

제 8 장 시설물의 유지관리 전략 제안

8.1 유지관리 전략 제안

8.2 성능목표

8.3 성능평가 실시결과 검토·분석

8.4 보수·보강 공법

8.5 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략제안

8.1 유지관리 전략 제안

8.1.1 개요

현재 시설물의 예산 배정 방식은 대부분 시설물 손상 및 결함만으로 결정되며, 관리주체의 주관적 요소가 지배적 결정 요인으로 작용되는 경우가 많다. 또한, 시설물 관리부서의 보수 보장예산은 한정되어 있기 때문에 모든 결함을 적기에 보수하기에는 충분치 못한 실정이다. 이와 같이 유지관리 전략 제안에 포함된 모든 조치를 시행하기가 현실적으로 어려울 경우가용 재원 규모 내에서 가장 효과적인 유지관리 방안을 우선적으로 선정해야한다. 유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

8.1.2 유지관리 전략 제안 시 고려사항

일반적인 유지관리 단계의 우선순위 산정 시에는 유지보수 시 발생하는 편익을 개별로 추정하기가 어렵기 때문에 신설 투자 시 적용하는 서비스수준(LOS : Level of Service), 위험도(Risk), 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 방법 등을 적용하기는 쉽지 않다. 이는 시설물 관리주체가 유지보수 대상을 선정할 경우 수십~수백개 이상의 시설물을 대상으로 계획을 수립하기 때문에 각 시설물 및 공법별로 정량화하여 분석하는데 많은 시간과 비용이 발생되기 때문이다. 시설물의 보수·보강 공법, 단가 등의 자료를 통해 보수·보강 물량을 산출하고 부재 및 성능간 가중치를 적용하여 유지관리 전략을 제안한다.

8.1.3 유지관리 전략 활용 방안

유지관리 전략 산정결과는 안전성능, 내구성능, 사용성능 등을 고려한 종합적인 평가를 통해 보수·보강 유형별 중요도를 파악하고 다양한 요소를 반영하여 보다 명확하고 객관적 자료 제공할 수 있으며, 이를 통해 의사결정과정의 투명성을 확보할 수 있다.

8.1.4 유지관리 전략 제안 절차

유지관리 전략은 총 5단계로 구성되며, 조치별 비용대비 성능향상 기준으로 대상을 선정하는 방법을 선정한다.

[표 8.1.1] 유지관리 전략제안을 위한 우선순위 절차

구 분	분석 내용
<단계Ⅰ> 대상선정 단계	• 관리주체의 목표 및 방향에 기반하여 성능평가 대상을 도출
<단계Ⅱ> 자료수집 단계	• 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집
<단계Ⅲ> 시설물 평가단계	• 성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가 • 우선순위 선정을 위한 지표도출
<단계Ⅳ> 순위선정단계	• 평가결과를 활용하여 비용효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정
<단계Ⅴ> 예산제약고려단계	• 우선순위 선정 후 예산제약을 감안한 조치 선택

가. 대상선정

관리주체의 목표 및 방향에 기반을 두어 성능평가 대상을 도출한다. 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

나. 자료수집

시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

다. 시설물 평가

성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가를 수행한다. 우선순위 선정을 위한 지표를 도출한다. 각 보수조치별로 비용을 산출한 후 안전성능, 내구성능, 사용성능에 대한 영향도(가중치)를 반영하여 효과지수(Efficiency Index)를 결정한다. 기본적으로 관리주체는 각 조치별로 평가지표를 분석할 수 있는 정보(영향도, 가중치 등)와 개략적인 비용을 산출하여야 한다.

- 부재별 손상별 보수물량 산출
 - 표준 단가(건설공사 표준품셈, 건설공사 일위대가 등)를 통해 부재별 비용 산출
 - 각 성능항목별 부재별 가중치와 성능간 가중치를 통해 효과지수 산정
- * 요소별 가중치는 안전성능, 내구성능, 사용성능의 성능평가인자에 근거하여 설정하나, 해당 조치가 성능평가인자에 미치는 영향에 따라 관리자가 조정할 수 있다.

라. 우선순위 수준 선정

우선순위 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 다음 각 호의 경우 중에서 결정한다.

- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준 이상으로 개선
- 개축

마. 우선순위 선정

성능평가 가중치 및 기타 외부적 요소에 따라 조치별로 평가하여 비용대비 효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정한다. 관리자의 판단에 따라 우선순위지수 (PI : Priority Index)는 낮지만 보수가 필요하다고 판단되는 경우 우선순위를 조정할 경우 소견을 작성하여 시설물의 안전 및 유지관리 계획에 수록하여야 한다.

