

인공해수의 유속, 탁도, 이종금속효과 및 음극방식이 Cu합금, Ti, 주철, 스테인리스강의 Erosion-Corrosion거동에 미치는 영향

원덕수, 황충호, 박용수, 김재철*

연세대학교 금속공학과 · * 한국전력 기술연구원

Effects of velocity, turbidity, galvanic coupling and cathodic protection on the erosion-corrosion resistances of Cu alloys, Ti, cast iron, stainless in sythetic seawater.

Won, D. S. , Hwang, C. H. , Park, Y. S. , and Kim, J. C.*

Dep't of Metallurgical Eng. , Yonsei University

* Research Center, Korea Electric Power Corporation

Erosion-corrosion resistances of some metals and alloys for sea-water use were hampered by increase of reactions between the surfaces and the solution as the velocity increased, and by increase of mechanical effects by the solid suspended particules. At constant flow velocities, the alloy's potentials with stable passive films increased as time passed, and the more protective the surface film, the faster the increasing rate of the potential. The potential differences of the galvanic couplings and the Tafel-slopes were found critical in the galvanic behaviors. The flow velocity increased the limiting current densities in the polarization tests and the polarization resistances were lowered by the mechanical effects when solid particles were suspended.

1. 서 론

금속이 흐르는 부식성용액에 노출된 경우의 부식속도가 정체된 조건하에서의 부식속도보다 클 때 Erosion-Corrosion이 발생한다고 한다.^{1,2)} Erosion-Corrosion은 순수한 기계적인 효과에 의한 Erosion(예, Sand-blasting)과 구별되며, Erosion-Corrosion은 기계적인 반응과 전기화학적 반응이 부분적으로 작용하여 발생하거나, 완전한 전기화학적 반응에 의해서도 발생한다.³⁾

Erosion-Corrosion기구에서 가장 중요한 역할은 흐르는 부식성용액과 부식속도에 영향을 주는 보호 피막에 의해 이루어진다. 대부분의 금속들에 있어서 부식저항성은 치밀하고 밀착성이 강한 부식생성물층(부동태피막)에 의해서 부여되는데 침식에 의해 이러한 피막이 파괴될 때 침식속도는 급격히 증가하게 된다.^{4,5)}

이러한 Erosion-Corrosion거동에 영향을 주는 인자에는 유체의 속도, pH, 용존산소, 온도, 함유된 기체나 고체입자등에 의해 영향을 받는다.^{6,7)}

따라서 본 연구에서는 각 합금들의 Erosion-Corrosion 저항성에 미치는 반응용액의 유속, 고체부유물의 농도, 음극방식 및 이중금속효과를 알아봄으로써 각 합금들의 인공해수중에서의 Erosion-Corrosion 저항성을 비교, 검토하는데 목적을 두었다.

2. 실험방법

2.1 시편

본 실험에 사용한 시편은 상업용 6:4황동, 주철, 고순도 Ti, 304, 316 스테인리스강과 본 실험실에서 사용해, 제작한 Cupronickel과 오스테나이트계 스테인리스강 A-2와 2상스테인리스강 KS-3합금을 사용하였다.

시편의 용해는 순수한 상업용 품위를 갖는 전해철, Cr, Mo, Ni, CrN, Fe-Si, Cu를 모합금으로 사용하여 고주파 유도로를 이용하여 질소 분위기에서 용해, 주조하였다. 열간압연은 Cupronickel의 경우 900~950°C에서 그리고 스테인리스강의 경우는 1,050

Table 1. Chemical Composition of the Experimental Alloys. (wt.%)

	Si	Zn	Cu	Fe	Ni	Mo	N	Ti	Cr	C
6:4Brass	-	Bal.	59.70	0.02	-	-	-	-	-	-
CN-2	-	-	Bal.	0.81	17.5	-	-	-	0.26	-
Cast Iron	1.15	-	-	Bal.	-	-	-	-	-	3.7
Ti	0.09 (O ₂)	0.22 (Mn)	0.005 (H ₂)	-	-	-	0.008	99.9	-	-
STS 304	0.5	-	-	Bal.	8.61	0.74	0.04	-	19.57	0.07
STS 316	0.52	-	-	Bal.	11.06	2.57	-	-	16.97	0.08
A-2	1.47	-	-	Bal.	19.56	6.55	0.18	-	20.18	0.16
KS-3	1	-	-	Bal.	3.93	6.82	0.28	-	20.38	0.02

~1,100°C에서 행하여 두께를 3mm로 조절한 후 10% HNO₃+3% HF 용액에서 산세처리한 후에 1.5mm로 냉간압연을 행하였고 다시 동일한 산세용액에서 표면산화물을 제거한 뒤 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 모두 SiC 연마지로 600grit까지 연마하고 증류수로 세척한 후에 실험을 행하였다.

