

# 건식플라즈마 표면처리법에 의한 마그네슘 합금의 내식특성 향상

윤용섭\*

\* 한국해양대학교 기관시스템공학부

## A Study on the Enhancement of Corrosion Resistance of Magnesium Alloy by Dry Plasma Process

Yong-Sup Yun\*

\* Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Dongsam-dong, Youngdo-gu, Busan, 530-729, Korea

**요 약 :** 현재 지구온난화 등의 환경문제로 인해 각종 산업분야에서 경량화에 대한 요구가 증대되어 해양산업에도 그 수요가 증가하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 차세대 경량화 재료인 마그네슘이 활용되기 위해서 반드시 극복해야할 가장 중요한 특성인 내식특성에 대하여 고찰하고, 그 내식특성 향상을 위한 마그네슘 박막의 Morphology나 결정배향성의 영향을 해명하고자 하였다. 실험결과로부터 제작한 Mg 박막의 전기화학적 내식특성은 Ar 가스압이 높은 조건에서 제작한 막일수록 내식특성이 우수하였다. 이러한 경향은 표면 및 단면의 Morphology와 결정배향성과의 상관관계를 통하여 설명 가능하였다.

**핵심용어 :** 마그네슘합금, 내식특성, 결정배향성, 이온플레이팅, PVD

**Abstract :** In these days, there are increasing demands for weight reduction in many industrial fields including marine industries. Therefore, magnesium thin films for lightweight materials were prepared on magnesium alloy substrate. The influence of gas pressure and substrate bias voltages on the crystal orientation and morphology of the films was determined by using X-ray diffraction and FE-SEM, respectively. And the effect of crystal orientation and morphology of the magnesium thin films on corrosion behavior was estimated by measuring electro-chemical anodic polarization curves in deaerated 3% NaCl solution. From the results, corrosion resistance of Mg thin films was improved by controlling the crystal orientation and morphology of the films with effective use of plasma ion plating technique.

**Key Words :** Magnesium alloy, Corrosion resistance, Crystal orientation, Ion-plating, PVD

### 1. 서 론

최근 전 세계적으로 석유, 천연가스 등의 에너지자원의 부분별한 사용으로 인한 에너지자원의 고갈 및 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 선진국을 중심으로 세계 각국은 각종 산업분야에서 새로운 대체 에너지자원의 개발, 에너지자원의 효율적인 사용을 위한 각종 노력을 기울이고 있다(Chikada, 1990). 특히, 점점 고갈되는 화석연료에 대한 보다 효율적인 사용이 중요시되면서, 전기, 전자산업으로부터 자동차(Noguchi and Fukizawa, 1993), 선박, 항공기 등의 산업에 걸쳐서 경량화에 대한 요구가 증대되었다.

이러한 경량화의 방안으로 마그네슘(Magnesium, 이하 Mg), 알루미늄(Aluminium, 이하 Al) 등의 사용이 제안되었는데, 먼저 Al의 경우에는 기존의 주철제품을 성공적으로 대체하여 사회 전반적인 산업에 응용되어지고 있고, 선박분야에서도 군함 등의 특수선박 등 다양한 분야에 적용되고 있으나, 경량화에 대

한 요구가 더욱 증가하게 되어 새로운 대체재료에 대한 연구가 활발히 진행되었다(Arnold, 1993). 따라서 최근 기술선진국에서는 Mg을 이용한 제품개발에 대한 관심이 집중되고 있고, 그 수요 또한 점차로 증가하고 있다(Fig. 1)(Park and Sin, 1996).

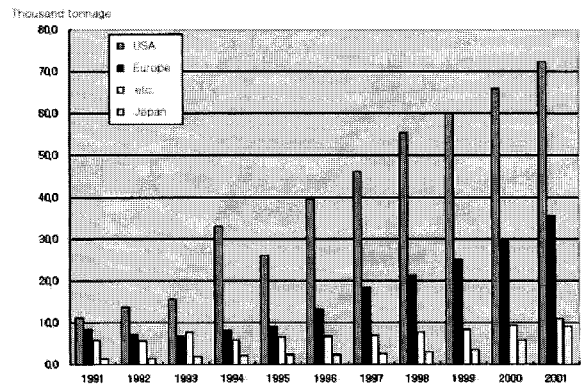


Fig. 1. International demand of magnesium.

