

요 약 문

1. 성능평가의 개요

1.1 성능평가의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”에 의거한 시설물의 성능평가 용역으로서 시설물에 대한 물리적, 기능적 결함을 조사하고 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능, 성능저하 상태 등을 신속·정확하게 조사함으로써 대상 시설물의 안전성 및 적절한 종합성능 확보여부를 검토·분석·평가함과 더불어 그에 적절한 보수·보강방법과 전략적 유지관리 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

- 가. 현황조사 및 관련자료 수집과 분석
- 나. 현장조사 및 시험
- 다. 안전성능 평가
- 라. 내구성능 평가
- 마. 사용성능 평가
- 바. 종합평가
- 사. 유지관리 전략 제안
- 아. 보고서 작성 및 제출

1.2.2 과업수행기간

2018. 08. 16 ~ 2019. 08. 23(착수일로부터 373일간)

1.2.2 과업의 내용

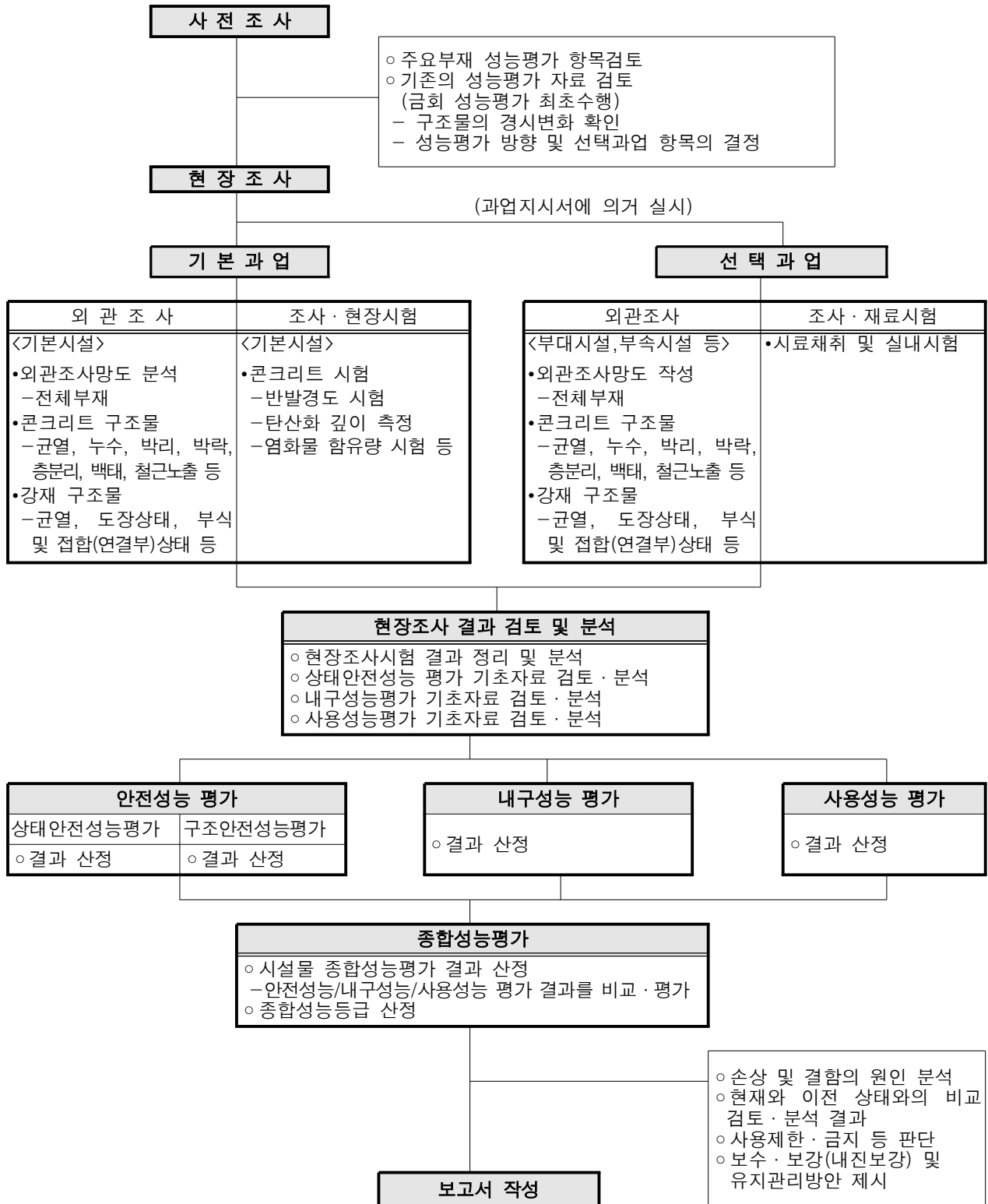
본 과업을 수행하기 위하여 실시한 성능평가의 세부내용은 다음과 같다.

