

# 건축용 배관의 설계, 시공 및 경년변화에 따른 점검보수

백 수 곤 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

최근의 건축설비는 업무효율 향상을 위한 기능뿐만 아니라 쾌적한 주거환경을 보장하기 위한 감성 설계를 중시하게 되었다. 이에 본 난에서는 최적 건축설비 관리를 위한 배관의 설계에서부터 시공, 유지보수에 이르기까지 관련 기술규격을 바탕으로 설명하고자 한다.

건축용 배관에서는 급수 및 급탕설비, 위생설비를 포함한 배수설비, 공기조화용 냉난방설비, 가스설비 및 소화설비용 배관으로 크게 분류할 수 있다. 본 장에서는 건축용 배관중에서 공기조화용 난방설비를 위주로 설명하고자 한다.

## 제4장 배관설비의 열화 및 손상

### I. 배관 파손과 그 원인

#### 1. 일반

배관파손이란 배관계의 완전한 파단을 뜻하는 것이 아니고 지속적인 안전운전의 관점에서 배관계통이 운전될수 없을 때의 모든 손상상태를 말한다.

예로서 주기적 운전을 하는 어떤 압력계의 높은 응력 지점 부근에서 발생된 미세한 표면균열은 압력계가 손상되지 않은채로 남아 있지만 초기 파손지점으로 고려되어 진다.

배관계의 잠재적 파손원인은 크게 4가지 범주로 나눌 수 있다.

① 운전상의 원인 ② 금속학상의 원인

③ 제작 설치상의 원인 ④ 설계상의 원인

또 파손원인에 따라 발생하는 파손형태는 다음 세가지 형태로 구분된다.

- 파단 (rupture) : 파단이란 배관계가 초과압력을 받을때 일어날 수 있는 배관벽의 돌발적 찢어짐을 말한다. 파단은 배관계의 제작이나 설치시 발견되지 못한 배관벽(pipe wall)의 결함이나 흠에 의하여 일어날 수도 있다.

- 전체적인 변형 (gross deformation) : 전체적인 변형이란 과도한 외력에 의하여 배관계에 발생하는 붕괴(collapse) 혹은 좌굴(buckling)등을 말한다. 발생응력(stress)과 변형율(strain)이 전체적인 변형을 통제하는 기준으로 사용된다.

- 피로파손(fatigue failure): 피로파손은 주기적인 운전상태의 변화(cold & hot)에 관계되어 있으며 파손의 모습은 미세한 초기균열과 균열의 증식으로 나타난다. 이것은 표면흠, 노치, 결합이 있는 배관재에서나 배관단면적의 변화, 용접 부분등과 같이 배관벽에 급전된 불연속부에서 발생된다.

### 2. 운전상의 배관파손(operational failure)

발전소가 건설되어 운전되고 있을때 발전소의 구조적 견고성 (structural integrity)에 대한 수명을 발전소 초기 설계변수(initial design parameter)내로 운전상태를 유지하는데 따른다.

만일 이 운전상태를 유지할 수 없을때 파손의 잠재적 원인이 발생되어 진다. 대부분의 경우 운전상의 파손은 잠재적 파손원인이 적절한 시기에 탐지될 수 있도록 된 가동중 검사절차서에 포함된 발전소 유지보수 계획에 의하여 완전하게 방지될수 있다.

다음은 일반적인 운전상 배관파손의 원인들이다.

- A. 과부하 압력(excessive pressure)
- B. 과열온도(excessive temperature)
- C. 환경조건 붕괴(enviromental degradation)
- D. 진동(vibration)
- E. 부식 및 침식(erosion & corrosion)
- F. 물리적 오용(physical abuse)

### 3. 야금학적 파손(metallurgical failure)

야금학적 파손은 일반적으로 다음 세가지를 들 수 있다.

- A. 부적합 재료 선택(improper material selection)
- B. 부적합 재료 식별(improper material identification)
- C. 응력 부식 균열(stress corrosion cracking)

## II. 배관설치에 관계된 파손

현대에 있어서 배관파손의 주원인은 제작과 설치에서의 오류에 의한 것이다. 잠재적 원인이 끝없이 많으나 다음은 대중을 이루는 원인들이다.

- A. 용접결함(defective welding)
- B. 굽힘결함(bending defects)
- C. 용접준비 불량(poor fit-up)
- D. 배관치수 결함(dimensional errors)
- E. 설치 숙련도 미흡(improper installation practices)

### 1. 설계에 관련된 파손(design related failure)

설계에 관련된 파손은 내부압력에 대한 적절한 관두께 설정, 지속적 하중, 열팽창 하중, 일시적 하중 등에 의한 응력과 변형을 통제에 의하여 방지될 수 있다.

## III. 건축 설비용 배관에서의 파손

대한 설비공사협회에서 조사한 건축설비의 배관계통에서 발생하는 문제점은 다음과 같다. 상세한 내용은 대한설비공사 협회에서 발행한 "기계설비 하자 사례 및 대책집(1996.7)"을 참고하면 된다.

### 가. 가스계통 배관에서의 문제점

- 가스누설 및 물고임
- 가스관 슬리브사이로 외기 및 우수침입
- 가스관 부식 누수
- 가스관 부식 및 밸브 내부에 물투입
- 가스배관 동결
- 가스밸브 탈락

### 나. 온냉수계통 배관에서의 문제점

- 고압증기 환수계통의 트러블
- 팬코일 유닛으로부터의 악취발생
- 푹 밸브에서의 누수
- 불탐의 파손

냉각탑 주위에 냉각수 넘침  
 냉각탑의 병렬운전시 순환수량의 불균형  
 냉각탑 주위배관 동파  
 냉각수 펌프의 배압선정 잘못으로 인한 누수  
 냉동기용 순환펌프의 플렉시블 조인트 파손  
 F.C.U드레인 슬리브에서 우수역류  
 대기오염에 의한 냉각수 배관의 부식  
 냉수관의 보온재에 검은 곰팡이 발생  
 배수펌프 여과망에 의한 펌프모타 소손  
 외벽에 면한 수직사프트내의 팽창수조 급수공급관의 동파  
 환탕관을 통한 냉수의 역류방지  
 펌프 토출관의 접속불량  
 펌프 토출관측 플렉시블 조인트의 위치불량  
 냉온수배관계통 최저부의 막힘으로 인한 송수량 부족  
 매설기름배관이 부식으로 파손되어 우물로 기름 유입  
 기계실 냉각수 펌프의 프랜지 누수  
 강관전기아크용접부위 부식으로 인한 누수  
 증기배관계통의 관말트랩 미설치와 난방배관 입상불량  
 고압증기 환수계통의 응축수 정체로 인한 증기코일 파손

## 제4장 배관설비의 점검, 보수

### 1. 배관 보수

배관은 발전소의 각종 기기들을 상호연결하여 해당 유체들이 정해진 장소까지 가장 효율적으로 운송될 수 있도록 하는 공간 구조물로서 관 및 배관 보조장치의 보수유지는 매우 중요하다. 여기서는 누설부의 점검 및 방지대책과 운전 보수성에 대한 접근성 등에 관해 설명하고자 한다.

#### 가. 나사식 관이음부의 누설

##### 1) 누설방지의 주요점

증기, 물 등의 나사식 관이음 부분에서의 누설

은 관의 나사를 낸 부분을 부식시키고 동시에 관에 나사를 낸 자체가 관의 살두께를 얇게 했으므로 강도저하→균열→파단의 원인이 된다. 또 나사식 관이음 부분에서의 착탈을 반복함으로써 생기는 마모는 생각지도 않은 사고를 유발한다.

철망을 고정하는 플러그를 비틀어 넣는 것이며 6개월에 한번은 떼내고 철망을 꺼내서 청소한다. 그러나 몇번 반복하는 사이에 마모되면 다른 나사부와 비교해서 잘 알 수 있다. 그에 따른 사고에로서는 통기중 돌연 플러그가 날라가고 7kg/cm<sup>2</sup>의 고온 증기가 분출된 경우가 있다. 만일 그 정면에 작업자가 있었으면 생각만해도 무서운 일이 돌발했을 것이다. 그러나 화살표 B부는 관을 비틀어 넣은 자국이 거의 2산 정도로 보인다. 이것은 관끝의 나사 내기가 불량해 충분히 비틀어 넣어져 있지 않았음을 보이고 있다. 따라서 나사식 이음쇠는 풀리지 않게 충분히 비틀어 넣고 나사부에 수분 등이 들어가지 못하게 하는 것이 주요점이다.