실험의 개략도를 Fig. 1에 나타내었고, 사용된 시편의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 인공해수의 제조

인공해수의 제조는 ASTM⁸⁾ 규격에 의거하여 다음과 같이 제조하였다. 8~9ℓ의 증류수에 NaCl 245.3g 과 Na₂SO₄ 40.94g 을 용해시키고, 이 용액에 다음의 No.1 원액 200ml를 가해서 교반한 후 동일하게 No.2 원액 100ml를 첨가해서 전량이 10ℓ가 되게 하였다. 다음에 0.1N NaOH수용액으로 pH를 8.2로 조절하였다.

- No.1 원액 : MgCl₂ · 6H₂O 388.90 g, CaCl₂(dehy) 405.6 g, SrCl₂ · 6H₂O 64.8 g 을 증류수에 가해서 7.0ℓ가 되게 하였다.
- No.2 원액 : KCl 486.2 g, NaHCO₃ 140.7 g, KBr 70.4 g, H₃BO₃ 19.0 g, NaF 2.1 g 을 증류수에 가해 7.0ℓ가 되게 하였다.

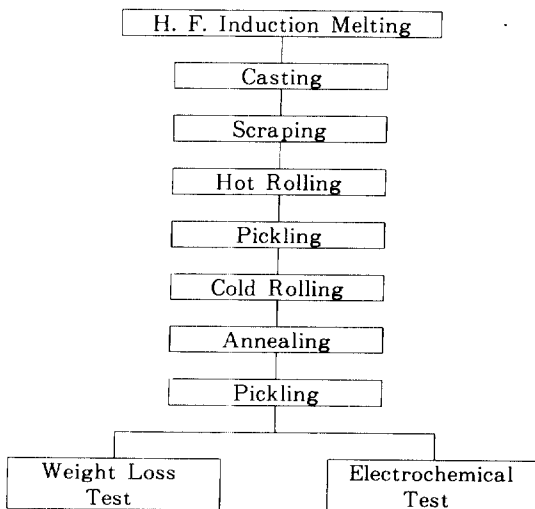


Fig. 1 Process Flow Route of the Experimental Alloys.

2. 3 Erosion-Corrosion 시험

2. 3. 1 무게감량에 의한 Erosion-Corrosion 시험
시편을 $20 \times 40 \times 1.5 \text{ mm}^3$ 로 절단한 후 Emery Paper # 600까지 연마한 후 증류수로 세척하여 Fig. 2와 같은 본 실험실에서 제작한 Rotating Disk Erosion-Corrosion 실험장치에 정착하여 노출면적이 $20 \times 20 \times 1.5 \text{ mm}^3$ 이 되게 한 후에 인공해수 중에서 5일간 상온에서 실험을 행하였고, 탁도에 의한 영향은 $10 \sim 90 \mu \text{m}$ 의 입도를 갖는 SiO_2 입자를 사용하여 5 m/sec 의 유속에 대하여 SiO_2 입자의 농도를 0.01%, 0.05%, 0.1%로 증가시키면서 실험하였다. 그리고 이 종금속 효과는 5 m/sec 의 유속일 때 Cupronickel과 각 합금들을 구리판을 이용하여 전기적으로 연결시킨 후 실험을 행하였으며, 이때 발생할 수 있는 Cu

판에 의한 이종금속 효과를 막기 위하여 실리콘접착제를 사용하여 Cu판과 용액간의 접촉을 방지하였다.

실험 결과는 실험 전후에 시편의 무게를 0.0001 g 단위 까지 측정하여 그 무게 감량을 m.d.d.로 환산하여 나타내었다.

2. 3. 2 전기화학적 방법에 의한 Erosion-Corrosion 시험

각 시편을 외경 35 mm , 내경 8 mm 의 원판형태로 가공한 후 Emery Paper # 600까지 연마하여 본 실험실에서 제작한 Rotating Disk Electrode 실험장치에 정착한 후 30°C 의 온도에서 각 실험을 행하였으며, 실험장치의 개략도를 Fig.3에 나타내었다.

