

## 이온 마이그레이션 발생에 대한 수분온도의 영향

이덕보\* · 김정현\* · 강수근\* · 김상도\* · 장석원\* · 임재훈\*\* · 유동수\*\*

\* 한양대학교 신뢰성분석연구센터

\*\* 삼성전자 생활가전 총괄시스템 가전사업부 Global CS팀 냉장고 CS그룹

## Effect of Water Temperature on Generation of Ion Migration

Deok Bo Lee\* · Jung Hyun Kim\* · Soo Keun Kang\* · Sang Do Kim\* ·  
Seok Won Jang\* · Jae Hoon Lim\*\* and Dong Soo Ryu\*\*

\* Reliability Analysis Research Center, Hanyang University

\*\* Ref. CS Group, Global CS Team, System Appliances Division, Digital Appliance Business,  
Samsung Electronics Co. LTD

### Abstract

In evaluation of electronic reliability on the PCB(Printed Circuit Board), electrochemical migration is one of main test objects. The phenomenon of electrochemical migration occurs in the environment of the high humidity and the high temperature under bias through a continuous aqueous electrolyte. In this paper, the generating mechanism of electrochemical migration is investigated by using water drop acceleration test under various waters. The waters used in the water drop test are city

water, distilled water and ionic water. It found that the generated velocity of electro-chemical migration depended on the temperature of water and the electrolyte quantity which included in the various waters.

## 1. 서 론

전자기기의 소형화, 경량화와 함께, 전자 부품이 고밀도, 고집적화 됨에 따라 PCB의 절연신뢰성, 특히 이온 마이그레이션(ion-migration)이 큰 문제로 대두 되고 있다. 이온 마이그레이션은 프린터 회로판 등의 전극간에 흡습이나 결로(結露) 등 수분이 흡착한 상태에서 전계가 인가된 경우, 한쪽의 금속전극으로부터 다른쪽의 금속전극으로 금속이온이 이행하고 금속 또는 화합물이 석출되는 현상을 말한다. 마이그레이션은 그 발생형태나 발생 상황에 의해, 덴드라이트(dendrite)와 CAF(Conductive Anodic Filament)로 분류된다[1,2]. 덴드라이트는 프린트 배선판의 절연부 표면에 석출하는 금속 또는 그 산화물이 나뭇가지의 형태로 성장하여 이웃하는 금속패턴과 단락(short)되어 패턴과 패턴 사이의 절연성을 파괴하는 것을 말하고, CAF는 프린트 배선판 내부의 글래스 섬유 계면을 따라 용해된 금속, 또는 그 산화물이 섬유상으로 성장하여 금속패턴간의 절연성을 파괴 하는 현상을 말한다[3].

한편, 전기화학적 마이그레이션에 의한 고장 발견은 1955년 벨(Bell)연구소의 G.T. Kohman이 전화다이얼의 적층형 접속부에 대한 은(Ag)마이그레이션을 확인한 것이 최초 이고, 그 이후로 은(Ag)뿐 아니라 거의 모든 금속 및 합금에서 마이그레이션이 일어나는 것으로 알려지고 있다[3].

이온 마이그레이션의 발생과 성장 속도는 습도, 온도, 전극 간격 사이에 작용하는 전기장 등과 같은 환경적 요소들에 의존한다. 특히 습도는 전자기기가 고장을 일으키는 주요한 환경 인자 중에 하나이고, 온도차에 의해 쉽게 발생하기 때문에 휴대용 기기나 이동체 탑재기에서는 이온 마이그레이션 발생이 제품 고장의 주요 요인이 되고 있다[3,4,5].

본 연구에서는 표준 PCB기판을 이용하여 Water drop 가속시험법에 의한 수분온도와 성분예 따른 이온 마이그레이션 재현시험과 성장속도에 대해 비교·검토한 결과를 보고하고자 한다.

