

# 제 2장

---

## 점검의 개요

---

2.1 점검의 흐름도

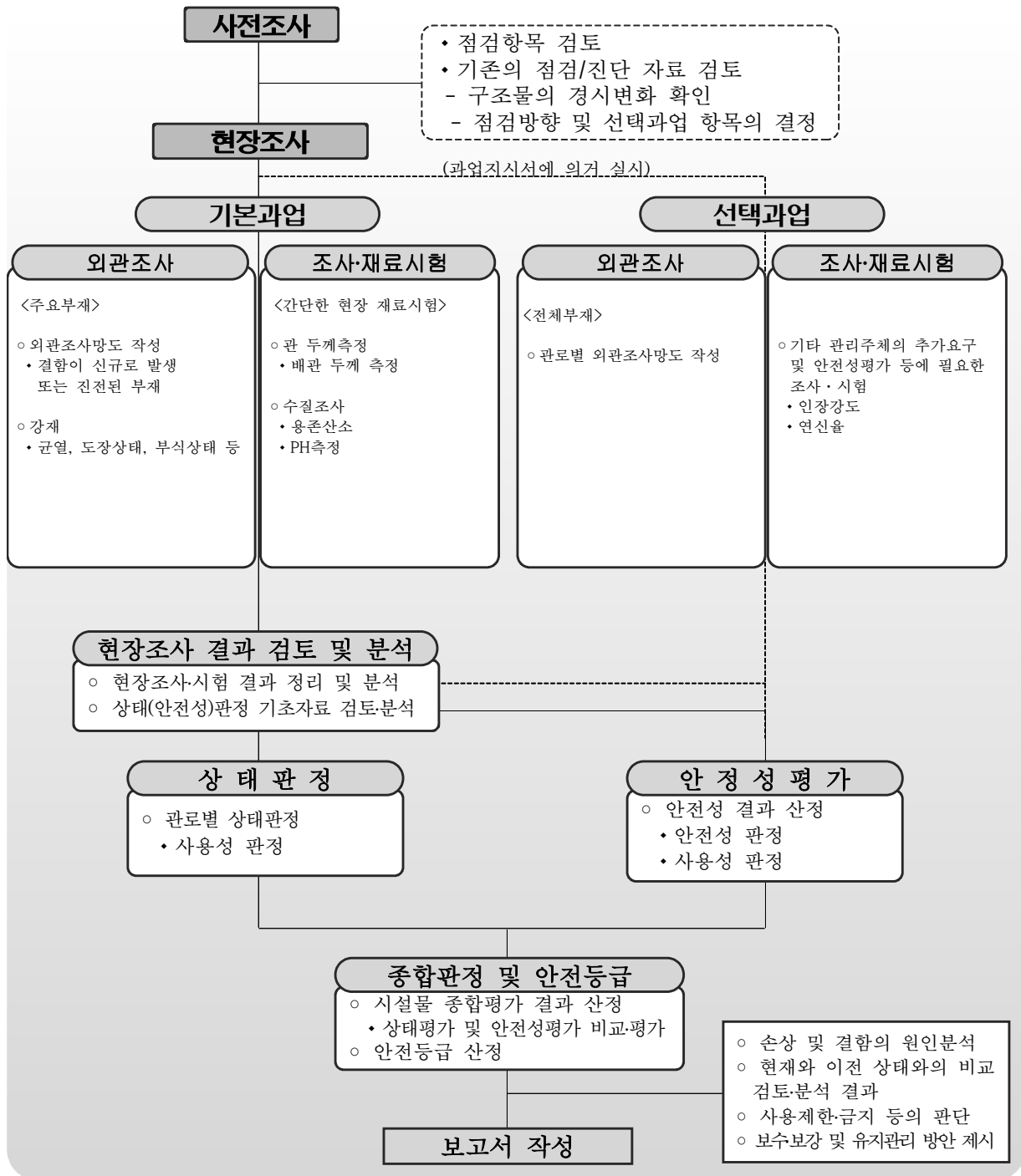
2.2 현장조사

2.3 재료시험

2.4 시설물의 평가

# 제 2장 점검의 개요

## 2.1 점검의 흐름도



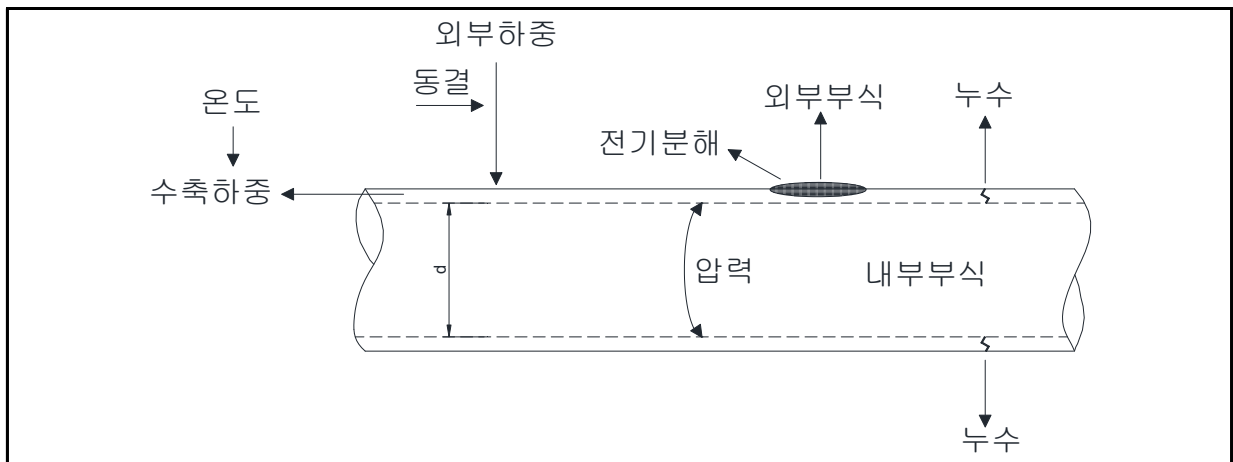
<그림 2.1.1> 점검 흐름도

## 2.2 현장조사

관로의 외관상태는 관 상태에 대한 외적상태를 나타내므로 관 상태를 판정하는데 기초 항목으로 매우 중요한 항목이다. 이에 현장에서 외관조사를 통한 관로의 손상을 판단하기 위해서는 관에서 발생하는 손상의 발생원인과 종류에 대한 정확한 이해가 필요하다.

### 2.2.1 관 손상 원인

국내에서 관로의 노후화와 부식에 기인한 문제점과 관의 사용 간에 발생하는 손상에 대해 여러 방면으로 연구가 실시되고 있으며, 관로에서 발생하는 대표적인 파손 원인을 다음과 그림과 같다.



<그림 2.2.1> 관로의 파손 원인

다양한 관로 파손의 원인은 크게 외부하중, 기온변화, 관의 내·외부 부식 등으로 분류되어진다.

#### 가. 외부하중

관 내·외부는 하중을 지탱하도록 설계되어 있지만 설계오류, 관 강도의 저하, 예상치 못한 하중으로 인해 하중이 관 재질의 강도를 초과한다면 구조적인 파손이 발생할 수도 있다.

#### 나. 기온변화

기온의 변화는 기온의 저하에 따른 두가지의 뚜렷한 방법으로 관에 영향을 미치는데, 첫째 저온에 의한 수축으로 관의 인장력을 증가시키며, 둘째 토양에 매설된 경우 토양동결로 인한 토양수분의 팽창으로 외부 압력을 증가시킨다.

저온으로 인한 수축은 가변적인 조인트 덕분에 초과하중의 원인이 되지 않으나 관 접촉하고 있는 구조는 수축을 제한 받을 수 있고, 따라서 초과 인장력을 유발할 수 있다.

한편 매설환경이 잘못된 상황에서 파손을 일으킬 수 있으며 힘에 의한 파손의 원인이 될 수 있다.