\* 중신회원, ysyun@hhu.ac.kr, 051-410-4529

Mg은 비중이 1.74 g/cm<sup>3</sup>(Al의 2/3, Fe의 1/4)로 실용금속 중 가장 경량인 은백색의 금속으로 비강도(Fe의 약 1.5배), 내력, 치수안정성, 절삭가공성(Al의 2/3, Fe의 1/10), 내적형성, 방진성, 전자과 차폐성 등의 우수한 특성을 갖고 있고(Kojima, 1993), 저렴한 비용으로 100% 재활용이 가능한 미래의 환경 친화적인 소재로 알려져 있다(Song, 2001). 더구나 Mg은 자원적으로도 자연계에 유리(遊離)상태로 산출되지는 않지만, 지각내 존재 비중량이 약 1.93 mass%로 나트륨, 칼륨에 이어 제 8위다. 또한, 해수 중에는 가용성 염류로서 금속원소로서는 나트륨 다음으로 많이 함유되어있고, 그 양은 약 1,300 mg/L에 이를 정도로 그 매장량은 매우 풍부하다(Takaya, 1993; Avedesian, et al., 1999).

그러나 Mg은 이렇게 급증하는 수요에도 불구하고 내식성이 취약하다는 점 때문에 마그네슘 중심의 단독재료로써 사용하는 데에는 많은 한계를 갖고 있다. 그래서 이를 해결하기 위해 크로메이트나 양극산화와 같은 방법을 사용하여 왔다. 하지만 이러한 습식 프로세스는 도금액의 처리 등과 같은 환경문제가 심각한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 환경 친화적이고 무공해 플라즈마 박막 프로세스인 열전자 활성화형 Ion plating법에 의한 Mg 박막을 코팅함으로써 Mg 재료의 내식특성 향상에 대하여 논의 하였다. 또한 Ar 가스압, 바이어스 전압과 같은 제작조건에 따라 변화되는 생성막의 Morphology나 결정배향성(Crystal orientation)의 변화가 내식특성 및 경도에 미치는 영향을 고찰함으로써 그 박막의 형성기구 및 특성관계를 해명하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 Mg 박막을 제작하기 위해 진공증착법 및 열전자 활성화형 Ion plating(Thermo-electron activated ion plating)법을 사용하였다(Fig. 2). Mg 박막을 제작하기 위해 사용한 증발금속은 순도 99.99%의 증발용 마그네슘을 사용하였고, 기판은 Mg 합금 중에서 내식특성이 가장 우수한 AZ91D를 이용하였다. 진공의 형성은  $\times 10^{-3}$  Torr까지 우선 Rotary pump를 이용하여 배기하고, 충분히 예열된 Oil diffusion pump를 이용하여  $\times 10^{-6}$  Torr 까지 용기 내를 충분히 배기하였다. 이때 Ar 가스를 약 1 Pa까지 도입시키고, 기판과 증발원 사이에 -500 V의 Bias전압, -150 V의 이온화 가속전압, 20 A의 이온화 필라멘트 전류를 인가함으로써 Ion bombardment cleaning을 20분간 실시하였다. 그리고 기판 및 증발금속의 Ion bombardment cleaning이 끝난 후에는 다시 진공용기를  $\times 10^{-6}$  Torr까지 충분히 배기시킨 후, 설정한 Bias 전압 및 진공도 조건을 변화시켜가며 Mg 박막을 제작하였다. 여기에서 전 조건 증착시 증발원 가열 전압은 -100 V, 이온화 가속전압은 150V, 이온화 필라멘트 전류는 20A, Bias 전압은 -100 V로 일정하게 하여 20분간 증착시켰다. 이와 같이 제작한 Mg 박막은 X선회절(X-Ray Diffraction, XRD) 및 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscopy,

SEM)에 의해 결정배향성(Crystal Orientation) 분석 및 morphology 관찰을 하였다. 그리고 이들 코팅막에 대한 내식성은 탈기된 3% NaCl 용액중 Potentio-stat에 의해 전기화학적 양극분극(Anodic polarization) 가속부식측정을 하여 평가하였다.

