

KOSHA GUIDE

M - 116 - 2012

## 기기 및 배관의 부식관리 기술지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단
- 개정자 : 안전연구실
- 제 · 개정경과
  - 1998년 3월 기계안전분야 제정위원회 심의
  - 1998년 6월 총괄 제정위원회 심의
  - 2007년 4월 기계안전분야 제정위원회 심의
  - 2007년 5월 총괄 제정위원회 심의
  - 2012년 4월 기계안전분야 제정위원회 심의(개정)
- 관련규격 및 자료
  - 설비진단핸드북(일본철강협회)
  - CORROSION ENGINEERING(M. G. FONTANA)
  - CORROSION(DENNY A. JONES)
  - API Code(미국 석유화학협회)
  - 금속부식공학(이 학 열)
- 관련 법규 · 규칙 · 고시 등
  - 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제2편 제2장 제4절 제256조(부식방지)
- 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6 월 20 일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

## 기기 및 배관의 부식관리 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제2편 제2장 제4절 제256조(부식방지)의 규정에 따라 사업장내 기기 및 배관의 부식관리를 위하여 적용하여야 할 지침을 정함을 목적으로 한다.

### 2. 적용범위

이 기술지침은 사업장내의 기기, 노출배관 및 매설배관 등에 적용한다.

### 3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “부식”이라 함은 금속이 그 주위환경의 여러 가지 물질과 화학적 반응을 일으켜서 녹이 발생하여 금속제품으로서의 성능을 저하시키는 현상을 말한다.

(나) “점부식”이라 함은 금속표면에 국부적으로 발생하는 점 형태의 부식을 말한다.

(다) “극간부식”이라 함은 구조물의 틈새에 생기는 부식을 말한다.

(라) “입계부식”이라 함은 금속 결정립계의 경계를 따라서 좁은 폭으로 생기는 부식을 말한다.

(마) “침식(Erosion)”이라 함은 빠르게 유동하는 유체에 의해서 금속면이 깎이는 현상을 말한다.

(바) “보온재하 부식(Corrosion under insulation)”이라 함은 보온재내에 물 또는 습기 등이 침투되거나 접촉하여 국부부식이나 응력부식 균열을 야기하는 현상을 말한다.

(사) “고온산화”라 함은 금속이 실온 또는 고온에서 산소, 황, 할로겐 등과 같은 산화성 기체에 노출되면 전해액이 없어도 부식이 발생하는 현상을 말한다.

- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙 및 고용노동부 고시에서 정하는 바에 의한다.

## 4. 일반사항

### 4.1 부식으로 인한 손실

설비의 부식 또는 부식으로 인해 야기된 사고에 의한 직·간접손실은 다음과 같다.

- (1) 조업정지
- (2) 제품의 손실 및 공해유발
- (3) 설비의 성능저하 및 효율감소
- (4) 유지 보수비 과다
- (5) 부식율에 관한 정보가 없는 경우 과다 설계

### 4.2 부식의 분류

#### 4.2.1 발생부위에 따른 부식의 분류

- (1) 전면부식
- (2) 국부부식
  - (가) 점부식
  - (나) 극간부식
  - (다) 입계부식

#### 4.2.2 부식 환경에 따른 부식의 분류

- (1) 수용액에 의해서 일어나는 수용액부식
- (2) 기체에 의해서 일어나는 기체부식
- (3) 용융염에 의해서 일어나는 용융염부식
- (4) 비수용액에 의해서 일어나는 비수용액부식
- (5) 액체금속에 의해서 일어나는 액체금속부식

### 4.3 부식에 영향을 미치는 인자

- (1) 산소

- (2) pH
- (3) 수분
- (4) 대기 중 불순물
- (5) 농도
- (6) 온도

## 5. 부식시험의 종류 및 적용

### 5.1 부식시험의 종류

- (1) 부식시험의 종류는 시험액 시험과 실용액 시험으로 구분되며 다음과 같이 세분된다.
  - (가) 부식 매질에 노출된 대규모의 공장기기에서의 실제운전경험
  - (나) 상업적 혹은 가동시험 공장(Pilot plant) 조건하에서 소규모 공장 또는 기기 운전경험
  - (다) 현장에서 샘플테스트
  - (라) 실제 공장의 유체 혹은 모의 환경에서의 시험실 샘플테스트
- (2) 부식시험의 선택은 시험의 목적에 적합한 방법을 선택하여야 한다.

