

<腐蝕講座>

음극방식 및 양극방식

尹 勝 烈\* 역

VIII. Cathodic and Anodic Protection for Corrosion Control

S. R. Yoon

부식이 일어나고 있는 금속표면에서 양극(anode)과 음극(cathode)사이로 전류가 흐를때 전류가 크면 클수록 양극面은 더욱 빨리 침식된다. 이때 외부전기 회로를 사용하여 부식반응이 일어나고 있는 금속에 追加전류를 부과하므로써 부식속도를 변화시키거나 억제할수 있다.

부식을 완전히 억제하려고 할 때는 외부 전기회로를 통하여 금속에 전자 (opposing current)를 부과하고 (음극방식), 어떤 경우에는 금속의 전위를 금속이 부동태 상태에 있도록 조절하여 금속이 부식을 받으나 그 속도가 아주 느리도록 한다(양극방식). 두 방법 모두 실용적인 방식법으로 중요한 의의를 갖고 있고 앞서부식강과 VI<sup>14</sup>에서 서술한 Pourbaix圖를 참조하면 그 내용의 윤곽을 알 수 있겠다.

음극방식의 원리

음극방식에서 금속은 전부 음극으로서만 작용하게 된다. 따라서 금속표면에는 양극면이 없고, 부식이 일어나지 않는다. 음극방식법은 거의 150년 동안이나 사용되어 왔고 대부분 강철에 이용되지만 모든 금속에 적용될 수 있다. 부식매질(corrodent)은 반드시 전해질이어야 한다. 일반적으로 음극방식은 땅 속에서 일어나는 부식(地下의 파이프 라인이나 케이블의 부식)이나 海水부식(케이블, 부두구조물, 船體의 부식)을 방지하는데 쓰인다. 음극방식은 흔히 코오팅(coating)과 병용되는데 이렇게 하면 전력(즉 경비)이 경감된다. 음극방식법으로는 (1)부과전류법(impressed current cathodic protection)과 (2)희생양극법(galvanic or sacrificial anode protection) 두 종류가 있다.

부과전류법

간단히 말하면 음극방식은 금속이 부식될 때 금속에서 흘러나오는 전류보다 작지않으며 부호가 반대인 전

류를 금속내부로 흘러보내는 것이다. 이렇게 하려면, 충분히 큰 직류전원을 부식되고 있는 금속과 양극으로 사용할 어떤 전극사이에 연결하면 된다. 커다란 직류전원을 얻기위하여 보통 쓰이는 방법은 Fig. 1 a 에 서와 같이 교류전류를 정류하는 것이다. 방식하려고하는 금속과 양극사이에는 반드시 전류가 통할수 있어야 한다.

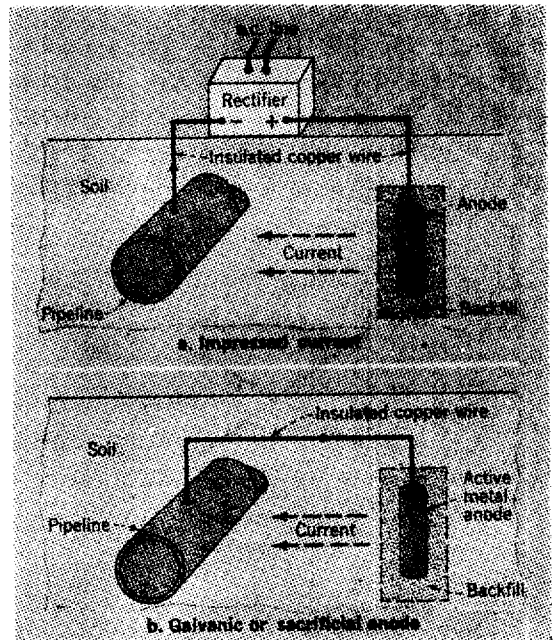


Fig. 1 Cathodic protection for underground pipe

양극은 불활성 물질이거나 또는 부식되는 것이라도 괜찮다. 후자를 택하였을 때는 때때로 새로운 것으로 교환된다. 전형적인 양극재료로서는 스크랩 철(scrap iron), 실리콘 철(silicon-iron), 탄소, 스테레스 스틸, 백금 등이 있다. 양극은 록크스 재(coke breeze)나 석고(gypsum)같은 지지층(back fill)에 파 묻는데 이렇게 하므로써 지지층과 주위의 흙 사이에 전기적 접촉이게 된다. 방식시킬 금속이 작을 때는 양극은 단지 한개

\* 한양대학교 공과대학 재료공학과

만 사용할 때도 있으나 파이프라인(輸送管)을 방식시킬 때는 양극의 숫자가 많아진다.

파이프라인 방식에서 전력소요량의 계산 및 양극의 배치를 어떻게 하여야 할 것인가 판단하는 것은 경험에 의존하는 것이고 약간 試行錯誤法을 써야한다. 방식계의 효율성은 파이프라인을 따라가며 전위를 측정하므로써 판단할 수 있다. 이 때 구리/황산동 기준전극이 보통 사용된다.

지하에 묻혀있는 강철 구조물의 부식전위는 방식시설이 없을 때 구리/황산동 기준전극에 대하여 -0.5V를 나타낸다. 완전 음극방식을 하려면 -0.8V 이하로 분극시키는 것이 필요하다. 예를 들어 평상시 전위 檢査에서 전위가 -0.6V 였다면 방식계에 어떤 허물이 있음을 알려주는 것이다. 전류를 더 보내던지 양극의 개수를 늘이거나 위치를 달리하던지 또는 파이프라인의 절연을 더욱 잘 하던지 하면 다시 완전방식이 얻어진다.

