

지하 매설 구조물의 부식과 방식 VI. 희생양극에 의한 음극방식

고 영 태 · 이 선 업 · 전 경 수
경기도 안산시 일동 277-1, 한국가스공사/연구개발원

Corrosion and Protection of Underground Structures VI. Cathodic Protection by Sacrificial Anodes

Y. T. Kho, S. Y. Lee and K. S. Jeon

Korea Gas Corporation/R&D Center 277-1 Il-dong, Ansan Kyunggi-do, 425-150, Korea

Cathodic protection utilizing sacrificial anodes(SA) is reviewed. Numerous underground structures are protected by SA due to its relative simplicity and reliability compared to other protection methods. It is the proper selection and installation of anode that determine the success of protection. Guidelines for anode selection and development are presented followed by the detail description on the characteristics of various anode systems like Mg-, Zn-, and Al-anodes. Test methods of SA and features of backfill materials are also presented. Regarding design and installation of SA, just a brief description is available in this paper. In depth explanation on the design and installation will be given at a separate paper of this series review.

Keywords : sacrificial anode, cathodic protection, backfill material.

1. 서 론

음극방식법은 방식전류를 인가하는 방법이나 배관내의 미주전류를 처리하는 방식에 따라 크게 네가지의 방법으로 나눌 수 있음을 전편(V. 음극방식 개론)에서 알아보았다. 본 란에서는 가장 널리 응용되고 있는 희생양극에 의한 음극 방식에 대해서 자세히 살펴보고자 한다.

희생양극법의 원리는 전기화학적 전지(electrochemical cell)의 원리를 이용한 것이다. 이 방법에서는 이온화경향이 큰 금속을 전해질 내

에서 방식하고자 하는 금속과 전기적으로 연결하여 양극(anode)으로 작용하게 함으로써 방식 대상물을 상대적으로 음극화시키는 방법이다. 이 때 이온화경향이 큰 금속은 양극으로써 이온화(부식)되어 소모되므로 이 방법을 '희생양극(sacrificial anode)법'이라고 부른다. 다시 말해서 양극자체는 소모되면서 방식이 필요한 구조물을 음극화하여 방식하게 되는 것이다. 이 방법은 전지작용에 의해 필요한 방식전류를 얻기 때문에 설치시 외부전원이 필요없는 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. 보통 양극의 교환시기를 10~15년으로 하여 설계하나 양극의 교체가 곤란한 매설구조물일 경우에는 20~30년의 양극수명을 예상하여 설계하는 것이 좋다.

2. 희생양극법의 장점과 단점

외부전원법과 비교할 때 희생양극법의 최대의 장점은 역시 간편성(simplicity)과 신뢰성(reliability)이라고 할 수 있다. 희생양극법에서는 전류공급장치인 정류기와 같은 복잡한 장치가 필요없을 뿐 아니라, 외부전원법에서 자주 발생하는 전선과 관련된 문제(cable problem)가 비교적 심각하지 않다고 할 수 있다. 이것은 외부전원법에서는 양극에 연결된 전선이 (+) 전위로 전선에 결함이 있는 경우에 부식에 의한 단락이 발생하게 되나, 희생양극법의 경우에는 전선이 (-) 전위로 유지되므로 이러한 문제가 발생할 가능성이 매우 낮다고 할 수 있다. 또한 희생양극법은 경제적으로도 비교적 저렴한 방식 방법이다. 오래된 문헌에서는 희생양극법이 설치비는 저렴하지만 유지비용은 외부전원에 비해 크다고 지적하고 있으나(이것은 양극교체 비용 때문임) 소요방식전류가 1.5A/100m 이하일 경우에는 유지비용 역시 적다. 이 방법의 또다른 장점으로서는 다른 인접설비와의 간섭에 관한 문제(interference problem)이다. 희생양극의 전위는 외부전원과는 달리 매우 제한적이므로 방식대상을 분극시키는 정도가 작아지고 간섭에 의한 문제를 일으키는 경우가 거의 없다고 할 수 있다.

이 방법의 단점으로는 방식을 위한 구동력이 제한적이라는 점이다. 구조물과 양극의 전위차가 구동력이 되는데 그 크기가 외부전원을 사용하는 경우에 비하여 매우 작다. 구동력이 작으

므로 양극이 발생시키는 전류(방식전류)의 크기가 작아지며, 한 개의 양극으로 방식시킬 수 있는 방식거리 역시 작아지게 된다. 다시 말해서 동일한 크기의 구조물을 방식하기 위해서 외부전원법과 비교하여 다수의 양극이 필요하게 된다. 양극이 소모된다는 특성때문에 양극을 주기적으로 교체해 주어야 한다는 점도 희생양극법의 단점이라 하겠다.

