



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

자동차용 소음기의
부식특성에 관한 연구



釜慶大學校 産業大學院

自動車工學科

金 光 錫

工學碩士 學位論文

자동차용 소음기의 부식특성에 관한 연구

指導教授 林 祐 助

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2008年 2月

釜慶大學校 産業大學院

自動車工學科

金 光 錫

김광석의 공학석사 학위논문을 인준함

2007年 12月 日



주 심 공학박사 권 오 봉 (인)

위 원 공학박사 임 희 창 (인)

위 원 공학박사 임 우 조 (인)

목 차

Abstract	3
Nomenclature	6
1. 서 론	7
2. 이론적 고찰 및 부식사례	10
2.1 내연기관 소음기의 기본구조	10
2.2 내연기관 연소가스측 부식성	12
2.2.1 연소가스측 고온부식	12
2.2.2 연소가스측 저온부식	13
2.3 자동차용 소음기의 부식 사례	18
3. 시험편 및 실험방법	20
3.1 시험재료	20
3.2 전기화학적 부식 시험편	21
3.3 부식 실험장치	22
3.4 부식 실험방법	25
4. 실험결과 및 고찰	28
4.1 응축수의 pH 변화에 따른 분극저항 특성	28
4.1.1 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금의 분극저항 거동	28
4.1.2 응축수의 pH 변화에 따른 스테인리스강의 분극저항 거동	32

4.1.3 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 분극저항 거동 비교	35
4.2 응축수의 pH 변화가 전면부식속도에 미치는 영향	37
4.2.1 응축수의 PH 변화가 Al-합금의 전면부식 거동에 미치는 영향	38
4.2.2 응축수의 pH 변화가 스테인리스강의 전면부식 거동에 미치는 영향	42
4.2.3 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 전면부식 특성 비교	46
4.3 응축수의 pH 변화가 소음기재료의 양극분극 특성에 미치는 영향	48
4.3.1 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금 및 스테인리스강의 양극분극 거동	48
4.3.2 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 양극분극 특성 비교	52
4.4 응축수의 pH 변화가 소음기의 공식 및 간극부식성에 미치는 영향	55
5. 결 론	61
참고문헌	63

The Study on the Corrosion of Muffler for Motor Vehicles

Kwang-Seuk Kim

*Department of Automotive Engineering
Graduate School of industry
Pukyong National University*

Abstract

According to the industrial and economic development, the consumption of fossil energy like coal, petroleum and natural gas rapidly increases, and it accelerates the environmental pollution. Clearly, the car has been one of the notorious pollution sources - noise, exhaust pollutant gas, etc. Among them, a muffler is usually used for reducing noise from the exhaust gas of the engine.

Inside a muffler a condensed water can be generated due to high temperature difference from the exhaust gas, and it can cause

a corrosion damage on the surface. Especially, the condensed water, which sometimes be acid, makes these damages worse.

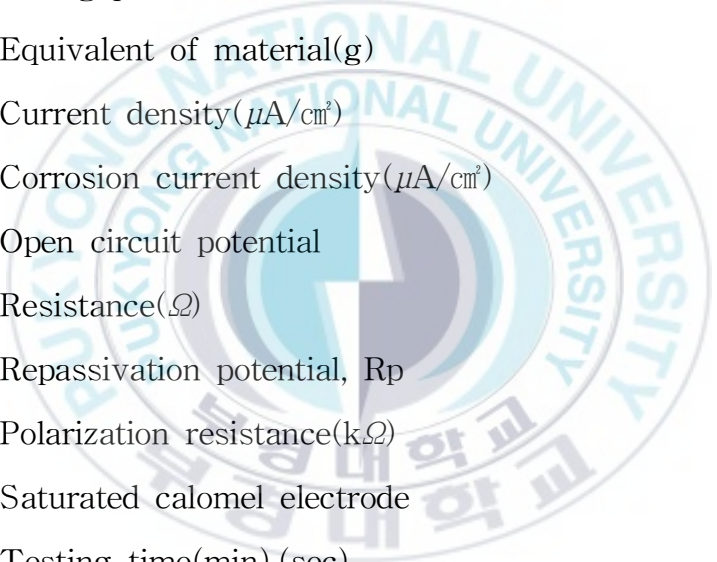
In this study, therefore, we carry out the corrosion test in the acidified water with the aim to investigate the corrosion behavior around a muffler which is made of Al-alloy and stainless steel.

The main results obtained in this study are as follows ;

- 1) As increasing SO_x , both the pH of condensed water and the polarization resistance of muffler are reduced.
- 2) As the pH of a condensed water is high in the range of pH 2 to pH 6.2, the polarization resistance of stainless steel is higher than that of Al-alloy.
- 3) As decreasing the pH, the open-circuit potential decreases, whereas the density of corrosive current increases.
- 4) As the pH of the condensed water is low except for the condensed water of pH 0.5, the corrosion rate of Al-alloy and stainless steel become high. Therefore, the corrosion resistance for the uniform corrosion of a muffler decreases.

- 5) Under the natural, subacid and strong acid water, the corrosion current density of stainless steel is lower than that of Al-alloy. In the addition the anodic polarization movement of stainless steel can be classified into 3 representative regions.
- 6) As the positive hysteresis appears in the cyclic polarization curve of Al-alloy, the damaged passive film in the forward scan anodic polarization curve can not be repaired. However, as negative hysteresis occurs in the cyclic polarization curve of stainless steel, the damaged passive film in the forward scan anodic polarization curve can be repaired of itself.
- 7) As the repassivation potential of Al-alloy is lower than the open-circuit potential, pits grow. However, as the repassivation potential of stainless steel is higher than the open-circuit potential, pits don't.

Nomenclature



CR	: Corrosion rate(mmpy)
d	: Density of material(g/cm ³)
E	: Electrode potential(mV/SCE)
E _i	: Impressed potential(mV/SCE)
E _p	: Pitting potential(mV/SCE)
EW	: Equivalent of material(g)
I	: Current density(μ A/cm ²)
I _{corr}	: Corrosion current density(μ A/cm ²)
OCP	: Open circuit potential
R	: Resistance(Ω)
RP	: Repassivation potential, R _p
R _p	: Polarization resistance(k Ω)
SCE	: Saturated calomel electrode
t	: Testing time(min),(sec)
T.S	: Tensile strength(kg/mm ²)

1. 서 론

자동차용 내연기관에서 방출되는 소음은 매니폴드(manifold)에서 매우 높은 레벨(최대 190 dB)을 가지고 방출됨으로써 소음기의 사용은 필수적이다. 내연기관의 공회전을 제외한 통상 작동 범위 하에서 토출 소음과 겹 표면에서 방사되는 배기시스템 소음이 자동차에 있어서 가장 큰 소음 음원중 하나이다^(1, 2). 즉, 자동차용 내연기관에서 배출되는 배기가스를 그대로 대기 중에 방출하게 되면 배기가스가 급격히 팽창하여 매우 높은 폭발음을 냄으로써 소음공해를 유발하게 된다^(3, 4).

그러므로 배기가스를 대기 중에 배출하기 전에 소음기(muffler)를 통하여 압력과 온도를 내리게 함으로써 대기 중에 조용히 방출하게 되어 있다. 이러한 소음기의 기능은 배기 배관(pipe)의 중간에 위치하여 배기가스의 유동저항을 배제한 상태에서 전달손실(transmission loss)을 주어 내연기관의 맥동소음(pulsating noise)과 배기관 끝단에서의 제트소음(jet noise) 등을 감소시키는 역할이다^(5, 6). 또한 소음기는 단지 소음을 낮게 하는 역할 이외에도 엔진의 성능을 결정하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 즉, 배기가스 중의 유해가스에 의한 피해도 엄청 나게 됨으로 배기가스 정화 시스템도 부착되어 있다^(7, 8).

이와 같은 소음기는 고온의 배기가스가 상온의 소음기 내부를 통과하면서 급격히 온도가 낮아지므로써 소음기 내부에 결로현상에 의해 응축수가 발생되고, 겨울철이나 한랭지역에서는 응축수가 과다하

게 발생된다. 이러한 응축수에 의해 소음기의 부식손상을 일으키고 있다^(9, 10). 특히, 내연기관의 배기가스 중에 유황화합물, 질소화합물, 산화물 등의 유해 가스는 응축수에 혼입되면 산성화된 응축수가 된다. 또한 내연기관의 종류에 따라서는 연료유 중에 약간 혼입된 Cl_2 , HCl 및 NaCl 등이 연소한 연소가스가 응축수에 유입하면 응축수의 비저항이 낮아지는 원인이 되기도 한다^(11, 12). 이처럼 산성화되거나 비저항이 낮아진 응축수에 의해 소음기의 부식손상은 더욱 가속되고 있다. 이러한 소음기의 부식에 의한 손상은 처음에는 국부적으로 공식(pit)이 발생하였다가 소음기의 전면에 걸쳐서 공식으로 성장하여 결국에는 소음기가 관통하여 가스가 누설되면서 소음이 높게 되고, 대기환경오염을 유발할 수 있는 것으로 보고되고 있다⁽¹³⁾.

그러나 소음기의 부식손상에 관한 연구는 스테인리스강 409L에 대한 부식시험과 음극방식에 의한 연구정도이고, 소음기의 재질에 따른 산성화되거나 비저항이 낮아진 응축수 중에서 부식특성에 관한 연구는 거의 찾아 볼 수 없다^(14, 15, 16, 17).

따라서 본 연구는 자동차용 내연기관 소음기의 부식특성에 대한 연구를 하기 위하여, 전기화학적 분극시험장치에 의해 산성의 pH 변화 및 Cl^- 이온에 따른 비저항 변화에 따른 응축수 환경 중에서 소음기 재료에 따른 부식 특성에 대한 실험을 실시하였다.

이들 실험결과를 토대로 각 응축수 환경에 따른 분극저항, 부식전류밀도, 전면부식거동에 대해 고찰하고, 공식과 간극부식등의 국부부식 특성을 구명(究明)함으로써 자동차용 내연기관 소음기의 최적화

설계, 제작 및 보수 유지의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.



2. 이론적 고찰 및 부식사례

2.1 내연기관 소음기의 기본구조

자동차 소음기의 기본목적은 엔진으로부터 배출되는 소음의 감소를 통하여 보다 쾌적한 승차감 및 소음에 의한 환경오염을 극소화 하는데 있다. 이런 한 소음기의 목적을 만족시키기 위하여 자동차 배기계는 크게 소음기(muffler), 촉매 변환장치(catalytic converter)로 구성 되어 있다. 이러한 배기계의 구조를 Fig 1에 나타내었다.

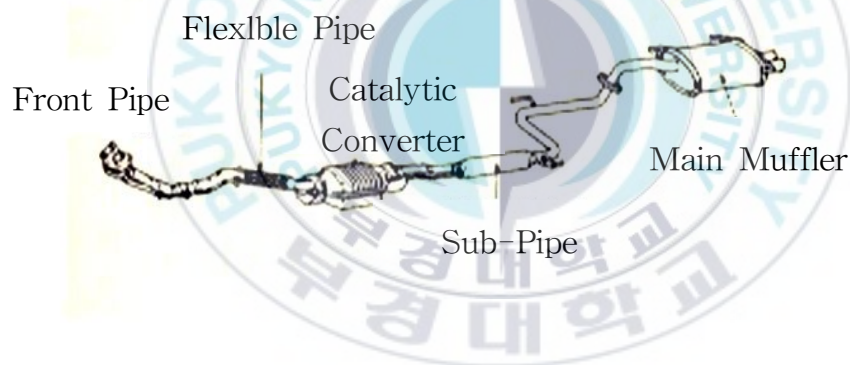


Fig. 1 The schematic diagram of exhaust system

(1) 소음기(muffler)

소음기는 여러개의 리브(rib)와 흡음재 그리고 다공형 파이프로 구성되어 있는데 입구에서 들어오는 엔진음은 단면변화(축소/확대)를 거치는 동안 서서히 사라지기 시작한다. 즉 배기가스의 유동경로를 중간에 단열팽창을 일으키도록 확장공간을 두는 방식을 사용하여 배기가스를 저온 저압의

상태로 만드는 것이다. 그러나 소음을 줄이기 위하여 무작정 단면변화를 심하게 주거나 과도한 흡음재를 사용할 경우 엔진의 배압에 악영향을 미쳐 성능 저하를 가져오게 된다.

Fig 2는 본 실험에서 사용한 소음기의 단면도이다.

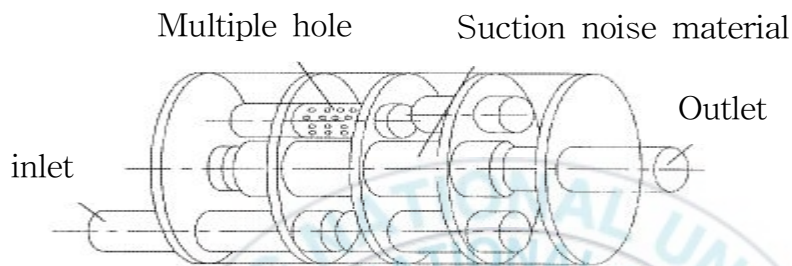


Fig. 2 An inside structure of the automotive muffler

(2) 촉매 변환장치(Catalytic Converter)

촉매 변환장치는 내연기관에서 배출되는 CO, HC, NO_x 등의 유해한 가스를 산화 환원반응을 통하여 무해한 가스로 변환하는 장치이다. 촉매 장치의 작동온도는 약 900℃이다.

