

제8장

유지관리 전략

8.1 개요

8.2 보수 · 보강 방안

8.3 유지관리 전략 제안

8.4 유지관리 방안

제8장 유지관리 전략

8.1 개요

8.1.1 일반

현재 시설물의 예산 배정 방식은 대부분 시설물 손상 및 결함만으로 결정되며, 관리 주체의 주관적 요소가 지배적 결정 요인으로 작용되는 경우가 많다. 또한, 시설물 관리부서의 보수보강예산은 한정되어 있기 때문에 모든 결함을 적기에 보수하기에는 충분치 못한 실정이다. 이와 같이 유지관리 전략 제안에 포함된 모든 조치를 시행하기가 현실적으로 어려울 경우 가용 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 선정한다.

〈표 8.1〉 유지관리 전략 제안을 위한 우선순위 절차

구 분		분석 내용
〈단계 I〉	대상선정 단계	· 관리주체의 목표 및 방향에 기반하여 성능평가 대상을 도출
〈단계 II〉	자료수집 단계	· 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집
〈단계 III〉	시설물 평가 단계	· 성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가 · 우선순위 선정을 위한 지표도출
〈단계 IV〉	순위선정 단계	· 평가결과를 활용하여 비용효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정
〈단계 V〉	예산제약 고려 단계	· 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 선정

1) 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

2) 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 가중치를 참조하여 선정한다.

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

여기서, P1 : 성능간 가중치(안전성능)

P2 : 성능간 가중치(내구성능)

P3 : 성능간 가중치(사용성능)

E1 : 부재 가중치(안전성능)

E2 : 부재 가중치(내구성능)

E3 : 부재 가중치(사용성능)

※ 부재가중치 = 공법별 가중치 × 영향도

① 성능항목별 가중치

유지관리 전략 제안의 우선순위 지수를 산정하기 위하여 부재별 중요도를 반영하여 성능간 가중치를 산정하였다.

〈표 8.2〉 안전성능 가중치

구 분		도로터널	적용 가중치
라이닝 상태 관련	균열	15.7	56.0
	누수	12.4	
	파손 및 손상	8.7	
	박리	3.4	
	층분리 및 박락	5.1	
	재료분리	2.9	
	철근노출	7.8	
	줄눈부 열화	—	
터널 주변 관련	내공단면 축소여부	15.3	38.8
	배수상태	6.6	
	지반상태	7.5	
	공동구 상태	2.4	
	배면공동 유무	7.0	
지진 발생 관련		5.2	5.2

〈표 8.3〉 내구성능 가중치

구 분	가중치	
	환기구 존재	환기구 없음
본선 라이닝	60	70
갱문(구)	20	30
환기구 콘크리트	20	—

〈표 8.4〉 사용성능 가중치

구 분	가중치	구 분	가중치
주행성	30.9	유지관리성	24.6
방재성	35.8	수요 및 용량	8.7

〈표 8.5〉 성능간 가중치

구 분	성능별 가중치		
	안전성능(P1)	내구성능(P2)	사용성능(P3)
고속국도	0.72	0.20	0.08

① 공법별 가중치

안전성능, 내구성능, 사용성능 지표항목 가중치에 보수·보강 공법별 영향도를 고려하여 가중치를 산정한다. 유지관리 특성상 적용 대상에 따라 공법별 가중치를 적용한다.

영향도는 해당 시설물의 보수·보강 공법이 지표항목에 미치는 영향을 의미하여, 해당 범위 내에서 적용이 가능하다. 해당 공법이 지표항목과 직접적으로 영향을 미치는 경우 기본적으로 100%를 적용하며, 간접적으로 판단되는 경우 책임기술자의 종합적 판단에 관리주체와 협의하여 하향 조정할 수 있다. 단, 이와 같은 경우에는 전문가의 소견을 종합한 책임기술자의 판단 근거를 제시하여야 한다.

〈표 8.6〉 공법별 가중치 산정

구 분	지표항목	가중치		영향도 (상: 100%, 하: 50%)
		환기구 있음	환기구 없음	
안전성능 (E1)	라이닝 상태 관련	58.2	58.2	50~100
	터널 주변 관련	36.6	36.6	50~100
	지진 발생 관련	5.2	5.2	50~100
내구성능 (E2)	본선라이닝	60	70	50~100
	갱문(구)	20	30	50~100
	환기구 콘크리트	20	—	50~100
사용성능 (E3)	주행성	28.4	28.4	50~100
	방재성	31.9	31.9	50~100
	유지관리성	30.5	30.5	50~100
	수요 및 용량	9.2	9.2	50~100

8.2 보수·보강 방안

8.2.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

외관조사, 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능 및 사용성능 결과 등을 종합적으로 검토하고 시공성, 경제성 등을 고려하여 적합한 재료와 보수·보강공법을 선정하였으며, 그에 따라 보수·보강의 우선순위는 결함, 손상, 열화의 상태에 따라서 구조적 안전성, 사용성 및 내구성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다.

