

지하 매설 구조물의 부식과 방식 V. 음극방식개론

고 영 태 · 전 경 수 · 박 경 완 · 조 용 범 · 이 선 엽 · 조 성 호
경기도안산시 일동 277-1, 한국가스공사/연구개발원

Corrosion and Protection of Underground Structures V. Principle of Cathodic Protection

Y. T. Kho, K. S. Jeon, K. W. Park, Y. B. Cho, S. Y. Lee and S. H. Cho
Korea Gas Corporation/R&D Center 277-1 Il-dong, Ansan Kyunggi-do, 425-150, Korea

Introductory explanation on cathodic protection(CP) of underground structures is presented. The principle and various types of CP are explained along with the importance of protective coating. Coating reduces the metal surface area exposed to corrosive environment resulting in cut down of the required current for CP. Various field situations which have to be considered during CP design are summarized. Various protection criteria are explained in detail. Emphasis is put on the applicability and limit of each criteria in order to help people to select appropriate criteria. Finally, overprotection problem of some metals are explained.

Keywords : cathodic protection, underground structures, design considerations, protection criteria.

1. 서 론

지하매설 구조물에 적용되는 부식방지 방법은 피복과 전기방식의 두가지를 생각해 볼 수 있다. 매설물의 피복에 관해서는 III과 IV에 자세히 설명하였으며^{1,2)} 본 강좌에서 부터는 음극방식에 관하여 설명하고자 한다. 음극방식이란 구조물의 전위를 인위적으로 조절하여 부식반응인 양극반응을 억제하는 방법이다. 다시말해서 자연전위(강구조물의 경우 $-400 \sim -600\text{mV}$ vs. Cu/CuSO_4) 이상의 전위에서 부식이 진행되고 있는 구조물에 인위적으로 전류를 가하여 전위를 낮추

어 줌으로써 음극(cathode)화하여 부식반응인 양극반응을 억제하는 것이다. 지금까지의 관찰에 의하면 지하 강구조물의 전위가 -850mV 이하로 낮아지면 부식이 진행되지 않는 것으로 알려져 있다.

현재 지하에 매설된 배관의 보호를 위해 가장 널리 채택되고 있는 방식방법은 방식피복과 음극방식법을 병행하고 있는 것이다. 이 경우 일차적인 방식효과는 피복층을 통해서 얻게 된다. 그러나 완벽한 피복은 현재까지 존재하지 않으며 피복은 자체적으로 pinhole, holiday와 같은 결함을 갖고 있을 뿐아니라 작업중의 물리적 손

상이나 사용중의 열화에 의해 어느 정도는 금속면이 토양중에 노출된다. 따라서 피복된 상태로만 방치하면 위와 같은 결합부로 부식이 집중되어 오히려 위험한 금속 손상(부식)이 유발될 수도 있다. 이러한 피복 손상부의 부식방지를 목적으로 피복과 병행하여 채택되고 있는 방식방법이 음극방식법이다. 피복 구조물에 외부로부터 방식전류를 유입시키면 피복층은 큰 저항을 가지고 있으므로 전류는 피복의 결합부를 통하여 금속 구조물로 유입되고, 전류의 유입에 따라 전위가 낮아지게 되어 방식효과가 나타나는 것이다. 한편, 피복이 없는 지하 강구조물에 음극방식만 할 경우에는 방식해야 할 면적이 커서 소요되는 방식전류량이 매우 커지게 되므로 경제적으로 적절치 못하다. 결론적으로 피복과 전기방식을 병행하여 사용하여야만 경제적인 뿐만 아니라 완전한 방식을 행할 수 있는 것이다.

본 강좌부터는 지하매설 강구조물에 적용되고 있는 음극방식에 대하여 설명하고자 한다. 다양한 음극방식 기술중에서 지중 매설배관에 적용되고 있는 전기방식법을 중심으로 자세히 살펴보고, 적용상의 문제점 및 향후개선을 위한 대책등에 관하여 기술하고자 한다.

2. 매설구조물의 방식에 필요한 사항

매설구조물의 방식방법은 크게 피복, 전기방식 및 기타(배관의 절연)등으로 분류되는데 이러한 방식법의 병용이 기술적으로 확실하고 경제적으로 유리한 방식법이 된다. 이하에서는 방식을 위하여 고려되어야 할 사항들을 매설배관의 경우를 중심으로 설명하고자 한다.

배관의 전기방식에 있어서 고려되어야 하는 일반적인 사항들은 다음과 같다.

① 매설 경로에 따른 화학적 및 전기적 부식환경 조사 : 지하수의 화학조성, 미생물의 존재여부, 토양의 pH, 통기도, 비저항 등. 이 때에 인접한 전철 및 다른 매설물의 존재를 확인한다.

