

I. 공 통 편

제 1장 서 론

제 2장 상태평가 기준 및 방법

제 3장 내구성시험

제 4장 보수보강 방안

제 1 장 서 론

1.1 과업의 목적

1.2 시설물 개요

1.3 과업범위 및 내용

1.4 과업수행 흐름도

1.5 과업수행 투입장비

1.6 과업기간

1.7 터널기호의 정의

제 1 장 서 론

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 “시설물안전법”이라 한다.) 제11조 및 동법 시행령 제8조에 의한 정밀안전점검(시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립), 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 규정에 따른 성능평가(시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진)의 시행을 통한 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 시설물 개요

가. 과업명 : 2023년 부산울산고속도로 정밀안전점검 및 성능평가용역

나. 과업기간 : 2023년 02월 20일 ~ 2023년 08월 23일

다. 대상시설물 개요

<표 1.2.1> 대상시설물 개요

터널명	노선명	위 치	연장 (m)	차선평 (m)	형 식	준공년도	비고
문수터널 (부산)	부산울산선 (44.5km)	울산광역시 울주군 청량읍 울리	1,508.0	10.8	NATM	2008	편도 3차선
문수터널 (울산)	부산울산선 (44.5km)	울산광역시 울주군 청량읍 울리	1,599.0	10.8	NATM	2008	편도 3차선

1.3 과업범위 및 내용

1.3.1 과업범위

- 가. 자료 수집 및 분석
- 나. 현장조사 및 시험
- 다. 상태평가
- 라. 안전성평가(선택과업)
- 마. 보수·보강방법(선택과업) 및 유지관리방안 제시
- 바. 보고서 및 부록 작성

1.3.2 과업의 세부내용

가. 기본과업

기본과업은 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하여야 하는 과업을 말한다.

기본과업의 현장조사 및 시험 항목은 최소필요 조건으로 특별한 사유가 있는 경우에는 추가 또는 축소할 수 있다. 이러한 경우, 그 사유를 과업지시서, 과업수행계획서 및 실시결과보고서에 명기하여야 한다.

<표 1.3.1> 대상시설물의 범위

구 분	부재명	점검 및 진단 실시범위			금회 실시범위	비 고
		정기 안전점검	정밀 안전점검	정밀 안전진단		
◦ 기본시설물	◦ 라이닝	○	○	○	●	
	◦ 갯문	○	○	○	●	
	◦ 개착터널	○	○	○	-	해당없음
	◦ 지하차도	○	○	○	-	해당없음
	◦ 지하역사	○	○	○	-	해당없음
◦ 부대시설물	◦ 연직갱 및 경사갱	○	○	○	-	해당없음
	◦ 환기구	○		○	-	해당없음
	◦ 피난연락갱	○		○	●	
	◦ 연결터널(환기시설)	○		○	-	해당없음
	◦ 갯구부옹벽	○		○	-	해당없음
◦ 공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	○	○	○	●	
	◦ 도로포장	○	○	○	●	
	◦ 도로부 신축이음부	○	○	○	●	
	◦ 환기구 등의 덮개	○	○	○	●	

1) 자료 수집 및 분석

- 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서
- 시공·보수·보강도면, 제작 및 작업도면
- 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료
- 시설물관리대장
- 기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력

2) 현장조사 및 시험

- 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식상태 등
- 간단한 현장 재료시험 등
 - 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험)
 - 콘크리트 탄산화 깊이 측정

3) 상태평가

- 외관조사 결과 분석
- 현장 재료시험 결과 분석
- 대상 시설물(부재)에 대한 상태평가
- 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임기술자의 소견 (안전등급 지정)

4) 보고서 및 부록 작성

- 보고서 작성
- 부록 작성

- | | |
|---------------|------------------|
| 1. 과업지시서 | 2. 외관조사망도 |
| 3. 측정, 시험 성과표 | 4. 상태평가결과 자료 |
| 5. 시설물관리대장 사본 | 6. 사용장비 및 기기의 사진 |
| 7. 사전조사자료 | 8. 사진대지 |
| 9. 기타 자료 | |

나. 선택과업

선택과업은 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 과업으로서 정밀안전점검의 목적을 달성하기 위하여 대상 시설물의 특성 및 현지여건 등을 감안하여 실시하여야 한다.

1) 자료수집 및 분석

- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우)
- 실측도면 작성(설계도서가 없는 경우 반드시 실측도면을 작성하여야 함)

2) 현장조사 및 시험

- 전체 부재에 대한 외관조사망도 작성
- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치·해체 등
- 조사용 접근장비 운용
- 조사부위 표면청소
- 마감재의 해체 및 복구
- 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험

3) 안전성평가

- 필요한 부위의 구조·지반·수리·수문 해석 등 안전성평가
- 보수·보강방법을 제시한 경우 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대한 안전성평가

4) 보수·보강 방법 및 유지관리방안 제시

- 보수·보강 방법 및 유지관리방안 제시

1.4 과업수행 흐름도

본 터널의 정밀안전점검 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



<그림 1.4.1> 과업수행 흐름도

1.5 과업수행 투입장비

<표 1.5.1> 과업수행 투입장비 목록

구분	장비명	규격 및 모델번호	기기번호	측정항목	사진
휴대장비	줄자	5m, 50m	-	손상부위 및 부재 단면 측정	
	균열측정기	7X	1998	균열폭 측정	
	디스토메터	MS-60A	MS5001	거리 측정	
	닥터해머	-	-	부재 공동 및 들뜸 확인	
	디지털카메라	DMC-LX5	FL1BA001004	손상 및 각종 현황촬영	
	버니어캘리퍼스	-	-	부재 단면 및 중성화깊이 측정	
비파괴시험 (Con'c)	반발경도측정기 (Schmidt Hammer)	L750RX AT2(교정기)	A003892375	콘크리트 강도추정	
		NSR	86564		
	초음파 탐사기 (Pundit)	JUST500	057896	콘크리트품질 및 균열 진행깊이 측정	
	철근탐사장비	NJJ-95A	ED72954	철근피복·배근상태	
공기구	그라인더	DGA 404	0041425	콘크리트 및 강재 연마	
	콘크리트용 드릴	BHP 454	0491068	콘크리트 천공	
외관조사	고소작업차량	SKY-450-NPA2	경남99사3020 (합격번호: 22DL55K50037)	근접 외관조사	
	드론	DJI MAVIC AIR2	3N3BJ6U01203E3	전경 촬영	

주) 고소작업차량의 안전검사 합격 증명서 및 차량 제원 등의 상세사항은 부록에 수록됨.

1.6 과업기간

■ 2023년 02월 20일 ~ 2023년 08월 23일

과업내용	공정(일)				
	35일	70일	105일	140일	185일
1. 관련계획 검토 및 현황조사					
1) 착수준비					
2) 관련계획 검토					
3) 시설물의 주요 제원 파악					
4) 일반 현황조사					
5) 중점 점검사항 착안					
2. 설계도서 및 관련자료 검토					
1) 설계도서 및 지방서 검토					
2) 보수이력 검토					
3) 도출된 문제점 분석					
3. 현장조사 및 비파괴시험					
1) 현장조사					
2) 비파괴시험					
4. 상태평가 및 자료분석·검토					
1) 현장조사자료 분석·평가					
2) 비파괴 시험성과 분석·평가					
3) 상태평가					
4) 대책방안 분석 및 검토					
5. 보수·보강 및 유지관리 방안 검토					
1) 보수·보강공법 선정					
2) 보수·보강 시기 검토					
3) 효율적인 유지관리 방안 검토					
6. 성과품 작성					
1) 보고서 작성					
2) 보고서 등 성과품 제작					

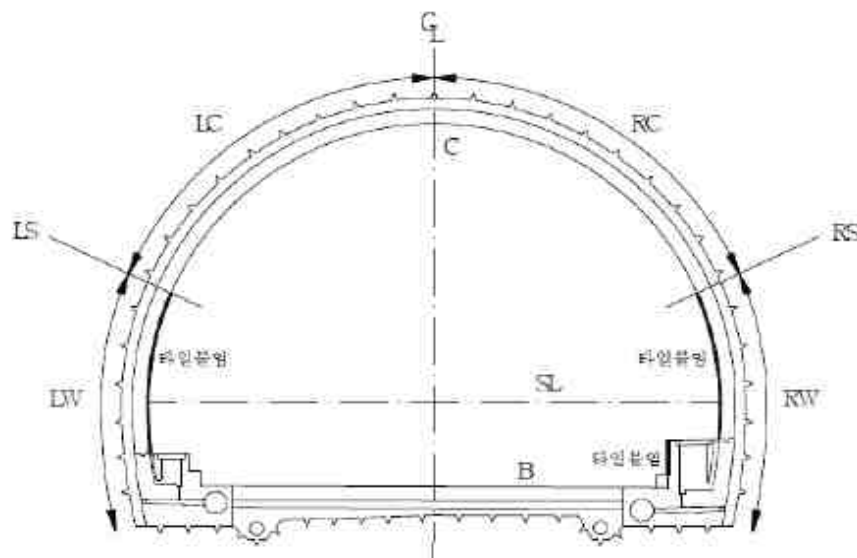
1.7 터널기호의 정의

1.7.1 터널기호의 정의

대상터널의 정밀안전점검을 수행하면서 점검의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 <표 1.7.1>과 같이 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

<표 1.7.1> 터널기호의 정의

구 분	사 용 기 호	설 명
천단부	LC	·좌측어깨에서 천단까지의 구간
	RC	·우측어깨에서 천단까지의 구간
측벽부	LW	·터널진행방향상의 좌측어깨에서 바닥사이의 구간
	RW	·터널진행방향상의 우측어깨에서 바닥사이의 구간
Spring Line	SL	·터널 단면중 최대폭을 형성하는 점 (상반아치가 시작되는 선)
어깨부	LS	·터널진행방향상의 좌측 어깨
	RS	·터널진행방향상의 우측 어깨
바닥	B	·터널 바닥
Span(Seg)	Sd	·조인트부 사이 구간



제 2 장 상태평가 기준 및 방법

2.1 상태평가 기준

2.2 상태평가 항목 및 기준

2.3 상태평가결과 산정방법

2.4 종합평가기준 및 방법

제 2 장 상태평가 기준 및 방법

2.1 상태평가 기준

2.1.1 개요

가. 기본시설물 및 부대시설

터널의 기본시설물과 부대시설물은 <표 2.1.1>과 같다.

<표 2.1.1> 터널의 기본시설물과 부대시설물 항목

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦ 라이닝	○	○	○	
	◦ 갱문	○	○	○	
	◦ 개착터널	○	○	○	
	◦ 지하차도	○	○	○	
	◦ 지하역사 ¹⁾	○	○	○	
부대 시설물	◦ 연직갱 및 경사갱	○		○	
	◦ 환기구 ²⁾	○		○	
	◦ 피난연락갱	○		○	
	◦ 연결터널(환기시설)	○		○	
	◦ 갱구부옹벽	○		○	
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	○	○	○	
	◦ 도로포장	○	○	○	
	◦ 도로부 신축이음부	○	○	○	
	◦ 환기구 등의 덮개	○	○	○	

주1) 지하역사에서 터널시설물은 터널과 연속되는 선로구간에 한함

※ 「법」 시행령 별표1 지하역사에서 선로구간은 연속되는 터널 시설물에 포함

주2) 역사(건축물) 내에 있는 환기구는 제외함

터널 부대시설물 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태평가지 기본시설물에 포함하여 평가한다.

시설물의 중요도 및 규모 등이 상대적으로 큰 연직갱/경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등은 별도 평가 후 부대시설물 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.

상태평가 대상구간에 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝 또는 개착터널과 굴착터널 구간이 교호하여 시공된 경우 각각 평가 후 각 길이를 환산한 가중치를 적용한 가중산술평균 방법으로 평가한다.

터널 갱구부에 절토사면 또는 옹벽 등이 존재하는 경우 상태평가기준은 본 세부지침에서 설정하고 있는 상태평가기준을 각각 적용한다.

2.1.2 기본시설물 결합지수 산정기준

가. 기본시설물 상태평가 항목

터널 기본시설물 상태평가는 라이닝 및 철근콘크리트 구조물 상태평가와 터널주변 상태평가로 구분하여 실시하며 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음과 같다.

<표 2.1.2> 기본시설물 상태평가항목

구 분		평 가 항 목
터널상태 평 가	라이닝 상 태	◦ 균 열 ◦ 누 수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)
	터널주변 상 태	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 갱문상태 ◦ 공동구상태 ◦ 특수조건 : 도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널 (추가점수 부여)

나. 기본시설물 결합지수 산정기준

기본시설물 상태평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출방법은 다음과 같다. 여기서, 라이닝 결합지수(f)는 터널주변 항목점수를 제외한 라이닝만의 결합점수인 총점 36점(조적식 : 26점, 무근콘크리트 : 27점)으로 계산되며, 터널 결합지수(F)는 라이닝의 결합점수 및 터널주변 결합점수를 모두 합한 총점 43점(조적식 : 33점, 무근콘크리트 : 34점, 지하차도 등 : 42점)으로 계산하여 상태평가결과를 산정하면 된다. NATM터널(철근콘크리트 라이닝)과 TBM터널(세그먼트 라이닝), 개착터널(철근콘크리트 구조물, 지하역사 포함), 지하차도의 정밀안전점검 시 선택과업인 염화물 함유량 시험이 미 실시 된 경우에는 책임기술자의 판단에 따라 전차 보고서 자료를 활용하거나 라이닝 결합지수의 총점을 34점으로 조정하여 적용할 수 있다. 즉, 평가항목 중(특수조건 제외) 실시하지 않아도 되거나 공동구 등의 주변시설이 없는 경우는 해당 점수를 감하여 평가할 수 있다.

1) 재래식터널(조적식 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	줄눈균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
터 널 주 변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		덮개파손 및 오염됨 : 0.5					
		이물질 퇴적 및 침수 : 1					
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
라이닝 결합지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{결합점수}}{26}$, 터널결합지수 (F) = $\frac{\Sigma \text{결합점수}}{33}$							

2) 재래식터널(무근콘크리트 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터 널 주 변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		덮개파손 및 오염됨 : 0.5					
이물질 퇴적 및 침수 : 1							
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
라이닝 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{27}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\sum \text{결함점수}}{34}$							

3) NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터 널 주 변	배수상태		문제가 없는 경우 : 0				
			배수불량 또는 막힘 : 1~2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문(접속부) 상태		손상 : 0~1				
	공동구상태		문제가 없는 경우 : 0				
			덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
이물질 퇴적 및 침수 : 1							
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
$\text{라이닝 결함지수 (f)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{27}, \text{ 터널결함지수 (F)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}$							

4) NATM터널(철근콘크리트 라이닝, 지하역사 포함)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
염화물		0	1	1	2	-	
터널주변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문(접속부) 상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
덮개파손 및 오염됨 : 0.5							
이물질 퇴적 및 침수 : 1							
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
라이닝 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$							

5) TBM 터널(콘크리트 세그먼트 라이닝)

TBM(Tunnel Boring Machine)터널은 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버림처리까지 기계화·시스템화되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 Open TBM과 Shield TBM으로 구분한다.

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
염화물	0	1	1	2	-		
터널주변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0 배수불량 또는 막힘 : 1~2					
		지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3 영향범위 외 : 1			
	갱문(접속부) 상태			손상 : 0~1			
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0 덮개파손 및 오염됨 : 0.5 이물질 퇴적 및 침수 : 1					
	특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3				
라이닝 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$							

6) 개착터널(철근콘크리트 구조물, 지하역사 포함)

평가기준			a	b	c	d	e
			$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
철근콘크리트 구조물	균열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
염화물		0	1	1	2	-	
터널주변	배수상태		문제가 없는 경우 : 0				
			배수불량 또는 막힘 : 1~2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2 ~ 3		
					영향범위 외 : 1		
	갱문(접속부) 상태		손상 : 0~1				
	공동구상태		문제가 없는 경우 : 0				
			덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
이물질 퇴적 및 침수 : 1							
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
라이닝 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$							

7) 지하차도(철근콘크리트 구조물)

지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가방법에 준하여 적용한다.

지하차도의 부대시설물인 U-Type 옹벽의 상태평가는 제13장 「옹벽」에서 설정하고 있는 상태평가기준을 적용하여 각각 평가한다.

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
철근	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
콘크리트 구조물	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	-
		염화물	0	1	1	2	-
주변상태	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2~3			
				영향범위 외 : 1			
갱문(접속부)상태	손상 : 0~1						

$$\text{철근콘크리트 결함지수 (f)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{36}, \text{ 터널결함지수 (F)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{42}$$

2.1.3 부대시설물 결합지수 산정기준

가. 부대시설물 상태평가항목

터널 부대시설물은 기본시설물과 같이 무근 및 철근콘크리트로 구성되어 있으므로 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음 [표 2.15]와 같다.

부대시설물 중에 숏크리트, 록볼트 등으로 터널의 안전성이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없어 콘크리트 라이닝을 생략한 경우에는 책임기술자가 현장여건을 고려하여 상태평가항목 및 평가기준을 조정할 수 있다. 환기구 덮개의 경우 유지관리 조사 항목 및 내용은 건축물 세부지침을 준용하며, 환기구 덮개의 조사결과는 관리주체의 유지관리방안 제시에 활용한다.

<표 2.1.3> 부대시설물 상태평가항목

구 분	평 가 항 목
부대시설물 상 태 평 가	◦ 균 열 ◦ 누 수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

나. 부대시설물 결합지수 산정기준

터널 부대시설물 구조물 분류에 따른 상태평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출방법은 다음과 같다.