이 강좌를 통하여 부식을 설명하는데 분극곡선을 사용하여 왔다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 음극방식을 설명하는데도 분극곡선이 사용될 수 있다. Fig. 2에서 방식장치가 안된 系의 부식전위는  $E_{corr}$ 이고, 부식속도는  $i_{corr}$ 에 비례한다. 만약 음극전류밀도  $i'_{prot}$ 을 부과하면 지평의 전위는  $E'_{corr}$ 이 되고 이때 부식속도는  $i'_{corr}$ 에 비례한다.

과하여 양극전위가 금속의 평형전위(open circuit potential)  $E_{oc}$ 와 같도록 해주어야 한다 (OC는 금속/금속이온 쌍,  $M/M^{+n}$ 을 나타낸다).  $E_{oc}$ 에서는 부식이 일어날 수 없다. 따라서 분극곡선은 음극방식에 필요한 전류밀도를 산출하는데 사용될 수 있다.

이때 주의하여야 할 것은 실제 사용중에 발생하는 여러조건 때문에 분극성질이 변경될 수 있다는 것이다.

부식속도가 크면 클 수록 금속구조물을 보호하기 위하여 부식을 정지시키는데 필요한 전류의 양은 더욱 많이 필요하게 된다. 그러나 부식속도와 방식전류에 관한 직접적인 관계식은 없고, 중요한 것은 음극방식의 정도이다. Fig. 3에서 두 系는 같은 부식속도를 갖고 있으나 음극방식에 하는 전류밀도는 다른 것을 알 수 있다.

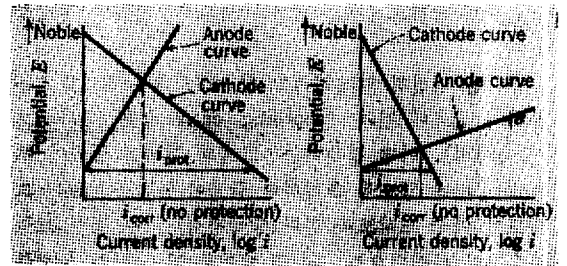


Fig. 3 Polarization determines cathodic current

### 희생양극법

희생양극법에서는 방식시키려는 구조물의 금속보다 더 active 한 금속을 사용하여 이 부식을 억제하는데 필요한 전류를 공급한다. 더 active 한 금속을 희생양극이라고 부른다. 同一한 부식분위기에 두 종류의 금속을 연결하여 노출시키면 더 active 한 금속의 부식은 촉진되고 덜 active 한 (noble 한) 금속은 방식이 된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 전지 부식은 부식문제 자체로서는 귀찮은 것이지만 Fig. 1 b에 나타낸 바와 같이 방식방법으로서 유익하게 사용될 수 있다.

희생양극으로 흔히 사용되는 것은 금속들인데 마그네슘, 아연, 알루미늄 및 이들의 합금등이 있다 마그네슘은 가장 active 한 전위를 나타내며 (즉 나오는 전류의 양이 제일 크다), 따라서 흙과 같이 비저항이 큰 전해질에 널리 사용된다. 아연은 바닷물과 같이 좋은 전해질 용액에서 사용되는 양극이다. 알루미늄 양극은 사용중 표면에 형성되는 noble 한 산화피막 때문에 어떤 경우에는 문제가 될 수 있으나 역시 성공적으로 사용되고 있다. 희생양극을 고르는데 있어서 (가장 active 한 금속이 아닐 경우에는) 반드시 기억해 두어야 할 것

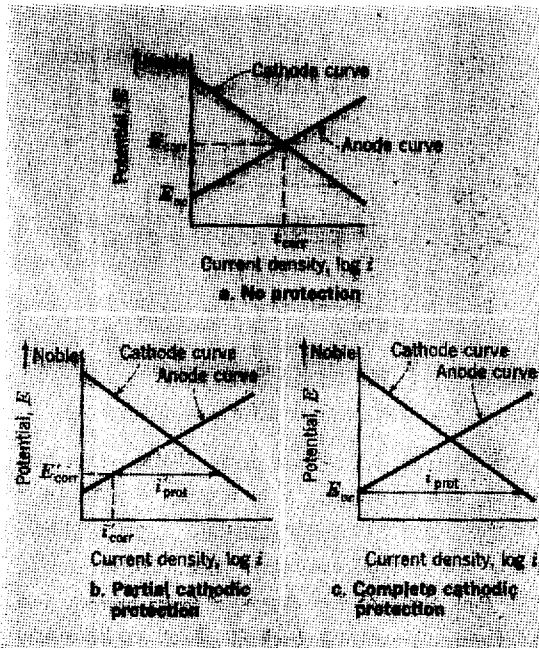


Fig. 2 Current densities for cathodic protection  
완전방식을 얻기위하여는 반드시 전류밀도  $i'_{prot}$ 을 부

은 기전력 시리즈(electromotive series)가 전지 효과(galvanic effect)를 결정하는데 기준이 되는 단 하나의 것은 아니라는 것이다. 이 부식강과 VII<sup>15</sup>에서 주목하였던 바와같이 분식성질과 교환전류 밀도도 중요한 작용을 할 수 있다.