### 5.2 부식시험의 적용

공장 혹은 현장 부식 시험은 다음 사항을 수립하기 위하여 적절하게 적용하여야 한다.

- (1) 특정한 환경을 건디어 내며 그 환경 속에서 가능한 내구성을 예측하기 위한 가장 적절한 재료의 선정
- (2) 부식 발생 기구를 규명하고 부식방지 수단의 유용성 연구
- (3) 특정 환경에서의 내식성이 우수한 합금 및 금속 개발

## 6. 부식율 결정

### 6.1 부식율

- (1) 부식율은 일정 시간당, 단위 면적당 감소된 무게를 구하여 산정하거나 일정기간 동안의 측정 두께 감소율로 계산한다.
- (2) 부식율은 부식의 정도를 나타내거나 잔여수명을 예측하고, 일정 또는 여러 환경 하에서의 각각의 재질에 대한 부식속도를 비교하거나 적정 재질

을 선택하는데 사용된다.

## 6.2 부식율의 계산

(1) 부식율은 다음의 식 (1), (2)로부터 구할 수 있다.

(가) 무게 감소에 의한 부식율 산정법

$$\text{부식율(mm/yr)} = \frac{87.6W}{DAT} \quad \text{또는} \quad \frac{87,600W}{DAT} \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기에서     W : 무게감소(mg)  
                   D : 밀도(g/cm<sup>3</sup>)  
                   A : 면적(cm<sup>2</sup>)  
                   T : 시간(hr)

(나) 두께 감소에 의한 부식율 산정법

$$\text{부식율(mm/yr)} = \frac{\text{최초측정두께}-\text{최종 측정두께}}{\text{검사기간}} \quad \text{또는} \quad \frac{\text{공칭두께}-\text{측정두께}}{\text{사용년수}} \quad - (2)$$

(2) 부식율의 상대비교는 <표 1> 과 같다.

<표 1> 부식율의 상대비교

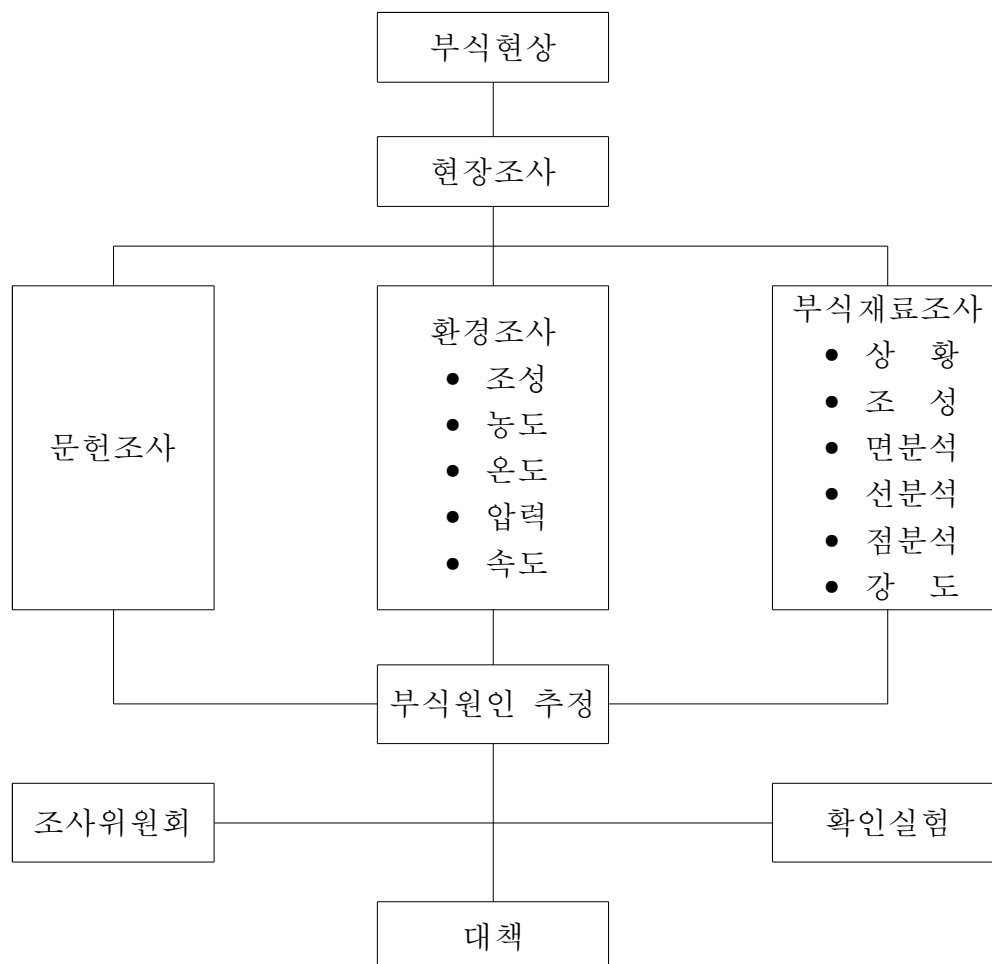
상대적 부식상태	mm/yr	μm/yr
월 등 함	<0.02	<25
아 주 중 음	0.02-0.1	25-100
중 음	0.1-0.5	100-500
적 정	0.5-1	500-1000
나 뵈	1-5	1000-5000
아 주 나 뵈	5 초과	5000 초과

