

# 제 6장

---

## 안전성 및 사용성 평가

---

6.1 안전성 평가

6.2 관의 노후도 검토

6.3 관 사용성 평가

# 제 6장 안전성 및 사용성 평가

## 6.1 안전성 평가

관로의 구조안전성에 관계되는 주요 항목은 관 재질을 비롯하여 관경, 관두께, 관 내수압 등이 있다. 이중 내압에 대한 취약부위는 관내수압이 크게 작용하는 지점이 된다.

관로 구조안전성 검토에 있어서 내압에 대한 내하력은 내압의 경우 관로에 작용할 수 있는 최대 정수압을 고려하여 적용하여 분석한다. 또한, 분석 결과(발생응력)에 의한 안전성 여부는 상수도시설기준(2010, 환경부), WSP 030-88(일본수도강관협회, 1998), 수도시설설계지침(2000, 일본수도협회) AWWA MANUAL M112ND(미국수도협회, 1984) 등의 평가 기준을 적용하여 판정한다.

### 6.1.1 구조 안전성 검토

#### 가. 검토기준

강관은 내압에 의하여 관의 원주방향으로 응력이 발생하며, 발생응력에 대한 허용기준은 상시하중(정수압)인 경우 강관 380MPa, 주철관 140MPa이다. 검토항목과 작용하중에 따라 적용되는 기준은 다음과 같다.

<표 6.1.1> 구조 안전성 허용기준

구분	검토항목	작용하중	허용기준	하중조건
내압	중온수배관	정수압	380	상시
	소화수배관	정수압	380	상시
	주철관	정수압	140	상시

#### 가) 관의 안전성

구조 안전성은 다음 식과 같이 내압 및 외압에 의한 발생하는 인장응력에 대해서, 관의 허용 인장강도를 만족하여야 한다.

$$2.5\sigma_{ts} < S(\text{인장강도})$$

여기서  $\sigma_{ts}$  : 내압(정수압)에 의한 인장강도(MPa)

S : 관 재료의 인장강도(380MPa, 140MPa)

각 관의 구조 안전성은 다음과 같은 공식을 적용하여 계산한다.

○ 작용하중

- 내압

$$\sigma_t = \frac{PD}{2t}$$

여기서 P : 정수압(MPa)

t : 관두께(mm)

D : 관의 내경(mm)

### 나. 구조안전성 계산

각 관의 구조 안전성은 대상관로에 대하여 발생하는 최대 정수압을 적용한 내압 의해 발생하는 인장응력을 검토하였다. 또한 구조적으로 가장 불리한 상황을 반영하기 위해서, 관두께는 관 초음파 두께 검사에서 측정된 최소 관 두께와 기준 관두께 가운데 작은 값을 적용하며, 서울대공원내의 관로에 공급되는 물은 자연유하로 공급되어 정수압을 적용하였다.

상기 조건에 의한 대상관로의 구조안전성 계산 결과는 다음 표와 같다.

<표 6.1.2> 구조 안전성 계산 결과표

구분	위치 (맨홀번호~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	정수압 (MPa)	내압 (MPa)	관두께 (mm)	안전율
중온수 배관	202~203	96	SPP	165.2	0.75	9.19	6.74	1이상
	202~203	177	SPP	165.2	0.75	9.29	6.67	1이상
	제2아프리카	10	SPP	89.1	0.75	5.19	6.43	1이상
	유인원관	40	SPP	76.3	0.75	6.27	4.57	1이상
	205~206	25	SPP	165.2	0.50	6.58	6.28	1이상
	205~206	32	SPP	165.2	0.50	5.87	7.03	1이상
	207'~221	53	SPP	165.2	0.50	6.48	6.37	1이상
	207~208	3	SPP	165.2	0.50	6.04	6.83	1이상
	216~217	88.2	SPP	165.2	0.40	5.08	6.50	1이상

&lt;표 6.1.2&gt; 구조 안전성 계산 결과표(계속)