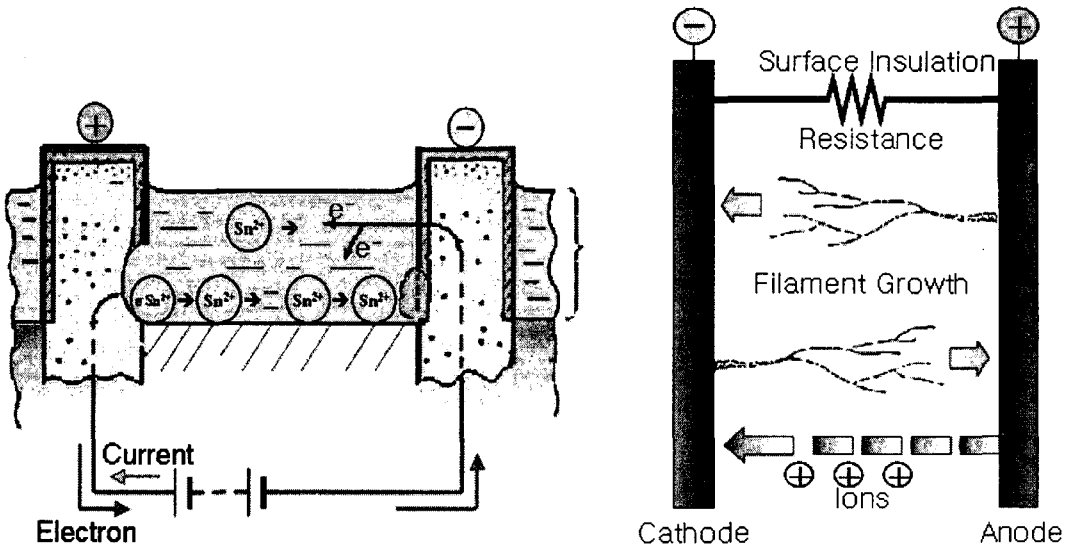
## 2. 이온 마이그레이션 이론적 배경

### 2.1 이온 마이그레이션 발생 메커니즘

이온 마이그레이션은 부품이 실장 되는 부분에 사용되는 솔더(solder)나 전기적 회로를 구성하는 전극 혹은 패턴 간에 수분의 부착과 흡착에 의한 결과로서 발생한다. 이온 마이그레이션 발생 메커니즘은 인가된 전압에 의해 물의 전기분해가 발생하게 되는데, 보통 양극에서 산화가 일어나 구리, 은, Pb-Sn 등의 금속이온이 용출되어 음극을 향해 금속이온의 형태로 이동하게 되고 금속이온이 음극에서 전자를 받아서 다시 금속으로 환원됨으로써 수지상(dendrite)으로 성장한다. 성장한 수지상은 양 전극간에 전기적 단락(short)을 일으킴으로, 기기 또는 마이컴의 오작동 등 전자 제품에 치명적인 고장을 유발한다.

이온 마이그레이션의 수지상에 의한 단락현상은 두 종류의 패턴이 있다.

- 1) 양극에서 용출된 금속이온이 양극 근방으로 환원 석출하여 음극 측으로 신장해 가는 경우 또는 음극 근방에서 pH의 변화에 의해 수산화물 혹은 산화물이 석출되는 패턴
- 2) 양극에서 용출된 금속이온이 음극까지 이르러 음극에서 전자를 받아 환원 석출하여 수지상이 양극을 향하여 성장하는 패턴

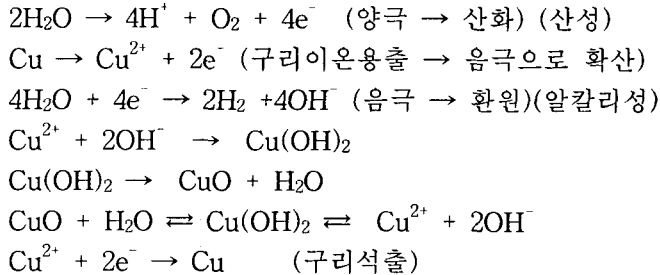


(a) Chemical reaction between anode and cathode (b) Schematic diagram of ion migration

<Fig. 1> mechanism of ion migration

이들 원인에 대해서는 불분명한 점이 많지만, 실험적인 결과로 전극간의 절연저항이 높은 경우는 양극 석출, 결로(結露)가 있고, 절연저항이 낮은 경우는 음극 석출이 많이 발생

