

## 염화물계 혼합염욕중에서 AISI 304 Stainless Steel의 Zr 전해피복에 관한 연구

潘壯鎬, 白瑩鉉

고려대학교 공과대학 재료·금속공학부

## Electrodeposition of Zr on AISI 304 Stainless Steel in Molten Chlorides.

J. H. Ban and Y. H. Paik

Div. of Mat. Sci. & Eng., Korea University Seoul 136-701, Korea

### Abstract

The metallizing technique was adopted to obtain the diffusion coating of zirconium on AISI 304 Stainless Steel in molten mixed chlorides(32.9wt.%LiCl-34.8wt.%NaCl-32.3wt.%KCl). Experiments were carried out in argon gas atmosphere. The electrolytic cell was consisted of a AISI 304 Stainless Steel cathode and a consumable zirconium anode.

The quality of deposit was analysed by SEM, Optical Microscope, EDS, and also examined by the Micro-Vickers hardness and corrosion tests. Interface of deposit layer was identified as a zirconium-iron alloy layer caused by diffusion process at elevated temperatures. The optimum condition for the metallizing was found to be the bath temperature of 550°C, the concentration of  $K_2ZrF_6$ , 5wt.%, cathodic current density of 7.0 to 10.0mA/cm<sup>2</sup>, and anodic current density of 2.0mA/cm<sup>2</sup>.

### 1. 서 론

철계소재에 대한 지르코늄의 피복은 내식성, 내산화성 등을 크게 향상시키기 때문에 저온 또는 고온 내식성을 필요로 하는 용도에 있어서도 다른 어느 것보다 우수한 성질을 나타낸다. 특히 지르코늄은 니오븀이나 티타늄보다도 더 강한 내식성을 지니고 있다. 실제로 지르코늄은 그의 부식특성으로 산, 알칼리, 유기화합물 및 염용액에 대하여 탁월한 내식성을 지닌다<sup>1,2)</sup>. 또한 지르코늄은 그 성질이 연강과 유사하여 여러가지 가공이나 용

접이 가능하다<sup>3)</sup>. 그러나 이러한 성질 외에 지르코늄의 가장 중요한 특징은 중성자투과성이 다른 어느 금속보다 우수하다는 점이다. 또한 지르코늄 외에 중성자 투과성이 우수한 금속(마그네슘, 알루미늄, 주석 등)들의 용점이 매우 낮는데 비하여 지르코늄은 1850°C의 온도에도 견딜 수 있다는 고온특성을 지니고 있다. 이로 인하여 지르코늄은 핵연료의 피복재(fuel cladding material), 노심 냉각 파이프(primary coolant pipe)등의 원자로 재료로서 사용되고 있으며, 그밖에도 그의 우수한 성질들로 인하여 자동차산업, 우주항공산업, 해양

산업 등 그 응용범위의 다양성을 지닐 수 있다.

현재까지 지르코늄 소비의 주된 부분은 핵반응로의 수냉부이며, 그밖에는 화학공업에 있어 내식성을 요하는 부분에 사용된다<sup>2)</sup>.

지르코늄은 내식성, 내산화성 및 그밖의 여러가지 우수한 성질을 지닌 재료임에도 불구하고 수용액에서는 피복이 불가능하기 때문에 전기화학적으로 안정한 용융염(molten salt)을 전해액으로 하는 용융염 전해피복법에 대한 관심이 최근 고조되고 있다. 지르코늄의 용융염 전해에 관한 연구로서 국내에서 연구된 것은 없으며 국외에서도 근래에 들어 연구가 진행되고 있을 뿐이다. 그러나 이들 중 대부분은 용융염 전해를 통하여 고순도의 지르코늄을 제련하는 것이며 실제 지르코늄의 전해피복에 관한 연구는 해외에서 초차 극히 드문 실정이다. 본 연구는 낮은 온도에서 메탈라이딩(metallding)법<sup>3)</sup>을 사용하여 철계소재에 평활한 지르코늄의 피복층을 형성시키기 위한 최적 피복 조건 규명에 그 목적을 두었다. 전해욕으로서서는 불화물계 보다 공정점이 매우 낮고 안정한 KCl-LiCl-NaCl계 공정염을 사용하였으며, 지르코늄의 확산피복을 위한 최적의 조건들을 결정하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서는 전해욕으로 KCl-LiCl-NaCl의 3원계 공정 화합물(32.9wt.%KCl-34.8wt.%LiCl-32.3wt.%NaCl, 공정점 357°C)을 사용하였고, 이 전해욕에  $K_2ZrF_6$ 를 첨가하여 메탈라이딩에 미치는 영향을 관찰하였다.

