

자동차 부품용 CFRP 및 고진공 다이캐스팅 알루미늄 합금 시편의 표면 조건에 따른 전기 화학적 거동에 관한 연구

김영환¹⁾ · 문민석²⁾ · 김한주^{*1)}

전북대학교 융합기술공학과¹⁾ · 한국탄소융합기술원 실용화본부 복합재엔지니어링센터²⁾

A Study on the Corrosion Behaviors of CFRP and High Vacuum Die Casting Aluminum Alloy Specimens by Varying Surface Conditions

YoungHwan Kim¹⁾ · MinSeok Moon²⁾ · Han Joo Kim^{*1)}

¹⁾Department of Convergence Technology Engineering, Jeonbuk National University, Jeonbuk 54896, Korea

²⁾Composite Engineering Center, Commercialization Headquarters, Korea Institute of Carbon Convergence Technology, 110-11 Ballyong-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeonbuk 54853, Korea

(Received 10 October 2019 / Revised 27 November 2019 / Accepted 7 December 2019)

Abstract : This study investigated the corrosion behaviors of CFRP materials and high vacuum die-cast aluminum alloys that were used in automobiles to evaluate the effects of different roughness conditions. Experimental tests were performed based on electrochemical characterization(potentiodynamic corrosion test), surface morphology(FESEM), and component analysis(EDS) under the 5 wt% NaCl aqueous solution. Both CFRP and the Al alloy showed similar results in which corrosion rate increased as surface roughness increased, and the corrosion of the Al alloy occurred faster than that of CFRP. Also, in the morphological analysis after testing, the composition change in the CFRP was not affected by surface roughness; however, Al alloy compounds underwent changes largely due to the formation of oxides. The anticorrosive treatment technology to suppress corrosion and improve the durability of the Al alloy will be considered in future applications.

Key words : Lightweight(경량화), Surface treatment(표면처리), Salt spray test condition(염수분무조건), Electrochemical corrosion test(전기화학부식 실험), Carbon fiber reinforced plastics(탄소섬유복합체)

1. 서론

자동차 산업에서 기관의 출력 증가 및 연료소비율 저감의 수요자 요구와 함께 별도로 환경요소인 배기공해 저감에 대한 대책기술이 급진적으로 발전되고 있다. 더불어 신차량의 개발에 있어 인체에 유해인자를 최소화하기 위해 친환경 소재 및 알루미늄 합금소재의 자동차 부품의 응용이 다양화 되고 있다.

차량의 연료소비율의 개선을 위한 경량화 소재인 알루미늄, 카본물질 등은 주요 대체부품 적용으로 고급차량에 이미 상용화 되고 있다. 경량화 부품의 적용 경향의 자동차 산업은 지금까지 운전자의 안전성 및 편의성에 대한 소비자의 다양한 요구와 함께 지속적으로 신소재의

경량화 대체부품의 응용이 절실히 요구되고 있다.¹⁻³⁾ 한편, 차량의 성능향상은 물론 장기적인 부품의 내구성을 얻기 위해서는 사용화 되고 있는 알루미늄 합금 등 경량화 소재의 부식성 평가에 대한 정밀한 평가가 우선적으로 필요하다. 최근에 Al, Mg, CFRP(Carbon fiber reinforced plastics) 등을 이용한 경량화 소재가 적용됨에 따라 이종간의 접합기술 부분에서 부식 등에 의한 강도저하의 내구 신뢰성에 대한 우려가 있다.⁴⁻⁶⁾ 이에, 본 연구에서 자동차 경량화 소재로 각광받고 있는 CFRP 소재와 고진공 다이캐스팅을 시행한 알루미늄 합금 소재인 시험편을 사용하여 표면 조건에 따라 염수조건인 5 wt% NaCl 수용액에서의 전기화학적 특성과 조직 및 성분 변화의 거동을 연구하였다.⁷⁻¹⁰⁾

*Corresponding author, E-mail: khanjoo@jbnu.ac.kr

^{*}This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 재료들은 시중에 판매되고 있는 4k, 평직으로 제작되어진 10layer의 광택 CFRP를 구매하여 사용하였다. 알루미늄 주조 시험편은 3,200톤 고진공 다이캐스팅 장비(Bulhur, Evolution320D, 스위스)에서 ADC 12종 알루미늄 합금으로 제작한 터널등기구 제품의 하판 평면부에서 관상 형상의 시험편을 채취하여 본 연구의 알루미늄 주조재 시험편으로 사용하였다.