과업의 범위		과업의 내용	비고
설계도서 및 관련 자료, 수집·검토		○ 실시설계보고서, 토질조사보고서, 준공도면, 구조계산서 검토 ○ 시공·보수도면, 제작 및 작업도면 ○ 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 재료, 계측자료 ○ 시설물관리대장 ○ 시설물의 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(사용자 편의성, 시설물의 수요 및 용량 등)에 대한 자료 ○ 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과 ○ 보수·보강이력 및 유지관리 결과보고서	
현장 조사 및 시험	외관 조사	○ 대상시설물의 외관조사 및 외관조사망도 작성 － 콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리 백태, 철근노출 등	
	재료 시험	○ 시설물의 내구성능 및 사용성능을 측정하기 위한 현장 재료 시험 － 콘크리트 시험 : 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도 시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물침투량 시험 등	
안전성능 평가		○ 상태안전 성능 － 외관조사 결과 － 현장시험 및 재료시험 결과분석 － 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가 － 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견 ○ 구조안전 성능 － 조사, 시험, 측정 결과의 분석 － 기존의 구조계산서 또는 구조안전성능 평가 자료 분석 － 시설물의 구조안전성능 결과에 대한 소견	
내구성능 평가		○ 외관조사 결과 분석 ○ 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토 ○ 사용재료(콘크리트 및 강재 등)에 대한 내구성능 평가 ○ 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	
사용성능 평가		○ 사용성능 관련 수집자료 검토 ○ 사용환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가 ○ 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	
종합평가		○ 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가에 대한 결과 분석 ○ 전체적인 평가에 대한 책임기술자 소견 ○ 시설물의 종합성능등급 지정	
유지관리 전략 제언		○ 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석 ○ 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시	
보고서 작성		○ 외관조사망도 작성 등 보고서 작성	

1.3 과업수행일정

1.3.1 과업수행 절차

본 과업의 수행과정 및 절차를 흐름도로 나타내면 다음과 같다.



1.4 대상구조물 현황

본 과업의 대상시설물인 문수터널(부산)의 현황은 다음과 같다.

시설물명	문수터널(부산)	시설물번호	TU2008-0000196
노 선 명 (이정)	고속국도65호선 (44.5km)	시 행 청	국토해양부
시 점	울산광역시 울주군 청량면	종 점	울산광역시 울주군 범서읍
터널형식	마제형	관리주체	부산울산고속도로(주)
차 선 수	편도 3차로	환기방식	강제환기 - 제트펜
연 장	L = 1,508.0m	설 계 자	한국종합기술
내공단면	B = 10.8m(차도폭), H = 8.2m	시 공 사	삼성물산,삼성중공업
배수형식	배수식	감 리 사	-
종단기울기	0.5 %	착 공	2001년 09월 17일
평균선형	곡선반경 R = 1,494.9m	준 공	2008년 12월 31일
연결통로	피난연락갱 3개소	갱문형식	벨마우스
주요공법	NATM	보조공법	Forepoling
기 타	※ 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유 ※ 갱구부 사면 보강 : 시점 - 강관다단 그라우팅, Soil Nailing 종점 - Rock bolt 보강 ※ 내장 : 타일마감(설치높이 - 좌측<H=3.285m>, 우측<H=3.001m>)		

본 과업의 대상시설물인 문수터널(포항)의 현황은 다음과 같다.

