저감 성능 실적이 인정되어 적용범위가 다양하다. 또한 WIB공법은 연약지반의 지내력을 증강하여 건물의 침하 및 액상화도 방지할 수 있다.  <해설그림 3.3.28> WIB공법 (ed-techno, Inc.) ④ 성토 및 기초하부 토목섬유(지오셀, 지오그리드) 보강 공법 지오셀은 3차원적으로 구조적 특징에 의해 효율적인 토립자 구속효과를 발휘하는 특징을 가지고 있으며, 벌집모량의 3차원 형태로 제작된 단위 셀 안에 속채움재를 넣고 다짐함으로써 홀과 지오셀의 마찰저항, 이웃한 셀의 수동저항 등 복합구조체의 강성을 증대시키는 공법이다. ⑤ 팽이기초 공법 1987년 12월 지바현 지진 발생 및 1995년 1월 고베 지진 발생시 광범위한 액상화로 큰 피해가 발생되었는데 팽이기초를 적용한 주택이나 건축물에서는 거의	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	피해가 발생하지 않았다고 한다. 팽이기초(Top base)공법은 팽이모양으로 생긴 콘크리트 파일을 구조물의 기초지반 표면에 부설한 후 공극을 쇄석으로 채워서 다짐을 하는 공법으로써 지지력이 충분하지 않은 지반 위에 구조물을 건설하는 경우 기초부에 시공하여 지지력 증대와 침하 억제의 효과를 동시에 도모할 수 있는 기초공법이다. 한편, ITG(In-situ Installed Top-base & Geomesh) 공법은 기존 팽이기초의 연결철근 대신 지오메쉬와 팽이용기를 사용하여 개개의 팽이기초를 연결하여 지반 보강 복합체를 형성함으로써 액상화 지반의 지반개량효과를 증대시키는 공법이다. 현장타설형 팽이기초공법은 팽이기초(Top base)공법과 공법원리는 동일하나 기성프리캐스트 팽이기초를 사용하는 Top base 공법과 달리 현장에서 팽이용기(거푸집용)와 철근연결후 콘크리트 타설 및 양생하는 점이 다르다. <해설그림 3.3.29> 팽이말뚝기초공법(Sanwakensetsu) ⑥ 나무말뚝 공법 일본에서는 도로 성토 및 지상 2~3층의 RC 건축물 등 경량 구조물에 액상화 대책공법으로 나무말뚝공법을 개발하고 있다. 나무말뚝을 느슨한 모래층에 설치 시 말뚝의 구속 효과로 인한 지반 토층의 밀도 증가와 말뚝 주면을 따라서 과잉 간극 수압의 소산으로 인해 액상화에 대한 지반의 저항력을 증가시킬 수 있다.	

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유
	제 4 장 내진성능 향상보고서	[신설] 장 번호 신설
	4.1 일반사항	[신설] 향상보고서 작성 요령 신설
	내진성능을 향상한 후 향상결과를 보고서의 형태로 제출한다. 보고서의 문장은 간결하고 앞뒤 연결 관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다.	
	4.2 보고서 구성	
	보고서에 포함되어야 하는 항목은 다음과 같다. 1. 구조물에 대한 정보 2. 현장조사 및 문서검토 3. 내진성능 평가보고서 분석 4. 내진성능 향상설계 5. 내진성능 향상 시공 결과 6. 결론 ▌해설▐ 내진성능 향상보고서에 포함되어야 할 내용을 절차별로 구분하면 다음과 같다. 가. 1단계: 정보 분석 나. 2단계: 내진성능평가 분석 단계 별 상세 내용을 예시하면 <해설표 4.2.1>, <해설표 4.2.2> 및 <해설표 4.2.3>과 같다.	