희생양극으로 사용되는 전극은 구조물로서 쓰이는 것이 아니어야 하며 쉽사리 대체할 수 있는 것으로 사용하는 것이 보통이나 항상 그렇지 않다. 예를 들어 강철관(steel tube-sheet)이 스텐레스 스틸 관을 보호하기 위하여 양극으로 사용될 때가 가끔 있다. 또 강철에 아연도금을 한 것은 大氣부식분위기로 부터 밀의 강철층을 분리하는데 主 목적이 있으나, 도금층에 조그만 흠이 생겼을 때에는 전지작용에 의하여 노출된 강철을 보호하게 된다.

소요 전류의 양이 작고 전해질의 比 저항이 비교적 낮을 때 (약 10,000 ohm-cm 이하) 희생양극법은 부과전류법보다 우선적으로 사용될 때가 많다. 電源이 근처에 없고 완전한 地下 방식계가 요구될 때 희생양극법은 뚜렷한 이점을 갖고 있고, 설치비가 저렴하고 단기간 방식에 가장 경제적인 방법이 될 때가 많다. 그러나 이런 점들 때문만으로 희생양극법이 쓰이는 것은 아니다.

부과전류법은 전류소요량이나 전해질의 비저항이 높을 때 각광을 받게 된다. 부과전류법을 쓸 때는 값싼 電力源이 요구되고, 큰 구조물의 장기간 방식에 적합하며 자동적으로 제어 될 수 있다. 자동제어 장치들 쓰면 유지비와 사용비가 작아진다.

### 음극방식에 관련된 문제들

음극방식에서 문제점들이나 사용상의 제한점들이 없는 것은 아니다. 설치비나 유지비 같은 경비 항목은 차지하고라도 몇가지 기술적인 문제들이 있다. 가장 잘 알려진 것으로는 stray current (방향이 빛나간 전류 Fig. 4)가 인접한 금속 구조물에 영향을 미치는 것이다. 파이프라인 A를 효과적으로 보호하고 있는 어떤 음극방식계가 인접한 파이프라인 B의 부식을 증가시킬 수 있다. 이런 경우에 예상하지 않았던 심각한 법적 기술적 문제가 대두된다. 이 때의 부식기구는 Fig. 4a에, 구제책은 Fig. 4b에 나타나 있는데 해결책은 간단하지 않을 때가 많다.

깊게 파묻은 양극을 사용한다면 stray current가 地表 바로 밑에 있는 구조물에 미치는 영향을 다소 완화시킬 수 있다. 음극 방식계를 설치하기 전에 그 지역의 기타 다른 금속 구조물에 대한 조사를 행하는 것이 긴

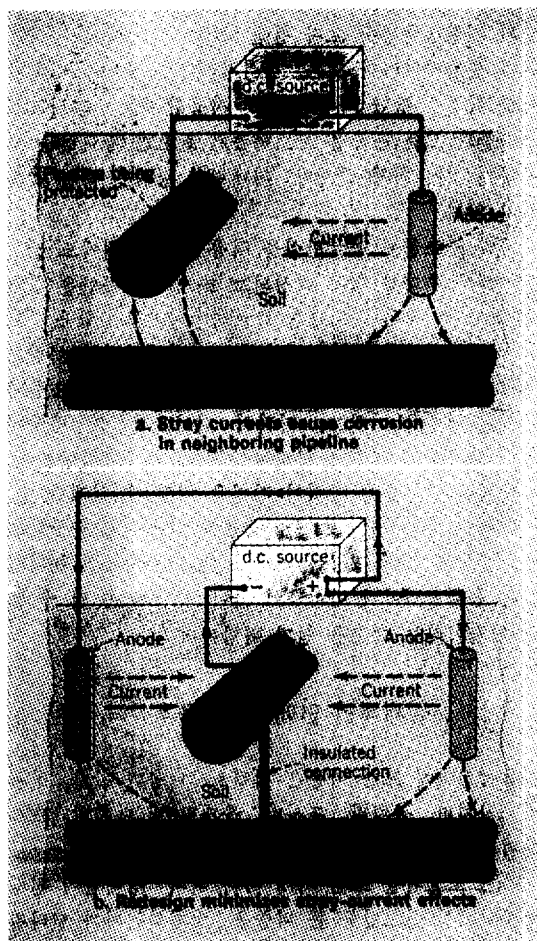


Fig. 4 Stray-current effects in pipelines

요한데 이러한 조사를 하면 근처의 방식계로부터 나오는 방식源도 또한 알 수 있게 된다.

음극 방식과 관련된 기타 다른 문제들은, 방식되고 있는 구조물의 표면이 전기 回路上 음극이기 때문에, 방식되고 있는 구조물의 표면에서 일어나는 화학 반응과 관계가 있다. 예를 들어 음극반응이 수소이온 환원 반응이라던 이때 발생하는 수소가스는 금속자체를 부풀게 하거나(blistering), 금속이 코팅 되어 있을 때 코팅층을 베끼는 원인이 된다. 어떤 합금에서는 금속내부로 들어간 수소가스가 금속구조물이 응력을 받을 때 균열을 일으키게 하는 원인이 된다. 음극반응의 결과 OH<sup>-</sup>이온이 표면에 축적될 때도 문제를 일으킬 수 있다. 이런 현상은 알루미늄과 같은 양성금속에 히롭지만 강철에는 이로운데 전기가 나갔을 때 강철이 보호되기 때문이다.

