

## 3.5% NaCl 수용액 중에서의 금속과 GECM의 갈바닉 부식에 미치는 면적비의 영향

김 영 식<sup>1,\*</sup> · 임 현 권<sup>1</sup> · 손 영 일<sup>2</sup> · 유 영 란<sup>3</sup> · 장 현 영<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립안동대학교 신소재공학부 청정소재기술연구센터, 760-749 경북 안동시 송천동 388번지

<sup>2</sup>국방과학연구소, 305-600 대전 유성우체국 사서함 35-16 1본부 6부

<sup>3</sup>한국전자통신연구소, 305-700 대전 유성구 가정로 138번지

<sup>4</sup>한국전력기술주식회사, 446-713 경기도 용인시 기흥구 용구대로 257번지

(2010년 2월 1일 접수, 2010년 2월 16일 수정, 2010년 2월 17일 채택)

### Effect of Area Ratio on Galvanic Corrosion Between Metallic Materials and GECM in 3.5% NaCl Solution

Y. S. Kim<sup>1,\*</sup>, H. K. Lim<sup>1</sup>, Y. I. Sohn<sup>2</sup>, Y. R. Yoo<sup>3</sup>, and H. Y. Chang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>The Center of Green Materials Technology, School of Advanced Materials Engineering, Andong National University, 388 Songcheon, Andong, 760-749, Korea

<sup>2</sup>Agency For Defense Development, The 1st R&D Institute - 6, Yuseong P.O Box 35-16, Daejeon, 305-600, Korea

<sup>3</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute, 138 Gajeongno, Yuseong-gu, Daejeon, 305-700, Korea

<sup>4</sup>Korea Power Engineering Company, 257 Yonggudaero, Giheung-gu, Yongin-si, 446-713, Korea

(Received February 1, 2010; Revised February 16, 2010; Accepted February 17, 2010)

Galvanic coupling between GECM(graphite epoxy composite material) and metallic materials can facilitate corrosion of metals and alloys because GECM is noble and electrically conductive. Galvanic corrosion is affected by many factors including metallic materials, area ratio, surface condition, and corrosivity. This work aims to evaluate the effect of area ratio on galvanic corrosion between GECM and several metals. In the case of galvanic coupling of carbon steel and Al to GECM, corrosion rate increased with increasing area ratio. Corrosion rate of sensitized STS 316S stainless steel decreased a little at an area ratio 1:1 but increased at an area ratio 30:1. It is considered to be due to that area ratio affects galvanic corrosion more in less corrosion resistant alloys. However, in case of STS 316 and Ti, galvanic coupling reduces corrosion rate by the formation of passive film.

**Keywords** : GECM, Ti, Al, stainless steel, carbon steel, Galvanic corrosion, Area ratio

## 1. 서 론

비금속복합재료는 기존의 금속재료들보다 강도와 강성이 높고 낮은 비중 때문에 높은 비강도와 비강성, 내부식성을 가진다.<sup>1)</sup> 비금속복합재료는 1960년대부터 민수용뿐만 아니라 항공우주용 1, 2차 구조물에 다양하게 적용되고 있다.<sup>2)-4)</sup> 이러한 비금속복합재료는 항공기의 금속재료를 대체하여 사용됨으로써 항공기의 구조적 효율성과 가동 경제성을 크게 향상시켰다. 복합재료로 만들어진 항공 부품이 금속재료와 연결되게 되고 부식 환경에 노출됨에 따라 갈바닉 부식 문제가 대두되게 된다.<sup>5)-7)</sup> 항공기 관련으로 갈바닉 부식의 관점에서 갈바닉 쌍으로 연결되는 금속재료, 면적효과(음극/양극 면적비), 재료의 표면상태, 분위기의 부식강도 및 온도 등 여러 가지의 인자들이 고려되어야 한다. 본

연구팀에서는 최근에 여러 금속재료와 비금속복합재료인 GECM(graphite epoxy composite materials) 간의 전기 화학적 갈바닉 부식에 대하여 발표한 바 있다.<sup>8)</sup> 즉, 다양한 금속재료와 GECM을 갈바닉 쌍으로 연결하고 갈바닉 부식 특성을 평가한 결과, 탄소강과 Al의 경우 시간이 지남에 따라 갈바닉 전류가 증가하여 부식이 가속되나 스테인리스강과 Ti의 경우 갈바닉 전류는 감소하고 갈바닉 전위는 단독시편의 전위보다 크게 증가하고 있다.

이중 금속 간에 발생하는 갈바닉 부식의 경우, 그 환경에서의 일반적으로 부식전위의 고하에 의해서 각각 양극과 음극으로 작용하게 된다. 그러므로 각 환경에서의 부식전위는 매우 중요한 의미를 갖는다. 즉, 1% NaCl 및 3.5% NaCl 중에 금속재료가 단독으로 존재할 때의 부식전위를 살펴보면, STS 316 스테인리스강 > X4 합금 > Ti > STS 304 스테인리스강 > 탄소강 > Zircaloy-4 > Pure Zr > Al 순으로 낮아지고 있다. 그러나 전체적인 분극특성은 초내식성

\* Corresponding author: yikim@andong.ac.kr

스테인리스강인 X4와 Ti의 내식성이 가장 좋게 평가되었으며, 탄소강과 Al의 경우 양극분극에 의해 급격히 부식이 진행되고 있다.<sup>8)</sup>

그러나 금속의 부식은 부식 환경에 침지되면 시간의 경과에 따라서 서로 상이한 거동을 보이는 경우가 많다. 즉, 부식 환경 중에 노출되는 시간이 길어질수록 부식이 감소하는 경우도 있지만 오히려 부식이 심화되는 경우도 있다. 특히, 이종 금속 간에 연결되어 발생하는 갈바닉 부식의 경우도 그러하다. 이러한 부식의 경우 금속표면에 보호적인 부동태 피막이 생성되는가에 의해서 그 특성이 크게 변화하며, 금속의 미세조직에 의해서도 영향을 받게 된다.