1) 무근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1

$$\text{부대시설물 결합지수 (f)} = \frac{\Sigma \text{결합점수}}{27}$$

2) 철근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
균열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재질 열화	박리	0	0	1	1	1
	충분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
	철근노출	0	1	2	3	4
	탄산화	0	1	2	3	-
	염화물	0	1	1	2	-

$$\text{부대시설물 결함지수 (f)} = \frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$$

2.2 상태평가항목 및 기준

2.2.1 기본시설물 상태평가항목 및 기준

평가항목은 5단계로 세분화였고, 평가항목별 상태평가기준은 터널 상태평가결과와의 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기한다.

세부기준은 기존 국내기준과 국외기준을 참고하여 결정하였으며, 설문조사를 통한 실무자들의 의견과 현실적인 여건을 고려하여 정하였다. 또한, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 여러 개소에서 조사될 경우에는 하향평가 한다. 터널 라이닝의 상태평가 단위길이는 30m 전·후로 선정한 쉬트(Sheet)를 기준으로 한다. 터널 라이닝의 시공이음 및 신축이음, 철근과 무근의 경계, 단면변화로 인한 경계등으로 일부 단위 길이를 책임기술자의 판단으로 조정할 수 있다. 이는 단위 길이로 인한 상태평가 등급변화 요인을 배제하고자 함이다.

1) 균 열

평가기준		a	b	c	d	e
구 분						
콘크리트 라이닝	무근 (균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과 3.0mm 이하	3.0mm 초과
	철근 (균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
개착터널	철근(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
조적식 라이닝	줄눈균열	없 음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2개소 초과 ~5개소미만	벽돌 5개소 이상

주) 진행성 균열의 경우 상태평가결과가 "d" 이하 또는 고정 균열의 경우 면적을 20% 이상으로 "e" 이면 2.1.4 절의 중대한 결함으로 본다.

<해 설>

- ① 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.

※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 균열 단부의 확대폭 및 깊이, 단차의 시간에 따른 변화를 조사하여 판단한다.

- ② 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가는 균열이 다음 스팬(Span)에 연속적으로 이어져 있는 경우는 책임기술자의 판단에 의하여 평가결과는 하향조정할 수 있다.



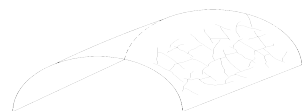
(종균열)



(횡균열)

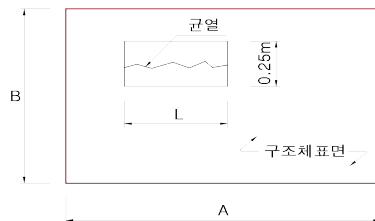


(경사균열)



(망상균열)

- ③ 균열의 발생위치는 천장부, 어깨부, 측벽부로 표기하며, 균열에 의한 단차가 발생하였거나 구조체를 관통하는 균열일 경우 책임기술자의 판단에 의해 하향조정할 수 있다.
- ④ 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있다. 콘크리트 구조의 구조적 균열은 콘크리트와 철근사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성된다. 구조적 균열발생시 면적율에 관계없이 평가는 1단계 하향조정하고, "d"이상으로 발생하였을 경우에는 안전성평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 한다.
- ⑤ 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 평가는 하향 조정하도록 한다.
- ⑥ 보수·보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.
- ⑦ 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율 20% 이상과 구조적균열 및 단차균열일 경우의 평가는 a→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.
 - 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하다.



$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{구조체표면(점검단위)면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이(L)} \times 0.25}{A \times B(\text{m})} \times 100 = \%$$

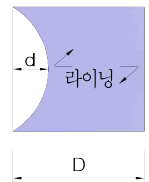
2) 누 수

평가기준 구 분	a	b	c	d	e
누 수	없 음	스며 있음	떨 어 짐	흐 름	분 출
해 설	1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다. 2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가를 하향조정 하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다. 4) 누수가 배수공과 시공이음, 신축이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발 시킬 수 있는지의 여부 등을 검토할 수 있다. 5) 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적요인을 반영하여 평가할 수 있다. 6) 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다. 7) 누수형상은 점상누수, 선상누수, 면상누수로 구분하며 누수위치는 천단부, 어깨부, 측벽부, 바닥부로 구분하여 평가함				

주) 상태평가결과가 “d” 이하이며, 토립자와 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

3) 파손 및 손상

평가기준 구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손상도	없음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상면적	없음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm 미만)	극심한 손상 (30cm×30cm 이상)
조적식 라이닝	손상두께	없음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1개 초과 ~2개 미만	벽돌 2개 이상
해설		1) 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 라이닝 두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다. ※ 손상도 = d (파손 및 손상두께) / D (라이닝두께) 2) 조적식 라이닝에서 파손 및 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다. 3) 조적식 라이닝인 경우 파손 및 손상면적은 벽돌크기를 기준으로 하여 산정하도록 한다. 4) 지반탐사 등으로 측정된 라이닝 두께가 설계두께에 못 미치는 경우에는 이를 손상으로 평가 할 수 있다. 5) 파손 및 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 파손 및 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 평가는 하향조정한다. 6) 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow d$, $d \rightarrow e$로 하향 조정할 수 있다.				



주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가결과가 "d" 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다. 여기서, 손상도 평가 시 기준면적은 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위를 말한다.

4) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

평가기준 구 분	a	b	c	d	e
박 리	없 음	6mm 미만	6mm 이상 25mm 미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
층분리 및 박락	없 음	깊이 12mm미만 또는 직경 75mm미만	깊이 12~25mm미만 또는 직경 75~150mm미만	깊이 25mm이상 또는 직경 150mm이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백 태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5%이상 10%미만	면적율 10%이상 20%미만	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1%이상 3%미만	면적율 3%이상 5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30mm 이상	10mm 이상 30mm 미만	0mm 이상 10mm 미만	0mm 미만	-
전염화물 이온량	0.3kg/m ³ 이하	0.3kg/m ³ 초과 1.2kg/m ³ 미만	1.2kg/m ³ 이상 2.5kg/m ³ 미만	2.5kg/m ³ 이상	-
해 설	1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경 영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박리된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리·층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태 및 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다. 6) 탄산화 깊이에 대한 평가는 제1장 교량[표 1.28] 해설을 따른다. <일본구조물진단기술협회 「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)> 7) 채취 코어의 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하며, 염화물 함유량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가기준 범위를 “a~d”로 한다. 염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10mm ~ 20mm)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도시한다. <일본구조물진단기술협회 「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)> 8) 박리, 층분리 및 박락의 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 a→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.				

주) 탄산화 잔여깊이 또는 전염화물 이온량에 대한 상태평가결과가 “d”등급이고, 철근노출의 상태평가결과가 “e”등급이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

5) 배수상태

구 분	문제가 없는 경우	배수불량 및 막힘 (배수시설 작동불량)
결함점수	0	1~2
해 설	1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다. 4) 집수정이 설치된 경우 배수시설(펌프설비 등)의 작동유무, 정작상태, 전원설비상태 등을 점검하고 작동이 안되거나 정작이 불량한 경우 관리주체에 통보하여 교체 또는 수리 등의 조치가 가능하도록 하여야 한다.	

6) 지반상태

구 분	풍화변질 및 단층파쇄대			
	풍화변질	단 층 파 쇄 대		
		영향범위 외	영향범위 내	
			중·소규모 단층	대규모 단층
결함점수	1	1	2	3
해 설	1) 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공자료를 참고하여 판단하도록 하며, 안전성 평가시 지반조사를 실시하여 지반상태를 평가하도록 한다. 2) 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다. (여기서, D는 터널의 직경을 의미함) 3) 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 암반으로부터 평가하도록 한다. 4) 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공자료, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다. 5) 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층파쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다. 6) 도심지 터널의 경우 낮은 심도로 인하여 불량지반, 복합지반에 위치하는 경우에 지반상태를 평가하고 영향범위에 따른 점수를 부여한다.			

7) 갯문(접속부)상태

구 분	손 상	
	보통인 상태	불량한 상태
결함점수	0~0.5	1
해 설	1) 갯구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갯문(접속부)상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갯문(접속부)의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갯문(접속부)에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명 하도록 한다.	

주) 갯문(접속부)의 상태가 양호할 경우, 책임기술자 판단 하에 최소점수인 0점을 부여할 수 있다.

8) 공동구상태

구 분	문제가 없는 경우	뚝개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수
결함점수	0	0.5	1
해 설	1) 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수시설과 병행하여 시공된다. 2) 공동구의 오염상태, 뚝개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 한다.		

9) 특수조건(추가점수)

구 분	도심지 토사터널		전력구터널, 전차선을 설치한 터널		
	주의범위 (1D~2D)	제한범위 (1D 미만)	측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험
결함점수	1	2	1	2	3
해 설	1) 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토·분석하고 터널에 영향을 미치는 범위를 고려하여 이를 반영한다. 2) 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로 누전문제에 대한 위험성을 상태평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다. 3) 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.				

2.2.2 부대시설물 상태평가항목 및 기준

1) 균 열

구 분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
무근 콘크리트 라이닝	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과 3.0mm 이하	3.0mm 초과
철근 콘크리트 라이닝	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
철근 콘크리트 구조물 (개착 구조물)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과

주) 진행성 균열의 경우 상태평가결과가 “d” 이하 또는 고정 균열의 경우 면적율 20% 이상으로 “e” 이면 2.1.4 절의 중대한 결함으로 본다.

<해 설>

기본시설물 균열 해설 참조

2) 누 수

기본시설물 누수 참조

3) 파손 및 손상

평가기준 구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손 상 도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상면적	없 음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만)	극심한 손상 (30cm×30cm 이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1개 초과 ~2개 미만	벽돌 2개 이상
해 설		기본시설물 파손 및 손상의 해설 참조				

주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가결과가 “d” 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

4) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

기본시설물 재질열화 참조

2.2.3 공중이 이용하는 부위의 상태평가항목 및 기준

1) 추락방지시설

평가기준	구분
a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

2) 도로포장

평가기준	구분
a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생된 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불편감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

3) 도로부 신축이음부

평가기준	구분
a	○ 신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○ 신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○ 신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○ 신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

4) 환기구 등의 덮개

평가기준	구분
a	○ 환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○ 기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○ 결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

2.3 상태평가결과 산정방법

2.3.1 기본시설물 상태평가결과 산정

1) 제1단계 : 라이닝 결합지수(f) 산정

- ① 라이닝 단위길이별 평가항목에 대해 최저 평가결과와 결합점수를 부여한다. 균열의 결합점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.
- ② 라이닝 단위길이별 결합지수를 구한다
- ③ 라이닝 전체에 대한 결합지수(f)를 구한다. 이때에 라이닝 단위길이별 평가항목에 대한 결합점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가결과 산정

- ① 라이닝 단위길이별 평가항목과 결합지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.
- ② 라이닝 전체의 평가항목(산술평균값)과 결합지수(f)에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

3) 3단계 : 터널 주변 상태 결합점수 산정

- ① 터널 주변 상태에 대한 배수, 지반, 갭문, 공동구상태의 결합점수를 부여한다.
- ② 특수조건에 해당 될 경우에는 추가점수를 부여한다. 터널결합지수(F) 산정시 분모에 대한 영향은 고려하지 않는다.

4) 제4단계 : 터널 상태평가결과 산정

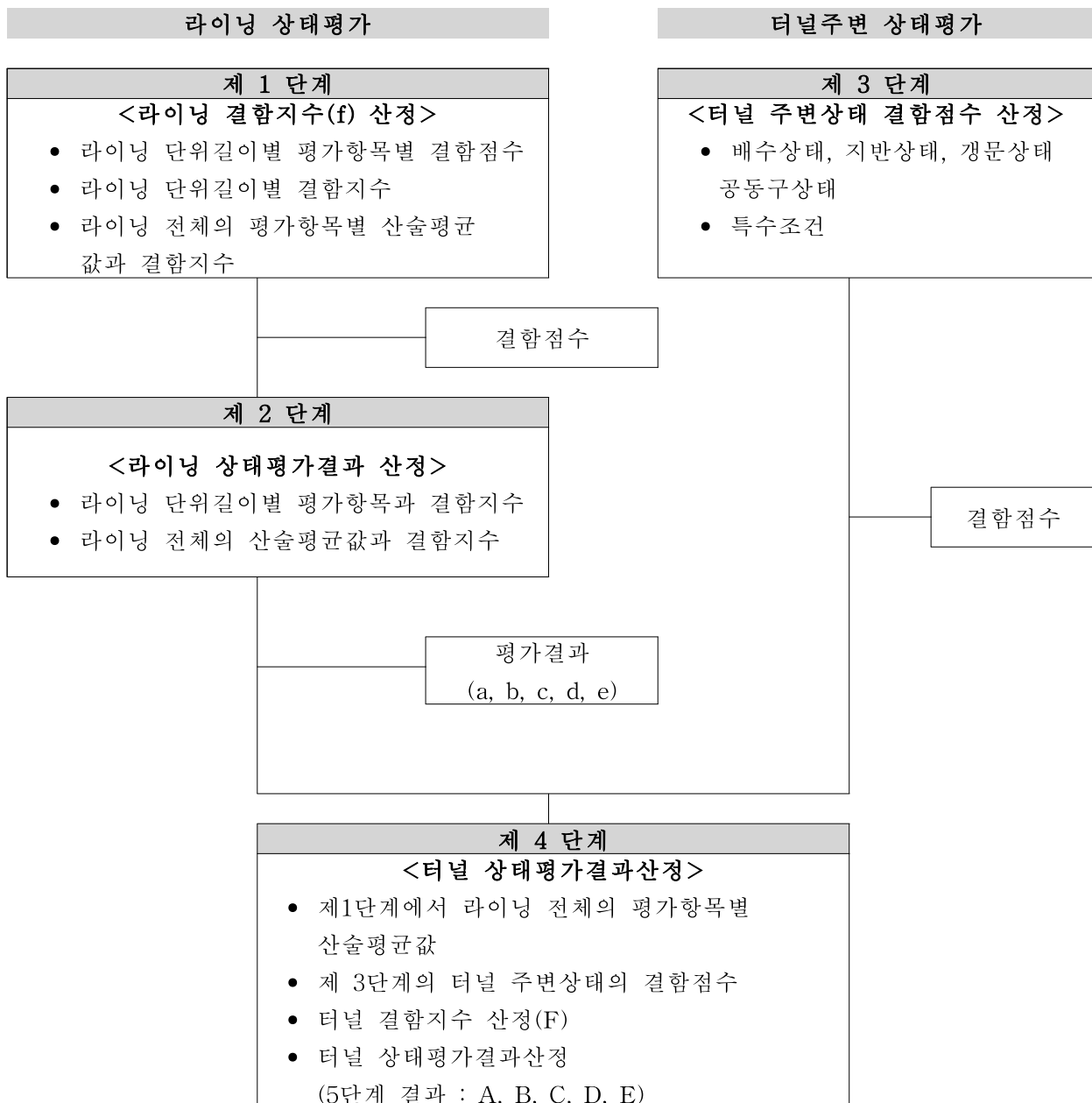
- ① 제1단계의 라이닝 결합지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결합점수 산술평균 값과 제3단계의 터널 주변상태 평가 결합점수를 합한다.
- ② 터널 결합지수(F)를 산정하고, 터널 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.
- ③ 터널 상태평가결과 산정

- A등급(우수) : 터널 결합지수(F) $0.00 \leq F < 0.15$
- B등급(양호) : 터널 결합지수(F) $0.15 \leq F < 0.30$
- C등급(보통) : 터널 결합지수(F) $0.30 \leq F < 0.55$
- D등급(미흡) : 터널 결합지수(F) $0.55 \leq F < 0.75$
- E등급(불량) : 터널 결합지수(F) $0.75 \leq F$

5) 조합시 연장별 평가방법

한 개의 터널에 여러 개의 구조형식이 있는 경우 다음과 같은 산정방법에 의해 상태평가결과를 산정한다.

- ① 한 터널의 철근구간, 무근구간, 조적구간에 대해 제1단계의 라이닝 평가항목별 결합점수 산술평균값에 주변상태점수를 합하여 결합점수 산정후 각 구간별 결합지수를 각각 산정한다.
- ② 연장별 가중치를 산정한다. (연장별가중치 = 해당구간 연장/ 전체연장)
- ③ Σ (각 구간별 결합지수×연장별 가중치)를 구한 후 결합지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 중 해당 상태평가결과를 산정한다.



<그림 2.3.1> 상태평가결과 산정절차

2.3.2 부대시설물 상태평가결과 산정

1) 제1단계 : 부대시설물 결합지수(f) 산정

- ① 부대시설물 평가단위별 평가항목에 대해 최저 평가결과와 결합점수를 부여한다. 균열의 결합점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.
- ② 부대시설물 평가단위별 결합지수를 구한다
- ③ 부대시설물에 대한 결합지수(f)를 구한다. 이때에 부대시설물 평가항목에 대한 결합점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 전체 부대시설물 상태평가결과 산정

- ① 부대시설물별 평가항목과 결합지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.
- ② 평가항목(산술평균값)과 결합지수(f)에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.
- ③ 개별 부대시설물을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설물 결합지수를 산정하고 전체 부대시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{부대시설물의 결합지수}(f) = \sum(f_n) / N$$

여기서, f_n : 개별 부대시설물의 상태평가 결합지수

N : 개별 부대시설물의 개수

3) 3단계 : 전체 시설물 상태평가결과 산정

- ① 기본시설물 결합지수(F)에 부대시설물 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{시설물의 결합지수}(F) = \text{기본시설물 결합지수}(F) \times \text{부대시설물 가중치}(W)$$

<표 2.3.1> 부대시설물의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설물 결합지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본시설물 기능수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설물에 영향을 주는 상태	기본시설물의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

2.4 종합평가기준 및 방법

2.4.1 종합평가기준

시설물의 종합평가는 상태평가만 실시한 경우에는 상태평가결과에 의해 부여된 상태평가등급이 그 시설물에 대한 종합평가등급으로 결정되지만 상태평가와 안전성평가를 동시에 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가결과와 안전성평가결과를 비교하여 최저평가결과를 종합평가결과로 결정한다.

