

방식 기술과 관리

- Corrosion Control Technology and Management -



이 규 화 (KIMM 재료공정연구부)

- '66 - '72 서울대학교 금속공학과 (학사)
- '77 - '82 미국 OHIO 주립대학 금속공학과 (석,박사)
- '82 - '83 미국 OHIO 주립대학 Post Doctor
- '83 - '85 미국 Nalco Chemical Company
- '85 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서론

근래에 발생한 수 건의 대형 사고의 영향으로 사회 전반에 걸쳐서 부식에 대한 인식이 높아지고 방식 기술 또한 많은 향상이 있었는데도 불구하고 부식으로 인한 전체 사회적 손실은 갈수록 커지고 있다. 전체 부식 손실액도 막대하지만 방식 기술을 통하여 절약할 수 있는 부분도 매우 크기 때문에 생산 시설을 포함한 모든 산업 설비의 경영자, 관리자 및 기술자들의 방식 기술과 관리에 대한 이해와 실행이 크게 요구되고 있다.

본 고에서는 우선 부식에 의한 직간접적인 손실과 방식 기술에 의한 절약 가능성에 대한 외국의 사례를 고찰한 다음 특정한 산업에 치중하지 않고 부식을 포함한 설비의 열화 현상이 발생되어 노출되는 과정에서부터 출발하여 원인을 제공한 요소들이 어떠한 기구에 의하여 손상으로 진전되는가와 이러한 손상을 방지하기 위한 방식 기술에는 어떤 것이 있는가를 고찰하였다. 그리고 신규 설비를 계획하는 경우에 가장 효과적이고 경제적인 방식 기술을 선택하고 실행하기 위하여 프로젝트의 각 단계에서 고려해야 하는 사항에 대하여 기술과 관리의 측면에서 고찰해 보았다.

2. 부식으로 인한 손실

부식에 의한 경제적 손실에 대한 가장 체계적

인 조사는 1975년에 미국 NBS에서 행하여 졌으며^[1], 직접적인 손실이 대략 GNP의 3 내지 5.5%로 추정되었고 이중 산업체의 분야에 따라 10%에서 45%까지의 비용은 적절한 부식 방지 기술을 적용함으로써 절약될 수도 있었던 것으로 주장되었다. 다른 선진국에서도 이와 유사한 조사 활동이 있었으며 나라에 따라 대개 GNP의 3 내지 4% 가 직접적인 부식 손실액으로서 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 각국의 직접 부식 손실액 비교

국가	조사연도	손실액
미국	1975	US\$ 820억
영국	1970	GB £ 14억
일본	1976	¥ 2조5천억
독일(서독)	1969	DM 190억
호주	1973	A\$ 4억7천만

직접손실액이란 부식 방지를 위하여 사용한 비용과 부식으로 인하여 증가된 유지보수와 대체비용을 포함한 것으로 부식으로 인한 조업 정지와 그에 부수되는 비용은 포함되지 않는다. 간접손실액은 직접손실액보다 최소한 10배 이상에 이르며 그 가운데에는 다음과 같은 것들이 포함된다.

- 안전을 고려한 과도한 여유
- 환경 오염과 이의 청소 비용
- 생산 차질로 인한 제품 감소
- 신용 저하로 인한 시장 상실
- 투자에 대한 이윤의 상실
- 기타 사고에 따른 부수적인 손해

영국에서의 조사에 의하면 기존의 방식 기술만 가지고도 23%에 달하는 손실액을 줄일수 있다고 보고하였는데 표 2에 나타낸 것과 같이 산업 분야에 따라 절약 가능성은 다르다.^[2] 우리

나라의 경우 체계적인 조사는 아직까지 이루어지지 않았으나 외국의 예로 보아 직접 부식 손실액을 GNP의 3%로 추정해 보면 대략 매년 10조원에 달하는 막대한 직접 부식 손실이 있고 이중 2조 5천억원 정도는 현재의 방식 기술로써 절약할 수 있다는 계산이다.

표 2. 영국에서의 산업분야별 부식 손실 절약 가능성^[2]

산업분야	절약가능율 (%)
건설	20
식품	10
일반 공업	32
공공부문	36
해양	20
금속제련 및 가공	13
석유화학	8
발전	42
운송	29
수자원	16

3. 부식과 방식

3.1 설비의 열화 (劣化)

가동중인 공장 설비의 손상이나 성능 저하의 가장 큰 원인은 부식 현상으로부터 야기되는 경우가 많고 대개의 경우 적기에 발견하여 대처하지 않으면 급격하게 예기치 못한 결과로 발전하여 막대한 손실을 강요당하게 된다. 설비의 손상이나 성능 저하가 발견되면 정해진 절차에 따라 철저하고 신속하게 조사와 보고를 하는 것이 원인 규명과 대책 수립을 위하여 매우 중요하다. 손상 진단에 의하여 부식을 발생시킨 원인이 설계상의 오류때문인가, 시공상의 결함때문인가, 또는 부적절한 운전 및 유지 관리때문인가를 규명함으로써 각각의 관리 항목을 재검토하여야 한다.