**다. 관 내·외부 부식**

부식은 금속이나 합금이 그 환경과의 화학적 작용 또는 전기·화학적 작용에 의해 표면으로부터 산화되어 소모, 파괴되어 가는 손상을 말하며 금속관의 부식은 관 재질과 관 주위의 환경사이의 전기화학적 반응에 의해 발생하며 부식의 종류는 매우 다양하지만 다음과 같이 부식의 종류와 부식의 원인 인자를 구분할 수 있다.

1) 부식의 종류

(1) 습식과 건식

- ① 습식부식 - 금속표면이 접하는 환경중에 습기의 작용에 의한 부식
- ② 건식부식 - 습기가 없는 환경중에서 200℃ 이상 가열된 상태에서 발생하는 부식

(2) 전면부식과 국부부식

- ① 전면부식 - 동일한 환경중에서 어떤 금속의 표면이 균일하게 부식이 발생하는 현상.
- ② 국부부식 - 금속의 재료 자체의 조직, 잔류응력의 여부, 접하고 있는 주위환경 중의 부식물질의 농도 온도와 유체의 성분, 유속 및 용존산소의 농도 등에 의하여 금속표면에 국부적 부식이 발생하는 현상.
  - ㉠ 이종금속접촉 : 재료가 각각 전극, 전위차에 의하여 전지를 형성하고 그 양극이 되는 금속이 국부적으로 부식하는 일종의 전식 현상이다.
  - ㉡ 전식 : 외부전원에서 누설된 전류에 의해서 전위차가 발생. 전지를 형성하여 부식되는 현상이다.
  - ㉢ 틈새부식 : 재료사이의 틈새에서 전해질의 수용액이 침투하여 전위차를 구성하고 틈새에서 급격히 부식이 일어난다.
  - ㉣ 입계부식 : 금속의 결정입자 경계에서 선택적으로 부식이 발생한다.
  - ㉤ 선택부식 : 재료의 합금성분 중 일부성분은 용해하고 부식이 힘든 성분은 남아서 강도가 약한 다공상의 재질을 형성하는 부식이다.



<그림 2.2.2> 부식의 종류

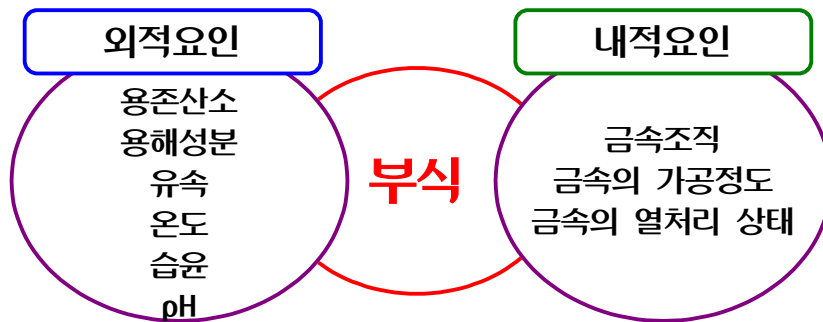
2) 부식의 원인 및 부식에 영향을 주는 인자

(1) 외적요인

- ① 용존산소 - 가열로 인해 물 속의 용존산소가 유리(遊離)되면 그 부근에 있는 철 등의 금속 표면을 부식시킨다.
- ② 용해성분 - 이온, 고형물, Na, Mg 등 가수분해하여 산성이 되는 물질은 부식성이 있다.
- ③ 유 속 - 유속이 빠를수록 부식은 쉽게 발생하는데, 유속이 빠를수록 산화작용으로 인하여 보호피막이 박리되어 금속표면이 침식된다.
- ④ 온 도 - 온도가 높을수록 부식이 쉽게 발생하며, 약 80℃까지는 온도상승에 따라 부식성이 증가하나 그 이상이 되면 용존산소가 제거되어 부식성은 현저히 저하한다.
- ⑤ p H - 수소이온농도가 낮을수록 부식이 쉽게 발생한다. 금속은 산과 강알칼리에 쉽게 부식된다.