이와같이 음극반응과 관련된 문제들은 계가 과도하게 방식되었을 때 더욱 명백해진다. (즉 금속/금속이온

쌍의 평형전극전위 보다 훨씬 active 한 전위로 방식전위가 설정되었거나 또는 방식시키려는 금속에 비하여 아주 활성이 강한 희생양극을 사용할 때). 그러므로 구조물의 모든 부분을 보호하는데 필요한 방식량을 사용하는 것이 가장 좋으며 과대량의 방식을 하는 것은 좋지 않다.

지하 구조물에 음극방식을 적용할 때 이외에도 많은 문제들이 부닥칠 것이 예상되고 또 해결 방안을 찾게 될 것이다. 흙의 부식성(corrosivity)은 공기 함유 정도가 비저항변함에 따라 변하겠고, 박테리아의 영향도 부식 전위를 변화시킬 수 있다. 이상 모든 요소들이 부식에 영향을 미치고, 따라서 파이프라인의 곳곳에 따라 음극방식 정도도 변하여야 하며, 음극방식량은 전위측정이나 경험을 통하여 판단을 내릴 수 있겠다.

이상 생각할 수 있는 문제점들이 있음에도 불구하고 음극방식은 널리 성공을 거두고 있다. 지금껏 논의한 것은 음극방식이란 아마추어 들이 쉽사리 손 댈 수 없는 기술이라는 교훈을 얻기 위함이다.

### 경제적인 면에서 본 음극방식

음극방식에 드는 비용은 대체로 다음과 같다. 설계비, 장치비, 설치비, 조사비, 유지비 및 대체비, 또 사용비(즉 부과전류법에서의 전력비)등이다.

어떤 코오팅을 쓰는가에 따라 위의 경비들이 전체 방식비에서 어느만큼 큰 비중을 차지하는가가 달라진다. 좋은 코오팅을 사용하고 방식계의 설계 및 절연이 잘되어 있으면 음극방식비는 아주 값싸게 된다.

방식장치를 하여 경비가 얼마만큼 절약되었는가 판단하기는 매우 어렵다. 될수록 값싼 재료와 얇은 재료를 써서 수명이 길어졌을 때 생기는 직접이익 이외에도 간접적인 이익이라는 것이 있기 때문이다. 간접적인 이익으로서의 공장 운휴 때문에 생기는 손실의 방지, 값진 생산품의 손실 방지, 파피에 기인하는 위험에 대한 안정성 및 생산품의 流失에 따르는 오염의 방지 등이 있다.

방식시설이 없을 때, 代置材料費(예를들어 每 3년마다 필요하다면)는 시간이 지남에 따라 20년 수명을 보장하는 방식계를 사용했을 때 드는 비용보다 더 많아 질런지도 모른다. 이때 방식방법을 쓰면 시간이 경과함에 따라 수지계산은 훨씬 더 유리해 질 것이다.

음극방식은 보통 長期 방식법이다. 이미부식이 일어나서 곧 파괴될려는 系나 장애성이 의심스러운 系(달아빠진 케이블이나 말라 버리려고 하는 우물의 파이프 관에 음극방식을 쓰기 시작하는 것은 경제성이 거의 없

다.

지난 10년동안 음극방식 계통은 계속 개선을 보아왔다. 양극과 정류기 같은 장치의 효율도 점차적으로 개선되었다. 코오팅도 개선되어서 간접적인 기여를 하고 있다. 자동전위 조절 방법도 지난 10년간 그 기능은 인정받았고 환경의 부식성이 수시로 변할 때나 방식시키려는 구조물이 멀리 떨어져 있을 때 유리한 점이 있다. 장래 음극방식법에 대하여 좀 더 알고 싶으면 Parker의 논문<sup>5)</sup>을 보면 좋다.

여러가지 재료로 구성된 수 많은 구조물들(또 이 구조물들에서는 여러가지 부식매질이 취급된다)이 서로 가까이 위치하고 있는 생산공장에서 음극방식법을 쓰기에는 아직도 심각한 제한점들이 있다.

### 양극방식의 원리

아주 중요한 방식법의 하나는 금속을 더욱 anodic 하게 만드는 방향으로 전류를 부과하므로써 금속을 부동태화하는 것이다. 양극방식은 1954년 처음 제안되었는데 약 10년전까지는 단지 연구실에서 호기심을 갖고 실험하였을 따름이었다. 이 방법은 active-passive behavior(활성화—부동태화 성질)을 나타내는 금속 및 합금에만 적용할 수 있다. 지금까지 철, 스텐레스 스틸, 티타늄, 알루미늄 및 크롬에 양극방식이 사용되어 왔다. 음극방식의 경우와 마찬가지로 부식매질은 반드시 전해질 용액이어야 한다.

Active-passive 성질은 부식강도 III<sup>16</sup>에서 논의되었

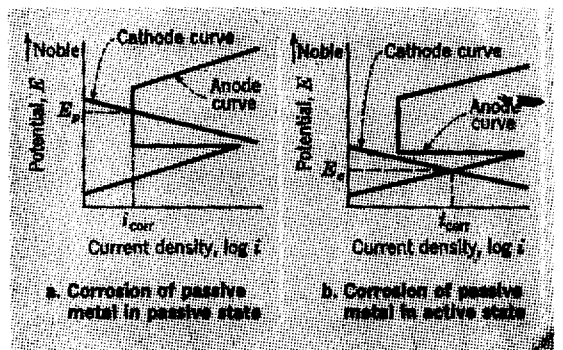


Fig. 5 Passive state yields low corrosion rate

다. 부동태(passivity)란 금속의 부식속도가 간단한 열역학적 고찰로부터 예측되는 것 보다 수 배나 낮은 속도로 일어날 수 있는 것을 뜻한다. Active-passive 성질을 나타내는 금속이 passive 상태(a)와 active 상태(b)에 있을 때에 나타내는 전형적인 분극곡선이 Fig. 5에 나타나 있다. passive 상태에 있는 금속의 부식속

도  $i_{corr}$ 은 (Fig. 5a) active 상태에 있는 금속의 부식 속도보다 훨씬 작다(Fig. 5b) 양극방식 이란 外部電氣回路를 써서 금속을 passive 상태로 유도하는 수단이다. 즉 Fig. 5에서 부식전위는  $E_c$ 에서  $E_p$ 로 조절된다.