본 연구에서는 원재료 상태와 다양한 표면 조도 조건을 갖기 위하여 #200, #800, #2000의 사포를 이용하여 시험편의 표면 조건을 변경하고, 각각의 시험편은 표면조건별로 3개씩 만들어 실험을 수행하였다.

Table 1은 ADC12종 합금의 표준 성분을 정리하였다.¹¹⁾

Table 1 Chemical composition of ADC12 alloy

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
1.5~3.5	9.6~12.0	0.3Max	1.0Max	0.9Max	0.5Max	0.5Max	0.2Max	Bal.

2.1 표면 조건별 시험편 제작

본 연구에서 실험을 진행하기 위하여 시험편을 원 소재 상태인 As Received 상태와 #200, #800, #2000의 사포로 표면 연마를 진행하여 표면 조건을 구분하였다.

표면 연마는 폴리싱 장비(METPOL, R&B, 한국)를 사용하여 각 사포별로 200 rpm 속도로 물을 공급하면서 20초 동안 폴리싱 수행하여 시험편을 준비하였다. 폴리싱이 완료된 시험편은 초음파 세척기를 사용하여, 무수에탄올 분위기에서 시험편당 각 3분씩 세척을 수행하였다.

2.2 표면조도 측정

표면조도 측정은 표면 조도계(SJ-400, Mitsubishi, 일본)를 사용하여 As Received 시험편과 사포로 표면 전처리를 수행한 시험편에 대하여 평가를 수행하였다. 시험은 각각의 시험편 표면부 기준으로 상·중·하의 위치에 대하여 1개 시험편 별로 3회의 표면 거칠기를 측정하였으며, 동일 표면 조건별로 총 9회의 표면조도 평가를 수행하였다. 그 결과 값에서 최고치와 최저치를 제외한 평균값을 측정 결과 값으로 사용하였다.

2.3 전기화학 특성 평가

전기화학 특성은 전기화학 측정 장비(PARSTAT MC, AMETEK, 미국)를 사용하여 평가를 수행하였다.

본 실험에 사용된 시험편은 As Received 시험편과 사포로 표면 처리한 시험편으로 각각 3개의 샘플을 사용하

여 전기화학특성 평가를 수행하였다. 시험 조건은 자동차 염수분무 시험 조건¹²⁾인 5 wt% NaCl 수용액을 사용하였다. 각 시험편에 대하여 Potentiodynamic Anodic Polarization Test를 수행하였으며, 기준 전극은 Ag/AgCl 기준 전극(Ag·AgCl/KCl, 3.5 M)을 사용하였다. 측정 전압 범위는 -0.25 V(Ag·AgCl)에서 1.20 V(Ag·AgCl)까지의 분극속도(Scan rate)는 1 mV 스텝으로 전기화학 특성 평가를 수행하였다. 전기화학 특성평가 중에는 별도의 탈기 장치는 사용하지 않았다.

2.4 미세조직 분석

미세조직 분석은 FE-SEM 장비(JSM- 7100F, JEOL, 일본)를 사용하여 분석을 수행하였다. 분석 시험편의 조건은 As Received 상태의 시험편과 표면조도 조건을 다르게 한 각각의 시험편들의 표면을 전기화학 특성 평가 전, 후로 구분하여 표면을 분석하였다. 또한, EDS 분석을 통하여 전기화학 특성 전·후의 각 시험편별 표면부의 성분 변화 특성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험편 표면 조도 분석 결과

본 실험에 사용된 시험편에 대한 표면조도 결과는 Fig. 1에 정리하였다.