(2) 내적요인

- ① 금속조직 - 조직의 결정상태에 따라 부식정도가 다르다.  
(금속표면 조직의 균일정도, 금속표면의 형상)
- ② 금속의 가공정도 - 냉간압연은 잔류응력이 생기므로 부식이 용이하게 된다.
- ③ 금속의 열처리 상태 - 열처리는 잔류응력을 내식성을 증가시킨다.



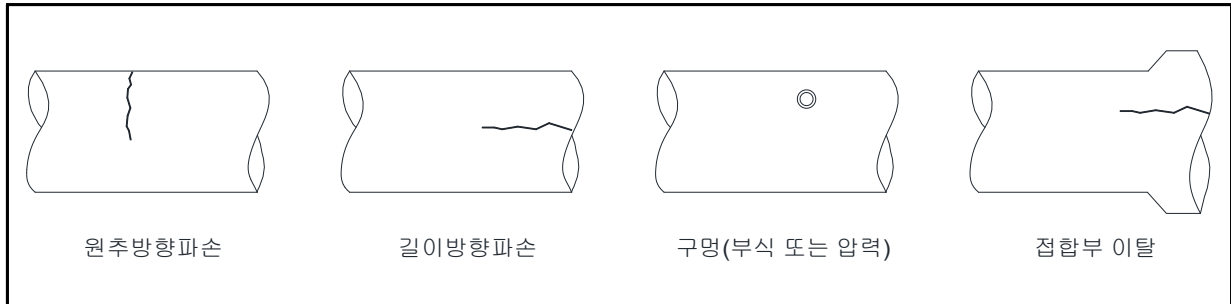
<그림 2.2.3> 부식의 종류



<사진 2.2.1> 현장조사 전경

### 2.2.2 관로의 파손 형태

관의 파손은 크게 4가지 형태로, 원추방향의 파손(Circumferential), 길이방향의 파손(Longitudinal), 부식 또는 압력·파열에 의한 구멍(Hole), 접합부 이탈(Split bell)로 구분되어지며 손상의 유형은 다음 그림과 같다.



<그림 2.2.4> 관로의 파손 종류

이러한 파손의 형태는 미국수도협회연구기금(AWWARF)의 6개 수도국과, 국내의 한국수자원공사, 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시의 3개 대도시와 9개의 중소도시에 대한 관료 파손자료에 바탕으로 정리된 자료이다.(상수도관로의 부식 및 노후도 예측모델 개발, 환경부, 2002)

### 2.2.3 주요 점검항목

관로의 사용성 및 노후도를 판정하기 위한 점검항목을 다음과 같이 선정하였다.

<표 2.2.1> 서울대공원 지하구내 관로 및 내용

구 분	조사 내용			비 고
	외관조사	관두께 측정	파괴시험	
중온수관	○	○	○	
소화수관	○	○	○	
잡용수관	○	○	-	

<표 2.2.2> 관로의 외관조사 점검항목

손상 및 결함	평 가 항 목	비 고
관균열	• 관 외부	
부식	• 관체 내·외부 부식	
누수	• 관 본체 누수	
구멍	• 관 본체 구멍	

2.2.4 사용 장비

		
<p>디지털 카메라</p>	<p>버니어캘리퍼스</p>	<p>용존산소측정(윙클법)</p>
		
<p>랜턴</p>	<p>줄자(5.5m, 50.0m)</p>	<p>관두께 측정기</p>

<그림 2.2.5> 점검사용장비 목록

## 2.3 재료시험

시설물의 상태관정을 적절히 수행하기 위하여 점검의 목적에 부합하는 재료시험을 실시하여야 하며 이를 위해 사전 현장조사, 도면 및 이전의 자료 검토 등을 통하여 필요한 시험항목 및 수량을 산정하는 것이 바람직하다.

이에 대상 관로에 대한 재료시험의 항목과 수량은 대상관로의 외관상태를 판단하여 결정하였다.