부재별 손상내역 및 공사비에 가중치를 적용하여 우선순위지수를 산정한다. 각 시설물에 따른 성능간 가중치 및 부재 가중치는 [부록]을 참조하여 선정한다.

$$\text{우선순위지수} = \frac{\sum_{n=1}^3 (P_n \times E_n)}{\text{비용}}$$

여기서, P_1 : 성능간 가중치(안전성능)

P_2 : 성능간 가중치(내구성능)

P_3 : 성능간 가중치(사용성능)

E_1 : 부재 가중치(안전성능)

E_2 : 부재 가중치(내구성능)

E_3 : 부재 가중치(사용성능)

※ 부재가중치 = 공법별 가중치 × 영향도

바. 유지관리 전략 제언

우선순위지수를 통해 산정된 보수·보강 우선순위를 통해 유지관리 전략을 제언한다.

* 안전성능, 내구성능, 사용성능에 심각한 영향을 미치는 중대한 결함의 경우는 본 우선순위 기준과 상관없이 즉각적으로 보수·보강하는 것으로 한다.

8.2 성능목표

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

8.2.1 성능목표 등급 산정

성능목표 등급 : B(결함도 범위 : $0.15 \leq X < 0.23$ 또는 $0.23 \leq X < 0.3$)

가. 선정기준

[표 8.2.1] 터널의 성능목표 등급 선정 기준

도로터널	일교통량	일반국도: 10,000대 이상 고속국도: 20,000대 이상	나머지의 경우
	대상터널의 차단 시 우회거리	5km 이상	
철도터널	일통과량 x 평균속도	6,000이상	6,000미만
성능목표등급 B등급 내에서의 결함도 범위		$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.30$

- 일 교통량은 일반국도의 경우 10,000대, 고속국도는 20,000대의 수준으로 고려함
- 구간의 일통과량 × 평균속도의 값을 6,000을 기준으로 함
- 자료가 없는 경우, 인접지점의 자료에 근거하여 관리자가 선정할 수 있음
- 성능목표 등급에서는 시설물의 사용환경에 대한 고려를 위해 다음과 같이 결함도 범위를 조정하여 성능목표 등급 선정에 이용함

[표 8.2.2] 성능목표 등급에 따른 결함도 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도점수범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

8.2.2 성능목표 등급의 조정

일교통량 및 우회거리에 따라 성능목표 등급의 결함도 범위를 $0.15 \leq X < 0.23$ 인 B등급 또는 $0.23 \leq X < 0.3$ 인 B등급으로 선정하도록 되어 있으나 터널의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

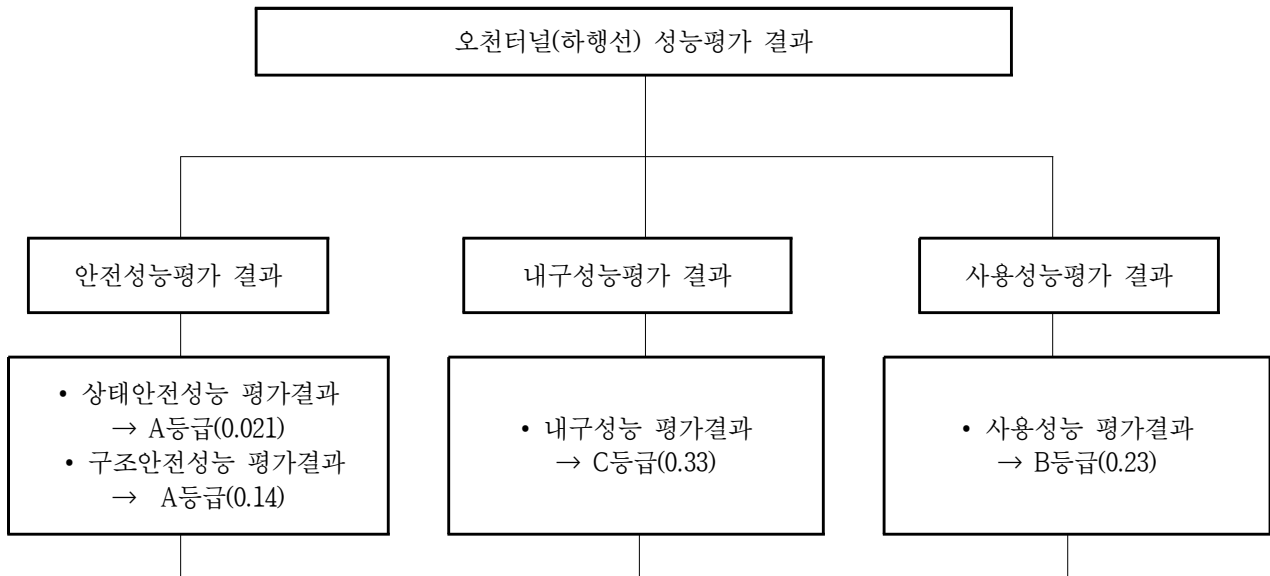
* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

8.2.3 성능목표 등급 선정

도로터널	일교통량	일반국도: 10,000대 이상
	대상터널의 차단 시 우회거리	3.0km
성능목표등급		$B(0.15 \leq X < 0.23)$