3. 희생양극 재료

3.1 양극재료 선정 및 개발의 일반원칙

희생양극법에 의한 방식의 관건은 적절한 양극을 선정하는 것이며, 이 기술의 핵심도 개선된 성능의 양극이라 하겠다. 현재 사용되고 있는 양극은 마그네슘, 알루미늄, 아연 및 그 합금들이 주종을 이루고 있으며, 사용환경(비저항, 배치방법, 내용년수 등)에 따라 선택이 가능하도록 합금조성, 형상, 크기(무게)가 다른 다양한 양극이 시판되고 있다. 우리나라의 경우 몇가지의 기본적인 양극은 제조하고 있으나 아직도 많은 개발의 여지가 있다 하겠다. 이하에서는 희생양극으로 사용되기 위한 일반적인 사항들에 대하여 살펴보고자 한다.

희생양극법에서 방식전류를 얻는 구동력은 방식하고자 하는 금속과 양극의 전위차이다. 따라서 양극재료의 자연전위는 충분히 낮아서 방식대상 금속과의 전위차가 클 필요가 있다. 여기에서 말하는 자연전위란 표준전위와는 달리 사용환경에서의 실제전위를 의미하는 것이다. 사용환경에 따라 자연전위는 변화하게 되는데 특히 온도의 영향은 고려되어야 한다. 수용액에서 많이 사용되는 아연의 경우 온도의 증가에 따라 전위는 (+) 방향으로 변화된다. 이러한 전위변화는 산화물층에 의한 부동태현상에 기인하는 것으로서 아연의 희생양극 작용에 큰 영향을 미치게 된다.

희생양극용 재료로서는 부동태(불용성의 피

막) 경향이 낮은 것일수록 좋다고 할 수 있다. 피막을 형성하는 불용성의 화합물들은 양극의 표면에 석출하지 않는 것이 보통이다. 이것은 양극주변에서는 수화반응(hydrolysis)에 의해 pH가 낮아지기 때문이다. 실제로는 양극표면에서 난용성의 반응생성물을 자주 관찰할 수 있는데, 대부분은 soft하고 porous한 물질들로서 양극의 기능을 해치는 것은 아니다. 경우에 따라서는 양극의 성능이 저하될 정도로 양극 표면이 이러한 생성물들로 덮혀있는 경우가 있는데, 이때에도 건조시킨후 brushing하여 재사용이 가능하다. 일반적으로 화학공장의 장치내에 사용되는 양극의 경우에는 산화물, 수산화물, 탄산염, 인산염 등의 석출조건을 살펴보는 것이 좋다.

희생양극 재료는 가능한 분극저항이 작은 것이어야 한다. 분극은 희생양극법을 적용함에 있어서 양극으로부터의 출력전류(current output)를 결정하는 중요한 인자이다. 출력전류와 관련하여서는 '전류용량' (current content : Q)을 사용한다. 전류용량은 단위중량의 양극으로부터 발생하는 전하의 양을 의미하며 Faraday 법칙에 따라 원자량(M)이 작고 이온전하(z)가 클수록 큰 값을 갖는다. 단위중량당 전류용량(Q_m)과 단위부피(Q_v)당 전류용량은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_m = \frac{Q}{M} = \frac{zF}{M}$$

$$Q_v = \frac{Q}{V} = \frac{zF\rho}{M}$$

$$Q_v = Q_m \rho$$

이 식에서 F는 Faraday 상수, ρ는 금속의 비중을 의미한다. 실제 양극의 경우처럼 합금이 되었을 때에는 각각의 전류용량으로부터 양극의 전류용량을 계산할 수도 있으나 일반적으로 합금원소의 영향은 무시할 수 있을 정도이다.

양극선정이나 개발과정에서는 사용가능한 전

류용량을 고려하여야 한다. 이상에서 언급한 전류 용량(Q)은 이론용량으로서 실제용량은 자체부식(self corrosion)량을 빼주어야 한다. 자체부식량은 보정인자(α)를 사용하여 보정하게 되는데 이것은 이론적인 전류 크기(I_A)와 실제 전류 크기(I_a)의 비로 정의된다 :

$$\alpha = \frac{I_a}{I_A} = \frac{I_a}{I_a + I_c}$$

이 식에서 I_c는 자연전위에서 음극반응에 해당하는 전류로서 양극의 자체부식량을 의미한다. 보정인자는 양극재료에 따라 큰 폭으로 변화하며 합금원소에 따라서도 달라진다. 분극정도에 따른 보정인자의 변화양상은 매우 흥미로운 연구과제인데 여기서는 생략하기로 한다. Table 1에 여러가지 양극재료의 전류용량과 보정인자값들을 정리하였다.