하는 것으로 나타났다. 특히, 프린트기판에서 유리섬유(glass fiber)를 따라 성장하는 기판 내부 이온 마이그레이션을 CAF(Conductive Anodic Filaments)라 한다. 수분이 존재하는 PCB 기판에서 금속 패턴 양극간에 이온 마이그레이션이 발생하는 화학적인 반응은



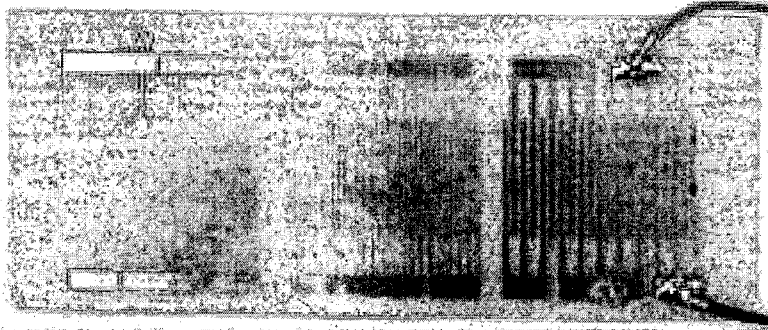
이와 같이 양전극 간에, 수분의 부착과 흡착에 의한 결과로서 인가된 전압에 의해 물의 전기분해가 발생하게 되는데, 양극에서 산화가 일어나, 구리는 전자를 잃게 되어, 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 용출되고, 이 구리이온은 음극으로 확산되어 구리 수산화물( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ), 구리 산화물( $\text{CuO}$ ) 등을 형성하며, 구리( $\text{Cu}$ )를 석출하는 과정을 반복하며 이동한다.

Fig. 1은 대표적인 예로서 구리이온에 의한 이온 마이그레이션 발생 메커니즘을 나타내었다.

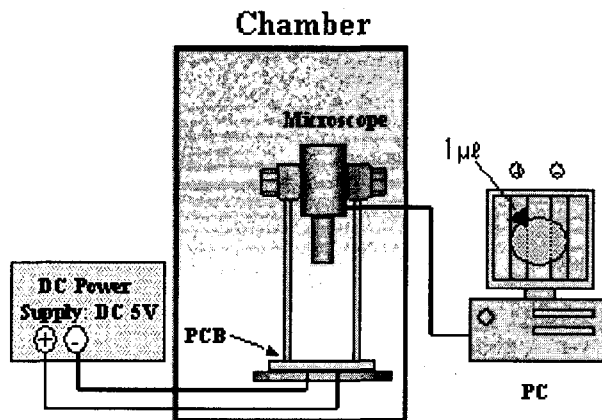
### 3. 실험

#### 1. 3.1 실험 장치 및 방법

본 연구에서 사용한 PCB 기판은 Water drop test용 표준 PCB 가속시험 기판으로서 Fig. 2에 나타내었다. 표준 PCB 가속시험 기판은 일본 ESPEC사에서 제조한 것으로 동 패턴은 3종류로 왼쪽으로부터 패턴 A, B, C 3종류로 구성되어 있고, A, B, C 3종류의 패턴과 패턴사이의 거리는 195  $\mu\text{m}$ (패턴폭 : 120  $\mu\text{m}$ ), 337  $\mu\text{m}$ (패턴폭 : 296  $\mu\text{m}$ ), 656  $\mu\text{m}$ (패턴폭 : 603  $\mu\text{m}$ )이다. 본 연구에 사용한 패턴간의 거리는 B type의 337  $\mu\text{m}$ 를 사용하였고, 실험온도는 항온 항습기를 이용하여 0 $^{\circ}\text{C}$ (RH : Unknown), 20 $^{\circ}\text{C}$ (실온, RH : 60%), 50 $^{\circ}\text{C}$ (RH : 30%) 3종류로 하였다. 또한 패턴과 패턴사이의 적하수량은 마이크로 실린지를 이용하여 1  $\mu\text{l}$ 로 하였다.