② 매설관의 재료 및 피복의 종류 : 피복에 대해서는 상세한 내용까지를 파악하는 것이 좋다. 특히 용접부에 적용되는 현장피복 및 전기방식을 설비의 접점부위에 대한 피복의 시공관리를 철저히 하고 기록해 둘 필요가 있다.

③ 전기방식 설계를 위한 현장시험 : 부식환경이외에 관대지전위 측정(경우에 따라 레일대지전위를 동시 측정) 및 가동전시험이나 가배류시험 등을 행한다.

④ 적절한 전기방식법 검토 및 그에 따르는 설계 : 우리나라의 경우 전기방식을 시공함에 있어서 설계라는 개념이 거의 무시되고 있으나 부식환경을 고려한 설계가 반드시 고려되어야 한다.

⑤ 시공후 방식효과 확인조사 및 조정 : 방식설비의 효과를 확인하기 위한 시험을 실시하고 특히 외부전원 및 배류법 시설에 대해서는 인접한 타시설물을 관리하는 기관에 알려준다. 일본이나 미국의 경우 전기방식관련 위원회가 구성되어 있으며 이곳에 통보하도록 하고 있음.

⑥ 방식시설의 정기적인 보수점검 : 방식설비의 보수점검 및 부식상태 확인을 위한 정기조사가 필요하다.

이상에서 열거한 일반적인 사항들 이외에도 다음과 같은 사항에 대해서는 방식설비의 설계, 시공, 유지단계에서 특별한 주의가 필요하다.

① 전철과의 근접 지역 : 가장 세심한 주의가 필요한 경우이다. 특히 궤도 횡단부와 차량기지 부근에서는 필요에 따라 관로의 절연, casing, 배류기 등전기부식 방지를 위한 대책이 필요하다. 경우에 따라서는 차량기지에서의 누설전류 감소를 위해 차량기지 입출고선에 귀선자동개폐장치를 설치할 필요가 있다.(우리나라의 경우 차량기지에서의 누설전류량이 매우 큰 것으로 조사되고 있음)

② 초고압 송전선과의 근접 지역 : 특히 송전탑의 기초부 및 접지극 부근에서는 필요에 따라 shielding 이나 희생양극을 설치하는 등의 대책이 필요하다. 우리나라의 경우 통신회사와 가스

회사에서는 이러한 경우에 대한 대책을 명문화하고 있으나 이 분야에 대한 조사연구가 시급히 필요한 실정이다.

③ 배관이 교량등에 인접하거나 매달기등으로 첨가되는 경우 : 배관이 교량의 강구조 부분이나 기초부 콘크리트의 철근과 전기적인 접촉상태가 되지 않도록 절연처리에 신중하여야 한다.

④ 강관 casing을 사용한 경우 : 본관(carrier pipe)과 casing pipe가 단락되지 않는 구조가 필요하다. 시공후 단락판정을 위해 양쪽 방향에 측정용 터미널을 설치하는 것이 좋다.

⑤ 토양의 부식성이 강하거나 공장 폐수가 침투가 예상되는 지역 : 토양 및 지하수의 부식성 및 피복에 대한 영향을 검토하고, 필요에 따라 토양교체, casing, 피복의 강화, 전기방식의 강화 등의 대책이 필요하다.

⑥ 지반의 침하나 이동의 우려가 예상되는 지역 : 피복의 열화, 전기방식 배선의 단선, 타매설물과의 접촉이 발생할 수 있으므로 면밀히 조사하고, 필요에 따라 전용구등의 대책이 필요하다.

⑦ 교통량이 많은 도심지역 : 향후 관로 및 방식설비의 점검 및 보수가 어려운 점을 감안한 방식설계가 필요하다.

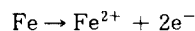
3. 음극방식의 개념 및 원리

전기화학반응의 결과인 부식을 전기화학적 원리에 따라 억제하는 부식방지 방법으로는 양극방식법과 음극방식법 두 가지가 있다. 이 두 가지의 방식법을 통칭하여 전기화학적 방식(electrochemical protection)이라고 한다. 전기화학적 방식에서는 외부에서 전기를 공급하여 전위를 조정하게 되므로 흔히 전기방식이라고도 한다. 다시 말해서, 전기방식에서는 방식이 필요한 설비나 구조물의 전위(potential : 주어진 환경에서 금속의 부식경향을 나타내는 인자)를 인위적인 방법으로 조절함으로써 부식을 억제하게 된다. 양극방식(anodic protection)은 방식이 필요한

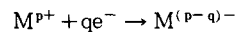
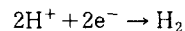
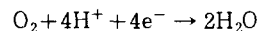
대상의 전위를 양극화하며, 음극방식(cathodic protection)에서는 음극화시키는 방법이다. 일반적으로 전위가 양극화되면 양극반응(부식반응)이 활발히 일어나게 되고 음극화되면 양극반응은 억제되고 음극반응이 활발하게 된다.

