

7. 결 론

우리나라의 전기/가스의 수급불균형, 환경공해문제, 에너지의 효율적사용측면을 고려할때 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 방법중의 하나로서 Cogeneration의 보급활성화는 필연적이며 시급하다. 특히 계절별 기온차가 뚜렷하기 때문에 동절기 가스 사용량에 비하여 하절기 사용량은 약 12%이하로 떨어지는등 심각한 문제를 발생시키고 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 정부 및 한국가스공사를 중심으로 보급활성화를 위한 방안으로 설치자금융자(설치자금의 90%, 연리 5%, 단일전당 35억원~55억원이내), 외부전력회사와의 병렬운전 및 설치에 관련된 인허가

사항의 절차완화등 제도적인 지원을 실시하고 있다.

또한 국내 보급을위한 적정용량의 열병합발전 시스템 개발을 비롯하여 연구개발 자금을 지원하고 있으나 현재까지의 설치사례는 미흡한 실정이다. 이는 국내 전기료, 관심(설치대상 기업주, 정부관계자, 일반 국민등)의 부족, 기술부족에 의한 초기 투자비 과다 및 운영비 문제(특히 가스요금), 기존 시스템에서 새로운 시스템 채용에 대한 보수성등이 주된 원인으로 볼 수 있다.

결국 지속적인 연구개발 활동을 비롯하여 설치자금융자, 경제성 확보를위한 가스요금 할인방안등 경제적측면을 우선적으로 고려하여 보급 활성화 시책을 마련해야 할것이다.

배관의 누설 및 부식 진단 방법

1. 토증금속 방식 상태 진단

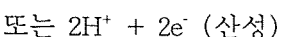
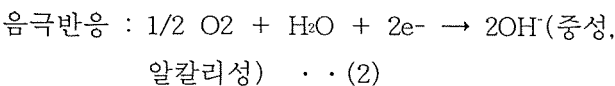
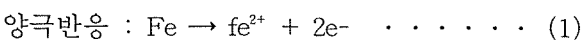
※본자료는 97. 5. 7~10간에 실시한 열병합발전설비 유지보수교육의 강의록에서 발췌하였음.

유근봉과장
한국전력공사 전력연구원
수화력 발전 연구실

(042)865-5114(대표전화)

1. 부식의 개념

도관의 부식은 전식을 포함해서 수분의 개재에 의해서 생기는 전기화학적 부식(습식)이고 토양이나 물 등의 전해질에 접촉하고 있는 도관표면의 부식에서는 아래(1)식과 같은 반응이 일어나서 철이 철이온이 되어 전해질중에 용해되어 나간다. 이것을 양극반응이라고 한다. 한편 동일표면 또는 다른 표면에서 (2)식과 같은 반응이 일어나서 (1)식의 반응에 의해서 생성된 전자를 소비하여 OH-이온 또는 수소가스를 생성한다. 이것을 음극반응이라고 한다.



양극반응과 음극반응은 서로 같은 속도로 진행되

고 그 결과 양극부에서 음극부로 전해질을 통해서 부식전류가 흐른다. 부식부에서는 부식량 또는 부식속도는 부식전류와 밀접한 관계가 있어서 페러데이의 법칙에 따르는 것이 알려져 있다. 철의 경우 1mA/cm²의 부식전류밀도는 12.0mm/y의 부식속도에 상당한다. 양극반응에 의해서 나온 철이온은 전해질중의 OH⁻이온, SO₄²⁻이온, CO₃²⁻이온 용존산소등과 반응하여 Fe(OH)₂, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeSO₄, FeCO₃ 등의 소위 녹이된다.

가. 부식 Mechanism

- ① 양극과 음극의 존재
- ② 양극과 음극사이의 전위차
- ③ 양극과 음극사이의 전기적 금속통로 존재
- ④ 양극과 음극의 이온반응을 전도할 수 있는 전해질의 존재

나. 부식환경

수중 : PH, 염분, 수질오염

토중 : PH, 박테리아, 습도, 비저항

2. 부식의 종류

가. 마이크로셀 부식

흙과 접촉하고 있는 도관의 철 표면에는 표면상태, 조성, 환경 등의 조그마한 차이에 의해서 미시적인 양극부와 음극부로 구성되는 마이크로셀(국부전지)이 많이 형성된다. 이것에 의한 부식을 마이크로셀 부식이라 하는데 비교적 온화하고 균일한 부식을 일으킨다. 흙속에서의 철의 자연전위는 포화황산등전극을 기준으로 해서 약 0.4V- 0.7V의 범위에 있다.

① PH의 영향

산소에 강한 흙(PH4 이하)은 매설관에 심한 부식을 일으킨다.

② 박테리아의 영향

황산염 환원 박테리아는 혐기성인 PH6 - 8의 점토질 흙속에서 가장 번식하기 쉽다.

③ 흙의 비저항의 영향

비저항 1000 ohm-cm 이하인 흙속에서는 부식성이 크다.

④ 통기성의 영향

흙의 통기성은 흙의 조성과 함수율에 지배되고 일반적으로 통기성이 좋을때는 부식이 촉진된다고 한다. 그러나 통기성에 따라서 부식의 대소를 단순하게 결정할 수는 없다.

나. 매크로셀 부식

자연전위가 낮은 부분(양극부)과 자연전위가 높은 부분(음극부)이 매크로셀(거시적 전지)를 형성하여 양극부의 부식이 촉진되는 것을 매크로셀 부식이라고 하고 다음과 같은 특징이 있다.

- 마이크로셀 부식과 달라서 양극부와 음극부가 명확하게 분리되어 있다.
- (음극부의 면적)/(양극부의 면적)의 비가 부식의 중요한 인자이고 부식속도는 거의 이 비에 비례한다.

① 통기차 매크로셀

매설관이 통기성이 다른 흙을 통과하는 경우 또는 부분적으로 통기성이 나쁜 흙에 접촉하고 있는 경우 통기성의 차이에 따라서 통기차(산소 농도차) 매크로셀이 형성되어 통기성이 나쁜 부분이 양극부가 되어 부식된다.

② Concrete / 토양 매크로셀

일반적으로 Concrete / 토양 매크로셀은 음극(Concrete 속의 철근)의 면적이 양극(토양 속의 도관)의 면적보다 매우 크기 때문에 심한 부식을 일으키는 일이 많다.

③ 다른 종류의 금속 매크로셀

서로 다른 종류의 금속이 흙속에서 전기적으로 접촉되면 각각의 자연전위의 차이에 의해서 매크로셀이 형성되어 자연전위가 낮은 쪽이 양극이 되어 부식된다.

<표-1 금속의 기전력>

METAL	VOLTAGE	비 고
PURE MAGNESIUM	-1.75	비금속
MAGNESIUM ALLOY	-1.6	
ZINC	-1.1	
ALUMINUM ALLOY	-1.05	
PURE ALUMINUM	-0.8	
MILD STEEL(CLEAN)	-0.5~-0.8	
MILD STEEL(RUSTED)	-0.2~-0.5	
CAST IRON	-0.5	
LEAD	-0.5	
MILD STEEL IN CONC.	-0.2	
COPPER, BRASS	-0.2	귀금속
H. S. C. I	-0.2	
OCKE	-0.3	
GOLD	+0.1	

다. 전 식

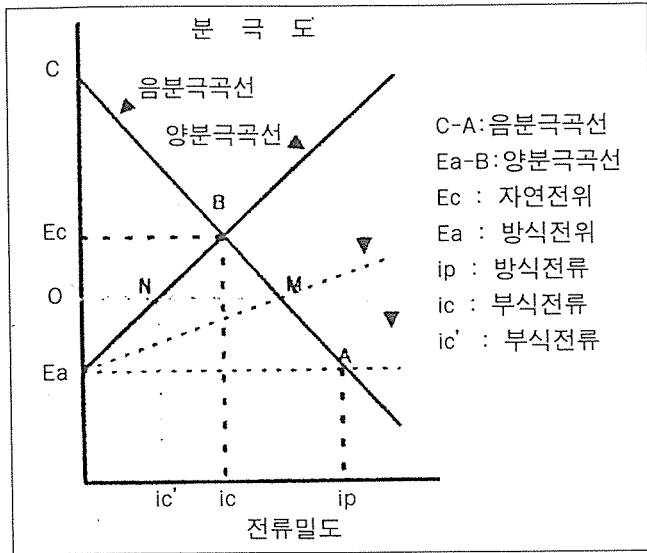
전철이나 방식설비와 같은 인위적인 전기설비로 부터의 직류전류에 기인하는 부식을 전식이라고 한다.