대개의 경우 부식(Corrosion)은 오염(Fouling), 파열(Fracture) 및 마모(Wear)와 함께 발견되는 수가 많고 실제의 경우 이 모든 열화 현상이 복합적으로 문제를 일으킨다. 각 열화 현상의 대표적인 형태는 다음과 같다.

- 부식 : 균일 부식, 국부 부식 (Pitting, 용력부식, Erosion Corrosion 등)
- 오염 : 전열면 스케일, 미생물에 의한 오염, 열분해 생성물
- 파열 : 피로, 과하중, 균열
- 마모 : Erosion, Fretting, Bearing 열화

설비의 손상으로 이어지는 열화 과정은 대개 위의 현상 중의 하나로부터 시작되어 복합적인 형태로 발전하고 마지막에 가서는 취성 파괴와 같은 결과로 관찰되는 수가 많다. 위와 같은 과정을 거치지 않은 손상에 대하여도 일단은 부식 손상과 같은 방법으로 취급하여 원인 규명과 대책 수립을 강구하는 것이 좋다.

설비의 손상은 통상적인 운전 기간중에 일어나는 것보다 신설된 직후나 정비 직후 기간중에 더 많이 일어난다. 또 공장이나 설비가 노후되었을 때 역시 손상이 많이 일어난다. 통계학적으로 보면 조기 손상(Early Life Failure)은 역시 수 분포이고 임의 손상(Random Failure)은 일정한 발생율을 가지며 말기 손상(Age Related Failure)은 표준 분포를 갖는다. 이것을 그래프로 나타낸 것이 그림 1에 보이는 것과 같은 “욕조” 커브이다.^[3] 어느 경우에도 감시(Surveillance)와 부식 감지(Corrosion Monitoring) 기술을 통하여 상당 부분 예측이 가능하므로 열화가 진행되는 시작하는 초기에 발견하는 것이 손실을 최대한 줄이고 사고를 방지하는 데 매우 중요하다.

- 조기 손상 : 부적합한 재료의 선정이나 제조 공정상의 결함이 존재할 때 설비의

운전 초기에 발생한다. 설비 공정 파라미터와 연계된 부식 감지 데이터가 이 경우에 조기 진단이나 문제 해결에 큰 역할을 해 낼 수 있다.

- 임의 손상 : 설비의 오작동, 공정 제어 실패 또는 경험 미숙등과 같은 외부적인 요인에 의하여 발생한다. 이러한 손상은 예측하기는 어려우나 설비를 지속적으로 모니터링한다면 부식이 크게 확대되기 이전에 발견해서 대책을 세울 수 있다. 부동태 피막에 의하여 방식이 되는 스테인리스강의 경우에 Pitting이나 용력부식에 의한 부식이 일반 탄소강보다 더 큰 문제를 일으키기 때문에 부식 감지 기술의 적용이 더욱 필요하다.
- 말기 손상 : 설비의 장기 사용으로 인한 자연적이고 점진적인 퇴화로 인한 손상이다. 부식 감지 기술에 의한 부식 속도와 경향을 파악하여 외삽법(Extrapolation)에 의한 수명 예측으로 교체 시기를 결정할 수 있다.

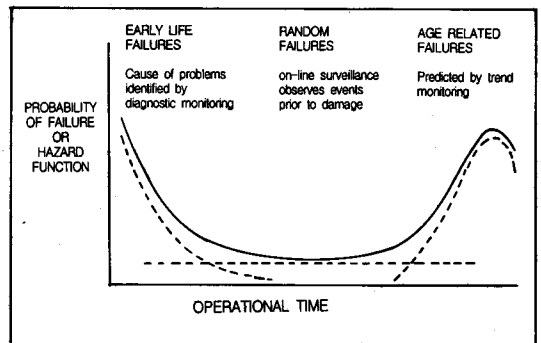


그림 1. 설비의 운전 시간에 따른 손상 발생률("Bath Tub Curve")^[3]

부식과 손상에 대한 확실한 원인 규명은 같은 종류의 손상의 재발을 방지하기 위한 방식 기술의 채택에 필수 불가결한 것이다. 실제 손상의 원인을 규명하기 위하여는 다음과 같은 자료가 필수적으로 갖추어져야만 한다.

- 재료와 표면 부착물의 금속학적 및 화학적 분석
- 현장 운전 관계자와의 면담 기록
- 현장의 레이아웃 도면과 방문 관찰
- 운전 및 정비 절차에 대한 평가

3.2 부식의 기구(Mechanism)

모든 산업용 재료는 그 재료가 사용되는 동안 접촉하는 환경과 조건에 따라서 경제성과 함께 내식성, 강도, 가공성, 외관등을 고려하여 선택되어진다. 부식은 그림 2에 보이는 것과 같이 구성 재료, 부식 환경 및 운전 조건의 세가지 요소가 각기 종속적으로 다른 요소에 대하여 영향을 미치기 때문에 부식 문제가 전혀 없던 시스템이라도 어느 하나의 요소에 변화가 생기면 부식이 시작되는 시스템으로 바뀔 수 있다.

