

# PCB 전기적 신뢰성평가를 위한 이온 마이그레이션 가속시험 Acceleration Test of Ion Migration for PCB Electronic Reliability Evaluation

이덕보 · 김정현 · 강수근 · 장석원 · 임재훈 · 유동수

D. B. Lee, J. H. Kim, S. K. Kang, S. W. Chang, J. H. Lim and D. S. Ryu

**Key Words** : Water drop acceleration test(워트드랍 가속시험), Ion migration(이온마이그레이션), Reliability analysis(신뢰성 분석), Evaluation of electronic reliability(전기적 신뢰성 평가)

**Abstract** : In evaluation of electronic reliability on the PCB(Print Circuit Borad),electrochemical migration is one of main test objects. The phenomenon of electrochemical migration occurs in the environment of the hight humidity and the hight 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 electrochemical migration depended on 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 회로 판 등의 전극간에 흡습이나 결로(結露) 등 수분이 흡착한 상태에서 전계가 인가된 경우, 한쪽의 금속 전극으로부터 다른쪽의 금속전극으로 금속이온이 이행하고 금속 또는 화합물이 석출되는 현상을 말한다. 마이그레이션은 그 발생형태나 발생 상황에 의해, 덴드라이트(dendrite) 또는 CAF(Conductive Anodic Filament)로 분류된다<sup>1,2)</sup>. 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 및 계면을 따라 용해된 금속, 또는 그 산화물이 섬유상으로 성장하여 금속패턴간의 절연성을 파괴 하는 현상을 말한다<sup>3)</sup>.

한편, 전기화학적 마이그레이션에 의한 고장 발

견은 1955년 벨(Bell)연구소의 G.T. Kohman이 전 화다이얼의 적층형 접속부에 대한 은(Ag)마이그레이션을 확인한 것이 최초이고, 그 이후로 은(Ag)뿐 아니라 거의 모든 금속 및 합금에서 마이그레이션이 일어나는 것으로 알려지고 있다<sup>3)</sup>.

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 하나 이고, 온도차에 의해 쉽게 발생하기 때문에 휴대용 기기나 이동체 탑재기에서는 이온 마이그레이션 발생이 제품 고장의 주요 요인이 되고 있다<sup>3,4,5)</sup>.

본 연구에서는 표준 PCB기판을 이용하여 Water drop 가속시험법에 의한 수분 성분에 따른 이온 마이그레이션 재현시험 및 성장속도를 비교·검토하였다.

## 2. 이온 마이그레이션 발생 메카니즘

이온 마이그레이션은 부품이 실장 되는 부분에 사용되는 솔더(solder)나 전기적 회로를 구성하는 전극 혹은 패턴 간에, 수분의 부착과 흡착에 의한 결과로서 발생한다. 인가된 전압에 의해 물의 전기 분해가 발생하게 되는데, 보통 양극에서 산화가 일어나 구리, 은, Pb-Sn등의 금속이온이 용출되어 음

접수일 : 2004년 12월 22일  
이덕보(책임저자) : 한양대학교 신뢰성분석연구센터  
Email : leetokbo@hanyang.ac.kr, Tel : 02-2282-1686  
김정현, 강수근, 장석원 : 한양대학교 신뢰성분석연구센터  
임재훈, 유동수 : 삼성전자 냉장고 CS Group

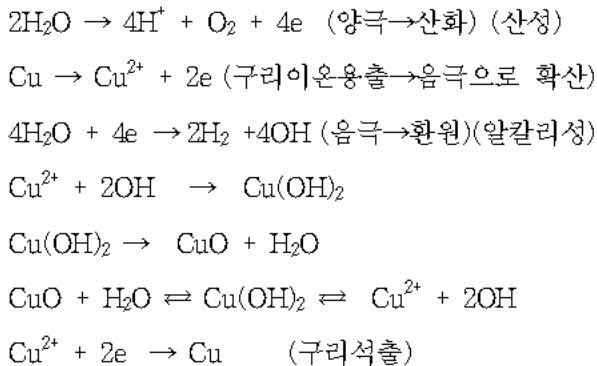
극을 향해 금속이온의 형태로 이동하게 된다. 이 금속이온이 음극에서 전자를 받아서 다시 금속으로 환원됨으로써 수지상(dendrite)으로 성장하여 양 전극간에 전기적 단락(short)을 일으킴으로, 기기의 오작동 등 전자 제품에 치명적인 고장을 유발한다. 이온 마이그레이션의 수지상에 의한 단락현상은 두 종류의 패턴이 있다.