8.3 성능평가 실시결과 검토·분석

8.3.1 성능목표 및 성능평가결과 검토·분석

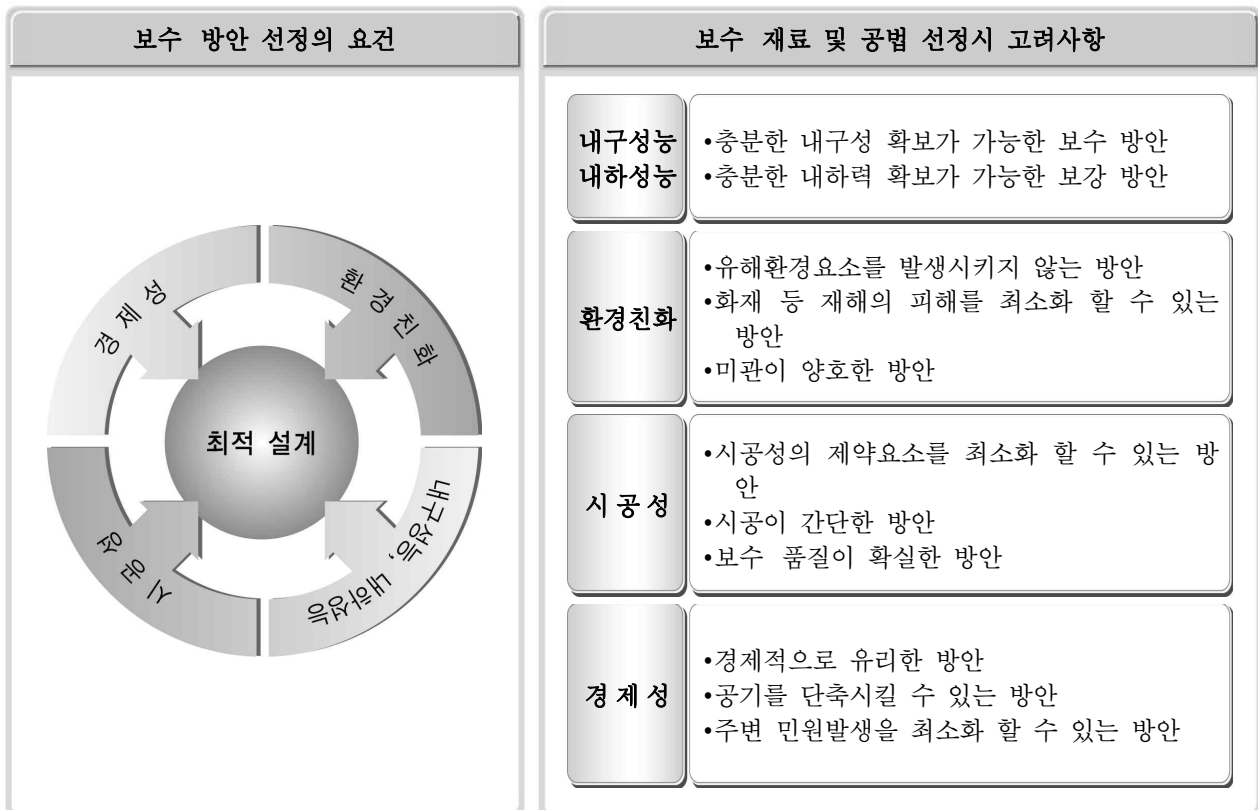


종합평가	B등급
성능목표	B등급
분석결과	오천터널(하행선) 성능평가 실시 결과, 안전성능 평가 A등급, 내구성능 평가 C등급, 사용성능 평가 B등급으로 분석되어 최종 종합평가 등급은 B등급으로 판정되었다. 이는 시설물의 성능평가 목표치와 등급인 B등급으로 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 것으로 분석되었다. 발생된 손상 중 긴급보수를 요하는 손상은 발생하지 않았으며, 콘크리트 라이닝구간 및 포장 부에 발생한 손상은 보수를 시행토록하고, 그 외 손상은 주기적인 점검을 통한 관리로 보수를 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

8.4 보수·보강 공법

구조물에 대한 보수는 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경 조건 및 경제성 등에 의해서 보수의 수준을 정한다.