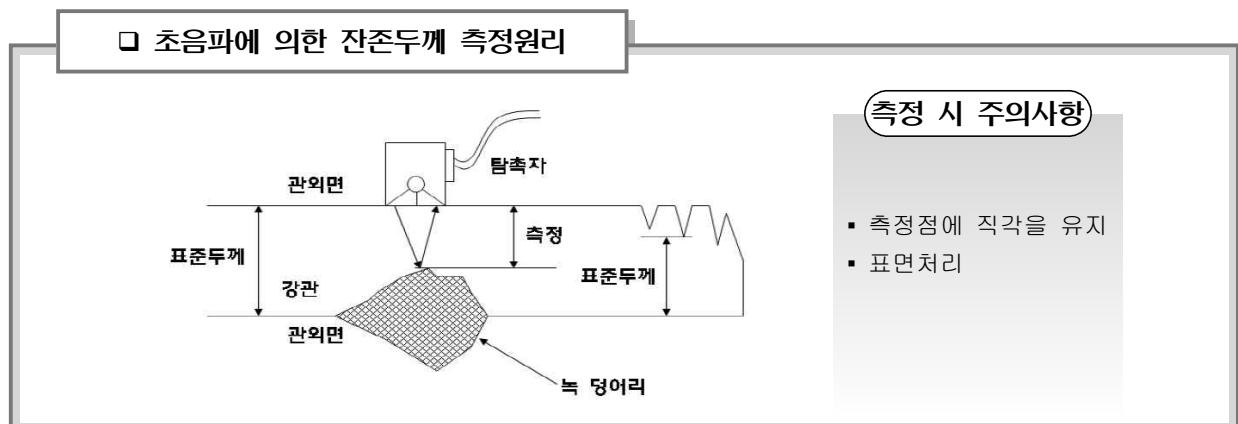
<표 2.3.1> 재료시험 항목 및 수량

시험 항목	시험방법	실시수량	비 고
관 두께 측정	• 초음파법 • 실측	47개소 5개소	
용존산소(DO) 측정	• 잉클러법	4개소	
pH 측정	• 리트머스 용지	4개소	

### 2.3.1 관 두께 측정

#### 가. 초음파에 의한 관 두께 측정

초음파 측정기에 의한 방법은 초음파를 이용하여 관외부에서 관의 잔존두께를 측정함으로써 급수관의 부식상태, 내구성 등을 점검할 수 있는 방법이다. 측정은 직관부만 가능하고 이음부와 나사부는 측정이 불가능하다.







<사진 2.3.1> 초음파에 의한 관 두께 측정

### 2.3.2 용존산소량(DO) 측정

용존산소는 물 속에 녹아있는 산소를 말하며, 수질의 지표로 사용된다. 또한 수원의 용존산소의 함량은 관 내부 부식에 영향을 미치는 인자로 분류되므로 용존산소량을 측정하여 관 내부 부식의 영향을 확인하고자 하였다. 용존산소의 측정방법으로 위클러-아지드화나트륨 변법으로 실험하였다.