구분	위치 (맨홀번호~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	정수압 (MPa)	내압 (MPa)	관두께 (mm)	안전율
소화수 배관	201~202	3	아연도금	165.2	1	19.98	4.13	1이상
	201~202	103	아연도금	165.2	1	22.13	3.73	1이상
	205~206	64	아연도금	165.2	0.75	17.02	3.64	1이상
	207~207'	78	아연도금	165.2	0.75	16.06	3.86	1이상
	209~210	95	아연도금	165.2	0.5	10.88	3.80	1이상
	212~213	108	아연도금	165.2	0.5	10.50	3.93	1이상
	216~217	30	아연도금	165.2	0.5	8.33	3.97	1이상
	216~217	30	아연도금	165.2	0.5	9.00	3.67	1이상
	216~217	30	아연도금	165.2	0.5	10.41	3.97	1이상
	220~221	33	아연도금	165.2	0.75	15.36	4.03	1이상
	223~224	3	아연도금	165.2	0.75	13.97	4.43	1이상
잡용수 배관	102~101	0	주철관	98	1.00	7.18	6.82	1이상
	101~102	25	주철관	98	1.00	7.48	6.55	1이상
	112~111	103	D주철관	222	1.00	16.16	6.87	1이상
	111~201	58	D주철관	222	1.20	21.71	6.14	1이상
	113~112	83	D주철관	222	1.20	22.10	6.03	1이상
	114~115	78	D주철관	222	1.20	27.23	4.89	1이상
	115~116	50	D주철관	222	1.20	29.77	4.48	1이상
	116~117	23	D주철관	222	1.20	27.41	4.86	1이상
	117~118	10	D주철관	222	1.20	49.15	2.71	1이상
	117~118	25	D주철관	222	1.20	44.23	3.01	1이상
	117~118	130	D주철관	222	1.20	26.02	5.12	1이상
	118~119	70	D주철관	222	1.20	25.91	5.14	1이상
	118~119	108	D주철관	222	1.20	19.66	6.78	1이상

&lt;표 6.1.2&gt; 구조 안전성 계산 결과표(계속)

구분	위치 (맨홀번호~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	정수압 (MPa)	내압 (MPa)	관두께 (mm)	안전율
잡용수 배관	201~202	10	주철관	378	1.00	22.24	6.27	1이상
	201~202	58	주철관	378	1.00	1	3.23	1이상
	202~203	50	주철관	378	0.75	0.75	5.75	1이상
	204~	30	주철관	274	0.75	6.49	7.50	1이상
	209~210	161	주철관	274	0.50	8.06	7.68	1이상
	210~211	108	주철관	274	0.50	8.06	7.58	1이상
	216~217	30	주철관	326	0.50	9.26	6.95	1이상
	217~218	203	주철관	326	0.50	9.26	7.59	1이상
	220~221	130	주철관	326	0.50	9.26	7.25	1이상

#### 다. 구조안전성 검토 결과

각 관의 구조 안전성은 대상관로에 대하여 발생하는 최대 정수압을 적용한 내압 의한 구조 안전성 검토를 실시한 결과, 서울대공원 지하구내 관의 구조 안전성은 안전율 1.0이상을 확보하고 있어 구조 안전성에는 문제점이 없는 것으로 검토 되었다.

## 6.2 관 노후도 검토

관로 노후도 검토에서는 관 외관조사, 시험 및 측정 결과 등을 분석하여 관의 잔존수명을 예측한다. 관의 잔존수명 예측은 영국 수도연구센터(Water Reserch Center)의 수도관로에 대한 노후도 평가 기술인 수도관로의 구조안전진단 요령(Guidance Manual for the Structural Condition Assesment of Trunk Mains) 과 매설 배관의 부식환경조사 및 분석기법개발(1999.12. 한국시설안전공단)의 내용을 적용하여, 다음과 같은 사항을 분석하여 수행하였다.

- 관의 노후화 메커니즘
- 관의 부식깊이
- 시간에 따른 관두께 감소(부식률)
- 관로사고가 일어나는 잔존 관두께의 한계

또한, 관의 잔존수명은 집중부식에 의해 용수공급 기능상 한계에 도달하는 시점을 예측하는 부식률에 의한 잔존수명과 부식에 의해 감소되는 관 두께가 외적 하중조건에서 관이 구조적인 안전성을 확보할 수 있는 한계에 도달하는 시점을 예측하는 응력조건을 고려한 잔존수명으로 구분하여 예측한다.

### 6.2.1 부식률에 의한 잔존수명

#### 가. 전제 조건

강재 관은 경과시간에 따라 부식률 변화 추세를 가지며, 이를 파악하기 위해서는 각종 환경 조건에서 단위 경과 시간별로 측정값이 필요하다. 그러나 본 내용에서는 부식률 변화추세를 직접 파악하는 것이 불가능하므로 다음과 같은 전제조건에 의해 부식률에 의한 잔존수명을 예측하였다.

- 관로 사용개시와 동시에 부식도 시작된다.

본 점검의 관 외면 상세검사 결과, 관로 시공시 손상된 피복 부위와 도장 시공이 불량한 부분에서 점부식이 시작되고 있으며, 이러한 부위는 배관 초기부터 부식이 진행되었다고 볼 수 있다.

- 경과시간에 따른 부식률 변화는 일정하다.

