

퓨즈의 소형화 기술

원세희 부장 (오리셀(주) 연구소) | 문제도 대표이사 (에이디엠티(주))

현대의 정보화 사회에서는 디스플레이, 이동통신, 메카트로닉스, 로봇 등 여러 분야에서 괄목할만한 기술발전이 진행되어지고 있다. 꿈의 디스플레이라고 불리던 벽걸이 TV가 이미 상용화되어 가정용 수요가 점차 높아지고 있으며 LED (Light Emitting Diode)를 이용한 LED Lamp 및 LCD Back light에 적용하는 기술, 스마트폰 및 Tablet PC의 대중화, 이동통신기기 분야에서의 더 얇고 다기능의 스마트폰의 기술 진보 등 여러 분야에서 새로운 기술의 발전이 더욱 가속화되어 진행되어지고 있고 많은 정보용량을 수용하기 위하여 Broad band 응용 제품이 지속적으로 상용화되어지고 있으며 이러한 제품들이 휴대용 단말기등과 결합되어 보다 복합화 및 다기능화 등을 구현하고 있는 실정이다. 로봇 산업의 경우 산업용 로봇의 응용 외에 일반 가정용 로봇의 응용이 점점 가시화되어지고 있고 이러한 로봇 기술이 정보통신 기술과의 융합 등으로 발전되어지고 있으며 자동차에서의 충돌 방지 시스템 및 압력 센서에 의한 자동차 타이어 내의 압력 측정 등과 같은 자동차의 전장화 및 전자화가 계속적으로 일어나고 있다. 또한 건물에 설치되어지고 있는 이동통신용 중계기 역시 소형화의 요구에 직면하고 있으며 산업용 통신위성도 계속적으로 소형화되어지고 있는 실정이다.

이와 같은 최근의 전자기기의 소형화의 진행에 따른 부품 및 패키지 단위에서의 집적화 및 부품의 소형화들이 진행되고 있으며 이를 위하여 3-D package, CSP (Chip Scale Package), Wafer level

package, SoP (System-On-a-Package) 기술 등의 개발 [1], 다양한 소자 기술에 대응된 패키지 기술에 대한 기술 기관에 직접 수동소자를 구현하려는 내부 실장 수동소자 (Embedded passive) 기술 [2,3], 실장되어지는 부품의 크기를 줄이려는 노력 및 제품의 원가를 줄이기 위하여 가능한 SMT (Surface Mount Technology) 작업을 하여 수작업에서 오는 공정 불량 개선 및 제품 제조 원가를 낮추려는 기술 개발 등이 지속적으로 진행 중에 있다.

본 기술해설에서는 소형화시키려는 부품 가운데 전기적으로 이상전류를 차단하는 퓨즈에 대하여 설명하고 SMD (Surface Mount Device) 형태의 퓨즈 제작의 기술 동향을 소개한다.

1. 퓨즈 일반

퓨즈는 주로 전기회로를 보호하기 위한 목적으로 삽입되며 퓨즈 내부의 전도성분이 이상전류에 의한 발열에 의해 녹으면서 단락이 되어지는 이상전류 차단을 위한 과전류 보호 장치이다. 즉, 회로적으로 외부의 충격이나 내부 회로에서의 이상이나 부품들의 절연파괴에 의하여 이상전류가 발생하게 되면 이 전류가 퓨즈를 거칠 때 식 (1)에 나타난 바와 같이 퓨즈에서 발생하는 저항열인 줄 (Joule) 열에 의하여 전체의 발열량이 증가하고 이 증가된 발열량이 퓨즈 구성 성분인 가용체를 순간적으로 녹이면서 퓨즈가 끊어지는 원리를 이용하여 이상 과전류를 차단하게 된다.



발생 열량 $\propto i^2rt$ (1)
 i: current
 r: 가용체 저항
 t: 시간

그림 1에 전류 증가에 따른 퓨즈에 걸리는 전류를 표시한 것으로 초기 인가되어지는 전류량에 따라 저항열이 발생하여 가용체가 녹고 그 이후에 아킹이 발생하는 것을 보여준다.

