

# 환경 친화형 반도체 봉지재

한 승 · 장두원

## 1. 서론

반도체 봉지재는 IC(integrated circuits), LSI (large scale IC), VLSI(very large scale IC) 등의 반도체 소자를 외부로부터의 충격, 진동, 수분, 방사선 등으로부터 보호하기 위해 사용된다. Epoxy molding compound (이하 EMC)가 개발되기 이전에는 금속 또는 세라믹으로 반도체를 봉지하였으나, 1960년대 말부터 미국 TI사에서 성형이 용이하고 경제적인 에폭시 수지를 이용한 복합재료 즉, EMC가 처음 도입되면서 주로 민수용 반도체 봉지용 재료로 적용되기 시작하였다. 이후 급격한 반도체 산업 발전에 대응하여 EMC 관련 소재 개발도 빠른 속도로 발전하였으며 수년 전부터는 산업용 및 군수용 반도체에도 EMC를 적용할 수 있게 되었다. 에폭시 수지를 이용한 반도체 성형재료의 사용이 일반화되면서 현재는 반도체 성형 재료 중 약 90% 이상이 EMC를 사용하고 있다. **그림 1**에서 나타난 것과 같이 EMC의 주된 역할은 (1) 외부 환경으로부터의 반도체 칩을 보호하고, (2) 외부 환경으로부터의 전기적 절연을 이루며, (3) 디바이스의 작동 시 발생하는 열을 효과적으로 방출하며, (4) 표면 실장의 간편성을 제공하는 것이다.

**표 1**에 현재 적용되고 있는 대표적인 EMC의 조성물과 그 역할에 대하여 간략하게 정리하였다. EMC는 열에 의해 경화되어 3차원 망목구조를 형성하는 에폭시 및 경화제를 주성분으로 하며, 기계적 및 전기적 특성 등의 향상을 위해 실리카와 같은 무기 충전제를 기본 구성 요소로 하고 있다. 또한 경화속도

의 적절한 조정을 위한 경화촉매, 유무기 재료 간의 결합력을 향상시키기 위한 커플링제, 성형 작업시 이형성 확보를 위한 왁스, 난연성 부여를 위한 난연제 및 착색제, 개질제 등으로 구성되어 있다.

반도체의 응용분야가 급속히 확대되고 요구 특성이 다양해지면서 반도체 패키지의 발전도 급속히 이루어지고 있고, 이에 따라 EMC도 고유 기능인 반도체 보호기능 이외에 추가적인 특성이 요구되고 있다. 가장 최근의 반도체 봉지용 EMC의 요구 특성은 크게 2가지의 흐름으로 요약할 수 있다. 그 중 하나는 lead-



한 승

1989 ~ 고려대학교 재료공학과(학사)  
1993  
1993 ~ 고려대학교 재료공학과(석사)  
1995  
1995 ~ 고려대학교 재료공학과(박사)  
1999  
1999 ~ 현대산업개발 기술연구소  
2003  
2003 ~ 제일모직 전자재료연구소  
현재



장두원

1978 서울대 화학과 졸업(학사)  
1980 KAIST 화학과 졸업(석사)  
1980 ~ KIST 응용화학부 근무  
1983  
1989 Princeton univ. (박사)  
1990 ~ 제일모직 전자재료연구소장  
현재

### Green Epoxy Molding Compound

제일모직 전자재료연구소 (Seung Han and Tuwon Chang, Semiconductor & Dispersion Group, Electronic Chemical Materials R & D, Cheil Industries Inc., 332-2, Gochun-dong, Euiwang-si, Kyungki-do 437-010, Korea) e-mail: seung.f.han@samsung.com

free solder 대응화이며, 또 다른 하나는 halogen-free화이다. 이 두 가지 흐름은 모두 세계적인 환경 의식의 변화와 밀접한 연관이 있으며, 따로 독립적

기 보다는 일련의 흐름으로 인식되어야 하기 때문에 앞으로 개발될 EMC 제품은 이 두 가지 요구 특성을 모두 만족시켜야만 한다.

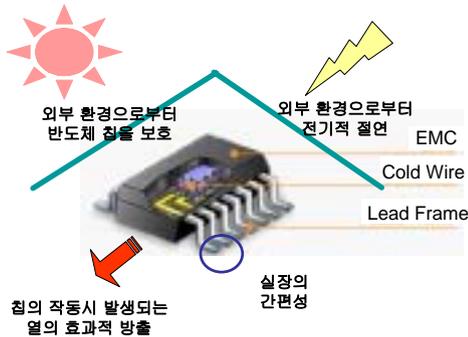


그림 1. EMC의 주된 역할.

표 1. EMC의 기본 조성 및 역할

No	Composition	Function and Role	Ratio
1	Epoxy Resin	Basic Resin (as Binder)	5~20
2	Organic Flame Retardant	Organic Flame Retardant Action (Br-Epoxy)	2<
3	Hardener	Reaction with Epoxy Resin	5~10
4	Catalyst	Control Reaction Speed	1<
5	Filler	Improve Strength, Thermal Conduction and Decrease Thermal Expansivity	60~93
6	Coupling Agent	Increase Binding Between Organic & Mineral Material	1<
7	Modifier	Decrease Thermal stress	5<
8	Wax	Improve Mold Operation	1<
9	Mineral Flame Retardant	Flame Retardant (Sb2O3)	0.5~3.0
10	Colorant	Coloring (Carbon Black)	1<

## 2. 최근 반도체 봉지용 EMC의 기술동향

### 2.1 Lead-Free Solder 대응화

현재 사용되는 전자부품은 대부분 인쇄회로 기판 (PCB: printed circuit board)에 부착이 되며, 반도체 디바이스를 PCB에 실장하는 방법에 따라 삽입 실장형과 표면 실장형으로 나눌 수 있다. 그림 2에 삽입 실장과 표면 실장을 도식적으로 나타내었다. 반도체 소자의 집적도가 높아지면서 회로배선은 미세화 되고 패키지내 소자의 크기가 대형화되고 있어, 실장 방법에 있어서도 종래의 DIP(dual inline package) 형을 주종으로 한 삽입형에서 대량생산 및 자동화를 위한 표면실장형으로 급속히 이행되고 있으며 이러한 기술을 바탕으로 패키지 자체의 소형화 및 박형화 추세는 향후 더욱 가속화될 전망이다.