※ 참고 : M. G. Fontana, Corrosion Engineering 3rd ed, Mcgraw-Hill, P.172, 1986.

## 7. 부식진단 방법

### 7.1 부식진단 일반

- (1) 부식진단의 목적은 기기 및 배관에서 발생되고 있는 부식정도를 직접 및 간접적으로 조사하여 설비의 내구성을 추정하거나 보수 및 교체시기를 결정하는데 이용하는 동시에 차기의 설계, 제작 및 조업에 참고하여 설비 전체의 안전성을 높이기 위함이다.
- (2) 부식진단 측정방법은 운전상태(운전 중과 운전정지 후)에 따라 구분되며 <별표 1> 과 같다
- (3) 부식진단에는 <그림 1> 과 같이 진단처리과정을 작성하여 기술적 상호 관련성을 확립하고 대책을 수립하여야 한다.



<그림 1> 부식현상과 대책수립 흐름도

## 7.2 부식진단 시 검토항목

- (1) 부식진단은 가능한 한 운전을 정지한 상태에서 정밀하게 실시하여야 한다.
- (2) 부식진단은 운전 중에도 실시할 수 있으므로 이 경우에는 운전조건을 고려하여 가장 적절한 진단방법의 선정이 검토되어야 한다.
- (3) 부식에 의해 주변기기 및 계기류에 이상 징후가 나타나거나, 내부 부품의 부식 및 침식에 의해 공장의 성능저하를 일으키게 되는 경우에는 운전 중일지라도 부식진단을 실시하여야 한다.
- (4) 부식진단을 위하여는 보다 넓은 안목으로 사용하는 유체 및 장치의 특징을 충분히 파악하여야 한다.
- (5) 부식에 의해 중대한 사고로 발전할 가능성이 있는 부위 또는 지금까지의 실적으로 보아 부식상태가 불량한 부위 등에 대하여는 부식의 진전 상황을 감시하는 역할을 하는 체크포인트를 사전에 정하여야 한다.
- (6) 부식진단측정 및 부식의 해석을 하는데 필요한 검토항목은 〈별표 2〉와 같다.

## 7.3 부식진단 실시방법

### (1) 외관관찰과 두께 측정

- (가) 일반적인 방법으로서 피검사체 표면의 오염물, 녹 등을 제거 한 후 부식 발생부위에 대해 정밀하게 관찰하고 부식의 형태를 조사한다.
- (나) 부식부위에 대해 보다 정밀한 조사가 필요할 경우 전자현미경 및 광학현미경을 이용하여 금속 미세조직에서의 열화 및 균열을 관찰한다.
- (다) 두께 측정에는 다음의 측정게이지가 사용된다.
  - ① 기계적인 방법 : 마이크로미터, 깊이게이지 등
  - ② 비파괴 방법 : 초음파 두께게이지 등
- (라) 와전류를 이용하는 방법은 대상면에 여자코일과 검출코일을 내장한 특수센서를 근접시켜 금속내에 발생하는 와전류의 변화를 이용하여 결함을 검출한다. 열교환기용 동합 금제 관내면의 점부식 및 균열의 검출에 주로 사용한다.
- (마) 부식상태가 점부식이 발생하고 있는 경우에는 점부식의 정도를 다음과 같이 표시한다.



