

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(상수도)

2011. 12.



머 리 말

우리나라는 '60년대 이후의 급속한 경제성장 과정에서 대부분의 시설물들이 “공기단축”과 “공사비절감” 위주로 건설되어 선진국의 시설물에 비해 시작부터 안전에 취약할 수밖에 없었습니다. 그럼에도 불구하고 사용 중 유지관리 마저 소홀히 하여 '90년대 들어 성수대교와 삼풍백화점 붕괴사고 등의 값비싼 대가를 치른 경험이 있습니다.

이에 따라 정부에서는 1995년 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하여 시설물의 안전관리를 시행하고 있으며, 특히 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 업무를 표준화하기 위하여 국토해양부와 우리공단은 교량·댐 등 12개 국가 주요시설물의 점검·진단 업무의 실시방법 및 절차 등을 규정한 세부지침을 마련하였습니다.

이 해설서는 2010.12월 출간된 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」 중 시설물편 제5장 상수도에 대한 바른 이해와 적절한 적용에 도움이 되도록 하기 위하여 작성되었습니다. 금년에는 공통편과 시설물편 6종(교량, 터널, 댐, 항만, 상수도, 건축)의 해설서를 발간하며, 2012년에는 시설물편 나머지 6종(하구둑, 수문, 제방, 하수처리장, 옹벽, 절토사면)의 해설서를 계속 발간할 예정입니다.

아울러 본 해설서는 초보자가 알기 쉽도록 그림과 사진 등을 많이 포함하여 편집 구성에 최선을 다하였으나 미흡한 점도 많을 것입니다. 앞으로 계속 보완 발전시켜 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 유용하게 활용될 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

끝으로 본 해설서 개발작업에 참여하여 주신 직원과 자문위원 여러분의 노고에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

2011년 12월

한국시설안전공단 이사장 김 경 수

제 목 차 례

5.1 관리일반

5.1.1 적용범위	5-1
5.1.2 용어정의	5-2
5.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설	5-3
5.1.4 중대한 결함의 정도	5-5

5.2 현장조사

5.2.1 시설물의 점검사항	5-6
5.2.2 시설물 외관조사 요령	5-49

5.3 재료시험 항목 및 기준수량

5.3.1 정밀점검	5-63
5.3.2 정밀안전진단	5-66

5.4 상태평가 기준 및 방법

5.4.1 상태평가 항목 및 기준	5-74
5.4.2 상태평가 결과 산정 방법	5-91

5.5 안전성평가 기준 및 방법

5.5.1 일반	5-120
5.5.2 안전성평가 기준	5-123
5.5.3 안전성평가 결과 산정 방법	5-150

5.6 종합평가 기준 및 방법

5.6.1 일반	5-152
5.6.2 종합평가 결과 산정 방법	5-153

5.7 보수 · 보강 방법

5.7.1 구조물 기초지반의 일반적인 보수·보강공법	5-161
------------------------------------	-------

5.7.2 콘크리트구조물의 손상에 대한 일반적인 보수·보강공법	5-162
5.7.3 수도관로 개량공법	5-170
5.7.4 전기설비	5-175
 부록 A 과업지시서 예시	 5-179
부록 B 사전검토 보고서 예시	5-199

제 5 장 상 수 도

5.1 관리일반

5.2 현장조사

5.3 재료시험 항목 및 수량

5.4 상태평가 기준 및 방법

5.5 안전성평가 기준 및 방법

5.6 종합평가 기준 및 방법

5.7 보수·보강 방법

제5장 상수도

5.1 관리 일반

5.1.1 적용 범위

본 장은 「법」 제2조(정의) 및 「영」 제2조(시설물의 범위)의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 상수도 시설물에 적용한다.

○ 1종 시설물

- 광역상수도(수원지 시설을 포함한다)
- 공업용수도(수원지 시설을 포함한다)
- 1일 공급능력 3만톤 이상의 지방상수도(수원지 시설을 포함한다)

○ 2종 시설물

- 1종 시설물 해당하지 아니하는 지방상수도

※ 용수전용댐과 지방상수도전용댐이 상기의 1종 시설물 중 광역상수도, 공업용수도 또는 지방상수도의 수원지 시설에 해당하는 때에는 상수도 시설물로 본다.

※ 상수도 1.2종 시설물 중 광역상수도, 공업용수도 및 지방상수도는 배수관로 및 급수 시설은 제외한다.

상수도 시설물의 특성에 따라 본 장의 서식을 적절히 응용하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나, 기준을 따른다.

- 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 콘크리트 구조설계기준
- 콘크리트 표준시방서
- 상수도시설 기준
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자와 사전 협의하여 적용할 수 있다.

【해설】

1. 상수도 시설물은 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 “이하 시특법” 시행령 제10조 6항과 관련한 시설물을 의미하며, 동법 시행령 [별표1] “1종시설물 및 2종시설물의 범위”(제2조제1항관련)의 기준으로 분류한다.
2. 상수도 시설물은 수질적으로 안전하고 수량적으로는 안정성의 확보가 가능한 호소, 하천 등의 수원으로부터 원수를 취·도수하여 물리·화학적 처리를 거친 후 수요처까지의 안정적 공급을 그 목표로 하며, 수원 및 저수시설, 취수시설, 도수시설, 정수시설, 송·배수 시설 등으로 분류하고 각 구조물 특성에 따라 댐구조물(수도 전용), 관로시설, 수로터널, 토목구조물, 건축구조물), 기계설비(펌프 및 밸브 등), 전기설비 등으로 구성된다.

5.1.2 용어 정의

○ 상수도

관로, 그 밖의 공작물을 사용하여 원수나, 정수를 공급하는 시설의 전부를 말한다.

○ 기계·전기설비 및 계측시설

- 시설물에서의 기계·전기설비란 시설물의 구조적 안전에 직접적인 영향을 주는 설비를 말하며, 도수·송수펌프설비, 염소중화설비 및 도수·송수펌프의 모터 및 관련 기동반 또는 현장제어반을 말한다.
- 계측시설이란 시설물의 구조적 안전 위해 설치한 토목분야의 계측시설을 말하며, 수처리 공정과 관련된 계측시설은 제외한다.

【해설】

1. 기타 용어는 「상수도시설기준(환경부 제정)」 등의 정의에 의해 파악할 수 있다.

5.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

상수도 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 [표 5.1]과 같다.

- ① 기본 시설물을 제외한 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단은 해당 시설물(댐, 건축물, 옹벽 등)에 따라 실시하여야 한다.
- ② 대상 시설물은 안전점검 및 정밀안전진단 대가기준에서 해당 시설물에 따라 예산을 확보하여야 한다.
- ③ 부대 시설물이 「영」 제2조제1항에 따른 1종 또는 2종 시설물에 해당되는 경우에는 「법」 제6조에 따라 1종 시설물은 정밀점검 및 정밀안전진단을 실시하여야 하고 2종 시설물은 정밀점검을 실시하여야 한다.

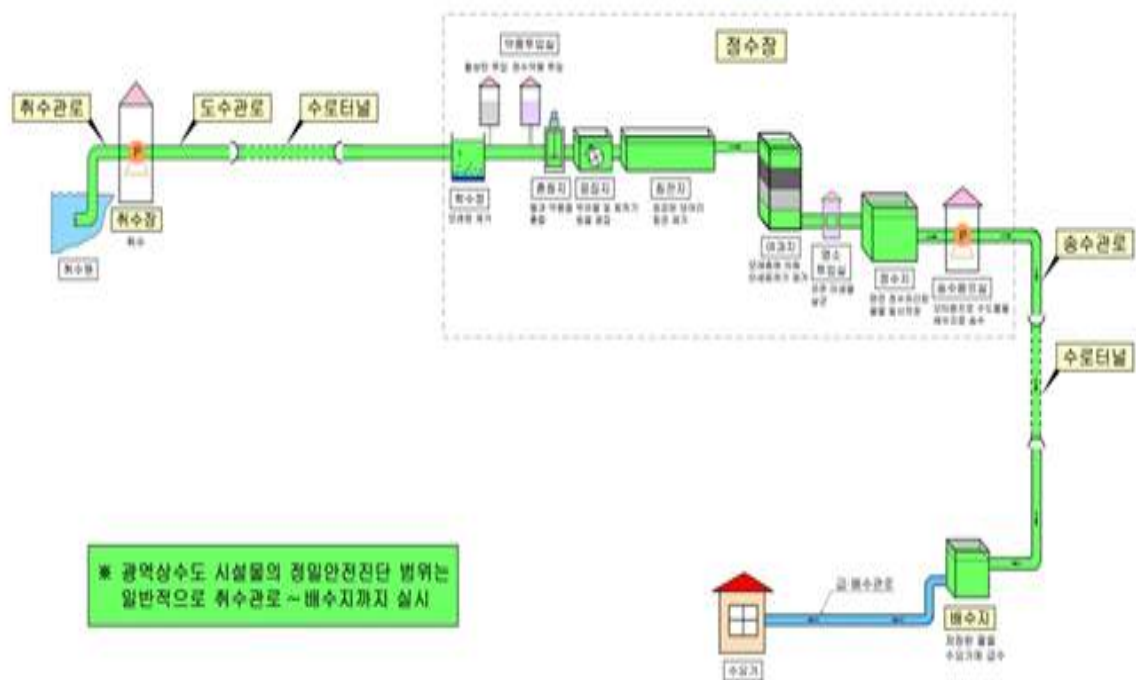
[표 5.1] 상수도 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기점검	정밀점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦ 취수시설(수원지포함)	○	○	○	기본과업
	◦ 취수장	○	○	○	
	◦ 관로시설 (취·도·송수관로 및 수로터널)	○	○	○	
	◦ 정수시설	○	○	○	
	◦ 가압장	○	○	○	
	◦ 배수지·조절지	○	○	○	
기타 시설물	◦ 관리동 등 건축물	○			선택과업
	◦ 옹벽	○			
	◦ 절토사면	○			

※ 토목구조물과 건축물이 일체로 된 경우의 건축물은 기본 시설물에 포함된다.

【해설】

1. 관로시설은 취수관로, 도수관로, 송수관로와 수로터널을 포함하며, 배수관로 및 급수관로는 제외한다.
2. 배수지는 관로 시스템에서 최초 배수지와 송수관로가 유입되는 배수지를 포함한다.
3. 토목구조물과 건축물이 일체로 된 경우의 건축물은 안전점검 및 정밀안전진단 대가 기준(건축물)에 의해 대가를 산정하여 점검 및 진단을 실시한다.



[해설 그림 5.1.1] 상수도 시설물의 개요도

5.1.4 중대한 결함의 정도

상수도 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 시설물의 기초세굴

○ 기초세굴에 대한 상태평가 기준에서 “e”의 경우

2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 중성화(탄산화)에 따른 내력손실

○ 탄산화 잔여 깊이 또는 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가 기준이 “d” 판정으로 철근노출 상태평가 기준에서 “e”를 포함하는 경우

3) 상수도 관로이음부의 불량접합

○ 관로(배관) 누수에 대한 상태평가 기준이 “d” 이하의 경우

4) 상수도 관로의 파손, 변형 및 부식

○ 관로부식, 관두께, 관체 변형율에서 각각의 상태평가 기준 “d” 이하의 경우

※ 3), 4)항의 상태변화에 대한 평가유형은 중요결함이며, 1), 2)항의 상태변화에 대한 평가유형은 국부결함으로 분류하고 있다.

【해설】

1. 시특법 제11조에 따라 안전점검 또는 정밀안전진단을 실시한 자는 지체없이 그 결과를 관리주체에게 통보하여야 하며, 영 제12조의 “중대한 결함”이 있는 경우에는 그 내용을 특별자치도지사, 시장, 군수 또는 구청장에게도 통보하여야 한다.
2. 시특법 영 제12조의 “중대한 결함”은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」 공통편 3.1.7항의 내용과 같다.
3. 특별자치도지사, 시장, 군수, 또는 구청장에 통보를 하는 경우 그 통보 내용에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 - (1) 시설물의 명칭 및 소재지
 - (2) 관리주체의 상호, 명칭, 성명(법인인 경우에는 대표자의 성명을 말한다) 및 주소
 - (3) 안전점검 또는 정밀안전진단의 실시기간과 실시자
 - (4) 시설물의 상태별 등급과 중대한 결함 내용
 - (5) 관리주체가 조치하여야 할 사항
 - (6) 그 밖에 안전관리에 필요한 사항

5.2 현장조사

5.2.1 시설물의 점검 사항

가. 시설물별 상태변화의 점검항목

1) 관로

손상 및 결함	점 검 항 목	비 고
관로사고이력(건/km/년)	○ 관로의 사고이력 기준	
설치년도	○ 관로의 경과년수	
관주변 토양종류	○ 관로 주변의 토양의 종류	
토양 부식성	○ 토양에 의한 관외부의 부식성평가 ○ 토양비저항, 토양 pH 측정 ○ 황산이온 및 염소이온 함량 측정	
관대지전위차	○ 관대지전위차 측정	· 수도용 도복장 강관 적용
관내·외면 도장	○ 관내·외면 도장의 건전성	
관로부식	○ 관체, 밸브 및 볼트·너트 등	
관두께	○ 실측 관두께	
실측내경	○ 관체 변형률을 산정하기 위한 조사	
관로누수	○ 관로상 누수 유무	

2) 토목 구조물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
침하 / 부상	○ 구조물의 침하나, 부상 정도	
경 사	○ 구조물의 경사 정도	
활 동	○ 구조물의 활동 정도	
기 초 세 굴	○ 구조물 기초의 세굴 정도	
콘크리트 균열	○ 수밀성 콘크리트의 허용균열폭 ○ 균열 폭 및 면적율	
콘크리트 박리	○ 박리의 깊이 및 면적	
콘크리트 박락 / 층분리	○ 박락 / 층분리의 깊이 및 면적	
철 근 노 출	○ 철근노출 면적	
누 수	○ 누수흔적 및 진행정도	• 콘크리트 부재 • 신축이음 부위
백 태	○ 백태 발생 면적율	
콘크리트 파손	○ 콘크리트 파손 깊이 및 면적율	
신축이음 탈락 / 열화	○ 신축이음 탈락 및 열화 정도	

3) 강 구조물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
강 재 부 식	○ 부식의 정도에 따른 발생 면적율	
피 로 균 열	○ 피로균열 발생원인 ○ 부재의 종류와 피로균열 발생 정도	
변형 / 변위	○ 변형 및 변위 정도	
도 장 손 상	○ 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등 도장상태	

4) 기계·전기설비

(가) 펌프설비

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
펌프베드 기초불량	○ 기초볼트 부식 및 이완, 그라우팅 훼손	
진동 과다 발생	○ 펌프 및 전동기의 진동	
소음 과다 발생	○ 펌프 및 전동기의 소음	

(나) 펌프 장내 배관

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
관체의 손상	○ 부식, 도장탈락 및 누수 등의 손상정도	
관연결부 손상	○ 관연결부의 부식, 누수 및 도장상태	
밸브 손상	○ 밸브본체, 연결플랜지부, 축봉부 등의 외관 및 작동상태 등	

(다) 전기설비

손상 및 결함		평 가 항 목	비 고
점검대상	대상기기		
가압·송수 · 취수펌프 모터설비	· 현장제어반 및 기동반 · 펌프모터(전동기)	· 손상 및 파손유무 · 절연·접지상태 · 작동상태	· 상세육안점검 · 절연 및 접지저항측정 · 작동상태점검 (전압, 운전전류, 소비전력, 역률 등) · 열화상 진단
	· 펌프실의 배수설비 및 크레인설비 ^{※)}	· 외관상태 · 접지 및 작동상태	· 상세육안점검 · 절연저항측정 · 작동상태점검

※) 2 ton 이하의 크레인을 점검대상으로 함.

나. 시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령

1) 관 로

(가) 일반사항

관로 현장조사 항목에서 관주변 토양종류, 토양비저항, 토양pH, 황산이온 및 염소이온, 관로부식, 관두께, 실측내경, 관내·외면 도장상태 등 8개 항목에 대해서는 진단완료 예정일을 기준으로 최근 4년 이내에 수도법에 의한 기술진단에서 실시되었던 조사 및 시험 결과가 있을 경우에 이를 공유하여 진단에 활용한다.

관로사고이력, 설치년도, 관로누수 등의 3개 항목은 수시로 갱신되므로 과거의 조사 및 시험 결과를 활용하고 진단 수행시 보완 조사하여 적용한다.

(나) 관로구간 분할

관로를 체계적이고 효율적으로 점검·진단하기 위해서는 현장조사에 앞서 수집된 자료의 분석과 예비(사전)조사를 통해 얻어진 물리적, 환경적 요소 및 중요도 등을 고려하여 관로의 분할기준을 설정한다.

이의 기준에 의해 전체관로를 각 단위관로구간으로 세분화하는 것이 필요하며, 현장조사 시 관로구간 분할기준이 되는 항목들이 현장의 상황에 따라 부적절할 수 있으므로 현장조사과정에서 얻어진 정보를 검토하여 적절히 재조정하여야 한다.

① 상태평가 항목을 중심으로 분할

- 관로용도 : 생활용수, 공업용수, 취수, 도수, 송수 및 배수 등
- 관리권역 : 수도사업소별, 공구별 등
- 관로특성 : 관경, 관종, 경과년수, 방식도장 유무 등
- 지반조건 : 암반, 토사, 연약(점토)지반, 이토층 등
- 매설현황 : 매설깊이, 매설지역
(도로, 녹지, 농경지, 산지, 하천, 제방, 철도, 수관교, 교량첨가관 등)
- 운영상황 : 가압, 자연유하, 전기방식유무, 관내수질 등
- 사고 유발성 : 사고이력, 타 시설물과의 간섭,
문제내재 구간(Known Problem Areas) 등
- 사고 피해도 : 단수지역 범위, 침수구역, 교통장애도, 복구 용이성 등

② 관로의 위치에 따른 분할

- 도로, 하천, 제방, 철도 등의 횡단구간이나 수관교, 교량첨가관 등의 구간에서는 그 연장이 극히 짧은 경우에는 별도의 구간으로 세분화하는 것보다 인접구간에 포함시키는 것이 합리적이다.
- 관로 중간에 설치된 조절지의 경우는 조절지의 규모, 주변의 환경 등을 고려하여 별도의 구간으로 세분할 것인지 아니면 인접구간에 포함시킬 것인지는 책임기술자의 판단에 따른다.
- 또한, 시설물 관리주체의 관리기준(Block 구성 등)이 있을 경우에는 이를 관로구간 분할에 반영하되, 관로조건에 따라 책임기술자가 조정하여 결정한다.

(다) 관로사고이력

관로의 사고는 부식, 하중, 재질, 시공, 유지관리 등에 따라 발생되며, 이러한 여러 가지 사고유발인자의 영향에 의해 관로의 파손, 누수라는 결과가 표출되는 것으로 과거의 사고이력이 많은 구간인 경우 앞으로도 사고가 발생할 개연성이 높다고 할 수 있다.

관로사고이력은 시설물 유지관리 방안을 수립하기 위한 중요한 자료이므로, 관리주체에서 관리·보관중인 수도사고 이력, 점검·정비 이력, 각종의 이력 자료 등을 포함하여 조사한다.

(라) 설치년도

관로 설치후 경과년수는 관의 구조적 안전과는 직접적인 상관관계는 없지만 경과년수에 따라 여러 가지 요인들에 의해 사고발생의 개연성은 높아지게 되므로 관로 구간별로 설치년도를 조사한다.

(마) 토양부식성

토양부식성의 인자로는 토양종류, 토양비저항, 토양pH, 염산이온, 염소이온, 기타 함수비 등이 있으며, 이들의 토양부식성 인자를 조사 및 시험을 실시한다.

○ 토양비저항

- 시가지, 주택지, 공업지대 등은 토양환경의 변화가 심하므로 상대적으로 측정 구간을 짧게 하고 토양환경의 변화가 거의 없는 산지, 농지 등은 측정간격을 길게 한다.

○ 토양종류, 토양pH, 황산이온, 염소이온, 함수비

- 토양시료를 채취하여 시험실 분석에 의한 결과와 현장에서 측정된 결과(토양 pH, 함수비 등)를 기준으로 하며, 최근에 시험 실시된 자료가 있을 경우에는 그 결과를 검토하여 활용한다.

① 토양pH 측정

토양의 pH는 배관의 부식속도와 직접적인 관계가 있다. pH가 4이하인 경우에는 수소이온이 토양 중에 많으므로 수소환원 반응에 의한 배관의 부식이 촉진된다. 따라서 방식소요전류밀도가 증가한다. 또한 pH는 보호막의 형성이나, 용해도에 영향을 미친다. pH를 측정하는 방법은 대략 다음과 같으나, 현장에서 가장 쉽게 사용할 수 있는 방법은 안티몬 전극을 사용하는 것으로 측정하고자 하는 지점에 안티몬 전극과 포화황산동 전극을 꽂고 두 전극의 전위차를 읽고 이를 안티몬 전극에 표시된 환산표에서 pH로 환산하면 된다.

- 현장에서 시편을 채취한 후 실험실에서 분석하는 방법
- 측정하고자 하는 토양중에 안티몬 전극과 포화황산동 기준전극을 설치한 후 두 전극사이의 전위차를 측정하여 pH로 환산하는 방법을 이용
- 토양 중에 설치한 후 바로 pH를 읽을 수 있는 pH 메타를 이용하는 방법

② 토양비저항 측정

토양비저항 측정법으로는 4 전극법(Wenner four pin method)과 토양상(土壤箱)을 이용한 방법(soil box method)이 있다. 토양상을 이용한 방법은 절차가 간단한 반면에 샘플의 채취과정에서 발생할 수 있는 수분의 변화 혹은 밀도의 변화 등으로 현장과 조건이 다를 수도 있으므로, 대부분 현장에서는 측정하고자 하는 깊이의 평균저항을 가장 오차가 적게 측정할 수 있는 4 전극법이 주로 쓰이고 있다.

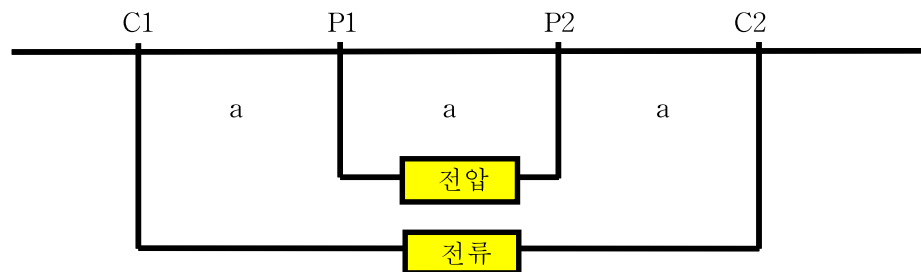
4 전극법의(Wenner Four Pin Method)의 측정원리는 [그림 5.1]과 같다.

이로부터 다음과 같이 토양비저항(ρ)을 구할 수 있다.

$$V = IR$$

$$\rho = 2\pi aR$$

여기서, V	P1과 P2 사이의 전압 [V]
I	C1과 C2 사이의 전류 [A]
R	P1과 P2 사이의 저항 [ohm]
ρ	토양비저항 [ohm-m]
a	PIN 간격 [m]



[그림 5.1] 4 전극법의 원리

(바) 관로부식

관체, 각종 밸브 및 볼트·너트 등의 부식상태를 조사하는 것으로서 차도 상에 위치한 모든 밸브실과 기타 중요 밸브실내의 배관 및 굴착조사 지점의 배관 등에 대하여 조사한다.

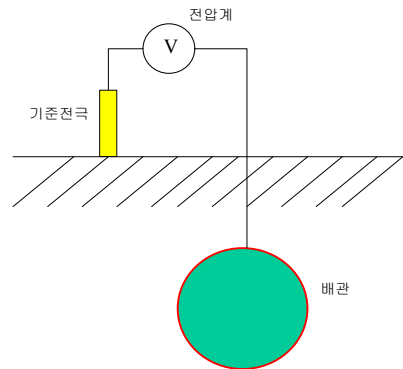
(사) 관대지전위차

관대지전위차는 관로의 방식시설의 적정운영 및 관로의 부식 개연성을 판단할 수 있는 중요한 인자로 강관에 한하여 조사한다.

○ 방식전위 측정

매설배관의 방식진단에서 가장 일반적이며 확실한 방법이 배관의 방식전위를 측정하는 방법이다.

일반적으로 방식전위는 [그림 5.2]와 같이 매설배관에서 인출한 전선과 토양 표면에 접촉시킨 기준전극 사이에 볼트메타(voltmeter)를 연결시켜 기준전극에 대한 배관의 전위를 측정한다. 이렇게 측정한 값을 P/S전위(pipe to soil



[그림 5.2] 매설배관의 방식전위 측정 개념도

potential)라고 한다. 현장에서 P/S전위 측정 시 기준전극으로 가장 많이 사용하는 것은 포화황산동전극(Cu/CuSO_4)이며, 특수한 상황 하에서는 염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하기도 한다.

(아) 관내·외면 도장상태

관내·외면 방식도장 및 라이닝의 유무는 수집한 각종 자료와 관로이설 및 보수·교체공사 시, 관내·외면조사 등을 통하여 도장재 종류, 도장 손상면적, 도장재 두께, 탄산화(덕타일 주철관 내면라이닝의 경우) 등을 조사·측정한다.

(자) 굴착조사

굴착조사는 현장여건, 지주와의 협의 등 여러 가지 제약으로 인해 현실적으로 상당히 어려운 점을 감안하여 조사한다.

○ 굴착지점의 선정

관중, 관경, 토양부식성, 주변환경 및 매설환경, 굴착 가능성 등을 종합적으로 고려하여 선정

○ 굴착조사

외부도장 및 도복장의 상태(잔존을 포함)와 관로부식, 관두께, 관체의 변형유무 등에 대해 조사토록 한다.

(차) 관두께

관로의 노출지점(굴착조사, 관로이설 및 교체공사 등)과 밸브실내 배관 등에 대해서, 가능한 다수의 지점(건전부 5점 이상)에 대한 관두께를 측정하여 대표성을 확보한다.

관체는 시간이 경과함에 따라 부식에 의해 관두께가 감소되며, 결국 관의 소요두께 미만이 되면 관의 파손이나 파열 등으로 관로사고가 발생하게 된다. 따라서 부식깊이와 관두께 측정 결과에 의해 현재의 잔존 관두께를 검토한다.

○ 수도용도복장 강관

$$y(\text{년}) = \{\text{측정 최소관두께}(\text{mm}) - \text{최대 관부식 깊이}(\text{mm})\} / \text{최대부식도}$$

여기서, y = 소요관두께 미만이 되는 기간

$$\text{최대부식도}(\text{mm}/\text{년}) = \text{최대 관부식 깊이}(\text{mm}) / \text{경과년수}(\text{년})$$

○ 주철관

t (평균 잔존 관두께율) = 잔존 평균 관두께 / 규정 관두께

(가) 관로누수

관체, 각종 밸브 및 신축관 등에서 누수 조사와 그 원인을 파악하는 것으로서, 매설 관로에 대한 누수탐사와 밸브실내 배관에서의 누수조사를 실시한다.

(파) 기타

콘크리트 구조물인 밸브실 조사는 차도 상에 위치한 밸브실 또는 모든 밸브실에 대해 외관조사를 실시하며 이때 밸브실에 대해서는 별도의 외관조사망도 대신 밸브실의 상태를 상세히 기록하는 상태조사표(부록참조)를 작성한다.

2) 수로터널

(가) 외관조사망도 구성

○ 수로터널의 중간부에 유지관리 경사갱이 있는 경우

수로터널과 경사갱이 연결되는 지점을 기준으로 복합부재(구간1, 구간2, ...)로서 구분

○ 수로터널의 중간부에 유지관리 경사갱이 없는 경우

입구부, 중간부, 출구부의 3등분으로 구분하여 이를 복합부재로서 구분

○ 각각의 구간(복합부재)을 수축이음부 또는 수십~수백m의 다수의 블록(개별부재)으로 세분하여 외관조사망도를 작성한다.

(나) 지반(시추)조사

지반시추조사는 다음의 경우에 실시하며, 책임기술자의 판단에 의해 결정한다.

○ 외관상태 조사 결과 중대한 구조적 결함의 발견

○ 구조물에 작용하는 하중조건이 크게 변하였거나, 변화가 예상되는 경우

3) 토목구조물

(가) 외관조사망도 구성

개별부재(예 : 착수정 1지, ..., 정수지 1지 등)를 하나의 외관조사망도 단위로 구분하는 것을 원칙으로 하고, 길이가 긴 공동구나 옹벽 등과 같은 구조물에 대해서는 책임기술자의 판단에 따라 신축이음부, 불연속면 등을 기준으로 구간 분할하여 작성할 수 있다.

(나) 코어채취

수밀을 요구하는 상수도의 토목구조물 특성과 경제성 및 작업성 등을 고려할 때 코어채취에 의한 콘크리트강도 조사는 다음 사항을 고려하여 실시한다.

○ 취수시설

- 콘크리트 코어채취를 하지 않는 것을 원칙

- 과업의 범위 및 내용이나 외관상태 조사결과 또는 비파괴시험에 의한 콘크리트강도 조사결과 등에 따라 관리주체나 책임기술자가 코어채취에 의한 콘크리트강도 조사여부를 결정한다.

○ 취수장, 가압장, 배수지 및 조절지 등은 필요시에 실시한다.

【해설】

1. 관로

(1) 사전 조사

사전 조사는 현장조사를 수행하기 전에 현장답사 등을 통해 본 과업과 관련된 설계 및 준공도서, 시설물관리기록, 사진 등과 같은 각종 도서 및 자료를 수집하고 정보를 제공받아 시설물의 현황 및 문제점 등을 파악·분석함으로써 효율적인 점검 및 진단 계획을 수립함과 아울러 시설물 평가의 기초로 활용한다.

① 설계 및 준공도서

- 설계도면 및 보고서
- 구조·수리계산서
- 지질 및 재료원보고서
- 특별시방서 및 유지관리지침서
- 준공도면 및 건설지 등

② 시설물 관리기록 및 사진

- 시설물관리대장 및 각종 계측·분석자료
- 안전점검·진단보고서 및 관련자료
- 수도시설 기술진단보고서 및 관련자료
- 보수·보강이력사항 및 유지보수기록
- 운영관리 실적자료 및 주요재해현황
- 주요 시공사진 및 보수·보강 사진
- 안전점검 및 진단 사진 등

(2) 조사자료 활용

관로 현장조사 항목에서 관주변 토양종류, 토양비저항, 토양pH, 황산이온 및 염소이온, 관로부식, 관두께, 실측내경, 관내·외면 도장상태 등 8개 항목에 대해서는 진단완료 예정일을 기준으로 최근 4년 이내에 수도법에 의한 기술진단에서 실시되었던 조사 및 시험 결과가 있을 경우에 이를 공유하여 점검 및 진단에 활용한다.

관로사고이력, 설치년도, 관로누수 등의 3개 항목은 수시로 갱신되므로 과거의 조사 및 시험 결과를 활용하고 점검 및 진단 수행시 보완 조사하여 적용한다.

(3) 관로구간 분할

관로구간 분할 요령은 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 하고 다음 사항을 고려한다.

- 정밀점검 및 정밀안전진단 실시 차수별로 관로구간에 대한 평가결과를 비교 검토가 될 수 있도록, 구간 명칭과 위치(Sta. No.)를 명확히 하여야 한다.

(4) 관로사고이력

관로의 사고는 부식, 하중, 재질, 시공, 유지관리 등에 따라 발생되며, 이러한 여러 가지 사고유발인자의 영향에 의해 관로의 파손, 누수라는 결과가 표출되는 것

으로 과거의 사고이력이 많은 구간인 경우 앞으로도 사고가 발생할 개연성이 높다고 할 수 있다.

관로사고이력은 시설물 유지관리 방안을 수립하기 위한 중요한 자료이므로, 관리주체에서 관리·보관 중인 수도사고 이력, 점검·정비 이력, 각종의 이력 자료 등을 포함하여 조사한다. 관로의 사고는 부식, 하중, 재질, 시공, 유지관리 등에 따라 발생되며, 이러한 여러 가지 사고유발인자의 영향에 의해 관로의 파손, 누수라는 결과가 표출되는 것으로 과거의 사고이력이 많은 구간인 경우 앞으로도 사고가 발생할 개연성이 높다고 할 수 있다.

관로사고이력은 시설물 유지관리 방안을 수립하기 위한 중요한 자료이므로, 관리주체에서 관리·보관 중인 수도사고 이력, 점검·정비 이력, 각종의 이력 자료 등을 포함하여 조사한다.

또한, 관로사고이력은 최소한 최근 5년간 사고이력 자료를 기준으로 하고 관로 노후화와 관련이 없는 내용(타공사, 관로 이설공사, 단순 점검 사항 등)을 제외하며, 이력 분석을 통해서 경과년수에 따른 사고율 추이와 각 구간별 사고율(건/km/년)을 파악한다.

(5) 설치년도

설치년도 조사는 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.

(6) 관주변 토양종류

관주변의 토양종류(토양 조성)는 무기질 토양입자들의 여러 가지 크기의 상대적 비율 즉 점토, 미사 및 모래(직경 2mm이하)의 비율에 의하여 결정되며, 토양의 이화학적 성질을 지배하는 주요 요인이다. 토성은 토양구조처럼 쉽게 변화하는 것은 아니나, 작토층에서 유실(수식 및 풍식)됨에 따라 하부층위가 노출되거나 인위적 작용에 의하여 토성이 변하기도 한다.

일반적으로 점토성분이 많은 토성일 경우 통기성이 떨어지고 수분을 오랫동안 유지하기 때문에 토양 부식성이 강하다.

토성의 결정은 시험적 분석법을 원칙으로 하되, 현장에서 간이적인 판단을 위해서 손(엄지와 검지) 촉감에 의한 감별법을 사용될 수 있다. 또한 신뢰성이 있는 토양종류 결정을 위해서는 관로 구간별로 대표적인 지점에서 관로탐사 등을 통하여 정확한 관로노선과 매설깊이를 파악하고 지표면에서 오거 등의 장비에 의해 굴착하여 가능한 관 주변에 인접한 토양시료를 채취하여야 한다. 채취한 토양시료는 즉시 밀봉하여 단시간내 시험실에서 분석을 하여야 한다.



【토양시료 채취】

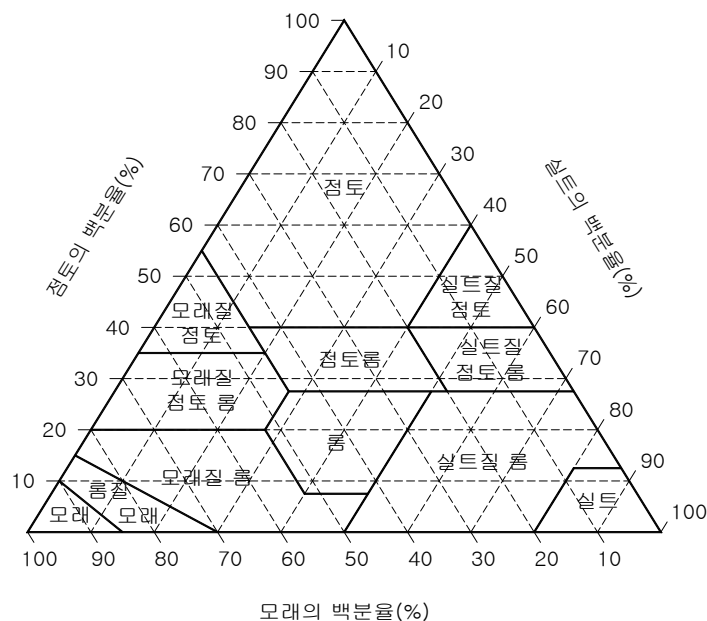


【토양 조성 분석(시험실)】

① 시험적 분석에 의한 토성 분류

토성은 모래, 미사, 점토 등의 입경별 함량비에 따라 삼각도표를 이용하여 결정한다. 우리나라에서는 미국의 농무성법을 적용하고 있지만, 국제법 외에 각 나라별 기준 등 몇 가지의 등급구분 기준이 있다.

모래(Sand)는 입경이 0.05 ~ 2.0mm이며, 입자의 크기에 따라 극조사(1.0 ~ 2.0mm), 조사(0.5 ~ 1.0mm), 중사(0.25 ~ 0.5mm), 세사(0.1 ~ 0.25mm), 극세사(0.05 ~ 0.1mm) 등으로 세분되고 육안을 구분이 가능하고 거친 촉감이 있다. 입경이 2.0mm이상은 자갈로 분류한다. 미사(Silt)는 입경이 0.002 ~ 0.05mm이며, 현미경, 렌즈로 구분이 가능하고 미끄러우며 점착성이 없다. 점토(Clay)는 입경이 0.002mm이하의 입자이며, 고배율 현미경으로만 구별이 가능하고 점착성이 있다. 입경이 0.001mm이하의 세점토라 한다.



[해설 그림 5.2.1] 토성구분 삼각도표

② 촉감에 의한 토성 감별법

현장에서 간편하게 토성을 판별할 경우에는 손의 촉감에 의해 방법이 활용되기도 한다. 토성은 손가락을 반습상태로 만든 후 손가락 사이에 토양을 비벼 보고 그 촉감에 의해서 결정하며, 렌즈로 입자를 확대하여 보완할 수도 있다.

현장에서 토성 결정은 많은 숙련과 경험을 필요로 하며 토양 조사자 간의 개인차가 있으므로 단순히 간이 판단을 위해서 활용되고, 시험적 분석 결과에 의해서 토성이 결정되어야 한다.

[해설 표 5.2.1] 촉감에 의한 토성 감별법

토성 구분	시험 분석법	촉감에 의한 감별법
사토 (S : Sand)	·미사(점토함량 1.5배를 합친량)<15%, 모래≥85%	·손에 흙이 묻지 않고 건조 시에는 손가락사이로 쉽게 빠짐
양질사토 (LS : Loamy Sand)	·미사(점토함량 1.5배를 합친량)>15%, 모래85~90% ·미사(점토함량 2배를 합친량)<30%, 모래70~85%	·반습시 겨우 덩이가 지나 아주 쉽게 부서지고 손에 미사와 세사 등이 약간 묻음
사양토 (SL : Sandy Loam)	·점토<20%, 미사(점토함량 2배를 합친량)>30%, 모래>52% ·점토<7%, 미사<50%, 모래43~52%	·반습일 때 부비면 까칠까칠한 모래를 느낄 수 있으며, 뭉쳐지나 잘 부서지며 엄지와 인지로 눌러도 지문을 볼 수 없고 토봉이 안 됨
양토 (L : Loam)	·점토7~27%, 미사28~50%, 모래<52%	·비비면 모래끼를 느끼나 덩이가 잘 부서지지 않고 지문이 약간 생기며, 토봉이 만들어지나 쉽게 파괴되며 누르면 융적감소가 큼
미사질양토 (SiL : Silt Loam)	·미사≥50%, 점토12~27% ·미사50~80%, 점토<12%	·모래끼 없이 밀가루나 시멘트가루 만지는 기분이며 습할 때도 점착성이 없고 토봉은 만들어지나 양토보다 더 잘 부서짐
미사토 (Si : Silt)	·미사≥80%, 점토<12%	
사질식양토 (SCL : Sandy Clay Loam)	·점토20~35%, 미사<28%, 모래≥45%	·모래끼가 많으나 점착성이 있으며 3~5cm 정도의 토봉이 만들어지나 지문은 볼 수 없음
식양토 (CL : Clay Loam)	·점토27~40%, 모래20~45%	·모래끼가 약간 있고 점착성과 가소성이 있으며 확실한 지문을 볼 수 있음 ·3~6cm의 토봉이 되나 손가락에 많이 달라붙고 저항성이 있음
미사질식양토 (SiCL : Silty Clay Loam)	·점토27~40%, 모래<20%	·모래끼는 거의 없고 점착성이 크며 토봉이 비교적 잘 만들어짐(3~6cm)
사질식토 (SC : Sandy Clay)	·점토≥35%, 모래≥45%	·모래끼가 약간 있고 점착성이 크며 5~8cm의 토봉이 만들어지며 확실하게 지문을 볼 수 있음
미사질식토 (SiC : Silty Clay)	·점토≥40%, 미사≥40%	·점착성이 매우 크며 마르면 손가락 끝에 팔고 물 같은 미사를 볼 수 있으며 토봉이 잘 만들어짐
식토 (C : Clay)	·점토≥40%, 미사≤40%, 모래<45%	·점착성이 매우 크며 만질 때 저항성을 많이 느끼고 미끄러우며 6~10cm로 가늘고 긴 토봉이 만들어짐

(7) 토양부식성

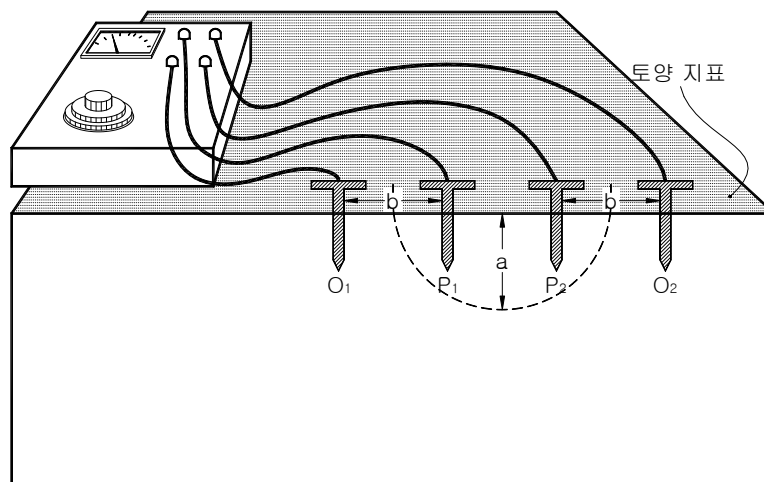
토양부식성의 인자로는 토양종류, 토양비저항, 토양pH, 염소이온, 황산이온, 기타 함수비 등이 있으며, 이들의 토양부식성 인자를 조사 및 시험을 실시한다.

① 토양비저항

- 기본적으로 300m 간격으로 측정하고 시가지, 주택지, 공업지대 등은 토양환경의 변화가 심하므로 상대적으로 측정구간을 짧게 하고 토양환경의 변화가 거의 없는 산지, 농지 등은 측정간격을 길게 한다.
- 토양비저항 측정법으로는 4 전극법(Wenner four pin method)과 토양상(土壤箱)을 이용한 방법(soil box method)이 있다. 토양상을 이용한 방법은 절차가 간단한 반면에 샘플의 채취과정에서 발생할 수 있는 수분의 변화 혹은 밀도의 변화 등으로 현장과 조건이 다를 수도 있으므로, 대부분 현장에서는 측정하고자 하는 깊이의 평균저항을 가장 오차가 적게 측정할 수 있는 4전극법이 주로 쓰이고 있다. 4전극법의(Wenner Four Pin Method)의 측정원리는 [해설 그림 5.2.2]와 같으며, 이로부터 다음과 같이 토양비저항(ρ)을 구할 수 있다.

$$V = IR, \quad \rho = 2\pi aR$$

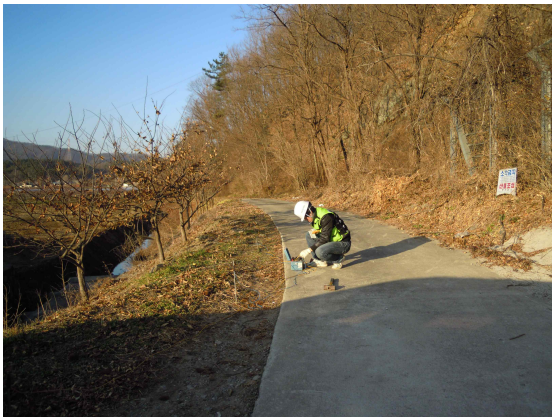
여기서 V : P_1 과 P_2 사이의 전압[V]
 I : C_1 과 C_2 사이의 전류[A]
 R : P_1 과 P_2 사이의 저항[ohm]
 ρ : 토양비저항[ohm-m]
 a : PIN 간격[m]



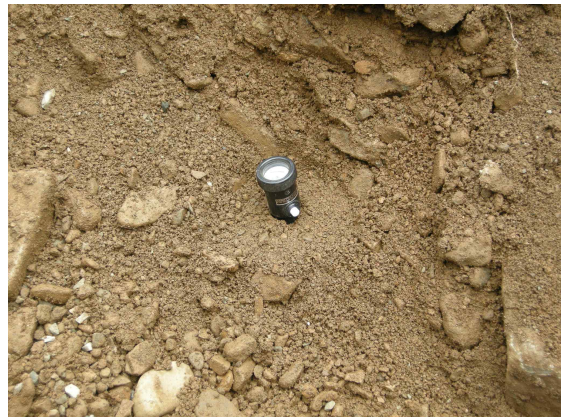
[해설 그림 5.2.2] 4 전극법의 원리

② 토양종류, 토양pH, 황산이온, 염소이온, 함수비

- 토양시료를 채취하여 시험실 분석에 의한 결과와 현장에서 측정된 결과(토양pH, 함수비 등)를 기준으로 하며, 최근에 시험 실시된 자료가 있을 경우에는 그 결과를 검토하여 활용한다.
- 토양의 pH는 배관의 부식속도와 직접적인 관계가 있다. pH가 4이하인 경우에는 수소이온이 토양 중에 많으므로 수소환원 반응에 의한 배관의 부식이 촉진된다. 따라서 방식소요전류밀도가 증가한다. 또한 pH는 보호막의 형성이나, 용해도에 영향을 미친다. pH를 측정하는 방법은 대략 다음과 같으나, 현장에서 가장 쉽게 사용할 수 있는 방법은 안티몬 전극을 사용하는 것으로 측정하고자 하는 지점에 안티몬 전극과 포화황산동 전극을 꽂고 두 전극의 전위차를 읽고 이를 안티몬 전극에 표시된 환산표에서 pH로 환산하면 된다.
 - 현장에서 시편을 채취한 후 실험실에서 분석하는 방법
 - 측정하고자 하는 토양중에 안티몬 전극과 포화황산동 기준전극을 설치한 후 두 전극사이의 전위차를 측정하여 pH로 환산하는 방법을 이용
 - 토양 중에 설치한 후 바로 pH를 읽을 수 있는 pH 메타를 이용하는 방법



【토양 비저항 측정】



【토양 pH 현장 측정】

(8) 관대지전위차

관대지전위차는 전기방식이 적용되는 수도용 도복장 강관에 한하여 방식시설의 적정 운영과 관체 부식의 개연성을 판단하기 위하여 측정된다.

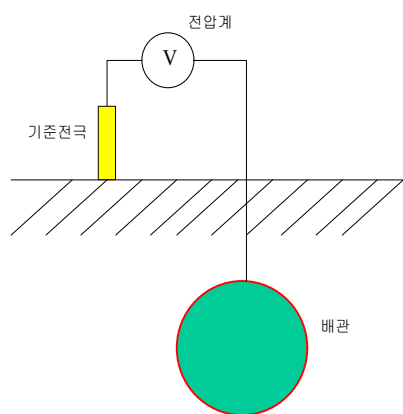
일반적으로 방식전위는 [해설 그림 5.2.3]과 같이 매설배관에서 인출한 전선과 토양 표면에 접촉시킨 기준전극 사이에 볼트메타(voltmeter)를 연결시켜 기준전극에 대한 배관의 전위를 측정한다. 이렇게 측정한 값을 P/S전위(pipe to soil potential)라고 한다. 현장에서 P/S전위 측정 시 기준전극으로 가장 많이 사용하는 것은 포화황산동전극(Cu/CuSO_4)이며, 특수한 상황 하에서는 염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하기도 한다.

관대지전위차는 전기방식을 하지 않은 매설 강관에서 일반적으로 $-400 \sim -600$ mV(포화황산동 전극기준, 자연 전위) 범위의 값을 보이며, 자연 전위가 높은 값(관대지전위차가 작은 값)을 나타내는 부위에서 전류가 유출되어 서서히 부식이 진행

되거나 외적인 요인(타관로의 방식전류)에 의해 급격한 부식이 진행되기도 한다. 매설강관의 부식을 억제하는 방법으로 전기방식이 적용되며, 이를 위해서는 관대지전위차가 $-850 \sim -2,500\text{mV}$ (포화황산동 전극기준)를 유지하여야 한다. 또한, 전기방식이 적용된 매설강관은 관대지전위차 측정에 의해 방식 유지 상태를 파악할 수 있으며, 타 시설물과의 전위 간섭 상황도 파악할 수 있다.

관대지전위차 측정은 상수도용 도복장 강관에 대하여 일반적으로 Multi-Tester와 황산동 기준 전극을 사용하여 50 ~ 200m간격으로 다음의 순서로 측정한다.

- ① 상수도 배관의 측정용 리드선을 테스트의 (+)단자에 접속
- ② 기준전극의 리드선을 테스트의 (-)단자에 접속
- ③ 기준전극을 지표면에 밀착하여 측정값 기록



[해설 그림 5.2.3] 매설배관의 방식전위 측정 개념도



【관대지전위차 장비】



【관대지전위차 측정 현황】



【관대지전위차 분석도(예시)】

(9) 관내·외면도장

관내·외면 방식도장 및 라이닝의 유무는 수집한 각종 자료와 관로이설 및 보수·교체공사 시, 관내·외면조사 등을 통하여 도장재 종류, 도장 손상면적, 도장재 두께, 탄산화(덕타일 주철관 내면라이닝의 경우) 등을 조사·측정한다.

도장재 두께는 도장 손상부 또는 이설 등에 의해 관 단면이 노출될 경우에는 버니어캘리퍼스 등으로 측정될 수 있으며, 그 이외의 경우에는 도복장 두께 측정기 등의 장비에 의해 측정한다.

덕타일 주철관의 내면 모르터 라이닝의 경우 약액검사(페놀프탈레인 1%용액)에 의해 탄산화 깊이를 측정하고 탄산화 잔여깊이를 분석하여야 한다.

(10) 관로 부식

관체, 각종 밸브 및 볼트·너트 등의 부식상태를 조사하는 것으로서 차도 상에 위치한 모든 밸브실과 기타 중요 밸브실내의 배관 및 굴착조사 지점의 배관 등에 대하여 부식면적과 부식깊이를 측정한다.

측정된 부식깊이는 잔존 관두께 검토에 반영된다.

(11) 관두께

관두께 측정 및 검토 요령은 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.

(12) 실측내경

수도용 도복장 강관에 한하여, 평균내경과 최대 또는 최소 내경을 측정하고 그 결과값에 의해서 관체 변형률(%)을 검토한다

(13) 관로누수

관체, 각종 밸브 및 신축관 등에서 누수 조사와 그 원인을 파악하는 것으로서, 매설관로에 대한 누수탐사와 밸브실내 배관에서 누수조사를 실시한다.

관로에 대한 누수탐사 방법은 청음식, 상관식, 전자식, GPR, 적외선 등의 방법이 있으며, 청음식, 상관식 및 전자식의 방법이 많이 적용되고 있으며, 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 병행하여 적용하기도 한다.