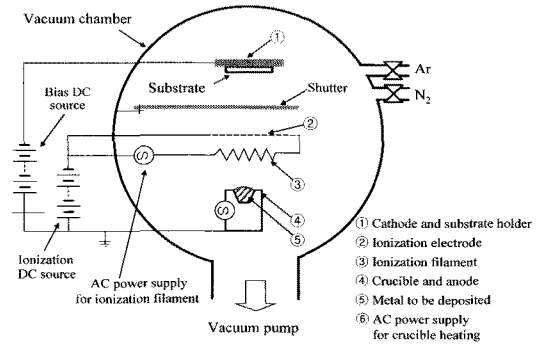


Fig. 2. Schematic diagram of thermo-electron activated ion plating apparatus.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Mg 박막의 표면 및 단면의 Morphology 관찰

Fig. 3은 증발금속인 Mg의 증발량을 일정하게 하고, Ar 가스압의 변화에 의한 진공도를 파라메타로 하여 제작한 Mg 박막의 성막속도를 나타낸다. Mg 박막의 성막속도는  $5 \times 10^{-4}$  Torr 조건에서 약  $0.4 \mu\text{m}/\text{min}$ 이었으나, 가스압이 증가함에 따라 성막속도는 급격히 감소하여  $5 \times 10^{-2}$  Torr 조건에서는  $0.09 \mu\text{m}/\text{min}$ ., 그리고  $5 \times 10^{-1}$  Torr 조건에서는  $0.08 \mu\text{m}/\text{min}$ 로 약간 감소하였다. 이러한 현상은 가스압 증가에 따라 기판에 도달한 Mg 증발금속의 유지시간 감소(Yun et al., 2008)와 증발한 증착금속과 가스입자와의 충돌에 의해 증착되는 금속양의 감소, 그리고 Mg 증발입자의 Mean free path의 감소로 인하여 막성장 보다는 핵형성이 이루어졌기 때문으로 사료된다(Bunshah, 1994).

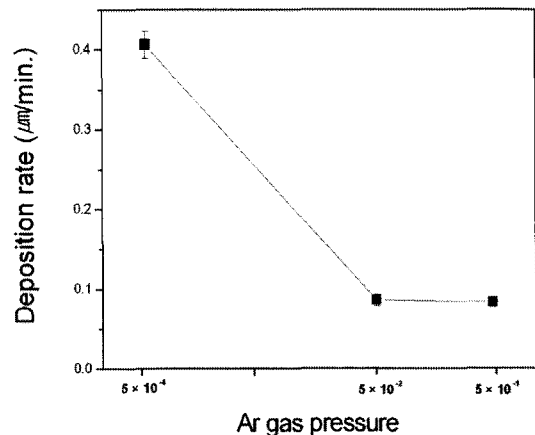


Fig. 3. Deposition rate of Mg films calculated from SEM image.

Fig. 4는 Ar 가스압의 변화에 의해 제작한 Mg 박막의 표면 및 단면의 SEM사진을 나타내고 있다. 표면의 형상은 전체적으로 HCP 구조인 육각형의 모양을 하고 있고, Ar 가스압이 증가할수록 Grain size는 점차로 작아지는 경향을 나타내어 Grain size가 가장 작은 조건 즉, Ar 가스압이  $5 \times 10^{-1}$  Torr인 경우에 Grain size는 약 700 nm를 나타내고 있다. 또한, 단면의 경우에는 Ar 가스압이 증가할수록 Mg 박막의 두께는 점차로 작아지고 있고, 그때의 형상은 기둥모양의 주상정(Columnar structure)에서 입상정(Granular structure)으로 변화하고 있다. 그리고 Ar 가스압이  $5 \times 10^{-4}$  Torr의 경우에는 다른 Ar 가스압에서 보여주었던 육각형 모양과는 달리 여러 개의 육각형이 군집한 꽃모양을 나타내고 있다. 이것은 핵형성보다 핵성장이 두드러지게 일어나 증착입자의 이동(Migration) 및 확산(Diffusion)의 영향으로 사료된다(Hasegawa et al., 1993).