<Fig. 2> Specimen for water drop test



<Fig. 3> Experimental equipment for water drop test

<Table 1> Experimental condition

Pattern distance	Kinds of waters	Water quantity
337 $\mu$ m	Ionic water	1 $\mu$ l(Using microcyringe)
	distilled water	
	city water	

Fig. 3은 Water drop 가속시험 장치도를 나타내었다. 실험에 있어서는 표준 PCB test기 판의 B type 패턴에 마이크로 실린지를 이용하여 적하수량 1  $\mu$ l를 적하하고 DC 전원공급 장치로 5V의 전압을 인가하였다. 각 온도에서 동 패턴간 이온 마이그레이션 발생 과정을 측정하기 위하여 Microscope를 사용하여 동영상 촬영을 하였다. 이온 마이그레이션 발생 속도는 동영상을 이용하여 발생시간을 측정하여 산출하였고, 적하수의 종류는 이온수, 증류수, 수돗물 3종류로 하였다.

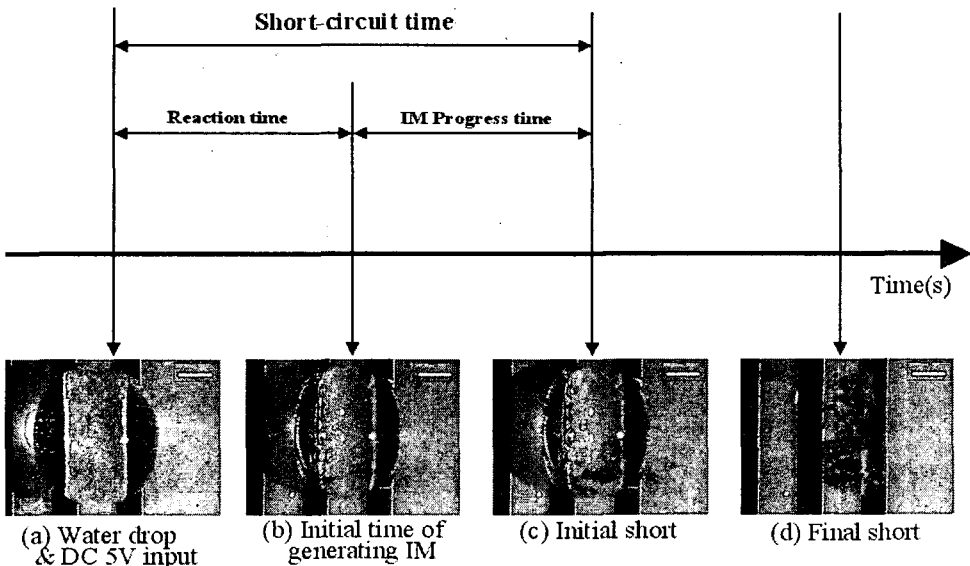
Table 1에 water drop 가속시험에 대한 실험 조건을 나타내었다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 이온 마이그레이션 발생에 대한 각종 시간의 정의

Fig. 4는 이온 마이그레이션 발생 속도를 측정하기 위한 각종시간에 대한 정의를 나타내었다.

Fig. 4에서 나타낸것과 같이 먼저 최초의 적하수를 투하하고 DC 5V를 인가한 시간(Fig. 4(a))에서부터 이온 마이그레이션의 발생이 시작(Fig. 4(b))하기까지의 시간을 반응 시간이라 정의하였다. 다음으로 이온 마이그레이션 발생시작 시간(Fig. 4(b))에서부터 이온 마이그레이션 발생에 의한 패턴사이의 최초 단락시간 까지를 이온 마이그레이션 진전시간(Fig. 4(c))으로 정의하고 이들 두 시간의 합을 단락시간으로 정의 하였다. 또한 적하수가 증발하여 완전히 없어진 시간을 최종 단락시간(Fig. 4(d))으로 정의 하였다.