- ① 누설전류에 의한 전식
- ② 간섭에 의한 전식
- ③ Jumping 부식

3. 전기방식

가. 전기방식의 원리

피방식체인 금속표면에 외부에서 인위적으로 전류(방식전류)를 유입시키려면 전위가 높은 음극부에 전류가 유입되어 음극부의 전위가 차차 저하되어 양극부의 전위에 도달하여 결국 음극부와 양극부 전위가 일치 되어진다. 그 결과 금속표면에 형성된 부식 전류가 소멸되고 부식현상이 정지되며 피방식체인 금속은 완전한 방식상태에 이르게 된다.



E_a의 전위를 갖고 있는 양극금속과 C의 전위를 갖고 있는 음극금속을 전기적으로 연결하여 전해액 속에 넣었다고 생각하면 그림과 같이 분극된다. 여기에 외부에서 음극전류를 유입시키면 음극분이 증대하여 분극의 교차점은 M으로 이동된다. 즉 NM만큼 외부에서 전류를 유입시킨 결과 부식전류는 i_c에서 i_{c'}(ON)로 감소된다. 외부전류를 계속 증가시키면 음극분이 증가하여 양극전위 E_a와 같은 A점으로 분극하게 되어 양극과 음극의 전위차가 없어져 부식전류는 0(영)으로 되고 부식이 정지된다.

나. 방식기준

일반적인 흠속의 방식전위는 -0.85V(포화황산동전극기준)로 되어 있다. 다만 황산염환원 박테리아가 번식하는 흠이나 점토질흠이 섞여 있는 흠과 같이 부식성이 큰 환경중에서는 안전을 고려해서 방식전위를 -0.95V로 하는 것이 좋다.

① 어떤 금속의 자연전위보다 -300mV이상 (-)방향으로 변위(Potential Shift)시킴으로써 방식을 할 수 있다. 이 방법은 어떤 금속의 방식전위가 불분명하거나 알지 못할 때 자연전위를 측정하고 그 자연전위보다 300mV 또는 그 이상 (-) 방향으로 변위시킴으로써 방식을 할 수 있는 유리한 점이 있다.

② 기준전극별 방식전위

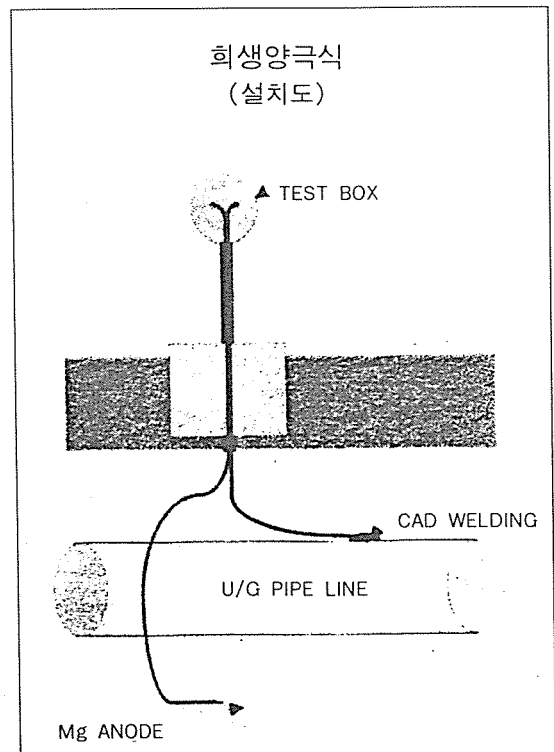
- 유산동 기준전극(Cu/CuSO₄) : -0.85V
- 염화은 기준전극(Ag/AgCl) : -0.75V
- 아연 기준전극(Zn) : +250V

두가지 기준이 있으나 일반적으로 ②의 방법을 적용하며 박테리아가 서식하고 있는 곳에서는 100mV 정도 더 분극시켜주는 것이 좋다.

다. 전기방식법의 종류

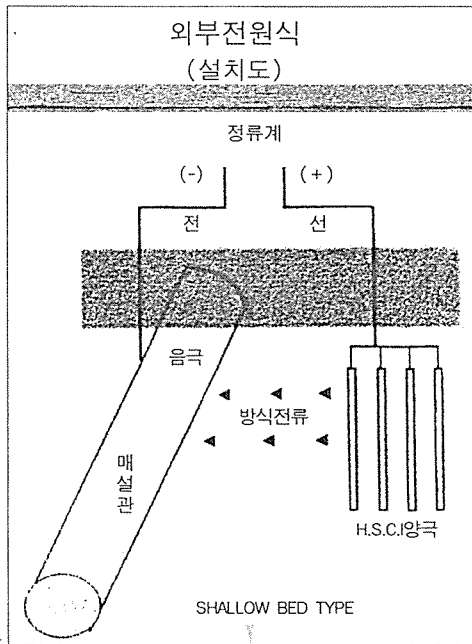
① 유전양극법

방식하려는 관로를 전선으로 연결하고 양극금속과 관로사이의 전기작용에 의해서 방식전류를 얻는 것이다. 양극재료로는 마그네슘, 알루미늄, 아연 또는 그 외 합금이 사용되는데 그의 유효한 전위차가 크다는 점에서 대부분 마그네슘 계통의 것을 사용하고 있다.



② 외부전원법

직류전원장치의 +극측을 흡속 또는 물속에 설치한 전극에 그리고 -극측을 방식하려는 관에 접속하고 전압을 가하여 전극에서 흡속 또는 물속을 거쳐서 방식하려는 관으로 방식전류를 유입시키는 방법이다.



- ③ 선택배류법
- ④ 강제배류법
- ⑤ 절연에 의한 방법
- ⑥ 도금에 의한 방법

4. 전기방식법의 특성

구분	장 점	단 점
유 전 양 극 법	<ol style="list-style-type: none"> 1. 간편하다. 2. 장거리의 도판에는 비용이싸다. 3. 다른 매설금속체에 대한 간섭이 거의 없다. 4. 과방식의 염려가 없다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 효과범위가 좁다. 2. 단거리의 도판에는 값이 비싸다. 3. 소모되기 때문에 어떤 기간마다 보충해야 한다. 4. 전류의 조절이 곤란하다. 5. 평상시에 관리할 곳이 많아 저서 번잡하다. 6. 강한 전식에 대해서는 효과가 없다.

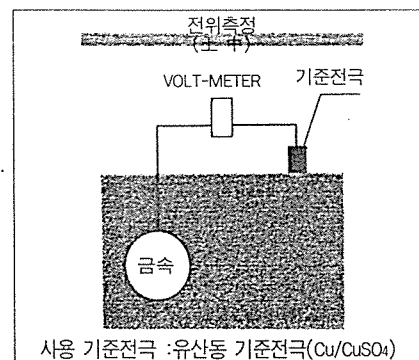
구분	장 점	단 점
외 부 전 원 법	<ol style="list-style-type: none"> 1. 효과범위가 넓다. 2. 장거리의 도판에는 수가 적어서 좋다. 3. 전극의 소모가 늦으므로 평상시의 관리가 손쉽다. 4. 전압, 전류의 조성이 손쉽다. 5. 전식에 대해서도 방식이 된다. 6. 플랜트 시설물이나 저장 Tank가 있는 곳에 주로 이용한다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 초기투자가 약간 크다. 2. 강력하기 때문에 다른 매설금속체에 대한 간섭에 대해서 충분히 검토해야 한다. 3. 전원을 필요로 한다.

5. 유지 관리

방식 시공후 매설관이 만족하게 방식되었는가 하는 것은 방식전위의 정기적인 측정결과로부터 판단된다. 외부전원법등에서는 방식전류에 급격한 변화가 있는 경우에는 그 노선의 전위를 조사하여 방식전위가 유지되는가를 점검해야 한다. 전위가 높아지는 경우의 원인으로 가장 많은 것이 타 매설물과의 접촉, 본드(Bond)의 절단, 절연이음매의 불량등이다. 따라서 방식시공후의 관리로는 방식전위의 정기적인 측정 또는 방식설비의 점검도 된다는 점에서 평소부터 방식노선 및 그 주변에서 일어나는 공사나 작업에 대해서 주의해야 한다.

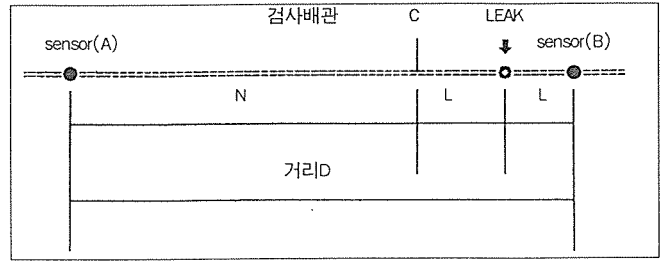
6. 방식전위 측정

토양부식에 있어서의 정도는 약간 낮지만 견고한 구조로된 포화황산동 전극이 일반적으로 사용된다.



