

A5083-H116 알루미늄 합금재 용접부의 부하응력에 따른
부식특성의 영향
Effect of Corrosion Characteristics in Relation to Loaded Stress
in the Welded Zone of A5083-H116 Aluminum Alloy

조상근 · 공유식 · 김영대
S. K. Jo, Y. S. Kong and Y. D. Kim

Key Words : Constant Current Corrosion Test(정전류부식실험), Corrosion Rate(부식속도), Electrode Potential(전극전위), Corrosion Current(부식전류), Surface Corrosion Pattern(표면부식형태), Stress Corrosion Cracking(응력부식균열)

Abstract : Effect of corrosion characteristics in relation to loaded stress in the welded zone of A5083-H116 aluminum alloy, in the seawater was studied. The corrosion experiment was performed for 120 hours on the specimens in the natural seawater tank with four steps of the loaded stress. The corrosion crack, corrosion rate, electrode potential, current, and corrosion pattern, etc. were examined for the specimens with the elapse of the immersion time. The main result derived from this study is the crack growth length is increased with the increasing loaded stress. The electrode potential and the corrosion current are decreased rapidly in the early stage of the corrosion, and then decreased gradually and stabilized eventually with the elapse of the immersion time. The test condition of the longer crack growth tends to show the higher corrosion rate. Corrosion pattern of the welded zone indicates that the depth and width of the pitting become increasing with the increasing loaded stress.

1. 서 론

Al과 그 합금은 철강 재료와 비교하여 저비중, 고비강도(high specific strength)이며, 가공성과 내식성이 우수하고, 저온에서도 기계적 성질이 저하되지 않으므로 항공기, 자동차, 철도차량, 선박 등의 구조물을 경량화 하는 재료에 널리 적용되고 있으며, 특수 선박에 있어서도 고강도 알루미늄 합금재의 사용이 점차적으로 증대되고 있는 실정이다^{1,2)}. 해수에서 가장 많이 사용되고 있는 Al합금은 50xx계 합금이다. Mg를 3.5~5% 함유하고 있는 5086, 5083 등의 Al합금은 내식성과 용접성이 우수하고, 무게에 대한 강도의 비율이 높아 선박과 해양 구조물에 널리 사용되고 있다. Al-Mg 석출물은 연속적인 망상조직 형태의 박락부식(exfoliation corrosion)이 발생

하기 때문에 이를 방지하기 위해서 개발된 것이 가공경화되어 안정화 열처리를 행하지 아니한 -H116과 -H117이다. 순수한 Al은 응력부식균열을 일으키지 않지만 Mg이 포함되면 응력부식균열에 대한 감수성이 증가하고, Mg의 함유량이 4.5% 이상일 때에 심한 것으로 알려져 있다. 습기가 있는 곳에서 인장응력을 받으면 입계를 따라 균열이 발생하고, 열처리에 의해서 합금이 예민화되면 응력부식균열에 대한 감수성은 더욱 커진다. 특히 인장강도보다 약간 낮은 강도에서 응력부식균열에 대한 감수성이 가장 크다고 알려져 있다³⁾. 이처럼 Al의 부식에 미치는 여러 가지 영향 중에서 응력부식균열과 갈바닉 부식 등은 여전히 지속적으로 연구되어야 할 중대한 문제로 남아 있다.

따라서 본 연구에서는 선체, 해양 및 기계구조물, 고속전철, 생활용품 등에 널리 사용되는 A5083-H116 알루미늄 합금재의 용접부에 대하여 부식균열의 특성을 파악하기 위해 천연해수 환경에서 정전류 침지부식실험을 실시하였다. 이 실험에서 나타난 부식균열의 발생과 진전, 침지시간에 따른 전기화학적인

접수일 : 2004년 8월 2일
조상근(책임저자) : 부경대학교 대학원 기계공학과
E-mail : jsk4833@hanmail.net, Tel: 051-607-3885
공유식, 김영대 : 부경대학교 기계공학부

부식거동, 부하응력에 따른 부식균열길이와 응력강도계수의 관계 등을 파악하여 알루미늄 합금재에 미치는 부식균열과 전기화학적 부식거동의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 나사 이론에 의한 응력 부하

시험편에 인장응력을 부하하기 위해 3개의 시험편 고정구를 Fig. 1과 같이 제작하고, 상부의 M12 고강력 너트를 토크렌치(torque wrench)로 죄는 방법을 사용하였다. 시험편의 인장응력에 대한 토크렌치의 토크 계산식은 다음과 같다⁴⁾.