따라서 본 연구에서는 여러 금속재료와 GECM 복합재료가 갈바닉 쌍을 이룰 때 발생하는 갈바닉 부식 현상을 면적 효과, 금속재료의 종류의 측면에서 평가하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시편준비

#### 2.1.1 GECM

본 실험에 사용된 전도성 비금속재료는 Cross packed GECM이며 Cross packed GECM의 노출되는 흑연의 면적을 계산하기 어려우므로 본 실험에서는 시편을 SiC 연마지로 연마하여 흑연 노출면적은 시편의 겉보기 면적으로 대신하였다.

#### 2.1.2 갈바닉 쌍에 사용된 금속 시편

STS 316 스테인리스강(as-received), 650 °C에서 50분간 예민화시킨 STS 316 스테인리스강(316S라 함), 탄소강(C-S, as-received), 알루미늄(A1050), Ti(grade 2)을 사용하였다. 갈바닉 부식 시험 시, 시편의 노출 표면적을 조절하기 위하여 1.5×1.5 cm의 판상의 시편을 피복동선을 시편 한쪽에 경납을 이용하여 연결한 뒤 시편을 에폭시 레진으로 고정시켰다. 시편 표면을 SiC paper #600까지 연마한 후 갈바닉 쌍의 면적비율에 해당하는 면적을 남기고 에폭시 수지로 덮었다. 초음파 세척 후 데시케이터에 보관하였다.

### 2.2 전자현미경(SEM) 관찰

갈바닉부식시험에 사용된 GECM의 적층형태와 조직을 관찰하기 위하여 1×1 cm로 절단한 후 SiC paper #2000까지 연마한 후 주사전자현미경(SEM JEOL)을 이용하여 표면을 관찰하였다.

### 2.3 갈바닉 시험

1 L 용기에 GECM과 시험편과의 면적비를 30:1 그리고 1:1로 하여 갈바닉 셀(Cell)을 형성하고 구리선으로 GECM과 시험편을 연결하였다. 시험용액은 상온의 3.5% NaCl 수

용액이었으며, 포텐시오스타트(Gamry DC105)를 이용하여 주기적으로 갈바닉 전류와 전위를 측정하였다. 이 때 사용한 기준전극은 포화감홍전극(SCE)이었다.

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 3.1 GECM의 형상

본 실험에 사용한 GECM은 Cross-packed GECM이다. 그림 1은 Cross-packed GECM에 대한 전자현미경 및 광학현미경 사진이다. 그림 1(a)는 3면이 만나는 모서리에 대하여 촬영한 주사전자현미경 사진이다. 이 GECM은 서로 엇갈리게 fiber를 적층하였기 때문에 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 종방향의 단면과 횡방향의 길이가 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이를 더 잘 보여주고 있는 것이 그림 1(c)와 그림 1(d)이다. 앞면과 옆면에 대하여 촬영한 사진으로서 서로 엇갈리게 적층된 6개의 층을 보여주고 있다. 이상의 사진에서 알 수 있듯이, Cross-packed GECM의 경우에 어느 부위가 graphite fiber인지 epoxy인지를 구분할 수 있으나 그 각각의 면적을 산출하기는 거의 불가능하다. 따라서 갈바닉 부식시험 시 부식 환경에 노출되는 fiber의 면적을 전체 GECM의 겉보기 면적으로 대신하여 시편 면적비에 활용하였다. 그리고 시편의 뒷면에 부착된 섬유질은 연마작업으로 제거하고 시편으로 사용되었다.

### 3.2 GECM : 금속과의 면적비가 30:1일 때의 갈바닉부식

그림 2(a)는 GECM과의 면적비 30:1로 하여 상온 3.5% NaCl 수용액에서 GECM과 금속 재료의 침지 방법으로 행한 갈바닉 부식 시험에서 시간에 따른 갈바닉 전류밀도의 변화를 나타낸 그래프이다. 측정된 갈바닉 전류밀도는 측정시작 후 300초에서의 값이다. Al과 탄소강의 갈바닉 전류밀도 값이 높게 나타났으며 두 금속의 거동이 비슷한 경향을 보인다. 그리고 STS 316과 STS 316S, 그리고 Ti의 갈바닉 전류 값은 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 전체적인 경향으로는 시간이 지남에 따라 갈바닉 전류밀도가 점차 증가하는 추세를 보인다. 그림 2(b)는 GECM과의 면적비 30:1에서, 상온 3.5% NaCl 수용액에서 GECM과 금속 재료의 침지 방법에 의한 갈바닉 부식 시험에서 시간에 따른 갈바닉 전위의 변화를 나타내었다. 316S 스테인리스강을 제외하고는 시간에 따라서 갈바닉 전위가 비교적 일정하거나 약간씩 상승하는 경향을 보이고 있다. 최종 시험일에서의 전위순서는 티타늄>316 스테인리스강>316S 스테인리스강>탄소강>알루미늄의 순서로 낮아지고 있다.