퓨즈에 사용되어지는 가용체는 Ag-Cu 합금, Ag, Zn 등의 다양한 금속재료를 사용하고 이와 같이 다양한 금속재료를 사용하는 것은 원하는 저항값을 주어진 정격전류에 사용하기 위함이다. 원하는 전류를 통과시키기 위하여 특정 비저항의 재료가 필요하며 이와 같은 특정 비저항을 갖는 재료들을 공정이 가능한 범위내로 다시 가공하여 전류를 맞추기 위한 퓨즈의 저항값을 맞춤으로써 적정전류값을 흐를 수 있도록 제어하게 된다. 퓨즈는 사용되어지는 형태 및 용도에 따라 관형 퓨즈, 원형 퓨즈, 고압 퓨즈, SMD 퓨즈로 나눌 수 있고 이상전류에 대한 반응속도에 따라 Slow-blow, Fast-blow, Time-delay type 등으로 나눌 수 있다.

1.1 관형퓨즈

일반적으로 사용되어지는 관형 퓨즈의 형상은 그

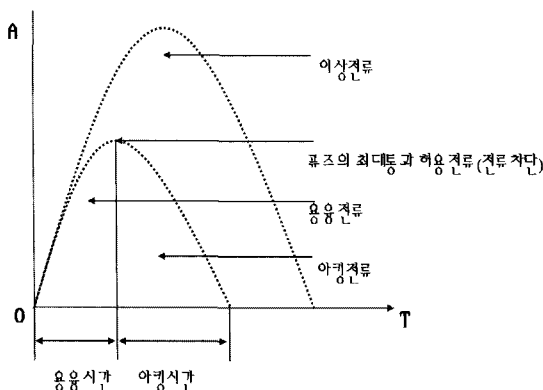


그림 1 전류 및 시간에 따른 퓨즈에 걸리는 전류

림 2에 나타나 있으며 다음과 같이 구성되어진다. 먼저 용융되어질 가용체 부분과 이 가용체 부분을 지탱하여주는 몸통 부분과 (Body) 이 몸통 부분을 막아주는 캡 (Cap) 부분 및 몸통과 연결시켜 주는 땀납 (Solder) 부분으로 나눌 수 있다.

- (1) 가용체 (Element): W, Ag-Zn-Cu 합금, Ag-Cu 합금, Ag, Zn
- (2) 몸통 (Body): 유리관 (Glass), 세라믹 (Ceramic)
- (3) 캡 (Cap): Nickel Plated Brass
- (4) 땀납 (Solder): Pb Free Solder (RoHS)

이와 같은 관형 퓨즈는 일반적으로 사용하는 형태의 퓨즈로서 유리관 혹은 세라믹관 내부의 가용체 부분이 용융 절단의 과정을 거쳐 전류를 차단하게 된다. 이때 주어진 용량별로의 사용을 위하여 가용체 부분의 저항이 일정하여야하는데 이와 같은 용량을 맞추기 위하여 위에서 제시한 가용체의 재료를 조절하거나 (각각의 재료별 비저항값이 틀림) 재료의 직경 혹은 두께 등을 조절하여 주어진 용량에 맞추어 (크기를 통하여 저항값을 맞춤) 일정한 저항을 갖도록 가용체의 실제 크기를 정하게 된다. 가용체가 순간적으로 용융 절단되어질 때 순간적으로 많은 에너지가 소모되어지고 내부에 Arcing이 발생할 때 많은 에너지가 발생하므로 이 에너지의 발생 및 소모 시 일종의 충격이 가하여지므로 가용체 주위에서



그림 2. 일반 관형 Fuse.

발생하는 에너지를 흡수하는 역할을 하는 매개체가 필요하며 이와 같은 역할을 하기 위한 규소 성분이나 기타 세라믹 분말 성분들을 내부에 가용체와 함께 장입시켜 에너지를 흡수하여 퓨즈의 외벽이 파괴되는 것을 막고 있다.

1.2 Radial Leaded Fuse

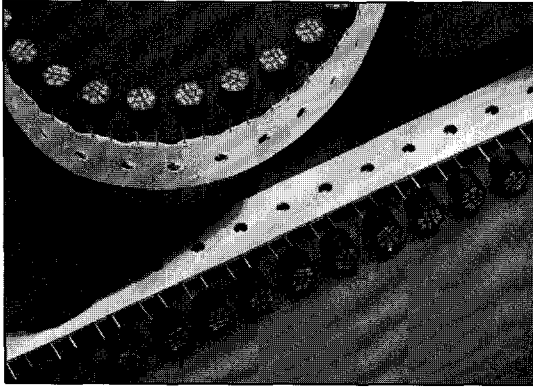


그림 3. 원통형 퓨즈.