① 청음식 누수탐사

청음식 누수탐사는 소음이 적은 야간 시간대를 이용하여 밸브실 내부의 관로에 음파확대기(청음봉)를 접촉시켜 관로를 따라 전달되는 누수음을 청취하거나 매설관로의 직상 노면부에서 지반에서 전달되는 누수음을 청취하는 방법이 있다. 이 방법은 매설배관 전체 구간에 대해서 용이하게 적용할 수 있으나 주변 소음의 영향을 많이 받고 검사자의 경험적 판단에 크게 좌우된다. 또한, 누수 징후는 감지될 수 있으나 누수지점을 파악하기 위해서 별도의 탐사장비를 적용하여야 하는 단점이 있다.

관로에서 발생하는 누수음의 종류와 발생원인은 다음과 같다.

- 파열음

물이 배관을 뚫고 나올 때 배관을 스치는 소리로서, 상관식 누수탐사와 관로 접촉에 의한 청음식 방법에서 효과적으로 감지된다. 관로의 재질에 따라 음 전달속도와 음질에 많은 차이가 있으므로 이를 고려하여 청음 할 필요가 있다.

- 흙을 치는 음

물이 강한 압력으로 배관을 나와 흙을 때리는 음으로서, 청음식(노면 음청)에서 비교적 효과적으로 감지된다. 지반을 따라 전달되기 때문에 관로의 매설깊이와 토질에 영향을 많이 받는다.

- 공기를 가르는 음

물이 새어 땅에 부딪치기 전에 공기를 가르는 소리로서, 이 음은 미약하지만 누수가 오래 동안 진행되어 지반내 공동현상이 발생했을 때 감지된다.

- 관로를 울리는 음

파열음과 유사한 음이지만 파열음 또는 수압으로 인해 배관을 진동할 때 발생하는 음으로서, 관로 접촉에 의한 청음식 방법에서 효과적으로 감지된다.

② 전자식 누수탐사

전자식 누수탐사는 관로에서 누수가 발생되었을 때, 고속으로 물이 관 밖으로 유출되면서 물의 와류와 관로 및 지반과의 마찰에 의해 진동과 함께 소음이 발생된다. 이런 구조적 소음은 지표면에 전달되며, 전달된 소음은 누수탐지기에 의해 확대 감지하여 전자식으로 표시되는 원리이다. 전자식 누수탐사기는 탐사 방법이 용이하나 전달음의 크기가 작거나 이질 소음(차량, 기타 배관의 물흐름 등)이 있을 경우 정확한 탐지가 곤란하다. 따라서 일반적으로 누수징후를 추정하거나 상관식 누수탐사를 보완하기 위해서 병용하여 적용된다.

③ 상관식 누수탐사

상관식 누수탐사는 누수 지점을 탐지하기 위해서 진동 센서를 일정 간격으로 관로 또는 밸브에 부착시킨 후 센서에서 누수 지점에서 전달된 진동음을 감지

하며, 각각의 센서에서 감지된 누수음은 누수전달 시간차를 상관 방식에 의해 계산되어 정확한 누수 지점을 표시하는 방법이다. 전자식 누수탐사와 비교하면, 전 관로의 매설깊이에 영향이 없고 주변 소음에 덜 민감하며, 일정 구간에 대해서 연속적이고 반복적인 탐사가 가능하고 탐사결과를 정량화할 수 있어 보다 정확한 누수 지점을 탐지할 수 있다.

또한, 상관식 누수탐사는 누수가 우려되는 구간(과거 누수이력, 매설조건이 급변한 구간 등)과 누수음 전달 효과에 따른 요인(관 재질, 관경, 탐지거리, 수압 등), 탐사 Logger 접촉 조건(밸브실 노출 배관, 침수 여건 등)을 고려하여 탐사 구간을 선정하고 소음이 적은 야간 시간대에 약 6시간 이상 실시한다.

[해설 표 5.2.2] 누수탐사 방법 비교표

구 분	전자식 누수탐사	상관식 누수탐사
장 점	·관경 및 관중에 무관하여 탐사 가능 ·휴대 및 적용이 편리	·주변 소음의 영향이 적음 ·매설깊이에 무관하여 탐사 가능 ·누수음 분석 및 데이터 보관 가능 ·누수지점의 위치 탐지 가능
단 점	·주변 소음 및 매설깊이의 영향이 큼 ·조사자의 경험적 판단 필요 ·정확한 누수지점 탐지 곤란	·관경 및 관중에 따른 적용범위 제한 (1000mm초과의 대구경 관일수록 탐사에 제한적) ·탐사 거리에 제약 (장거리일수록 탐사 기능 저하)



【전자식 누수탐사】



【상관식 누수탐사】

(14) 관로 매설환경조사

관로 매설환경조사는 대상 관로시설에 대해서 매설지역의 도로 여건, 토지 이용 현황, 교통량 및 주변 조건 등의 전반적인 매설 현황을 파악하기 위한 조사 공종으로서, 조사 결과를 토대로 일상적인 점검에서 손상상태를 파악하기 어려운 구간과 관로 유지관리상 문제가 있는 구간, 교통량이 많아 차량 하중의 반복 작용으로 관로의 피로손상이 우려되는 구간, 관로의 매설깊이가 과대 또는 과소하여 외압(토압, 차량하중 등)에 의해 관로의 파손 또는 동파 등에 노출되는 구간, 기타 외적인 요인에 의해 매설관로의 안전성에 영향을 줄 수 있는 구간 등에 대해

서 검토 분석한다. 또한, 매설환경조사 결과는 준공도상에 나타난 매설 조건 등과 비교하여 이상 유무를 검토한 후 관로 구간분할에 반영하고 관로의 상태평가 및 안전성평가 등의 기초 자료로 활용한다. 관로 매설환경조사 주요 점검 및 조사항목은 다음과 같다.

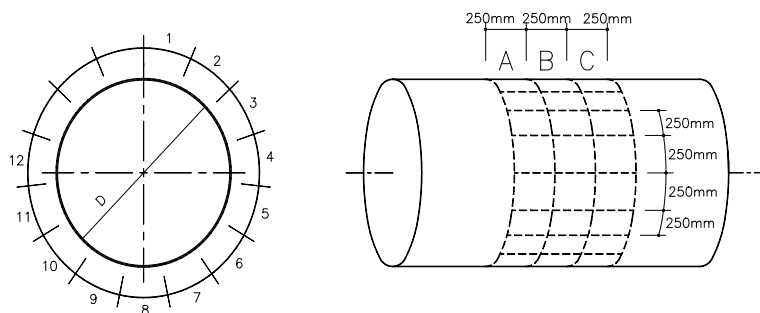
- ① 관로 계통별 시설현황(관중, 관경, 연장 등)
- ② 관로 이설 및 관 교체 구간 현황
- ③ 관로 분기점 및 연결, 교차점 현황
- ④ 도로 및 철도 횡단, 하천횡단 구간
- ⑤ 측량 기준점 현황
- ⑥ 관로 점유토지용도 현황
- ⑦ 관로 동결심도
- ⑧ 기타 관로 사고발생 요인 및 피해 영향성

(15) 관 상세검사

관 상세검사는 관로의 점검항목(관내·외면 도장, 관로부식, 관두께, 실측내경 등)을 포함한 관로의 상태를 직접조사에 의해 파악하기 위한 조사 공종으로서, 관로 굴착에 의해 노출시키거나 밸브실내 노출된 관에 대해서 외면 상세검사를 실시하고, 관로 이설 및 교체 등에 의한 종합단수 시 관내부에 진입하여 관내면 상세검사를 실시한다. 검사지점은 매설조건(토양부식성, 전기적 간섭, 과거 사고이력 등)에서 대표성이 있는 지점을 우선적으로 선정하여 실시하되, 검사조건(굴착 여건, 종합단수 등)을 감안하여 가능한 많은 지점에 대해서 실시한다. 또한, 관 상세검사에서 획득한 자료는 관로 구조안전성 검토, 노후도 검토, 시설물 평가 등의 기초 자료로 반영된다.

① 관 외면 상세검사

관 외면 상세검사는 노출된 관(관로 굴착, 밸브실내 관로)에 대하여 먼저 관체 및 용접부의 피복상태를 검사한 후, 용접부 및 피복 손상부를 중심으로 피복을 제거하고 그 부위를 [해설 그림 5.2.4]와 같이 25cm×25cm의 격자망으로 분할하여 각 격자망 단위로 관체의 외면 상태 및 용접부 검사를 수행하며, 부식깊이 및 관 두께를 측정하여 외면의 부식상태를 분석한다.



[해설 그림 5.2.4] 관 상세검사 격자망도

- 관로 굴착검사

관로 굴착검사에 의한 관 외면 상세검사는 계통 및 구간별로 선정한 지점에 대해서 실시된다.



【관 외면 부식깊이 측정】



【관두께 측정】



【용접부 검사】



【도복장 복구】

－ 밸브실내 관로 상세검사

밸브실내 관로에 대한 관 외면 상세검사는 계통 및 구간별로 선정한 지점에 대해서 실시된다.



【부식깊이 측정】



【용접부 검사】

② 관 내면 상세검사

관 내면 상세검사에서는 관 내면 상태, 밸브 내부 상태(밸브 디스크, 차수 여부), 관체 변형상태 등에 대해서 조사하며, 선정 내부지점에서 앞서 [해설 그림 5.2.4] 와 같이 25cm×25cm의 격자망으로 분할하여 각 격자망 단위로 관체 내

면 상태 및 용접부 검사, 관 두께를 측정한다. 관 내면 상세검사는 종합단수 또는 필요 지점에 대한 구간 단수에 의해 진단자가 관내부로 진입 가능한 최대한의 범위에 대해서 수행하는 것이 검사 목적에 가장 부합할 수 있다. 그러나 용수운영상 단수가 불가능할 경우에는 부단수 방법에 의해 내시경검사 등 효과가 있는 검사방법을 이용하여 시행할 수도 있다.

－ 단수조치에 의한 관 내면 상세검사

단수조치에 의한 관내면 상세검사는 용수공급 중단 등 부가적인 조치가 요구되고 검사를 위해 충분한 시간이 확보 되어야 함으로, 이설공사 또는 관로 보수·보강을 위한 종합적 단수 시간을 최대한 활용토록 하되, 간접조사 등에 의해서 관로상 중대한 문제점(누수 등) 등이 발견될 경우에는 구간 단수조치에 의한 관내면 상세검사를 실시하는 것이 타당하다.



【관 내면 상태검사】



【관 내면 부식깊이 측정】

－ 부단수 내시경 검사

단수조치에 의한 관 내면 상세검사가 곤란할 경우에는 부단수 상태에서 내시경에 의한 방법 등을 고려할 필요가 있다. 관로 부단수 내시경 검사는 기존 관체의 공기밸브 설치위치를 활용해서 검사가 가능하고, 관체의 장비투입 지점에서 관체의 하단부까지 내시경을 밀어 넣고 관체 하단면에서 굴절시켜 상, 하류부로 이동하면서 아래와 같은 사항에 대해서 검사가 가능하다.

(가) 관내면 부식상황

(나) 관내면 라이닝 열화정도 및 손상유무

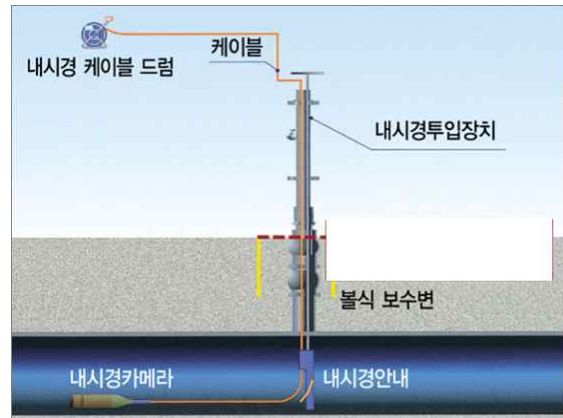
(다) 담치 부착서식 상황 및 스케일 형성정도

(라) 관두께 측정 및 관이음(용접)부위 결함유무

(마) 관체 변형을 및 손상유무

(바) 밸브 디스크 및 고무 등의 열화정도 및 손상·결함유무

(사) 기타 관련사항



【관로 부단수 내시경 검사 장비 및 검사 개요도】

(16) 관로 부식환경조사

관로 부식환경조사는 관로의 점검항목(관주변 토양종류, 토양부식성, 관대지전위차 등)을 포함한 관로 부식성과 전기적 간섭, 부속시설(전기방식 설비 등) 상태를 파악하기 위한 조사 공종으로서, 관중에 따라 [해설 표 5.2.3]과 같이 토양 부식특성을 조사 및 분석한다.

【해설 표 5.2.3】 관로 부식환경 조사 항목

관종	수도용 도복장 강관	수도용덕타일 주철관
조사 항목	·전기방식 설비점검 및 운영상태 검사 ·관대지전위차 측정 ·토양비저항, 토양 pH 측정 ·전기적 간섭 조사 ·토양시료 채취 및 분석	·토양비저항, 토양 pH 측정 ·토양시료 채취 및 분석



【전기 방식설비조사 장비】



【방식설비 조사현황】

(17) 밸브실 조사

밸브실 점검 및 조사는 관로의 부속시설로서, 밸브실 현황, 밸브실 구조물 상태, 내부의 배관·밸브류 상태 등에 대해서 수행한다.

① 밸브실 현황

밸브실은 유지관리 및 조작의 용이성, 외부 요인에 의한 안전 확보 등의 측면에서 밸브실 매설위치를 조사한다. 또한, 밸브실은 유지관리와 밸브류 및 배관의 부식 방지 측면에서 가능한 건조 상태로 유지되어야 하므로 침수 상태에 대해서 조사한다.

② 밸브실 위치 검토

관로 노선에서 원활한 용수 공급기능을 유지하기 위해서 제수밸브, 공기밸브, 물빠기밸브, 신축관, 유량계, 기타 안전밸브 등이 설치되며, 이들 밸브류를 보호하기 위해서 밸브실 구조물, 밸브 보호통(Key Hole) 등이 설치된다.

도·송수관로에서 제수밸브는 관로의 시·종점, 분기장소, 연결관, 주요 배수설비, 중요한 역사이편부, 교량 및 철도 횡단부 등에는 원칙적으로 설치하며, 관로의 용수 운영과 사고시를 고려하여 1~3km 간격으로 설치하는 것이 바람직하다.

공기밸브는 관내 공기를 원활히 배제하여 관로 통수능력을 유지하고, 이상 수압으로 인하여 수주분리 현상이 발생하면 공기가 유입되어 부압을 방지하는 역할을 한다. 이를 위해서 관경 400mm 이상 관에서는 반드시 급속공기밸브 또는 쌍구공기밸브를 설치하고, 관경 350mm 이하 관에 대해서는 급속공기밸브 또는 단구공기밸브를 관로 종단상의 상단(凸)부에 설치된다. 또한, 관경 800mm 이상 대구경관에는 관 내부 검사 또는 검사 등의 유지관리를 위해서 맨홀용 T관 뚜껑(맨플랜지)과 상부에 공기밸브를 설치한다.

물빠기밸브는 관의 보수 및 교체, 관내부 검사 등으로 인해 용수공급이 중단될 경우 관 내부수를 원활히 배제시키는 기능과 관내부의 퇴적된 이토를 정기적으로 배출하여 관로 통수능력을 유지하는 역할을 한다. 이를 위하여 본관 관경의 1/2~1/4로 하고 가능하면 치수가 큰 것으로 하여 관로 종단상의 하단(凹)부에 설치한다. 또한, 방류수역이 관저보다 높을 경우에는 물빠기관과 토출구 사이에 배수실을 설치하며, 배수실과 토출구는 방류수역의 상태에 따라 배수용량을 감당할 수 있는 크기로 결정되어야 한다.

신축관은 상수도용 도복장 강관의 경우 온도응력에 대하여 강도가 크고, 용접 접합이기 때문에 관로로서 일체화가 되어 있어 흠에 의한 구속력이 있으므로 일반 매설조건에서는 별도로 설치하지 않으나, 제수밸브, 펌프 등 관로의 중간에 자유단이 발생하는 경우 밸브실 내에 신축관을 설치하고 밸브실 구체 접속부에는 관이 축방향으로 변위될 수 있도록 하되, 외부 지하수 등이 침입할 수 없는 구조로 한다.

기타 유량계, 안전밸브는 안정적 용수공급을 위해서 유량측정이 요구되는 지점, 이상 수압으로 관내수압이 높아지는 지점에 설치된다. 상기와 같은 밸브의 기능적 관점에서 관로 종단상의 밸브실 설치 위치에 대해서 조사 및 검토한다.

③ 밸브실 상세조사

밸브실 상세조사에서는 밸브실 구조물에 대한 콘크리트 손상상태와 밸브류 및

배관에 대한 부식, 누수, 도장 및 도복장 상태, 기능상 문제 등에 대해서 조사하며, 운영 및 유지관리 사항(밸브실 내부 침수, 이물질 퇴적 상태, 출입용 사다리, 뚜껑 상태 및 형식, 환기구 등)에 대해서도 조사한다.



【밸브 받침 콘크리트 미설치】



【밸브실 상부슬래브 콘크리트 파손】



【밸브실 벽체부 외부수 유입】



【배관 부식】



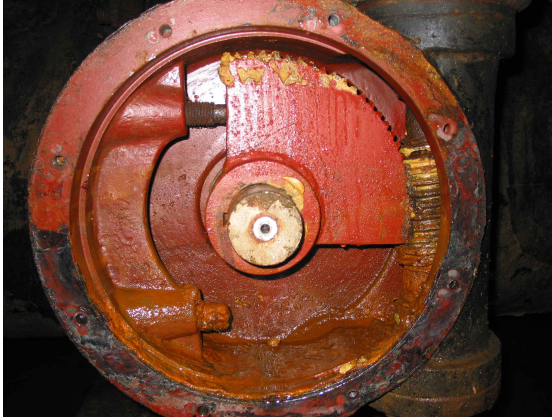
【배관이음부 누수】



【공기밸브 누수】

④ 밸브 상세검사

밸브 상세검사는 중요 밸브와 내부 결함이 파악되는 밸브를 선정하여 수행되며, 밸브 기어박스를 분해한 후 내부 기어작동 및 마모상태 등을 측정·조사하고 분해가 불가능한 밸브(작업 공간 협소, 상시 침수 등)의 경우는 상세 외관조사를 실시하였다.



【기어박스 내부 점검 현황】

⑤ 밸브실 비파괴검사

밸브실 구조물은 하중을 안전하게 지지하고 그 기능을 원활히 발휘하기 위해서는 역학적으로 충분한 강도와 강성을 가져야 한다.

밸브실에 대하여 콘크리트 품질과 시공 상태를 파악하기 위하여 콘크리트 강도 시험, 철근배근 상태조사 및 화학적 손상조사(탄산화 시험) 등의 비파괴검사를 실시한다.



【콘크리트 강도시험】



【철근배근탐사】

(18) 관로 강재 비파괴검사

관로 강재 비파괴검사는 관 상세검사 공종 수행 또는 기타 노출 관로에 대해서, 관로 용접부의 결함 유무를 파악하고 관 두께를 측정하기 위해서 실시되며, 노출된 관로에서 대표성이 있는 부위에 대해서 피복을 제거한 후 25cm×25cm의 격자망으로 분할하여 각 격자망 당 5점 단위로 초음파 탐상(UT) 및 침투 탐상(PT), 자분 탐상(MT) 방법 등에 의해 검사한다. 검사 결과는 결함 기준을 적용하여 배관 및 용접부의 건전성을 평가하고, 관로의 안전성 검토를 위한 기초 자료로 활용한다.

검사의 종류 및 적용 범위는 다음과 같다.

－ 용접 이음부 결함

(가) 초음파 탐상(UT) : 용접이음부(겹치기, 맞대기용접부)의 내부 결함검사

(나) 침투 탐상(PT), 자분 탐상(MT) : 용접이음부(겉치기, 맞대기용접부)의 표면 결함검사

- 관두께 측정

(가) 초음파탐상 : 관두께 규격 적합성, 관로 내·외면 부식정도 파악

① 초음파 탐상

초음파 탐상에 의한 강재 비파괴검사 방법과 특징, 적용기준, 탐상 결과 등은 다음과 같다.

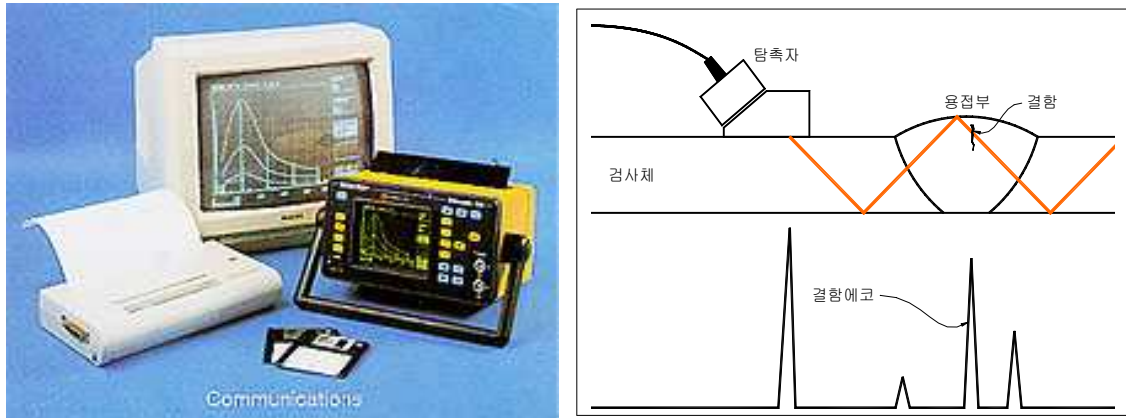
- 검사 개요

초음파 탐상은 재료 내부의 결함을 검출하는 것으로서, 압전현상을 이용하여 고주파수(0.1 ~ 25MHz) 초음파 빔을 검사부재에 침투시켜 반사된 에코파를 판독하여 부재를 검사하는 방법이다.

초음파는 재료를 통해서 진행할 때 에너지의 손실을 유발하고 재료 계면에서 반사되며, 반사된 음파의 정도는 주로 재료의 물리적 상태 및 성질에 의해 영향을 받게 되고 반사되는 음파에너지의 양은 두 물질의 음향특성에 의해 좌우된다. 따라서 재료내의 불연속부로부터 반사되는 에너지양, 송신된 초음파가 재료를 투과하여 불연속부로부터 반사된 진행시간, 초음파가 재료를 투과할 때 감쇠되는 에너지양의 차이가 에코로 나타나며 이 에코를 적절한 Code와 비교하여 결함의 위치와 크기 등을 측정할 수 있고 재료내부의 불연속부의 크기 및 두께, 재료의 균일도 및 부식상태 등의 검사에도 적용한다.

초음파탐상은 불연속의 위치를 정확히 알 수 있고 검사결과도 즉시 알 수 있다. 또한 다양한 재질에 적용이 가능하고 방사선과 같이 인체에 유해하지 않으며 균열과 같은 면상의 결함 검출능력이 탁월하다고 할 수 있다. 반면, 검사 결과는 검사자의 주관에 의존해야 하며, 결함의 종류를 식별하기 어렵고 초음파가 재료조직의 영향에 민감하다.

또한, 초음파탐상에 의한 관두께는 초음파(종파)를 부재로 진행시켜 저면(또는 부식부)에서 반사된 초음파를 탐지하여 초음파의 속도에 따른 재료내 진행시간을 계산함으로써 측정할 수 있다. 초음파 반사파는 저면반사파, 결함파, 산란파, 난반사파, 파형변환 등이 있으며, 관두께 측정을 위해서는 저면반사파를 탐상하여야 한다. 또한, 일반적으로 저면 1회 반사파는 두꺼운 도장 코팅 또는 부식 생성물 등에 의해서 최대피크가 될 수 있으므로 주의하여야 한다.



【초음파탐상 장비 및 탐사 이해도】

－ 초음파탐상 기준

(가) 시험방법

KS B 0817(금속재료의 펄스반사법에 따른 초음파 탐상 시험 방법 통칙)

KS B 0888(배관 용접부의 비파괴 검사 방법)

KS B 0896(강 용접부의 초음파탐상시험방법 및 시험결과의 등급분류방법)

KS B 0534(초음파 펄스 반사법에 의거 두께측정 방법)

(나) 결함의 평가

「상수도공사 표준시방서(환경부, 2007년)」의 기준에 의거, 결함은 UT 결함지시 길이에 따라 A, B, C로 구분되고 결함지시 길이와 최대에코 높이에 따라 점수로 평가된다.

(다) 결함의 합격기준

결함의 평가점이 3점 이하이고, 결함이 가장 조밀한 경우 용접부의 길이 30cm당 평가점의 합계가 5점 이하이면 합격으로 판정한다.

【UT 결함지시 길이 구분】

모재두께	결함지시 길이 구분		
	A	B	C
6 ~ 18mm	6mm이하	6 ~ 9mm이하	9 ~ 18mm이하
18mm 초과	t/3 mm	t/3 ~ t/2 mm	t/2 ~ t mm

【UT 결함의 평가점】

최대에코높이	결함지시 길이 구분별 평가점			
	A	B	C	C초과
영역 II, III	1점	2점	3점	4점
영역 IV	2점	3점	4점	4점

(라) 관두께 기준

상수도용 도복장 강관 관두께 허용차 : $-8\% \sim +15\%$ 범위 이내, KS D3565

상수도용 덕타일 주철관 관두께 허용차 : $-(1.3+0.001D)$ mm 이상, KS D4311

② 침투탐상

침투탐상에 의한 강재 비파괴검사 방법과 특징, 적용기준, 탐상 결과 등은 다음과 같다.

- 검사 개요

침투탐상은 검사체 표면에 침투액을 분무하여 불연속부(결함부)에 침투시켜 일정시간 경과시킨 후, 표면을 세척액으로 세척하고 현상액을 뿌려 모세관 현상으로 현상 표현시킴으로서 결함을 시각적으로 확인할 수 있다. 또한, 결함 확인이 신속하고 용이하며, 표면부의 결함 검출에 효과적이지만 내부 결함은 검출이 곤란한 단점이 있다.

- 침투탐상 기준

(가) 시험방법

KS D 0816(침투탐상 시험방법 및 지시 모양의 분류)에 따라 검사를 수행한다.

(나) 결함의 평가

결함은 독립결함, 연속결함, 분산결함 등으로 분류되며, 결함의 평가는 「상수도공사 표준시방서(환경부)」를 기준으로 한다.

③ 자분탐상

자분에 의한 강재 비파괴검사 방법과 특징, 적용기준, 탐상 결과 등은 다음과 같다.

- 검사 개요

자분탐상은 검사체를 일시 자화시킨 후 자분을 적용하고 운집상태를 관찰하여 결함유무를 검사하는 방법이다.

철강재료(강자성체)를 자화시키면 자속이 발생하는 데, 결함이 존재하면 자속의 흐름을 방해하게 되며 표층부의 자속이 표면공간으로 새어나간다. 이 누설자속 부위에 자분을 적용하면 결함부에 자분이 운집되며 운집형태를 관찰하여 결함을 검출할 수 있다.

자분탐상은 강자성체에 국한되며, 표면 및 표면 직하부 결함검출에 효과적이지만 내부 결함은 검출이 어려운 특성이 있다. 따라서 필렛 용접부와 같이 초음파탐사 검사 적용이 어렵고 표면결함(균열 등)이 검출될 확률이 높은 대상체에 많이 적용한다.



【자분탐상 장비 및 탐상 이해도】

– 자분탐상 기준

(가) 시험방법

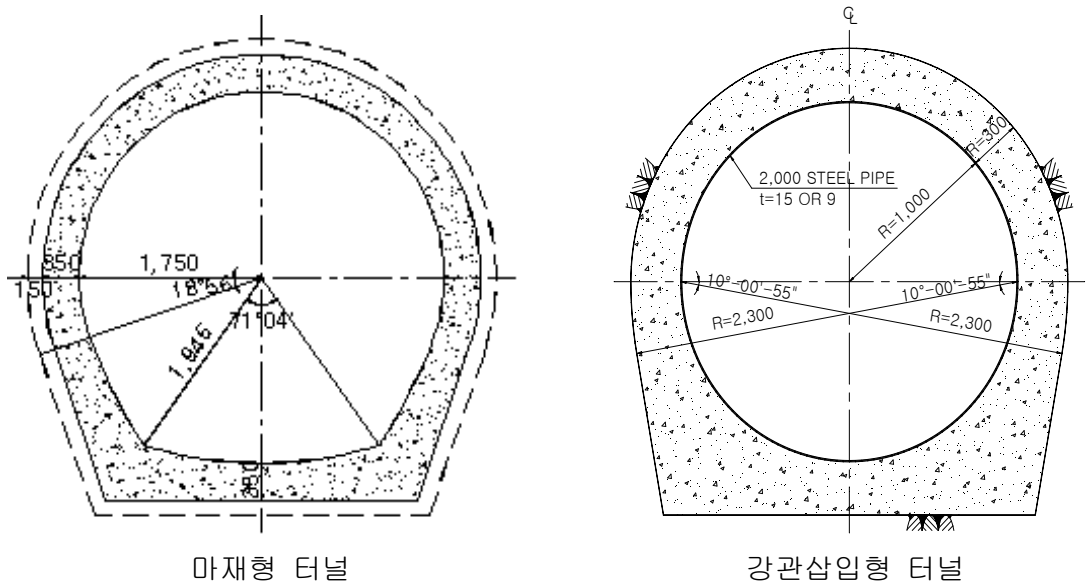
KS D 0213(철강재료의 자분탐상 시험방법 및 결함 자분 모양의 등급분류)에 따른 검사를 수행한다.

(나) 결함의 평가

「상수도공사 표준시방서(환경부)」의 기준에 의거한다.

(19) 수로터널 구조 형식

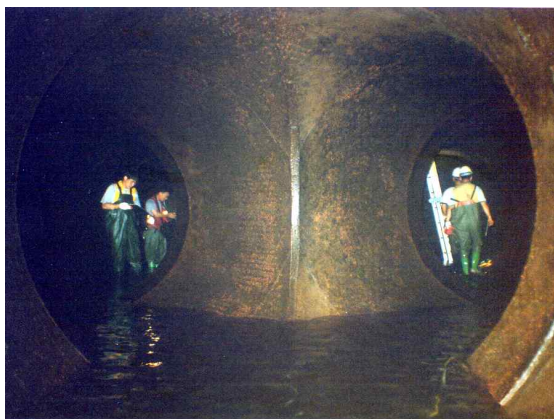
수로터널은 관로시설물에 포함되며, 구조형식은 일반적으로 마제형과 강관 삽입형 등으로 구분된다. 수로터널에 대한 점검 및 조사는 터널 구조형식에 따라 관로 점검항목과 토목 구조물 점검항목 등에 대해서 실시된다.



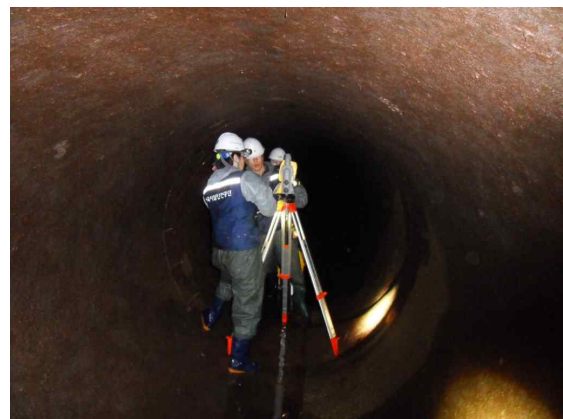
[해설 그림 5.2.5] 수로터널 단면도(예시)

[해설 표 5.2.4] 수로터널 주요 점검 및 조사내용

조사 구분	조사 항목	조사 내용	비 고
외관조사	손상 및 결함	콘크리트 균열, 박리, 박락, 층 분리, 누수, 백태, 철근노출 등	콘크리트 라이닝 부위에 대해서 실시
		내부 강재의 부식형상, 크기, 깊이, 강재두께 측정, 용접부 위 결함 유무 조사 등	내부 삽입형 강재에 대해서 실시
	구조물 변위	터널 내공변위, 단차 등	내부 변형구간에 대해서 실시
시험·측정	내구성조사	콘크리트강도, 탄산화잔여깊이, 철근배근상태, 콘크리트 물성 등	콘크리트 라이닝 부위에 대해서 비파괴시험을 원칙으로 하되, 필요시 파괴시험(코어채취) 실시
	지하수질 분석	pH, 용해성 증발잔류물, 음이온(SO ₄ , Cl), 양이온(Na, K, Mg), 탄산(CO ₂)농도, 암모늄(NH ₄) 농도 등	터널 내부에서 외부로의 누수 발생시 누수원 파악 및 원인분석
	지중탐사	라이닝 두께, 지보재 위치, 배변공동 형성 유무 등	GPR 등 사용
	지표지질 조사	터널 주변의 지질, 풍화도, 방향성, 절리상태 등	현장 조사 및 인공위성 영상자료 분석
	시추조사	지하수위 측정, 수압시험, 공내재하시험, 암반특성 분석 등	지반해석 등이 필요한 경우에 실시
	전기비저항 탐사	지반의 연약부 존재 유무 탐지 및 시추조사 결과와의 비교검토	필요시 터널 입·출입 부위 위주로 실시



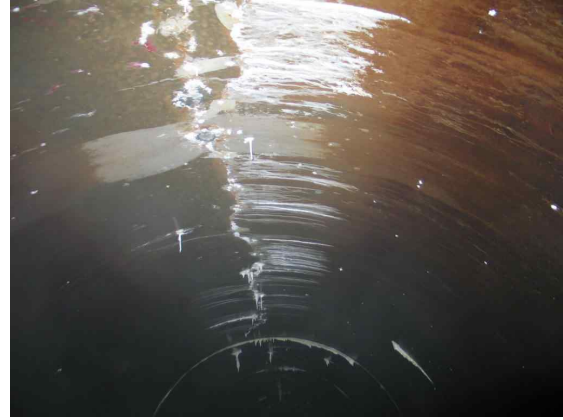
【수로터널 외관조사】



【수로터널 내공변위 측정】



【횡방향 균열, 시공이음부 백태】



【종방향 균열, 백태】



【라이닝 콘크리트 탈락】



【천정부 누수】

(20) 수로터널 점검 및 조사시 고려사항

- ① 수로터널은 대부분 용수공급을 위해 운영 중인 시설물이므로 외관조사 전에 관리주체에서 수립한 단수계획에 따라 시설물 내부 물비우기와 청소를 시행한 후 실시함을 원칙으로 한다.
- ② 외관조사망도 구성 기준
외관조사망도 구성 기준은 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.
- ③ 지반(시추) 조사
지반(시추) 조사는 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.

2. 토목구조물

- (1) 상수도시설의 토목구조물은 일반적으로 취수시설(취수탑, 취수문 등), 취수펌프장, 정수장, 가압펌프장, 배수지 및 조절지 등으로 구성된다. 토목구조물에 대한 점검 및 조사는 구조물의 성능저하에 위해가 되는 결함 및 손상을 육안으로 조사하여 그 정도와 근본적인 발생 원인을 파악하는 것으로서, 기본적인 점검 및 조사 항목과 기타 구조적 안전성에 관련된 요인에 대해서 조사를 실시한다.

[해설 표 5.2.5] 토목구조물 주요 점검 및 조사내용

조사 구분	조사 항목	조사 내용	비 고
외관조사	손상 및 결함	콘크리트의 균열, 박리, 박락, 층분리, 누수, 백태, 철근노출 등	부재별, 구조물별 조사망도 작성
		주변지반의 공동, 함몰, 기초세굴 등	GPR 등 사용
		방수·방식도장의 열화정도, 손상 및 결함(들뜸, 탈락 등)유무 등	
		사다리, 난간 등의 손상 및 결함(부식, 지지불량 등)유무 등	
시험·측정	내구성조사	콘크리트강도, 탄산화잔여깊이, 철근배근상태, 철근부식도, 물성 등	비파괴시험이 원칙이나 필요시 파괴(코어채취)시험 실시
	구조물변위	규격, 침하, 부상, 기울기, 활동 등	
	토질 시추조사	기초지반의 토질, 성상, 특성, 지하수위 등	구조해석 등이 필요한 경우 실시



【정수장 응집침전지 전경】



【정수장 농축조 전경】



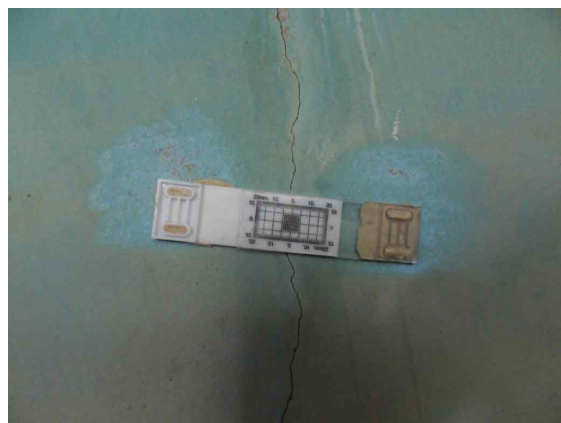
【정수장 응집침전지 바닥슬래브 균열】



【정수장 여과지 배관실 상부슬래브 철근 노출】



【콘크리트 강도 측정(반경경도법)】



【균열 게이지 설치(진행성 조사)】

(2) 토목구조물은 대부분 정수 및 용수공급을 위해 운영 중인 시설물이므로 외관조사 전에 관리주체에서 수립한 단수계획(부분 용수운영 중단 등)에 따라 시설물 내부 물 비우기와 청소를 시행한 후 실시함을 원칙으로 하며, 시설물 운영상 물 비우기가 곤란한 시설물은 가능한 최대범위까지 외관조사를 실시한다. 또한, 외관조사는 대상시설물별 세부구조물에 대해서 물 흐름방향을 기준으로 하여 전면벽체, 후면벽체, 좌측벽체, 우측벽체, 상부슬래브, 바닥슬래브 등으로 구분하여 실시된다.

(3) 기타 점검 및 조사시 고려사항

- ① 외관조사망도 구성은 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.
- ② 코어채취는 세부지침 ‘시설물별 현장조사 및 재료시험의 요령’을 기준으로 한다.

3. 강 구조물

- (1) 상수도시설의 토목구조물은 일반적으로 철근 콘크리트 구조체로 구성되고 있으나, 수리공정상 특별한 시설물 및 부속시설물(강재 연락교, 에어챔버, 강재 약품저장 탱크 등)의 경우 강재 구조체로 구성되기도 한다. 이와 같이 강재 구조체의 경우에는 기본적인 점검 및 조사항목과 강재 구조물의 용도에 따른 구조적 취약 요인에 대해서 조사를 실시한다.
- (2) 점검 및 조사방법은 관로에서의 방법(도장, 부식 등)과 기타 강재 비파괴검사 방법을 준용할 수 있다.

4. 기계 · 전기설비

- (1) 상수도시설의 기계 · 전기설비는 펌프설비, 펌프장내 배관, 크레인 등 운영설비, 연결 전기설비 등으로 구성되며, 이를 설비에 대한 외관상태와 작동유무와 기타 구조적 안전성에 관련한 요인에 대해서 조사를 실시한다.

[해설 표 5.2.6] 기계 · 전기설비의 주요 점검 및 조사내용

조사 구분	조사 항목	조사 내용	비 고
외관조사	외관상태 및 작동유무	각종의 기기의 부식, 이상마모, 파손, 방식도장 열화정도 및 손상, 부속기기의 이완 및 이탈 등	·각종의 펌프, 배관 ·정수처리설비(혼화기, 응집기, 약품주입기, 슬러지수집기 등)
		기전설비의 정상 작동여부, 과대 소음·진동 발생 유무 등	·크레인 및 호이스트 ·관련 전기설비
		수격압 완화설비 작동 유무 등	

- (2) 펌프설비 및 펌프장내 배관에 대한 점검 및 조사 방법은 관로에서의 방법(도장, 부식)과 강재 비파괴검사 방법을 준용하고, 필요에 따라 진동과 소음 측정을 부가적으로 실시할 수도 있다.

(3) 펌프진동 측정

취수펌프 및 가압펌프는 상수도 기계시설의 핵심으로 이의 고장원인을 파악하고 현재 상태를 분석하는 것은 운전 및 유지관리측면에서 매우 중요하므로, 취수장 및 가압펌프실의 각 호기별 펌프의 진동을 측정하여 현재 상태를 등급별로 구분함으로써, 펌프 설비의 안전성과 구조물 진동량 전달 등을 판단할 수 있다.

① 진동측정 개요

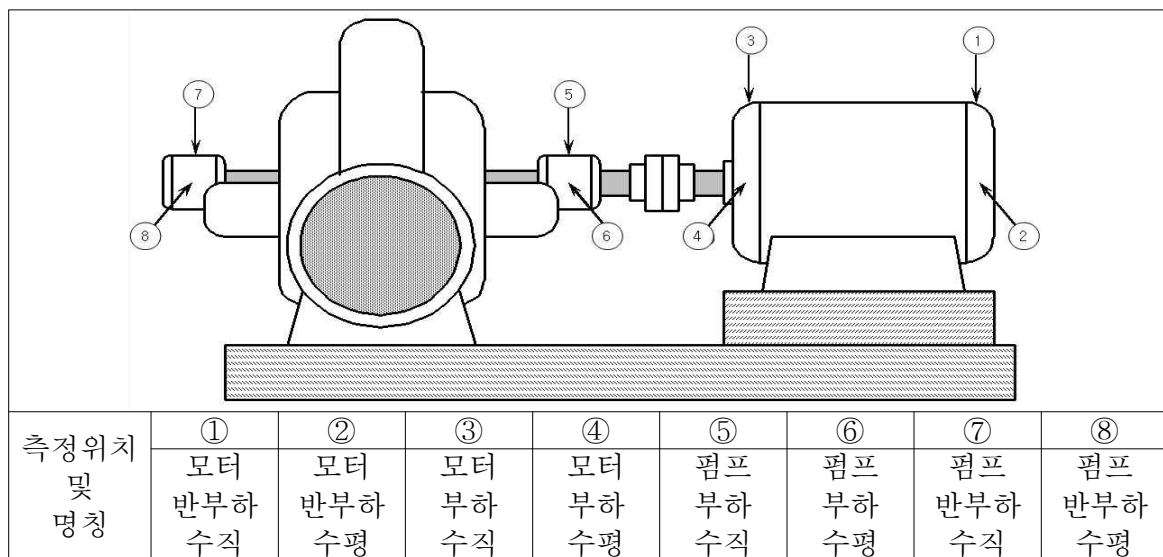
최근의 회전기계는 출력의 증가 및 회전속도의 상승이 현저하다. 그 결과 이 기술 분야에서는 진동 및 소음의 억제가 중요과제의 하나가 되고 기계는 운전 상황에 관하여 종래보다 엄격한 요구가 부가되게 되었다.

각종 기기 중 구조물에 영향을 미치는 진동을 일으키고 처리장 운영자의 심신에 스트레스를 유발하는 소음을 발생시키는 주요 기기는 각종 펌프 등으로서 이들의 기기에서 소음과 진동이 크게 발생하거나 콘크리트 외관상태 조사 결과에서 균열 등의 결함이 기기 및 배관의 진동에 의해 발생하는 징후를 보일 경

우 이러한 기기 및 배관에 대한 소음과 진동치를 측정하여 허용치 초과여부를 확인하고 그 원인을 파악하여 대책을 강구하는 것이 필요하며, 또한 기기의 소음과 진동 정도를 측정함으로써 기기의 상태를 간접적으로 파악한다.

② 측정방법

펌프의 작동시험을 시행하여 기기의 진동측정 회수는 펌프 부하측 및 반부하측을 수직, 수평 방향에 대하여 RMS 속도를 측정하며, 펌프와 모터의 측정은 각각의 베어링 하우징 또는 기초에 고정되는 기계표면에서 서로 직교한 수직, 수평방향에서 진동을 측정한다.



【해설 그림 5.2.6】 펌프·모터 진동 측정 위치(예시)



【펌프·모터 진동 측정】

③ 진동평가 기준

[해설 표 5.2.7] 진동평가 기준

영역	내용	진동한계 (RMS, mm/s)
A	운전범위 내에서 신규 설치된 기계의 운전	≤ 3.7
B	운전범위 내에서 제한 없이 장기간 운전	≤ 5.6
C	제한된 운전	≤ 9
D	손상위험	> 9
최대 정지 (trip) 설정(영역 C 상한의 약 1.25배)		11
A영역 : 신규 설치된 기계의 운전영역 B영역 : 통상 제한 없이 장시간 운전이 허용될 수 있는 영역 C영역 : 장시간 연속운전을 만족할 수 없으며 보수조치를 위한 적절한 기회가 생길 때까지 제한된 기간 동안 운전이 가능한 영역 D영역 : 기계에 손상을 야기하도록 충분히 심각한 진동 영역		

④ 구조물 전달 진동량

펌프의 진동에 의해 구조물에 전달되는 진동량은 다음의 관계식 같이 진동속도(Kine)와 진동레벨(dB)로 표시되며, 구조물의 형태에 따른 최대 진동속도의 허용값과 최대 진동속도에 따른 구조물의 평가등급에 대한 DIN기준은 [해설 표 5.2.8]과 같다.

$$Y = 20 \log V + 71$$

여기서 Y : 진동레벨(dB)

V : 진동속도의 최대값(mm/sec, 1×10^{-1} Kine)

[해설 표 5.2.8] 충격진동에 의한 구조물별 최대진동속도의 허용값(DIN4150)

구분	I	II	III	IV
구조물 형태	문화재 (역사적으로 오래된 건물)	주택, 아파트, 상가 (미세 균열을 지닌 건물)	주택, 아파트, 상가 (균열이 없는 양호한 건물)	산업시설용 공장 (균열이 없는 양호한 건물)
최대 진동속도 허용값(mm/sec)	2.0 (0.2 Kine)	5.0 (0.5 Kine)	10.0 (1.0 Kine)	10.0 ~ 40.0 (1 ~ 4 Kine)

(4) 펌프 소음

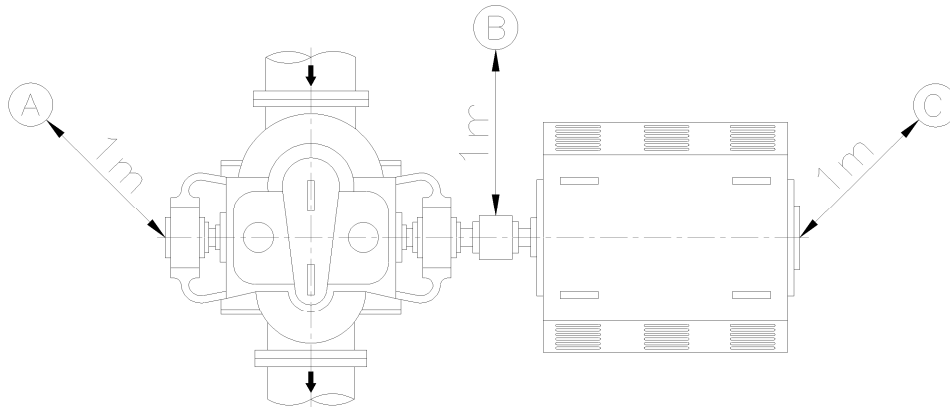
취수장 및 가압펌프실의 각 호기별 펌프의 운전 소음을 측정하여 현재 상태를 파악하고 향후 소음의 증가 및 감소 정도를 검토한다.

① 소음측정 개요

최근의 회전기계는 출력의 증가 및 회전속도의 상승이 현저하다. 그 결과 펌프 임펠러 및 모터에서 발생하는 소음은 회전기기 및 마찰부의 이상을 감지할 수 있는 척도로 이용할 수 있고, 소음의 발생장소 내에서 작업하는 작업자의 청력

감소 및 안전에 영향을 미칠 수 있으며, 또한 주기적으로 관리된 기기소음은 이상음의 청취와 발생소음의 증가여부로 펌프기기의 손상여부 등을 예측하여 큰 손상 이전에 미리 대처할 수 있다.

따라서, 보다 상세한 소음을 측정하기 위하여 [해설 그림 5.2.7]과 같이 펌프 설비를 펌프 반부하측 베어링부, 커플링 연결부, 모터 반부하측 베어링부의 3개 부분으로 구분하고 각각 수평으로 1m 거리에서 운전시의 소음을 측정하고 그 값의 평균값을 발생소음의 기준으로 한다.



[해설 그림 5.2.7] 펌프소음 측정위치(예시)



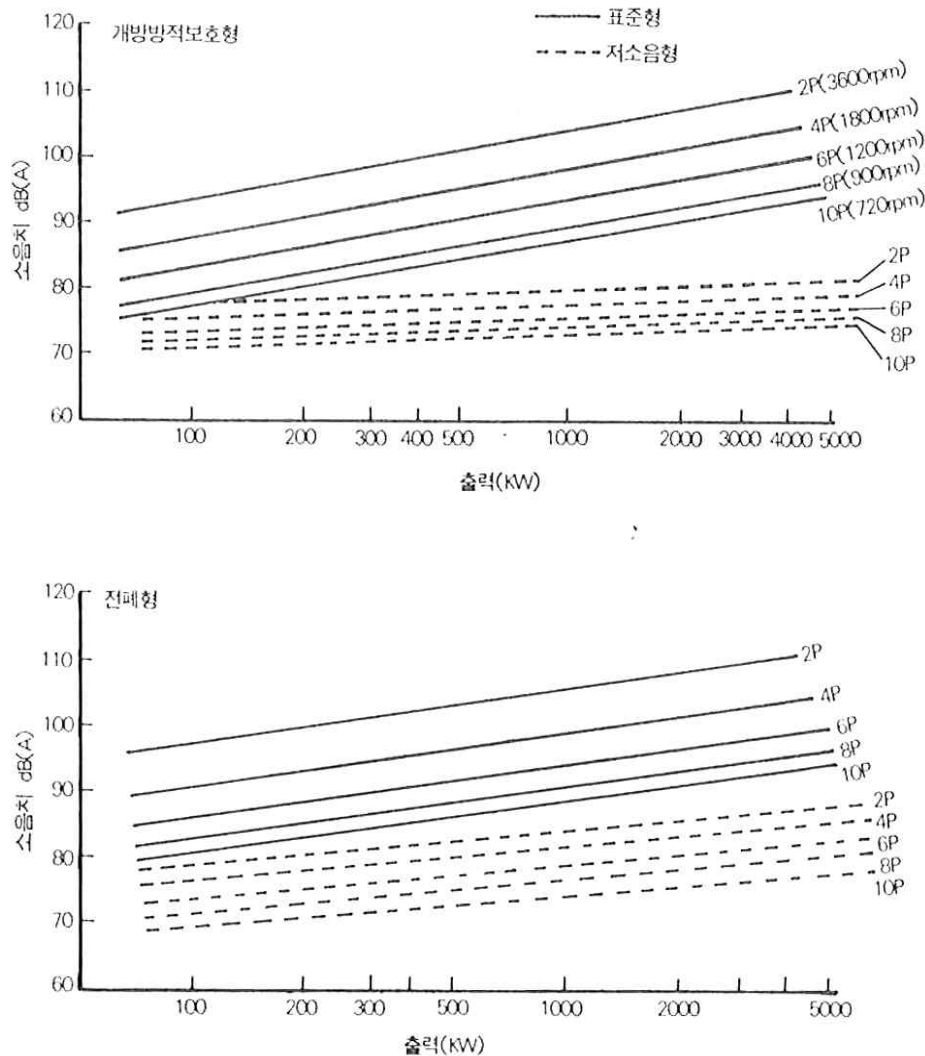
【펌프소음 측정】

② 소음평가 기준

펌프실 및 가압장과 같은 기계설비가 설치되어 있는 기계실의 소음기준은 명확히 구분되어 있지 않으나 일반적으로 펌프의 운전 중 합성소음은 기기측 1m 거리에서 소형펌프는 75dB 이하이고 대형펌프에서는 85dB 이하가 바람직하다는 견해도 있으며, 펌프제작사의 소음기준은 사양점 운전상태 시에 기계로부터 1m 거리에서 80~90dB 정도로 디젤기관이나 전동기의 소음보다 다소 낮은 값으로 판단하기도 하나 실제현장에서 펌프의 운전 중 발생하는 소음은 [해설 그림 5.2.8]과 같이 500kw, 1800rpm 전폐형 전동기에서 발생하는 소음치가 이미 95dB정도로 펌프의 소음보다 크게 나타난다. 그러므로 펌프실내에 설치된 펌프는 거의 노출된 펌프이고 전동기출력도 500kw이상인 경우가 대다수인 취

수펌프실 및 가압펌프실 펌프의 소음크기는 여기에 5~10dB정도를 더한 값을 기준으로 하는 것이 현실적으로 판단된다.