따라서 양극방식은 전위의 상승(양극화)에 따라 부동태(passivity)가 나타나는 금속에만 적용할 수 있다. 이 경우에도 전위조절이 정밀하지 않을 경우에는(부동태에 미치지 못하는 전위를 인가할 경우) 오히려 부식이 가속화될 수 있으므로 주의하여야 한다. 이러한 이유로 실제 산업현장에서 양극방식법은 극히 제한적으로 사용되고 있을 뿐이며 전기방식법은 음극방식법을 의미하는 경우가 대부분이다. 대부분의 지하 매설물에 전기방식법을 채택하고 있는데 모두 음극방식에 의한 부식방지를 의미한다.

Fe와 Cu이 전기적으로 결합되어 부식전지가 형성된 경우를 가정하여 음극방식의 원리를 설명해 보자(Fig. 1(a)). 이 경우 전위가 낮은 Fe가 양극부(anode), 전위가 높은 Cu가 음극부(cathode)가 되어 부식전류가 전해질을 통하여 양극부에서 음극부로 흐르게 된다. 다시 말해서 Fe에서는 양극반응에 의해 다음과 같은 부식이 발생하며,



음극부인 Cu에서는 다음과 같은 환원반응이 진행된다.



그리고 이 때 Fe의 부식속도는 부식전류량과 같다. 만일 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 외부에서 Fe와 Cu사이의 전위차보다도 큰 전압을 인가하여 Fe를 충분히 음극화시켜주면 전류의

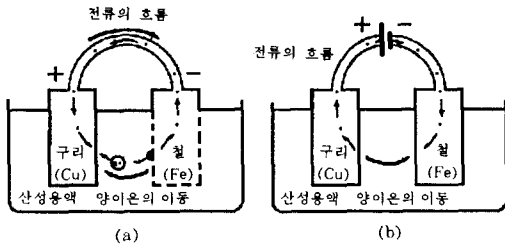


Fig. 1. Schematic illustration explaining the principle of cathodic protection.

흐름방향이 바뀌어 전류가 유입되는 Fe는 방식되고 반대로 Cu는 양극반응으로 부식된다. 이때 외부로부터 인가하여야 할 전위의 크기는 전류의 흐름방향을 역전시킬 수 있는 정도여야 하는데, 최소한 인가전위에 의한 전류가 부식전류의 크기와 같아져야 한다. 만일 전자가 후자보다 커지게 되면 방식대상 물체에는 방식전류가 흐르게 되어 목적을 달성할 수 있게된다. 이와 같이 방식하고자 하는 대상물에 전류를 인가하여 음분극시킴으로써 부식을 방지하는 방법을 음극방식법이라고 한다.

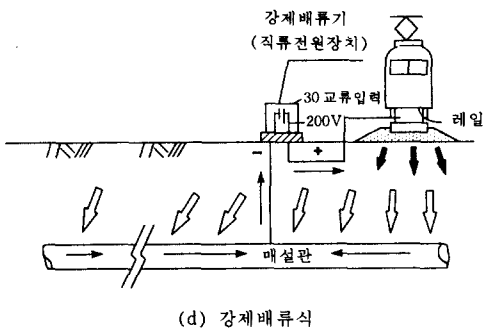
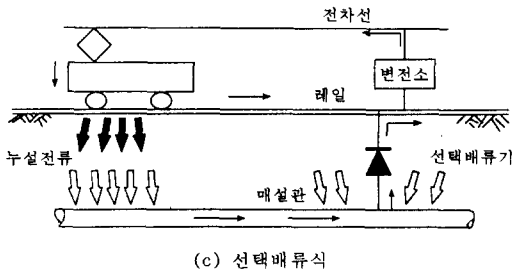
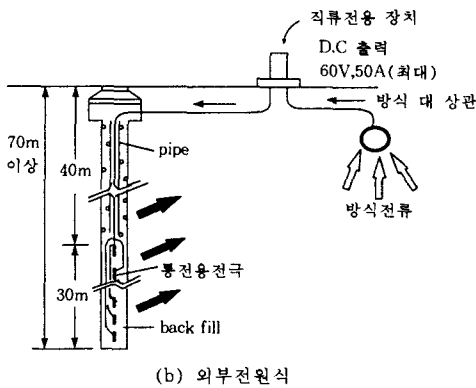
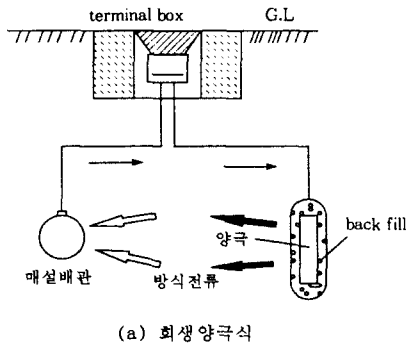
금속이 이처럼 음분극상태에 있을 때의 부식속도에 대하여는 많은 관심이 있을 법하지만 경험적인 수치에 의존하다가 1980년대에 와서야 정밀한 측정이 시도되었다. 음분극상태에서의 부식속도를 최초로 정밀히 측정하고자 한 사람은 McKubre였는데 그는 harmonic impedance spectroscopy 방법으로 부식전위 및 음분극상태 금속의 부식속도를 측정하고 이것을 무게감량법과 비교하였다. 이와 같은 방법으로 McKubre는 음분극의 크기가 150mV보다 커지면 부식속도가 1/1,000 이하로 감소됨을 확인하였다.³⁾ 이후에 R.Srinivasan과 J.C.Murphy⁴⁾는 faradaic rectification법을 사용하여 775mV(CSE) 일때의 부식속도는 0.928g/cm²/yr 이고, 음극방식 기준인 -850mV에서는 5.33×10⁻³g/cm²/yr 정도임을 측정하였다. 이들은 음분극에 따라 부식속도가 지수함수적으로 감소함을 확인하고 수소발생은 -950mV부터 상당량 발생하게 됨을 관찰하