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td></td><td>

<해설표 4.2.1> 1단계: 정보 분석

<table>
<tr><th>구분</th><th>항목</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="3">터널 제원 및 기초자료 현황</td><td>준공도서 보유 현황 (내진성능평가 시 관련자료)</td><td>1) 준공도면
2) 구조계산서
3) 지반조사보고서
4) 점검 및 진단자료
5) 보수보강 자료
6) 기타 자료</td></tr>
<tr><td>터널 기본사항</td><td>1) 시설물명
2) 시설물 종류
3) 위치
4) 관리주체
5) 준공년도
6) 시공비(내진성능평가, 내진보강설계, 내진보강시공)
7) 준거 설계기준 및 시방서
8) 시공방법
9) 터널형식(형식, 형상)
10) 터널제원(연장(m), 내공폭(m), 내공높이(m))
11) 상태등급
12) 중요부착시설물
13) 기타시설물</td></tr>
<tr><td>터널구조물 설계현황</td><td>1) 콘크리트 강도
2) 철근강도
3) 개착BOX구조물(슬래브두께(mm), 벽체두께(mm), 기둥폭(mm), 철근배근)
4) 액상화(수행여부, 주변지반, 지하수)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">내진보강사업 수행 현황</td><td>내진설계 현황 (내진설계 수행시 작성)</td><td>1) 내진설계기준 적용 현황
2) 내진등급(시방서 동일)
3) 지진구역
4) 지진구역계수, Z
5) 위험도계수, I
6) 가속도계수, A(시방서 동일)
7) 지반종류(지반계수, S)
8) 성능수준
9) 검토방법</td></tr>
<tr><td>내진성능평가</td><td>1) 내진성능평가 수행 여부
2) 내진성능평가 보고서 보유 현황
3) 용역 정보(용역명, 용역범위, 용역업체, 용역기간, 용역비, 책임토목구조기술자 성명 및 날인 유무 등)
4) 최신기준 적용여부
5) 심의/자문/검증위원회 수행 여부
6) 내진보강 필요여부
7) 내진보강방안 제시여부</td></tr>
</table>

</td><td></td></tr>
</table>

기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령		
기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)	기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정	근거 / 사유

	내진보강설계	1) 보강설계 수행여부 2) 보강공법 3) 설계서 등 보유 현황 4) 용역 정보(용역명, 설계사, 설계기간, 설계비, 책임토목구조기술자 성명 및 날인 유무 등) 5) 적용기준(개정년도) 6) 심의/자문/검증위원회 수행여부
	내진보강공사	1) 보강공사 수행여부 2) 공사시방서 등 보유 현황 3) 공사 정보(공사명, 공사기간, 공사비, 시공사, 토목공사업 등록업체 여부 등) 4) 감리제도 운영현황 5) 현장검증 수행여부

<table>
<tr><th colspan="3">기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령</th></tr>
<tr><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령(2011)</th><th>기존 시설물(터널) 내진성능 향상요령 개정</th><th>근거 / 사유</th></tr>
<tr><td></td><td>

<해설표 4.2.2> 2단계: 내진성능평가

<table>
<tr><th>항목</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>현장조사 적정성</td><td>1) 자료조사
2) 현장조사 (외관조사, 재료특성조사 등)
3) 기타 (상태평가 등)</td></tr>
<tr><td>내진성능수준목표 선정 적정성</td><td>1) 내진등급(시방서와 동일)
2) 내진성능수준
3) 평가지진하중의 평균재현주기
4) 지진구역
5) 지진구역계수, Z
6) 위험도계수, I
7) 가속도계수, A(시방서 동일)
8) 지반종류(지반계수, S)</td></tr>
<tr><td>예비평가 적정성</td><td>1) 지진도 평가(지진 구역, 지반종류, 지진도 그룹)
2) 취약도 평가 (Soil 지수, Slope 지수 등)
3) 영향도 평가 (Traffic 지수, Facilities 지수 등)
4) 내진그룹화</td></tr>
<tr><td>상세평가 적정성</td><td>1) 해석조건(해석위치, 해석방법, 안정성 검토방법, 기반암 등)
2) 적용물성치 (지반 동적물성치, 구조물 특성치)
3) 해석결과
· 변위
· 휨
· 전단
4) 내진성능평가 결과</td></tr>
<tr><td>내진보강방안의 적정성</td><td>1) 내진보강 적정성
2) 내진보강공법 안정성
· 보강위치, 보강재료, 보강길이, 강도감소계수, 단면력 등)</td></tr>
</table>

3. 내진성능 향상보고서에는 향상결과의 결론을 도출하는데 사용된 근거자료(현장조사결과 및 해석결과)가 추가로 제시되어야 한다.

4. 내진성능 향상설계에 적용되는 보강공법은 실험을 통해 성능 보강효과를 검증하여야 하고, 실험을 수행하지 않는 경우 보강공법에 대한 전문기관의 기술인증 및 전문가 검토를 통해 성능 보강효과를 입증하여야 한다.

내진성능 향상설계는 해석 및 내진성능 평가를 통해 그 성능을 확인하여야 한다.

</td><td></td></tr>
</table>