Fig 3은 촉매 장치의 내부 구조이다

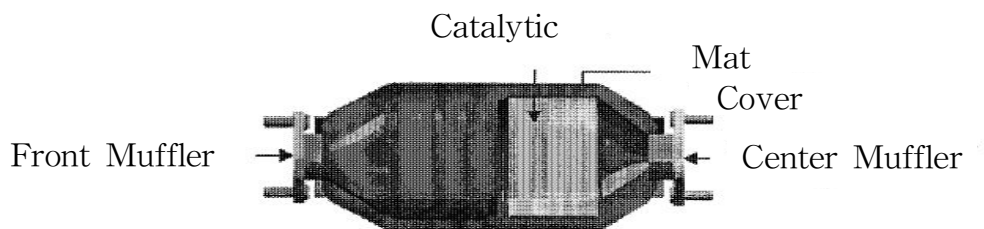


Fig. 3 The schematic diagram of exhaust catalytic converter

2.2 내연기관 연소가스측 부식성

내연기관 연소가스측의 부식인자는 주로 화석연료유 중의 바나듐(V, vanadium), 유황화합물(SO_2 , SO_3 , H_2S), 질소화합물(NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3), 산화물(O_3 , CO , CO_3), 염화나트륨(NaCl , sodium chloride) 및 산소 등이 있다. 일반적으로 이러한 부식인자들은 V 화합물에 의해서 고온부식이라 불리는 용융염에서 가속산화하는 고온부식의 경우와 유황화합물 등이 노점현상에 의해 응결수에 용입되면 산성에 의한 저온부식이라 불리는 노점부식으로 분류되기도 한다⁽¹⁸⁾.

2.2.1 연소가스측 고온부식

고온부식(가속산화)은 연소가스 중에서 기계재료의 부식에 대해서는 그다지 많이 알려져 있지 않다. 그러나 가속산화의 부식매체가 전해질이기 때문에 그 부식 기구는 전기화학적 기구일 것이라고 추측된다. 이러한 염이나 slag의 액체 층에 산소 또는 Mo 및 V와 같은 산소 운반 인자가 존재하게 되면 부식성이 더욱 커져서 소위 가속산화(catastrophic oxidation)를 일으키는 원인이 된다. 이러한 부식 환경의 예로서 연료유 중에 함유되어 있는 유황과 염화나트륨은 V_2O_5 의 촉매작용에 의해 재료표면에 다음과 같은 액상의 Na_2SO_4 막(film)을 형성함으로써 용융염부식인 고온부식(hot corrosion)이

발생된다^(19, 20).



여기서 Na_2SO_4 의 용융점은 884°C 이지만 환경에 따라 NaCl 과 NaVO_3 등의 염과 반응하면 더 낮은 용융점을 형성할 수도 있으며, 또 Na_2SO_4 가 V_2O_5 와 공존하면 V_2O_5 의 용점이 낮아지므로 V_2O_5 의 부식을 더욱 심하게 된다.

이러한 가속산화는 연료유에 비해 과잉공기량이 높은 가스터빈의 블레이드와 노즐 등에서 주로 발생되지만 V 화합물이 적은 연료유의 경우에 적절한 공연비를 적용하는 보일러의 연소실이나 과열기(superheater), 내연기관의 연소실, 배기밸브, 배기관 및 소음기 등에서 가속산화는 잘 일어나지 않는다.

2.2.2 연소가스측 저온부식

저온부식은 내연기관의 실린더 라이너, 배기밸브, 배기관, 소음기, 고온고압 보일러의 에코노마이저(economizer), 탈황설비, 공기예열기(air preheated), 연소가스연도, 콘덴싱 온수보일러, 소각장치 등에서 주로 발생되고 있다.

연료유중의 유황분(S)은 연소에 의해서 SO_2 로 되고 그 일부는 다

시 산화하여 SO₃가 된다. SO₃가 생기면 연소가스중의 수증기는 Fig. 2-1과 같이 노점이 상승되고 연소가스가 접한 부위에 그 노점보다 낮은 부위가 있으면 그 부위에 결로현상에 의해 생성된 응축수에 SO₃가 혼입함으로써 식 (2)와 같이 황산이 되고, 황산은 심한 산성부식을 일으키므로 이를 노점부식(dew point corrosion) 또는 저온부식이라고 한다^(21, 22).

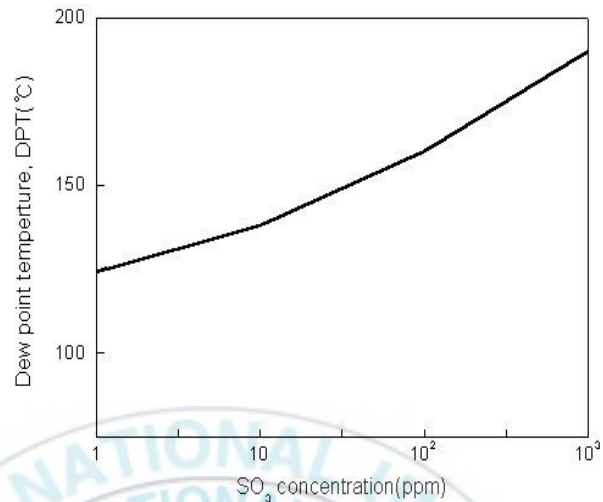
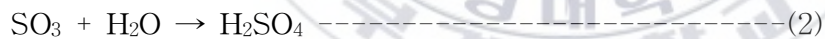


Fig. 4 Dew point temperature VS SO₃ concentration

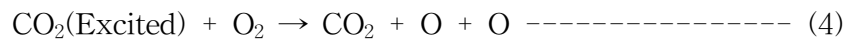
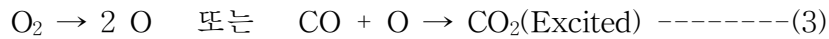


연소가스에 의한 노점부식의 주 원인은 연료중의 유황분이 연소에 의해 SO₃가 생성에 의한 것이므로 이에 대한 생성 기구는 다음과 같다.

① 원자상의 산소에 의한 산화기구

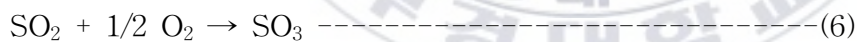
SO₂와 연소화염 가운데 원자상의 산소가 결합하여 SO₃가 되는

과정은 다음 반응과 같다^(23, 24, 25).



② 촉매에 의한 산화기구

연소가스중의 내화물 및 금속표면에 생성된 Fe_2O_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, V_2O_5 등의 촉매작용에 의해 다음과 같이 SO_2 를 다시 산화하여 SO_3 가 된다.



이와 같이 연소가스중의 노점부식은 SO_3 에 의해서 주로 발생하며, 이러한 SO_3 가 생성되는 주 요인은 Fig. 2와 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 연료유중의 유황(S)과 연소시의 과잉공기율(공기 중의 산소)에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다.

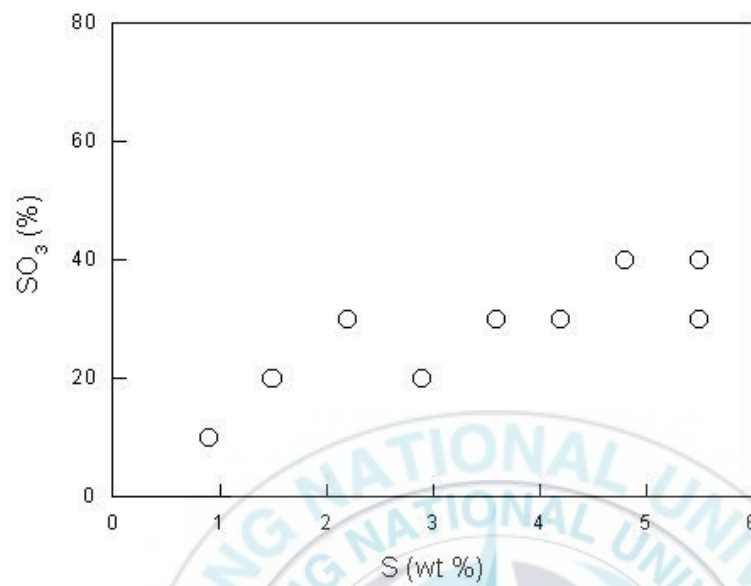


Fig. 5 S(wt%) of fuel oil vs SO₃

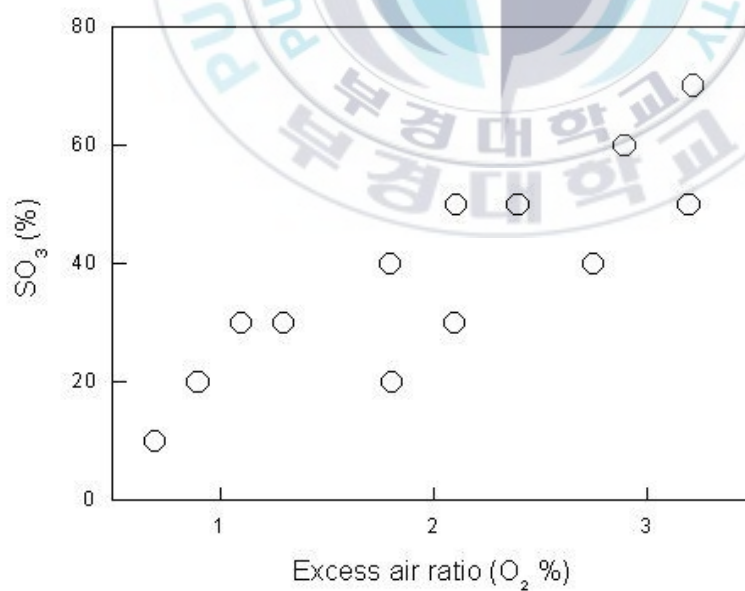
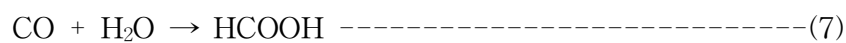


Fig. 6 Excess air ratio vs SO₃

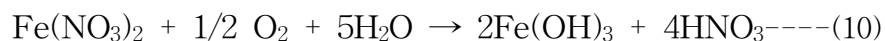
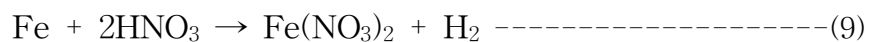
또한 연소가스 중의 산화물인 CO 가스는 연소가스가 접한 부위에 그 노점보다 낮은 부위가 있으면 그 부위에 결로현상에 의해 생성된 응축수에 CO 가스가 혼입함으로써 식 (7)과 같이 개미산이 되고, 개미산은 심한 산성부식, 즉 저온부식을 일으킨다⁽²⁶⁾.



그리고 연소가스 중의 질소산화물(NO, NO², NO³)인 NO_x는 대기 중에서 쉽게 산화하여 NO₂로 변화하고 연소가스가 접한 부위에 그 노점보다 낮은 부위가 있으면 그 부위에 결로현상에 의해 생성된 응축수에 NO₂ 가스가 혼입함으로써 식 (8)과 같이 질산(HNO₃)이 되고, 질산은 심한 산성부식, 즉 저온부식을 일으킨다⁽²⁷⁾.



이러한 질산(2HNO₃)은 철강(Fe)재와 반응하여 다음 (9) 및 (10) 식과 같이 반응하여 철강재를 부식손상을 일으킨다.



2.3 자동차용 소음기의 부식 사례

자동차용 소음기는 고온의 배기가스가 상온의 소음기 내부를 통과하면서 급격히 온도가 낮아지므로써 소음기 내부에 결로현상에 의해 응축수가 발생되고, 겨울철이나 한냉지역에서는 응축수가 과다하게 발생될 수도 있다. 이러한 응축수에 의해 소음기의 전기화학적인 부식손상을 일으키고 있다. 특히, 내연기관의 배기가스 중에 유황화합물, 질소화합물, 산화물 등의 유해 가스는 응축수에 혼입되면 산성화된 응축수가 된다. 또한 내연기관의 종류에 따라서는 연료유 중에 약간 혼입된 Cl_2 , HCl 및 NaCl 등이 연소한 연소가스가 응축수에 유입하면 응축수의 비저항이 낮아지는 원인이 되기도 한다. 이처럼 산성화되거나 비저항이 낮아진 응축수에 의해 소음기의 부식손상은 더욱 가속되고 있다. 이러한 소음기의 부식에 의한 손상은 Photo. 1과 같이 접합부에서 간극부식이 발생하여 공식으로 진행되어 약간 천공되어 연소가스가 누설되고 있으며, Photo. 2도 Photo 1과 같이 접합부에서 간극부식이 발생하여 공식으로 심하게 진행되어 크게 천공되어 연소가스가 누설되고 소음이 높게 되면서 대기환경오염을 유발할 수 있다.



Photo. 1 Appearance of corrosion damage of muffler



Photo. 2 Appearance of corrosion damage of muffler

3. 시험편 및 실험방법

3.1 시험재료

본 실험에 사용된 시험편의 재료는 자동차용 소음기의 재료로 시판되고 있는 H사의 알루미늄합금재의 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 같고, S사의 페라이트계 스테인리스강재의 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of Al-alloy for muffler

Chemical composition(Wt%)				Mechanical properties	
Si	Fe	Mg	Al	Y.S (Mpa)	T.S (Mpa)
13.08	0.99	0.80	79.51	365	295

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of Ferritic Stainless steel for muffler

Chemical composition(Wt%)					Mechanical properties	
C	Si	Mn	Cr	Mo	Y.S (Mpa)	T.S (Mpa)
0.03	0.61	1.50	21.65	2.51	390	620

3.2 전기화학적 부식 시험편

부식실험에 사용된 자동차용 소음기 재료의 전기화학적 분극시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 이들 재료의 판재로부터 절취하여 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 2 mm의 크기로 제작함으로써 유효노출면적을 1.0 cm^2 로 하였으며, 전기화학적 분극시험을 위한 시험편의 형상과 크기는 Fig. 7과 같다.