그림 3은 GECM과 각종 금속의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정한 갈바닉 전류밀도로부터 부식속도를 구하여 침지시간에 따라서 나타낸 도표이다. 시험 용액은 상온의 3.5% NaCl 수용액이었다. 그림 3(a)는 GECM과 STS

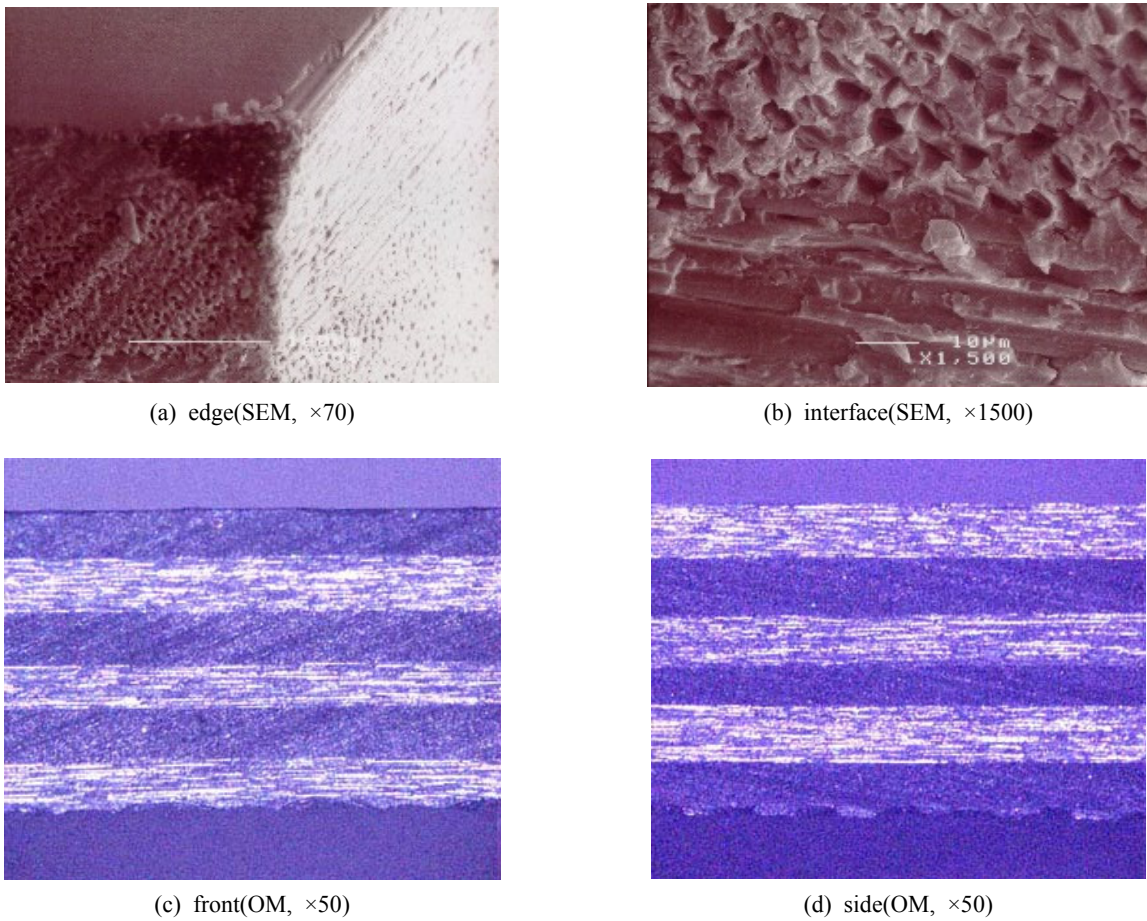


Fig. 1. Scanning electron microscope (a, b) and optical microscope images(c, d) of cross-packed GECM.

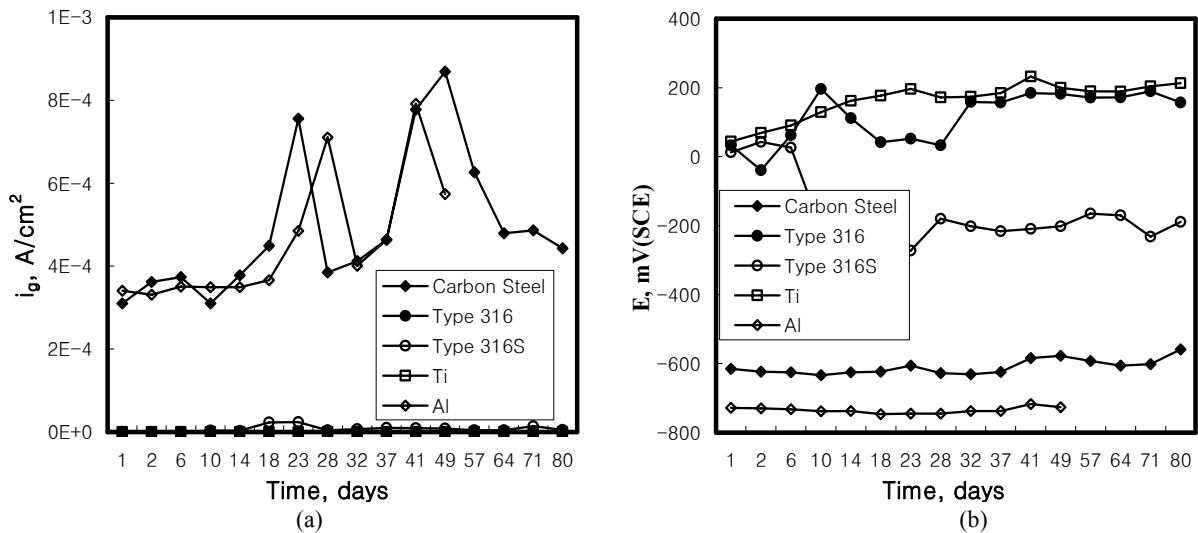


Fig. 2. Variation of (a) galvanic current density and (b) galvanic potential in galvanic corrosion test (area ratio 30:1) with GECM by immersion method (25°C, 3.5% NaCl).