$$T = Q \frac{d_2}{2} \tan(\rho_s + \lambda)$$

$$T = 1.230 Q, \quad T' = 0.74 \mu Q d_2 = 1.206 Q$$

$$T_t = T + T' = 2.436 Q = 102.312 \sigma$$

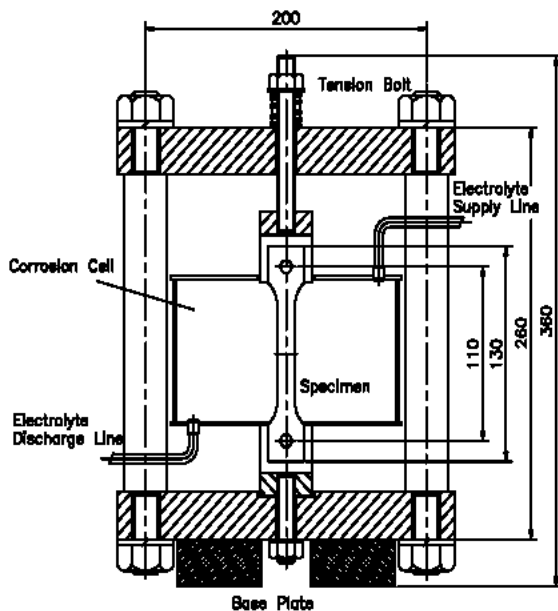


Fig. 1 Schematic of loaded stressing frame

또한 시험편 용접금속부의 중앙에 노치 선단이 위치하도록 각각의 시험편을 제작하였고, 노치 선단에서의 초기응력강도계수(Initial stress intensity factor) K_{IC} 값은 다음과 같다^{5~8)}.

$$K_{II} = Y \sigma \sqrt{a}$$

$$Y = 1.99 - 0.41 \left(\frac{a}{w}\right) + 18.70 \left(\frac{a}{w}\right)^2$$

$$- 38.48 \left(\frac{a}{w}\right)^3 + 53.85 \left(\frac{a}{w}\right)^4$$

Table 1은 토크에 의한 부하응력과 초기응력강도계수의 관계를 나타낸 것이다.

Table 1 Initial stress intensity factor and stress

Specimen No.	SP-0	SP-1	SP-2	SP-3
Stress(MPa)	0	48	86	125
Initial stress intensity factor(N-mm ^{3/2})	0	154.5	278.1	401.7

3. 실험 방법

3.1 재료 및 시험편

본 실험에 사용된 시료는 두께 6.35 mm의 선박용 알루미늄 합금재 A5083-H116 ASTM B209이다. Table 2와 Table 3은 그 화학적 성분과 기계적 특성을 나타내며, Table 4는 용접조건을 나타낸다.

Table 2 Chemical compositions of A5083-H116(wt. %)

Division	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Cr	Ti	Cu	Al
A5083-H116	4.49	0.62	0.08	0.26	0.00	0.08	0.05	0.01	Res
Weld metal	4.90	0.12	0.25	0.40	0.10	0.10	0.10	0.10	Res

Table 3 Mechanical properties of A5083-H116(20 °C)

Division	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
A5083-H116	310.0	179.5	22.5	52
Weld metal	320.3	181.5	25.4	96

Table 4 Welding condition of test specimens

Welding machine	Welding wire(mm)	Voltage (V)	Current (A)	Speed (mm/min)
DC TIG	E5356(φ2.4)	40	500	340

시험편의 제작을 위해서 A5083-H116 선박용 알루미늄 합금재 시료는 그 길이 방향이 압연 방향과 동일하도록 공시 판재에서 가로 150 mm, 세로 1000 mm 크기로 두 장을 절취한 다음, 불활성가스 금속아크용접(inert gas-shielded metal arc welding,

TIG welding) 설비를 이용하여 Table 4와 같은 조건에서 시료의 용접은 실제 환경에 가깝도록 현장의 용접조건에 맞추어 양면 맞대기 용접을 하였다. 그리고 Fig. 2와 같이 시험편을 절취한 후 상하 표면 및 측면을 머시닝센터(machining center)에서 가공하여 맞대기용접 이음의 인장시험편 KS B 0833-1995-13B (JIS Z 2201-13B, ISO 4136-1989) 규격에 맞추어 절단가공하고, 용접부의 측면에 깊이 2mm, 흠 각도 60°의 노치를 가공하여 와이어컷방전가공기(wire cutting electric discharge machine)에서 Fig. 3과 같은 형상과 치수로 가공하였다. 그리고 표면 조건을 일정하게 하기 위하여 #400, #800, #1000, #1200의 사포(sand paper)로 연마하였다. 시험편 용접접합부의 금속 조직적 특성을 파악하기 위하여 정전류 침지부식실험 전에 시험편의 한쪽 면을 경면 연마하고, 가성소다수용액(NaOH 10g+물 100ml)으로 부식시켜 에틸 알콜로 세척한 다음 금속현미경(OS-MUT, metallurgical microscope)을 사용하여 600배의 배율로 조직검사를 하였다. 용접 접합부의 위치별 경도를 파악하기 위해 Micro-vickers MXT- α 7e(digital micro-hardness tester ; weight=100gf)를 사용하여 측정하였다.