본 실험에 있어서 시료의 칭량 및 혼합 등 시료를 다루는 모든 작업은 건조된 고순도 아르곤 가스로 채워진 glove box내에서 하였다. 아르곤 가스는 773K의 Cu turning 탈산로 및  $P_2O_5$ 의 건조 트랩을 통과시킴으로써 아르곤 가스 중에 존재하는 미량의 산소와 수분을 제거하였다. 이렇게 하여 정제된 아르곤 가스는 rotary vacuum pump

를 사용하여 glove box내의 공기를 제거한 후 주입하였으며, 이러한 작업을 3회 반복하여 glove box내의 불활성 분위기를 조성하였다. 또한, 외부로부터 glove box로 침투하는 미량의 수분을 제거하기 위해 glove box내에  $P_2O_5$ 와  $CaCl_2$ 를 넣어 두었고, 적절한 시기에 교체하여 주었다. 본 연구에 사용된 cell 및 반응로는 Fig. 1과 같다. 전극은 피복용 전극과 pre-electrolysis용 전극으로 구성되었으며, 양극은 Zr판과 탄소봉을 각각 사용하였고 음극은 AISI 304 stainless steel 판과 탄소봉을 사용하였다. 이때 양극과 음극의 시편 크기는 각각  $25mm \times 50mm \times 2mm$ 와  $20mm \times 50mm \times 2mm$ 였으며 시편들의 침적깊이를 조절하여 전류밀도를 변화시켰다. AISI 304 stainless steel 판과 Zr판은 표면에 형성된 산화막을 제거하기 위해 표면을 미세연마한 후 탈지액을 사용하여 80°C에서 10분 이상 탈지하였다. 탈지가 끝난 시편은 수세를 거친 후, 산세하여 acetone과 methyl alcohol중에서 각각 30분이상 초음파 세척(ultrasonic cleaning)

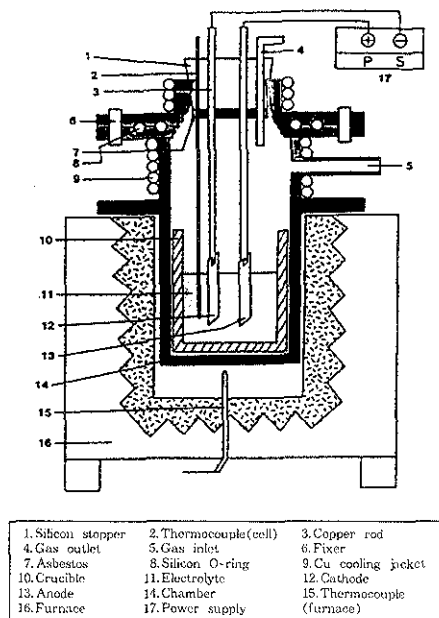


Fig. 1 Schematic drawing of experimental cell and furnace.

을 하였고, 탄소봉 역시 위의 용액에서 초음파 세척을 하였다. 본 실험의 전해욕으로 사용된 시약들은 glove box내에서 칭량을 실시하였고 총 시료무게는 250g이었으며, 칭량 후 혼합병에 옮겨 충분히 혼합을 실시하였다.

이상에서 제작 준비된 전극 및 시료들을 가지고 glove box내에서 전해조를 조립한 후, 반응로에 옮겨 놓고 진공펌프에 연결하여 진공건조(vacuum drying)를 실시하였다.

이는 시료내 함유된 미량의 수분을 제거하기 위함이며, 이때 진공건조는 모든 실험의 경우 약 300~350℃에서 24시간 이상 실시하였다. 진공건조가 끝난 후에는 천천히 승온시키면서 진공용해(vacuum melting)를 실시하였다.