시설물명	문수터널(포항)	시설물번호	TU2008-0000197
노 선 명 (이정)	고속국도65호선 (44.5km)	시 행 청	국토해양부
시 점	울산광역시 울주군 청량면	종 점	울산광역시 울주군 범서읍
터널형식	마제형	관리주체	부산울산고속도로(주)
차 선 수	편도 3차로	환기방식	강제환기 - 제트펜
연 장	L = 1,599.0m	설 계 자	한국종합기술
내공단면	B = 10.8m(차도폭), H = 8.2m	시 공 사	삼성물산, 삼성중공업
배수형식	배수식	감 리 사	-
종단기울기	0.5 %	착 공	2001년 09월 17일
평균선형	곡선반경 R = 1,494.9m	준 공	2008년 12월 31일
연결통로	피난연락갱 3개소	갱문형식	벨마우스
주요공법	NATM	보조공법	Forepoling
기 타	※ 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유 ※ 갱구부 사면 보강 : 시점 - 강관다단 그라우팅, Soil Nailing 종점 - Rock bolt 보강 ※ 내장 : 타일마감(설치높이 - 좌측<H=3.285m>, 우측<H=3.001m>)		

2. 자료수집 및 분석

2.1 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과

본 터널은 2009년에 실시한 정기점검(상반기)을 시작으로 2018년 정기점검(상반기)까지 공용기간 중 정밀점검 4회, 정기점검 16회 등을 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음 표와 같다.

점검 및 진단 이력(부산)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검·진단 결과	등급
1	정기점검	2018-06-04 ~ 2018-06-04	자체수행	양호함	양호
2	정기점검	2017-10-19 ~ 2017-10-19	자체수행	양호함	양호
3	정기점검	2017-05-23 ~ 2017-05-23	자체수행	양호함	양호
4	정밀점검	2016-11-16 ~ 2016-12-30	씨엘엠 건설(주)	외관조사 결과 라이닝에 발생된 결함은 대부분 균열로서 라이닝 천정부 종방향 및 횡방향 균열이 대부분을 차지하며 콘크리트 타설시 급속타설, 수화열, 건조수축 등에 기인한 것으로 구조적 원인에 의한 균열은 없는 것으로 판단되므로, 손상에 대한 적정공법의 보수를 실시하고 향후 균열 재발생 여부에 대한 점검이 필요한 것으로 판단됨. 또한 외부충격, 공용년수 경과 등에 의해 발생된 공동구 파손, 균열 및 덮개 파손, 타일 탈락, 배수구 토사퇴적 등의 손상에 대해서도 손상현황에 따른 적절한 보수조치를 병행하여 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단됨.	A
5	정기점검	2016-10-11 ~ 2016-10-11	자체수행	양호함	양호
6	정밀점검	2016-05-18 ~ 2016-05-18	자체수행	라이닝균열등	A
7	정기점검	2015-12-07 ~ 2015-12-07	자체수행	양호함	양호
8	정기점검	2015-05-18 ~ 2015-05-18	자체수행	양호	양호
9	정기점검	2014-11-26 ~ 2014-11-26	자체수행	양호	양호
10	정기점검	2014-06-18 ~ 2014-06-18	자체수행	양호	양호
11	정기점검	2013-11-13 ~ 2013-11-13	자체수행	양호	양호
12	정밀점검	2013-06-18 ~ 2013-06-18	자체수행	라이닝균열	A
13	정기점검	2012-10-10 ~ 2012-10-10	자체수행	양호	양호
14	정기점검	2012-06-13 ~ 2012-06-14	자체수행	양호	양호

점검 및 진단 이력(부산)(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검 · 진단 결과	등급
15	정기점검	2011-11-28 ~ 2011-11-28	자체수행	테라스부분 누수	양호
16	정기점검	2011-05-02 ~ 2011-05-04	자체수행	테라스부분 누수	양호
17	정기점검	2010-07-07 ~ 2010-12-08	자체수행	양호함	양호
18	정밀점검	2010-05-02 ~ 2010-05-02	자체수행	전반적으로 양호한 상태	A
19	정기점검	2009-08-04 ~ 2009-11-25	자체수행	이상없음	양호
20	정기점검	2009-03-06 ~ 2009-06-30	자체수행	이상없음	양호