- 구성 재료 : 금속 재료(철강, 비철), 요업 재료, 고분자 재료, 복합 재료
- 부식 환경 : 담수, 해수, 토양, 대기, 산과 알칼리등 공정 액체와 기체
- 운전 조건 : 응력, 온도, 유속, 진동등

가장 흔한 형태의 부식인 수질 부식(Aqueous Corrosion)은 대개 금속 재료가 그와 접촉하는 수용액 내에서 전기화학적 반응에 의하여 금속

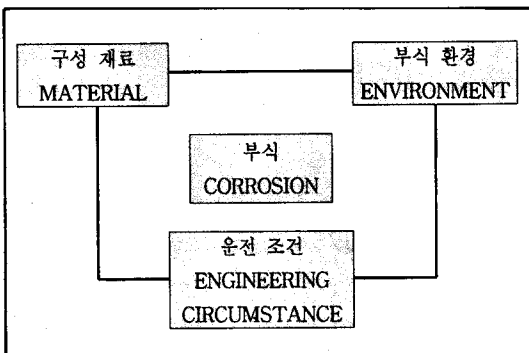


그림 2. 부식의 세가지 요소

의 이온으로 용해되어 진행된다. 이 과정에서 재료의 부식 속도와 국부적으로 선택 부식되는 장소의 존재 여부가 전체 설비의 기능에 얼마큼 영향을 미치는가에 따라 그 재료의 사용 적합성을 판단하게 된다. 물이 관련되지 않는 비수질부식(Non-aqueous Corrosion)에는 부식성 기체와의 화학 반응에 의한 산화(Gaseous Oxidation)또는 고온부식(High Temperature Corrosion), 비수용성 전해질에 의한 Hot Corrosion 등이 있다.

균일 부식은 부식 환경에 노출된 재료의 표면이 균일하게 부식되므로써 재료의 두께가 얇아져서 결국은 관통되는 것으로서 실제로 일어나는 부식량은 많지도 수명 예측을 정확히 할 수 있기 때문에 대체하기 위한 비용 이외의 손상으로 인한 예기치 못한 큰 문제는 발생되지 않는다. 그러나 많은 경우에 부식은 드러나지 않게 국부적으로 진행되어 발견이나 예측을 어렵게 하다가 설비의 예기치 못한 손상으로 이어진다. 대표적인 국부 부식에는 다음과 같은 종류가 있다.

- 이종 금속 접촉 부식(Galvanic Corrosion) : 접촉하는 두 금속간에 전기화학적 전위차가 발생할 때 한쪽이 양극으로, 다른쪽이 음극으로 작용하여 양극에서만 선택적으로 부식이 일어난다.
- 틈새 부식 (Crevice Corrosion) : 가스켓 같은 것이나 이물질등으로 덮여있는 밑이나 좁은 틈새 속은 용액이 정체되어 있기 때문에 다른 곳보다 심한 부식환경이 조성된다.
- 공식 (Pitting) : 염소 이온과 같은 강산성 이온에 의하여 국부적으로 금속 표면의 부동태 피막이 제거되고 부식 생성물로 덮인 아래에서 가속적으로 부식이 진행된다.
- 미생물 부식 (Biological Corrosion) : 수중 생물의 부착이나 박테리아같은 미생물

의 활동으로 인하여 부식성 물질이 생성되거나 틈새부식의 조건을 제공한다.

같은 종류의 재료와 부식 환경에서도 설비의 운전 조건이 다르면 재료의 부식은 크게 영향을 받는다. 흔히 발생하는 운전 조건에 따른 부식의 종류는 다음과 같다.

- 응력부식(Stress Corrosion Cracking) : 금속 표면의 부동태 피막이 응력에 의하여 파열과 재생성의 과정을 반복하면서 균열이 진행된다.
- 부식피로(Corrosion Fatigue) : 주기적인 응력과 부식 환경하에서 재료의 피로 균열의 전파 속도가 가속화된다.
- 마식(Erosion Corrosion) : 부식 매체가 금속 표면 위를 빠른 속도로 지나갈 때 기계적인 마모와 함께 부식이 촉진된다.
- 부착물 부식(Under Deposit Corrosion) : 열전달하는 금속의 표면 위에서 국부적인 비등, 오염, 부착물 생성등에 의하여 부식이 촉진된다.

3.3 방식 기술의 선택

위의 절에서 본 것과 같이 부식의 세가지 요소가 모두 복합적으로 부식에 영향을 미치기 때문에 여러 종류의 부식 형태를 일으키는 과정을 잘 이해하고 문제가 된 시스템의 부식 현상이 어느 경우에 해당하는지를 확실하게 파악하여야 가장 경제적이고 효과적인 방식 대책을 선택할 수 있다. 동시에 선택된 방식 기술을 계획하고 실행할 수 있는 조직적인 체계가 이룩될 수 있도록 공장의 관리 목표가 설정되지 않으면 안된다. 방식 대책에는 다섯가지의 기본적인 선택이 가능하며 그것들은 독자적으로 또는 복합적으로도 활용이 가능하다.^[4]

3.3.1 재료 선택

용도에 알맞은 재료를 선정하는 것은 가장 일반적이면서도 가장 중요한 방식 대책이다. 재료를 선정함에 있어서는 일반적으로 경험에 의존하는 경우가 많으나 문제가 발생하였을 때나 새로운 장치를 설계할 때에는 반드시 미국부식학회에서 발간한 Corrosion Data Survey와 같은 신뢰성있는 자료를 참조하여야 할 것이다.^{[5][6]}

일반적으로 특정 부식 환경에서 가장 경제적이고 많이 권장되는 재료의 예로서 다음과 같은 결합이 있다.