##### 2) 더 죄기에 의한 누설방지

나사식 이음부에서 누설이 생겼을 경우 그대로의 상태로 밸브나 풀림이 생겨 단지 누설개소가 이동한다고 밖에 볼 수 없다. 그러므로 이 경우 플랜지부로부터 순차적으로 나사식 이음부를 빼내고 교체여부를 확인한다. 교체가 불필요할 때는 밀봉 테이프를 감고 순차적으로 비틀어 넣어 최후에 플랜지부를 접속한다. 또 그러기 위해서도 플랜지나 유니온 이음쇠가 적당히 배치되어야 한다.

##### 나. 용접식 이음부의 누설

배관이나 이음쇠의 용접부분은 기본적으로 믿을 수 있는 용접기술에 의해 시공되지 않으면 안심할 수 없으나 나사식 이음부보다는 고장이 적다고 본다. 또 나사식이음과 같이 돌연 빠져 나오는 사태는 거의 없다고 봐도 될 것이다. 그러나 용접부의 일부에 균열이 생겨 누설이 진행돼

서 파단에 이르렀다고 하는 사고예가 있으므로 누설의 조기발견에 의한 빠른 조치가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

**다. 누설의 발견과 방지대책**

누설의 조기발견과 그에 대한 적절한 조치는 나사식, 용접식을 불문하고 가장 중요한 요점이다. 여기서 이 누설의 발견이지만 액체나 증기의 경우는 비교적 쉬우나 압축공기의 경우는 대단히 힘든 것이다. 그러므로 1~2년에 한 번은 정기보수시 공기압축을 운전해 보는 것이 좋다. 조용한 플랜트내에서 공기누설의 소리를 발견하기 쉽다. 또 공기의 압력강화의 상태에서 누설상태를 추정할 수 있다. 누설발견과 방지는 안전성의 유지뿐만 아니라 에너지를 줄이는 관점에서 도 꼭 정기적으로 해야 한다.

**라. 지관(枝管)의 분기방법**

일반적으로 주 배관을 가공배관으로 해서 건물의 기둥이나 보에 브라켓으로 고정하고 여기에 지관을 분기해서 설비에 배관한다. 이 배관에 의해 일반적으로 건물은 침하되지 않으나 설비는 어느정도 침하되는 것이 보통이다.

**마. 배관지지 장치의 보수점검**

배관 지지장치는 정지된 상태로 쓰여지는 것이며 가동식이라 해도 큰 운동을 반복하는 것은 아니다. 따라서 일상점검을 필요로 할 정도의 것은 아니며 다른 관이나 이음쇠의 수리, 교체, 도장, 보온의 보수등 배관계에 손을 댈 경우 그 부근의 지지장치도 함께 점검,보수를 하면 좋을 것이다. 오히려 배관공사가 시공되어 보전부문으로 인계될 때 시공, 조립의 불비점이 없게 주의하는 것이 중요하다.

**바. 보온, 보냉부분의 보전**

배관의 보온, 보냉이 시공되는 이유는 몇가지가 있으나 주요한 것을 들면 다음과 같다.

- ① 방열에 의한 손실을 방지한다.(경제적 이유)
- ② 배관계통에 요구되는 온도의 유지

③ 사람이 고온관에 접촉하는 것을 방지(위험 방지)

**④ 한냉지에서의 동결방지**

보온, 보냉부분이 손상되는 큰 원인을 정리해 보면 다음과 같다.

① 밸브나 플랜지의 보수공사시 보온부분을 거칠게 분해하여 파손, 변형시키고 확고히 다시 조립하지 않았을 때.

② 다른 부분의 보수공사시 접촉 손상시키거나 혹은 보온부분에 올라서거나 걸거나 해서 변형 손상시킨다.

③ 장기간의 사용(5~10년)으로 비, 바람에 의해 부식, 손상, 지진, 폭풍, 진동 등에 의한 손상.

특히 ①, ②의 경우는 배관계를 포함해 설비를 담당하는 보수원으로서 공사를 시공한 부서에 완전복구시키게끔 일상의 주의를 소홀히 하지 않을 것이 중요하다. ③의 경우는 자연열화이므로 수년에 한 번은 보수계획을 세워 예산조치한 다음 계획적인 보수를 진행해야 한다.

**사. 배관의 부식작용과 방지법**

상세한 내용은 “부록” 배관의 침식 및 부식현황편을 참고하고, 여기서는 일반적인 내용을 간단히 소개하기로 한다.

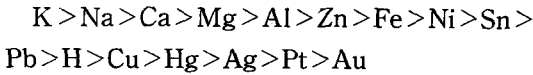
관의 부식작용은 금속관 특히 철관이 아주 심하다. 관이 부식되는 정도는 관을 구성하는 재질 또는 관내를 흐르는 유체의 화학적 성질에 따라서도 정도의 차이는 있지만 물이나 산소(공기)가 그 작용을 촉진시키는 것이다. 진공중 또는 건조 공기중에서는 부식작용이 일어나지 않는다. 부식은 유체가 접촉하는 관의 내벽에 많이 발생하지만 땅의 매설관에서는 토양에 접하는 관외벽에도 발생된다. 대기중에서의 관외벽의 부식은 그 안전성, 경제성의 점에서 대단히 중요한 문제이며 관의 내외면에 방지도장, 라이닝, 전기방식등 각종의 부식방지 처치가 취해진다.

외벽면에 응결한 물의 얇은막으로 인해서 진

행되는 것이다. 부식작용을 크게 분류하면 다음 3종류로 된다. 그러나 이것들은 2개 혹은 3개의 부식현상이 보통 동시에 발생된다고 생각된다.

1) 금속의 이온화에 따른 부식

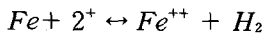
가장 보편적인 부식현상이다. 일반적으로 물 속에 있는 금속은 조금이라도 +이온이 되어 용해화하려는 성질이 있다. 금속이 +이온이 되려는 힘 즉 이온화 경향은 일정한 순위가 있는데 다음은 그 순서를 나타낸다.



이 순서는 또한 전기화학적 활성의 순서를 표시하는 것이다. 철판이 물과 접촉하고 있을 때를 생각하여 보면 물은 약간 전해액으로서 아주 미량이지만 하나 수소이온(H<sup>+</sup>)과 수산이온(OH<sup>-</sup>)으로 전리하여 다음의 평형상태에 있다.



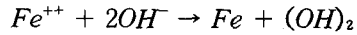
철은 수소보다도 이온화 경향이 크므로 철은 철이온(Fe<sup>++</sup>)으로 되어 수중에 용해되어 나온다. 이것은 +이온 이어서 수중의 H<sup>+</sup>의 양전기를 빼앗아 이것과 치환되고 수소이온은 수소가스(H<sub>2</sub>)로 되어 다음의 평형상태를 유지한다.



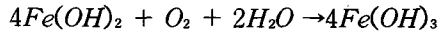
그런데 이때 생긴 H<sub>2</sub> 철의 표면에 가스의 얇은막을 만들고 철이 더욱 용해하는 것을 방해하게 된다. 이때 수중에 산소가 존재하면 생성한 수소와 반응하여 물이 되고 수소는 계속 없어지는데 물의 운동이 심할 때도 수소가 제거되어 반응은 더욱더 우로 진행한다. 순수한 물속에는 H<sub>2</sub>가 적지만 자연수에서 탄산가스(CO<sub>2</sub>)가 존재하면 그것이 물과 반응해서 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)으로 되고, 위의 전리에 따라 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>가 증가한다. 그러므로 위에 식은 가일층 우측으로 이행한다.