현재까지는 실장하는 방법과 무관하게 반도체 디바이스를 PCB에 실장하기 위해 납이 함유된 Sn-Pb계 solder를 이용하고 있었다. 그러나 이러한 lead계 solder는 전기/전자제품 등이 폐기되었을 때 산성비에 의하여 납 성분을 용출시켜 지하수나 토양을 오염시킬 우려가 있으며, 특히 음료수나 음식물에 용해되어 있는 납 이온이 사람에게 섭취될 경우에는 헤모글로빈 생성을 저지하는 등의 치명적인 악영향을 주게 된다. 이에 따라, 유럽을 중심으로 납 규제에 대한 법

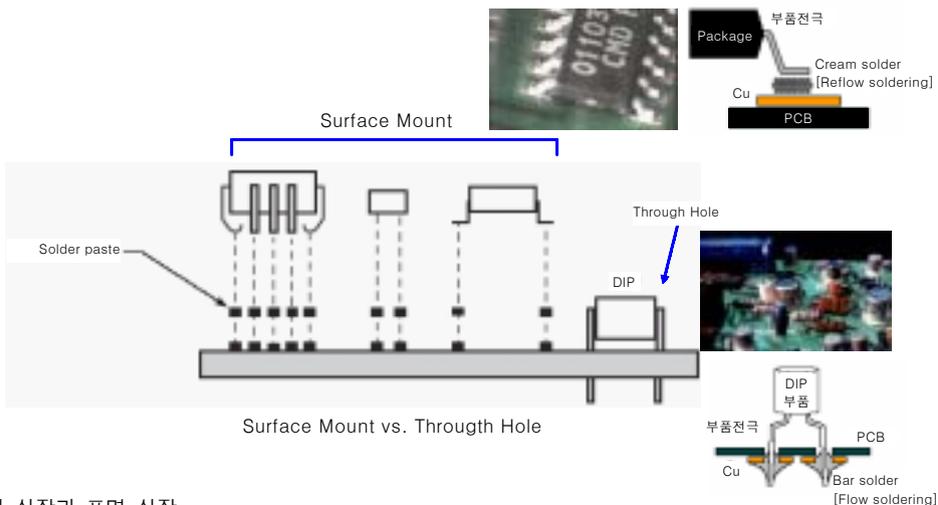
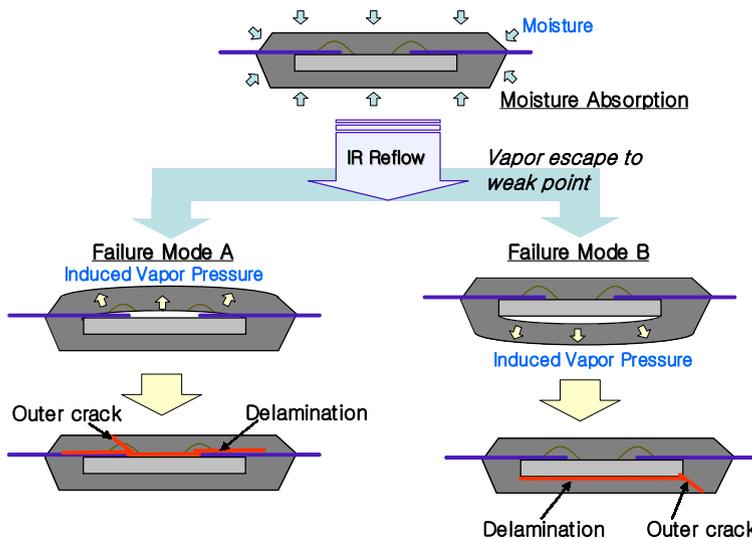


그림 2. 삽입 실장과 표면 실장.

제화가 활발히 진행되고 있는 상태인데, EU 규제법 중 2006년 7월부터 시행될 예정인 RoHS법은 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬 등 무기원소와, 브롬계 난연재와 같은 유기원소를 강력히 규제하고 있다. 이 법이 시행 시기 이전에 전기/전자 기기 내 유해 물질이 함유된 부품 전부를 환경 친화적으로 교체하여야 하므로 2006년도 환경 규제 대응을 위한 lead-free 제품의 활발한 개발 및 양산이 진행 중에 있다. 이러한 흐름에 맞추어 반도체 실장 공정 중 반도체 패키지를 용착시키기 위해 사용되는 납 함유 Sn-Pb계 solder가 납이 함유되지 않은 Sn-Ag-Cu 계 등의 solder로 변경되고 있는 추세이다. 그러나 Sn-Ag-Cu 계 등 무연 solder는 Sn-Pb계 solder에 비하여 용점이 높기 때문에 필연적으로 반도체 패키지 실장 공정의 온도를 상승 시키는 역할을 하게 된다. 삽입 실장형의 경우에는 soldering시 Lead에 국한적으로 열을 주기 때문에(일반적인 인두를 이용한 납땀을 생각하면 쉽게 이해가 될 것이다.) 반도체 디바이스에는 극히 적은 열이 전달된다. 따라서 용점이 높은 solder로 교체하여도 반도체 디바이스에 가해지는 열 충격 상승 효과는 미미하다. 이에 반하여 표면 실장형의 경우에는 반도체 부품을 PCB 표면에 장착하고 외부 열원에 의해 solder를 용융시켜 soldering 하는 reflow 공정을 거치게 되므로 solder 뿐만 아니라 반도체 부품 및 PCB 전체가 열 충격을 받게 된다. 따라서 필연적으로 반도체 디바이스 및 EMC는 다소 가혹한 고온의 환경에 노출된다. Sn-Pb계 solder