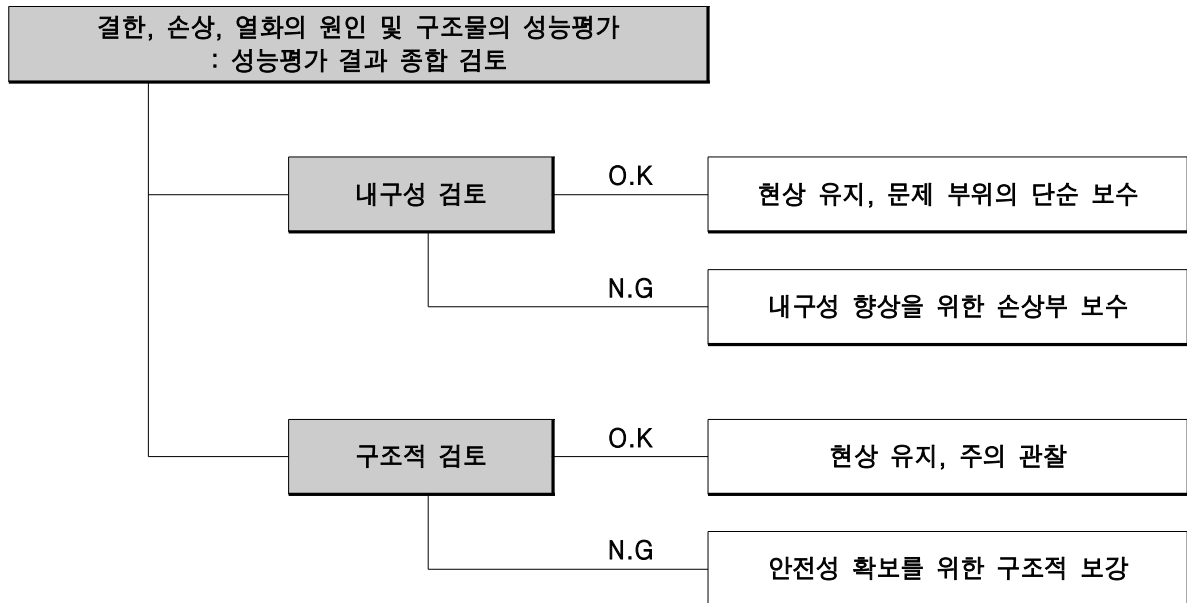
〈표 8.7〉 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

검 토 항 목	검 토 내 용
보수·보강 필요성 판단	· 외관조사, 내구성조사, 구조검토, 상태 및 안전성 평가 ⇒ 성능평가 결과 종합 분석 후 보수·보강 여부 판단
보수·보강 공법의 선정	· 구조물의 기능 및 중요도 · 구조물의 형식과 환경조건 · 보수 후의 요구 내용연수 · 공법의 시공성과 경제성
보수·보강 수준 결정	· 국부적인 보수 또는 전반적 보수여부 결정 · 구조물 수명과 장·단기 대책을 고려한 보수·보강 범위 산정
보수·보강 재료의 선정	· 용도 및 목적에 적합한 품질을 가진 재료 선정 · 품질과 성능이 확인된 것을 사용 ⇒ 적절한 시험방법, 사용 실적 또는 신뢰할 만한 자료 근거

가. 보수·보강 필요성 판단

보수의 필요성은 발생한 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 성능평가 세부지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도 까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.



〈그림 8.1〉 보수·보강 범위의 결정

나. 보수·보강 공법 선정 및 수준 결정

1) 보수·보강 공법의 선정

- 우수한 성능의 보수·보강 공법도 적용구조물의 형식과 환경조건에 따라서 그 성능이 충분히 발휘되지 않는 경우가 있다. 따라서 보수·보강 공법 선정시에는 구조물의 중요도, 형식, 기능, 환경조건 혹은 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인하여야 한다.

2) 보수·보강의 수준 결정

- 조사 및 시험을 통하여 얻은 결과를 기초자료로 종합적인 평가를 실시한 후 보수·보강의 수준을 결정하게 된다. 손상 및 열화에 대하여 분포면적, 분포유형, 시설물의 안전성, 현 상태의 내구성능, 보수 후의 회복목표수준 등을 고려하여 보수·보강 여부 및 수준을 아래의 경우 중에서 결정한다.

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

다. 보수·보강 재료의 선정

보수재료는 보수공법의 사용목적에 부합하고 시공하기에 적절한 기본적인 성능을 만족하여야 한다.

1) 보수재료의 기본 특성 설정

- 보수재료의 선정을 위한 기본은 구조물의 종류 및 기능, 보수재료의 종류 및 성능 규격치, 환경조건, 시공조건 및 보수부위의 내용년수 등을 설정한다.

2) 보수재료의 요구 성능 설정

- 보수재료의 요구 성능은 보호성능, 내구성능, 시공성능 및 기본적인 성능을 고려하여 설정한다. 일반적으로 보수재료에 요구되는 성능은 시공성과 내구성능이다. 보수재료는 재료 자체의 특성을 충분하게 발휘할 수 있도록 시공되어야 한다. 즉, 시공환경에서 간단하면서도 균일하게 시공이 되는 것이 중요하다. 내구성능은 보수재료의 원래의 목적이 되는 성능이지만 보수 후의 공용기간 중 소정의 수준을 만족시키는 것을 나타내는 성능이다. 재료 자체의 열화에 대한 저항성과 밀접한 관계가 있다.

3) 적용 가능한 보수재료의 선정

- 구체적인 요구 성능 및 그 요구수준이 결정되면 그것을 만족시키는 재료의 후보를 선정한다. 단, 재료를 새로 설계하는 것이 곤란한 경우에는 시판 재료 중에서 요구 성능을 만족시키는 것으로 생각되는 것을 선택하거나, 혹은 요구 성능을 만족하도록 복수의 시판재료를 조합한 재료시스템을 구축해도 좋다. 재료를 조합해서 사용하는 경우에는 고려방법과 조합의 가능성, 문제점 등에 관해서 명확히 해둘 필요가 있다.