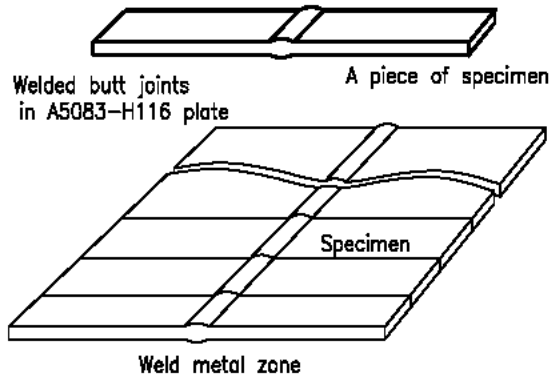


Fig. 2 Welding workpiece for specimen

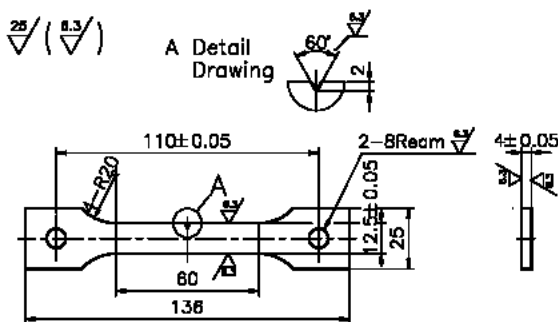


Fig. 3 Dimension of test specimen(unit : mm)

3.2 실험장치 및 실험조건

실험에 사용한 시험편은 #1000 연마지로 연마한 다음 표면을 알콜로 세척하고, 전자저울(Electronic Balance, Model MW1200, Range 4~1200g, CASTEE Co.)을 사용하여 중량을 측정하였다. 용접 접합부의 중앙으로부터 길이방향은 15mm, 세로 방향은 12.5mm, 두께 4mm가 되게 남기고 모두 실리콘 수지나 절연 테이프로 감싸 노출면적이 990mm² 되게 하였다. 탈산등으로 제작한 보조전극의 노출면적은 시험편의 노출면적 만큼만 남기고 나머지 부분을 실리콘 수지나 절연 테이프로 완전 절연시켰다. 실험조는 1,500ml 용량의 아크릴 용기 4개를 자체 제작하여 사용하였고, 각 실험조에 흡입구와 압력계이지가 부착된 매니폴드(manifold)와 연결하여 펌프에 의해 각 실험조에 6시간마다 천연해수를 교환할 수 있도록 구성하였다. 시험편과 보조전극을 알콜로 탈지하여 시험편은 실험조의 중앙에 위치시키고, 보조전극은 시험편으로부터 30mm 떨어진 위치에 설치하였으며, 내부 가장자리와 시험편의 접촉 부분을 실리콘 수지로 완전 밀봉하여 Fig. 4와 같이 구성하였다.

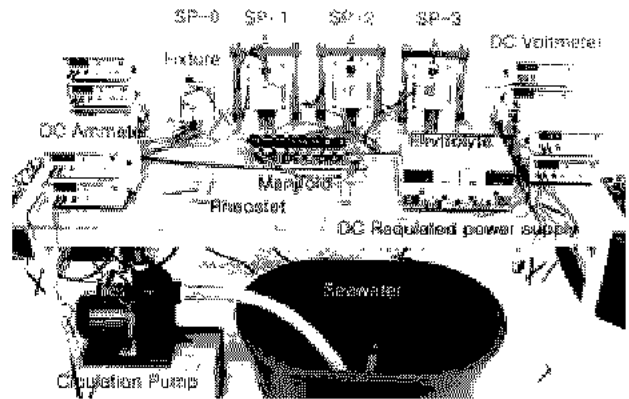


Fig. 4 Experimental apparatus of constant-current corrosion test

3.3 실험방법

A5083-H116 알루미늄 합금재 시료의 최대인장강도가 310MPa이고, 항복강도가 179.5MPa이므로, 시험편에 부하할 인장응력은 항복강도의 27%, 48%, 70%에 해당하는 48MPa, 86MPa, 125MPa 등을 설정하였다. 침지부식실험장치는 Fig. 5와 같이 시험편을 양극(anode)으로, 보조 전극을 음극(cathode)으로 한 4개의 실험조와 직류안정화전원장치(DC Regulated Power Supply, Range 0~3A,

0~30V, Model ED-330T, ED), 직류전류계(Digital Ammeter, Range 200 μ A~20A, Model DA-101B, ED)를 직렬로 연결하여 동시에 실험이 가능하게 하였으며, 가변저항기를 사용하여 양극의 전류밀도를 3mA/cm²가 되도록 조절하면서 5일간(120시간) 인가하였다. 시험이 진행되는 동안 매 12시간마다 인가전압이 없는 상태에서 10분 간 안정화시킨 다음 디지털 직류전류계로 시험편과 보조전극 사이의 상대부식전류를 측정하였고, 디지털전위차계(Digital Voltmeter, Range 200mV~1000V, Model DV-101A, ED)를 이용하여 상대전극전위도 측정하였다. 시험편의 늘어난 길이는 디지털캘리퍼스(digimetic calipers)로 측정하였다.