강재 관에서 부식률은 다음의 식과 같이 경과시간에 따라 감소한다.

$$P = k \times t^n$$

여기서 P : 부식깊이(mm)

k : 초기 부식률(mm/년)

t : 사용년수(년)

n : 지수

일반적으로, 토양 중에 매설된 강재 관은 매설환경에 따라 지수(n)는 0.4~0.8의 값을 갖는 것으로 보고되고 있으나, 본 대상 관로는 토양환경에 매설되어 있지 않으므로 시간에 걸쳐 측정된 부식 깊이에 의해 그 수치를 정량화 하기는 대단히 어렵다. 따라서 본 내용에서는 부식률이 시간에 관계없이 일정(n=1)하다고 전제하여 안전한 범위의 결과값(잔존수명이 실제수명보다 짧음)을 제공 되도록 한다.

○ 관의 외면 및 내면 최대 부식은 같은 위치에서 발생한다.

부식에 의해 전면적으로 관 두께가 작아지면, 외부하중(관내 수압)에 의한 관의 원주방향 응력이 증가하여 구조적인 안전성에 문제가 발생한다.

그러나 국부적인 집중부식에 의해서는 관의 구조적인 문제가 발생할 가능성이 적다. 따라서 본 내용의 관로 수명은 최대 부식깊이(국부적인 집중부식)를 적용하여 부식에 의해 관 두께가 관통함으로서 용수공급 기능상 한계에 도달하는 시점으로 한다. 다만 전면적인 부식을 적용하여 관의 응력조건을 고려하는 잔존수명은 다음 장에서 검토하였다.

○ 잔존 관두께는 최대 부식깊이를 기준으로 산정한다.

잔존 관두께는 현재의 관두께(측정 평균 관두께)에서 관 외면 및 내면의 최대 부식깊이를 감하여 산정한다. 노출면(관 외면)의 최대 부식깊이는 관 상세 검사 시 관로 피복을 제거한 후 깊이측정기(Pit Depth Gauge)를 이용하여 직접 측정하여, 직접 측정이 불가능한 경우에는 초음파 탐사를 이용하여 노출면(건전부)에서 측정된 과두께 가운데 최대값과 최소값의 차이를 적용하였다.

## 나. 잔존수명계산

본 점검에서 부식률이 시간경과에 따라 일정(n=1)하다고 전제할 경우, 잔존 수명은 다음의 식에 관두께, 초기 부식률 등을 적용하여 상세조사 지점을 대상으로 계산되며, 그 결과 다음 표와 같이 잔존수명이 예측된다.

$$t_1 = \frac{P_1}{k}$$

여기서,  $t_1$  : 잔존수명(년)

$$P_1 : \text{잔존 관두께(mm)} = P_{ave} - P_e - P_i$$

$$k : \text{초기 부식률(mm/년)} = \frac{P_e + P_i}{t}, \quad t : \text{사용년수(년)}$$

$P_e$  : 외면 부식깊이(mm), 직접 측정값

$P_i$  : 내면 부식깊이(mm) = 측정관두께

<표 6.2.1> 관 부식률에 의한 잔존수명 예측표

구분	위치 (맨홀번호 ~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	측정 관두께 (mm)			점부식 측정값 (mm)	잔존 관두께 (mm)	사용년수 (년) t	초기 부식률 (mm/년) k	잔존수명 t1
					최소	최대	평균					
중온수 배관	202~203	96	SPP	165.2	6.90	7.00	6.93	0.19	6.74	30	0.01	50년이상
	202~203	177	SPP	165.2	6.80	6.90	6.87	0.20	6.67	30	0.01	50년이상
	제2아프리카	10	SPP	89.1	6.40	6.50	6.43	0.00	6.43	30	0.02	50년이상
	유인원관	40	SPP	76.3	4.40	4.80	4.57	0.00	4.57	30	0.02	50년이상
	205~206	25	SPP	165.2	6.80	7.00	6.90	0.62	6.28	30	0.03	50년이상
	205~206	32	SPP	165.2	7.00	7.10	7.03	0.00	7.03	30	0.00	50년이상
	207'~221	53	SPP	165.2	6.70	6.80	6.73	0.36	6.37	30	0.02	50년이상
	207~208	3	SPP	165.2	6.80	6.90	6.83	0.00	6.83	30	0.01	50년이상
	216~217	88.2	SPP	165.2	7.00	7.00	7.00	0.50	6.50	30	0.02	50년이상
소화수 배관	201~202	3	아연도금	165.2	4.10	4.20	4.13	0.00	4.13	30	0.01	50년이상
	201~202	103	아연도금	165.2	4.10	4.20	4.13	0.40	3.73	30	0.04	50년이상
	205~206	64	아연도금	165.2	4.20	4.40	4.30	0.66	3.64	30	0.04	50년이상
	207~207'	78	아연도금	165.2	4.00	4.20	4.10	0.24	3.86	30	0.03	50년이상
	209~210	95	아연도금	165.2	3.80	3.90	3.83	0.04	3.80	30	0.04	50년이상
	212~213	108	아연도금	165.2	3.90	4.00	3.93	0.00	3.93	30	0.03	50년이상
	216~217	30	아연도금	165.2	3.80	4.10	3.97	0.00	3.97	30	0.03	50년이상
	216~217	30	아연도금	165.2	4.00	4.10	4.03	0.36	3.67	30	0.04	50년이상
	216~217	30	아연도금	165.2	3.80	4.10	3.97	0.00	3.97	30	0.03	50년이상
	220~221	33	아연도금	165.2	4.00	4.10	4.03	0.00	4.03	30	0.03	50년이상
	223~224	3	아연도금	165.2	4.10	4.70	4.43	0.00	4.43	30	0.01	50년이상