점부식 정도 : 2.0N, 0.5D, 0.025H

여기에서 N : 점부식 수(개/cm<sup>2</sup>)

D : 점부식 깊이(mm)

H : 침식도(mm/yr)

## (2) 시험편에 의한 조사

(가) 조사할 기기내에 시험편을 설치하여 놓고 그 환경내에서 부식량을 평가 하여 적정재료의 선정에 이용하는 방법이다. 설치전에 중량을 측정해 놓고 일정기간이 경과한 후에 회수해서 표면 처리후에 부식에 의한 감소량, 점부 식수 및 균열 정도 등을 마이크로미터, 깊이계 이지등을 사용해서 측정한다.

(나) 시험시간은 다음의 식(3)에 따라 정한다.

$$\text{시험기간(hr)} = \frac{50}{\text{부식율(mm/yr)}} \text{-----} \quad (3)$$

시험시간이 1개월 이하인 경우는 신뢰성이 저하되므로, 대략 6개월 또는 1년으로 정한다.

(다) 시험편 표면에 기름성분이 부착되어 있는 경우는 아세톤, 사염화탄소 또는 알콜 등으로 제거하고, 모재의 손실을 방지하기 위해서는 나일론 플랜지를 사용하거나 세정액으로 단시간에 방청처리를 한다.

(라) 전기화학적 처리방법은 전해액 중에서 시편을 음극으로 하여 전해시켜, 수소발생에 따라서 부착물을 잘 제거할 수 있는 방법이다. 전해액과 전해조건은 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 부식억제제 2.0 mL/L, 불용성 전극을 사용하고, 시편을 음극으로 해서 전류밀도 20 A/dm<sup>2</sup>, 74℃, 3분에서 1~2회를 실시한다. 다만, 세정액 및 전해액을 사용하는 경우는 부식량의 10% 이하로 억제하여야 한다.

(마) 이 조사방법을 실제 기기에 적용할 때의 주의점은 다음과 같다.

- ① 열교환기에서 부식발생 정도의 확인은 증기의 응축부에서 실시하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 증류탑, 반응탑의 증기부에서는 보온 등의 관계에서 의외로 부식물을 응축시켜 국부부식이 되기 쉬움을 인지하여야 한다.
- ③ 밸브 부근에서는 침식의 경우가 많으므로 시험편의 설치가 곤란하다.

이러한 상황에서는 시험용 밸브를 사용하는 경우가 많다.

- ④ 서로 다른 종류의 재료를 동일 용기내에 침적한 경우는, 용기속의 환경조건 및 장치 자체의 부식 생성물에 의해 영향을 받으므로 주의하여야 한다.
- ⑤ 부식후의 조성이 장소에 따라서 달라지는 경우에는, 신뢰성을 높이기 위하여 가능한 한 많은 시험편을 부착하여, 각 장소의 부식성을 조사한다.

### (3) 전기저항법

(가) 금속은 부식에 의해 살두께가 감소하므로, 그때의 시험편의 전기저항은 길이가 일정하면 증가하는 원리를 이용한 것이 전기저항법이다. 이 방법은, 점부식 및 국부 부식용으로는 적합하지 않지만, 입계부식성의 평가에는 유효하다.

(나) 전기저항법의 특징은 다음과 같다.

- ① 부식생성물을 제거할 필요가 없다.
- ② 시험편을 부식 환경에 설치한 상태 그대로 연속측정이 가능하다.
- ③ 측정감도가 좋다.
- ④ 교류를 이용하므로 전해부식의 문제는 없다.

### (4) 부식전위의 측정

(가) 부식전위는 금속표면 및 환경측 인자의 불균일성 및 변화에 따라서 영향을 받게 되므로, 시간적 변화를 측정하는 것은 금속표면상태 및 금속성의 경향을 알아야 한다.

(나) 측정결과에 따라 직접 부식속도를 알 수는 없지만, 시험실에서 사전에 전기화학적 특성을 구함으로써 이 데이터와 비교하여 부식상태를 추정하는 것이 가능하다.