4) 보수재료의 성능조사

- 보수재료가 요구 성능을 만족하고 있는가를 적당한 방법을 통해서 조사해야 한다. 이 조사는 설계된 재료의 성능 평가값이 요구 성능의 수준 이상인 것을 확인하는 것으로 성능조사의 구체적인 방법은 다음과 같다.
- 첫 번째 방법으로는 재료의 다양한 특성 값을 사용해서 요구 성능을 직접 평가하고 그 결과를 요구수준과 비교하는 것이다.
- 또 다른 방법으로는 공공기관이 정한 규격시험을 통해 얻어진 재료시험 결과를 공공기관이 설정한 규격치와 비교하는 것이다.

8.2.2 결함내용별 보수·보강방안

가. 보수·보강 일람표(부산)

〈표 8.8〉 보수·보강 일람표(부산)

구 분		결함 및 손상, 열화내용	손상물량	단위	조치방안	우선순위
라이닝	천단부	· 균열 (cw=0.3mm이상)	49.0	m	주입보수	1
		· 균열 (cw=0.3mm미만)	108.4	m	표면처리	3
		· 보수부재균열 (cw=0.3mm이상)	12.0	m	주입보수	1
		· 보수부재균열 (cw=0.3mm미만)	262.8	m	표면처리	3
		· 철근노출	0.25	m ²	단면보수(방청)	1
	벽체	· 균열 (cw=0.3mm이상)	6.8	m	주입보수	1
		· 균열 (cw=0.3mm미만)	2.3	m	표면처리	3
		· 파손	0.02	m ²	단면보수	2
		· 타일탈락	9	EA	타일 재시공	3
		· 타일파손	1	EA	주의관찰	—
공동구		· 균열 (cw=0.3mm이상)	52.6	m	주의관찰	—
		· 균열 (cw=0.3mm미만)	335.6	m	주의관찰	—
		· 망상균열	1.2	m ²	주의관찰	—
		· 파손	3.81	m ²	단면보수	2
		· 파손 및 철근노출	0.75	m ²	단면보수(방청)	2
		· 굽힘	0.6	m ²	주의관찰	—
		· 덮개 파손	114	EA	재설치	3
		· 난간파손	46.0	m	재설치	3
		· 난간지주탈락	1	EA	주의관찰	—
배수로		· 균열 (cw=0.3mm이상)	43.4	m	주의관찰	—
		· 균열 (cw=0.3mm미만)	49.0	m	주의관찰	—
		· 파손	0.5	m ²	주의관찰	—
배수시설		· 집수구토사퇴적	49	EA	청소	1
		· 그레이팅부식	16.85	m ²	주의관찰	—
포장부		· 포장균열	10.7	m	주의관찰	—
		· 포장파손	0.2	m ²	주의관찰	—
		· 포장재료분리	0.6	m ²	주의관찰	—
기타		· 조명커버파손	1	EA	주의관찰	—

나. 보수·보강 일람표(포항)

〈표 8.9〉 보수·보강 일람표(포항)

구 분		결합 및 손상, 열화내용	손상물량	단위	조치방안	우선순위
라이닝	천단부	· 균열(cw=0.3mm이상)	56.0	m	주입보수	1
		· 균열(cw=0.3mm미만)	91.6	m	표면처리	3
		· 보수부재균열(cw=0.3mm이상)	33.0	m	주입보수	1
		· 보수부재균열(cw=0.3mm미만)	318.0	m	표면처리	3
		· 망상균열	2.0	m ²	주의관찰	—
		· 박락	0.03	m ²	단면보수	2
		· 보수재박리	0.3	m ²	주의관찰	—
	벽체	· 균열(cw=0.3mm이상)	38.3	m	주입보수	1
		· 균열(cw=0.3mm미만)	1.9	m	표면처리	3
		· 백태	0.75	m ²	주의관찰	—
		· 파손	0.04	m ²	단면보수	2
		· 타일탈락	15	EA	타일 재시공	3
		· 타일 파손	3	EA	주의관찰	—
	공동구	· 균열(cw=0.3mm이상)	121.5	m	주의관찰	—
		· 균열(cw=0.3mm미만)	164.0	m	주의관찰	—
		· 보수부재균열(0.3mm미만)	2.3	m	주의관찰	—
		· 파손	0.48	m ²	단면보수	3
		· 덮개 파손	42	EA	주의관찰	—
		· 난간볼트망실	2	EA	주의관찰	—
배수로		· 균열(0.3mm이상)	21.9	m	주의관찰	—
		· 균열(0.3mm미만)	34.2	m	주의관찰	—
		· 파손	0.36	m ²	주의관찰	—
		· 박리	5.0	m ²	주의관찰	—
배수시설		· 집수구토사퇴적	64	EA	청소	1
		· 그레이팅부식	36.3	m ²	주의관찰	—
포장부		· 포장균열	194.7	m	주의관찰	—
		· 포장망상균열	9.0	m ²	주의관찰	—
		· 포장파손	1.49	m ²	주의관찰	—
		· 포장재료분리	2.1	m ²	주의관찰	—
피난갱		· 균열(0.3mm미만)	0.9	m	표면처리	3
		· 파손	0.02	m ²	단면보수	2

8.2.3 보수·보강 방법

가. 균열 주입보수

1) 개요

내구성능 저하방지를 위해 폭 0.3mm 이상의 균열에 대해 콘크리트 균열 부분을 깨끗이 청소하고 지수성이 좋은 수지를 주입하여 균열을 충전하고 더 이상의 균열이 발생하지 않도록 하는 공정에 적용한다.