&lt;표 6.2.1&gt; 관 부식률에 의한 잔존수명 예측표(계속)

구분	위치 (맨홀번호 ~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	측정 관두께 (mm)			점부식 측정값 (mm)	잔존 관두께 (mm)	사용년수 (년) t	초기 부식률 (mm/년) k	잔존수명 t1
					최소	최대	평균					
잡용수 배관	102~101	0	주철관	98	6.90	7.30	7.07	0.24	6.82	30	0.02	50년이상
	101~102	25	주철관	98	7.20	7.40	7.33	0.78	6.55	30	0.03	50년이상
	112~111	103	D주철관	222	7.10	7.60	7.40	0.53	6.87	30	0.03	50년이상
	111~201	58	D주철관	222	6.90	7.50	7.23	1.10	6.14	30	0.06	50년이상
	113~112	83	D주철관	222	6.80	7.20	7.03	1.01	6.03	30	0.06	50년이상
	114~115	78	D주철관	222	7.10	7.50	7.37	2.48	4.89	30	0.10	50년이상
	115~116	50	D주철관	222	6.80	7.20	7.00	2.53	4.48	30	0.11	40년
	116~117	23	D주철관	222	7.20	7.40	7.30	2.44	4.86	30	0.10	49년
	117~118	10	D주철관	222	5.40	6.50	5.80	3.09	2.71	30	0.17	15년
	117~118	25	D주철관	222	5.40	6.30	5.87	2.86	3.01	30	0.16	18년
	117~118	130	D주철관	222	5.30	6.20	5.70	0.58	5.12	30	0.09	50년이상
	118~119	70	D주철관	222	6.80	7.20	6.97	1.83	5.14	30	0.09	50년이상
	118~119	108	D주철관	222	6.90	7.30	7.10	0.32	6.78	30	0.03	50년이상
	201~202	10	주철관	378	7.70	8.10	7.90	1.63	6.27	30	0.07	50년이상
	201~202	58	주철관	378	6.30	7.40	6.90	3.67	3.23	30	0.18	18년
	202~203	50	주철관	378	7.10	7.20	7.17	1.42	5.75	30	0.09	50년이상
	204~205	30	주철관	274	7.00	8.10	7.50	0.00	7.50	30	0.03	50년이상
	209~210	161	주철관	274	7.80	8.10	7.97	0.28	7.68	30	0.03	50년이상
	210~211	108	주철관	274	7.80	8.20	7.97	0.39	7.58	30	0.03	50년이상
	216~217	30	주철관	326	7.10	7.60	7.33	0.38	6.95	30	0.06	50년이상
217~218	203	주철관	326	7.80	8.10	7.97	0.38	7.59	30	0.04	50년이상	
220~221	130	주철관	326	8.40	9.10	8.73	1.48	7.25	30	0.05	50년이상	

부식률에 의한 잔존수명검토는 관의 잔존수명 예측을 관 상세 검사에서 측정된 관 두께와 부식깊이를 기준으로 하여 국한적인 검토 지점에 대한 결과이므로 전체 관로에 대한 대표적 판단에는 무리가 있고, 피복에 의한 부식 억제 효과 등 주변환경인자에 의해 정량적으로 감안할 수 없기 때문에 정확한 수명 예측에 한계가 있다.