316 스테인리스강과의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바니 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것

이다. 갈바니 부식시험 초기에는 부식속도가 크게 측정되었으나 시간이 경과함에 따라서 14일 이후에는 매우 작은 값

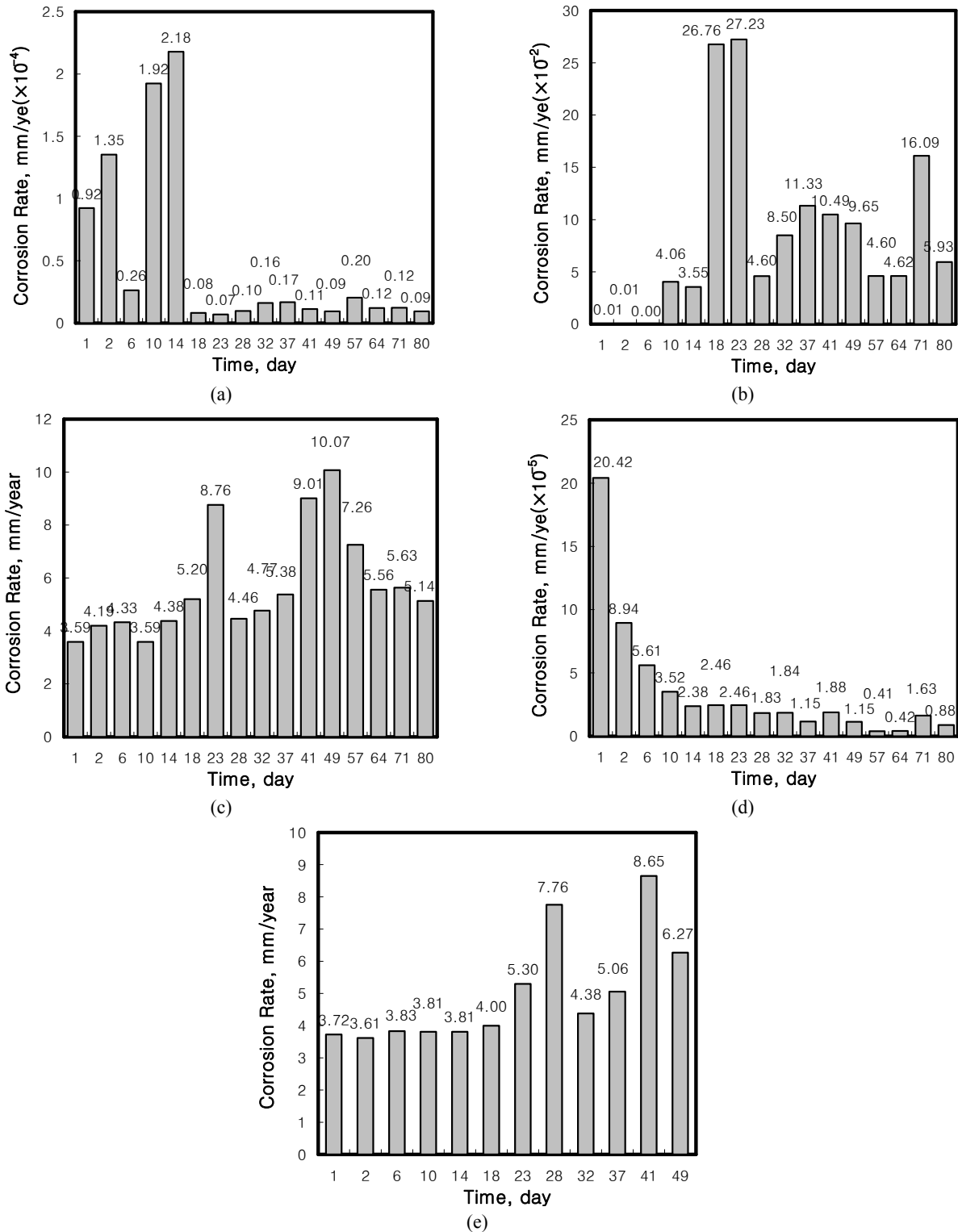


Fig. 3. Variation of corrosion rate in galvanic corrosion test (area ratio 30:1, immersion method, 25°C, 3.5% NaCl) between GECCM and metals; (a) STS 316 stainless steel, (b) STS 316S stainless steel, (c) Carbon steel, (d) Ti and (e) Al.

을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는 0.2  $\mu\text{m}/\text{year}$  정도이며, 14일 이후에는 0.02  $\mu\text{m}/\text{year}$  이하의 값을 보이고

있다. 그림 3(b)는 GECCM과 예민화된 STS 316S 스테인리스강과의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정할 갈바닉

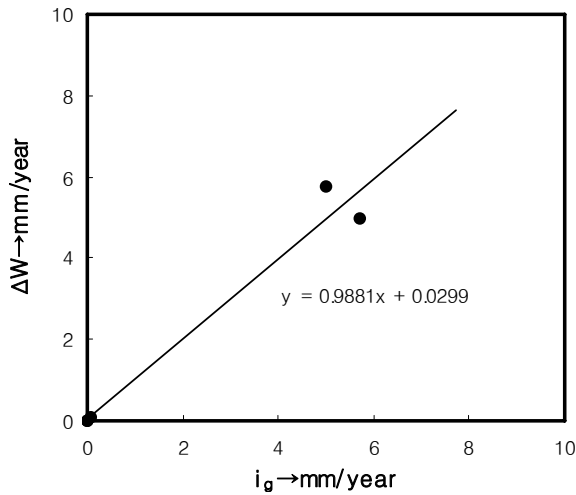


Fig. 4. Relationship between corrosion rate by weight loss and corrosion rate by galvanic current (25°C, 3.5% NaCl) at an area ratio (30:1) of GECEM and metal specimens.