양극방식을 실행할 수 있는지 없는지 결정하기 위하여 우리는 무엇을 알 필요가 있을까? 금속은 부식매질내에서 반드시 active-passive 성질을 나타내어야 한다는 것은 이미 말하였다, 일반적으로 금속/부식용액계가 이와 같은 상태를 나타내는지 아닌지 판단이 가능하나 특별한 농도 및 온도등에 대한 자료는 없다. 따라서 양극방식계가 장차 사용될 때의 조건이나 또는 예상되는 조건과 필수로 가까운 부식조건을 써서 금속의 (구조용 재료가 아직 특별히 선정되지 않았다면 여러 재료에 대하여) 양극분극 곡선을 실험실에서 결정하여야 한다. (부식장각 III에는 이 과정이 기술되어 있다).

Fig. 6에는 전형적인 양극분극곡선이 나타나 있다. 실험실에서 이런 곡선을 얻는때는 5~6시간이 걸린다. 엄밀한 것이 요구될 때는 곡선을 두 세번 반복하여 그리는 것이 현명하다. 또 전위 走査속도 (scanning rate)는 평형조건에 도달되도록 충분히 느리게 하여야 한다. 그렇지 않으면 방식전류를 유지하는데 필요한 전류의 양을 잘못 평가할 수 있다.

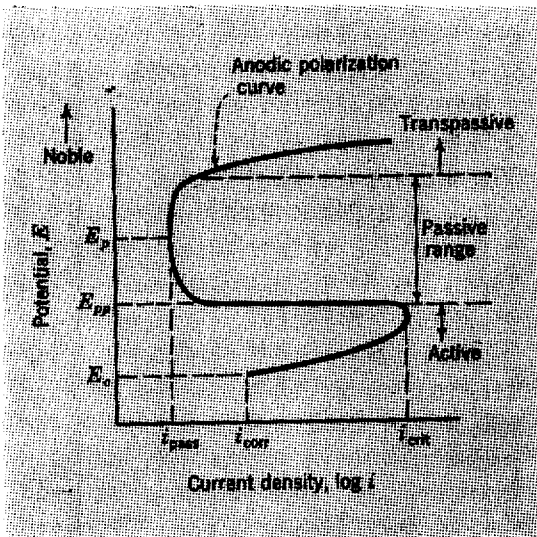


Fig. 6 Anodic protection from data

Fig. 6에 나타난 곡선으로부터, 방식을 하지 않았을 때 금속의 부식전위는  $E_c$ 이고 부식속도는  $i_{corr}$ 에 비례함을 알 수 있다. 추측하는데 대부분의 경우 이  $i_{corr}$

은 재료를 경제적으로 사용하는데 너무 큰 값이 되는 듯 하고 이 때문에 양극방식을 조사하고 있는 것이다. 우리의 목적은 금속을  $i_{pass}$  속도로 부식시키는 것이다. 이렇게 하기 위하여는 부식전위가 passive 영역에 좀더 바란다면 passive 영역의 중간근처인  $E_p$ 에 있어야 하겠다. 부식전위를  $E_c$ 에서  $E_p$ 로 옮기려면 active peak (active 영역에서 전류밀도가 제일 큼)을 지나야 한다. 즉 전류밀도  $i_{crit}$ 를 부과하여야 한다. 일단 이렇게 하여 부동태 상태를 얻게되면 이미 얻은 부동태 상태를 유지하는 데는 훨씬 작은 전류가 들 뿐이다. 예를 들어 부동태를 얻기위하여 40ma/sq. ft. 가 쓰였다면 부동태를 유지하는데는 0.1ma/sq. ft. 가 쓰일 것이다.

Fig. 6에 나타난, 양극방식에 영향을 미치는 중요한 요소들은 다음과 같다.

1. 금속이 passive 상태에 있을 전위범위. 이 전위범위가 넓으면 넓을수록 좋다. 5~6백 mV가 바람직하지만 50mV 정도도 실제로 사용하는데 만족할만하다고 추정되고 있다.
2. 전류밀도  $i_{crit}$ . 이 전류밀도는 방식을 시작하는데 필요하다.  $i_{crit}$ 이 적으면 적을수록 좋다.
3. Passive 전류밀도  $i_{pass}$ . 방식을 유지하는데 이 전류가 필요하다. 사용 비용에 관련되고  $i_{pass}$ 가 적으면 적을수록 좋다.

실제로 쓸 수 있는 passive 영역은 Fig. 6에 나타난 것보다 약간 넓다. 그 이유는  $E_p$ 에서  $E_c$ 로 갈 때에는 passive 상태에서 active 상태로의 변화가  $E_{pp}$ 보다 약간 더 active 한 전위 (Flade 전위)에서 일어나기 때문이다. 확실히, Flade 전위는, 금속이 일단 부동태에 도달하면,  $E_{pp}$ 보다 더 중요하다.