점검 및 진단 이력(포항)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검 · 진단 결과	등급
1	정기점검	2018-06-04 ~ 2018-06-04	자체수행	양호함	양호
2	정기점검	2017-09-14 ~ 2017-09-14	자체수행	양호함	양호
3	정기점검	2017-05-23 ~ 2017-05-23	자체수행	양호함	양호
4	정밀점검	2016-11-16 ~ 2016-12-30	씨엘엠 건설(주)	외관조사 결과 라이닝에 발생된 결함은 대부분 균열로서 라이닝 천정부 종방향 및 횡방향 균열이 대부분을 차지하며 콘크리트 타설 시 급속타설, 수화열, 건조수축 등에 기인한 것으로 구조적 원인에 의한 균열은 없는 것으로 판단되므로, 손상에 대한 적정 공법의 보수를 실시하고 향후 균열재발생여부에 대한 점검이 필요한 것으로 판단됨. 또한 외부충격, 공용연수 경과 등에 의해 발생된 공동구 균열 및 덮개파손, 타일손상, 토사퇴적 등의 손상에 대해서도 손상 현황에 따른 적절한 보수 조치를 병행하여 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단됨. 내구성 조사 결과 비파괴 강도 및 탄산화 잔여깊이는 양호한 것으로 조사됨.	A
5	정기점검	2016-10-11 ~ 2016-10-11	자체수행	양호함	양호
6	정밀점검	2016-05-18 ~ 2016-05-18	자체수행	라이닝균열 등	A
7	정기점검	2015-12-07 ~ 2015-12-07	자체수행	양호함	양호
8	정기점검	2015-05-18 ~ 2015-05-18	자체수행	양호	양호
9	정기점검	2014-11-26 ~ 2014-11-26	자체수행	양호	양호

점검 및 진단 이력(포항)(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검 · 진단 결과	등급
10	정기점검	2014-06-18 ~ 2014-06-18	자체 수행	양호	양호
11	정기점검	2013-11-13 ~ 2013-11-13	자체 수행	양호	양호
12	정밀점검	2013-06-18 ~ 2013-06-18	자체 수행	라이닝균열	A
13	정기점검	2012-10-10 ~ 2012-10-11	자체 수행	양호	양호
14	정기점검	2012-06-12 ~ 2012-06-13	자체 수행	양호	양호
15	정기점검	2011-11-29 ~ 2011-11-29	자체 수행	양호함	양호
16	정기점검	2011-05-02 ~ 2011-05-04	자체 수행	이상없음	양호
17	정기점검	2010-07-07 ~ 2010-12-08	자체 수행	양호함	양호
18	정밀점검	2010-05-02 ~ 2010-05-02	자체 수행	전반적으로 양호한 상태	A
19	정기점검	2009-08-04 ~ 2009-11-25	자체 수행	이상없음	양호
20	정기점검	2009-03-06 ~ 2009-06-30	자체 수행	이상없음	양호

2.2 보수 · 보강이력

보수 · 보강이력(부산, 포항)

번호	공사기간	공사구분	부위	공사내역	공사비(원)	시공사
				-		

※ FMS 내 시설물관리대장 및 관리주체의 HBMS 보수 · 보강이력 참조

※ 시설물관리대장에 보수 · 보강이력은 없으나 금회 현장조사 시 일부 보수가 시행된 것을 확인함.

3. 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 결과

가. 외관조사 결과 요약

외관조사 손상수량 집계(부산)

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
라 이 닝	균열	• 0.3mm미만 균열, 0.3mm이상 균열이 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 폭 0.3mm미만 균열은 표면처리공법, 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수가 필요함.
	누수 및 백태	• 상태 양호.	• 라이닝과 숏크리트 사이에 누수를 방지하는 차수막이 손상없이 제기능을 원활히 수행하고 있다고 판단됨.
	단면손상	• 콘크리트 라이닝 및 벽체에서 철근노출 손상이 조사됨.	• 시공미흡 및 철근위치의 오류 등에 의한 손상으로 방치시 부식의 진전에 따른 손상의 확대가 우려되므로 단면보수(방청)의 보수가 필요함.
	측벽부 타일마감	• 전반적으로 양호한 상태이나 일부에서 타일탈락 및 타일파손의 손상이 조사됨.	• 타일파손은 소규모의 경미한 손상으로 주의 관찰하고, 타일 탈락은 주행차량의 미관 확보를 위한 재설치가 필요함.
공동구		• 공동구 벽체에 폭 0.3mm이상 및 미만의 균열, 파손, 파손(철근노출), 굽힘 등의 손상이 조사되었고, 공동구 덮개 파손, 난간 파손이 다수 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 구조물의 내구성에 영향을 미치지 않는 부재로써 국부적으로 발생한 공동구 벽체의 손상은 주기적인 점검을 통해 손상의 확대여부에 따라 보수함이 바람직함. • 터널내 차량 사고로 인해 공동구벽체, 덮개, 난간 파손이 발견되었으며 터널기능에는 문제가 없지만 사고구간은 보수하는 것이 바람직함.
배수시설		• 배수로 콘크리트에서 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손이 조사되었고, 배수구 본체에서 토사퇴적 및 배수구 스틸 그레이팅 부식이 다수 조사됨.	• 배수로 상면에서 발생한 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손은 터널에 미치는 영향이 없어 보수보단 지속적인 관리가 필요하고, 토사퇴적은 원활한 배수를 위해 일괄적 청소가 필요하며, 부식에 대해서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요함.
시·종점부 갭문		• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
사면 및 외부배수로		• 상태 양호.	• 배수로 모두 원활한 배수가 이루어지고 사면 내 지반변형, 구조물변형 등의 징후는 없는 양호한 상태로 확인됨.
포장면		• 포장면 균열, 포장 파손, 재료분리 등의 손상이 조사됨.	• 차량의 반복하중 및 중차량에 의한 충격에 의한 것으로 조사된 손상에 대해서는 범위가 확대될 가능성이 있으므로 지속적인 유지관리가 필요함.
피난연락경		• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
부속시설		• 전반적으로 양호한 상태이나 조명유리 파손이 조사됨.	• 터널의 구조적 안전성과 내구성에 영향은 없지만, 터널 내 주행차량의 안전한 통행을 위하여 주기적인 유지관리가 필요함.