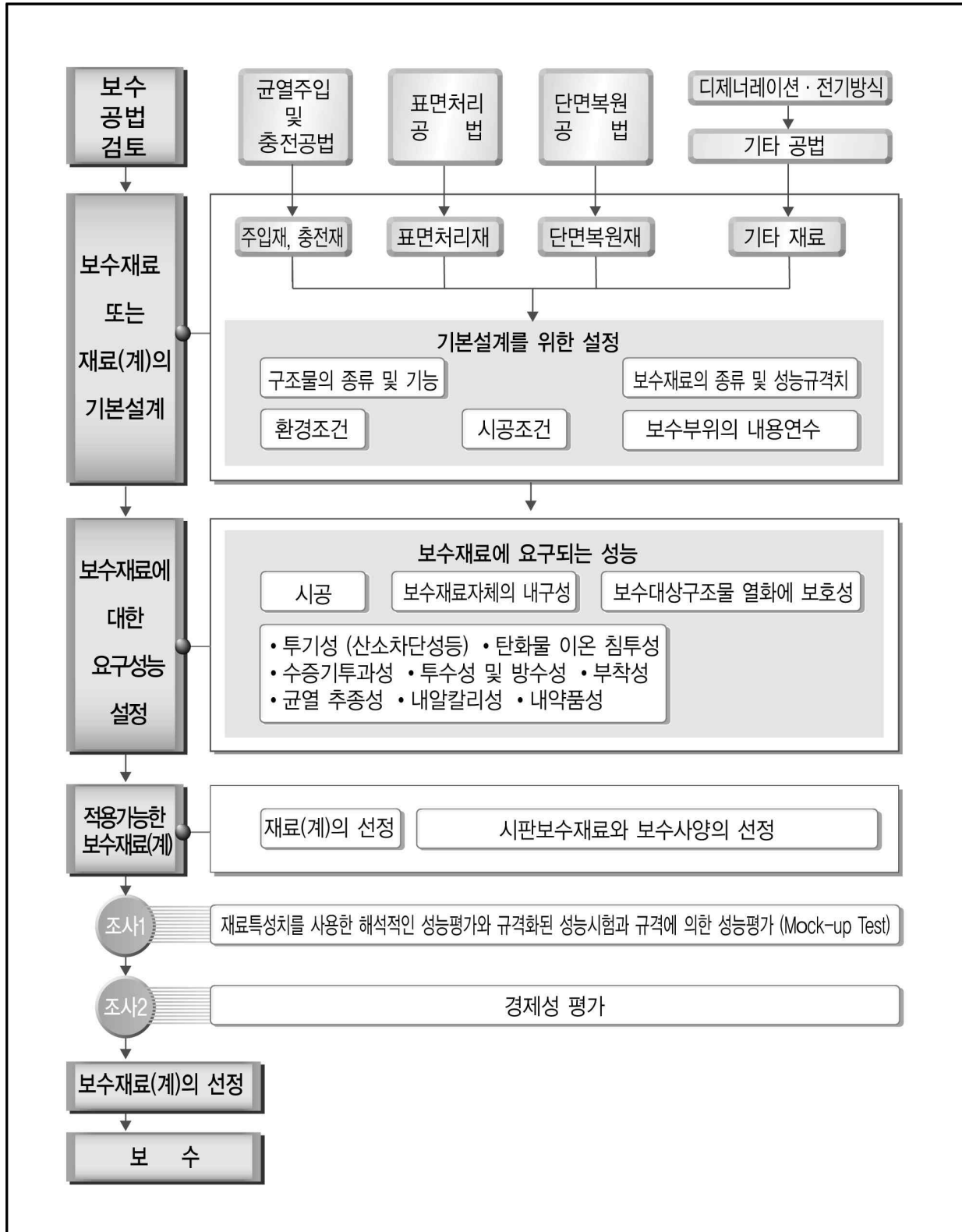
통상 보수는 구조물에 작용한 위해요인에 의해 발생한 구조물의 손상을 치유하는 것을 말하며, 보수를 위해서는 현장조사결과와 상태평가 결과 등을 정밀검토한 후에 보수의 필요성, 공법 및 그 수준을 정한다.



8.4.1 보수재료 선정

가. 개 요

1) 보수재료의 선정 흐름



2) 보수재료의 요건



- 보수재료의 선택은 시공후의 성능과 내구성을 좌우하는 중요한 선택
- 재료의 선택은 물리적, 화학적 특성과 설계자가 요구하는 성능을 만족하는지, 주위의 환경에 적당한지 등의 사항을 고려

나. 보수재료의 종류

1) 균열보수재료

- 균열보수재료의 종류 및 공법

구 분	보수재료의 종류	표면처리공법	주입공법	충전공법
수 지 계 재 료	폴리머 모르터			○
	에폭시수지		○	○
	가소성에폭시수지		○	○
	탄성실링재	○		○
	도막탄성방수재	○		
시멘트계 재 료	폴리머시멘트슬러리		○	
	폴리머시멘트페이스트	○		
	폴리머시멘트모르터			○
	시멘트충전재	○		
	팽창시멘트주입재		○	