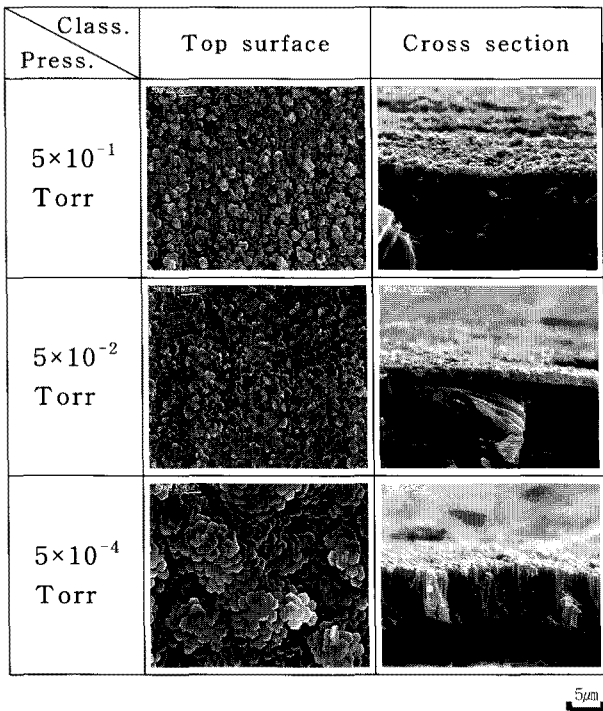


Fig. 4. SEM photographs for top surface and cross section of Mg thin films deposited at different Ar gas pressures.

이러한 표면 및 단면의 Morphology에 대한 Ar 가스압의 영향을 토대로 그 형성 메카니즘에 대하여 고찰하여 보면 다음과 같다. 먼저 가스압의 경우를 보면, 가스압이 증가할수록 기판에서는 Ar 가스의 흡착(Adsorption) 및 흡장(Occlusion)이 증가하게 된다. 이렇게 흡착 및 흡장된 가스입자는 표면의 확산을 방해함은 물론, 표면의 자유에너지도 감소하게 하여 핵이 성장하기보다는 새로운 핵의 형성이 일어나게 한다. 따라서 결정의 Grain size는 작아지고, 구조는 입상정으로 변하게 된다(Lee, 1996).

### 3.2 Mg 박막의 결정배향성 분석

Fig. 5는 진공도 변화에 의한 X선회절 결과를 토대로, Ar 가스압에 따른 Mg 박막의 (002)와 (101)면간격 증가값을 나타내고 있다. Fig. 5에서 보이는 바와 같이 Ar 가스압이 증가함에 따라 ASTM Mg 면간격보다 점차로 증가하는 경향을 나타냈는데, 이것은 가스압이 증가할수록 Mg과 Mg 원자 사이에 Ar 입자가 흡착 및 흡장되는 양이 증가하여 면간격이 점차로 증가하기 때문이다. 즉, 흡착 및 흡장되는 가스량이 많아질수록 면간격은 증가되면서 Mg 원자 사이에 Ar 입자가 강제고용 된다고 할 수 있다. 그리고 전체적으로 표면에너지가 상대적으로 높은 (002)면이 (101)면에 비해 면간격이 더 많이 증가한 경향을 나타냈다. 이것은 표면에너지가 상대적으로 높은 (002)면에 Ar 가스의 흡착 및 흡장이 더 많이 이루어졌기 때문으로 사료된다(Lee et al., 2000). 이것을 표면 및 단면의 Morphology 결과와 비교하여 보면, 가스압이 증가할수록 기판에서는 Ar 가스입자의 흡착 및 흡장이 증가하게 되고, 이온화된 증착입자와 가스의 충돌로 인해서 기판 표면에서 표면 확산과 표면 자유 에너지가 감소하게 되므로 핵성장보다는 핵생성이 활발하게 진행되어 입자가 미립화 된다(Bunshah, 1994). 따라서 증착된 Mg 박막표면에서는 Grain size가 작아지고, 단면의 형상이 주상정에서 입상정으로 변화는 것으로 사료된다.