2.4.2 종합평가결과 산정 방법

가. 종합평가 산정 절차

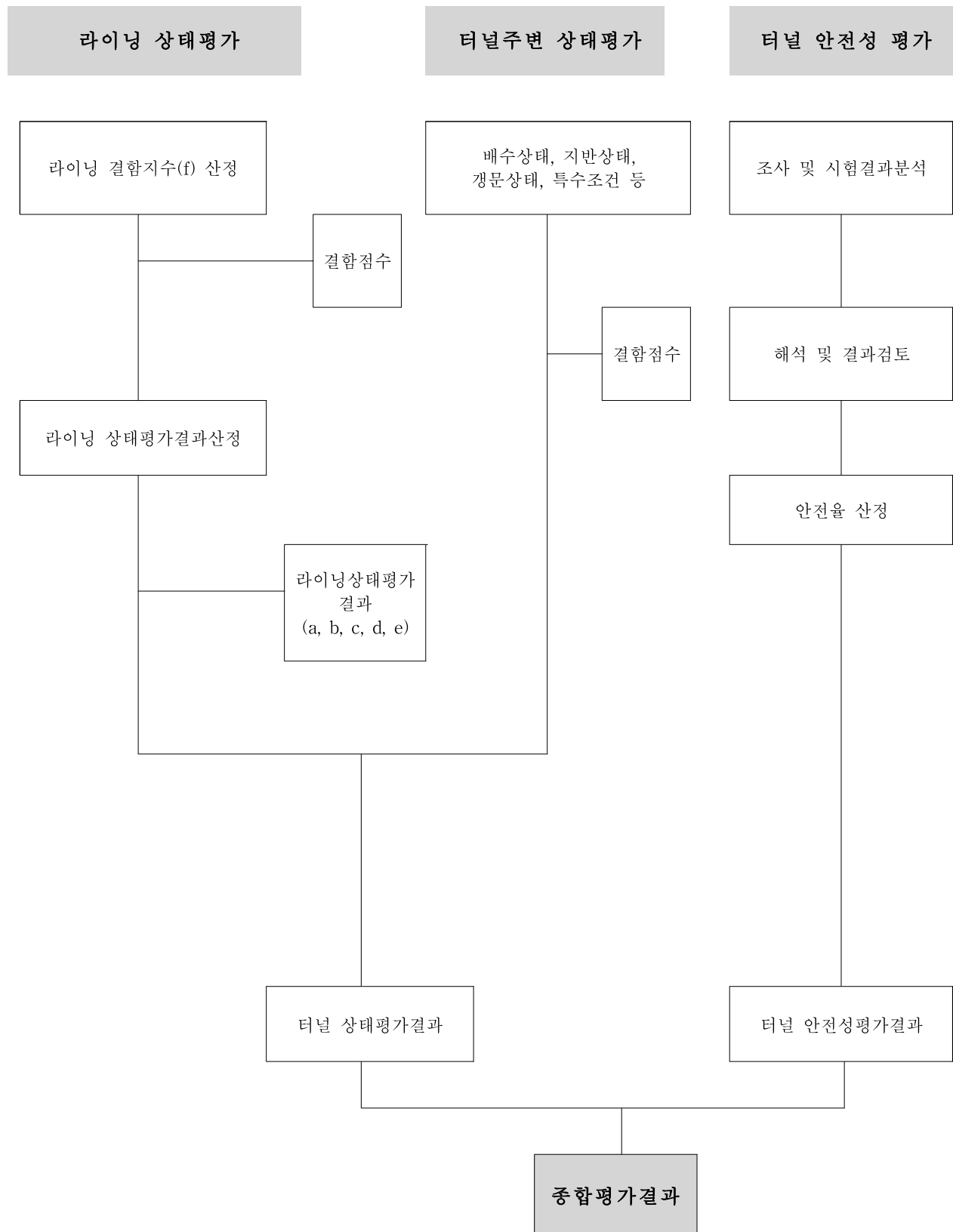
터널 상태평가와 안전성평가결과 2개 등급 중 최저등급을 터널 종합평가결과로 하여야 하고 <그림 4.1.1>의 절차에 따라 결정한다.

1) 정밀안전점검

터널 라이닝 상태평가와 터널 주변상태평가(필요시)를 종합하여 터널 상태평가결과를 결정하며, 터널 안전성평가를 시행한 경우에는 상태평가결과와 안전성평가결과를 비교하여 최저등급을 터널 종합평가결과로 결정한다.

2) 정밀안전진단

터널 상태평가결과(라이닝 상태평가+터널주변 상태평가)와 안전성평가결과 중 최저 등급을 터널 종합평가결과로 결정한다.



<그림 2.4.1 시설물의 종합평가결과 산정절차>

2.4.3 안전등급 지정

과업의 책임기술자는 당해 시설물에 대하여 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다. 다만, 과업의 실시결과가 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

시설물의 안전등급의 기준은 다음 표와 같다.

<표 2.4.1> 시설물 안전등급

상태평가등급	상태 및 안전성	비고
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태	
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태	
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태	
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태	
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	

제 3 장 내구성시험

3.1 개요

3.2 콘크리트 내구성시험

제 3 장 내구성시험

3.1 개요

내구성 조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

내구성 조사의 적용범위는 다음과 같다.

- 내구성 조사를 대상으로 하는 구조물은 콘크리트 구조물에 한한다.
- 내구성 조사는 구조체를 중심으로 수행한다.
- 내구성 조사는 조사 시점의 열화상태 뿐만 아니라 구조물의 이력, 주변환경, 열화원인을 조사하여 향후 열화손상 진행정도를 예측하고, 내용년수와 관련하여 종합적인 안전 진단을 수행한다.

구조물은 하중을 안전하게 지지하고 그 기능을 원활히 발휘하여야 하며, 역학적으로 충분한 강도와 강성을 갖는 것이 필요하다. 따라서 구조의 각 부분이 균형 잡힌 안전도를 가지며, 내구성을 갖는 것이 요구된다.

3.2 콘크리트 내구성시험

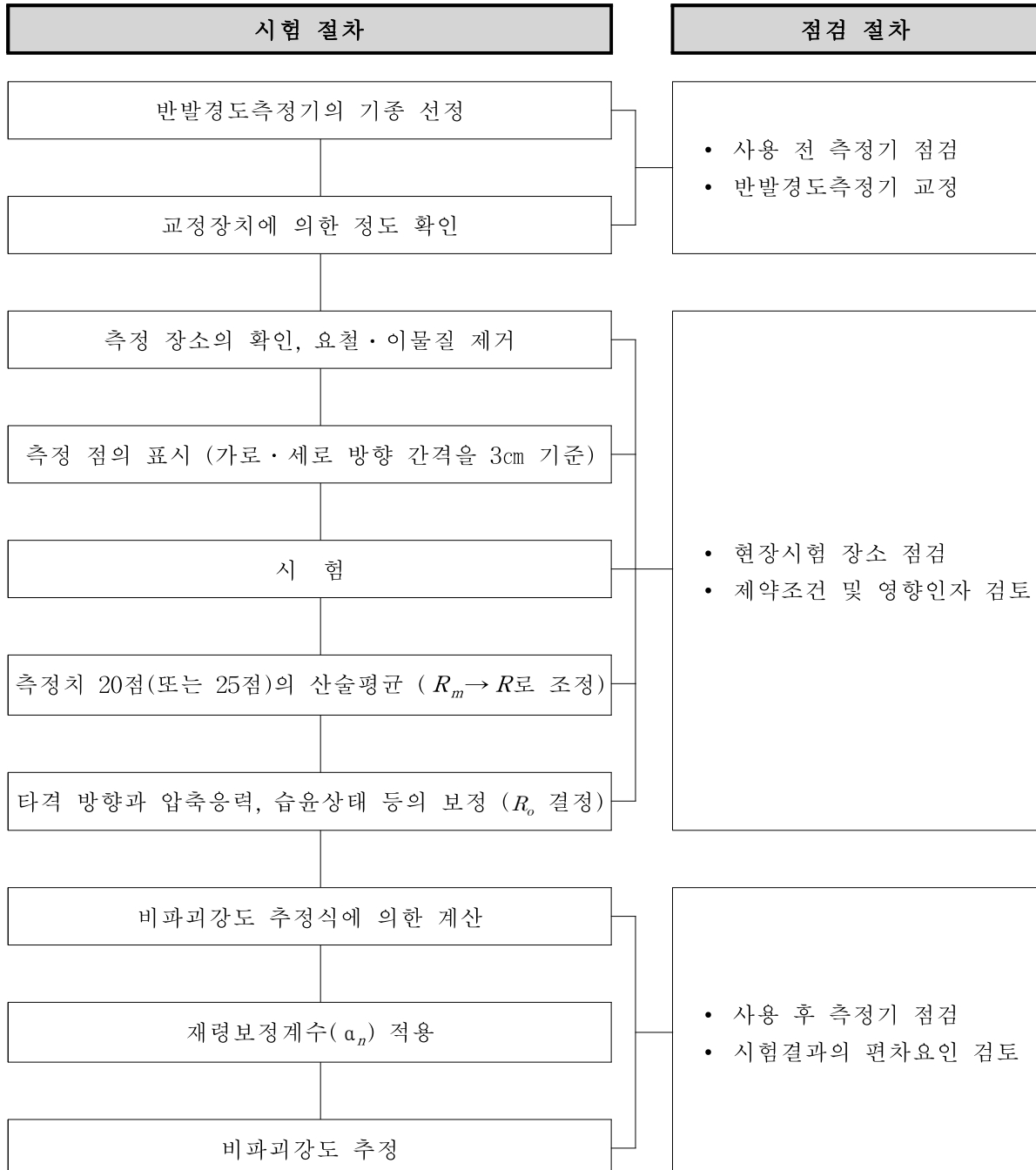
3.2.1 시험내용 및 평가기준

본 과업에서 내구성시험은 대상구조물의 Con'c 실제강도, 탄산화깊이 측정 등을 조사하였으며, 각 시험별 내용 및 평가방법은 다음과 같다.

가. 반발경도시험

반발경도시험은 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 방법의 하나로 경화된 콘크리트 표면을 타격할 때, 측정 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

1) 시험 등의 절차



<그림 3.2.1> 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

2) 보정반발경도(R_o)의 계산

- ① 반발경도시험 값(R_m) 20개의 평균을 산정
- ② 평균값에서 $\pm 20\%$ 이상 벗어나는 경우의 시험값은 버리고 나머지 시험값의 평균(R)을 산출
- ③ 시험값 중 버리는 값이 4개 이상인 경우는 시험 부위의 결정에서 문제가 있을 수 있으므로 전체 시험값 군을 무시
- ④ 반발경도시험 현장의 여건 등을 고려하는 반발경도에 영향을 미치는 요인을 검토하여 각종 보정값(ΔR)을 산정
- ⑤ 산정한 보정값(ΔR)을 평균시험값(R)에 가감하여 보정반발경도(R_o)를 결정하여 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용
- ⑥ 보정반발경도(R_o)는 소수 첫째자리 기준

3) 콘크리트 비파괴강도 추정

$$F_c = k_1 \cdot R_o + C \quad (\text{MPa})$$

여기서, R_o : 반발도 R의 평균값

k_1 , C는 상수

(1) 보정반발경도(R_o)

보정반발경도 R_o 는 다음 (식 3.1)과 같이 측정경도 R에 보정값 ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 를 더한 값으로 한다.

$$R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$$

여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값

ΔR_3 : Con'c의 습윤상태에 따른 보정값

① 타격 방향에 따른 반발경도의 보정(ΔR_1)

수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다.

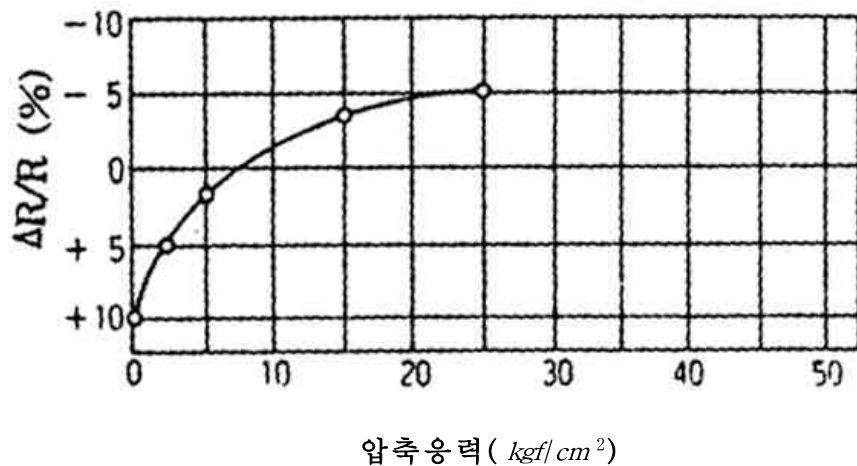
하향 타격(-90°)의 경우에는 Schmidt Hammer 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 +값으로 수정해 주고, 상향의 타격($+90^\circ$)의 경우에는 반대현상에 의해서 -값으로 수정해 주어야 한다.

<표 3.2.1> 반발경도 보정값

반발경도	보 정 값				비 고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	상향수직타격 +90° 하향수직타격 -90°
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

② 압축응력에 따른 반발경도 보정(ΔR_2)

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 시험결과 입증되었다. 그 크기는 대략 압축응력이 1MPa 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 2.5MPa 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 이다.



<그림 3.2.2> 압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선

③ Con'c 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3)

Con'c 표면이 습윤상태에 있으면 기건상태 보다 반발도가 작게 나오게 된다. 따라서, 완전 습윤상태에서는 기건상태를 기준으로 $\Delta R_3=+5$ 로 보정한다.

(2) 기존의 제안식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

반발경도를 이용한 비파괴강도 추정은 가급적 시험 대상 구조체의 수 감소에 대해서 반발경도를 구하고, 상기 성형 및 코어 표본에 의한 반발경도와 압축강도의 비파괴강도 제안식을 이용해야 한다.

다음은 국내에서 주로 이용되고 있는 제안식을 정리한 것으로 이외의 신뢰성 있는 제안식을 이용할 수 있으며, 제안식의 적용은 시험 방법 및 시험 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

<표 3.2.2> 기존의 비파괴강도 일반콘크리트 추정 제안식

연구자	추정 제안식 (MPa)	비고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_o$	
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	
木村	$F_c = (9.37 \times (0.987)^t R_o + (1.3t - 109)) \times 0.098$	t는 재령(년)

<표 3.2.3> 기존의 비파괴강도 고강도콘크리트 추정 제안식

연구자	추정 제안식 (MPa)	비고
고속철도공단	$F_c = (13R_o - 124) \times 0.098$	
과학기술부	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$	

(3) 재령보정계수

콘크리트의 재령이 경과함에 따른 반발경도와 압축강도의 상관관계는 변하게 하며, 탄산화의 효과는 콘크리트의 표면반발경도를 증가시킨다.

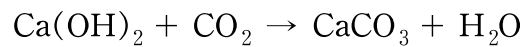
따라서 장기재령 콘크리트의 강도 추정에서는 재령 28일의 강도추정식에서 구해진 비파괴강도에 슈미트해머 제조사에서 제시하고 있는 <표 3.2.3>의 재령보정계수(α)를 곱하여 평가한다.

<표 3.2.4> 재령계수 α 의 값

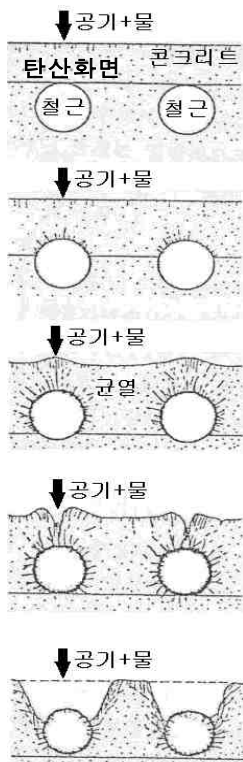
재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64	0.63

나. 콘크리트 탄산화시험

탄산화는 콘크리트 구조물의 열화 문제로 현재 주목받고 있는 현상 중 하나이다. 여기서 탄산화란 굳은 콘크리트와 공기 중의 탄산가스가 반응하면서 알칼리성을 잃게 되는 현상을 일컫는다. 즉 건전한 콘크리트는 경화 시멘트풀의 수산화 화합물중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타내나 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하면 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10 이하로 낮아지는 현상이다.



콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다. 이와 같이 탄산화에 의한 철근콘크리트 성능저하 과정은 <그림 3.2.3>과 같다.



STEP 1

정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없다
(약간의 건조수축에 의한 균열)

STEP 2

녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생한다.

STEP 3

철근의 윗면이 팽창한다. 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보인다.

STEP 4

철근 윗면의 피복이 부수어져 떨어지고, 철근의 노출이 시작된다.
철근단면적이 감소한다.

STEP 5

철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출된다.
내구성능은 없다.

<그림 3.2.3> 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

1) 탄산화 진행에 따른 상태평가

탄산화 진행상태는 피복두께의 절대값이 클수록 탄산화 잔여 절대값이 커지므로 피복두께가 클수록 일반적으로 철근부식까지의 탄산화도달시간에 대한 여유가 크다. 피복두께와 탄산화 측정깊이를 고려한 철근 콘크리트 구조물에서의 탄산화 진행상태에 대한 상태평가 등급은 다음 <표 3.2.5>과 같다.