전해욕의 온도가 650℃정도에 이르렀을 때, 전해욕내 불순물을 제거하기 위해서 pre-electrolysis를 하였다. 전해시간은 120분으로 하였고, 전압은 LiCl, NaCl, KCl 및  $K_2ZrF_6$ 가 분해하지 않는 전압범위(1.0~1.5V)하에서 일정전압으로 하였다. Pre-electrolysis는 진공하에서 하였는데, 이것은 대기중이나 아르곤 분위기하에서 하는 것보다 훨씬 효과적인 것으로 보고되고 있다<sup>4)</sup>.

Pre-electrolysis가 끝남과 동시에 아르곤 가스를 주입하고 실험온도인 550℃로 낮추어 온도가 안정화되면, 전극을 침적시킨 후 전해실험을 하였다. 전해 실험은 정전류를 사용하여 실시하였고, 일정 시간 간격으로 전압과 온도의 변화값을 기록하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 욕온도, $K_2ZrF_6$ 첨가량 및 전류밀도가 메탈라이딩에 미치는 영향

본 연구에서 사용한 실험 조건들과 그 결과를 Table 1에 요약하였다. 전해질  $K_2ZrF_6$ 가 450℃ 이하에서는 용융염중에 충분히 용해되지 않으므로<sup>5)</sup>, 실험온도를 550℃로 하여 실시하였다. 전해욕 중에 첨가된  $K_2ZrF_6$ 의 양은 5wt.%, 10wt.%, 15wt.%

및 20wt.%로 변화시켰으며, 각각의 경우에 대해 전류밀도와 전해시간을 변수로 하여 피복상태를 검토하였다.

$K_2ZrF_6$  첨가량 10wt.%, 전해시간 120분, 전류밀도 25.0mA/cm<sup>2</sup>인 경우 EPMA에 의한 피복층의 정성분석 결과를 Photo 1에 나타내었다. 이 경우 100 $\mu$ m가 넘는 두터운 피복층을 얻을 수 있었으나 이 조건에서 얻어진 피복층 내에서 첨가물의 성분인 불소가 검출되었다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 Photo 1에 대한 기저와 피복층 부분 구성물질의 EDS 분석 결과이다. 사진에서 볼 수 있는 바와 같이 밝은 부분에서는 Zr이 우세한 전착원소이나 어두운 부분에서는 Zr과 불소가 공존하는 구조를 보이고 있다. Baymakov<sup>6)</sup>는 10wt.% 이상 불

Table 1 Operating conditions and results of Zr metalliding.

K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub> (wt.%)	Temp. (°C)	C.D.(mA/cm <sup>2</sup> )		Time (min)	State of Deposit
		I <sub>c</sub>	I <sub>a</sub>		
2.5	550	5.0	2.0	120	no deposit
2.5	550	10.0	2.0	120	no deposit
2.5	550	15.0	2.0	120	no deposit
2.5	550	20.0	2.0	120	no deposit
2.5	550	25.0	2.0	120	no deposit
5.0	550	5.0	2.0	120	no deposit
5.0	550	7.0	2.0	120	fair
5.0	550	8.5	2.0	120	satisfactory
5.0	550	10.0	2.0	120	fair
5.0	550	15.0	2.0	120	rough deposit
5.0	550	20.0	2.0	120	rough deposit
5.0	550	25.0	2.0	120	rough deposit
10.0	550	5.0	2.0	120	rough deposit
10.0	550	10.0	2.0	120	rough deposit
10.0	550	15.0	2.0	120	rough deposit
10.0	550	20.0	2.0	120	rough deposit
10.0	550	25.0	2.0	120	rough deposit

\* Base salt : 32.9wt.%LiCl-34.8wt.%NaCl-32.3wt.%KCl

\*\* Electrode : Anode(Zr plate), Cathode (AISI 304 Stainless Steel)

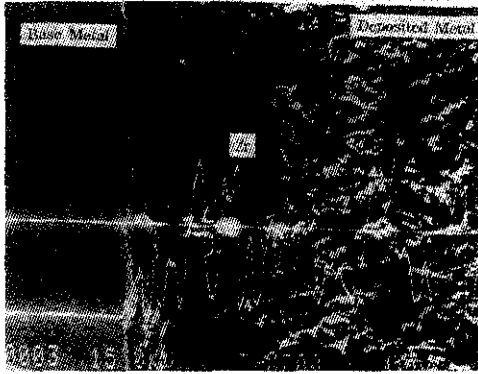


Photo 1 Qualitative analysis of cross section for deposited layer by EPMA;  $K_2ZrF_6$  10wt.%, C.D 25mA/cm<sup>2</sup>, and Time 120min.