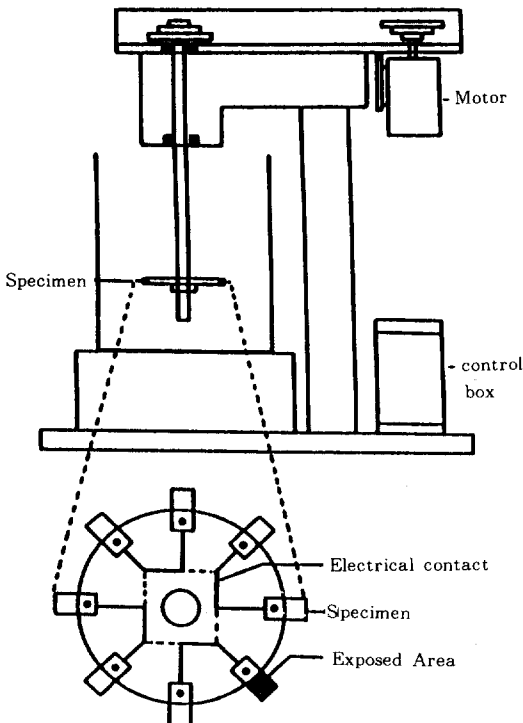


Fig. 2 Schematic Illustration of Rotating Disk Apparatus.

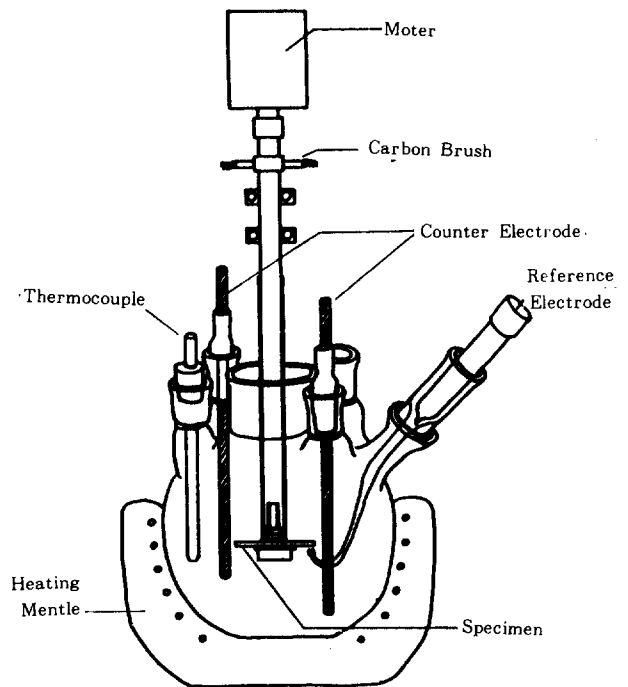


Fig. 3 Schematic Diagram of Rotating Disk Electrode Apparatus.

①음극방식 시험

Cupronickel의 경우에 대해서만 실험을 행하였으며, 전위를 가하지 않았을 경우의 무게 감량과 -600 mV(S. C. E.) 로 전위를 가했을 경우의 무게 감량으로 부식속도의 변화를 측정하였으며, 각 실험은 5 m/sec 의 유속으로 24시간 행하였다.

②시간에 따른 전위 변화 측정

유속이 5 m/sec 인 경우에 대하여 각합금들의 전위변화를 24시간 동안 측정하였다.

③유속에 따른 분극곡선 측정

각 시편을 본 실험장치에 장착한 후 1 mA 의 음극 전류를 10분간 흘려주어 시편의 표면을 환원시킨 다음에 10분간 각 유속에서 회전시킨 후에 이때의 전위를 부식전위로 택하여 Scanning rate를 20 mV/min 로 하여 Potentiodynamic method로 음극 및 양극분극곡선을 측정하였다. 유속은 $0, 3, 5, 7\text{ m/sec}$ 의 경우로 변화시키면서 측정하였고, 고체부유물인 SiO_2 입자가 0.1% 함유되었을 경우 5 m/sec 의 유속에 대한 분극곡선도 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3. 1 유속의 영향 및 음극방식 효과

Fig. 4는 각 시편들의 인공해수중에서 유속이 증가함에 따른 Erosion-Corrosion에 의한 부식속도의 변화를 나타낸 것이다. 용액이 정지된 상태보다 유속이 존재함에 따라 주철, 6:4황동, Cupronickel 모두 부식속도가 증가하는 거동을 보였다. 그러나 Ti과 각 스테인리스강들은 유속에 상관없이 무게감량을 보이지 않았는데 이것은 실험기간이 짧았고 Ti과 스테인리스강이 뛰어난 내식성을 갖기 때문인 것으로 생각된다. 주철의 경우는 정지된 상태보다 유속이 $1, 3, 5\text{ m/sec}$ 로 증가함에 따라 부식속도가 급격히 증가함을 알 수 있고 6:4황동도 유속이 존재함에 따라 부식속도가 급격히 증가하였지만, 유속증가에 따른 부식속도의 증가는 주철만큼 심하지