그 밖에 물에 전해물질이 용해하고 있으면 반응은 우측으로 진행하게 된다. 여기서 생긴 Fe<sup>++</sup>는 그대로 존재치 않고 수중의 OH와 반응해서

수산화 제1철이 된다.



다시금 수중의 용존산소와 반응해서 수산화 제2철로 된다.



이것이 바로 철의 빨간녹(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O)이다.

이 빨간 녹은 물이 산성이 아닌 철의 부식에서의 최종 생성물이지만 산소가 충분하지 못할 때는 그 중간 생성물인 검은 녹이라고 불리우는 자성 산화철이 생길 때도 있다.

2) 2종 금속간에 일어나는 전류에 의한 부식

두 종류의 수중에서 서로 접촉할 때 일어나는 부식현상이며, 전지작용과 비슷하다. 이것을 접촉부식 또는 유전부식(Galvanic Corrosion)이라 하며 이종금 속의 접촉점 근처에서 많이 일어난다. 양금속간의 이온화 경향의 차가 크고 액의 전도도가 좋으며 또한 액의 운동이 심할수록 부식하기 쉽다.

3) 외부로부터의 전류에 의한 부식

이 부식은 전식(Electro Lysis)이라고도 불리며, 전류가 외부에서 철판내부에 유입하여 이것이 습지나 저항이 작은 곳에서 외부로 나갈 때에 일어나는 것인데 앞의 접촉부식과 상이한 점은

① 전류가 관내에서 발생한 것이 아니라 외부에서 침입하는 것.

② 부식은 주로 전류가 도망가는 곳에서 일어난다.

의 두가지 점이다.

4) 방지법

부식을 방지하려면 금속관 표면에 습기가 없도록 하는 것이 가장 이상적이다. 방식을 위해 아스팔트 페인트 등 방식도료를 칠하는 것은 관 벽면과 물과의 사이에 내식, 방수성막을 형성하여 물의 접촉을 막기 위한 것이다. 금속관에는 아연도금, 주석도금, 메탈리론 등 내화확성이 강한 금속의 막으로 피복하여 부식을 방지하는 방

법도 있다. 내식성 면에서는 플라스틱관이 가장 좋은 관재료이다. 전식에 대한 방법으로는 주트(황마)와 아스팔트로 관의 외벽을 피복하여 전기 절연층을 만들고 외부에서의 전류를 차단하는 방법이 많이 사용되고 있다. 방식을 고려한 배관 시공상의 주의사항은 다음과 같다.

① 다음에 사용되는 재료는 주재료보다 이온화 경향이 낮은 금속을 사용하는 것이 좋다.

② 지하매설배관 및 피트내 배관의 경우에는 피트의 밑 부분의 배수가 정체하거나 물이 고이지 못하도록 하고 또한 청소하기 쉬운 구조로 한다.

③ 금속표면을 고르게 하고 특히 이음부등이 부식하기 쉬우므로 방식도료를 칠하여 준다.

④ 냉각수 또는 일반 급수관에 있어서는 용존 산소나 기포가 존재하면 부식이 촉진되므로 탱크의 배출구나 펌프 등에서 공기를 흡입하지 않도록 하는 것이 좋다.

#### 아. 기타사항

배관에 대한 개개의 문제를 기술했으나 요약하면 적절한 설계와 확실한 시공이 가장 중요한 요점이다. 한번 설치된 배관은 부분적인 개조, 보수, 교체는 되더라도 장기간 사용되는 것이므로 긴 안목에서의 점검, 보수체제가 필요하다.

경년적 고장이 일어나기 쉬운 개소로서는 다음과 같다.

① 용접부나 나사식 이음부분은 압력, 온도 등에 의해 재료조직이나 기계적 성질에 변화가 생기고 또 기동, 정지에 의한 반복응력이 집중되기 쉬운 부분이다.

② 관의 팽창, 수축은 운전당시에는 문제가 없어도 이후의 운전조건의 변화, 지반침하에 의한 영향이나 부분적인 관의 보수, 교체에 의해 압력이 걸리는 정도에 따라 변화가 생긴다.

③ 가스켓류의 열화, 손상도 배관고장의 하나의 원인이며 관의 이음쇠, 기기와의 접속부분에

누설의 조기발견과 확실한 보수를 하지 않으면 안된다.

자. 배관 배치시 운전·보수를 위한 고려사항  
배관 배치시는 압력손실, 편류, 캐비테이션, 열팽창 등 유체흐름에 직접적인 영향을 주는 내적 요인들은 물론 시공성, 운전, 보수성 및 타기기에 대한 접근성등 외적 영향까지를 복합적으로 고려하여야 한다. 이러한 배관 배치는 배관 자체의 점검 및 보수성은 물론 타기기의 운전·보수성을 고려하는 것이 매우 중요하다. 여기서는 기존 원자력발전소에서 운전·보수 저해요인으로 지적되고 있는 내용과 그 개선방안에 대해 기술한다.

#### 1) 설계측면에서의 취약점

기존 원자력 발전소의 배관배치에 대하여 검토한 결과 나타난 설계 측면에서의 취약점은 다음과 같다.

- 기존 설계지침의 구체적인 공간 제한 요건 미흡.
- 배관 도면 검토시 운전, 보수성 측면 검토 소홀.
- 인간 공학 자료 반영 미흡.
- 배관 배치시 발전소 근무자의 작업환경에 대한 관심 미흡.

따라서 그 개선방안으로 배관 설계자가 용이하게 실제 업무에 활용할 수 있고 상기의 운전·보수성 취약사항들이 배관 배치시 최대한 개선될 수 있도록 참고로 운전·보수성 관련 배관 배치기준, 운전·보수성 점검표를 다른 참고문헌에서 인용하여 제시하였다. 또한 운전·보수원 행동모드별 필요공간치수, 한국인 체위 조사표 등을 조사해서 고려하는 것도 필요하다고 생각된다.

#### 2) 설계 개선방안

가) 운전·보수성 관련 배관 배치시에는 기존 설계지침과 다음의 운전보수성 관련 설계 지침을 병행하여 설계에 반영하는 것이 바람직 하다.

#### ① 운전·보수용 공간 제한

다음에 제시된 모든 치수들은 설계시 반영되어야 할 최소 필요 간격이므로 가능한 한 접근성 및 작업능률을 향상시킬 수 있도록 보다 충분한 간격을 유지하는 것이 바람직하다(건설 및 제작시의 허용오차로 인해 건설후의 실제 공간크기는 감소될 수도 있음).

① 배관 및 플랜지 주변

○ 검토된 운전, 보수 내용

- 배관 용접작업

- 플랜지 볼트 체결 및 해체작업

- 보온두께 미고려 : 보온 배관인 경우는 별도로 보온 두께를 가산해야하며 특히 전기 보온 배관인 경우는 잦은 보수가 예상되므로 보다 충분한 간격을 확보하여야 한다.

○ 운전, 보수용 최소 필요공간 크기

② 기기주변

기기주변의 배관배치는 각종 기기의 특성을 잘 이해하지 않으면 양호한 결과를 얻기 어렵다. 따라서 배관설계자는 기기의 운전 보수성 향상을 위해 다음에 제시한 기기별 운전 보수용 최소 필요공간을 만족하는 범위내에서 배관을 배치하여야 한다.

① 검토된 운전 보수 내용

○ 인양장비 사용공간

○ 기기보수 및 하역공간

- 열교환기 : 튜브 플러징 작업

튜브 교체 작업

열교환기 전체 교체작업

- 펌 프 : 베어링 교체 작업

펌프 분해 교체작업

모터 제거 작업

- 유니트쿨러 : 필터 교체 작업

쿨링 코일 교체 작업

팬, 모터 교체작업

- 밸브 : 밸브 스템 제거 작업

밸브 씨트 래핑 작업

밸브 교체 작업

○ 접근공간

- 열교환기 : 맨-호을 접근 및 커브 개폐 용이성

복수기 내부 점검

튜브 다발 점검

- 펌 프 : 베어링 점검

메카니칼 씰 점검

- 유니트 쿨러 : 필터 점검

베어링 점검

- 밸브 : 밸브 핸들 조작

① 기기별 운전 보수용 최소 필요공간크기

② 계기 주변

○ 검토된 운전, 보수내용

- 온도계 : 온도계 취출 작업

- 유량계 : 계기판 점검 및 보수작업

격리 밸브 접근 및 교체작업

- 액면계 : 액면계 분해 및 교체작업

격리밸브 접근 및 조작

○ 운전, 보수용 최소 필요 공간 크기

③ 운전, 보수 용이성 고려사항

○ 빈번한 점검 또는 보수가 예상되는 곳에는 타계통의 운전에서 지장을 주지 않고 용이하게 철거, 보수할 수 있도록 플랜지 또는 보수용 단판(Removable Spool)을 삽입한다.