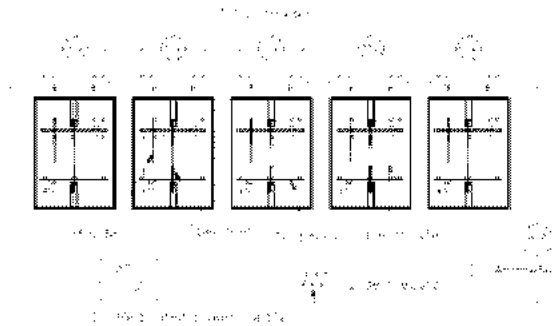


Fig. 5 Schematic diagram of stress corrosion test

이상의 실험이 끝난 후에 시험편을 실험장치에서 해체하여 수세한 다음, 실온의 70% HNO₃ 수용액에 2~3분 동안 침지시켜 표면에 부착된 산화물을 제거하고, 절연 테이프와 실리콘수지 등을 제거한 다음 알콜로 세척하여 중량감량을 측정하였다. 부식속도는 mils per year(mpy) 단위를 사용하였으며, 중량감량을 부식속도로 환산하는 식은 다음과 같다⁹⁾.

$$mpy = \frac{(12,000 \times 2.87 \times w)}{(A \times d \times t)}$$

w : 중량감량(gf)

A : 시험편의 표면적(cm²)

d : 시험편의 비중량(gf/cm³), Al=2.7gf/cm³

t : 침지시간(hours)

부식양식은 British Aluminum¹⁰⁾의 분류를 따라 분류하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 용접부의 경도분포와 금속 조직적 특성

Fig. 6은 용접접합부의 위치별 경도 분포를 나타

낸 것이다. 알루미늄 합금재 용접부의 경도 분포는 용접금속부(welded metal)가 모재부(base metal)보다 약간 높은 경도를 나타내고, 열영향부(bond zone)에서는 다소 높은 경도를 유지하다가 모재 부근에서는 낮아지는 경향을 보였다. 이는 아르곤가스를 사용한 수동 MIG 용접을 2~3회에 걸쳐 실시하여 작업을 완료하기 때문에 용접금속의 중앙부에서는 다소 낮고, 열영향부에서 경화층이 형성되어 경도가 다소 높게 나타났다. 그 이유는 열영향부가 용접금속부보다 급랭되어 경화층을 형성하기 때문에 경도가 높게 나타나며, 이 부근에서 용접 균열이 쉽게 발생하거나 연성이 저하되기 때문이다¹¹⁾.

A5083-H116 합금재 기지의 결정은 Al의 α 상이며, 입내에 불순물인 Fe에 의한 엣치피트(etch pit)가 미세하면서도 치밀하게 분포되어 있다. 용접금속부에서는 기지의 결정보다 입내에 분포되어 있는 불순물의 결정이 미세하면서도 고른 구조를 보이며, 열영향부의 경계(bond line)가 뚜렷하지 않아 결정의 크기 분포에 따라 미약하게 구분된다.

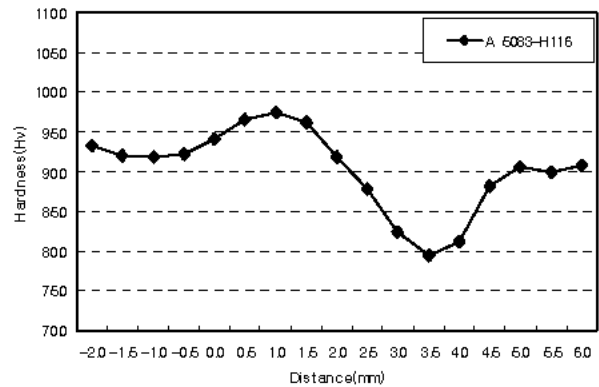


Fig. 6 Distribution of hardness at welded zone by micro-vickers hardness tester(weight=500gf)

4.2 부하응력에 따른 부식균열의 발생

특정한 부식환경 중에 놓여있는 금속은 항복점 이하의 비교적 낮은 응력을 받고 있어도 균열이 일어날 수 있다. 이처럼 응력부식균열(stress corrosion cracking)은 인장응력과 부식 전해액이 동시에 작용하여 주로 연성재료에서 일어나는 취약성 균열이다. 응력부식균열에 영향을 미치는 중요한 인자는 온도, 용액의 조성, 금속의 성분 및 조직 등이며, 순금속에서는 일어나지 않는다고 알려졌지만, 합금성분 및 미량 불순물의 영향이 크므로 주로 합금에서 문제가 된다. 순금속이라 하더라도 약간의 불순물에 의해서 균열감수성이 생기기도 한다. 응력에 의한 부

식 균열은 열처리에 의한 입계석출물 혹은 석출물 입접부의 특정 성분 결핍대가 입계균열의 원인이 된다는 것은 Al합금, Mg합금, 스테인리스강 등에서 잘 볼 수 있다. 응력부식균열은 음극방식에 의해서 방지되고 진행중인 균열까지 막을 수 있으나 반대로 양극분극하면 균열은 가속화된다. Al합금은 인장 응력이 작용하는 NaCl 용액이나 해수 등의 특정 환경에서 응력부식을 발생한다고 알려져 있다.