7. LEAK DETECTION

지하에 매설된 구간내에서 관외부로 동작유체가 누설될 경우 그 누설음은 관을 따라 전파되므로 Sensor를 탐상하고자 하는 구간에 설치하여 각 Sensor에 도착하는 시간차에 의해 누설위치를 구간내에서 비례적으로 추정하는 방법으로서 관재질, 관길이 및 관지름을 입력하면 양측 Sensor로부터 신호를 System본체가 받아 Leak음 신호 도달 시간 차이에 의해 누설되는 위치를 계산하는 방법이다.



- 누설위치 계산 $D = N + L + L$
- $L = (D - N) / 2$
- 거리 = 속도 X 시간이므로
- $N = V \times Td(\text{Delay time})$
- 따라서 $L = D - (V \times Td) / 2$

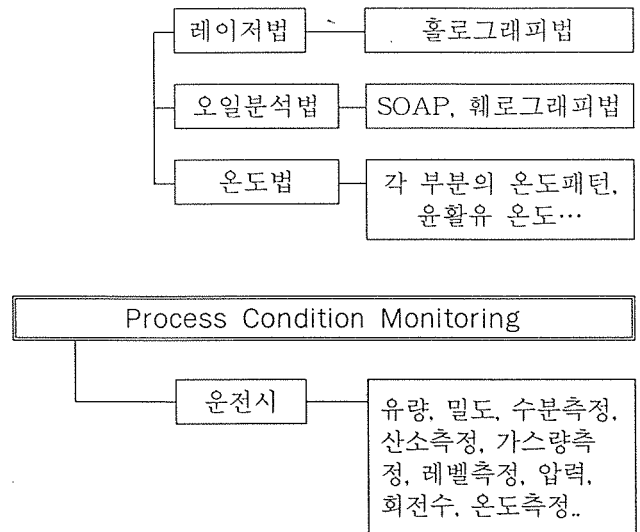
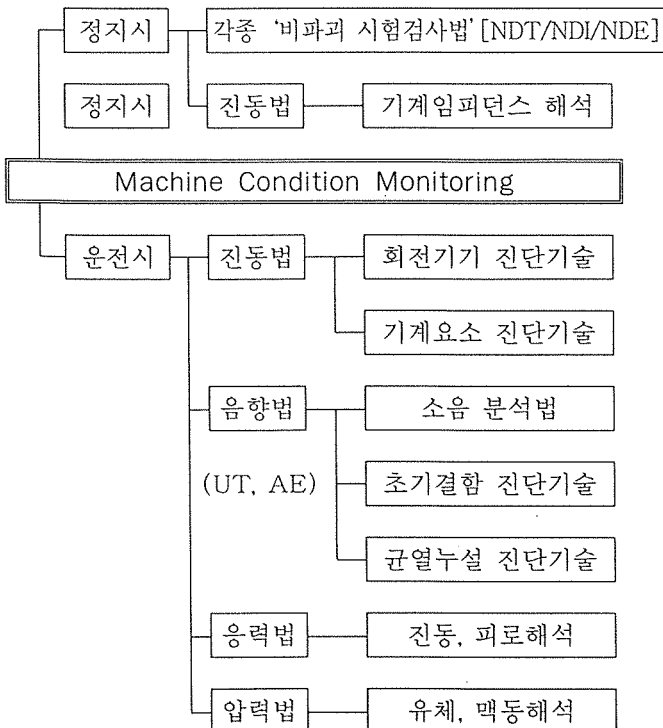
II. 초음파를 이용한 배관부식 측정기술

엄 군 태 차장
한국파나메트릭스

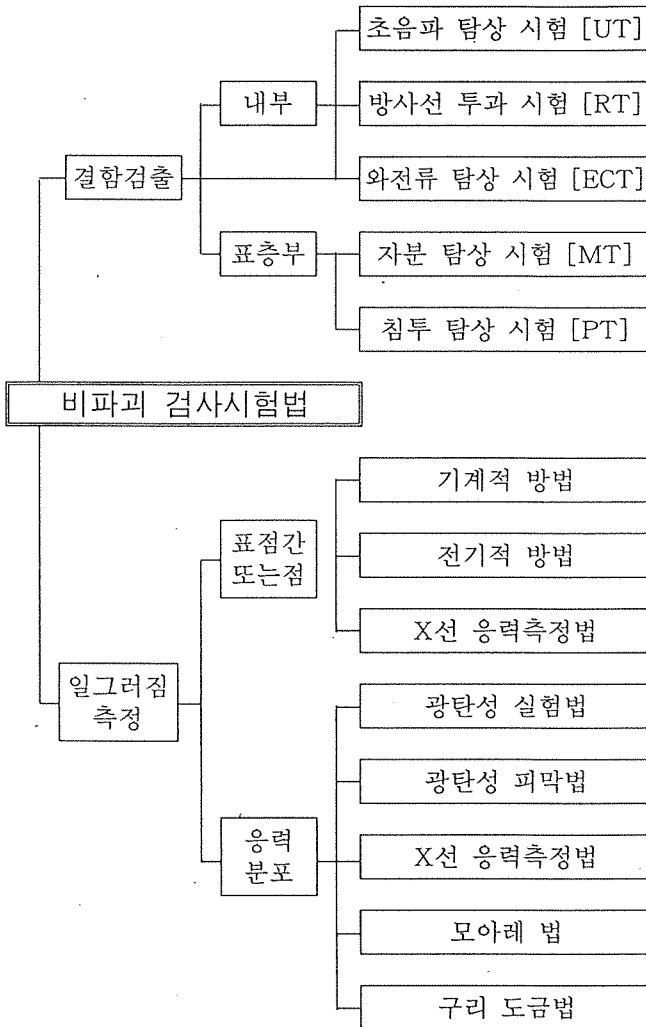
02-555-4611

I. 설비진단과 비파괴 시험종류

1. 설비진단과 초음파이용



2. 부식에 관한 비파괴검사방법



II. 초음파와 부식관계

1. 부식종류와 그 원인

1) 전면부식 (Uniform attack)

부식이 재료 표면의 일부분에 국한하지 않고 전면적으로 균일하게 일어나는 재료의 두께가 균일하게 얇아지는 형태로 보통 강은 해수 중에서 0.13mm/year의 속도로 전면부식이 일어난다.

2) 공식 혹은 점식 (Pitting Corrosion)

스텐레스강 특히 13% Cr강등에서는 PH > 3인 약한 부식환경이나; Cl, Br 등 할로젠 이온의 존재나, 산소 또는 산화성 금속의 존재 등에 의해 부식공이 생성되는데 이것을 말한다. 국부적으로 깊게 파여

구멍형태의 손상을 일으키는 형태로서 공식인자 (pitting factor)가 1인경우가 균일부식에 해당한다.

3) 결정입계 부식 (Intergranular Corrosion)

18-8 스테인레스강의 중대한 결정이 되는 부식으로 산소 용액중에서 결정립계가 급속히 침식되는 부식으로, 입계 (grain boundary)에서 합금원소의 편석 (농축 혹은 고갈)으로 그 부분이 입계에 비해 우선적으로 부식이 된다. 입계가 입내보다 불순물 또는 합금 원소가 많거나 적어서 생기는 부식이다. 오스테나이트계스테인레스강은 입계 인접 부위에서 Cr의 결핍증이 생겨서 입계부식이 일어난다.

4) 산소농도 전지부식 (Oxygen Concentration Corrosion)/이온농도 전지부식 (Salt Concentration Corrosion)

액중의 이온농도 또는 산소농도의 차에 의해 형성되는 전지에 의한 부식.

5) 선택/선별용해 부식 (Selective Corrosion)

합금중에 있는 특정한 성분만이 선택적으로 침투되는 부식이다.

6) 부식 피로 (Corrosion Fatigue Cracking)

부식환경과 반복응력의 조합에 의해 피로한계가 저하되어 파괴하는 것이다.

응력부식균열에 비하여 동적인 반복응력에 기인한다.

7) 응력부식균열 (Stress Corrosion Cracking)

스텐레스강, 연강, 황동, Al합금, Mg합금등에서 금속내부의 잔류인장응력이나 외부에서의 인장응력이 존재한 상태에서 특정의 부식환경에 놓였을 때 발생하는 균열. 정적인 인장응력에 기인한다.