아직 실험실에서 양극방식의 실행여부를 검토하는 동안에 실제 사용할 때 일어날수 있는 공정변화를 예상해 두는 것은 권장할만한 일이다. 용액의 교반(agitation)이 있을 것인가? 온도 및 부식매질의 농도변화는 어떠한 것인가? 불순물들이 개입될 것인가? 등등. 이러한 공정변수가 양극분극 곡선에 미치는 영향은 반드시 결정되어야 한다.

흔히 있을 수 있는 몇가지 공정변수가 황산속에 들어 있는 스테레스 스틸의 양극분극 곡선에 미치는 영향이 Fig. 7에 나타나 있다. 염소이온의 영향, 높은 온도의 영향등은 합금 성분이 좀 더 많이 들어 있는 재료를 쓰면 없앨 수 있다. 이런 재료들을 쓰면 방식을 좀더 쉽고 값싸게 할 수 있다. 따라서 재료비와 방식비 간의 절충점을 찾아보아야만 할 것이다.

우리는 양극분극곡선으로 양극방식이 과학적으로 가능한지 아닌지를 확증할 수 있고 필요한 전류를 계산

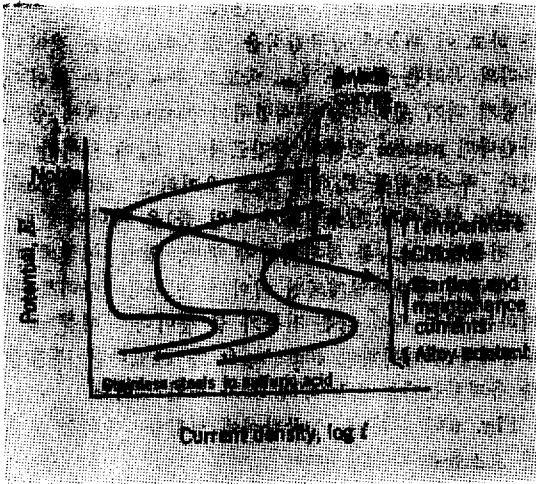


Fig. 7 Higher temperature and Chloride content increase difficulties of getting anodic protection

할 수 있다. 전류계산을 하려면 Fig. 6에서 얻을 수 있는 전류밀도  $i_{crit}$  와  $i_{pass}$  의 자료가 필요하고 방식 시킬 재료의 총 면적을 알아야 한다. 부동태를 얻기 위하여 그 이상 보내주어야 할 전류밀도  $i_{crit}$  은 필요한 전력을 결정하고 방식전류  $i_{pass}$  는 장기간에 걸친 사용비를 계산하는데 쓰인다.

전류밀도  $i_{pass}$  로 부터 계산된 부식속도의 정확성을 검사하는 일이 보통 행하여 지는데 이것은 실제 사용할 때 설정될 방식전위 ( $E_{prot}$ ) 에 시편을 정전위방법으로 (potentiostatically) 조절하고 중량감소 부식시험 (보통 수일 또는 수 주일 노출시킴) 을 하여 행한다,

### 양극방식의 實際

구조물 전체를 요구하는 전위에 정확하게 유지할 수 있는가 하는 것은 양극방식에서 아주 중요하다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 상당히 높거나 낮은 전위가 사용되면 금속은 더욱 빠른 속도로 (아마 전연 방식을 시키지 않은 때 보다는 훨씬 더 빠른 속도로) 부식될 것이다. 이러한 부식 증가의 가능성과 실제 구조물을 통하여 일정전위를 유지하는데 어려움이 예상되었기 때문에 지금껏 양극방식법을 채택하는 것이 다소 늦어졌다.

부식에 의한 손실을 감소시키기 위하여 양극방식을 사용할 때 소요 전류량에 대한 연구를 하여 경비절약이 예측되면 (건설재료비 및 생산품오염의 감소등으로) 다음 단계는 방식계의 설계를 고찰하는 것이다.

초기에 쓰여진 양극방식의 대부분은 구조가 간단한 탱크의 부식방지에 있었다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 탱크의 양극방식 配置는 간단하다. 다행히 양극방

식법은 throwing power (전류가 균일하게 퍼지는 능력)가 커서 음극의 위치를 적절히 하면 아주 복잡한 구조물도 방식이 가능하다. 양극방식법에서는 구조물 전체가 passive 영역에 있도록 하는 것이긴요한데 깊은 틈에서는 이렇게 하기가 어렵고 틈의 밑 바닥에서 심한 부식이 일어날 수 있다. 이와 같은 문제는  $i_{crit}$  이 낮은 내식합금을 선택하면 最少로 줄일 수 있다.

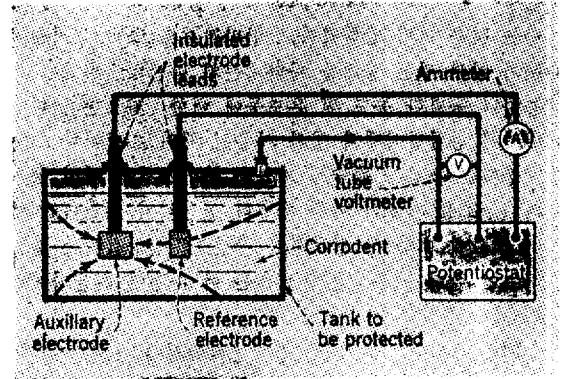


Fig. 8 Anodic protection system for tanks

음극재료는 부식이 잘 일어나지 않는 것이라야만 하는데 백금(보통 백금을 입힌 금속)이나 기타 내식 합금이 흔히 사용된다. 기준전극은 주로 Ag/AgCl이나 Pt/Pt이다.