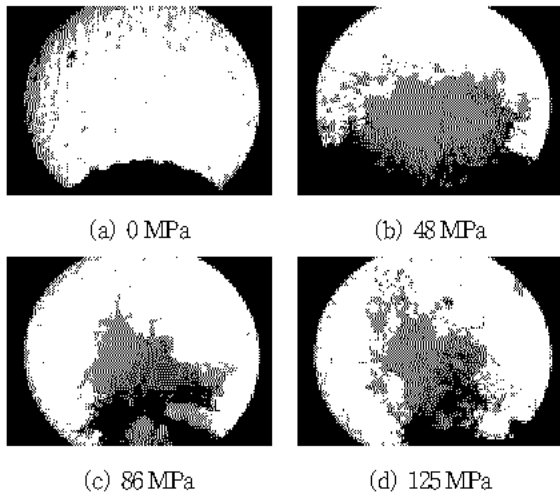


Fig. 7 Corrosion crack pattern for different stresses in welded zone($\times 400$)

Fig. 7은 균열 진전의 정도를 파악하기 위하여 금속현미경과 MICRO SCALE(0.01 mm)을 이용하여 촬영하고, Techsan International Corporation Scope Eye Version3.0 for Windows를 이용하여 광학현미경에서 읽은 화소(pixel) 단위를 마이크로미터 단위로 전환하는 Auto Calibration에 의해 측정하였다.

Fig. 7의 (a)는 무부하 상태에서의 부식형태이며, 초기의 노치부의 반경은 약 $250\mu\text{m}$ 정도였으나, 실험 후는 $366.79\mu\text{m}$ 로 나타났다. 이것은 응력을 부하하지 않은 상태에서도 시간의 경과와 더불어 침식이 일어남을 알 수 있었다.

Fig. 7의 (b)는 48 MPa 응력을 부하한 것으로, 방사선 방향으로 대체로 일정하게 침식되어 0 MPa의 경우와 비슷한 형태를 유지하였다. 노치 반경부로부터 측정하여 방사선 방향으로 최대 $248.03\mu\text{m}$ 의 균열 진전의 양상을 보여 주고 있다. 부식균열의 발생은 작용하는 응력 방향의 수직으로 나타나는 것이 일반적이지만, 한쪽으로 치우쳐 발생한 것은 토크렌치를 이용하여 응력을 부하할 때에 나사의 회전에 의해 작용한 응력으로부터 기인한 것으로 생각된다. Fig. 7의 (c)는 86 MPa 응력을 부하한 것으로, 균열

진전의 틈새로 부식이 진행되면서 침식 현상이 진행되어 중앙 부분에 집중적으로 패인 흔적을 확인할 수 있으며, 최대 $310.36\mu\text{m}$ 의 균열 진전의 양상을 보여 주고 있다.

Fig. 7의 (d)는 125 MPa 응력을 부하한 것으로, 부식에 의한 균열의 뚜렷한 양상을 보여주고 있다. 균열의 진전 길이가 $354.83\mu\text{m}$ 이었으며, A5083-H116 용접부의 부하응력에 따른 부식균열의 진전은 부하 응력의 증가와 더불어 부식균열의 길이도 길었다. 항복강도의 50% 이하의 부하응력 하에서는 부식균열의 진전이 노치부에서 고르게 분포되면서 침식되었으나, 그 이상에서는 부식균열의 발생 양상이 방향성을 동반하면서 침식으로 이어졌다.

Table 5 Crack length and loaded stress

Division	SP-0	SP-1	SP-2	SP-3
Loaded stress(MPa)	0	48	86	125
Crack length(μm)	0	248.03	310.36	354.83

Table 5는 부하응력에 따른 부식균열 길이를 나타낸 것이다. 무부하에서는 노치를 중심으로 일정하게 침식하는 경향을 보였으며, 부하응력하에서는 응력의 증가와 더불어 균열의 진전 길이가 대체로 증가하는 경향을 보였다. 부하응력이 가장 작은 48 MPa에서 부식균열의 길이가 가장 작았고, 항복응력의 70% 정도를 부하한 125 MPa에서는 가장 큰 값을 나타냈다. 균열 진전 길이가 길수록 부식현상의 진행속도가 빨라지는 경향을 보이지만, 전위가 기본 부동태 전위(primary passive potential) 이상으로 증가하게 되면 안정된 부동태 피막이 형성되어 부식 진행속도가 오히려 낮아지는 경향을 보인다¹²⁾.