<표 3.2.5> 탄산화 진행상태에 따른 상태평가 등급

평가기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음.
b	10mm 이상~30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성 있음
c	0mm 이상~10mm 미만	탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 높음.
d	0mm 미만	철근부식 발생
e	-	-

2) 경과년수에 따른 탄산화 깊이의 비교분석

<표 3.2.6>는 탄산화 진행 예측식을 나타낸 것이다. 본 과업에서 예측식의 적용은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, AE제와 같은 혼화제는 사용하지 않고, 골재는 일반골재로 가정하였고, 표면마감은 없는 것으로 가정하였다. 설계기준강도를 고려할 때 적절한 물-시멘트비인 55%를 가정하였다.

<표 3.2.6> 탄산화 속도식 비교

식 종류	탄산화 속도식	비 고
하마다식 (浜田式)	$t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R} C^2$	x : 물-시멘트 비 R : 시멘트, 골재, 활성제의 종류에 따른 계수
키시타니식 (岸谷式)	$t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R^2(x - 0.25)^2} C^2 \quad (x \geq 0.6)$ $t = \frac{(7.2)}{R^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 0.6)$	x : 물-시멘트 비 R : 시멘트, 골재, 활성제의 종류에 따른 계수
시로야마식 (白山式)	$t = \alpha\beta\gamma\delta\epsilon \frac{500C^2}{(x - 38)^2}$	x : 물-시멘트 비 $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$: 시멘트, 시공정도, 마감재, 내외 등에 따른 계수
요다식 (依田式)	$t = \alpha\beta\gamma \frac{262}{(100x - 18)^2} \times C^2 \quad (\text{실내})$ $t = \alpha\beta\gamma \frac{155}{(100x - 36)^2} \times C^2 \quad (\text{실외})$	x : 물-시멘트 비 $\alpha\beta\gamma$: 마감재, 실내외 등에 따른 계수

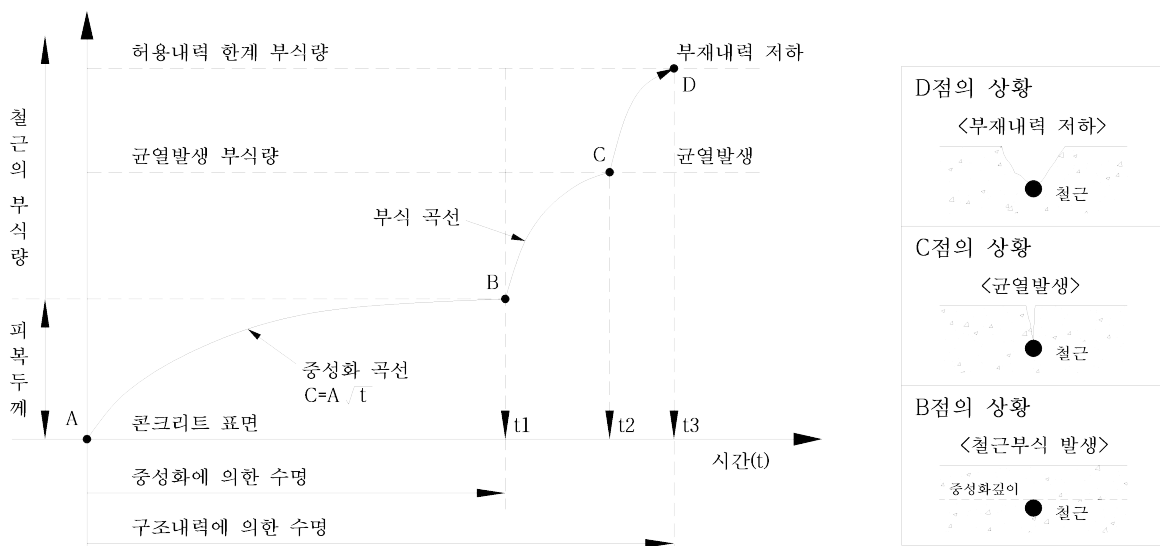
• t = 경과년수(년) , C = 탄산화깊이(cm)

3) 내구수명 평가

콘크리트의 탄산화가 진행하여 철근에 다다르게 되면 철근의 부식이 시작된다. 그러나 철근주변까지 콘크리트가 탄산화되었다고 해서 바로 부식이 발생하여 철근의 단면 결손이 발생하는 것은 아니다. 또한 실내외의 환경조건에 따라 철근 부식 조건이 달라진다. 宗英雄 등의 연구에 따르면 실외에서는 탄산화영역이 철근위치에 도달하면 급속하게 철근의 부식이 발생하는 반면, 실내의 경우는 탄산화영역이 철근에 도달해도 급속하게 부식하는 경우는 없고, 탄산화영역이 피복두께를 20~30mm 지나치는 시점에서 부식이 시작된다.

콘크리트가 탄산화되어 철근의 부식이 시작되고, 수명에 이르는 개념을 <그림 3.2.4>에 나타내었다. 즉 t_1 은 탄산화영역이 철근표면에 도달하는 시점, t_2 는 그 결과 철근이 부식되고 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점, t_3 은 부재내력이 한계에 달하는 시점을 의미한다.

지금까지 철근콘크리트 구조물의 수명은 t_1 의 시점이라고 판단되어 왔으나 실제 구조물에 적용할 경우 많은 문제점이 나타나게 된다. 전문가에 따라서는 t_1 의 시점이 반드시 철근의 유해한 부식량의 시점이라고는 생각되지 않기 때문에, t_2 의 시점을 수명으로 산정하는 것이 적절하다는 의견이 있으므로 아직까지는 명확한 수명을 판단하기가 어렵다. 또한 다양한 환경조건에 따라 t_1 에서 t_2 도달까지의 시간이 다르기 때문에 본 과업에서는 탄산화에 대한 내구수명으로서 t_1 에 도달할 때까지의 시간으로 결정하고 내구수명을 산정하였다.



<그림 3.2.4> 콘크리트 내부에서의 철근부식의 개념

대기중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터의 탄산화 진행을 경과시간의 함수로서 표현한 것이 탄산화 속도식이다. 탄산화가 정상상태에서 탄산가스의 콘크리트내부 확산에 따라 생긴다고 가정하면, 탄산화깊이 C 는 경과시간 t 의 평방근에 비례한다고 하는 식이 도출된다. 이것은 통상, $\sqrt{t}$ 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용되고 있다.

$$C = A\sqrt{t}$$

위의 식에서 계수 A 는 탄산화속도 계수라고 하며, A 의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수 A 는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다.

본 과업에서 탄산화에 의한 수명 평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 앞서 언급한 식 $C = A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t 는 설계도로부터 구할 수 있고 탄산화 깊이 C 는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수 A 를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있다.

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$$

여기서, t_d 는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간, D_c 는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm), A 는 탄산화시험으로부터 계산된 계수, t_0 는 현재의 구조물 경과시간이다.

제 4 장 보수 · 보강 방안

4.1 개요

4.2 보수 · 보강 방안

4.3 유지관리 방안

제 4 장 보수·보강 방안

4.1 개요

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 여러가지 원인에 의해 손상이나 결함이 발생하게 되고, 작은 결함이라도 그대로 방치해 두면 점진적으로 발전하여 대형사고의 원인이 될 수도 있다. 따라서 구조물에 대한 보수·보강은 구조물의 기능성 및 안전성을 유지하고 필요에 따라 그 기능의 강화를 도모하기 위해 실시하여야 한다.

4.1.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

외관조사, 내구성조사, 상태평가 결과 등을 종합적으로 검토하고 시공성, 경제성 등을 고려하여 적합한 재료와 보수·보강공법을 선정하였으며, 그에 따라 보수보강의 우선순위는 결함, 손상, 열화의 상태에 따라서 구조적 안전성, 사용성 및 내구성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다.

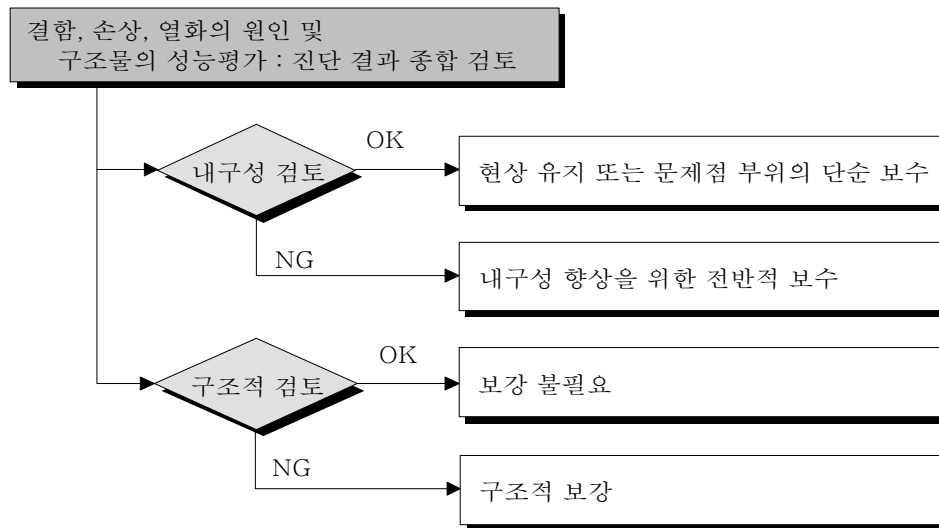
<표 4.1.1> 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

검 토 항 목	검 토 내 용
보수·보강 필요성 판단	- 외관조사, 내구성조사, 상태평가 ⇒ 안전점검 결과 종합 분석 후 보수·보강 여부 판단
보수·보강 공법의 선정	- 구조물의 기능 및 중요도 - 구조물의 형식과 환경조건 - 보수 후의 요구 내용년수 - 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
보수·보강 우선순위 결정	- 결함, 손상, 열화의 중요도 - 구조적 안전성, 사용성, 내구성

가. 보수·보강 필요성 판단

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

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



<그림 4.1.1> 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

본 구조물은 내구성 확보를 위한 일부 보수가 필요한 상태로 실용상 지장이 없는 성능까지 회복 수준으로 결정한다.

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 성능으로는 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. 부착성과 수축성 등은 보수재료가 구조물과 일체화해서 거동하는 것에 기본이 되는 성능이고, 이것이 불충분한 경우에 이들 재료는 그 본래의 목적을 달성할 수 없다.

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 시판 재료를 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.

라. 보수·보강 우선순위 결정

본 구조물에 필요한 보수·보강의 우선순위는 손상 및 결함의 종류, 성상, 원인, 구조적 안전성 등을 고려하여 보수의 완급성을 판단하여 다음과 같이 정하였다.

<표 4.1.2> 보수·보강방안 및 우선순위 개요

구 분	순 위	내 용
단 기	1순위	·‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’ 제11조 ①항, 동법 시행령 제12조에서는 “대통령령이 정하는 중대한 결함” ·주요부재에 발생된 결함 및 손상이 상태평가 기준 “d”이하인 경우 ·철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나, 부식가능성이 큰 경우
중 기	2순위	·보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우 ·내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우 ·상부 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상
장 기	3순위	·기능발휘에는 지장이 없으나, 내구성 증진을 위해 보수가 필요한 경우 (방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성을 위해 보수가 필요한 경우) ·현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책
	주의관찰	·발생된 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우

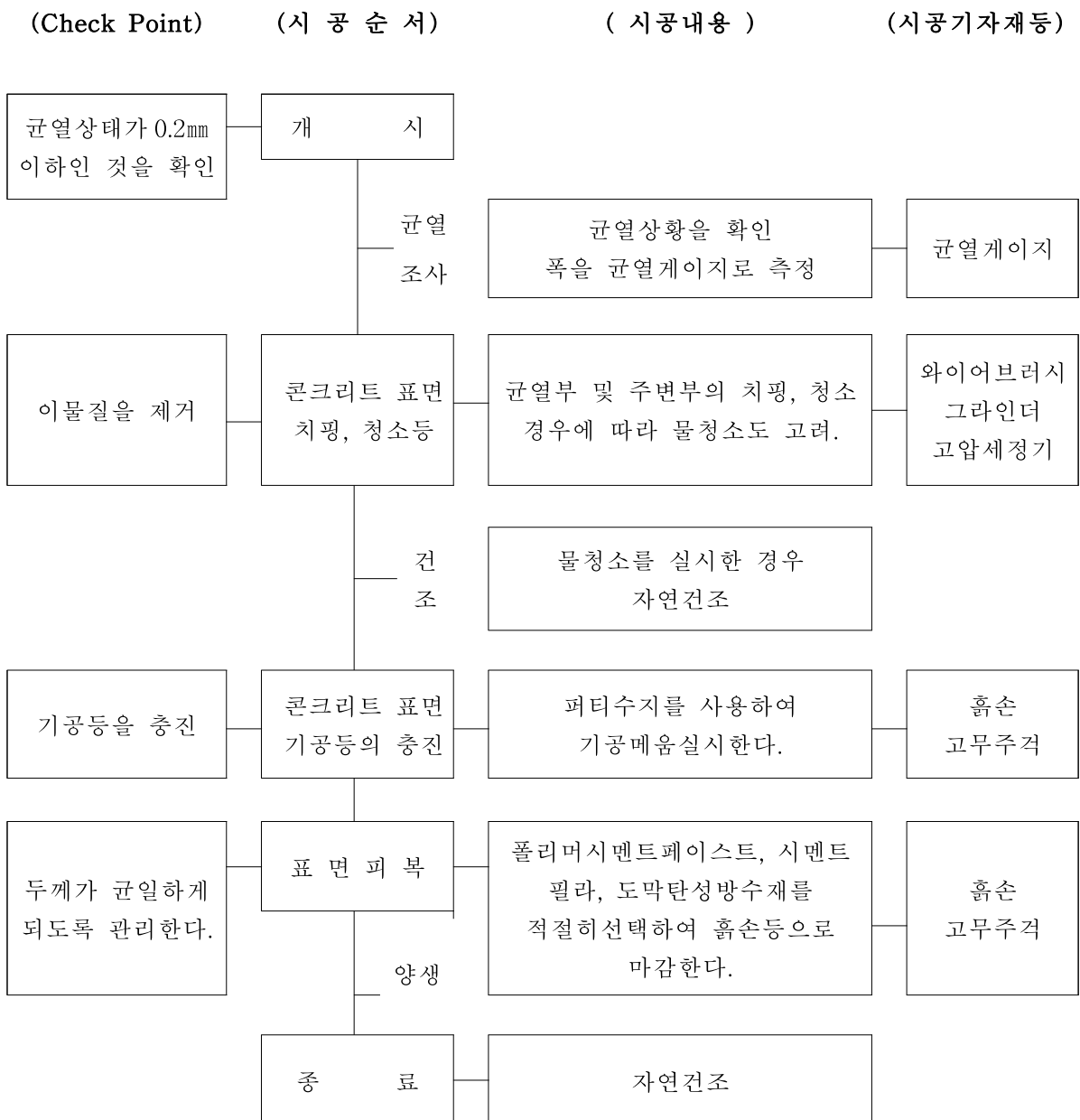
4.2 보수·보강 방안

4.2.1 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강방법

가. 균열보수방안

1) 표면처리 보수

본 과업에서의 균열폭 0.3mm미만의 균열 및 망상균열이 발생한 구간은 향후 균열표면처리 보수시 본 공법을 적용하여 보수를 실시하며, 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다. 균열표면처리공법의 흐름도 및 공법 개요도는 다음과 같다.



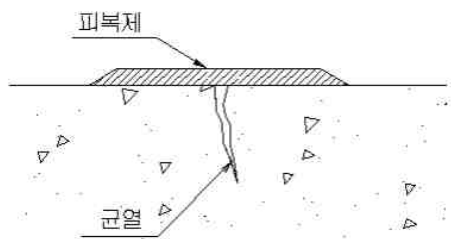
<그림 4.2.1> 표면처리 공법 시공 흐름도

균열의 성장이 정지된 상태에서는 <그림 4.2.2>의 좌측과 같이 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100mm를 와이어 브러쉬로 닦아내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 0.3mm이하의 미세한 균열이 많이 분포해 있는 경우도 같은 방법으로 도포할 수 있으며, 재료를 기계로 분무하여 도포할 수도 있다.

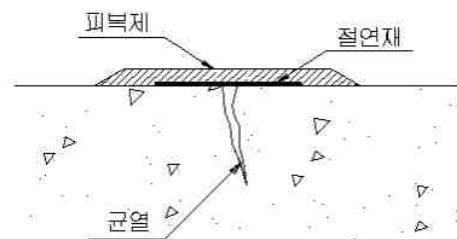
균열 폭의 변동이 큰 경우 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로 <그림 4.2.2> 우측과 같이 균열 면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15mm 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50mm, 두께 2~4mm의 변형성 및 신장성이 큰 실링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

[사용재료]

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ① 폴리머시멘트 페이스트 | ② 시멘트 필라 |
| ③ 도막탄성방수재 (아크릴 수지계) | ④ 도막탄성방수재 (우레탄 수지계) |



(표면처리공법)



(균열폭의 변동이 큰 경우의 표면처리공법 일례)

<그림 4.2.2> 균열부 표면처리 공법 개요도

2) 주입보수

주입보수는 외관조사에 조사된 균열 중 폭이 0.3mm를 초과하는 경우에 활용하는 것으로 하며 표면 및 단면보수 부위라도 균열 폭이 큰 경우 적용하여야 한다. 균열부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식 방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안정성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열 폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용한다.