원통형의 퓨즈의 외관은 그림 3에 나타나있다. Lead가 달려 있어 기판에 부착이 가능하며 관형 퓨즈에 비하여 주로 소용량의 퓨즈 응용에 사용되어진다. 내부에는 관형 퓨즈와 마찬가지로 퓨즈 절단 및 파괴에서 올 수 있는 퓨즈 외벽의 파괴를 막기 위하여 내부에 SiO_2 및 다른 충격 흡수물질들을 넣어 밀봉한다.

1.3 SMD Fuse : 6125, 3216, 1608 ... Size

LED TV 혹은 이동통신의 디지털 기기들의 경우 기기 내부의 공간이 불충분하여 이러한 좁은 공간에 퓨즈를 장착하는 경우 소형의 부품이 요구되어진다. 그림 4는 SMD 형태로 제작되어진 퓨즈를 나타낸 것으로 세라믹 적층 공정을 이용하여 제작된 SMD 형태의 Fuse를 보여주고 있다.

퓨즈의 용량 역시 내부 재료의 종류 및 크기에 따라 용량이 정하여지고 이를 위한 재료의 선택이 중요하다. 또한 일반 관형 퓨즈의 경우와 마찬가지로 퓨즈의 가용체 부분이 절단되어지면서 발생하는 에

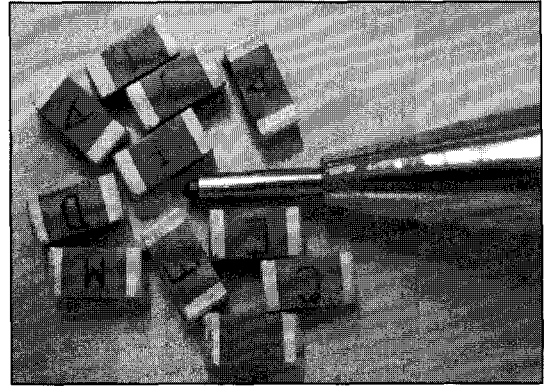


그림 4. SMD 퓨즈.

너지를 흡수할 수 있게 내부 구조가 설계되어져야 한다.

1.4 고전압퓨즈 (HV Fuse)

고전압 (High voltage) 퓨즈는 고압이 걸리는 관계로 일반 퓨즈와 비교하여 특수하게 구성되어있다. 그림 5는 고압 퓨즈의 외관을 보여주고 있다.

High voltage fuse의 경우는 일반 퓨즈와는 다르게 높은 전압이 가하여지므로 내부 가용체가 이상전류에 의하여 끊어진 후에 Arc discharge에 의하여 전류가 흐르는 현상이 발생하면 안된다. 따라서 High voltage fuse의 경우는 내부에 가용체 부분의 구조가

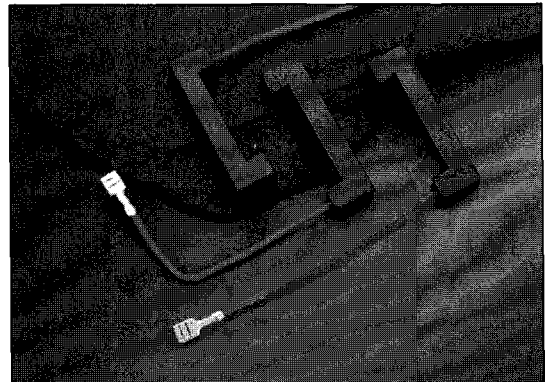


그림 5. 고압 퓨즈.