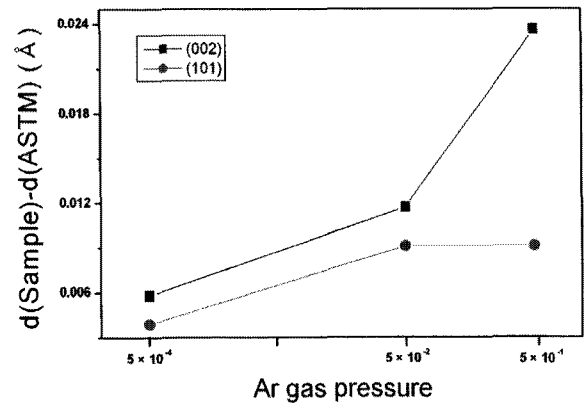


Fig. 5. Relation between Ar gas pressures and X-ray peak shift.

### 3.3 Mg 박막의 내식특성

#### 1) 전기화학적 분극측정에 의한 내식성 평가

Fig. 6과 Fig. 7은 각각의 증착조건에서 제작한 Mg 박막에 대하여 탈기한 3% NaCl 수용액에서 전기화학적 양극분극 측정 결과와 실험 전·후에 관찰한 광학현미경 사진을 각각 나타낸 것이다. 우선 분극측정 결과에서 보이는 바와 같이  $5 \times 10^{-1}$  Torr 경우의 Mg 박막이 증발물질 및 기판으로 각각 사용한 99.99% Mg-ingot와 AZ91D는 물론, Chromate 처리한 AZ91D보다도 현저하게 양호한 내식특성을 나타냈다. 그리고 Ar 가스압을 증가시켜 제작한 막일수록 부식전류밀도가 낮은 우수한 내식특성을 나타내었다. 그리고 이때 전기화학적 양극분극실험 전·후의 광학현미경 사진에서 알 수 있는 바와 같이, Ar 가스

압이  $5 \times 10^{-1}$  Torr인 경우가 다른 Ar 가스압 조건에서 제작한 Mg 박막과 대조적으로 Mg 박막의 일부만이 부식되는 우수한 내식성을 나타내었다.

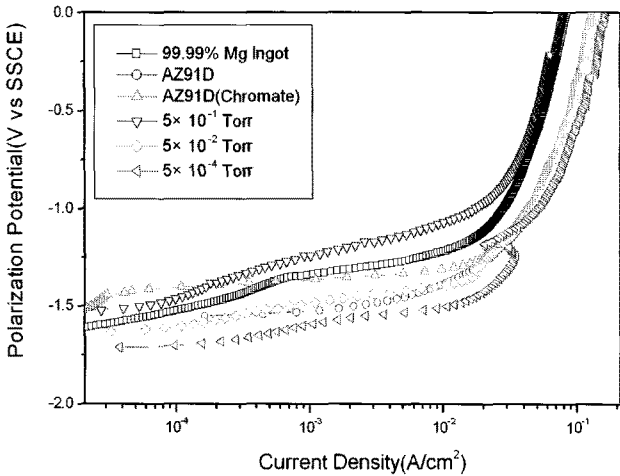


Fig. 6. Anodic polarization curves of Mg films deposited at various Ar gas pressures, measured in deaerated 3 % NaCl solution.

Class. Press.	Before polarization	After polarization
$5 \times 10^{-1}$ Torr		
$5 \times 10^{-2}$ Torr		
$5 \times 10^{-4}$ Torr		

200µm

Fig. 7. SEM photographs for electro-chemical polarization of Mg thin films deposited at different Ar gas pressures.

이와 같은 Mg 박막의 부식거동을 표면 및 단면의 Morphology 및 결정배향성과 관련해서 분석하여 보면, Fig. 4에서 관찰한 바와 같이, Ar 가스압이 증가하면 Mg박의 표면 결정입은 작게 되고 단면은 주상정에서 입상정으로 조직이 변하였다. 여기서 표면의 결정입이 작다고 하는 것은 단위 면적당

의 입계길이가 증가하기 때문에 표면에 점유하는 입계 면적의 비율이 크게 되는 것을 의미한다.