무기질계 재료

- 폴리머시멘트슬러리, 폴리머시멘트페이스트, 폴리머시멘트모르터
- 시멘트 충전재
- 팽창시멘트주입재

수지계 재료

- 에폭시계
- 폴리에스테르계
- 폴리우레탄계, 고무, 아스팔트계

2) 콘크리트 구체 처리재

방수성을 개선시키거나 취약한 콘크리트의 표면을 강화시키며, 철근의 부식환경을 개선하는 등의 목적으로 콘크리트 표면에 도포하고 함침시키는 재료

- 구체 처리재의 종류

침투성 흡수방지재	콘크리트 표면에 도포 함침하는 것에 의해 콘크리트 표층부에 흡수방지층을 형성하여 외부로부터의 물과 염화물 이온의 침투를 억제하는 재료
침투성 고화재	취약한 콘크리트의 표면층을 강화함과 동시에 마감재의 부착성을 개선할 수 있는 재료 사용시 취약층을 완전하게 강화할 필요가 있음
무기질 침투성방수재	콘크리트 표층부에 도포하는 것에 의해 재료중의 활성성분이 함침하고, 콘크리트 내부의 물에 용출하고 있는 칼슘이온과 반응해석, 표층부에 치밀한 방수층 형성
침투성 알칼리부여재	탄산화된 콘크리트에 알칼리성을 부여하여 철근을 보호하는 것으로, 콘크리트 표면에 도포하여 그 함침부분의 철근부식을 방지
도포형 방청재	염화물을 함유한 콘크리트의 철근부식환경을 개선하는 것으로, 콘크리트 혼화용의 방청재가 전기화학적 효과에 의해 철근의 부식을 억제
폴리머 함침재	폴리머계 함침재를 콘크리트에 함침시킨 후 중합조작을 거쳐 경화시키고, 콘크리트의 기공을 충전, 콘크리트 조직을 치밀하게 함과 동시에 내하력 개선효과가 우수

3) 단면 복원재

- 단면복원재는 보수부위의 불건전부를 잘라낸 콘크리트 손상부를 메우기 위해서 사용되는 것으로 바탕콘크리트에 대한 접착성, 열화인자 침입의 억제효과가 기대
- 보수단면이 큰 경우와 구조보수를 하는 경우에는 보수부의 콘크리트와 역학적인 성질이 유사한 단면복원재를 선택하여야 함

- 단면 복원재의 종류

폴리머시멘트 모르터	•SBR계, EVA계, PAE계 등의 폴리머시멘트모르터(방청제첨가제를 포함) 등이 있으며 재유화형 분말수지를 배합한 기 조합제품의 이용이 증가되고 있다
폴리머모르터	•폴리에스테르 수지계, 에폭시 수지계, 아크릴 수지계 등의 폴리머모르터(레진 모르터)등이 있으며, 경량골재를 사용한 것이 많다
시멘트모르터	•보통포틀랜드시멘트, 조강포틀랜드시멘트, 초속경포틀랜드시멘트, 골재, 혼화제 등을 배합한 보통시멘트모르터 또는 콘크리트가 사용된다

4) 철근방청 처리재

- 철근방청처리재는 녹 제거작업이 되어있는 철근에 도포해서 사용되는 것으로 에폭시수지계, 타르 에폭시수지계 등의 방청도료 또는 방청제를 함유한 폴리머시멘트페이스트 및 모르터 등이 사용됨
- 일본의 경우 시스템화된 보수공법으로 최근에는 폴리머의 시멘트계의 비율이 증가하는 추세

항 목	폴리머시멘트계 방청처리재	에폭시수지계 방청처리재
방청성	도장방법 등에 주의가 필요함	경화제의 종류에 따라서 역효과 가능함
부착성, 방수성, 차염성	첨가되는 폴리머의 효과에 의한 것으로 그 종류 및 혼화량에 따라 상이함	수지의 효과에 의한 것으로 폴리머시멘트계에 비해 성능이 우수함
내화성, 내열성	콘크리트와 같은 정도이나 폴리머의 혼화량이 많으면 내화성이 저하됨	온도가 높게 될수록 변형되기 쉬움

5) 바탕조정 보호재

- 바탕조정재는 열화된 표면을 깨어내고, 피복의 부족을 보완하는 것을 주목적으로 사용하였으나, 바탕조정을 겸하여 보호층을 형성시키기 위하여 사용되고 있는 것이 많으며, 단면복원과 상관없이 보호피복이 필요한 곳에도 사용됨
- 바탕조정재의 종류는 단면복원재와 마찬가지로 폴리머시멘트계와 합성수지계가 있다. 바탕조정재는 단면복원재의 기본성능 중 특히 피복으로써의 성능이 중요시 되어 탄산화 방지효과, 차염성, 접착 내구성 등이 중요함