2) 에폭시 주입제의 요구 성능

- ① 장기간 보관에도 재료의 성질변화가 없어야 한다.
- ② 균열 폭의 크기에 따라 점도의 조정이 용이해야 하고 균열세부까지 주입이 가능해야 한다.
- ③ 균열의 처리방법, 혼합, 주입 등의 조건변화에 대해 품질의 영향이 작아야 한다.
- ④ 사용할 때의 기온변화에 따라 사용가능 시간을 용이하게 조절할 수 있어야 한다.
- ⑤ 주입 후 상온에서 경화될 수 있어야 한다.
- ⑥ 인장강도, 휨강도, 압축강도, 탄성계수 등의 기계적 성질이 좋고 콘크리트와 함께 안정된 재료여야 한다.
- ⑦ 경화시 수축이 작아야 한다.
- ⑧ 콘크리트 속의 알칼리와 수분에 대한 저항성이 좋아야 하며 내후성 및 화학적으로 안정된 재료여야 한다.
- ⑨ 온도·습도의 영향이 적어야 한다.
- ⑩ 경화 후에도 탄성적 성질을 지니고 있어야 한다.

3) 수지계 주입제의 품질기준

- ① 에폭시 수지는 균질해야 하며, 접착에 유해하다고 인정되는 이물질의 혼입이 있어서는 안 된다.
- ② 승인된 제조업자의 제품자료에 별도의 명시가 없는 한 주위의 기온이 5℃ 미만일 경우에는 작업을 할 수 없다.
- ③ 에폭시 수지는 콘크리트 바탕체의 상태(건조 및 습윤) 및 계절별로 당해 환경에 적합하게 제조된 제품을 사용하여야 한다.
- ④ 주입용 에폭시 수지

- 경질형 에폭시 수지

시험항목		시험조건	기준	비고
접착강도(N/mm ²)		표준조건	6.0 이상	KS F4923
경화수축율(%)		표준조건	3 이하	KS F4923
가열 변화	무게변화율(%)	—	5 이하	KS F4923
	부피변화율(%)	—	5 이하	KS F4923
인장강도(N/mm ²)		표준조건	15 이상	KS F3006 1호 시험편에 의한 방법

- 연질형 에폭시 수지

시험항목		시험조건	기준	비고
접착강도(N/mm ²)		표준조건	3.0 이상	KS F4923
경화수축율(%)		표준조건	3 이하	KS F4923
가열 변화	무게변화율(%)	—	5 이하	KS F4923
	부피변화율(%)	—	5 이하	KS F4923
인장강도(N/mm ²)		표준조건	1 이상	KS F3006 2호 시험편에 의한 방법

⑤ 퍼티형 에폭시 수지

주입공법에 의한 에폭시 수지 주입 시 주입재의 누출을 방지하기 위하여 균열부에 바르는 표면실링용 또는 경미한 균열의 표면처리재로서 주입재 제조업자가 지정하는 제품으로 한다.

⑥ 유연성 에폭시 수지

경화후 탄성을 발휘하는 자재로서 커팅 부위에 충전하거나 거동하는 균열에 대한 표면처리용으로 주입재 제조업자가 지정하는 제품으로 한다.

⑦ 균열 충전용 에폭시 수지의 품질기준

항 목	기 준
비중	표준치±0.1
슬럼프(slump)	3mm이내
가열감량	5%이하
인장강도	2.0MPa
신장률	20% 이상
인장부착강도	1.0MPa
파단변형률	10% 이상
방수성	소요값 이상

- ⑧ 균열폭에 알맞은 에폭시 주시 주입재료의 품질과 수지의 소요점성도는 다음과 같으며, 시공 전에 검정시험(mock-up test)에 의해 품질과 시공성능이 확인되어야 한다.

- 에폭시 수지 주입재료의 품질

항 목	기 준(20℃)
비중	1.0~1.4
점성도	10,000cp 이하
인장강도	10MPa 이상
휨강도	15MPa 이상
압축강도	40MPa 이상

- 균열폭에 알맞은 수지의 점성도

형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1mm 전후
	고점성도	1,500±500	0.2mm 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5mm 전후

4) 시공방법 및 유의사항

- ① 콘크리트 표면의 균열부위를 공기압축기를 이용하여 이물질을 깨끗이 제거한다.
- ② 공기압축기 사용시 압력을 적절히 조절하면서 사용하고 분진 및 먼지 등이 발생되므로 보호안경을 착용하도록 한다.
- ③ 균열부위를 전동커터를 이용하여 V-Cutting하며 커팅 시 분진 및 파편이 발생되므로 보호안경을 착용하고 작업에 임한다.
- ④ 균열부위에 좌대 및 주입기를 20~30cm 간격으로 균열 폭에 맞추어 설치한다.
- ⑤ 균열부위에 틈이 없도록 수성폴리머 몰탈 또는 퍼티로 밀실하게 충전한다.
- ⑥ 기온이 5℃ 이하에서는 작업을 중지해야 한다.
- ⑦ 주입파이프를 통하여 저점도 에폭시 주입재를 주입한다.
- ⑧ 주입재 주입이 완료된 후 12시간이상 경화된 후 주입좌대를 제거한다.
- ⑨ 공사 완료 후 시공도구 및 배합통 등은 바로 세척한다.
- ⑩ 주입용 파이프 설치 시 균열의 교차점은 반드시 설치한다.
- ⑪ 균열의 중심부와 주입용 파이프의 중심부는 완전히 일치시켜 부착한다.