를 이용한 실장시 Reflow 공정에서 반도체 디바이스는 최대 240 °C의 고온에 노출되는 것에 반하여 무연 solder를 사용할 경우 Reflow 공정에서 최대 260 °C 이상의 고온에 노출된다. 단지 20°C 정도의 온도 상승이지만 이 정도의 온도 상승만으로도 EMC뿐만 아니라 반도체 패키지에 적용되는 모든 고분자 재료의 신뢰도에 상당한 영향을 끼치게 되는 것이다.

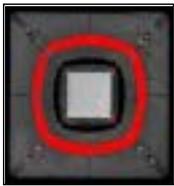
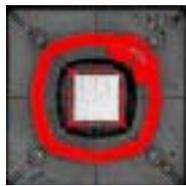
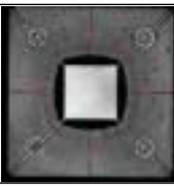
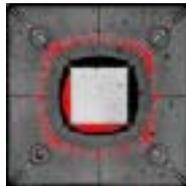
**그림 3**은 reflow 공정시 발생하는 열에 의해 EMC가 크랙 및 박리가 일어나게 되면서 발생하는 불량 mode를 도식적으로 나타낸 것이다. 이러한 불량 발생시키는 주된 요인은 패키징(packaging) 후 EMC가 대기 중의 수분을 흡수하여 일정량의 수분을 포함하기 때문이며, 일정량의 수분을 포함하고 있는 EMC를 비롯한 반도체 패키지 재료가 고온의 reflow 공정에 노출되면 흡수된 수분이 급격히 기화되어 부피 팽창을 함으로써 응력이 유발되며, 패키지의 가장 취약한 부분이 이를 견디지 못할 때 크랙 또는 박리가 발생하게 된다. 일반적으로 얇은 패키지일수록 외부에서 유입되는 수분에 의해 더욱 민감하게 신뢰도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이러한 불량을 방지하기 위해서 매트릭스 수지를 저흡습성 수지로 대체하거나 필러의 함량을 늘리는 등 여러 가지 방법을 채택할 수 있으나 결과적으로 EMC 가격 상승을 가져오게 된다. 일차적으로 경제성을 고려하고 기존 240 °C reflow 공정에 대응하여 두께가 두꺼운 표면 실장형 반도체(SOP, PLCC, MQFP)에는 가격이 저렴하고 성형성이 양호한 노볼락(novolac)형 에폭시



**그림 3.** Reflow 공정 중 EMC의 failure mode.

수지를 기본으로 충전재 함량이 70~85 wt% 범위의 EMC가 적용되고 있다. 신뢰도가 취약한 두께가 얇은 표면 실장형 반도체 패키지(TSOP, TQFP, LQFP)는 수분이 패키지 신뢰도에 직접적인 영향을 주기 때문에 보다 낮은 흡습율을 갖도록 내습 특성이 양호한 biphenyl형 에폭시를 기본으로 한 충전재 함량 85~90 wt%의 EMC가 적용되고 있었다. 그러나 lead-free solder를 적용할 경우 앞에서 서술하였던 바와 같이 reflow 공정 온도가 기존의 lead계 solder를 적용하였을 때보다 20 °C 이상 높아지게 되어, EMC 내부의 수분 기화에 의한 응력이 40% 이상 증가하게 되며 상당 수의 기존 EMC가 응력을 견디지 못하고 크랙 또는 박리가 발생하게 된다. **표 2**는 종래의 240 °C reflow 공정 대응 EMC를 LQFP에 조립한 뒤, 흡습 후 최대 온도가 240 °C 및 260 °C가 되도록 설정된 reflow machine을 통과시킨 다음 C-SAM 장비(초음파를 이용하여 패키지의 내부의 박리를 관찰할 수 있는 장비)를 이용하여 패키지 내부를 관찰한 것이다. 표 내의 그림에서 알 수 있듯이 reflow 온도가 상승함에 따라 EMC와 구성품 간의 계면 박리 면적이 증가하게 된다. Lead-free 공정이 도입됨에 따라 EMC는 발생된 내부 응력을 견디지 못하고 박리 및 크랙이 발생하게 되어 이러한 경우 해당 EMC 제품은 lead-free를 대응할 수 있는 신뢰도 품질 특성을 만족하지 못하게 된다. Solder의 lead-free화에 대응하기 위해서는 EMC 자체의 고온 내크랙성이 향상되어야 할 뿐 아니라, 팽창되는 수증기의 양을 줄이기 위하여 흡습량 자체가 적어야 하고, 리드프레임과의 접착력이 증가되어야 한다. 이러한 요구특성을