그러나 측정값을 기준으로 불리한 전제조건을 반영하였기 때문에 각관은 대체적으로 50년 이상의 잔존수명을 가지고 있으나, 잡용수 배관에서 일부 구간에서 50년 이하의 잔존년수가 검토되었다. 잔존년수 50년 미만의 관에 대해서는 관로에 대한 주의관찰이 필요하고 관 교체를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## 6.2.2 응력조건을 고려한 잔존수명

부식률에 의한 잔존수명은 관의 외적 하중에 의해 발생하는 응력을 고려하지 않은 상태에서 순수한 부식률만을 적용하여 용수공급 기능상 한계(누수 등)에 도달하는 시점에 대해서 예측하였다. 그러나 관로의 파손 사고는 부식환경과 외적 환경요인 등의 복합적인 요인에 의해서 발생되므로 본장에서는 부식에 의해 감소되는 관 두께가 외적 하중 조건에서 관이 구조적으로 안전성을 확보할 수 있는 한계에 도달하는 시점(관 파손 발생 시점)에 대해서 예측한다.

### 가. 전제조건

○ 관로에 작용하는 하중(내압)에 의해 발생하는 응력과 허용응력을 비교하여 최소 허용 관두께를 산정하고, 현장에서 측정된 잔존 관두께와 부식률(mm/년)를 적용하여 잔존 수명을 예측한다. 이를 위해서 다음과 같은 전제조건을 설정하였다.

○ 최소허용 관두께는 검토 지점에서 내압을 적용하여 계산된 발생응력이 관의 허용응력에 도달하는 한계 관두께로 한다. 즉, 외적 하중 조건에 구조적으로 견딜 수 있는 최소한의 관 두께를 의미하며, 적용되는 계산 조건과 허용응력은 관의 구조안전성 검토 내용과 같다.

○ 국부적인 집중부식 부위에서 관의 구조적인 무제가 발생할 가능성이 적으므로 잔존 관 두께는 부식에 의해 전면적으로 작아진 관두께를 적용하여야 하나, 불리한 조건을 감안하기 위해서 측정 관두께 가운데 최소값을 적용한다.

나. 잔존수명 계산

상기의 전제조건에 의해 응력조건을 고려한 잔존 수명은 다음의 식에 의해 계산되며, 그 결과 다음 표와 같이 잔존수명이 예측된다.

$$t_1 = \frac{P_1}{k}$$

여기서,  $t_1$  : 잔존수명(년)

$$P_1 : \text{잔존 관두께(mm)} = P_{ave} - P_e - P_i$$

$$k : \text{초기 부식률(mm/년)} = \frac{P_e + P_i}{t}, \quad t : \text{사용년수(년)}$$

$P_e$  : 외면 부식깊이(mm), 직접 측정값

$P_i$  : 내면 부식깊이(mm) = 측정관두께

<표 6.2.2> 관 응력조건에 의한 잔존수명 예측표

구분	위치 (맨홀번호 ~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	측정 관두께 (mm)			점부식 측정값 (mm)	잔존 관두께 (mm)	이론 두께 (mm)	사용 년수 (년) t	초기 부식률 (mm/년) k	잔존수명 t1
					최소	최대	평균						
중온수 배관	202~203	96	SPP	165.2	6.90	7.00	6.93	0.19	6.74	2.55	30	0.01	50년이상
	202~203	177	SPP	165.2	6.80	6.90	6.87	0.20	6.67	2.55	30	0.01	50년이상
	제2아프리카	10	SPP	89.1	6.40	6.50	6.43	0.00	6.43	2.54	30	0.02	50년이상
	유인원관	40	SPP	76.3	4.40	4.80	4.57	0.00	4.57	2.54	30	0.02	50년이상
	205~206	25	SPP	165.2	6.80	7.00	6.90	0.62	6.28	2.54	30	0.03	50년이상
	205~206	32	SPP	165.2	7.00	7.10	7.03	0.00	7.03	2.54	30	0.00	50년이상
	207'~221	53	SPP	165.2	6.70	6.80	6.73	0.36	6.37	2.54	30	0.02	50년이상
	207~208	3	SPP	165.2	6.80	6.90	6.83	0.00	6.83	2.54	30	0.01	50년이상
	216~217	88.2	SPP	165.2	7.00	7.00	7.00	0.50	6.50	2.54	30	0.02	50년이상
소화수 배관	201~202	3	아연도금	165.2	4.10	4.20	4.13	0.00	4.13	2.55	30	0.01	50년이상
	201~202	103	아연도금	165.2	4.10	4.20	4.13	0.40	3.73	2.55	30	0.04	42년
	205~206	64	아연도금	165.2	4.20	4.40	4.30	0.66	3.64	2.55	30	0.04	43년
	207~207'	78	아연도금	165.2	4.00	4.20	4.10	0.24	3.86	2.55	30	0.03	46년
	209~210	95	아연도금	165.2	3.80	3.90	3.83	0.04	3.80	2.55	30	0.04	36년
	212~213	108	아연도금	165.2	3.90	4.00	3.93	0.00	3.93	2.55	30	0.03	45년
	216~217	30	아연도금	165.2	3.80	4.10	3.97	0.00	3.97	2.54	30	0.03	48년
	216~217	30	아연도금	165.2	4.00	4.10	4.03	0.36	3.67	2.54	30	0.04	37년
	216~217	30	아연도금	165.2	3.80	4.10	3.97	0.00	3.97	2.55	30	0.03	48년
	220~221	33	아연도금	165.2	4.00	4.10	4.03	0.00	4.03	2.55	30	0.03	50년이상
	223~224	3	아연도금	165.2	4.10	4.70	4.43	0.00	4.43	2.55	30	0.01	50년이상