5) 시공흐름도



〈그림 8.2〉 균열 주입보수 시공흐름도

〈표 8.10〉 균열 주입보수 공법 비교

구분	에폭시수지계(일반)	폴리머 시멘트계	그라우트(에폭시수지계)	습식 에폭시수지계	무색 에폭시수지계
공법개요	콘크리트 균열 부위에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법	콘크리트 균열 부위에 무기계 재료인 RF슬러리를 주입기를 통하여 주입하는 공법	콘크리트 균열 부위에 초미립자 무기계 슬러리를 주입기를 통하여 주입하는 공법	내부 균열까지 침투성이 큰 저점도 Epoxy 수지를 가압 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 에폭시 주입공법	1차로 주입기의 압력에 의해 고압으로 주입되고 2차로 에폭시 탱크의 잔류량이 보일의 법칙에 의해 저압으로 주입되므로 세밀한 균열의 보강액 주입이 가능한 공법
개요도					
시공방법	표면처리 → V컷팅 → 주입기설치 → 균열부실링 → 에폭시주입 → 단면복구	표면처리 → V컷팅 → 주입기설치 → 균열부실링 → RF슬러리 주입 → 단면복구	표면처리 → V컷팅 → 주입좌대 고정 → 균열부실링 → 초미립자무기계슬러리주입 → 단면복구	표면처리 → 주입구선정 → 균열부위 쉐링 → 고정판설치 → 에폭시주입 → 표면정리	균열부위 면처리 → 에어건으로 먼지제거 → 균열부실링 → 고정제부착 → 실린더 고정판에 부착 → 슈퍼인젝터를 실린더에 부착후주입 → 고정대 제거후 마감
특징	- 습윤면 시공 가능 - 시공성이 좋다 - 경화속도가 빠르다 - 주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입할 수 있다 - 가장 일반적으로 쓰이는 공법으로 실적이 많다	- 모체와 탄성계수, 열팽창계수가 동일하여 재균열 발생 가능성 적음 - 모체와 일체화 가능 - 기존의 콘크리트 구체와 동일 한 구조거동을 하며, 재탈락의 현상 없음 - 습윤면 시공 불가능 - 저점도이므로 균열폭이 작으면 주입이 되지 않는다	- 무기계 재료로서 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 온도·하중변화에 의한 재균열 발생 가능성이 없음 - 습윤면 시공 불가능 - 균열부 콘크리트 방청, 탄산화 및 염해방지 기능이 있음 - 공정이 다소 복잡하여 시공 전문가 필요	- 주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입할 수 있다 - 건식, 습식, 수중 시공이 가능하다 - 균열의 표면뿐만 아니라, 내부균열 깊숙이 주입이 가능하다 - 압력조절에 주의가 요망되며, 압력이 클 경우 균열이 확대되어 버릴 수 있음	- 각각의 시공 부위에 따라 슈퍼 인젝터의 각도를 조절 하면 완벽한 주입가능 - 자체의 압력조절이 가능하여 상황에 따라 적당한 압력으로 주입 가능 - 약품이 역류되지 않아 시공면 이 오염되지 않음 - 시공이 매우 용이하여 시공비가 저렴하다 - 사용 년 수 증가 시 접착력이 떨어질 수 있다
비고	- 시공효과가 확실하고 사용재료가 알칼리성으로 콘크리트의 탄산화를 방지할 수 있어 콘크리트의 내구성 증대에 효과가 우수하고 경제성이 우수한 공법으로 시공함이 타당하다고 사료됨. - 향후 보수공사 실시설계 시 현장여건에 부합되고 시공실적이 많은 공법의 적용이 바람직함.				

나. 단면보수(철근노출부)

1) 개요

본 공법은 콘크리트의 박리, 박락 등에 의하여 철근의 노출 및 부식에 대한 보수공법으로 녹을 제거하고 단면결손부를 회복시키는 공법이다.

2) 시공방법

① 청소 및 녹제거

가) 콘크리트 건전부까지 치핑한다.

나) 발청된 부분을 진동 블라스트 등으로 온전히 제거한다.

다) 기타 이물질을 청소 제거한다.

② 단면복구

가) 건전부 콘크리트에 침투제를 도포한다.

나) 철근에 방청 처리를 한다.

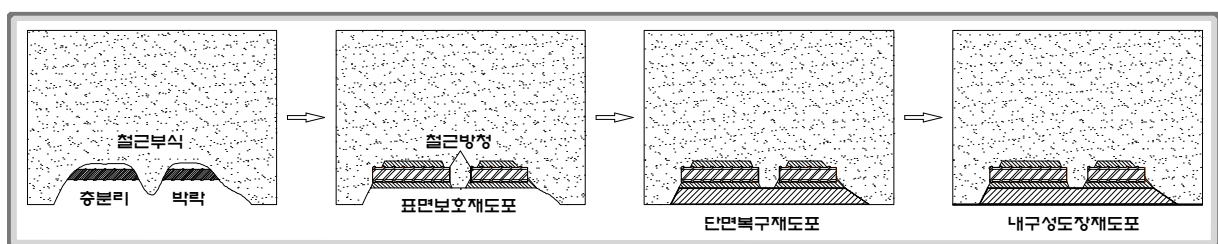
다) 콘크리트 결손부위에 방청 페이스트를 충전한다.

③ 마감처리

가) 주입 파이프 절단

나) 그라인더 등을 이용한 면 정리

3) 개요도



〈그림 8.3〉 단면보수(철근노출부) 공법 개요도

4) 사용재료

녹 전환형 방청제, 수지계 방청제, 몰탈, 시멘트, 팽창제

5) 주의사항

- ① 신·구 접착에 주의하여 2차 박락을 방지한다.

- ② 불량면을 확실하게 제거한다.
- ③ 침투제 및 방청제의 도포를 충분히 한다.
- ④ 필요시 형틀을 설치한다.

다. 단면보수(철근비노출부)

1) 개요

본 공법은 재료분리, 파손, 공동 등 단면결손부에 대하여 열화된 구체를 강화하기 위해 폴리머 몰탈 또는 무수축 몰탈 등으로 단면을 수복시키는 공법이다.