**표 2.** Reflow 온도 변화에 따른 EMC의 신뢰도 저하

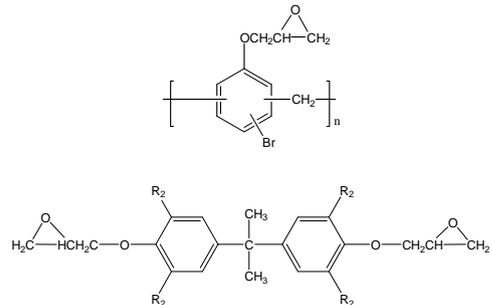
구분	Water Absorption +240 °C IR Reflow	Water Absorption +260 °C IR Reflow
Top		
Bottom		

만족하기 위하여 일반적으로 무기충전제인 실리카의 함량을 늘리거나 흡습이 더욱 낮은 수지 매트릭스를 적용하여 EMC의 자체의 흡습량을 줄이고, 저응력화를 위해 탄성률을 낮추며, 칩 또는 리드프레임과 반도체 소자 밀봉소재와의 밀착성을 높이기 위하여 부착력 향상제 등을 첨가하여 EMC의 신뢰도 향상을 꾀하고 있다. 이와 같이 보다 가혹해진 표면 실장 조건에 대한 일련의 신뢰도 개선 연구/개발이 EMC의 lead-free solder 대응화이다.

## 2.2 Halogen-free화

이제부터 EMC의 halogen-free화에 대한 동향을 살펴보도록 하겠다. EMC는 전기 절연성, 기계적 강도 및 내습성 등의 신뢰도 특성과 함께 대부분의 반도체 업체에서 UL-94 V-0의 난연성을 요구하고 있다. UL 규정의 난연성을 확보하기 위하여 필연적으로 난연제를 사용하여 EMC를 제조하고 있으며, **표 1**에 나타낸 바와 같이 현재 유기 난연제로서는 halogen계의 브롬화 에폭시 수지(Br-Epoxy)를 무기 난연제 또는 난연조제로서 삼산화 안티몬(Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 주로 사용하여 난연성을 확보하고 있다. 대부분 이러한 조합을 선택하는 이유는 브롬화 에폭시 수지와 삼산화 안티몬을 병용 사용할 경우 난연 상승 효과가 나타나게 되어 EMC에 첨가되는 난연제의 첨가량을 최소로 줄일 수 있기 때문이다. 최적 조합으로 적용될 경우 EMC 전체 조성 중에 2~3 wt%의 난연제 함량만으로도 EMC 본래의 특성을 해치지 않는 범위에서 비교적 용이하게 난연화를 실현할 수 있다. **그림 4**는 EMC에서 대표적으로 사용되는 있는 대표적인 브롬화 에폭시 수지를 나타낸 것이다.

그러나 halogen계 난연제를 사용하여 고분자 복합재료의 경우 소각 또는 화재시 다이옥신(dioxin)이나 다이퓨란(difuran) 등의 유독성 발암물질이 발생하는



**그림 4.** EMC에서 사용되고 있는 대표적인 브롬화계 에폭시 수지.

것으로 알려지게 되면서 점차 halogen계 난연재에 대한 규제 움직임이 활발히 진행되고 있다. 엄밀히 이야기하면 연소시 다이옥신을 발생시키는 halogen계 난연재는 EMC에서 사용되고 있는 브롬화 난연재와는 별개의 것이지만 유해한 halogen계 가스를 발생시킬 우려 때문에 반도체 메이커를 중심으로 non-halogen 난연화에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다. 삼산화 안티몬의 경우에는 유럽에서는 발암물질로 규정하고 있으며 할로겐계 난연재와 시너지 효과를 내기 위하여 사용되기 때문에 non-halogen 요구에 역행하는 요인이 되고 있어 점차적으로 규제하는 방향으로 가고 있다.

현시점에서는 브롬화 에폭시 및 삼산화 안티몬에 대한 구체적인 법률적인 규제는 없지만 각 반도체 메이커에서 환경친화적인 기업 이미지를 구축하기 위하여 적극적으로 탈 Br/Sb계 난연 EMC 사용을 검토/사용 중에 있으며 이러한 움직임은 세계적인 자율 규제 쪽으로 흘러갈 가능성이 높은 것으로 알려진다. 인체/환경 부하 외에도 Br/Sb계 난연재가 반도체 디바이스의 고온방지 특성을 저해시키는 문제점이 있기 때문에 환경 부하의 감소뿐만 아니라 신뢰도 측면에서도 탈 Br/Sb, EMC의 적용의 필요성은 날로 증대되고 있는 실정이다.

인체/환경에 대한 부하를 줄인다는 관점에서 탈 Br/Sb계 EMC 또는 halogen-free EMC는 통칭 환경친화형 EMC 또는 green EMC로 불리고 있으며, 실제로도 탈 Br/Sb계 환경친화형 EMC 시장의 규모가 급격히 커지고 있는 추세이다. 2006년 중반 이후에는 대부분의 기존 Br/Sb계 난연 EMC가 환경친화형 EMC로 대체될 것으로 예상되고 있다.

### 3. 환경친화형 EMC

환경친화형 EMC에 대한 논의에 앞서 UL-94 난연화 규정과 고분자 복합재료의 난연 메커니즘에 대하여 간단히 살펴보도록 하겠다.