8) Cavitation Erosion

고속속도의 관로, 프로펠라등에서 생기는 비교적 빠른 침식을 말한다.

9) 전지 부식 (Galvanic Corrosion)

종류가 다른 두 재료가 접촉되었을 때 일어나는

부식으로 함석도금판은 이를 이용 강의 부식을 아연도금으로 막는 예이다.

10) 틈새 부식 (Crevice Corrosion)

일부분이 차폐되었거나 연결부의 틈새에서 바깥부분과 이온 또는 가스의 농도가 달라져서 전위차가 발생하여 생기는 부식이다.

11) 마모 부식 (Erosion Corrosion)

고상 입자, 액체침식 등이 원인이 되어 가속되어 일어나는 부식의 형태

12) 고온 부식 (High Temperature Corrosion)

산화, 탈탄, 질화, 유화, 바나듐 손상등이 있으며, 산화와 탈탄은 Creep 파괴와 관련되어 있으며, 유화나 바나듐 손상은 고온 가스 환경에서 문제가 된다.

그밖에 수소 부식 (Hydrogen Damage)과 알칼리 부식 (Caustic Embrittlement)이 있다.

2. 부식두께측정기를 이용한 부식측정방법

2-1. 구입하기 전에 고려해야 할 사항들

- (1) 측정하고자 하는 재질은 무엇인가?
- (2) 측정물의 형상은 어떠한가?
- (3) 측정물의 표면조건은 어떠한가?
- (4) 측정하고자 하는 두께범위는 ?
- (5) 요구되는 정밀도는 ?
- (6) 측정 분해능은?
- (7) 측정물의 온도조건은?
- (8) 특수한 환경적 요소가 있는가?

2-2. 측정하기 전에 고려해야 할 사항들

- (1) 재질 (Material)
- (2) 두께 (Thickness)
- (3) 기하학 (Geometry)
- (4) 온도 (Temperature)
- (5) 역상 (Phase Reversal)
- (6) 정밀도 (Accuracy)

2-3. 부식두께 측정기의 이용방법

1) 측정 모드(MODE)

MODE 1 — 초기펄스(initial pulse)에서 저면(backwall) 에코까지의 시간을 측정하여 두께값으로 표시한다.

* Contact 타입의 탐촉자를 이용.

MODE 2 — 인터페이스(interface) 에코에서 첫번째 저면(1st backwall) 에코까지의 시간을 측정하여 두께값으로 표시한다.

* Delay Line 타입의 탐촉자를 이용.

MODE 3 — 첫번째 저면(1st backwall)에코에서 두번째 저면(2nd backwall) 에코까지의 시간을 측정하여 두께값으로 표시한다.

* Delay Line 혹은 Immersion 타입의 탐촉자 이용

DUALS — 탐촉자안에 딜레이라인을 붙여 딜레이라인이후와 그 다음 에코사이까지의 시간을 측정하여 두께값으로 표시한다.

* Dual 타입의 탐촉자를 이용한다.

2) 탐촉자 타입

(1) CONTACT 타입

특징 - 에너지가 크다.

스프링 loaded 홀더를 사용할 수 있는 타입도 있다.

홀더를 사용하면, 측정표면에 대해 일정한 압력을 줄 수 있다.

(2) DUAL 타입

특징 - R진곳 측정하기에 알맞다.

스프링 홀더나 WAND를 사용할 수 있는 타입도 있다.

고온 - 고온용 타입도 있어서, 500도에서도 측정할 수 있다.

단, 이때는 반드시 고온용 커플런트를 사용해야 하며, 접촉시간도 아주 짧게 해 주어야 한다.

(3) DELAY LINE 타입

특징 - 아주 얇은 재질이나, 측정 정밀도를 요구할 경우에 알맞다.

직경, 길이, 모양에 따라 일반적인 탐촉자로 측정하기 어려운 부면에 측정하기 알맞다.

구성 - 갈아끼울 수 있는 delay line, knurled retainer 링

타입 - 표준 딜레이라인, 고온용 딜레이라인, 실린더 굴곡형과 소노펜 (SONOPEN)형 딜레이라인도 있다.

탐촉자 종류 : M206-RB, M207-RB, M202-RM...

(4) IMMERSION 타입/수침형

특징 - 형상이 복잡한 경우와 온 라인에서 측정하기에 알맞다.

오프 라인에서는 소형플라스틱, 금속튜브, 스캔 혹은 회전측정, 굴곡진 부분측정에 알맞다.

구성-버블러 (Bubbler) 혹은 스퀴터 (Squirter)를 이용할 수 있다.

오프 라인에서 간단히 측정하기 위해 재순환형 버블러 (RBS - Recirculating Bubbler System)을 이용하면 편리하다.

3) 주파수 범위

ASTME 1065에는 탐촉자 성능을 알기 위한 Bandwidth를 구하는 공식이 소개되어 있다. Bandwidth 구하는 공식은 다음과 같다.

$$B.W. = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 = \text{_____} \% (-6dB)$$

일반 초음파 두께기는 5MHz, 0.5" dia.인 탐촉자를 하나만을 사용하고 본체에서도 Bandwidth를 5MHz로 고정되어 받아들여지게 되어있다.

그런데, 일반적으로 강에서는 2MHz - 10MHz가 주로 사용되고, 특히 주물이나 표면이 거친 경우에는 0.5MHz - 5MHz에서 주로 사용되고, 아주 얇은 두께나 신 소재, 파이프등을 측정하기 위해서는 5MHz - 30MHz의 탐촉자를 주로 사용해야 한다.

따라서, 용도에 알맞는 탐촉자의 주파수를 잘 선정해야 하며, 본체의 Bandwidth 범위도 여기에 맞는 타입을 선정해야 한다.

4) 최소 측정 범위

(1) Contact 타입인 경우 -

불감대, Main Bang에 따라 달라지며, 보통 2 MHz 탐촉자로는 3mm 이하, 5 MHz 탐촉자로는 1.2mm 이하, 10 MHz 탐촉자로는 0.6mm 이하의 두께측정은 곤란해 진다.

(2) Dual 타입의 경우 -

같은 주파수를 가진 탐촉자라고 하더라도, 각 탐촉자의 최소 측정 범위가 달라지는 것은 roof angle 때문이다.

예: 5.0MHz/ 0.434" 탐촉자:1.0 mm-200.0 mm
5.0MHz/ 0.282" 탐촉자:0.75mm-50.0 mm
5.0MHz/ 0.485" 탐촉자:1.0 mm-50.0 mm
cf. 10MHz/ 0.283" 탐촉자:0.5 mm-25.0 mm

(3) Delay Line 타입의 경우 -

불감대가 거의 없도록 Delay Line을 붙여서 두께측정을 하기 때문에 예를 들어 CD(Compact Disk : 200 - 400 micron)판처럼 아주 얇은 두께를 측정할 수가 있다.

3. 부식두께측정을 위한 측정기술

1. 부식두께측정을 위해 사용되는 트랜스듀서는 듀얼 엘레먼트 타입이 필요하다.

이유 : 부식된 상태는 이면(裏面)이 평평하지 못하고, 굴곡이 있으므로, 기울어진각도 (roof angle)로 초음파를 송신하고, 수신해야 한다. 그래서 한 트랜스 듀서안에 송신과 수신이 별도로 분리되어 있는 듀얼 트랜스듀서가 필요하다.

주의 : 일정한 각도를 가지고 초음파를 송신과 수신하게 되므로, 직선성이 없게되므로 실제 두께 측정값과는 차이가 발생한다. 따라서 이를 보정해 주어야 한다. 보정하는 방법에는 적어도 2포인트의 두께값으로 교정해 주어야하며, 이를 두께기안에 내장된 마이크로 프로세서를 통하여 정밀하게 연산하여 보상해 주어야, 정확한 두께값을 표시하게 된다.

2. 대부분 부식은 고온상태에서 빠르게 진행된다

로, 고온상태에서 부식을 측정하기 위해서는 다음과 같은 조건을 갖추어야 한다.