- (1) 스테인리스강 - 질산
- (2) 니켈 및 니켈 합금 - 가성 소다
- (3) 모넬 - 불산
- (4) 하스텔로이 - 고온 염산
- (5) 납 - 묽은 황산
- (6) 알루미늄 - 대기 노출
- (7) 주석 - 증류수
- (8) 티타늄 - 고온 강산화성 용액
- (9) 탄탈륨 - 유리화 동등한 내식성
- (10) 탄소강 - 진한 황산

이 밖에도 환원성 또는 탈기한 산성 용액에는 니켈이나 구리와 그들의 합금이 널리 사용된다. 또 산화성 분위기에서는 크롬 함유 합금과 티타늄 합금이 탁월한 내식성을 보인다. 그리고 일반적으로 고무나 플라스틱은 금속보다 염소 이온이나 염산에는 강하지만 대신에 강한 황산이나 질산에는 약하다.

3.3.2 환경 조절

부식 환경을 조절하여 부식 속도를 낮추는 방법으로는 소극적으로 매체의 부식성을 감소시키는 방향으로 운전 조건을 변경하는 방법과 적극적으로 부식 억제제를 주입하는 방법이 있다. 첫 번째 경우로 (1) 온도 저하, (2) 유속 감소,

(3) 산소 또는 산화제 제거, (4) 농도 변화가 있다. 대개의 경우 크게 부식 속도를 줄일 수 있으나 그 효과는 각각의 시스템마다 다를 수 있으므로 주의를 하여야 한다. 특히 보일러의 수처리시에 수증기를 이용한 탈기장치나 탈산제를 사용하여 용존 산소를 제거하는 것은 가장 기본이 되는 방식 대책이지만 스테인리스강과 같이 부동태 피막의 형성이 내식성을 제공하는 금속에서는 보호 피막의 생성과 유지를 위하여 산화제 역할을 하는 용존 산소를 제거하지 않는 것이 좋다.

매체 속에 소량 첨가됨으로써 부식 속도를 감소시키는 물질을 부식억제제(Corrosion Inhibitor)라고 한다. 대부분의 부식억제제는 경험적으로 개발되어 상품화되기 때문에 그 성분이 알려져 있지 않은 것이 많다. 부식억제제를 그 기능에 따라 분류하면 다음과 같다.

- (1) 흡착형 억제제(Adsorption Type Inhibitor) : 아민(Amines)과 같은 유기 물질로서 금속 표면에 흡착되어 금속의 양극 또는 음극 반응을 억제한다.
- (2) 수소 생성 독(Hydrogen Evolution Poison) : 비소(As)나 안티모니(Sb) 이온과 같이 산성 용액에서 음극 반응인 수소의 발생을 지연시킨다.
- (3) 탈산제(Scavenger) : 아황산나트륨이나 하이드라진과 같이 용존산소를 제거하여 산소의 환원이 주요 음극반응인 경우에 효과적이다.
- (4) 산화제(Oxidizer) : 크롬산염, 질산염, 제이산화철염과 같이 부식 전위를 부동태 피막의 형성에 용이하도록 전이시켜주는 역할을 한다.
- (5) 기상 억제제(Vapor-Phase Inhibitor) : 높은 증기압을 가지고 있는 흡착형 억제제로서 포장 용기 내에서 승화되어 금속 표면

에 흡착되어 대기 부식을 억제한다.

이 밖에도 수중 미생물 제거를 위한 살충제, 스케일방지제, pH 조절을 위한 완충제등도 간접적으로 부식 속도를 감소시키는 역할을 한다.

3.3.3 피복 방식

재료와 부식 환경간의 접촉을 차단함으로써 부식의 요소의 성립을 원천적으로 부정하는 방식 방법으로 그 역사는 거의 재료의 역사와 같아서 종류도 대단히 많다. 이 방식법의 가장 중요한 기능은 역시 효과적인 장벽을 제공하는 것이다. 금속 피복의 종류에는 전기도금(Electrodeposition), 용사(Flame Spraying), 클래딩(Cladding), 용융도금(Hot Dipping), 증착(Vapor Deposition)등의 방법이 있다. 무기질 피복의 도포 방법은 분사(Spraying), 확산(Diffusion), 화성(Cheical Conversion)에 의한다.