<표 4.2.1> 수지주입 공법의 종류

압 입 식
· 수동식 주입 : 인력 · 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 · 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력
흡 입 식
· 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

(1) 수지주입 공법의 선정

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식 및 저압·저속식 주입 방법이 있으며 <표 4.2.1>은 주입공법의 종류이다.

종래에는 수동식 기계주입 방법이 많이 이용되고 있으나, 이 방법은 주입량을 정확하게 파악할 수 없으며, 관통하지 않은 균열은 구석까지 보수재료를 주입하기가 곤란하다. 또한 주입압력이 너무 높으면 균열을 넓혀 주는 등의 문제점이 있다. 따라서, <표 4.2.2>의 저압·저속 주입의 압입식 공법이 주요하며, 저압·저속의 주입공법은 주입량 파악이 쉬우며, 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있다.

<표 4.2.2> 저압·저속식 주입방법

압 입 방 식	용기의 형태
압축용기에서의 압축공기로 주입	플라스틱제의 실린더
압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	플라스틱제의 압력탱크
고무시트의 복원력으로 주입	플라스틱제 틀에 고무시트를 고정
고무밴드의 복원력으로 주입	플라스틱제 실린더와 피스톤
캡슐내의 용수철로 주입	플라스틱제 캡슐 탱크

(2) 압입식 수지주입 공법 선정

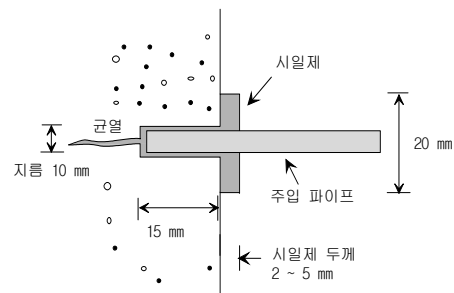
이 공법은 균열 위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 압입방식은 <표 4.2.2>와 같다.

<표 4.2.3> 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

<표 4.2.4> 균열폭에 따른 주입파이프의 간격

균열폭	주입파이프 간격(mm)
0.3 이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300



<그림 4.2.3> 주입파이프 설치도

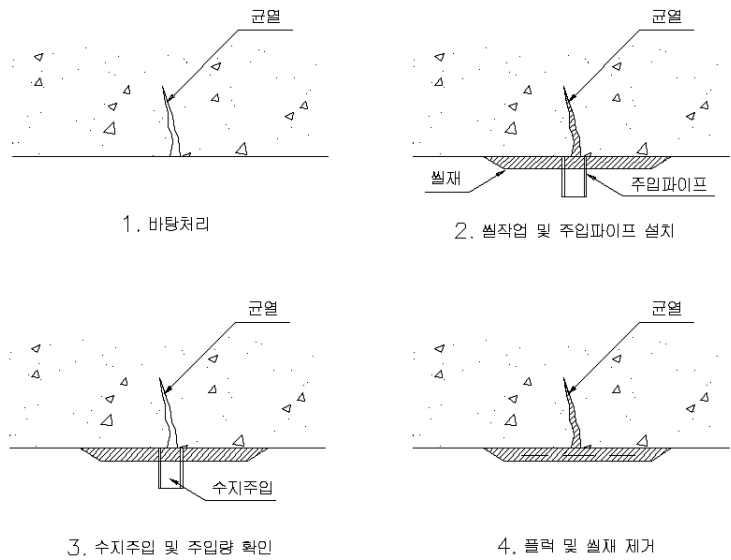
이 공법을 적용함에 있어서는 시공위치, 시공시기에 맞는 작업시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하고, 균열폭에 알맞은 수지의 점성도는 <표 4.2.3>과 같으며, 일반적인 주입 파이프의 간격과 설치 개요는 <표 4.2.4>, <그림 4.2.3>와 같다.

(3) 압입식 수지주입 공법 특징

수지가 들어 있는 용기를 균열 위에 설치하므로 사람의 손을 필요로 하지 않고, 용기 높이의 저압력에 의해 자동으로 주입되므로 압력에 의한 실링부의 파손도 적어 시공관리가 용이하다. 그리고, 주입되는 수지의 거동은 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 발생되지 않는다.

주입압력은 4kgf/cm² 이하로 규정되어 있으나 실제로는 1kgf/cm² 전후가 사용된다. 주입제는 에폭시수지 이외에도 무기질계의 슬러리도 사용할 수 있으며, 무기질계 슬러리는 습윤 환경하에서도 사용이 가능하다. 반면에 주입기에 여분의 주입재료가 남아 재료의 손실이 큰 단점이 있다.

수지주입공법의 흐름도 및 공법개요도는 <그림 4.2.4>, <그림 4.2.5>과 같고, 수지계 주입재의 특징은 <표 4.2.5>과 같다.



<그림 4.2.4> 균열 수지주입 공법 개요도

(Check Point)	(시 공 순 서)	(시 공 내 용)	(시공기자재등)
균열폭 측정 및 표식	균열 조사	균열상황 확인 폭을 균열게이지로 측정	균열게이지
주입구가 청소에 의해 메워지지 않도록 주의	균열부 표면청소	주입구 주변 청소	와이어브러시 그라인더 드릴
	주입파이프 고정	주입파이프 간격 확인(100~200 mm), 주입파이프 접착 밀도 확인	스케일 등
썰재의 접착을 전고하게 양생(가장 중요)	비주입부위 균열의 썰링		흡손 등
진행성 균열의 경우는 가소성 에폭시수지의 사용을 검토	전용 펌프로 천천히 주입		주입용 펌프
	주입양 확인 양 생		
시공전의 상태에 근 접하게 제거	주입파이프 썰재 제거 작업종료		망치, 끌, 정 드라이버 등

<그림 4.2.5> 수지주입 공법 시공 흐름도

<표 4.2.5> 수지계 주입재의 특징

재료명	주요 성분	특징·용도
에폭시 수지계 균열주입재	에폭시수지	· 균열, 추종성이 양호 · 적용가능 균열 폭은 0.2~2.0mm
	유연형 에폭시수지	· 경화물의 유연성이 풍부하여 진행성 균열에 적합 · 균열 및 알칼리골재반응의 성능저하 보수에 적합
	자기유화형 에폭시수지	· 수중경화, 콘크리트 중의 수분과 반응 · 강도특성이 뛰어남 · 균열 폭 0.15mm 이상에 적용
	에폭시수지, 포틀랜드 시멘트	· 수중경화형 에폭시수지와 시멘트의 반응으로 발포 · 적용 균열 폭 1mm~10mm
실런트계 충전재	우레탄수지	· 단일성분으로 작업성이 뛰어남 · 탄성계수가 작아 균열 추종성이 양호 · 구조물의 신축 줄눈부에 사용
폴리머 시멘트계 주입재	에폭시수지계 에밀전 미분말충전재 조강시멘트	· 균열폭 5.0mm 이상에 적용 · 습윤면에 대하여 접착성이 우수 · 알칼리골재반응에 의한 성능저하의 보수에 적합

<표 4.2.6> 수지주입공법의 비교

구 분	제 1 안	제 2 안	제 3 안
	에폭시 수지계 (일반)	폴리머 모르터	수성 에폭시콘크리트
개요도			
공법 개요	콘크리트 균열부위에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법	콘크리트 균열부위에 무기계 재료인 RF슬러리를 주입기를 통하여 주입하는 공법	콘크리트 균열 부위에 유기계+무기계 재료인 수성 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리 → V컷팅 → 주입기 설치 → 균열부 썰링 → 에폭시 주입 → 단면복구	표면처리 → V컷팅 → 주입기 설치 → 균열부 썰링 → RF슬러리주입 → 단면복구	표면처리 → V컷팅 → 주입기 설치 → 균열부 썰링 → 수성 에폭시주입 → 단면복구
특 징	- 습윤면 시공 가능 - 시공성이 좋다 - 경화속도가 빠르다. - 주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입할 수 있다 - 가장 일반적으로 쓰이는 공법으로 실적이 많다	- 모체와 탄성계수, 열팽창 계수가 동일하여 재균열 발생 가능성 적음 - 모체와 일체화 가능 - 기존의 콘크리트 구조와 동일한 구조거동을 하며, 재탈락의 현상 없음 - 습윤면 시공 불가능 - 저점도이므로 균열폭이 작으면 주입이 되지 않는다.	- 미세 균열주위 콘크리트 강도 증가 - 내지하수, 내해수, 내약품성, 화학적 침식성 우수 - 경화속도가 무기계에 비해 빠르다 - 물성치가 콘크리트와 상이 함으로 온도 및 하중변화에 의한 재균열 발생 우려

(4) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

보수부 콘크리트의 표면 온도는 10℃이상을 표준으로 하고 있으므로 기온차가 심한 경우에는 기온의 변화에 대응하는 에폭시계 수지의 성상을 조사하여 두고 겨울철 부득이 시공하는 경우에는 가열양생 등의 조치를 생각할 필요가 있다.

<표 4.2.6> 수지주입공법의 비교-계속

구 분	제 4 안	제 5 안	제 6 안
	그라우트(에폭시수지계)	습식 에폭시수지계	무색 에폭시수지계
개요도			
공법 개요	콘크리트 균열 부위에 초미립자 무기계 슬러리를 주입기를 통하여 주입하는 공법	내부 균열까지 침투성이 큰 저점도 Epoxy수지를 가압 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 에폭시 주입공법	1차로 주입기의 압력에 의해 고압으로 주입되고 2차로 에폭시 탱크의 잔류량이 보일의 법칙에 의해 저압으로 주입되므로 세밀한 균열보강액 주입 가능한 공법
시공 방법	표면처리→V컷팅→주입좌대 고정→균열부실링→초미립자 무기계→슬러리주입→단면복구	표면처리→주입구선정→균열부위 씰링→고정판설치→에폭시주입→표면정리	균열부위 면처리→에어컨 먼지제거→균열부실링→고정체부착→실린더 고정판에 부착→슈퍼인젝터를 실린더에 부착후 주입→고정대 제거 후 마감.
특 징	- 무기계 재료로서 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 온도, 하중변화에 의한 재균열 발생가능성이 없음 - 습윤면 시공불가능 - 균열부 콘크리트 방청, 중성화 및 염해방지 기능이 있음 - 공정이 다소 복잡하여 시공 전문가 필요	- 주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입할 수 있음. - 건식, 습식, 수중 시공이 가능. - 균열의 표면뿐만 아니라, 내부균열 깊숙이 주입이 가능. - 압력조절에 주의가 요망되며, 압력 이 클 경우 균열이 확대되어 버림.	- 각각의 시공 부위에 따라 슈퍼인젝터의 각도를 조절하면 완벽한 주입가능. - 자체의 압력조절이 가능하여 상황에 따라 적당한 압력으로 주입 가능. - 약품이 역류되지 않아 시공면이 오염되지 않음. - 시공이 매우 용이하여 시공비가 저렴하다. - 사용년수 증가시 접착력이 떨어질 수 있다.

② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

일반적으로 에폭시계 수지의 경화시간이란 접착제를 혼합해서 충분한 접착강도가 보증되는 작업 가능시까지의 시간을 말하나 기온, 혼합량의 대소 등에 따라서도 다르므로 주의해야 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 롯트마다 시험을 실시하여 품질의 확인이 필요하다.

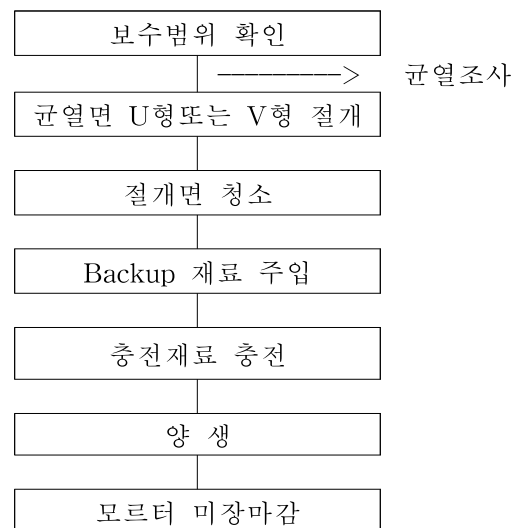
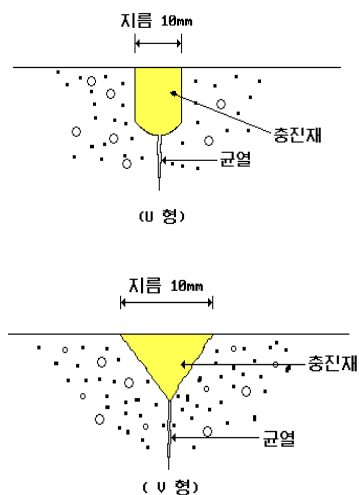
④ 썰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 썰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 마무리한다.

3) 충전공법

충전공법은 균열의 폭이 0.5mm 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되어 있는 경우와 부식되지 않은 경우에 따라 보수방법이 다르다. 충전공법에는 철근이 부식되지 않은 경우, 철근이 부식되어 있는 경우, U커트 실링재 충전공법, 결합부위 에폭시수지 모르터 충전공법 그리고 결합부위 폴리머 시멘트 모르터 충전공법 등이 있다.

◆철근이 부식되지 않은 경우



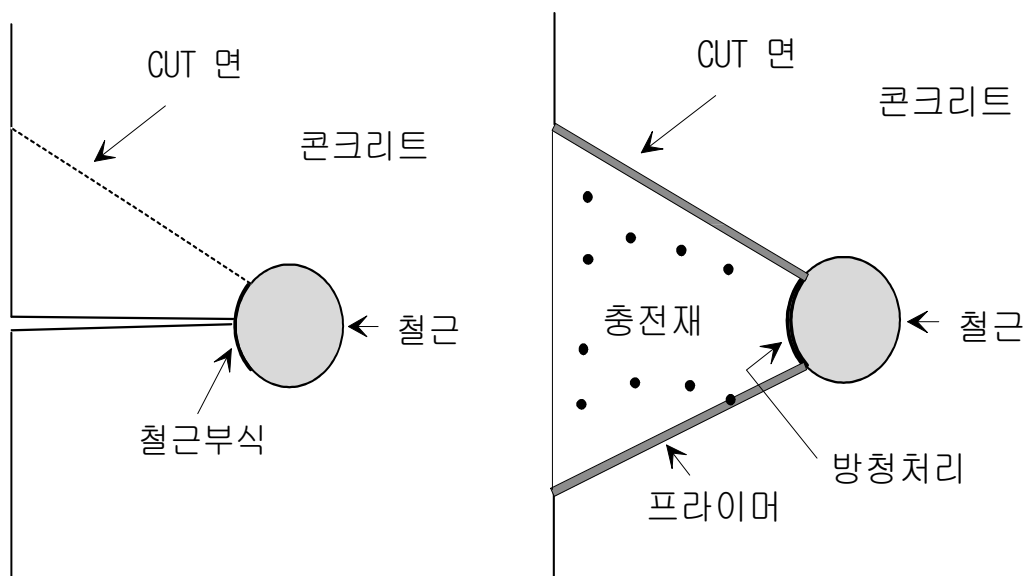
<그림 4.2.6> 철근이 부식하지 않는 경우의 충전공법 및 시공흐름

철근이 부식되지 않은 경우는 <그림 4.2.6>과 같이 균열을 따라 약 10 mm 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 절개한 후, 이 부위에 실링재·유연성 에폭시수지 또는 폴리머 시멘트 모르타 등을 충전하여 보수한다. V형으로 절개하는 방법은 간편하지만 폴리머 시멘트 모르타를 충전하는 경우 충전한 모르타의 박리가 발생하기 쉽기 때문에 U형으로 절개하는 방법이 보다 효과적이다.

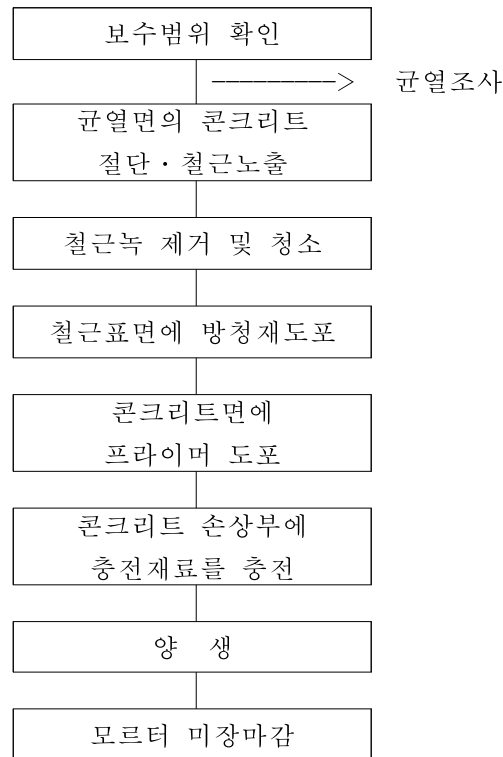
◆철근이 부식된 경우

철근이 부식된 경우의 충전공법은 <그림 4.2.7>과 같이 부식된 철근부위까지 콘크리트를 깨내고 철근의 녹을 완전히 제거한다. 철근에 대한 방청처리와 콘크리트면에 대한 프라이머 도포후 폴리머 시멘트 모르타나 에폭시수지 모르타 등의 재료로 충전하는 순서로 시공하며 보수 순서는 <그림 4.2.8>와 같다.