Table 6은 응력강도계수와 부식속도의 관계를 나타낸 것이다. 부식환경에서의 임계응력강도계수(critical stress intensity factor) K_{IC} 값 이하의 시발응력강도계수(threshold stress intensity factor) K_{ISCC} 이상에서 아임계균열진전(subcritical crack growth)이 느린 속도로 발생하게 된다. 부식 진전속도는 초기에는 주로 응력에 지배를 받으나 점차 부식 환경에 영향을 받으며, 다시 응력의 지배를 받는 것으로 보고되고 있다¹³⁾. 무부하 상태에서의 부식속도는 133.85 mpy 이고, 48 MPa 및 86 MPa의 토크가 작용하였을 때에는 거의 일정한 값을 유지하다가 125 MPa에서는 부식속도가 148.68 mpy 로 증가하였다. 천연해수 환경에서의 응력강도계수는 부식속도에 따라 비례하는 경향을 보였다.

부하응력의 증가와 더불어 부식속도는 대체로 증가하는 경향을 보였다. 86MPa에서 부식속도가 가장 작았고, 항복응력의 70% 정도의 응력을 부하한 125MPa에서는 가장 큰 값을 나타냈다. 하지만 86MPa를 부하한 경우에는 48MPa 보다 다소 작게 나타났다. 부식균열 진전길이의 증가에 따라 응력강도계수가 증가하고 부식속도도 증가하였으며, 항복응력의 70% 정도의 응력을 부하한 125MPa에서는 가장 큰 456.11 N-mm^{3/2} 값을 나타냈다. 시험이 진행되는 동안 균열이 성장함에 따라 전체 단면은 감소하게 되고 응력강도계수는 증가하게 된다. 일반적으로 초기 응력강도계수가 증가하게 되면 균열이 성장하게 되고 임계응력강도계수에 도달하게 되면 균열은 급격히 빠른 속도로 성장하여 파괴를 야기시킨다¹⁴⁾.

Table 6 Stress intensity factor and corrosion rate

Specimen No.	SP-0	SP-1	SP-2	SP-3
Corrosion rate (mpy)	133.85	144.57	144.34	148.68
Stress intensity factor(N-mm ^{3/2})	0	169.01	310.93	456.11

4.3 침지시간에 따른 전기화학적 부식거동

Table 7은 A5083-H116 용접부의 정전류 응력부식시험에서 시험편과 보조전극과의 평균상대전극전위와 평균상대전류, 부식량 및 표면부식양식을 나타낸 것이다. A5083-H116 용접부의 평균상대전극전위는 86MPa에서 -0.056V로 가장 높았고, 48MPa에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 항복응력의 70% 하중이 부하된 125MPa에서는 다시 -0.108로 감소하였다. 평균상대전류는 48MPa에서 0.003mA로 가장 낮았고, 86MPa에서 0.016mA로 가장 높은 값을 나타냈다. 부식량은 부하응력에 따라 12.466~13.847mgf 정도로 비슷한 경향을 보였으나, 125MPa에서 부식량이 가장 크게 나타났다. 전반적으로 부하응력이 증가할수록 부식량이 증가하는 추세이지만 86MPa에서는 약간 감소하는 경향을 보였다.

Table 7 Constant-current corrosion test results of welded zone in A5083-H116

Spec. No.	Loaded stress (MPa)	Electrode potential (V)	Corrosion current (mA)	Weight corrosion (mgf)	Corrosion pattern
SP-0	0	-0.111	0.008	12.466	Gu,Le,W
SP-1	48	-0.137	0.003	13.465	Gu,Le,M
SP-2	86	-0.056	0.016	13.443	Gu,Le,M
SP-3	125	-0.108	0.006	13.847	Gu,Le,M