○ 가능한한 포켓(Pocket)이 형성되지 않도록 배관을 배치한다. 특히 증기 배관인 경우에는 응축수 포켓을 방지할 수 있도록 적당한 경사(Sloop)을 준다. 불가피할 경우에는 배기 또는 배수 밸브를 설치한다.

○ 증기 응축수 및 기타 고온 유체는 지면으로 직접 배출시키지 않는다. 운전, 보수원에 대한 상해 및 인접 전기구동기기 장치들에 지장을 초래할 우려가 있다.

○ 고온배관 및 냉각수 배관은 전기 관련기기(Pannel, Switch Gear, Valve Solenoid, Cable 등)

와 인접하여 배치하지 않는다. 고온 및 응축수에 의해 전기기기의 오동작 및 손상을 가져올 수 있다.

○ 현장 감독 및 조작이 필요한 방사성 계통의 배관은 가능한한 방사선 준위가 낮은 지역에 설치한다.

나) 운전, 보수성 점검표

아래의 운전보수성 점검표를 참조할 것

**배관의 침식, 부식현상**

가. 부식

부식이란 금속이 천연 상태인 산화물로 돌아가려는 행위이며, 부식은 일종의 전기 화학적 과정으로 재질상 또는 환경조건상 어떤 상이점이 있을 때 용액중에서 금속표면의 두점 사이에는 (양극과 음극이 되어) 전류가 흐르며 이로 인해 전자가 이동되므로 부식이 진행된다. 철의 부식

반응을 확대해 도시하면(실제로 양극과 음극은 근접해 있음) <그림4-1>과 같다. 철은 양극부에서 양이온으로 되어 전해액으로 녹아 들어가고 용액중의 수산이온(OH)과 결합하여 수산화철(Fe(OH)<sub>2</sub>)을 형성한다. 수산화철이 다시 수중의 산소와 반응하여 녹이 되고 금속표면상에 축적된다. 한편 철이 수중에서 양이온이 되면서 두개의 전자를 내놓게 되는데 이 방출 전자들은 금속의 다른 음극으로 보내져 수중의 수소이온과 결합하면서 분자상태의 수소기체를 발생하여 음극에서 수소기체 피막층을 만든다.

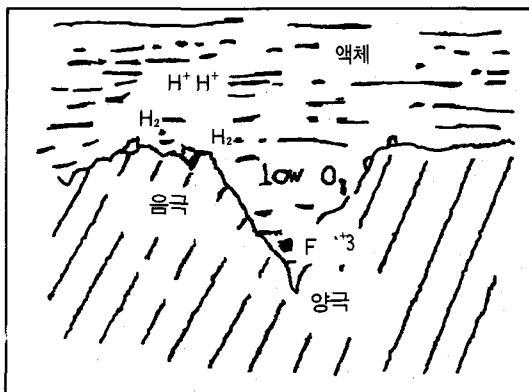
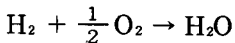
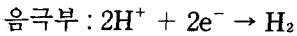
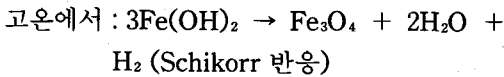
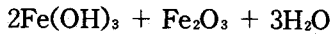
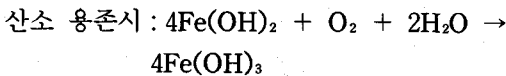
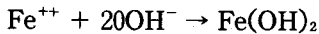
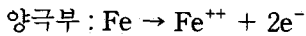
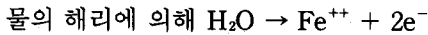
철의 부식이 계속 진행됨에 따라 양극에서 생성된 녹과 음극에서 생성된 기체는 결과적으로 전기 저항을 증가시키면서 차폐체 역할을 하게 되어 전자의 이동을 방해하므로 부식의 진행을 억제하거나 정지시킨다. 그러나 용액중에 산소가 용존되어 있을 경우 수소기체는 용존 산소와 반

운전, 보수성 점검표

항 목	점 검 사 항
기 기 주 변	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 열교환기 튜브다발, 펌프 임펠라, 공기압축기, 피스톤, 탱크의 교반기등 기기부품의 해체공간은 충분히 확보되었는가?</li> <li>○ 기 상부의 인양장비 사용공간은 고려되었는가? (기기 자중이 25kg 이상일 경우)</li> <li>○ 주변 밸브 및 계기는 접근, 관측이 용이한 위치에 설치되었는가? 조작공간은 충분한가?</li> <li>○ 기기(특히 탱크, 열교환기 등) 저부 토출 배관의 플랜지 또는 밸브의 최저감과 바닥과는 적절한 간격이 유지되었는가?</li> <li>○ 여과기의 접근 및 취출 공간은 확보되었는가?</li> </ul>
계 기 주 변	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 계기에 대한 접근 및 관측은 용이한가?</li> <li>○ 계기 차단·밸브의 조작은 용이한가?</li> <li>○ 오리피스 주변에는 계기판 설치를 위한 공간이 확보되었는가?</li> <li>○ 오리피스 전후단에 적정직관 거리는 유지하고 있는가?</li> <li>○ 오리피스 플레이트에서 취출탭까지의 거리는 적당한가?</li> <li>○ 온도 검출기 설치구(Thermo-well)이 설치된 경우 온도계의 삽입 및 취출은 용이한가?</li> <li>○ 써머모-웰 설치위치가 배관 합류점에서 5m이상 지난 지점인가?</li> <li>○ 써머모-웰과 온도계가 설치될 장소가 너무 이격되지 않았는가? (5m 이내일 것)</li> <li>○ 써머모-웰이 적절한 배관 구경에 설치되었는가?</li> <li>○ 사다리 중심선과 액면계 중심선 사이의 거리는 적당한가?</li> </ul>
배 관 주 변	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 배관이 밀집 배치된 경우에는 배관과 배관 간격은 충분한가, 보온두께 및 플랜지 외경은 고려되었는가?</li> <li>○ 편심 레듀서와 동심 레듀서의 사용구분이 적당하게 되었는가, 포켓(Pocket)이 형성되지는 않았는가?</li> </ul>
통 로 주 변	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 운전원이 통행하는데 불편을 주는 배관은 없는가, 불가피할 경우에는 방호 조치는 취해졌는가?</li> </ul>



응하여 물분자를 형성하므로 부식의 진행을 억제하는 수소기체 피막층이 제거된다. 수중의 용존 산소는 음극부의 수소 기체층을 제거하는 반면 부식을 저지하는 또다른 기능을 수행하기도 한다. 다시 말해서 용존 산소는 금속 수산화물과 반응하여 양극부에 보호피막을 형성하게 되는데 이 보호피막은 일종의 부식 생성물 층의 마그네타이트 (Magnetite)이며 그 조직이 치밀하고 견고하여 그 자체가 더 이상의 부식진행을 저지하는 차폐체 역할을 한다. 이 과정을 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



<그림4-1> 철의 부식 진행 과정

#### 나. 침식

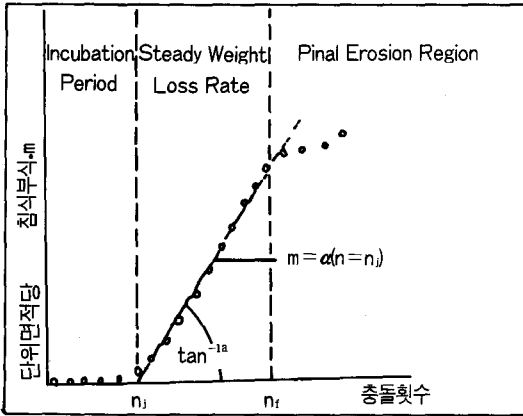
침식은 고체표면에 반복되는 유체입자의 충돌로 고체표면에 피로현상을 일으켜 파괴되면서 생기는 틈새나 구멍을 말하며 이로 인해 질량 손상을 초래한다.