외관조사 손상수량 집계(포항)

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
라 이 닝	균열	• 0.3mm미만 균열, 0.3mm이상 균열이 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 폭 0.3mm미만 균열은 표면처리공법, 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수가 필요함.
	누수 및 백태	• Sp181구간에서 백태가 조사됨.	• 시공미흡으로 인한 것으로 손상범위가 작고 국부적으로 발생한 손상에 대해서는 보수보다는 주기적인 점검을 통한 유지관리가 바람직함.
	단면손상	• 콘크리트 라이닝 일부에서 경미한 박락, 파손, 보수재 박리가 조사됨.	• 시공미흡 및 터널 라이닝의 신축량 차이 등에 의한 손상으로 단면손상부에 대해서는 내구성확보 차원의 단면보수 및 제거의 보수가 필요함. • 조사된 박락은 균열 보수작업시 발생한 손상으로 보이며 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요함.
	측벽부 타일마감	• 전반적으로 양호한 상태이나 일부에서 타일탈락 및 타일파손의 손상이 조사됨.	• 타일파손은 소규모의 경미한 손상으로 주의 관찰하고, 타일 탈락은 주행차량의 미관 확보를 위한 재설치가 필요함.
공동구		• 공동구 벽체에 폭 0.3mm이상 및 미만의 균열, 파손 등의 손상이 조사되었고, 공동구 덮개 파손, 난간볼트 망실이 조사됨.	• 건조수축과 온도변화에 의한 것으로 구조물의 내구성에 영향을 미치지 않는 부재로써 국부적으로 발생한 공동구 벽체의 손상은 주기적인 점검을 통해 손상의 확대여부에 따라 보수함이 바람직함.
배수시설		• 배수로 콘크리트에서 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손이 조사되었고, 배수구 본체에서 토사퇴적 및 배수구 스틸 그레이팅 부식이 다수 조사됨.	• 배수로 상면에서 발생한 폭 0.3mm 이상 및 미만의 균열, 파손은 터널에 미치는 영향이 없어 보수보단 지속적인 관리가 필요하고, 토사퇴적은 원활한 배수를 위해 일괄적 청소가 필요하며, 부식에 대해서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요함.
시·종점부 갭문		• 상태 양호.	• 구조물의 안전을 저해할 만한 별다른 손상은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인됨.
사면 및 외부배수로		• 상태 양호.	• 배수로 모두 원활한 배수가 이루어지고 사면 내 지반변형, 구조물변형 등의 징후는 없는 양호한 상태로 확인됨.
포장면		• 포장면 균열, 망상균열, 포장 파손, 재료 분리 등의 손상이 조사됨.	• 차량의 반복하중 및 중차량에 의한 충격에 의한 것으로 조사된 손상에 대해서는 범위가 확대될 가능성이 있으므로 지속적인 유지관리가 필요함.
피난연락갱		• 라이닝에서 0.3mm미만 균열, 파손이 조사됨.	• 장기적인 내구성 확보를 위하여 0.3mm미만 균열은 표면처리공법, 파손은 단면보수가 필요함.
부속시설		• 상태 양호.	• 터널의 구조적 안전성과 내구성에 영향은 없지만, 터널 내 주행차량의 안전한 통행을 위하여 주기적인 유지관리가 필요함.