일반의 퓨즈와는 다르게 가용체 부분이 이상전류에 의하여 용융되어 파괴가 일어나는 경우 가용체의 끝부분 상호 간의 거리를 일정거리 이상으로 간격을 확보하기 위하여 양쪽 끝단에 스프링의 효과를 할 수 있게 구성하여 일정 거리 이상을 유지하게 제작하게 된다. 이때 용단된 끝부분의 거리를 일정거리 이상으로 유지하는 이유는 높은 전압에서 Arc discharge가 발생하지 않게 유지하기 위함이다. 일반 건조된 대기는 일반적으로 수 MV/m의 전압이 걸리게 되면 공기의 절연파괴가 일어나게 된다. 이 경우 절연파괴가 일어난 부분으로 Arc discharge이 발생하게 되며 이와 같은 Arc discharge에 의하여 전류가 흐르게 되어 퓨즈의 기본적인 역할인 이상전류 차단을 하지 못하게 된다. 만약 주위 습도가 높으면 더 낮은 전압에서도 쉽게 Arc discharge에 의하여 전류가 흐르게 되므로 퓨즈 본래의 역할을 하기 위해서는 이와 같은 현상이 일어나지 않게 구조가 설계되어야 한다. 따라서 고전압 퓨즈의 경우는 용단된 두 전극 사이를 일정거리 이상으로 유지할 수 있도록 가용체가 끊어진 후에 양 끝으로 절단된 저항체가 끌려가는 구조로 구성되어있다.

지금까지의 퓨즈의 분류는 형태에 따른 분류이며 퓨즈가 외부 부하(Load)에 대응하는 시간에 따라 분류하면 Slow-blow, Fast-blow, Time-delay 혹은 Normal blow, Medium blow, Slow blow 등으로 나눌 수 있다.

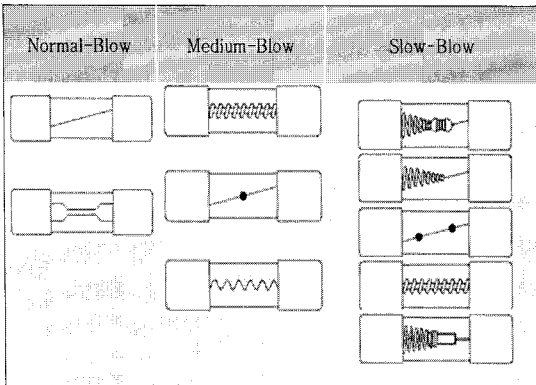


그림 6. 반응속도에 따른 퓨즈 형태.

각각의 구분은 상대적으로 퓨즈의 반응속도를 나타내는 것으로 반도체 소자나 전기적으로 매우 과부하에 민감한 회로에서는 Fast-blow (0.1 sec 이내에 반응) 형태의 퓨즈를 사용하여야 한다. 즉 외부 이상전류에의 반응이 빠르게 진행되어야하므로 그 반응 정도가 빠르게 진행되어 퓨즈가 작동하여야 한다.

그러나 모터 구동의 경우 구동 초기에 사용되어지는 Current의 부하가 크기 때문에 Fast blow type을 사용하게 되면 모터의 구동 시 항상 전류가 차단되어지는 일이 발생하게 된다. 이와 같은 경우는 일정시간의 경과 동안 퓨즈의 반응하는 시간을 늦추어 바로 절단되어 끊어지는 것을 막음으로써 정상상태에서 동작하는 동안의 시간을 허용함으로써 초기 과부하에 의한 과전류를 견디게 하여 모터의 구동을 돕는 퓨즈 형식으로 Time delay 혹은 Slow blow type으로 구별한다.

그림 6에 반응속도에 따른 여러 형태의 퓨즈 형태를 보여준다.

2. 퓨즈의 소형화 기술

서론에서 언급하였듯이 SMD Fuse 사용의 요구는 SMD 형태로의 작업 자동화, 수작업을 가능한 줄임으로써 품질 향상과 원가 절감, 퓨즈의 공간을 줄임으로써 그 공간을 다른 기능을 추가하는 것으로 응용하던지 전체 기기의 부피를 줄이는 장점을 활용하여 활용빈도가 커지고 있다. 그러나 앞 절에서 언급한 바와 같이 퓨즈 본연의 기능을 지니면서 퓨즈의 크기를 줄이는 방향으로 기술이 발전하거나 제품이 개발되어져야 한다. 이와 같은 SMD 퓨즈의 형태는 크게 세 가지 형태로 기술이 개발되어지고 있다. PCB 및 Assembly 기술 기반을 이용한 SMD 형태의 퓨즈, 알루미늄 기판을 이용한 퓨즈 제작과 세라믹 형태의 퓨즈를 이용한 SMD 퓨즈 개발 형태이다.