였다.

음극방식법은 방식전류를 인가하는 방법에 따라 크게 희생양극법과 외부전원법으로 나눌 수 있다. 희생양극(sacrificial anode)법은 방식하고자 하는 금속보다 이온화경향이 큰 금속을 전해질 내에서 전기적으로 연결하여 양극으로 작용하게 함으로써 방식대상물을 상대적으로 음극화시키는 방법이다. 이 때 이온화경향이 큰 금속은 양극으로 이온화(부식)되어 소모되므로 이 방법을 '희생양극법'이라고 부른다. 이 방법은 전지작용에 의해 필요한 방식전류를 얻기 때문에 설치시 외부전원이 필요 없는 등의 간편성으로 널리 이용되고 있다. 그러나 방식전류에 제한이 있어 방식대상물이 대형인 경우에는 부적합하며, 양극이 지속적으로 소모되어 일정한 수명을 가지므로 수시로 교체해 주어야 하는 등의 단점도 있다.

외부전원법은 직류전원장치(정류기)의 (-)극을 방식대상물에 접속하고 (+)극을 양극에 접속한 후 전압을 인가하여 방식전류를 얻는 방법이다. 이 방법에서는 필요한 방식전류를 외부전원으로부터 얻게되므로 불용성의 양극을 사용하는 것이 일반적이다. 다시 말해서 양극자체는 전지반응에 참여하지 않고 단순히 전류원(current source)으로서만 작용하게 된다. 따라서 양극의 수명이 길 뿐만 아니라 대형 구조물일 경우에도 충분한 방식전류를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 한국가스공사 주배관의 경우에 건설중인 배관에 대하여는 희생양극법을 건설후 운영되는 배관에는 외부전원법을 사용하여 방식하고 있다.

별도의 전기적 방식방법으로서 배류법이 있다. 이것은 주로 전철에서의 누설전류에 의한 전기부식을 방지하기 위한 방식법이다. 배류법에는 선택배류법과 강제배류법의 두 가지가 있다. 선택배류는 매설물의 전위가 토양 및 레일의 전위보다 높은 부분에서 배관과 레일을 전기적으로 접속하여, 구조물에 흐르는 전류를 레일



에 귀류시키는 방법이다. 이 방법은 레일에서의 누설전류에 의한 방식효과가 크고 설비도 저렴하기 때문에 전기부식 방지에 일반적으로 사용되고 있다. 강제배류법에서는 배류를 촉진하기 위해 직류전원장치를 도입하게 된다. Fig. 2에 여러가지 전기방식방법들을 도식적으로 나타내었으며, Table 1에 이들의 특성을 비교하여 정리하였는데 각각의 방식법에 대해서는 본 강좌의 후속으로 상세히 설명될 것이다.

4. 음극방식 기준

이상에서 설명한 바와 같이 음극방식에서는 비방식 상태에서의 전류흐름 방향을 역전시킬 수 있는 정도의 방식전류를 외부에서 인가하게 된다. 이 때 방식대상이 되는 구조물은 음극화 되는데 이 구조물의 방식상태는 전위 또는 전류를 관찰함으로써 판단할 수 있게 된다.