따라서, 소음의 평가는 발생기기의 최대소음을 기준으로 80dB이하는 매우양호(a), 80 ~ 90dB은 양호(b), 90 ~ 100dB은 다소높음(c), 100 ~ 115dB이상은 높음(d), 115dB이상은 불량(e)으로 평가한다.



주) 주파수 60Hz의 경우(50Hz의 경우는 약 3dB(A) 작게 된다)

[해설 그림 5.2.8] 전동기의 소음레벨

참고로, 산업안전보건법에서는 작업장내부에서 발생하는 소음의 허용기준을 [해설 표 5.2.9]와 같이 소음 노출시간을 제한하고 있다.

[해설 표 5.2.9] 산업안전보건법의 소음 허용기준표

소음강도	90 dB(A)	95 dB(A)	100 dB(A)	105 dB(A)	110 dB(A)	115 dB(A)
1일 노출시간	8	4	2	1	30분	15분

(5) 전기설비 조사

전기설비 점검 및 조사는 수배전반, 고압펌프모터설비(기동반, 현장조작반), 비상발전기 등을 대상으로 외관 및 작동상태와 필요에 따라 시험·측정조사(절연저항측정, 접지저항측정, 고압모터전류신호분석, 적외선 열화상 진단 등)를 실시한다.



【수배전반 점검】



【고압펌프모터 점검】



【펌프모터 작동시험】



【적외선 열화상 촬영】

(6) 적외선 열화상탐사

적외선 열화상탐사는 활선상태에서 전기 기계기구의 사고를 일으키는 이상온도(異常溫度)를 조기에 발견하고 대처하게 함으로서 전기설비의 신뢰도를 향상시켜 생산설비에 양질의 전력을 공급하는데 있으며, 사용중 전기설비의 온도는 접촉식 온도계나 기타의 방법으로 쉽게 확인되지 않으므로 활선상태에서 안전성이 보장된 비접촉식 장비를 사용하여 전기설비 각 부분의 온도를 분포도(分布度)로 나타내어 절연물 오손, 접촉불량, 과부하등 전기기기의 열화나 성능을 판단하는 자료로 활용할 수 있다.

대상물에서 발산된 복사에너지는 적외선 열화상 진단장비에 의하여 화상으로 나타나며, 이 화상에 표시된 각 지점(Point)의 온도분포를 판정하는 방법은 3상비교법 또는 온도 패턴법을 사용한다.

① 온도 패턴법

절연재 열화개념에서의 판정기준이므로 기준치이하라 하더라도 측정 당시의 조건(부하율, 주위온도 등)을 고려하여야 한다.

[해설 표 5.2.10] 판정기준 II(온도패턴법)

전 력 기 기		온도상승한도	최고허용온도	비고,
유입변압기(본체)		50℃	90℃	KSC 4306(유온기준)
건식변압기	에폭시부(B종)	80℃	130℃	IEC 726
	에폭시부(F종)	100℃	155℃	IEC 726
GIS		15℃	-	실측에 의한 통계
단로기 및 동부스바	접촉부	25℃	65℃	KSC4502에 의함
	접속부	40℃	80℃	
	구조부분 (자기애자 등)	50℃	90℃	
전 선	IV	-	60℃	내선규정130-1
	HIV	-	75℃	
	EV	-	75℃	
	CV, CNCV	-	90℃	
	OF	-	85℃	제작시방
전력형 고정권선 저항기		사용온도범위	최고표면온도	IEC-115-4('82) KSC6419-95
	V형	-55~+200℃	350℃	
	G형	-40~+200℃	275℃	

② 3상 비교법

동일조건(3상 평형부하이고, 전선의 굵기가 같은 경우 등)의 다른 부위와 비교하여 판별할 수 있다.

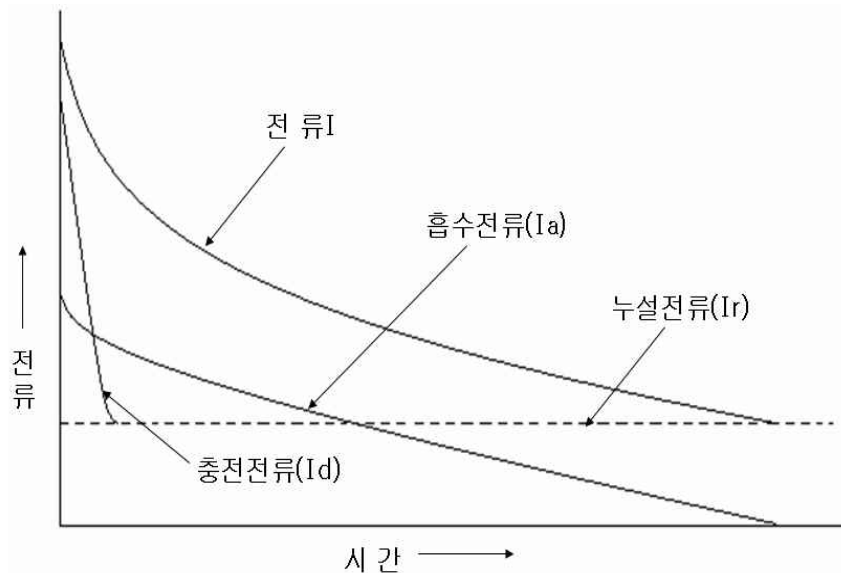
[해설 표 5.2.11] 판정기준 (3상 비교법)

온 도 차	판 정 기 준
5℃ 미만	정 상
5℃ ~ 10℃ 미만	요주의
10℃ 이상	이 상

(7) 모터 성극비시험

직류전류시험은 절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간 특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성불순물의 혼입 혹은 생성, 오손, 절연물의 결함 등 절연체의 상태를 판정하는 시험이다. 일반적으로 절연체에 직류전압을 인가하면 [해설 그림 5.2.9]의 전 전류와 같은 전류변화곡선을 측정할 수 있다. 측정된 전 전류치 $I(t)$ 는 [해설 그림 5.2.9]와 같이 순시충전전류 $I_d(t)$, 흡수전류 $I_a(t)$ 및 누설전류 I_r 의 3개 성분으로 나눌 수가 있으며 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$I(t) = I_d(t) + I_a(t) + I_r$$



[해설 그림 5.2.9] 직류전류 및 시간 특성도

충전전류 $I_d(t)$ 는 매우 빠른 속도로 감쇄되는 전류성분으로 진공중의 변위전류, 유전체의 전자분극 또는 이온분극에 의해 생성되는 전류 등이 포함되어 있다. 이 충전전류의 응답시간은 적외선진동주기 보다도 짧기 때문에 실제로 흐르는 전류는 인가전압 상승시간내에 감쇄된다. 흡수전류 $I_a(t)$ 는 쌍극자 분극과 공간전하분극 때문에 발생하는 전류성분으로서 순시충전전류보다 천천히 감쇄하며 긴 것은 수 시간 동안 감쇄하는 것도 있다. 이 흡수전류는 영구쌍극자 배열의 시간지연과정 및 캐리어의 이동이 공간전하를 형성하는 과정에서 나타나는 현상이다. 이 전류는 전압을 제거 하였을 때 충전시와 반대 극성의 전류로서 나타난다. 누설전류 I_r 은 절연물의 내부 혹은 표면을 실제로 전하가 이동하여 생기는 전도전류이며 시간에 대하여 거의 일정하다. 누설전류는 이온 및 전자 이동에 의해 발생하지만 실제 절연체에서는 이온전류인 경우가 많다. 이상과 같은 성분전류의 특징 때문에 전 전류 $I(t)$ 는 [해설 그림 5.2.9]에서와 같이 시간경과 따라 누설전류 I_r 로 수렴됨을 알 수 있다.

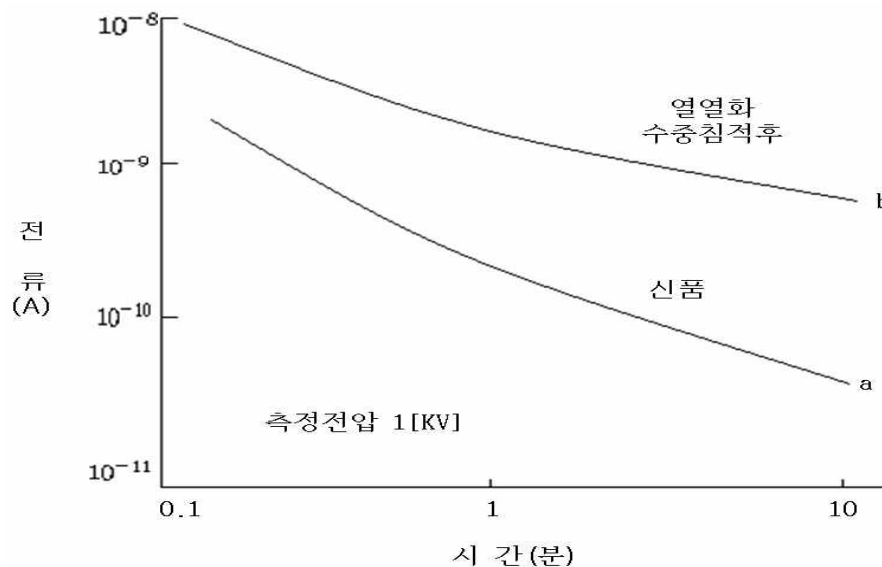
직류전류-시간특성에 있어서 전류의 크기는 시료의 형태, 크기에 따라서 변하기

때문에 전류의 크기만으로 절연상태를 판단하지는 못한다. 절연체가 열화하거나 흡습되면 누설전류가 증가하고, 따라서 전류-시간 특성곡선에서는 누설전류의 상승으로 전류의 감쇄율이 낮아지게 된다. 이러한 특징을 이용하여 전류의 시간변화를 나타내는 지표로서 다음과 같은 성극비(Polarization Index)를 사용하며, 이 성극비로서 시료의 흡습 및 오손 등의 열화상태를 판정한다.

$$\text{성극비}(P.I) = \frac{\text{전압인가1분후의전류}}{\text{전압인가10분후의전류}}$$

측정 전류는 대단히 작기 때문에 접속선을 가능한 짧게 하고 측정선은 Shield선을 사용하여 외부잡음의 영향을 제거할 필요가 있다. 시험전압이 높게 되면 고전압 인가부분에서 직류 Corona가 발생하여 Corona 전류가 공기중을 통하여 시료에 들어갈 위험성이 있다. 이때 절연물의 측정전류가 미소한 경우는 Corona의 영향이 크게 되어 측정 오차가 발생되므로 시험전압의 인가부분에서 Corona가 생기지 않도록 세심한 주의가 필요하다.

[해설 그림 5.2.10]은 전류-시간특성의 예로서 그림에서 a는 신품코일, b는 열열화 및 수증침적후의 전류-시간특성을 나타내고 있다. [해설 그림 5.2.10]에서처럼 절연층이 건조한 상태인 신품a의 경우 누설전류가 극히 작기 때문에 흡수전류가 급격히 저하함에 따라 성극지수가 커지는 것을 알 수 있으며, 절연체 b는 흡수 및 열열화로 인하여 누설전류치가 크기 때문에 성극지수가 작아짐을 알 수 있다.



[해설 그림 5.2.10] 회전기 권선의 직류전류 특성도

[해설 표 5.2.12] 성극비의 판정기준

성극지수(PI: Polarization Index) 6.6kV 이상급	
규정치	판정
< 1	위험
1 to 2	주의
2 to 4	좋음 (3.3kV급 1.5이상)
> 4	매우 좋음
★ 성극지수(PI) – 절연물이 열화(흡수)하는데 따라 누설전류값이 증가하므로 흡수전류에 대한 누설전류의 값이 커지는데 이것을 정량적으로 표현한 것 $\text{성극지수} = \frac{\text{전압인가1분후의누설전류치}(\mu A)}{\text{전압인가10분후의누설전류치}(\mu A)} = \frac{\text{전압인가10분후의절연저항}}{\text{전압인가1분후의절연저항}}$	

5.2.2 시설물 외관조사 요령

가. 정밀점검 외관조사 요령

「공통편」 3.9항의 규정과 다음의 시설물별 안전점검 실시 내용에 따라 현장조사와 구조물의 특성을 고려하여 필요한 현장조사 및 실내시험을 실시한다.

1) 취수시설

- ① 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고, 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 가능한 범위 내에서 구조물 주위의 세굴, 퇴사량 등을 점검한다.
- ③ 취수시설의 부대시설에 대하여 부식상태와 손상상태 등을 검사한다.
- ④ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 취수장

(가) 흡수정 및 펌프장 구조물

- ① 용수공급에 지장이 없는 범위 내에서 흡수정을 Pit별로 단수를 실시하여 가능한 한 흡수정의 물과 이토를 제거한 후 점검한다.
- ② 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 콘크리트 구조물에 도장을 한 경우에는 도장상태를 점검한다.
- ④ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

3) 관로시설(취·도·송수관로 및 수로터널)

(가) 관로

- ① 관로를 관종, 매설년도, 관경 등을 고려하여 구간별로 분할하고 구간별로 관로의 상태를 평가한다.
- ② 관련 자료를 분석하고 그 결과를 평가한다.
- ③ 관이 노출되는 지점의 일부를 선정하여 도장두께를 측정하고, 관체 및 배관의 부식 등 손상상태를 점검한다.
- ④ 전체 관로구간을 현지 답사하여 관로상의 지장물, 주변환경 및 하중의 변동 사항 및 누수여부를 육안으로 점검한다.
- ⑤ 관 파열로 제3자에게 중대한 재해를 줄 우려가 있는 도로의 경사지, 주거 밀집 지역, 주요공단지역, 다중교통도로, 철도횡단구간 등을 점검하고 위험이 예상되는 구간에 대해서는 관로의 보호공, 긴급차단밸브의 설치여부를 확인한다.
- ⑥ 관로사고 시 긴급복구에 장기간이 소요되는 하천횡단 및 복개구간, 구조물 Box 통과구간을 점검하고 필요 시 예비관로 추가설치 등 방안을 검토한다.
- ⑦ 관로에 방식설비가 되어 있는 경우에는 테스트 박스(T/B)에서 전위를 측정하여 기록하고, 이를 분석하여 평가한다.
- ⑧ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

(나) 각종 밸브실 및 밸브실내 배관

- ① 밸브실 및 밸브실내 배관조사는 차도 상에 위치한 밸브실에 대해 실시한다.
- ② 밸브실의 토목구조물 및 강재에 대하여 육안조사로 손상상태를 점검하고 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 구조물의 손상상태와 노후도 상태를 평가하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 각종 밸브실(제수밸브, 공기밸브, 이토밸브, 신축관, 유량계 등)의 내부침수 및 도로포장 등에 의한 매몰여부를 점검한다.
- ④ 각종 밸브류가 적정한 위치에 설치되어 있는지를 준공도면 및 현장조사 시 지형 등을 통하여 확인한다.
- ⑤ 밸브교체가 신속히 될 수 있는지를 준공도면 및 현장조사를 통하여 점검한다.
- ⑥ 각종 밸브실 구조물은 외부지하수의 유입방지를 위하여 구조물의 방수처리 유무를 점검한다.
- ⑦ 단수 시 수격압의 경감과 수두가 40m이상인 경우에 개폐조작을 원활히 하기 위하여 부제수밸브의 설치상태 및 이상 유무 등을 점검한다.
- ⑧ 각종 밸브류는 내부압력에 적합한 규격을 설치하였는지를 검토한다.
- ⑨ 각종 밸브류와 관의 중심선이 부등침하 등으로 불일치하여 이음부인 플랜지부위에 집중응력이 발생되어 밸브류 또는 관의 파열 우려가 있는 지를 점검한다.
- ⑩ 각종 밸브류의 기초고정 볼트는 밸브실 바닥과 일체가 되도록 고정이 되어 있는 지를 점검한다.
- ⑪ 부등침하가 우려되는 장소에 신축관을 적절하게 설치하였는지를 검토하고, 신축이음 등 이음부위의 상태를 조사하여 기록한다.
- ⑫ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

4) 정수시설

- ① 정수시설의 구조물은 취수장의 점검요령에 준하여 실시한다.
- ② 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

5) 가압장

- ① 가압장 구조물은 취수장의 점검요령에 준하여 실시한다.
- ② 토출관로내의 수격압 방지시설인 각종 밸브류 및 장치의 작동상태를 확인한다.
- ③ 각종 밸브류의 도장손상, 부식 등의 이상여부를 점검하고 비상 시 퇴수관로 상태를 확인한다.

6) 조절지 및 배수지

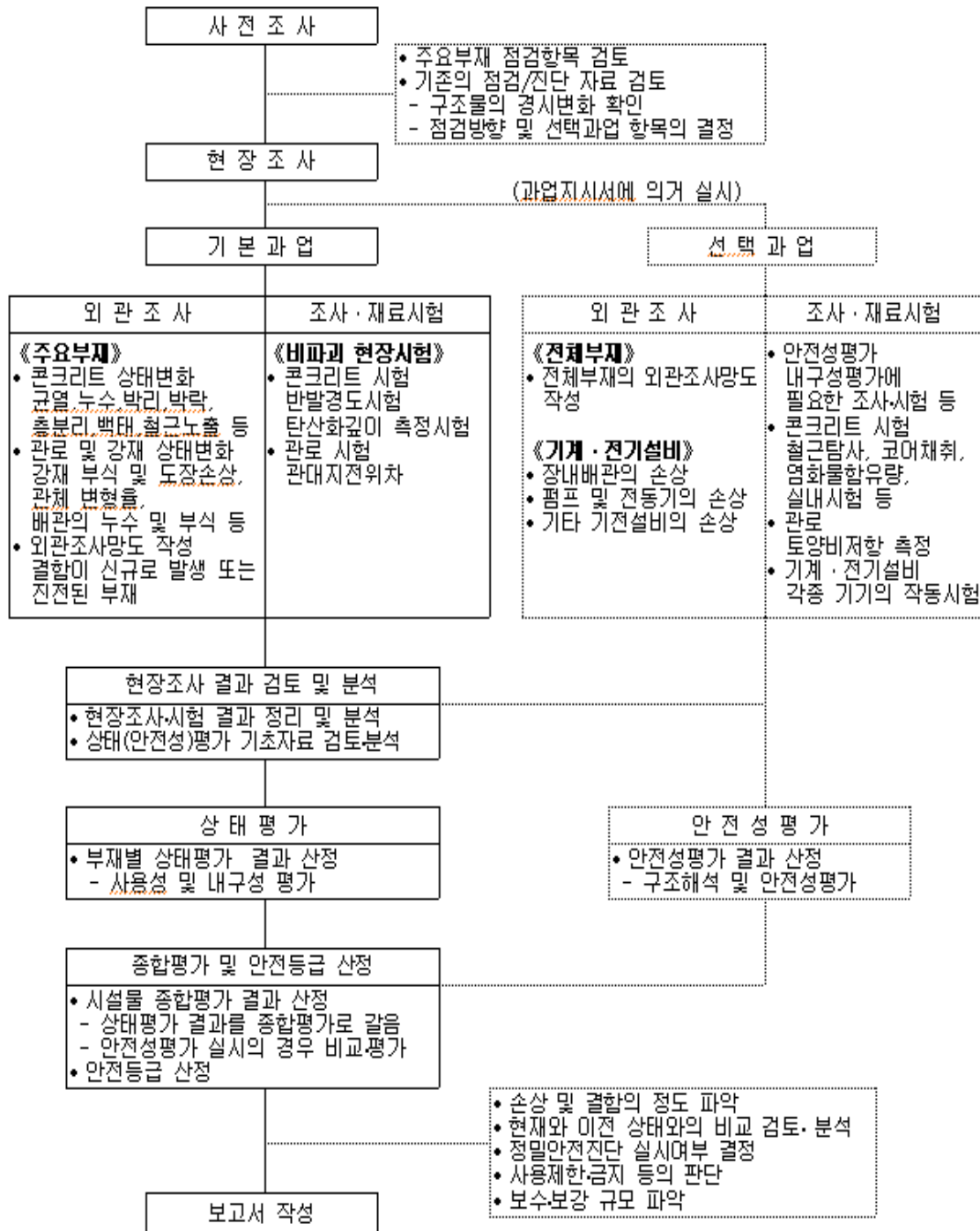
- ① 조절지 및 배수지의 점검은 취수장의 점검요령에 준한다.
- ② 고지대에 위치한 조절지, 배수지 주변지역의 상태를 관찰하여 누수, 지반침하 등과 구조물의 상태를 점검한다.

7) 부대시설 등

상기한 대상시설물을 제외한 부대시설물 등으로서 상수도시설의 안전에 직접 영향을 미치는 시설물에 한하여 검사자가 필요하다고 판단되는 시설물에 대해서는 점검을 실시한다.

【해설】

1. 상수도 시설물의 정밀점검에서는 외관조사 및 간단한 측정·시험을 실시하고 시설물의 주요 부재별 상태를 평가하며, 일반적인 정밀점검 절차는 [해설 그림 5.2.11]과 같다.



[해설 그림 5.2.11] 정밀점검 수행 절차도

2. 정밀점검은 일반적인 과업항목별 과업내용은 [해설 표 5.2.13]과 같다.

[해설 표 5.2.13] 정밀점검 과업 내용

과업항목	기본과업	선택과업
자료수집 및 분석	•준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리 수문계산서 •시공, 보수, 보강도면, 제작 및 작업도면 •재료증명서, 품질시험, 재하시험, 계측 등 자료 •시설물관리대장 •기존의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 •보수, 보강이력	•구조, 수리, 수문 계산서 작성 •실측도면 작성
현장조사 및 시험	•기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 관로시설 : 매설환경, 부식환경, 관상 세 검사, 밸브실 상태 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수 등 손상 - 강재구조물 : 강재부식 등 손상 •간단한 현장 재료시험 - 관대지전위차 - 콘크리트 반발경도 - 콘크리트 탄산화	•전체부재에 대한 외관조사망도 작성 •시설물 조사에 필요한 임시접근로, 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •조사부위 표면청소, 마감재 해체 및 복구 •수중조사 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가에 필요한 조사, 시험 •기계, 전기설비 조사 •각종 기기의 작동시험
상태평가	•현장조사 및 시험 결과분석 •대상시설물(부재)에 대한 상태평가(안전등급) •상태평가 결과에 대한 책임기술자 소견	
안전성 평가		•필요한 부위의 구조, 지반, 수리, 수문 해석 •임시 고정하중에 대한 안전성평가
보수.보강 방법		•보수, 보강 방법제시
보고서 작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	

3. 정밀점검의 시설물별 점검 및 조사 내용은 [해설 표 5.2.14~17]과 같으며, 과업시 참고적으로 활용할 수 있다.

[해설 표 5.2.14] 관로 점검 및 조사 내용

항목	점검 및 조사 내용	비 고
관로사고이력	최근 5년간 이력	건/km/년
설치년도	경과년수	
관주변 토양종류	토성(모래질, 일반토, 점토, 오염토, 쇠석)	점검자 판단, 토양분석
토양부식성	토양비저항, 토양pH, 황화물 및 염화물함량	선택과업
관대지전위차	관대지전위차(T/B기준)	수도용도복장강관
관내.외면 도장	건전성, 손상상태(국부, 부분적, 전체적)	
관로부식	부식정도(경미, 심화), 부식깊이(mm), 모재두께(mm)	관체(내면 및 외면), 밸브
관두께	부식깊이(mm), 모재두께(mm), 사용년수	
실측내경	원주방향기준 수평길이, 수직길이(mm)	관체 변형율(%)
관로누수	누수 유무(방울, 분출, 재해)	

[해설 표 5.2.15] 토목구조물 점검 및 조사 내용

항목	점검 및 조사 내용	비 고
침하 및 부상	손상상태(경미, 보통, 심각, 위험)	
경사	손상상태(경미, 보통, 심각, 위험)	
활동	손상상태(경미, 보통, 심각, 위험)	
기초 세굴	손상상태(경미, 경미한 상태 산재, 안전 영향, 위험)	
콘크리트 균열	균열폭(mm), 조사면적(㎡)	
콘크리트 박리	박리 깊이(mm), 조사면적(㎡)	
콘크리트 박락 및 층분리	박락 및 층분리 깊이(mm), 조사면적(㎡)	
철근노출	철근노출길이(m), 조사면적(㎡)	
누수	콘크리트 부재 누수상태(습윤, 방울, 소량분출, 다량 분출) 신축이음부 누수상태(흔적, 파손누수, 하부구조물 부식발생, 부식심화)	
백태	백태 발생 면적(㎡), 조사면적	
콘크리트 파손	파손깊이(mm), 파손면적(㎡), 조사면적(㎡)	
신축이음 탈락 및 열화	탈락 정도(고정장치 이완, 고정장치 파손, 신축이음 본체 파손) 열화 정도(지수관 마모, 부식 경미, 부식 열화)	

[해설 표 5.2.16] 강 구조물 점검 및 조사 내용

항목	점검 및 조사 내용	비 고
피로 균열	균열상태(표면, 관통균열), 균열길이(mm)	
강재 부식	조사면적(㎡), 모재두께(mm), 부식발생 면적(㎡), 부식 깊이(mm)	
변형 및 변위	최대 허용처짐량(mm)	
도장 손상	손상(변색, 부풀림, 타락) 면적(㎡), 조사면적(㎡)	

[해설 표 5.2.17] 기계·전기설비 점검 및 조사 내용

설비구분	항목	점검 및 조사 내용	비 고
기계설비	펌프베드 기초	기초 상태(미세균열, 고정볼트 주위 균열, 펌프 고정 불가 상태)	
	펌프 진동	진동한계(RMS, mm/s)	선택과업
	펌프 소음	펌프 1m에서 평균소음(dB)	선택과업
	관체의 손상	부식 조사면적(㎡), 모재두께(mm), 부식발생 면적(㎡), 부식깊이(mm) 도장 건전성, 손상상태(국부, 부분적, 전체적) 누수 여부(누수 우려, 누수 관찰, 분출)	
	관연결부 손상	부식 조사면적(㎡), 모재두께(mm), 부식발생 면적(㎡), 부식깊이(mm) 누수 여부(누수 우려, 누수 관찰, 분출)	
	밸브 손상	밸브 작동여부, 부식, 축부 누수(경미, 진행, 분출)	
전기설비	작동상태	작동 유무	
	손상 및 파손	원인, 불량 정도(양호, 미미, 경미, 심화 극심)	
	절연·접지상태	절연저항(MΩ)	
	전기설비 상태	설비 기동 및 운전엔 문제 정도	

나. 정밀안전진단 외관조사 요령

「공통편」 3.9항의 규정과 다음의 시설물별 정밀안전진단 실시 내용에 따라 현장조사와 구조물의 특성을 고려하여 필요한 현장조사 현장 및 실내시험을 실시한다.

1) 취수시설

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

- ① 취수시설 구조물의 수중조사는 무단수로 실시할 경우에는 접근유속으로 인한 안전사고의 우려가 크므로 조사기간 중에는 반드시 관리주체와 단수조치 등 협의를 취한 후 진단에 임한다.
- ② 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 취수시설에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 결함의 종류, 노후화의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

2) 취수장

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대해서는 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하며, 그 외의 경우에는 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 결함상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록 정리한다.
- ③ 취수장에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 결함의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

3) 관로시설(취·도·송수관로 및 수로터널)

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

(가) 관로

- ① 관로는 단수조치를 하고 관로주위를 터파기하여 육안조사, 비파괴시험 등으로 직접 점검하는 방법이 원칙이므로 진단업무를 수행하기 전에 관리주체와 사전 협의한다.
- ② 관내부의 검사는 단수 조치 후 진단자가 내부에 진입하여 관체 및 배관의 부식 등 손상상태를 점검한다.
- ③ 관로에 방식설비가 설치되어 있는 경우에는 관로방식설비에 대한 노후화 정도 및 성능저하상태를 정밀히 조사한다.

- ④ 관로는 대부분이 지중에 매설되어 시편채취가 곤란할 뿐만 아니라 관 내부 조사가 무단수로는 사실상 곤란하므로 정밀안전진단 기간 중에 관리주체와 협의하여 이설구간이 있을 경우 회수되는 기존 매설관의 시편을 채취하여 관의 상태를 확인하고, 재료시험 등 실내시험 등을 통하여 관의 상태를 점검한다.
- ⑤ 관로의 상태평가 결과 취약하다고 판단되는 구간에 대하여는 굴착하여 관체의 부식도, 실(Seal)두께, 관의 손상정도 및 용접부검사 등을 실시하여 평가한다.
- ⑥ 관 매설지역의 토양특성에 따라 토양시료를 채취하여 관 주변의 토양부식성을 분석하여야 한다. 토양시료는 굴착조사 및 관로이설·교체공사시 관과 인접한 토양을 채취하고 임의로 채취할 경우에는 관로 노선상에 매설심도를 고려하여 가능한 관과 인접한 토양을 채취한다.
- ⑦ 과대한 하중이 예상되는 구간에 대하여는 관로탐지기 또는 지중탐사장비 등을 이용하여 매설깊이 등을 조사하여 기록한다.
- ⑧ 관로상의 곡관부위, 이형관 등 분기점, 터널 입·출구부 등에 누수가 있거나 누수발생 유무 확인이 필요한 경우에는 누수탐사기나 지중탐사장비 등을 사용하여 누수여부를 확인한다.

(나) 각종 밸브실 및 밸브실내 배관

- ① 밸브실 및 밸브실내 배관조사는 전체 밸브실에 대해 실시한다.
- ② 밸브실 구조물의 경우 콘크리트의 강도와 상태, 구조부재의 평가 및 외관 조사결과 필요하다고 판단되는 부재에 대해서는 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ③ 밸브실 구조물의 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 상태조사표(부록참조)에 기록·정리한다.

(다) 수로터널

- ① 수로터널의 점검 시에는 지형, 지질, 지하수위 및 주변환경 등에 의해 안전성이 좌우되는 요소가 많으므로 이들에 대한 상황을 우선적으로 충분히 숙지하여야 한다.
- ② 수로터널이 압력수로인 경우에는 내·외부수압에 충분히 견딜 수 있는 단면의 철근콘크리트 라이닝을 확보하고 있는지 설계도면이나 준공도면 등을 통해 확인함과 더불어 터널출입구에 강관 또는 닥타일 주철관 등으로 적정하게 삽입되어 있는지도 확인하여야 한다.
- ③ 수로터널 내부의 현장조사는 수요처의 단수일정으로 한정된 짧은 시간에 많은 인력이 집중 투입되어 조사가 이루어지는 것이 대부분이므로 체계적이고 효율적인 조사팀의 구성, 점검범위 및 수준, 점검항목 및 내용, 점검순서 및 방법, 안전수칙 등의 계획이 사전에 마련하여함과 더불어 관리주체와 면밀한 협의·검토가 필수적이다.
- ④ 수로터널의 출입구는 안전취약구간에 해당하므로 절취면 및 보호공의 유지상태가 적정한지 면밀히 조사·기록토록 한다.

- ⑤ 단수조치 등에 의해 수로터널내부의 점검이 가능한 경우에는 터널내부의 출입을 위한 바이패스(Bypass)설비, 가로갱 및 경사갱 등의 유무와 그 위치 및 상황을 사전에 정확히 파악하는 것이 중요하다.
- ⑥ 수로터널의 내부점검 시에는 콘크리트 라이닝에 대한 손상이나 결함(균열, 박리, 박락, 누수, 백태, 층분리, 세굴 및 철근노출 등)상태와 구조물의 변위상태(내공변위 및 시공이음부의 단차 발생유무 등)를 조사·측정하여 기록토록 한다.
- ⑦ 수로터널의 내구성 검토가 필요하다고 판단되는 경우에는 콘크리트강도, 탄산화정도, 철근배근간격, 철근피복두께 등을 시험·측정하며 안전성 평가를 실시코자 하는 경우에는 필요에 따라 지표지질(지질의 종류, 풍화도, 방향성, 절리상태 등) 및 시추조사에 의한 암반특성 등을 파악하여야 한다.
- ⑧ 수로터널 외부로 누수의 징후나 발생 시에는 지하수질 분석 등에 의해 누수의 원인 등을 확인토록 한다.
- ⑨ 대구경 터널, 토피가 적은 구간, 중요한 도로나 하천 횡단구간 및 지반이 나쁜 구간 등에서는 이에 적절한 보강(콘크리트 복공두께 증대, 철근삽입 등)이 이루어져 있는지 조사하여야 한다.
- ⑩ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

4) 정수시설

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대해서 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하여야 하며, 그 외의 경우에는 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록·정리한다.
- ③ 정수시설물 별로 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

5) 가압장

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

- ① 재료의 강도, 상태, 구조부재의 평가 및 외관조사 결과를 확인하기 위하여 필요한 현장시험을 실시하고 시험보고서를 작성한다.
- ② 외관조사 결과 외관상으로 노후도가 상당히 진행된 강재에 대해서는 시편채취가 가능한 경우에는 실내시험을 실시하며, 그 외의 경우에는 초음파탐상시험 등으로 관체의 부식도, 실(Seal)두께 추정치, 용접(접합)부위의 결함상태 등에 대한 비파괴시험을 실시하고 시험결과를 기록·정리한다.
- ③ 가압장에 대한 외관조사망도를 작성하여 각 부재별·부위별 손상의 종류, 노후도의 형태, 크기, 양, 심각한 정도 등을 기록·정리한다.

6) 조절지 및 배수지

정밀점검 외관조사 내용을 기초로 시설물의 상태·안전성·종합평가를 위한 진단을 실시하며, 다음의 내용을 정밀안전진단에 포함한다.

7) 부대시설 등

상기한 대상 시설물을 제외한 부대시설물 등으로서 상수도 시설물의 안전에 직접 영향을 미치는 시설물에 한하여 점검자가 정밀안전진단이 필요하다고 판단되는 시설물에 대해서는 정밀안전진단을 실시한다.

다. 기계·전기설비 외관조사 요령

정수시설·취수장·가압장의 기계·전기설비에 관한 외관조사는 다음의 사항을 준하여 실시한다.

1) 기계설비

- ① 각종 배관에 대한 이음부 상태와 관체의 부식 및 노후정도, 도장상태, 누수 등의 배관손상 대한 조사를 실시한다.
- ② 펌프 및 염소중화설비에 대한 외관검사 및 작동상태, 펌프의 소음 및 진동에 대해 점검한다.
- ③ 펌프토출 측에 수격압방지시설이 있는 경우는 시설의 정상작동 여부 및 외관검사를 통하여 시설의 노후도, 부식도 등을 점검한다(수충격 시험을 실시할 경우에만 해당 함).
- ④ 배수펌프의 설치 유무를 점검한다.
- ⑤ 2ton 이하의 크레인 또는 호이스트의 레일, 지지기둥, 로프 등의 손상상태를 점검한다.
- ⑥ 필요하다고 판단될 경우 현장시험을 실시하여 기계·전기설비의 손상상태와 노후도 상태를 점검하고 시험보고서를 작성한다.
- ⑦ 기타 검사자가 필요하다고 판단되는 사항을 점검한다.

2) 전기설비

정수시설·취수장·가압장의 전기설비에 관한 육안점검은 다음의 점검표를 준하여 실시한다.

① 가압·송수·취수 펌프모터설비의 점검표

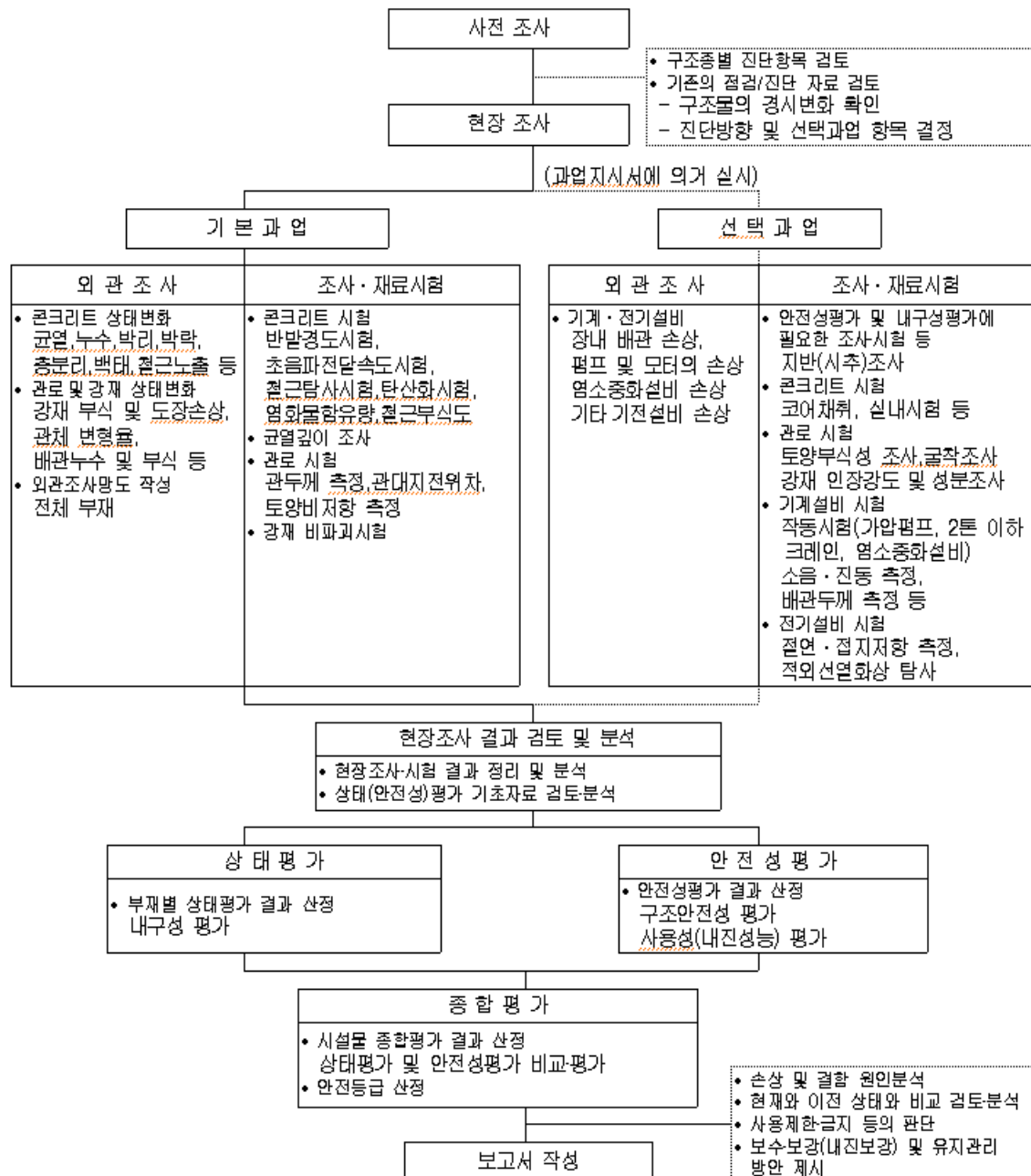
설비명	점 검 사 항	점검결과
가압·송수· 취수펌프모터	- 펌프모터의 외관 및 고정상태, 발청·녹 발생·손상유무, 단자함에 무리한 수납여부, 케이블의 단말처리 및 손상유무, 관련 배관류의 변형·파손 유무 등	
	- 절연저항측정 결과	
	- 펌프모터의 작동상태	
	- 외함접지 유무 및 펌프모터의 정상적인 작동유무	

② 가압·송수·취수 펌프모터의 기동반 및 현장제어반 점검표

구 분		점 검 사 항	점검결과
기 동 반	기동반의 내·외관상태	-빗물·눈·방수·방충·방서 등의 유입 우려, 위험표 지의 유무(변전설비, 출입금지, 고압 위험 표시), 소 화기 설치, 외관 및 표시상태, 계기의 오손 및 지시, 이면배선의 정연 상태 및 오손 및 헐거움 유무 -부속설비의 이상 유무, 접지 및 절연 상태 등	
	표시·계기 상태	-전류·전압계·전력량계·역률·주파수계의 외관 및 작 동상태, 표시램프 및 절환스위치(AS,VS)의 표시 및 작 동상태, 관련 배선의 상태 등	
	차단기	-손상, 이물질 부착, 단자 및 접촉부의 상태, 이음· 이취 유무, 동작지시 및 동작표시상태의 이상 유무, 지지 애자의 균열 유무 등 -접지선의 취부 상태, 동작 회수계, 개폐 조작함 상태 등	
	모선 및 케이블	-애자 및 배선의 취부 상태, 접속부의 과열·변색· 이상 냄새의 유무, 케이블 외상 및 단말부 균열·손 상 유무 등	
	계기용변성기류(PT,CT 등)	-균열·손상·이음·이취의 유무, 퓨즈의 접촉 및 이 상 유무, 접지선의 취부 상태 등	
	보호계전기	-계전기의 외관, 작동상태, 커버의 파손 및 먼지 침 입여부, 동작표시장치의 동작, 조작·제어배선 탈락 및 오결선 여부 등	
	역률보상용 전력콘덴서	-오손·파손·부식 유무, 구동모터와의 용량 적정성, 접지유무, 외함의 부풀림 유무 등	
현 장 제 어 반	반의 내·외관상태	-반의 오손·파손·부식 유무, 내부 이물질 침입여부, 문 개폐 및 잠금장치 상태, 반의 부착 및 고정상태 -반 내부에 대한 방진조치·방습처리 설치유무 및 작 동상태	
	표시·계기 상태	-계기류(전압·전류계)의 외관·지시상태, 파손·손상 유무, 표시상태 등	
	차단기 및 접촉기류	-배선용 차단기(NFB·MCCB)·접촉기류·S/W류 및 각종 접점의 상태(손상·파손·부식 등 문제점 유 무), 보호장치·FUSE·CT·PT의 동작상태 및 파 손·손상 유무, 결선·부착상태 등	
	배선 및 케이블	-배선상태(반 내부의 전선·케이블 단말처리 및 배선 정리, 부착 및 조임 상태, 단선·단락·열화·변색 유무 등)	
	접지 및 동작유무	-접지상태 및 정상적인 작동유무	

【해설】

1. 상수도 시설물의 정밀안전진단에서는 상세 외관조사와 조사 및 재료시험을 실시하고 그 결과를 분석하여 시설물의 상태와 안전성을 평가하며, 발견된 손상 및 결함과 내재되어 있는 문제점에 대해서 보수·보강 및 유지관리 방안을 제시한다. 정밀안전진단의 일반적인 수행 절차는 [해설 그림 5.2.12]와 같다.



[해설 그림 5.2.12] 정밀안전진단 수행 절차도

2. 정밀안전진단은 일반적인 과업항목별 과업내용은 [해설 표 5.2.18]과 같다.

[해설 표 5.2.18] 정밀안전진단 과업 내용

과업항목	기본과업	선택과업
자료수집 및 분석	·준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서 ·시공·보수도면, 제작 및 작업도면 ·재료증명서, 품질시험기록, 재하시험자료, 계측자료 ·시설물관리대장 ·기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과 검토·분석 ·보수·보강이력 검토·분석	·구조·수리·수문 계산 (계산서가 없는 경우) ·실측도면 작성 (도면이 없는 경우)
현장조사 및 시험	·전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 -콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 -강재 구조물: 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등 ·현장 재료시험 등 -콘크리트 시험: 비파괴강도(반발경도 시험, 초음파전달 속도시험 등), 탄산화 깊이측정, 염화물함유량시험 -강재 시험: 강재 비파괴시험(시험량, 시험 부위 등 세부사항은 세부 지침 참조) ·기계·전기설비 및 계측시설의 작동 유무	·시료채취 및 실내시험 ·재하시험 및 계측 ·지형, 지질, 지반조사 및 탐사, 토질조사 ·수중조사 ·누수탐사 ·침하, 변위, 거동 등의 측정 (안전점검 실시결과, 원인규명이 필요하다고 평가한 경우 필수) ·수리·수충격·수문조사 ·시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 ·조사용 접근장비 운용 ·조사부위 표면청소 ·마감재의 해체 및 복구 ·기계·전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측(건축물 제외) ·기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험 ·CCTV, 단수시키지 않는 내시경 조사 등 ·기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험
상태평가	·외관조사 결과분석 ·현장시험 및 재료시험 결과분석 ·콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 ·부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견	
안전성평가	·조사, 시험, 측정결과의 분석 ·기존의 구조계산서 또는 안전성평가자료 검토·분석 ·내하력 및 구조 안전성평가 ·시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	·구조·지반·수리·수문 해석 (구조계 변화 또는 내하력 및 구조안전성 저하가 예상되는 경우 필수) ·구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 ·내진성능 평가 및 사용성 평가 ·임시 고정하중에 대한 안전성평가
종합평가	·시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 ·안전등급 지정	
보수·보강 방법	·보수·보강 방법 제시	·내진보강 방안 제시 ·시설물 유지관리 방안 제시
보고서작성	·CAD 도면 작성 등 보고서 작성	-

3. 정밀안전진단의 시설물별 외관조사는 정밀점검에서의 점검 및 조사 내용에 대해서 기본적으로 실시하되, 정밀점검에서 쉽게 발견할 수 없는 부위를 발견하기 위하여 접근 장비와 공종별 특수기술자가 투입되어 정밀한 외관조사를 실시하여 시설물의 상태 및 안전성평가에 필요한 자료를 확보하여야 한다.

5.3 재료시험 항목 및 기준수량

5.3.1 정밀점검

가. 재료시험 항목 및 평가방법

[표 5.2] 시설별 정밀점검의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
토목구조물	- 콘크리트강도 - 비파괴시험 : 반발경도 - 콘크리트 탄산화 깊이	- 콘크리트강도 - 국부파괴법 : 코어강도 - 철근탐사시험 - 염화물함유량¹⁾
관 로	관대지전위차	- 토양부식성조사 - 토양비저항 측정
기계·전기설비	—	각종 기기의 작동시험

주 1) 제1장 교량 1.3.1절 참조

[표 5.3] 시설별 정밀점검 재료시험 평가방법

구 분		재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	토목 구조물	○ 콘크리트 비파괴강도 － 반발경도 시험	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함.
		○ 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
	관로	○ 관대지전위차	○ 관로의 방식시설의 적정운영 ○ 관로의 부식 개연성 판단
선택 과업	토목 구조물	○ 콘크리트강도 － 국부파괴 : 코어채취	○ 콘크리트강도 평가의 기준 ○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
		○ 철근탐사시험 － 철근배근상태 － 철근피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		○ 콘크리트 염화물함유량 시험 ¹⁾	○ 시료채취 및 평가
	관로	○ 토양비저항	○ 토양에 의한 관외부의 부식상태
	기계 전기	○ 각종 기기 작동시험	○ 기기의 특성과 상황 등을 고려 실시

주1) 염화물함유량 시험은 [표 5.2]에 따라 실시한다.

【해설】

1. 재료시험 항목은 기본과업과 선택과업으로 나누고 필수적으로 실시해야 하는 항목을 "기본과업"으로, 과업의 내용과 범위에 따라 선택적으로 추가되는 항목을 "선택과업"으로 구분하였다.
2. 정밀점검은 간단한 재료시험을 포함하는 점검행위로 기본과업과 선택과업은 상태평가를 위한 최소한의 시험항목으로 규정하였다. 각 과업에 해당되는 시험항목의 평가 및 시험방법은 “세부지침 공통편 부록”의 내용을 따른다.
3. "재료시험 기준수량"은 과업을 위한 최소의 수량을 말하며 점검 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 시험의 개소수가 필요한 경우에는 관리주체와 협의하여 시험수량을 달리할 수 있다.

나. 재료시험 기준수량

상태평가를 위한 기본과업의 재료시험에 대한 기준수량은 [표 5.4]와 같으며, 선택과업에 의한 재료시험 기준수량은 [표 5.5]와 같으나, 이외의 재료시험 항목 및 수량에 대해서는 과업의 내용에 따른다.

[표 5.4] 정밀점검의 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널	토목구조물 ¹⁾	비고
반발경도 시험	—	· 200m당 1회 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상 · 정수장 5개소 이상	
탄산화 깊이 측정 ²⁾	—	· 복합부재/3개소 이상 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 1개소 이상 · 정수장 3개소 이상	
관대지진위차	(T/B)당×1개소	—	—	

주 1) ○ 취수시설에서의 재료시험은 책임기술자 판단에 따라 실시여부 및 수량 결정

○ 시설별의 종류 : 취수장, 가압장, 조절지, 배수지 등

주 2) 철근콘크리트라이닝 구조에서 실시

[표 5.5] 정밀점검의 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	토목구조물	기전설비	비 고
코어채취 ¹⁾	—	1개소당 3개	—	강도 및 염화물함유량 시험 등
토양비저항	관로 300m당 1개소	—	—	
주요기기 작동시험 ²⁾	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의한 후 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취한다.