CFRP 시험편의 표면조도는 As-received 상태에서 0.05 μm 로 가장 우수하였으며, #2000, #800, #200의 순으로 표면조도인 Ra값이 증가하는 것을 확인하였다.

이는 KS B 0161의 표면거칠기 기준값과 비교한 결과, As-Receive의 경우 N2(0.05 μm), #2,000의 경우 N3(0.10 μm), #800의 경우 N4(0.17 μm), #200의 경우 N6(0.81 μm)의 값을 확인하였다.^{13,14)}

알루미늄 시험편의 경우, 고진공 다이캐스팅을 통하

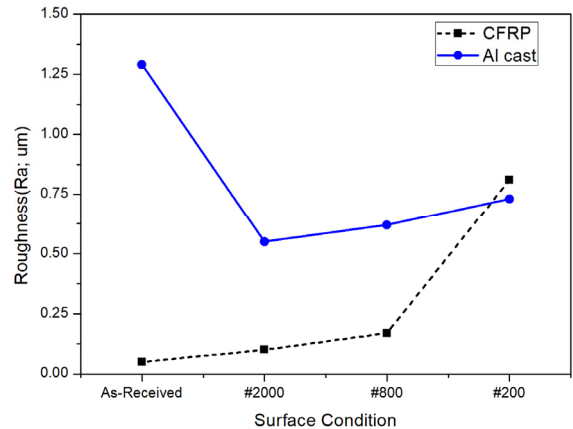


Fig. 1 Summary of each specimen's surface roughness results

여 얻어진 시험편으로, #2000의 경우 N6(0.55 μm), #800의 경우 N6(0.62 μm), #200의 경우 N6(0.73 μm)의 값을 확인했으며, As Received 시험편의 경우 N7(1.29 μm)의 값을 확인하였다.^{13,14} 이는 As Received 시험편의 경우 고진공 다이캐스팅에서 사용된 금형의 표면조도와 주조 공정 상태와 관련이 있으며, 실제 시제품 제작 과정에서 사용되는 금형의 표면조도의 수준이 #2000, #800, #200의 사포로 일정시간 연마된 표면 조건보다 높은 Ra값을 갖고 있음을 확인하였다.

3.2 전기화학 특성 평가

자동차용 염수분무 조건인 5 wt% NaCl의 수용액을 사용하여 동전위분극 시험(Potentiodynamic corrosion Test)을 수행한 결과, CFRP의 결과는 Fig. 2에 Cast Al의 결과는 Fig. 3에 나타내었다. CFRP 시험편의 경우, Tafel 곡선으로 부식 전류밀도 값(I_{corr})을 확인한 결과 As Received의 표면조건에서는 2.721×10^{-10} (Amp/cm²), #2000의 표면조건에서는 1.622×10^{-8} (Amp/cm²), #800의 표면조건에서는 1.345×10^{-7} (Amp/cm²), #200의 표면조건에서는 1.496×10^{-7} (Amp/cm²)의 결과를 확인하였다.

본 실험 결과를 통하여 CFRP의 표면조도가 거칠수록 동일한 CFRP 소재라도 부식 속도가 증가하는 것을 확인하였다. 즉, 표면 조도가 거칠어질수록 부식 전류 밀도값(I_{corr}) 값이 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 사포의 번호가 낮을수록 표면 거칠기가 증가하게 되고, #800 이하의 샘플에서 Carbon Fiber가 전해질에 노출되어진 것에 기인한 것으로 사료되며, 이는 미세 조직 분석 결과를 통하여 상호 확인할 수 있다.

Al cast 시험편의 경우, As Received 표면조건에서는 7.755×10^{-3} (Amp/cm²), #2000의 표면조건에서는 1.188×10^{-2} (Amp/cm²), #800의 표면조건에서는 2.649×10^{-2} (Amp/cm²), #200의 표면조건에서는 3.640×10^{-2} (Amp/cm²)의 I_{corr}값을 확인하였다. Al cast의 시험편의 경우, As received의 표면조도는 다른 표면 조건의 시험편에 비하여 표면 조도 값이 높게 나타났지만, 고진공 다이캐스팅 후 표면에 형성된 안정한 산화 피막의 영향으로 인위적으로 사포를 이용하여 새로운 표면 조건을 갖는 시험편에 비하여 낮은 부식 거동의 결과를 갖는 것으로 설명해 볼 수 있다.