<표 2.3.2> 위클러-아지드화나트륨 변법 시험방법

시 험 과 정	관 찰	반 응
(1) 시료를 DO병에 취한다	기포가 발생하지 않도록 하며 온도, 압력이 변화되지 않도록 유의한다.	
(2) 황산망간 용액(MnSO <sub>4</sub> ) 1mL와 알칼리성 요오드화칼륨(KI)용액 1mL를 넣는다. (철이온[Fe <sup>3+</sup> ]이 포함된 시료는 KF 1mL를 넣는다.)	갈색 침전이 생김  용존산소가 없을 경우에는 흰색 침전이 생김	$MnSO_4 + 2NaOH \rightarrow Mn(OH)_2 (\downarrow, \text{흰색침전}) + Na_2SO_4$  $Mn(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow MnO_2 (\downarrow, \text{갈색침전}) + H_2O$
(3) 즉시 마개를 닫고 수회 병을 회전시키며 섞는다.		
(4) 2분 이상 정치시킨다.	병목부터 2/3 정도 가량 맑은 층이 생긴다.	
(5) 진한황산(c-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 2mL를 넣고 약 10초 동안 천천히 흔든다.	갈색 침전물이 완전히 녹아 진한 노란색 용액이 된다.(요오드화이온(I <sup>-</sup> )의 환원작용, I <sub>2</sub> 유리)	$MnO_2 + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow I_2(\text{유리}) + MnSO_4 + K_2SO_4 + 2H_2O$
(6) 200mL 용량메스플라스크를 사용하여 위 용액을 정확히 200mL 취하여 삼각플라스크에 넣는다.(분석용 시료용액)		
(7) 0.025N-Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 용액으로 엷은 노란색이 될 때까지 적정한다.	진한 노란색이 엷은 노란색으로 된다.	$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$
(8) 전분용액 1~2mL를 넣는다.	진한 청색으로 된다.(요오드 전분 반응)	$I_2 + \text{Starch} \rightarrow I_2\text{-Starch}(\text{청색})$
(9) 계속해서 무색이 될 때까지 조심스럽게 적정하여 티오황산나트륨(Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )의 소비량을 읽는다. (a mL)	무색으로 변하는 시점을 종말점으로 한다.	

□ 용존산소(DO) 시험방법



용존산소(DO)측정병

측정 시 주의사항

- 시료는 공기와 접촉되지 않게 채취하여 즉시 실험한다.
- 적정시 티오황산나트륨용액 한 방울에 의해서도 용액의 색깔이 변하므로 신중하게 적정한다.
- 시료의 용존산소를 고정하고 요오드(I<sub>2</sub>)를 유리(遊離)기 위해 넣 어주는 시약은 반드시 순서대로 가해준다.



<사진 2.3.2> 위클러-아지드화나트륨 변법에 의한 용존산소 측정

2.3.3 pH 측정

가. pH 측정

리트머스 용액을 여과지에 흡수시켜 건조시킨 시험지를 이용하여 채취원수의 pH도를 측정하는 시험 방법이다. 시험에 사용된 시험지는 pH 1~11로 구분되는 측정지를 사용하였다.



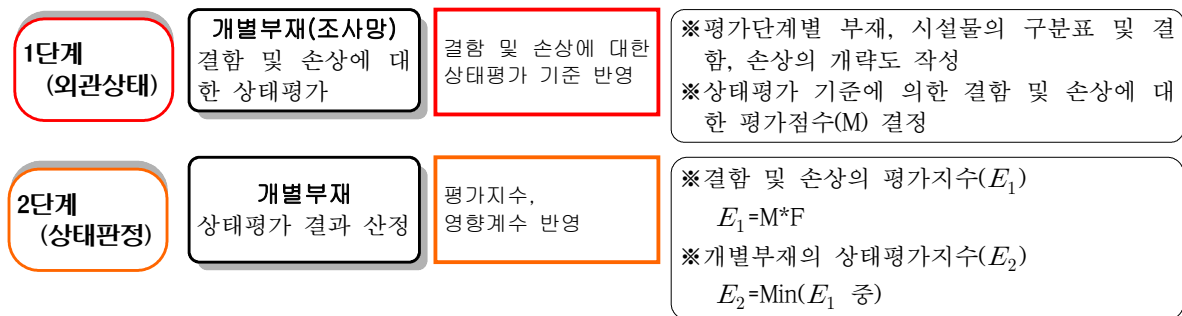
<사진 2.3.3> pH시험지를 이용한 측정

## 2.4 시설물의 판정

### 2.4.1 개요

시설물의 평가는 외관조사 및 재료시험에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화 등)를 근거로 하여 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 2010. 12.』을 준용하여 본 관로 자체에 대한 시설물의 판정기준을 수립하였다.

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



<그림 2.4.1> 관로의 상태판정 단계별 절차

<표 2.4.1> 관로 상태판정 단계별 구분도

평가단계별 구분			관로시설물
평가구분	평가대상		
상태 평가	1단계	외관상태	관로 밸브 지주대
	2단계	개별부재	

<안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 2010.12> 상수도편을 준용하여 관로의 상태판정을 실시하였으며 본 점검은 관로에만 국한된 점검을 실행하였기에 관로에 대한 상태판정만을 수행하였다.