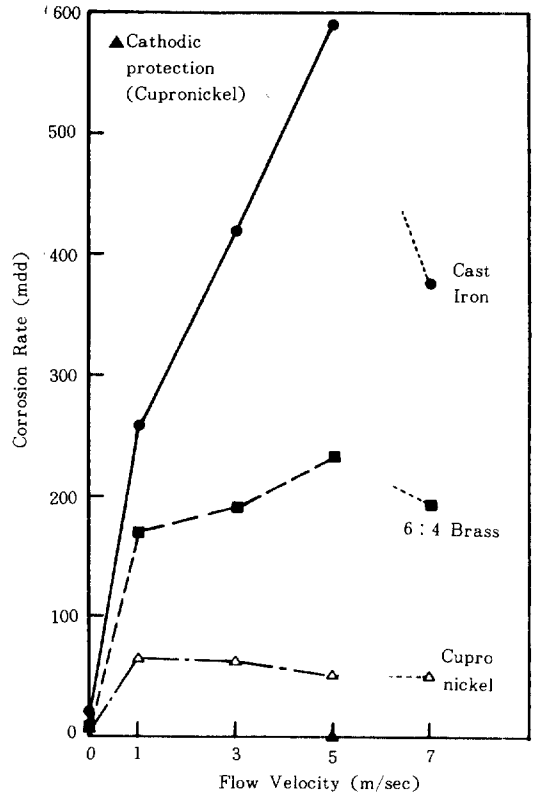


Fig. 4 Effects of Flow Velocity on the Erosion-Corrosion Rate of Experimental Alloys. (Synthetic Sea-Water, 120hr.).

는 않았다. 이와같이 유속이 증가함에 따라 부식속도가 증가하는 것은 유속이 증가함에 따라 금속표면과 용액간의 반응성이 증대되고 부식에 의해 형성된 부식생성물과 용해된 금속이온들의 제거가 활발해지기 때문으로 생각된다.^{11, 12)} 그러나 유속이 5 m/sec 에서 7 m/sec 로 증가하면, 본실험결과에서는 부식속도가 오히려 감소하는 경향을 나타냈는데 이것은 Disk의 회전속도가 증가함에 따라 생성되는 와류의 증가로 인하여 혼입되는 기체의 양이 증가하기 때문이다. 혼입된 이들 기체는 산소의 공급을 증가시켜주지만 이보다도 오히려 용액과 금속간의 반응면적을 감소시키는 역할을 하기 때문으로 생각된다.¹³⁾

Cupronickel의 경우는 유속이 존재하면 부식속도는 정지된 상태보다 증가하는 하지만 유속증가에 따라서는 부식속도가 증가하지 않는데 이것은 Cupronickel이 반응초기에는 가용성 Species로 녹아나면서 일정한 시간이 경과한 후에 보호성을 갖는 안정한 피막을 형성하는데,⁹⁾ 본 실험조건은 5일로서 비교적 짧기 때문에 초기의 부식조건에 해당하므로 유속에 따른 정확한 경향이 없는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 Cupronickel을 5 m/sec의 유속에서 -600 mV(S. C. E.)로 음극방식을 행하였을 경우의 부식속도를 검은 삼각형으로 보여주었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 음극방식을 행하였을 경우 부식이 거의 일어나지 않고 완전하게 보호되는 것을 알 수 있다. 이것은 전위를 부식전위보다 음극으로 가해줌으로써 Cupronickel의 양극반응을 억제해주어 금속상태로 안정된 거동을 보이기 때문으로 생각된다.¹⁰⁾

3. 2 탁도에 의한 영향

Fig. 5와 Fig. 6은 유속이 일정할 때 10~90 μ m의 입도를 갖는 SiO₂입자를 5 m/sec의 유속에서 0, 0.01, 0.05, 0.1% 씩 함유시켰을 때 고체입자에 의한 기계적인 효과가 각 합금들의 부식속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 대부분의 합금들은 고체부유물의 농도가 증가함에 따라 부식속도가 증가하는 경향을 나타내고 있는데 이것은 표면에 생성된 부식 생성물들이 고체입자에 의해 쉽게 제거되고 그만큼 용액과 금속과의 접촉이 쉬워지기 때문으로 생각된다.¹¹⁾

그리고 고체부유물의 농도가 증가하면 고체입자에 의한 마모량이 증대되기 때문에 Ti과 스테인리스강과 같은 단단하고 밀착성이 강한 부동태 피막을 형성하는 합금들의 경우 탁도가 증가함에 따라 이들 피막들이 마모 등에 의해 파괴가 일어나고 노출된 금속표면이 양극으로 작용하고 아직 부동태 피막으로 덮인 부분은 음극으로 작용하여 금속의