3.2 재료시험 결과

가. 금회 진단 내구성조사 결과요약

금회 진단 내구성조사 결과요약(부산)

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
비파괴 강도 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법		25.0~31.8	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용 년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 조사됨.
		초음파법		25.5~29.6	
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	120~130	■ 전반적으로 배근간격은 설계도면과 대체로 유사한 상태이며, 대부분의 개소에서 피복두께가 설계피복보다 크게 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 우려는 없는 양호한 상태임.
			배력철근	145~155	
		피복 두께	주철근	69~73	
			배력철근	87~93	
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝			3.9~6.1	■ 잔여깊이 30mm이상의 'a등급'으로 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/m³)	터 널 라이닝			0.020~0.165	■ 철근위치에서의 염화물함유량은 'a'등급으로 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태임.
	갱구부			0.048	
단면측량	터널 라이닝			양호	■ 건축한계에 저촉되는 구간은 없으며 터널 단면은 준공도면과 대체로 유사함.
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과 공용 년 수 경과에 따른 구조물의 강도 저하는 없는 상태이며, 탄산화깊이 및 염화물함유량 시험, 철근부식도 시험 결과 철근부식으로 인한 구조물의 내구성 저하 우려는 없는 상태임.				

금회 진단 내구성조사 결과요약(포항)

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
비파괴 강도 (MPa)	터 널 라이닝	반발경도법		24.8~31.8	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용 년 수 경과에 따른 콘크리트 강도 저하는 없는 것으로 조사됨.
		초음파법		24.5~30.1	
철근탐사 (mm)	터 널 라이닝	배근 간격	주철근	120~130	■ 전반적으로 배근간격은 설계도면과 대체로 유사한 상태이며, 대부분의 개소에서 피복두께가 설계피복보다 크게 나타나나 이로 인한 터널의 안전성 저하 우려는 없는 양호한 상태임.
			배력철근	145~155	
		피복 두께	주철근	68~73	
			배력철근	87~92	
탄산화 진행깊이 (mm)	터 널 라이닝			3.2~5.7	■ 잔여깊이 30mm이상의 'a등급' 으로 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/m³)	터 널 라이닝			0.066~0.115	■ 철근위치에서의 염화물함유량은 'a' 등급으로 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태임.
	갱구부			0.048	
단면측량	터널 라이닝			양호	■ 건축한계에 저촉되는 구간은 없으며 터널 단면은 준공도면과 대체로 유사함.
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과 공용 년 수 경과에 따른 구조물의 강도 저하는 없는 상태이며, 탄산화깊이 및 염화물함유량 시험, 철근부식도 시험 결과 철근부식으로 인한 구조물의 내구성 저하 우려는 없는 상태임.				

4. 시설물의 안전성능 평가

4.1 부산방향

시설물 안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	문수터널(부산방향)			
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.182	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	a	근거 표번호	
안전성능평가 결과	- 안전성능평가 결과 = B - 안전성능 평가지수(ps) = 0.182			

4.2 포항방향

시설물 안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	문수터널(포항방향)			
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.252	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	a	근거 표번호	
안전성능평가 결과	- 안전성능평가 결과 = B - 안전성능 평가지수(ps) = 0.252			

5. 시설물의 내구성능 평가

콘크리트 내구성능 평가항목은 열화진전 항목 및 열화환경 항목 2가지를 평가하였다. 다만, 열화환경 평가는 별도로 관리하며, 콘크리트 내구성능 종합등급에 반영하지 않는다.

염화물 침투량, 탄산화 깊이 및 피복 콘크리트의 품질을 통한 내구성능 평가 결과, 문수터널(부산)은 “A”(Xn=0.080), 문수터널(포항)은 “A”(Xn=0.080)로 평가되었다.

구분		세부 부재명 (가중치,%)	항목별 평가 결과				
			염화물 침투량	탄산화 깊이	피복 콘크리트의 품질	부재 등급	비고
문수터널	부산 방향	본선라이닝 (70)	a	a	a	a	0.08
		갭문 (30)	a	—	—	a	0.08
	포항 방향	본선라이닝 (70)	a	a	a	a	0.08
		갭문 (30)	a	—	—	a	0.08
결함도 지수				•문수터널(부산) : $(0.08 \times 70 + 0.08 \times 30) / 100 = 0.080$ •문수터널(포항) : $(0.08 \times 70 + 0.08 \times 30) / 100 = 0.080$			
등 급				•문수터널(부산) : A •문수터널(포항) : A			

6. 시설물의 사용성능 평가

문수터널(부산, 포항)의 사용성능 평가 결과는 현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화등을 수용할 수 있는 성능 수준인 “A”로 평가되었다.