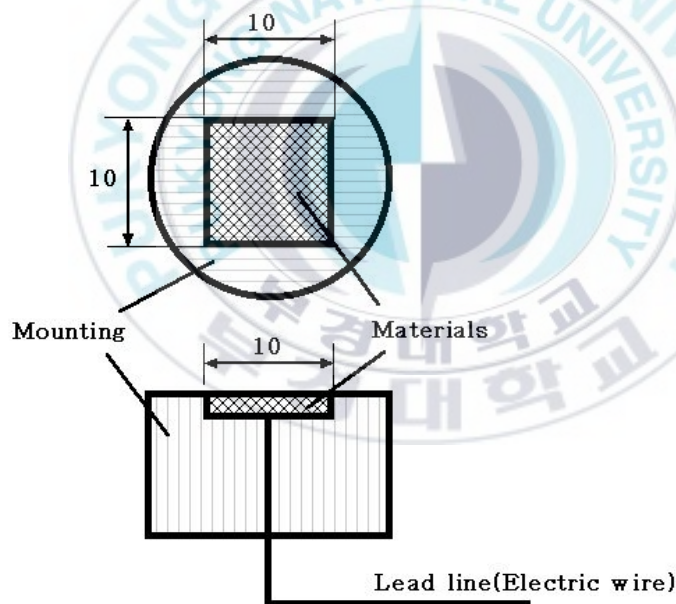


Fig. 7 Dimension of polarization test specimen(unit :mm)

이 시험편의 제작에 있어서 가공경화 및 열응력을 배제하기 위

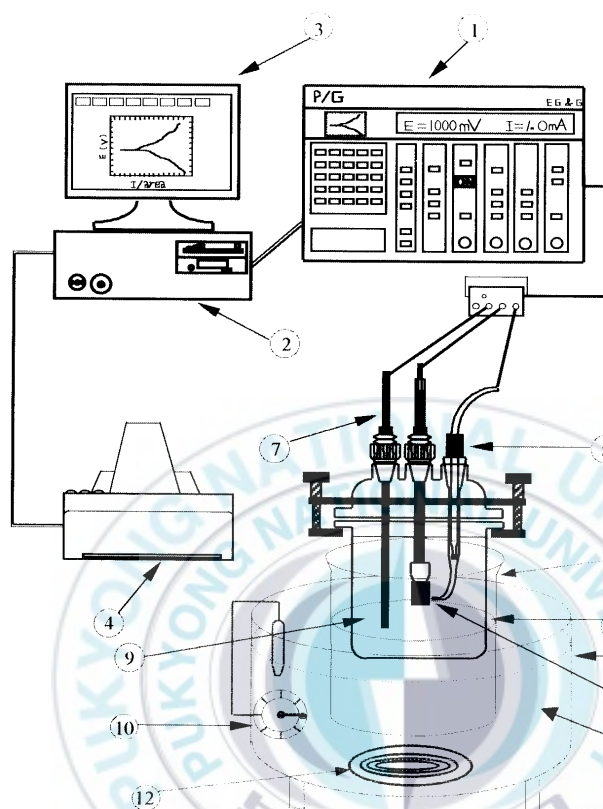
해 시험재료를 다이아몬드 휠 커터로 저속 절단한 후 시험편에 전선을 연결시키고, 호마이커로 마운팅(mounting)하였다.

그리고 Fig. 7의 부식시험편 표면을 #400~1200번까지의 에머리 페이퍼를 이용하여 단계적으로 연마한 다음, 시험편 표면 거칠기의 영향을 최소화 및 동일화하기 위하여 연마기에서 산화알루미늄(Al_2O_3 , 평균입자크기=0.3 μm)분말을 이용하여 시험편 표면을 마무리 연마하였다. 또한 증류수 중에서 초음파 세척기로 1분간 세척한 다음, 아세톤으로 탈지한 후 열풍으로 건조시켰다. 최종적으로 시험편과 호마이커 사이의 틈을 방지하고, 일정한 시험편의 유효노출면적($1cm^2$)을 얻기 위하여 래커(lacquer)를 이용하여 2차 피복을 하였다.

3.3 부식 실험장치

본 실험에 사용된 부식 특성시험에 이용될 실험 장치는 다른 부식·방식의 평가법 보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식 및 방식 평가법으로 많이 이용되고 있는 전기화학적 분극시험을 실시하였다.

이 전기화학적 분극실험장치의 전체 계통도는 Fig. 8과 같고, Photo. 3은 분극실험장치의 외관이다. 이 전기화학적 분극실험장



- | | | |
|----------------------------|--------------------------|------------------|
| ① Potentiostat/Galvanostat | ⑥ Specimen | ⑪ Heater body |
| ② Personal computer | ⑦ Counter electrode | ⑫ Heating coil |
| ③ Monitor | ⑧ Reference electrode | ⑬ Silicone oil |
| ④ Printer | ⑨ Electrolyte | ⑭ Heating beaker |
| ⑤ Corrosion cell | ⑩ Temperature controller | |

Fig. 8 Schematic diagram of potentiostat equipment

치는 기준전극으로 포화카로멜기준전극(SCE)을 사용하고, EG & G社의 Model 273A Potentiostat/ Galvanostat와 PC를 이용하였으며, M 352/252 corrosion software를 사용하여 분극 특성시험을 실시하였다. 여기서, 부식시험은 부식환경조 중에서 자동차용 소음기 재료에 따른 시험편을 작동전극으로 하고, 기준전극은 포화카로멜전극(Saturated calomel electrode, SCE), 보조전극(Counter electrode)은 고밀도 탄소봉으로 하였다.



Photo. 3 Appearance of polarization test equipment

3.4 부식 실험방법

본 연구의 부식실험에 사용된 팽창플러그의 분극거동을 EG & G 社의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat → Personal computer(M 352/252 corrosion software 장착) → Monitor 등을 거쳐서 Printer에서 분극곡선, 부식반응선도 및 부식 Data가 기록되도록 하였으며, 이 분극실험에 대한 흐름도(flow chart)를 Fig. 9에 나타내었다.

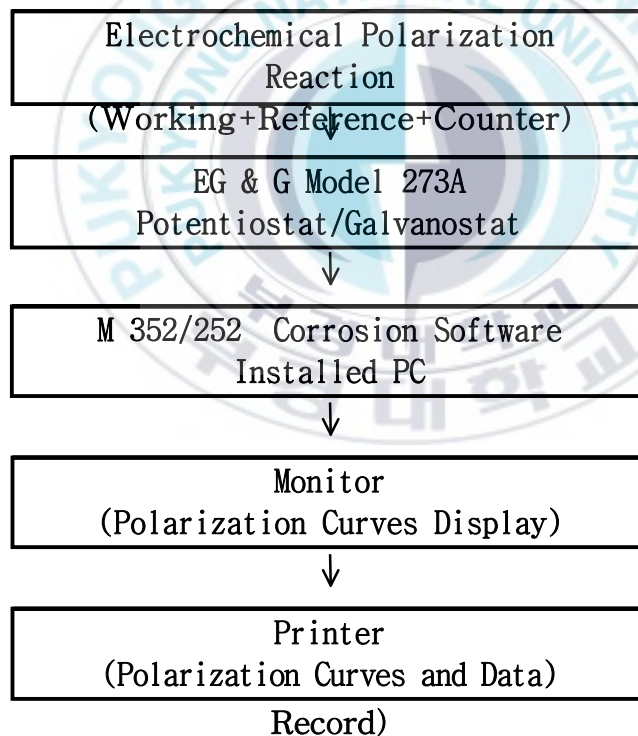


Fig. 9 Flow chart of polarization test equipment

소음기에서 응결되는 응축수의 부식환경 조건은 2.2.2절에서 기술된 바와 같이 응축수 중에 SO_3 가 혼입함으로써 소음기의 저온부식이 일어나므로 pH 6.5(중성)인 증류수 중에 황산(H_2SO_4)을 소량씩 첨가하여 약산성인 pH 4.0 및 강산성인 pH 2와 pH 0.5로 각각 일정하게 유지하였다.

또 각 부식용액의 온도는 가열코일이 부착된 oil bath에 실린 콘 오일을 주입하였으며, oil bath에 부식환경조를 설치하였다. 부식용액의 온도는 온도감지기를 설치하여, 온도를 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 범위 내에서 유지하도록 하였다.

그리고 전기화학적 분극시험에 있어서 Fig. 7의 부식시험편을 증류수 중에서 초음파세척기로 세척한 다음, 아세톤으로 탈지한 후 열풍으로 건조시켰다. 이와 같이 표면처리된 부식시험편을 Fig. 8의 분극시험장치의 회로도와 같이 배선하였고, 시험편을 부식환경조에 침지한 후 자연전위에서 10분간 안정시키고 난 후 각 분극시험을 실시하였다.

이와 같은 전기화학적 분극실험조건은 Table 2와 같고, 분극저항을 알기 위한 Linear 분극실험, 부식전류밀도 및 부식률을 구하기 위하여 Tafel 분극실험, 유속이나 응력에 의한 양극전위 상승에 따른 부식거동을 고찰하고자 양극분극실험 및 틸부식과 공식(pitting)을 규명하고자 Cyclic 분극실험을 실시하였다.

Table 2 Experimental conditions of the polarization test

Instrument	EG & G Model 273A	
Electrolyte	Distilled water	
	pH	0.5, 2.0, 4.0 and 6.5
	specific resistance($\Omega \cdot m$)	100, 500, 1000 and 4000
Material	for muffler	
Scan rate	0.167 mV/s	
Surface area of specimen	1.0 cm ²	
Polarization test	Linear polarization test, Tafel polarization test Anodic polarization test, Cyclic polarization test	
Temperature	25 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C	

4. 실험결과 및 고찰

4.1 응축수의 pH 변화에 따른 분극저항 특성

직선분극법(linear polarization method)은 어떤 주어진 전류에서 부식속도가 낮아짐에 따라 분극저항의 정도는 커지고, 부식전위로부터 낮게 분극($\Delta E=0.02V$)시킨 전위영역에서 직선이 얻어지며, 이 직선의 기울기는 부식전류(부식속도)에 반비례한다는 것이 확인되었다⁽²⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 응축수 중에서 SOx 성분의 pH 변화에 따른 소음기의 Al-합금 및 스테인리스강의 linear 분극특성과 분극저항을 비교·고찰하였다.

4.1.1 응축수의 pH 변화에 따른

Al-합금의 분극저항 거동

Fig. 10은 SOx 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 Al-합금의 Linear 분극곡선(초기전위 : -20 mV/SCE, 최종전위 : 20 mV/SCE)을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

초기전위(initial potential)에서부터 최종전위(final potential)까지 인가한 전위범위에서 소음기 재료인 Al-합금의 부식전류밀도 변화는

중성으로부터 pH가 낮아지면서 더 높게 배류되는 경향을 보이고 있다 .

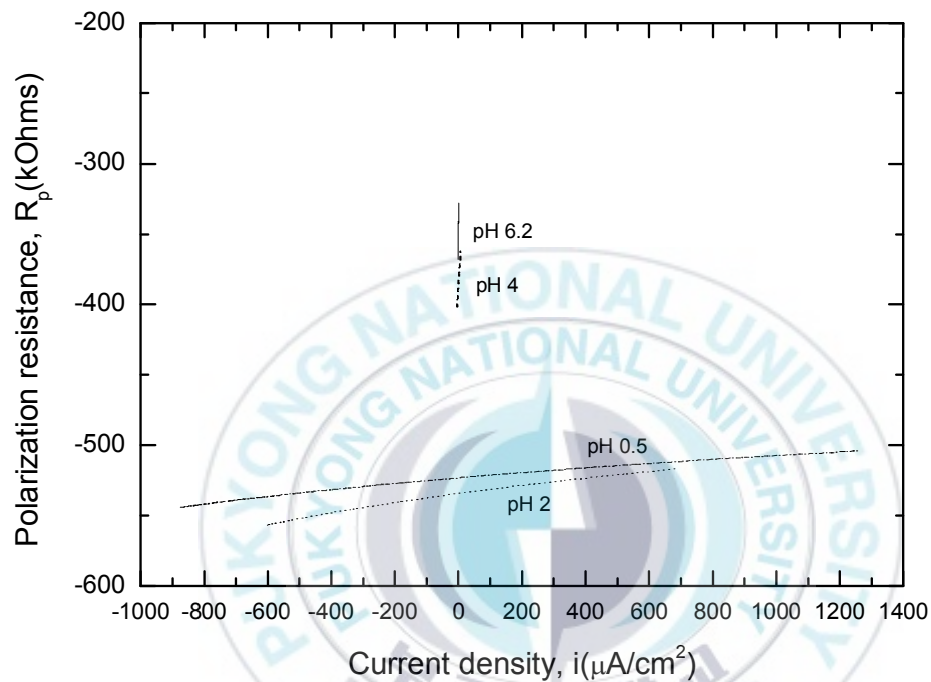


Fig. 10 Linear polarization curves of Al-alloy for muffler
in various pH solution at 25⁰C(SOx)

또 중성인 pH 6.2로부터 약산성인 pH 4.0로 변화됨에 따라 소음기 재료인 Al-합금의 부식전위는 낮아지다가, pH가 강산성인 pH 0.5의 수용액 중에서의 전위는 pH 2.0 수용액 중에서의 부식전위보다 오히려 부식전위가 더 높아지는 경향을 보이고 있다.

또한 수용액의 pH가 높아질수록 즉 중성인 pH 6.2나 약산성인

pH 4에서 소음기 재료인 Al-합금의 부식전류밀도가 억제되면서 기울기는 90^0 에 접근되고, 강산성인 pH 2로부터 pH 0.5로 낮아지면서 산성화될수록 소음기 재료인 Al-합금의 부식전류밀도 변화는 크게 되면서 Linear 분극거동의 기울기는 더 적게 나타남으로써 직선분극법(linear polarization method)에서 직선의 기울기는 부식전류밀도(부식 속도)에 반비례하는 것으로 판단된다⁽²⁹⁾. 그리고 중성으로부터 pH가 낮아지면서 산성화될수록 부식전류밀도 변화가 크게 됨으로써 분극저항은 작아질 것으로 추정된다.

Fig. 11은 SOx 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 Al-합금의 분극저항을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

이미 Fig. 4에서 추정된 바와 같이 중성인 pH 6.2로부터 pH가 낮아지면서 산성화될수록 부식전류밀도 변화가 크게 됨으로써 분극저항은 낮아지고 있음을 실제로 보여 주고 있다. 즉, 중성인 pH 6.2로부터 강산성인 pH 2.0 까지 분극저항은 거의 선형적으로 낮아지지만, pH 2.0 으로부터 pH 0.5 까지의 분극저항은 둔화되는 경향을 보이고 있다. 즉, SOx성분이 증가함으로써 응축수의 pH가 낮아지면서 분극저항은 감소되고 있음을 알 수 있다.