3.2 여러가지 희생양극 재료

일반적으로 사용되는 양극재료는 철강과의 전위차가 큰 마그네슘 및 그 합금인데, 환경에 따라서는 아연 및 그 합금, 또는 알루미늄 합금이 사용되는 경우도 있다. 방식대상 금속이 구리나 스테인레스강 처럼 자연전위가 높을 경우에는 순철이나 주철이 사용되는 경우도 있다. 양극선정에 있어서는 양극수명, 토양 비저항, 양극 수량 및 배치방법, 경제성 등을 충분히 고려하여 설계해야 한다. Table 2에 자주 사용되는 각종 양극재료의 특성을 정리하였다. 이하에서는 각

Table 1. Properties of pure metals as anode materials

metal	z	Current content		α
		Q _m (Ahkg ⁻¹)	Q _v (Ahdm ⁻³)	
Al	3	2981	8049	(≒0.8)
Cd	2	477	4121	-
Fe	2	960	7555	>0.9
Mg	2	2204	3835	(≒0.5)
Mn	2	976	7320	-
Zn	2	820	5847	>0.95

Table 2. Properties of sacrificial anodes in common use

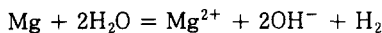
특 성	종 류	순Zn,	순Mg,	Mg-6Al-	Al-Zn-
		Zn함금	Mg-Mn	3Zn	In
비중		7.14	1.74	1.77	2.83
開路 양극 전위[-V],[SCE] ^a		1.03	1.56	1.48	1.08
철에 대한 유효 전압[V]		0.20	0.75	0.65	0.25
발생 전기량 이론 값[Ah/g]		0.82	2.20	2.21	2.87
해수중 3mA/cm ²	전류 효율[%]	95	50	55	80
	발생 전기량[Ah/g]	0.78	1.10	1.22	2.30
	소모량 [kg/A·Yr]	11.8	8.0	7.2	3.8
토양중 0.03mA/cm ²	전류 효율[%]	65	40	50	65
	발생 전기량[Ah/g]	0.53	0.88	1.11	1.86
	소모량[kg/A·Yr]	16.5	10.0	7.9	4.3

^a 포화 카로멜 전극.

종 양극재료의 특성을 자세히 알아보려고 한다.

3.2.1 마그네슘계 양극

매설구조물의 방식용으로 가장 보편적으로 사용되고 있으며 물탱크, 열교환기, 수중구조물 등에도 적용되는 양극재료이다. 마그네슘(Mg)은 다른 Zn이나 Al과 비교하여 전위가 낮고 전류용량이 크며 부동태경향이 적어서 희생양극으로서 적합한 특성을 고루 갖추고 있다. 그러나 자체부식의 정도가 커서 보정인자가 작으므로($\alpha=0.5$) 염류의 농도가 높은 경우나 소요방식전류량의 크기가 작은 피복상태의 물탱크 등에는 적용이 곤란하다(이 경우는 α 값이 0.1정도까지 낮아지기도 함). 특히 수용액의 pH가 5.5 이하인 경우에는 자체부식의 속도가 매우 크므로 사용이 불가능하다. 자체부식의 가장 큰 원인은 다음과 같은 수소발생반응이다.



이 반응에 의해 수소가스가 발생하게 되므로 보일러와 같은 밀폐된 계에서의 사용에는 주의가 요구된다.

마그네슘은 전해질의 비저항이 큰 수용액(음용수나 보일러 탱크)이나 소요전류량이 크지 않

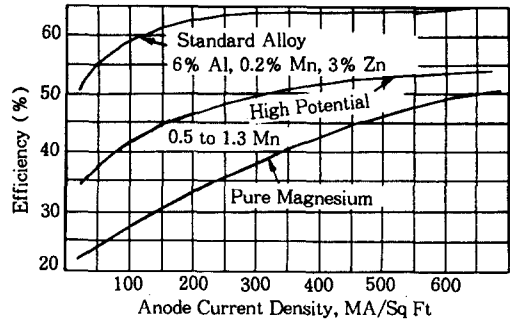


Fig. 1. Efficiency versus current density of Mg anodes.