또한 이전에 수행한 안전점검이나 정밀안전진단에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 이들의 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 주요 기기에 대한 작동시험은 관리주체와 협의하여 실시

5.3.2 정밀안전진단

가. 재료시험 항목

[표 5.6] 시설별 정밀안전진단의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
수로터널 · 토목구조물	○ 콘크리트강도 － 비파괴시험 : 반발경도, 초음파속도 (수로터널은 초음파속도 제외) ○ 철근탐사 － 철근 배근상태 － 철근 피복두께 ○ 콘크리트 탄산화 깊이 ○ 콘크리트 염화물함유량 ○ 철근부식도 ○ 균열깊이 조사	○ 콘크리트강도 － 국부파괴법 : 코어강도 ○ 콘크리트 물성 및 미세구조 ○ 지반(시추)조사
관 로	○ 관두께 측정 ○ 관대지전위차 ○ 토양부식성조사 － 토양비저항 측정 ○ 강제조사 － 용접부 상태 조사	○ 토양부식성조사 － 토양 pH － 토양의 황산이온 및 염소이온 － 토양의 함수비 ○ 굴착조사 ○ 강제조사 － 인장강도 및 성분조사
기계설비	—	○ 작동시험(취수·송수·가압펌프, 2톤 이하의 크레인 및 호이스트, 염소중화설비) ○ 펌프 소음·진동 측정 ○ 장내 배관두께(초음파측정) ○ 와이어 로프 단면감소 및 소선절단 상태
전기설비	—	○ 취수·송수·가압펌프모터와 관련 기동반·현장제어반의 조사 및 시험 － 절연저항측정 － 접지저항측정 － 펌프모터의 작동상태측정 (공급전압, 운전전류 등)

[표 5.7] 시설별 정밀안전진단 재료시험 평가방법

구 분		재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	수로 터널 · 토목 구조물	○ 콘크리트강도(비파괴시험법) : 반발경도, 초음파전달속도	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함.
		○ 철근탐사시험 : 철근배근상태, 피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		○ 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
		○ 콘크리트 염화물함유량 시험	○ 주철근까지 깊이별(10mm~20mm) 시료채취 및 평가
		○ 철근부식도시험	○ 주요부재의 철근 대상 ○ 철근부식확률 평가
		○ 균열깊이 조사	○ 발생균열의 철근깊이 이상 발견 또는 관통 여부 등 평가 ○ 허용균열폭과의 비교·검토
	관로	○ 관대지전위차	○ 관로의 방식시설의 적정운영 ○ 관로의 부식 개연성 판단
		○ 관두께 측정	○ 현재의 잔존 관두께 ○ 수도용도복장강관, 주철관 구분
		○ 토양 비저항 측정	○ 토양에 의한 관외부의 부식상태
		○ 강제 용접부조사	○ 강제용접 결함(균열 등) 평가 ○ 자분탐상 또는 초음파탐상 등
선택 과업	수로 터널 · 토목 구조물	○ 콘크리트강도(국부파괴법) : 코어채취	○ 콘크리트강도 평가의 기준 ○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
		○ 콘크리트 물성 및 미세구조	○ 강도, 수분함량 등
		○ 지반(시추)조사	○ 기초지반의 특성 및 상태 파악
	관로	○ 토양 pH	○ 토양pH 등
		○ 토양의 황산이온 및 염소이온	○ 관로와 접하는 토양 대상
		○ 토양의 함수비	○ 관로와 접하는 토양 대상
		○ 굴착조사	○ 도장상태 및 관로부식, 관두께, 실측내경 등
		○ 강제 인장강도 및 성분조사	○ 강재의 결함 및 종류
	기계 설비	○ 취수·송수·가압펌프 소음· 진동 측정	○ 허용기준의 초과 여부 ○ 각종 펌프·배관 등
		○ 장내 배관두께(초음파측정)	○ 관의 두께가 소요두께 이상 여부 ○ 부식 우려 및 관 내압이 큰 배관
		○ 권양와이어 단면감소 및 소선절단 상태	○ 권양와이어의 상태평가 ○ 2톤이하 크레인 및 호이스트 상태평가
		○ 작동시험	○ 기기의 특성과 상황 등을 고려 실시
	전기 설비	○ 절연저항측정	○ 허용기준의 초과 여부
		○ 접지저항측정	○ 허용기준의 초과 여부
		○ 적외선열화상탐사	○ 이상발열발생 여부
		○ 펌프모터의 운전상태측정	○ 허용기준의 초과 여부

나. 재료시험 기준수량

[표 5.8] 정밀안전진단의 기본과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널	토목구조물 ¹⁾	비고
반발경도 시험	조사 밸브실의 5%	길이 200m당 1회, 최소 9개소 이상	시설별 각 5개소 이상, 정수장 10개소 이상	
초음파 전달속도시험	조사 밸브실의 5%	길이 200m당 1회, 최소 9개소 이상	시설별 각 5개소 이상, 정수장 10개소 이상	
철근탐사시험 ²⁾	조사 밸브실의 5%	복합부재/3개소 이상, 최소 9개소 이상	시설별 각 3개소 이상, 정수장 10개소 이상	
탄산화 깊이 측정	책임기술자 판단	복합부재/3개소 이상, 최소 9개소 이상	시설별 각 3개소 이상, 정수장 9개소 이상	
염화물 함유량시험	책임기술자 판단	책임기술자 판단	코어채취 수량, 책임기술자 조정 가능	
철근부식도시험	책임기술자 판단	책임기술자 판단	책임기술자 판단	
균열깊이 조사	—	책임기술자 수량 결정	책임기술자 수량 결정	
관두계측정	조사 밸브실의 5%	—	—	
관대지전위차측정	(T/B)당 1개소	—	—	
토양비저항측정	300m당 1개소	—	—	
강재 비파괴시험	필요시 실시 (책임기술자 판단)	—	—	

주1) ○ 취수시설에서의 재료시험은 책임기술자 판단에 따라 실시여부 및 수량 결정

○ 시설별의 종류 : 취수장, 가압장, 조절지, 배수지 등

주2) ○ 철근콘크리트라이닝 구조에서 실시하며,

○ 수로터널은 복합부재(구간1, 구간2, . . .)마다 3개소 이상 실시

[표 5.9] 정밀안전진단의 선택과업 재료시험 기준수량

구 분	관로	수로터널	토목구조물	기계설비	전기설비
코어채취 ¹⁾ (콘크리트 물성 등)	—	1개소당 3개	1개소당 3개	—	—
지반(시추)조사 ²⁾	—	과업에서 조사 및 수량 결정	과업에서 조사 및 수량 결정	—	—
토양 pH	관로 2.0km당 1개소	—	—	—	—
토양의 황산이온 및 염소이온	관로 2.0km당 1개소	—	—	—	—
토양의 함수비	관로 2.0km당 1개소	—	—	—	—
굴착조사	3개소	—	—	—	—
강재 인장강도 및 성분조사	1개소	—	—	—	—
작동시험 ³⁾	—	—	—	진단기간 중 1회 실시	—
소음·진동측정	—	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	—
배관두께 (초음파특정)	—	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	—
권양와이어 단면감소 및 소선절단 상태	—	—	—	과업에서 조사 및 수량 결정	—
절연저항측정	—	—	—	—	펌프모터별 1회 실시
접지저항측정	—	—	—	—	접지System별 1회 실시
적외선열화탐사	—	—	—	—	설비별 1회 실시

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 관리주체와 협의한 후 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하고 1개소 당 3개의 코어를 채취하여 강도 등 실내시험 실시 단, 정수장의 경우 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능

주2) 구조적 중대한 결함 발생, 콘크리트강도의 현저한 저하 및 구조물에 작용 하중조건의 변경 또는 예상되는 경우 등 구조물의 구조적 안전성 검토가 필요한 경우 필수적으로 실시하여야 한다.

주3) 취수·송수·가압펌프, 2톤 이하의 크레인 및 호이스트, 염소중화설비에 대한 작동시험은 관리주체와 협의하여 실시하며, 기기의 특성 및 상황을 고려하여 작동시험 수량은 책임기술자가 조정 가능

【해설】

1. 재료시험 항목은 기본과업과 선택과업으로 구분되며, 「기본과업」은 정밀점검 및 정밀안전진단 수행시 필수적으로 수행해야 하는 항목이고, 「선택과업」은 과업의 내용과 범위, 시설부재의 중요성 등에 따라 선택적으로 추가하여 수행하는 항목이다.
2. 재료시험 기준 수량은 정밀점검 및 정밀안전진단을 수행시 최소한으로 수량이며, 과업 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 재료시험 수량이 필요할 경우에는 관리주체와 협의하여 수량을 조정할 수 있다.
3. 반발경도 시험, 초음파전달속도 시험, 철근탐사 시험, 탄산화 깊이 측정, 철근부식도 측정, 콘크리트 코어 시험, 균열깊이 조사 등은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(공통), 부록1」의 내용을 참조토록 한다.
4. 관두께 측정, 관대지전위차 측정, 토양비저항, 강재 비파괴시험, 굴착조사, 배관의 두께, 소음, 진동측정, 적외선 열화상 탐사 등은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(상수도), 5.2.1 시설물의 점검사항, 해설」의 내용을 참조토록 한다.
5. 염화물 함량 시험
콘크리트 구조물에서 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하는 시험으로서, 채취한 콘크리트 코어 시료를 대상으로 하거나 별도로 드릴링에 의해서 콘크리트 표면에서 철근 깊이까지 깊이별(10mm 또는 20mm)로 단계로 구분하여 염화물 분포를 파악하여야 하며, 깊이별로 염화물 이온농도 분포를 도시한다.
6. 지반(시추) 조사
지반조사는 지층의 판단과 실내실험을 위한 시료의 채취, 현장의 토질특성 파악하기 위해 실시되며, 그 결과는 구조물의 안전성 분석 자료로 활용된다.
지반조사의 일반적인 과업 내용(과업지시서 예시)은 다음과 같다.
 - (1) 채취된 시료는 시료 병에 넣어 채취 순서대로 정리하여 코어상자에 보관하고 심도를 기록하여야 한다.
 - (2) 코어상자의 규격은 약 가로 1m, 세로 0.4m, 높이 0.06m, 내부에 5~6칸의 목제품(판재 및 합판두께 3.6mm)으로 하며 상자덮개 상부와 측면에 조사연도, 시설명, 공번, 심도, 시추회사 등을 명기한다.
 - (3) 성토 층 시추 시 공벽의 보호를 위하여 필히 케이싱을 설치하여야 한다.
 - (4) 현장투수시험
 - ① 본 시험은 전문기술자의 책임 하에 시행하되, 시험구간은 최대 5.0m 이하로 한다.
 - ② 변수위법의 경우 최대 1분 이하의 간격으로, 정수위법의 경우 최소 2.0ℓ 이상의 주입량으로 최소 10단계 이상 수위를 측정하여야 하며, 변수위법을 우선적으로 적용한다.
 - (5) 표준관입시험
 - ① 시험은 KSF 2307 규정에 따라 시행하여야 하며 시험심도는 최대 3.0m 이하로 하되, 지층의 변화 등 필요시는 전문기술자의 지시에 의한다.
 - ② 시험으로 얻어지는 교란시료는 시료 병에 넣어 위치, 공번, 심도 및 N값을 기록하고 보관해야 한다.

(6) 불교란 시료 채취

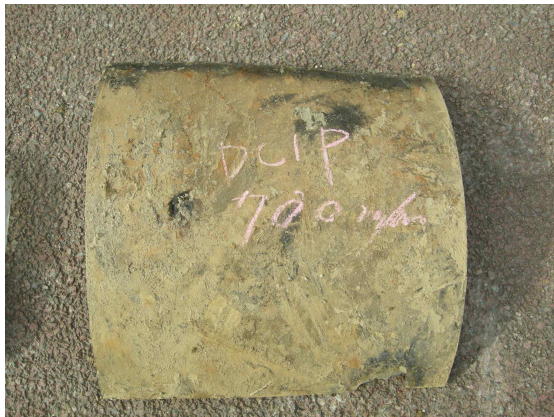
- ① 불교란 시료는 KSF 2317 규정에 따라 채취하며, 튜브(tube)는 전문기술자의 확인 후 사용하여야 한다.
- ② 불교란 시료는 조사 내역서에 계상된 점수로 채취하는 것을 원칙으로 하고, 채취심도는 전문기술자의 지시에 의한다.
- ③ 채취된 불교란 시료는 공인된 시험기관에 의해 시험을 실시해야 하며, 시험 결과를 획득 할 수 있어야 한다.

(7) 조사가 완료된 공은 자연수위 측정 후 전문기술자의 지시에 따라 원상복구 조치하여야 하며, 원상복구 시 재료는 시멘트, 모래, 점토를 사용하여야 한다.

7. 토양 pH, 토양의 황산이온 및 염소이온, 토양의 함수비는 매설관로 주변에서 채취한 토양시료에 대해서 시험실 분석을 원칙으로 한다. 다만, 토양 pH는 토양 부식성의 경향을 파악하기 위해서 pH-Meter에 의해 현장에서 간이 측정도 할 수 있다.

8. 강재 인장강도 및 성분조사

강재 시험은 대상 관로인 수도용 도복장 강관과 수도용 덕타일 주철관에 대해서 재료적 적합성을 확인하기 위해서 실시하며, 주로 관로 이설공사 또는 밸브 교체 공사 등에서 기존 관로의 시편을 채취하여 KS 시험 기준으로 시험실에서 실시된다.



【강재 채취 시편 및 시험편】

강재시편 시험 결과는 [해설 표 5.3.1]과 같이, 수도용 도복장 강관의 경우 기계적 성질(인장강도, 항복점, 연신율)과 화학성분(C, P, S)이 KS D 3565 기준에 만족하여야 하고, 수도용 덕타일 주철관의 경우에도 인장강도 및 연신율, 경도가 KS D 4311 기준에 만족하여야 한다.

[해설 표 5.3.1] 수도용 도복장 강관 및 수도용 덕타일 주철관 등의 강재 허용기준

수도용 도복장 강관						수도용 덕타일 주철관		
기계적 성질			화학 성분			인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	경도 (HB)
인장강도 (N/mm ²)	항복점 (N/mm ²)	연신율 (%)	C(%)	P(%)	S(%)			
402이상	226이상	18이상	0.25 이하	0.04 이하	0.04 이하	420이상	100이상	230이하

9. 작동시험

작동시험은 기계설비 종류와 특성 등에 따라 작동 유무와 안전 운영상 요구되는 사항에 대해서 확인 조사(필요시 측정)를 하며, 일반적인 작동시험 항목은 다음과 같다.

(1) 펌프 작동시험

펌프 사양, 펌프 가동상태의 양정 등

(2) 크레인 작동시험

리미트 정상작동 유무, 권과 방지 장치, 제동장치, 와이어로프 감김 상태, 후크 블록의 시브 이탈 유무 확인, 권상 감속기의 이음 발생 유무, 주행 레일 고정 클립의 탈락 유무

(3) 밸브 작동시험

밸브개방 및 계폐작동 가능 유무

10. 권양와이어 단면 감소 및 소선절단 상태

드럼 또는 시브의 감김 시작점 부근에서 소선에 손상이 가지 않게 그리스를 제거한 후 버니어 캘리퍼스로 10cm 간격씩 3방향에서 3회 측정하여 평균치로 환산하여 최종 직경의 결정은 평균값으로 하며, 이 평균직경으로 허용 감소량 초과 유무를 판단한다.

11. 절연저항 측정

전기설비에서 절연체가 열화되면 누전에 의한 감전사고, 화재, 기기 소손 등이 발생하므로 이를 예방 및 방지를 위해서 절연 조치를 한다. 절연저항은 측정하고자 하는 전기설비(케이블, 모터 등)의 전원을 차단한 후, 절연저항 측정기 선로 단자(L)를 기기 또는 배선에 접속하고 접지 단자(E)를 접지측에 접속하여 측정한다.

[해설 표 5.3.2] 절연저항 판정기준

설비 구분		절연저항치(MΩ)	비 고
저압 전로	대지전압 150V 이하	0.1	
	대지전압 150~300V	0.2	
	사용전압 300~400V	0.3	
	사용전압 400V초과	0.4	
전동기	저압 전동기	10	KSC-4202
	고압 전동기	50	KSC-4203

13. 접지저항 측정

낙뢰시 전기설비 보호, 누전 등의 사고시 인명보호 등을 목적으로 접지 조치를 하며, 접지저항은 접지저항계를 사용하여 후크온식 방법 또는 전위강하법을 이용하여 측정한다.

[해설 표 5.3.3] 접지저항 판정기준

접지저항 공사 종류	접지저항치	접지 개소
제1종 접지공사	10Ω 이하	피뢰기 접지, 고압기기 외함
제2종 접지공사	5Ω 이하	변압기 2차 중성점 접지
제3종 접지공사	100Ω 이하	400V 이하의 저압기기 외함
특별 제3종 접지공사	10Ω 이하	400V 이상의 저압기기 외함

주) 1. 제1종 접지공사, 제3종 접지공사, 특별 제3종 접지공사는 지락시 기기의 외함 등의 대지전압 이상 상승을 방지하고 감전, 누전화재, 기기의 소손 등의 방지를 목적으로 한다.

2. 제2종 접지공사는 고저압 혼촉사고 방지를 목적으로 한다.

5.4 상태평가 기준 및 방법

5.4.1 상태평가 항목 및 기준

가. 평가유형 및 영향계수

시설물의 상태평가는 결함 및 손상에 따른 각각의 상태평가 기준을 적용하며, 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형(評價類型)별로 구분하여 영향계수를 적용한다.

1) 평가유형의 구분

결함 및 손상에 대한 평가유형은 다음과 같이 구분한다.

① 중요결함

침하, 경사/전도 및 활동 등과 같이 전체 구조물의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함.

② 국부결함

기초세굴, 콘크리트 탄산화의 진행 깊이 등과 같이 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치지 않지만 손상이 진전될 경우 전체 구조물의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함.

③ 일반손상

콘크리트 균열, 박리, 박락, 파손 및 마모 등과 같이 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상.

2) 영향계수의 적용

각 부재에서 발생하는 각종 손상 및 결함에 대한 상태평가 시 손상이 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 영향계수를 적용한다.

영향계수는 안전성에 직접적인 영향을 미치는 중요 결함의 상태평가 기준 결과를 기준으로 하여 국부적인 결함의 평가 기준 결과를 상향조정함으로써 이들이 전체 구조물에 미치는 영향을 평가 절하하는 계수이며, 영향계수는 상태평가를 위한 표준기준이며, 조사책임자의 판단으로 다소 조정할 수 있다.

3) 시설물별 평가유형 및 영향계수

(가) 관로

상 태 변 화		평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
관로부식		중요결함	1.0	a	5	
관두깨	수도용도복장 강관			b	4	
	주철관			c	3	
관체 변형율(%)				d	2	
관로누수				e	1	
관로사고이력		국부결함	1.0	a	5	
관대지전위차(mV)			1.1	b	4	
			1.2	c	3	
관내·외면 도장상태			1.4	d	2	
			2.0	e	1	
경과년수		일반손상	1.0	a	5	
토양부식성	토양비저항(Ω·cm)		1.1	b	4	
	토양pH		1.3	c	3	
	황산이온, 염소이온		1.7	d	2	
관주변 토양종류			3.0	e	1	

(나) 토목 구조물

상태변화		평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
침하 / 부상		중요결함	1.0	a	5	
경 사				b	4	
활 동				c	3	
				d	2	
		e	1			
기초세굴		국부결함	1.0	a	5	
탄산화 진행 깊이			1.1	b	4	
			1.2	c	3	
염화물 함유량			1.4	d	2	
		2.0	e	1		
콘크리트 균열		일반손상	1.0	a	5	
콘크리트 박리						
콘크리트 박락 / 층분리						
철근노출						
누수	콘크리트부재		1.1	b	4	
	신축이음부위		1.3	c	3	
백 태			1.7	d	2	
			3.0	e	1	
콘크리트 파손						
신축이음열화 및 탈락	탈락정도					
	열화정도					

(다) 강 구조물

상태변화	평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
강재 변형 및 변위	중요결함	1.0	a b c d e	5 4 3 2 1	
강재 부식	국부결함	1.0	a	5	
		1.1	b	4	
		1.2	c	3	
강재 피로균열		1.4 0.0	d e	2 1	
강재 도장손상	일반손상	1.0 1.1 1.3 1.7 3.0	a b c d e	5 4 3 2 1	

(라) 기계·전기설비

상태변화		평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	비 고
펌프 설비	펌프의 진동크기	국부결함	1.0	a	5	
			1.1	b	4	
	펌프의 소음크기		1.2	c	3	
			1.4	d	2	
			2.0	e	1	
	펌프베드 기초부	일반손상	1.0	a	5	
1.1			b	4		
1.3			c	3		
1.7			d	2		
3.0			e	1		
장내 배관	관제손상 정도(누수상태)	중요결함	1.0	a b c d e	5 4 3 2 1	
	밸브의 손상정도	국부결함	1.0	a	5	
전기 설비	절연열화		1.1	b	4	
	접지불량		1.2	c	3	
	전기설비의 불량 (취수·송수·가압펌프모 터·기동반·제어반)		1.4 2.0	d e	2 1	

나. 상태평가 항목 및 기준

1) 관로

[표 5.10] 관로사고이력의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	사고이력(건/km/년)	비 고
a	5	$f = 0$	■ f : 관로사고이력(최근 5년간 이력을 기준으로 산정함을 원칙으로 함) ■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
b	4	$0.7 \geq f > 0$	
c	3	$1.4 \geq f > 0.7$	
d	2	$2.1 \geq f > 1.4$	
e	1	$f > 2.1$	

주) 관로사고이력은 관리주체로부터 최근 5년간의 사고이력 관련 자료(수도사고 이력, 점검·정비 등)를 수집하여 사고 유형별로 구분하여 분석하되, 관로 노후화와 관련이 없는 내용(타공사, 관로이설공사 등)을 제외한다.

[표 5.11] 경과년수에 대한 상태평가 기준

평가기준	평가점수	경과년수(년)	비 고
a	5	10년 미만	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용 ■ 관로의 설치년도로부터 진단 완료일까지의 경과년수 적용
b	4	10 ~ 20 미만	
c	3	20 ~ 30 미만	
d	2	30 ~ 40 미만	
e	1	40년 이상	

[표 5.12] 관주변 토양종류의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	토양종류	비 고
a	5	모래	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
b	4	실트	
c	3	점토	
d	2	석탄질 토양, 오염 토양	
e	1	쇄석	

주) 삼각도표에 의한 토양종류를 기준으로 하고, 석탄질 토양, 오염 토양, 쇄석을 추가함.

○ 토양의 부식성

- 토양부식성에 대한 평가기준은 지역특성에 따라 특정한 인자가 토양의 부식성을 지배하는 경우도 많이 있으므로 토양부식성을 판단하는 여러 인자 중 특정한 인자에 의한 사고가 빈번한 때에는 제시된 기준과 달리 지역특성에 맞는 인자와 평가 기준을 책임기술자의 판단으로 조정하여 평가할 수 있다.

[표 5.13] 토양비저항의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	토양비저항($\Omega\cdot\text{cm}$)	비 고
a	5	10,000 이상	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
b	4	5,000 ~ 10,000 미만	
c	3	2,000 ~ 5,000 미만	
d	2	700 ~ 2,000 미만	
e	1	700 미만	

[표 5.14] 토양pH의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	토양pH	비 고
a	5	8.5 이상	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용 ■ 토양pH가 6 이상이나, Redox전위가 50mV 이하인 경우 d를 부여한다.
b	4	6 ~ 8.5 미만	
c	3	4 ~ 6 미만	
d	2	2 ~ 4 미만	
e	1	2 이하	

[표 5.15] 황산이온 및 염소이온의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	황산이온 및 염소이온 함량(mg/kg)	비 고
a	5	황산이온 200 이하 또는 염소이온 100 이하	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
b	4	황산이온 200~300 미만 또는 염소이온 100~150 미만	
c	3	황산이온 300~400 미만 또는 염소이온 150~ 200 미만	
d	2	황산이온 400~500 미만 또는 염소이온 200~250 미만	
e	1	황산이온 500 이상 또는 염소이온 250 이상	

[표 5.16] 관대지전위차의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	관대지전위차(mV)	비 고
a	5	(-)850 ~ (-)2500	■ 수도용 도복장강관에 적용하며 주철관은 해당 없음.
b	4	(-)650 ~ (-)850 미만 또는 (-)2500 이하	
c	3	(-)400 ~ (-)650 미만	
d	2	0 ~ (-)400 미만	
e	1	0 이상	

[표 5.17] 관내·외면 도장의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	도장 상태	비 고
a	5	손상 없음	■ 수도용 도복장강관에 적용하며 주철관은 내면만 해당됨.
b	4	전반적으로 깨끗하고 도장의 손상이 국부적으로 발생	
c	3	도장면이 비교적 깨끗하나 도장의 손상이 다소 발생	
d	2	도장면이 불량하고 도장의 손상이 많이 발생	
e	1	도장면이 매우 불량하고 손상이 전체적으로 발생	

[표 5.18] 관로부식의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	부 식 상 태	비 고
a	5	부식이 없음	■ 수도용 도복장강관과 주철관은 동일한 기준으로 적용
b	4	경미한 전면부식이 조금 발생되거나 건전부 모재두께의 10% 미만의 점부식이 관찰되는 상태	
c	3	심화된 전면부식이 전단면에 발생되었거나 건전부 모재두께의 10~30% 미만의 점부식이 관찰되는 상태	
d	2	건전부 모재두께의 30~50% 미만의 점부식이 관찰되는 상태	
e	1	건전부 모재두께의 50%이상의 점부식이 관찰되는 상태	

주) 상태평가 기준이 “d” 이하이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※) 관로의 관체, 밸브 및 볼트·너트 등의 관로부식에 대한 상태평가 기준

[표 5.19] 관두계의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	수도용 도복장 강관(y)	주철관(t)
a	5	$y \geq 30$	$t \geq 1.0$
b	4	10 ~ 30 미만	0.8 ~ 1.0 미만
c	3	5 ~ 10 미만	0.6 ~ 0.8 미만
d	2	2 ~ 5 미만	0.4 ~ 0.6 미만
e	1	$y < 2$	$t < 0.4$

주) 상태평가 기준이 "d" 이하이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

여기서, $\circ y$ (년, 소요관두계 미만이 되는 기간)

= {측정 최소관두계(mm) - 최대 관부식깊이(mm)} / 최대부식도

최대부식도(mm/년) = 최대 관부식깊이(mm) / 경과년수(년)

$\circ t$ (평균 잔존 관두계율) = 잔존 평균관두계 / 규정 관두계

※) 관체는 시간이 경과함에 따라 부식에 의해 관두계가 감소되며, 결국 관의 소요두계 미만이 되면 관의 파손이나 파열 등으로 관로사고가 발생하게 된다. 따라서 부식깊이와 관두계 측정 결과에 의해 현재의 잔존 관두계를 검토한다.

[표 5.20] 관체 변형률의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	관체 변형률(%)	비 고
a	5	없음	■ 수도용 도복장강관에 적용하며 주철관은 해당 없음. ■ 관체 변형률은 내측 내경에 의해, 평균내경과 최대 또는 최소 내경의 비율에 의해 구한 값임.
b	4	3% 미만	
c	3	3 ~ 15% 미만	
d	2	15 ~ 30% 미만	
e	1	30% 이상	

주) 상태평가 결과가 "d" 이하이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

[표 5.21] 관로누수에 대한 상태평가 기준

평가기준	평가점수	누수 상태
a	5	누수가 없음
b	4	누수의 진행이 관찰 가능(방울 방울 떨어짐)
c	3	누수의 진행이 확인 함(많은 양의 분출)
d	2	누수의 진행으로 2차 재해가 우려 됨
e	1	누수의 진행으로 2차 재해가 발생 됨

주) 상태평가 결과가 "d" 이하이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

2) 토목구조물

[표 5.22] 침하/부상의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	침하/부상이 발생되지 않은 상태
b	4	부분적으로 경미한 침하/부상이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c	3	침하/부상의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	침하/부상의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	침하/부상의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전을 위협받고 있는 상태

[표 5.23] 경사의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	경사가 발생되지 않은 상태
b	4	부분적으로 경미한 경사가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않는 상태
c	3	경사의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	경사의 정도가 심각하여 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	경사의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정이 위협받고 있는 위험한 상태

[표 5.24] 활동의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	활동이 발생되지 않은 상태
b	4	부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c	3	활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d	2	활동의 정도가 심각하여 구조적인 안전에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안전이 위협받고 있는 위험한 상태

[표 5.25] 기초세굴의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	세굴이 없는 상태
b	4	세굴이 경미하게 발생한 상태
c	3	경미한 세굴이 여러 곳에 산재되어 있거나 세굴이 다소 심하게 발생한 상태
d	2	세굴이 심하여 하단부가 크게 들어 나고 구조적인 안전에 영향을 미칠 수 있는 상태
e	1	세굴이 아주 심하여 구조적 안전이 심각하게 위협받고 있는 위험한 상태

주) 상태평가 결과가 “e”이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

[표 5.26] 일반 구조물 콘크리트 균열의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	최대 균열폭	면적을 5%이하	면적을 20%이하	면적을 20%이상
a	5	0.1mm 미만	a	a	a
b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	a	b
c	3	0.2mm~0.3mm 미만	a	b	c
d	2	0.3mm~0.5mm 미만	b	c	d
e	1	0.5mm 이상	c	d	e

[표 5.27] 수처리 구조물 콘크리트 균열의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	최대 균열폭	면적을 5%이하	면적을 20%이하	면적을 20%이상
a	5	0.1mm 미만	a	a	b
b	4	0.1mm~0.2mm 미만	a	b	c
c	3	0.2mm~0.3mm 미만	b	c	d
d	2	0.3mm~0.5mm 미만	c	d	e
e	1	0.5mm 이상	d	e	e

※) 콘크리트의 균열은 일반손상 중 하나로 구조적·비구조적 균열로 구분되나, 현장조사 시 균열의 종류를 구분하기가 어렵기 때문에 균열의 종류를 구분하지 않고, 콘크리트구조설계 기준(2007)의 수처리 구조물 콘크리트 허용균열 폭 0.15~0.25mm 및 일반 콘크리트 구조물 허용균열 폭 0.3~0.4mm 등을 고려하여 콘크리트 균열 폭 및 면적율에 따른 상태평가 기준을 설정하였다.

주) 균열 면적율 산정방법

제1장 교량 [표1.11] 참조

【해설】

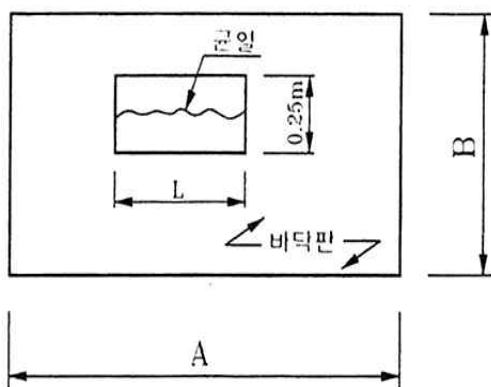
1. 콘크리트 균열 면적을 산정방법

(1) 1방향 균열인 경우

균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구한다.

균열 면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\Sigma \text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\Sigma \text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 (\%)$$

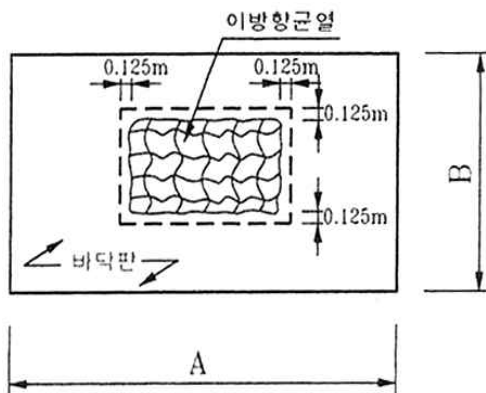


(2) 2방향 균열인 경우

균열발생 면적은 균열발생부위를 가로, 세로의 최·외측균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후, 점선 내면 면적인 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구한다.

균열 면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\Sigma \text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\Sigma \text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 (\%)$$



[표 5.28] 콘크리트 박리의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	○ 박리 발생이 없음
b	4	○ 박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리 면적을 10% 미만
c	3	○ 박리 깊이 0.5 ~ 1.0mm 미만이면서 박리면적을 10% 미만 ○ 박리 깊이 0.5mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상
d	2	○ 박리 깊이 1.0 ~ 25mm 미만이면서 박리면적을 10% 미만 ○ 박리 깊이 0.5~10mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상
e	1	○ 박리 깊이 1.0~25mm 미만이면서 박리면적을 10% 이상 ○ 박리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[표 5.29] 콘크리트 박락 및 층분리의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	○ 박락/층분리 발생이 없음
b	4	○ 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적을 10% 미만
c	3	○ 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적을 10% 미만 ○ 박락/층분리 깊이 15mm 미만이면서 면적을 10% 이상
d	2	○ 박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적을 10% 미만 ○ 박락/층분리 깊이 15~20mm 미만이면서 면적을 10% 이상
e	1	○ 박락/층분리 깊이 20~25mm 미만이면서 면적을 10% 이상 ○ 박락/층분리 깊이 25mm 이상이거나 조골재 손실

[표 5.30] 철근노출 면적의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	철근노출 없음
b	4	철근노출 면적율이 1.0% 미만
c	3	철근노출 면적율이 1.0~3.0% 미만
d	2	철근노출 면적율이 3.0~5.0% 미만
e	1	철근노출 면적율이 5.0% 이상

주) 상태평가 결과가 “e”이고, [표 5.35](탄산화) 또는 [표 5.36](염화물)의 상태평가 결과가 “d”이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

$$\text{철근노출면적율}(\%) = \frac{\text{철근노출면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

[표 5.31] 누수의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용	
		콘크리트 부재	신축이음부위
a	5	누수가 없음	누수가 없음
b	4	현저한 흔적 (누수부위가 습윤된 상태)	누수 흔적이나 토사 등의 오염
c	3	누수의 진행이 관찰가능 상태 (방울방울 떨어짐)	파손에 의한 누수발생
d	2	누수의 진행이 관찰가능 상태 (소량이 분출)	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식발생
e	1	누수의 진행이 확연한 상태 (많은 양의 분출)	누수로 인한 신축이음 하부구조물의 부식심화

※) 상수도 구조물에서 누수가 과대해지면 지반함몰 및 내구성저하 등의 여러 문제를 야기시키므로 누수에 대한 구조물의 상태평가는 중요하다. 그러나 누수를 정량적으로 평가하는 것은 어렵기 때문에 누수흔적이나 진행정도를 기준으로 콘크리트 부재와 신축이음 부위로 구분한 상태평가 기준을 설정하였다.

[표 5.32] 백태의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	백태가 없음
b	4	백태 발생 면적율이 5% 미만
c	3	백태 발생 면적율이 5~10% 미만
d	2	백태 발생 면적율이 10~20% 미만
e	1	백태 발생 면적율이 20% 이상

[표 5.33] 콘크리트 파손의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	○ 파손이 없음
b	4	○ 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만,
c	3	○ 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만 ○ 파손깊이 20mm 미만이면서 파손면적율 10% 이상
d	2	○ 파손깊이 50~80mm 미만이면서 파손면적율 10% 미만 ○ 파손깊이 20~50mm 미만이면서 파손면적율 10% 이상
e	1	○ 파손깊이 80mm 이상이면서 파손면적율 10% 미만, ○ 파손깊이 50mm 이상이면서 파손면적율 10% 이상

※) 파손은 콘크리트가 재료적, 환경적, 또는 외부적인 하중조건에 의해 손상을 입은 것을 말하며 재료분리(곰보판), 물탈 탈락 등 여타의 손상을 포함한다.

[표 5.34] 신축이음 탈락 및 열화의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용	
		부재의 탈락정도	부재의 열화정도
a	5	없음	없음
b	4	없음	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 경미한 열화
c	3	고정 장치의 이완으로 신축이음 본체 유동	고무판 마모, 강재의 부식(녹) 발생 등의 열화심화
d	2	고정 장치의 파손으로 신축이음 본체 일부 탈락 및 손상	
e	1	신축이음 본체 파손	

※) 상수도 구조물은 대부분 장대형으로 신축이음이 여러 곳에 설치되어 신축이음 부재가 탈락하거나, 열화가 크게 진행되는 경우에는 누수 등의 발생으로 여러 가지 문제를 야기할 수 있으므로 구조물의 상태평가 시 신축이음의 상태를 고려함이 필요함에 따라 신축이음 탈락 및 열화 정도에 따른 상태평가 기준을 설정하였다.

[표 5.35] 탄산화 잔여 깊이의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	5	○ 30mm이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음.
b	4	○ 10mm이상 ~ 30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성 있음.
c	3	○ 0mm이상 ~ 10mm미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음.
d	2	○ 0mm미만	철근부식 발생
e	1	—	—

주) 상태평가 결과가 "d"이고, [표 5.30](철근노출)의 상태평가 결과가 "e"이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※제1장 교량[표 1.26] 참조

[표 5.36] 전염화물 이온량의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	5	○ 염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음.
b	4	○ $0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kg/m}^3$	콘크리트 중의 염화물 이온농도가 높으나, 부식이 발생할 가능성 적음.
c	3	○ $1.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물} < 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성 높음.
d	2	○ 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	철근부식 발생
e	1	—	—

주) 상태평가 결과가 "d"이고, [표 5.30](철근노출)의 상태평가 결과가 "e"이면 5.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

※제1장 교량[표 1.27] 참조

3) 강 구조물

[표 5.37] 강재 부식의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	부식이 전혀 없음
b	4	국부적으로 부식이 발생(부식발생 면적율 5% 미만)
c	3	부식이 다소발생(부식발생 면적율 5~15% 미만)
d	2	전반적으로 부식이 발생(부식발생 면적율 15~30% 미만)
e	1	부식발생이 심화(부식발생 면적율 30% 이상)

[표 5.38] 강재 피로균열의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	전 부재에 걸쳐 균열발생이 없음
b	4	보조부재에 국부적으로 미세 표면균열이 발생
c	3	주 부재에 국부적으로 미세 표면균열 발생
d	2	주 부재에 균열길이 20mm 미만의 관통균열 발생
e	1	주 부재에 균열길이 20mm 이상의 관통균열 발생

[표 5.39] 강재 변형 및 변위의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	변형이나 변위 등이 전혀 없음
b	4	변형이나 변위가 없으나 미소한 처짐의 발생 (최대 허용처짐량의 20% 미만)
c	3	변형이나 변위가 미미하고 이로 인한 손상이 없으며 처짐이 다소 크게 발생(최대 허용처짐량의 20~50% 미만)
d	2	변형이나 변위가 다소 크게 발생하였으나 이로 인한 손상은 없고 처짐이 크게 발생(최대 허용처짐량의 50%~100% 미만)
e	1	변형이나 변위가 과대하고 이로 인해 손상이 발생

[표 5.40] 강재의 도장상태에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	도장면 상태가 매우 깨끗하고 결함이 전혀 없음
b	4	도장면 상태가 전반적으로 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림 및 탈락 등이 국부적으로 발생(전체면적의 10% 미만)
c	3	도장면이 비교적 깨끗하고 도장의 변색, 부풀림 및 탈락 등이 다소 발생(전체면적의 10~25%미만)
d	2	도장면이 불량하고 도장의 변색, 부풀림 및 탈락 등이 크게 발생 (전체면적의 25~50% 미만)
e	1	도장면이 매우 불량하고 도장의 변색, 부풀림 및 탈락 등이 전반적으로 발생(전체면적의 50% 이상)

4) 기계설비

[표 5.41] 펌프베드 기초부의 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상 태
a	5	베드의 기초에 전혀 균열이 없는 최상의 상태
b	4	베드의 기초에 균열이 없는 양호한 상태
c	3	베드의 기초에 미세균열이 부분적으로 발생한 보통의 상태
d	2	베드의 기초의 볼트주위에 균열이 발생한 상태
e	1	펌프 고정이 불가능한 정도로 베드의 기초에 균열이 발생하여 보강 또는 교체 등이 필요한 상태

[표 5.42] 펌프의 진동크기에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	진동한계(RMS, mm/s)
a	5	≤ 3.7
b	4	≤ 5.6
c	3	≤ 9
d	2	> 9
e	1	> 11

[표 5.43] 펌프의 소음크기에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 이하
b	4	펌프1m에서 평균소음의 크기가 80dB 초과, 90dB 이하
c	3	펌프1m에서 평균소음의 크기가 90dB 초과, 100dB 이하
d	2	펌프1m에서 평균소음의 크기가 100dB 초과, 120dB 이하
e	1	펌프1m에서 평균소음의 크기가 120dB 초과

[표 5.44] 관체의 손상정도(누수상태)에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용 (누수상태)
a	5	누수가 전혀 없음
b	4	누수가 없음
c	3	누수는 없으나 누수의 우려가 보임
d	2	누수의 진행이 관찰
e	1	누수의 진행이 확연함 (분출)

[표 5.45] 밸브의 손상정도에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	밸브의 작동이 원활하고 여타 손상이 전혀 없음
b	4	밸브의 작동에 문제가 없고 발청부식 등의 손상이 경미하게 발생
c	3	밸브의 작동에 문제가 없고 축부에서 경미한 누수가 발생
d	2	밸브는 작동가능하나 고장으로 수리가 필요하거나 누수의 진행 관찰이 필요
e	1	밸브의 작동이 불가하거나 누수의 진행(분출)이 확연함.

5) 전기설비

[표 5.46] 절연열화에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	절연열화가 전혀 없는 상태
b	4	절연열화가 매우 미미한 상태
c	3	절연열화가 경미한 상태 (경년열화를 고려한 1MΩ 정도)
d	2	절연열화가 심화된 상태 (경년열화를 고려한 1MΩ 이하로서 규정된 절연저항치 정도)
e	1	절연열화가 매우 위험하게 진행된 상태 (규정된 절연저항치 미만)

[표 5.47] 접지불량에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	접지불량이 전혀 없음
b	4	접지불량이 매우 미미한 상태
c	3	접지불량이 경미한 상태(규정된 접지저항치 범위 내)
d	2	접지불량이 심화된 상태(규정된 접지저항치의 120% 이하)
e	1	접지불량이 위험하게 진행된 상태(규정된 접지저항치의 120% 초과)

[표 5.48] 전기설비의 불량에 따른 상태평가 기준

평가기준	평가점수	상태평가 내용
a	5	○ 전기설비의 불량이 전혀 없는 상태
b	4	○ 전기설비의 불량이 매우 미미한 상태
c	3	○ 전기설비의 불량이 경미한 상태 (설비의 기동 및 운전에 지장이 없는 상태)
d	2	○ 전기설비의 불량이 심화된 상태 (설비의 기동 및 운전에 지장을 초래하는 상태)
e	1	○ 전기설비의 불량이 극심한 상태 (설비의 기동 및 운전이 불가능한 상태)

※) 송수펌프모터 · 기동반 · 조작반 · 발전기

5.4.2 상태평가 결과 산정 방법

가. 상수도 시설물 평가 단계별 절차

상수도 시설물은 크게 관로시설물, 토목구조물 및 기계·전기설비 및 건축구조물로 구분되며, 상수도전용 댐(수원지시설)이 존재하는 경우에는 이를 상수도 시설물에 포함하며, 이의 시설물들 중 건축구조물과 상수도전용 댐(수원지시설)은 각각 제11장 건축물 및 제3장 댐에서 제시하는 상태평가 산정 절차에 의해 평가가 이루어지고 나머지 시설물들은 다음에 제시되는 상태평가 결과 산정 방법에 따라 수행한다.

외관조사망도는 개별부재에 대하여 작성하는 것을 원칙으로 하고, 필요시 개별부재의 크기, 면적에 따라 부위별로 분할하여 작성한다.



Note ; $E_1 \sim E_7$, E_c , E_s : 평가지수, M : 상태평가 점수, F : 영향계수, A : 조정계수, W : 중요도

[그림 5.3] 상수도 시설물 평가 단계별 절차

나. 상태평가 단계별 구분

시설물의 상태를 평가하기 위하여 시설물을 단계별로 구분하여 다음 표와 같이 평가 단계별 구분표를 작성한다.

상수도 시설물의 상태평가는 [그림 5.3]의 절차를 고려하여 부재나 시설물의 특성 및 상황에 따라 책임기술자가 판단하여 평가단계를 병합 또는 조정 할 수 있다.

평가단계별 평가대상 부재 및 시설물의 구분(예)은 다음 [표 5.49]과 같다.

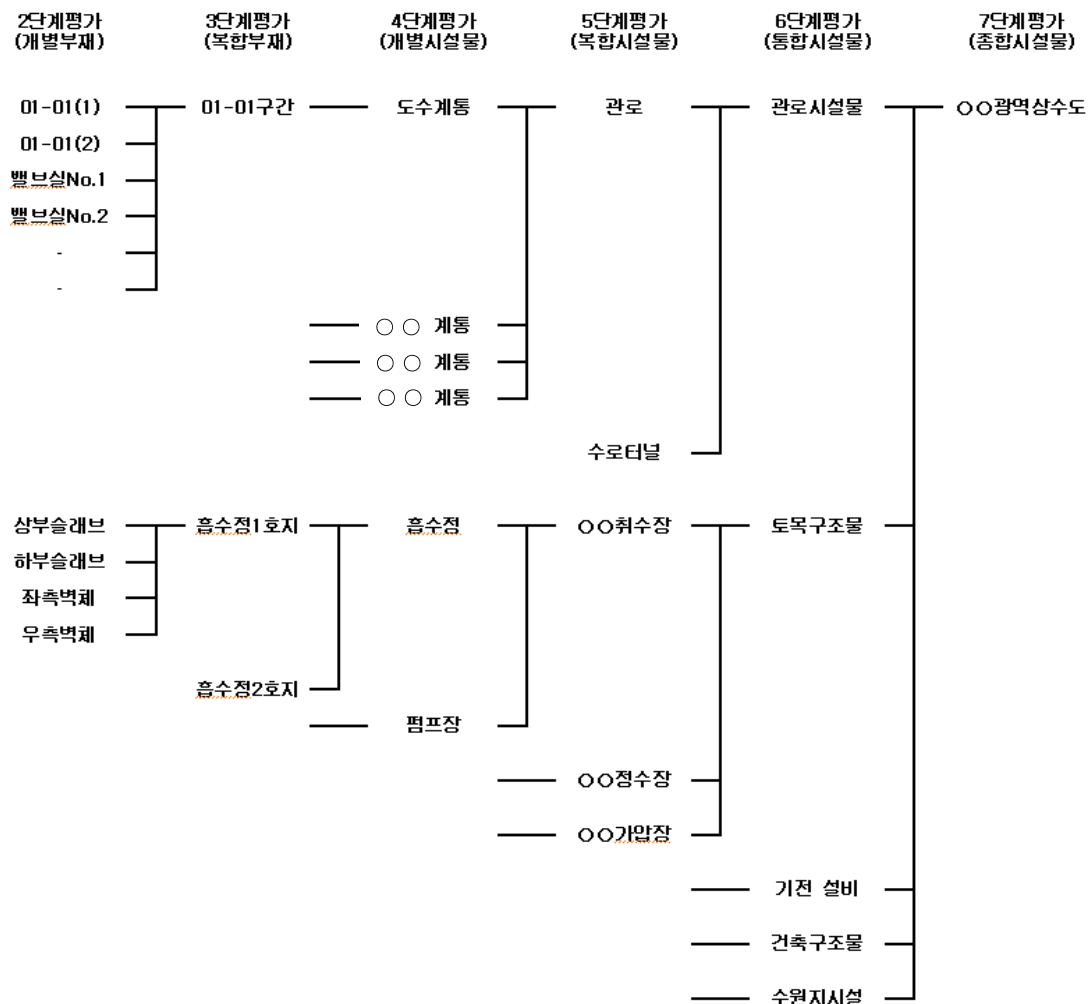
[표 5.49] 상수도 시설물의 평가단계별 평가대상 부재 및 시설물 구분(예)

평가단계별 구분			부재 및 시설물의 구분					
평가구분		평가대상						
상태평가	1단계	상태변화 ^{※)} (결함, 손상)	관로1 관로2 ... 밸브실1 밸브실2 ... 등등	블록1 블록2 ...	슬래브 벽체 기둥 보 ... 등등	펌프1,... 전동기1,... 베드1,... 배관1,... 권양와이어 권양레일 등등	건축물 적용	댐 적용
	2단계	개별부재	세부구간 2-1 세부구간 2-2 ...					
	3단계	복합부재	구간1 구간2 ...	구간1 구간2 ...	취수탑1,... 흡수정1,... 착수정1,... 침전지1,... 여과지1,... 정수지1,... 등등	펌프설비1,... 배관설비1,... 권양기1,... 등등		
상태평가 안전성평가 종합평가	4단계	개별시설물	계통1 계통2 ...	수로터널1 수로터널2 ...	취수탑 흡수정 착수정 침전지 여과지 정수지 등등	펌프설비 배관설비 기기설비 등등		
종합평가	5단계	복합시설물	관로	수로터널	취수시설 취수장1,... 정수장1,... 가압장1,... 등등	취수장1,... 정수장1,... 가압장1,... 등등		
	6단계	통합시설물	관로시설물		토목구조물	기전설비	건축 구조물	수원 지 시설 (댐)
	7단계	종합시설물	상 수 도					

※) 개별부재(부위)에 대한 외관조사망도 작성

【해설】

1. 상수도 시설물은 각 구조물 특성에 따라 댐구조물(수도 전용), 관로시설, 수로터널, 토목구조물, 건축구조물, 기계설비(펌프 및 밸브 등), 전기설비 등으로 구성되며, 댐구조물(수도 전용)과 건축구조물에 대한 시설물 평가는 「안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(댐)」과 「안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(건축물)」에 근거하여 실시한다.
2. 상수도 시설물 평가는 평가단계별로 시설물을 분류하고, 부재를 세분화하여 실시하며, 평가단계별 시설물 및 부재 구분(예시)은 다음 [해설그림 5.4.1]과 같다.



[해설그림 5.4.1] 평가단계별 시설물 및 부재 구분표(예시)

3. 상수도 시설물 평가에서 1단계 평가는 개별부재에 대한 손상 및 결함 조사표로서, 기존에 정밀점검 및 정밀안전진단이 수행되었을 경우에는 결함 및 결함 진행 정도를 비교·검토하기 위해 기존의 외관조사망도와 동일하게 작성하는 것이 바람직하다.

다. 관로 시설물

1) 1단계 평가 : 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

1단계는 상기와 같이 관로의 분할구간 중 소정의 연장구간(단위조사구간)으로 구획한 개별부재(부위)에 대해 개별부재(부위)에 발생되어 있는 손상 및 결함 등의 조사항목에 대한 상태기준을 표기(알파벳 소문자)한다.