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

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 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 프린트기판에서 유리섬유(glass fiber)를 따라 성장하는 기판내부 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( $Cu^{2+}$ )이 용출되고, 이 구리이온은 음극으로 확산되어 구리 수산화물( $Cu(OH)_2$ ), 구리 산화물( $CuO$ ) 등을 형성하며, 구리( $Cu$ )를 석출하는 과정을 반복하며 이동한다.

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

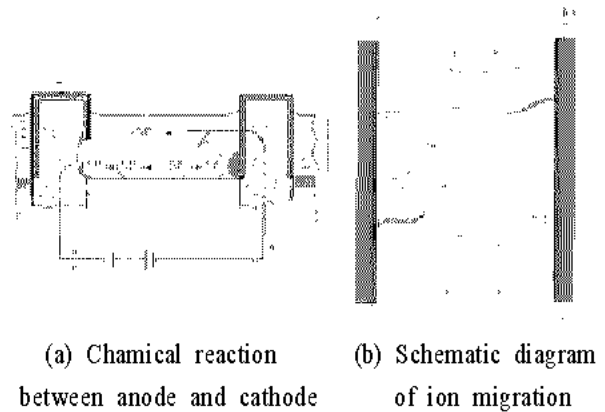


Fig. 1 Mechanism of ion migration



Fig. 2 Specimen for water drop test

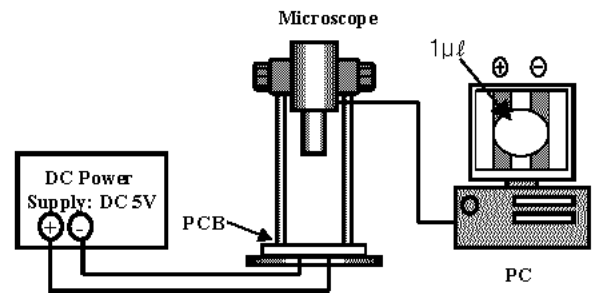


Fig. 3 Experimental equipment for water drop test

### 3. 실험방법

#### 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  $\mu m$ (패턴 폭:120  $\mu m$ ), 337  $\mu m$ (패턴폭:296  $\mu m$ ), 656  $\mu m$ (패턴 폭:603  $\mu m$ )이다. 본 연구에 사용한 패턴간의 거리는 B type의 337  $\mu m$ 를 사용하였고, 실험온도는 실온에서 하였다. 또한 패턴과 패턴사이의 적하수량은 마이크로 실린지를 이용하여 1  $\mu l$ 로 하였다.

Fig. 3은 Water drop 가속시험 장치도를 나타내

었다. 실험에 있어서는 표준 PCB test기판의 B type 패턴에 마이크로 실린지를 이용하여 적하수량 1  $\mu$ l를 적하하고 DC 전원공급장치로 5V의 전압을 인가하였다. 동 패턴간 이온 마이그레이션 발생 과정을 측정하기 위하여 Microscope를 사용하여 동영상 촬영을 하였다. 이온 마이그레이션 발생속도는 동영상상을 이용하여 발생시간을 측정하였고 적하수의 종류는 이온수, 증류수, 수돗물 3종류로 하였다.

Table 1에 water drop 가속시험에 대한 실험 조건을 나타내었다.