은 매설구조물(피복상태가 양호한 배관)에 적합한 양극이다. 이 양극의 이론적인 효율은 약 2200Ah/kg(1000Ah/lb)이나 실제로는 자체부식 등의 영향으로 이 값의 65% 미만의 효율을 나타낸다. Fig. 1은 전류밀도에 따른 효율의 변화를 보여주고 있다. 합금화된 양극들의 효율이 순수 Mg보다 월등히 우수하며, standard 양극이 high potential 양극보다는 우수함을 알 수 있다. 따라서 큰 전위구동력이 필요한 경우(토양비저항 $>12,000\Omega\cdot\text{cm}$)가 아니면 standard 양극을 사용하는 것이 합리적이다. 방식설계 과정에서는 양극효율을 50%로 가정하여 계산하는 것이 보통이다.

이 양극은 주조나 압출 상태로 0.5~100kg의 무게로 제조되는데 순수한 Mg 상태로보다는 Al, Zn, Mn 등의 합금원소가 첨가되는 것이 보통이다. 불순물로서 Ni, Fe, Cu 등은 자체부식을 조장하므로 억제되어야 한다. 상업적으로 판매되고 있는 마그네슘 양극은 OCP가 -1.55V(CSE) 정도인 standard anode(AZ63, AZ31)와 OCP가 -1.75V(CSE)정도인 high potential anode(M2)로 크게 구분할 수 있으며 각각의 특성을 Table 3에 정리하였다. AZ63은 주조형태로, AZ31과 M2는 압출형태로 제조하는 것이 일반적이다.

3.2.2 아연계 양극

담수나 해수분위기에서 사용되는 금속의 방식

Table 3. Composition and properties of Mg alloys for anodes

Type	AZ63	AZ31	M2
Aluminum	5.3 to 6.7	2.5 to 3.5	<0.05
Zinc	2.5 to 3.5	0.7 to 1.3	<0.03
Manganese	>0.3	>0.2	1.2 to 2.5
Silicon	~0.1	~0.1	-
Copper	<0.05	<0.05	<0.05
Iron	<0.01	<0.005	<0.01
Nickel	<0.001	<0.001	<0.001
Lead	-	<0.01	-
Tin	-	<0.01	-
Rest potential	-1.2/-1.3	-1.1/-1.2	-1.0/-1.3
Working potential at $I_c=50\mu\text{m}/\text{cm}^2$	-0.9/-1.1	-0.9/-1.1	-1.0/-1.2

을 위해 널리 사용되는 양극이다. 오래 전에는 용융아연도금에 사용되는 아연을 사용하였으나 부동태현상 때문에 뚜렷한 효과를 얻을 수는 없었다. 아연계양극을 사용함에 있어서 주의하여야 할 점은 이같은 부동태현상이다. 이러한 이유로 담수나 토양보다는 해수에서 주로 사용되며, 특히 온도가 높은 경우에는 사용할 수 없게 된다. 고순도의 아연은 부동태에 의한 문제가 없으므로 99.995% 정도의 고순도 전해아연을 사용하여야 한다. Fe는 아연의 부동태를 촉진시키므로 0.0014% 이내로 엄격히 제한되어야 한다.

아연계양극은 대부분 주물의 형태로 제작되는데, 고순도 아연은 결정입자가 크고 주상조직(columnar structure)이 되어 불균일한 용해가 발생하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 Cd(0.15%)와 Al(0.5%)을 첨가하는데 이러한 원소는 Fe의 영향을 감소시켜 0.005% Fe까지도 양극으로 사용 가능하게 된다. 아연의 활성을 높이기 위해 Hg나 In이 첨가되기도 하나 그 사용은 매우 제한적이다. Table 4에 여러 가지 아연계 양극의 특성을 정리하였다.

해수중의 HCO_3^- 이온이나 담수중의 인산염이 존재하는 경우에는 표면에 부식생성물이 석출되어 분극저항을 크게하므로 주의하여야 한다. 아연계양극을 사용함에 있어서 가장 주의하여야

할 점은 60℃ 부근에서 관찰되는 전위역전(potential reversal)현상이다. 이 현상에 대하여 뚜렷이 밝혀진 바는 없지만 표면생성물의 변화($\text{Zn}(\text{OH})_2$ 로부터 전자전도체인 ZnO로 전환됨)가 원인인 것으로 추정되고 있다. 전위역전으로 60℃ 이상에서는 아연의 전위가 Fe보다 (+)하게 되므로 오히려 철이나 강의 부식을 촉진하게 된다. 이러한 현상은 용융아연도금강에서도 자주 관찰할 수 있는데 아연중의 Fe 농도가 높을수록 역전현상이 두드러지게 되므로 주의하여야 한다.