전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉부식시험 초기에는 부식속도가 작게 측정되었으나 시간이 경과함에 따라서 10일 이후에는 점차 증가하고 있다. 측정된 최고 부식속도는 272  $\mu\text{m}/\text{year}$  정도이다. 그림 3(c)는 GECEM과 탄소강과의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 이는 부식속도가 작게 나타난 스테인리스강의 경우와 반대의 결과로서 갈바닉 부식시험 초기부터 부식속도가 크게 측정되고 시간이 경과함에 따라서 점차 증가되는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는 약 10 mm/year 정도이며, 최저 부식속도는 3.6 mm/year이다. 그림 3(d)는 GECEM과 Ti와의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기에는 부식속도가 크게 측정되었으나 시간이 경과함에 따라서 점차 감소하고 있다. 측정된 최고 부식속도는 0.2  $\mu\text{m}/\text{year}$  정도이다. 그림 3(e)는 GECEM과 Al과의 면적비를 30:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기부터 부식속도가 크게 측정되었으며 시간이 경과함에 따라서 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는 8.7 mm/year 정도이며, 최저 부식속도는 3.6 mm/year의 값을 보이고 있다.

그림 4는 침지 방법에 의한 갈바닉 부식 시험에서 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도를 두개의 변화로 나타낸 부식속도와 갈바닉 부식 시험 후 무게변화에 의해 구한 부식속도를 비교한 그래프이다. 갈바닉 전류밀도로 구한 부식속도는 주기적으로 측정된 전류밀도를 부식속도로 환산한 값들의 평균값을 사용하였다. 시험 용액은 상온의 3.5% NaCl 수용액이었으며, GECEM과 시험편의 면적비는 30:1이었다. 그림

에도 나타났듯이 갈바닉 전류밀도로 구한 부식속도와 무게 변화로 구한 부식속도의 비가 약 0.988정도로 거의 일치함을 알 수 있다.

### 3.3 GECEM : 금속과의 면적비가 1:1일 때의 갈바닉 부식

그림 5(a)는 GECEM과의 면적비 1:1로 하여 상온 3.5% NaCl 수용액에서 GECEM과 금속 재료의 침지 방법으로 행한 갈바닉 부식 시험에서 시간에 따른 갈바닉 전류밀도의 변화를 나타낸 그래프이다. 측정된 갈바닉 전류밀도는 측정시작 후 300초에서의 값이다. Al과 탄소강의 갈바닉 전류밀도 값이 높게 나타났으며 두 금속의 거동이 비슷한 경향을 보인다. 그리고 STS 316 과 STS 316S 스테인리스강, 그리고 Ti의 갈바닉 전류 값은 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 그런데 Ti의 경우는 초기에 큰 값을 보이다가 매우 작은 값으

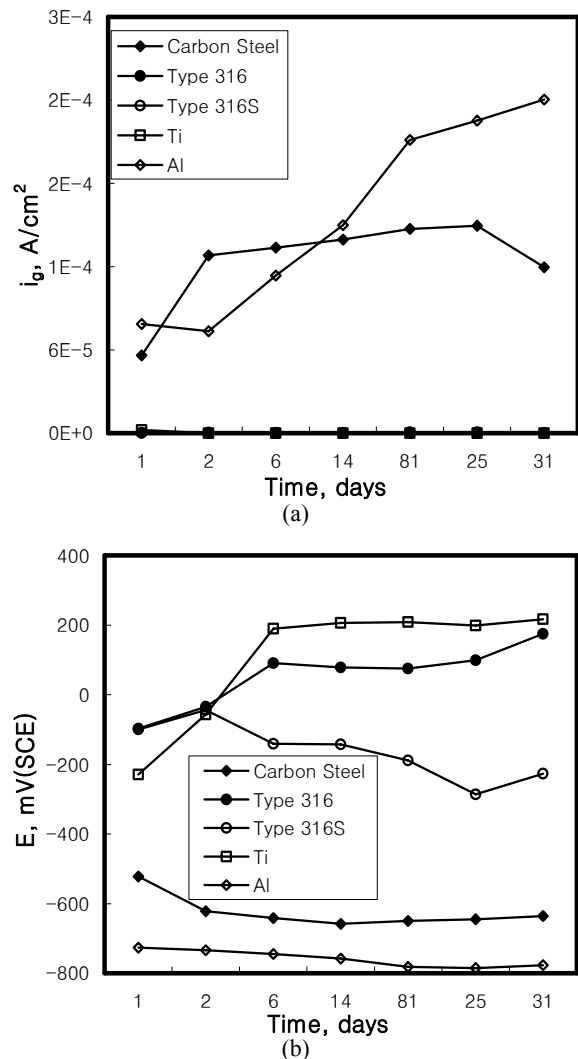


Fig. 5. Variation of (a) galvanic current density and (b) galvanic potential in galvanic corrosion test(area ratio 1:1) with GECEM by immersion method in 3.5% NaCl at 25°C.