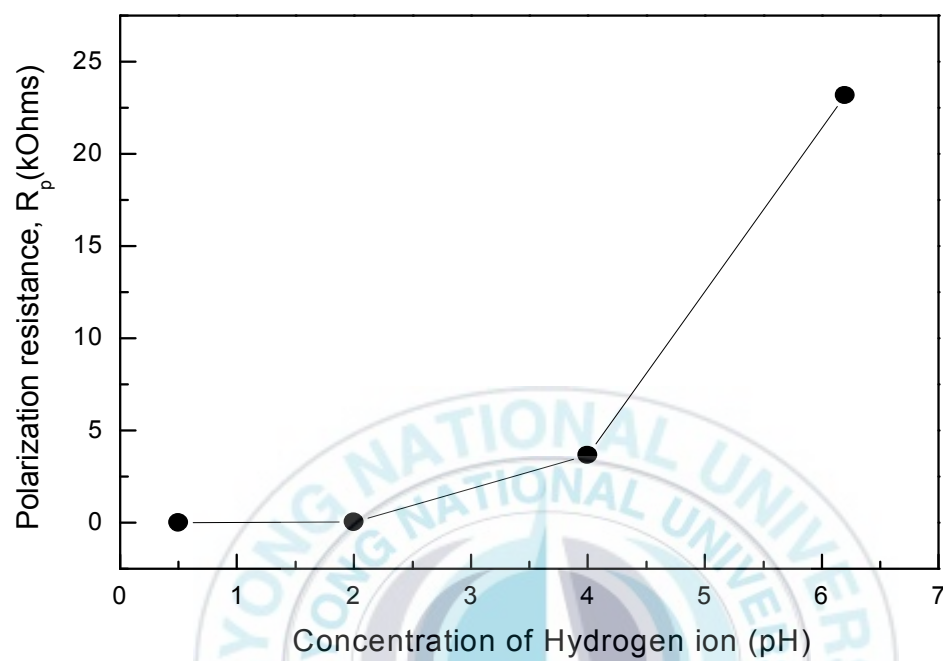


Fig. 11 Polarization resistance of Al-alloy for muffler in various pH solution at 25°C(SOx)

4.1.2 응축수의 pH 변화에 따른

스테인리스강의 분극저항 거동

Fig. 12는 SO_x 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 스테인리스강의 Linear 분극곡선(초기전위 : -20 mV/SCE, 최종전위 : 20 mV/SCE)을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25±1 °C이다.

초기전위로 부터 최종전위까지 인가한 전위범위에서 소음기 재료인 스테인리스강의 부식전류밀도 변화는 중성으로부터 pH가 낮아지면서 더 높게 배류되는 경향을 보이고 있다. 특히, pH 6.2로부터 pH 2.0까지는 부식전류밀도가 억제되지만, 강산성인 pH 0.5에서의 부식전류밀도는 급격히 증가되고 있음을 알 수 있다.

또 Fig. 12의 Al-합금재와는 달리 중성인 pH 6.2로부터 산성화 즉, pH가 낮아지면서 소음기 재료인 스테인리스강의 부식전위는 비전위화되는 경향을 보이고 있다.

또한 수용액의 pH가 높아질수록 즉 중성인 pH 6.2나 약산성인 pH 4에서 소음기 재료인 스테인리스강의 부식전류밀도가 억제되면서 기울기는 90°에 접근되고, 강산성인 pH 2로부터 pH 0.5로 낮아지면서 산성화될수록 소음기 재료인 스테인리스강의 부식전류밀도 변화는 크게 되면서 Linear 분극거동의 기울기는 더 적게 나타남으로써 직선분극법에서 직선의 기울기는 부식전류밀도(부식속도)에 반비례하는 것으로 판단된다^{4,2)}. 그리고 중성으로부터 pH가 낮아지면서 산성화될수

록 부식전류밀도 변화가 크게 됨으로써 분극저항은 작아질 것으로 추정된다.

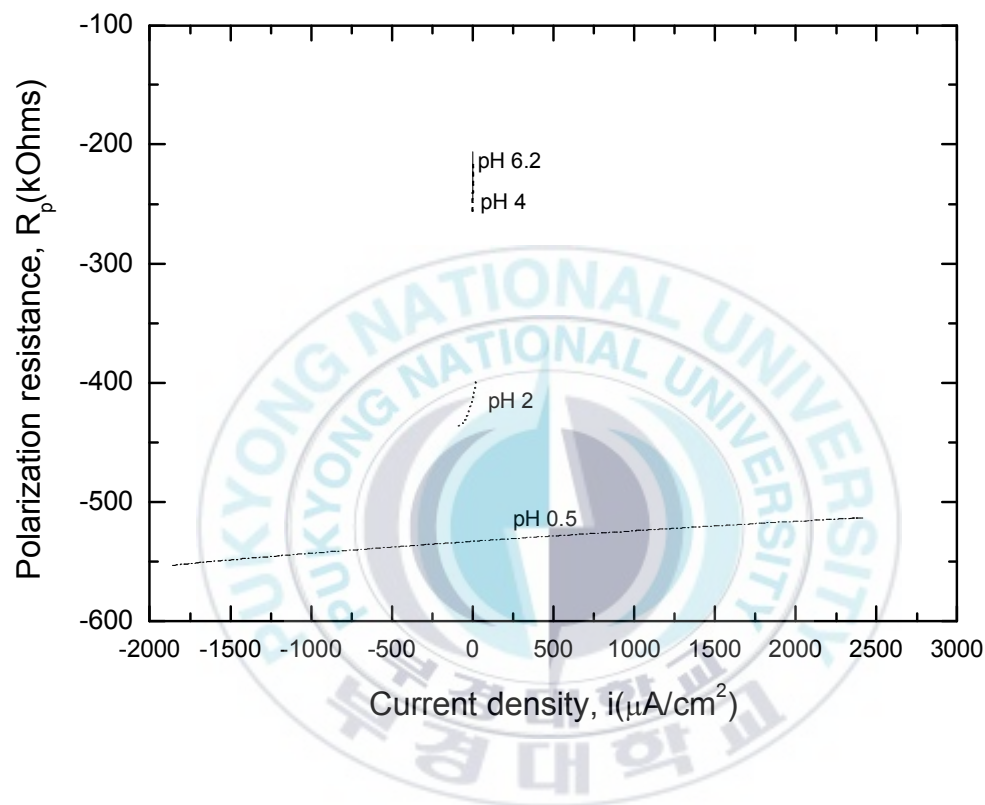


Fig. 12 Linear polarization curves of stainless steel for muffler in various pH solution at 25⁰C(SOx)

Fig. 13은 SOx 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 스테인리스강의 분극저항을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25±1 °C이다.

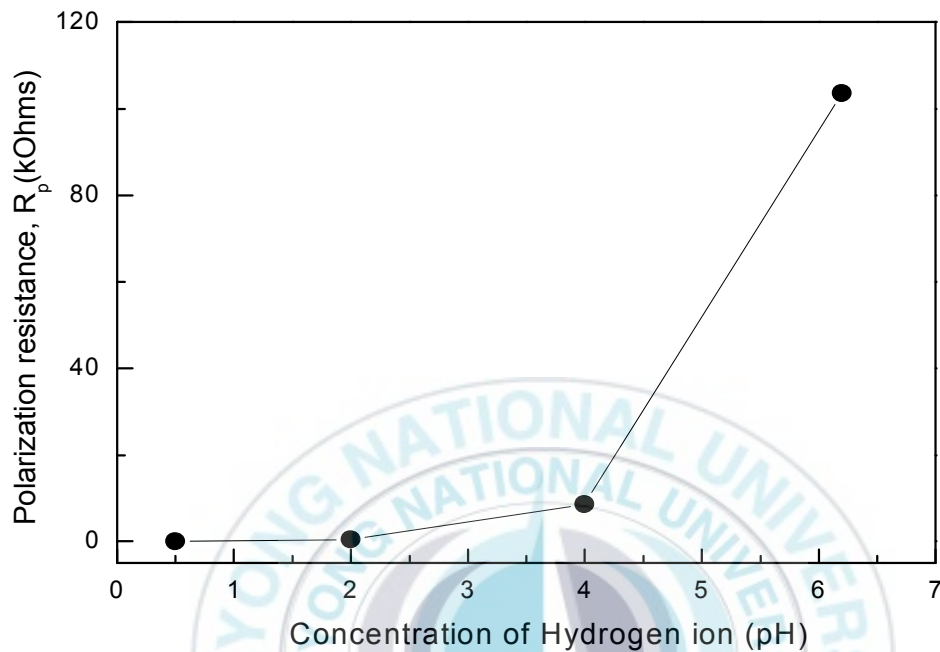


Fig. 13 Polarization resistance of stainless steel for muffler in various pH solution at 25⁰C(SOx)

이미 Fig. 6에서 추정된 바와 같이 중성인 pH 6.2로부터 pH가 낮아지면서 산성화될수록 부식전류밀도 변화가 크게 됨으로써 분극저항은 낮아지고 있음을 실제로 보여 주고 있다. 즉, 중성인 pH 6.2로부터 약 산성인 pH 4.0 까지 분극저항은 급격히 낮아지다가 pH 4.0으로부터 pH 0.5 까지의 분극저항은 둔화되는 경향을 보이고 있다. 즉, 소음기 재료인 스테인리스강에서도 SOx성분이 증가함으로써 응축수의 pH가 낮아지면서 분극저항은 감소되고 있음을 알 수 있다.

4.1.3 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 분극저항 거동 비교

Fig. 14는 SO_x 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강의 분극저항을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25±1 °C이다.

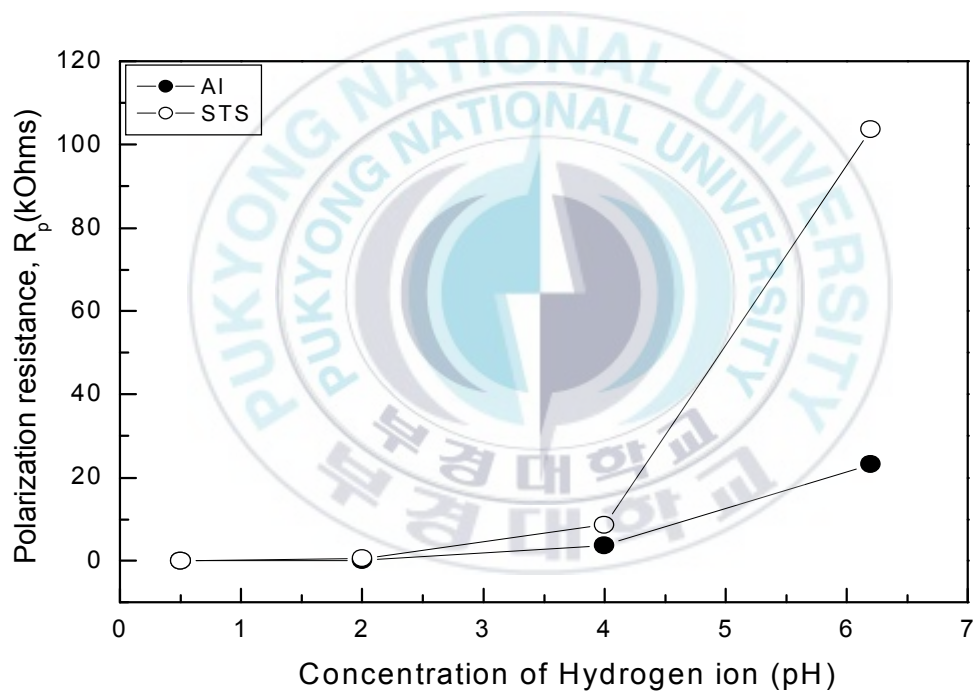


Fig. 14 Polarization resistance of Al-alloy and stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C(SO_x)

SOx 성분에 의해 강산성화된 pH 0.5인 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 분극저항(18.1 Ohms)은 스테인리스강의 분극저항(9.8 Ohms)보다 약간 높게 나타나지만, 강산성인 pH 2인 응축수 중에서 Al-합금의 분극저항(30.5 Ohms)은 스테인리스강의 분극저항(490.8 Ohms)보다 매우 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 pH 4(약산성) 및 pH 6.2(중성)인 응축수 중에서 pH가 증가할수록 오히려 스테인리스강의 분극저항이 Al-합금의 분극저항보다 점차적으로 더 높게 나타나는 경향을 보이고 있다.

이와 같이 pH 2(강산성), pH 4(약산성) 및 pH 6.2(중성)인 응축수 중에서 pH가 증가할수록 스테인리스강의 분극저항이 Al-합금의 분극저항보다 점차적으로 더 높게 나타나는 이유는 Cr이 함유된 스테인리스강은 부동태화재료이기 때문인 것으로 사료된다⁽³⁰⁾.

그리고 강산성인 pH 0.5인 응축수 중에서 Al-합금의 분극저항은 스테인리스강의 분극저항보다 약간 높게 나타나는 이유는 Photo. 4와 같이 심한 공식인 국부부식으로 인해 부식생성물이 시험편 표면에 부착함으로써 Al-합금의 분극저항이 스테인리스강보다 더 높게 나타나는 원인으로 생각된다.

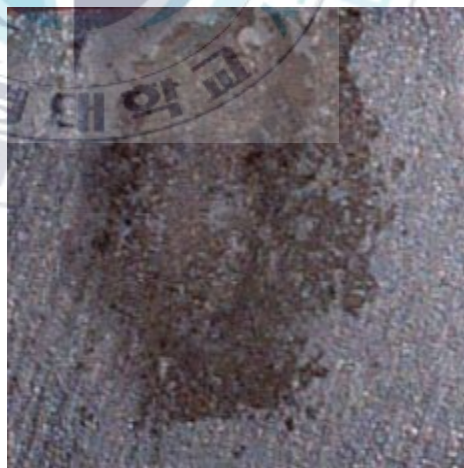


Photo. 4 Appearance of linear polarization test for Al-alloy in pH 0.5 solution(SOx)

4.2 응축수의 pH 변화가 전면부식속도에 미치는 영향

부식 환경 중에서 전면부식속도를 측정하기 위한 방법은 무게감소량에 의한 방법(weight loss measurement)과 전기화학적분극(polarization)에 의한 방법이 있다. 무게감소량에 의한 방법은 재래식 방법에 의해서 전면부식속도를 결정하는데 수일 또는 그 이상의 장기간이 소요된다. 그러나 전기화학적 분극에 의한 전면부식속도의 측정법은 단 시간에 걸친 부식실험으로 전면부식속도를 결정할 수 있고 비파괴 시험이기 때문에 동일한 시험편으로 부식속도를 연속적으로 측정할 수 있기 때문에 최근 부식공학에 관한 연구 및 현장에서의 부식거동 관찰 등에 유용하게 이용되고 있다⁽³¹⁾.