아연계양극의 자체부식은 마그네슘계양극에 비하여 작아서 담수중에서는 $0.02\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ($25\mu\text{m a}^{-1}$), 해수중에서는 $0.03\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 정도이다. 아연계양극의 이론적 효율은 771Ah/kg (372Ah/lb)로서 마그네슘계 양극에 비해서 낮으나, 실제효율은 전류밀도에 관계없이 이론효율의 90~95% 정도로 높다(자체부식이 적음). 방식설계 과정에서는 90%의 효율을 가정하여 계산하는 것이 보통이다.

3.2.3 알루미늄계 양극

알루미늄계 양극은 앞에 소개한 Mg-, Zn-계 양극들보다 근래에 개발된 것으로서 주로 해상 구조물의 방식에 사용되고 있다. Al의 산화물, 수산화물, 염들은 중성 pH 영역에서 Zn의 염들에 비해 난용성이므로 쉽게 부동태화된다. 따라서 알루미늄을 그대로는 사용할 수 없고 피막 형성을 억제하는 역할을 하는 활성화원소(activating element)인 Zn(8%)이나 Mg(5%)를 포함한다. 이 밖에도 격자확장원소(lattice expander)인 Cd, Ga, In, Hg, Tl 등이 합금되는데, 이들은 양극의 장기적 활성을 유지시켜 주는 역할을 한다. 활성이 높은 양극은 자체부식량도 커져서 효율이 떨어지는데 높은 활성과 자체부식의 정도를 최적화하기 위하여 Mn, Si, Ti 등의 격자축소원소(lattice contractor)가 첨가되기도 한다.

Table 4. Composition and properties of Zn alloys for anodes^a

Type	Material No. 2.2302/6/	Material No. 2.2301/6/	Dow
Aluminum	<9.10	0.10 to 0.50	0.1 to 0.5
Cadmium	<0.004	0.025 to 0.15	0.023 to 0.15
Silicon	-	<0.125	-
Copper	<0.005	<0.005	<0.001
Iron	<0.0014	<0.005	<0.0014
Lead	<0.006	<0.006	<0.003
Mercury	-	-	0.1 to 0.5

Rest potential(sea water) : -0.8 to -0.85V

^a양극용 표준합금에 대해서는 ASTM B-148 의 기준이 있음.

알루미늄계 양극은 합금원소에 따라 매우 다양한 특성을 갖는다. 전위는 수소전극 기준으로 -0.75V에서 -1.3V 사이의 값을 가지며 보정인자는 Hg 합금은 0.95, Cd, In, Sn 등이 첨가된 합금은 0.7 에서 0.8 사이의 값을 갖는다. 실용화되어 있는 양극은 크게 세가지의 부류로 나누어 볼 수 있는데 어느 것이든 Zn을 함유한다. Hg가 함유된 양극은 효율이 높으나 수은염의 독성이 문제되기 때문에 사용이 제한되고 있으며, 대신에 Zn과 In이 가장 널리 적용되고 있다. Galvalum이라고 알려진 이 양극의 보정인자는 0.8 정도이나 분극정도가 작은 것이 장점이며 해수분위기에서 많이 사용되고 있다. Table 5에 Hg, In, Sn이 첨가된 알루미늄계 양극의 조성과 특성을 정리하였다.

알루미늄계 양극의 효율은 합금조성에 따라 크게 변화하는데 Hg계 합금은 2780Ah/kg(1250Ah/lb), In계 합금은 2560Ah/kg(1150Ah/lb), Sn계 합금은 1710Ah/kg(770 Ah/lb) 정도이다.

4. Backfill 재

양극의 성능을 결정짓는 중요한 인자중의 하나가 양극과 인접한 주변의 전기적 특성이다. 토양에 매설되는 양극은 보통 backfill재에 둘러쌓이게하여 설치하는데, backfill은 양극접지저항

Table 5. Composition and properties of Al alloys for anodes

Type	Hg-Zn (X-metal)	In-Zn (Galvalum III)	Sn-Zn
Zinc	2.0 to 2.2	3.0	5.5
Mercury	0.045 to	-	-
Indium	0.055	0.015	-
Tin	-	-	0.1
Iron	-	-	<0.1
Manganese	<0.1	-	<0.005
Silicon	0.25 to 0.3	0.1	<0.1
Copper	<0.05	-	<0.005
Titanium	<0.02	-	<0.04
Magnesium	0.02 to 0.03	-	<0.005
	0.04 to 0.05		
Rest potential in sea water	-0.8/-1.0	-0.85	-0.86
α	0.92	0.88	0.80

(anode ground resistance)을 낮추고 토양비저항의 변화의 영향을 최소화하는 역할을 한다. 이 밖에도 backfill은 양극표면이 부식생성물로 덮이는 것과 전기삼투에 의한 탈수(electro-osmotic dehydration)을 억제하며, 균일한 전류분포와 양극소모가 이루어 질 수 있도록 한다는 점에서 양극재료와 함께 매우 중요하게 다루어져야 한다.