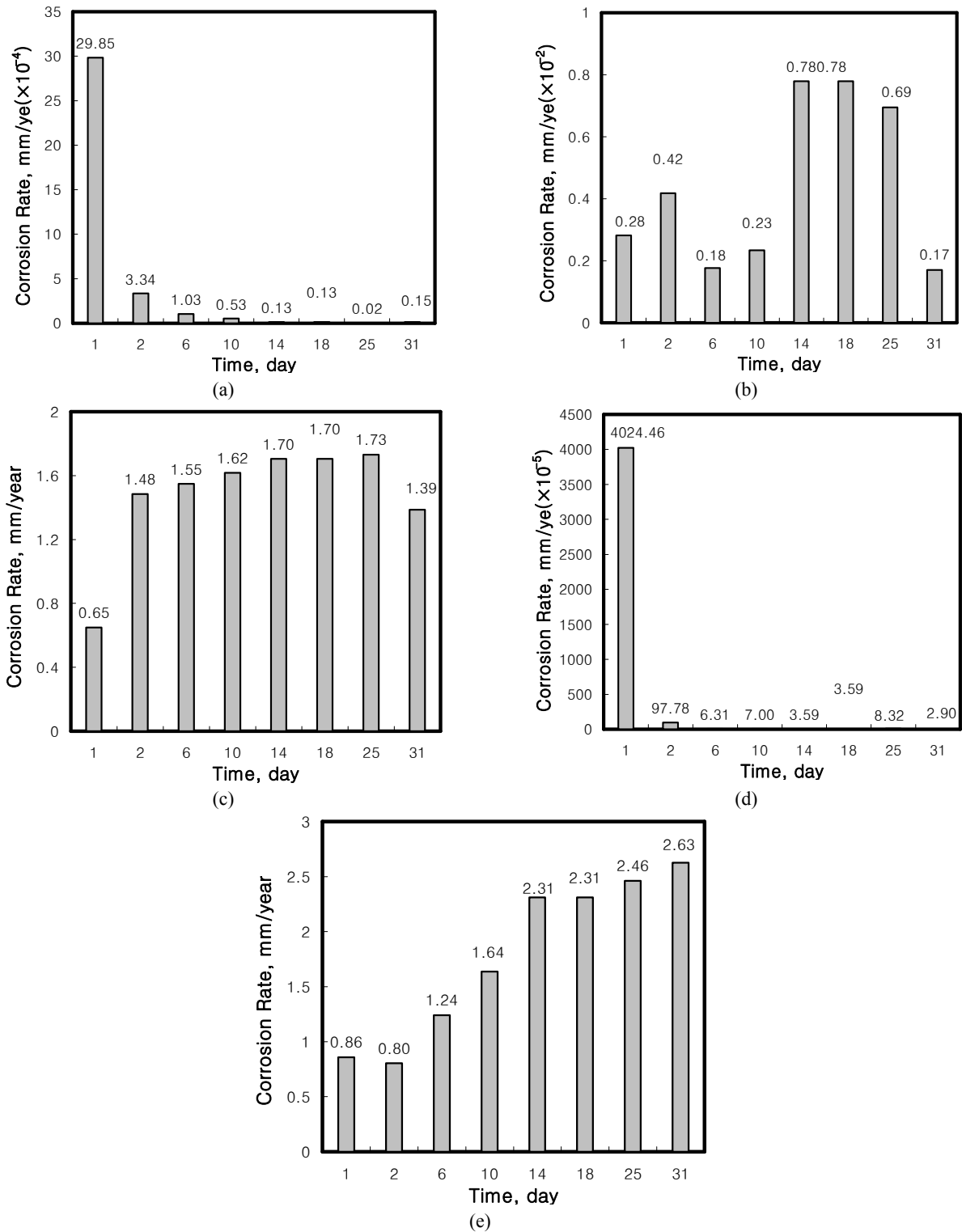


Fig. 6. Variation of corrosion rate in galvanic corrosion test(area ratio 1:1, immersion method, 25°C, 3.5% NaCl) between GECM and metals; (a) STS 316 stainless steel (b) STS 316S stainless steel(c) Carbon steel (d) Ti (e) Al.

로 감소하는 경향을 보이며, STS 316 스테인리스강은 초기 부터 작은 값을 보이고 시간이 경과함에 따라서도 작은 전류

밀도를 보인다. 한편 예민화된 STS 316S 스테인리스강은 STS 316 스테인리스강의 갈바닉 전류밀도보다 큰 값을 보

이며 시간이 경과함에 따라 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 5(b)는 GECM과의 면적비 1:1로 하여 상온 3.5% NaCl 수용액에서 GECM과 금속 재료의 침지 방법으로 행한 갈바닉 부식 시험에서 시간에 따른 갈바닉 전위의 변화를 나타낸 그래프이다. Ti의 경우는 초기에 비교적 낮은 전위를 보이다가 시간이 경과함에 따라서 전위가 급격히 상승하고 있으며, STS 316 스테인리스강의 전위도 시간이 경과함에 따라서 상승하고 있다. 그러나 예민화된 STS 316S 스테인리스강의 전위는 점차 감소하고 있다. 탄소강과 알루미늄은 매우 낮은 전위 값을 보이며 시간이 경과함에 따라서 약간 감소하는 경향을 보인다. 갈바닉 시험 후 31일째의 전위값을 순서별로 정리하면  $Ti > STS\ 316 > STS\ 316S > \text{탄소강} > \text{알루미늄}$ 의 순서로 낮아지고 있다.

그림 6은 GECM과 각종 금속의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 시험 용액은 상온의 3.5% NaCl 수용액이었다. 그림 6(a)는 GECM과 STS 316과의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기부터 부식속도가 크게 측정되었으며 시간이 경과함에 따라서 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는  $2.9\ \mu\text{m}/\text{year}$  정도이며, 최저 부식속도는  $0.01\ \mu\text{m}/\text{year}$  이하의 값을 보이고 있다. 그림 6(b)는 GECM과 예민화된 STS 316S와의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기부터 부식속도가 크게 측정되었으며 시간이 경과함에 따라서 점차 상승하는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는  $7.8\ \mu\text{m}/\text{year}$  정도이며, 최저 부식속도는  $1.7\ \mu\text{m}/\text{year}$  이하의 값을 보이고 있다. 그림 6(c)는 GECM과 탄소강과의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기부터 부식속도가 크게 측정되었으며 시간이 경과함에 따라서 점차 상승하는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는  $1.7\ \text{mm}/\text{year}$  정도이며, 최저 부식속도는  $0.65\ \text{mm}/\text{year}$ 의 값을 보이고 있다. 그림 6(d)는 GECM과 Ti과의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도와 이로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기에는 부식속도가 크게 측정되었으나 시간이 경과함에 따라서 매우 안정되고 부식속도도 감소하여 측정된 최저 부식속도는  $0.029\ \mu\text{m}/\text{year}$  정도로 굉장히 작은 값을 가진다. 그림 6(e)는 GECM과 Al과의 면적비를 1:1로 하여 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로부터 구한 부식속도를 나타낸 것이다. 갈바닉 부식시험 초기부터 상당히 큰 부식속도로 측정되었으며 시간이 경과함에 따라서 부식속도가 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 측정된 최고 부식속도는  $2.63\ \text{mm}/\text{year}$  정도이며, 최저 부식속도