따라서 본 연구에서는 SO_x 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH 값에 따른 환경조건에서 전기화학적인 Tafel 분극실험을 실시하여, Tafel 외 삼법을 M 352/252 corrosion software로부터 분석하여 구해진 부식전류밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 값으로부터 전면부식인 부식율(corrosion rate, CR)을 다음 식(11)에 따라 계산하였다⁽³²⁾.

$$CR(mm\text{py}) = \frac{0.0033 I_{corr}(EW)}{d} \text{-----}(11)$$

여기서, I_{corr} = Corrosion current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

EW = Equivalent of material (g)

d = Density of material (g/cm^3)이다.

4.2.1 응축수의 PH 변화가 Al-합금의 전면부식 거동에 미치는 영향

Fig. 15는 SO_x 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH
값에

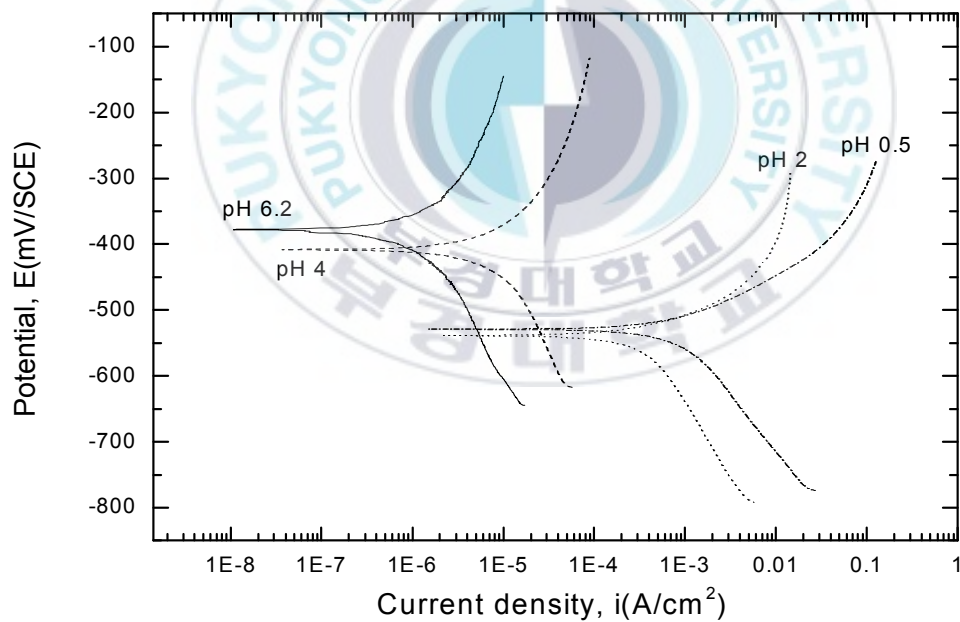


Fig. 15 Tafel polarization curves of Al-alloy for muffler
in various pH solution at 25°C (SO_x)

따른 소음기 재료인 Al-합금의 Tafel 분극곡선(초기전위:-250 mV/SCE, 최종전위 :250 mV/SCE)을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 $^{\circ}\text{C}$ 이다.

개로전위하에서나 양극분극곡선에서 소음기 재료인 Al-합금의 부식전류밀도는 중성인 pH 6.2로부터 pH가 낮아지면서 산성화될수록 더 높게 배류되는 경향을 보이고 있다. 또한 중성인 pH 6.2 수용액 중에서의 개로전위(open circuit potential, OCP)는 산성화(pH가 낮아짐)되면서 더 비전위화되고 있으나 강산성인 pH 0.5에서의 개로전위는 pH 2.0 용액 중에서의 개로전위보다 더 전위화되고 있다.

그리고 부식환경인 응축수의 산성화(SO_x 성분의 증가)에 따른 소

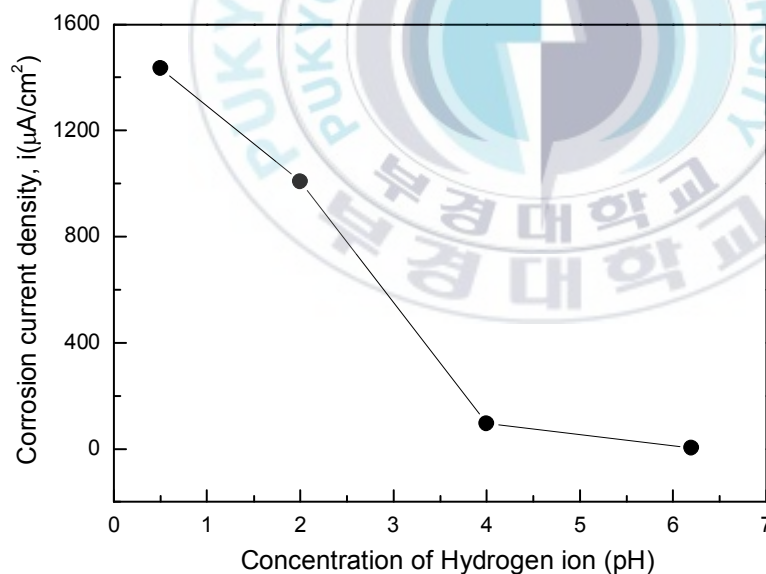


Fig.16 Corrosion current density of Al-alloy for muffler in various pH solution at 25°C (SO_x)

음기 재료인 Al-합금의 부식성을 좀 더 정량적으로 고찰하고자, Fig. 9의 Tafel 분극곡선으로부터 Tafel 외 삼법을 M 352/252 corrosion software로부터 분석하여 구해진 부식전류밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 값을 Fig. 16에 정리하여 나타내었다.

SO_x 성분이 증가하여 중성으로부터 응축수의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 개로전위하의 부식전류밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 17은 부식환경의 산성화에 따른 Fig. 16의 부식전류밀도를

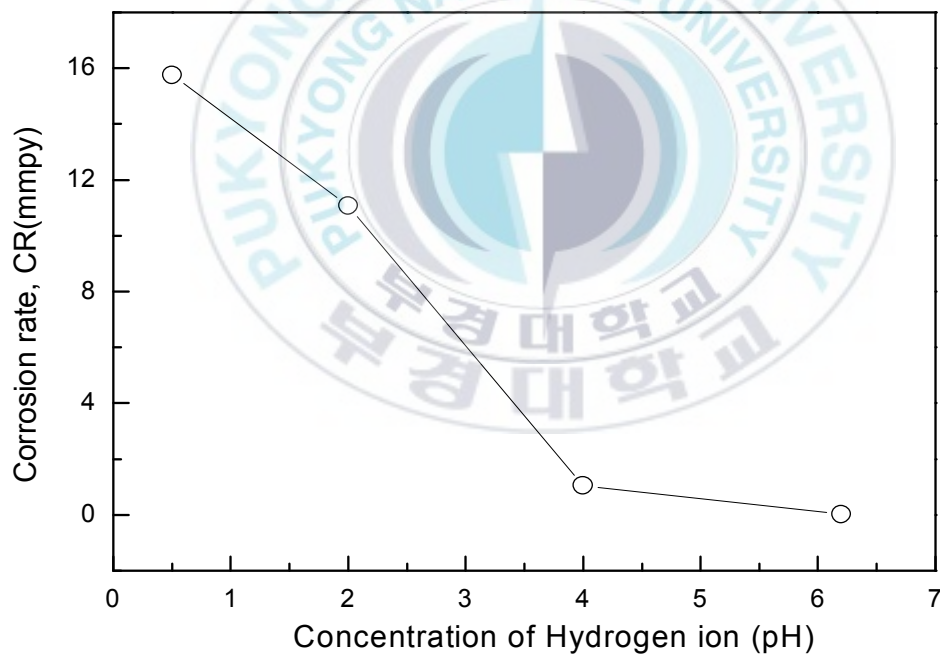


Fig. 17 Corrosion rate of Al-alloy for muffler
in various pH solution at 25°C (SO_x)

식 (1)에 대입하여 계산한 소음기 재료인 Al-합금의 전면부식인 부식율을 나타내고 있다.

SO_x 성분이 증가하여 중성으로부터 응축수의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 Al-합금의 전면부식인 부식율은 높게 나타남으로써 전면부식에 대한 내식성이 저하됨을 알 수 있다.



4.2.2 응축수의 pH 변화가 스테인리스강의 전면부식 거동에 미치는 영향

Fig. 18은 SO_x 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH 값에 따른 소음기 재료인 스테인리스강의 Tafel 분극곡선(초기전위 : -250 mV/SCE, 최종전위 : 250 mV/SCE)을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25±1 °C이다.

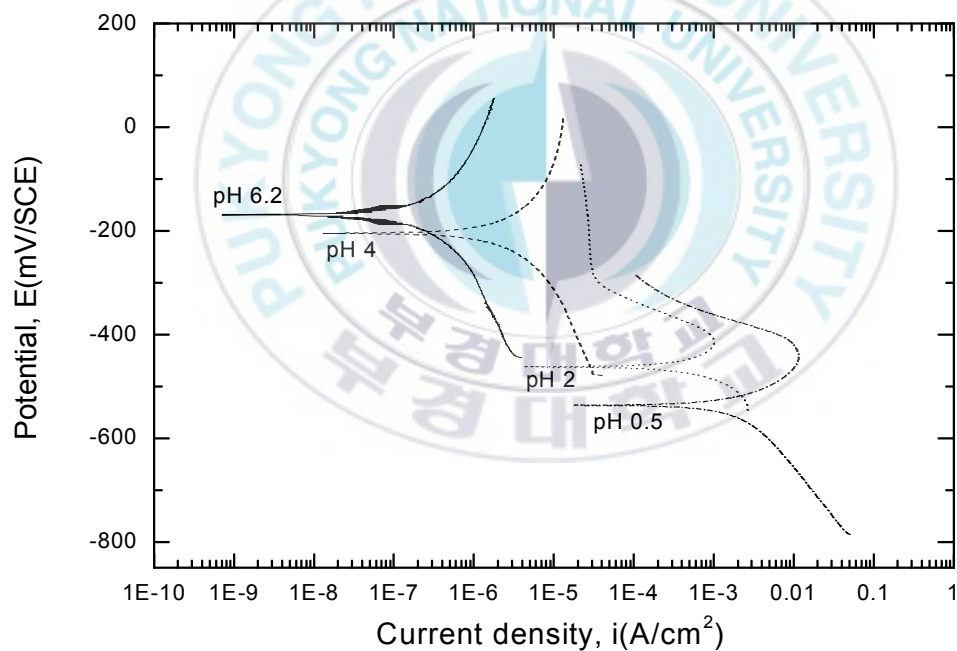


Fig. 18 Tafel polarization curves of stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C(SO_x)

개로전위하에서나 양극분극곡선에서 소음기 재료인 스테인리스강의 부식전류밀도는 중성인 pH 6.2로부터 pH가 낮아지면서(SO_x 성분이 증가) 산성화될수록 더 높게 배류되는 경향을 보이고 있다. 또한 중성인 pH 6.2 수용액 중에서의 개로전위는 산성화(pH가 낮아짐)되면서 더 비전위화되고 있다.

그리고 부식환경인 응축수의 산성화(SO_x 성분의 증가)에 따른 소음기 재료인 스테인리스강의 부식성을 좀 더 정량적으로 고찰하고자, Fig. 18의 Tafel 분극곡선으로부터 Tafel 외 삼법을 M 352/252

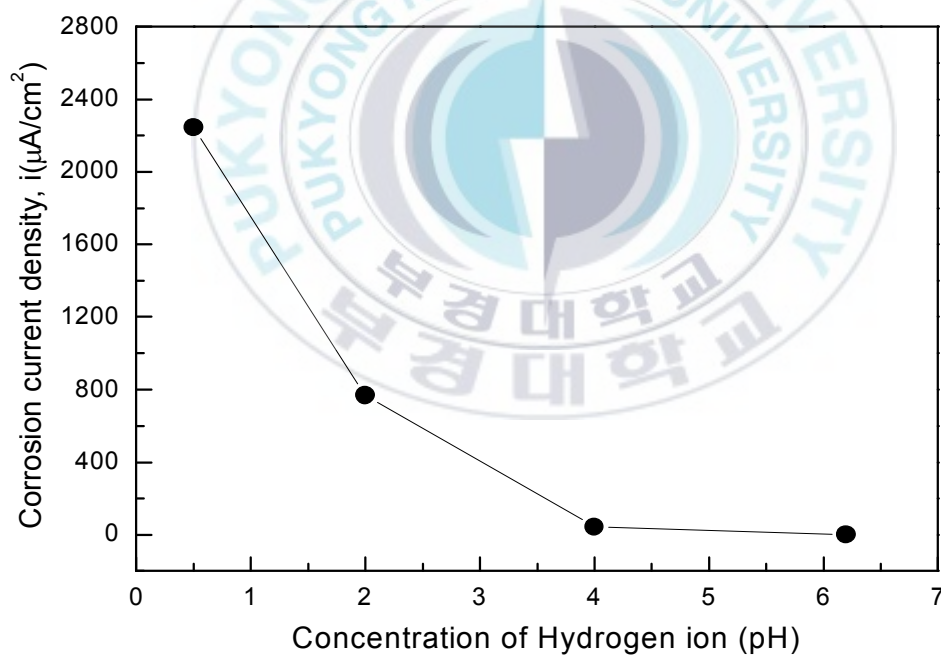


Fig. 19 Corrosion current density of stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C (SO_x)

corrosion software로부터 분석하여 구해진 부식전류밀도($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 값을 Fig. 19에 정리하여 나타내었다.

Fig. 16의 Al-합금재와 같이 SO_x 성분이 증가하여 pH 6.2인 중성 으로부터 응축수의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 개로전위하의 부식전류밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 20은 응축수의 산성화에 따른 Fig. 13의 부식전류밀도를 식 (11)에 대입하여 계산한 소음기 재료인 스테인리스강의 전면부식인 부식율을 나타내고 있다.