Backfill재를 구성하는 주요 물질들에는 석고(gypsum), bentonite, 규조토(kieselguhr), 황산나트륨(Na_2SO_4) 등이 있다. 석고는 균일한 전류분포와 전극소모를 위해 첨가되는 가장 중요한 물질이며, bentonite와 kieselguhr는 수분을 함유하며, 황산나트륨은 비저항을 낮추는 역할을 한다. 양극 및 주변토양조건에 적합한 backfill재는 이러한 성분들을 적절히 조합함으로써 만들 수 있다. Table 6에 흔히 사용되는 여러가지 backfill재의 조성을 정리하였다. 가장 보편적으로 사용되는 75% gypsum, 20% bentonite, 5% Na_2SO_4 의 경우 초기비저항은 0.5~0.6 Ωm 정도이고 사용중 Na_2SO_4 가 소모됨에 따라 1.5 Ωm 까지 증가된다.

외부전원용 양극에는 backfill재로서 coke가

Table 6. Compositions of backfill materials

Specific soil resistivity (Ωm)	for Mg anods				for Zn anodes		
	Gyp.	Ben.	Kiesel.	Na ₂ SO ₄	Gyp.	Ben.	Na ₂ SO ₄
up to 20	65	15	15	5	25	75	-
	25	75	-	-	50	45	5
20 to 100	70	10	15	5	75	20	5
	75	20	-	5	-	-	-
	50	40	-	10	-	-	-
above 100	65	10	10	15	-	-	-
	25	50	-	25	-	-	-

사용되는데 희생양극의 경우에는 coke가 있어서는 안된다. Coke 성분이 존재할 경우에는 양극과 coke의 전위차에 의해 양극이 급격히 소모되어 원하는 방식을 달성할 수 없게 되기 때문이다.

5. 희생양극 시험법

5.1 시험법의 종류

양극의 성능이나 거동을 정확히 알기 위해서는 양극성을 정확히 알기 위한 시험이 요구된다.

일반적인 전기화학적인 시험법이 모두 적용될 수 있지만, 특히 다음과 같은 시험법이 많이 사용된다. 첫째로 정전류시험은 외부전원을 사용하여 양극으로부터 일정 전류를 일정 시간동안 유출시키는 시험이다. 이 실험에서 구한 통과전기량과 양극중량감소 값으로부터 양극전기량(단위질량당 발생전기량)을 구한다. 특히, 통전 시간중의 양극전위를 계속 감시함으로써 양극성능을 파악할 수 있게된다.

수소발생시험에서는 정전류시험과 같이 일정한 전류를 통전시키면서 자체부식에 의한 수소발생량을 측정하게 된다. 이 시험에 의해 유효전기량, 보정인자, 양극효율을 산출할 수 있게된다. 이 방법은 신속한 방법이지만 정밀도에 약간의 문제가 있으므로 적용시에 주의가 필요하다. 이상의 두가지 시험법과는 달리 외부전원을 사용하지 않고 실제의 사용조건과 비슷한 상태

에서의 시험법도 있다. 자연유전시험에서는 적절한 금속과 실제의 경우와 비슷하게 couple 상태를 만들고, 그 사이에 적당한 크기의 저항을 달고 단락시켜서 이 때 발생하는 전류 및 양극감량으로부터 유효전기량을 구하는 방법이다. 이 시험은 정전류시험에 비해 장시간이 필요하나 이 기간동안 전위측정을 병행하면 양극의 부동태 유무를 확인할 수 있게 된다. 부동태경향을 조사하기 위해서는 정전위시험 및 동전위시험을 행하는 것이 좋다. 정전위시험은 일정전위에서의 전류값을 monitoring 하여 부동태에 대한 조사를 하는 것이고, 동전위법은 자연전위로부터 양극분극곡선을 구하여 부동태전위 등의을 정량적으로 구하는 방법이다.

여러나라에서 규격화된 양극시험법을 Table 7에 정리하였다.

6. 희생양극의 설계 및 시공

6.1 희생양극의 설계

앞에서 설명하였듯이 희생양극에 의한 음극방식에서는 구동전위(driving potential)가 구조물과 양극의 전위차가 되므로, 외부의 전원으로부터 구동전위를 얻게되는 외부전원법과 비교하여 구동전위가 제한적이라는 제약이 있다. 따라서 양극으로부터의 출력전류가 크지 않고 한 개의 양극으로 방식할 수 있는 면적도 제한적이다. Fig. 2는 방식설계의 대략적인 과정을 보여주고 있다. 이하에서는 희생양극에 의한 방식설계에 관한 일반적인 내용으로서 중요한 두개의 계산식에 대해서만 설명하고자 한다. 설계와 관련된 상세한 내용이나 상수값, 실제의 예 등은 본 강좌의 다른 편에서 다루게 될 것이다.