유기질 피복 즉 페인트는 다른 어느 방법보다도 많이 쓰이고 있는 방식 방법으로써 수많은 종류가 시장에 나와 있어서 어느 페인트 시스템이 용도에 가장 적합한가를 알기가 쉽지 않기 때문에 신뢰성 있는 제조업체의 권유를 따르는 것이 안전하다. 유기질 피복의 성공 여부는 도포의 완결성 이외에도 (1) 도장 전처리, (2) 프라이머의 선정, (3) 상도(Top Coat)의 선정에 달려 있다. 도장의 수명은 도장 전의 표면 거칠기와 기름때등의 제거가 제일 중요한 관건이다. 프라이머 속에는 크롬산 아연이나 아연 분말이 들어 있어서 상도가 손상되었을 때 희생양극의 역할도 하고, 금속 표면과 상도간의 강한 접착을 유도한다. 페인트 시스템에서 원료의 비용보다는 도포 비용이 크기 때문에 싼 페인트를 선정하는 것은 결코 경제적인 방법이 되지 못한다. 양질의 상도를 선정하는 약간의 비용 증가로 훨씬 나은 방식 결과를 보는 경우가 많다. 단 한번의 도포로 조그만 구멍(Pinholes)이나 다

른 결함(Holidays)을 완전히 없도록 하기는 거의 불가능하기 때문에 대개는 여러번 도포를 하게 되고, 시간이 감에 따라 페인트가 열화하기 때문에 상도의 두께도 중요하다.^[7]

3.3.4 전기 방식

금속 표면의 한 부분이 양극이 되고 다른 부분이 음극이 되어 서로 간에 금속 내부를 통하여 전기가 흐르고 외부의 전해질을 통하여 이온이 흐름으로써 부식이 진행된다. 이러한 원리를 이용하여 인공적으로 전기를 금속에 흘려줌으로써 부식을 방지하는 기술을 전기 방식법이라고 한다. 전기 방식법에는 보호하고자하는 금속을 부동태화시키는 양극 방식(Anodic Protection)과 금속이 용해되지 않는 음극으로 작용하게 하는 음극 방식(Cathodic protection)이 있으며 음극 방식은 다시 외부전원에 의한 강제전류법 (Impressed Current Method)과 희생양극법 (Sacrificial Anode Method)이 있다. 양극방식은 니켈, 철, 크롬, 티타늄등과 그들의 합금들과 같이 부동태 현상을 보이는 금속에 대하여만 적용 가능한 비교적 새로운 방식 기술이지만 아직 널리 사용되지는 않고 있다. 그림 3 은 음극방식의 원리를 나타내고 있다.

(1) 희생양극법 : 희생양극법은 유전양극법(流電陽極法)이라고도 하며 일반적으로 일정 규격의 알루미늄, 마그네슘, 아연과 같은 부식 전위가 낮은 금속을 방식 대상이 되는 구조물에 부착시켜 자신이 먼저 부식됨으로써 구조물을 음극으로 분극시켜 방식하는 방법이다. 이 방법은 선박과 해상 및 항만 구조물 등의 방식용으로서 일반적으로 널리 사용되고 있다. 양극 재료로서는 주로 아연 합금과 알루미늄합금이 쓰이고 있다. 알루미늄은 1개의 원자가 3개의 전자를 방출하고 이온으로 용해되기 때문에 2개의 전자를 내놓는 아연에 비하여 훨씬 경제적이다. 마그네슘 양극은 음극과의 전위 차가 너무 크기 때문에 양극 근처가 과방식되기 쉽고, 또 양극의 소모도 빠르기 때문에 구멍이 있는 캡을 씌운다던가, 초기 양극의 반수를 피복해 주었다가 적당한 때에 피복을 벗겨주는 작업을 해주는 등의 결점이 있다.

(2) 강제전류법 : 직류 전원 장치를 이용하여 구조물에 음극 전류를 공급함으로써 부식 전위보다 음극 쪽으로 분극을 시켜 부식을 방지하는 방법이다. 강제전류법은 외부전원법이라고도 하며 방식 대상물과 일정 거리 떨어진 곳에 전