<Fig. 4> Definitions of short-circuit time, reaction time and Ion migration progress time

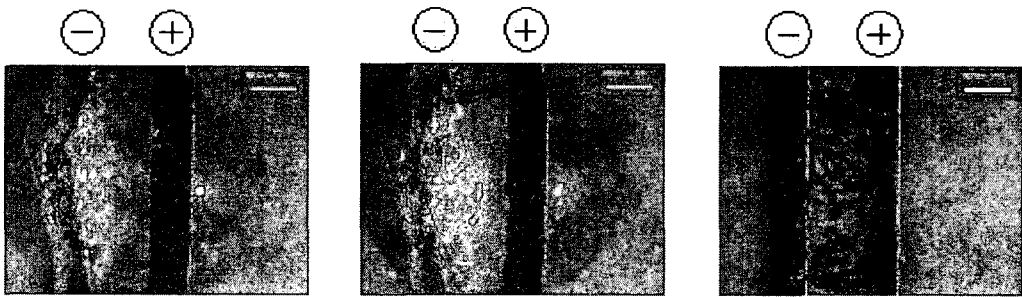
### 4.2 이온수에 대한 이온 마이그레이션 발생 시간

Fig. 5는 대표적인 예로 이온수에 있어서 이온 마이그레이션 발생 현상을 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서 나타낸 것과 같이 이온수를 적하하여 DC 5V를 인가하면 양극과 음극사

이에서 산화 환원 반응에 의해 음극부에서 수소기포가 발생하는 것을 알 수 있다. 반응 시간(88초) 동안 양극부에서 구리이온이 용출되고 음극부에서 용출된 구리이온이 석출되어 양극부로 진전하여 패턴간을 단락시킨다(Fig. 5(b)). 이때 소요된 시간은 DC 5V를 인가 한 후로부터 105초였다. 또한 이온 마이그레이션 진전시간은 17초가 소요되고, 최초 단락 이후 가지 모양의 이온 마이그레이션은 지속적으로 발생하고 이온수가 건조함으로써 반응이 종결되었다(Fig. 5(c)).

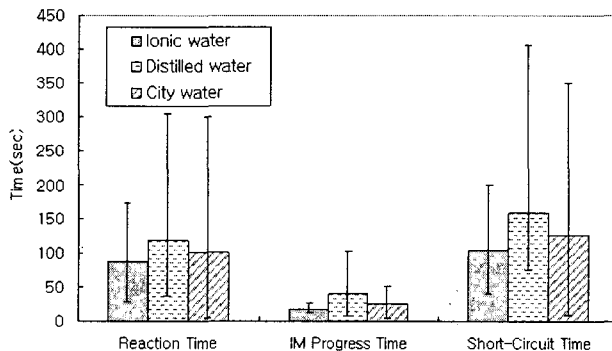
증류수의 경우는 반응시간, 단락시간과 시험 종료시간이 이온수에 비해 길게 나타났다. 증류수의 반응시간은 118초, 이온 마이그레이션에 의한 최초 단락시간 159초, 최종 단락시간 371초가 걸렸으며, 단락시간은 평균 150초가 걸렸다. 이와 같이 이온수와 증류수에 있어서 이온 마이그레이션의 발생 시간차가 발생하는 것은 각각의 물이 갖고 있는 전해질의 차이에 의한 것으로 사료된다.

수돗물에 있어서 반응시간, 단락시간과 시험종료 시간은 각각 118초, 159초, 371초로 증류수에 비해 빠르게 반응하는 것을 알 수 있다. 하지만, 각 반응에 있어서 푸른빛을 띄는 물질이 다량 석출었고 이 물질은 2.1절에서 설명한 바와 같이 양극에서 구리이온( $Cu^{2+}$ )이



(a) Reaction time :  $t=88s$     (b) Initial short time :  $t=105s$     (c) Final short time :  $t=325s$

<Fig. 5> Photographs of ion migration for ionic water



Three kinds of times

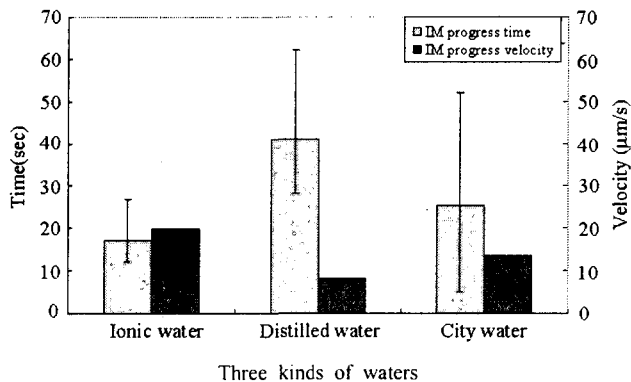
<Fig. 6> Short-circuit time for various water