양극방식의 주요한 단점은 부동태화 하는데 많은 전류가 필요하다는 것이다. 따라서 큰 전력원 및(혹은)  $i_{crit}$  이 작은 재료(일단 부동태가 되었을 때를 생각하면 필요이상으로 비싸다)가 요구된다. 이런 문제점을 가장작게 하는 방법이 몇 가지 있다. 첫째,  $E_c$  에서  $E_p$  (Fig. 6)로 이동하는 속도가 중요하다. 천천히 이동시키면  $i_{crit}$  은 일반적으로 감소되기 때문에 천천히 전류를 부과하는 것이 유리하다. 그러나 너무 천천히 이동시키면  $i_{crit}$  에 가까운 속도로 일어나는 부식때문에 단속의 큰 손실이 있게 된다.

문제점을 적게하기 위하여 사용되는 다른 방법은 용액의 부식능력을 일시적으로 감소시키는 것이다. 즉 온도를 낮추거나 농도를 변화시키거나 산화성 억제제 (oxidizing inhibitor)를 가하기도 한다. 스테인레스 스틸을 양극방식할 때, 부식용액을 담고 전류를 부과하기 바로 직전에 질산용액으로 人工的인 부동태화를 시키는 것도 쓸모 있는 것이다. 또 다른 방법으로는 방식시켜야 될 면적을 작게하는 것이다. 이렇게 하려면 처음에 용기를 완전히 채우지 않거나 구조물의 일부를 전연한다. (나머지 부분이 제거될 때 까지).

사용비 (operating cost)를 경감하는 방법들도 있다.

일단 부동태에 도달하면 반드시 계속 전류를 부과할 필요가 있는 것은 아니다. 어떤 경우에는 방식기간중 1%에 해당하는 시간만 전류를 부과해도 (5초동안 전류를 부과하고 500초 동안은 전류를 보내지 않고서도) 방식작용이 가능하다. 이런방법은 전력을 아낀다는 것 이외에도 근처에 한 개 이상의 양극방식계가 있을 때 유익하다. 자동 스위치 장치를 설치하면 한 개의 전력원으로 두개 이상의 구조물의 방식을 동시에 행할 수 있다.

교반(agitation)이 성질을 나타내는 재료의 부식에 미치는 영향은 복잡하다. 이는 양극분극에서도 그러할 때때로 어떤 시스템에서는 교반을 하여주면 부동태에 이르는 전류 소요량이 적어지나 반면에 다른 시스템에서는 반대효과를 가질 때도 있다.

부동태를 유지하는데 필요한 전류를 방식기간중 계속 기록하면 금속표면에서 무슨일이 진행되고 있는지를 알 수 있다. 전류가 올라가면 부식속도가 증가하고 있다는 것이고 어떤 개선 조치를 취하게 된다.

**利點과 制限點**

양극방식이 사용된 경우는 광범위한데 가장 관심이 있어 왔던 예는 황산을 취급하는 강철이나 스테인레스 스틸의 경우이다. 실제 응용 예로서는 간단한 것(용액 저장 탱크), 복잡한 것(열 교환기, shell-and-tube heat exchangers), 전기한 것(탱크 트롤이나 railroad car에 쓰이는 portable unit)등이 있다.

양극방식의 주요한 이점을 들면 다음과 같다.

1. 저렴한 사용비
2. 심한 부식매질에도 광범위하게 이용할 수 있다.
3. Throwing power가 높다. 따라서 복잡한 구조물의 부식도 방지할 수 있다. 이 때는 소수의 보조전극을 필요로 한다.
4. 실험실에서 실용성여부를 예측할 수 있다.
5. 방식전류는 부식속도에 대한 좋은 指針이 된다.

따라서 부적절한 방식을 하여 생기는 문제점들을 초기 방식단계에서 일찍 알 수 있게 한다.

양극방식의 몇가지 제한점은 다음과 같다.

1. 부동태를 나타내는 금속/부식용액 시스템에만 적용할 수 있다.
2. 시설비가 많다. 포텐시오스탈, 기준전극, 보조전극을 요한다. 초기 전류소요량이 많다.
3. 방식계가 제어를 벗어나면 부식속도는 매우 높아진다.
4. 특 부식 문제는 아직도 피할 수 없다고 판명되고 있다.

**양극방식과 음극방식의 비교**

양극방식과 음극방식은 용어가 비슷하기 때문에 비교해 보는 것이 상례이다. 이 두 방법이 서로 부족한 점을 보완하려는 경향이 있지만 서로 대항할 만한 장점이 있는 경우도 많다는 것을 뜻한다.

두 방법을 같은 곳에 응용하려고 선택여부를 고려하고 있다면 비교하기가 복잡한데, 방식방법에 따라 다른 건축 재료가 사용되기 때문이다. 예를 들어 음극방식을 할 생각이 있을 때는 연강(mild steel)을 사용하지만 양극방식에서는 같은 용도로 스테인레스 스틸을 쓴다.

그러나 차이점을 지적하기 위하여 비교해 보는 것도 유익한 일이다. 이런 비교를 해 보면 한가지 방법에 경험이 있는 사용자가 다른 방법에 부닥쳤을 때 잘 적응할 경우가 적어질 것이다.