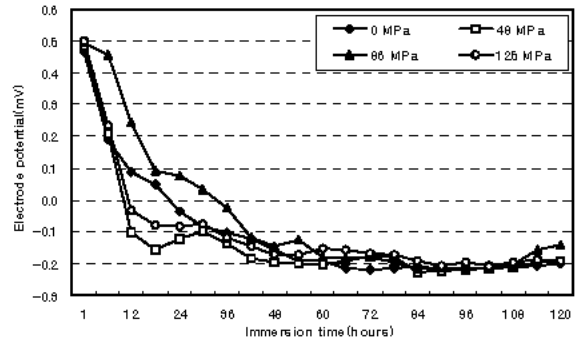


Fig. 8 Electrode potential as a function of immersion time in welded zone

Fig. 8은 침지시간의 경과에 따른 상대전극전위의 변화를 나타낸 것이다. 무부하 상태 및 48MPa의 부하응력하에서는 42시간까지는 감소하였다. 그러나 86MPa와 125MPa의 부하응력하에서는 18시간까지는 급격히 감소하였다가 30시간 부근에서 다소 증가하였으며, 그 이후에는 -0.10~-0.25 mV 범위에서 대체로 안정된 전위값을 나타냈다. 초기에 전위차가 크게 나타난 이유는 시험편의 표면상태 또는 표면에 노출된 계재물들의 성장 등에 영향을 받기 때문이며, 시간의 경과와 함께 표면상태의 영향이 점차 사라지고 정상상태에 이르면서 전극전위가 안정화 되는 것으로 사료된다. A5083-H116 용접부의 상대전극전위는 전반적으로 시간의 경과와 더불어 낮게 나타났으며, 항복응력의 48% 정도인 86MPa 부하응력에서는 가장 높은 상대전극전위를 유지하였고, 항복응력의 27% 정도인 48MPa 부하응력에서는 가장 낮은 양상을 나타냈다.

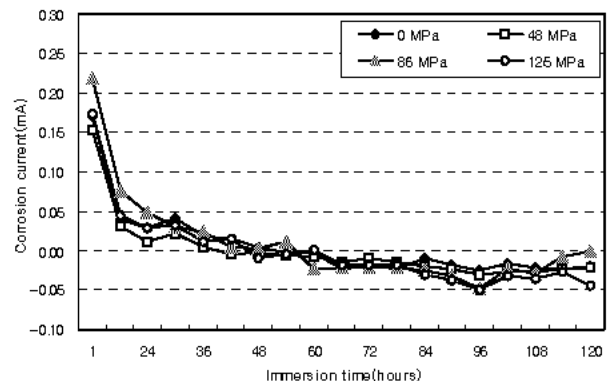


Fig. 9 Corrosion current as a function of immersion time in welded zone

Fig. 9는 침지시간의 경과에 따른 상대전류의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 초기부터 12시간까

지는 급격한 감소가 이어지고, 이후에 소폭의 증가가 나타나며 36시간 이후부터는 점차 안정적인 전류값을 나타냈다. A5083-H116 용접부의 상대전류는 대체적으로 42시간까지 감소현상을 보였으나, 전반적으로 시간의 경과와 더불어 낮아지는 경향을 보였다. 하지만 86 MPa 부하응력에서는 가장 높은 상대전류값을 유지하였고, 48MPa 부하응력에서는 가장 낮은 양상을 보였다.

4.4 부하응력에 따른 부식속도와 부식형태의 변화

Fig. 10은 부하응력에 따른 부식속도를 나타낸다. 부하응력의 증가할수록 부식속도가 증가하였다. 무부하상태에서의 부식속도가 133.85mpy 였지만 응력이 48 MPa 및 86MPa 응력하에서는 거의 일정한 경향을 보이다가 125MPa에서는 다시 증가하였다.

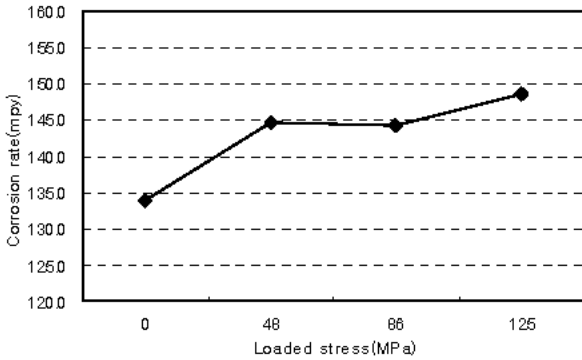


Fig. 10 Corrosion rate as a function of loaded stress

Fig. 11은 A5083-H116 용접시험편을 120시간(5일간) 실험 후의 표면부식양식을 나타낸 것이다. 일반적으로 용접금속부는 급랭된 구조 조직으로, 금속조직적 차이와 결정립의 조대화 및 잔류응력 등으로 모재부보다 내식성이 낮아진다. 열영향부에서는 예열과 후열에 의한 용접열화(weld decay)가 내식성에 큰 영향을 미친다.

Fig. 11의 (a)는 무부하 상태에서의 표면 부식양식을 나타낸 것이다. 모재부에서는 전반적으로 균일한 전면부식(Ge)과 넓은 공식(W)이 나타났고, 용접금속부에서는 균일한 전면부식(Ge)과 평활한 국부부식(Le)이 나타났다. 용접금속부와 모재부의 경계면은 국부전지가 형성되어 깊은 침식 경계층을 형성하고 있다.