### 2.4.2 상태판정 기준 및 방법

#### 가. 상태판정 기준 및 방법

관로에서 조사된 각각의 손상들에 대하여 판정등급(a~e)을 지정하고 상태평가표를 작성하되 참고해야 할 내용은 ① 관로의 평가유형 및 영향계수, ② 상태평가 항목 및 기준, ③ 평가기준별 평가지수 및 평가유형별 영향계수, ④ 상태평가지수에 따른 조정계수(A), ⑤ 개별부재 중요도(W) 이며 다음과 같이 정리하였다.

## 1) 시설물별 평가유형 및 영향계수

시설물의 상태평가는 결함 및 손상에 따른 각각의 상태평가 기준을 적용하며 상태변화가 전체 구조물에 미치는 안전성의 영향정도, 구조적 중요도가 적절히 고려될 수 있도록 결함 및 손상을 평가유형별로 구분하여 영향계수를 적용한다.

&lt;표 2.4.2&gt; 관로의 평가유형 및 영향계수

상태변화	평가유형	영향계수	평가기준	평가점수	
관로부식	중요결함	1.0	a	5	
관두깨			b	4	
관로누수			c	3	
			d	2	
관로사고이력	국부결함	1.0	e	1	
관내·외면 도장상태			1.1	a	5
			1.2	b	4
밸브의 손상정도			1.4	c	3
	2.0	d	2		
경과년수	일반손상	1.0	e	1	
		1.1	a	5	
		1.3	b	4	
		1.7	c	3	
		3.0	d	2	
			e	1	

&lt;표 2.4.3&gt; 강 구조물의 평가유형 및 영향계수

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

**중요결함** 관로부식, 관두께, 관로누수 등과 같이 관로의 구조적인 안전에 직접영향을 미치는 결함.

**국부결함** 관로사고이력, 관내·외면 도장상태, 밸브의 손상정도 등과 같이 관로의 안전성에 직접적인 영향을 미치지 않는지만 손상이 진전될 경우 전체 관로의 안전에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 결함.

**일반손상** 경과년수 등과 같이 관로의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상.

## 2) 상태판정 항목 및 기준

본 과업의 관로 상태판정을 위한 항목과 기준은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 2010. 12 상수도편 P5-30~P5-41의 5.4.1 상태평가 항목 및 기준을 준용하였으며, 평가항목을 다음과 같이 정리하였다.

<표 2.4.4> 관로사고이력의 상태판정 기준

평가기준	평가점수	사고이력(건/Km/년)	비고
a	5	F=0	f:관로사고이력(최근 5년간 이력을 기준으로 산정함을 원칙으로 함)
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	$F > 2.1$	

<표 2.4.5> 경과년수에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	경과년수(년)	비고
a	5	10년 미만	관로의 설치년도로부터 점검 완료일 까지의 경과년수 적용
b	4	10 ~ 20 미만	
c	3	20 ~ 30 미만	
d	2	30 ~ 40 미만	
e	1	40년 이상	

&lt;표 2.4.6&gt; 판로부식에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	부식상태
a	5	부식이 없음
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

&lt;표 2.4.7&gt; 관두께에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	관두께
a	5	$t \geq 1.0$
b	4	0.8 ~ 1.0 미만
c	3	0.6 ~ 0.8 미만
d	2	0.4 ~ 0.6 미만
e	1	$t < 0.4$

&lt;표 2.4.8&gt; 판로누수에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	상태판정 내용
a	5	누수가 없음
b	4	누수의 진행이 관찰가능(손상부 누수 흔적)
c	3	누수의 진행이 관찰가능(누수 흔적 다수발생)
d	2	누수의 진행이 관찰가능(방울 방울 떨어지며 국부 발생)
e	1	누수의 진행이 관찰가능(방울 방울 떨어지며 관 단면 다수발생)