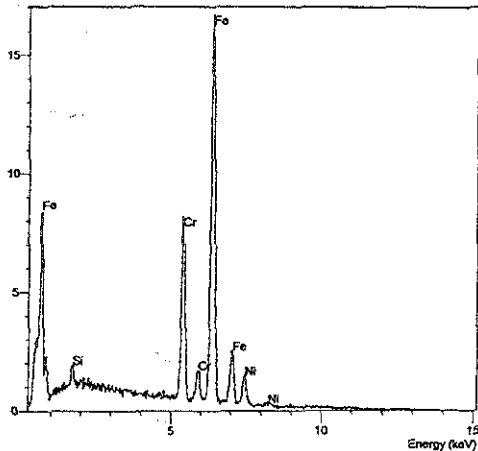


Fig. 2 Qualitative analysis of substrate area by EDS;  $K_2ZrF_6$  10wt.%, C.D 25mA/cm<sup>2</sup>, and Time 120min.

화물이 첨가되는 염화물-불화물 혼합 전해욕의 경우,  $ZrF_6^{2-}$ 의 복합 음이온이 생성되어 분해가 어려운 것으로 보고하였다. 또한  $ZrF_6^{2-}$ 는 전기화학적으로 음극표면에서 Zr 금속으로 환원되거나 음이온과 알칼리금속과의 반응의 결과로 분해되어 Zr이 음극표면에서 석출하게 되는데, 이로 인해 발생하는 불소에 의하여 높은 분극을 유발되어 Zr의 피복이 어려운 것으로 보고하였다. 따라서 이후의 실험은  $K_2ZrF_6$  첨가량을 5wt.%로 고정하였다. 또한 분극현상을 감소시키기 위하여 양극의

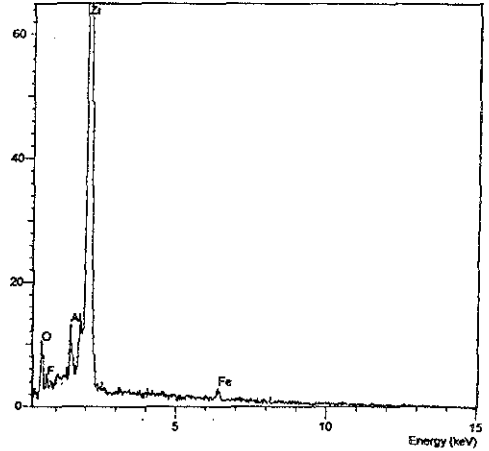


Fig. 3 Qualitative analysis of metallized area by EDS;  $K_2ZrF_6$  10wt.%, C.D 25mA/cm<sup>2</sup>, and Time 120min.

크기를 고정시켜 양극전류밀도를 2.0mA/cm<sup>2</sup>으로 고정하였고 음극의 크기를 조절하여 음극의 전류밀도를 변수로 하여 실험하였다.

Photo 2의 (a), (b), (c) 및 (d)는  $K_2ZrF_6$ 의 첨가량 5wt.%, 양극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 전해시간을 120분으로 고정한 상태에서 음극의 전류밀도를 각각 7.0mA/cm<sup>2</sup>, 8.5mA/cm<sup>2</sup>, 10.0mA/cm<sup>2</sup> 및 12.5mA/cm<sup>2</sup>으로 변화시켜 실험한 시편의 표면 SEM사진으로, 피복실험이 끝난 후 증류수 내에서 초음파 세척하여 촬영하였다. 사진에서 보는 바와 같이 전류밀도 7.0mA/cm<sup>2</sup>(a)와 8.5mA/cm<sup>2</sup>(b)의 경우 표면 조직은 상당히 균일하고 미세한 상태를 나타내고 있다. 그러나 전류밀도가 10.0mA/cm<sup>2</sup>(c), 12.5mA/cm<sup>2</sup>(d)으로 증가할수록 표면 조직은 조대하고 거칠어지는 경향을 보인다. 사진에서 밝은 부분은 어두운 부분에 비해 상대적으로 높은 상태임을 나타낸다.