일반적으로 입계는 일종의 결함으로 간주되어 양극으로 작용하는 것으로 알려져 있는데, 이러한 입계면적이 상대적으로 큰 Mg 막의 경우에는 그 입계가 알루미늄 금속처럼 환경 중에서 활성적인 양극으로 작용하게 되어 치밀한 산화피막을 형성한다(Lee et al., 1993). 더구나 결정입이 작아서 단위면적당 차지하는 입계면적이 큰 경우의 막은 상대적 빠르게 치밀한 부동태 산화 피막을 형성하는 것으로 생각된다. 또한, 이처럼 입계에 부동태 피막이 형성될 때, (101)면에 비해 (002)면처럼 높은 표면에너지가 가진 배향면의 막일수록 근소하나마 입계처럼 활성적으로 작용해서 부동태 피막의 형성이 촉진된다(Lee et al., 2008).

이것은 표면 에너지가 낮은 면보다 높은 면이 화학적으로 불안정하기 때문에 활성적으로 작용한다. 즉, 표면의 결정입이 작고 (002)면으로 배향한 Mg박막은 탈기한 3% NaCl 용액에서 치밀한 부동태 피막을 만들기 때문에 내식특성이 양호하게 된다(Lee et al., 2000).

한편, Mg의 내식성에 영향을 줄 수 있는 요소로는 이상에서 언급한 바와 같은 Mg 금속 고유의 성질, 표면 및 단면의 Morphology 그리고 결정배향성 이외에도 Mg 원자간거리 즉, 면간격 d를 고려해 볼 수 있다. 상기 서술한 것처럼 성막과정 중에서 흡착 인히비터의 일부가 막 중에 고용되어지는 것에 의해 박막에 있어서 Mg의 면간격 d가 약간 크게 된다. 이 때 막 중의 Mg의 원자간 거리가 산소와 안정하게 반응하기 쉽게 될 정도의 적당한 거리에 있게 된다면, Mg 박막이 산화피막을 생성할 때 가장 치밀하게 만들어지게 되어서 우수한 내식성을 가질 것으로 사료된다(Lee, 1996).

결국 가스압이 증가함에 따라 면간격 d 값은 증가하는 경향을 보이고 있고, Ar 가스압이  $5 \times 10^{-1}$  Torr일 때 MgO에서 Mg의 최근접 원자간 거리(2.96Å)에 가장 근접 되어 있다는 것을 알 수 있다. 즉, Ar 가스압이  $5 \times 10^{-1}$  Torr일 때가 가장 치밀한 부동태 산화피막을 만드는 것으로 추정된다. 게다가 표면에너지가 높은 (002)면이 배향하게 되면 결정입이 작은 경우와 마찬가지로 활성적으로 작용하므로 인해 더욱더 치밀한 부동태 산화피막의 형성을 촉진하는 것으로 생각된다(Lee et al., 2000).

## 2) 자연침지실험에 의한 내식특성 평가

Fig. 8은 각각의 증착조건에서 증착한 Mg 박막에 대하여 3% NaCl 수용액 중 실시한 자연침지실험 결과를 나타낸다. 여기서는 재료의 부식거동 연구시 초기의 자연전위변화가 매우 중요하기 때문에, 최초 15분 동안의 Mg 박막 시험편의 침지에 따른 침지시간에 따른 자연전위변화 거동을 Fig. 9에 다시 나타내었다.

우선, 실험 기관으로 사용한 AZ91D는 최초 전위인 -1.574 V에서 점차로 침지시간이 경과함에 따라 귀전위 방향으로 이행하여 약 -1.520 V에서 안정화되었다. 또한, Chromate 처리한 AZ91D의 경우는 최초전위인 -1.584 V에서 침지시간이 경과함

에 따라 귀전위 방향으로 이행하여 AZ91D보다 비전위인 -1.540 V에서 안정화하였다. 그리고 Mg 박막의 경우는 초기 침지전위가 Ar 가스압이  $5 \times 10^{-1}$  Torr의 경우는 -1.972 V,  $5 \times 10^{-2}$  Torr의 경우는 -1.876 V,  $5 \times 10^{-4}$  Torr의 경우는 -1.774 V로 기판으로 사용한 AZ91D 및 Chromate 처리한 AZ91D보다 0.3~0.4 V 비한 값을 나타내었다.