먼저 PCB 및 Assembly 기술을 활용한 기술을 살펴보면 다음과 같다.

PCB 형태의 퓨즈에서는 일반 PCB 제조에서 구리판을 Etching을 통하여 퓨즈로 제작하는 형태이다. 즉, PCB 제작하는 공정을 활용하여 원하는 두께 및

폭의 인쇄회로 패턴을 구현하여 퓨즈의 역할을 하는 형태로 제작하는 것으로 최종적으로 Epoxy molding을 통하여 퓨즈를 제작하게 된다.

Assembly 기술을 이용하여 퓨즈를 제작하는 형태도 있는데 이것은 Wire bonding 기술을 응용한 기술이다. 이 형태는 먼저 Pad를 형성시키고 Wire bonding을 이용하여 Wire의 재료를 바꾸어 비저항값을 변화시키고 사용되는 Wire의 직경을 조절하거나 Wire 수를 조절하여 금속 Wire가 갖는 저항을 이용하여 Fuse로 활용하는 것이다. Wire bonding 이후 전체를 Molding으로 외부 환경과 격리를 시킨다.

두 번째 형태는 Alumina 기판을 이용하여 표면에 Printing 형태로 퓨즈를 제작하는 방법이다. 알루미늄이나 기판 위에 가용체를 프린팅 방법에 의하여 구현한 후 표면을 Glaze 처리를 하여 퓨즈를 구성하게 된다. 사용되는 가용체의 비저항 및 구조에 따라 원하는 저항값을 실현하여 정격전류를 제어하고 Glaze를 사용하여 가용체 부분을 보호하게 된다.

마지막 형태로는 세라믹 적층구조를 이용하여 제작하는 경우이다. LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) 기술을 이용하여 SMD 퓨즈를 제작하게 되는데 내부 가용체 부분의 비저항값을 조절하고 선 폭 및 길이를 조절하여 전체 저항값을 맞춤으로써 원하는 전류값을 차단할 수 있도록 설계하여 제작하게 된다.

적층 세라믹 기술의 하나인 LTCC 기술은 1980년대부터 많은 주목을 끄면서 발전되어온 기술이다. 기존의 HTCC (High Temperature Cofired Ceramic) 기술로 대변되어온 적층 세라믹 기술의 경우 소성온도가 1500℃ 이상이 되면서 내부 전극 재료로 고용점 금속을 사용하게 되었고 이 내부에 사용되어지는 전극의 높은 저항값 및 이에 따른 Conductor loss 등의 이유에 의하여 낮은 저항을 갖는 금속 재료의 요구가 일어나고 이와 같은 낮은 저항 재료의 전극 재료들을 사용하기 위해서는 낮은 소성온도의 재료가 필요하게 되었고 이와 같은 재료의 특성을 만족시키려는 LTCC 기술에 대하여 많은 연구들이 진행되었다. 이와 같은 RF 관련 부품의 요구에 부응하여 기판 재료에 대한 연구가 진행되어지면서 초기에는 Glass 성분을 주성분으로 하는 시스템을 중심으로

연구가 진행되어지면서 Glass-ceramic 재료를 주성분으로 하는 시스템에 관한 연구 및 적용으로 진행되어지고 있다. Glass-ceramic은 초기 상태에서는 Glass 성분에서 소성 과정의 열처리 과정이 진행되어지면서 내부 성분들의 결정화가 진행되어지는 과정을 거쳐 기판재료의 강도가 보다 강화되어지는 과정을 거치게 된다. LTCC 기술의 장점은 내부 전극 재료가 전기전도도가 우수한 재료를 사용할 수 있는 장점과 더불어 소성 과정이 초기에 재료의 Viscous flow를 통한 공극을 메우는 과정이 재료 내부의 Pore를 최소화시키면서 내부 구조상 치밀도를 높일 수 있는 장점이 있다. 또한 내부 구성 성분을 조절함으로써 열팽창 계수 및 유전율을 어느 정도 조절이 가능한 특징과 현재 패키지 분야에서 많은 연구가 진행되어지는 SoP 기술을 구현하는데 필요한 Embedded passive 기술의 구현이 가능한 특징을 가지고 있다. 그리고 Fuel cell 등에서 필요한 반응조로의 응용이 가능한 구조물의 제작도 가능한 여러 장점을 갖는 기술이다.