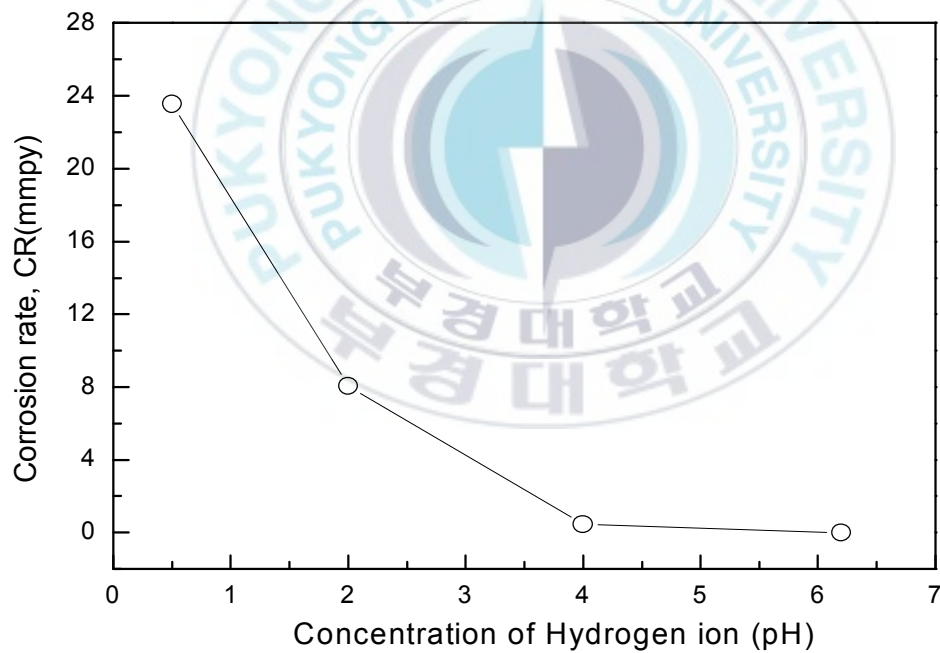


Fig. 20 Corrosion rate of stainless steel for muffler in various pH solution at $25^{\circ}\text{C}(\text{SO}_x)$

SO_x 성분이 증가하여 중성으로부터 응축수의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 Fig. 17의 Al-합금재에서와 같이 스테인리스강의 전면부식인 부식율은 높게 나타남으로써 전면부식에 대한 내식성이 저하됨을 알 수 있다.



4.2.3 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 전면부식 특성 비교

Fig. 21은 SOx 성분에 의해 산성화된 응축수의 여러 가지 pH값에 따른 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강의 전면부식인 부식율을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

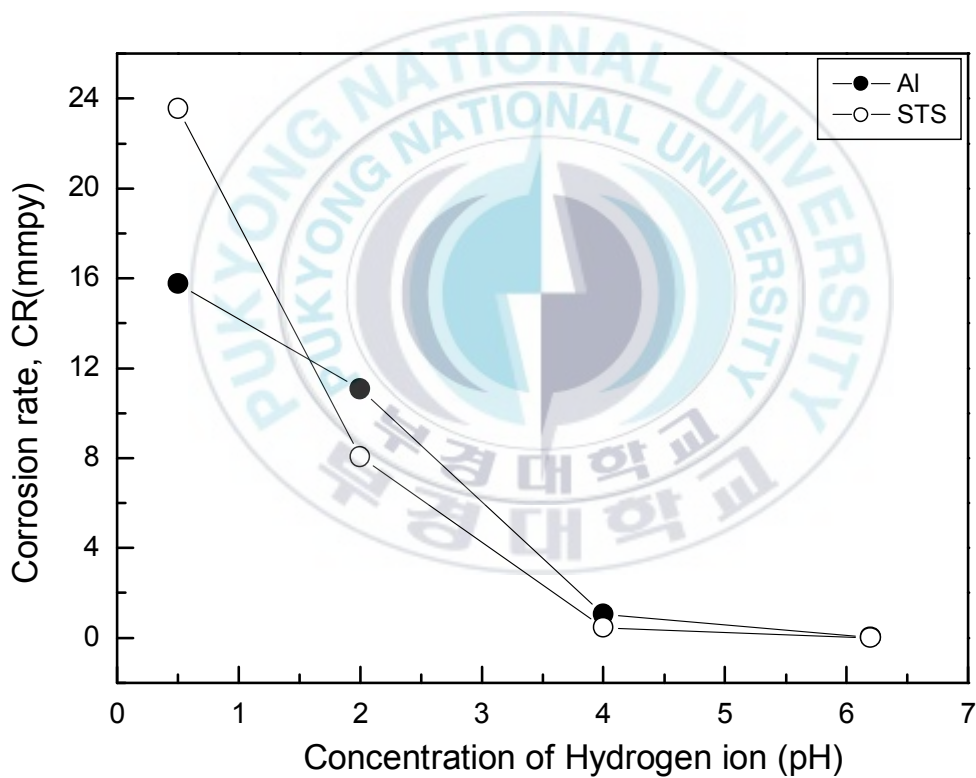


Fig. 21 Corrosion rate of Al-alloy and stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C(SOx)

SO_x 성분에 의해 강산성화된 pH 0.5인 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 부식율은 스테인리스강의 부식율보다 더 낮게 나타나지만, 강산성인 pH 2 및 약산성인 pH 4의 응축수 중에서 Al-합금의 부식율은 스테인리스강의 부식율보다 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 pH 6.2(중성)인 응축수 중에서도 Al-합금의 부식율(0.031 mmpy)은 스테인리스강의 부식율(0.008mmpy) 보다 더 높게 나타나고 있다. 특히, 강산성화된 pH 0.5인 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 부식율은 스테인리스강의 부식율보다 더 낮게 나타나는 이유는 4.1.3절의 Photo. 4에 기술된 바와 같이 Al-합금재에서는 국부부식인 공식이 심하게 일어나면서 부식생성물이 시험편 표면에 부착하기 때문인 것으로 사료된다.

4.3 응축수의 pH 변화가 소음기재료의 양극분극 특성에 미치는 영향

부식환경 중에서 금속구조물에 응력이나 유속이 작용하게 되면 금속의 양극전위는 상승하게 되면서 국부부식은 민감하게 된다. 그러므로 내연기관의 연소가스가 통과하는 소음기는 제작시 잔류응력, 열응력, 진동 및 연소가스의 유속이 작용하게 되므로 응축수중의 SOx 성분에 의한 pH 변화에 따른 소음기의 양극분극곡선에서 양극전위상승에 의해 부식거동을 고찰하였다.

4.3.1 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금 및 스테인리스강의 양극분극 거동

Fig. 22는 중성인 pH 6.2 및 산성인 여러가지 pH 용액 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 양극분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

개로전위로부터 양극전위가 상승하면서 중성인 pH 6.2인 수용액으로부터 수용액의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 부식전류밀도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, 강산성인 pH 2.0 및 pH 0.5 수용액 중에서의 부식전류밀도는 중성인 pH 6.2 및 약산성인 pH 4.0 수용액 중에서의 부식전류밀도보다 더 높게 배류되고 있음을 알 수 있다. 특히, 강산성인 pH 0.5 수용액 중에서의 부식전류밀도는 양극전위 약

450 mV/SCE 까지는 pH 2.0 용액에서의 부식전류밀도보다 더 많이 배류된다. 그러나 양극전위 약 450 mV/SCE 이후부터 강산성인 pH 0.5 용액에서의 부식전류밀도는 급격히 감소하여 강산성인 pH 2.0 및 약산성인 pH 4.0 수용액 중에서의 부식전류밀도보다 더 낮게 배류되고 있음을 알 수 있다. 즉, pH 0.5 용액에서 양극분극거동은 양극전위 약 450 mV/SCE부터 전위가 상승하면서 4.1.3절의 Photo. 4에 기술된 바와 같이 Al-합금재에서는 국부부식인 공식이 심하게 일어나면서 부식생성물이 시험편 표면에 부착하기 때문인 것으로 사료된다.

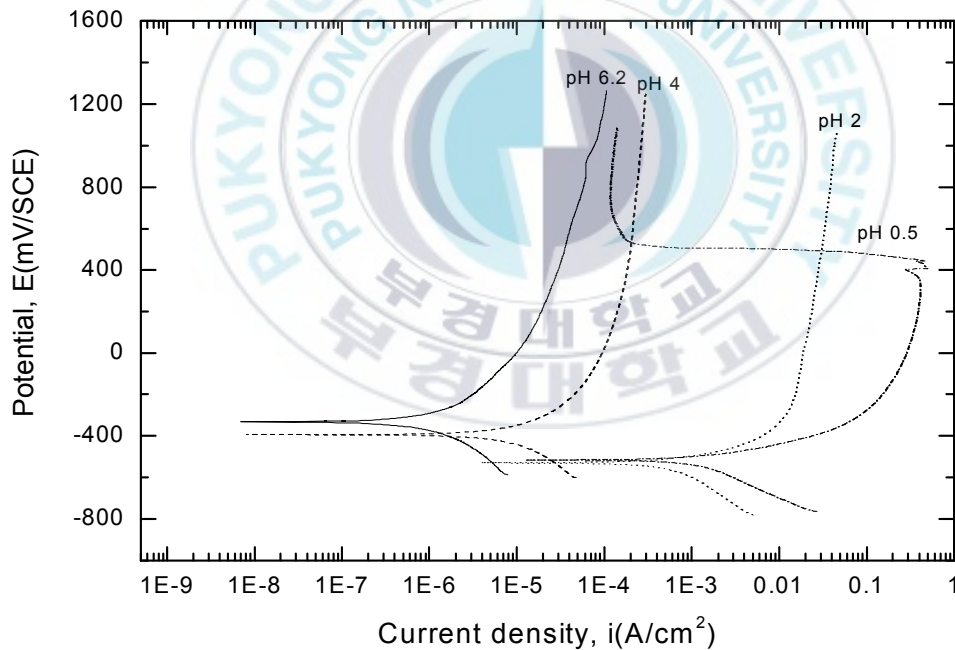


Fig. 22 Anodic polarization curves of Al-alloy for muffler
in various pH solution at 25°C(SOx)

Fig. 23은 중성인 pH 6.2 및 산성인 여러가지 pH 용액 중에서 소음기 재료인 스테인리스강의 양극분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

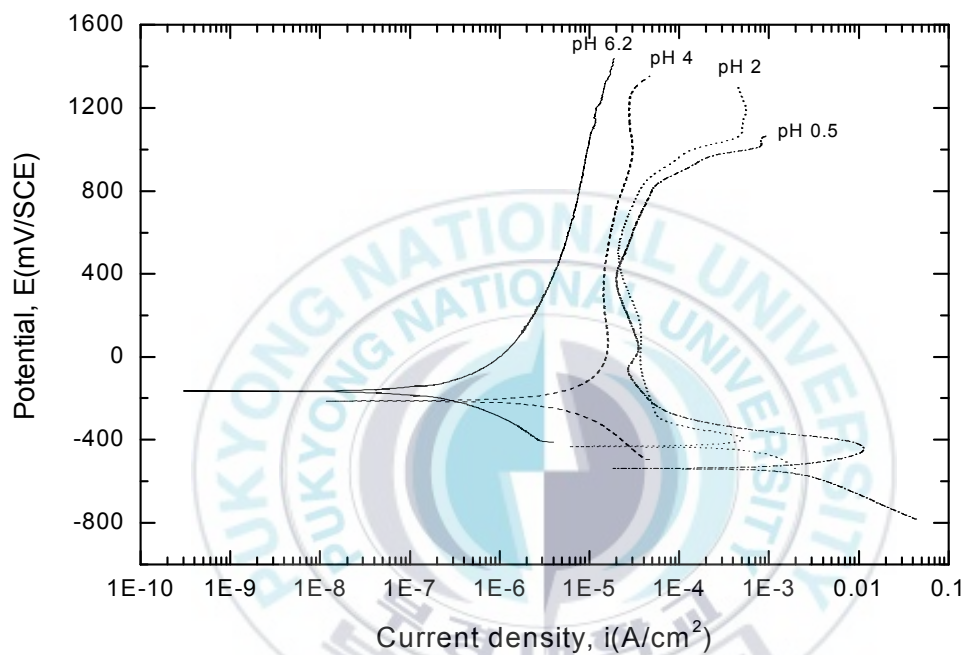


Fig. 23 Anodic polarization curves of stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C(SOx)

개로전위로부터 양극전위가 상승하면서 중성인 pH 6.2인 수용액으로부터 수용액의 pH가 낮아지면서 산성화될수록 부식전류밀도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 중성인 pH 6.2 및 약산성인 pH 4.0 수용액 중에서 양극분극거동은 활성태가 나타나지 아니하는 부동태 거동

이 나타나지만, 강산성인 pH 2.0 및 pH 0.5 수용액 중에서 양극분극 거동은 활성태가 나타나면서 부동태 거동이 나타나고 있다.

이와 같이 강산성인 pH 2.0 및 pH 0.5 수용액 중에서 스테인리스강의 양극분극거동은 일반적인 부동태 거동으로 Fig. 24에 보인 바와 같이 3개의 영역 즉, 활성태영역, 부동태영역 및 과부동태영역으로 나누어진다^(33, 34).