2) 시공방법

- ① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.
- ② 고압세척 및 콘크리트 접착제 도포 - 고압세정기 사용하여 이물질제거
- ③ 몰탈충진 - 몰탈로 단면복구
- ④ 표면처리 - 시멘트페이스트 등 도포

3) 개요도



〈그림 8.4〉 단면보수(철근비노출부) 공법 개요도

4) 결손 단면복구용 재료 성질

- ① 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것
- ② 부착력이 높은 재료

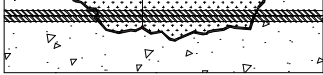
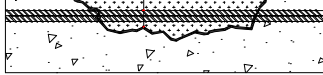
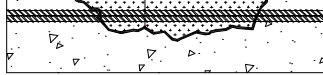
5) 주의사항

- ① 고압세정기의 용량은 50~150 kg/cm²를 사용
- ② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

6) 콘크리트 충전

단면결손이 큰 공동에 대한 보수시 단면복구 재료는 일반 콘크리트를 단면복구재로 사용하여 충전시킨 후 단면을 복구한다.

〈표 8.11〉 콘크리트의 단면보수 공법 비교

구 분	폴리머 모르타르 보수공법	에폭시 모르타르 보수공법	일반 모르타르 보수공법
검토개요	• 시공미흡으로 철근피복두께가 부족하여 철근이 노출되었거나 다짐불량에 의하여 재료분리나 공동이 발생한 부위에 적용한다.		
개 요 도			
공법개요	• 구조물의 열화된 표면을 철거한 후 구체를 강화시키고 폴리머계 보수용 모르타르로 단면을 복구하는 공법.	• 구조물의 열화된 표면을 철거한 후 구체를 강화시키고 에폭시계 보수용 모르타르로 단면을 복구하는 공법. • 에폭시 수지를 골재(규사, 모래, 석분)와 혼합하여 용도에 적합하게 섞은 것을 에폭시 모르타르라고 함.	• 구조물의 열화된 표면을 철거한 후 일반 모르타르로 단면을 복구하는 공법.
장 점	• 접착성 우수 • 탄성계수와 크리프 등의 재료특성이 콘크리트와 유사함 • 대다수 보수공법이 폴리머 모르타르를 기초로 함	• 강도와 탄성계수가 우수함	• 공사비 저렴 • 콘크리트 자연색 유지
단 점	• 공사비 다소 고가 • 배합비에 따른 물성치 변화	• 취성적인 재료, 배합비에 따른 물성치 변화 • 저온(5℃이하)에서 사용 불가 • 습윤면 부착성능 다소 불량 • 인체에 유해	• 건조수축의 영향이 크다 • 접착성 다소 불량
비 고	• 단면복구의 재료는 콘크리트와 성질이 유사한 무기질재료로 압축강도, 휨강도, 습윤면의 부착성, 경제성, 시공성 등을 고려하여 우수한 공법으로 선정함이 바람직함 • 국부적인 손상에 대한 단면보수가 대부분을 차지하므로 소규모 시공에 적합한 공법을 채택함이 타당할 것으로 사료됨.		

8.3 유지관리 전략 제언

8.3.1 성능목표 등급 선정 기준

가. 선정 기준

〈표 8.12〉 도로터널의 성능목표 등급 선정 기준

일교통량	구간당 20,000대 이상	
대상터널 차단시 우회거리	5km 이상	
성능목표 등급	모든 조건이 해당하는 경우	나머지의 경우
	B ($0.15 \leq X < 0.23$)	B ($0.23 \leq X < 0.3$)

〈표 8.13〉 성능목표 등급의 분류기준에 따른 결함도 지수 및 결함도 점수 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

8.3.2 성능목표 등급 선정

문수터널(부산) 및 문수터널(포항)의 성능목표 등급 선정을 위하여 일교통량, 중차량 통행량, 우회거리 등을 검토한 결과 대상 시설물의 목표 등급은 “ $0.23 \leq X < 0.3$ ”인 “B등급”인 것으로 확인된다. 부산울산선의 일교통량은 교통량정보제공시스템을 활용하였다.

〈표 8.14〉 성능목표 등급 선정

기준	일교통량	우회거리	목표 등급	비고
문수터널(부산)	15,051	5km이상	B ($0.23 \leq X < 0.3$)	
문수터널(포항)	15,051	5km이상	B ($0.23 \leq X < 0.3$)	

8.3.3 보수·보강 개략공사비

〈표 8.15〉 보수·보강 개략공사비(부산)

구 분	결함 및 손상·열화내용	보수방안	보수 물량	단위	개략단가 (원)	개략공사비 (원)	우선 순위
천단부	균열 (cw=0.3mm이상)	주입보수	73.5	m	80,000	5,880,000	1
	균열 (cw=0.3mm미만)	표면처리	40.65	m²	40,000	1,626,000	3
	보수부재 균열 (cw=0.3mm이상)	주입보수	18.0	m	80,000	1,440,000	1
	보수부재 균열 (cw=0.3mm미만)	표면처리	98.55	m	40,000	3,942,000	3
	철근노출	단면보수(방청)	0.38	m²	250,000	94,000	1
벽체	균열 (cw=0.3mm이상)	주입보수	10.2	m	80,000	816,000	1
	균열 (cw=0.3mm미만)	표면처리	0.86	m²	40,000	34,000	3
	파손	단면보수	0.03	m²	220,000	7,000	2
	타일탈락	타일 재시공	9	EA	1,500	14,000	3
공동구	파손	단면보수	5.72	m²	220,000	1,257,000	2
	파손 및 철근노출	단면보수(방청)	1.13	m²	250,000	281,000	2
	덮개파손	재설치	60.00	EA	8,000	480,000	3
	난간파손	재설치	46.00	m	50,000	2,300,000	3
배수시설	집수구토사퇴적	청소	49	EA	1식	100,000	1
순공사비						18,271,000	
제 경 비(순공사비의 약 50%)						9,136,000	
순위별 공사비(제경비 포함)						1순위	12,495,000
						2순위	2,318,000
						3순위	12,594,000
총공사비						27,407,000	

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

(정밀안전진단보고서 작성요령, 한국도로공사 2014)

※ 균열(cw=0.3mm미만)의 보수물량은 [길이×0.25(폭)] 으로 수량산출 하였음.(m→m²)

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 개략공사비는 설계 시 공법 및 단가변동에 의해 공사비가 바뀔 수 있음.