이 방법은 철근이 부식된 경우 철근콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 하는 균열보수의 주된 방법으로 환경조건에 따라 여러 가지의 재료 및 공법이 사용될 수 있다. 철근이 부식된 경우의 충전공법은 크게 보수재료에 의해 물리적으로 부식을 방지하는 방법, 콘크리트에 알칼리성을 부가하여 화학적으로 부식을 방지하는 방법 및 이 두 가지의 혼용방법 등 3가지로 분류될 수 있다.



<그림 4.2.7> 철근이 부식된 경우의 충전공법



<그림 4.2.8> 철근이 부식된 경우의 충전공법의 흐름도

철근이 부식된 경우의 보수에는 다음 사항을 고려해야 한다. 첫째, 부식된 철근의 녹을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다. 둘째, 균열이 발생되지 않은 부분의 철근도 부식하는 경우가 많기 때문에 그 부분을 포함하여 보수한다. 셋째, 균열이 진행성이면 균열폭이 증가되는 경우가 많이 있기 때문에 변형에 대한 유연성이 큰 보수재료를 사용한다. 이상에서 언급한 공법에 사용하는 재료로서는 일반적으로 콘크리트는 타설 후 수년이 지나도 수분을 함유하는 재료이므로 균열면은 항상 습윤 상태로 있는 것이 많다. 이같은 경우는 습윤 균열 전용으로 개발된 에폭시 수지계 보수재료를 이용하는 것이 바람직하다. 시멘트계 보수재료는 현재 주입성능이 합성수지계에 비해 떨어지나 수경성이므로 습윤면의 시공에 적합하고 내구성, 내화성이 우수하여 화재 발생시 등에 유리하다.

나. 단면복구 공법

1) 개요

단면복구공법은 콘크리트 구체에 발생된 재료분리, 철근노출, 박리·박락, 표면 열화 등의 손상부위를 제거하고, 철근의 부식이 진행된 경우에는 방청처리를 실시한 후 적절한 보수재료를 통하여 제거된 단면을 원래대로 복원하는 공법이다.

보수 전 조사항목은 열화·손상의 깊이, 내부 철근의 부식여부 및 부식정도, 콘크리트의 탄산화상태, 염화물 함유량, 균열의 발생 및 진전 상태 등이며, 본 교량에서는 상기한 결합 중 콘크리트 파손부, 철근노출 등에 대한 보수방법으로 사용한다.

2) 단면보수 시공순서 및 개요도

① 표면처리

콘크리트 표면에 탈락되려고 하거나 심한 균열로 약간의 물리적 충격으로도 탈락이 예상되는 부분은 모두 철거해야 한다.

철근이 노출되어 있는 경우에는 철근 후면 약 2~3cm까지 콘크리트를 제거하여 완전 노출시키며 와이어 브러쉬(Wire Brush) 또는 전기 브러쉬 등으로 녹을 완전히 제거한다.

② 표면청소

콘크리트 표면처리 후 고압 살수기를 이용하여 표면을 고압 세척한다.

(고압세척의 압력은 노즐 TIP에서 5,000 psi(350kgf/cm²)의 압력으로 한다.)

③ 철근부식방지

철근부식 방지를 위해 방청제를 도포하며, 철근의 방식성, 단면보수재 및 철근과의 부착성이 좋은 재료를 사용하여야 한다.

㉠ 노출된 철근은 가능한 건조상태에 붓을 사용하여 도포한다.

㉡ 도포 시 철근 표면에 과다하게 칠하지 말아야한다.

㉢ 철근방청제 도포는 2~3회 시공한다.

④ 접착력 강화

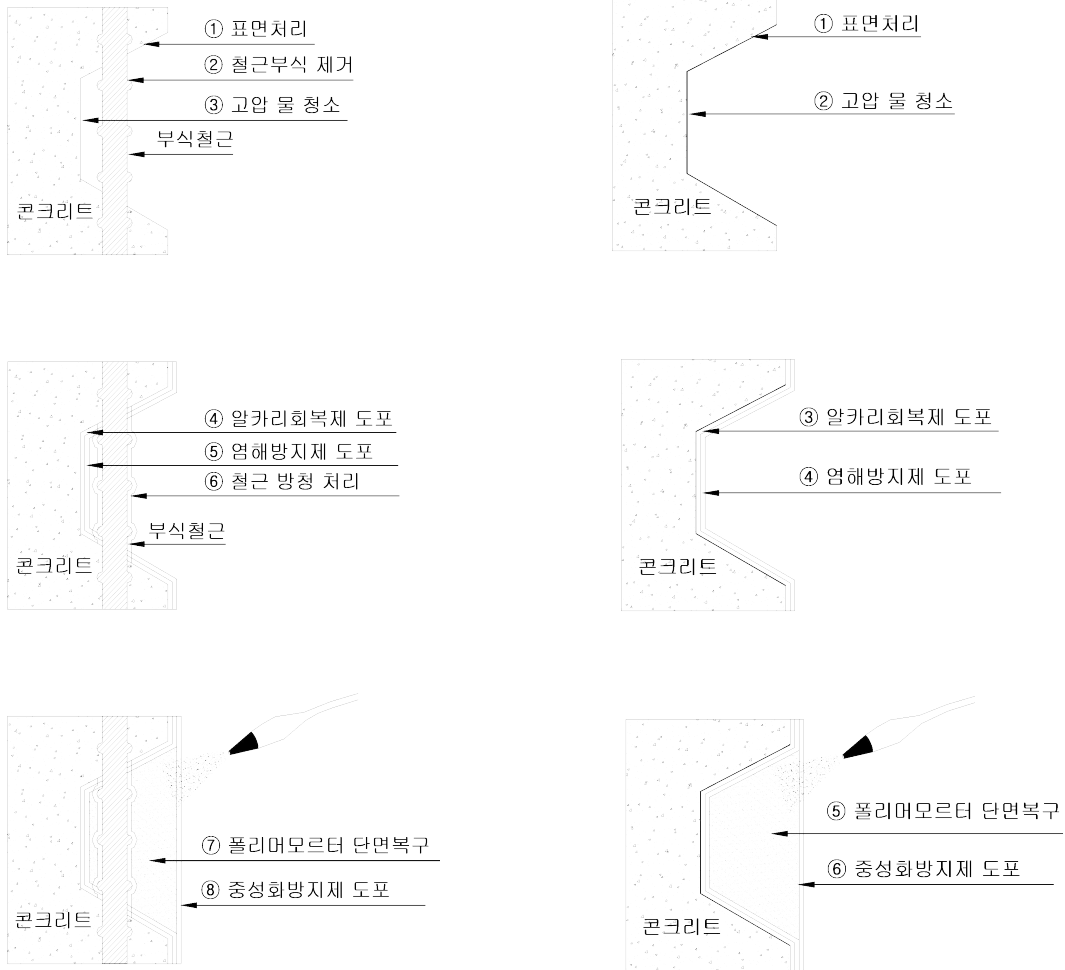
신·구 재료의 접착력 강화를 위하여 붓이나 에어 스프레이 건을 사용하여 접착제를 균일하게 도포 한다. 콘크리트면과 밀착성이 뛰어나고 탄성계수, 열팽창계수, PH 등이 비슷한 규산염계, 폴리머 계통 접착제 등 사용한다.

⑤ 단면 보수재

깨끗한 담수를 사용해서 폴리머 시멘트 모르타르를 혼합한다.

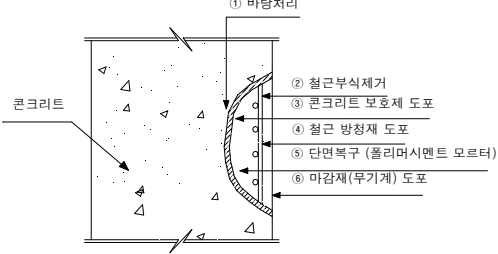
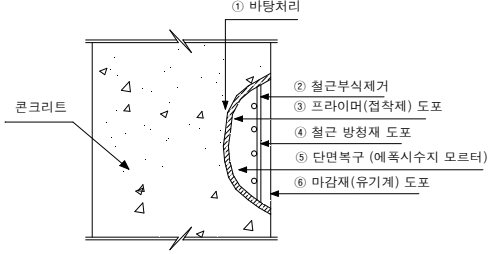
시공 전에 콘크리트 표면을 물로 약간 적신 후 폴리머 시멘트 모르타르를 타설한다.

타설은 흙손이나 스프레이로 가능하다

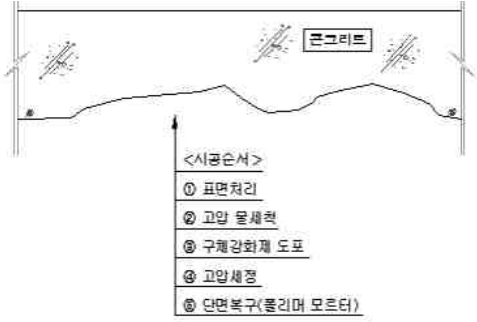


<그림 4.2.9> 단면보수 순서도

<표 4.2.7> 단면복구공법 비교안

구 분	제 1 안 폴리머시멘트 모르터 공법	제 2 안 에폭시수지 모르터 공법
개요도		
공법 개요	콘크리트 손상부위 및 철근 부식부를 제거하고 콘크리트 보호재를 도포한 후 철근을 방청하고 무기계인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법	콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기계인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법
시공 방법	치핑/고압수 세척 → 철근의 부식제거 → 콘크리트 보호재(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면복구 → 마감재(무기계) 도포	치핑/고압수 세척 → 철근의 부식제거 → 프라이머(접착제) 도포 → 에폭시수지 모르터로 단면복구 → 마감재(유기계) 도포
장점	- 철근의 방청효과가 우수하고 재부식 확률이 없음 - 철근 노출부 보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 - 폴리머시멘트의 사용으로 콘크리트 탄산화 방지 효과가 우수 - 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤 지역 시공이 가능	- 인장, 휨강도가 콘크리트보다 우수 - 재료 자체의 접착성 및 내마모성이 우수 - 경화시간이 빠름
단점	- 일반적으로 한번의 시공두께가 얇기 때문에 목표두께가 두꺼울 경우 공정이 증가함 - 보통 형식의 것은 경화시간이 늦고 공기가 길어짐	- 방청효과가 확실하지 않음 - 유기계 재료로서 통기성이 없으므로 재부식 발생 우려 - 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어져 품질관리가 어려움

<표 4.2.7> 단면복구공법 비교안(계속)

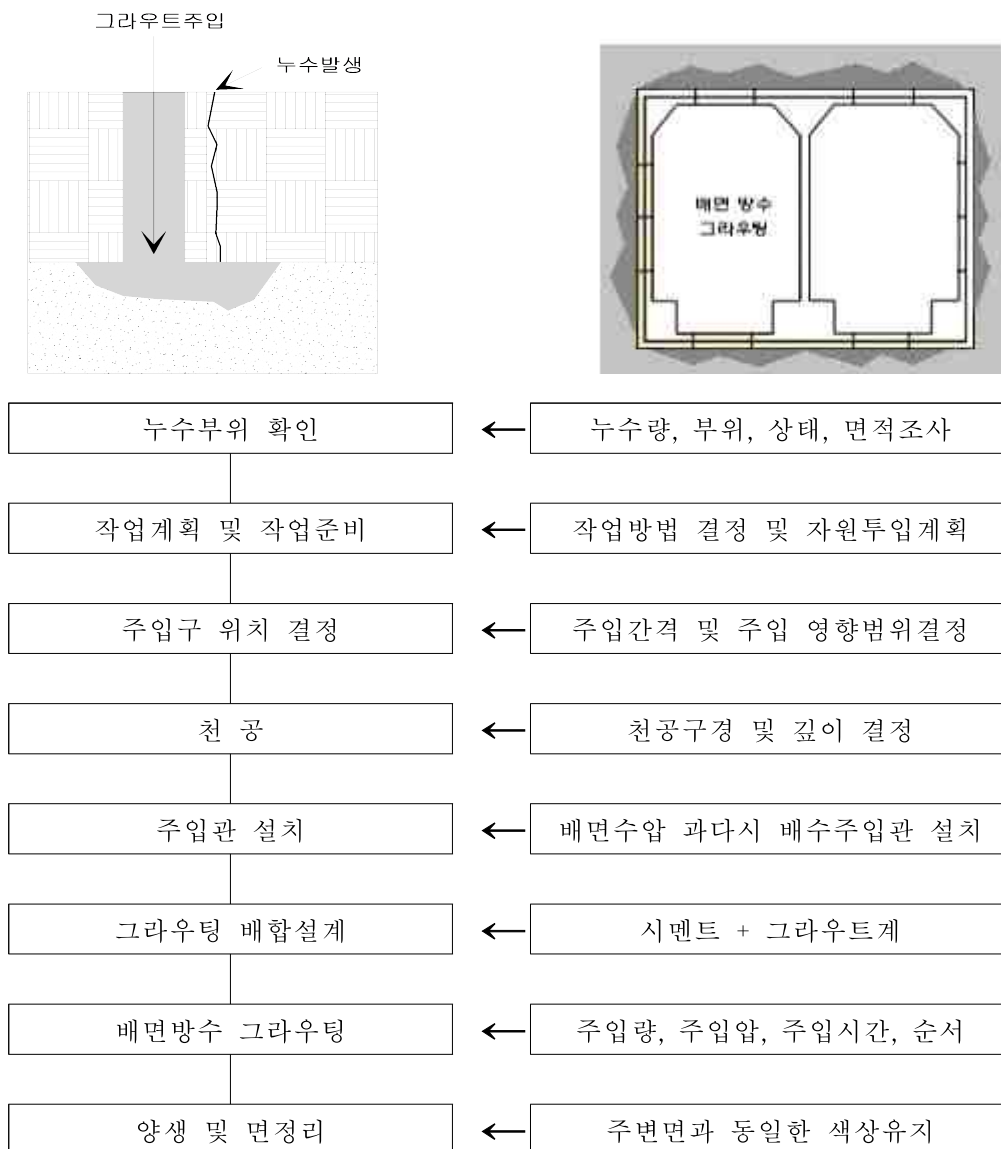
구 분	리코시스템	CAM SYSTEM
신기술 명칭	◦ 시멘트 모르타르의 성능 최적화 및 균열 제어를 위한 보강 섬유의 균등분산용 특수 분사장치를 사용하는 열화 콘크리트 보수 공법	◦ 알파형 반수석고를 이용한 시멘트 조성물 및 이를 이용한 시공방법
개요도		
공법 개요	◦ 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 조직을 치밀화하여, 내구성 및 강도를 증진시키고 구조물 표면에 물리, 화학적 성능이 우수한 방호막을 형성하여, 구조물의 내구성(탄산화, 염해, 방수, 방식)증진 및 오염방지 기능이 우수한 수용성 친환경 보수공법	◦ 콘크리트의 열화 또는 중성화, 철근의 부식을 화학적 방법을 통하여 철근의 부식을 중지시키고 열화, 균열 및 오염된 콘크리트를 새 콘크리트로 환원하여 콘크리트의 내구성을 향상시키는 공법
장 점	◦ 시공 공정이 간단(수용성, 속건형, 일액형 타입) ◦ 염해, 탄산화 방지및강재 방식성능 우수 ◦ 오염방지 기능으로 미관개선 효과 우수 ◦ 내굴곡성과 균열 추종 기능이 우수하며, 미세균열 자가치유 ◦ 동절기에도 유연성과 탄성을 보유함으로써 장기 내구성 유지 ◦ 부착강도 우수	◦ 무기계 재료로서 습윤면 시공 가능 ◦ 폴리머 모르타르로 건조수축균열 억제 ◦ 구체강화제를 도포하여 열화 콘크리트의 알칼리화, 표면강도증가 및 중성화 억제 가능 ◦ PVA섬유 혼입으로 인성 및 휨강도 증대
단 점	◦ 무기질 세라믹 필러 함량이 높아 충분히 교반을 하여야 함 ◦ 시공에 대한 기초 지식이 필요함	◦ 다단계 시공으로 단계별 품질관리가 필요 ◦ 시공 전문가 필요

<표 4.2.7> 단면복구공법 비교안(계속)

구 분	CROS 공법	E.G프로텍트 공법
신기술 명칭	방청복합알칼리회복제 및 아질산계분말 방청제가 혼입된 폴리머시멘트모르타르를 이용한 손상된 RC구조물의 보수공법	마이크로 세라믹 파우더와 재분산성수용성 폴리머등 첨가제가 함유된 무기계로서 시멘트의 강성과 재분산성 수용성 폴리머의 신축성을 함께 가지는 공법
개요도		
공법 개요	방청복합 알칼리회복제와 아질산계 분말 방청제 혼입 폴리머 시멘트 모르타르를 병용사용하여 중성화 및 염해 등에 의해 손상된 RC구조물을 보수하는 공법	열화된 단면을 전용프라이머 도포후 염선된 규사, fiber, 특수첨가제가 들어간 MAXCON 700 모르타르로 단면복구 후 마이크로 세라믹 파우더와 재분산성 수용성 폴리머등 첨가제가 함유된 무기(시멘트)계인 E.G프로텍터로 코팅위에 H.B 코트로 마감하여 열화된 구조물의 단면복구 및 중성화를 방지하는 공법
장 점	- 부식철근 아질산 방청성분에 의한 철근 부동태 재생, 방청 - 콘크리트 표면 강화 - 환경친화적인 수성제품	- 점성, 방수성, 내구성이 우수 - 염화물이 포함되어 있지 않음 - 열팽창계수가 콘크리트와 비슷하여 층간 박리가 없음 - 플라스틱 단섬유를 포함하고 있어 두꺼운 부위도 한번에 시공가능
단 점	- 시공실적 적음 - 습윤면의 부착이 다소 어려움 - 공정이 복잡함 - 손미장에 의한 천장부위 품질확보 난이	5℃이하에서는 작업이 곤란 - 재료특성상 전문시공 필요

다. 배면 주입공법

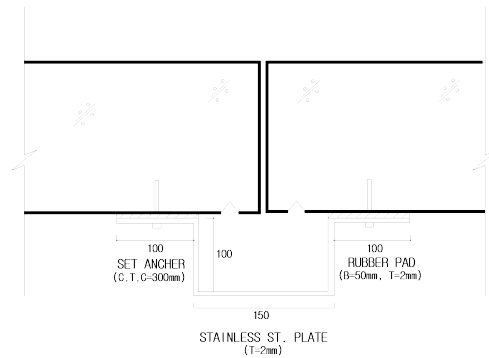
배면 방수 주입공법은 누수면적이 넓으면서 누수발생 위치가 불분명하고 산발적으로 스며 나오는 누수문제 대한 보수·보강 공법이다. 배면 방수 쉬트가 파손되었던지 배면의 방수상태 불량으로 지하수가 침투되어 구조물 내부로 누수가 발생할 때 구조물 내부에서 구조체를 토사층까지 천공, 주입하여 배면토사층을 고결시키고 지하수 유속이 없도록 지반을 불투수층화시켜 배면의 파손된 방수층을 보호하게 된다. 또한, 배면에 주입된 그라우트의 주입압과 지하수로 인한 수압이 구조물에 대한 침투 압력을 증가시켜 수밀치 못한 콘크리트에서 각종 누수 원인에 따라 배면 그라우팅 주입액이 구조물 내부로 유입되어 그라우트에 의하여 유로가 막혀 공극이 충전되므로 수밀 콘크리트가 되어 방수가 되는 것이다.