그러나 침지시간이 경과할수록 귀전위 방향으로 이행하여 600시간 경과후에는 AZ91D 및 Chromate 처리한 AZ91D 보다 귀한 경향을 나타내었다. 여기서는 전체적으로 비슷한 부식거동을 보이지만, Ar 가스압이 증가함에 따라 초기 침지전위는 비한 값을 나타내었고, 침지시간이 경과할수록 귀전위 방향으로 이행하여 결과적으로 다소 귀한 값을 가지는 경향을 나타내었다. 이것은 Fig. 4의 Morphology에서 살펴본 바와 같이 Ar 가스압이 증가함에 따라 표면 결정입이 작아졌기 때문이다.

즉, Ar 가스압의 증가에 따라 표면의 결정입이 작아지면, 일종의 결함으로 간주되어 양극으로 작용하는 입계면적이 상대적으로 증가하게 되고, 여기에서 발생한 전자에 의해 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 초기전위가 비한 값을 가지게 되었다. 그리고 침지시간이 경과함에 따라 입계 중심으로 부식이 진행(Lee, 2000)되어 상대적으로 치밀한 부동태 산화피막을 형성하였기 때문에 Ar 가스압이 높은 조건의 Mg 박막의 자연침지 전위가 귀한 경향을 나타내었다(Lee et al., 2008).

그리고 자연전위의 상승-하강을 반복하는 현상은 Ar 가스압의 증가에 따른 흡착 및 흡장으로 인해 결정입이 작아지고, 이러한 작은 결정입에 의해 단위면적당 입계면적이 증가한 것과 상관관계가 있는 것으로 사료된다(Lee et al., 2008).

즉, 일반적으로 입계는 결함으로 간주되어 양극으로 작용하는 것으로 알려져 있고, 이러한 입계의 면적이 상대적으로 증가함에 따라 입계가 부식이 진행되어 치밀한 부동태 피막이 생성되고 침지시간의 경과와 더불어 Cl<sup>-</sup>에 의한 Mg 부동태피막의 파괴 열화가 일어났기 때문이다.

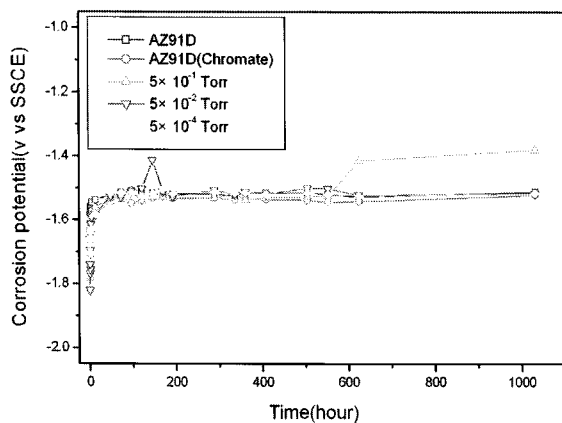


Fig. 8. Corrosion potential of Mg films deposited at various Ar gas pressures, measured in 3% NaCl solution.

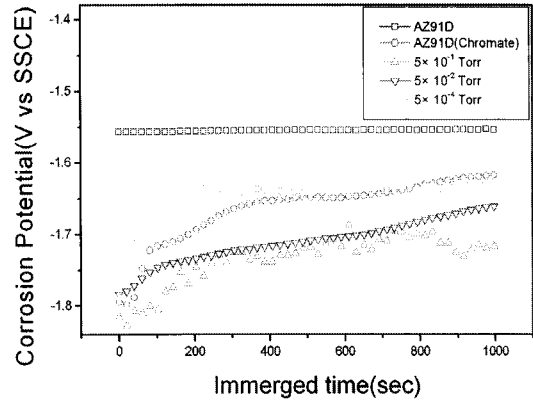


Fig. 9. Corrosion potential of Mg films deposited at various Ar gas pressures, measured in 3% NaCl solution.

#### 4. 결론

본 실험에서 제작한 Mg 박막의 전기화학적 내식특성은 Ar 가스압이 높은 조건에서 제작한 막일수록 내식특성이 우수하였다. 특히, 각각의 Bias 전압조건 중 내식성이 좋은  $5 \times 10^{-1}$  Torr에서 제작한 Mg 박막의 경우에는 기판 및 증발극속으로 사용한 AZ91D 및 99.99% Mg-ingot는 물론 Chromate 처리한 AZ91D보다도 양호한 내식특성을 나타내었다. 그리고, 이러한 경향은 표면 및 단면의 Morphology와 결정배향성과의 상관관계를 통하여 설명 가능하였다.