위의 세 가지 형태의 SMD 퓨즈 개발은 먼저 정격전류값을 맞추기 위하여 내부 가용체의 저항값을 주어진 정격 용량에 맞추어 개발이 될 수 있도록 재료들이 선택되어야 하며 공정상으로 이를 구현할 수 있는 공정이 이루어져야한다. 또한 주어진 비저항값에 대하여 주어진 저항을 구현할 수 있어야한다. 가령 Etching 공정에서는 Cu foil의 두께 및 폭등으로 주어진 저항값을 맞추어야하고 Wire bonding의 경우 사용되어지는 Wire 재료 (비저항조절) 및 개수 등에 의하여 저항을 맞출 수 있어야한다. 알루미늄이나 혹은 세라믹 공정에서는 내부 가용체 재료의 Dimension을 조절하여 저항을 맞출 수 있어야한다. 반응속도의 경우도 가용체의 종류에 따라 반응 시간을 조절하기 위하여 그 길이 부분을 조절하여 제작하게 된다.

앞 절에서 설명된 일반적인 관형 퓨즈나 원형 퓨즈에 비하여 소형화된 퓨즈는 부품의 소형화와 SMD 작업의 수월성 등에 큰 장점을 보이지만 퓨즈 자체의 내부 공간이 매우 작아지므로 퓨즈가 갖는 기본 성질 가운데 하나인 퓨즈가 견딜 수 있는 최고 전압 및 전류값을 크게 할 수 있도록 퓨즈 소형화 기



술에 접목되어야 한다.

회로 내 Short-Circuit 발생 시 퓨즈가 차단될 때에는 제품의 통상전류의 수배에 해당하는 과전류가 퓨즈에 순간적으로 인가되어진다 (그림 7). 이때 퓨즈는 주위의 부품이나 회로를 보호하기 위해 파손, 폭발 등이 없이 안전하게 차단되어야 하는데 이와 같이 퓨즈의 파손을 막기 위하여 일반 관형 및 원형 퓨즈의 경우 내부에 유리성분들을 넣어 이때의 충격 에너지를 흡수하고 있다.

이때 이 차단 전류를 정격차단용량 (Interrupting ratings / Breaking Capacity) 이라고 한다. 따라서 정

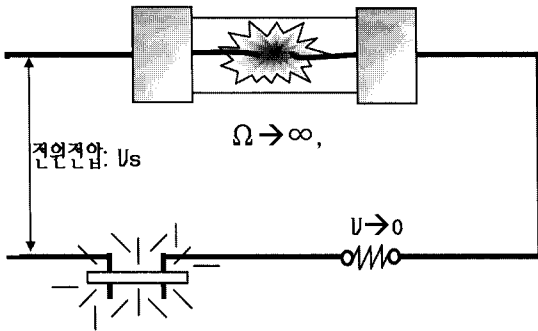
격차단용량 이상의 퓨즈를 사용할 경우는 Fuse의 가용체가 녹아 전류를 끊어주는 것 이상으로 그 에너지가 매우 크게 되므로 순간적으로 작용된 에너지에 의하여 퓨즈의 파괴가 발생하게 되므로 이러한 파괴는 다른 소자에도 직접적인 영향을 줄 수 있으므로 반드시 정격차단용량의 퓨즈를 사용하여야 한다.

SMD 퓨즈의 경우도 제품 개발 시 이와 같은 정격차단용량을 높이는 방법으로 개발이 진행되어야 한다. 이 정격차단용량이 높을수록 그만큼 응용범위가 넓어지게 되므로 이를 위하여 퓨즈의 저항값을 맞추는 작업 이외에 이상 전류에 의하여 파괴 시 발생하는 에너지를 흡수하는 구조의 SMD 퓨즈가 함께 개발되어야 한다.