- 1) 고온용 트랜스듀서를 사용해야 한다. 고온용 트랜스듀서는 일반적으로 200°C 정도까지 측정할 수 있는 트랜스듀서와 500°C 정도까지 측정할 수 있는 트랜스듀서가 있다. 측정하고자 하는 피검물의 온도에 적절한 고온용 트랜스듀서를 선택해서 사용해야 한다.
- 2) 고온용 커플런트를 사용해야 한다. 고온용 커플런트도 일반적으로 200°C 정도까지 견디는 커플런트와 500°C 정도까지 견디는 커플런트가 있다.
- 3) 고온에서 측정할 수 있는 측정 조건을 갖추어야 한다. 고온용 측정조건이란? (1) 측정할 수 있는 기산을 10초 이내에서 접촉해야 한다. (2) 측정 후 곧 1분 이상 식혀(cooling) 주어야 한다. (3) 고온으로 인해 트랜스듀서의 센서부분이 변형을 일으켜서 측정 두께값의 오차를 발생시키므로, 고온에서 측정하는 중간 중간에 ZERO 보상을 해 주어야 한다. 일반적으로 이는 [ZERO OFFSET] 키를 눌러 보상을 준다.
3. 특히 고온에서는 측정 감도가 매우 낮아지는 경향이 많으므로, 경우에 따라서는 두께 측정값이 표시가 되지 않는 경우가 종종 발생한다. 따라서 이럴 경우에는 감도를 충분히 보상해 주어야 한다. 감도를 보상해 주기 위하여 게인 부스터(Gain Booster) 기능을 이용한다. 게인 부스터란 측정 감도를 약 3배 이상 높여 주는 기능이다.
4. 부식 두께 측정시에 잡음 신호가 실제 두께 측정 신호보다 크게 나타나서, 종종 부식 두께값의 오류를 발생시키므로, 올바른 부식 두께값을 판독하기 위해서는 두께 측정 감도를 최적화해 주어야 한다. 이를 보상해 주는 기능이 감도 최적화(Sensitivity Optimization) 기능이다. 감도 최적화란, 검출 신호를 감지하는 레벨을 조절하여 최적합한 상태로 감도를 감지하는 것을 말한다.
5. 부식 두께는 재질에 따라서, 많은 변화가 오므로 부식 두께 측정값의 표시가 불규칙적으로 변화하는 수가 종종 생긴다. 정확한 부식 두께 측정값을

판독하기 위해서는 게인 부스터(gain booster) 기능과 감도 최적화(sensitivity optimization) 기능을 적절히 조합하여 사용해야 한다.

6. 부식이 일어난 부위나 상태는 일정하지 않으며, 특히 두께값의 변화가 크므로, 한 포인트, 한 포인트로 측정할 경우에는, 부식된 부분의 두께를 정확하게 알아낼 수가 없게 된다. 따라서 부식된 부분을 손쉽게 알아 내기 위해서는 우선 측정물의 표면에서 트랜스듀서로 빠른 속도로 스캐닝(fast scanning)을 해야 한다. 스캐닝하는 속도가 빠르다는 것은 부식된 부분을 빠르게 알아낼 수가 있으며, 짧은 시간안에 많은 부분을 검사할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 가능한 스캐닝 속도가 빠른 편을 택하는 것이 중요하다.
7. 부식된 부분은 실제보다 얇게 나타나므로, 고속으로 스캐닝한 후에 가장 얇은(minimum) 두께값을 표시해 주어야 부식된 부분을 손쉽게 알아낼 수가 있게 된다. 부식된 부분은 모재 두께보다 적게 나타나게 된다.
8. 짧은 시간동안에 많은 부분의 부식된 상태를 알아내기 위해서는 부식된 부께값인지 올바른 두께값인지를 두께 측정값을 일일이 보면서 측정하게 되면 상당한 시간이 소요된다. 따라서 빠른 시간안에 측정 두께값이 요구되는 부식 두께값보다 적게 나타날 경우에는 알람(alarm)이 울리도록 셋팅하면 일일이 눈으로 보면서 확인하지 않아도 소리를 듣고 부식된 부분을 손쉽게 발견할 수가 있게 된다.
9. 부식된 부분은 두께값의 변화를 가져오므로, 트랜스듀서를 피검물에서 떼었을 때에도 두께 측정값의 표시가 계속 남아있어야 부식되었는지, 부식이 안되었는지를 알기가 쉽다. 트랜스듀서를 피검물에서 떼었는데도 계속 화면에 측정된 두께값이 그대로 남아있는 기능을 화면 홀드(hold)라고 한다.
10. 부식된 부분은 보통 페인트나 코팅이 되어 있는 경우가 많다. 따라서 부식 두께 측정을 올바르게 하기 위해서는 페인트나 코팅을 벗겨내지 않으면 안된다. 현장에서 이를 벗겨내는 작업은 상당히 귀찮은 일이며, 힘이 드는 일이다. 페인

트나 코팅을 벗겨내지 않고 부식된 부께를 측정할 수 있는 방법은 다음과 같은 두가지 방법을 사용하게 된다.

- 1) 확장된 블랭크(extended blank)기능은 코팅이나 페인트된 부분을 지나서 모재까지의 두께를 측정하는 기능으로 코팅이나 페인트된 두께와 모재의 두께를 더한 전체 두께를 표시하게 된다. 따라서 측정된 전체 두께에

서 코팅이나 페인트된 두께값을 빼주게 되면, 내부에 있는 두께만을 측정할수가 있게 된다. 이 두께를 측정하여 부식된 두께를 알아낼 수가 있게 된다. 물론 이때 코팅이나 페인트된 부분의 음속과 모재의 음속은 상당한 차이가 있으므로 재질의 음속값을 보상해 주어야 정확한 부식된 두께값을 얻어낼 수가 있다

III. 배관파손 원인과 검사방법

이영재 기술이사, 이성식 연구원
대한검사기술(주)
02-525-5575

1. 배도입

Pipeline을 역할에 따라 크게 분류하면 gathering pipelines, transmission pipelines, distribution pipelines으로 나눌 수가 있다. 먼저 gathering pipelines은 유정과 원유 집산지 사이를 연결하는 배관으로 직경은 2 - 8 인치 사이를 사용하며 받는 압력은 3490 - 8376 kPa에 이른다. Transmission pipeline은 주로 천연 가스, 액화 천연가스, 석유, 원유 등을 수송하며 일정 거리마다 (대략 16km) 밸브가 연결되어 있고 가스 배관의 경우 compression station, 액체 배관의 경우 pumping station이 연결되어 있다. 고압 배관에 걸리는 압력은 최대 6895 kPa에 이르며 배관의 연결은 거의 모두 용접에 의해 이뤄지고 있다. 가스 distribution pipeline의 경우 transmission pipelines으로부터 이송받은 가스 등을 도시 지역에서 운반하여 분배하며 걸리는 압력은 일정하지 않다. 따라서 주로 문제가 되는 배관은 고압의 gathering lines과 transmissionlines이 되지만 최근 국내에서 발생한 사고들은 안전관리 및 시방서를 무시한 공사 등으로 도시 지역의 distribution pipeline이 주요 관심을 받고 있다. 배관에 주로 사용되는 steel의 항복 강도는 207 Mpa(API, grade A의 경우)에서 483 Mpa(API 5L-

X70)에 이른다. 일반적으로 배관의 두께는 배관에 걸리는 압력과 허용 후프 응력에 의해 결정되는데 허용되는 최대 후프 응력은 명시된 최소 항복강도의 72%이다. 배관은 보통 사용 전에 압력시험을 거치도록 되어 있는데 일반적으로 명시된 최소 항복 강도의 90 - 105%의 후프 응력 수준에서 수압시험을 한다. 이 시험에 의해 배관이 실제로 사용될 때 받게되는 응력 수준에서 파괴를 초래할 수 있는 결함의 존재 유무를 확인할 수 있다. 대개 이러한 시험에서 소성 변형과 손상이 발생하거나 잔류 응력이 생기지 않도록 배관의 설계가 이루어진다. 한편, 파괴가 일어날 때 배관의 길이 방향으로 파괴가 전파되는 것은 배관 파괴의 특징이다. 압축된 gas는 엄청난 에너지를 저장한 상태이고 파괴 시에 에너지 방출 속도가 파괴가 전파하는 속도에 비해 느리기 때문에 파괴는 상당한 거리의 배관 길이를 따라 전파될 수 있다. 미국에서 13.3 km 길이에 걸쳐서 파괴가 일어난 사건이 있었다.

2. 배관 파손의 원인

파손(failure)는 대개 결함으로부터 비롯된다. 표1에 배관 파손을 초래하는 결함의 종류들을 수록하였

다. 결함들은 크게 사용 전 시험(preservice test)에서 파손을 가져오는 결함과 사용 중에 파손을 가져오는 결함들로 나눌 수가 있다. 사용 전 시험에서 이미 존재하고 있는 결함들은 시험 압력이 충분히 높으면 시험에 의해 검출 가능하므로 제거할 수가 있다.