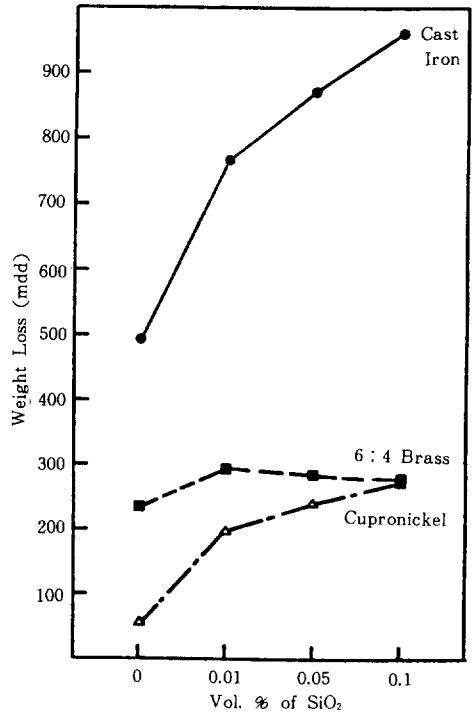


Fig. 5 Effects of Turbidity on the Erosion-Corrosion Rate of Experimental Alloys.(1) (Synthetic Sea-Water, 5 m/sec, 120hr.).

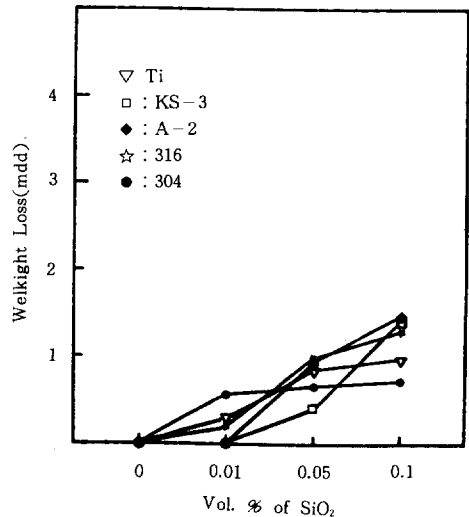


Fig. 6 Effects of Turbidity on the Erosion-Corrosion Rate of Experimental Alloys.(2) (Synthetic Sea-Water, 5 m/sec, 120hr.).

부식을 가속시키는 것으로 생각된다.⁷⁾ 그러나 이들 Ti과 스테인리스강의 부식속도는 1mdd정도로 극히 작기 때문에 상대적인 내식성은 평가할 수 없었다.

그리고 6:4황동의 경우는 탁도가 존재하지 않을 경우보다 탁도가 존재함에 따라 부식속도는 증가하였지만, 탁도의 증가에 따라서는 부식속도가 오히려 약간 감소하는 경향을 보이는데 이것은 6:4 황동의 부식이 기계적인 효과보다는 전기화학적 반응에 의해 주로 일어나기 때문으로 생각되며 이에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

3.3 이종금속효과

Fig. 7은 해수중에서 많이 사용되고 있는 Cupronickel이 다른 합금들과 전기적으로 연결되어 있을

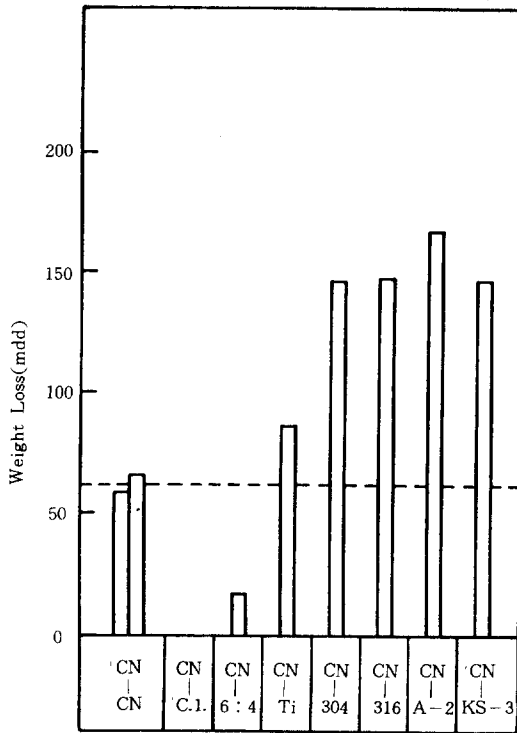


Fig. 7 Effects of Galvanic Coupling on the Erosion-Corrosion Rate of the Cupronickel.

때의 Erosion-Corrosion거동을 나타낸 것으로서 점선은 Cupronickel끼리 전기적으로 연결되었을 때의 부식속도를 나타낸 것이다. 주철이나 6:4 황동과 연결되어 있을 때에는 부식속도가 감소하였는데 이것은 주철과 6:4황동이 희생양극으로 작용하여 Cupronickel을 보호해 주었기 때문으로 생각된다. 그러나 Cupronickel보다 귀한 전위를 갖는(부동태피막을 형성하였을 때) Ti과 각 스테인리스강과 연결되어 있을 때는 오히려 부식속도가 증가하였다. 이것은 Cupronickel이 희생양극으로 작용하여 Ti과 스테인리스강의 음극반응에 필요한 전자를 공급시켜주어 부식속도가 증가한 것으로 생각한다.