유체입자의 충돌에 의해 손상되는 현상들을 보면 액체가 고체표면에 충돌하게 될 때 액체입자는 갑자기 정지하게 되며 갑작스런 감속은 배관계에서 갑자기 밸브를 닫았을 때의 압력 상승과 같이 액체와 고체가 만나는 부분에 압력이 발생하게 되며 매우 큰 에너지로 고체표면에 충격을 가한다.

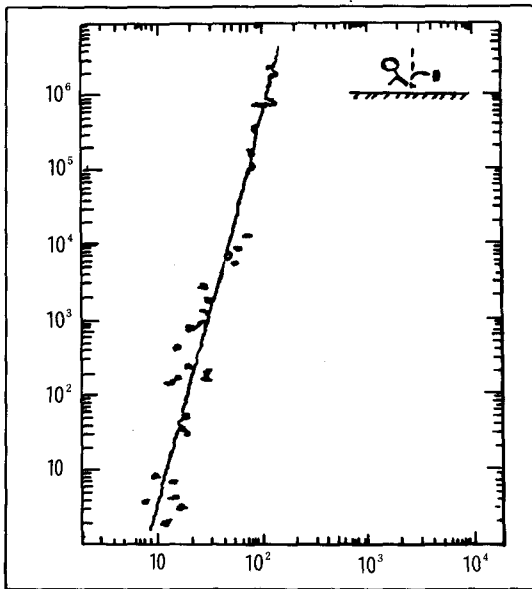
따라서 그 부위에 작용하는 압력은 고체표면에 법선력을 만들게 되고 이 힘은 재질의 내부와 표면을 따라서 움직이는 응력파를 발생시킨다. 이 응력파에 따른 법선 및 접선력의 변화는 재질의 피로파괴를 가져오게 된다. 재질에 손상을 주는 응력의 크기는 표면에 작용하는 법선력으로 생각할 수 있다.

액체의 입자로부터 옆으로 분출되는 분출수는 이미 피로에 의해 취약해진 고체표면에 일종의 전단력을 가하므로 고체표면에 손상을 미치게 하며 표면에 작은 흠집과 틈새를 만든다. 이러한 침식 과정에서 어느 정도의 충돌횟수 이하에서는 침식이 발생하지 않는 잠복기간이 있게 되는데 이때 재료 표면은 취약해진 상태로 볼 수 있으며 이 잠복기간이 지나게 되면 <그림 4-2>와 같이 충돌횟수에 비례하여 침식률이 증가하게 되며 재질의 강도가 높고 작용하는 응력이 작으면 잠복기간은 늘어나게 된다.

재질의 침식을 가져오는데 필요한 충돌횟수는 <그림4-3>와 같이 충돌하는 유체에 의해 발생하는 응력에 대한 재질 강도와의 비(S/P)에 비례하고 침식량은 평균침식 깊이(Mean Depth Penetration MDP)로 나타내며 질량손실에 비례한다.



<그림4-2> 단위 면적당 충돌 횟수에 따른 침식 부식량

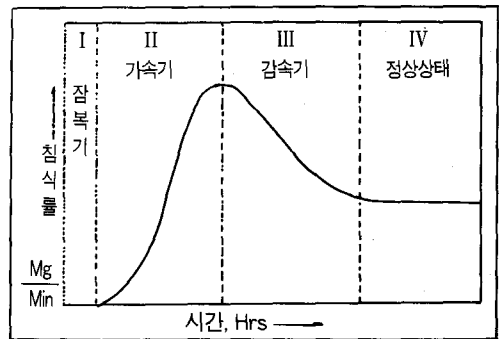


<그림4-3> 잠복기간에 대한 S/P의 비

또한 침식은 유체입자의 계속적인 충돌 이외에도 Cavitation과 Flshing에 의해서도 심하게 침식이 발생하게 되는데 이는 액체의 흐름 중에 제어밸브, 오리피스 등의 유량 제어기거나, 배관 형상에 의해 액체의 회전이나 진동 등에 의해 저압력 영역이 발생되어 그때의 액체온도에 상응

하는 포화증기압력 이하로 되면 액체의 증발에 의해 기포가 생성되고, 다시 포화압력 이상으로 달하게 되면 기포가 붕괴되고 주위의 유체 입체들간의 충돌과정이 발생하게 되는데 이로 인해 국부적으로 심한 충격과가 발생되고 소음과 진동을 수반하며 이로 인해 국부적인 침식현상이 발생한다.

Cavitation 침식은 시간에 따라 변하며 <그림 4-4>과 같이 잠복기, 가속기, 감속기와 침식률이 일정한 정상 상태의 명확한 4단계의 주기특성을 가지며 벌집모양의 침식면을 나타내는 반면에 Flshing 침식은 압력이 포화증기 이하로 계속될 때 기화된 물에 의해 재질이 심하게 침식을 받게되며 매끄러운 침식면을 갖는 특징을 나타낸다.



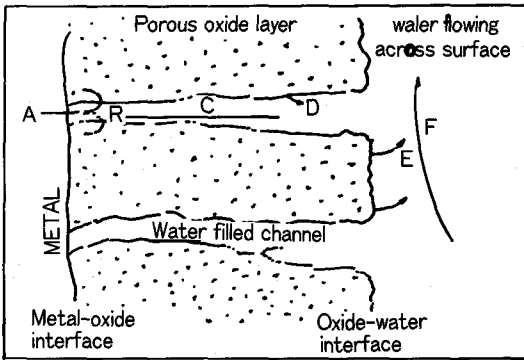
<그림4-4> 시간에 대한 침식률

#### 다. 침식 부식

침식 부식은 침식, 마모, Cavitation등과 같은 기계적인 손상과는 달리 유체의 흐름으로 인하여 가속화되는 재질의 부식현상으로 건중기 배관에서는 발생하지 않고 물과 습증기를 운반하는 배관에서 주로 발생한다. 단상유체 배관이나, 2상 유체 배관에서 발생하는 침식부식은 표면이 호랑이 무늬모양을 하는 특성을 나타내며 탄소강 재질에서는 퍼얼라이트(Pearlite) 조직에 선

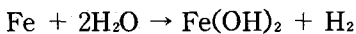
택적으로 침식 부식이 발생한다.

전형적인 금속표면의 산화막은 두께가 매우 얇으며 그 표면은 침식부식의 결과로 때로는 매우 광택이 나고 주변의 산화된 부분과 뚜렷이 대조가 된다. 침식부식의 진행과정을 개략적으로 나타내면 <그림 4-5>와 같다.