[표 5.50] 관로의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

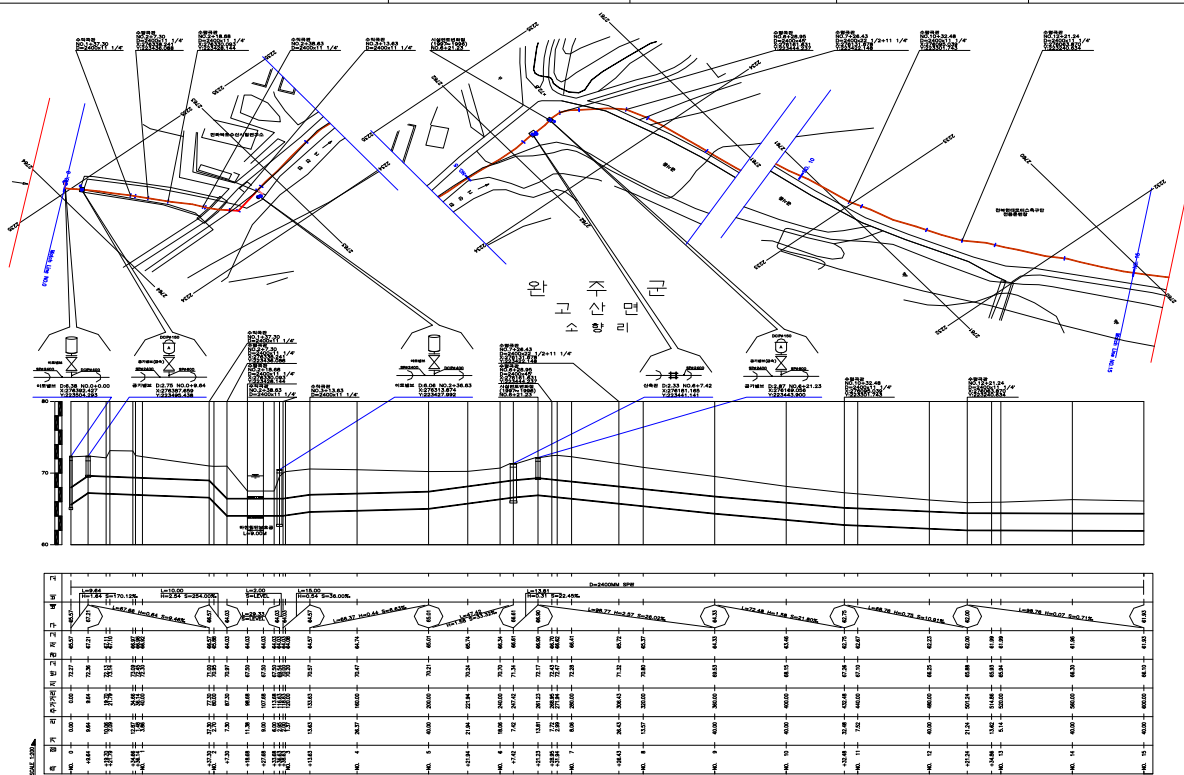
개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
Sta. No. 49+00~52+00	관로 세부구간 2-2	관로구간 2	○○계통	No. P1-1-2
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	경과년수	설치연도 : 1987년	23 년	c
②	관내·외면 도장 상태	관외면 : 코울타르 에나멜 도복장 관내면 : 액상 에폭시수지 도장	관외면 : 손상 다소 발생	c
③	관로부식	경미한 전면부식	최대부식깊이 : 0.2mm 최대부식면적 : 0.05m ²	b
④	관채 변형률	실측내경 : 평균 1820mm, 최대 1864mm	2.4 %	b
특기사항 - 관중 : 강관, - 관경 : D=1,200mm, - 연장 : L=120m				
조사일자	2008. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

【해설】

1. 관로시설은 관로 평가항목을 적용하여 평가한다. 다만, 밸브실 등 부속시설은 해당 구조 형식에 따라 토목구조물 또는 강 구조물 평가항목을 적용하여 평가한다.
2. 관로시설물 「개별부재 손상 및 결함상태 조사표」(예시)는 다음과 같다.

개별부재 손상 및 결함상태 조사표

조사망 번호	개별부재명	복합부재명	개별시설물명	표번호
Sta. No. 0+0 ~ 88+7.18	01-01(1)	01-01	○○계통	01-01



번호	조사 항목	조사 내용	손상(결함) 정도	평가 결과
1	배관의 부식	관 상세검사	경미한 전면부식, 최대 부식 1.06%	b
2	잔존 관두께	관 노후도 검토	잔존수명 30년 이상	a
3	관체 변형율	관 상세검사	변형 없음	a
4	배관의 누수	누수탐사		
5	관로사고 이력	사고 및 정비실시 기록 분석	사고율 0.14건/km/년(정비사항 제외)	b
6	관대지전위차	부식환경조사	최대 -550mV	c
7	관 내·외면 방식도막	관 상세검사	전반적으로 깨끗	b
8	사용년수	매설 환경조사	14년 경과(1995년)	b
9	토양비저항	부식 환경조사	최소 28,274Ω · cm	a
10	토양 pH	토양시료 분석	최소 pH 5.3	c
11	황화물 및 염화물 함량	토양시료 분석	황산이온 8.6mg/kg, 염소이온 6.6mg/kg	a
12	되매움 토양	토양시료 분석	SL, 일반토	b

특이사항	관종 : SP, 관경 : 2400mm, 연장 : 3,527.18m, 규모 : 15,956.6m³			
------	---	--	--	--

조사일자 : 년 월 일

조사자 :

【해설 그림 5.4.2】 개별부재 손상 및 결함상태 조사표(관로 예시)

개별부재 손상 및 결함상태 조사표

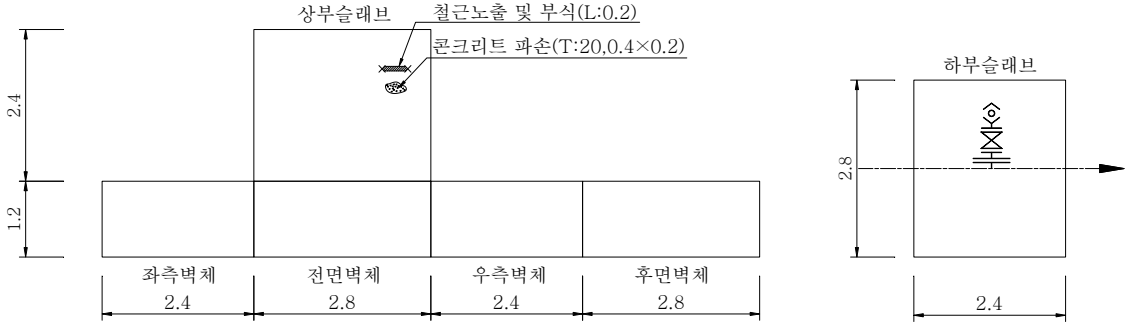
1. 현 황

• 개별부재명 : A-001-1(A) • 복합부재명 : 11-01 • 위 치 : Sta. No. -7-4.0 • 밸브실명 : ☐ 제수 ☒ 공기 ☐ 물빼기 ☐ 신축관 ☐ 유량계 ☐ 기타() • 매설위치 : ☐ 차도 ☐ 보도 ☐ 하천 ☒ 나대지 ☐ 농경지 ☐ 산,임야 ☐ 기타() • 현황설명 : - ○○정수장 구내(송수펌프실 유출)	
--	--

2. 상태조사

• 침수깊이 : 0m	• 뚜껑형식 : ☒ 원형(D648) ☐ 사각	• 환기구 : ☒ 유 ☐ 무
• 출입구 : ☐ 전체증고 ☐ 출입구만 증고 ☒ 증고없음		• T/B : ☐ 유 ☒ 무
• 규 격 : 내부(H1.2 × B2.8 × L2.4m), 출입구 높이(0.6m), 매설깊이(-m)		
• 콘크리트강도 : 상부슬래브 25.3MPa	• 중성화 깊이 : 상부슬래브 1.5mm	
• 철근배근상태 : 우측벽체 수직철근 철근간격 155mm 피복두께 49mm (양호) 수평철근 철근간격 200mm 피복두께 43mm (양호)		
• 밸브Type(mm) : SF(600) SV(150) AV(150)	• 도장두께 : mm	
• 배관 및 밸브 누수유무 : ☒ 무 ☐ 유(위치: , 누수형태 :)	• 관 두 개 : mm	
• 조사 내용 - 상부슬래브 콘크리트 파손(T20mm, 0.4×0.2m), 철근 노출 및 부식(L 0.2m) → 깊은 보수 - 배관, 밸브 상태 양호 - 밸브실내 타배관(D125mm) 관통		

3. 손상상태 평가표

				
번호	손상(결함) 종류	조사 내용	손상(결함) 정도	평가결과
1	탄산화 진행깊이	상부슬래브 1.5mm	탄산화 잔여깊이 30mm이상	a
2	콘크리트 파손	상부슬래브 T20mm, 0.4×0.2m	깊이 20~50mm	c
3	철근노출	상부슬래브 L0.2m	면적율 1%미만	b
4	배관 상태	양호		b
5	밸브 상태	양호		b

조사일자 : 년 월 일

조사자 :

[해설 그림 5.4.3] 개별부재 손상 및 결함상태 조사표(밸브실 예시)

2) 2단계 평가 : 개별부재 상태평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 앞의 [표 5.49]를 참조하여 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태평가기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1)를 산출한다. 단, 상태평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1) 중 최소 값을 개별부재의 상태평가지수(Ec2)를 산정한 후 [표 5.51]의 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별부재의 상태평가 결과(알파벳 소문자)을 부여한다.

[표 5.51] 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준 및 평가유형별 영향계수(F)

상태평가지수 범위에 따른 상태평가		구 분		영 향 계 수(F)				
상태평가지수(E_c)	상태평가기준	상태평가기준		a	b	c	d	e
$4.5 \leq E_c \leq 5.0$	a	평 가 유 형	상태평가점수	5	4	3	2	1
$3.5 \leq E_c < 4.5$	b		중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$2.5 \leq E_c < 3.5$	c		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0
$1.5 \leq E_c < 2.5$	d		일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
$1.0 \leq E_c < 1.5$	e							

[표 5.52] 관로 개별부재의 상태평가표 예

개별부재 상태평가표					
개별부재명	관로 2-2	개별부재규모	강관, $D = 1,200mm$, $L = 120m$		표번호
복합부재명	관로구간 2	개별시설물명	○○제통		No. P1-2-2
근거(1단계) 표번호	No. P1-1-2 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태평가기준	상태평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태평가지수 (Ec1=M × F)
경과년수	일반손상	관로	3	1.3	3.9
관내·외면 도장상태	국부결함	관로	3	1.2	3.6
관로부식	중요결함	관로	4	1.0	4.0
관제 변형률	중요결함	관로	4	1.0	4.0
평가의견					
상태평가 결과	1. 개별부재의 상태평가지수(Ec2)=상태평가지수(Ec1)값 중 최소값 = 3.6 2. 개별부재(관로1-2-2)의 상태평가 결과 = b				

3) 3단계 평가 : 복합부재 상태평가표 작성

관로의 복합부재는 관로계통(도수, 송수, 배수 등)에서 하나의 분할구간을 의미하는 것으로 단위조사 관로구간, 밸브실 및 조절지 등의 개별부재 집합이므로 복합부재의 평가는 각 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영함이 필요하다. 따라서 복합부재를 구성하는 각 주요개별부재에 대한 중요도를 다음 [표 5.53]과 같이 설정하였으며, 각 개별부재별 중요도의 합은 100이 되도록 하며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 범위 내에서 조정할 수 있다.

○ 중요도가 설정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우

그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하되 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다.

○ 중요도는 설정되어 있으나 평가대상이 아닌 개별부재인 경우

그 개별부재의 중요도 값을 나머지 평가대상 개별부재에 배분한다.

[표 5.53] 관로의 개별부재 종류에 따른 중요도(W) 및 조정방법의 예

구 분	조 절 지	관 로	밸 브 실	비 고
중요도 (%)	20 $\pm 4(16 \sim 24)$	65 $\pm 13(52 \sim 78)$	15 $\pm 3(12 \sim 18)$	()내는 책임기술자가 조정할 수 있는 중요도의 범위
조정 후 중요도 (%)	—	$65 \times 100 / 80 = 81.25 \Rightarrow 81$	$15 \times 100 / 80 = 18.75 \Rightarrow 19$	•조절지가 없는 경우 조절지의 중요도 값을 나머지 개별부재의 중요도 가중치를 적용하여 배분

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 다음 [표 5.54]와 같은 조정계수(A)를 적용한다.

복합부재의 상태평가지수(Ec3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태평가지수(Ec2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

[표 5.54] 상태평가지수에 따른 조정계수(A)

상태평가기준	a	b	c	d	e
상태평가지수(Ec)	5.0 ~ 4.5이상	4.5미만 ~ 3.5이상	3.5미만 ~ 2.5이상	2.5미만 ~ 1.5이상	1.5미만 ~ 1.0이상
조정계수(A)	1	2	3	6	6

○ 복합부재의 상태평가

개별부재의 상태평가지수(Ec2)에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하는 아래 식을 사용하여 복합부재의 상태평가지수(Ec3)를 산출하고, [표 5.51]의 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

$$\text{복합부재의 상태평가지수}(Ec3) = \sum(Ec2 \times P) / \sum P$$

여기서, Ec_2 : 개별부재의 상태평가지수

P : 조정 값(=A × W)

A : 조정계수

W : 중요도

상기의 내용을 토대로 표준적인 관로 복합부재의 상태평가표 작성 예를 제시하면 다음 [표 5.55]와 같다.

[표 5.55] 관로 복합부재의 상태평가표 예

복합부재 상태평가표						
복합부재명	관로구간 2	개별 시설물명	○○계통			표번호
복합부재 규모	강관, D = 1,200mm, L = 1,800m					No. P1-3-2
근거(2단계) 표번호	No. P1-2-1, No. P1-2-2, No. P1-2-3, No. P1-2-4, No. P1-2-5, No. P1-2-6, No. P1-2-7					
개별부재구분	상태평가 결과	상태평가 지수(Ec2)	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (Ec2×P)
관로 2-1	c	3.2	3	65/2	97.5	312.0
관로 2-2	b	3.6	2	65/2	65.0	234.0
밸브실 1	a	4.6	1	15/3	5.0	23.0
밸브실 2	b	3.9	2	15/3	10.0	39.0
밸브실 3	c	2.8	3	15/3	15.0	42.0
조절지 1	c	3.0	3	20/2	30.0	90.0
조절지 2	d	2.3	6	20/2	60.0	138.0
합계(Σ)				100	282.5	878.0
평가의견						
상태평가 결과	1. 복합부재 상태평가지수(Ec3) = $\Sigma(Ec2 \times P) / \Sigma P$ = 878.0 / 282.5 = 3.11 2. 복합부재(관로구간 1-2) 상태평가 결과 = c					

4) 4단계 평가 : 개별시설물 상태평가표 작성

도수관로, 송수관로1, 송수관로2, ... 등 각 계통별 관로는 개별시설물로서 동일기능을 수행하는 복합부재(구간1, 구간2, ...)의 집합으로서 구성된다.

개별시설물의 상태평가 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태평가지수(Ec3)에 복합부재의 규모(관로구간 : 관의 단면적×해당 관의 연장, 별도의 구간으로 구분된 조절지 : 가로×세로×높이)를 반영하여 아래 식에 의해 개별시설물의 상태평가지수(Ec4)를 산출하고, [표 5.51]에서 제시한 상태평가지수의 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

$$\text{개별시설물의 상태평가지수}(Ec4) = \text{Min} + V1 \times V2$$

여기서, $V1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min})$

$$V2 = \sum(Ec3 \times S) / 5 \times \sum S$$

S : 복합부재별 규모(m^2 , m^3)

Max : 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값

Min : 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성평가가 필요한 경우 상태평가와 더불어 안전성평가를 수행하고, 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 종합평가가 이루어진다.

[표 5.56] 관로 개별시설물의 상태평가표 예

개별시설물 상태평가표				
개별시설물명	○○계통	개별시설물규모	강관, $D = 1,200mm$, $L = 5,500m$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. P1-3-1, No. P1-3-2, No. P1-3-3			No. P1-4-1
복합부재구분	상태평가결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m^3)	계산값(Ec3×S)
관로구간 1	b	3.69	2,035	7,509
관로구간 2	c	3.11	2,035	6,329
관로구간 3	b	3.92	2,148	8,420
합계(Σ)			6,218	22,258
평가의견				
상태평가결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.11 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 3.92 3. $V1 = 0.3 \times (\text{Max} - \text{Min}) = 0.3 \times (3.92 - 3.11) = 0.243$ 4. $V2 = \sum(Ec3 \times S) / 5 \times \sum S = 22,258 / 5 \times 6,218 = 0.716$ 5. 개별시설물(송수관로1)의 상태평가지수(Ec4) $= \text{Min} + V1 \times V2 = 3.11 + 0.243 \times 0.716 =$ 3.28 6. 개별시설물(송수관로1)의 상태평가 결과 = c			

라. 수로터널

1) 1단계 평가 : 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

수로터널의 개별부재(부위)를 서로 다른 연장으로 구획하게 되면 복합부재나 개별 시설물 등의 평가 시 연장에 대한 보정을 하여야 하는 번거로움이 있으므로 가능한 한 동일한 연장으로 개별부재(부위)를 구획하는 것이 바람직하다.

1단계는 상기와 같이 수로터널의 분할구간 중 소정의 동일 연장구간으로 구획한 개별부재(부위)에 대해 개별부재(부위)에 발생되어 있는 손상 및 결함상태를 도시하는 외관조사망도를 작성하고, 조사내용을 상세히 기록하며 손상 및 결함별 상태 평가기준에 의해 상태기준을 표기(알파벳 소문자)한다.

[표 5.57] 수로터널의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
Sta. No. 3+00~5+00	블록 3-1-2	터널구간 3-1	수로터널 3	No. 3T-1-2
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	콘크리트 균열	수평균열 2개소	○ 균열폭 : 0.12~0.18mm ○ 균열길이 : 15.8m	b
②	콘크리트 균열	수직균열 3개소	○ 균열폭 : 0.2~0.25mm ○ 균열길이 : 3.6m	c
③	콘크리트 박리	부분적 박리	○ 박리면적 : 0.52m ² ○ 박리깊이 : 1.2mm	d
④	콘크리트 염화물 함량	염화물 미량검출	○ 염화물함량 : 0.12kg/m ³	a
⑤	콘크리트 탄산화 깊이	콘크리트 pH저하 철근피복두께 : 70cm	○ 탄산화깊이 : 12mm	b
특기사항	○ 마제형 철근콘크리트 라이닝 구조 ○ 규모 : D = 2.5m ○ 연장 : L = 80m ○ 조사단위면적 : 2.5m × 3.14 × 80.0m = 628.0m ²			
조사일자	2008. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

【해설】

1. 수로터널은 일반적으로 콘크리트 마제형 또는 강관 삽입형식으로 구성되어 있으며, 터널 형식에 따라 관로 또는 토목구조물 평가항목을 적용하여 평가한다.
2. 수로터널 1단계 평가(개별부재 손상 및 결함상태 조사표) 및 2단계 평가(개별부재 상태평가표)는 블록 단위(일반적으로 40m 길이)를 기준으로 하고, 3단계 평가(복합부재 상태평가표)는 구간 단위(일반적으로 4개 블록 단위)를 기준으로 한다.
3. 수로터널 「개별부재 손상 및 결함상태 조사표」(예시)는 다음과 같다.

개별부재 손상 및 결함상태 조사표

개별부재명	복합부재명	개별시설물명	표 번호
+130.3~+170	구간01	마제형터널	02-02-01-01

범례

- ㉔ 기존의상태
- ㉕ 현재의상태
- 반발경도시점
- 초음파시험
- ▲ 탄산화시험
- ✚ 철근탐사

번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	상태등급
1	콘크리트 중성화 깊이	철근피복 : 88mm	중성화 깊이 : 2.0mm	b
2	콘크리트 균열	건조, 수축균열	(0.1mm/8.9m), 0.85%	b
3	누수		현저한 흔적(누수부위가 습윤한 상태)	c
4	백태	콘크리트 백태	1.16㎡, 0.36%	b

* 규모 : 아치부=3.142m, 측면=0.849m, 바닥면=1.696m, L=39.7m, A=260.6㎡
 * 내부배관 양호, 전단면 표면보수 실시로 대체적 양호하나 부분적으로 백태와 균열 발생
 * 균열은 모르타르균열로 추정 (미세균열로 누수없음)
 * 내부 조명케이블 고정부 2개소 부식으로 탈락, 보수요

조사일자 : 년 월 일

조사자 :

[해설 그림 5.4.4] 개별부재 손상 및 결함상태 조사표(수로터널 예시)

2) 2단계 평가 : 개별부재 상태평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태평가 기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1)를 산출한다. 단, 상태평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1) 중 최소 값을 개별부재의 상태평가지수(Ec2)를 산정한 후 [표 5.51]에 제시된 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별부재의 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 5.58] 수로터널 개별부재의 상태평가표 예

개별부재 상태평가표					
개별부재명	블록3-1-2	개별부재규모	D = 2.5m, L = 80m		표번호
복합부재명	터널구간 3-1	개별시설물명	수로터널 3		No. 3T-2-1
근거(1단계) 표번호	No. 3T-1-2 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태평가기준	상태평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태평가지수 (Ec1=M ×F)
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	4	1.1	4.0
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
콘크리트 박리	일반손상	토목구조물	2	1.7	3.4
콘크리트 염화물함량	국부결함	토목구조물	5	1.0	5.0
콘크리트 탄산화깊이	국부결함	토목구조물	4	1.1	4.4
평가의견					
상태평가 결과	1. 개별부재의 상태평가지수(Ec2)=상태평가지수(Ec1)값 중 최소값 = 3.4 2. 개별부재(블록3-1-2)의 상태평가 결과 = c				

3) 3단계 평가 : 복합부재 상태평가표 작성

수로터널의 복합부재는 수로터널을 분할한 다수의 구간들 중 하나의 구간을 의미하는 것으로 단위조사 구간(Block)인 개별부재의 집합이므로 복합부재의 평가는 각 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영하는 것이 필요하며, 각 개별부재에 대한 중요도의 합은 100이 되도록 하며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있다.

○ 중요도가 설정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우

그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하되 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다.

○ 중요도는 설정되어 있으나 평가대상이 아닌 개별부재인 경우 그 개별부재의 중요도 값을 나머지 평가대상 개별부재에 배분한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 앞의 [표 5.54]에 제시된 상태평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태평가지수(Ec2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재 전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태평가는 개별부재의 상태평가지수(Ec2)에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태평가지수(Ec3)를 산출하고 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

[표 5.59] 수로터널 복합부재의 상태평가표 예

복합부재 상태평가표						
복합부재명	터널구간 3-1	개별시설물명		수로터널 3		표번호
복합부재 규모	마제형 철근콘크리트라이닝 구조 $D = 2.5m, L = 240m$					No. 3T-3-1
근거(2단계) 표번호	No. 3T-2-1, No. 3T-2-2, No. 3T-2-3					
개별부재구분	상태평가결과	상태평가지수 (Ec2)	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W) ()	계산값 (Ec2×P)
블록3-1-1	b	4.2	2	100/3	66.7	280.1
블록3-1-2	c	3.4	3	100/3	100.0	340.0
블록3-1-3	b	3.9	2	100/3	66.7	260.1
합계(Σ)				100	233.4	880.2
평가의견						
상태평가 결과	1. 복합부재 상태평가지수(Ec3) = $\Sigma(Ec2 \times P) / \Sigma P = 880.2 / 233.4 = 3.77$ 2. 복합부재(터널구간 3-1) 상태평가 결과 = b					

4) 4단계 평가 : 개별시설물 상태평가표 작성

관로 도중에 설치되는 수로터널은 다수의 터널이 설치될 수 있으며, 각각의 수로터널을 개별시설물로 구분하며, 동일기능을 수행하는 복합부재(구간1, 구간2, ...)의 집합으로서 구성된다.

개별시설물의 상태평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태평가지수(Ec3)에 복합부재의 규모(수로터널의 단면적×수로터널의 연장)를 반영하여 개별시설물의 상태평가지수(Ec4)를 산출하고, [표 5.51]에서 제시한 상태평가지수의 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성평가가 필요한 경우 상태평가와 더불어 안전성평가를 수행하고, 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 종합평가가 이루어진다.

[표 5.60] 수로터널 개별시설물의 상태평가표 예

개별시설물 상태평가표				
개별 시설물명	수로터널 3	개별 시설물규모	마제형 철근콘크리트라이닝 구조 $D = 2.5m, L = 740m$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. 3T-3-1, No. 3T-3-2, No. 3T-3-2			No. 3T-4-1
복합부재구분	상태평가결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m ³)	계산값(Ec3×S)
터널구간 3-1	b	3.77	1,177.5	4,439.2
터널구간 3-2	c	3.42	1,275.6	4,362.6
터널구간 3-3	b	3.83	1,177.5	4,509.8
합계(Σ)			3,630.6	13,311.6
평가의견				
상태평가 결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.42 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 3.83 3. $V1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.83 - 3.42) = 0.123$ 4. $V2 = \Sigma(Ec3 \times S) / 5 \times \Sigma S = 13,311.6 / 5 \times 3,630.6 = 0.733$ 5. 개별시설물(수로터널3)의 상태평가지수(Ec4) $= Min + V1 \times V2 = 3.42 + 0.123 \times 0.733 =$ 3.51 6. 개별시설물(수로터널3)의 상태평가 결과 = b			

마. 토목구조물

1) 1단계 평가 : 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

상수도의 토목구조물은 대부분 철근콘크리트 구조로서 슬래브, 벽체, 기둥 및 보 등으로 구성되며 이러한 구성요소를 개별부재로 본다.

1단계는 상기와 같은 개별부재에 대해 개별부재에 발생되어 있는 손상 및 결함상태를 도시하는 외관조사망도를 작성하고 조사내용을 상세히 기록하며, 손상 및 결함별 상태평가기준에 의해 상태평가 결과를 표기(알파벳 소문자)한다.

필요에 따라 개별부재를 부위별로 다수의 조사망을 구획하여 외관조사망도를 작성할 수 있으며, 이러한 경우 2단계에서 부위별 손상 및 결함을 취합하여 개별부재에 대한 상태평가를 실시토록 한다.

[표 5.61] 토목구조물의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
A-S2W-3	벽체A-2-3	A-2호침전지	A정수장 침전지	No. SW-1-1
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	침하	부분적 경미한 침하 (보수불필요)	○ 침하깊이 : 1.5mm ○ 침하진전 없음	b
②	콘크리트 균열	수직균열 3개소	○ 균열폭 : 0.15~0.20mm 미만 ○ 균열길이 : 5.6m	b
③	콘크리트 박리	부분적 박리	○ 박리면적 : 0.40m ² ○ 박리깊이 : 0.4mm	c
④	누수	신축이음부위에 상당한 누수발생	○ 누수로 인한 철근부식진행	d
⑤	콘크리트 파손	부분적 파손	○ 파손면적 : 0.4m ² ○ 파손깊이 : 30mm	c
특기사항	○ 철근콘크리트 구조 및 예폭시방수·방식 실시 ○ 규모 : H = 3.5m, L = 30.0m ○ 조사단위면적 : 3.5m × 30.0m = 105m ²			
조사일자	2008. 10. 23 14:00 ~ 17:00		조사자	홍길동, 김철수

【해설】

1. 토목구조물은 토목구조물 평가항목을 적용하여 평가한다, 다만, 강재 구조형식이 포함되어 있는 시설물에 대해서는 강 구조물 평가항목을 적용하여 평가한다.
2. 토목구조물 「개별부재 손상 및 결함상태 조사표」(예시)는 다음과 같다.

2) 2단계 평가 : 개별부재 상태평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태평가 기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1)를 산출한다. 단, 상태평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1) 중 최소 값을 개별부재의 상태평가지수(Ec2)를 산정한 후 [표 5.51]에 제시된 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별부재의 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 5.62] 토목구조물 개별부재의 상태평가표 예

개별부재 상태평가표					
개별부재명	벽체A-2-3	개별부재규모	철근콘크리트 구조 $H = 3.5m, L = 30.0m$		표번호
복합부재명	A-2호 침전지	개별시설물명	A 정수장 침전지		No. SW-2-1
근거(1단계) 표번호	No. SW-1-1 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태평가기준	상태평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태평가지수 (Ec1=M ×F)
침하	중요결함	토목구조물	4	1.0	4.0
콘크리트 균열	일반손상	토목구조물	4	1.1	4.4
콘크리트 박리	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
누수	일반손상	토목구조물	2	1.7	3.4
콘크리트 파손	일반손상	토목구조물	3	1.3	3.9
평가의견					
상태평가 결과	1. 개별부재의 상태평가지수(Ec2)=상태평가지수(Ec1)값 중 최소값 = 3.4 2. 개별부재(벽체A-2-3)의 상태평가 결과 = c				

3) 3단계 평가 : 복합부재 상태평가표 작성

토목구조물의 복합부재는 각각의 개별부재(슬래브, 벽체, 기둥 및 보 등)로 구성되는 단위구조물로서 복합부재의 평가는 각각의 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향을 판단하여 그 중요도(W)를 반영하는 것이 필요하며, 이때 각 개별부재의 중요도 합은 100이 되도록 한다. 표준적인 개별부재별 중요도(W)를 설정하면 [표 5.63]과 같으며, 책임기술자는 개별부재의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있다.

[표 5.63] 개별부재별 중요도(W) 기준

개별부재구분	중요도(W)		비 고
	내력구조인 경우	비 내력구조인 경우	
바닥슬래브	20	25	
상부슬래브	10	10	
벽 체	25	10	
기 둥	25	30	
보	20	25	

○ 중요도가 규정되지 않은 추가적인 개별부재가 있는 경우

그 개별부재의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하고 기타의 부재들은 규정된 비율대로 배분한다.

○ 중요도는 제시되어 있으나 평가할 수 있는 해당 개별부재가 없는 경우

그 중요도를 나머지 개별부재에 배분한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 [표 5.54]에 제시된 상태평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태평가지수(Ec2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태평가는 개별부재의 상태평가지수(Ec2)에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태평가지수(Ec3)를 산출하고, 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

다음 [표 5.64]에 토목구조물의 복합부재에 대한 표준적인 상태평가표 작성 예를 제시하였다.

[표 5.64] 토목구조물 복합부재의 상태평가표 예

복합부재 상태평가표						
복 합부재명	A-2호침전지		개별시설물 명	A 정수장 침전지		표번호
복합부재규모	철근콘크리트 구조, H=3.5m, W=12.0m, L=30.0m					No. AS-3-2
근거(2단계)표번호	No. BS-2-1, No. US-2-1, No. SW-2-1, No. CL-2-1, No. BM-2-1					
개별부재구분	상태평가 결과	상태평가 지수(Ec2)	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (Ec2×P)
바닥슬래브	b	3.7	2	20	40	148.0
상부슬래브	c	3.1	3	10	30	93.0
벽 체	c	3.4	3	25	75	255.0
기 둥	a	4.7	1	25	25	117.5
보	a	4.8	1	20	20	96.0
합계(Σ)				100	190	709.5
평가의견						
상태평가 결과	1. 복합부재 상태평가지수(Ec3) = Σ(Ec2×P) / ΣP = 709.5 / 190.0 = 2. 복합부재(A-2호 침전지) 상태평가 결과 =					3.73 b

4) 4단계 평가 : 개별시설물 상태평가표 작성

토목구조물의 개별시설물은 대부분 동일한 기능과 형식을 가진 단위구조물들의 복수계열로 이루어진 집합구조물로서 개별시설물을 구성하는 복합부재들은 각각 동일한 고유의 기능을 가지면서 다른 복합부재와 유기적으로 밀접하게 관계되어 있다.

따라서 개별시설물의 상태평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태평가지수(Ec3)에 복합부재의 규모(조사면적, m^2)를 반영하여 개별시설물의 상태평가지수(Ec4)를 산출하고, [표 5.51]에서 제시한 상태평가지수의 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성평가가 필요한 경우 상태평가와 더불어 안전성평가를 수행하고, 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 종합평가가 이루어진다.

[표 5.65] 토목구조물의 개별시설물 상태평가표 예

개별시설물 상태평가표				
개별시설물명	A 정수장 침전지	개별 시설물규 모	철근콘크리트구조 (H3.5m×W12.0m×L=30.0m×4지)	표번호
근거(3단계) 표번호	No. AS-3-1, AS-3-4	No. AS-3-2,	No. AS-3-3,	No. AS-4-1
복합부재구분	상태평가결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m^2)	계산값(Ec3×S)
A-1호 침전지	c	3.38	1,260	4,258.8
A-2호 침전지	b	3.73	1,260	4,699.8
A-3호 침전지	b	3.85	1,260	4,851.0
A-4호 침전지	c	3.14	1,260	3,956.4
합계(Σ)			5,040	17,766.0
평가의견				
상태평가결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.14 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 3.85 3. $V1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.85 - 3.14) = 0.213$ 4. $V2 = \Sigma(Ec3 \times S) / 5 \times \Sigma S = 17,766.0 / 5 \times 5,040.0 = 0.705$ 5. 개별시설물(A 정수장 침전지)의 상태평가지수(Ec4) $= Min + V1 \times V2 = 3.14 + 0.213 \times 0.705 =$ 3.29 6. 개별시설물(A 정수장 침전지)의 상태평가 결과 = c			

바. 기계·전기설비

1) 1단계 평가 : 부재별 손상 및 결함상태 조사표 작성

기전설비의 손상 및 결함상태조사표는 복합부재에 대하여 작성하며, 조사표에는 손상상태를 기록하고 필요한 경우에 한해서 개략도를 포함하여 작성한다. 각각의 단위기기 설비(펌프설비, 배관설비, 권양기 등)를 구성하고 있는 요소(펌프, 전기설비, 펌프베드, 흡입관, 토출관, 와이어 로프 등)를 개별부재(부위)로 보며, 이들의 개별부재에 발생되어 있는 손상 및 결함상태의 조사내용을 상세히 기록하며, 손상 및 결함별 상태평가기준에 의해 상태기준을 표기(알파벳 소문자)한다.

그러나 필요에 따라 개별부재를 부위별로 다수의 조사망을 구획하여 외관조사망도를 작성할 수 있으며, 이러한 경우 2단계에서 부위별 손상 및 결함을 취합하여 개별부재에 대한 상태평가를 실시토록 한다.

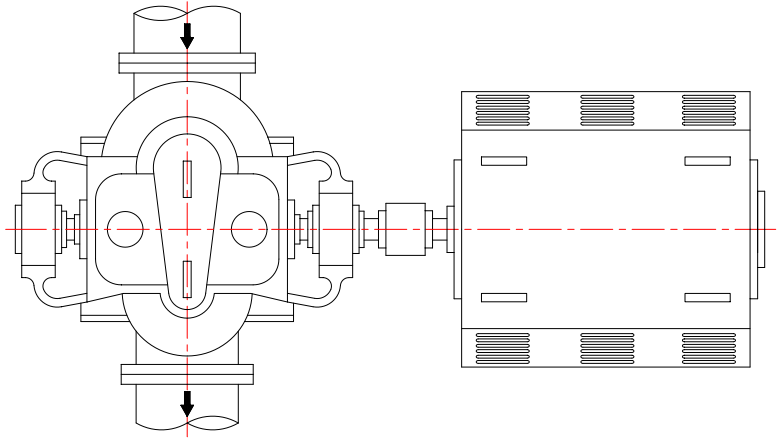
[표 5.66] 기전설비의 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사표 예

개별부재(부위) 손상 및 결함상태 조사표				
조사망번호	부재(부위)명	복합부재명	개별시설물명	표번호
<i>B-P1-1</i>	<i>B-펌프1호</i>	<i>B-펌프설비1호</i>	<i>B취수장 펌프설비</i>	<i>No. P-1-1</i>
외관조사망도 작성(손상·결함상태 도시 및 주기사항 기록)				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	펌프진동	약간의 진동발생	진동크기 : 1.5mm/sec	<i>b</i>
②	펌프소음	상당한 소음발생	소음크기 : 85dB	<i>c</i>
③	펌프베드	손상유무	미세균열이 부분적으로 발생	<i>c</i>
④	전기설비	손상유무 및 작동불량	작동불량	<i>e</i>
특기사항	<i>o 펌프형식 : 다단보류트 양흡입펌프</i> <i>o 펌프특성 : 양정: 50m, 동력: 100kw, 토출량: 7.5m³/분</i>			
조사일자	<i>2008. 10. 23 14:00 ~ 17:00</i>		조사자	<i>홍길동, 김철수</i>

【해설】

1. 기계·전기설비는 기계설비 및 전기설비 평가항목을 적용하여 평가한다. 다만, 강재 구조형식이 포함되어 있는 시설물에 대해서는 강 구조물 평가항목을 적용하여 평가한다.
2. 기계·전기설비 「개별부재 손상 및 결함상태 조사표」(예시)는 다음과 같다.
3. 3단계 평가(복합부재 상태평가표)에서 개별부재별 중요도(W)는 동일하게 적용하되, 예비 또는 비상 설비인 경우에는 책임기술자 판단에 따라 조정할 수 있다.

개별부재 손상 및 결함상태 조사표

복합시설물명	개별시설물명	복합부재명	개별부재명	표번호
○○정수장	송수펌프실	송수펌프1호라인	펌프, 모터	No.1-001
 펌프반부하측 커플링부 모터반부하측 ○ 펌프형식 : 양흡입볼류트 펌프 ○ 펌프특성 : 양정 47M, 동력 800kW, 토출량 3120m³/h				
번호	조사항목	조사내용	손상(결함)정도	평가결과
①	펌프진동	양호한 진동상태	진동속도 : 3.76rms	b
②	펌프소음	허용 가능한 소음발생	최대소음 : 90.1dB	c
③	펌프베드	손상유무	균열이 없는 양호한 상태	b
특기사항	○ 펌프베드 - 베드의 기초에 균열이 없는 양호한 상태			

조사일자 : 년 월 일

조사자 :

[해설 그림 5.4.6] 개별부재 손상 및 결함상태 조사표(기계설비 예시)

2) 2단계 평가 : 개별부재 상태평가표 작성

1단계에서 개별부재별로 조사 작성된 손상 및 결함상태 조사표에 의해 손상 및 결함의 평가유형에 따라 중요결함, 국부결함, 일반손상으로 구분하고 손상 및 결함별 상태평가기준에 의한 평가점수(M)에 평가유형별 영향계수(F)를 곱하여 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1)를 산출한다. 단, 상태평가지수 값은 소수점 이하 3째 자리에서 반올림한다.

산출된 결함 및 손상별 상태평가지수(Ec1) 중 최소 값을 개별부재의 상태평가지수(Ec2)를 산정한 후 [표 5.51]에 제시된 상태평가지수 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별부재의 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 부여한다.

[표 5.67] 기전설비 개별부재의 상태평가표 예

개별부재 상태평가표					
개별부재명	B-펌프1호	개별부재규모	양정 : 50m, 동력 : 100kw, 토출량 : 7.5m ³ /분		표번호
복합부재명	B-펌프설비1호	개별시설물명	B취수장 펌프설비		No. P-2-1
근거(1단계) 표번호	No. P-1-1 (1단계에서 다수의 개별부위 조사표가 작성된 경우에는 각각의 개별부위 표번호 기입)				
평가항목	평가유형	상태평가기준	상태평가점수 (M)	영향계수 (F)	상태평가지수 (Ec1=M ×F)
펌프진동	국부결함	기계·전기설비	4	1.1	4.4
펌프소음	국부결함	기계·전기설비	3	1.2	3.6
펌프베드	일반손상	기계·전기설비	3	1.3	3.9
평가의견					
상태평가 결과	1. 개별부재의 상태평가지수(Ec2)=상태평가지수(Ec1)값 중 최소값 = 3.6 2. 개별부재(B-펌프1호)의 상태평가 결과 = b				

3) 3단계 평가 : 복합부재 평가표 작성

기전설비의 복합부재는 단위설비를 의미하는 것으로 이를 구성하는 각각의 개별부재가 복합부재의 기능과 안전에 미치는 영향정도에 따라 복합부재 평가 시 그 중요도를 반영하는 것이 필요하다. 하지만 기전설비에 있어서의 개별부재들은 단위설비의 복합부재 안전에 미치는 영향도가 크게 차이를 가지지 않으므로 개별부재별 중요도(A)는 동일하게 적용함을 원칙으로 한다. 단, 개별부재의 특성이나 상황 등에 따라 중요도에 차이가 있다고 판단되는 경우에는 책임기술자가 개별부재별 중요도를 $\pm 20\%$ 값 범위 내에서 조정할 수 있는 것으로 하며 이때 개별부재의 중요도의 합은 100이 되도록 한다.

또한, 복합부재의 안전은 상태가 나쁜 개별부재의 영향을 크게 받으므로 그에 상응하는 보정을 하기 위하여 [표 5.54]에 제시된 상태평가지수에 따른 조정계수(A)를 사용한다. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 산정 시 조정계수의 사용은 개별부재의 상태평가지수(Ec2)별로 위험성이 큰 값에 보다 큰 가중치를 적용하여 부재전체의 안전성을 평가절하 하는 것으로서 이는 단순 산술평균법의 적용보다 다소 낮은 평가지수의 평가결과를 도출하고자 함에 있다.

복합부재의 상태평가는 개별부재의 상태평가지수(Ec2)에 중요도(W) 및 조정계수(A)를 반영하여 복합부재의 상태평가지수(Ec3)를 산출하고 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

[표 5.68] 기전설비 복합부재의 상태평가표 예

복합부재 상태평가표						
복합부재명	B-펌프설비1호		개별시설물명	B취수장 펌프설비		표번호
복합부재구 모	펌프 : 양정 50m, 동력 100kw, 토출량 7.5m³/분 펌프베드 : 철근콘크리트기초(W1.2m×L2.5m×H0.5m)					No. P-3-1
근거(2단계) 표번호	No. P-2-1, No. P-2-2, No. P-2-3					
개별부재 구분	상태평가 결과	상태평가 지수(Ec2)	조정계수 (A)	중요도 (W, %)	조정값 (P=A×W)	계산값 (Ec2×P)
B-펌프1호	b	3.6	2	100/3	66.7	240.1
B-펌프1호 전기설비	a	4.7	1	100/3	33.3	156.5
B-펌프1호 베드	c	2.9	3	100/3	100.0	290.0
합계(Σ)				100	200.0	686.6
평가의견						
상태평가 결과	1. 복합부재 상태평가지수(Ec3)=Σ(Ec2×P) / ΣP = 686.6/200.0 = 3.43 2. 복합부재(B-펌프설비1호) 상태평가 결과 = c					

4) 4단계 평가 : 개별시설물 상태평가표 작성

기전설비의 개별시설물은 대부분 동일한 기능과 형식을 가진 단위설비들의 복수계열로 이루어진 집합구조물로서 개별시설물을 구성하는 복합부재들은 각각 동일한 고유의 기능을 가지면서 다른 복합부재와 유기적으로 밀접하게 관계되어 있다.

따라서 개별시설물의 상태평가는 복합부재의 중요도가 같다는 가정 하에 복합부재의 상태평가지수(Ec3)에 복합부재의 규모(시설용량, m³/분)를 반영하여 개별시설물의 상태평가지수(Ec4)를 산출하고, [표 5.51]에서 제시한 상태평가지수의 범위에 따른 상태평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 상태평가 결과(알파벳 소문자)를 결정한다.

또한, 개별시설물의 평가단계에서는 안전성평가가 필요한 경우 상태평가와 더불어 안전성평가를 수행하고, 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 종합평가가 이루어진다.

[표 5.69] 기전설비 개별시설물의 상태평가표 예

개별시설물 상태평가표				
개별시설물명	B취수장 펌프설비	개별시설물 규모	$H50m \times P100kw \times Q7.5m^3/분 \times 3대$ $H50m \times P60kw \times Q4.0m^3/분 \times 1대$	표번호
근거(3단계) 표번호	No. P-3-1, No. P-3-2, No. P-3-3, No. P-3-4			No. P-4-1
복합부재구분	상태평가결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m ³ /분)	계산값(Ec3 × S)
B-펌프설비1호	c	3.43	7.5	25.7
B-펌프설비2호	b	4.02	7.5	30.2
B-펌프설비3호	c	3.38	7.5	25.4
B-펌프설비4호	a	4.57	4.0	18.3
합계(Σ)			26.5	99.6
평가의견				
상태평가 결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.38 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 4.57 3. $V1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (4.57 - 3.38) = 0.357$ 4. $V2 = \Sigma(Ec3 \times S) / 5 \times \Sigma S = 99.6 / 5 \times 26.5 = 0.752$ 5. 개별시설물(B취수장 펌프설비)의 상태평가지수(Ec4) $= Min + V1 \times V2 = 3.38 + 0.357 \times 0.752 = 3.65$ 6. 개별시설물(B취수장 펌프설비)의 상태평가 결과 = b			

5.5 안전성평가 기준 및 방법

5.5.1 일반

가. 안전성평가를 위한 선택과업

시설물의 안전성평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 안전성 및 운영상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는데 있으므로 현장으로부터 시설물의 현황과 상태 및 특성을 충분히 파악하여 제반 문제점을 도출하고 기초자료 분석 및 구조검토·해석 등에 의해 문제점에 대한 원인을 규명함과 더불어 안전성 여부를 판단하여야 한다.

안전성 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등의 선택과업을 시설물 종류 및 구조적 특성에 따라 책임기술자는 관리주체와 협의하여야 하며, 이를 위해서는 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 안전성평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

- ① 비파괴 시험결과 분석
- ② 토질조사 등의 결과 분석
- ③ 시설물의 변형/변위 및 거동 등의 측정결과 분석
- ④ 구조물의 구조검토·해석결과 분석
- ⑤ 기타 안전성평가를 위하여 필요한 사항

나. 내진성능 평가

상수도 시설물의 내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과¹⁾에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

1) 기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령('04.05) : 국토해양부, 한국시설안전공단

다. 안전성평가 방법

구조물의 안전성 평가방법은 대부분 해석적 방법에 의해 이루어지며 특별한 경우 재하시험방법에 의해 수행하기도 한다.

1) 해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우의 조건

현장조사 및 수집 자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공 상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결합 등을 종합하여 실제 상태대로 해석해야만 올바른 평가를 기대할 수 있으며, 구조설계기준 및 표준시방서 등에 규정된 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다.

2) 구조물의 해석방법

강도설계법과 허용응력설계법이 있으며, 이 중 강도설계법을 원칙으로 하지만 특별한 경우에는 허용응력설계법을 적용할 수 있다.

- 강도설계법에서의 구조물 안전여유를 두 가지 측면에서 고려 사항
 - 하중의 변경, 구조해석 시의 가정과 계산을 간단하게 함으로써 야기될지 모르는 초과하중의 영향을 고려한 하중계수
 - 설계계산상의 불확실성, 부재의 다양한 형식에 대한 상대적 중요도, 재료의 설계강도 및 실제단면치수와 제작시공기술 등에 관련된 다소의 불리한 오차들이 개별적으로는 허용한계에 있더라도 총체적으로 결합 시 부재의 강도감소를 초래할 가능성에 대비한 강도감소계수
- 이러한 하중계수와 강도감소계수에 의한 설계상의 구조물 안전여유율을 등가안전율이라 하며, 다음 식으로 표현된다. 이의 값은 활하중/고정하중의 비(L/D)와 휨부재 혹은 전단부재의 여부에 따라 차이를 갖는데 휨부재에서는 약 1.5~2.0 이고 전단부재인 경우는 1.7~2.5정도의 값을 갖는다.

$$n' = \frac{\gamma_D + \gamma_L L/D}{\phi(1 + L/D)}$$

여기서, n' : 등가안전율

γ_D : 고정하중계수

γ_L : 활하중계수

L/D : 활하중과 고정하중의 비

ϕ : 강도감소계수

이와 같이 구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재 상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가 콘크리트 구조설계기준 및 표준시방서 등의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물의 안전성이 없는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 적다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있는냐의 정도에 따라 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

3) 구조해석 결과의 평가의 적용

- 안전여유율이 등가안전율 이상인 경우
 - 안전성이 확보된 구조물로 평가
- 등가안전율 미만이나 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 이상일 경우
 - 안전성은 있지만 충분치 못한 상태로서 구조물의 상태를 주기적으로 점검 및 과대하중 재하억제 등의 관리가 필요한 상태로 평가
- 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 미만인 경우
 - 사용제한여부의 판단이 요구되거나 사용금지를 요하는 안전성이 결여된 구조물이라고 평가

라. 안전성평가의 적용

안전성평가 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

또한, 본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 본 장에 기술된 것과 같이 5단계의 안전성평가 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다.

또한 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

5.5.2 안전성평가 기준

가. 관로 시설물

상수도의 관로시설물은 크게 관로와 수로터널로 구분되며, 대부분 지중에 부설되거나 축조되는 시설물들로 이루어져 있으므로 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받고 관로 및 각종 배관이 벽체 등을 관통하여 연결되는 부위는 하중 및 지지조건이 달라 부등침하의 영향을 받는다.

따라서 상수도 관로시설물의 설계·준공도서 및 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 시설물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재(밸브실 제외)의 상태평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safe factor, SF) 검토를 수행하여 시설물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다. 외국에서의 시설물 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 안전성평가지수(E_s)를 계산하고 이의 안전성평가지수를 토대로 안전성평가 기준에 근거하여 안전성평가가 수행되고 있다.(US Army, 1990)

또한, 안전율 검토도 국내에서와 같이 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 시설물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

일반적으로 상수도의 관로시설물은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조나 지반해석에 필요한 경계조건, 토질상수 등은 설계·준공도서 또는 토질조사에 의해 얻거나, 「상수도시설기준, 환경부, 2004」 및 「Steel Pipe A Guide for Design and Installation, AWWA MANUAL M11」 그리고 「구조물기초 설계기준, 국토해양부, 2008」 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구하며, 관로의 안전성검토 식은 「상수도시설기준, 환경부」에 제시된 식의 사용을 원칙으로 한다.

하중의 조합을 통한 안전율 검토는 고정하중, 활하중, 전토압, 반토압 및 수압 등을 모두 고려하고 하중조합은 지하수의 유무에 따라 구분토록 하며, 강도감소계수와 하중계수는 콘크리트 구조물 설계기준에서 정해진 값을 적용하며 단면의 안전율은 휨, 전단 및 좌굴 등에 대하여 검토한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 부재나 구조물의 구조적 안전을 정도에 따른 안전성평가기준을 설정하면 [표 5.70]과 같다.

[표 5.70] 부재 및 구조물의 안전성평가 기준

안전성평가 기준	평가 점수	안전성평가 내용	비 고
a	5	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우	◦ 강도설계법 $SF = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u}$
b	4	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 있는 경우	
c	3	안전율(SF)이 1.0 미만~0.9이상	
d	2	안전율(SF)이 0.9 미만~0.75이상	◦ 허용응력설계법 $SF = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$
e	1	안전율(SF)이 0.75 미만	

【해설】

1. 관로 구조 안전성 검토

관로 구조안전성에 관계되는 주요 항목은 관 재질을 비롯하여 관경, 관두께, 관내수압, 기초지반의 상태, 차량하중, 토압 등이 있다. 이중 내압에 대한 취약부위는 관내수압이 크게 작용하는 지점이며, 외압에 대한 취약부위는 차량하중이 작용하는 매설 깊이가 얇은 지점과 토압이 작용하는 매설 깊이가 깊은 지점이 된다.