한 개의 양극으로부터의 출력전류는 다음과 같은 일반식으로 구할 수 있다 :

$$i = \frac{Cfy}{P}$$

Table 7. Summary of the performance test methods of sacrificial anodes

명칭	방식	양극	시험법	전류밀도	시험기간	평가항목
일본부식협회법 JSCE S-9301	정전류법	Al, Zn 15~20 ϕ , 20cm ²	인공해수 (ASTM D1141) ASTM시판 인공해수 청정천연해수 1L, 20~30 $^{\circ}$ C	1.0mA/cm ²	168h	최종 steady state에서의 양극전위
		Mg 15~40 ϕ , 20cm ² #240 연마	Mg(OH) ₂ 포화인공해수 1L, 실온	0.1mA/cm ²	240h	유효전기량 또는 양극효율
호주 AS-2239-1979	정전류법	Al HNO ₃ 처리	청정해수 ≤0.3 Ω ·m(20 $^{\circ}$ C) 인공해수 (ASTM D1141) 0.1Ah/L, 교반	0.5~0.7mA/cm ²	10일 이상	소모신속 양극전위
DNV법 RP B401	정전류법	Al, Zn, Mg 10×50l NaOH, HNO ₃ 처리	청정해수 3% NaCl 인공해수 20±1 $^{\circ}$ C, 산소포화	계단적 1.5mA/cm ² , 24h 0.4mA/cm ² , 24h 4.0mA/cm ² , 24h 1.5mA/cm ² , 24h	96h	유효전기량 양극전위
DNV법 10D-90 -TAI	자연유전법	Al(14×70l) Zn(24×120l) Mg(60×300l) NaOH, HNO ₃ 처리	청정해수 연속경신(0.5L/min) 산소포화 15±1 $^{\circ}$ C	단락 (10 Ω 삽입) 실제 전류밀도가 되도록 cathode 면적을 조절	6개월 이상 또는 양극소모 60%까지	유효전기량 양극전위 용해형태
NACE법 TM0190	정전류법 수소발생법	Al (1in. cubic)	인공해수(ASTM D1141) 10L/시험	4mA/in ² (0.62mA/cm ²)	통전3일 후부터 수소포집 24h or 50mL	양극효율
	중량감소법	NaOH, HNO ₃ 처리	4~5일 매경신 산소포화		14일	양극전위 양극효율
NTNF법	정전류법	Al, Zn, Mg 14×70l NaOH, HNO ₃ 처리	청정해수, 3% NaCl 인공해수 5±1 $^{\circ}$ C, 15±1 $^{\circ}$ C 대기중 폭로	계단적 0.2mA/cm ² , 24h 5.0mA/cm ² , 24h 1.5mA/cm ² , 24h	96h	유효전기량 양극전위 용해형태
	자연유전법		청정해수 연속경신(0.5L/min) 5±1 $^{\circ}$ C, 15±1 $^{\circ}$ C 산소포화	단락(A/C=1/50) (15삽입) 0.08~0.8mA/cm ²	3개월 이상	

i = 출력전류 : output current(mA)

C = 재료상수 : material constant

f = 크기인자 : size factor

y = 전위인자 : potential factor

p = 환경의 비저항 : environmental resistivity

(Ω -cm)

희생양극의 발생전류는 양극과 구조물 상호간

의 유효전압을 대지회로의 저항 (anode 접지저항+Cathode 접지 저항)에서 뺀 값이다. 일반적으로 cathode의 접지 저항은 작기 때문에 전류는 anode의 접지 저항에 지배된다. 그리고, anode의 접지 저항은 토양 비저항에 비례하므로 발생전류는 토양 비저항에 반비례한다. 폴리에틸렌 피복 등 전기 절연성이 좋은 피복의 경우는 관로의塗膜 저항이 커서 관로의 도막 저항

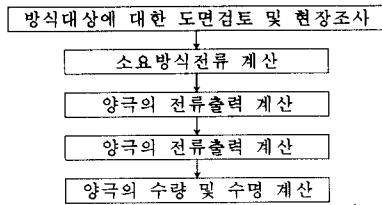


Fig. 2. General procedure of cathodic protection design.