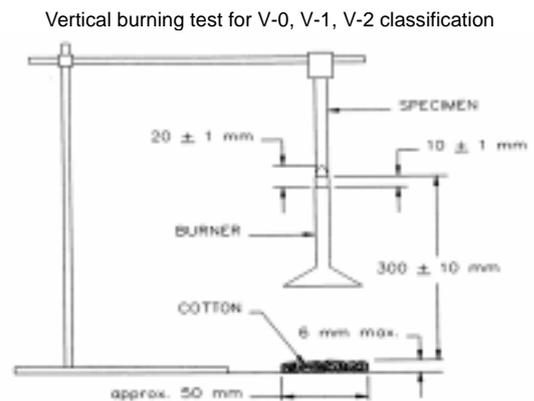
#### 3.1 EMC의 난연 규정 및 시험법

난연 관련 UL 규정에는 UL 44, 62, 83, 94, 114 등이 있으며 이중 EMC과 관련된 UL 94 vertical burning test(UL 94V)에 대하여 살펴보도록 하겠다. UL 94V는 시편을 **그림 5**와 같이 수직으로 세워 놓고 버너로 시편에 불을 붙여 일정 시간 내에 불꽃이 꺼지는 정도에 따라 V-0, V-1, V-2 인증을 부여하

는 시험이다. 1 세트당 5개, 두 세트의 시험편을 준비한 후 메탄가스의 파란색 불꽃을 이용하여 각각의 시편을 10초간 두 번 연소하는데 첫번째 10초 연소 후 소화시간( $t_1$ )을 측정하고 두번째 10초간 불꽃 연소 후 불꽃이 사라지는 시간( $t_2$ )과 무염연소(glowing)이 지속되는 시간( $t_3$ )을 측정하여 등급을 결정한다. 보통 두 세트를 행하여 좋은 결과가 나온 것을 등급으로 인정한다. **표 3**은 UL 94V의 평가 결과에 따른 난연 등급을 나타낸 것이다.

#### 3.2 난연 메커니즘

연소란 가연물이 공기중의 산소와 결합·반응하면서 열과 빛을 동반하는 현상이다. 가연물이 산소와 결합·반응하는 현상을 산화라고 하며 이중에서 열이나 빛과 같은 에너지를 동반하면서 급속히 산화하는 현상을 연소라고 한다. 연소가 자동적으로 지속되기 위해서는 산화에 의해서 열이 발생하는 속도와 그 열이 외부로 발산하는 속도가 같아 균형을 이루어야 한다. **그림 6**에 고분자 재료의 연소 사이클에 대하여 간략히 나타내었다. **그림 6**에서 보는 바와 같이 외부로부터 어떠한 열이 재료에 가해지게 되면 재료내의 연소 성분이 분해되어 가연성 가스가 발생하게 되며 이 가스는 주위의 산소와 반응해 연소가 시작된다. 연소시에



**그림 5.** UL 94 vertical burning test 방법.

**표 3.** Vertical Burning Test 평가 결과에 따른 난연 등급

평가 조건	V-0	V-1	V-2
각 시편당 1차( $t_1$ ) 및 2차( $t_2$ ) 연소시간	≤10s	≤30s	≤30s
5개의 시편에 대한 $t_1$ 과 $t_2$ 를 합한 총연소시간	≤50s	≤250s	≤250s
2차 연소시간과 glowing 시간의 합( $t_2+t_3$ )	≤30s	≤60s	≤60s
시편의 지지위치까지 연소 유무	No	No	No
적하물에 의한 숯발화여부	No	No	Yes

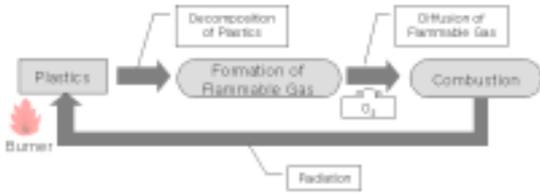


그림 6. 고분자 재료의 연소 사이클.

극히 불안정하고 활성화된 프리 라디칼이라는 물질을 만들게 되는데, 이 라디칼은 인근의 가연성 재료와 안정된 산소 분자를 공격하여 또 다른 라디칼을 만들게 되는데, 이 과정을 연쇄 반응이라고 한다. 여기에서 생성된 라디칼이 연소를 일으키는 핵심적인 역할을 하게 되는데, 활성화 라디칼은 화학반응을 통하여 열을 발생하게 되며 이때 발생된 잠열은 주위 인화성 물질이 연소하는데 소요되는 에너지원으로 작용하게 된다. 이로써 가연성 물질에서 외부에서 제공되는 열원을 제거하더라도 계속해서 연소가 일어나게 된다. 이 연소 사이클의 어느 한 부분만 제거하여도 난연화가 가능하다. 즉 산소, 열에너지, 연소 성분, 프리 라디칼 중에서 어느 쪽이라도 차단 또는 억제하게 된다면 고분자의 난연화는 가능해진다.

### 3.3 환경친화형 EMC의 구현

Br/Sb계 난연제를 사용하지 않고서 UL 94 V-0를 만족시키기 위하여 크게 3가지의 접근 방법이 있다. 첫번째는 난연제를 이용하지 않고 EMC 조성의 기존 에폭시 주체 및 경화제를 대폭 변경한 예로 수지 자체의 난연화에 의한 방법이며 두번째는 필러 고충전에 의해 가연성 물질을 최소화함으로써 난연화하는 방법이며 세번째는 nitrogen계, metal hydrate계, phosphorous계 등의 대체 난연제를 이용한 방법이다. 앞에서 서술하였지만 다시 한번 상기하여야 할 사항은 halogen-free EMC는 단순히 탈 Br/Sb계 대응뿐만 아니라 lead-free 대응을 기본으로 염두해 두고 설계하여야 하므로 반드시 난연성의 확보뿐만 아니라 신뢰도 측면도 함께 고려하여야 한다. 위에서 서술한 난연화 방법을 단독 또는 혼용하여 EMC를 난연화하는 방법들이 채택되고 있는데, 각각에 대해서 더 자세히 살펴보도록 하겠다.