이러한 각 합금들의 Cupronickel에 대한 이종금속효과를 알아보기 위하여 먼저 합금들의 시간에 따른 부식전위의 변화를 살펴보면, Fig. 8과 같다. 즉 이것은 인공해수 중에서 5m/sec의 유속으로 30°C에서 20시간동안 실험을 행하였을 때 각 합금들의

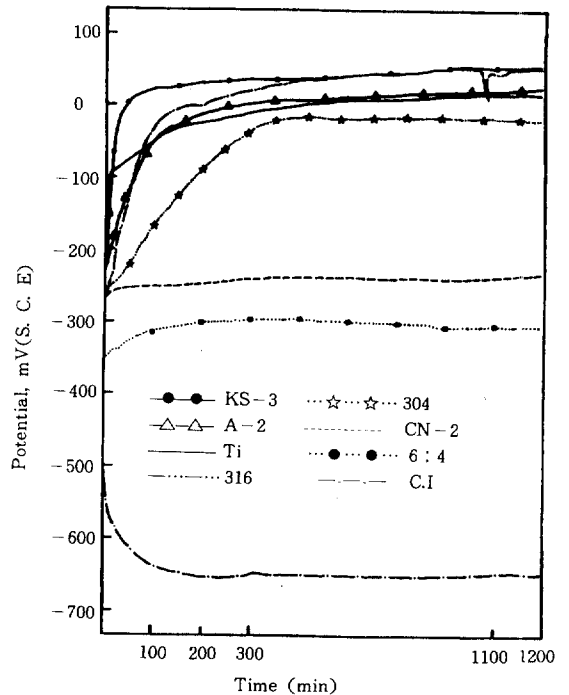


Fig. 8 Variation of the Rest Potential with Time.

전위의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 보호피막을 형성하는 합금들은 시간이 경과함에 따라 귀한 전위에서 안정된 전위를 갖지만 주철과 같은 금속은 오히려 덜 귀한 전위에서 안정된 거동을 나타낸다.^{12, 13)} 그리고 부동태 피막을 형성하는 합금의 경우 전위의 상승속도는 더 안정된 피막을 형성하는 합금일수록 그 속도는 더욱 빨랐다. 이것은 그 만큼 산화물 피막의 형성속도가 빠름을 의미한다.

그리고 Cupronickel의 부식속도를 감소시켰던 주철과 6:4황동은 Cupronickel 보다 낮은 전위를 갖게 되어 희생양극으로 작용함을 알 수 있지만, Ti과 스테인리스강은 더 높은 전위에서 안정된 거동을 보여 Cupronickel이 오히려 희생양극으로 작용하여 Cupronickel의 부식을 가속시킴을 알 수 있다. 그러나 이것만으로는 서로 비슷한 전위를 갖는 Ti과 스테인리스강의 이종금속효과를 알 수 없었으므로 다음과 같은 시험을 통하여 Ti과 스테인리스강의 이종금속효과에 대하여 알아보았다.

Fig. 9는 Cupronickel과 Galvanic Coupling시 Cupronickel의 부식속도를 증가시킨 Ti과 스테인리스강의 음극분극거동을 부식전위를 중심으로 과전압과 전류밀도의 관계로서 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Ti의 음극분극곡선의 기울기는 스테인리스강에 비해 더 큰 값을 나타내고 있다. 이것은 Ti표면에서 음극반응이 일어나기 위해서는 더 큰 과전압이 필요함을 의미한다. 그렇기 때문에 Cupronickel과 Ti이 전기적으로 연결되어

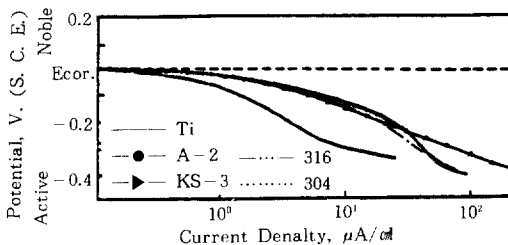


Fig. 9 Schematic Diagram of Current Density vs. Over Voltage.