용출되어 음극으로 확산하고 음극에서 다시 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )을 만나 환원됨으로서 구리(Cu)가 석출되는 현상으로 수돗물의 경우 상당부분 구리이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 수산화기 이온( $\text{OH}^-$ )과 반응하여 수산화동( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ )을 형성하는 경우가 많기 때문에 푸른빛은 수산화동이 석출된 것으로 사료된다.

Fig. 6은 5개의 시험편을 사용하여 구한 각각의 수분에 대한 단락 시간을 나타내었다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 각각의 적하수별 단락시간은 이온수는 평균 100초, 증류수는 평균 150초, 수돗물은 평균 130초가 걸리는 것을 알 수 있다.

### 4.3 적하수별 이온 마이그레이션 발생속도

Fig. 7은 이온 마이그레이션 반응시간을 나타내었다. 각각의 적하수에 대한 이온 마이그레이션 반응 시간은 이온수, 수돗물, 증류수 순으로 반응시간이 증류수가 가장 늦게 일어나는 것을 알 수 있다. 이온 마이그레이션 발생속도에 있어서는 Fig. 7에 나타낸 것과 같이 이온수, 수돗물, 증류수 순으로 증류수가 가장 느리게 반응하는 것을 알 수 있다. 각각의 적하수에 대한 이온 마이그레이션 발생 속도가 차이를 보이는 것은 적하수에 존재하는 전해질의 양에 의존한다. 즉 전기가 물이라는 것을 매개체로 하여 통하려면 전기부하를 가진 입자(이온)가 있어야 한다. 예를 들어  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  등 전하를 가진 물질들이 전해질로 되어 전기를 통하게 하는 것이다. 이러한 이온들은 수돗물에 풍부하게 들어있어 수돗물은 전도도가 높다. 그러나 증류수는 순수한 물만으로 되어 있으므로 전도도가 매우 낮게 되기 때문에 증류수가 이온수나 수돗물 보다 이온 마이그레이션 발생 속도가 낮게 나타난다고 사료된다. 또한 이온수와 증류수의 경우에 있어서는 이온수는 전기분해(전해)하여 얻은 물로서 물 속에 들어있는 이온화된 무기물이 양극쪽과 음극쪽으로 분리 되어 있는 물이다. 이온수에 전압을 가하면, 2.1절에서 설명한바와 같이 양극 쪽이 산성을 나타내고 음극 쪽이 알칼리성을 나타낸다. 따라서 이온수는 산성을 나타내는 양극 쪽에서 구리이온의 용출을 촉진시키기 때문에 증류수보다 이온 마이그레이션 발생속도가 빠르게 나타난다고 사료된다.

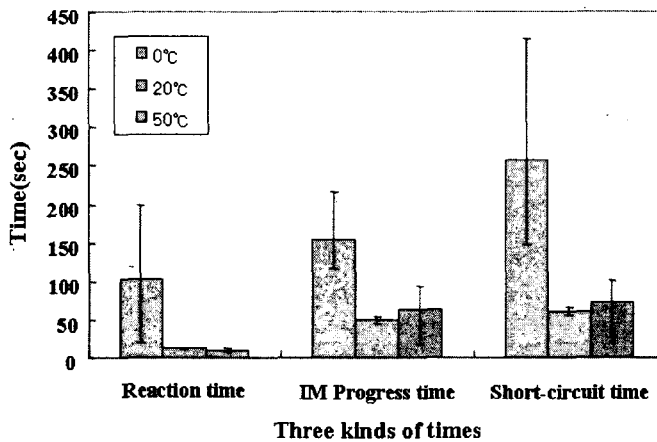


<Fig. 7> Progress time and velocity on ion migration



#### 4.4 온도변화에 따른 이온 마이그레이션 발생 시간

Fig. 8은 온도 변화에 따른 증류수내에 발생하는 이온 마이그레이션 발생시간을 나타내었다. 0℃의 경우에 있어서 상온(20℃)와 50℃에 비해 반응시간, 이온 마이그레이션 진전 시간, 단락시간이 상당히 길게 나타났고, 상온과 50℃의 경우에는 50℃보다 상온에서 이온 마이그레이션 발생이 더 활발하게 나타났다.