#### 3.3.1 자기소화성 수지를 이용한 난연화 방법

자기소화성 수지를 이용한 난연화 방법은 에폭시 매트릭스 수지 안에 지방족 기를 줄이고 방향족 기를 늘려 수지 골격 그 자체가 잘 연소되지 않도록 하는 방법이다. 이러한 방법을 이용할 경우 실리카 등의 충전제의 양을 최소화 시킬 수 있고 어떠한 난연제도

사용하지 않고서도 필수적인 난연성을 부여할 수 있어 최근에 가장 활발하게 연구 개발되고 있는 분야이다. 표 4와 5는 현재 상업화되어 사용되고 있는 에폭시 수지와 페놀 수지를 나타낸 것이다. 그림 7은 어떠한 난연제를 첨가하지 않고 표 4와 5의 수지 조합으로 제조된 EMC의 최대연소시간 및 총 연소시간에 대한 결과를 나타낸 것이다. 이 때 실리카 함량은 모두 동일하게 86 wt% 적용하였다.

그림 7로부터 수지 조합에 따라 EMC의 난연 특성이 크게 변화되는 것을 알 수 있다. OCN/PN계 및 DCPD/Xylok 조합의 수지를 적용한 EMC의 경우 전소되었으나, phenol biphenylene계 에폭시 또는 경화제, phenol naphthalene계 에폭시를 적용한 EMC의 경우 난연성은 크게 향상되는 결과를 보였다. 특히 phenol biphenylene계 에폭시/xylok, phenol naphthalene계 에폭시/xylok 및 phenol biphenylene계 에폭시/phenol biphenylene계 페놀 수지를 적용한 EMC의 경우에는 추가적인 난연제 첨가 없이도 UL 94 V-0를 만족하는 것을 알 수 있다. 난연제를 사용하지 않고서도 난연성을 확보할 수 있는 것은 매우 흥미로운 결과이다.

일반적인 에폭시 수지 조성물(대표적으로 OCN/PN계)에서는 조성물의 가교밀도가 높기 때문에 발화될 경우 수지가 열분해 되어 발생한 가스가 수지 층에 크랙을 주면서 외부로 발산하게 되어 결국에는 화염을 제거하여도 완전히 전소된다. 이에 반하여 phenol biphenylene계 수지 또는 phenol naphthalene계 수지를 적용한 EMC의 경우에는 EMC의 열분해에 의하여 발생하는 carbon oxide와 hydrocarbon과 같은 휘발성 물질, 그리고 수지 조성물로 구성된 안정된 팽창층과 균질한 탄화층이 발화와 동시에 EMC 표면에 즉각적으로 형성되기 때문에 난연화가 가능하다. 그림 8에 이러한 수지 조성물들의 난연화 메커니즘을 도식적으로 나타내었다. 표면 팽창층은 EMC로 전달되는 열전달을 효과적으로 차단할 수 있으며 탄화층은 연소시 발생하는 가연가스의 직접적인 방출을 억제하게 되므로 어떠한 난연제 없이 자체적인 소화 기능을 제공하게 된다. 이러한 독특한 소화 현상 때문에, phenol biphenylene계 수지 또는 phenol naphthalene계 수지를 자기소화성 줄여서 자소성 수지라고 통칭하고 있다.

만약 팽창층이 생성되지 않는다면 낮은 단열효과와 직접적인 가연성 가스의 분출로 연소가 진행되게 되며, 팽창층이 형성 되었다 하더라도 표면에 균질한 탄

표 4. 상업적으로 이용되고 있는 EMC용 에폭시 수지

Code	Type	Chemical Structure	대표적인 메이커
A	O-cresol Novolac (OCN)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kukdo</li> <li>• Nippon Kayaku</li> <li>• Japan epoxy resin</li> </ul>
B	Phenol Dicyclopentadiene (DCPD)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nippon Kayaku</li> <li>• DIC</li> </ul>
C	Biphenyl		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Japan epoxy resin</li> <li>• Tohto Kasei</li> </ul>
D	Bisphenol-F		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tohto Kasei</li> </ul>
E	Bisphenol-S		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tohto Kasei</li> </ul>
F	Phenol Biphenylene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nippon Kayaku</li> </ul>
G	Phenol Naphthalene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tohto Kasei</li> </ul>

표 5. 상업적으로 이용되고 있는 EMC용 페놀 수지

Code	Type	Chemical Structure	대표적인 메이커
H	Phenol Novolac (PN)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolon Chemical</li> <li>• Meiwa</li> </ul>
I	Phenol p-xylene (Xylok)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolon Chemical</li> <li>• Meiwa</li> <li>• Mitsui Toatsu</li> </ul>
J	Phenol Biphenylene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nippon Kayaku</li> </ul>
K	Phenol Naphthalene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tohto Kasei</li> </ul>

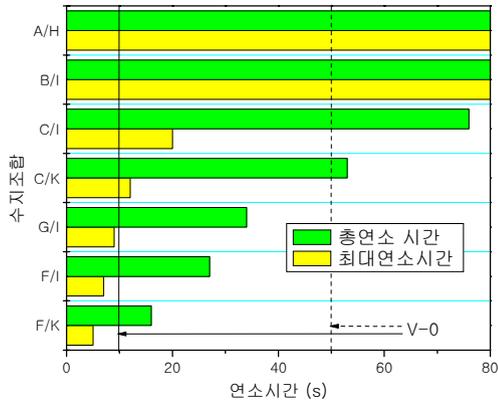


그림 7. 수지 매트릭스에 따른 연소시간.