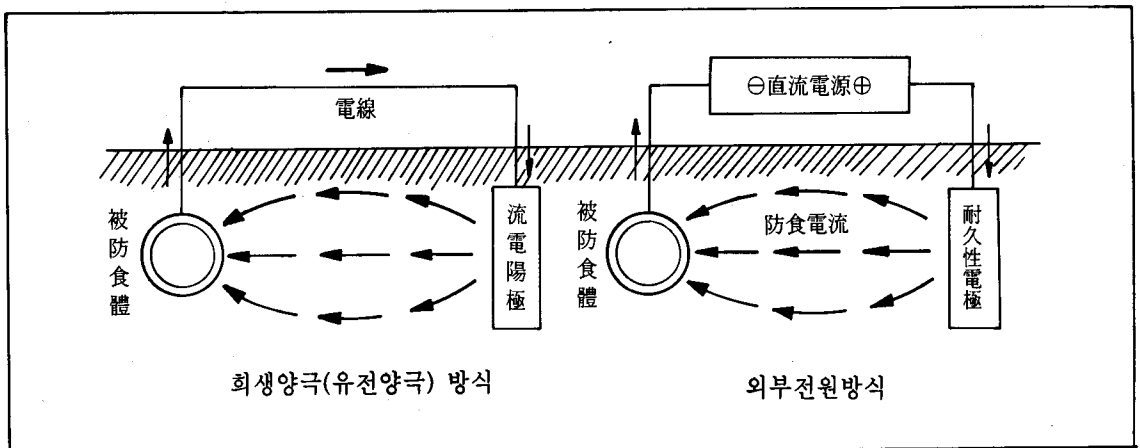


그림 3. 음극방식의 원리

극을 배치하여 정류기와 같은 직류 전원에 의하여 방식 대상물에 전류를 공급하여 대상물을 음극으로 유지하여 방식하는 방법을 말한다. 주로 지하에 매설되는 파이프와 같은 지중 구조물의 방식에 널리 이용된다. 선박의 경우에는 전극은 선미에서 가까운 양현에 한 두개 정도씩 배치하고, 각각 기준 전극을 적당수 설치하는 것이 통례이다. 비교적 작은 배에서는 선미부만 전극을 배치하는 것도 있다. 선저에는 양호한 도장이 실시되어 있기 때문에 전위 분포는 일반적으로 양호하다.

기준 전극에 의해 선체 전위를 검출하고, 설정 표준 전위와의 차이를 증폭하여 정류기를 제어하고 그 설정 표준 전위 부근에 선체 전위를 자동적으로 제어하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 전극의 재료로는 Pt-Ti 전극, Pb-Sb-Ag 전극 등이 주로 쓰이고 있으며 원형 혹은 긴 판상의 전극이 쓰이고 있다. 선체 관통 부에서 누수 되지 않도록 설계 시공상 유의하고 있다. 기준 전극으로서의 주로 아연 혹은 Ag/AgCl 전극이 사용되고 있다. 전극이 직접 구조물과 접하는 부분에는 절연 재료를 설치한다. 절연재료는 전기적 작용이나 전극의 부식 생성물에 의해 영향을 받지 않는 재료를 사용한다.

3.3.5 방식 설계

구조물의 방식 설계는 재료의 선정만큼이나 중요한 부분이다. 설계시에는 구조물의 기계적 강도의 요구 사항과 함께 부식을 위한 허용치를 당연히 고려하여야 한다. 일반적으로 두께는 설계 수명이 요구하는 것의 두배로 함으로써 국부 부식에 대비하도록 한다. 다음은 설계 단계에서 근본적으로 부식을 최대한 방지하기 위한 일반적인 설계 지침을 열거하였다.

- (1) 리벳팅보다는 용접을 한다.
- (2) 탱크나 용기의 경우 드레인과 세척이 용

이하도록 한다.

- (3) 부식이 심할 것으로 예상되는 부위는 교체하기 쉽도록 한다.
- (4) 좁은 부위에 과도한 스트레스가 집중되지 않도록 한다.
- (5) 다른 종류의 금속끼리의 전기적 접촉을 피하도록 하여야 한다.
- (6) 파이프의 경우 급한 굴곡을 피하여야 한다.
- (7) 국부적으로 온도가 높아지는 곳이 없도록 한다.
- (8) 공기의 유입을 가능한한 피하도록 한다.
- (9) 맨홀 등을 설치하여 부식의 진행 상황을 검사하기 쉽도록 한다.

4. 방식 관리

올바른 방식 대책이 없으면 공장의 인력, 설비, 환경등의 재산적 가치가 커다란 위험 부담을 져야 하기때문에 부식은 공장 경영에 있어서 골치 아픈 문제 거리이다. 그 반면 부식의 위험을 감소시키기 위하여 관리자나 기술자들이 취해야 하는 행동은 일상의 임무에 비하여 낮은 우선 순위를 가질 수밖에 없다. 대개의 경우 부식이 큰 문제로 진전되어 이미 상당한 재정적인 손해를 입히기 전에는 부식 전문가의 적절한 조언은 얻기 어렵다. 따라서 이러한 문제는 적절한 방식 관리의 개발과 실행에 의하여 해결하여야 한다. 성공적인 방식 관리는 다음과 같은 요건들을 포함하고 있어야 한다.

- (1) 방식이라는 특별한 임무 수행을 위한 경영 조직의 활용
- (2) 부식의 위험성과 경향을 파악하여 보고할 수 있는 자료 수집 및 정보 체계 개발
- (3) 모든 종류의 실제 부식 형태와 원인을 이해하고 주기적으로 설계중 또는 운전중의 플랜트의 부식 사정을 할 수 있는 훈련된

스태프의 배치

- (4) 방식을 위한 사양과 QA 절차를 활용하는 것을 포함한 방식 기술의 실행에 대한 경영층의 이해
- (5) 새로운 프로젝트의 개발이나 운영 단계에서의 방식 기술 취급 방법에 대한 지식

아울러 프로젝트의 시한을 지키는 것과 정비 기간을 최단으로 해야 한다는 공장 경영의 목표가 방식 관리의 포함으로 인하여 어긋나게 되어서는 안된다. 성공적인 방식관리는 모든 방식을 위한 활동이 설계 단계로부터 시작하여 건설과 취역 단계를 거쳐 운전과 정비 단계에 이르기까지 전체의 경영 관리 체계 안에 이질감 없이 속해 있어야 한다는 것이다.