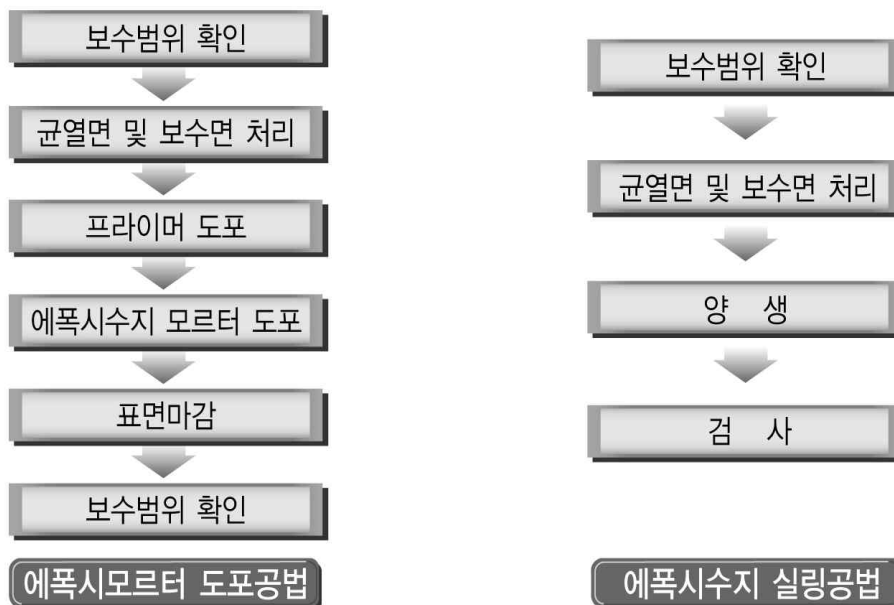
8.4.2 보수공법

가. 균열 보수 공법

1) 표면처리공법

공법 개요	표면처리공법은 미세한 균열(폭 0.2mm이하)위에 도막을 형성하여, 방수성, 내구성을 향상시킬 목적으로 사용하며, 균열부분만을 피복하는 방법과 전면을 피복하는 방법이 있음
-------	---

비 진행성 균열	진행성 균열

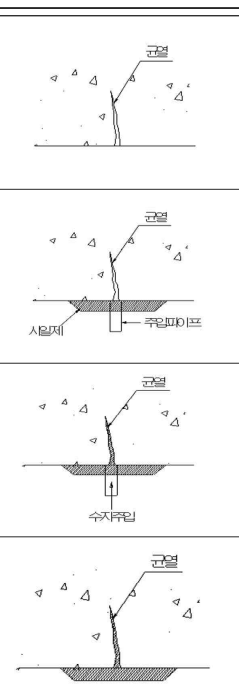


2) 주입공법

공법 개요	주입공법은 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법으로, 마감재가 콘크리트 모체로부터 뜰려 있는 경우에도 적용할 수 있음
-------	---

Diagram illustrating the grouting process for a crack (균열) in a concrete structure. The crack width is 10 mm. A grouting pipe (주입 파이프) with an outer diameter of 15 mm is inserted into the crack. The pipe is sealed with a sealant (시일제) at both ends. The sealant has a thickness of 2 to 5 mm. The distance from the crack to the pipe is 20 mm.

균열폭	주입파이프간격
0.3이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

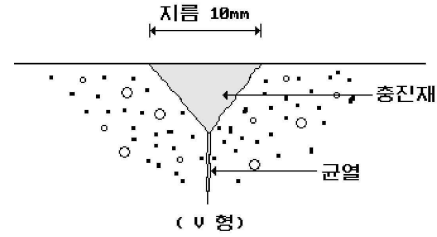
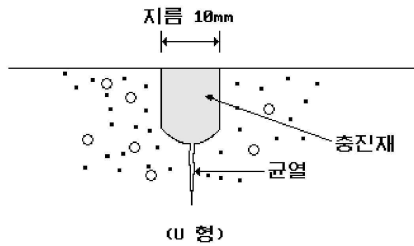
시공순서	시공상세
보수범위 확인	
균열부위 청소	
주입용 파이프 설치	
균열면 씰링	
주입	
파이프, 씰링재 제거	
모르터 미장마감	

압입식	- 수동식 주입 : 인력 - 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 - 저압/저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 입력
흡입식	균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치해 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

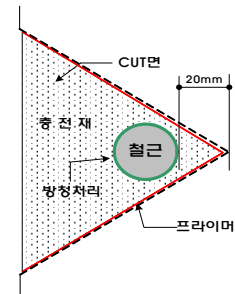
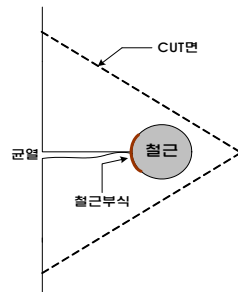
3) 충전공법

공법 개요	충전공법은 균열의 폭이 0.5mm 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법
-------	---