관로 구조안전성 검토에 있어서, 내·외압에 대한 내하력은 내압의 경우 관로에 작용할 수 있는 최대정수압과 동수압 및 수격압을 고려하여 적용하고, 외압의 경우 관로 종단도면과 현장조사에 의해 확인된 매설깊이를 검토하여 적용하여 분석한다. 또한, 분석 결과(발생 응력)에 의한 안전성 여부는 「상수도시설기준(환경부)」 「WSP 030-88 (일본수도강관협회)」 「수도시설설계지침(일본수도협회)」 「AWWA MANUAL M11 2nd(미국수도협회,)」 등의 평가 기준을 적용하여 판정한다.

(1) 수도용 도복장 강관

① 검토 기준

수도용 도복장 강관은 외·내압에 의해서 관의 원주방향으로 응력이 발생하며, 발생응력에 대한 허용기준은 상시하중(토압, 차량하중, 정수압)인 경우 140MPa(1,400kg/cm², STWW 400)이내 이고 일시하중(동수압+수격압)의 경우 210MPa(2,100kg/cm², 상시 허용응력의 150%)이하 이다. 검토항목과 작용하중에 따라 적용되는 허용기준은 [해설 표 5.5.1]과 같다.

[해설 표 5.5.1] 수도용 도복장 강관의 구조 안전성 허용기준

구 분	검토 항목	작용 하중	허용 기준	하중 조건
내 압	휨응력	정수압	140MPa (1,400kgf/cm ²)	상시
		동수압+수격압	210MPa (2,100kgf/cm ²)	일시
외 압	휨응력	토압+차량하중	140MPa (1,400kgf/cm ²)	상시
	관체 변형량	토압+차량하중	관경의 5%미만	상시
	좌굴하중	토압+차량하중	허용하중	상시

② 구조안전성 계산

관의 구조안전성 계산은 구조적으로 가장 불리한 상황을 반영하기 위해서, 외압 작용의 경우 관 내부의 수압이 없는 조건으로 하고 내압 작용의 경우 외부 하중(노면하중, 토압 등)이 없는 조건으로 하며, 관두께는 관 상세검사에서 측정된 구간별 최소 관두께와 관경별 기준 관두께(STWW 400) 가운데 작은 값을 적용한다.

계산에 적용되는 공식은 다음과 같다.

(가) 작용 하중(외압)

상부 토압은 매설깊이에 따라 연직 토압공식과 흙의 Arching 효과 및 Marston 토압계수를 적용한 공식에 의해 계산한다.

$$W_v = \gamma_t \cdot H \quad \text{if } H \leq 2.0m$$

$$W_v = C_d \cdot \gamma_t \cdot B \quad \text{if } H > 2.0m$$

여기서 W_v : 토압(kg/cm²)

C_d : Marston의 토압 계수

$$C_d = \frac{1 - e^{(-2k \mu' \frac{H}{B})}}{2 k \mu'}$$

H : 매설깊이(cm)

k : 토압계수, $k = (1 - \sin\phi)/(1 + \sin\phi)$

μ' : 마찰계수, $\mu' = \tan\phi'$

ϕ' : 매설토와 굴착면의 마찰각, $\phi' = \phi = 30^\circ$

γ_t : 흙의 단위중량 ($1.8 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

B : 강관의 정부에서의 굴착부 폭, $B = 2D + 100$

노면하중은 차량하중으로 인접하는 후륜의 단축하중과 그 분포 각을 고려한 공식에 의해 계산된다.

$$W_t = \frac{2nP(1+i)}{\{nL + (n-1)C + b + 2H\tan\theta\}(a + 2H\tan\theta)}$$

여기서 W_t : 차량에 의한 연직하중 (kg/cm^2)
 P : 후륜하중 ($DB24: = 9,600kg$)
 n : 점유폭의 차량대수
 L : 후륜 중심간격 ($175cm$)
 C : 인접차량후륜 중심간격 ($100cm$)
 b : 차륜의 접지폭 ($50cm$)
 a : 차륜폭 ($20cm$)
 H : 매설깊이 (cm)
 θ : Kögler의 분산각 (45°)
 i : 충격계수

매설깊이	충격계수
$H < 1.5$	0.5
$1.50 < H < 6.5$	$0.65 - 0.10 H$
$6.5 < H$	0

(나) 내압에 의한 관의 응력

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{2t} \quad \text{여기서 } \sigma_t : \text{발생 휨응력 (MPa)}$$

P : 관내 수압 (MPa)
 D : 관 내경 (mm)
 t : 관의 두께 (mm)

(다) 외압에 의한 관체의 원주방향 휨응력

$$\sigma_b = \frac{2}{fz} (W_v + W_t) \frac{Kb R^2 EI + (0.061Kb - 0.083Kx) E' R^5}{EI + 0.061E' R^3}$$

여기서 σ_b : 발생 휨응력 (kg/cm^2)
 f : 형상계수 (1.5)
 z : 관의 단위폭당 단면계수 ($t^2 / 6 cm^2$)
 W_v : 토압 (kg/cm^2)
 W_t : 차량하중 (kg/cm^2)
 Kb : 관저부의 휨모멘트
 Kx : 수평방향 변형계수
 R : 관의 평균반경 ($D/2 + t cm$)
 E : 강관의 탄성계수 ($2.1 \times 10^6 kg/cm^2$)
 I : 관의 단위폭당 단면2차모멘트 ($t^3 / 12 cm^3$)
 E' : 흙의 반력계수 ($28 kg/cm^2$)

지지각	Kb	Kx	$0.061Kb - 0.083Kx$
60°	0.189	0.103	0.00307
90°	0.157	0.096	0.00171
120°	0.138	0.089	0.00107
150°	0.128	0.085	0.00082

(라) 외압에 의한 관체의 원주방향 변형률

$$\epsilon = \frac{2 Kx (Wv + Wt) R^4}{E I + 0.061 E' R^3} \times \frac{1}{D} \times 100$$

여기서 ϵ : 발생 변형률(%)
 Kx : 수평방향 변형계수
 Wv : 토압 (kg/cm^2)
 Wt : 차량하중 (kg/cm^2)
 R : 관의 평균반경 ($D/2 + t$ cm)
 E : 강관의 탄성계수 ($2.1 \times 10^6 kg/cm^2$)
 I : 관의 단위폭당 단면2차모멘트 ($t^3/12 cm^3$)
 E' : 흙의 반력계수($28 kg/cm^2$)

(마) 외압에 의한 관체의 좌굴하중

$$W = W_v + W_t$$

$$q_a = \left(\frac{1}{FS} \right) \left(32 R_w B E \frac{EI}{D^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

여기서 W : 연직하중 (kg/cm^2)
 q_a : 허용좌굴하중 (kg/cm^2)
 FS : 설계계수 ($H/D \geq 2 = 2.5, H/D < 2 = 3.0$)
 R_w : 부력계수 (1.0)
 B : 기초계수 ($0.15 + 0.041(H/D)$)
 E' : 흙의 반력계수 ($28 kg/cm^2$)
 E : 강관의 탄성계수 ($2.1 \times 10^6 kg/cm^2$)
 I : 관의 단위폭당 단면2차모멘트 ($t^3/12 cm^3$)

(2) 수도용 덕타일 주철관

① 검토 기준

수도용 덕타일 주철관의 안전성은 다음 식과 같이 내압 및 외압에 의한 발생 복합 인장응력에 대해서, 관재의 기준 인장강도를 만족하여야 한다.

$$2.5 \sigma_{ts} + 2.0 \sigma_{td} + 1.4 \sigma_b < S(\text{인장강도})$$

여기서 σ_{ts} : 내압(정수압)에 의한 인장응력(kg/cm^2)
 σ_{td} : 내압(수격압)에 의한 인장응력(kg/cm^2)
 σ_b : 외압(토압 + 노면하중)에 의한 휨응력(kg/cm^2)
 S : 관 재료의 인장강도(kg/cm^2)

② 구조안전성 계산

구조안전성 계산은 대상관로에서 매설환경 조건(차도, 비차도, 관보호공 설치 등)을 고려하고 하중 조건이 불리한 지점(최소 및 최대 매설깊이, 최대 정수압 또는 수격압)에 대해서, 내압 및 외압에 의해 발생하는 인장응력을 검토한다. 또한, 구조적으로 가장 불리한 상황을 반영하기 위해서, 관두께는 관 상세검사 에서 관경별로 측정된 최소 관두께와 기준 관두께 가운데 작은 값을 적용하며,

자연유하 구간에서는 정수압을 적용하고 가압구간에서는 수격압(정수압 이상 상승압력)을 적용한다.

계산에 적용되는 공식은 다음과 같다.

(가) 내 압

$$\sigma_{ts} = \frac{P D}{2 t}, \quad \sigma_{td} = \frac{P' D}{2 t}$$

여기서 P : 정수압(kg/cm^2)
 P' : 수격압(kg/cm^2)
 t : 관두께(mm)
 D : 관의 내경(mm)

상부 토압(W_f , 강관의 계산공식과 동일)

노면하중(W_t , 강관의 계산공식과 동일)

(나) 외압에 의해 발생하는 인장응력

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \times W_f + K_t \times W_t)R^2}{t^2}$$

여기서 σ_b : 외압에 의한 인장응력(kg/cm^2)
 K_f : 관저부의 지지각 계수
 W_f : 상부 토압하중(kg/cm^2)
 K_t : 차량 노면하중에 의한 토압계수
 W_t : 차량 노면하중(kg/cm^2)

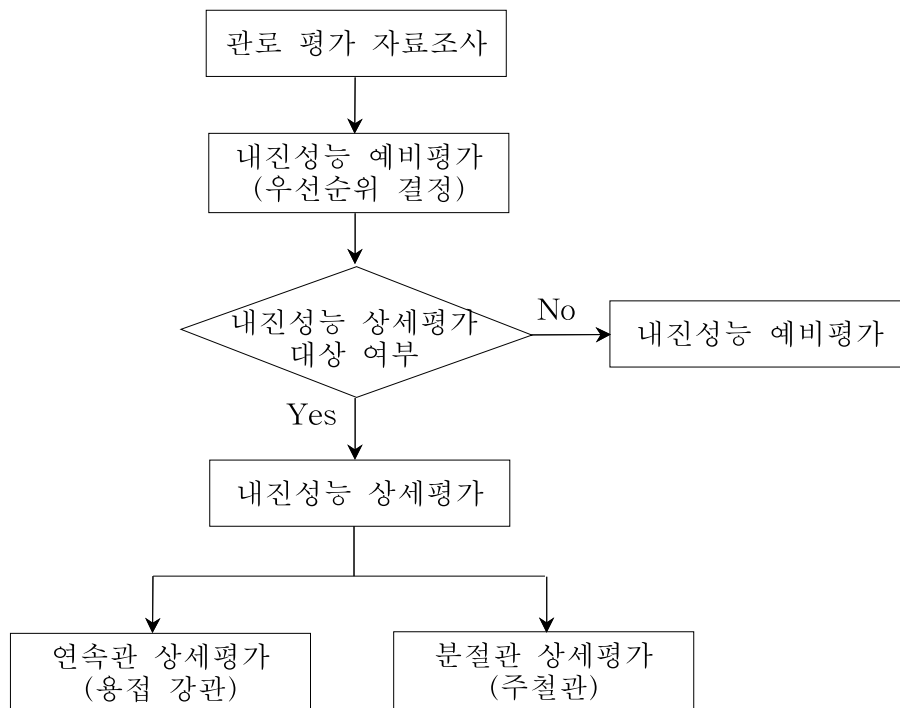
구분	Kf					Kt
	40°	60°	90°	120°	180°	
관저	0.281	0.223	0.160	0.122	0.096	0.011

《참고사항》

1. 관로 내진성능 검토

관로 내진성능은 안전성 평가 항목에 포함되어 있지 않지만, 관로의 구조적, 운영상 안전성 여부를 판단하기 위하여 검토된다.

관로 내진성능 평가는 [해설 그림 5.5.1]과 같은 절차에 의해 내진성능 예비평가와 내진성능 상세평가를 단계적으로 수행하며, 적용되는 지진위험도(설계지반운동, 응답스펙트럼, 소요내진 성능 등)와 상세한 평가 방법 및 절차는 「기존 상수도의 내진성능 평가 및 향상 요령, 건설교통부, 한국시설안전공단」을 기준으로 한다.



[해설 그림 5.5.1] 내진성능 평가 절차

(1) 평가 자료조사

관로 내진성능 평가를 위한 기초자료는 설계도서에 나타난 직접적인 정보와 현장조사에서 얻어진 조사·분석 자료(표준관입시험, 토양분석 자료 등)를 기준으로 한다.

(2) 내진성능 예비평가

내진성능 예비평가는 대상 관로구간에 대해서 지진도 및 위험도, 영향도 평가를 수행하여 그 결과에 의해 내진 그룹(내진보강 핵심시설, 내진보강 중요시설, 내진보강 관찰시설, 내진보강 유보시설)을 결정한다. 또한, 내진 우선도가 높은 그룹(내진보강 핵심시설, 내진보강 중요시설)에 대해서는 내진성능 상세평가를 수행한다.

① 지진도 평가

지진도 평가에서는 대상 시설물의 위치에 따라 [해설 표 5.5.2]와 같이 지진구역이 구분되며, 평가 관로구간에서의 지반종류에 따라 [해설 표 5.5.3]과 같이 지진그룹을 구분한다.

[해설 표 5.5.2] 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

[해설 표 5.5.3] 지진구역 구분지진그룹 구분

지진구역	구분	지반종류			
		SE	SD	SC	SB, SA
I	도시	1그룹		2그룹	
	기타지역	1그룹	2그룹	3그룹	3그룹
II	도시	1그룹	2그룹	3그룹	4그룹
	기타지역	2그룹	3그룹	4그룹	

- 주) 1. SE : 연약한 토사지반, 표준관입시험(N) < 15
 2. SD : 단단한 토사지반, 표준관입시험(N) 15~50
 3. SC : 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반, 표준관입시험(N) > 50
 4. SB : 보통암 지반
 5. SA : 경암 지반

② 위험도 평가

위험도 평가는 지진으로 인해 시설이 붕괴되거나 손상을 입기 쉬운 정도를 표현하는 것으로서, 유연도 지수, 관로의 연결방법 및 연결부위 처리 방법, 관로 단면의 크기 및 종류, 밸브 등 관로 내 각종 시설물 설치, 부지의 지반강도 및 지반조건(특히 단층 및 액상화의 가능성), 상수도 관로시설의 노후도 및 손상정도 등의 주요 인자에 대해서 각각의 위험도 정도를 부여하여 위험도 계수(VI, Vulnerability Index)를 산출한다.

$$VI = FLEX_{\text{지수}} \times \{ KIND_{\text{지수}} + EARTH_{\text{지수}} + SIZE_{\text{지수}} + CONNECT_{\text{지수}} + DAMAGE_{\text{지수}} + FAULT_{\text{지수}} + FACIL_{\text{지수}} + LIQ_{\text{지수}} + DETIOR_{\text{지수}} + MCONE_{\text{지수}} \}$$

여기서, $KIND_{\text{지수}}$ [관로의 종류에 따른 지수]

강관 및 주철관 : 1.0, 콘크리트 및 시멘트 관 : 0.8, 경질 염화비닐관 : 0.5

*EARTH*_{지수} [지반상태 정도 지수]

연약지반 및 변동지반 : 1.0, 보통지반 : 0.8, 강성지반 : 0.5

*SIZE*_{지수} [관경에 따른 지수]

직경 500mm미만 : 1.0, 직경 500~1,000mm : 0.8, 직경 1000mm초과 : 0.5

*CONNECT*_{지수} [관로 이음부의 상태]

불량 : 1.0, 보통 : 0.8, 양호 : 0.5

*DAMAGE*_{지수} [관로 시설물의 손상 지수]

불량 : 1.0, 보통 : 0.8, 양호 : 0.5

*FAULT*_{지수} [관로 시설물과 단층대와의 거리 지수]

50m이내 : 1.0, 500m이내 : 0.8, 500m이상 : 0.5

*FACIL*_{지수} [관로내의 주요 시설물(밸브 등) 존재 여부]

있음 : 1.0, 없음 : 0.8

*LIQ*_{지수} [액상화 가능여부 지수]

높음 : 1.0, 보통 : 0.8, 낮음 : 0.5

*DETIOR*_{지수} [관로 시설물의 노후화 등급지수]

A등급 : 0.1, B등급 : 0.2, C등급 : 0.4, D등급 : 0.7, E등급 : 1.0

*MCONE*_{지수} [이음부의 처리방법 지수]

강결 : 1.0, 볼팅 : 0.7

*FLEX*_{지수} [단면에 대한 유연도 지수]

F 5이하 : 10.0, F 5~20 : 8.0, F 20이상 : 6.0

$$F = \frac{2E(1-\nu_1^2) \cdot R^3}{E_1(1+\nu)t^3} \quad \text{여기서, } E : \text{주변 지반의 탄성계수}$$

ν : 주변 지반의 포아송 비

E_1 : 구조물의 탄성계수

ν_1 : 구조물의 포아송 비

R : 구조물의 반경

t : 구조물의 두께

③ 영향도 평가

영향도 평가는 지진으로 인해 피해가 발생할 경우에 이로 인한 사회 및 경제적인 영향을 표현하는 것으로서, 복구 시 소요 비용, 중요시설에 직접공급 가능여부, 대체 시설의 존재 유무, 2차 재해 발생여부, 복구하는데 걸리는 시간 등의 주요 인자에 대해서 영향도 정도를 부여하여 영향도 계수(II, Impact Index)를 산출한다.

$$II = 20 \times \{ IMPT_{\text{지수}} + REPS_{\text{지수}} + SDMG_{\text{지수}} + IMPA_{\text{지수}} + IMPC_{\text{지수}} \}$$

여기서, *IMPT*_{지수} [복구에 소요되는 시간]

10일 이상 : 1.0, 하루 이상 10일 미만 : 0.8, 하루 미만 : 0.6

$REPS$ 지수 [대체 시설물의 존재 여부]

없음 : 1.0, 있음 : 0.5

$SDMG$ 지수 [이차재해 여부]

높음 : 1.0, 보통 : 0.8, 낮음 : 0.6

$IMPS$ 지수 [중요시설에 직접 공급 여부]

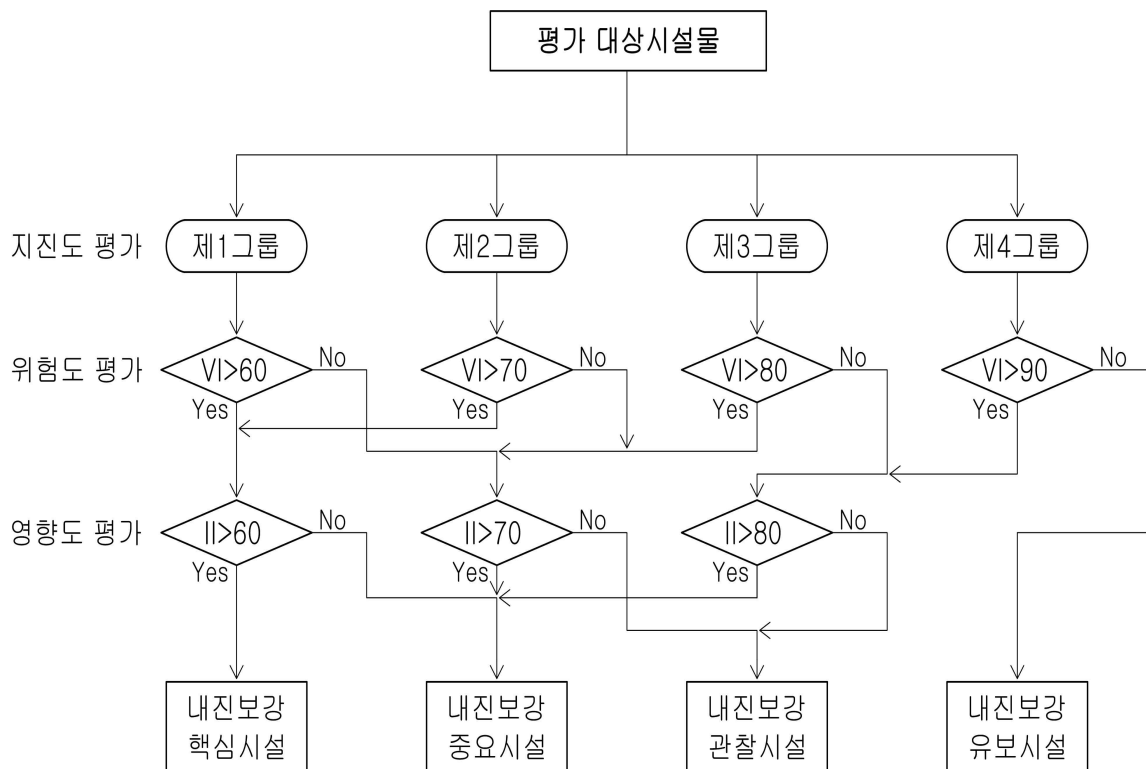
높음 : 1.0, 보통 : 0.8, 낮음 : 0.6

$IMPC$ 지수 [구조물의 성능 회복을 위한 비용 지수]

높음 : 1.0, 보통 : 0.8, 낮음 : 0.6

④ 내진 그룹화

내진성능 예비평가에서는 관로 구간에 대해서 관로 토질조건(기존 자료)을 활용·유추 적용하고 현장조사 결과분석 자료를 반영하여 지진도, 위험도, 영향도를 산정한다. 산정 결과는 [해설 그림 5.5.2]의 결정과정에 의해서, 「내진보강 핵심시설」 「내진보강 중요시설」 「내진보강 관찰시설」 「내진보강 유보시설」 등의 내진등급으로 그룹화 한다.



[해설 그림 5.5.2] 관로의 내진성능 예비평가 절차도

(2) 내진성능 상세평가

내진성능 상세평가는 예비평가 결과에서 「내진보강 핵심시설」 「내진보강 중요시설」로 분류된 관로 구간에 대해서, 관중에 따라 연속관과 분절관으로 구분하여 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대해서 수행한다. 또한, 대상관로에서 수도용 도

복장 강관(SP)은 연속관에 해당되고 수도용 덕타일 주철관(DCIP)는 분절관에 해당된다.

① 수도용 도복장 강관의 내진성능 평가

(가) 평가기준

수도용 도복장 강관(연속관)의 내진성능은 상시하중 및 지진동에 의한 축방향 변형률에 대해서 항복 변형률(기능수행수준)과 국부좌굴개시 변형률(붕괴방지수준)을 비교하여 평가되며, 상시하중은 내압, 차량하중, 온도변화, 부등침하 등이 고려된다.

- 기능수행수준 : 축방향 변형률 $\leq$ 항복 변형률
- 붕괴방지수준 : 축방향 변형률 $\leq$ 국부좌굴개시 변형률
- 항복 변형률 : $\epsilon_y = 23t/D$, 국부좌굴개시 변형률 : $\epsilon_a = 46t/D$ 또는 0.3% 중 작은 값

(나) 적용 공식

수도용 도복장 강관(연속관)의 내진성능 평가는 다음과 같은 식이 사용된다.

- 내압에 의한 축방향 변형률

$$\epsilon_i = \frac{P(D-t) \times \nu}{2tE}$$

여기서, ϵ_i : 내압에 의한 관 축방향 변형률

P : 내압(MPa)

D : 관의 외경(m)

t : 관 두께(m)

ν : 포아송 비

E : 강관의 탄성계수(MPa)

- 차량하중에 축방향 변형률

$$\epsilon_0 = \frac{0.322 W_m}{Z E} \sqrt{\frac{EI}{K_v D}}$$

여기서, ϵ_0 : 차량하중에 의한 관 축방향 변형률

W_m : 차량하중(kN/m)

Z : 관의 단면계수(m³)

E : 관의 탄성계수(MPa)

I : 관의 단면2차모멘트(m⁴)

K_v : 연직방향 지반반력계수

D : 관의 외경(m)

- 온도변화에 의한 축방향 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \Delta t$$

여기서, ϵ_t : 온도변화에 의한 축방향 변형률

α : 강의 선팽창계수

Z : 관의 단면계수(m^3)

Δt : 온도변화($^{\circ}C$)

- 부등침하에 의한 축방향 변형률

$$\epsilon = \frac{M}{E I} \frac{D}{2}$$

여기서, ϵ : 부등침하에 의한 축방향 변형률

M : 최대 휨모멘트(M_1 , M_2 중 큰값)

$$M_1 = \frac{W_d}{2 \beta^2} e^{-\beta L/2} \sin \frac{\beta L}{2}$$

$$M_2 = 0.3877 \frac{W_d}{\beta^2} \{0.2079 + e^{-\beta L/2} (\sin \beta L - \cos \beta L)\}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4 EI}}, \quad W_d = \gamma(h + h')D$$

L : 연약 지반구간(m)

γ : 흙의 단위중량(kN/m^3)

h : 흙의 두께(m)

h' : 성토 높이(m)

E : 관의 탄성계수(MPa)

I : 관의 단면2차모멘트(m^4)

K_2 : 축 직각방향의 변형에 대한 지반의 강성계수

D : 관의 외경

○ 기능수행수준의 지진에 의한 축방향 변형률

$$\epsilon_x = \sqrt{\epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$$

여기서, ϵ_x : 축 변형률과 휨 변형률의 합성변형률(기능수행수준)

ϵ_L : 관의 축 변형률, ϵ_B : 관의 휨 변형률, ϵ_G : 지반 축 변형률

$$\epsilon_L = \alpha_1 \epsilon_G, \quad \epsilon_B = \alpha_2 \frac{2\pi D}{L} \epsilon_G, \quad \epsilon_G = \frac{\pi U_h}{L}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L'}\right)^2}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L'}\right)^4}, \quad L' = \sqrt{2} L$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{EA}}, \quad \lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{EI}}$$

U_h : 관 축 위치의 지반 수평변위 진폭(m)

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} S_v T_G \cos \frac{\pi x}{2H}$$

T_G : 표층지반의 고유주기

$$T_G = 4 \sum_{i=0}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

L : 지진동의 파장(m)

$$L = \frac{2L_1 L_2}{L_1 + L_2}, \quad L_1 = T_G V_{DS}, \quad L_2 = T_G V_{BS}$$

T_G : 표층지반의 고유주기(1.54)

V_{DS} : 표층지반의 전단 탄성파속도(m/s)

V_{BS} : 기반층의 전단 탄성파속도(1600m/s)

K_1, K_2 : 지반의 강성계수

$$K_1 = 1.5 \frac{\gamma}{g} V_S, \quad K_2 = 3 \frac{\gamma}{g} V_S^2$$

D : 관의 외경(m)

A : 관의 단면적(m²)

E : 관의 탄성계수(MPa)

I : 관의 단면2차모멘트(m⁴)

○ 붕괴방지수준의 지진에 의한 축방향 변형률

$L > L_1'$ 이면, 기능수행수준의 지진에 의한 축방향 변형률과 동일한 공식적용

$L \leq L_1'$ 이면, $\epsilon_L = \frac{L}{\xi}$ 공식 적용

$$L_1' = \xi \epsilon_y, \quad \xi = \sqrt[2]{2} E_1 t / \tau$$

여기서, τ : 관과 지반의 마찰력(MPa)

t : 관의 관두께(m)

② 수도용 덕타일 주철관(분절관)의 내진성능 평가

(가) 평가기준

수도용 덕타일 주철관(분절관)의 내진성능은 관체 발생응력과 허용응력을 비교하고, 이음새의 신축변형률과 허용 신축변형률을 비교하여 평가된다.

○ 관체 발생응력 $\leq$ 허용응력

○ 이음새의 신축변형률 $\leq$ 허용 신축변형률

○ 허용응력 : 27.5 MPa, 허용 신축변형률 : 이음새 형식 및 관경별 허용 신축변형률

(나) 적용 공식

수도용 덕타일 주철관(분절관)의 내진성능 평가는 다음과 같은 식이 사용된다.

○ 내압에 의한 축방향 응력

$$\sigma_i = \frac{P(D-t) \times \nu}{2t}$$

여기서, σ_i : 내압에 의한 관 축방향 응력

P : 내압(MPa)

D : 관의 외경(m)

t : 관 두께(m)

ν : 포아송 비

○ 차량하중에 축방향 응력

$$\sigma_0 = \frac{0.322 W_m}{Z} \sqrt{\frac{EI}{K_v D}}$$

여기서, σ_0 : 차량하중에 의한 관 축방향 응력

W_m : 차량하중(kN/m)

Z : 관의 단면계수(m³)

E : 관의 탄성계수(MPa)

I : 관의 단면2차모멘트(m⁴)

K_v : 연직방향 지반반력계수

D : 관의 외경(m)

○ 지진시 축방향 응력

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_L'^2 + \sigma_B'^2}$$

여기서, σ_x : 축응력과 휨응력의 합성응력

$$\sigma_L' = \xi_1 \sigma_L, \quad \sigma_B' = \xi_2 \sigma_B$$

σ_L : 축응력, σ_B : 휨응력, ξ_1 : 축응력 보정계수, ξ_2 : 휨응력 보정계수

$$\sigma_L = \alpha_1 \frac{\pi U_h}{L} E, \quad \sigma_B = \alpha_2 \frac{2\pi^2 D U_h}{L^2} E$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L'}\right)^2}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L'}\right)^4}, \quad L' = \sqrt{2} L$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{EA}}, \quad \lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{EI}}$$

U_h : 관 축 위치의 지반 수평변위 진폭(m)

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} S_v T_G \cos \frac{\pi x}{2H}$$

T_G : 표층지반의 고유주기

$$T_G = 4 \sum_{i=0}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

L : 지진동의 파장(m)

$$L = \frac{2L_1 L_2}{L_1 + L_2}, \quad L_1 = T_G V_{DS}, \quad L_2 = T_G V_{BS}$$

T_G : 표층지반의 고유주기(1.54)

V_{DS} : 표층지반의 전단 탄성파속도(m/s)

V_{BS} : 기반층의 전단 탄성파속도(1600m/s)

K_1, K_2 : 지반의 강성계수

$$K_1 = 1.5 \frac{\gamma}{g} V_S, \quad K_2 = 3 \frac{\gamma}{g} V_S^2$$

D : 관의 외경(m)

A : 관의 단면적(m²)

E : 관의 탄성계수(MPa)

I : 관의 단면2차모멘트(m⁴)

- 내압에 의한 이음새 신축량

$$e_i = \frac{l \sigma_1}{E}$$

여기서, e_i : 내압에 의한 이음새 신축량(m)
 σ_1 : 내압에 의한 관체 발생응력(MPa)
 l : 관의 길이(m)
 E : 관의 탄성계수(MPa)

- 차량하중에 의한 이음새 신축량

$$e_0 = \frac{l \sigma_0}{E}$$

여기서, e_0 : 차량하중에 의한 이음새 신축량(m)
 σ_0 : 차량하중에 의한 관체 발생응력(MPa)

- 온도변화에 의한 이음새 신축량

$$e_t = \alpha \Delta T l$$

여기서, e_t : 온도변화에 의한 이음새 신축량(m)
 α : 선팽창계수
 ΔT : 온도변화($^{\circ}C$)

- 부등침하에 의한 이음새 신축량

$$e_d = \Delta l, \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2} - l$$

- 지진시 이음새 신축량

$$e_d = \Delta l, \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2} - l$$

○ 지진시 이음새 신축량

$$|\mu_j| = \overline{\mu_0 \mu_j}$$

여기서, $|\mu_j|$: 관측방향 이음새 신축량(m)

μ_0 : 무한 연속보의 경우 관측방향 상대변위량(m)

$$\mu_0 = \alpha_1 \mu_a, \quad \mu_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \mu_h, \quad \overline{\mu_j} = \frac{2 \gamma_1 |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \sinh \beta_1}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + (\gamma_1 / \beta_1)^2}, \quad \beta_1 = \sqrt{\frac{K_1}{E A}} l, \quad \gamma_1 = \frac{2 \pi l}{L'}, \quad L' = \sqrt{2} L$$

L : 파장(m)

l : 이음새 간격(m)

2. 용수 공급능력 검토

관로에 있어서 용수 공급능력은 사용년수가 경과함에 따라 점차 감소하므로 계획년도(통상 20~25년)에서의 용수 공급능력을 감안하여 계획된다. 정밀안전진단에서 용수 공급능력 검토는 관로 준공이후 장기간 운영함에 따라 다음의 경우를 대비하고 현재의 관 내면의 상태(간접적)와 안정적인 용수 공급 상태를 파악하기 위해서 수행된다.

- (1) 관 교체 또는 개량 등의 시기 파악 및 의사 결정할 경우
- (2) 기존 관로에 펌프를 신설할 필요가 있는 경우
- (3) 임펠러의 특별한 마모 없이 펌프 용량이 감소할 경우
- (4) 관망 모델의 Calibration
- (5) 도수 및 송수유량을 증가시킬 필요가 있을 경우

일반적으로 용수 공급능력은 관로 유량공식인 하젠·윌리엄스 공식에서 유속계수(C값)로 표현되며, 유속계수(C값)를 적용한 관로 수리계산을 통하여 용수 공급능력을 판단할 수 있다. 이를 위해서 현장에서 관내수압 및 유량측정, 수준측량을 실시하여 유속계수를 도출하고 설계 시 적용한 값과 비교·검토하여 수리계산에 적용한다.

① 유속계수 측정

관로의 유속계수(C값)를 산정하기 위해서는 유량과 동수경사(지점간 수준차, 수압차)를 측정하여야 하며, 대상 구간에 대해서 측정오차를 최소화하고 유속계수 계산이 가능하기 위해서는 다음과 같은 일반적인 전제 조건이 요구된다.

- (가) 유량 및 수압측정이 동시에 이루어 질 것
- (나) 측정 구간 내 유량변화가 없을 것
- (다) 측정 오차를 최소화하기 위해서 가능한 측정구간의 연장이 길 것
- (라) 유량 및 수압 측정이 용이할 것
- (마) 정도가 높은 유량계 및 수압계를 사용할 것
- (바) 측정 시간동안 운전상황 변동이 없을 것

도·송수관로에 적용되는 유량공식인 하젠·윌리엄스 공식은 경험공식으로서 관내면의 조도에 따라 달라지는 유속계수(C)를 포함하고 있으며, 임의의 관로 구간에서 유속계수(C)는 다음의 공식에서 관경(D), 유량(Q), 연장(L)과 함께 손실수두(h_L)를 적용하여 계산할 수 있다.

○ Bernoulli 방정식

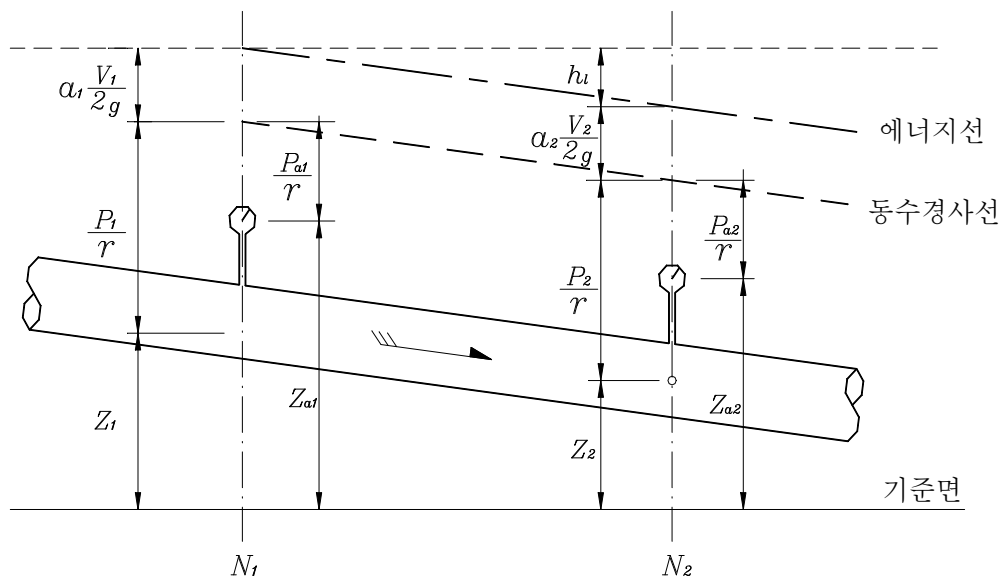
$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

여기서, g : 중력가속도($9.8m/sec$)
 γ : 물의 단위중량(t/m^3)
 p_1, p_2 : 단면1,2에서의 압력(t/m^3)
 z_1, z_2 : 단면1,2에서의 위치수두(m)
 α_1, α_2 : 단면1,2에서의 에너지 보정계수(≈ 1)
 h_L : 손실수두(m)

○ Hazen-Williams 공식

$$h_L = 10.666 C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85} L$$

여기서, h_L : 손실수두(m)
 C : 유속계수
 D : 관내경(m)
 Q : 유량(m^3/sec)
 L : 관로연장(m)



[해설 그림 5.5.3] 유속계수 측정 개념도



【구간 수준측량】



【수압(Primelog) 측정】

② 수리검토

수리검토는 대상시설물의 용수배분 계획량을 기준으로 현장에서 산정한 유속계수와 설계시 유속계수 값을 적용하여 수행되며, 수리계산 결과, 관로 중단상 관정부와 관말부에서 여유 동수두를 파악하여, 현재 또는 장래 계획 시점에서의 용수 공급능력을 검토한다.

3. 수격압 검토

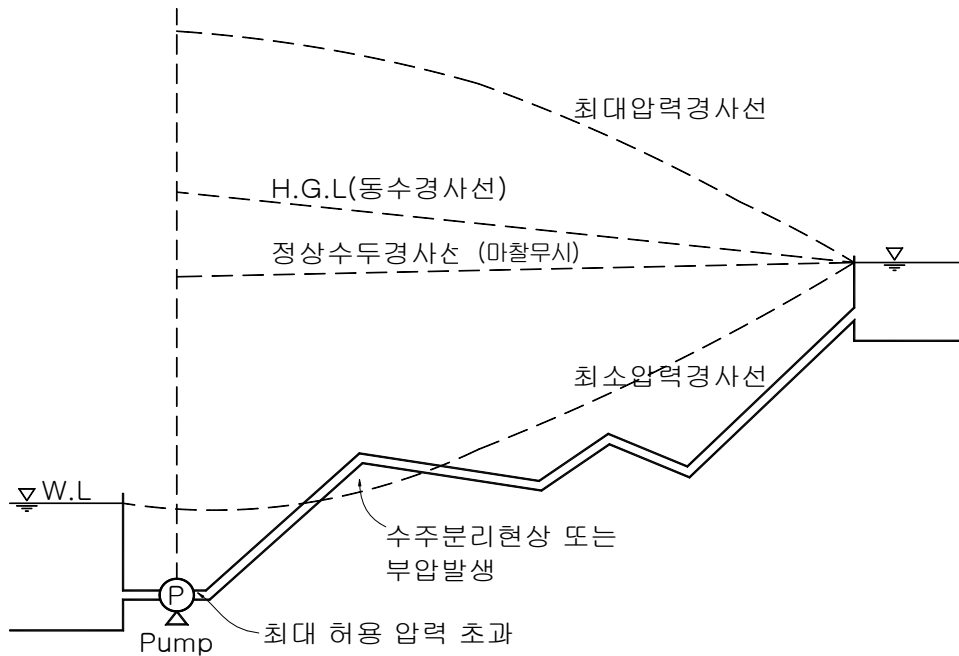
수격압 검토는 수격압의 크기, 수격 발생주기 및 수격 완화설비 등의 적정성 여부를 검토하고 수치해석 결과를 이용하여 유량 및 압력을 제어하는 장치에 대하여 펌프의 가동중단 또는 밸브의 급조작 등에 의한 압력의 과도현상을 분석함으로써 펌프장과 관로내의 안전성 여부를 검토한다.

관로에서는 정지하고 있는 펌프를 기동시키거나 정상운전 중 정전으로 인하여 갑자기 동력을 잃게 될 때 혹은 밸브의 개도를 빠르게 변화시킬 때, 그 순간 도수관로내의 유속이 급격히 변하면 압력도 크게 상승하거나 강하하게 되어 유체 과도현상(Hydraulic Transients)을 일으키게 된다.

또한, 관로내의 갑작스런 유속변화로 압력파가 상류단과 하류단 사이를 왕복할 때, 도수관로내의 압력은 관로형상(Pipeline Profile)에 따라 물의 포화증기압 이하로 떨어져 증기공동(Vapor Cavity)이 형성되며 결국 수주분리(Column Separation) 현상이 발생한다. 관로내의 압력이 대기압보다 낮아지면 관로에 좌굴(Collapse)이 일어날 수 있으며, 증기공동으로 분리되었던 수주가 재결합할 때 높은 압력이 유발되어 도수관로가 파손될 염려가 있다.

(1) 수격현상의 발생 원인

관로 시스템에서의 수격현상은 일반적으로 가동 중인 펌프가 정전 또는 고장으로 갑자기 동력이 끊어져 급정지되는 경우에 발생되며, 수요량의 변동 또는 관로사고로 단수, 기타 통수를 중단하기 위해 밸브를 급폐쇄 조작하는 경우에도 발생된다. 또한, 관로중 다량의 공기가 존재할 경우 수압에 의해서 압축과 팽창을 반복하여 관내 유속변화를 일어날 경우에도 발생하기도 한다.



[해설 그림 5.5.4] 관로의 수격현상 발생 이해도

(2) 수격현상 수치해석

수격작용을 방지 또는 완화시키는 데는 여러 가지 방법이 있지만 프로그램 등을 이용한 수치해석을 통하여 충분히 검토하여 수격작용의 정도를 파악하고 그에 따라 적합한 방법(설비)를 선택한다. 수격작용의 수치해석은 사용 프로그램에 따라서 부분적 차이는 있지만 일반적인 순서는 다음과 같다.

- ① 대상 시설물의 기초자료 조사
- ② 수격작용의 시나리오 설정
- ③ 펌프 및 밸브 등 기계설비에 대한 모델링
- ④ 관로 종단도를 기초로 한 노드(Node) 설정
- ⑤ 해석 프로그램의 입력자료 완성
- ⑥ 수격현상 해석 프로그램 실행
- ⑦ 해석결과의 물리적 타당성 및 신뢰성 여부 확인
- ⑧ 펌프장 및 관로에서 부압 또는 수주분리 현상 발생 여부 확인
- ⑨ 펌프장 및 관로 저지대에서의 최대 수격압 검토
- ⑩ 최대압력, 최소압력에 따른 수격완화설비의 종류 및 용량 선정
- ⑪ 수격완화설비에 대한 모델링
- ⑫ 주어진 조건이 만족될 때까지 ⑤~⑪항 반복 수행
- ⑬ 경제성 및 안전성을 고려한 수격완화설비의 시방 결정
- ⑭ 해석결과 자료 생성 및 출력
- ⑮ 수격현상에 관한 보고서 작성

(3) 수격현상의 현장시험

수격현상의 현장시험은 수격현상이 발생할 수 있는 상황을 기준으로 프로그램에 의해 수치해석하고 그 결과와 비교·분석하여 수치해석의 결과에 대한 신뢰성 및 안전성을 확인하기 위해서 수행된다.

운영 중인 펌프장 등에서 수격현상을 재현시키기는 데는 시험과정에서 기계설비의 파손 및 사고 등의 문제가 발생할 수 있으므로 현실적으로 어렵다. 따라서 별도로 설치된 실험 관로시스템에서 수행하거나 운영 중인 펌프장에서 최소 범위의 수격현상을 재현시켜 현장시험을 수행한다.

(4) 수격현상 방지 및 경감 대책

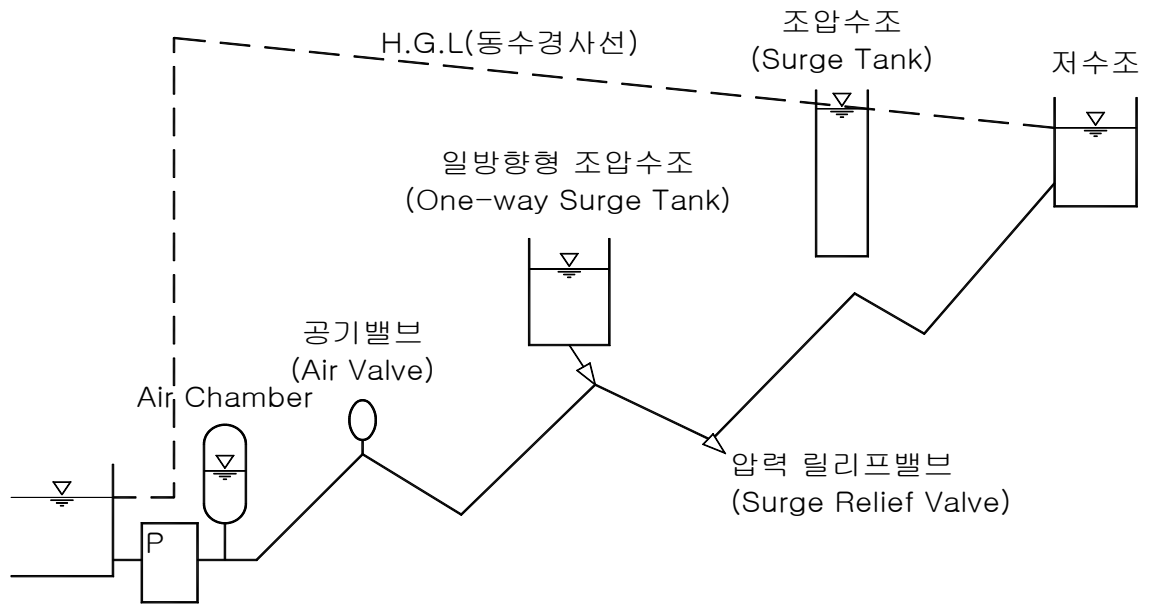
관로 시스템에서의 수격현상을 방지 또는 경감하기 위한 대책으로는 압력 급강하 방지를 위한 대책, 압력 급상승 방지를 위한 대책, 압력 급강하 및 급상승 동시 방지를 위한 대책 등을 구분할 수 있다. 이에 대한 일반적인 대책은 [해설 표 5.5.4] 및 [해설 표 5.5.5]와 같다.

[해설 표 5.5.4] 수격현상 방지 및 경감 대책(압력 급강하 방지 측면)

방 법	효 과	비 고
Flywheel 설치	관성효과(GD^2)를 증가 시켜 회전수와 관내유속의 변화를 느리게 함	소형기에 대해서는 유효하지만 대형기와 관 길이가 길 때에는 Flywheel이 과대해지므로 부적합
펌프 토출 측에 공기조(Air Chamber)설치	축적하고 있는 압력 에너지를 방출하여 압력강하를 방지함과 동시에 압력상승도 흡수	부압방지의 가장 효과적인 장치이며 기계의 안정성 및 신뢰성을 높이기 위해 자동 컨트롤에 대한 검토가 필요함
관경을 크게 함	관내 유속을 저하시켜, 관로 정수를 작게 함으로서 압력강하를 방지	관 연장 전체에 걸쳐서 적용하지 않으면 효과가 없음(건설비 과대)
관로 경로 변경	관의 종단면 형상에 대해 가능한 관을 깊이 매설(수주분리 방지)	지형과 비용상 제약이 큼
공기밸브 설치	부압 발생 장소에 공기를 자동적으로 흡입시켜 이상부압을 경감	공기 흡입지점의 하류측이 자연유하되는 경우에는 유리하지만, 그 이외의 경우에는 흡입된 공기에 의해 수격이 조장될 우려도 있음
펌프를 지나 흡입수조와 토출관 사이에 자동 개폐 밸브 설치	흡입 수조의 물을 자동적으로 흡상하여 압력 강하를 방지	관로의 고저상황에 따라 목적에 부합되지 않은 경우가 있음
조 압 수 조 (Surge Tank) 설치	부압 발생 장소에 물을 공급하여 압력의 이상강하를 경감함과 동시에 압력상승도 흡수	관내압력이 높을 때는 서어지 탱크의 높이도 높게 되어 건설비도 비싸지만 효과적
One-Way Surge Tank 설치	부압 발생 장소에 물을 공급하여 압력의 이상 강하를 경감	고양정 펌프계에서는 탱크의 높이가 낮아도 되므로, 관로에 다수의 탱크를 설치할 수 있다.
디젤기관 구동의 경우는 고장발생과 동시에 자동적으로 속도를 제어 하면서 정지하도록 함	체크밸브의 급폐쇄를 지연시킴으로써 압력 상승을 방지	기관의 보호 및 자동장치를 충분히 해 둘 필요가 있음

[해설 표 5.5.5] 수격현상 방지 및 경감 대책(압력 급상승 방지 측면)

방 법	효 과	비 고
체크밸브 또는 By-Pass 밸브의 자동 완폐, 물 또는 기름을 이용한 Dash-Port와 액압 조작 By-Pass밸브를 이용	구동기의 급속 정지에 의한 부압발생을 막기 위해 적극적으로 컨트롤함	소형 펌프에서는 체크밸브를 직접 완폐하며, 중형 이상은 체크밸브에 큰 By-Pass를 설치하고, 그 도중의 By-Pass밸브를 자동 완폐함
안전밸브 사용	설정압 보다도 상승하면 안전밸브가 열려, 이상 압력상승을 방지	급격히 압력이 상승하는 경우와 관로가 짧아 압력 주기가 짧은 경우는 안전밸브 동작이 지체되어 효과를 그다지 기대할 수 없음
급폐쇄식 체크 밸브 사용	폐쇄 지연에 의한 부가적인 압력 상승을 방지함	주로 스프링 부착식이 많으며, 밸브의 저항이 크기 때문에 소요 전양정의 산출에 주의를 요하며, 소형 펌프용으로 적합함
토출밸브의 자동 폐쇄체크밸브를 생략하고, Sluice, Butterfly 밸브 등을 유압, 수압 등으로 자동 완폐시킴	체크밸브를 생략하여, 압력상승을 방지	고양정 대용량 펌프에 적합함
체크밸브, Foot 밸브를 생략하여 토출관로의 물을 전부 역류 시킴	가장 간단한 방법으로 압력 상승을 방지	관로의 길이에 대응할 수 있는 흡입수조의 수용량에 여유가 필요함
자동 방류 밸브를 사용	펌프 동력 차단과 동시에 방류밸브를 급개방하여, 토출측에서 외부로 방류, 체크밸브가 닫히므로 자동 완폐하여 압력 상승을 막음	고양정 펌프에 적합하며, 부압이 발생하지 않는 계통에 한정됨.



[해설 그림 5.5.5] 수격현상 방지 및 경감 설비 위치별 이해도



【조압수조(Surge Tank)】



【공기조(Air Chamber)】



【체크밸브(Tilting Check Valve)】



【안전밸브(압력릴리프밸브)】

나. 토목구조물

상수도의 토목구조물은 대부분 철근콘크리트구조로서 지표면 아래에 축조되므로 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받고 관로 및 각종 배관이 벽체 등을 관통하여 연결되는 구조물 부위는 하중 및 지지조건이 달라 부등침하의 영향을 받는다.

따라서 상수도 토목구조물의 설계·준공도서 및 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 구조물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재의 상태평가결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safe factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다.