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	

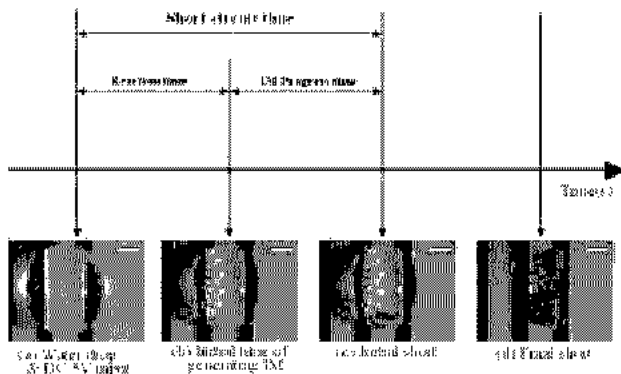


Fig. 4 Definitions of short-circuit time, reaction time and Ion migration time

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 이온 마이그레이션 발생 시간의 정의

Fig. 4는 이온 마이그레이션 발생 속도를 측정하기 위한 각종시간에 대한 정의를 나타내었다. Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 먼저 최초의 적하수를 투하하고 DC 5V를 인가한 시간(Fig. 4(a))에서부터 이온 마이그레이션이 발생하기 시작(Fig. 4(b))까지의 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.

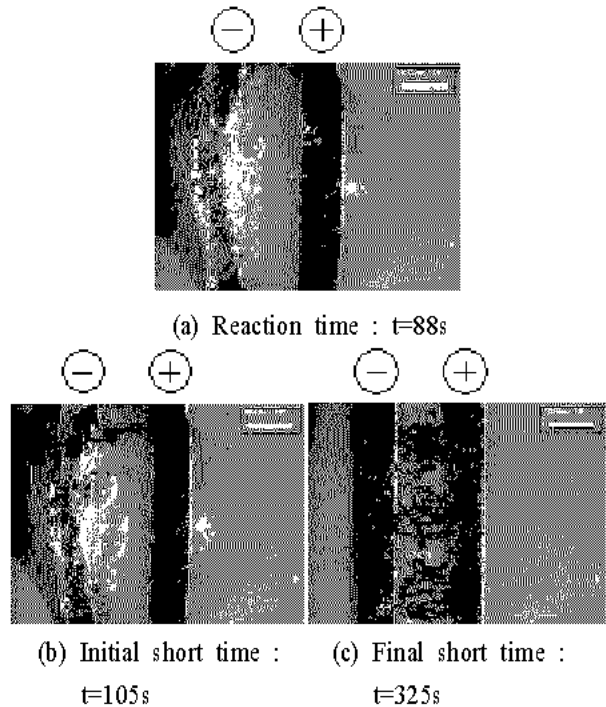


Fig. 5 Photographs of ion migration for ionic water

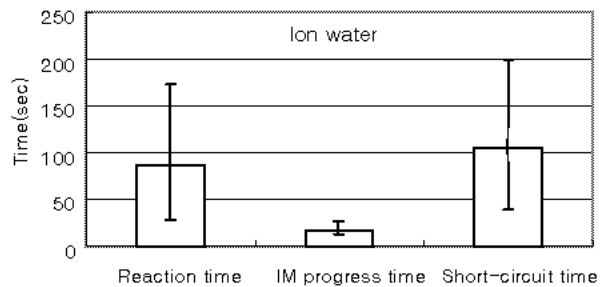


Fig. 6 Short-circuit time for ionic water

##### 4.2 이온수에 대한 이온 마이그레이션 발생 시간

Fig. 5와 6은 이온수에 있어서 이온 마이그레이션 발생 형태와 시간을 나타내었다. Fig. 5(a)에서 나타낸 것과 같이 이온수를 적하하여 DC 5V를 인가하면 양극과 음극사이에서 산화 환원 반응에 의해 음극부에서 수소기포가 발생하였다. 반응 시간(88초) 동안 양극부에서 구리이온이 용출되고 음극부에서 용출된 구리이온이 석출되어 양극부로 진전하여 양극부에 단락시키며(Fig. 5(b)) 이때 소요된 시간은 DC 5V를 인가 한 후 105초가 소요되었다. 또한 이온 마이그레이션이 진전시간은 17초가 소요되었고 최초 단락 이후 가지 모양의 이온 마이그레이션은 지속적으로 발생한 후, 이온수가 건조함으로서 반응이 종결되었다(Fig. 5(c)).