&lt;표 1.3.1&gt; 관 용력조건에 의한 잔존수명 예측표(계속)

구분	위치 (맨홀번호 ~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	측정 관두께 (mm)			점부식 측정값 (mm)	잔존 관두께 (mm)	이른 두께 (mm)	사용 년수 (년) t	초기 부식률 (mm/년) k	잔존수명 t1
					최소	최대	평균						
잡용수 배관	102~101	0	주철관	98	6.90	7.30	7.07	0.24	6.82	2.54	30	0.02	50년이상
	101~102	25	주철관	98	7.20	7.40	7.33	0.78	6.55	2.54	30	0.03	50년이상
	112~111	103	D주철관	222	7.10	7.60	7.40	0.53	6.87	2.55	30	0.03	50년이상
	111~201	58	D주철관	222	6.90	7.50	7.23	1.10	6.14	2.55	30	0.06	50년이상
	113~112	83	D주철관	222	6.80	7.20	7.03	1.01	6.03	2.55	30	0.06	50년이상
	114~115	78	D주철관	222	7.10	7.50	7.37	2.48	4.89	2.55	30	0.10	49년
	115~116	50	D주철관	222	6.80	7.20	7.00	2.53	4.48	2.55	30	0.11	40년
	116~117	23	D주철관	222	7.20	7.40	7.30	2.44	4.86	2.55	30	0.10	48년
	117~118	10	D주철관	222	5.40	6.50	5.80	3.09	2.71	2.55	30	0.17	19년
	117~118	25	D주철관	222	5.40	6.30	5.87	2.86	3.01	2.55	30	0.16	20년
	117~118	130	D주철관	222	5.30	6.20	5.70	0.58	5.12	2.55	30	0.09	35년
	118~119	70	D주철관	222	6.80	7.20	6.97	1.83	5.14	2.55	30	0.09	49년
	118~119	108	D주철관	222	6.90	7.30	7.10	0.32	6.78	2.55	30	0.03	50년이상
	201~202	10	주철관	378	7.70	8.10	7.90	1.63	6.27	2.57	30	0.07	50년이상
	201~202	58	주철관	378	6.30	7.40	6.90	3.67	3.23	2.57	30	0.18	24년
	202~203	50	주철관	378	7.10	7.20	7.17	1.42	5.75	2.56	30	0.09	50년이상
	204~	30	주철관	274	7.00	8.10	7.50	0.00	7.50	2.54	30	0.03	50년이상
	209~210	161	주철관	274	7.80	8.10	7.97	0.28	7.68	2.55	30	0.03	50년이상
	210~211	108	주철관	274	7.80	8.20	7.97	0.39	7.58	2.55	30	0.03	50년이상
	216~217	30	주철관	326	7.10	7.60	7.33	0.38	6.95	2.57	30	0.06	50년이상
217~218	203	주철관	326	7.80	8.10	7.97	0.38	7.59	2.57	30	0.04	50년이상	
220~221	130	주철관	326	8.40	9.10	8.73	1.48	7.25	2.57	30	0.05	50년이상	

응력조건에 의한 잔존수명검토는 정수압, 환경요인 등에 의해 구조안전상 취약한 지점에 있어서 구조적으로 요구되는 최소 허용관두께와 해당지점이 포함된 관로구간에서 측정된 최소 관두께와 최대 초기 부식률을 적용하여 산정된 결과이므로 전체 관로에 대한 대표적 판단에는 무리가 있다. 그러나 검토 지점에 대해서는 가장 불리한 조건을 반영하였기 때문에 각관은 대체적으로 50년 이상의 잔존수명을 가지고 있으나, 소화수 배관과 잡용수 배관에서 일부 구간에서 50년 이하의 잔존년수가 검토되었다. 잔존년수 50년 미만의 관에 대해서는 관 교체를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### 6.2.3 관 노후도 검토 결과