Table 1. Comparison of characteristics of various protection methods

	Sacrificial anode 회생양극법	Impressed current 외부전원법	Selective drainage 선택배류법	Forced drainage 강제배류법
전원필요여부	불필요 (전지구성)	필요 (저압)	전철 이용 (장소 제한 있음)	필요 (저압)
유효 전압	0.2~0.7V	60V 이하 임의	수 +V 이하 변동이 큼	보통 정전류 방식 채용
유지 전력비	불필요	필요	불필요	필요
피복열화의 우려	거의 없음	있음 조정이 필요함	있음, 경우에 따라 제어를 요함	있음 조정이 필요함
타시설의 간섭	거의 없음	있음	있음	있음 레일 전석도 고려
보수유지비용	작음	큼	중간	큼
방폭대책	불필요	필요에 따라 방폭형으로 함	필요로 하지 않은 장소에 설치	필요로 하지 않은 장소에 설치
경제성	작은 대상에 유리 큰 대상에 비싸다	작은 대상에 불리 큰 대상에 유리	장소적으로 이용할 수 있으면 가장 유리	외부전원법에 따라 유리

Fig. 2. Schematic representation of various cathodic protection methods.

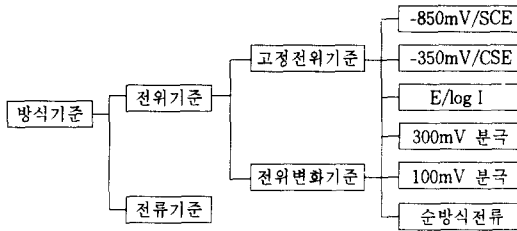


Fig. 3. Various criteria of cathodic protection system.

음극방식 기준은 크게 전위기준과 전류기준으로 구분할 수 있다(Fig. 3). 이것은 방식상태의 진단을 위해 측정되는 값이 전위이나 전류인가 하는 문제로서 일반적으로 측정의 용이성 때문에 전위기준이 널리 사용되고 있다. 전위기준은 다시 고정전위기준과 전위변화(분극)기준으로 구분할 수 있다. Fig. 3에 여러 가지의 음극방식 기준들을 나타내었다. 각각의 기준들은 장, 단점을 갖고 있으며 적용대상의 특성에 따라 선택하여 사용할 수 있다. 이 기준들을 적용함에 있어서 유의하여야 할 점은 이 기준들은 최소한의 방식조건을 설명하는 것이며, 방식되고 있는 구조물이 여러가지의 기준을 동시에 다 만족해야 하는 것이 아니라 여러가지 기준들 중의 하나를 만족하면 된다는 점이다(alternate minimum criteria). 다시 말해서 어떠한 기준이 만족하지 않을 경우에도 다른 기준을 만족하게 되면 방식상태라고 판정할 수 있는 것이다.⁵⁾ 다만 적용할 기준을 선정함에 있어서는 구조물의 방식상태, 피복유형등을 고려하여 최적의 기준을 선정할 필요는 있다. NACE의 기준에서는 이와는 다른 의미로 해석될 수 있는 설명이 있는데, 어느 한 가지의 기준이 모든 경우의 판단기준은 될 수 없고 두가지 이상의 기준을 적용하여 방식여부를 판단하는 것이 좋다고 기술되어 있다.⁶⁾ 이것 역시 상황에 고려한 기준선택의 중요성을 설명하고 있는 것이다. NACE에는 매설된 저장 용기류에 관한 별도의 규정이 있으나(RP-02-85)⁷⁾ 이것은 근본적으로 RP-01-69와 동일한 것이므로

설명을 생략한다. 지하 매설배관이나 콘크리트 구조물 등의 방식업무에 보편적으로 사용되고 있는 기준으로는 고정전위기준 및 100mV 분극기준이다. 이하에서는 구조물의 방식상태를 판단할 수 있는 기준들에 대하여 알아보려고 한다.

4.1 고정전위기준(-850mV 및 -350mV 기준)

전위측정에 의해서 방식여부를 판단하는 방법으로서 매설구조물에 가장 보편적으로 사용되는 기준이다. 이 기준에서는 측정되는 전위가 가장 정적인 자연전위(부식전위)보다 약간 아래(음극방향)의 값을 나타내면 방식상태라고 판정하게 된다. 이 방법은 측정되는 전위를 자연전위와 비교하는 것이므로 기준 역시 금속의 종류 및 환경에 따라 달라진다(Table 2 참조).

전위측정은 비교적 용이하기 때문에 이 기준은 매설구조물이나 철근 콘크리트의 방식기준으로 가장 널리 사용되는 기준이다. 그러나 위에 예시한 기준들은 반드시 주어진 금속이 주어진 조건에서만 적용될 수 있는 것임에 주의하여야 한다. 다시 말해서 환경이 달라지게 되면 기준 역시 달라질 수 있다는 점을 유의하여야 한다. 더욱이 동일한 금속과 조건에 대해서도 국가별로 적용하는 기준이 다른 경우도 있다. 이러한 예로서, 일본에서는 납과 강철의 방식기준을 각각 -710mV와 -1000mV로 설정하고 있다. 전위기준은 온도가 증가하는 경우에는 음극방식 기준으로의 사용이 곤란하게 된다. 방식 대상체의 온도가 제시된 온도(25℃)보다 높을 때에는 제시된 전위보다 더욱 낮은 전위를 제시하여 사용하는 경우가 있기는 하나, 일반적으로 제시된 온도 이하에서만 적용하는 것이 좋다. 또한 혐기성 박테리아의 서식이 예상되는 경우에도 100mV 정도 낮은 전위가 사용된다.