Fig. 6은 5개의 시험편을 사용하여 구한 이온 마이그레이션 단락 시간을 나타내었고 이온수에 대한 이온 마이그레이션 단락시간은 평균 100초가 걸렸다.

4.3 증류수에 대한 이온 마이그레이션 발생 시간

Fig. 7와 8은 증류수에 대한 이온 마이그레이션 발생 형태와 시간을 나타내었다. Fig. 7과 8에서 나타낸 것과 같이 반응시간, 단락시간과 시험 종료시간은 이온수에 비해 길게 나타났다. 증류수의 경우 반응시간은 118초, 이온 마이그레이션에 의한 최초 단락시간 159초, 최종 단락시간 371초가 걸리며, Fig. 8에서 나타낸 것과 같이 단락시간은 평균 150초가 걸렸다. 이와 같이 이온수와 증류수에 있어서 이온 마이그레이션의 발생 시간이 다른 것은 각각의 물이 갖고 있는 전해질의 차이에 의한 것으로 사료된다.

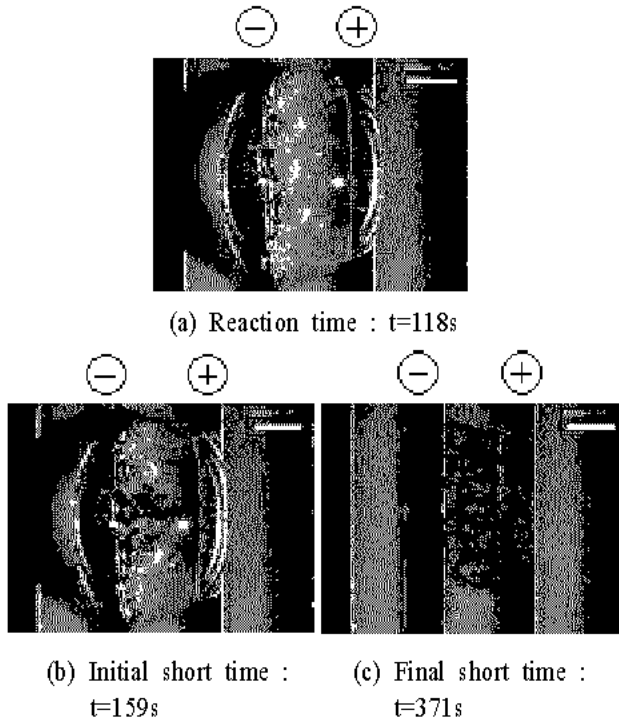


Fig. 7 Photographs of ion migration for distilled water

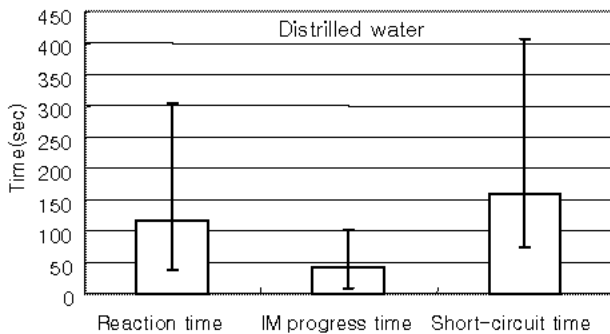


Fig. 8 Short-circuit time for distilled water

4.4 수돗물에 대한 이온 마이그레이션 발생 시간

Fig. 9와 10은 수돗물에 대한 이온 마이그레이션 발생 형태와 시간을 나타내었다. 수돗물에 있어서 반응시간, 단락시간과 시험종료 시간은 각각 118초, 159초, 371초로 증류수에 비해 빠르게 반응하는 것을 알 수 있고 각 반응에 있어서 푸른빛의 띠는 물질이 다량 석출되었다. 