표 1 : 배관 파손의 원인이 되는 결함들

Cause of preservice test failure	Cause of service failure
<ul style="list-style-type: none"> Defect in the pipe body <ul style="list-style-type: none"> Mechanical damage Fatigue cracks Material defects Longitudinal weld defects <ul style="list-style-type: none"> Submerged arc welds Weld area cracks Incomplete fusion Porosity Slag inclusion Inclusion at skelp edge Off seam Repair welds Incomplete penetration Electric welds <ul style="list-style-type: none"> Upturned fiber cracks Weld-line inclusion Cold weld Excessive trim Contact burns Field weld defects 	<ul style="list-style-type: none"> Defect in the pipe body <ul style="list-style-type: none"> Mechanical damage environmental causes Corrosion(external or internal) Hydrogen-stress cracking External stress-corrosion cracking Internal sulfide-stress cracking Hydrogen blistering Fatigue Miscellaneous cause <ul style="list-style-type: none"> Secondary loads Weldments to pipe surface Wrinkle bends Internal combustion Sabotage Longitudinal weld defects <ul style="list-style-type: none"> High hardness region

2. 1수압 시험에서 파괴의 원인

표 1에서 볼 수 있듯이 압력 시험에서 파괴를 가져올 수 있는 결함은 발생 위치에 따라 세 종류로 나눌 수가 있는데, 배관의 몸체에서 발생한 결함, longitudinal weld부에 존재하는 결함, 그리고 field girth weld부에 존재하는 결함으로 나눌 수가 있다.

• 배관 몸체에 발생하는 결함의 원인

이 경우 크게 기계적 손상과 피로 균열, 그리고 material defect로 나눌 수가 있다. 먼저 기계적

손상은 건설 동안 굴착 장비 등의 취급 장비에 의해 일어날 수 있으며 주로 gauge 혹은 dent 등이 이에 속한다. material defect에 속하는 결함은 라미네이션, laps, seams, holes, hot tear 등이다. 이러한 결함들은 배관의 두께를 국부적으로 감소시키거나 완전히 관통되는 결과를 초래하는데 사용 전 시험에서 검출 가능하다. 피로 균열은 주로 배관의 모재와 longitudinal welds의 인접 지역에서 주로 발생한다. 피로 균열이 모재에서 발견되는 경우도 있는데 배관의 선적과 운반 과정에서 기계적 손상을 입은 부위가 운반 과정에서 정 하중과 차량의 진동에 의한 수직 방향의 반복 하중을 받아서 생긴 경우일 수도 있다. 미국에서는 배관의 운반을 위한 선적시에 API의 권고 조항을 적용하고 있으며 이의 적용으로 파손율을 상당히 줄였다고 보고하고 있다.

• Longitudinal welds에서 파손의 원인
 배관의 용접부는 주로 아래에 열거한 용접 방법에 의해 이뤄지고 있으며 현재 double-submerged arc welding과 electric resistance welding를 가장 많이 사용하고 있다. 국내에서 생산되는 배관의 경우 90\%가 electric resistance welding에 의한 것이며 세계적으로는 오일 및 가스 수송에 일본에서 생산되는 seamless 배관이 많이 사용되고 있다.

- Single and double-submerged arc welds
- Electric resistance welds

- Furnace butt welds

- Lap welds

파손 원인에 대해서 간략하게 요약하면 다음과 같다.

- Single and double-submerged arc welds
 weld crack, toe crack, 용입 부족이 파손의 일반적인 원인이다. 균열은 용착 금속과 열영향부에서 생길 수 있으며 용착 금속의 가운데에서 주로 생기는 균열은 주상 조직에 평행하며 이들은 대개 용착 금속이 고화되는 동안고 응력 혹은 구속 응력에 의해 발생하

게 된다. 열영향부에서의 균열은 대개 용접부 덧살의 가장자리에서 나타나기 때문에 toe crack으로 불리운다. 용입 불량 역시 주요한 결함 중의 하나이다. 이로 말미암아 배관의 실질적인 두께가 줄어드는 결과가 된다.

- Electric resistance welds

파손의 일반적인 원인으로 upturned fiber cracks, cold welds, incomplete upset 등이 있다. 이 용접법은 단조(forging) 온도까지 냉각처리된 강관의 용접될 부위를 국부적으로 가열하고 두께부를 upsetting시켜 접합이 이뤄지도록 한다. Upsetting 전에 황화망간과 같은 개재물이 존재하면 upsetting 과정에 의해 균열이 발생하게 되어 upturned fiber cracks을 가져오게 된다. Electric resistance welded seam의 경우는 모서리에 vee를 만들어 welding station을 통과하면서 만들어진다.

- Lap welds

이 용접부는 오브랩된 관의 모서리 사이를 단조(forging)하여 만들어진다. 이 경우 파손의 원인이 될 수 있는 용접부 결함은 접합부에 존재하는 산화물과 지나치게 낮은 온도와 낮은 upsetting 압력에 의한 응응 부족이다. 이러한 결함들은 용접부의 두께를 실질적으로 감소시키는 효과를 가져온다.

• Field girth welds에서 파손의 원인

상대적으로 이 부위에 걸리는 내부 압력이 낮으므로 파괴율은 낮은 것으로 보고되고 있다. 수동에 의한 metal arc 용접에 의해 생길 수 있는 결함들은 용입 부족, 얇은 비드, 기공, 용접부 균열, underbead crack 등이며 이들로 인해 용접부의 누설, 파괴가 일어난다. 이 중에서 underbead crack은 열영향부가 급격하게 냉각되어 경화 부위가 생길 때 발생한다. 경화된 부위는 두께가 다른 두 배관을 용접할 때도 발생하며 혹은 적절한 예열 없이 두께의 치수를 맞추는 과정에서도 발생한다. 이 경우 배관의 내면에도 용접 비드를 만들어 완전한 용접이 되도록 해야 한다. 그러나 구조적으로 이러한 작업이 상당히 어려워 내부에 예열이 이뤄지기가

매우 어렵다. 이런 상황에서 열영향부가 급냉으로 인해 마르텐사이트 조직으로 변하게 된다. 따라서 hydrogen-stress cracking에 의한 균열이 발생하기 쉬우며 underbead crack은 이렇게 해서 발생된다.

3. 사용 중 파손의 원인

3.1 배관 몸체의 파손

표 1에서 사용 중 파손의 원인에 대해서 열거하였다. 먼저, 몸체의 경우 기계적 손상이 사용 중 파손의 주요 원인이다. 이는 배관에 우연하게 닿게 되는 굴착 장비 등에 의한 것이며 따라서 배관 표면에 dent와 gouge가 생기게 된다. 파손이 일어나고 난 뒤엔 폭발 원인이 되었던 dent를 찾아내는 것은 거의 불가능하다. 기계적 손상이 배관을 관통시켜 즉각적인 누설을 가져오기도 하지만 dent된 영역이고 압에 의한 creep으로 계속 변형이 일어나 향후 잠재적 파손의 위험을 내포하게 된다. 대개 gouge는 비교적 얇아 보이지만 구속 응력에 의해 균열을 유발할 수도 있다. 기계적 손상에 의한 파손은 미세조직적 관점에서 보면 대부분 입계면을 따라서 일어나는 transgranular fracture라고 알려져 있다. 그러나 hydrogen stress cracking에 의한, 입계면을 가로질러 파괴가 일어나는 intergranular fracture에 의한 것도 보고되었다. 기계적 손상을 입은 부위의 파손엔 여러 원인이 있을 수 있으며 손상을 입는 순간에 일어날 수도 있다. 가능한 원인을 열거하면 다음과 같다.

- 손상 부위의 변형에 의한 균열 발생
- 배관에 작용하는 압력 유동에 의한 저주기 고응력에 의한 피로 파괴
- 음극 방식(cathodic protection)관련의 hydrogen-stress crack

따라서 기계적 손상을 입은 부분이 발견되면 잘라내거나 슬리브를 입혀 보강 처리를 해야 한다. 슬리브에 의한 보강 처리를 할 경우에는 슬리브와 파이프 사이의 틈을 에폭시나 폴리에스테르와 같은 것으로 채워넣어 손상 부위가 더 이상 변형되지 않도록 하여야 한다.

3.2 환경적 원인에 의한 배관 파손

주요한 원인으로 전반 부식(general corrosion), 경화한 부위에서의 hydrogen-stress cracking, 배관 외면에서의 응력부식균열(SCC), 배관 내면에서의 sulfide-stress cracking, 그리고 hydrogen blistering 등이 있다. 파손은 크게 배관의 내면에서 일어나는 것과 바깥에서 일어나는 것, 두 가지로 나눌 수가 있다. 대개 내면에서 시작되어 파손이 되는 것은 수분, hydrogen sulfide, carbon dioxide 혹은 다른 부식매질을 지닌 환경에 연관되어 있다. 내면에서 시작되어 파손이 일어나는 것은 내부 부식, sulfide-stress cracking, 그리고 hydrogen blistering에 관련이 있다.