이 기준을 적용하기 위해서는 방식전류가 흐르는 상태에서의 전위를 측정하여야 하는데, 이때 측정되는 전위($E_{p/s}$)는 분극량뿐 아니라 전류에 의한 IR 성분(V_{IR})을 포함하게 됨을 알아야

Table 2. Potential cathodic protection criteria of various metals at 25°C

Metals	Potential criterion mV vs. Cu/CuSO ₄
Iron, Steel, Stainless steel in soil	
aerobic condition	-850
anaerobic condition	-950
Iron, Steel in concrete	-350
Lead	-600
Copper	-500
Aluminum	-950

한다($E_{p/s} = E_p + V_{IR}$). 음극방식기준으로서의 -850mV는 엄밀한 의미에서 금속표면에서의 분극전위(E_p)를 의미하는 것이다. 전류흐름이 있는 경우에는 실제 분극전위보다 더욱 (-)값의 전위가 측정되므로 방식상태가 충분치 못한 구조물을 방식상태가 좋은 것으로 오판하는 경우가 발생하게 된다. 이와 같은 IR에 의한 전압강하의 효과를 최소화하기 위해서는 전위측정시에 기준전극을 가능한 한 구조물의 표면에 가까이 위치시킬 필요가 있다. 기준전극의 근접이 어려울 경우에는 원거리 대지법(remote earth), 전류차단법(current interruption), 계단형 전류감소법(step-wise current reduction) 등을 사용하여 가능한 한 IR 성분이 포함되지 않은 전위를 측정하여야 한다. 이러한 방법들에 대해서는 추후에 자세히 설명하게 될 것이다.

4.2 전위변화기준 (300mV voltage shift criterion)

이 방법에서는 방식전류가 인가된 상태에서 측정된 전위와 비방식상태의 전위인 자연전위를 비교하여 방식상태를 판정하게 되는데, 두 전위의 차이가 300mV 이상이면 양호한 것으로 판단한다. 이 방법 역시 IR에 의한 전압강화 효과를 고려해야 하지만 실제로 적용되는 경우에는 IR 전압강하에 의한 전위보정을 실시하지 않는 것이 보통이다. 그러나 IR 전압강하에 대한 정보가 전혀 없을 때에는 이 기준의 신뢰성 자체가 떨어지게 되므로 몇 차례의 측정으로 분극전

위에 포함되는 IR 성분에 대해서는 파악하고 있는 것이 좋다.

이 방법은 -850mV 기준을 만족시키지 못하는 비피복판이나 피복상태가 불량한 배관등에 많이 적용된다. 그리고 신설된 구조물이나 이전에 음극방식되지 않던 구조물의 경우에 적용하는 경우가 많다. 이것은 이 기준을 적용하기 위해서는 자연전위를 알아야만 하는데, 방식상태의 구조물의 자연전위를 측정하기 위해서는 방식전류를 차단한 후 완전히 소극(depolarization)시키기 위해 충분한 시간을 기다려야 하기 때문이다. 마지막으로 이 기준은 상이한 종류의 금속이 공존하는 구조물에는 적용하지 않는 것이 좋다.

4.3 100mV 분극기준 (100mV polarization decay criterion)

이 기준은 음극반응 조절(cathodic reaction control)에 의한 부식전지가 형성되어 구조물의 전위(부식전위)가 양극부위의 전위와 비슷할 경우에 적용 가능한 기준이다. 이와같은 경우에는 음극방식을 실시한 결과 구조물의 전위가 (-) 방향으로 100mV 정도 분극되면 방식이 달성되었다고 할 수 있다. 다시말해서 이 기준의 적용에서는 음극방식이 시행되기 이전과 이후의 구조물의 전위를 측정하여 두 값을 비교하는 작업을 수행하게 된다. 이 방법의 적용시에 분극된 전위를 측정할 때는 다음의 사항에 유의하여야 한다. 첫째, 분극이란 시간의 함수이므로 충분한 시간동안 방식전류를 인가하여 완전한 분극이 이루어지게 한 이후에 전위를 측정하여야 한다. 둘째 IR 효과에 의한 전압강하를 최소화하여야 한다. 또한 음극방식이 실시되기 이전의 전위에 대한 기록이 없을 때에는 방식전류를 차단한 후 충분한 시간을 기다려 구조물의 완전한 소극(depolarization)이 이루어진 후에 측정하여야 한다. Fig. 4에 방식전류를 차단했을 때의 전위 변화 양상을 나타내었다.