이 물질은 2.1절에서 설명한 바와 같이 이온 마이그레이션은 양극에서 구리이온( $Cu^{2+}$ )이 용출되어 음극으로 확산하고 음극에서 다시 구리이온( $Cu^{2+}$ )을 만나 환원됨으로서 구리(Cu)가 석출되는 현상으로 수돗물에 있어서는 상당부분 구리이온( $Cu^{2+}$ )이 수산화기 이온( $OH$ )과 반응하여 수산화동( $Cu(OH)_2$ )을 형성한 구리이온( $Cu^{2+}$ )이 많기 때문에 푸른빛이 수산화동이 석출된 것을 사료된다. 이를 증명하는 예로서 Fig.9(c)에 석출된 이온 마이그레이션 발생량을 비교해 보면 이온수(Fig.5(c))와

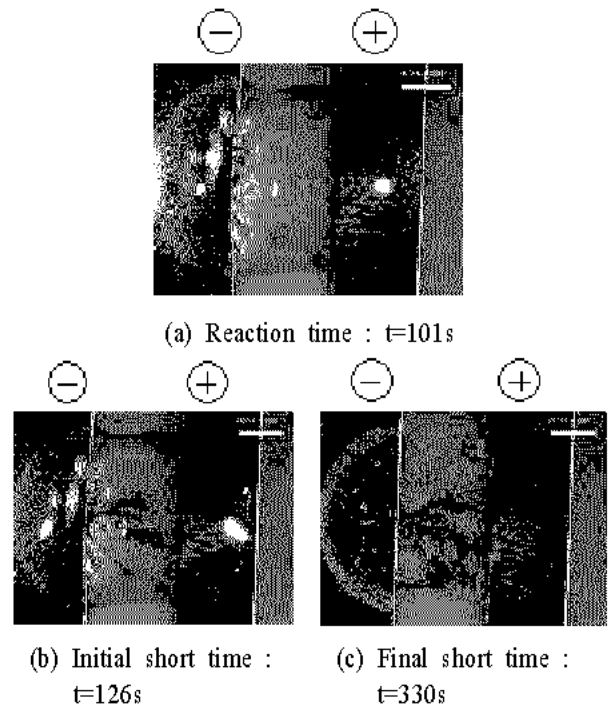


Fig. 9 Photographs of ion migration for city water

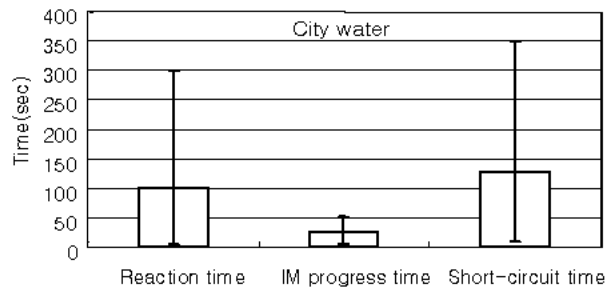


Fig. 10 Short-circuit time for city water

증류수(Fig.7(c))에 비해 상당히 적게 발생해 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10에서 나타낸 것과 같이 수돗물에 있어서 단락시간은 약 150초 걸렸다.

#### 4.3 적하수별 이온 마이그레이션 발생속도

Fig. 11은 이온 마이그레이션 반응시간을 나타내었다. 각각의 적하수에 대한 이온 마이그레이션 반응 시간은 이온수, 수돗물, 증류수 순으로 반응시간이 증류수가 가장 늦었다. 또한 Fig. 12에 나타낸 단락시간도 반응 시간과 동일한 경향을 나타내었다.