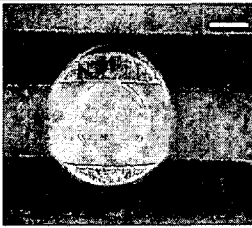
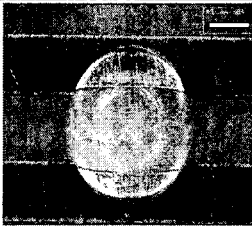
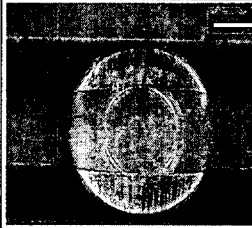
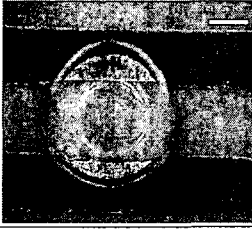
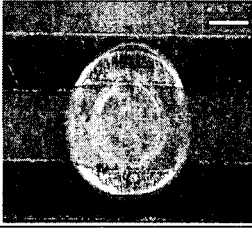




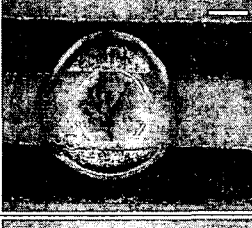


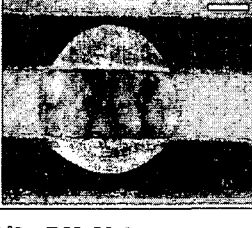

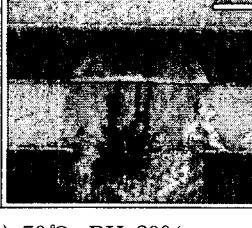


<Fig. 8> Times of generated ion migration in distilled water under various temperatures

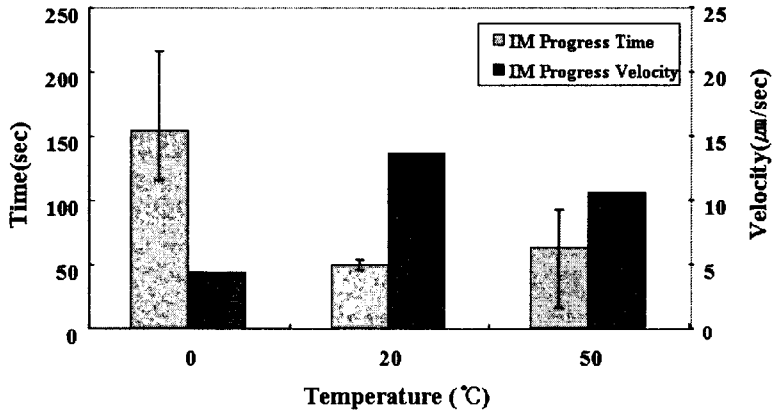
Fig. 9는 온도변화에 따른 증류수내에 발생하는 이온 마이그레이션 진전과정을 나타내었다. 0℃의 경우에 있어서는 증류수를 적하한 후, 60sec에 이온 마이그레이션이 생성되기 시작하고, 생성된 이온 마이그레이션이 성장하여 최초의 단락까지 걸리는 시간이 206sec였다. 상온의 경우에 있어서는 최초 이온 마이그레이션의 생성은 12sec이고, 최초 단락까지의 시간은 61sec가 걸렸다. 이에 비해 50℃의 경우에 있어서는 이온 마이그레이션 생성 시기는 상온과 비슷한 12sec에서 생성되지만, 동박 주위에 다량의 기포(H<sub>2</sub>가스)가 생성되고, 동박 사이의 기판에도 다량의 기포가 생성되어 있었다. 최초 단락까지 걸린 시간은 93sec로 상온에 비해 이온 마이그레이션 성장시간이 81sec 더 걸렸다. 이러한 현상은 활성화 에너지에 기인한다고 사료된다. 즉 이온 마이그레이션 생성의 전해질의 차에 의한 것으로 외부환경온도와 적하수 온도에 의해 활성화도가 많은 차이를 나타낸다.