(다) 스테인리스강과 같이 국부부식의 발생가능성이 큰 부식 거동을 예측하는데 적절하다.

### (5) 분극저항법

(가) 이 방법은 시험편, 조합전극, 대극의 3극으로 구성되어 있으며, 부식환경에 맞추어 설치하여, 전기화학적으로 그 환경중의 부식속도를 측정하는 방법이다. 이 방법은 시험편에 대하여  $\pm 10$  mV정도의 음극 및 양극으로 분극시켜 그때의 분극특성에서 부식속도를 구하는 것이다.

(나) 분극저항법의 특징은 다음과 같다.

- ① 금속표면변화가 발생하기 쉬우므로 반복 측정하여도 그 후의 부식 상태에 변화가 일어나지 않는다.
- ② 측정감도가 양호하므로 부식전류밀도  $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  정도도 측정 가능하다.
- ③ 자동기록이 가능하다.
- ④ 중성, 알칼리성 용액중의 탄소강과 같이 산화막 등 부식성 생성물이 가능한 경우에는 금속표면의 변화를 위한 분극저항이 일정한 값을 나타내지 않는 경우가 있다.
- ⑤ 전도율이 낮은 수용액 중에서는 용액저항을 위한 측정이 곤란하다.

#### (6) 입계부식 측정법

(가) 오스테나이트계 스테인레스 강의 입계부식 실험방법에는 화학적인 방법과 전기화학적인 방법이 있다.

(나) 화학적인 방법의 경우 용액과 용기가 반응하지 않는 적당한 용기, 가능한 한 한 시편의 전면적이 용액과 접촉 할 수 있도록 할 수 있는 시편홀더 등이 필요하다.

① 비등 65 % 질산 부식시험(Huey test) : 끓는 질산에 48시간 주기로 침

적

② 10 % 옥살산 에칭시험(Streicher test) : 시편을 사포로 연마한 뒤 10 % oxalic acid 내에서  $1 \text{ A}/\text{cm}^2$  전류 밀도를 붙이고 1.5분간 에칭(Etching) 한 다음, 표면을 250~500배율의 현미경으로 조직 관찰

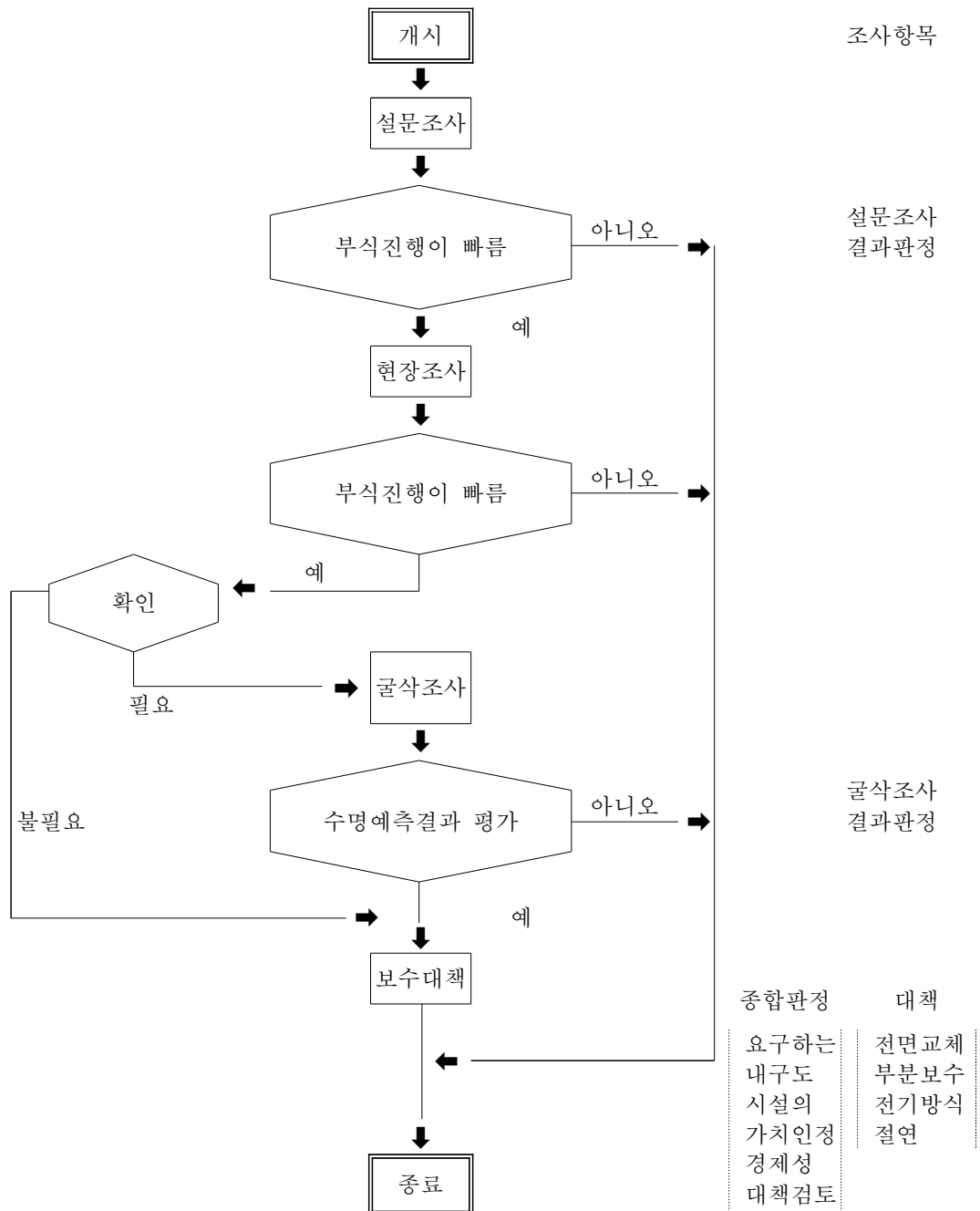
③ 전기화학적 재활성화를 측정방법(Electrochemical potentiokinetic reactivation test): 부식발생 부위에서 흐르는 전류값 감지