Photo 3은 평활한 피복 상태를 나타내었던  $K_2ZrF_6$ 의 첨가량 5wt.%, 전해시간 120분, 양극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 음극전류밀도 7.0mA/cm<sup>2</sup>인 경우의 EPMA에 의한 피복층의 단면부를 정성분석한 사진이다. 이 경우 10 $\mu$ m가 넘는 피복층을 형성하였다. 전착 불량은 전혀 없었으며, 표면의 상태는 미

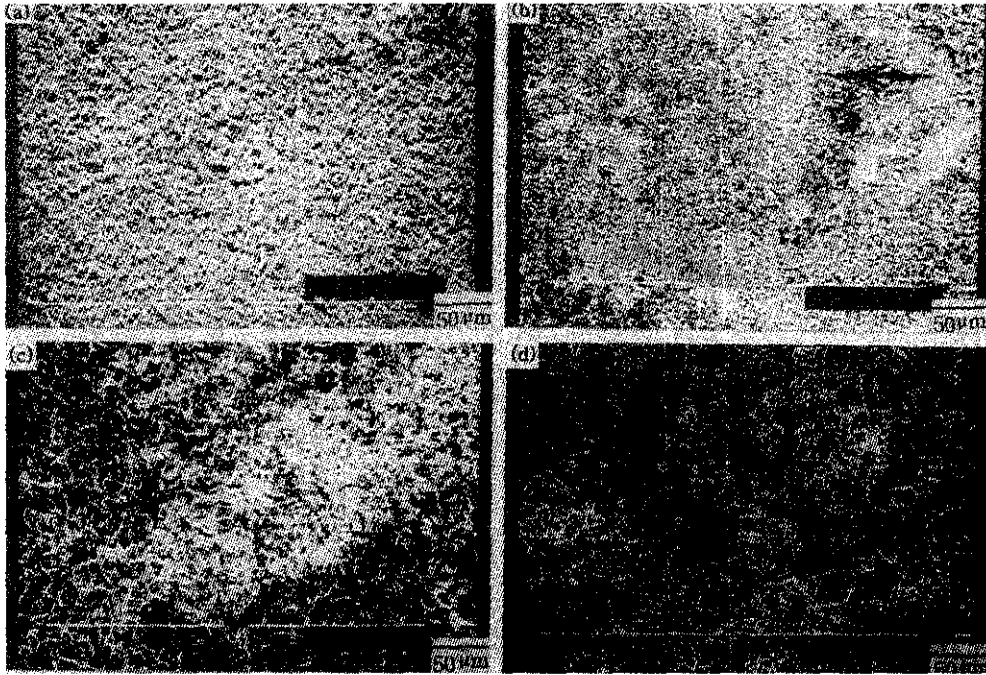


Photo 2 Surface analysis of deposited specimen by Scanning Electron Micrograph with 5wt.%  $K_2ZrF_6$ . (500);

- (a)  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : Ic 7.0mA/cm<sup>2</sup> Ia 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.
- (b)  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : Ic 8.5mA/cm<sup>2</sup> Ia 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.
- (c)  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : Ic 10.0mA/cm<sup>2</sup> Ia 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.
- (d)  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : Ic 12.5mA/cm<sup>2</sup> Ia 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min..

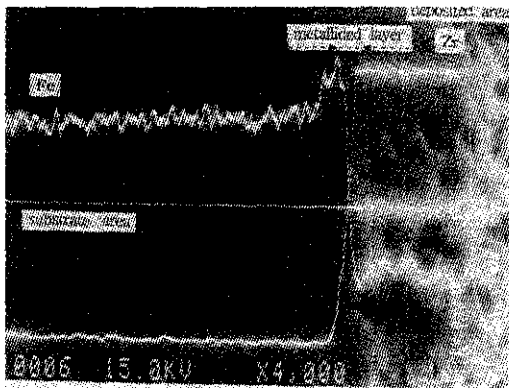


Photo 3 Qualitative analysis by EPMA;  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : Ic 7.0mA/cm<sup>2</sup> Ia 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.