Fig. 11의 (b), (c), (d)는 48 MPa, 86 MPa, 125 MPa의 응력을 부하한 시험편 표면 부식양식을 나

타낸 것이다. 모재부에서는 부하응력이 클수록 공식이 커지면서 공식의 깊이도 깊어지는 경향을 보였으며, 주로 넓은 공식(W)이 나타났다. 용접금속부에서는 무부하상태에서보다 부하응력이 증가할수록 부식형태가 양호한 경향을 보였지만, 노치부에서는 부하응력이 클수록 부식균열이 심한 것으로 나타났다. 열영향부는 침식현상이 심하여 띠부식 형태로 나타났으며, 침식경계층은 부하응력의 증가와 더불어 커지는 양상을 보였다. 이는 모재부와 용접금속부의 면적비의 차이로 인한 전위차가 발생하여 상대적으로 면적이 좁은 용접금속부의 전류밀도가 높아지면서 용접금속부가 모재부보다 빠른 속도로 부식이 진행됨으로써 침식경계층이 형성된 것이다. 모재와 용접금속간의 재질의 차이로 인하여 이종금속에 의한 갈바닉 형태의 국부전지가 형성되어 부식이 촉진되어 침식현상이 심화된 것으로 판단된다.

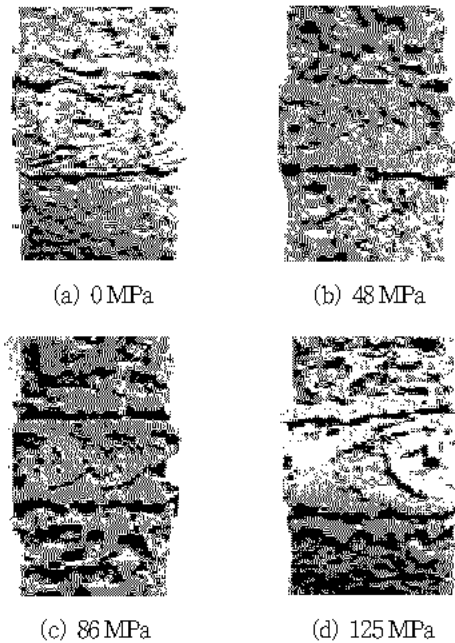


Fig. 11 Corrosion pattern of welded zone(×2)

5. 결 론

A5083-H116 알루미늄 합금재 용접부의 부하응력에 따른 부식균열의 특성을 파악하기 위해 침지부식실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. A5083-H116 용접부는 부하응력의 증가와 더불어 부식균열전진길이가 크게 나타났으며, 균열전진 길이가 길수록 부식 현상의 진행속도가 빨라지는 경향을 보였다.

2. A5083-H116 용접부의 상대전극전위와 상대전류는 침지시간의 경과와 더불어 대체로 낮아지는 경향을 보였다. 평균상대전극전위와 상대전류는 부하응력이 48 MPa에서 가장 낮게 나타났고, 86 MPa에서 가장 높게 나타났다.
3. 용접금속부의 표면부식형태는 무부하상태에 비해 응력을 부하하였을 때 양호하며, 모재부는 무부하상태에서 전면부식이 나타났으나 응력이 증가할수록 공식이 넓고 깊어졌다. A5083-H116 용접부의 표면부식형태는 부하응력이 클수록 대체로 공식이 넓고 깊어지는 경향을 보였다.

후 기

본 연구는 2004년도 두뇌한국21 사업에 의하여 일부 지원되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 水野政夫口章, 1972, “合金 鎔接”, 産業出版株式會社, 東京, p. 99.
2. 山田盛雄, 1985, “アルミニウム技術便覽”, 輕金屬出版株式會社, 東京, pp. 1519~1521.
3. 이학렬, 2000, “금속부식공학”, 연경문화사, pp. 262~274.
4. 정선모, 한동철, 1985, “표준 기계설계학”, 동명사, pp. 99~96.
5. Terbert H. Uhlig, R. Winston Tevie, 1994, “腐蝕反應とその制御”, 産業圖書(株), p. 141.
6. W. Brown, Jr, J. Srawley, 1966, “Spec. Tech. Report No. 410”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
7. D. Broek, 1978, “Elementary Engineering Fracture Mechanics”, Sijthoff and Noordhoff, The Netherlands.
8. 우홍식, 이갑래, 한지원, 1993, “재료파괴역학”, 보성문화사, pp. 108~123.
9. 안용식 외 4인, 1994, “AISE 321강의 용접 열영향부의 부식거동에 관한 연구”, 한국부식학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 233~242.
10. F. A. Champion, 1948, “J. Inst. Met. 37”, 48.
11. 김영식, 1993, “최신 기계재료학”, 형설출판사, pp. 182~184.
12. 이의호 외 3인, 1999, “부식과 방식의 원리”, 도서출판 동화기술, pp. 153~158, pp. 178~182.
13. M. O. Spedel, M. J. Blackburn, T. R. Beck, and J. A. Feeney, 1972, “Corrosion Fatigue and Stress Corrosion Crack Growth in High Strength Aluminum Alloys, Magnesium Alloys, and Titanium Alloys Exposed to Aqueous Solution, NACE”, International corrosion conference series, Vol. 2, pp. 324~326.
14. Denny A. Jones, 1996, “Principles and Prevention of Corrosion”, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 275~278.