외국에서의 시설물 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 안전성평가지수(E_s)를 계산하고 이의 안전성평가지수를 토대로 안전성 평가기준에 근거하여 안전성평가가 수행되고 있다.(US Army, 1990)

또한, 안전율 검토도 국내에서와 같이 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나, 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 시설물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

일반적으로 상수도의 토목구조물은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조나 지반해석에 필요한 경계조건, 토질상수 등은 설계·준공도서 또는 토질조사에 의해 얻거나, 「상수도시설기준, 환경부, 2004」 및 「구조물기초 설계기준, 국토해양부, 2008」 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

구조해석은 탄성해석을 원칙으로 하며, 지지조건은 토질주상도가 있는 경우에는 지반 스프링을 취하고 토질주상도가 없는 경우에는 힌지와 롤러로써 지지조건을 부여한다. 하중의 조합을 통한 안전율 검토는 고정하중, 활하중, 전도압, 반토압 및 수압 등을 모두 고려하고 하중조합은 지하수의 유무에 따라 구분토록 하고 강도감소계수와 하중계수는 콘크리트구조물 설계기준에서 정해진 값을 적용하며 단면의 안전율은 휨, 전단 및 좌굴 등에 대하여 검토한다.

토목구조물의 부재나 구조물에 대한 안전성평가 기준은 관로시설물편에서 제시한 앞의 [표 5.70]과 같다.

【해설】

1. 토목구조물 구조안전성 검토

구조물의 안전성은 현장조사 및 시험 결과에서 나타난 손상 및 결함에 대해서 그 유형과 원인을 분석하여 검토하며, 중요한 구조적 결함이 있거나 하중재하 조건이 변화될 수 있는 세부 구조물에 대해서는 구조해석을 통하여 안전성을 판단한다.

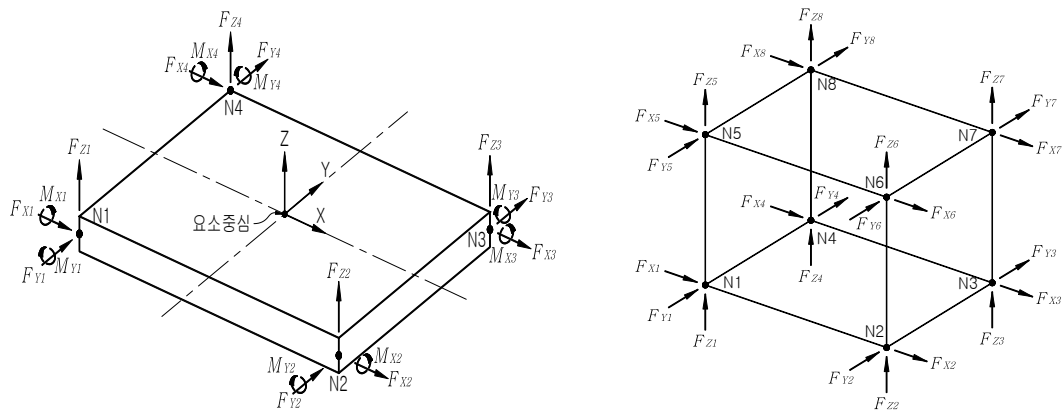
또한, 안전성 검토결과는 콘크리트 구조물의 설계기준과 비교하여 각 시설물에 대한 안전성평가에 반영(안전율)된다.

구조 해석은 준공도서 및 현장조사자료(규격조사, 상세 외관조사, 비파괴시험 등)를 활용하며, 모델링은 3차원으로 하고, 내력검토는 극한강도 설계법으로 하며, 내진설계

기준에 의한 내진검토를 포함한다.

(1) 해석모형 및 부호 규약

- ① 모델링은 판요소(슬래브 및 벽체) 및 선요소(기둥 및 보)를 이용하여 한다.
- ② 구조해석 프로그램은 다양한 하중조건을 고려한 모델링과 전처리 및 후처리가 용이한 범용해석 프로그램인 MIDAS-Civil를 이용한다.
- ③ 기둥 또는 벽체의 상부·바닥에 헌치 또는 주두가 있는 경우 기구학적 구속조건(Rigid Link)에 의하여 헌치 또는 주두의 중심에 해당 부분을 종속시켜 모델링한다.
- ④ 절점내력 및 부호 규약은 [해설 그림 5.5.6]과 같으며, 사용요소에 대한 세부사항은 [해설 표 5.5.6]과 같다.



[해설 그림 5.5.6] 절점내력 및 부호 규약 (화살표방향 ; +)

[해설 표 5.5.6] 사용요소에 대한 세부사항

구 분	개요도	절점수	자유도	비 고
판요소		4절점	절점당 6	슬래브 및 벽체
선요소		2절점	절점당 6	기둥 및 보

(2) 하중조합(상시)

$$U1 = 1.4D + 1.4H_v$$

$$U2 = 0.9D + 1.6\alpha HH_v + 1.6H_h$$

$$U3 = 1.2D + 1.6L + 1.6\alpha HH_v + 1.6H_h$$

$$U4 = 1.2D + 1.2F + 1.6L + 1.6\alpha HH_v + 1.6H_h$$

D : 자중, L : 활하중, H_v : 토압과 지하수에 의한 연직방향 하중,

H_h : 토압과 지하수에 의한 수평방향 하중, F : 내부수압

α_H : 토피두께에 따른 연직방향 하중에 대한 보정계수=1.0

- (3) 단위계는 SI단위계를 기본으로 하고, 단위변환시 1 kgf = 10 N으로 하며, 필요시 「MKS계(SI계)」로 표기한다.

- (4) 강도감소계수

안전성검토시에는 설계시에 적용하는 강도감소계수{휨 : 0.85, 전단 : 0.75, 기둥(띠철근) : 0.65}를 적용하여 검토하며, 부재응력이 소요응력보다 작을 경우 「콘크리트구조설계기준」 해석적 평가의 강도감소계수{휨 : 1.00, 전단 : 0.80, 기둥(띠철근) : 0.8}를 적용하여 재검토한다.

5.5.3 안전성평가 결과 산정 방법

가. 안전성평가 결과 산정

안전성평가는 평가체계의 4단계에서 수행하는 평가로서 개별시설물에 대하여 실시하게 되므로 개별시설물을 구성하고 있는 각종 부재나 구조물의 구조해석을 통하여 얻어진 각각의 구조적 안전율들을 종합적으로 검토·분석함으로써 개별시설물에 대한 안전성평가가 이루어지게 되며, 개별시설물의 구조안전성평가는 부재별 상태평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하여 구조적으로 취약한 개별시설물을 선정하여 실시한다.

개별시설물의 안전성평가가 합리적이고 정량적으로 이루어지도록 하기 위해서 다음과 같은 평가체계에 의해 안전성평가가 수행되도록 표준을 정하였다.

먼저 구조해석을 통해 얻어진 부재별 또는 구조물별 구조적 안전율에 따라 [표 5.70]의 기준에 의해 부재별 또는 구조물별 안전성평가 결과 및 평가점수를 부여한다.

그리고 아래의 식을 사용하여 개별시설물에 대한 안전성평가지수(E_s)를 산정한 후 안전성평가지수의 범위에 따른 [표 5.71]의 안전성평가 기준에 의해 개별시설물의 안전성평가 결과를 결정한다.

안전성평가지수(E_s)를 산정하는 아래 식은 개별시설물을 구성하고 있는 각각의 부재나 구조물의 안전성평가 결과들 중 가장 낮은 안전성평가 결과보다 다소 상향된 개별시설물의 안전성평가 결과를 가지게 된다.

한편, 부재나 구조물의 검토단면이 다수인 경우도 각 검토단면의 안전성평가 결과(평가점수)를 하나의 검토항목으로 간주하여 아래 식에 의해 최종적인 개별시설물의 안전성평가 결과를 결정할 수 있다.

$$\text{안전성평가지수}(E_s) = L + 0.3(H - L) \frac{\sum_{i=1}^{N-2} M_i}{5 \times (N-2)}, \quad (N > 2)$$

$$= L + 0.3(H - L), \quad (N = 2)$$

여기서, N : 안전성평가 항목 수

L : 검토항목의 안전성평가지수(평가점수) 중 최소값

H : 검토항목의 안전성평가지수(평가점수) 중 최대값

M_i : 검토항목의 최대 및 최소값을 각각 1개씩 제외한 나머지 값들

[표 5.71] 안전성평가지수(E_s) 범위에 따른 안전성평가 기준

안전성평가지수의 범위	안전성평가 기준	비 고
$4.5 \leq E_s \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq E_s < 4.5$	B	
$2.5 \leq E_s < 3.5$	C	
$1.5 \leq E_s < 2.5$	D	
$1.0 \leq E_s < 1.5$	E	

나. 안전성평가 결과 산정 방법

본 안전성평가 결과 산정 방법에서는 관로와 토목구조물을 중심으로 안전성평가표 작성 예를 [표 5.72] 및 [표 5.73]에 제시하였으며, 나머지 시설물들(수로터널, 기전설비 등)의 안전성평가표도 이에 준하여 작성토록 하고 안전성평가 결과는 알파벳 소문자로 표기한다.

[표 5.72] 관로의 개별시설물에 대한 안전성평가표 예

개별시설물 안전성평가표				
개별시설물명	송수관로 1			표번호
개별시설물규모	강관, $D=1,200mm$, $L=5,500m$			No. P1-1
평가항목	안전율(SF)	평가결과	평가점수	비 고
관로구간1-1	0.92	c	3	
관로구간1-2	1.06	b	4	단면감소(부식)발생
관로구간1-3	0.87	d	2	
평가의견				
안전성평가 결과	1. 평가항목수 $N=3$, 최소평가점수 $L=2$, 최대평가점수 $H=4$ 2. 개별시설물(송수관로 1)의 안전성평가지수($Es1$) $= 2 + 0.3 \times (4-2) \times 3 / \{5 \times (3-2)\} =$ 3. 개별시설물(송수관로 1)의 안전성평가 결과 =			2.36 D

[표 5.73] 토목구조물의 개별시설물에 대한 안전성평가표 예

개별시설물 안전성평가표				
개별시설물명	A 정수장 침전지			표번호
개별시설물규모	철근콘크리트구조($H3.5m \times W12.0m \times L=30.0m \times 4지$)			No. C1-1
평가항목	안전율(SF)	평가결과	평가점수	비 고
A-1호 침전지	0.95	c	3	
A-2호 침전지	1.03	b	4	균열 및 박락 등에 의한 단면손실 발생
A-3호 침전지	1.12	a	5	
A-4호 침전지	0.86	d	2	
평가의견				
안전성평가 결과	1. 평가항목수 $N=4$, 최소평가점수 $L=2$, 최대평가점수 $H=5$ 2. 개별시설물(A 정수장 침전지)의 안전성평가지수($Es1$) $= 2 + 0.3 \times (5-2) \times (3+4) / \{5 \times (4-2)\} =$ 3. 개별시설물(A 정수장 침전지)의 안전성평가 결과 =			2.63 C

5.6 종합평가 기준 및 방법

5.6.1 일반

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정하며, 시설물에 대한 종합평가 기준은 [표 5.74]의 종합평가지수(E4~7)에 따라 결정한다.

[표 5.74] 종합평가지수에 따른 종합평가 기준

종합평가지수(E4~7)	종합평가 기준	비 고
$4.5 \leq (E4 \sim 7) \leq 5.0$	A	
$3.5 \leq (E4 \sim 7) < 4.5$	B	
$2.5 \leq (E4 \sim 7) < 3.5$	C	
$1.5 \leq (E4 \sim 7) < 2.5$	D	
$1.0 \leq (E4 \sim 7) < 1.5$	E	

5.6.2 종합평가 결과 산정 방법

가. 종합평가 결과 산정

1) 개별시설물

개별시설물의 종합평가 결과 산정은 4단계 평가단계에서 수행하는 평가항목 중 하나로서 안전성평가를 실시하지 않는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 가름하지만 안전성평가를 실시하는 경우에는 개별시설물을 구성하고 있는 각각의 부재나 구조물의 상태 및 안전성평가 결과로 산출된 개별시설물의 상태평가지수(E_c)와 안전성평가지수(E_s)중 작은 값을 종합평가지수(E_t)로 적용하여 [표 5.74]의 종합평가지수(E_t)에 따른 종합평가 기준에 의해 개별시설물에 대한 종합평가 결과를 부여한다.

$$\text{종합평가지수}(E_t) = \min(E_c, E_s)$$

여기서, E_c : 상태평가지수

E_s : 안전성평가지수

2) 복합, 통합 및 종합시설물

개별시설물의 평가단계(4단계) 이후에 순차적으로 이루어지는 복합시설물의 종합평가(5단계), 통합시설물의 종합평가(6단계) 및 종합시설물의 종합평가(7단계) 시 수행되는 각각의 종합평가 결과 산정은 개별시설물의 종합평가지수를 기초로 하여 시설물의 중요도(W) 및 [표 5.75]의 종합평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영하여 다음에 예시되는 종합평가 결과 산정 예시에 따라 이루어진다.

[표 5.75] 종합평가지수에 따른 조정계수(A)

종합평가기준	A	B	C	D	E
종합평가지수(E_t)	$5.0 \geq E_t \geq 4.5$	$4.5 > E_t \geq 3.5$	$3.5 > E_t \geq 2.5$	$2.5 > E_t \geq 1.5$	$1.5 > E_t \geq 1.0$
조정계수(A)	1	2	3	6	6

나. 종합평가 결과 산정 방법

1) 4단계 평가 : 개별시설물 종합평가표 작성

개별시설물에 대한 안전성평가를 실시하지 않은 경우에는 앞에서 예시한 개별시설물 상태평가표 작성으로 가름되지만 안전성평가를 실시한 경우에는 개별시설물 상태평가표를 작성하지 않고 다음에 예시되는 [표 5.76] 및 [표 5.77]를 표준으로 개별시설물의 종합평가표를 작성토록 한다.

[표 5.76] 관로의 개별시설물 종합평가표 예

개별시설물 종합평가표				
개별시설물명	송수관로 1	개별시설 물규모	강관, $D = 1,200mm$, $L = 5,500m$	표번호
				No. P1-4-1
상 태 평 가				
근거(3단계) 표번호	No. P1-3-1, No. P1-3-2, No. P1-3-3			
복합부재구분	상태평가결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m ²)	계산값(Ec3 × S)
관로구간 1-1	b	3.69	2,035	7,509
관로구간 1-2	c	3.11	2,035	6,329
관로구간 1-3	b	3.92	2,148	8,420
합계(Σ)			6,218	22,258
상태평가 의견				
상태평가결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.11 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 3.92 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.92 - 3.11) = 0.243$ 4. $V_2 = \Sigma(Ec3 \times S) / 5 \times \Sigma S = 22,258 / 5 \times 6,218 = 0.716$ 5. 개별시설물(송수관로 1)의 상태평가지수(Ec4) = Min + $V_1 \times V_2 = 3.11 + 0.243 \times 0.716 =$ 3.28 6. 개별시설물(송수관로 1)의 상태평가 결과 = C			
안 전 성 평 가				
안전성평가항목	안전율(SF)	안전성평가 결과	안전성평가점수	비 고
관로구간 1-1	0.92	c	3	
관로구간 1-2	1.06	b	4	단면감소(부식)발생
관로구간 1-3	0.87	d	2	
안전성평가 의견				
안전성평가 결과	1. 평가항목수 N= 3, 최소평가점수 L= 2, 최대평가점수 H= 4 2. 개별시설물의 안전성평가지수(Es1)= $2+0.3 \times (4-2) \times 3/5 \times (3-2)=$ 2.36 3. 개별시설물(송수관로 1)의 안전성평가 결과 = D			
종 합 평 가				
종합평가 의견				
종합평가 결과	상태평가지수(Ec4)	안전성평가지수(Es1)	종합평가지수(Et1)	종합평가 결과
	3.28	2.36	2.36	D

[표 5.77] 토목구조물의 개별시설물 종합평가표 예

개별시설물 종합평가표				
개별시설물명	A 정수장 침전지	개별시설물 규모	철근콘크리트구조 (H3.5m×W12.0m×L=30.0m×4지)	표번호
				No. AS-4-1
상 태 평 가				
근거(3단계) 표번호	No. AS-3-1, No. AS-3-2, No. AS-3-3, No. AS-3-4			
복합부재구분	상태평가 결과	상태평가지수(Ec3)	규모(S, m²)	계산값(Ec3×S)
A-1호침전지	c	3.38	1,260	4,258.8
A-2호침전지	b	3.73	1,260	4,699.8
A-3호침전지	b	3.85	1,260	4,851.0
A-4호침전지	c	3.14	1,260	3,956.4
합계(Σ)			5,040	17,766.0
상태평가 의견				
상태평가결과	1. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최소 값(Min) = 3.14 2. 복합부재의 상태평가지수(Ec3) 중 최대 값(Max) = 3.85 3. $V_1 = 0.3 \times (Max - Min) = 0.3 \times (3.85 - 3.14) = 0.213$ 4. $V_2 = \Sigma(Ec3 \times S) / 5 \times \Sigma S = 17,766.0 / 5 \times 5,040.0 = 0.705$ 5. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태평가지수(Ec4) = Min + $V_1 \times V_2 = 3.14 + 0.213 \times 0.705 =$ 3.29 6. 개별시설물(A정수장 침전지)의 상태평가 결과 = C			
안 전 성 평 가				
안전성평가항목	안전율(SF)	안전성평가 결과	안전성평가점수	비 고
A-1호 침전지	0.95	c	3	
A-2호 침전지	1.03	b	4	균열 및 박락 등에 의한 단면손실 발생
A-3호 침전지	1.12	a	5	
A-4호 침전지	0.86	d	2	
안전성평가 의견				
안전성평가 결과	1. 평가항목수 N= 4, 최소평가점수 L= 2, 최대평가점수 H= 5 2. 개별시설물(A정수장 침전지)의 안전성평가지수(Es1) = 2 + 0.3 × (5-2) × (3+4) / 5 × (4-2) = 2.63 3. 개별시설물(A정수장 침전지)의 안전성평가 결과 = C			
종 합 평 가				
종합평가 의견				
종합평가 결과	상태평가지수(Ec4)	안전성평가지수(Es1)	종합평가지수(Et1)	종합평가 결과
	3.29	2.63	2.63	C

상수도의 복합시설물은 각각 기능과 역할이 각각 다른 개별시설물들의 집합으로 구성되며, 이러한 개별시설물들의 문제발생 시 해당 복합시설물의 기능성 및 안전성에 미치는 영향도가 거의 비슷하다고 할 수 있으므로 복합시설물을 구성하는 각 개별시설물의 중요도는 동일하다고 보며, 개별시설물별 규모(크기)에 대한 가중치만 고려하는 것으로 한다.

따라서 복합시설물의 종합평가는 각 개별시설물의 종합평가지수(Et1)에 규모에 따른 가중치(S)를 고려하고, 종합평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영하는 아래 식을 적용하여 복합시설물의 종합평가지수(Et2)를 산출하여 복합시설물에 대한 종합평가 결과를 결정한다.

$$\text{복합시설물의 종합평가지수}(Et2) = \sum(Et1 \times P) / \sum P$$

여기서, Et1 : 개별시설물의 종합평가지수

P : 조정 값(=A×S)

A : 조정계수

S : 개별시설물별 규모(m², m³)

[표 5.78] 및 [표 5.79]는 관로와 토목구조물에 대한 복합시설물의 표준적인 종합평가표 작성 예를 나타내었으며, 수로터널, 기전설비 등도 이의 표에 준하여 작성토록 한다.

[표 5.78] 관로의 복합시설물 종합평가표 예

복합시설물 종합평가표						
복합시설물명	관 로	복합시설물 규 모	$D = 1,000 \sim 1,500mm$ $L = 14,500m$		표번호	
근거(4단계) 표번호	No. GP-4-1, No. P1-4-1, No. P2-4-1, No. DP-4-1				No. PL-5-1	
개별시설물 구분	종합평가 결과	종합평가지수 (Et1)	조정계수 (A)	규 모 (S, m³)	조정값 (P=A×S)	계산값 (Et1×P)
도수관로	b	3.84	2	1,766.3	3,532.6	13,565.2
송수관로1	d	2.48	6	6,217.3	37,303.8	92,513.4
송수관로2	c	3.01	3	5,652.0	16,956.0	51,037.6
배수관로	c	2.96	3	2,355.0	7,065.0	20,912.4
합계(Σ)				15,990.6	64,857.4	178,028.6
평가의견						
종합평가 결과	1. 복합시설물(관로) 종합평가지수(Et2) = Σ(Et1×P) / ΣP = 178,028.6 / 64,857.4 = 2.74 2. 복합시설물(관로) 종합평가 결과 = C					

[표 5.79] 토목구조물의 복합시설물 종합평가표 예

복합시설물 종합평가표						
복합시설물명	A 정수장	복합시설물 규 모	시설용량(Q) = 200,000m³/일			표 번호
근거(4단계) 표 번호	No. AG-4-1, No. AS-4-1, No. AF-4-1, No. AW-4-1					No. AT-5-1
개별시설물 구분	종합평가 결과	종합평가지수 (Et1)	조정계수 (A)	규 모 (S, m²)	조정값 (P=A ×S)	계산값 (Et1 ×P)
착수정	B	3.75	2	600.0	1,200.0	4,500.0
침전지	C	2.63	3	5,040.0	15,120.0	39,765.6
여과지	C	3.39	3	1,080.0	3,240.0	10,983.6
정수지	B	4.34	2	1,400.0	2,800.0	12,152.0
합계(Σ)				8,120.0	22,360.0	67,401.2
평가의견						
종합평가 결과	1. 복합시설물(A 정수장) 종합평가지수(Et2) = Σ(Et1×P) / ΣP = 67,401.2 / 22,360.0 = 3.01 2. 복합시설물(A 정수장) 종합평가 결과 = C					

다. 6단계 평가 : 통합시설물 종합평가표 작성

상수도의 통합시설물은 분야별 시설물로서 관로시설물, 토목구조물, 기전설비 등을 말하며 각각의 통합시설물을 구성하는 복합시설물에서 문제가 발생하는 경우 해당 통합시설물의 기능성 및 안전성에 미치는 영향도가 차이를 가지지 않는다고 볼 수 있으므로 복합시설물별 중요도는 동일한 것으로 하며 복합시설물별 규모(크기 또는 시설용량)에 대한 가중치만 고려하는 것으로 한다.

따라서 통합시설물의 종합평가는 각 복합시설물의 종합평가지수(Et2)에 규모에 따른 가중치(S)를 고려하고, [표 5.74]의 종합평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영하는 아래 식을 적용하여 통합시설물의 종합평가지수(Et3)를 산출한 다음 통합시설물에 대한 종합평가 결과를 결정한다.

$$\text{통합시설물의 종합평가지수}(Et3) = \Sigma(Et2 \times P) / \Sigma P$$

여기서, Et2 : 복합시설물의 종합평가지수

P : 조정 값(=A×S)

A : 조정계수

S : 복합시설물별 규모(m³, m³/일)

다음 [표 5.80] 및 [표 5.81]에 관로시설물과 토목구조물에 대한 통합시설물의 표준적인 종합평가표 작성 예를 나타내었으며, 수로터널, 기전설비 등도 이의 표에 준하여 작성토록 한다.

[표 5.80] 관로시설물의 통합시설물 종합평가표 예

통합시설물 종합평가표						
통합시설물명	관로시설물	통합시설물 규 모	관로 : D1,000~1,500mm×L14.5km 터널 : D2.5m×2.04km			표번호
근거(5단계) 표번호	No. PL-5-1, No. WT-5-1					No. PF-6-1
복합시설물 구분	종합평가 결과	종합평가지수 (Et2)	조정계수 (A)	규 모 (S, m ³ /분)	조정값 (P=A×S)	계산값 (Et2×P)
관 로	C	2.74	3	15,990.6	47,971.8	131,442.7
수로터널	B	4.03	2	10,008.8	20,017.6	80,670.9
합계(Σ)					67,989.4	212,113.6
평가의견						
종합평가 결과	1. 통합시설물(관로시설물) 종합평가지수(Et3) = Σ(Et2×P) / ΣP = 212,113.6 / 67,989.4 = 2. 통합시설물(관로시설물) 종합평가 결과 =					3.12 C

[표 5.81] 토목구조물의 통합시설물 종합평가표 예

통합시설물 종합평가표						
통합시설물명	토목구조물	통합시설물 규 모	시설용량(Q) = 200,000m ³ /일			표번호
근거(5단계) 표번호	No. IF-5-1, No. IP-5-1, No. AT-5-1, No. BP-5-1					No. CC-6-1
복합시설물 구분	종합평가 결과	종합평가지수 (Et2)	조정계수 (A)	규 모 (S, m ² /일)	조정값 (P=A ×S)	계산값 (Et2 ×P)
A 취수시설물	B	4.05	2	220	440	1,782.0
A 취수장	D	2.39	6	220	1,320	3,154.8
A 정수장	C	3.01	3	200	600	1,806.0
A 가압장	A	4.53	1	120	120	543.6
합계(Σ)					2,480	7,286.4
평가의견						
종합평가 결과	1. 통합시설물(토목구조물) 종합평가지수(t3) = Σ(Et2×P) / ΣP = 7,286.4 / 2,480 = 2. 통합시설물(토목구조물) 종합평가 결과 =					2.94 C

4) 7단계 평가 : 종합시설물 종합평가표 작성

(가) 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도

상수도의 종합시설물은 평가대상 시설물의 총체를 말하는 것으로 각기 기능과 역할이 다르며, 전체적인 종합시설물에 대한 안전적 측면에서도 영향정도에 차이가 있는 분야별 시설물(통합시설물)의 집합으로 구성된다.

그러므로 평가단계에서 최종적으로 수행하는 종합시설물의 종합평가에서는 각 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도를 반영하는 것이 필요함에 따라 [표 5.82]와 같이 통합시설물별 중요도를 정하였으며, 통합시설물별 중요도의 합은 100이 되도록 하였으며, 책임기술자는 통합시설물의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있다고 판단될 경우 규정된 값의 ±20%값 범위 내에서 조정할 수 있다.

[표 5.82] 분야별 시설물(통합시설물)의 중요도(W)

통합시설물 구 분	관로시설물	토목구조물	기전설비	건축구조물	수원지시설물 (댐시설물 등)
중요도(W)	35	20	10	10	25

- 중요도가 규정되지 않은 추가적인 통합시설물이 있는 경우
그 통합시설물의 중요도를 책임기술자가 판단하여 정하고 기타의 통합시설물들은 규정된 비율대로 배분한다.
- 중요도는 제시되어 있으나 평가할 수 있는 해당 통합시설물이 없는 경우
그 중요도를 나머지 통합시설물에 배분한다.

(나) 종합시설물의 종합평가 결과

종합시설물의 종합평가 결과는 상기에서 정한 복합시설물별 중요도(A)와 앞에서 제시한 [표 5.75]의 종합평가지수에 따른 조정계수(A)를 반영하는 아래 식을 적용하여 종합시설물의 종합평가지수(Et4)를 산출하고 앞의 [표 5.74]를 참조하여 결정한다.

$$\text{종합시설물의 종합평가지수}(Et4) = \Sigma(Et3 \times P) / \Sigma P$$

여기서, Et3 : 통합시설물의 종합평가지수

P : 조정 값(=A × W)

A : 조정계수

W : 복합시설물별 중요도

다음 [표 5.83]에 종합시설물의 표준적인 종합평가표 작성 예를 제시하였다.

[표 5.83] 종합시설물의 종합평가표 예

종합시설물 종합평가표						
종합시설물명	○○상수도	종합시설물 규 모	시설용량(Q)=200,000m ³ /일			표번호
근거(6단계) 표번호	No. PF-6-1, No. CC-6-1, No. AC-6-1, No. ME-6-1					No. TF-7-1
통합시설물 구분	종합평가 결과	종합평가지수 (Et3)	조정계수 (A)	중요도 (W)	조정값 (P=A ×W)	계산값 (Et3 ×P)
관로시설물	C	3.12	3	47	141.0	439.9
토목구조물	C	2.94	3	27	81.0	238.1
기전 설비	A	4.78	1	13	13.0	62.1
건축구조물	B	4.35	1	13	13.0	56.6
합계(Σ)				100	248.0	796.7
평가의견						
종합평가 결과	1. 종합시설물(○○상수도)의 종합평가지수(Et4) = Σ(Et3×P) / ΣP = 796.7 / 248.0 = 2. 종합시설물(○○상수도)의 종합평가 결과 =					3.21 C

5.7 보수 · 보강 방법

상수도 시설물의 주요 보수 · 보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

【해설】

1. 시설물은 각각의 구조적, 물리적 및 기능적 특성에 따라 내구성이나 손상의 형태가 다르고 유지관리 방법도 차이를 갖으며, 시설물의 수명유지를 위해서는 구조물에 발생한 결함 및 손상에 대해서 정밀안전진단을 통하여 그 원인을 파악하고 구조물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절한 보수·보강 공법 및 시기를 선정하는 것이 중요하다. 보수·보강시기의 결정은 손상정도, 보수·보강방법, 보수·보강효과 등을 종합적으로 고려하여 결정해야 하며, 적절한 보수·보강시기를 놓치면 물량이나 비용이 증대하게 되므로 가급적 조기에 실시하는 것이 바람직하다.

또한, 보수 · 보강의 우선순위는 구조물에 발생한 각종 손상에 대하여 주요 부재를 보조부재에 우선하고 구조물의 평가 시 평가등급이 낮고 중요도가 큰 부재를 우선하는 것이 바람직하다.

일반적으로 손상부위에 대한 보수·보강을 실시하더라도 그 효과에 대해 예측하기 곤란한 경우가 많아 통상 설계·시공법의 연구, 기술의 검토 및 효과에 대한 실험 등을 통하여 보수·보강의 효과를 증진시키기 위한 방법을 강구하고 있다.

보수·보강 방법은 여러 각도로 손상부위에 대한 응력을 검토하여 결정하여야 하며, 보수·보강설계는 대상물 및 손상정도에 따라 고려할 사항이 많으나 구조물의 내구성, 방수성, 내하력, 안전성 및 미관 등을 고려하고 손상의 원인, 보수·보강의 범위와 규모, 경제성 및 시공성 등을 감안하여 소기의 목적이 달성될 수 있도록 아래와 같은 기본 개념 하에서 보수·보강 방안을 제시한다.

- (1) 현 시설물의 안전성, 내구성 및 기능성 등의 성능을 유지하기 위하여 손상 및 결함의 진행을 억제
- (2) 손상 및 결함이 되었거나 그 기능성이 있는 구조물에 대하여 실용상 지장이 없는 성능이상으로 회복

5.7.1 구조물 기초지반의 일반적인 보수·보강공법

- 그라우팅공법
- 치환공법
- 압성토공법
- 말뚝공법
- 아스팔트 및 점토차수공법
- 쉬트파일(Sheet Pile)공법, 토목섬유공법

【해설】

1. 그라우팅 공법

그라우팅 공법은 물, 시멘트, 벤토나이트 등의 재료를 혼합하여 토립자의 간극, 토층의 경계, 암반 및 콘크리트 구조물의 균열 등에 주입하는 공법으로, 구조물의 기초지반의 누수, 침하, 균열, 압압력의 경감 등 보강 및 지수를 목적으로 사용한다.

2. 치환 공법

치환 공법은 손상이 발생한 부분을 제거하고 동일한 재료로서 치환하는 것으로 소규모의 활동, 붕괴, 균열 등의 손상에 사용한다.

3. 압성토 공법

압성토 공법은 기초지반의 활동으로 인한 손상을 막기 위하여 경사면에 소단 모양의 압성토를 설치하는 공법이다.

4. 말뚝 공법

사면활동은 활동면에 대한 활동력이 지반에 대한 저항력보다 크며 사면이 파괴되어 지반활동이 발생하므로 이를 방지하기 위하여 흙의 저항력을 증가시키지 않고 별도의 말뚝으로 저항력을 부담시켜 사면을 안정시키는 공법이다.

5. 아스팔트 차수공법

아스팔트 차수공법은 아스팔트의 특성을 이용하는 것으로 기초지반의 압밀변형에 대응할 수 있고 휨 특성 및 불투수성이 우수하여 수구조물의 표면처리에 적용된다.

6. 점토 차수공법

사면 기울기를 그대로 하고 소단형태로 점토를 피복하는 방법으로 차수재료의 선정을 위해 입도분포, 다짐시험, 액성한계시험, 점토광물 시험 등이 필요하다.

7. 쉬트파일(Sheet Pile) 공법

쉬트파일(Sheet Pile) 공법은 폭이 넓은 강판(쉬트)을 특수한 타입틀(관입 프레임)로 지지하면서 진동 해머와 워터 잭을 이용하여 타입하는 방식으로서, 소정의 심도에 도달한 후 관입 프레임을 빼면서 단부 속에 불투수성 그라우팅재료를 충전하여 지수벽을 만드는 공법이다.

5.7.2 콘크리트구조물의 손상에 대한 일반적인 보수·보강공법

- 표면보호공법
- 단면보수공법
- 강판접착공법
- 프리스트레스 도입공법
- 콘크리트 덧붙이기공법

【해설】

1. 표면보호공법(보강섬유 접착공법)

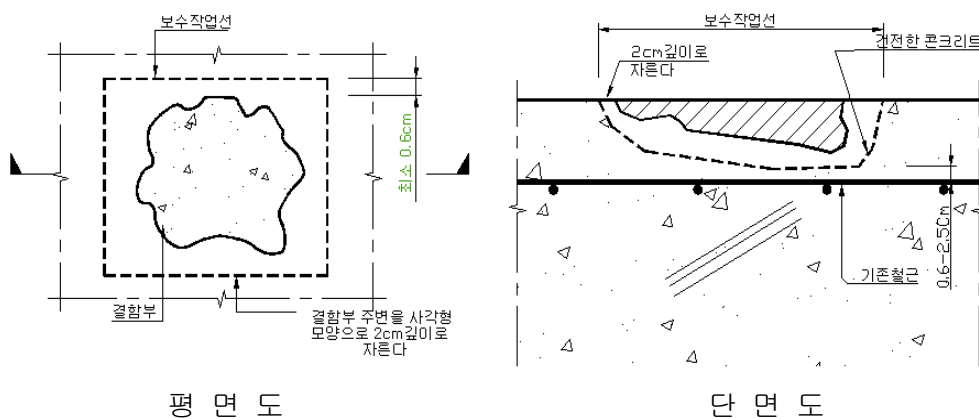
열화된 콘크리트 표면을 제거한 후 보강섬유를 에폭시수지로 함침하면서 접착시켜 강인한 보강섬유층을 형성시켜 콘크리트 표면을 보호하는 공법이다.

2. 단면보수공법

콘크리트 부재의 손상(박리, 재료분리, 박락, 철근노출 등)은 손상깊이 및 정도에 따라 다음과 같은 보수·보강 공법이 있다.

(1) 얇은 보수(Shallow Repairs)

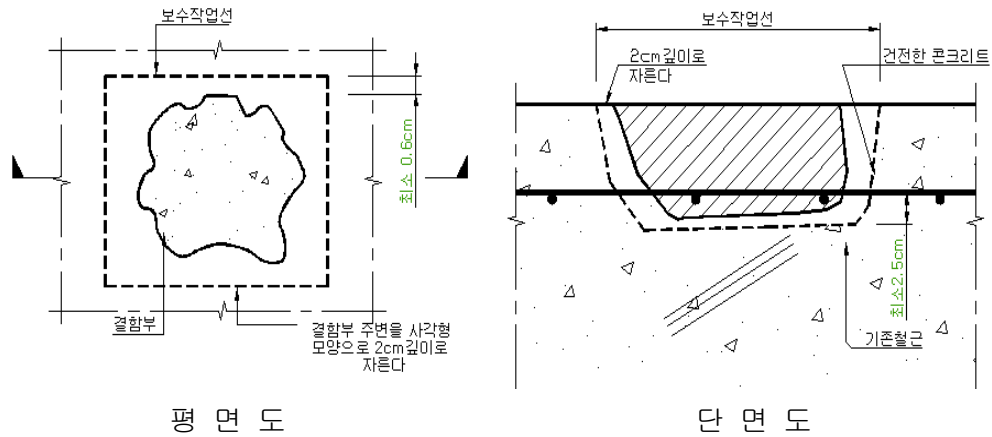
얇은 보수는 콘크리트 손상 깊이가 얇고 철근이 노출되지 않는 경우에 적용된다.



【해설 그림 5.7.1】 콘크리트 단면보수(얇은 보수) 개요도

(2) 깊은 보수(Deep Repairs)

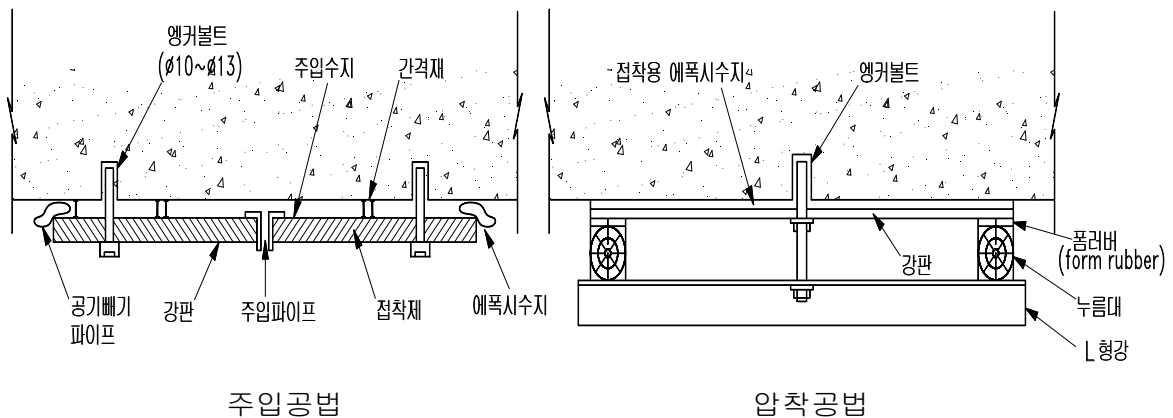
깊은 보수는 손상 깊이가 철근피복두께보다 더 깊을 때 적용된다.



[해설 그림 5.7.2] 콘크리트 단면보수(깊은 보수) 개요도

3. 강판 접착공법

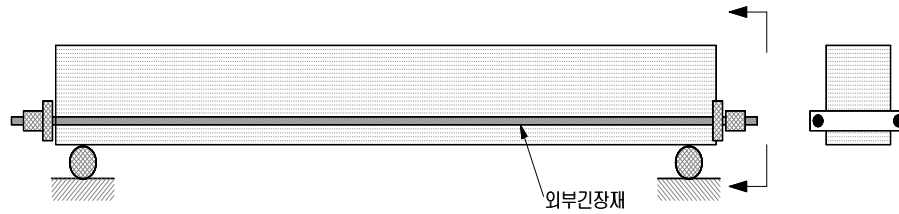
콘크리트 바닥판(Slab)면, 보 또는 기둥면에 강판을 접착하여 기존 콘크리트 구조물과 일체화시켜 콘크리트 열화와 철근의 부식을 방지함은 물론 하중에 대한 내하력을 증가시키는 공법으로 주입공법과 압착공법 등 두 가지 종류가 있다.



[해설 그림 5.7.3] 강판접착공법 개요도

4. 프리스트레싱 도입 공법

프리스트레싱 도입에 의한 보강은 콘크리트에 프리스트레스트력을 부여함으로써 부재에 발생하고 있는 인장응력을 감소시켜 균열을 복귀시킬 뿐만 아니라 압축응력을 부여하는 것을 목적으로 하는 공법이며 구조물의 내력 및 강성의 증강, 균열폭의 감소 등의 효과가 있다.

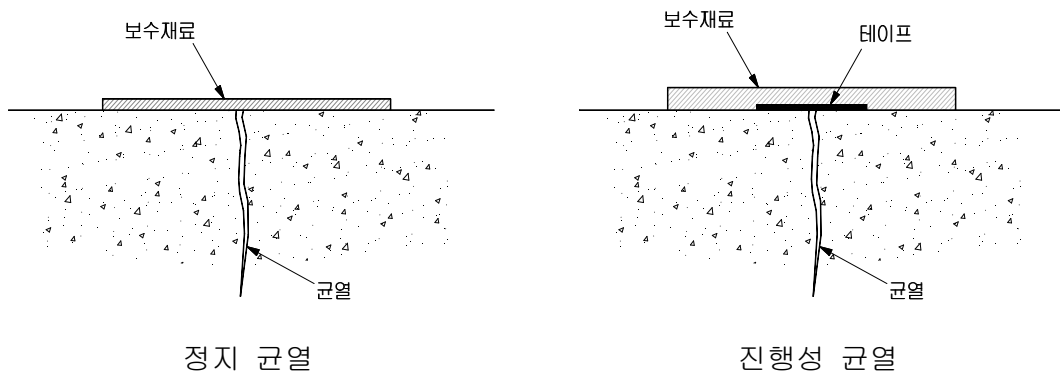


[해설 그림 5.7.4] 프리스트레싱 공법 개요도

5. 콘크리트 균열보수 공법

(1) 표면처리공법

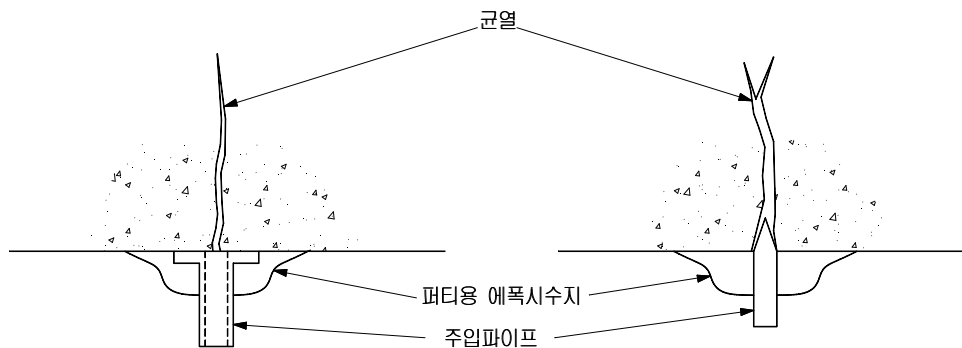
표면처리공법은 미세한 균열(폭 0.2mm이하), 선상 및 면상백태가 발생한 경우표면에 피막층을 형성하여 방수성, 내구성을 향상시키기 위해 적용된다.



[해설 그림 5.7.5] 표면처리공법 개요도

(2) 주입공법

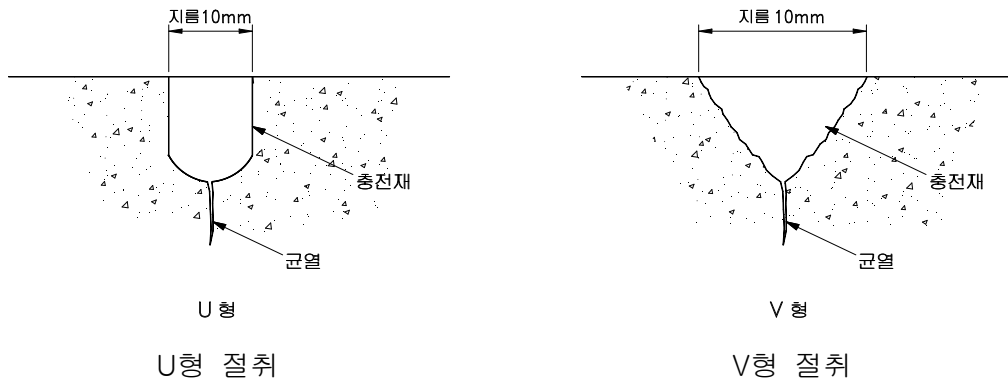
주입공법은 폭 0.3mm이상의 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법으로, 마감재가 콘크리트 모체로부터 들떠 있는 경우에도 적용할 수 있다.



[해설 그림 5.7.6] 주입공법 개요도

(3) 충전공법

충전공법은 균열의 폭이 0.5mm 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르타르 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되어 있는 경우와 부식되지 않은 경우에 따라 보수방법을 구분하여 적용한다. 또한, 충전공법에 사용되는 충전 재료에 따라서는 U커트 실링재 충전공법, 결함부위 에폭시수지모르타르 충전공법 그리고 결함부위 폴리머 시멘트모르타르 충전공법 등이 있다.



[해설 그림 5.7.7] 충전공법 개요도

(4) 침투성 도포방수제에 의한 누수방지

침투성 방수제 도포공법은 콘크리트 표면부가 전반적으로 노후되어 0.2mm 이하의 미세한 균열을 갖는 경우에 적용된다.

6. 누수방지 공법

콘크리트의 누수는 구조물의 기능장애와 열화의 원인이 되므로 누수방지 및 방수대책을 수립할 경우 가능한 모든 인자들을 고려하여 공법을 선정하는 것이 중요하다.

기존의 구조물의 누수방지 공법으로는 주입공법, 줄눈실링공법, 표면도막공법, 배수공법, 시트방수공법 등이 있으며, 이중 주입공법은 지하구조물에서 효과적인 누수보수공법으로 일반적으로 시멘트 주입공법이 적용된다. 시멘트 주입공법은 적용대상에 따라 전면 방수그라우팅, 배면 방수그라우팅 및 충전 방수그라우팅 등으로 구분된다.

(1) 전면 방수그라우팅

누수위치가 확실하고 수밀하지 못한 공극부위와 균열부에서의 누수량이 다량일 때 콘크리트 구조체를 파취 후 주입구를 설치하여 전면에서 그라우팅을 시공하는 보수보강공법이다.

(2) 배면 방수그라우팅

구체의 넓은 면적에서 누수원인이 불분명하고 산발적으로 누수가 발생할 때, 구조물 내부에서 배면으로 천공, 주입하여 방수층을 형성하는 보수·보강 공법이다.

(3) 충전 방수그라우팅 공법

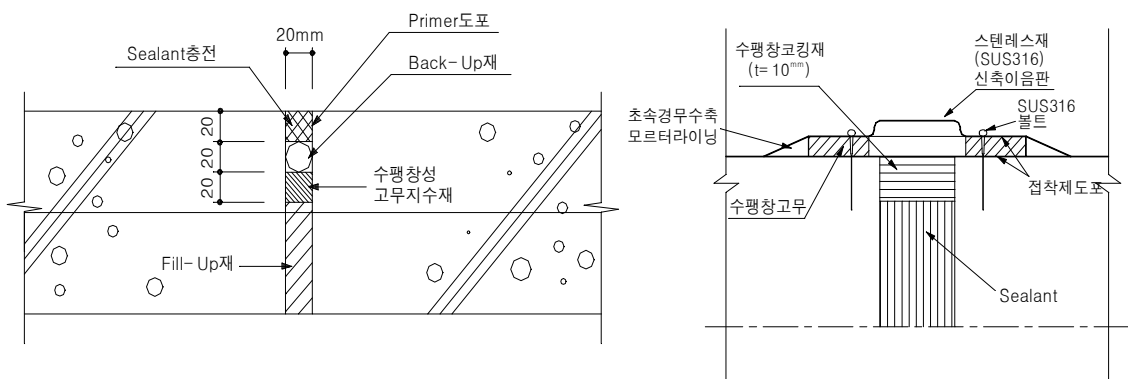
누수량이 극소량이고 누수지점이 확실한 부위에서 표면으로 스며 나올 때 적용하

며, 특히 배면 방수그라우팅 시공 후 부분 누수시 벽체사이에 충전하는 공법으로 천공하여 단일 팩카 또는 이중 팩카 주입 시스템으로 주입구 설치 후 그라우팅하여 누수 유로를 충전시키는 공법

(4) 신축이음부 보수

신축이음부의 결함은 충전재가 노후화하여 지수기능이 상실되었거나 부분적으로 신축재 밀림으로 누수가 동반되고 있는 현상으로서, 수구조물의 기능을 유지하기 위해서는 보수가 필요하다. 신축이음부 보수는 노후화된 충전재를 가능한 제거하고 신축부 주변의 콘크리트 손상부에 대해서 보수를 선행한 후, 접착성 및 신축성, 팽창에 의한 지수성과 용수에 의한 내화학성 등이 우수한 재료 등으로 재충전하는 방법이 적용된다. 재충전 시공시 신축재료에 따라 팽창력이 과다하여 밀림 현상이 발생할 수 있으므로, 스텐레스 신축이음판으로 고정시키는 방법도 병행하여 적용할 수도 있다.

또한, 상시 용수운영 상태에서는 신축이음부의 손상 발견 등 유지관리가 어렵기 때문에 보수 효과가 사전에 검증되어야 하고 철저한 공사관리가 요구된다.



[해설 그림 5.7.8] 신축이음부 보수 일반도

(5) 누수방지 최신 공법

누수방지 공법은 시멘트를 주 재료로 하고 보수 범위에 따라 전면 방수그라우팅, 배면 방수그라우팅 및 충전 방수그라우팅 등으로 구분되어 적용되고 있으나, 최근에는 주입 재료와 주입 방법, 보수 부위에 따라 최신의 공법(신기술)이 개발되어 적용되고 있다.

7. 방수 보수공법

방수공법은 시멘트액체공법, 시트(Sheet)공법, 도막공법, 침투성 방수공법 등과 최근의 신공법이 있으며, 이들의 방수공법 중 어느 공법을 선정하느냐 하는 것은 구조물의 특성, 내구성 및 기능성 등과 더불어 각각의 방수공법의 방수효과, 위해성, 시공성 및 경제성 등의 특징을 면밀히 검토하여 가장 적절한 공법이 선정되어야 한다.

(1) 시멘트 액체 방수공법

시멘트 액체 방수공법은 시멘트(모르타르)에 무기 또는 유기계의 혼화재료(방수제)를 섞어 흡수 또는 투수에 의한 저항성을 높여 방수(방식)성능을 갖도록 하는 공법이다.

상하수도 구조물(수구조물)에서는 콘크리트의 수밀성, 차수성, 강도 등이 크게 요구되고 시멘트 액체 방수 적용 시 모체의 균열을 피하기 어려워 사용실적이 거의 없으나 건축구조물에서는 많이 사용되고 있다.

(2) 시트(Sheet) 방수공법

시트방수란 합성고무나 수지, 플라스틱, 아스팔트 등을 주원료로 해서 적층 성형한 얇은 시트를 접착제나 토치(Torch)를 사용하여 모체에 방수층을 형성하는 공법이다. 시트방수공법은 상하수도 구조물(수구조물)에서 상부슬래브의 외면(상면)에 비교적 사용하는 예가 많이 있으나 콘크리트면에 도배식으로 접착제를 부착시켜 시공하므로 들뜸(부풀음)의 우려가 많고 온도변화 및 수류작용에 의해 박리, 처짐 현상의 발생 염려가 높아 벽체 등에는 거의 사용하지 않고 있으며 흠으로 축조되는 저류조의 담수를 위한 시트 포설과 건축구조물의 옥상방수에 주로 사용되는 공법이다.