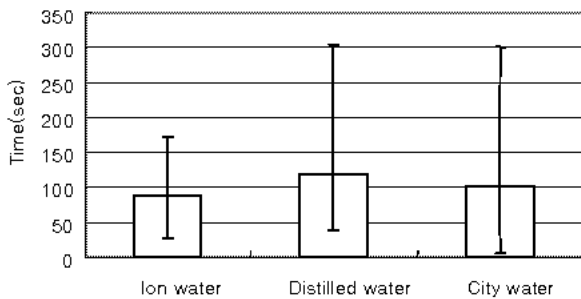


Fig. 11 Reaction time with various waters

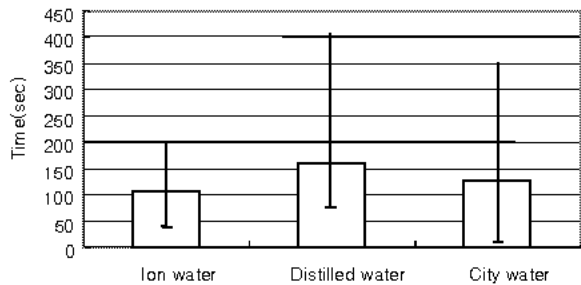


Fig. 12 Short-circuit time with various waters

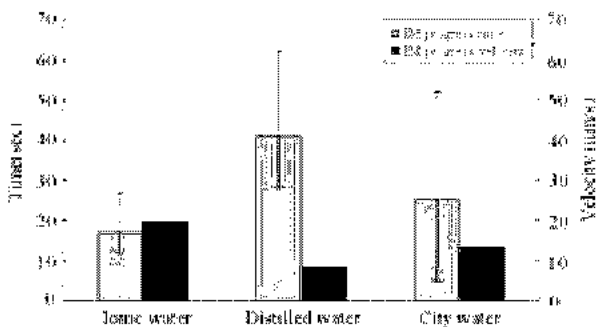


Fig. 13 Progress time and velocity on ion migration

Fig. 13은 이온수, 증류수 및 수돗물에 대한 이온 마이그레이션의 진행시간과 발생속도를 나타내었

다. Fig. 12에서 나타낸 것과 같이 이온 마이그레이션 발생속도는 이온수, 수돗물, 증류수 순으로 증류수가 가장 늦게 반응하였다. 각각의 적하수에 대한 이온 마이그레이션 발생 속도가 차이를 보이는 것은 적하수에 존재하는 전해질의 양에 의존한다고 사료된다. 즉 전기가 물이라는 것을 매개체로 하여 통하려면 전기부하를 가진 입자(이온)가 있어야 한다. 예를 들어  $Na^+$ ,  $Cl^-$  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 설명한 바와 같이 양극 쪽이 산성을 나타내고 음극 쪽이 알칼리성을 나타낸다. 따라서 산성을 나타내는 양극 쪽에서 구리이온의 용출을 촉진 시켜 증류수보다 이온 마이그레이션 발생속도가 빠르게 나타난다고 사료된다.

## 5. 결 론

Water Drop 가속시험을 통해 이온 마이그레이션 현상을 직접적으로 관찰하고, 적하수 종류에 따른 이온 마이그레이션 발생현상, 발생시간 및 발생속도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 이온수, 증류수 및 수돗물을 적하하여 전극 양단에 DC 5V 전압을 인가하였을때, 동 패턴 사이에 이온 마이그레이션 현상이 재현됨을 확인 할 수 있었다.
2. 이온 마이그레이션 발생현상은 적하수 종류(이온수, 증류수, 수돗물)에 따라 함유된 전해질 양의 차이에 의해 이온 마이그레이션 발생 속도가 현저한 차이를 보인다는 것을 알았다.
3. 이온 마이그레이션의 발생속도는 이온수, 수돗물, 증류수 순으로 이온수가 가장 빠르게 나타났다. 이것은 이온수의 경우 양극쪽의 산성화로 인한 구리이온의 용출이 촉진되었기 때문으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지정 한양대학교 신뢰성분석연구센터의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

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.