CFRP와 Al cast의 시험편의 부식 속도를 상호 비교해 보면 Al cast의 시험편의 부식 속도는 CFRP보다 빠른 부식 속도를 갖고 있음을 확인하였다.

Fig. 4는 CFRP와 Al cast 시험편에 대한 부식전류밀도 값의 결과를 비교하였다.

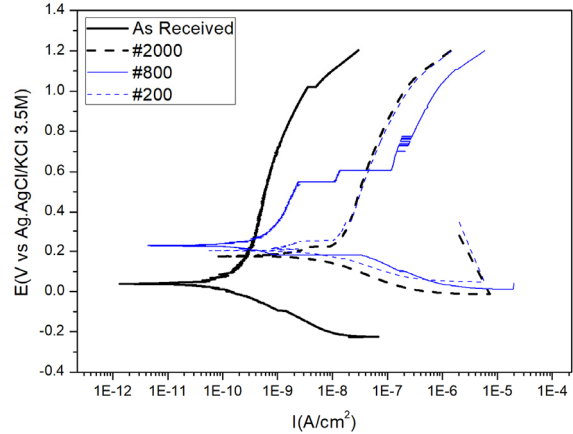


Fig. 2 Results of potentiodynamic test of CFRP specimen with 5 wt% NaCl solution

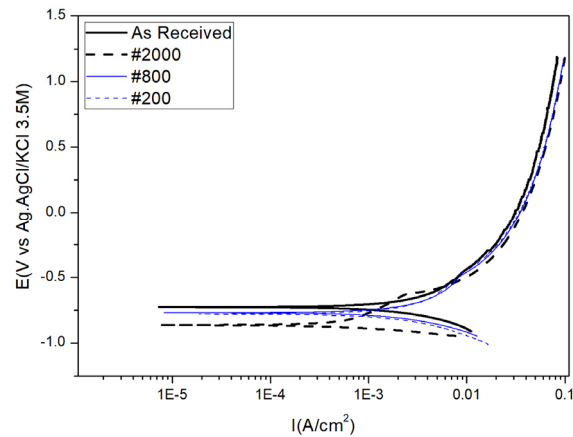


Fig. 3 Results of potentiodynamic test of Al cast specimen with 5 wt% NaCl solution

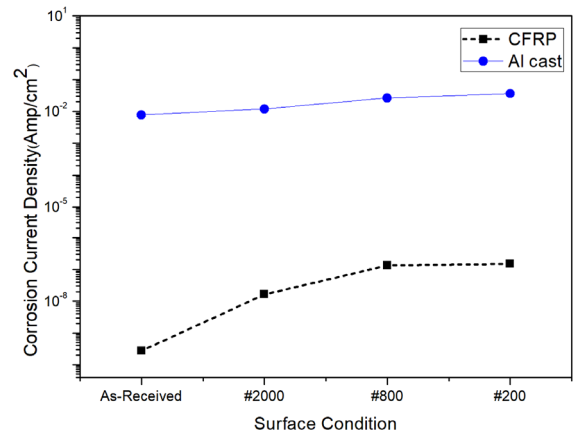


Fig. 4 Comparison of each specimen's corrosion current density

3.3 미세조직 분석

각 시험편별 부식 시험 전·후 표면부의 미세조직을 분석한 결과와 성분변화 결과를 Fig. 5와 Table 2로 정리하였다. CFRP의 경우, 인위적으로 표면 거칠기 조건을 부여

CFRP		
Remark	Before corrosion	After corrosion
As received		
#2000		
#800		
#200		
Al cast		
Remark	Before corrosion	After corrosion
As Received		
#2000		
#800		
#200		