<그림 4.2.10> 배면 주입방수 공법의 개요

라. 유도배수관 설치

시공이음부에서 누수가 발생하는 부위는 <그림 4.2.11>와 같이 동판 또는 F.R.P 판넬로 유도배수공을 설치하여 누수되는 물을 유도배수 처리하는 방법은 다음과 같다.



<그림 4.2.11> 유도배수관 설치 단면도

마. 누수보수공법의 적용성 검토

<표 4.2.8> 누수보수공법의 적용성 검토

구분	충전주입공법	배면주입공법	유도배수
공법 개요	· 단면(구체) 내부에 방수층 형성	· 배면부에 방수층을 형성하는 공법	· 유입되는 지하수를 배수 처리하는 공법
장점	· 배면주입에 비해 공사비 저렴 · 국부적인 누수결함에 유리	· 배면부의 손상된 방수층 재형성 가능 · 누수 재발생 가능성 없음 · 누수면적이 넓으면서, 산발적인 누수결함에 유리	· 시공이 간단함 · 공사비 저렴 · 행후 유지보수가 용이함 · 단면결손을 유발하지 않음
단점	· 배면부의 손상된 방수층 재형성이 어려움 · 누수 재발생 가능성 있음 · 누수 면적이 넓을 경우 불리	· 공사비 많이 소요(배면부 공동 및 공극) · 누수면적이 넓지 않을 경우 공사비 과다 투입될 가능성 있음	· 미관성 저하
적용성	· 균열부 누수 · 시공이음부 누수 · 면상누수(구체 누수)	· 균열부 누수 · 시공이음부 누수 · 면상누수(구체 누수) · Joint부 누수	· Joint부 누수 · 누수량이 다소 많은 곳
적용 순서	· 누수부 충전주입 → 누수여부 확인 → 배면주입공법 적용 · 유도배수 → 누수량이 다소 많은 곳(Joint부)		

- 1) 라이닝의 누수에 대하여 1차적으로 충전주입공법 적용 재 누수여부를 확인 - 2차적으로 배면주입에 의한 공법을 적용
- 2) 1차적으로 충전주입공법시 국부적으로 미세균열부에 주입이 충실히 되지 않아 미세균열부에서 누수가 재발생되는 가능성이 있으므로 시공시 숙련된 작업공에 의하여 보수가 시행되어 정밀한 시공이 이루어져야 함.
- 3) 누수량이 다소 많이 발생하는 곳은 유도배수를 통한 보수가 이루어져야 함.

바. 포장부 보수방안

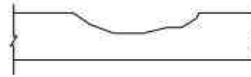
1) 개요

아스팔트 포장도로는 지형, 기후 그리고 교통량에 따라 엄격하게 설계되지만 차량 운하 중의 반복작용과 온도변화에 의한 수축·팽창 작용 및 기층의 변화상태에 의해 설계에 관계없이 점차 노화하기 시작하며 특히 아스팔트에 포함된 가소성분, 아스팔트 성분은 산화작용으로 경화되며 교통량에 따른 중압과 온도변화로 탄성력이 작아져 균열이 진행된다.

2) 아스팔트콘크리트 패칭 보수공법

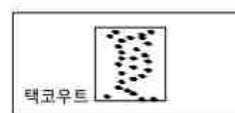
아스팔트콘크리트 패칭 보수공법은 국부적인 포트홀 부분적인 균열 등에 적용하는 공법으로서 손상된 교면포장을 국부적으로 재시공하는 방법이다 이러한 소규모 패칭 공사 시 기존 아스팔트콘크리트와 접착불량에 주의하여야 재 손상을 방지할 수 있다. 전면 재포장 공사 이전 포트홀 등 발생시 긴급공사 개념으로 적용이 바람직하다.

(1) 아스팔트 손상



손상부절취

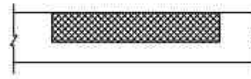
(2) 아스팔트 절취 및 택코우트



깨끗이 청소

택코우트 실시

(3) 새로운 아스팔트 팻칭



가열혼합물 투입

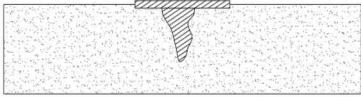
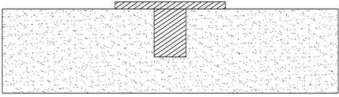
마감 처리

<그림 4.2.12> 아스팔트콘크리트 패칭공법의 시공 개요도

3) 아스팔트콘크리트 균열부 실링처리공법

중횡방향 균열 및 시공이음부와 같이 갈라진 부위에 적용하는 공법으로 아스팔트 재료를 균열부 틈새에 실링 처리하여 균열부로의 우수유입을 차단하는 방법이다. 크게는 커팅후 실링하는 방안과 커팅을 하지 않고 아스팔트 유제 등을 주입하는 방법이 있다.

<표 4.2.9> 아스팔트 실링처리공법 비교

구분	Injection Type(Filling, NO Cutting)	T Type(Sealing, Cutting)
공법개요	컷팅작업 없이 시공하므로 시공속도가 빠르고 경제적이며 균열의 폭이 좁고 깊이가 낮아 상대적으로 이물질이 적게 침투되어 있는 균열이나 초기균열보수에 적합	발달된 균열의 진행방향에 따라 컷팅 작업을 하여 침투되어 있는 이물질을 완전히 제거할 수 있어 균열과 시공면 접촉부의 접착강도가 증진됨 균열의 폭이 크고 깊이가 깊은 곳에 적합
시공규격	균열폭 : 1.0cm 이하 깊이 : 1.0~2.0cm 이하	균열폭 : 1.0~4.0cm 깊이 : 2.0~3.0cm
개요도		

4) 교면 재료장 방안 비교

<표 4.2.10> 교면포장 공법비교표

구분	SBS PMA	밀입도 #67, #78 (기존 포장)	LMC (Latex Modified Concrete)
공법 개요	- 일반 AP와 열가소성 폴리머인 SBS를분자 결합시켜 탄성회복력과 박리저항성이 대폭 향상된 고성능고분자 개질아스팔트 - 굵은골재:잔골재 = 50:50(밀입도)	- 가장 일반적인 포장공법 - 최근 AP-3 → AP-5 로 AP규격 변경(소성변형 방지차원) - 굵은골재:잔골재 = 50:50(밀입도)	스티렌과 부타디엔 성분 의 폴리머와 라텍스를 혼입한 개질 콘크리트 (LMC, Latex Modified Concrete)
적용 단면	표층 및 중간층, 기층	표층 및 중간층	방수층, 포장층
혼합물 생산	최대골재	19mm ~ 13mm	13mm
	AP함량	5 ~ 6%	-
	생산온도	160 ~ 185℃	-
시공	개질재	SBS를 정유공장에서 혼합 (Pre-mix형태)	라텍스 혼입
	다짐장비/순서	머케덤 → 타이어 → 탄뎀	-
특징	시공특징	온도 및 다짐관리 철저, 시공 대기시간 엄수	모빌릴러로 생산된 LMC를 롤러페이퍼로 마무리
	포장수명	기존포장 대비 2~3배 이상	기존포장 대비 3~5배 이상
장점	소성변형저항성 (동적안정도)	우수 (5,000~6,000회)	보통 (300~700회)
	피로균열저항성 (1축인장재하)	우수 (511,500회)	보통 (23,000회)
	소음감소	보통	보통
	미끄럼 저항	보통	보통(52.2BPN)
장점	- 소성변형 / 균열저항성 우수 - Premixing으로 품질관리 용이 - 기존 아스콘과 생산 및 시공방법 동일 - 교면포장 적용시 균열저항성 우수	- 시공이 용이하고 실적이 많음 - 유지보수가 용이 - 아스콘 단가가 저렴	- 콘크리트 재질 특성으로 소성변형 없음 - 내유동성 및 부착력 증가 - 유지관리비 저렴 - LCC 측면 우수 - 별도 교면방수 불필요
단점	- 아스팔트 저장용 전용탱크가 필요(기존탱크 활용) - 강상판에 적용시 휨추중성이 부족하여 균열발생 우려	- 소성변형에 취약 - 균열 및 박리저항성이 취약 - 보수주기가 짧아 민원 발생	- 중, 횡단 급구배구간 및 곡선구간 적용 곤란함 - 테크피니셔 사용, LMC 양생 등 시공성 다소 불리

4.3 유지관리방안

4.3.1 개요

본 유지관리방안은 시설물에 관한 상세한 유지관리지침을 제시하여 과학적이고 체계적인 유지관리를 도모함에 있다. 터널의 유지관리는 시설물의 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정기점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인할 수 있고 특히, 결함발생 초기에 발견하여 손상 정도에 따라 적절한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 실시되어야 한다. 결함발생 초기에서 보수시기를 놓치면 장기에는 보수하기 어려울 뿐만 아니라 많은 보수비와 보수기간의 장기화로 사용성의 지장과 동시에 물류비 증액의 원인이 된다.

따라서, 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복구하며, 경과시간에 따라 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 시설물의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의깊게 점검하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

또한, 시설물의 유지관리는 시설물의 기능과 사용재료의 성능저하 등을 신속 정확히 조사, 측정, 평가하여 이에 대한 적절한 조치를 취함으로써 사용자의 안전과 원활한 교통흐름을 확보함과 동시에 향후, 유지관리에 필요한 자료를 얻는 것이 목적이며, 세부목적은 다음과 같다.

- 시설물 안전성을 확보하고, 설계목적에 부합되도록 한다.
- 시설물 상태를 체계적이고 주기적으로 기록한다.
- 손상을 조기에 발견하고, 향후 발생될 손상을 예측한다.
- 보수, 보강, 개축 등 의사결정에 필요한 자료를 제공한다.
- 점검결과의 전산관리 등을 통해 합리적인 유지관리 계획을 수립하여, 예산의 최적분배가 가능하게 한다.
- 축적된 점검결과 분석을 통해 향후 설계, 시공될 시설물의 개선을 기대한다.

유지관리의 목적은 다양하지만 그 중에서 가장 기본이 되는 것은 구조물의 현상을 주기적인 현장 점검을 통해 파악하고, 안전성과 사용성에 악영향을 미칠 손상을 예방하거나 조기에 발견하여 적절한 조치를 취함으로써 사용자의 안전을 보장하는 것이다. 축적된 점검자료를 분석하면 시간이 경과함에 따라 변해 가는 구조물의 상태를 예측할 수 있고, 이에 따라 적절한 유지관리 계획을 수립할 수 있게 된다. 또한, 유지관리 측면에서 본 설계, 시공상의 문제점과 개선점이 파악되어 유지관리를 고려한 설계, 시공을 가능케 하고, 결과적으로 구조물의 수명을 연장시킨다.

4.3.2 유지관리업무

가. 일반

효과적인 시설물 관리를 위하여 설계도서를 포함한 필요한 자료를 보관하여야 한다.

(1) 설계도

- ① 시공도서 : 시공도면, 보수·보강도면, 준공내역서, 구조계산서
- ② 제작 및 작업도면 : 붕괴유발부재를 포함한 터널부재의 상세도면
- ③ 준공도면 : 최종도면

(2) 시방서

- 표준시방서 및 전문시방서(보수·보강공사 포함)

(3) 사 진

- ① 전경, 정면, 측면, 주요 결함부, 주요 공정사진

(4) 재료시험

- ① 시공재료 종류, 등급, 품질을 기록한 공장 재료증명서
- ② 품질관리(선정 및 관리시험)기록
- ③ 비파괴 시험자료(재료의 강도 등)

(5) 보수이력

- 보수기간, 보수위치·공법·물량 및 손상종류, 시공회사, 공사비, 참여기술자

(6) 사고기록

- 사고일시, 경위, 부재의 손상 및 보수·보강현황, 인명이나 장비등 손상정도

(7) 시설물관리대장

- ① 시설물에 관한 손상과 보수·보강을 포함한 연도별 점검기록이 포함된 시설물관리기록으로서 관리항목에는 다음과 관련된 사항이 포함된다.

▶ 시설물 구분

- 시설물명, 시설물일련번호, 관리주체, 위치, 이정, 교차코드, 확장구분

▶ 시설물 형식 및 사용재료

▶ 연령 및 공용성

- 착·준공 년월일, 상·하행 차선수, 우회로 연장·경로, 일평균 교통량 등 교통관련기록

▶ 시설물 제원

- ▶ 시설물분류, 내하력 및 통행제한

▶ 시설물 상태 평가

▶ 기 타

② 시설물 관리대장의 변경 작성

▶ 확폭이나 확장의 경우

- 유지보수나 개량작업으로 부재의 강도나 사하중의 변화가 구조물의 상태 또는 내하력을 변화시키는 경우 그에 따른 내하력 계산을 한다.

▶ 사고일시, 경위(원인 및 대책포함), 부재의 손상 및 보수·보강현황

▶ 부착시설 현황(상수도관, 가스관, 통신케이블 등)

▶ 전면 개수시는 기존시설물 대장은 보존하고 재작성

나. 점검 및 진단 자료

(1) 점검 및 진단 이력

① 점검종류 및 일시, 점검자, 관리주체, 점검결과 등 모든 점검/진단활동 관련사항

(2) 점검시 필요조치사항

① 현장점검을 원활히 수행하기 위한 각 시설물의 특성과 부위, 특수장비 목록, 접근방법

② 점검자나 공공 안전확보를 위한 점검시 교통운용계획을 포함한 특별한 사항

③ 기 실시한 점검 및 진단보고서

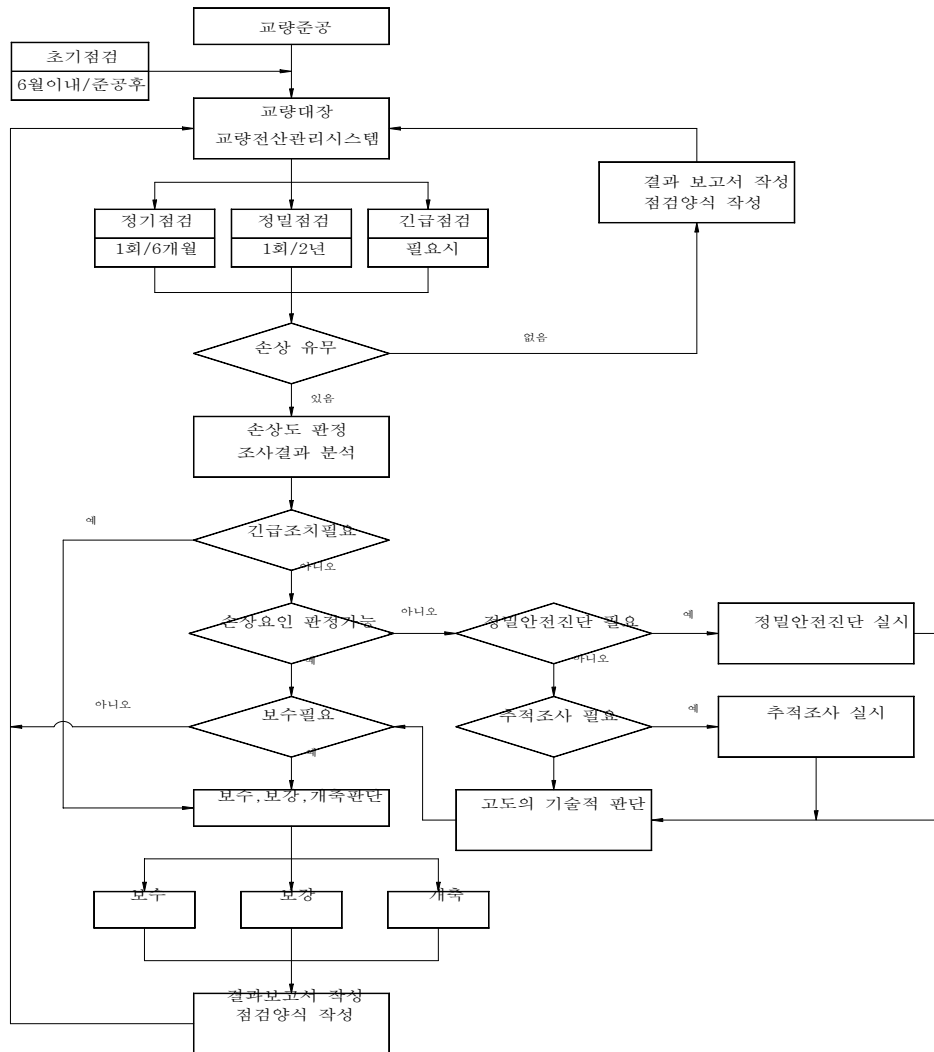
④ 준공도면 등 건설 관련 기록

⑤ 보수·보강 기록이나 사고이력

(3) 점검자료의 갱신

① 시설물관리대장에는 현장조사일시를 명시하며 최종 점검 이후 시설물에서 수행된 주요작업에 대하여 기록한다.