구조물의 부식이 양극반응에 의해서 조절(an-

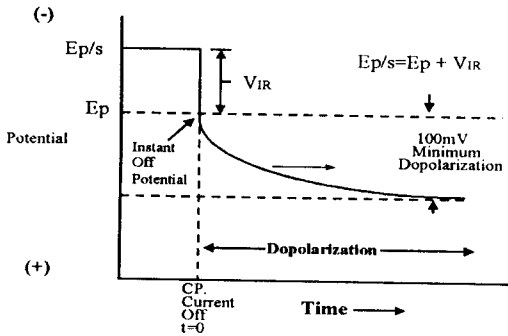


Fig. 4. Illustration of the potential-time behavior in the interpreting the 100mV polarization criterion.

odic reaction control)되고 있는 경우에는 전위 변화 기준을 적용할 수 없게된다. 이러한 경우에는 부식전위가 음극부의 전위에 근접해 있고, 100~300mV의 전위변화를 위해 방식전류를 인가한 경우에도 음극부의 전위가 양극부의 전위보다 크기 때문이다. 산성 분위기는 산소 농도가 큰 수용액 등에서는 이와 같은 양극반응 조절에 의한 부식이 진행되고 있는 경우가 많으므로 기준의 적용에 신중을 기하여야 할 것이다. 또한 이 기준은 희생양극에 의한 음극방식일 경우에는 적용이 곤란해진다. 이것은 희생양극의 경우에는 방식전류를 차단하는 것이 어렵기 때문이다. 외부전원식일 경우에도 모든 방식전류를 차단할 수 있도록 세심한주의가 필요하다.

NACE에서는 알루미늄, 구리 및 그 합금재료들의 음극방식 기준으로 이 기준이 적합함을 이야기하고 있다. 특히 알루미늄이 경우에는 -1200mV 이하의 전위에서는 alkali corrosion이 발생할 가능성이 있으므로 과방식에 유의하여야 한다고 한다.

4.4 전위-전류 기준(E-logi criterion)

이 기준은 방식상태 구조물의 음분극곡선(cathodic polarization plot)을 활용하는 방법이다. 음분극곡선을 얻기 위해서는 정전류방식(인가되는 전류의 크기를 변화시키면서 전위의 변화를

측정)을 사용한다. 이 때 전류변환 사이의 시간 간격을 가능한 한 일정하게 유지하여 시간분극 효과(time polarization effect)를 최소화 할 필요가 있다. 또한 인가전류의 최대치는 추정된 소요방식전류치보다 최소한 10배 정도까지 크게 하여야 하며 전위측정시에는 IR 전압강하를 반드시 보정하여야 한다.

이 기준은 방식상태를 판정하기 위해서 보다는 방식설계 단계에서 방식에 필요한 최소의 전류량을 결정하기 위해서 사용되는 것이 보통이다. 이 방법에서는 Tafel 직선부위의 연장선이 실제 분극곡선으로부터 멀어지는 지점(break-away point)을 결정하고 이 지점에서의 전류값을 방식에 필요한 전류값으로 결정하게 된다 (Fig. 5 참조). 다시 말해서 전위가 A 보다 (-)한 값일 경우에 방식상태라고 판정하게 된다. 이 방법은 분극시에 Tafel 거동(인가전위의 logarithm 값과 측정된 전위사이의 적선적인 관계가 유지되는 현상)이 확실히 나타나는 경우에만 사용 가능하다. 부식전지의 활동이 활성화분극에 의해 지배되는(activation control) 경우에는 Tafel 거동이 확실하게 나타나, 농도분극(concentration polarization)이 지배하는 경우에는 확실한 Tafel 영역을 관찰하기 어렵게된다. 따라서 이 기준은 산소농도가 큰 조건에서는 사용이 곤란하게 되며, 매설 심도가 큰 구조물이나, casing 등과 같이 산소농도가 낮은 분위기에서의 방식기준으로 적합하다.

4.4 전류기준

이 기준에서는 구조물로 유입되는 방식전류를 실측하게 되는데 구조물에 존재하는 양극 부위가 모두 확인 가능한 경우에만 적용 가능한 방식기준이다. 만일 전해질로부터 확인된 양극부위로 흘러 들어가는 전류가 있을 때에는 방식이 이루어지고 있다고 판단하며, 전류의 유입이 없을 때에는 방식이 안되고 있다고 판단한다. 전류의 존재 유무를 확인하기 위해서 과거에는