※ 개략공사비는 주간작업 기준이며 비계, 교통통제 등의 부대공사비는 제외됨.

〈표 8.16〉 보수·보강 개략공사비(포항)

구 분	결함 및 손상·열화내용	보수방안	보수 물량	단위	개략단가 (원)	개략공사비 (원)	우선 순위
천단부	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	84.0	m	80,000	6,720,000	1
	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	34.35	m²	40,000	1,374,000	3
	보수부재 균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	49.5	m	80,000	3,960,000	1
	보수부재 균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	119.25	m²	40,000	4,770,000	3
	박락	단면보수	0.05	m²	220,000	10,000	2
벽체	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	57.45	m	80,000	4,596,000	1
	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	0.71	m²	40,000	29,000	3
	파손	단면보수	0.06	m²	220,000	13,000	2
	타일탈락	타일 재시공	15	EA	1,500	23,000	3
공동구	파손	단면보수	0.72	m²	220,000	158,000	3
배수시설	집수구토사퇴적	청소	64	EA	1식	100,000	1
피난연락갱	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	0.34	m²	40,000	14,000	3
	파손	단면보수	0.03	m²	220,000	7,000	2
순공사비						21,774,000	
제 경 비(순공사비의 약 50%)						10,887,000	
순위별 공사비(제경비 포함)					1순위	23,064,000	
					2순위	45,000	
					3순위	9,552,000	
총공사비						32,661,000	

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

(정밀안전진단보고서 작성요령, 한국도로공사 2014)

※ 균열(cw=0.3mm미만)의 보수물량은 [길이×0.25(폭)] 으로 수량산출 하였음.(m→m²)

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 개략공사비는 설계 시 공법 및 단가변동에 의해 공사비가 바뀔 수 있음.

※ 개략공사비는 주간작업 기준이며 비계, 교통통제 등의 부대공사비는 제외됨.

가. 우선순위 선정

우선순위 선정은 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 성능을 고려한 개별시설물의 우선순위를 다음과 같이 선정하였다.

〈표 8.17〉 개별시설물의 우선순위 선정(문수터널(부산))

부재	손상 내용	보수 방안	비용 (Cost) (천원)	부재별 가중치(%)			성능별 가중치			합계 (EI)	우선 순위 지수(PI) EI/Cost	순위
				안전 성능 (E1)	내구 성능 (E2)	사용 성능 (E3)	안전 성능 E1×P1	내구 성능 E2×P2	사용 성능 E3×P3			
라이닝	파손	단면 보수	7,000	8.7	70.0	—	6.264	14.000	—	20.264	0.00289486	1
라이닝	철근노출	단면 보수 (방청)	94,000	7.8	70.0	—	5.616	14.000	—	19.616	0.00020868	2
배수시설	집수구 토사퇴적	청소	100,000	6.6	—	—	4.752	—	—	4.752	0.00004752	3
공동구	파손 및 철근노출	단면 보수 (방청)	281,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000615	4
라이닝	균열(cw=0.3mm미만)	표면 처리	5,602,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000452	5
공동구	덮개파손	재설치	480,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000360	6
라이닝	균열(cw=0.3mm이상)	주입 보수	8,136,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000311	7
공동구	파손	단면 보수	1,257,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000137	8
공동구	난간파손	재설치	2,300,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000075	9
라이닝	타일탈락	타일 재시공	14,000	—	—	—	—	—	—	0.000	0.00000000	—

종합평가 가중치 : P1=72%, P2=20%, P3=8%

〈표 8.18〉 개별시설물의 우선순위 선정(문수터널(포항))

부재	손상 내용	보수 방안	비용 (Cost) (천원)	부재별 가중치(%)			성능별 가중치			합계 (EI)	우선 순위 지수(PI) EI/Cost	순위
				안전 성능 (E1)	내구 성능 (E2)	사용 성능 (E3)	안전 성능 E1×P1	내구 성능 E2×P2	사용 성능 E3×P3			
라이닝	박락	단면 보수	11,000	5.1	70.0	—	3.672	14.000	—	17.672	0.00160655	1
라이닝	파손	단면 보수	3,000	8.7	70.0	—	6.264	14.000	—	20.264	0.00155877	2
피난 연락갱	파손	단면 보수	7,000	—	—	35.8	—	—	2.864	2.864	0.00040914	3
피난 연락갱	균열(cw=0.3mm미만)	표면 처리	4,000	—	—	35.8	—	—	2.864	2.864	0.00020457	4
배수시설	잡수구토사투적	청소	100,000	6.6	—	—	4.752	—	—	4.752	0.00004752	5
공동구	파손	단면 보수	158,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00001094	6
라이닝	균열(cw=0.3mm미만)	표면 처리	6,172,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000410	7
라이닝	균열(cw=0.3mm이상)	주입 보수	15,276,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000166	8
라이닝	타일탈락	타일 재시공	23,000	—	70.0	—	—	14.000	—	14.000	0.00060870	—

종합평가 가중치 : P1=72%, P2=20%, P3=8%

8.4 유지관리 방안

8.4.1 개 요

유지관리란 시설물의 내용년수 내에 그 기능을 보존하고 이용자의 편의나 안전을 도모하기 위한 목적으로 일상정비하고 손상된 부분을 원상태로 보수하여 최초에 정비된 상태로 유지함과 아울러 시간의 경과에 따른 시설의 개량을 행하는 것이다. 따라서 여기에는 시설물의 갱신이나 개량은 포함되지 않는다. 여기서 유지관리의 기본개념을 정리하면 다음과 같다.