② 유지관리와 개량작업으로 인하여 구조물의 규격이 변경된 경우에도 변경된 치수를 기록한다.



<그림 4.3.1> 유지관리 흐름도

다. 상태 및 안전성 평가 자료

(1) 내하력 평가기록

관리주체는 내하력 평가방법과 종류 및 해석결과, 사용된 계수 등 내하력 결정에 관련된 제반기록을 보관한다.

(2) 계측기록

계측이 필요하다고 판단되는 구간에는 중요한 구조부위를 선정하여 정기적으로 계측을 시행하고 그 기록을 보존한다. 계측을 실시한 경우에는 시설물에 계측지점을 표시·보존함으로써 연계성 있는 계측을 할 수 있도록 도상(圖上)과 계측지점을 일치시켜 기록·보존한다.

라. 유지관리업무 종류와 방법

안전점검은 정기안전점검, 정밀안전점검, 초기안전점검, 긴급안전점검이 있다.

(1) 정기안전점검

손상을 미리 발견하기 위하여 반기별 1회이상 실시하는 순찰과 유사한 성격의 점검으로 도보로 접근이 가능한 부재에 대하여 전반적인 외관상태를 관찰하는 수준으로 실시한다.

(2) 정밀안전점검

시설물의 수명을 연장하기 위하여 2년에 1회 이상 정기적으로 실시하는 점검으로 도보접근이 가능한 부재를 육안이나 간단한 점검장비를 이용하여 실시하되 전반적인 외관상태를 대상으로 한다.

점검은 육안검사와 정기점검에 사용되는 보조기구 외에 카메라, 반발경도 측정기, 균열자, 줄자 등의 간단한 측정기구를 사용하여 영구작업대, 점검통로 또는 점검차를 사용하여 거더 및 바닥판 하부 등 정기점검시 접근이 불가능한 부위까지 점검한다. 손상상태 평가는 경간별 지점별로 행하되 문제부위에 대하여는 외관조사망도를 구성하여 등급을 매기는 것으로 한다. 구조 혹은 하중상태가 변화된 경우에는 구조계산을 통한 내하력평가를 시행한다.

(3) 초기안전점검

공용개시 전에 시설물 전체에 대한 육안검사와 콘크리트 강도조사, 철근 배근상태조사, 재료시험 등의 현장시험을 실시하여 시공상태를 평가하고, 구조물에 손상을 주지 않는 범위 내에서 재하시험을 시행, 처짐과 공용내하력의 초기치를 설정하여 향후 시설물의 점검 및 진단 시에 기초자료로 활용하도록 하기 위한 점검으로서 정밀안전진단 수준으로 실시한다.

구조형태가 변화되었을 때에도 초기치를 결정하기 위하여 초기점검을 실시하고 비파괴 현장시험 및 재료시험의 종류는 기존자료 및 시설물 상태를 고려하여 선정한다. 육안검사시 결함이 있는 경우에는 도면으로 기록하며, 시설물 전체 부재에 대한 안전성 조사 및 상태 평가, 현장시험 등 각종 점검자료를 보존토록 한다.

(4) 긴급안전점검

① 손상점검

재해가 발생한 경우나 발생우려가 있는 경우, 일상점검에서 이상이 발견된 경우 시설물 안전성을 확보하기 위하여 실시한다.

점검의 범위는 긴급한 사용제한이나 사용금지의 필요성이 있는지의 판단과 보수를 수행하는 데 있어 필요한 작업량의 정도를 결정할 수 있어야 한다. 손상점검은 정밀점검의 보완수단으로 손상의 정도와 보수의 긴급성 그리고 보수작업의 규모를 파악할 수 있어야 하며 시험장비에 의한 현장측정 및 사용제한기간에 대한 판단이 필요하다.

② 특별점검

관리주체가 판단하여 행하는 정밀점검 수준의 점검으로 기초의 침하 또는 세굴, 부재 변형 등 결함이 의심되는 경우나, 하중제한중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검이다.

(5) 정밀안전진단

점검으로는 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 근접점검이다. 필요한 경우 점검차, 비계, 작업선 등의 특수장비와 잠수부와 같은 특수기술자가 필요하며 결함의 존재 및 범위를 파악하기 위한 내구성측면의 비파괴 현장시험 및 기타 재료시험을 병행한다.

손상상태평가는 전체경간, 전체지점에 대하여 외관조사망도를 구성하여 손상표기 범례에 따라 상세히 작성하고 수중부분은 잠수부를 동원하여 정밀한 점검을 행한다. 외관상태 평가시의 착안사항은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따른다.

(6) 일상순찰

일반적으로 작업차로 시설물을 순찰할 때 발견되는 시설물의 노면잡물, 집수구 주변의 오물 퇴적, 연석이나 표지판의 불결함 등 사용자들에게 줄 수 있는 위협감이나 불쾌감을 해소하기 위하여 일반 작업원들이 실시하는 작업을 말한다.

① 라이닝 및 집수구 관리

- 터널 내부 청소, 표지판 청소, 집수구 청소

② 신축이음장치 관리

- 차량 통과시 이상음, 승차감의 이상, 단차 발견시 기술자에게 위치 및 손상보고

(7) 교체

구조부재를 제외한 시설물의 부대장치나 시설 중에서 터널전체의 사용연한보다 연한이 짧은 것에 대하여 교체, 치환 또는 복원하는 작업을 말한다. 이는 각 대상별로 정해진 주기에 따라 실시하거나 관리책임자의 판단에 따라 필요한 경우 실시한다. 작업중 안전성, 내구성, 사용성에 미치는 영향에 대하여 해당 기술자의 검토가 선행되어야 한다.

(8) 보수

시설물의 구조에 영향을 주는 부재가 손상되어 안전성, 내구성, 사용성에 장애가 있다고 판단되고 단순한 기능환원공사에 의하여 그 장애가 제거될 수 있는 경우에 실시한다. 보수는 보강과는 달리 기능 및 강도의 강화를 꾀하는 것은 아니며 손상전의 상태로 복원하는 것을 의미한다. 모든 보수공정은 전문기술자가 시설물 전체의 안전성, 내구성, 사용성의 영향을 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

(9) 보강

손상의 정도가 심각하여 보수의 효과가 의심스럽거나 사회, 정책적인 필요에 의해 강도증진 또는 기능강화가 필요한 경우 실시한다. 이는 원 설계자가 의도한 구조의 변경을 의미하므로 일부부재의 보강이 다른 구조요소에 미치는 영향을 반드시 검토하여야 하며 보강의 효과를 보증할 수 있는 방법으로 설계/시공되어야 한다.

(10) 폐쇄

시설물의 손상이 극도로 심화되고 터널의 내구연한에 달하여 보수나 보강의 효과가 극히 의심스럽거나 비경제적인 경우, 또는 사회, 정책적인 필요에 의해 더 이상의 시설물 사용요구가 없을 경우 실시한다. 폐쇄는 보수, 보강비용과 폐쇄 후 파급비용을 대비하여 비용-이득간 분석(cost-benefit analysis)을 행한 후 결정하는 것이 바람직하다. 폐쇄 후 신설을 고려해야 할 경우에는 보수, 보강기술의 발전속도를 고려하여 성급히 결정하기보다는 시설물의 등급을 하향 조정하여 사용제한 하거나 시한부 폐쇄 후 가능한 보강방법을 모색할 수도 있다.

(11) 점검장비 운용

점검에 사용하는 점검장비는 일상적 휴대장비, 접근장비, 비파괴 점검장비로 구분되며 다음 표와 같이 분류한다. 각 점검장비에 대한 상세한 사용법은 해당 장비의 사용설명서

등 관련문헌을 참조하여 장비특성 및 시험법을 숙지하여야 한다.

- ① 정기안전점검 : 일상적 휴대장비, 간단한 접근장비
- ② 초기안전점검 : 일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 간단한 비파괴 점검장비, 재하시험장비
- ③ 정밀안전점검 : 일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 간단한 비파괴 점검장비
- ④ 긴급안전점검 : 정밀점검과 동일한 수준으로 점검목적에 따라 선별, 시험장비에 의한 현장측정
- ⑤ 정밀안전진단 : 일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 비파괴 점검장비, G.P.R탐사 등

<표 4.3.1> 점검장비 종류

구 분		점 검 장 비
콘 크 리 트 탐 사 장 비	콘크리트 강도측정	슈미트해머, 테스트 엔빌, 초음파탐사기, 탄성과탐사기
	콘크리트 균열 및 결함탐사	초음파탐사기, 탄성과탐사기(AE법), 레이저탐사기, 적외선카메라, 스틸카메라, 레이다 탐사기
	철근탐지	페코미터, 방사선투과기
	철근부식탐지	레이다탐사기, 부식측정기
	콘크리트열화도 탐사	탄산화시험, 알칼리 골재반응시험
	염해 탐사	재료시편에 대한 염해시험
휴대장비		망원경, 확대경, 손전등, 카메라, 필기도구(흑판, 분필,매직펜), 줄자, 균열경, 교통규제 기구 등
접근장비		사다리, 점검차(고소작업차, 굴절차), 점검보트

(12) 점검인원의 구성

정기안전점검은 시설물 담당요원이 수행하는 것으로 보고, 정밀안전점검은 정기점검팀 혹은 별도의 점검팀을 구성하여 실시하는 것으로 한다. 정기안전점검은 정기안전점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 총 2인이 한 조가 되어 도보로 접근 가능한 전체 부위를 정해 놓은 일정에 따라서 점검한다.

정밀안전점검은 정기안전점검시 근접점검이 어려운 부위를 위주로 시행하며 정밀안전점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 별도의 점검팀을 구성하여야 한다.

4.3.3 터널의 유지관리

가. 개요

터널의 유지관리는 터널의 상태를 파악하고 이상 및 변형의 조기발견 및 응급조치와 대책 및 조사의 필요성을 판단하고 터널의 유지관리를 위해 자료수집과 축적을 목적으로 실시한다.

구체적으로 ① 관리하고 있는 터널의 현상을 파악하고 터널의 안전성과 기능성에 악영향을 끼칠 수 있는 변상을 조기에 발견하고 그 정도를 파악하여 조기에 적절한 대응을 가능하게 하며 시설물의 안전을 확보하는 것이다. ② 효과적인 유지관리를 실시하기 위해서 터널의 변상의 정도를 연속적으로 측정하는 것에 있다.

특히 변상은 진행성을 가지는 것이 많아 과거의 변상개소 및 보수공의 실시 개소 등을 연속적으로 주의 깊게 관찰, 변상의 진행과 재발의 유무를 감시하는 것이 중요하다.

따라서 터널의 완성시점에서 유지관리 대장을 준비하고 건설시의 각종 자료를 수집·종리하고, 공용후 유지관리의 기록을 추가하여 터널의 상태를 일상적으로 정확하게 기록하여 두는 것이 필요하다.

또한, 터널의 점검 및 보수 요령을 정하여 실시하는 것도 유지관리를 효율적으로 수행하는 방법이며, 작업시는 관계법규를 준수하고 차량통행 및 작업자의 안전확보를 충분히 배려해야 한다. 또한 터널의 내부 환경을 쾌적하게 하고 터널 외관 상태를 파악할 수 있도록 터널 내의 청소를 효율적이고 정기적을 실시하는 것도 중요하다.

위와 같은 목적에서 금번 정밀점검에서 조사되고 분석된 손상 및 결함을 근거로 하여 <표 4.3.2>에 중점유지관리 항목을 제시하였고 그에 따른 유지관리업무를 기술하였다.

4.3.4 유지관리 방안

가. 터널관련 자료의 수집 및 분석

터널 관리주체와 지관리 기관은 터널에 관한 설계도서(도면, 시방서, 각종보고서), 시공시 설계변경 내용, 준공도서, 보수·보강자료, 건설지 등의 자료를 수집, 정리 분석하여 안전점검 및 정밀 안전진단 등에 활용하여야 한다.

나. 보수·보강 이력서 작성

터널의 내구성 및 안전성을 판단하는데 변상의 진행성을 파악하는 것이 중요하므로 준공 이후 작성하는 보수·보강이력을 세밀하고 정확하게 작성할 필요가 있다.

다. 정밀 안전진단 및 보수·보강 설계서 활용

정밀안전진단보고서 및 보수·보강설계보고서는 준공 이후 유지관리 차원에서 최초로 실시한 것으로 기초자료로 활용하여 새로운 변상 또는 기존 변상의 진행성 여부를 확인할 필요가 있다.

라. 터널의 점검 실시

터널의 유지관리시 정기안전점검 및 정밀안전점검 그리고 재해나 사고 등에 의하여 시설물에 이상이 발견시에 실시하는 긴급안전점검으로 구분하여 수행할 수 있으나 본 터널의 성격상 매일 점검은 할 수가 없으므로 2년에 1회 이상 실시하는 정밀안전점검에 비중을 두고 실시하여야 한다.

정밀안전점검을 실시할 때에는 육안관찰과 간단한 점검기구 등을 사용하여 균열의 발생, 균열의 급격한 진행 등으로 터널의 내구성에 문제가 발생할 가능성이 있는 변상의 유무 및 진행을 발견하는 것을 중요한 목적으로 한다.

점검결과 변상이 발생될 때에는 변상부위에 접근하여 간단한 점검기구에 의해 상세한 관찰을 하여야 하며 이전의 점검에 의해 발견된 중요 개소의 결과를 기초하여 변상의 발생 및 진행을 추적하여야 한다.

라이닝 콘크리트의 균열 등은 끝단부에 표시해 두고 그 형상과 규모는 이후에 실시하는 점검결과와 판정자료로 사용할 수 있도록 점검용지에 기록 및 사진촬영 등으로 구체적으로 정리하여 보관하여야 한다.

마. 중점 점검 사항

본 구조물은 하자점검결과 유지관리를 위하여 다음과 같은 중점 유지관리 개선사항을 제안하고자 한다.

(1) 균열 측정

향후 터널내부에 발생하는 균열은 변화여부를 확인하여야 하고, 균열의 진행성을 파악하여야 한다. 점검대상터널은 균열폭 0.3mm내외의 횡방향 균열이 다수 분포되어 있으며, 균열부는 누수 및 백태를 동반하고 있으므로 향후 추가적으로 균열발생 여부 및 진행성 여부에 대하여 주기적인 점검이 필요하다.

(2) 누수 측정

본 터널은 NATM 공법으로 시공한 터널로서 장기간 공용으로 인한 라이닝 누수의 우려가 있으므로 향후 조사된 균열 및 시공이음부, 유도배수공 등에서 발생한 누수 현상의 지속적인 관찰이 요구된다. 또한, 집중 강우시 누수상태(누수량, 토사 유출 여부)를 확인 후 누수 방지공을 실시하여야 하며 동절기에는 동해여부를 확인을 위한 주기적인 점검이 필요하다.

바. 중점 유지관리 방안

<표 4.3.2> 터널 중점 유지관리 방안

주요부재		중점 유지관리 사항
터널의 구조적 안전상태	터널 라이닝 표면점검	-탈락 위험부분은 제거하거나 예방보수 -천단, 측벽부 수지주입에 의한 보수부 재균열 발생여부 -누수, 백태, 부식, 침식 등의 발생여부 -터널내 각종시설, 앵커 등의 손상 여부점검
	터널내에 설치된 무거운 시설	-정착상태 및 기초상태 점검(매1년) -정밀조사(매5년)
터널내의 시설	조명 시설	-조명등 작동상태 및 청소상태 -조명등이 이상이 있으면 즉시 교체 -조명등의 조도가 규정보다 70%이하이면 교체
	배수 시설	-배수로 균열발생 여부 -배수로 콘크리트 파손 상태 -집수정 점검 및 퇴적물 퇴적상태
	정기적 청소	-표면청소는 라이닝 표면에 매연, 유리석회, 백태, 슬라임(Slime), 유지 등의 부착물로 오염되어 있는 경우 이것을 제거하여야 하며, 만약 부착물을 방치하면 노후화가 촉진되고 갱내 작업 환경을 악화시킨다.

<표 4.3.2> 터널 중점 유지관리 방안(계속)

주요부재		중점 유지관리 사항
터널 입·출구부	사면	-사면의 안정상태 -상부 지표면 침하여부 -사면의 표면보호(녹생토) 유실여부 -사면 도수로 및 측구 배수 상태
	옹벽, 갭문	-기초의 부등침하 여부 -배수 처리 상태 -누수, 백태, 철근노출 등 열화 발생여부 -보수부 재균열 발생여부
유지관리 작업에 따른 안전대책		-터널의 유지관리를 위한 제반작업은 안전관리 규정을 준수하여 유지관리 인원의 안전에 만전을 기해야 한다. 또한 유지관리 작업으로 야기되는 분진, 소음, 가스 등으로부터 유지관리원이 보호될 수 있도록 안전장구를 갖추고 작업해야 한다.