- Hydrogen-stress cracking

고 강도, 고 경도의 강이 배관에 작용하는 압력에 의해 후프 인장 응력을 받는 조건에서 음극 방식용 전류에 의한 수소와의 결합에 의해 발생한다. 파단된 표면의 특징으로, 극미세한 입도(grain)를 지닌 취성의 파단면을 볼 수 있고 파괴의 시작이 대개 배관의 외부나 표면직하에서 일어난다. Hydrogen-stress cracking이 의심되면 경도 시험으로 확인할 수 있다. API, grade X52, steel의 경우 30 - 50 HRC의 정도이면 파손의 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 이렇게 높은 경도를 지니는 부위는 금속 조직이 열간 압연 과정에서 담금질에 의해 binite에서 martensite로 상 변화가 일어나거나 혹은 합금 편석에 의해 일어난다. 여태껏 이 기구에 의한 파손이 일어난 배관의 경도는 30 HRC가 넘는 것으로 알려져 있다. 따라서 경도 측정으로 위험을 예측할 수 있다.

- Stress corrosion cracking

Stress corrosion cracking에 의한 파괴는 gas 배관의 경우 transmission line에서 compression station에 인접한, 온도가 가장 높은 배관에서 자주 발생한다. 배관의 외면에서 시작되어 일련의 타원형의 모양을 하고 있는 균열이 특징이다. 금속조직적으로는 입내(intergranular) 파괴이며, 2차 파괴가 가지를 치고 나가면서 이뤄진다. 배관에서 SCC의 주요 원인으로 carbonate - bicarbonate 환경이 될 수 있다. 이 역시 음극 방식과 연관이 있는 것으로 알려져 있다. 배관의

온도를 가능한 한 낮추는 것이 cracking을 억제한다고 알려져 있으며, 또한 shot peening에 의한 mill scale을 없애 코팅처리가 잘 되면 억제 효과를 볼 수 있다.

- Corrosion failure

지하 매설 배관에서 부식에 의한 파손은 거의 토양과 연관되어 있고, stray current에 의한 전식이 주요 원인이 되고 있다. 각각을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

- 서로 다른 토양에 의한 부식

매설 배관의 경우 조성이 다른 흙에 의한 갈바닉 부식이 일어날 수 있다. 즉 전해질의 역할을 하게 되는 상이한 토양에 의해 동일 배관의 갈바닉 포텐셜이 토양에 의해 지역적으로 달라지는데 이는 macroscale하게 일어날 수도 있고 microscale하게 일어날 수도 있다.

- 통기성의 차이에 의한 부식

다른 한편 배관을 덮고 있는 토양이 동일하더라도 토양 내의 산소 농도(aeration)의 차이에 의해 부식이 일어난다. 흔히 이를 농도 전지(concentration cell)에 의한 부식 활동이라고 하는데 산소 농도가 낮은 부위가 양극(anode)이 되어 부식이 된다.

- 상이 재료에 의한 부식

다음으로 탄소강 배관과 상이한 재료의 밸브 등과 같이 상이한 재료가 접촉하게 되면 역시 갈바닉 부식의 원리에 의해 아주 가속된 부식이 진행하게 된다. 이 경우 갈바닉 시리즈에서 배관의 재료보다 높은 재료들, 예를 들면 배관의 재료가 탄소강이면 마그네슘 합금이나 알루미늄 합금과 같은 재료들을 희생양극으로 사용하면 방식이 가능하다.

- 새 배관과 낡은 배관의 접촉에 의한 부식

한편, 재료가 동일한 배관일지라도 전해질과 접촉하고 있는 배관의 표면 상태에 따라 갈바닉 준위(potential)가 달라진다. 즉, 깨끗한 표면의 배관과 녹이 쓴 표면의 배관이 서로 접촉하게 되면 갈바닉 포텐셜의 차이로 말미암아 깨끗한, 새 배관이 상대적으로

양극이 되어부식이 일어나게 된다.

- 박테리아에 의한 부식

토양에 존재하는 박테리아들이 부식에 직, 간접적으로 영향을 미친다. 먼저 공기 없이도 살 수 있는 혐기성 박테리아의 경우 황산염을 환원시키는 역할을 하는데 이로 인해 음극방식을 어렵게 만드는 것으로 알려져 있다. 그리고 공기가 있는 곳에서만 존재하는 박테리아의 경우 산소를 취하고 황화물을 H_2SO_4 와 같은 황산염으로 산화시키는데 이에 의해 농도가 10%에 이를 수도 있다. 이 경우 배관에 아주 치명적인 부식을 가져오게 된다.

- Stray current corrosion

이는 흔히 전식이라고도 불리우는데 토양에 흐르는, 의도한 회로를 벗어난 전류 혹은 외부에서 들어온 전류가 배관을 타고 흐르다가 다시 토양 및 물로 나가는 배관의 부위에서 부식을 발생시키게 된다. 일반적으로 토양에 자연적으로 존재하는 stray current는 그 크기가 적으며 체류 기간도 짧기 때문에 부식성의 관점에서 보면 별로 중요하지 않다. 또한 교류보다는 직류에 의한 부식이 더 심하며 주파수가 낮을수록 부식 속도가 빠르다. Stray current가 발생하는 곳은 주로 전철궤도, 전기 용접기계, 음극방식계, 전기도금공장 및 땅 속에 묻혀있는 동력선 등이다.

4. 배관의 비파괴 검사

비파괴 검사법, 혹은 비파괴 시험법이라고 불리워지는 것은 소재, 또는 부품에 존재할 가능성이 있는 결함, 재료의 이상 또는 열처리 이상 등을 파괴하지 않고 조사하는 방법이다. 비파괴 시험법은 압연품, 단조품, 주조 등의 소재 및 기계 부품, 용접부 등의 검사에 널리 쓰인다.

비파괴 시험에서는 그 목적 달성을 위해서, 각종 물리적 에너지 혹은 현상이 이용된다. 즉, 전자파(X선, 감마선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파) 중성자선, 기계적 진동(진동, 음향, 초음파), 자기, 열,

전기 등 거의 대부분의 물리적 에너지 및 전자유도, 침투, 누설 등의 물리적 현상이 이용된다. 비파괴 시험에서는 검사 목적에 따라 한가지 혹은 몇가지 방법이 함께 사용된다. 가장 대표적인 것으로 방사선 투과 검사(radiographic test), 초음파 검사(ultrasonic test), 자분 탐상 검사(magnetic particle test), 액체 침투 탐상 검사(liquid penetrant test), 와전류 탐상 검사(eddy current test) 등이 있고 이 외에 누설 시험, 음향방출 시험과 열적 시험 등이 있다. 이들 대부분이 배관에 적용할 수 있는 검사 방법들이다.

4.1 방사선 투과검사

이 시험법은 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 시험법이다. 배관 생산 공장에서 갖 생산된 배관의 품질 검사에서부터 배관 건설 현장에서의 용접부위의 검사에 이르기까지 가장 폭넓게 적용하고 있다. 이는 시험재 내부의 결함을 주변 재질과의 밀도 차이에 의해 확인하는 시험법이다. 그러나 결함의 형태에 따라 검출이 곤란한 것도 있다. 즉 방사선 빔에 평행하지 않은 균열은 검출하기가 어려운데 적절한 방향이라고 해도 두꺼운 시험체 내에 밀착 균열(tight crack)의 경우 전혀 검출되지 않을 수 있다. 마이크로 기공(microporosity), 마이크로 터짐(microfissure) 등의 미세 불연속도 때때로 검출되지 않으며 라미네이션은 방향성으로 인해 거의 검출할 수 없다. 반면에 용입부족, 블로우 홀이나 개재물, 보이드 등 그 크기가 단면 두께에 비해 현저히 작지 않은 경우 쉽게 검출할 수 있다. 방사선 투과검사는 크게 둘로 나눌 수 있다.

- Film radiography

Film radiography는 전통적인 방사선투과검사법으로 X-ray 혹은 동위원소와 필름을 사용하여 촬영 뒤 필름을 현상처리하여 시험 결과를 판독한다. 이 시험법이 현재 현장에서 가장 많이 사용되고 있다. 특히 배관의 경우 용접부의 검사뿐만 아니라 배관 부식에 의한 잔여 두께 검사까지 가능하다(이 시험법에 대한 국제적인 standard 및 protocol를 제정하기 위해, IAEA(국제 원자력 기구)가 주관하는 프로젝트에 당사부설 연구소가 참여하고 있다). 그리고

로봇에 방사선원을 장착하여 원거리 제어 및 자체 센서에 의해 거리를 이동하여 검사 부위를 자동촬영하는 시스템이 있다. 그러나 이 시스템은 필름 부착의 문제 때문에 지상으로 노출된 배관에만 적용할 수 있다.