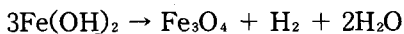


<그림4-5> 침식 부식의 진행 과정

침식 부식은 부착력이 약한 다공성 마그네타이트(Magnetite) 피막에 대해 유체의 흐름에 의해 가속된 침식 부식 현상으로 특징 지을 수 있다. 금속재질의 손실률은 몇 가지 부분 반응 단계에 따라 결정되며, 각 단계의 반응률은 금속재질의 조성, 유체의 pH, 산소농도, 불순물 함량, 온도, 유속, 배관형상 등의 변수의 복합적 작용에 비례한다. 마그네타이트의 다공성 구조 때문에 물과 직접 접촉하는 금속재질의 원표면에서는 철의 부식이 진행되어 수산화철이 생성됨과 동시에 수소를 발생한다. (A)



이 수산화철은 고온의 (>100℃) 금속표면 부근에서 Schikorr 반응에 의해 마그네타이트로 전환되며 (B), 일부 수산화물은 수소와 함께 다공성 구조를 통해 확산 이동한다. (C)



이 마그네타이트의 일부는 기공에서 용해되고

동시에 기공의 마그네타이트 표면에서도 용해반응이 진행된다. (D) 물의 흐름에 노출된 마그네타이트 피막 표면에서도 마그네타이트의 용해가 일어나며 (E), 물의 흐름에 의한 대류성 물질 전달(Convective Mass Transfer)로 용해된 금속재질 성분이 제거되어 재질 손실을 가속화한다. (F) 따라서 침식 부식 현상은 마그네타이트층의 용해와 밀접한 관계가 있으며 침식 표면으로부터 Fe의 물질 이동이 침식 부식의 율속(Rate-Controlling) 단계로 작용한다고 할 때 침식 부식은 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$dm/dt = K(C_s - C_b)$$

K : 물질 전달계수(Mass Transfer Coefficient)

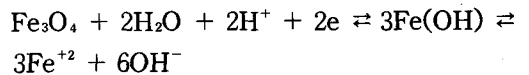
C<sub>s</sub> : 표면에서의 수용성 철분의 농도

C<sub>b</sub> : 유체에서의 철분의 농도

dm/dt : 금속의 재질 손실률

율속에서와 같이 금속표면의 침식 부식은 유체의 철분농도와 표면에서의 수용성 철분농도 및 물질전달 계수에 크게 좌우된다. 마그네타이트의 용해로 Fe<sup>+2</sup>이온이 형성되는 반응은 다음과 같이 표시할 수 있다.

Keq.



평형 조건에서 네른스트(Nernst)식을 적용하면

$$E = E_0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Fe(OH)}_2]^3}{[\text{H}^+]^2}$$

따라서 Keq과 [H<sup>+</sup>][OH<sup>-</sup>]=K<sub>m</sub>을 이용하면,

$$[\text{Fe}^{+2}] = \frac{[\text{H}^+]^{6/3}}{K_2} \exp \left\{ \frac{2F(E-E_0)}{3RT} \right\}$$

여기서,

$$K_2 = \frac{[\text{Fe(OH)}_2][\text{H}^+]^2}{[\text{Fe}^{+2}]}$$

마그네타이트 피막의 표면에서 배출되는 수소로 인한 부식반응의 음극전류는 피막의 표면전위 E에 지수적으로 비례한다. 즉,

$$i_c = -FB \exp\left(-\frac{BFE}{RT}\right)$$

양극전류  $i_a$ 는 표면에서의  $Fe^{+2}$ 이온의 제거속도( $d_m/d_t$ )에 비례하며,

$$i_a + i_c = 0 \text{이므로}$$

$$2FK\{[Fe^{+2}] - C_b\} = FB \exp\left(-\frac{BFE}{RT}\right)$$

대부분의 경우

$$C_b \ll [Fe^{+2}], \beta = 1 \text{이므로}$$

$$[Fe^{+2}] = \frac{4K_2[H^+]^9}{K_3} \exp\left(\frac{2FE_0}{RT}\right)$$

즉, 마그네타이트의  $Fe^{+2}$ 이온 용해는 물질전달 계수  $K$ 의 제공에 비례하고, 따라서 재질 손실률은  $K^3$ 에 비례함을 알 수 있다. 따라서 금속재질의 손실률  $d_m/d_t$ 를 구하기 위해서는 물질전달 계수  $K$ 는 국부적인 수력학적 조건에 의해 결정되는데 일반적으로, Sherwood수( $Sh$ ), Reynolds 수( $Re$ ), Schmit( $SC$ )등 무차원 수로 표시되는 경험식으로 부터 구해진다.

$$Sh = \alpha * Re^\beta * Sc^\gamma$$

여기서,

Reynolds 수 ( $Re$ )

$$Re = \frac{V\rho D}{\mu}$$

$V$ : 유속 (ft/sec)

$D$ : 직경 (ft)

$\mu$ : 동점성 계수 (lbm/sec ft)

$\rho$ : 밀도 (lbm/ft<sup>3</sup>)

Sherwood 수 ( $Sh$ )

$$Sh = \frac{KD}{d}$$

$K$ : 물질전달 계수 (ft/sec)

$d$ : 확산계수 (ft<sup>2</sup>/sec)

Schmit 수 ( $SC$ )

$$SC = \frac{\mu}{\rho d}$$

Berger-Hau의 관계식을 이용하면 직관에 대해서는

$$Sh = 0.0165Re^{0.86}Sc^{0.33}$$

오리피스 하류에서는  $Sh_{max} = 0.27Re^{0.67}Sc^{0.33}$ 이므로 직관에 대한 물질전달 계수(Transfer Coefficient)은 다음과 같다.

$$K = \left(\frac{D}{d}\right)(0.0165)(Re)^{0.86}(Sc)^{0.33}$$

세 개의 무차원 수에 의해서 계통에서의 물질전달 계수가 구해지면 직관에 대한 대략적인 침식 부식을 예측이 가능하다.

침식 부식에 영향을 주는 환경 인자

배관의 침식 부식에 영향을 주는 요인들을 살펴보면, 물을 운반하는 단상 유체의 경우 크게 화학적 성분에 따른 재질의 인자, 온도, pH, 산소농도 등의 수질의 인자, 유속 배관형상 등의 수력학적 인자들이 상호 복합적으로 작용하여 침식 부식에 영향을 미친다. 습증기를 운반하는 2상 유체에서도 이런 환경인자들에 의해 침식 부식에 영향을 받으나 단상 유체 배관에 비하여 침식 부식률이 다소 높게 나타나고 있고 경험적으로 볼 때 습분의 함량이 5%이상에서 습분의 함량이 많을수록 침식 부식이 높으며 아울러 침식 부식률이 민감한 온도 영역도 단상 유체 배관과는 다소 차이가 있는 것으로 연구 결과들은 보고하고 있다. 배관의 침식 부식에 영향을 미치는 환경 인자들을 보면 다음과 같다.

가. 습분

2차 계통 배관에서의 침식 부식은 습증기나 물을 운반하는 배관 계통에서 발생하고 건증기를 운반하는 배관에서는 침식 부식이 거의 발생하지 않는다. 이런 사실에 미루어 볼 때 습분은 배관에서 침식 부식의 주요한 원인이라는 것을 알 수 있다. 그러나 증기 계통에서 습기를 완전히 제거하는 것은 불가능하므로 문제가 되는 것은 습분의 변화에 따른 침식 부식률이다. 일반적으로 모든 발전소에서 습분이 높은 계통의 배관은 침식 부식률이 높은 것으로 나타나 있으며 연구결과에 따르면 증기에 포함되어 있는 물방울

입자의 크기, 배관 표면에서의 액체의 막두께, 막과 물방울의 확산 속도와 국부적으로 용해되어 있는 Fe<sup>++</sup>농도에 깊은 관련이 있는 것으로 나타나 있다.

나. 재질

침식 부식은 습증기 배관에 폭 넓게 사용되는 탄소강 배관에서 가장 심하다.

그러나 크롬(Cr), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo) 등의 원소를 탄소강에 첨가하게 되면 침식 부식의 억제에 상당한 효과를 나타낸다.