관 노후도 검토는 집중부식에 의해 용수공급 기능상 한계에 도달하는 시점을 예측하는 부식률에 의한 잔존수명과 부식에 의해 감소되는 관 두께가 외적 하중 조건에서 관이 구조적인 안전성을 확보할 수 있는 한계에 도달하는 시점을 예측하는 응력조건을 고려한 잔존수명으로 구분하여 수행되며, 검토 결과 부식률에 의한 잔존수명은 최소 15년 이상, 응력조건을 고려한 잔존수명은 최소 19년 이상을 확보하는 것으로 파악된다.

따라서 50년 이하의 잔존수명을 보유하고 있는 관로에 대해서는 관 교체를 고려해야 할 것으로 판단되며 대상 구간은 다음과 같이 정리하였다.

<표 6.2.3> 관 노후도 검토 결과, 조치 및 점검 대상지점 현황

구분	위치 (맨홀번호 ~맨홀번호)	sta.	관종	관경 (mm)	부식률에 의한 잔존수명(년)	응력조건을 고려한 잔존수명(년)	조치(안)
소화수 배관	201~202	103	아연도금	165.2	-	42년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	205~206	64	아연도금	165.2	-	43년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	207~207'	78	아연도금	165.2	-	46년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	209~210	95	아연도금	165.2	-	36년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	212~213	108	아연도금	165.2	-	45년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	216~217	30	아연도금	165.2	-	48년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	216~217	30	아연도금	165.2	-	37년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
	216~217	30	아연도금	165.2	-	48년	정기점검, 스케일제거 및 갱생
잡용수 배관	114~115	78	D주철관	222	-	49년	정기점검, 관 교체
	115~116	50	D주철관	222	40년	40년	정기점검, 관 교체
	116~117	23	D주철관	222	49년	48년	정기점검, 관 교체
	117~118	10	D주철관	222	15년	19년	정기점검, 관 교체
	117~118	25	D주철관	222	18년	20년	정기점검, 관 교체
	117~118	130	D주철관	222	-	35년	정기점검, 관 교체
	118~119	70	D주철관	222	-	49년	정기점검, 관 교체
	201~202	58	주철관	378	18년	24년	정기점검, 관 교체

## 6.3 관 사용성 평가

### 6.3.1 개요

관의 사용성 평가는 현재 국내에 사용성 제한여부에 대해서 명확한 규정이 정립되어 있지 않은 관계로 상태평가와 안전성 평가 및 노후도 평가 3가지의 요인과 유사 법규를 준용하여 관로의 사용성에 대한 평가를 실시하였고 관련 법규는 다음과 같다.

<표 1.3.1> 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수 범위표(개정 2011.5.27.)

구분	지방공기업법 시행규칙(제19조제1항제1호 관련) - 별표 2	
	기준내용연수 및 내용연수 범위 (하한~상한)	구조 또는 자산명
1	5년	차량 및 운반구(운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 차량 및 운반구를 제외한다), 공구, 기구 및 비품
2	12년	선박 및 항공기(어업, 운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 선박 및 항공기를 제외한다)
3	20년	연와조, 블록조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 기타 조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물
4	40년	<b>철골·철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물</b>

1. 건물(부속설비를 포함한다) 및 건축물이 기준내용연수 및 내용연수범위가 서로 다른 2 이상의 복합구조로 구성되어 있는 경우에는 주된 구조에 의한 기준내용연수 및 내용연수범위를 적용한다.
2. 구분 3과 구분 4를 적용함에 있어서 부속설비에는 당해 건물과 관련된 전기설비, 급배수·위생설비, 가스설비, 냉방·난방·통풍 및 보일러설비, 승강기설비 등 모든 부속설비를 포함하고, 건축물에는 하수도, 굴뚝, 경륜장, 포장도로, 교량, 도크, 방벽, 철탑, 터널 기타 토지에 정착한 모든 토목설비나 공작물을 포함한다. 다만, 부속설비를 건축물과 구분하여 업종별 자산으로 회계처리하는 경우에는 별표 6을 적용할 수 있다.
3. 구분 3과 구분 4를 적용함에 있어서 건물중 변전소, 발전소, 공장, 창고, 정거장·정류장·차고용 건물, 폐수 및 폐기물처리용 건물, 「유통산업발전법 시행령」에 의한 대형 점용 건물(당해 건물의 지상층에 주차장이 있는 경우에 한한다), 건축물중 굴뚝, 경륜장, 포장도로와 폐수 및 폐기물처리용 건축물과 그 밖에 진동이 심하거나 부식성 물질에 심하게 노출된 것은 내용연수를 각각 10년, 20년으로 적용한다.
4. 상하수도사업의 경우 건축물에 한하여 다음과 같이 적용한다.
  - 토목시설 및 그 밖의 수도시설 : 30년(취수·도수·정수·배수지설비시설 등)
  - 스텐레스 관, 주철관, 강관 : 30년
  - PVC관, PE관 : 20년
  - 아연도강관 : 10년
  - 그 밖의 관(재질에 따라) : 20-30년
  - 수도관 부속설비 : 20-30년