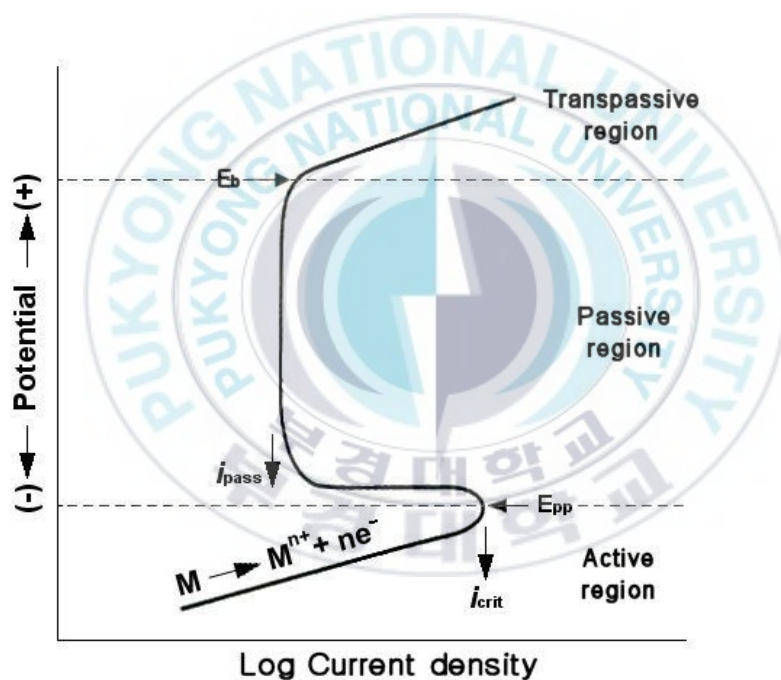


Fig. 24 Schematic active-passive-transpassive polarization behavior

4.3.2 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금과 스테인리스강의 양극분극 특성 비교

Fig. 25는 중성인 pH 6.2 및 약산성인 pH 4.0의 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강의 양극분극거동을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

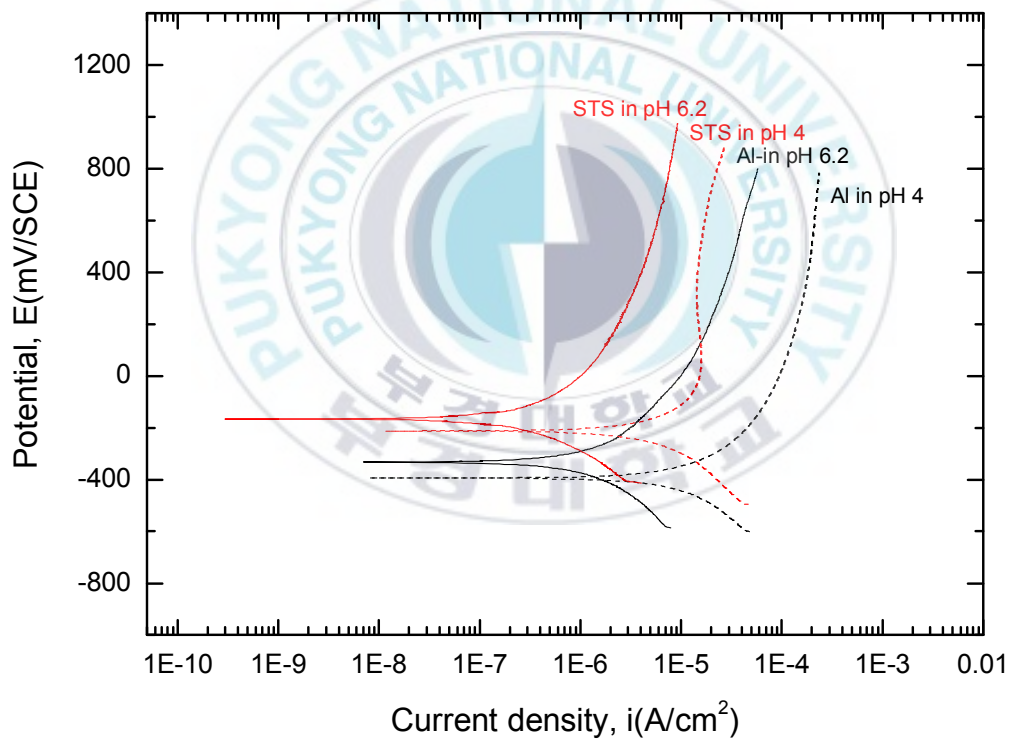


Fig. 25 Anodic polarization curves of Al-alloy and stainless steel for muffler in pH 4 and pH 6.2 solution

중성이나 약산성인 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 양극분극거동은 스테인리스강의 부식전류밀도보다 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 26은 강산성인 pH 0.5 및 pH 2.0의 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강의 양극분극거동을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

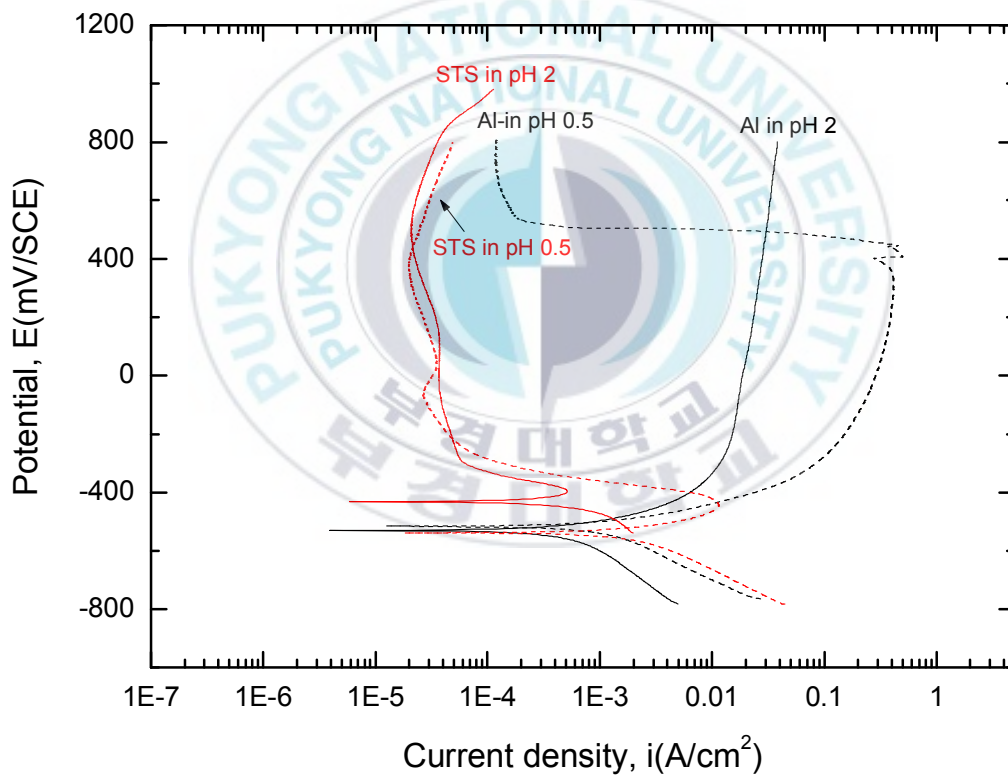


Fig. 26 Anodic polarization curves of Al-alloy and stainless steel for muffler in pH 0.5 and pH 0.5 solution

강산성인 pH 0.5나 pH 2의 응축수 중에서 소음기 재료인 Al-합금의 양극분극거동은 스테인리스강의 부식전류밀도보다 더 높게 나타나고 있다. 특히, 스테인리스강의 양극분극거동은 Fig. 23 및 Fig. 24에서 고찰한 바와 같이 일반적인 부동태 거동인 3개의 영역 즉, 활성화영역, 부동태영역 및 과부동태영역으로 나타나면서 양극분극거동의 부식전류밀도는 pH 0.5나 pH 2의 응축수 중에서 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 Al-합금재의 양극분극거동은 pH 2의 응축수 중에서의 부식전류밀도보다 pH 0.5의 응축수 중에서의 부식전류밀도가 더 높게 배류되다가 양극전위 약 430 mV/SCE 이후부터는 오히려 부식전류밀도가 급격히 감소하다가 다시 재부동태 양상을 나타내고 있다. 이와 같은 양상을 나타내는 이유는 4.1.3절의 Photo. 4에서 고찰한 바와 같이 심한 공식인 국부부식으로 인해 부식생성물이 시험편 표면에 부착함으로써 Al-합금의 부식전류밀도가 급격히 감소하다가 재부동태현상이 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 중성, 약산성 및 강산성의 응축수 중에서 스테인리스강의 양극분극거동은 Al-합금의 양극분극거동보다 부식전류밀도가 더 억제되고, 스테인리스강의 양극분극거동은 강산성에서 활성화영역, 부동태영역 및 과부동태영역이 나타나고 있다.

4.4 응축수의 pH 변화가 소음기의 공식 및 간극부식 특성에 미치는 영향

자동차용 소음기의 부식손상부위는 2.2.2절의 Photo. 1 및 Photo. 2에서 공식이나 간극부식에 의해 손상되고 있음이 관찰되고 있다. 그러므로 기계재료인 금속의 국부부식인 공식 및 간극부식 거동의 경향을 파악하는데는 여러가지 분극곡선 중에서 최근, 순환분극곡선(Cyclic polarization curves)으로부터 평가하고 있으므로⁽³⁵⁾, 본 연구에서도 pH 및 비저항 변화에 따른 팽창플러그의 Cyclic 분극곡선에 의해 공식과 틈부식에 대해 고찰하였다.

Fig. 27은 중성인 pH 6.2 및 산성인 여러가지 pH 용액 중에서 소음기 재료인 Al-합금재의 Cyclic 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25 ± 1 °C이다.

중성인 pH 6.2의 응축수로부터 강산성인 pH 0.5의 응축수 중에서 Al-합금의 역방향 양극분극곡선은 포지티브 히스테리시스 루프(positive hysteresis loop)를 나타내고 있으므로 공식이나 간극부식이 일어날 것으로 판단된다. 이와 같이 판단되는 이유는 역방향 양극분극곡선의 포지티브 히스테리시스 루프는 정방향 양극분극곡선에서 공식으로 진행되는 부동태피막 손상을 보수할 수 없기 때문인 것으로 사료된다⁽³⁶⁾.

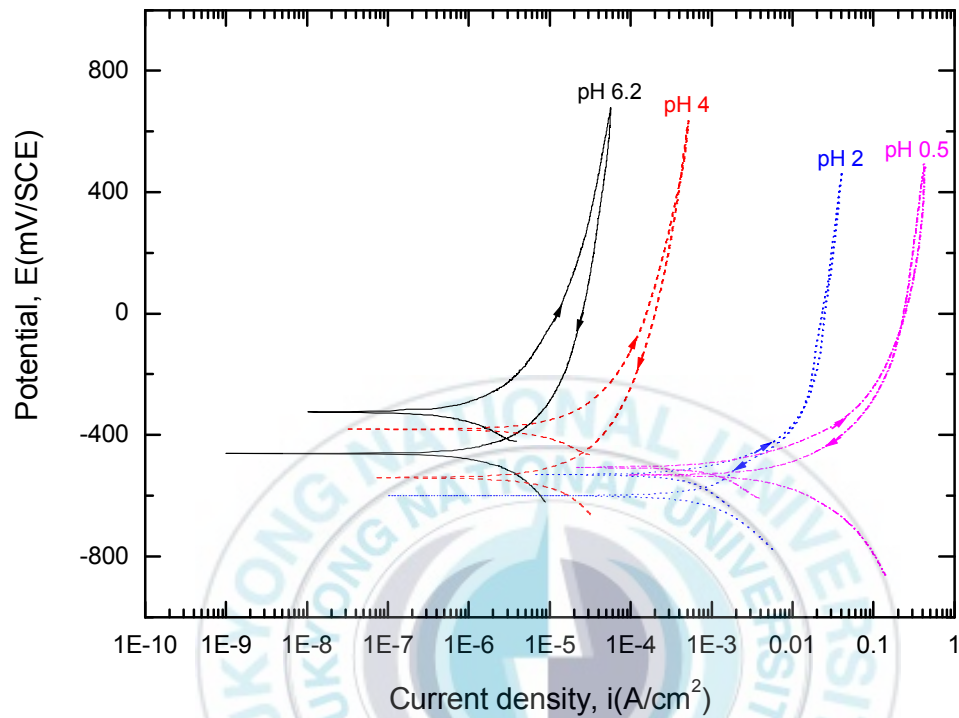


Fig. 27 Cyclic polarization curves of Al-alloy for muffler in various pH solution at 25⁰C(SOx)

그리고 각 응축수의 pH 변화에 따른 Al-합금재의 공식과 간극부식 성장특성을 규명하기 위하여⁽³⁷⁾, Fig. 27의 역방향 양극분극곡선이 cyclic loop를 닫히게 하는 전위 즉, Al-합금재의 재부동태전위 (repassivation potential, E_{rp})와 개로전위를 정리하여 Fig. 28에 나타내었다.

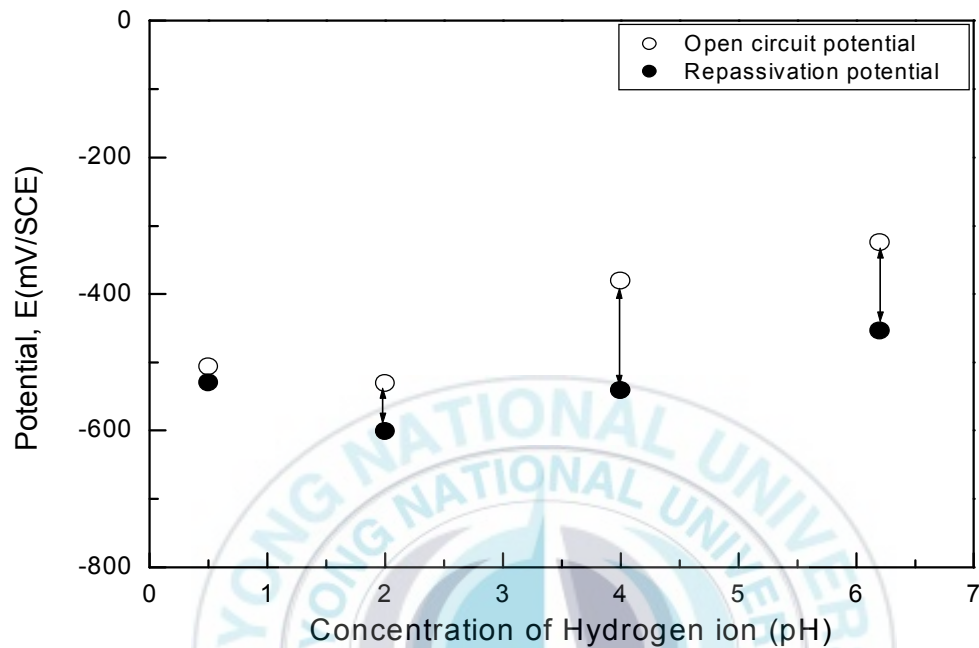


Fig. 28 Repassivation and open circuit potential of Al-alloy for muffler in various pH solution at 25°C(SOx)

중성인 pH 6.2의 응축수로부터 강산성인 pH 0.5의 응축수 중에서 Al-합금의 재부동태전위는 개로전위보다 낮게 나타나고 있으므로 공식은 성장될 것으로 판단다⁽³⁸⁾.