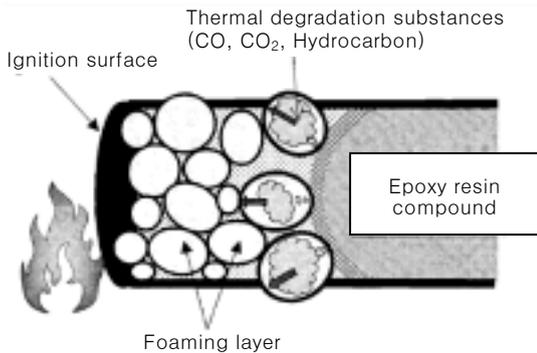


그림 8. 자기소화성 수지의 난연 메커니즘 [Polym. Adv. Technol., 14, 638 (2003)].

회층이 생성되지 않으면 가연성 가스의 분출로 인하여 연소가 계속 진행되게 된다. 표면 팽창층의 형성은 수지경화물의 가교밀도와 반응성 관능기 사이의 화학 구조에 직접적인 연관을 갖는다. 표면 팽창층이 용이하게 생성되기 위해서는 높은 온도에서 낮은 탄성률을 가져야 하며, 따라서 수지조성물의 가교 밀도가 낮아야만 한다. 또한 안정된 표면 팽창층을 유지하기 위해서는 수지의 높은 열분해 저항성이 요구되므로 분자 구조가 지방족 치환체 보다는 방향족 치환체가 유리하다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 phenol biphenylene계 수지 또는 phenol naphthalene계 수지가 포함된 조성물이 자기 소화성이라는 독특한 난연 기구를 형성하게 된다. 수지별로 이러한 개념을 이용하여 난연성과 구조와의 연관성을 다시 살펴보면 보다 쉽게 이해될 수 있을 것이다. OCN계 또는 PN계 수지를 이용한 EMC의 경우에는 가교밀도가 높아 높은 온도에서 높은 탄성률을 가지게 되므로 표면 팽창층을 형성하지 못하여 난연성을

나타내지 못한다. 반면 DCPD계 에폭시 수지를 적용한 EMC의 경우에는 수지 조성물의 가교 밀도가 낮고 높은 온도에서 낮은 탄성률을 갖기 때문에 자기소화성을 가지게 될 것으로 생각할 수도 있지만 실제로 가교 밀도는 낮추는 반면 관능기단인 DCPD가 내열성이 떨어지기 때문에 내열 분해성이 극히 저하되어 자기소화성의 특성을 나타내지 못한다. 실제로 DCPD계 수지는 일반 OCN 수지보다도 난연성이 취약한 것으로 나타난다.

자기소화성 수지의 사용은 어떠한 난연재 없이도 EMC의 난연성을 만족시킬 수 있을 뿐만 아니라 다른 여타의 수지 시스템에 비하여 수분 흡습률 및 접착력 등이 우수하여 lead-free 대응에 매우 효과적이다. 또한 난연재 첨가에 따른 불순물 농도의 증가를 억제시킬 수 있으므로 신뢰도 향상에 큰 기여를 할 수 있어 최근에 고신뢰성 EMC로써 각광을 받고 있다.

### 3.3.2 필러 고충전에 의한 난연화 방법

기존 EMC의 일반적인 필러 충전량은 70~90 wt% 범위이다. 그림 9는 에폭시 수지로서 biphenyl계 에폭시를 경화제로서 xylok 수지를 사용한 EMC의 필러 함량에 따른 난연 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이 시스템이 난연성을 확보하기 위해서는 약 90 wt% 이상 충전할 필요가 있다는 것을

### Base Resin for High Filler Loading

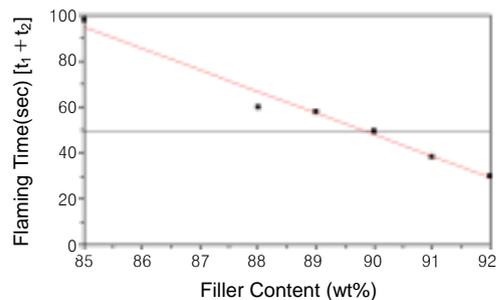
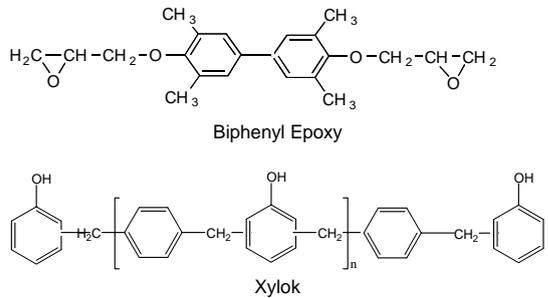


그림 9. Filler loading에 따른 난연성의 변화.

알 수 있다. 필러 고충전에 의한 방법은 난연재를 전혀 사용하지 않기 때문에 당연히 환경친화도가 높다. 다만 고충전으로 인한 EMC의 유동 저하 현상이 발생하게 되므로 어떻게 하면 이러한 문제점을 극복할 것인가가 문제점으로 남아 있다. 과거에는 여러 입경을 갖는 실리카를 EMC 메이커에서 직접 혼용하여 고충전 시스템의 유동성을 높이기 위한 노력들이 이루어졌지만 최근에는 고유동성을 갖는 실리카 자체가 실리카 업체로부터 바로 공급되는 경우가 많아 고충전 EMC의 구현은 예전보다는 수월한 편이다. 다만 고충전 시스템의 경우 기존 저충전 시스템과는 달리 생산설비 및 공정기술을 확보하여야 한다는 문제점이 남아 있으며, 무엇보다도 biphenyl계/xylok계 EMC 시스템과 같이 저점도 수지로 이뤄진 시스템에만 고충전이 적용될 수 있다는 문제점이 남아 있다.