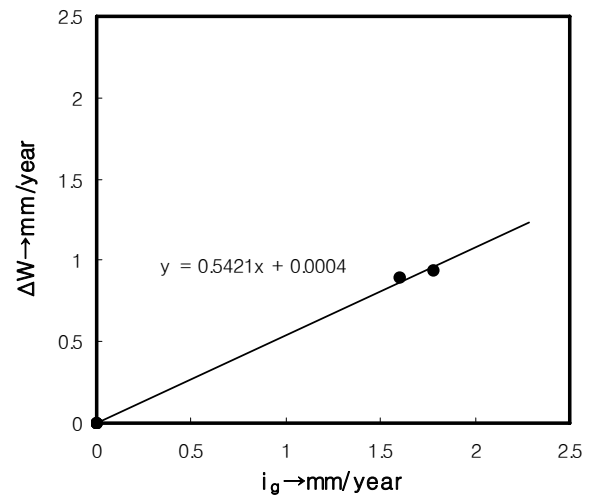


Fig. 7. Relationship between corrosion rate by weight loss and corrosion rate by galvanic current ( $25^{\circ}\text{C}$ , 3.5% NaCl) at an area ratio (1:1) of GECM and metal specimens.

는 초기의  $0.8\ \text{mm}/\text{year}$ 의 값을 보이고 있다.

그림 7은 침지 방법에 의한 갈바닉 부식 시험에서 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도를 두개의 변화로 나타낸 부식속도와 갈바닉 부식 시험 후 무게변화에 의해 구한 부식속도를 비교한 그래프이다. 시험 용액은 상온의 3.5% NaCl 수용액이었으며, GECM과 시험편의 면적비는 1:1이었다. 갈바닉 전류밀도로 구한 부식속도는 주기적으로 측정된 전류밀도를 부식속도로 환산한 값들의 평균값을 사용하였다. 측정된 갈바닉 전류밀도로 구한 부식속도에 대한 무게 변화로 구한 부식속도의 기울기는 약 0.54로서 갈바닉 전류밀도로 인해 측정된 부식속도가 무게변화로 구해진 부식속도보다 약 2배정도 더 크다고 할 수 있다.

### 3.4 면적비가 갈바닉 부식에 미치는 영향

그림 8은 상온의 3.5% NaCl 수용액에서 아무런 표면처리를 행하지 않았던 시험편에 대한 양극분극 시험 및 GECM과의 갈바닉 시험에 의해 측정된 부식속도와 갈바닉 전위에 대한 면적비의 영향에 대해 나타낸 그림이다. 여기에서 단독이라고 함은 갈바닉 쌍을 연결하지 않고 양극분극 시험을 행했을 때 타펠분석법에 의한 부식속도를 말한다. 면적비가 1:1일 경우는 침지 방법에 의한 갈바닉 부식시험에서 31일 동안 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로 계산된 부식속도의 평균값이며, 30:1은 80일 동안 주기적으로 측정된 갈바닉 전류밀도로 계산된 부식속도의 평균값이다(단 Al은 49일 침지). 그림 8(a) (a')는 부식속도에 대한 면적비의 영향을 나타낸 그래프로써, 탄소강과 Al은 면적비가 증가할수록 부식속도가 크게 높아짐을 알 수 있다. 예민화된 스테인리스강인 STS 316S는 단독으로 있을 때보다 면적비 1:1일 때 부식속도가 감소하나(부동태 피막의 형성에 의한 부식속

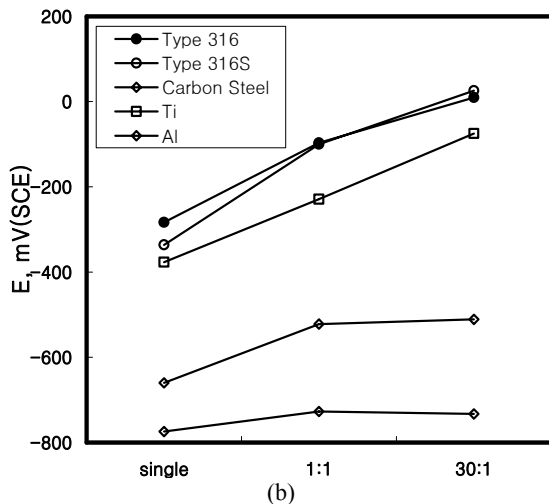
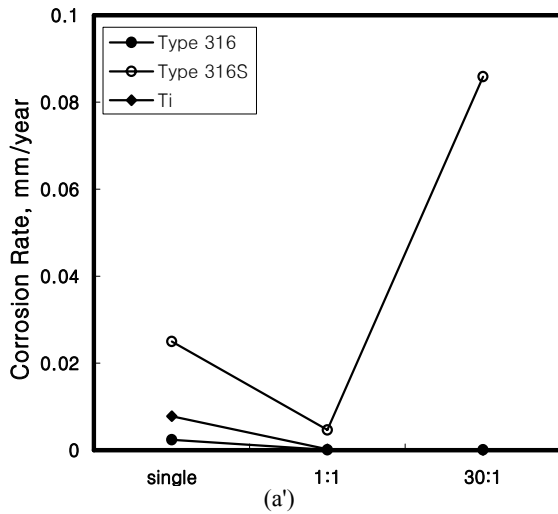
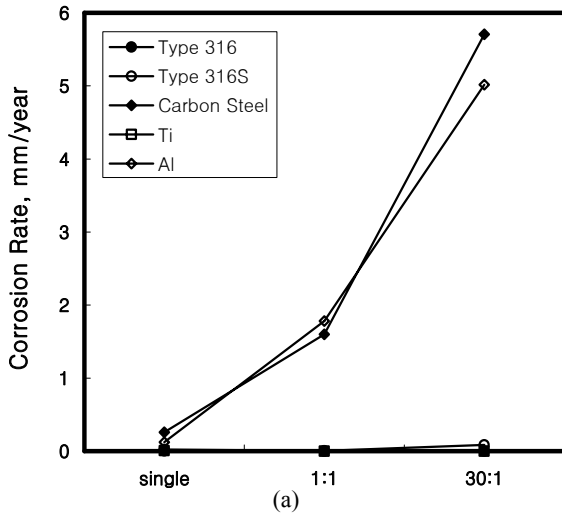