Fig. 29는 중성인 pH 6.2 및 산성인 여러가지 pH 용액 중에서 소음기 재료인 스테인리스강의 Cyclic 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 부식용액의 온도는 25±1 °C이다.

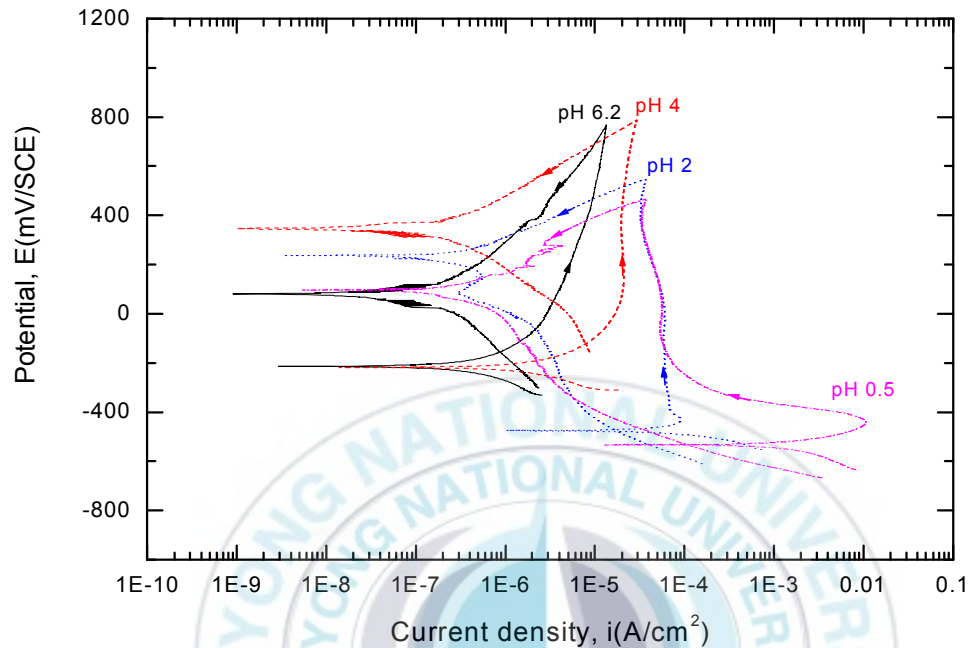


Fig.29 Cyclic polarization curves of stainless steel for muffler in various pH solution at 25°C(SO_x)

중성인 pH 6.2의 응축수로부터 강산성인 pH 0.5의 응축수 중에서 스테인리스강의 역방향 양극분극곡선은 네거티브 히스테리시스 루프 (negative hysteresis loop)를 나타내고 있으므로 공식이나 간극부식은 보수할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같이 판단되는 이유는 Fig. 21 에서와 같이 역방향 양극분극곡선의 포지티브 히스테리시스 루프는 정방향 양극분극곡선에서 공식으로 진행되는 부동태피막 손상을 보수할 수 없으나 네거티브 히스테리시스 루프는 정방향 양극분극곡선에서 부동태피막 손상을 보수할 수 있기 때문인 것으로 사료된다⁽³⁹⁾.

그리고 각 응축수의 pH 변화에 따른 스테인리스강의 공식과 간극 부식 성장특성을 규명하기 위하여, Fig. 29의 역방향 양극분극곡선이 cyclic loop를 닫히게 하는 전위 즉, 스테인리스강의 재부동태전위 (repassivation potential, E_{rp})와 개로전위를 정리하여 Fig. 30에 나타내었다.

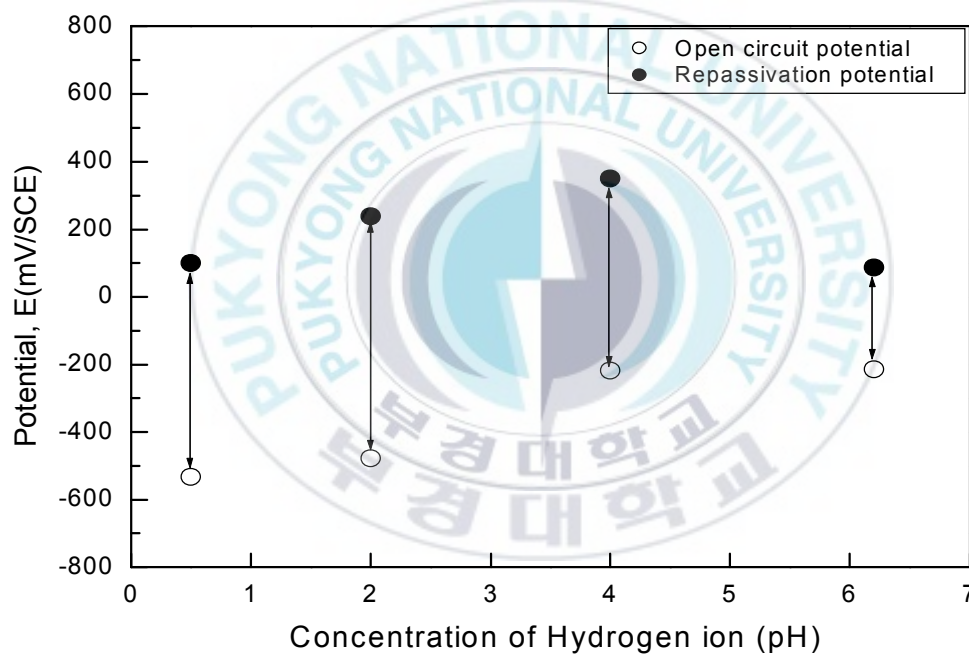


Fig. 30 Repassivation and open circuit potential of stainless steel for muffler in various pH solution at 25⁰C(SO_x)

중성인 pH 6.2의 응축수로부터 강산성인 pH 0.5의 응축수 중에서

스테인리스강의 재부동태전위는 개로전위보다 더 높게 나타나고 있으므로 공식의 성장은 일어나지 않을 것으로 판단된다⁽³⁸⁾.

따라서 중성인 pH 6.2의 응축수로부터 강산성인 pH 0.5의 응축수 중에서 Al-합금의 재부동태전위는 개로전위보다 낮게 나타나고 있으므로 공식은 성장되지만, 스테인리스강의 재부동태전위는 개로전위보다 더 높게 나타나고 있으므로 공식의 성장은 일어나지 않을 것으로 판단된다.



5. 결 론

자동차용 소음기의 부식특성에 대한 연구를 하기 위하여, SO_x 성분이나 NO_x 성분의 증가하면서 응축수의 산성화(pH가 낮아짐)에 따른 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강의 분극저항, 부식전류밀도, 부식률 및 양극분극 거동, 공식거동에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소음기 재료인 Al-합금 및 스테인리스강에서도 SO_x성분이 증가함으로써 응축수의 pH가 낮아지면서 분극저항은 감소되고 있다.

2) 강산성인 pH 2로부터 중성인 pH 6.2인 응축수 중에서 pH가 증가할수록 스테인리스강의 분극저항이 Al-합금의 분극저항보다 점차적으로 더 높게 나타나고 있다.

3) 응축수의 pH가 낮아지면서 Al-합금 및 스테인리스강의 개로전위는 비전위화되면서 부식전류밀도는 증가하고 있다.

4) 강산성인 pH 0.5인 응축수를 제외하면 응축수의 pH가 낮아지면서 Al-합금 및 스테인리스강의 전면부식인 부식율은 높게 나타남으로써 소음기의 전면부식에 대한 내식성이 저하되고 있다.

5) 중성, 약산성 및 강산성의 응축수 중에서 스테인리스강의 양극분극거동은 Al-합금의 양극분극거동보다 부식전류밀도가 더 억제되고, 스테인리스강의 양극분극거동은 강산성에서 활성화영역, 부동태영역 및 과부동태영역이 나타나고 있다.

6) Al-합금재의 양극분극곡선에서 포지티브 히스테리시스 루프로 나타나므로써 정방향 양극분극곡선에서 공식으로 진행되는 부동태피막 손상을 보수할 수 없으나, 스테인리스강의 양극분극곡선에서 네거티브 히스테리시스 루프로 나타나므로써 정방향 양극분극곡선에서 부동태피막 손상을 보수할 수 있을 것으로 판단된다.

7) Al-합금의 재부동태전위는 개로전위보다 낮게 나타나고 있으므로 공식은 성장되지만, 스테인리스강의 재부동태전위는 개로전위보다 더 높게 나타나고 있으므로 공식의 성장은 일어나지 않을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 오재웅, 김홍섭, 손동구(1995) : 능동배기소음제어용 능동형 머플러의 개발 동향, 한국소음진동공학회지, Vol, 5, No.4, pp 468~472
- (2) 이해철, 이준서, 윤준규, 차경옥(2000) : SI엔진 배기시스템 성분들에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 추계학술대회 논문집B, pp 757~763
- (3) 황요하, 이종민, 김승중(2002) : 전달경로의 차이를 이용한 새로운 차량용 능동 머플러의 개발, 한국소음진동공학회지, Vol, 12, No.5, pp 374~379
- (4) 김홍섭, 홍진석, 오재웅, 송진호(1998) : 상용차 배기계에서 액티브 머플러를 이용한 배기 소음 제어, 한국자동차공학회논문집, Vol, 6, No.1, pp 36~42
- (5) 전문연구위원 김종명 : 자동차 저소음화, pp 1~6
- (6) 전문위원 황선일 : 자동차의 배기계 부품용 스테인리스강판의 채택 동향과 가공법, pp 1~5
- (7) 한국과학기술정보연구원 전문위원 엄태수 : 자동차 배기가스 정화 촉매, pp 1~6
- (8) 전문연구위원 조태제 : 자동차 배출가스 대책의 최신 동향, pp 1~2
- (9) 전문연구위원 홍종준 : 자동차용 알루미늄합금 판재의 굽힘 가공에 관한 연구 동향, pp 1~6

- (10) 전재호, 성진경, 박재용(2000) : Spot 용접된 자동차 머플러 재료의 수명연구, 한국부식학회 추계 학술발표회 논문, pp 1~2
- (11) 前田泰昭, 竹中規訓(1995) : 地球規模での酸性雨現状と材料劣化, 日本材料と環境, Vol. 40, No. 9, pp. 619-629
- (12) Denny A. Jones(1991) : Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, pp. 398-401
- (13) 김미영(2006) : 자동차 배출가스로 인한 서울의 대기오염의 현실과 대안, 서울 교육대 교육대학원 석사학위 논문, pp 1~92
- (14) 이성립(2003) : Ferritic Stainless steel of Pitting Corrosion에 관한 연구, 울산대학교 대학원 석사학위논문, pp. 1~60
- (15) 신동호, 최윤석, 강정구, 심재주(2004) : 희생양극을 이용한 자동차 소음기의 음극방식에 관한 연구, 대한금속재료학회지, Vol. 42, No. 12, pp.1021~1029.
- (16) 김민중(2003) : 자동차 소음기 GMA 용접부에 미치는 용접재료 및 보호가스의 영향에 관한 연구, 부경대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 1~50
- (17) 심상철(2005) : 자동차용 환상형 소음기에 관한 실험적 연구, 전북대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 5~6
- (18) 임우조(2006) : 환경기계공학, 형설출판사, pp. 201-203
- (19) 尹藤伍郎(1982) : 日本機械工学全書 6, 日本コロナ社, pp. 325~326
- (20) Denny A. Jones(1991) : Principles and prevention of corrosion,

Macmillan publishing company, pp. 398-401

- (21) 전대회(1990) : 실용방식공학, 태화출판사, pp. 171~173
- (22) Mars G. Fontana and Norbert D. Greene(1998) :Corrosion Engineering, Mcgraw-Hill book company, pp. 265'
- (23) Hirro Nagano(1979) :Sulfur Dew Point Corrosion, Boshoku Gijutsu, Vol. 26, No. 12, pp.531~539.
- (24) 정주식(1998) : STS 304L 스테인리스강의 오염 환경 부식특성에 관한 연구, 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, pp. 10~12
- (25) 前掲書(2.1), pp. 203~204
- (26) 임우조(2006) : 기계재료의 부식과 방식, 형설출판사, pp.203-204
- (27) 前掲書(2.1), pp. 2143~215
- (28) 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근(1999) : 부식과 방식의 원리, 동화 기술, pp. 190~192
- (29) 前掲書(4.1), p. 190
- (30) 前掲書(2.9), pp. 48~50
- (31) 前掲書(4.1), pp. 187~190
- (32) 前掲書(2.3), pp. 142~146
- (33) Mars G. Fontana and Norbert D. Greene(1998) : Corrosion Engineering, Mcgraw-Hill book company, pp. 16~18.
- (34) 정기철(2003) : 가스 흡수식 냉온수기의 부식특성 및 그 억제에 관한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위논문, pp. 167~169
- (35) W. Stephen Tait(1994) : An instruction to electrochemical

corrosion testing for practicing engineers and scientists, Clair,
pp. 65~67

(36) 前掲書(4.8), pp. 66~67

(37) 前掲書(2.3), pp. 218~219

(38) 前掲書(4.8), pp. 66~67

(39) 前掲書(4.8), pp. 66~67



감사의 글

본 논문을 완성하기까지 헌신적인 지도와 격려로 이끌어주신 임우조 지도교수님께 진심으로 감사 드립니다. 그리고 보다 완성도 높은 논문이 될 수 있도록 아낌없는 조언과 비판으로 심사하여 주신 권오봉 교수님과 임희창 교수님께 감사 드립니다.

바쁘신 가운데도 따뜻한 마음으로 많은 도움을 주신 방식공학연구실의 윤병두님께 감사의 마음을 전합니다.

또한, 본 연구에 정진할 수 있도록 많은 배려와 격려로 도움을 주신 직장의 선배님들과 동료들에게도 감사의 말씀을 드리며 힘들어 할 때마다 용기와 힘을 불어 넣어준 친구에게도 고마운 마음을 전합니다.

그리고 본 연구에 몰두하느라 잘 돌보아 주지 못한 우리가족에게 미안함과 고마움을 표하며 이 작은 결실의 기쁨을 함께 하고자 합니다.

2007년 12월

김 광 석 배상