### 3.3.3 대체 난연재를 이용한 난연화 방법

현재 EMC용 대체 난연재로 nitrogen계, metal hydrate계, phosphorous계 등이 검토되고 있다. 대체 첨가형 난연재를 이용한 방법은 기존에 개발된 Br/Sb계의 수지 시스템을 그대로 사용하는 것이 가능하다는 장점과 가격 측면에서도 여타 난연화 방법에 비하여 비교 우위를 점하고 있다. 그러나 EMC는 특성상 반도체 chip에 직접 접하는 물질이기 때문에 내습성, 내부식성, 성형시의 유동성, 내고온 특성 등 여러 가지 제약이 있어, 매우 신중하게 적용이 검토될 필요가 있다. 첨가되는 대체 난연재에 따라 난연 메커니즘이 달라지게 되는데, metal hydrate계의 경우에는 연소시 탈수반응에 의한 흡열 효과로 연소과정에서 유지되어야 할 열에너지를 소비시킴으로써 연소를 억제시키는 메커니즘이며, phosphorous계는 가연성물질이 산소와 접촉하지 표면에 탄화층을 형성함으로써 연소를 억제시키는 메커니즘을 따른다.

대체 난연재 적용이 EMC에 특성에 미치는 영향을 살펴보면, melamine과 같은 nitrogen계는 난연효과가 낮기 때문에 과량 사용하여야 하며 이에 따라 EMC의 흐름성을 저하시키고 기계적 강도를 떨어뜨리는 문제점을 가지고 있어 아직까지 크게 각광을 받지 못하고 있다. Aluminum hydroxide나 magnesium hydroxide와 같은 metal hydrate계는 무독성이기 때문에 환경 부하가 낮고 고온 방치 특성을 악화시키는 이온 불순물을 발생시키지 않기 때문에 가장 많은 검토가 이뤄지고 있는 대체 난연재 중에 하나이다. 제품화 초기에는 난연성을 확보하기 위해서 과량 사용하여야 하기 때문에 EMC의 흐름성을 저하시키는 단

점을 가지고 있었으나 이러한 단점을 극복하기 위하여 metal hydrate계의 입도 크기를 제어하거나 표면을 개질하는 방법 등 새로운 기술들이 도입되면서 현재는 유동성 저하의 문제점은 크게 해결된 상태이다. 실제 이 시스템을 적용한 EMC 제품이 양산 시판되고 있으며 EMC 제품에 대한 가격 민감도가 큰 low end 패키지를 중심으로 적극적으로 적용되고 있다. Phosphorous계는 다른 여타 대체 난연재에 비하여 우수한 난연 특성을 갖기 때문에 초기에 적극적으로 환경친화형 EMC에 도입되기 시작하였다. 그러나 인계 난연재 중 최초로 도입된 적인(red phosphorous)이 심각한 반도체 패키지의 품질문제를 일으킨 이후 상당 수의 반도체 메이커가 꺼리고 있는 난연재로 취급 받고 있다. 적인으로부터 파생된 인계 난연재에 대한 불신을 결국 이러한 문제점이 없을 것으로 기대되는 다른 유기/무기 인 사용에도 영향을 미치게 되어 많은 반도체 메이커에서는 탈 Br/Sb계 뿐만 아니라 유기/무기 인계 난연재를 이용하지 않는 환경친화형 EMC를 요구하는 경우가 많다. 현재 가격 부담이 많은 low end package나 일부 EMC 제품군에 유기인이 적용되고 있기 때문에 어느 정도의 시간이 소요되면 인계 난연재에 대한 장기적인 신뢰성의 결과물이 축적될 수 있을 것으로 예상된다.

## 4. 결론

최근 EMC 업계의 가장 핵심적인 기술개발 방향은 EMC의 친환경화이다. 환경친화성 EMC 제품의 경우 국내 EMC업체의 기반 기술은 일본 선진 업체에 비하여 다소 열세에 놓여 있는 것이 사실이다. 이는 EMC의 컴파운딩 기술뿐만 아니라 EMC를 구성하는 원료의 상당 부분이 일본 원료 메이커에 의존하기 때문이다. 앞으로 환경친화형 EMC의 요구가 거세질수록 국내에서 아직 개발되지 않고 있는 자기소화성 수지 및 고순도의 대체 난연재의 일본 업체 의존도는 더욱 커질 것으로 예상된다. 따라서 원료의 일본 종속을 탈피하고 국내 EMC 업체가 일본 선진사 대비 보다 우수한 성능 및 경쟁력을 갖는 환경친화형 EMC를 개발하여 EMC 시장을 주도하기 위해서는 무엇보다도 환경친화형 EMC와 관련된 핵심 원료의 국산화가 시급하다고 할 수 있겠다.

## 참고문헌

1. 香山會晋, 成瀬 邦彦 監修, “VLSI 패키징技術”, 日經BP社, 1993.
2. 株式會社 技術情報協會, “半導 封止用材料の開発と信賴性技術”, 6, 2000.
3. 한국과학기술정보연구원, *난연재*, 12, 2002.
4. M. Iji, Y. Kiuchi, and M. Soyama, *Polym. Adv. Technol.*, **14**, 638 (2003).
5. M. Iji and Y. Kiuchi, *Polym. Adv. Technol.*, **12**, 393 (2003).