값을 고려해야 한다. 뒷 식에서 재료상수는 방식대상 구조물의 피복상태 및 선정된 양극의 종류에 따라 다른 값을 갖는다. 매설 가스관처럼 양호한 피복상태의 배관을 standard Mg 양극으로 방식할 경우에는 96,000을, high potential Mg 양극으로 방식할 경우에는 120,000을 사용한다. 크기인자는 양극의 형상 및 크기(무게)에 따라 달라지는 값으로서 동일한 무게이더라도 길이가 길어질수록 큰 값을 갖는다. 3.75"×3.75"×60"인 20kg짜리 양극의 경우 크기인자값은 1.72이다. 전위인자는 방식대상이 되는 금속과 양극의 전위에 따라 달라지는데 매설 강관에 대한 Mg 양극의 경우 1.14이다.

양극의 수명은 전류, 양극의 크기, 양극효율 등에 의해서 결정된다. 양극의 소모정도는 다음의 식으로 계산된다.

$$W = YSI/E$$

W = 양극소모량 : anode consumption(lb)

Y = 사용 연수 : number of years

S = 양극 소모속도 : anode consumption rate

$$I = (\text{lbs}/\text{A yr})$$

E = 출력전류 : current output(A)

양극 효율 : anode efficiency

이 식을 사용함에 있어서 주의할 점은 양극효율이다. 양극의 효율은 전류밀도에 따라 변화하기도 한다(Fig. 1). Mg계 양극은 250mA/cm²에서는 일정하다. 양극효율이 낮다는 것은 자체부

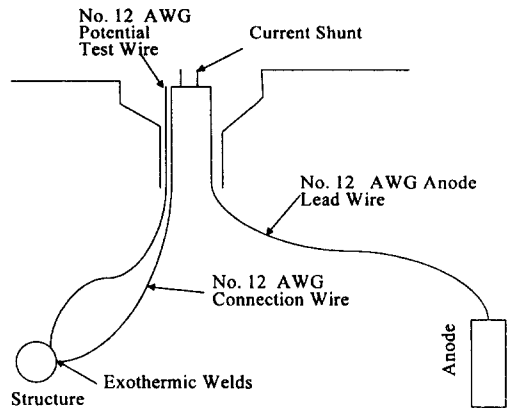


Fig. 3. Schematic illustration of sacrificial anode installation.

식에 의한 양극의 소모가 크다는 것을 의미한다.

6.2 희생양극의 시공

시공방법은 통상 지표면에 설치한 터미널박스 안에 매설관 및 양극에서의 리드선을 세워 결선함으로써 용이하게 배관의 대지전위 및 양극발생 전류를 측정할 수 있도록 한다. 결선시에 0.01Ω 정도의 shunt 저항을 삽입해두면 발생전류의 측정이 용이하다. 동간격으로 다수의 양극을 설치할 경우에는 일부 측정장소에 대해서는 지상에 올라온 노출배관에 직접 접속하는 경우도 있다. 어느 경우든 양극의 매설 깊이는 가능한 한 관의 중심선보다 낮게하고 되도록 수분 많은 곳에 설치하는 것이 좋다. 양극매설 빛 배치에 대해서는 다른 편의 강좌에서 상세히 다루게 될 것이다.

음극방식에 사용되는 전선류는 모두 구리전선이어야 한다. 알루미늄전선은 접속저항(connection resistance)이 크고 용접연결이 어려우므로 사용하지 않는다. 희생양극일 때에 리드선에 흐르는 전류의 크기가 작으므로 전선의 굵기는 저항의 측면에서보다는 지지강도의 측면에서 결정하는 것이 합리적이다. 각각의 양극에 연결되는 선은 No.12 AWG선을 분산양극으로 부터의 collector 선은 No.10 AWG을 사용하는 것이 보

통이다. 회생양극의 리드선은 자체가 음극방식 되므로 외부전원의 그것과 비교하여 절연상태가 문제되지는 않는다. 보통 TW, RHW-USE, polyethylene 피복선이 사용된다. 특별한 경우에 1A 이상의 전류가 흐르게 되는 곳에는 No.10 이상의 선을 사용하여야 할 것이다. 전선의 종류에 관해서는 다음 편의 강좌에서 설명하게 될 것이다.

구조물에 전선을 연결할 때는 thermo-weld

방법을 이용한다. 만일 안전등의 이유로 직접적인 welding이 불가능 할 경우에는 미리 금속면에 전선을 thermo-weld 시킨 후 금속면을 soldering 이나 기계적인 방법으로 구조물에 접속시켜야 한다. 모든 연결부위는 반드시 절연되어야 한다. 절연을 위해서는 epoxy, coaltar enamel 등이 사용된다. Fig. 3에 회생양극이 시공된 모습을 개략적으로 나타내었다.