- Real time radiography and near real time radiography

Real time radiography는 필름 대신 형광 스크린을 사용하여, 실시간으로 조사되고 있는 시험체의 radiographic image를 관찰할 수 있고 near real time radiography는 real time radiography에 비해 일정한 시간 늦음이 있지만 거의 실시간으로 radiographic image를 관찰할 수가 있다. 이 시험법들은 강관 등의 대규모 자동생산 라인에서 갖 생산된 배관의품질 검사에 적용하고 있다.

4.2 초음파 시험

초음파 시험은 방사선투과 시험과 더불어 내부의 결함을 찾는 데 아주 효과적인 시험법이다. 가장 많이 사용되는 펄스 반사법의 경우, 시험체에 입사한 초음파가 불연속부에서 반사되어 되돌아 오는 초음파 에코에 의해 불연속부의 위치나 깊이 등을 알 수 있다. 초음파로 탐상 가능한 결함의 종류는 균열, 개재물, 라미네이션, 등의 소재 고유의 불연속에서부터, 가공, 가공 중 불연속 및 피로 균열과 같은 사용 중 불연속에 이르기까지 대부분의 결함들이 검출 가능하다. 또한 재료의 두께 측정에도 사용되어 화학, 정유 처리시설의 보수 검사에 거의 빠짐없이 적용하고 있다. 단점으로는 표면 직하의 얇은 결함은 검출이 어렵고, 내부 조직의 입도가 크고, 기포가 많은 부품 등은 탐상이 곤란하다. 이 시험법은 최근 C-scan에 의한 시험 결과의 영상화 처리로 검사 결과에 대한 신뢰도를 높이고 있으며 당사가 기술 도입한 intelligent pigging 시스템에 의해 대규모 지하 매설 배관망 등을 검사할 수가 있다.

4.3 자분 탐상 검사

철강 재료와 같은 강자성체, 즉 자석이 붙는 재료는 자계에 의해 강하게 자화되고 비자성 재료에 비해 수십배 내지 수천배의 자속을 낳는다. 자기탐상 시

험은 강자성체의 시험체를 자화시켰을 때 표면 또는 표면 직하에 결함이 있으면 거기에서 자속선의 흐름이 혼란되고 표면에 누설 자속이 보이게 된다. 이것을 검지하여 표면 및 표면 직하의 결함을 검출할 수가 있다. 따라서 표면에 있는 길이 1 mm의 균열을 확실하게 검출할 수 있다. 때문에 강의 표면결함 검출용으로 많이 이용하지만 검출한 결함의 깊이는 알 수가 없다. 대부분의 배관 재료가 탄소강이므로 이 시험법의 적용이 가능하다.

4.4 액체 침투 탐상 검사

침투 탐상 시험은 시험체 표면에 열려있는 결함을 눈으로 보기 쉽게 하기 위해 붉은색의 염색 침투액, 또는 황록색으로 발광하는 형광 침투액에 의해 결함 지시 모양을 나타내는 방법이다. 이 시험법은 표면이 열린 결함에만 적용할 수 있으며 표면 결함 검출 능력은 자분탐상 시험보다 다소 뒤지지만 금속, 비금속을 불문하고 표면 결함을 검출할 수 있는 것이 큰 특징이다. 검출할 수 있는 결함의 최소 크기는 길이 1mm, 깊이 $20\ \mu\text{m}$, 폭 $1\ \mu\text{m}$ 정도이다.

4.5 와전류 시험법

와전류 시험법은 도체에 와전류를 발생시켜 재료의 여러가지 특성을 검사하는 방법으로 시험 원리는 전자기 유도에 의한 것이다. 이 시험법은 철강, 비철 금속 등의 전도체에 적용할 수 있으며 유리, 플라스틱 등의 전기적 부도체에는 적용할 수 없다. 이 시험법으로 결함의 검출 뿐만 아니라 금속의 합금 성분과 열처리 상태 및 도체 위의 코팅 두께 등도 검사 가능하다. 특히 이 시험법은 원자력 발전소의 증기 발생기의 튜브 검사와 석유화학 공장 등의 열교환기, 혹은 콘덴서 등의 튜브 검사에 많이 사용되며 자동화된 튜브 및 배관 생산 공장에서 갖 생산된 제품들의 품질 검사에 많이 이용되고 있다. 그러나 유도 전자기파의 침투력 한계로 표면 및 표면 직하의 결함 검출에 제한된다. 따라서 두께가 두꺼운 배관의 경우는 검사가 곤란하다.

4.6 표면 복제법(Replication)

이 시험법은 설비 재료의 미세조직(metallurgical

microstructure)을 설비로부터 잘라내지 않고 비파괴적으로 관찰할 수 있는 시험법이다. 60년대 부터 진행된 공업화에 따라 세워진 발전소나 석유화학 플랜트 등은 노후화 되어 설비들의 잔여 수명과 상태 진단에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 이러한 설비 및 구조물들의 파괴 원인은 재료 열화가 동반된 피로 파괴가 주요 원인이 되고 있으며, 열화가 진행될수록 재료는조직의 조대화, 탄화물 석출, 그리고 불순

물의 입계 편석 등과 같은 미세조직의 변화가 일어나며 재료의 기계적 성질은 떨어지게 된다. 따라서 이 시험법에 의해 재료 열화 평가가 가능하다. 당 연구소에서는 기존의 비파괴 시험법 외 초음파 감쇠법, 초음파 속도법, 경도 측정법, 비저항 측정법, 입계부식법 등의 시험법을 연구하고, 표면 복제법 등과 함께 적용하여 설비 재료의 열화를 비파괴적으로 평가하는 연구를 수행하고 있다.

보일러 급수 펌프의 형식별 특징



이 봉 주
(주)한돌펌프대표이사
(032) 818-0106

열병합 발전 프로세스에서 열에너지가 보일러 급수에 공급되어 압력을 가진 증기로 변하고, 터빈에서 기계적인 에너지로 변환되어 전력이 생산된다. 보일러 급수에는 고압 다단 보일러 급수 펌프(High Pressure Multistage Boiler Feed Pump: BFP)가 사용되는데, 이 보일러 급수 펌프는 전체 발전소의 효율성을 결정하는 가장 중요한 설비들 중의 하나이다. 급수 펌프는 발전소 설비들 중에서 가장 응력을 심하게 받는, 에너지 집약적인 회전기계이고 종종 급격히 변하는 운전 시스템의 지배를 받으므로 신뢰성 확보를 위하여 회전체 동력학적, 수력학적 설계가 세부 부품 설계에 특별히 고려되어야 한다.

일반적으로, 220 bar가 넘는 보일러 급수 펌프는 배럴식(Barrel Type)으로 설계된 것을 사용한다. 이것이 특히 미국에서의 경우인데 반해 유럽에서는 환절식(Ring Section Type)을 선호한다. 최근에 실시한 초임계(Supercritical) 발전소의 보일러 급수 시스템에 대한 조사에서는, 유럽 발전소에 설치된 보일러 급수 펌프의 약 40%가 환절식으로 되어 있다. 복합 사이클 발전소에는 환절식과 수평 분할식(Horizontal

Split Type)이 우세하다.

가장 보편적인 보일러 급수 펌프의 형식은 다음 표와 같다. 전형적인 예는 그림1 - 4에서 보여준다.

구분	케이싱 구조		수력적 특징	
			임펠러 배치	디퓨저 또는 벌루트
1a	배럴	풀아웃	일렬	디퓨저
1b		카트리지		
2		풀아웃	배면	이중 벌루트
3	환절		일렬	디퓨저
4	수평 분할		배면	이중 벌루트

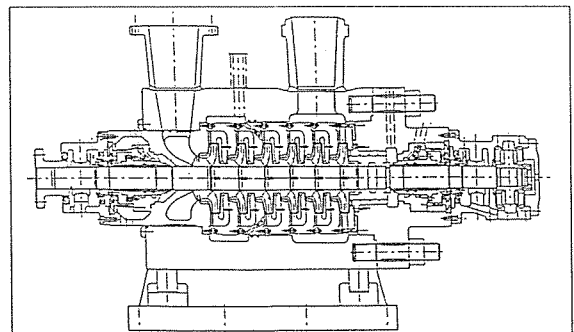


그림1. 가트리지형 배럴식 펌프