세하고 평활한 조직을 보였다. 표면의 색상 또한 밝은 은회색을 나타내는 등 매우 양호한 전착상태

를 보였다. Fig. 4는  $K_2ZrF_6$ 의 첨가량 5wt.%, 전해 시간 120분, 양극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 음극전류밀도 7.0mA/cm<sup>2</sup>인 경우 피복층의 EPMA정량분석 결과로서 Zr/304 Stainless Steel계면간의 Zr과 Fe의 양의 변화를 보여주고 있다. 이때의 접합층의 기준으로는 Fe와 Zr의 상대비 90%를 채택하였다. 피복층의 외부에서는 Zr의 순도가 매우 높아 거의 순수한 Zr층을 보이나 기지와 Zr피복층의 계면으로 이동할 수록 상당한 양의 Fe가 외산화하여 Zr-Fe 상호산화층을 보이다가 계면에서는 Zr의 양이 감소하는 경향을 보이고 있다. 사진 4는  $K_2ZrF_6$ 의 첨가량 5wt.%, 양극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 음극전류밀도 8.5mA/cm<sup>2</sup>, 전해시간 120분인 경우의 EPMA에 의한 피복층 단면부 정성분석 사진이다. 이 경우 역시 전착 불량은 전혀 없었으며, 표면의 상태

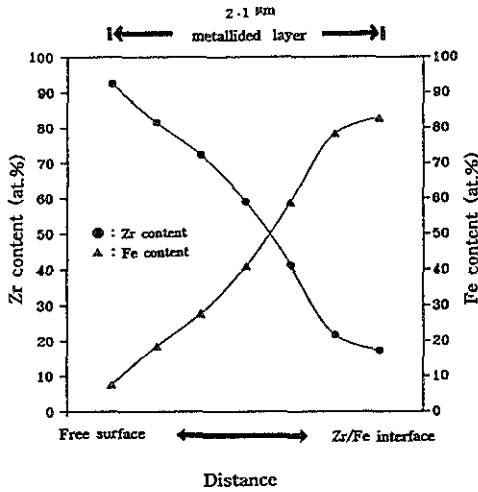


Fig. 4 Quantitative analysis of Zr and Fe line profile with respect to distance in metallized layer;  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : lc 7.0mA/cm<sup>2</sup>, la 2.0mA/cm<sup>2</sup>, and Time 120min.

역시 평활하고 미세한 조직을 나타내었다. 표면의 색상 또한 밝은 은회색을 나타내는 매우 양호한 전착상태를 보였다. 이 시편은 Photo 4에서 보이는 것과 같이 약 15~20μm에 이르는 피복층을 형성하였다. 또한 Photo 3에서 나타난 실험결과보다 두꺼운 피복층을 보이고 있다. 이는 전해되는 양은 동일 전해질 하에서 전극에 흐르는 전기량에 비례한다는 Faraday 법칙과 유사한 결과이다. Fig. 5는  $K_2ZrF_6$  첨가량 5wt.%, 전해시간 120분, 양극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 음극전류밀도 8.5mA/cm<sup>2</sup>인 경우 피복층 외부와 Zr/AISI 304 Stainless Steel계면 간의 Zr과 Fe의 양의 변화를 보여주고 있다. 접합층의 기준으로는 마찬가지로 Fe와 Zr의 상대비 90%를 채택하였다. 역시 피복층의 외부에서는 Zr의 순도가 매우 높아 거의 순수한 Zr층을 보이나 AISI 304 Stainless steel 기지와 Zr 피복층의 계면으로 이동할 수록 상당한 양의 Fe가 외확산하여 Zr-Fe 상호확산층을 보이다가 계면에서는 Zr의 양이 감소하는 경향을 보이고 있다.

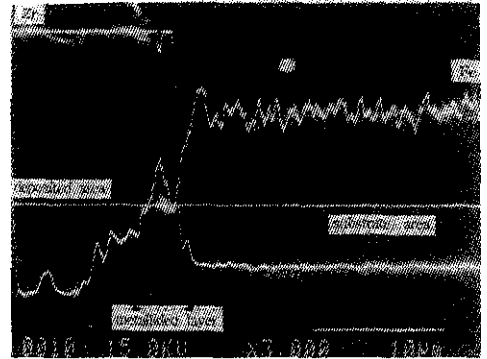


Photo 4 Qualitative analysis by EPMA;  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : lc 8.5mA/cm<sup>2</sup>, la 2.0mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.