(3) 도막 방수공법

도막방수제의 특징은 방수제를 도포하여 방수층을 형성하기 때문에 복잡한 부분이나 수직부위의 시공이 용이하고 신속하며 내약품성 및 접착성이 우수하다.

도막 방수공법은 그 종류가 매우 다양하고 구별이 곤란한데 수용성일 경우 바탕에 약간의 수분이 존재해도 시공이 가능하고 신축성을 지니고 있어 바탕의 미세한 균열에도 견딜 수 있으며 누수시 결함의 발견이 용이할 뿐만 아니라 국부적으로도 보수가 가능하여 상하수도 구조물(수구조물)의 내면 방수로 가장 널리 사용되고 있다. 최근에는 액상형 고분자 재료와 무기질 재료를 혼합한 도막재료가 서로의 장점을 살려 도막층의 내구성, 접착성, 강도, 신축성 및 내균열 저항성 등을 보강한 도막공법이 등장 사용되고 있다.

(4) 침투성 방수공법

일반적으로 침투성 방수제의 기능은 반응성이 풍부한 규산질계의 특수성분이 콘크리트 중에 유리하고 있는 용해칼슘과 반응하여 불용성, 난용성의 규산칼슘의 결정체를 형성함으로써 모세관의 공극을 충전해 가는 시스템의 구조이다. 이 반응은 콘크리트가 습윤상태에 있으면 반영구적으로 지속돼 방수효과는 콘크리트가 존재하는 한 존속되고 콘크리트가 건조상태가 되면 미반응의 상태에서 정지되고 다시 물이 있으면 화학반응의 매개가 되어 결정화 반응도 재개되는 특징을 갖는다.

상하수도 구조물(수구조물)에서 침투성 방수공법이 과거에는 상당히 선호도가 높은 방수공법으로 채택 사용되었으나 화학반응 시 생성되는 물질이 용출되어 수질의 악화를 초래할 우려가 있다는 검토보고가 있어 최근에는 이 공법을 거의 사용

하지 않고 있으며 수질과 관련이 없는 타 구조물에서는 널리 사용되고 있다.

(5) 금속혼합물 피막접착공법

금속혼합물 피막접착공법은 콘크리트의 방수·방식(염해·중성화방지)을 위한 금속혼합물 피막접착공법으로써 공법의 주요 구성은 콘크리트 표면의 바탕처리, 방수·방식방지 피막용 금속재료와 접착제의 혼합·시공으로 나뉘어진다.

본 공법은 스프레이, 롤러 붓 등을 사용하여 고 강도 접착수지와 혼합된 금속혼합물 분말을 상온에서 콘크리트 표면에 분사하는 공법으로 콘크리트 표면과 구체보호를 위하여 접착제와 금속피막의 5개 층의 차폐층을 형성하도록 하였으며, 강력한 접착력을 발휘하기 위하여 순간접착제로 사용되는 이소시아네이트기를 사용함으로써 콘크리트의 습윤 상태에서도 접착성을 확보할 수 있다. 또한 연성이 있는 금속혼합물 분말을 복합화시켜 연신율을 향상시킴으로써 균열 추증성을 부여하였고, 이로써 콘크리트 구조물에 자연적으로 발생하는 미세균열 보호 및 콘크리트 변형에 대한 적응성을 포함되어있으며, 염화물, 탄산가스, 수분 및 산소의 침투에 뛰어난 저지력을 갖고 있어 철근 부식으로부터의 구조물 보호는 물론 구조물의 외관에 미관을 부여할 수 있는 특징을 갖고 있다.

여기에 내마모성, 내충격성 및 내부식성을 증대시킬 수 있도록 산화알루미늄을 충전재로 사용하였으며, 사용된 금속혼합물 분말이 우수한 희생양극재의 역할을 하기 때문에 결함이 있는 부위에서 전기적 방식효과도 얻을 수 있는 공법이다.

(6) 액상형 흡수방지(PMC)공법

콘크리트의 표면을 보호할 목적으로 콘크리트의 구성성분과 유사한 무기질 재료를 원료로 하여 구조물 모체에 방수제를 침투시킨 후 표면을 도포함으로써 친화력을 증대시킴과 동시에 콘크리트에 침투된 흡수방지막의 보호와 표면강화로 구조물의 내구성을 획기적으로 향상시킬 수 있도록 한 콘크리트 침투성 흡수방지공법이다.

(7) 방수보수 최신 공법

누수방지 공법은 시멘트를 주 재료로 하고 보수 범위에 따라 전면 방수그라우팅, 배면 방수그라우팅 및 충전 방수그라우팅 등으로 구분되어 적용되고 있으나, 최근에는 주입 재료와 주입 방법, 보수 부위에 따라 최신의 공법(신기술)이 개발되어 적용되고 있다.

5.7.3 수도관로 개량공법

- 교체공법 : 기능이 저하된 관을 새로운 관으로 교체하여 기능을 향상
 - 부설관 교체공법
 - 기설관내 부설공법
- 세관(Cleaning)공법 : 관내를 세척하여 스케일 등을 제거함으로써 통수능력을 향상
 - Water Jet 공법
 - Air Sand 공법
 - Polly - Pig 공법
 - Scraper 공법
- 갱생공법 : 기능저하의 종류 및 정도에 맞게 기존관의 기능을 회복
 - 합성수지관 삽입공법
 - 피복재 관내 장착공법
 - 시멘트 모르타 라이닝공법
 - 액상 에폭시수지 라이닝공법
 - 긴급성 등의 항목 등에 대하여 충분한 검토가 필요

【해설】

1. 세관(Pipe cleaning) 공법

세관공법에는 제트(Water jet)공법, AS(Air Sand)공법, 폴리픽(Polly pig)공법, 스크레이퍼(Scraper)공법, 로터리(Rotary)공법 등이 있으며, 일반적으로 관 도장(Pipe lining)의 전처리로서 실시한다. 세관만으로 적수해소나 통수능력의 회복을 도모하는 경우에는 녹의 재 발생이 빠르기 때문에 응급 시에만 한정하여야 하고, 세관에 의한 갱생을 실시할 경우에는 내면처리를 하는 것이 필요하므로 충분한 검토를 통해 시공하여야 한다. 세관 공법에 있어서 일반적인 특징은 다음과 같다.

(1) 제트(Water jet)공법

특수 고압펌프로 물을 200 ~ 250kgf/cm²로 가압하여 특수노즐에 의해 관 내면에서 후방으로 경사진 방향으로 분출되는 젯트류의 반동을 이용하여 노즐을 전진시켜 스케일을 제거하는 공법이다.

(2) AS(Air Sand)공법

선회 압축공기와 여기에 혼입되는 연마재의 입자속도가 발생하는 힘을 이용하여 세관(관내표준 풍속 80m/초)하는 공법이다.

(3) 폴리픽(Polly pig)공법

폴리우레탄 재료의 포탄상 물체인 폴리픽을 특수 가압장치를 이용하여 3 ~ 7kgf/cm²의 수압을 가해 관내를 주행시키면서 세관하는 공법이다.

(4) 스크레이퍼(Scraper)공법

가동축 주위에 있는 큰 스크레이퍼를 방사선으로 몇 단 설치한 구조의 장비에 의해 관내부를 세관하는 공법이다.

(5) 로터리(Rotary)공법

관의 원주방향에 오거를 회전시켜 굽어내는 방법으로 관경 150mm이하의 스케일이 많이 발생하는 관에 적합하다.

2. 갱생공법

관로의 매설년수가 경과됨에 따라 발생하는 적수, 통수능력 저하 등을 해소하기 위해 관을 갱생하는 경우에는 관중, 관경, 시공연장, 이형관 등의 관로상태, 갱생공사 소요시간(단수시간) 및 경과년수 등에 따라 그 효과를 검토하여 최적으로 방법을 선정하여야 하며, 일반적으로 적용되는 관 갱생공법은 다음과 같다.

(1) 관내 삽입공법

노후관으로 관 교체가 필요하나 주변의 교통여건, 포장조건, 매설관 상태 등으로 인하여 교체시공이 곤란한 구간에 대해서는 통수능력을 고려하여 기존 관경을 작게 해도 좋을 경우 관내 삽입공법을 채용할 수 있으며, 삽입관은 덕타일 주철관, 상수도용 도복강관, 폴리에틸렌관 등이 일반적으로 사용되고 있다.

삽입공법은 새로운 관을 기존관 내부로 삽입해서 기존 관 사이에 시멘트페이스트 등을 충전하여 2중 층 구조로 하는 것이 보통이며, 장래 분기관 설치에 위한 고려가 필요하다.

(2) 피복재 관내 장착공법

관내부를 세척하여 건조시킨 후, 접착제를 도포한 박막관을 인입하고 공기압 등으로 관 내면에 압착시킨 다음 가열하여 라이닝 층을 형성시키는 공법으로서, 관로의 배치에 대한 추종성이 좋고 공선부의 시공이 가능하다.

(3) 시멘트 모르타 라이닝 공법

모르타 라이닝은 관경이 700mm 이상일 때에는 사람이 관내에 들어가거나 자주식 라이닝기를 이용하여 시공하며, 시멘트 모르타 라이닝의 두께는 6~12mm 정도로 균일하게 유지되어야 한다.

(4) 에폭시수지 라이닝 공법

사용되는 액상 에폭시수지 도료는 KS D8502에 규정된 품질로서, 공장도장에서 사용되는 것과 동일한 품질을 사용하고 시공 조건(기온)에 따라 저온형 도료(5~12℃)와 표준형 도료(10℃이상)를 구분하여 사용한다.

시공방법은 전처리 및 도료조정, 도장작업 순으로 이루어지며, 전처리는 용접으로 생긴 불균일면을 그라인더, 브러쉬 등으로 평활하게 하고 손상 도막과 표면에 부착된 이물질(부식생성물 포함) 등을 세관공법에 의해 깨끗이 처리하여야 한다.

(5) 세라믹계 라이닝 공법

세라믹계 라이닝 공법은 세라믹 분말, 금속분말, 폴리머 등의 주원료를 특수 혼합 반응시킨 재료를 사용하며, 물성 자체의 발열로 강구조물 표면에 세라믹 코팅시키는 공법이다.

3. 매설강관의 전기방식

현재 지하에 매설된 배관의 보호를 위해 가장 널리 채택되고 있는 방식방법은 피복과 전기방식법을 병행하는 것이다. 이 경우 일차적인 방식효과는 피복층을 통해서 얻게

된다. 그러나 완벽한 피복은 현재까지 존재하지 않으며 피복은 자체적으로 핀홀(Pinhole), 기공(Holiday) 등과 같은 결함을 갖고 있을 뿐 아니라 작업 중의 물리적 손상이나 열화에 의해 어느 정도는 배관의 금속면이 토양 중에 노출된다. 따라서 피복된 상태로만 방치하면 위와 같이 결함부로 부식이 집중되어 오히려 금속손상(부식)이 유발될 수도 있다. 이러한 피복손상부의 방식을 목적으로 피복과 병행하여 채택되고 있는 방식방법이 전기방식법의 일종인 음극방식법이다.

음극방식법은 강관에 외부로부터 방식전원을 연결시키면 피복층은 큰 저항을 가지고 있으므로 전류가 피복의 결함부를 통하여 배관으로 유입되고, 전류의 유입에 따라 전위가 낮아지게 되어 방식효과가 나타난다. 따라서, 매설된 수도용 도복장 강관은 피복과 전기방식을 병행하여 사용할 때 경제적인 뿐만 아니라 완전한 방식을 행할 수 있다.

매설강관의 전기방식 방법은 다음과 같이 구분된다.

(1) 희생양극식

이 방법에서는 배관의 재질(Fe)보다 자연전위가 낮은 금속을 배관과 전기적으로 연결하여 배관을 음극화 시키게 된다. 배관에 연결되는 금속을 희생양극(Sacrificial Anode)이라고 하는데 토양에서는 마그네슘(Mg) 합금 등이 많이 사용된다. 배관에 양극이 연결될 경우에 양극반응(부식반응)은 양극에서, 음극반응은 배관에서 일어나게 되므로 배관을 부식으로부터 보호할 수 있게 된다. 이때 양극은 부식으로 인하여 지속적으로 소모되므로 희생양극이라 한다.

희생양극법에 의한 음극방식법은 시공이 간단하나 고가이고, 방식성능이 희생양극의 소모속도에 따라 좌우되며 방식 범위가 좁다는 단점이 있다.

(2) 외부전원식

희생양극식의 단점을 보완한 음극방식법이 외부전원식이다. 이 방법에서는 소모성인 희생양극 대신 불용성(Insoluble)의 양극을 사용하고 외부로부터 전류를 흘려주게 된다. 직류전류의 (-)극에 배관을, (+)극에 불용성 양극을 연결하여 배관의 전위를 부식전위 이하로 낮추어서 부식을 방지하게 된다. 이 방법은 양극의 수명이 길고 방식전류를 인위적으로 조절할 수 있다는 장점은 있으나, 시공이 복잡하며 타 시설물에 간섭을 줄 수 있는 단점이 있다.

[해설 표 5.7.1] 희생양극식과 외부전원식 방식방법의 비교

구 분	희 생 양 극 식	외 부 전 원 식
개요도		
특 징	·전원 이용이 어려운 장소에서 적용가능함 ·소규모 또는 피복관로에 적합함 ·시공이 간단하고 유지관리가 필요없음 ·방식전류의 조절은 불가능하지만, 양극 수의 조절이 용이함 ·양극수명이 비교적 짧아 주기적인 양극 교환이 필요함 ·인접구조물에 영향이 적으며 양극의 선택으로 과방식을 피할 수 있음	·전원의 이용이 어려운 장소에 적용 곤란함 ·고저항이나 부식성 심한 환경에도 적용할 수 있음 ·유지관리 및 유지전력비가 필요함 ·방식전류의 조절 및 자동제어 가능함 ·방식장치의 수명이 길어 장기간 교환 불필요함 ·사용전압이 높으므로 과방식이나 인접구조물에의 영향에 유의해야 함

4. 매설강관의 전기적 간섭

매설강관의 전기방식에 있어서 고려할 변수는 토양비저항, 배관의 피복상태, 주변 환경 등으로 여러 가지가 있는데 가장 중요한 변수는 타 배관, 타 시설물 또는 전철에 의한 간섭이다. 도심권의 경우 수도관은 지하에 매설된 각종 시설물인 도시가스관, 송유관, 전력·통신케이블 등이 복잡하게 얽혀 있으며, 이들은 각각의 방식시설에 의해 보호되고 있다. 또한 직류전원을 이용한 전철이 운행되고 있는 지역에서는 전철의 궤도에서 나오는 미주전류의 영향도 배관방식에 큰 영향을 주고 있다.

이에 대하여 가장 근본적인 대책은 간섭시설과 매설강관 사이의 절연을 확실하게 하는 것이며, 그 다음의 대처 방안으로는 배류법이 있다.

배류법이란 배관의 전류유출부에 전기적회로를 인위적으로 구성하여 미주전류를 원래의 회로로 되돌려 보냄으로써 배관의 전기부식을 방지하는 방법이다. 배류법에는 일반적으로 선택배류법과 강제배류법이 있다.

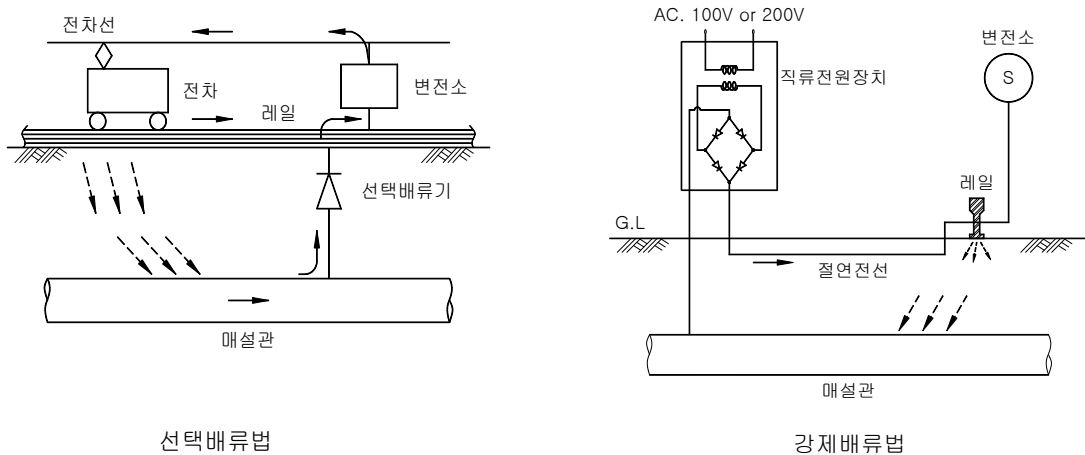
(1) 선택배류법

매설관과 타 시설물을 전기적으로 접속해 매설관에 흐르는 전류를 직접 귀류시키는 방법을 이용하는데 매설관과 타 시설물사이에 반도체 정류식 또는 계전식의 선택배류기를 설치해 배류하는 방법을 선택배류법이라 한다. 선택배류기는 매설관

으로부터 타시설물로 향하는 전류만을 통과시키고 이것과 역방향 전류의 통과를 저지하는 작용을 하며, 배류효과가 양호하고 비교적 가격이 저렴해 통상적인 배류법에서 적용되고 있다.

(2) 강제배류법

매설관과 타 시설물을 연결하는 회로에 직류전원을 설치, 배류를 촉진하는 방법을 강제배류법이라 한다. 이 방법은 배류효과는 크지만 전철이나 기타 매설관에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 선택배류법으로 불가능한 특정개소의 전기방식대책으로서만 이용된다.



[해설 그림 5.7.9] 배류법에 의한 방식 개요도

5. 배관·밸브류 도장

상수도 관로의 밸브실 또는 펌프장 배관실 등은 지하공간으로 상대습도가 높고 실내온도가 통수 중인 물의 노점 온도보다 높으면 배관 및 밸브 표면에 결로현상이 발생한다. 이러한 조건하에서 배관 또는 밸브류에 도장(보수)을 하는 경우 도장면의 부착성능이 떨어져서 충분한 방식효과를 기대할 수 없을 뿐더러 건조시간이 길어지며, 휘발성 용제를 사용으로 독성가스가 발생하여 작업효율이 떨어지고 안전사고의 위험마저 따르게 된다. 따라서 사용하는 도장재는 [해설 표 5.7.2]과 같은 품질이 요구된다.

[해설 표 5.7.2] 도장재의 요구 조건표

구 분	작업조건	도장재의 품질
기본적 조건	·밀폐공간 ·지하환경(상대습도, 노점온도) ·공간 협소 ·도막두께(유동성)	·무용제형 도료 ·결로면에 사용가능 ·인력작업 용이 ·박막시공 용이
부가적 조건 (유지관리 용이성)	·식별 용이 ·지하조명 ·고습도·결로·건조·물의 영향	·도장색상 선택가능 ·광택성 도료 ·내습·내수·내식성이 우수

5.7.4 전기설비

전기설비의 상태평가에 의해 손상 및 기기불량으로 판단되는 경우 주동력 기기의 정상가동 또는 주전원설비 시스템의 안전 확보를 위해 즉시 교체하도록 하고 경미한 손상에 대해서는 장래 유지보수 계획에 반영하여 보수하도록 한다.

【해설】

1. 전기설비의 점검 및 교체 주기

설비의 수명은 사용조건, 보수상황, 주변환경에 따라 크게 다르며, 아래의 갱신표준기간을 참고로 삼아 설비 기기의 갱신계획을 세우는 것이 일반적인 방법이다. 전기설비는 한 개의 수리계통 시스템이므로 이것을 구성하는 기기 중에서 열화된 기기가 있으면 계속 갱신하여야만 전체 시스템을 사용하지 못하는 사태가 생기지 않는다. 그러나 이렇게 되면 시스템 구성부재의 기능레벨에 언밸런스가 생겨 결과적으로 시스템 전체적 기능이 충분하지 않아 시스템의 신뢰성이 저하된다. 특히, 수변전설비, 발전기설비, 중앙감시반 설비 등 기간설비 기기에 이상이 생긴 경우 그 기기만의 고장에 머무르지 않고 시스템 전체에 영향을 미치게 될 가능성이 크다. 따라서 구성부재가 어느 정도의 열화상태가 되면 시스템 전체를 갱신하는 편이 높은 신뢰성을 확보할 수 있어 합리적이므로 각 기기의 갱신이 아닌 전체의 갱신(대규모 수리, 리뉴얼)을 해야 된다는 개념이 된다. 열화상태를 검토하기 위한 점검과 계측으로 간단한 것은 육안, 청각, 촉감과 상비하고 있는 계측기를 이용하는 계측 등 일상 점검의 것이며, 일반적으로 다음과 같은 상태가 된 시점에서 갱신하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

- (1) 고장률이 높아져 비경제적으로 되었을 때
- (2) 교환부품 구입이 곤란해졌을 때
- (3) 수리가 기술적으로 불가능해 졌을 때
- (4) 성능열화에 의해 사용상의 안전성을 유지할 수 없다고 판단되었을 때
- (5) 성능열화에 의해 운전비 증가가 현저해졌을 때

[해설 표 5.7.3] 전기설비 점검 · 교체 추천주기

주요기기	정기점검 주기년수										정기 점검			교체추천 시기
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	특별	보통	정밀	
고 · 저압배전반	○		○		○		○		○		-	2년	-	15 ~ 20년
감시 · 계전기반	○		○		○		○		○		-	2년	-	15 ~ 20년
VCB			○			◎			○		이상차단	3년	6년	15 ~ 20년
ACB			◎			◎					이상차단	-	3년	15 ~ 20년
누전차단기	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	1년	-	10 ~ 15년
특고단로기			○			◎			○		-	3년	6년	15 ~ 20년
기중부하개폐기			○			◎			○		-	3년	6년	10 ~ 15년
전자접촉기			◎			◎			◎		작은개폐	-	3년	10 ~ 15년
배선용차단기	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	1년	-	10 ~ 15년
피뢰기	○		○		○		○		○		-	2년	-	10 ~ 15년
몰드형변성기	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	1년	-	15 ~ 20년
전력용Fuse	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	◎	차단발생	1년	5년	7 ~ 10년
전력용콘덴서	○		○		○		◎		○		-	2년	7년	10 ~ 15년
유입변압기	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	-	1년	6년	15 ~ 20년
몰드변압기	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	-	1년	6년	15 ~ 20년
보호계전기		○		○		◎		○		○	-	2년	6년	10 ~ 15년
특고압모선	○		○		○		○		○		-	2년	-	15 ~ 20년

주) 1. 일본전기전설공업협회/전기학회 (1999년)

2. 보통점검(○), 정밀점검(◎)

부 록

A. 과업지시서 예시

B. 사전검토 보고서 예시

부록 A

과업지시서 예시

-정밀점검, 정밀안전진단

본 과업지시서 예시는 과업의 제반여건에 따라 변경될 수 있습니다.

정밀안전진단(안전점검) 과업 지시서

1. 일반조건

1.1 과업명 : ○○○광역시상수도 정밀안전진단(안전점검)

1.2 과업의 목적

본 과업은 “시설물의안전관리에관한특별법”(이하 “시특법“ 이라한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 규정에 따른 정밀안전진단(안전점검)으로서 시설물에 대한 물리적 기능적 결함을 조사하고 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여, 재해를 예방하고 시설물의 효용을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.3 과업의 범위

1.3.1 시설물 명 : ○○○광역시상수도

1.3.2 위 치 : ○○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

1.3.3 제 원

가. 취수시설

- 1) 취 수 원 :
- 2) 취수형식 :
- 3) 시설용량 : ○○○ m³/일

나. 취수장

- 1) 시설용량 : ○○○ m³/일

다. 도수시설

- 1) 관경(터널 직경) : ○○○mm
- 2) 관중 :
- 3) 연장 : ○○ km

라. 정수시설

- 1) 시설용량 : ○○○ m³/일
- 2) 침전지 : ○○m × ○○m × ○○m × ○지
- 3) 응집침전지 : ○○m × ○○m × ○○m × ○지
- 4) 여과지 : ○○m × ○○m × ○○m × ○지

5) 정수지 : ○○m × ○○m × ○○m × ○지

마. 송수시설

1) 관경 : ○○○mm

2) 관종 :

3) 연장 : ○○ km

4) 가압장 : ○○○ m³/일

바. 기타 부대시설

1.3.4 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위

[정밀안전진단]

- 취수시설(수원지포함)
- 취수장
- 관로시설(취·도·송수관로 및 수로터널)
- 정수시설
- 가압장
- 배수지·조절지

[정밀점검]

- 취수시설(수원지포함)
- 취수장
- 관로시설(취·도·송수관로 및 수로터널)
- 정수시설
- 가압장
- 배수지·조절지

1.4 과업내용

[정밀안전진단]

- 1) 자료수집 및 분석
- 2) 현장조사 및 시험
- 3) 상태평가
- 4) 안전성평가
- 5) 종합평가
- 6) 보수·보강방법
- 7) 보고서 작성

[안전점검]

- 1) 자료수집 및 분석
- 2) 현장조사 및 시험
- 3) 상태평가
- 4) 안전성평가(선택과업이 있을 경우)
- 5) 보수·보강방법(선택과업이 있을 경우)
- 6) 보고서 작성

1.5 주요업무의 사전승인 등

계약상대자는 다음사항에 대해서는 사전에 관리주체의 승인을 받아 과업을 수행하여야 한다.

- 1) 과업수행계획서 및 착수신고서의 내용변경
- 2) 기본계획을 포함한 주요내용 및 방침의 설정 또는 변경
- 3) 기타 감독원의 지시나 계약상대자의 판단에 따라 승인 받아야 할 사항

1.6 과업수행 및 공정보고

1.6.1 착수신고서 제출

- 1) 계약상대자가 과업착수시 제출할 착수신고서와 착수신고서에 포함하여 제출할 서류의 내용과 서식은 다음 각호와 같다.
 - ㉠ 착수신고서
 - ㉡ 사업수행계획서
 - ㉢ 인력 및 장비 투입계획서
 - ㉣ 세부공정계획서
 - ㉤ 사업책임기술자 선임신고서
 - ㉥ 사업수행 조직표
 - ㉦ 안전관리계획서
 - ㉧ 사전검토 보고서
- 2) 계약상대자는 당해 시설물의 설계도서 등 유지관리자료와 과업지시서 등이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지의 여부를 검토하여 용역 착수일로부터 15일 이내에 관리주체에게 서면으로 보고하고 그 방침을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다. 다만, 용역업무의 특수성 등으로 인하여 별도로 기간을 정할 경우에는 그 기간으로 한다.
- 3) 설계도서 등의 사전검토를 거쳐 관리주체의 방침을 받은 결과를 반영한 과업수행 계획서를 작성하여 관리주체에게 서면으로 보고하고 승인을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다.
- 4) 설계도서 등의 사전검토 보고서와 과업수행계획서에 관한 일체의 서류는 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서에 수록하여야 한다.
- 5) 계약상대자는 상기 1.6.1항의 착수신고 서류 ○부를 관리주체에 제출하여야 한다.

1.6.2 공정보고

계약상대자는 과업수행기간중 다음사항을 포함한 월간진도보고를 매월 말일을 기준으로 하여 다음달 5일까지 점검책임기술자의 확인을 받아 관리주체에 제출하여야 한다.

- 1) 과업추진내용 및 공정현황
- 2) 과업수행상 중요 문제점 및 대책
- 3) 참여기술자 현황
- 4) 다음 달 과업수행 계획

1.7 법률준수의 의무

계약상대자는 이 과업을 수행함에 있어 관계 법률에 저촉되는 행위로 인한 모든 피해 사항에 대하여 책임을 져야 한다.

1.8 안전관리

1.8.1 일반

안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전은 물론 공공의 안전을 위하여 진단측정장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 안전 관리계획을 수립하여야 한다.

1.8.2 안전점검 및 정밀안전진단 종사자의 안전

- 1) 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전모, 작업복, 작업화와 필요한 경우 청각, 시각 및 안면보호장비 등을 포함한 개인용 보호장구를 항상 착용하여야 하며 진단측정장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다.
- 2) 밀폐된 공간에서의 작업이 필요할 경우에는 유해물질, 가스 및 산소결핍 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 한다.

1.8.3 공공의 안전

공공의 안전측면에서 관리주체는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 기간 동안 교통통제와 작업공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립 시행하여야 한다.

1.9 용어의 해석

과업지시서상의 용어해석에 차이가 있을 경우에는 관리주체와 계약상대자가 상호 협의하여 결정해야 한다.

2. 점검계획 및 세부사항

2.1 점검계획

2.1.1 일 반

점검계획은 현장에서의 예비조사 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

- 1) 현장여건 및 문제점
- 2) 시설관리자 및 주민의견 청취
- 3) 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 예비검증이 되도록 한다.

2.1.2 점검계획 수립

예비조사시 수집된 자료의 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 1) 조사범위 및 항목결정
 - 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 점검계획에 맞추어 결정
 - 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우 별도조사항목 포함
- 2) 기존 점검자료 검토
 - 기발견된 결함의 확인을 위해 검토
- 3) 분야별 소요인원 및 구성
 - 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 판단, 투입계획수립
- 4) 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단
- 5) 점검기간 및 계획된 작업시간 예측
- 6) 점검범위 및 안전성에 대한 판단
- 7) 점검장비 선정

재료시험에 대한 장비, 측량장비, 토질, 기계, 전기, 시험장비를 준비할 때에는 분야별 세부조사항목에 부합되는 장비를 준비한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 점검장비에 의한 측정이 가능하도록 사다리, 고무보트, 램프, 잠수장비(수중 카메라), 리프트카, 비계, 보조등반장비 등을 준비한다.

이러한 장비선정시에 다음항목을 고려한다.

- ① 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부
 - ② 장비위치에 따른 교통통제 필요성
 - ③ 장비설치에 따른 지장물 존재여부
- 8) 접근방법 결정

- 접근방법은 비계, 리프트카, 사다리 설치 등 현장여건에 따라 안전을 고려해 최선의 방법을 선택한다.
- 구조물의 수중부위 조사에 보트를 이용할 경우에는 구멍의 착용 등 안전에 유의하며, 잠수부를 이용하는 방법을 강구한다.

9) 점검종사자 안전

- 점검업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

10) 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2.1.3 과업수행 적용 기준

본 과업은 다음의 현행 제규정 및 지침에 의거하여 제반사항을 성실히 이행하여야 한다.

- 1) 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 2) 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침
- 3) 콘크리트 구조설계기준
- 4) 콘크리트 표준시방서
- 5) 상수도 설계기준
- 6) 상수도 시설유지관리 기준
- 7) 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 8) 국토해양부 발행 각종 관련 표준시방서

2.2 점검실시 세부사항

2.2.1 자료수집 및 분석

관리주체가 보존하는 감리보고서·시설물관리대장 및 설계도서 등 관련서류와 다음에 명시된 자료를 수집하고 검토·분석하여 본 과업의 기초자료로 활용한다.

- 1) 설계도서

시설물의 준공도서로서 종·평면도, 단면도, 구조물도, 시공상세도, 구조계산서, 수리·수문계산서, 공사시방서 등 시설물의 유지관리에 필요한 도서
- 2) 시설물관리대장
- 3) 시공관련 자료
- 4) 안전점검 및 정밀안전진단 자료
- 5) 보수·보강공사 자료

2.2.2 현장 조사 및 제반관련 시험 실시

- 1) 현장조사는 사전에 기존자료를 검토하여 예상되는 각종손상에 대하여 충분히 이해한 후 현장조사에 임한다.
- 2) 현장조사는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침(세부지침, 댐편)에 의해 실시하며, 점검대상 구조물에 대한 상세외관조사 및 현장시험을 실시하여 부위(망)별, 부재별로 상태평가에 활용한다.
- 3) 상세외관조사시 주요결함이 발견될 경우 이에 대한 안전성검토 실시한다.

2.2.3 세부시설별 조사사항(기본과업과 선택과업 포함)

※ 아래 표를 기초로 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위와 기본과업 및 선택과업 구분에 따라 당해 시설물에 해당하는 조사사항을 선택하여 명시함

1) 관로

손상 및 결함	점 검 항 목	비 고
사고이력(건/km/년)	○ 관로의 사고이력 기준	
사 용 년 수	○ 관로의 사용년수	
되메움 토양	○ 관로부설 시 되메움 토양	
토양 부식성	○ 토양에 의한 관외부의 부식성평가 ○ 토양 pH 측정 ○ 황화물 및 염화물 함유량 측정	· 토양비저항
관대지전위차	○ 관대지전위차 측정	· 수도용도복장 강관 적용
관내 · 외면 방식도막	○ 관내 · 외면 방식도막의 건전성	
배관의 부식	○ 관체, 밸브 및 볼트 · 너트 등	
잔존 관두께	○ 관체의 부식에 의한 잔존 관두께	
관체 변형	○ 관체 변형의 비율	
배관의 누수	○ 배관의 누수 유무	

2) 토목구조물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
침하 / 부상	○ 구조물의 침하나, 부상 정도	
경 사	○ 구조물의 경사 정도	
활 동	○ 구조물의 활동 정도	
기 초 세 굴	○ 구조물 기초의 세굴 정도	
콘크리트 균열	○ 수밀성 콘크리트의 허용균열폭 ○ 균열 폭 및 면적율	
콘크리트 박리	○ 박리의 깊이 및 면적	
콘크리트 박락 / 층분리	○ 박락 / 층분리의 깊이 및 면적	
철 근 노 출	○ 철근노출 면적	
누 수	○ 누수흔적 및 진행정도	• 콘크리트 부재 • 신축이음 부위
백 태	○ 백태 발생 면적율	
콘크리트 파손	○ 콘크리트 파손 깊이 및 면적율	
신축이음 탈락 / 열화	○ 신축이음 탈락 및 열화 정도	

3) 강 구조물

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
강 재 부 식	○ 부식의 정도에 따른 발생 면적율	
피 로 균 열	○ 피로균열 발생원인 ○ 부재의 종류와 피로균열 발생 정도	
변형 / 변위	○ 변형 및 변위 정도	
도 장 손 상	○ 도장의 변색, 부풀림, 탈락 등 도장 상태	

4) 기계·전기설비

① 펌프설비

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
펌프베드 기초불량	○기초볼트 부식 및 이완, 그라우팅 훼손	
진동 과다 발생	○펌프 및 전동기의 진동	
소음 과다 발생	○펌프 및 전동기의 소음	

② 펌프 장내 배관

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
관체의 손상	○부식, 도장탈락 및 누수 등의 손상정도	
관연결부 손상	○관연결부의 부식, 누수 및 도장상태	
밸브 손상	○밸브본체, 연결플랜지부, 축봉부 등의 외관 및 작동상태 등	

③ 전기설비

손상 및 결함		평 가 항 목	비 고
점검대상	대상기기		
가압·송수·취수 펌프모터 설비	· 현장제어반 및 기동반 · 펌프모터(전동기)	· 손상 및 파손유무 · 절연·접지상태 · 작동상태	· 상세육안점검 · 절연 및 접지저항측정 · 작동상태점검 (전압, 운전전류, 소비전력, 역률 등) · 열화상 진단
	· 펌프실의 배수설비 및 크레인설비 ^{※)}	· 외관상태 · 접지 및 작동상태	· 상세육안점검 · 절연저항측정 · 작동상태점검

※) 2 ton 이하의 크레인을 점검대상으로 함.

2.2.4 선택과업

선택과업은 과업 수행 전 계약상대자와 합동으로 실시한 사전조사 결과에 따라 조사 항목을 선정하며, 과업 수행 중에 발생하는 선택과업 항목은 협의하여 추진한다.

2.2.5 상태평가

상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 세부지침의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

정밀안전진단에서는 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.

상태평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 안전점검·정밀안전진단을 실시한 사람은 외관조사 결과를 안전점검·정밀안전진단 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

(정밀점검에서는 기본시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서에 수록된 상태평가 결과를 참조하여 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.)

2.2.6 안전성평가(안전점검의 경우 선택과업)

책임기술자는 계측 및 구조해석 또는 기존의 안전성평가 자료와 함께 부재별 상태평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 안전과 부재의 내(하)력 등을 종합적으로 평가하여 세부지침의 안전성평가 기준에 따라 시설물의 안전성평가 결과를 결정한다.

보고서에는 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산기록을 포함하여야 한다.

2.2.7 종합평가 및 안전등급 지정

- 1) 상태평가 및 안전성평가를 실시한 결과를 종합하여 세부지침의 종합평가 기준에 따라 시설물의 종합평가 결과를 결정한다.
- 2) 정밀안전진단(안전점검)을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.

다만 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 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 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.2.7 보수·보강방법(안전점검의 경우 선택과업)

1) 일반

보수는 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책을 말하며, 보강이란 부재나 구조물의 내하력과 강성 등의 역학적인 성능을 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말한다.

보수를 위해서는 상태평가 결과 등을, 보강을 위해서는 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 상세히 검토하고, 발생한 결함의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수·보강 방법 및 수준을 정하여야 한다.

2) 보수·보강의 필요성 판단

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

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

3) 보수·보강의 수준의 결정

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

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

4) 공법의 선정

구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정시 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 결정한다.

이때 중요한 것은 구조물의 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수재료를 선택할 수 있다.

따라서 시설물관련 제반자료, 진단시 수행한 각종 상태평가 및 안전성 평가 결과를 기초로 하여, 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석 후 결함부위 또는 부재에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하여야 한다.

5) 보수·보강 우선순위의 결정

각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

- 보수보다 보강을, 주부재를 보조부재보다 우선하여 실시한다.
- 시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 결정한다.

6) 유지관리 방안 제시(선택과업)

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

3. 보고서 작성 방법

3.1 일반

정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서는 시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 하며, 세부적인 작성 방법은 세부지침을 참조한다.

3.2 정밀점검보고서에 포함될 사항

1) 서두

보고서의 표지 다음에 정밀점검의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

- 제출문(정밀점검을 실시한 기관의 장)
- 정밀점검 결과표 (안전등급)
- 시설물 현황표
- 참여 기술진 명단

- 시설물의 위치도
- 시설물의 전경사진, 부위별 사진
- 정밀점검 실시결과 요약문
- 보고서 목차

2) 정밀점검의 개요

정밀점검의 범위와 과업내용 등 정밀점검 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.

- 점검의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 점검의 범위 및 과업내용
- 사용장비 및 기기 현황
- 점검 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀점검의 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서
- 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력
- 시설물의 내진설계 여부 확인
- 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 기본시설물 또는 주요부재별 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험 및 측정 결과분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 상태평가 결과의 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

- 대상 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과 결정
- 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가

6) 안전등급 지정

정밀점검 실시결과 상태평가 및 안전성평가(필요시) 등을 종합적으로 평가하여 제11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

7) 시설물의 안전성 평가 (필요한 경우 추가로 실시)

안전점검 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 시행방법을 검토

8) 종합결론 및 건의

- 정밀점검 실시결과의 종합결론
- 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부
- 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

9) 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 측정, 시험 성과표
- 상태평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체 (사전검토 보고서, 과업수행계획서 등 관련자료)
- 기타 참고자료

(정밀점검 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

3.3 정밀안전진단보고서에 포함될 사항

1) 서두

보고서의 표지 다음에 정밀안전진단의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

- 제출문(정밀안전진단을 실시한 기관의 장)
- 정밀안전진단 결과표 (안전등급)
- 시설물 현황표
- 참여 기술진 명단
- 시설물의 위치도
- 시설물의 전경사진, 부위별 사진
- 정밀안전진단 실시결과 요약문
- 보고서 목차

2) 정밀안전진단의 개요

정밀안전진단의 범위와 과업내용 등 정밀안전진단 계획 및 실시와 관련된 주요 사항을 기술한다.

- 진단의 목적
- 시설물의 개요 및 이력사항
- 진단의 범위 및 과업내용
- 사용장비 및 시험기기 현황
- 진단 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀안전진단의 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.

- 설계도면, 구조계산서
- 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력 및 용도변경
- 시설물의 내진설계 여부 확인
- 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

- 전체 시설물 외관조사 결과분석
- 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
- 재료시험, 측정결과의 분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 시설물의 상태평가 결과를 작성하며, 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

- 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가
- 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결정

6) 시설물의 안전성평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 내(하)력, 사용성 등을 검토하고 시설물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한다.

- 현장 재하시험 및 계측 결과분석
- 지형, 지질, 지반, 토질조사 등의 결과분석
- 시설물의 변위, 거동 등의 측정결과 분석
- 시설물의 구조해석 및 구조계산을 통한 분석결과

- 수문, 수리 등 해석결과 및 분석 (관리주체의 요구 등 필요한 경우)
 - 시설물의 내(하)력 평가
 - 시설물의 내진성능, 사용성 평가 (관리주체의 요구 등 필요한 경우)
 - 정밀안전진단 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성 평가 포함 시행
 - 시설물의 안전성평가 결정
- 안전성평가 작성 방법은 세부지침의 제9장에서 기술한 내용을 따른다.

7) 종합평가

- 시설물의 상태평가와 안전성평가 결과를 종합하여 안전상태 종합평가 결과의 결정
- 종합평가 작성 방법은 세부지침의 제10장에서 기술한 내용을 따른다.

8) 안전등급 지정

정밀안전진단 실시결과 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 제 11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

9) 보수·보강 방법

시설물의 상태평가와 안전성평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재에 대하여 적용할 보수·보강 방법을 제시함.

(내진성능 평가 후 내진능력 부족시의 경우를 포함)

- 보수·보강방법에 대한 개요, 시공방법, 시공시 주의사항 등
- 당해 시설물의 유지관리를 위한 요령, 대책 등

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

10) 종합결론 및 건의사항

- 정밀안전진단 실시결과의 종합결론
- 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

11) 부록

- 과업지시서
- 외관조사망도
- 구조해석 모델링 및 수치해석 자료 (입출력자료는 e-보고서에 포함)
- 측정, 시험, 계측 성과표
- 상태평가 결과 자료

- 안전성평가 결과 자료
- 시설물관리대장 사본
- 현황조사 및 외관조사 사진첩
- 사용장비 및 기기의 사진
- 사전조사 자료 일체 (사전검토 보고서, 과업수행계획서 등 관련자료)
- 기타 참고자료

(정밀안전진단 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

4. 성과품 납품목록

이 과업과 관련한 성과품은 다음과 같으며 이에 대한 지불은 산출내역서상의 계약금액으로 한다

- 1) 정밀안전진단(안전점검)보고서(부록포함) : 20부(안전점검의 경우 10부)
- 2) CD보고서 : 5부
- 3) 사진첩 : 3부

부록 B

사전검토 보고서 예시

정밀안전진단(안전점검) 사전검토 보고서

1. 과업명 : ○○○상수도 정밀안전진단(안전점검)

2. 배경 및 목적

시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토해양부고시 제2010-1037호, 2010. 12.31)의 3.1.4항 및 3.9.2항에 따라 과업대상 시설물의 과업지시서 또는 용역설계서 내용이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지 여부를 검토하고, 그 결과를 관리주체에 보고하고 과업수행계획서에 수록하고자 함

3. 과업의 범위

3.1 시설물 명 : ○○○상수도

3.2 위 치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

4. 사전검토 내용

4.1 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			금회 실시범위	제외 사유
		정기 점검	정밀 점검	정밀 안전진단		
기본 시설물	◦ 취수시설(수원지포함)	○	○	○	○	
	◦ 취수장	○	○	○	○	
	◦ 관로시설 (도·송·배수관로 및 수로터널)	○	○	○	○	
	◦ 정수시설	○	○	○	○	
	◦ 가압장	○	○	○	○	
	◦ 배수지·조절지	○	○	○	○	
부대 시설물	◦ 관리동 등 건축물	○				보수공사 중
	◦ 옹벽	○			○	
	◦ 절토사면	○			○	

4.2 정밀안전진단(안전점검) 유지관리자료 보유 현황 검토

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비고
설계도서	◦ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서		
	◦ 설계도면 - 공통 - 토목 - 건축 - 기계·전기설비		
시설물 관리대장	◦ 기본현황 ◦ 상제제원 ◦ 유지관리 이력		
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록 ◦ 댐시설 운영기록		
안전점검 및 정밀안전진단 자료			
보수보강 자료			

4.3 정밀안전진단(안전점검) 과업의 범위

[표 1.1] 정밀점검일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용	
자료수집 및 분석	•설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석	○ 적 동	
현장조사 및 시험	•외관조사 및 외관조사망도 작성 •간단한 현장 재료시험 등 - 콘크리트 비파괴강도(반발경도 시험) - 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○ 콘크리트 시험 - 반발경도 시험 - 탄산화시험 - 균열깊이 조사 ○ 철근탐사시험	
상태평가	•외관조사 결과분석 •재료시험 결과 분석 •대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 •시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임 기술자의 소견 (안전등급 지정)	○ 적 동	
안전성평가	-		
보수·보강 방법	-		
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○ 적 동	
과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	•구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	•전체부재에 대한 외관조사망도 작성 •시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •조사부위 표면청소 •마감재의 해체 및 복구 •수중조사 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가 등에 필요한 조사시험	○ 콘크리트 시험 - 코어채취 - 연하물함유량 - 실내시험 등 ○ 강재조사·시험 - 도막두께측정	○ ○ ○ ○
상태평가	-		
안전성평가	•필요한 부위의 구조지반수리수문 해석 등 안전성평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가		
보수·보강 방법	•보수·보강 방법 제시		

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석	•설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석	○저동
현장조사 및 시험	•전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 ◦현장 재료시험 등 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도 시험, 초음파전달 속도시험 등), 탄산화 깊이측정, 염화물함유량시험 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험 ◦기계·전기설비 및 계측시설의 작동 유무	○전체부재 외관조사 및 외관조사망도 작성 ○콘크리트 시험 -반발경도 시험 -초음파전달속도시험 -탄산화시험 -균열깊이 조사 ○철근탐사시험 ○강재(관로) 조사 -도막두께측정 -용접부하사 및 관두께측정
상태평가	•외관조사 결과분석 •현장시험 및 재료시험 결과분석 •콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 •부재별 및 시설물 전체 상태평가 결과에 대한 소견	○저동
안전성평가	•조사, 시험, 측정결과의 분석 •기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 •내하력 및 구조 안전성평가 •시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	○저동
종합평가	•시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 •안전등급 지정	○저동
보수·보강방법	•보수·보강 방법 제시	○저동
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○저동

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우(계속)

과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	•구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	•시료채취 및 실내시험 •지형,지질,지반조사 및 탐사, 토질조사 •수중조사 •누수탐사 •침하, 변위, 거동 등의 측정 •콘크리트 제체 시추조사 •수리·수충격·수문조사 •시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •기계전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측 •기본과업 범위를 초과하는 강제비파괴시험 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험	○ 콘크리트 시험 -코어채취 -실내시험 등 ○ 지반 및 토질조사 ○ 수중조사 ○ 기계, 전기 계측시설 조사 - 취수장, 가압장, 정수장 ○ 수충격조사(현장시험) ○ 지반탐사(관료탐사) ○ 단수시키지 않는 내시경조사	○ ○ ○ ○ × × × ×
안전성평가	•구조지반·수리·수문 해석 •구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 •내진성능 평가 및 사용성 평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가	○ 관료 구조안전성평가 ○ 수충격조사(분석)	× ×
보수·보강 방법	•내진보강 방안 제시 •시설물 유지관리 방안 제시	○ 시설물 유지관리 방안 제시	×

4.4 정밀안전진단(안전점검) 기본과업 재료시험 수량

[표 2.1] 정밀점검의 경우

구 분	세부지침 기준				금회 수량
	관로	수로터널	토목구조물	산출수량	
반발경도 시험	—	· 200m당 1회 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상 · 정수장 5개소 이상		
탄산화 깊이 측정	—	· 복합부재/3개소 이상 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 1개소 이상 · 정수장 3개소 이상		
균열깊이 조사		· 책임기술자 수량 결정	· 책임기술자 수량 결정		
관대지전위차	(T/B)당×1개소	—	—		

[표 2.2] 정밀안전진단의 경우

구 분					금회 수량
	관로	수로터널	토목구조물	산출수량	
반발경도 시험	조사 밸브실의 5%	· 길이 200m당 1회 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 5개소 이상 · 정수장 10개소 이상		
조음파 전달속도시험	조사 밸브실의 5%	· 길이 200m당 1회 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 5개소 이상 · 정수장 10개소 이상		
철근탐사 시험	조사 밸브실의 5%	· 복합부재/3개소 이상 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 3개소 이상 · 정수장 10개소 이상		
탄산화 깊이 측정	책임기술자 판단	· 복합부재/3개소 이상 · 최소 9개소 이상	· 시설별 각 개소 이상 · 정수장 9개소 이상		
염화물 함유량시험	책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	· 코어채취 수량 · 책임기술자 조정 가능		
철근부식도 시험	책임기술자 판단	· 책임기술자 판단	· 책임기술자 판단		
균열깊이 조사	—	· 책임기술자 수량 결정	· 책임기술자 수량 결정		
관두끼측정	조사 밸브실의 5%	—	—		
관대지전위차	(T/B)당 1개소	—	—		
토양비저항 측정	300m당 1개소	—	—		
강재 비파괴시험	필요시 실시 (책임기술자 판단)	—	—		

4.5 기타 사항

5. 결론

[정밀점검의 경우 예시]

과업지시서와 용역계약서 검토결과, 정밀점검의 범위, 유지관리자료, 과업범위, 기본과업의 재원시원수량은 모두 지친, 세부지침과 부함됨.

[정밀안전진단의 경우 예시]

과업지시서와 용역계약서 검토결과, 정밀안전진단의 범위, 유지관리자료, 기본과업의 재원시원수량은 지친, 세부지침과 부함됨.

다만, 정밀안전진단 과업범위 중 아래와 같이 일부 항목에 대한 비용이 반영되지 않아 보완이 필요함

- 현장조사 및 시험
 - 기계, 전기, 계측시설 조사
 - 수충격조사(현장시험)
 - 지반탐사(관료탐사)
 - 달수 시키지 않는 내시경조사
 - 관 내부 및 수로터널 진입을 위한 임시 접근로 설치 및 해체 비용
- 안전성평가
 - 관료 구조안전성평가
 - 수충격조사(분석)
- 보수·보강방법
 - 시설물 유지관리 방안 제시

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(상수도)

발행 한국시설안전공단

2011년 12월 일 초판

* 본 세부지침해설서의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은
한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 411-758 경기도 고양시 일산서구 고양대로 315 대표전화 1599-4114, 031-910-4114

본 세부지침해설서 및 다른 해설서 내용은
공단홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

공 통 편				2011. 12
시설물편	제 1 장	교	량	2011. 12
	제 2 장	터	널	2011. 12
	제 3 장	댐		2011. 12
	제 4 장	항	만	2011. 12
	제 5 장	상	수 도	2011. 12
	제 6 장	하	구 독	2012. 12 (예정)
	제 7 장	수	문	2012. 12 (예정)
	제 8 장	제	방	2012. 12 (예정)
	제 9 장	하수처리장		2012. 12 (예정)
	제 10 장	건	축 물	2011. 12
	제 11 장	옹	벽	2012. 12 (예정)
	제 12 장	절	토 사 면	2012. 12 (예정)