〈표 8.19〉 유지관리의 기본개념

구 분			내 용
유 지 관 리	점검·검사		· 정기점검, 이상시 점검을 주체로 하며 이에 동반되는 관리업무임
	평 가		· 점검 결과에 따라 시설의 건전도를 평가하여, 보수의 필요성을 판단함
	유 지 보 수	유지	· 시설물의 물리적 노후도의 진행이나 기능저하를 허용한계 이내로 멈추게 하기 위한 행위임
		보수	· 물리적·기능적으로 노후화된 시설물을 부분적으로 수리하여 원래의 기능과 구조로 회복시키는 행위임
		보강	· 외력에 의하여 파손된 시설물을 부분적으로 보수하여 원래의 기능과 구조로 회복시키는 행위임
갱신·교체			· 물리적·기능적으로 노후화된 시설물이나 이상한 외력에 의하여 파손된 시설물을 전면적으로 수리하여 원래의 기능과 구조물로 회복시키는 행위임
개 량			· 당초 계획했던 기능을 능가하는 기능을 갖출 수 있는 구조로 개량하는 행위임

8.4.2 유지관리 일반

시설물의 유지란 건설된 시설물이 제 기능을 유지하기 위하여 정기점검, 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단 및 성능평가를 통하여 사전에 유해요인을 제거하고, 손상된 부분을 원상 복구하여 당초 건설된 상태를 유지함과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 시설을 추가함으로서 이용자의 편의와 안정을 도모하기 위한 목적으로 시행하는 것이다.

시설물 유지관리는 사후유지관리와 예방 유지관리로 분류할 수 있다. 사후 유지관리는 문제가 발생된 후 보수 또는 보강하는 방식이고, 예방 유지관리는 문제발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 적절한 조치를 취함으로써 문제발생을 예방하는 방식이다. 과거에는 보통 사후 유지관리가 대부분이었으나, 오늘날은 기술 및 장비의 발달로 예방 유지관리를 지향하고 있으며, 이를 통한 시설물의 안전성 및 사용성 확보에 그 목적이 있다. 본 과업시설물 주요 손상부위에 대해서는 보수를 실시한 후에도 보수부의 상태 확인 등 지속적인 유지관리를 실시하여야 할 것으로 판단된다.

8.4.3 중점 유지관리 사항

본 터널에 대한 부재별 유지관리 중점사항은 다음과 같다.

〈표 8.20〉 부재별 유지관리 중점사항

구분	점검내용
라이닝 천단부 및 벽체	• 균열 및 보수부재균열, 파손, 철근노출 – 주입보수, 표면처리, 단면보수, 단면보수(방청) 후 재손상 및 추가손상 여부 점검 • 시공이음부 박락 – 단면보수 후 추가손상 및 신규 손상 여부 관찰
타일마감	• 타일 탈락은 타일 재설치 후 신규손상 및 재손상 여부 점검(점검망치 이용) • 타일 파손(균열)은 라이닝 반사균열의 가능성도 염두에 두고 균열 확대여부 관찰
공동구 및 배수로	• 공동구 및 배수로 균열 및 파손 – 균열 및 단면손상 보수후 재손상 여부 확인 및 차량 충격에 의한 파손 유무 점검 • 공동구 덮개의 설치 상태 및 파손 발생 유무 점검(필요시 일괄 교체 검토)
배수시설	• 집수구 내 토사퇴적으로 인한 배수불량 및 오염 유무 • 집수구 스틸그레이팅 설치(개폐) 상태 및 파손 유무 점검
포장부	• 줄눈부 주변 파손 및 콘크리트 포장 패임 – 포장단면 지속적인 주의관찰을 통한 손상 확대 여부 – 요철, 단차, 포장 파손으로 인한 차량 주행성 저하 여부
피난연락경	• 균열 및 파손 보수 후 재손상 및 추가손상 여부 확인 • 본선 접속부 누수 및 백태 발생 여부 • 중간 차단문의 개폐 상태 및 이물질퇴적 유무 점검
갱구부 사면 및 옹벽	• 갱구부 사면 배수로의 이물질/낙엽퇴적으로 인한 배수불량 및 오염 유무 • 절토사면의 식생 및 보호공 상태, 토사유실 및 낙석 유무, 점검로 설치 상태 점검 • 갱구부 옹벽 균열 보수 후 재손상 및 추가손상 여부 확인
기타 부속시설	• 각종 전기시설 및 신호시설, 조명시설, 방재설비 작동 상태 점검 • 점검통로 시선유도등 손상 유무 점검

8.4.4 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시

대상 시설물에 발생한 손상중 라이닝에 발생한 손상은 시설물의 안전성 및 사용성 증대를 위해 우선보수가 필요하며, 성능목표(B등급)와 종합성능 평가등급(A등급과 B등급)이 부합되는 수준으로 분석되었으므로, 시급한 보수를 요하진 않으나 우선순위 산정결과에 따라 시설물의 성능향상을 위해 순차적인 보수가 필요할 것으로 판단된다.