있을 때 보다는 스테인리스강과 연결되어 있을 때 부식 속도가 더 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 두 금속간의 전위차는 Galvanic 부식의 한 요소일 뿐이고, galvanic Couple에서 galvanic current의 양과 양극의 용해속도는 분극곡선에서의 타펠기울기, 교환전류밀도 등에 의해 결정됨을 알 수 있다.^{6, 14)}

3. 4 유속에 따른 분극거동

Fig. 10은 주철이 인공해수중에서 유속이 0, 3, 5 m/sec로 증가함에 따라 그리고 5 m/sec에서 0.1% SiO₂가 함유되었을 때의 양극 및 음극분극곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 유속이 증가함에 따라 그리고 탁도가 증가함에 따라 한계전류밀도(i_L)가 증가하는 경향을 보였고 양극용해속도도 뚜렷하게 증가하는 거동을 보였다. 이것은 유속이 증가함에 따라 공급되는 용존산소의 양이 증가하고 용해된 금속이온의 제거가 더 쉽게 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

6:4황동과 Cupronickel의 경우도 유속증가 및 탁도존재에 따라 한계전류밀도는 증가하였다. 그러나 양극용해속도는 유속증가에 따라서 그다지 뚜렷한 증가를 하지는 않았지만 탁도가 증가함에 따라 양극용해속도가 크게 증가하였다. 그리고 OV(S. C. E.) 이상의 상당히 높은 전류밀도를 갖는 전위에서 전류밀도가 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 분극시험 후 표면에 생성된 부식생성물을 X-선 분

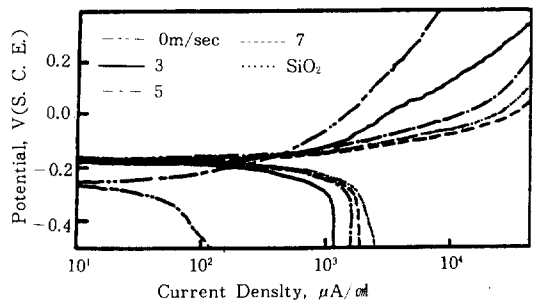


Fig. 10 Effects of flow rate and SiO₂ addition on the polarization behavior of Cast Iron.

석을 행한 결과, 염화물을 형성하기 때문인 것으로 판명되었다. 그러나 이들 염화물은 보호성과 밀착성이 좋지 않기 때문에 SiO_2 와 같은 고체부유물에 의해 쉽게 제거되어 탁도가 존재할 때에는 염화물층 형성에 의한 전류밀도 감소 지역이 없어짐을 알 수 있었다.

Fig. 11은 KS-3 2상스테인리스강의 분극거동을 나타낸 것인데 유속증가에 따라서 한계전류밀도는 증가하지만, 양극분극거동은 그다지 큰 변화가 없었다. 그러나 탁도가 증가함에 따라 부동태 영역에서의 전류밀도가 대체적으로 큰 값을 나타내며 부동태피막과괴전위(E_T)가 낮아짐을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 부동태피막을 형성하는 다른 스테인리스강들과 Ti의 경우도 마찬가지로 나타났다.

Fig. 12는 유속이 5m/sec일 때 각 합금들의 분극거동을 종합적으로 나타낸 것이다. 주철은 상당히 낮은 전위에서 전위 증가에 따라 부식이 급격히 증가되었고 6:4황동과 Cupronickel은 부식전위는 주철보다 높지만 역시 전위가 증가함에 따라 부식속도가 급격히 증가하고 상당히 높은 전류밀도에서 염화물층 형성에 의한 전류밀도 감소 지역을 나타내고 있다. 그리고 Ti과 스테인리스강은 부식전위는

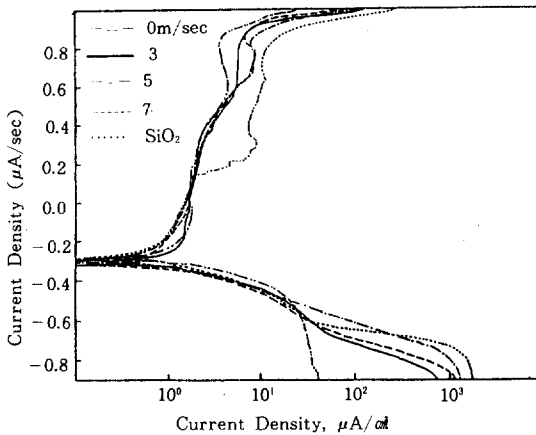


Fig. 11 Effects of flow rate and SiO_2 addition on the polarization behavior of KS-3

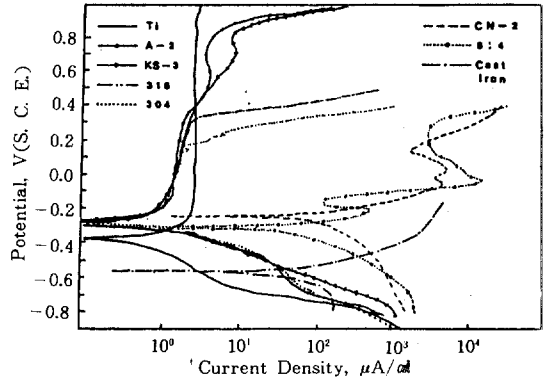


Fig. 12 The Polarization Curves of the Experimental Alloys at flow rate of 5m/sec (Synthetic Sea-Water, at 30°C)