(다) 전기화학적 방법은 자연 전위 근처에서 전위와 전류사이에 선형적인 관계가 존재한다는 분극특성을 이용하여 분극량을 조정하여 전류의 크기를 측정 하며 부식전위법, 저항법, 보강저항법, 분극저항법, 임피던스법 및 잠음법 등이 있다

#### 7.4 매설 배관의 부식진단

## 7.4.1 부식진단 순서

매설 배관의 부식진단법은 <그림 2>의 흐름도에 따라 실시한다.



<그림 2> 매설 배관 부식진단 흐름도

#### 7.4.2 굴삭조사가 필요한 위치 및 조건

매설 배관 가운데 위험하다고 판단되는 곳을 굴삭해서 매설배관의 부식 상황을 조사하여야 한다. 굴삭조사를 필요로 하는 곳 및 조건은 다음과 같다

- (1) 조사결과에 의해 부식의 정도가 큰 것으로 판단되는 곳
- (2) 지반침하 또는 특수토양에 의한 절손 및 부식의 우려가 있는 곳
- (3) 매설 후 15년 이상 경과된 경우
- (4) 콘크리트 기초구조물 가까이 위치한 배관의 경우
- (5) 가까이 다른 배관이 근접한 곳
- (6) 지하철, 가스관 등의 주변에서 누설전류의 유입 가능성이 높은 배관의 경우

### 8. 부식방지대책

#### 8.1 부식방지방법

금속의 부식방지를 위하여 다음과 같은 방법을 사용한다.

- (1) 내식성 재료를 사용하는 방법
- (2) 금속이나 비금속의 피복법
- (3) 환경처리법
- (4) 전기화학적 방식법

여러 가지의 부식방지방법 중에서 전기화학적 방식법은 고부식성의 환경에 있는 대형금속구조물의 수용액부식에 대해서 효과적이고 경제적인 방식법이므로 수중의 금속구조물, 땅속의 매설관 및 화학장치 등의 방식에 광범위하게 사용할 수 있다.

#### 8.2 부식방지를 위해 고려할 조건

- (1) 특정 물질에 대한 적절한 재질 선정

재질과 물질의 안전성 상관관계는 운전온도 및 압력 등 운전조건에 따라 차이가 날 수 있으므로 재질 선정 시 주의하여야 하며 기본적인 재질선정 기준은 다음과 같다.