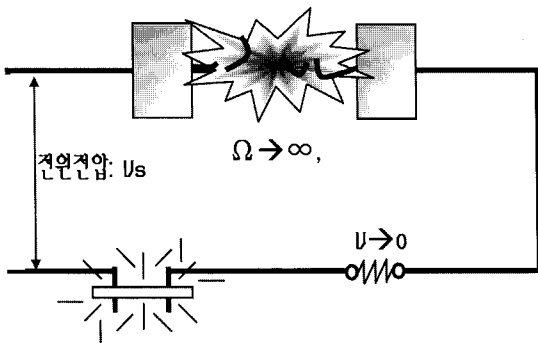
표 1 및 2에 제조사별 SMD 퓨즈의 종류 및 형태에 대하여 정리하였다.

표 1. SMD 퓨즈 종류.

상호	국가	모델 (Size)	제조방식
오리셀	한국	1206	LTCC
AEM	미국	1206, 0603 0402	LTCC
Little	미국	1206, 0603 0402	PCB Etching
Bussmann	미국	1206, 0603	Alumina Base
KAMAYA	일본	1206, 0805 0603, 0402	Alumina Base



(a)



(b)

그림 7. 외부 회로의 전류에 따른 퓨즈의 거동 (a) 차단 용량 이하의 전류가 인가될 시, (b) 차단용량 이상의 전류가 인가될 시.

표 2. 제조사별 SMD 퓨즈 용량.

제조사	Size	Specification		
		정격 전류(A)	정격 전압(V)	IR(A)
AEM	1206	0.5~2.0	63	50
		2.5~5.0	32	45~50
		6.0~8.0	24	45
Little		0.5~2.0	63	50
		2.5~3.0	32	50
Bussmann		4.0~7.0	24	50
		0.5~3.0	63	50
KAMAYA		4.0~7.0	32	50
		0.5~5.0	32	35
오리셀	1.0~2.0	63	60	
	2.5~4.0	32	70	

4. 향후 기술 방향

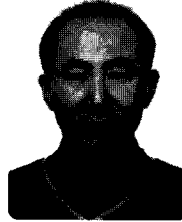
일반의 가전제품 및 산업기계 등에 사용되어지는 관형 퓨즈는 퓨즈 교환의 용이성 및 편이성 등의 장점에 따라 지속적으로 사용되어질 것으로 생각되며 태양광을 이용하는 분야에서는 고용량의 퓨즈 등의 개발이 요구되어질 것이다.

응용되어지는 전자 및 전기기기의 용량 및 특성에 따라 퓨즈의 소형화가 요구되어지는 부분에 있어서는 디지털기기의 다기능화에 따른 내부 공간 확보의 필요성, 퓨즈의 SMD화에 따른 원가절감 등의 장점으로 여러 가지 형태의 SMD 퓨즈가 개발되어질 것으로 예상되어지고 그러한 과정에서 퓨즈의 정격 차단용량을 높이는 구조 및 내부 재료의 개발 등으로 발전이 될 것으로 예상되어진다.

참고 문헌

- [1] " Rao Tummala " Microelectronic systems packaging technology for the 21st century", Advancing microelectronics, 26 (1999)
- [2] R. K. Ulrich and L. W. Schaper "Integrated passive component technology", IEEE press, 71 (2003) A John Wiley & Sons, Inc, Canada,
- [3] S. Norlyng "An overview of integrated component technology" Advanced Microelectronics, May/June (2003)

저|자|약|력|



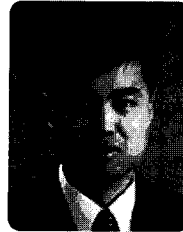
성 명 : 원세희

◆ 학 력

- 1980년
인하공업전문대학 금속공학과
전문학사

◆ 경 력

- 2004년 - 2007년 (주)세화전자 연구소 부장
- 2008년 - 현재 오리셀(주) 연구소 부장



성 명 : 문제도

◆ 학 력

- 1987년
서울대학교 공과대학 금속공학과
공학사
- 1989년
서울대학교 대학원 금속공학과
공학석사
- 1994년
Oxford University 재료공학과
공학박사

◆ 경 력

- 1995년 - 1999년 고등기술연구원
- 1999년 - 2002년 대우전자
- 2002년 - 2002년 오리온 전기
- 2002년 - 2004년 오리온 PDP
- 2004년 - 현재 에이디엠티 주식회사