4.1 설계 단계에서의 방식관리

프로젝트의 초기 단계에서는 단지 일반적인 방식 기술에 대한 접근만이 가능하다. 아직 구체적인 도면이나 사양이 정해지지 않았기 때문에 부식 평가는 어렵지만, 구성 재료, 부식 환경 및 운전 조건간의 상호 작용에 대한 기초 조사는 가능하다. 초기 구상 단계에서라도 예비 설계도면이 있다면 그 설계가 건전한지 여부를 재료 열화 전문가에게 상담하는 것이 좋을 것이다. Pre-engineering 단계에서는 제안된 재료 선정과 방식 계획에 대하여 기술적, 경제적 검토가 포함된 부식 사정 (Formal Corrosion Audit) 이 있어야 한다. 부식 사정을 위한 대표적인 체크리스트는 다음과 같다.

- 구조물, 플랜트, 장치와 부속품들의 종류
- 요구 또는 기대 수명
- 외부 환경
- 내부 환경과 이 환경의 변경 가능성
- 구성 재료 후보

- 예측되는 부식의 종류
- 핵심 시설 및 장치
- 대형 사고 발생 위험성 및 예측되는 결과
- 최고 온도 및 압력
- 검사, 정비, 수리 및 대체를 위한 접근 가능성
- 이미 제안된 방식 기술의 종류

최종 드래프팅 단계에 들어가서는 다음 사항에 대하여 방식의 관점에서 명확하게 지정해 주어야 한다.

- 구성 재료 : 기능성과 내식성에 대한 적합
- 응력 문제 : 기계적 강도의 충족 및 응력 부식에 대한 안전
- 용합 문제 : 이종 금속간의 접촉, 불량 용접 부위, 틈새등의 최소화
- 형상 문제 : 오염 물질의 축적 방지, 마식 방지, 검사용 접근 용이
- 표면 처리 : 도장 전처리, 세척, 예각 회피

4.2 건설 단계에서의 방식관리

설계 단계에서 이미 건설시에 필요한 방식에 관련된 각종 지침과 사양을 서류화하여 건설 계약서에 포함시켜야 한다. 시공 도중에 발생하는 불량한 작업이나 현장에서의 재료 손상은 완성된 설비의 방식을 어렵게 할 수 있다. 따라서 철저한 QA와 QC를 통하여 자주 감독과 검사를 실시하여야 한다. 감리는 정기적으로 이루어져야 하고, 정식 보고가 되어야 하며, 잘못된 것이 시정된 것이 확실하게 기록되어야 한다.

4.3 생산 단계에서의 방식관리

전통적으로 수행되어 온 부식 사고 후의 조사, 진단, 수리의 "사후처리" 방법의 관리에서

탈피하여 정상시의 적절한 방식 기술의 적용과 감시에 의한 “사전대비” 방법의 방식 관리로 전환하는 것이 주요 목적이다. 그렇게 하기 위하여는 확실하게 정의된 책임과 전문성을 갖춘 임무를 관리자와 기술자에게 부여하고 공식적인 기록과 보고 체계를 갖추어야 한다. 즉 각기 공장과 장치에 알맞는 방식지침서 (Corrosion Control Manual)의 준비가 필요하다.

아무리 철저한 방식 처리를 하여도 도막에 결함이 있다거나, 충격에 의하여 페인트에 손상이 생기거나, 시간이 경과함에 따라 열화되어 박리되거나 할 수 있다. 또 음극 방식의 경우에도 희생 양극이 탈락되거나, 모두 소모되어 버릴 수도 있어서 일시적으로 국부적인 부식이 진행될 가능성을 완전히 배제시킬 수는 없다. 문제점이 발생하면 조기에 발견하여, 원인을 규명하

고, 대응 조치를 취하며, 적기에 보수가 이루어지도록 하기 위하여는 구조물의 부식 상태를 연속적으로 감시하는 것이 필요하다.

부식 감시 기술은 설비 전체를 경제적이고 안전하게 운전하고 유지하는데 있어서 필수 불가결의 요소이며 감시에 소요되는 비용은 그 결과로서 얻어지는 이익에 비하여 매우 적다. 표 3에 현재까지 개발된 각종 부식 감시 방법을 나타내었다.^[8] 감시 방법의 선택은 구조물 재료, 환경, 기술적 여건 등에 따라 이루어져야 한다.

그러나 표 3에 열거된 감시 기술은 모두 장단점과 한계를 가지고 있으므로 한가지 감시 기술에만 의존하게 되면 실제 현상을 잘못 판단할 수도 있다.