Fig. 5 Comparison of microstructure before and after corrosion

한 결과 #800, #200의 샘플에서 탄소함유가 표면에 노출되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 모든 표면 조건에서의 CFRP 시험편들은 부식시험 전과 후를 비교한 결과 조직 변화는 거의 발생되지 않는 것을 확인하였으며, 성분 변화도 거의 크지 않음을 확인하였다. 반면에 Al cast 시험편의 경우, 부식 전후의 조직의 변화가 크게 발생되었으며, 성분 변화의 결과 부식 후에는 표면에 많은 산화물이

Table 2 Summary of each specimen's composition variation

CFRP				
Remark	Before corrosion		After corrosion	
	Elem.	wt%	Elem.	wt%
As received.	C	82.48	C	81.50
	O	17.52	O	18.50
	Total:	100.00	Total:	100.00
#2000	C	88.77	C	84.93
	O	11.23	O	15.07
	Total:	100.00	Total:	100.00
#800	C	83.72	C	81.92
	O	16.28	O	18.08
	Total:	100.00	Total:	100.00
#200	C	88.93	C	88.80
	O	11.07	O	11.20
	Total:	100.00	Total:	100.00
Al cast				
Remark	Before corrosion		After corrosion	
	Elem.	wt%	Elem.	wt%
As received	O	6.26	O	22.01
	Al	72.96	Mg	0.28
	Si	18.17	Al	40.19
	Fe	0.46	Si	29.13
	Cu	0.91	Mn	0.28
	Zn	1.24	Fe	1.60
	Total:	100.00	Cu	5.48
			Zn	1.03
		Total:	100.00	
#2000	O	6.45	O	32.21
	Al	78.52	Mg	0.24
	Si	13.39	Al	44.25
	Fe	0.52	Si	18.03
	Cu	1.12	Fe	0.82
	Total:	100.00	Cu	3.56
			Zn	0.89
			Total:	100.00
#800	O	21.40	O	36.35
	Mg	0.22	Mg	0.40
	Al	64.65	Al	12.47
	Si	9.46	Si	38.02
	Fe	0.64	Fe	1.72
	Cu	2.46	Cu	10.49
	Zn	1.17	Sn	0.55
	Total:	100.00	Total:	100.00
#200	O	21.11	O	67.65
	Al	65.44	Al	25.63
	Si	10.04	Si	4.89
	Fe	0.54	Fe	0.31
	Cu	2.05	Cu	1.52
	Zn	0.82	Total:	100.00
	Total:	100.00		

발생되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 CFRP의 경우, 5 wt% NaCl의 조건에서는 거의 다양한 표면조건에서 부식의 경향은 매우 저조한 것을 확인할 수 있었고, Al cast의 경우에는 안정적인 산화피막을 형성했던 As Received 시험편을 제외하고는 표면 거칠기가 높아질수록 산화되는 양이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 전기화학 특성 평가의 결과에서 확인한 것처럼 부식속도가 빨라지는 것을 확인하였다.

4. 결론

자동차 경량화 소재로 각광받고 있으며 널리 사용되고 있는 소재인 CFRP와 고진공 다이캐스팅으로 제작한 Al cast 시험편을 이용한 표면조도의 차이에 따른 자동차용 염수시험 조건인 5 wt% NaCl 조건에서 전기화학 특성 및 조직 변화를 관찰한 결과는 다음과 같다.

1) CFRP와 Al cast 시험편으로 전기화학 특성 평가를 수행한 결과, CFRP 시험편은 표면 조도가 거칠어질수록 부식 전류 밀도값(I_{CORR})이 미세하지만 증가하는 경향을 확인하였다.

Al cast 시험편의 경우, 주조 후 시험편은 표면의 안정적인 산화 피막으로 표면 거칠기는 높지만 전기화학 특성 평가에서는 사포로 표면 거칠기를 부여한 시험편에 비하여 낮은 부식 속도를 가짐을 확인하였다. 사포로 표면 거칠기를 부여한 Al cast 시험편은 표면 거칠기가 클수록 부식 속도가 증가하는 것을 확인하였다. CFRP와 Al cast 시험편을 비교하면 CFRP의 경우 Alcast에 비해 상대적으로 부식 속도가 현저하게 낮음을 확인하였다.