&lt;표 1.3.1&gt; 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수 범위표(개정 2011.2.28.)

구분	법인세법 시행규칙(제15조제3항 관련) - 별표 5	
	기준내용연수 및 내용연수 범위 (하한~상한)	구조 또는 자산명
1	5년 (4년~6년)	차량 및 운반구(운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 차량 및 운반구를 제외한다), 공구, 기구 및 비품
2	12년 (9년~15년)	선박 및 항공기(어업, 운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 선박 및 항공기를 제외한다)
3	20년 (15년~25년)	연와조, 블록조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 기타 조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물
4	<u>40년</u> (30년~50년)	<u>철골·철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물</u>

1. 건물(부속설비를 포함한다) 및 건축물이 기준내용연수 및 내용연수범위가 서로 다른 2 이상의 복합구조로 구성되어 있는 경우에는 주된 구조에 의한 기준내용연수 및 내용연수범위를 적용한다.
2. 구분 3과 구분 4를 적용함에 있어서 부속설비에는 당해 건물과 관련된 전기설비, 급배수·위생설비, 가스설비, 냉방·난방·통풍 및 보일러설비, 승강기설비 등 모든 부속설비를 포함하고, 건축물에는 하수도, 굴뚝, 경륜장, 포장도로, 교량, 도크, 방벽, 철탑, 터널 기타 토지에 정착한 모든 토목설비나 공작물을 포함한다. 다만, 부속설비를 건축물과 구분하여 업종별 자산으로 회계처리하는 경우에는 별표 6을 적용할 수 있다.
3. 구분 3과 구분 4를 적용함에 있어서 건물중 변전소, 발전소, 공장, 창고, 정거장·정류장·차고용 건물, 폐수 및 폐기물처리용 건물, 유통산업발전법시행령에 의한 대형점용 건물(당해 건물의 지상층에 주차장이 있는 경우에 한한다), 국제회의산업육성에 관한 법률에 의한 국제회의시설 및 무역거래기반조성에 관한 법률에 의한 무역거래기반시설(별도의 건물인 무역연수원을 제외한다), 축사, 건축물 중 하수도, 굴뚝, 경륜장, 포장도로와 폐수 및 폐기물처리용 건축물과 기타 진동이 심하거나 부식성 물질에 심하게 노출된 것은 기준내용연수를 각각 10년, 20년으로 하고, 내용연수범위를 각각(8년~12년), (15년~25년)으로 하여 신고내용연수를 선택적용할 수 있다.

&lt;표 1.3.1&gt; 업종별자산의 기준내용연수 및 내용연수 범위표(개정 2013.2.23.)

구분	법인세법 시행규칙(제15조제3항) - 별표 6 발췌		
	기준내용연수 및 내용연수 범위 (하한~상한)	적용대상자산(다음에 규정된 한국표준 산업분류상 해당업종에 사용되는 자산)	
		대분류	중분류
1	20년 (15년~25년)	전기, 가스, 증기 및 수도사업	수도사업

### 6.3.2 사용성 판정결과

관로 사용성 판정을 위하여 상태판정, 안전성판정, 노후도 평가 등의 검토 내용과 상기에 언급된 관련 법규를 준용하여 서울대공원 지하구내의 각 배관의 사용성 판정을 실시하였으며, 실시 결과는 다음표와 같다.

관종	상태판정 등급	안전성판정 등급	노후도 평가 (최소사용기간)	사용기간	관련법규에 사용기간	사용성 판정
중온수배관	c	a	20년	30년	20년	0.3m층상부식 (관 교체)
소화수배관	c	a	15년	30년	10년	700m부식심화 (관 교체)
잡용수배관	e	a	15년	30년	20~30년	1.5km부식심화 (관 교체)

상기와 같이 관로의 사용성 판정 결과, 서울대공원 지하구내 관로에 대한 사용성 판정은 조사내용 및 관련 규정에 의거한 판정결과, 관로의 사용성에 문제가 우려되어 보완(관 교체)이 필요한 것으로 판정되었다.