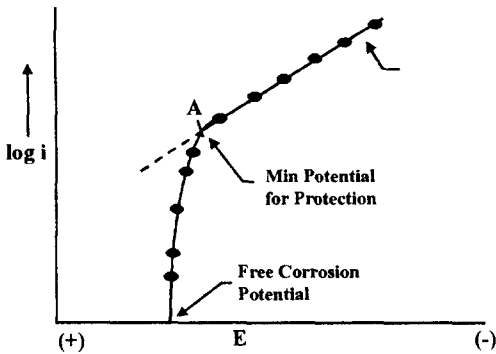


Fig. 5. Elements of E-log i criterion.

earth current meter를 사용하기도 하였으나 근래에는 거의 사용되지 않으며 두 개의 전극이 연결된 전위측정계가 사용된다. 이 때 반드시 하나의 전극은 양극부위에 최대한 접근(구조물의 직상부)시켜야 하며 나머지 하나는 횡방향으로 떨어져 위치시켜서 두 전극사이의 전위차를 읽게 된다.

이 기준의 적용을 위해서는 구조물내의 양극부위 모두를 확인하여야 하나 실제로는 어렵고 전위측정을 위해서도 굴착이 필요하기 때문에 많이 이용되지 않고 있다. 그러나 부식부위(양극부위)가 매우 국부적으로 편중되어 있는 (highly localized anode) 미주전류부식 등에 대한 기준으로서는 효과적인 기준이 될 수 있다.

5. 미방식 및 과방식의 문제

어떤 구조물의 방식상태가 이상에서 설명한 기준에 미달하는 경우에는 부식이 발생할 수 있다. 그러나 이 경우에도 방식전류에 의한 분극량 만큼은 부식속도가 감소할 것이다. 그러나 국부적으로 방식전류가 미치지 못하게 되는 부분이 존재하게 되면 방식효과는 거의 없는 것으로 추정하는 것이 합리적이라 하겠다. 방식기준에서 자주 논의되는 것이 과방식(over-protection)에 관한 문제이다. 과방식은 금속자체에 손상을 미칠 수도 있으며 양극재료의 소모를 촉진

하고, 전력을 낭비하며, 피복의 박리를 촉진하거나 수소에 의한 문제를 야기하는 등의 문제로 결코 바람직하지는 않은 방식상태이다.

이러한 이유로 알루미늄이나 납 등에는 특정한 전위한계 이내에서 방식을 행하여야 한다. 알루미늄의 경우 -1200mV 이하의 전위에서는 alkali corrosion이 발생하는 것으로 알려져 있다. 고장력강의 경우(Y.S. $>130,000$ psi)에는 수소취성의 문제가 발생할 가능성이 있다. 그러나 세계적으로 강이나 구리합금 등에 적용되는 과방식에 관한 기준은 없는 상태이다. 이것은 과방식에 의한 수소발생등의 효과가 이들 재료의 물성에 미치는 효과가 아직은 확인되지 않았기 때문이다. 단지 과방식에 의한 피복의 박리에 대해서는 최근에 의미있는 연구가 진행되고 있는 실정이며,⁸⁾ 이러한 연구결과를 바탕으로 물탱크 등에서는 분극전위(CSE)를 $-1,120\text{mV}$ 이내로 제한할 것이 권장되고 있다. 그러나 매설배관처럼 토양조건에서는 피복박리에 의한 문제가 수용액상태와 비교하여 무시할 수 있을 정도이다. 매설배관에 적용하기 위한 과방식기준의 타당성을 검증하기 위한 연구가 최근에 있었으며 연구결과로서 수소문제와 피복박리 문제등을 고려하고 금속의 종류와 피복의 종류에 따른 과방식기준을 제시하였다.⁹⁾

References

1. S. M. Lee, S. S. Shin, and Y. T. Kho, *this Journal*, **26**, p. 509 (1997).
2. S. M. Lee, S. S. Shin, and Y. T. Kho, *this Journal*, **27**, p. 98 (1997).
3. M. C. H. McKubre, "The Electrochemical Measurement of Corrosion Rates in Cathodically Protected Systems", Final Report to EPRI, Research Project 1689-7 (1986).
4. R. Srinivasan, J. C. Murphy, "Fundamental Advances for Characterizing Cathodic Protection Systems", Annual Report to GRI, GRI-92/

- 0360 (1992).
5. Code of Federal Regulations, Part 192, Title 49, II : Minimum Federal Standards for Gas Lines, Subpart I-Requirements for Corrosion Control (1981).
 6. Recommended practice for Control of External Corrosion on Underground or Submerged Piping Systems, NACE RP-01-69 (1983).
 7. Control of External Corrosion on Metallic Buried, Partly Buried, or Submerged Liquid Storage Systems, NACE RP-02-85 (1992).
 8. M.Kendig et al., "Mechanism of Disbonding of Pipeline Coatings", Final report to GRI, GRI-95/0549 (1994).
 9. KOGAS Technical Report, DF-PI-146-97039804 (1998).