이상의 결과를 통하여 무공해 플라즈마 막프로세스 중의 하나인 열전자 활성화형 Ion plating법을 이용하여 우수한 내식성을 갖는 Mg 박막의 제작이 가능하였다. 이에 따라 향후 Mg 박막의 실용화를 위해서는 강도특성, 피로특성, 용접성 및 조직특성과 같은 다각적 평가 더불어 다층 마무리 표면처리의 고려 및 검토가 필요할 것으로 생각한다.

#### 참고 문헌

- [1] Arnold, Scot A.(1993), Techno-Economic Issues in the Selective of Auto Materials, Journal of Materials, Vol. 6, p. 12.
- [2] Avedesian M. and Barker H.(1999), Magnesium and Magnesium Alloys, The Materials Information Society, pp. 7-11.
- [3] Bunshah, Rointan F.(1994), Handbook of deposition technologies for films and coatings, Noyes publications 2nd ed., pp. 681-717.
- [4] Chikada, Toshihiro(1990), Light Alloy Parts for Automobiles, Keikinzo, Vol. 40, No. 12, pp. 944-950(in Japanese).
- [5] Hasegawa, Y., M. H. Lee, M. Okido and T. Oki(1993),

The crystal orientation and morphology of Al films obtained by PVD, Journal of the surface finishing society of Japan, Vol. 44, No. 2, pp. 131-135(in Japanese).

- [6] Kojima, Y.(1993), Material property of Magnesium, Journal of the surface finishing society of Japan, vol. 44, no. 11, p. 866(in Japanese).
- [7] Lee, H. K.(2000), Corrosion engineering of iron, Younkyung publishment, p. 112.
- [8] Lee, K. H. and M. H. Lee(2000), Surface properties of Ag thin films by ion plating and their corrosion behavior, Journal of corrosion science society of Korea, Vol. 29, No. 5, pp. 302-309.
- [9] Lee, M. H.(1996), Effect of gas pressures on granular structure's formation of Al films prepared by PVD process, Journal of Korean institute of engineering, Vol. 29, No. 5, pp. 585-592.
- [10] Lee, M. H., Y. Hasegawa and T. Oki(1993), Preparation of Al Thin Films by Thermo-Electron Activation Ion Plating and Their Corrosion Resistance, J. Japan Inst. Metals, Vol. 57, No. 6, pp. 686-691(in Japanese).
- [11] Lee, M. H., J. D. Kim, J. S. Oh, J. H. Yang and S. M. Baek(2008), Morphology and crystal orientation on corrosion resistance of Mg thin films formed by PVD method onto Zn electroplated substrate, Surface and coatings technology, Vol. 202 pp. 5590-5594.
- [12] Noguchi and Fukizawa(1993), Alternatate Reduce Weight in Automotives, Advanced Materials and Process, Vol. 6, pp. 20-26.
- [13] Park C. S. and K. S. Sin(1996), Mg Alloys for Weight Reduction of Automobiles, Korean Inst. of Met. & Mat. Vol. 9, No. 2, pp. 160-171.
- [14] Song, G. L.(2001), Magnesium Corrosion Mechanism, APCCC2001, The corrosion science society of Korea, Vol. 2, p. 499.
- [15] Takaya, M.(1993), Surface treatment of magnesium, Journal of the surface finishing society of Japan, Vol. 44, No. 11, p. 10(in Japanese).
- [16] Yun, Y. S., T. Yoshida, N. Shimazu, N. Nanba, Y. Inoue, N. Saito and O. Takai(2008), Influence of Ar gas flow rate in organosilicon plasma for the fabrication of SiOCH thin films by PECVD method, Surface and coatings technology, pp. 5359-5261.

---

원고접수일 : 2011년 02월 07일

원고수정일 : 2011년 03월 16일 (1차)

: 2011년 04월 21일 (2차)

게재확정일 : 2011년 06월 23일