Fig. 10은 온도변화에 따른 이온 마이그레이션 진전시간과 진전속도를 나타내었다. 0℃의 경우는 적하수온도와 외부환경온도가 저온이므로 활성화에너지가 낮아 전해질의 활동도가 상대적으로 활발하지 못해 화학적 반응속도는 상온과 50℃에 비해 상당히 느리게 진행되기 때문에 이온 마이그레이션의 성장속도가 늦게 나타났다(Fig. 10참조). 상온과 50℃의 경우, 초기 이온 마이그레이션은 거의 비슷한 시기에 생성되지만, 최초 단락까지 걸리는 시간은 상온보다 50℃가 오히려 더 늦다. 이러한 현상은 50℃의 경우, 적하수가 주위의 온도에 의해 증발하고 활발한 활성화 에너지로 인한 다량의 수소가스가 발생과 동박사이

의 기관에도 발생한 다량의 기포에 의해 이온 마이그레이션의 성장을 방해하기 때문이다. 따라서, 이온 마이그레이션 발생에 주요한 원인의 하나인 고온의 조건은 적하수를 증발하게 하는 동시에 다량의 기포 발생에 의해 상온에서 보다 이온 마이그레이션의 성장이 활발하지 못하다는 것을 알았다.

0sec		0sec		0sec	
60sec (Initial occurrence of I.M.)		12sec (Initial occurrence of I.M.)		12sec (Initial occurrence of I.M.)	
190sec		50sec		90sec	
206sec (Initial short of I.M.)		61sec (Initial short of I.M.)		93sec (Initial short of I.M.)	
Final short of I.M.		Final short of I.M.		Final short of I.M.	
(a) 0°C, RH Unknown		(b) 20°C, RH 60%		(c) 50°C, RH 30%	

<Fig. 9> Development process of ion migration in distilled water under various temperature



<Fig. 10> Progress time and velocity of ion migration in distilled water under various temperature

## 5. 결 론

Water Drop 가속시험을 통해 이온 마이그레이션 현상을 직접적으로 관찰하고, 적하수 종류 및 온도 변화에 따른 이온 마이그레이션 발생현상, 발생시간 및 발생속도를 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 이온수, 증류수 및 수돗물을 적하하여 전극 양단에 DC 5V 전압을 걸었을때, 동 패턴사이에 이온 마이그레이션 현상이 재현됨을 확인할 수 있었다.
2. 이온 마이그레이션 발생현상은 적하수 종류(이온수, 증류수, 수돗물)에 따라 발생 속도가 현저한 차이를 보였다. 이는 수분에 함유된 전해질 양의 차이에 의한 것으로 사료된다.
3. 온도 변화에 대한 이온 마이그레이션의 발생은 상온에서 가장 잘 일어났고, 고온(50℃)에서는 적하수의 증발과 다량의 수소가스발생으로 인해 이온 마이그레이션 성장을 억제한다는 것을 알았다.

## 참 고 문 헌

- [1] 産業環境管理協會, 2000, “鉛フリーはんだ規格化など研究開発”, 平成10年度NEDO成果報告書
- [2] 下平三郎, 1995, “腐食・防食の材料科學”, アグネ技術センター.
- [3] 柳澤 武, “イオンマイグレーションの歴史歴史と發生要因”, 表面技術, 2000, pp. 479~483.
- [4] T. Tsukui, 2000, “Reliability Analysis with Ionic Migration Generrating on Print wiring Boards”, 表面技術, Vol. 51, pp. 473~478.
- [5] K. Shutoh, 2000, “Accident Case and Ionic Migration of Home Electric Appliance Articles”, 表面技術, Vol. 51, pp. 490~494.