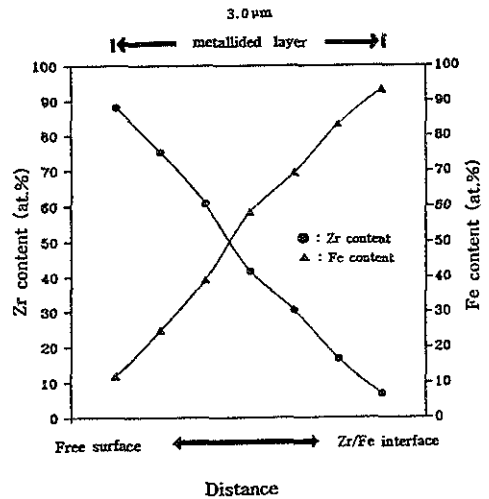


Fig. 5 Quantitative analysis of Zr and Fe line profile with respect to distance in metallized layer;  $K_2ZrF_6$  5wt.%, C.D : lc 8.5mA/cm<sup>2</sup>, la 2.0mA/cm<sup>2</sup>, and Time 120min.

### 3. 2 미소경도 시험

피복층의 경도 측정은 Micro Vickers hardness tester에 의해 이루어졌으며, 피복시편을 단면(cross-section)으로 자르고, 단면을 곱게 미세연마한 후 피복층의 단면에 대해 100g의 하중으로 15초간 경도 측정을 하였다. 경도 시험의 경우 하중이 걸리는 시편의 크기는 10μm 이상이 되어야 한다. 따라서 본 경도치는 순수한 Zr/AISI 304 Stain

less Steel 부위의 경도값만을 측정할 수 없기 때문에 약 15~20 $\mu$ m에 이르는 계면부와 피복된 Zr 층 구간의 중간을 택하여 시편의 단면길이방향으로 3회 경도실험을 하였다.

Fig. 6은 그 결과들을 보여주고 있다. 순수한 Zr의 경도값으로 70~74kg/mm<sup>2</sup> 정도의 값을 나타내었고 K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> 첨가량 5wt.%, 양극전류밀도 8.5mA/cm<sup>2</sup>, 음극전류밀도 2.0mA/cm<sup>2</sup>, 전해시간을 120분으로 피복시킨 시편의 피복층은 153~157kg/mm<sup>2</sup> 정도의 경도값을 나타내었다. 그러나 본 실험에서 기지금속으로 사용한 AISI 304 Stainless Steel의 경도값은 325~330kg/mm<sup>2</sup> 정도의 경도값을 나타냈다. 피복층은 순수한 Zr과 기지금속으로 사용한 AISI 304 Stainless Steel사이의 경도값을 갖는 것으로 나타났는데, 이것은 피복층내에 Fe의 확산으로 인한 합금피복층의 경도값이 증가한 것에 기인한 것이라고 생각된다.

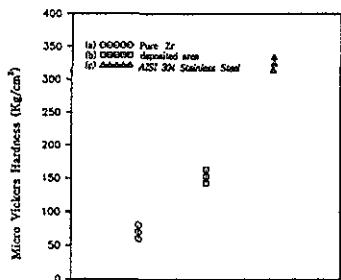


Fig. 6 Hardness measurement by Micro Vickers Hardness Tester for specimen of K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> 5wt.%, C.D : lc 7.5mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.;  
(a) Pure Zr (b) Zr-Fe deposited area  
(c) AISI 304 Stainless Steel.

### 3.3 피복시편의 부식 시험

본 실험의 시편은 비철금속 피복시편의 부식시험방법으로서 가장 널리 쓰이는 중성염수분무시험 방법을 택하였다. 시험조건은 한국공업규격(KS D 9502)에 따랐다.