가. 부산방향

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	주행성	포장상태	0.182	a	5
		터널내 휘도	0.139	b	4
	방재성	방재시설	0.187	b	4
		비상대피시간	0.184	a	5
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	b	4
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5
결합도 지수	5.00×0.182 + 4.00×0.139 + 4.00×0.187 + 5.00×0.184 + 4.00×0.144 + 5.00×0.164 =				4.530
사용성능 등급					A

가. 포항방향

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수	
사용성능	주행성	포장상태	0.182	a	5	
		터널내 휘도	0.139	b	4	
	방재성	방재시설	0.187	b	4	
		비상대피시간	0.184	a	5	
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	b	4	
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5	
결함도 지수	5.00×0.182 + 4.00×0.139 + 4.00×0.187 + 5.00×0.184 + 4.00×0.144 + 5.00×0.164 =					4.530
사용성능 등급						A

7. 종합성능 평가결과

외관조사에 의한 상태 안전성능 평가 결과와 구조검토에 의한 안전성능 평가 결과, 내구성능 및 사용성능 평가를 종합하여 검토한 결과, 문수터널(부산, 포항)은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 “B등급”으로 평가되었다.

가. 부산방향

시설물 종합성능등급 결과 산정표				
시설물명	문수터널(부산)			
평가구분	성능별 평가지수 (P_n)	평가등급	성능간 가중치 (W_n)	비 고
안전성능 평가	$P_s=0.182$	B	0.72	
내구성능 평가	$P_d=0.080$	A	0.20	
사용성능 평가	$P_u=0.080$	A	0.08	
종합성능평가 결과	• 종합 성능평가지수(P) $= \sum(\text{성능별 평가지수}(P_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= 0.182 \times 0.72 + 0.080 \times 0.20 + 0.080 \times 0.08 = 0.153$ • 종합 성능평가지수(P) : 0.153 • 종합성능평가 결과 : B			

나. 포항방향

시설물 종합성능등급 결과 산정표				
시설물명	문수터널(포항)			
평가구분	성능별 평가지수 (P_n)	평가등급	성능간 가중치 (W_n)	비 고
안전성능 평가	$P_s=0.252$	B	0.72	
내구성능 평가	$P_d=0.080$	A	0.20	
사용성능 평가	$P_u=0.080$	A	0.08	
종합성능평가 결과	• 종합 성능평가지수(P) $= \sum(\text{성능별 평가지수}(P_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= 0.252 \times 0.72 + 0.080 \times 0.20 + 0.080 \times 0.08 = 0.204$ • 종합 성능평가지수(P) : 0.204 • 종합성능평가 결과 : B			

8. 유지관리 전략 제언

8.1 우선순위 전략

가. 부산방향

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%

나. 포항방향

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	집수구토사토적	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%

9. 종합결론

9.1 종합결론

- 대상 터널은 공용년수가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태로써, 일부부재에 발생한 손상에 대해서는 보수·보강이 필요하며, 보고서에서 제시한 보수·보강 및 유지관리 방법에 따른 보수·보강과 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 본 터널의 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가 결과를 토대로 종합성능평가 등급을 산정하면 문수터널(부산, 포항)은 『B등급(양호)』로 평가되었다.
- 이는 시설물의 성능평가 목표치인 B등급에 부합되는 결과로서 문수터널(부산, 포항)은 “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.
- 대상 시설물에 발생한 손상중 라이닝에 발생한 손상은 시설물의 안전성 및 사용성 증대를 위해 우선보수가 필요하며, 성능목표(B등급)와 종합성능 평가등급(B등급)이 부합되는 수준으로 분석되었으므로, 시급한 보수를 요하진 않으나 우선순위 산정결과에 따라 시설물의 성능향상을 위해 순차적인 보수가 필요할 것으로 판단된다.

9.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 라이닝 시공이음부 박락 손상 발생부 단면보수 후 추가손상 및 신규손상 발생여부 관찰