철근이 부식하지 않은 경우



철근이 부식한 경우



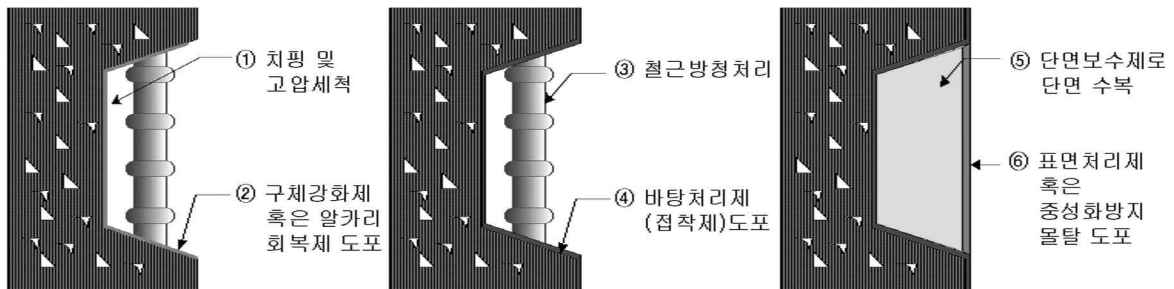
시공순서



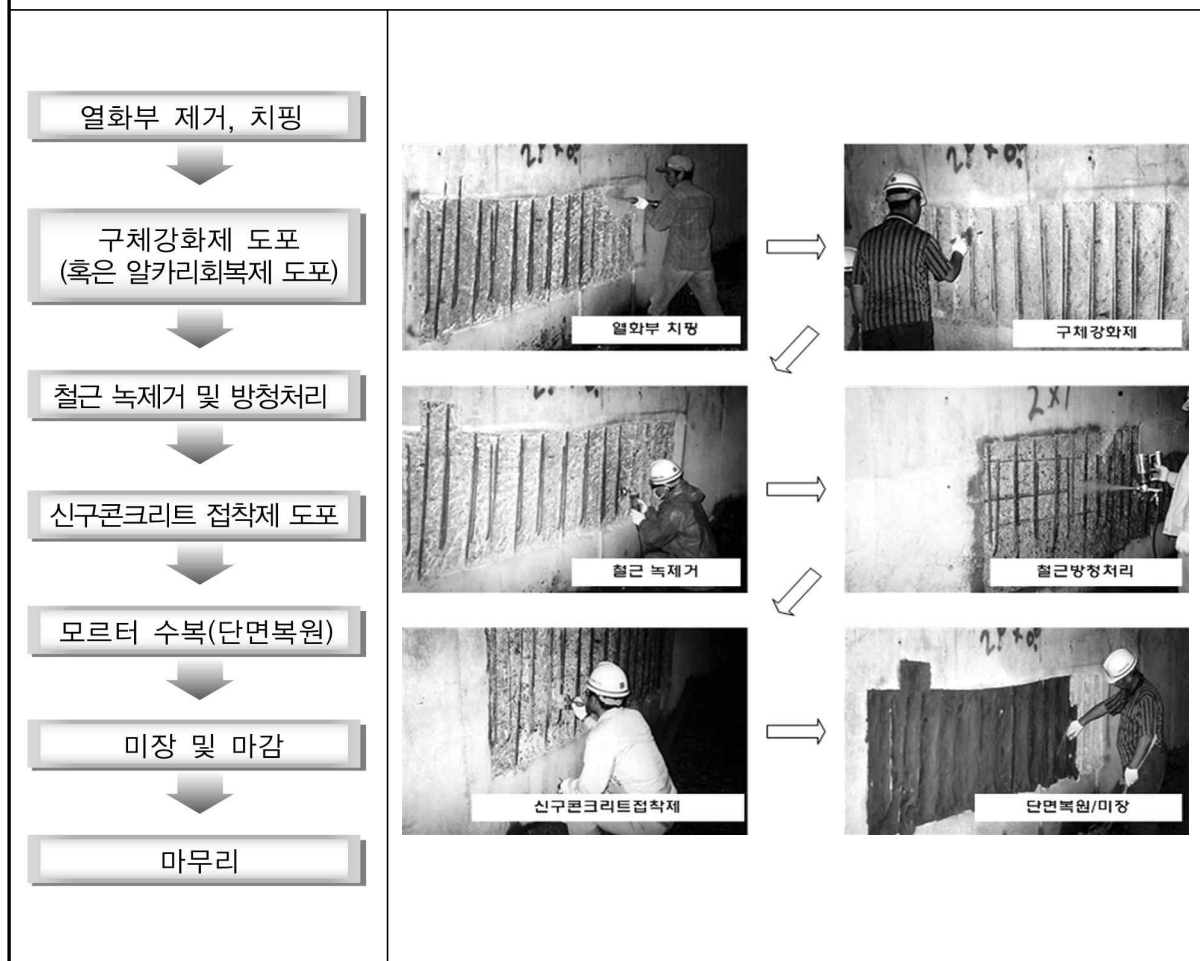
나. 단면 보수공법

공법 개요	단면보수공법은 콘크리트 구체에 발생된 재료분리, 철근노출, 박리, 박락, 표면열화 등의 손상부위를 제거하고, 철근의 부식이 진행된 경우에는 방청처리를 실시한 후 적절한 보수재료를 통하여 제거된 단면을 원래대로 복원하는 공법
-------	--