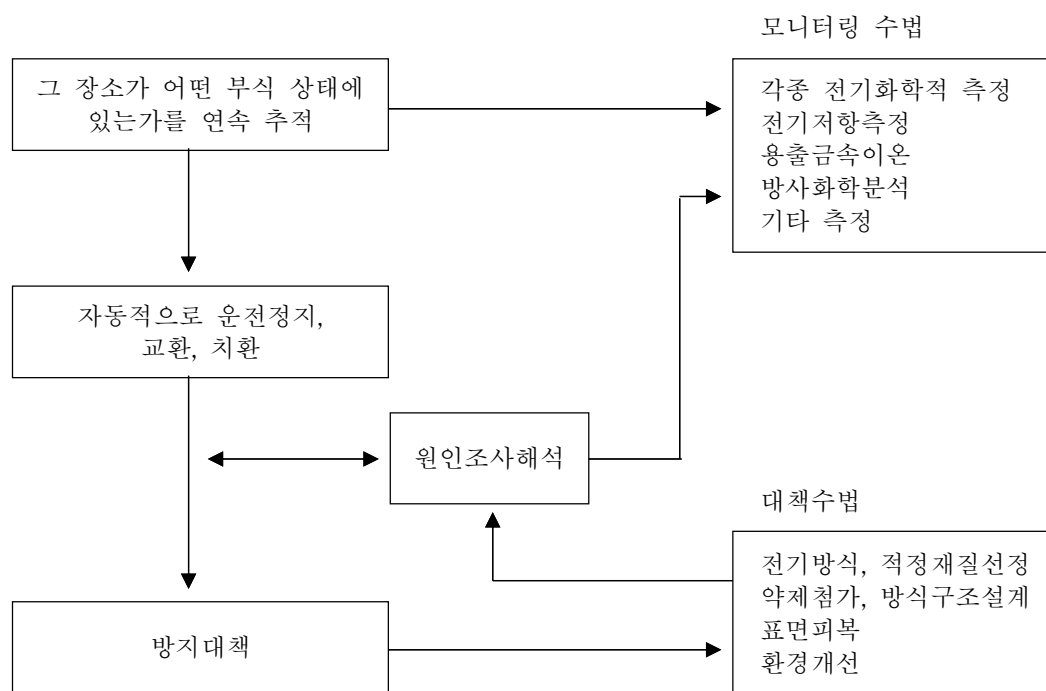
- (가) 스테인리스강 - 질산
- (나) 니켈 및 니켈합금 - 염기성
- (다) 모넬 - 플루오르화수소산

- (라) 하스테로이 - 강염산
- (마) 납 - 희석황산
- (바) 알루미늄 - 오염되지 않는 대기조건
- (사) 주석 - 증류수
- (아) 티타늄 - 고온 강 산화용액
- (2) 금속 순도 유지
- (3) 비금속 재질 사용
- (4) 환경의 개선
  - (가) 가급적 유체의 온도를 낮춘다.
  - (나) 유속을 낮춘다.
  - (다) 액체로부터 산소를 제거한다.
  - (라) 이온농도를 낮춘다.
- (5) 부식억제 약제 주입
- (6) 신뢰할 수 있는 부식 데이터를 적용한 살두께
- (7) 설계기준 준수
  - (가) 두께를 고려 - 기계적 강도와 더불어 부식의 침투작용의 고려
  - (나) 균열부식을 줄이기 위하여 리벳보다는 용접시공
  - (다) 전기적 접촉의 방지 - 이종금속접촉 부식(Galvanic corrosion)
  - (라) 응력부식균열(Stress corrosion cracking)을 방지하기 위하여 과도한 응력 과 응력집중 방지
  - (마) 유체가 흐르는 곳에서 가급적 굽힘부의 곡률반경을 크게 할 것
- (8) 전기방식
- (9) 코팅(Coating)

## 9. 부식방지 관리

- (1) 부식원인을 검토하는 데는 반드시 원인이 존재한다는 것을 고려하여 가장 간단하면서 확실한 진단방법을 찾아야 한다.
- (2) 부식방지 관리는 일반적으로 운전을 정지해서 기기 및 배관의 내면을 체크하고, 원인규명에서 대책까지의 일련의 처리과정으로 이루어진다. 그러나 사전에 부식의 진전 상황을 예측하여 예방정비를 준비하기 위해서는 운전상태에서 부식의 모니터링을 실시하여야 한다.