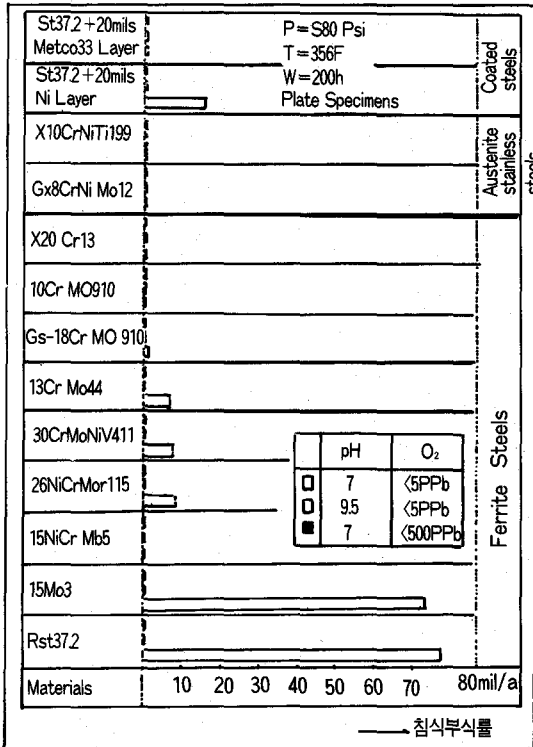
재질이 다른 9종류의 탄소강, 2종류의 오스테나이트 스테인레스강과 금속이 피복된 2종류의 재질에 대하여 침식 부식률을 조사한 결과를 나타낸 <그림4-6>에 따르면 탄소강과 저합금강에서는 크롬과 몰리브덴의 원소 함량의 증가에 따

라 침식 부식에 억제 효과가 증가되었고 구리도 역시 침식 부식 억제에 도움이 되는 것으로 나타났다. 오스테나이트 스테인레스강에서도 심한 정도까지 침식 부식은 발생하지 않는다. 또한 니켈이 피복된 강에서는 침식 부식에 대한 억제력이 현저히 적었으나 크롬이 충분히 피복된 강에서는 거의 침식 부분이 발생하지 않았으며 크롬과 몰리브덴 원소의 함유량에 따른 침식 부식 억제 효과는 1% 미만에서는 별로 효과가 없었으나 1%이상에서 현저하게 침식 부식에 대한 억제 효과가 나타났다.

다. pH와 수질

금속은 수중에서 금속이온과 자유전자로 전리 되는데 이들은 어느 시점에서 평형을 이룬다. 그러나 수중에 수소이온이 존재할 경우 수소이온은 자유전자와 결합하면서 평형을 깨뜨려 금속의 전리, 즉 부식의 진행을 촉진케 한다. 여기서 수중의 수소이온(H<sup>+</sup>)은 금속의 부식을 유발하는 인자로 작용함을 알 수 있다.

반면에 수중의 수산이온(OH<sup>-</sup>)은 금속이온과 결합하면서 금속표면에 금속 산화물의 피막 [Fe(OH)<sub>2</sub>]을 형성하는데 이 피막이 전자의 이동을 방해하고 불순물의 침투를 막으므로 부식의 진행을 억제한다. 이 두 가지 현상으로부터 용액의 pH는 금속의 부식방지 또는 보호피막 형성에 영향을 끼침을 알 수 있다. 이와 같은 사실을 기초로 발전용수의 액성은 수소이온 농도를 낮추고 약알칼리성을 띠도록 pH를 조절한다. 따라서 2차 계통에서 부식 방지를 위한 화학제어는 보통 물의 pH를 부식률이 낮은 약알칼리 쪽으로 유지하기 위해 휘발성 아민(Amine)으로서 암모니아, 모폴린(Morpholine) 및 사이클로 헥실아민(Cyclohexyl Amine) 등의 알카리 약품을 사용하여 진취발성 처리방법으로 pH를 제어한다. 암모니아를 사용할 경우 계통내의 구리합금이 존재하면 암모니아에 의해 구리의 착염이 생성되



<그림4-6> 단상 유체에서의 재질에 따른 침식 부식률

기 때문에 과도한 동의착염을 피하기 위해 pH를 8.8-9.2정도로 유지해야 하나 구리합금이 존재하지 않는 경우에는 pH를 9.3이상으로 유지하면 부식이 현저하게 줄어든다. 따라서 증기발생기 급수와 수증기의 pH를 9.3-9.6에서 유지하는 것이 미국형 PWR 원전에서 추천되고 있다. 암모니아는 분배계수가 크므로 증기상에 분포할 가능성이 높으며 고온에서 특히 pH제어성이 떨어지기 때문에 증기배관의 침식부식 억제효과가 다른 약품에 비해 적다. 모폴린은 암모니아보다 분배계수가 작아 더 많은 부분이 액체 상태에 남아 있으므로 습증기에서 더 높은 pH를 유지하여 전반적인 침식부식 저항력이 증가된다. 따라서 엘보우나 티와 같은 민감한 부위에서 국부적인 손실을 억제하는데 효과가 크다. 모폴린이 암모니아보다 분배계수면에서 우수하지만, 응축수 탈염수지(Polisher Resin)의 처리문제와 관련해서 폭넓게 사용되고 있지는 않다. 현재 월성1호기는 상업운전 초기부터 모폴린-하이드라진을 사용하여 pH를 8.8-9.2 범위에서 유지한다.

그러나 고리1호기는 구리재질의 고체가 끝났으므로 급수의 pH를 9.3-9.6 범위에서 제어할 수 있을 것이다. 독일에서는 구리합금이 존재하지 않는 경우 하이드라진 농도를 증가하여 pH를 9.8이상의 고 pH로 발전소를 운전하며 프랑스에서는 최근 암모니아 대신 모폴린을 사용하기로 결정하였으며 구리합금 존재시 급수의 pH를 9.1-9.3, 철합금 계통에 대해서는 9.1-9.7범위로 규정하고 있다. 암모니아-하이드라진 처리는 구리합금 사용 원전에서는 금지하고 있는 점이 특이하며, 철합금 계통에서 암모니아를 사용할 경우 급수 pH를 9.6-9.8로 높여 운전하도록 권장한다.

#### 라. 온도

침식 부식은 온도에 따라 크게 영향을 받으며 열역학적인 조건의 변화에 따라 침식부식률도

변하게 된다.

#### 마. 산소

배관계통에 녹아 있는 용존산소는 침식부식에 크게 영향을 미치는 요소로 2상 유체에서보다 단상유체 배관에서 영향을 크게 미치게 되며 염분과 같은 전해질을 함유한 물에 녹아 있는 용존산소는 수산화철과 반응하여 부식을 촉진시키기도 하지만 염분이 없는 급수에서는 조직이 견고하고 치밀한 부식생성물층인 마그네사이트층을 형성하여 보호피막의 역할을 함으로서 침식부식을 억제해 주기도 한다. 용존산소량이 적을 경우에는 금속이 직접 침식부식 환경에 노출되므로 침식부식이 가속되나 배관 계통에 녹아 있는 산소량이 20ppb 이상이 되면 침식 부식률이 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다.

산소가 제거된 급수계통의 탄소강 배관은 온도가 100~250℃의 범위이고 철이온의 질량전달계수가 충분히 높을 때 침식부식이 심한데 급수계통에 산소를 주입함으로써 침식부식을 억제할 수 있다. 그러나 임계산소 농도 이하에서는 영향을 받지 않고 침식부식이 계속 진행된다. 침식부식의 진행을 억제하는데 필요한 산소 농도는 침식부식이 일어나는 부위의 국부적인 산소 물질 전달계수와 기존 침식부식률에 달려 있으며 침식부식을 억제하는데 필요한 임계산소 농도는 산소가 완전히 제거된 상태에서의 침식부식률과 침식부식률을 억제하는데 필요한 금속에서의 산소 물질전달률을 비교해서 구해진다. 침식부식이 산소의 영향을 받지 않고 계속 진행되려면 양극 부위에서의 상태를 이룰 것으로 아래와 같은 식이 성립된다.

$$KO_2 [O_2]_{pw} = \text{침식부식률}$$

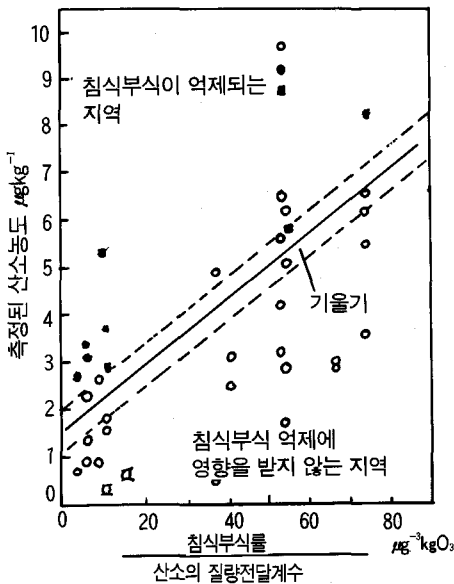
$$KO_2 = \text{국부 산소물질 전달계수}$$

$$[O_2] = \text{침식부식을 억제하는데 필요한 용존산소}$$

$$pw = \text{물의 농도}$$

<그림4-7>는 침식부식을 억제하는데 필요한

임계산소 농도를 나타낸 것으로 그래프에서 나타난 직선의 윗쪽은 기존 침식부식물이 억제되는 지역을 아래쪽은 침식부식의 진행의 영향을 받지 않는 지역을 나타낸다. 이와 같이 임계산소 농도 이상의 높은 산소 농도에서 침식부식의 억제에 효과를 나타내지만 과도한 양의 산소는 염소와 유황등과 함께 급격한 점부식(Pitting)을 야기시킬 수 있으므로 적절한 양의 용존산소의 수질을 유지하는 것이 바람직하다. 그러나 국내 원전의 급수의 산소를 주입하는 방법은 산소가 증기발생기 튜브에 점식을 일으키는 원인으로 작용할 수 있기 때문에 원칙적으로 추천할 수 없는 사항이다.