2) 5 wt% NaCl 염수 조건에서 부식 전·후의 조직 및 성분 변화를 비교 관찰한 결과, CFRP의 경우는 표면 거칠기에 관계없이 미세조직 변화나 성분변화가 없는 것을 확인하였다. 하지만, Al cast의 경우에는 As received의 시험편을 제외하고는 표면 거칠기가 증가할수록 부식 속도가 빠르게 진행되는 것을 확인할 수 있었고, 성분의 변화를 살펴보면 산소(O)의 성분이 전기분해 평가 후 급격하게 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이는 알루미늄 합금에 포함되어진 Al, Si, Fe, Cu 등의 성분들이 5 wt% NaCl 염수 조건에서 인위적으로 전류를 흘려 강제적인 산화반응을 일으키게 하여 다양한 산화물을 생성한 것으로 판단된다.

따라서, 5 wt% NaCl 전해질 조건에서 알루미늄 부품의 경우 상대적으로 부식 속도가 CFRP에 비하여 빠르다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 한국연구재단(NRF)의 (Project No. 2017-R1C1B 2011968)의 지원으로 연구되었습니다.

References

- 1) D. W. Lee, H. K. Choi and S. G. Lee, Trends in Lightweight Metals for Lightweight Vehicles, KISTI, Daejeon, 2012.
- 2) S. K. Jeong, "Automobile Lightweight Technology Trend by Applying Polymer-based Materials," Transactions of KSAE, Vol.36, No.3, pp.27-32, 2014.
- 3) H. Y. Kim, "Lightweight Metal Materials for Automobiles," Transactions of KSAE, Vol.39, No.6, pp.27-31, 2017.
- 4) M. L. Zheludkevich, S. Kallip and M. Serdechnova, "Protection of Multimaterial Assemblies," Phys. Sci. Rev., pp.73-101, 2016.
- 5) A. J. Bard, M. Stratmann and G. S. Frankel, Corrosion and Oxide Films, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2003.
- 6) L. Reclaru, R. Lerf, P. -Y. Eschler, A. Blatter and J. -M. Meyer, "Pitting, Crevice and Galvanic Corrosion of REX Stainless - Steel / CoCr Orthopedic Implant Material," Biomaterials, Vol.23, No.6, pp.3479-3485, 2002.
- 7) D. I. Seo and J. B. Lee, "Study on Prevention of Galvanic Corrosion Between Carbon Steel Rivets and Graphite Used in Aluminum Matrix Automobiles," Corrosion Science and Technology, Vol.16, No.3, pp.128-140, 2017.
- 8) Y. M. Hyun and H. S. Kim, "Effects of Mg on Corrosion Resistance of Al Galvanically Coupled to Fe," Corrosion Science and Technology, Vol.12, No.1, pp.40-49, 2013.
- 9) F. Bellucci, "Galvanic Corrosion Between Nonmetallic Composites and Metals: 1 Effect of Metal and of Temperature," Corrosion, Vol.47, No.10, pp. 808-819, 1991.
- 10) D. H. Lee, Development of Galvanic Corrosion Prediction for Dissimilar Materials Joints of Automotive Parts, M. S. Thesis, Sungkyunkwan University, Suwon, 2017.
- 11) Japanese Industrial Standard Committee Divisional Council on Non-Ferrous Metals, JIS H 5302:2000, Aluminum Alloy Die Castings, 2000.
- 12) S. J. Yoo and Y. H. Yoo, "Study on Corrosion Behaviors of Automotive Steels Under Various

- Accelerated Corrosion Tests,” Transactions of KSAE, Vol.26, No.2, pp.221-228, 2018.
- 13) Korean Standards Association, KS B 0161, Surface Roughness - Definitions and Designation, 2009.
- 14) Mecha Research Institute Compilation, Standard Mechanical Design KS Standard Handbook, Cheongdam Books, p.459, 2012.