- (3) 모니터링의 실시 목적은 다음과 같다
- (가) 대상기기 및 배관의 부식·방식상황을 집중 관리할 수 있다.
  - (나) 부식손상에 의한 장애를 사전에 방지할 수 있으므로 사용효율이 향상 된다.
  - (다) 유지관리 일수를 대폭 줄일 수 있다.
  - (라) 부식에 관한 정보를 얻어 차기 계획에 유효하게 사용할 수 있다.
- (4) 부식진단의 정보에서 부식방지대책에 이르는 흐름도는 <그림 3> 과 같 이 사전에 확립하여 놓아야 한다. 이를 위해서는 데이터의 통계처리 및 기타 방식대책(부식억제제, 내식금속, 환경개선 등)을 포함한 지속적인 방식관리의 검토가 필요하다.



<그림 3> 부식 모니터링에서 방식대책까지의 흐름도

<별표 1> 부식진단 측정방법의 분류

구분	방 법	내 용	적용성	적용 한계
운전중의 부식 진단	중량변화의 측정 (시험편 등)	· 전면부식의 부식도 · 전체적 변화	· 간단 · 정량적 · 직접적	· 부식량의 측정값구함. · 부식생성물에 따른 오차가 있음. · 국부부식에 적용 안됨.
	전기화학적 방법 ① 분극저항의 변화 ② 침적전위의 변화	· 부식도의 정량적 평가 · 환경의 부식성 평가	· 연속측정가능 · 비파괴적	· 시험이 필요 · 피막 및 액높이 저항 에 의한 방해
	① 수중 금속이온 분석 ② 수소발생량 ③ 산소소비량	· 방식도의 정량적 평가	순간적부식속도	· 생성물의 불완전용해 · 석출물 (유화물, 수산화물)
	육안관찰에 의한 방법	· 부식형태 정도의 판정 - 부식의 정도 - 크랙 발생 유무 - 점부식의 유무 - 사진촬영	간단	· 주관적 · 정성적
운전정지 후의 부식진단	비파괴검사에 의한 방법 (내부 살두께 측정)	· 초음파, X선 · 와전류 시험	정량적	· 부식량의 측정값구함. · 측정부위만의 정보
	파괴검사에 의한 방법(현미경 관찰)	· 부식 깊이를 측정 · 조직 변화를 측정	보충적	· 반정성적
	기계적 성질의 변화	· 인장강도, 경도, 크랙발생시간 등의 측정 · 응력부식 시험	재료 특성의 변화 측정	· 측정값만 구함.

<별표 2> 부식해석 시 검토항목



순서	조사항목	조사방법	상세검토항목
1	현상조사	육안	전면균일부식개소(액상, 기상, 경계면, 용접부) 국부부식개소(모재·용착금속·경계)국부크랙개소(모재·용착금속·경계)
		확인	사용기간 사용재질 : 도면 재질이력 : 사양서
2	재질조사	자석 Mo 체크 분광분석 와 전류 금속탐지기	재질의 종류 STS 304, 316계 재질 불균일(이물질혼입) 열처리 불균일
3	부착물 조사	분석	물에 용해된 pH측정 물에 용해되지 않는 성분 측정
4	전면부식조사	액조성의 분석	원료분석, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , pH의 측정 회수계의 변경 부반응 타 약제액의 주입 휴지시의 액재질
		온도의 측정	운전시의 이상온도상승 냉각부족 국부가열
5	국부부식조사	유량측정 및 구조체크	저유속 하에서 이물부착 한계유속, 고체물질의 유입 상부 응축액의 적하 기상부 냉점에서 응축부식 이종금속과 접촉 플랜지부위 부식 국부가열 변형차이

순서	조사항목	조사방법	상세검토항목
6	응력부식크랙 조사	-	<p>구속응력이 큰 부분의 크랙 (동체와 경관간 용접선)</p> <p>열응력이 큰 부분(2중 구조부 지점)</p> <p>진동</p> <p>용접열응력에 의한 크랙</p> <p>냉간가공응력</p> <p>열사이클(탄소강-스테인리스강 접합)</p>
7	대책의 검토	-	종합검토