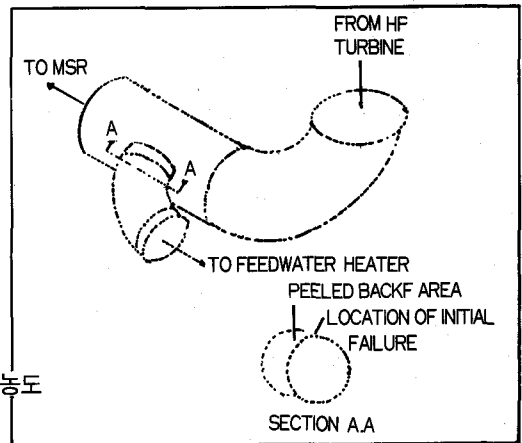
〈그림4-7〉 150℃에서 침식부식물을 억제하는데 필요한 산소 농도

영국의 AGR 원전에서 산소와 하이dra진을 동시에 주입하여 침식부식 현상을 억제하려는 시도가 있었으며, 이때 하이dra진의 주입량은 산소가 오스테나이트강 재질에 도달하기 전 소모시키기에 충분한 양이어야 한다. 또한 관류형 석탄 보일러 급수 계통에서는 산소와 암모니아를 동시에 주입하는 복합수처리법(C.W.T)을 시도하여 좋은 성과를 거두고 있다.

### 바. 배관형상 및 유속

유로형상은 배관의 침식부식에 영향을 미치는 중요한 요소로, 배관형상에 따라 변하는 유체의 교란 정도와, 국부적으로 변하는 유속에 의한 운동량의 변화에 따라 침식부식에 미치는 영향이 달라지게 된다. 배관형상에서 직접적인 유체입자의 충돌에 의하여 침식부식이 심하게 발생하여 습증기 배관인 추기계통의 배관에서 〈그림4-8〉와 같은 부위이다. 또한 배관의 컴포넌트 배열에 의한 유체의 교란으로 인하여 침식부식이 심하게 발생하는 곳을 보면 〈그림4-9〉과 같이 유로가 급격히 바뀌는 후단의 곡관이나 오리피스, 제어 밸브와 같이 유량 제어기기의 직후단에 방향을 변경하는 컴포넌트에서 심하게 발생한다.

금속특성과 수질상태에 따라서 차이가 있지만 금속표면에서의 물의 흐름은 산화피막의 형성을 방해 또는 피막에 손상을 줄 수 있다. 다시 말하면 유속이 매우 빠른 경우 물 입자의 충격으로

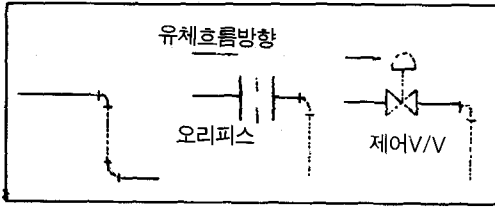


〈그림 4-8〉 침식부식이 심한 부위

보호피막이 파손하면 피막층 아래의 금속을 노출시키게 되고 부식은 촉진된다.

〈그림4-9〉는 유속이 빨라지면 물에 의한 충격력과 접촉마찰력이 커져 침식부식률이 증가하는 것을 나타낸다. 유속은 설계시 재료에 따라 그 한계가 정해져 있으나 관내에 이물질이 끼어 유

로가 작아지면 국부적으로 유속이 한계를 초과할 수 있다. 통상 철합금의 경우 유속이 30~40



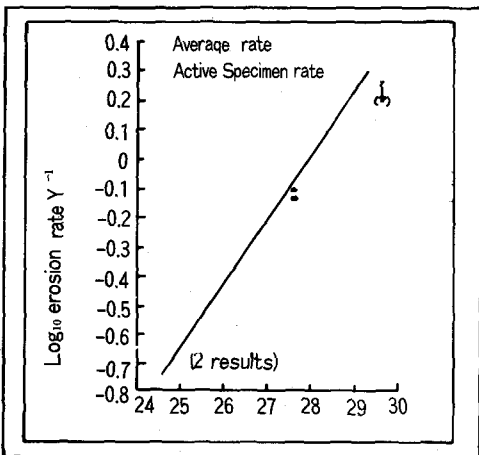
<그림 4-9> 침식부식이 심한 곳

ft/sec 이상이면 물의 충격에 의한 침식부식이 발생한다. 2상 유체에서도 유속이 빨라지면 증기와 함께 운반되는 물의 입자가 곡관이나 밸브 부품 등에 고속으로 부딪치게 될 때 금속은 경화되어 취약하게 되고 이 충격으로 금속에서의 침식부식이 발생하게 되므로 배관 구경과 유속이 적절히 선정되어야 한다.

## 배관 지지물의 보수

### 1. 점검 및 보수요령

주배관의 지지방법중에는 모관에 직접 용접된 Lug를 매다는 것으로 관을 지지하는 방법이 있다. 이 Support Lug는 모관취부부와 선단부가 열연달, 열방산에 의해 온도차가 생겨, 모관과 Lug 사이에 열응력이 발생되게 된다. 이 열응력



<그림4-10> 유속에 의한 침식부식률

은 Support Lug의 온도구배에 의해 결정되고, 특별히 갈라진 부위 등 응력집중이 없는한 문제가 되지 않지만 Lug 취부부위의 용접경계부는 응력집중이 쉬운 형상으로 되어있고, 더우기 장기간 운전에 따른 기중정지의 반복이 누적되어 용접경계부에 결함이 발생하는 경우가 있다.

이 결함은 방치하면 Lug의 결함이 되고 주배관 낙하등의 중대사고가 일어날 수 있으므로 결함을 조기 발견하여 조치할 필요가 있다. 차후 안전운전을 확보하기 위하여 다음 요령으로 Support 부를, 점검하는 것이 좋다.

#### 가. 점검개소

Support Lug 용접부를 도색침투탐상검사(PT) 또는 자분탐상검사(MT)를 시행

#### 나. 점검후의 조치

점검된 Support 는 아래 대책을 세우는 것이 좋다. 구체적인 대책은 개별적으로 검토되지만 일반적으로,

(1) Support Lug 부근의 응력집중을 완화하기 위하여 Lug 끝부분 및 개구부에 R 마무리를 한다.

(2) Support Lug내의 온도구배를 적게하고, Lug 부근에 생기는 열응력을 경감시키기 위하여 보온재의 두께를 증가시킨다.

(3) 결함이 발견된 경우에는 결함제거후 육성보수한다.

#### 다. 점검범위

비교적 큰 온도차가 생기기 쉬운 주증기관과 고온재열증기관에 취부된 것은 Support Lug폭이 큰것을 우선으로 하되 순차적으로 전부 점검하고 저온재열증기관 및 주급수관은 유체 온도가 낮기 때문에 대표개소를 선정하여 조사한다.

#### 라. 점검 시기

점검 시기	운전경과년수
제 1회 점검	운전개시후 5년이 경과되었지만, 한번도 점검하지 않은 것은 다음 정기검사시 점검
제 2회 점검	제 1회 점검후 4~5년 주기로 점검