보수 개념도



시공순서



8.5 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략제안

8.5.1 보수 개략 공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단 위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
라이닝 천단부	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	2.0	0.75	m ²	50	38	3순위
	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	1.5	2.25	m	33	74	2순위
	박리	단면보수	0.12	0.18	m ²	118	21	2순위
	조인트 들뜸	단면보수	0.04	0.06	m ²	118	7	2순위
라이닝 측벽부	파손	단면보수	1.85	2.78	m ²	118	328	2순위
	타일 탈락	타일 재시공	32.0	32.0	EA	62	1,984	3순위
	타일 파손	타일 재시공	12.0	12.0	EA	62	744	3순위
	이격	충진보수	4.0	6.0	m	33	198	2순위
	누수흔적	표면처리	2.15	3.23	m ²	50	162	3순위
사면	식생 및 성토유실	사면보호공 설치	13.0	1.0	식	10,000	10,000	2순위
공동구	덮개 균열	덮개 재설치	16.0	16.0	EA	80	1,280	3순위
	덮개 파손	덮개 재설치	101.0	101.0	EA	80	8,080	3순위
	들뜸	단면보수	0.7	1.05	m ²	118	124	2순위
	박리	단면보수	0.09	0.14	m ²	118	17	2순위
	철근부식	단면보수+방청	0.08	0.12	m ²	217	26	1순위
	충분리	단면보수	8.8	13.2	m ²	118	1,558	2순위
	파손	단면보수	1.54	2.31	m ²	118	273	2순위
배수시설	배수구 막힘	청소	3.0	3.0	EA	60	180	2순위
	노건 토사퇴적	청소	148.79	223.19	m ²	3	670	3순위
포장부	균열	재포장	202.3	3,360.0	m ²	180	604,480	1순위
	긁힘	재포장	0.32					
	망상균열	재포장	12.36					
	박리	재포장	3.92					
	파손	재포장	15.03					
개략공사비	구분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	604,506		12,780		12,958		
	제경비(순공사비×50%)	302,253		6,390		6,479		
	합계	906,759		19,170		19,437		
유지보수 개략공사비 총계		945,366						

주1)보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음(정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영).

주2)동일부재에서 보수방안을 중심으로 합산하여 개략공사비를 산출하였음.

8.5.2 성능을 고려한 보수 우선순위

구분		비용 (천원)	요소별 가중치			성능별 가중치(EI)			합계 (EI)	우선 순위 지수 (PI) EI/Cost	순 위
			안전 성능 (E1)	내구 성능 (E2)	사용 성능 (E3)	안전 성능 (E1* P1)	내구 성능 (E2* P2)	사용 성능 (E3* P3)			
라이닝 상태 관련	균 열	112	15.7	50	-	0.1130	0.09	-	0.2030	0.001813	1
	누 수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	파손 및 손상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	박 리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	충분리 및 박락	356	40.3	50	-	0.2901	0.09	-	0.3801	0.001068	2
	재료분리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	철근노출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	줄눈부 열화	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
터널 주변 관련	내공단면 축소여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	배수상태	850	22	-	-	0.1584	-	-	0.1584	0.000186	3
	지반상태	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공동구상태	11,358	22	-	-	0.1584	-	-	0.1584	0.000014	4
	배면공동 유무	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지진 발생 관련		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
주행성(포장부손상)		604,480	-	-	100	-	-	0.1	0.1	0.000000	5
주) 성능간 가중치 : P1=72%, P2=18%, P3=10%(일반국도)											
주) 공사비는 순공사비임(부대비용, 제잡비 별도)											

8.5.3 유지관리 전략 제언

관리주체는 터널의 경제성(교통량, 투입비용, 향후교통량), 검토사항(시공성, 제 3 대상 위험도, 노선, 환경), 사고위험 등을 종합적으로 고려하여 다수의 시설물 중 보수의 우선순위가 높은 시설물을 결정하고, 개별시설물의 비용효과 분석을 통해 선정된 시설물 내의 부재별 보수·보강 우선순위를 결정하여 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다만, 부재별 우선순위를 선정할 때 부재 내의 손상의 경중을 고려한 것이 아닌, 부재별 총공사비와 해당 부재의 가중치를 비교하여 도출된 결론으로써 부재별 보수·보강의 효율성을 판단하는 것이므로 우선순위가 높은 부재라고 하더라도 그 부재가 중대결함을 포함하고 있다고 할 수는 없다. 그러므로 보수를 실시하고자 할 때 주요 손상에 대해 우선적인 보수를 실시하고, 순위별로 순차적인 보수조치가 필요할 것으로 판단된다.