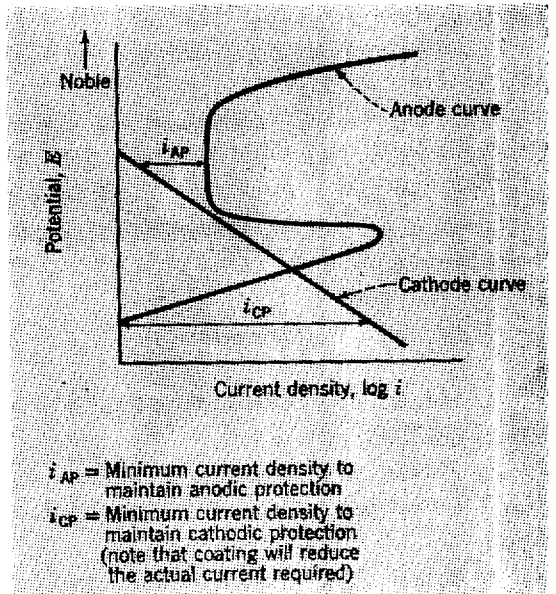


Fig. 9 Comparison of required of protection currents

양극방식에 비하여 음극방식을 택하게 되는 주요한 차이점은 다음과 같다.

1. 부동태를 나타내는 금속뿐만 아니라 모든 금속에 적용할 수 있다.
2. 희생양극을 쓰면 전원이 없는 곳에서도 적용할 수 있다.
3. 시설비가 싸게 먹힌다.
4. 잘 확립된 방식법이다.

음극방식에 비하여 양극방식은 다음과 같은 이점이 있다.

1. 부식성이 강한 용액도 취급할 수 있다.
2. 사용비가 싸다. Fig. 9을 보면 방식전류를 비교할 수 있다.
3. Thowing power가 좋다. 따라서 전극의 갯수가 많이 필요하지 않다.
4. 사용가능성을 예측하거나 설계하기가 쉽다.

이 두 방법은 다른 방식법에 비하여, 구조물에 접근할 수 없는 경우일지라도(예를 들어 地下 구조물), 기존 구조물에 적용될 수 있는 이점이 있다.

이 두 방식법이 갖고있는 간접적인 이점은 이 두 방식법을 사용하면 부식정도를 훨씬 더 잘 알게 된다는 것이다. 따라서 부식이 아주 심각해지기 전에 문제점을 알 수 있게 된다. 왜냐하면 두 방식법에서는 규칙적인 검사와 테이더의 기록이 필요하기 때문이다. 따라서 페인팅(painting)하거나 부식 억제제를 쓰거나 고급 합금을 사용하는 부식제거법을 쓸 때 흔히 잊기쉬운 계속적인 방식을 음극방식이나 양극방식에서는 덜 잊게 된다.

두 방식법은 모두 응력부식 균열과 같은 극부부식을 피하기 위하여 때때로 사용될 수 있다는 이점이 있다. 두 방법에서는 물론 절연(insulation)을 잘할 필요가 있고 비전해질이나 대기 분위기에는 방식을 할 수 없다.

이상을 모두 요약하면 다음과 같다. 음극방식은 현재 하나의 표준방식법이다. 양극방식은 곧 표준방식법이 되리라고 예상된다.

### References

1. Morgan, J. H., "Cathodic Protection," Mac Millan, New York, 1960
2. Peabody, A. W., "Control of Pipeline Corrosion," National Assn. Corrosion Engineers, Houston, 1967.
3. Lehman, J. A., Cathodic Protection Fundamentals, Mater. Protect., Feb. 1964, pp. 36~41.
4. Ferry, R., Using APC Rectifiers for Cathodic

Protection, Mater. Protect., Aug. 1968, pp. 27~29.

5. Parker, M. E., Innovations and the Future of Cathodic Protection, Mater. Protect., Feb. 1969, pp. 21~25.

6. Edeleanu, C., Anodic Protection, Chem. Ind. (London), Mar. 11, 1961, pp. 301~308

7. Walker, R. and Ward, A., The Theory and Practice of Anodic Protection in "Metallurgical Reviews, Review 137," The Metals & Metallurgy Trust, London, 1969.

8. Sudbury, J. D., and Locke, C. E., Anodic-Protection Against Corrosion, Chem. Eng., Nov. 11, 1963, pp. 268~272.

9. Shock, D. A., Riggs, O. L. and Sudbury, J. D., Application of Anodic Protection in the Chemical Industry, Corrosion, 55t~62t (1960).

10. Hays, L. R., How Anodic Protection Is Applied to Sulfuric Acid Tanks, Mater. Protect., Sept. 1966, pp. 46~48.

11. Stammen, J. M., Is Anodic Protection Effective in Preventing Steel Corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>? Mater. Protect., Dec. 1968, pp. 33~35.

12. Foroulis, Z. A., Anodic Protection—Theoretical Considerations, Corrosion Sci., pp. 383~391 (1965).

13. France, Jr., W. D. and Green, Jr., N. D., Passivation of Crevices During Anodic Protection, Corrosion, 24, 247~251 (1968)

14. Henthorne, M., Control the proces and Control Corrosion, Chem. Eng., Oct. 18, 1971, pp. 142~143.

15. Henthorne, M., Good Engineering Design Minimizes Corrosion, Chem. Eng., Nov. 15, 1971, pp. 164~165.

16. Henthorne, M., Polarization Data Yield Corrosion Rates, Chem. Eng., July 26, 1971, pp. 99~104