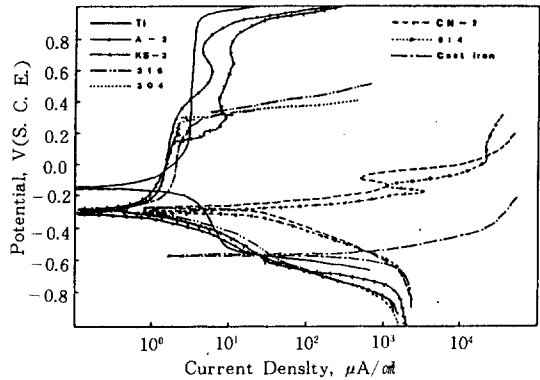


Fig. 13 The polarization curves of the Experimental Alloys at flow rate of 5m/sec, 0.1% of SiO_2 . (Synthetic Sea-Water, at 30°C)

Cu합금과 비슷하거나 오히려 낮은 값을 갖지만 안정된 부동태 거동을 보이므로 보다 좋은 내식성을 갖음을 알 수 있다.

Fig. 13은 유속이 5m/sec일 때 고체부유물 SiO_2 가 0.1% 함유되어 있을 때 각 합금의 분극거동을 나타낸 것이다. 탁도가 존재함에 따라 각 합금간에 큰 변화는 없었지만 전체적으로 전류밀도가 증가하였고 Cu합금의 경우는 염화물층에 의한 전류밀도 감소 지역이 없어졌고 안정된 부동태피막을 갖는 Ti과 스테인리스강의 부동태 전류밀도가 증가하고 부동태피막 파괴전위가 감소하는 경향을 보였다.

이와 같이 유체중에 고체부유물이 존재하면 각 합금들의 Erosion - Corrosion 저항성은 나빠졌는데 이것은 유속에 의한 전기화학적 반응에 기계적인 효과가 첨가 됨으로써 저항성이 감소되기 때문이며 이 결과는 무게 감량 실험에 의한 탁도의 영향과 잘 일치하고 있다.

4. 결 론

각 합금들의 Erosion - Corrosion 거동에 미치는 유속, 탁도 및 이종금속효과에 대하여 무게감량 시험과 전기화학적 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유속이 증가할수록 용액과 금속간의 반응성이 증대되어 Erosion - Corrosion 저항성은 감소하였다.
2. 일정 유속에서 고체부유물의 농도가 증가할수록 금속표면에 가해지는 기계적인 효과에 의한 전단응력의 증가로 표면산화물 피막을 약화시켜 부식속도가 증가하였다.
3. 일정 유속에서의 시간에 따른 전위의 변화는 Cu합금의 경우 약간 상승하였으며, 주철의 경우는 감소하였다. 그리고 Ti과 스테인리스강은 안정된 부동태피막의 형성으로 인해 매우 귀한 전위로 상승하였으며, 그 속도는 안정된 피막을 형성하는 합금일수록 빨랐다.
4. 이종금속 효과는 각각의 전위와 타펠기술기에 의존하였다.
5. 유속이 증가함에 따라 한계전류 밀도는 증가하

였으며 고체부유물에 의한 기계적인 효과에 의해 분극저항성이 감소하였다.

참고문헌

1. H. R. Copson : Corrosion, vol. 16, p.130, 1960.
2. T. Sydberger and U. Lotz : J. Electrochem. Soc. , vol. 129, p.276, 1982.
3. Barry C. Syrett : Corrosion, vol. 32, p.242, 1976.
4. S. R. De Sanchez and D. J. Schiffrin : corrosion Science, vol. 28, p.141, 1988.
5. L. L. Shreir : "Corrosion", Newnes - Butterworths, 1979.
6. M. G. Fontana : "Corrosion Engineering", McGraw - Hill, 1978.
7. A. Tamba : Br. Corrosion J. , vol. 20, p.90, 1985.
8. ASTM : D - 1141 - 52.
9. Barry C. Syrett : Corrosion, vol. 36, p.73, 1980.
10. D. A. Jones : Corrosion, vol. 42, p.430, 1986.
11. T. H. Kosel, A. P. L. Turner and R. O. Scattergood, "Corrosion - Erosion Behavior of Materials" ed. by K. Natesan, AIME, p.146, 1980.
12. D. D. Macdonald, B. C. Syrett and S. S. Wing : Corrosion, vol. 34, p.289, 1978.
13. Roy Johnsen and Einer Bardel : Corrosion, vol. 41, p.296, 1985.
14. Florian Mansfeld : Corrosion, vol. 29, p.276, 1973.