Fig. 8. Effect of area ratio of corrosion rate(a, a') and galvanic potential(b) in electrochemical tests in 3.5% NaCl at 25°C.

도 감소와 갈바닉 부식에 의한 효과가 복합적으로 나타난 것으로 추정됨) 면적비가 30:1일 경우 단독 및 1:1의 면적

비보다 부식속도가 증가하였다. 그러나 STS 316과 Ti는 단독으로 있을 때보다 갈바닉 쌍으로 연결되었을 때가 부식속도가 감소하였다. 즉, 내식성이 높은 합금의 경우는 GECM과 연결되어도 면적비에 의한 부식가속효과는 나타나지 않은 것으로 판단된다. 즉, STS 316과 Ti이 GECM과 갈바닉 쌍을 형성할 경우 유영란 등의 연구결과에 나타내었듯이<sup>8)</sup> 분극곡선 상 GECM과 두 재료의 부동태 영역과 만나게 됨으로써 부동태 피막을 강화시키기 때문으로 판단된다. 그림 8(b)는 갈바닉 전위에 대한 면적비를 나타낸 그래프이다. 시험 시편 모두 단독으로 존재할 때보다 갈바닉 쌍으로 연결되어 면적비가 증가할수록 갈바닉 전위도 증가하고 있다.

#### 4. 결 론

1) 상온 3.5% NaCl 수용액에서 GECM과 금속 재료의 갈바닉 부식 시험 결과, 면적비에 관계없이 316 스테인리스강과 티타늄의 경우는 시험기간의 경과에 따라서 갈바닉 부식속도가 감소하고 있으나, 예민화된 316S 스테인리스강, 탄소강, 알루미늄의 부식속도는 증가하는 경향을 보인다. Ti과 STS 316 시편의 갈바닉 부식속도는 오랜 기간 동안 시험 시 시편 표면에 부동태 피막을 형성시켜 더욱 안정화되어 부식속도가 작게 측정된 것으로 판단된다.

2) 갈바닉 전위순서는 티타늄>316 스테인리스강>316S 스테인리스강>탄소강>알루미늄의 순서로 낮아지고 있다. 한편 GECM과의 면적비가 30:1일 때, 갈바닉 시험 후 무게 변화로 인한 부식속도는 316 스테인리스강<티타늄<316S 스테인리스강<탄소강<알루미늄의 순서로 또한 면적비가 1:1일 때는 316 스테인리스강, 티타늄<316S 스테인리스강<탄소강<알루미늄의 순서로 부식속도가 증가하고 있으며 갈바닉 전위의 값과 대체적으로 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

3) 탄소강과 Al은 GECM과의 면적비가 증가할수록 부식속도가 크게 높아짐을 알 수 있었으며, STS 316S는 단독으로 있을 때보다 면적비 1:1일 때 부식속도는 감소하나 면적비가 30:1일 경우 부식속도가 증가하였다. 이는 내식성이 부족한 합금의 경우, 면적비가 증가하면 갈바닉 부식효과가 크게 나타나기 때문으로 판단된다. 그러나 STS 316과 Ti는 단독으로 있을 때보다 갈바닉 쌍으로 연결되었을 때가 부식속도가 감소하고 있는데, 이는 갈바닉 쌍을 형성할 경우 GECM과 두 재료의 부동태 영역과 만나게 됨으로써 부동태 피막을 강화시키기 때문으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. D. G. Lee, Composite Materials Mechanics and Forming,



- Seongandang (1993).
2. T. J. Reinhart, *ASM International*, **1**, 683 (1987).
  3. H. V. Gerlach, "Composite Motor Cases of Tactical Rockets", AIAA-88-3327
  4. A. K. Munjal, *SAMPE Quarterly*, **17**, 1 (1986).
  5. D. M. Aylor and J. N. Murray, The Effect of a Seawater Environment on the Galvanic Corrosion Behavior of Graphite/Epoxy Composites Coupled to Metals, Naval Surface Warfare Center, Bethesda MD, 1992.
  6. G. Mantong, X. Changgan and D. Zeyi, Contact corrosion between carbon fiber reinforced composite materials and high-strength metals, National Air Intelligence Center Wright-Patterson AFB OH, 1995.
  7. S. D. Thompson, B. L. White, and J. A. Snide, Accelerated Corrosion Testing of Graphite/Epoxy Composites and Aluminum Alloy Mechanically - Fastened Joints, Air Force Wright Aeronautical Labs Wright-Patterson AFB OH, 1985.
  8. Y. R. Yoo, Y. I. Son, G. T. Shim, Y. H. Kwon, and Y. S. Kim, *Corrosion Science and Technology*, **8**, 27 (2009).