&lt;표 2.4.9&gt; 강제 부식에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	상태판정 내용
a	5	부식이 전혀 없음
b	4	국부적으로 부식이 발생(부식발생 면적율5%미만)
c	3	부식이 다소발생(부식발생 면적율 5~15%미만)
d	2	전반적으로 부식 발생(부식발생 면적율 15~30%미만)
e	1	부식발생이 심화(부식발생 면적율 30% 이상)

&lt;표 2.4.10&gt; 밸브의 손상정도에 대한 상태판정 기준

평가기준	평가점수	상태판정 내용
a	5	밸브의 작동이 원활하고 여타 손상이 전혀 없음
b	4	밸브의 작동에 문제가 없고 발청 부식 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 확인함.

## 3) 평가기준별 평가지수 및 평가유형별 영향계수

&lt;표 2.4.11&gt; 평가기준별 평가지수 및 평가유형별 영향계수(F)

평가기준별 평가지수 범위		구 분		영향계수(F)					
평가기준	평가지수 ( $E_1 \sim 7, E_s, E_c$ )	평가기준에 따른 평가점수		a:5	b:4	c:3	d:2	e:1	
a	$4.5 \leq E_1 \leq 5.0$	평 가 유 형	중요결함	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
b	$3.5 \leq E_1 \leq 4.5$		국부결함	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0	
c	$2.5 \leq E_1 \leq 3.5$			일반손상	1.0	1.1	1.3	1.7	3.0
d	$1.5 \leq E_1 \leq 2.5$								
e	$1.0 \leq E_1 \leq 1.5$								

## 4) 상태평가지수에 따른 조정계수

## 5) 단계별 평가방법의 요약

## 가) 1단계 개별부재(부위)별 손상 및 결함상태 조사

단계별 평가 중 최하위 단계로써 필요시 개별부재를 분할 또는 통합하여 조사된 각 각의 손상들에 대한 평가등급(a~e)을 지정한다.

## 나) 2단계 개별부재 상태평가

1단계에서 지정한 각각의 손상 및 결함에 대한 평가결과에 평가점수(M)와 평가유형에 따른 영향계수(F)를 반영하여 결함 및 손상 상태평가지수(E1)를 산출하고 그 중 최소값이 2단계 개별부재의 상태평가 지수(E2)와 결과가 된다.

$$\textcircled{\text{C}} \text{ 결함 및 손상의 상태평가지수}(E_1) = M \times F = \text{평가점수} \times \text{영향계수}$$

$$\textcircled{\text{C}} \text{ 개별부재의 상태평가지수}(E_2) = E_1 \text{ 중 최소 값}$$

### 2.4.3 안전성 평가

관로의 구조 안전성에 관계되는 주요 항목은 관 재질을 비롯하여 관경, 관두께, 관내수압 등이 있다.

따라서 관로 시설물의 설계·준공도서 및 기존의 점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 시설물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재의 상태평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발행한 부위를 대상으로 안전율(Safe factor, SF) 검토를 수행하여 시설물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다. 외국에서의 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 안전성평가지수(Es)를 계산하고 이의 안전성평가지수를 토대로 안전성평가 기준에 근거하여 안전성 평가가 수행되고 있다.(US Army, 1990)

일반적으로 관로시설물은 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 안전성검토식은 상수도시설기준, 환경부 에 제시된 식의 사용을 원칙으로 하였다.

<표 2.4.1> 관로의 안전성평가 기준

안전성 평가기준	평가점수	안전성 판정 내용
a	5	안전율(SF)이 1.0이상이고 주부재에 손상이 없는 경우
b	4	안전율(SF)이 1.0이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 없는 경우
c	3	안전율(SF)이 1.0미만~0.9이상
d	2	안전율(SF)이 0.9미만~0.75이상
e	1	안전율(SF)이 0.75미만

### 2.4.4 안전등급 지정

관로 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.

<표 2.4.2> 안전등급에 따른 시설물의 상태

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없는 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