결과는 각각의 시편에 대해 조석 2회 rust onset time을 측정 하였는데, Fig. 7은 각 조건에서 시편들의 부식 시험 결과를 나타낸 것이다. 결과에서 보듯 (a), (b) 및 (c), (d) 시편의 경우 모두 95일 이상이 지난 현재까지도 rust를 관찰할 수 없었다. 그러나 중성염수분무시험을 행한 결과, 기지금속으로 사용한 AISI 304 stainless steel과 지르코늄이 피복된 시편의 내식성에 대한 비교가 불가능하였기 때문에 시편의 내식성의 상대성을 비교하기 위하여 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 중에 침적하여 부식되는 속도를 비교하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 결과에서 볼 수 있는 것처럼 지르코늄이 평활하게 피복된 시편 (a)와 (b)의 경우에는 약 144시간 동안 침적하였으나 변화를 보이지 않았다. 그러나 기지 금속으로 사용한 AISI 304 stainless steel의 경우는 1시간 이내에 검은색의 부식현상을 보였다. 따라서 지르코늄이 평활하게 피복된 시편은 기지금속으로 사용된 AISI 304 stainless steel 보다 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>분위기에 탁월한 내식성을 지니는 것으로 나타났다.

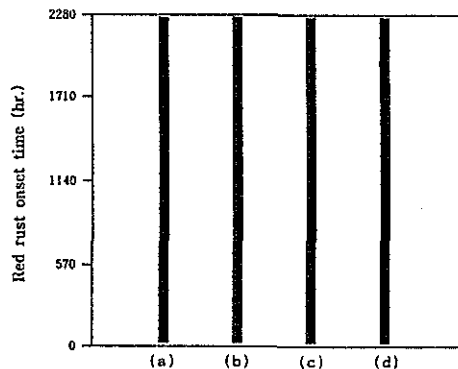


Fig. 7 Red rust onset time measurement by the salt spray testing;  
(a) K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> 5wt.%, C.D : lc 14.0mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.  
(b) K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> 5wt.%, C.D : lc 7.5mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.  
(c) K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> 5wt.%, C.D : lc 9.0mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min.  
(d) AISI 304 Stainless Steel

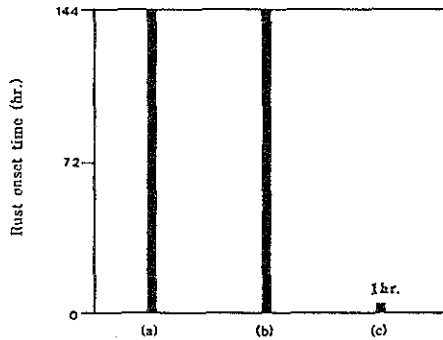


Fig. 8 Rust onset time measurement by 15%  $H_2SO_4$  solution at room temperature; (a)  $K_2ZrF_6$ , 5wt.%, C.D.:lc 7.5mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min. (b)  $K_2ZrF_6$ , 5wt.%, C.D.:lc 9.0mA/cm<sup>2</sup>, la 2mA/cm<sup>2</sup>, Time 120min. (c) AISI 304 Stainless Steel

#### 4. 결 론

염화물계 전해액(KCl-LiCl-NaCl)내에서 AISI 304 stainless steel를 기지로 한 Zr metalliding에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 염화물계 전해욕중에서 Zr과 Fe의 피복층 형성에 적절한 온도는 550°C였으며, 평활한 표면을 얻기 위한 적절한  $K_2ZrF_6$  첨가량은 5wt.%이었고, 음극 전류 밀도는 7.0~10.0mA/cm<sup>2</sup> 그리고 양극 전류밀도는 2.0mA/cm<sup>2</sup>이었다.

2) 피복층의 경도는 Zr과 소지금속(AISI 304 stainless steel)의 경도값의 평균값에 가까우며, 부식저항은 염수분무시험의 경우 비교가 곤란하나 황산을 사용하여 측정한 결과 AISI 304 stainless steel보다 향상되었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) H. H. Uhlig and R. W. Revie : Corrosion and Corrosion Control, 3rd(ed.), John Wiley & Sons, Inc., N.Y. (1985) 382
- 2) J. R. Davis et al. : Metals Handbook 10th (ed.), Amer. Soc. for Metals, Ohio, 2 (1990) 661
- 3) N. C. Cook : Sci. Amer., 221 (1969) 38
- 4) D. W. Townsend : Proceedings of the international Symposium on Molten Salts, J. Brunstein et al. (ed.), The Electrochem. Soc. Inc. (1976) 388
- 5) W. B. Blumenthal : The Chemical Behavior of ZIRCONIUM, D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC., N.J. (1958) 145
- 6) Yu. V. Baymakov : Russ. Met. (1970) 66