부식 감시에 의하여 이상이 발견되거나 또는 주기적인 점검을 위하여 직접적으로 구조물의

표 3. 부식 감시 방법

방 법	특 정
부식감시공 (Sentry Hole)	파이프의 외면에 부식 허용치까지 구멍을 뚫어서 누출이 시작되면 관을 교체
부식 감량 쿠폰 (Weight Loss Coupons)	예민하지는 않으나 전통적이고 보편적인 방법이고 부식의 형태를 알 수 있음
전기 저항법 (Electrical Resistance, ER)	프로브의 전기 저항의 변화를 측정, 탄소강에서 많이 사용되고 자동 측정 가능
부식 전위법 (Corrosion Potential, Ecorr)	부식, 방식, 부동태, 공식, 응력부식 등이 가능한 전위 영역을 감시
분극저항법 (Linear Polarization Resistance)	균일 부식을 측정할 수 있는 전기화학적 표준 DC 방법
무저항 전류계 (Zero Resistance Ammetry)	이종 금속간의 갈바닉 부식 감지, 경우에 따라 동일 금속 전극간의 부식전류도 측정 가능
수소 탐촉자 (Hydrogen Probes)	압력 게이지 또는 전기화학적 방법에 의한 강재내의 수소 확산 속도 측정
박막활성법 (Thin Layer Activation)	국부적으로 방사선 조사된 부분이 부식될 때 방사능의 변화를 측정
전기화학 임피던스 (Electrochemical Impedance)	AC를 이용한 분극저항법으로 균일 부식을 측정, DC 법보다 정밀함
전기화학 노이즈 (Electrochemical Noise)	국부부식에서 발생하는 부식 전류와 전위의 미세 변화를 측정

각 부위를 진단해서 적절한 보수 계획을 세워야 할 필요가 있다. 표 4에 주로 많이 사용되는 부식 진단 방법을 나타내었다.^[8]

표 4 부식 진단 방법

부식 진단 방법	특 징
음향 방출 (Acoustic Emission)	금속 내부의 결함이나 파열의 위치, 개시 여부, 진행 속도를 측정
염료 침투 (Dye Penetrant)	표면 크랙의 탐사
자분 탐상 (Magnetic Particle)	표면과 직하부의 크랙, 결함의 탐사
방사선 탐상 (Radiography)	두께 측정, 결함의 위치 탐사
열 탐상 (Thermography)	결합 결함, 국부적 얇은 곳, hot spot, 공정 불량으로 인한 온도 변화점
초음파 탐상 (Ultrasonics)	내부 결함, 기공, 파열, 벽두께 측정
육안 검사 (Visual Examination)	국부 부식, 마모, 공식, 스케일, 미생물부식, 누설 등을 식별

이러한 것들을 개선하는 데는 다음의 사항들이 도움이 될 것이다.

- (1) 책임과 권한이 확실하고, 보고 체계가 확립된 방식 담당 조직
- (2) 현장으로부터의 부식에 대한 자료와 정보가 설계 부서로 피드백
- (3) 설계 및 현장 기술자가 수시로 내부 또는 외부의 부식전문가에게 상담
- (4) 현장 인력에 대한 기본적인 방식 교육으로 손상의 조기 발견과 보고 가능
- (5) 설계, 건설, 운전 및 정비의 각 단계마다 부식 사정을 위한 여유 기간 설정
- (6) 적기에 적소에 대한 부식 사정, 검사 및 부식 모니터링 실행을 관리 항목에 편입

참 고 문 헌

5. 결 론

대부분의 부식 문제에 대한 기술적인 해결책은 이미 나와 있는 것만으로도 충분히 많은 부식 손실액을 절약할 수 있는데도 불구하고 부식으로 인한 사고가 잇따른다는 것은 각 해당 조직에서의 도입이 불충분하다는 것을 말해주고 있다. 장기적으로 볼 때 결코 경제적이지 못한 방식 기술이나 관리가 아직도 널리 행해지고 있다. 예를 들면 다음과 같은 것들이 있다.

- 설계 및 건설 단계에서의 지나친 비용 절감이 장래의 운전과 정비의 고비용화 초래
- 제조 및 건설 단계에서의 부적절한 검사와 보고 체계
- 부식의 발생을 우려하여 미리 과도한 양의 정비 부품 교체로 인한 고비용
- 수처리와 같은 환경 조절 방식 처리를 외주업체에만 맡기고 실적 검사는 하지 않음

- [1] National Bureau of Standards, Washington DC, USA, 1978
- [2] Report of the Committee on Corrosion and Protection, DTI, Pub. HMSO, London, 1971
- [3] Corrosion Engineering and Control, J. Dawson, UMIST, Manchester, 1996
- [4] Corrosion Engineering, M.G. Fontana & N.D. Greene, McGraw-Hill, New York, 1967
- [5] Corrosion Data Survey, 6th ed., NACE, Houston, 1985
- [6] Corrosion Resistance Tables, P.A. Schweitzer, Marcel Dekker, Inc., New York, 1980
- [7] How to Choose the Right Protective Coating, Material Protection, 3, 8-13, March, 1964
- [8] The Role of Corrosion Monitoring and Inspection in Corrosion Management, J. L. Dawson, Corrosion Engineering and Control, 1996