

세라믹 방열과 박막 적층 도금을 이용한 고효율 인버터 제어 회로용 퓨즈 설계

The Design of Fuse in High Efficient Inverter Control System using Ceramic Radiant Heat and Metal Film Laminated Plating

김 은 민* · 김 신 효* · 조 대 권†
 (Eun-Min Kim · Shin-Hyo Kim · Dae-Kweon Cho)

Abstract - In recent years, The electronic and energy industries demand low power consumption and high efficiency, so under their demands, the white goods industries which are represented for refrigerator and air conditioner system be implemented energy-saving power supplying structure with inverter control system. As inverter control system is different from step control type, when switching system is optimizing temperature control during short period, the inrush plus current can be flown in the circuit. In despite of these characteristics, there is no fuse which can be applied to this type until now. For this reason, we suggest the method of manufacturing protector in the high efficient inverter control system using the alumina-based ceramic radiated heat characteristics and metal films laminated plating. And through the evaluating electrical characteristics, we make a possible to utilize the method when designing overall fuses.

Key Words : Fuse, Inverter liner control, Radiate heat ceramic, Plating, Metal films

1. 서 론

H최근 전력산업의 패러다임 변화로 인한 저탄소 녹색 성장이라는 기조 아래, 신재생 에너지의 발전을 핵심적으로 연구하는 산업과 기존 제품의 저 전력, 고효율 화를 추구하는 산업이 동반적으로 발전 하고 있다. 이는 화석 에너지의 고갈과 원자력 발전의 위험성이 대두 되면서, 급속도로 사회 전반에 인식되고 있다. 이중 기존 제품의 저 전력, 고효율화 추구는 전력의 소모량뿐만 아니라 사용되는 부품의 전반적인 기능과 특성의 변화도 이끌었다.

특히 에어컨, 냉장고 등으로 대표되는 대용량 백색 가전들은 소비자들의 지속적인 절전형 요구에 따라 많은 변화를 수반하게 되었고, 이는 제품의 냉방(냉각) 기반이 냉매 유량 가변형 시스템에서 고효율 인버터 제어형 시스템으로 까지 발전하는 계기가 되었다[1-2].

기존의 유량 가변형 시스템이 온도 변화에 step 식으로 제어하던 방식은 목표 온도 보다 더 낮은 온도를 인가하여 목표 온도에 도달 한 후 부하를 중지하는 방식으로 그림 1 와 같이 실내 부하에 대한 손실이 현격하다. 하지만 고효율 인버터 제어형 시스템은 냉난방 시 부하를 그림2와 같이 내부 부하의 손실을 최소화 하며, 선형적으로 제어함으로 효율

적인 냉방 혹은 난방 환경을 유지하는 시스템이다. 이런 인버터 제어 방식을 구현하기 위해서는 최적의 온도 선상에서 on-off 동작의 제어가 반복 되어야 하며, 해당 동작 시 인가 되는 전류는 그림 3과 같이 제조업체에 따라 다르지만 아주 짧은 주기로 동작을 반복하며 온도를 제어한다.

하지만 이런 인버터 제어 동작 방식은 기존의 가변식 동작 방식과는 달리 50A의 전류가 짧은 주기로 계속해서 반복되며, 이에 따른 그림 3에 표시한 Inrush peak current가 계속해서 유입되는 환경이기 때문에, 전자제품 내부 부품의 수명에 심각한 영향을 미친다. 특히 제품의 on-off시에만 유입되던 inrush 전류가 평시 동작 제어간 계속해서 유입됨으로 해서 이상 전류의 발생 확률 또한 증가 하며, 실제로 그림4와 같이 제품의 short 시험 시 인버터 회로 부는 소손되었고, 최대 peak 전류는 365A~400A 까지 유입 되었다.

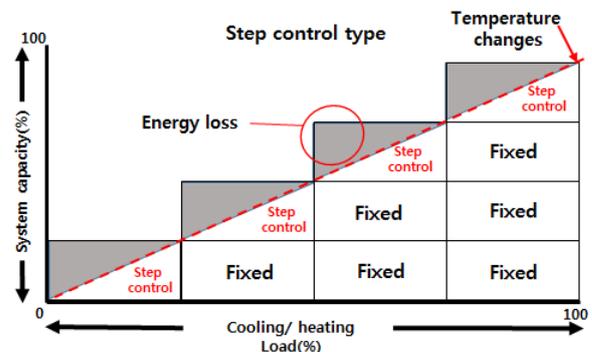


그림 1 냉매 유량 가변식 제어 방식
 Fig. 1 Variable refrigerant flow control system

† Corresponding Author : Research and Development Team, Sangyoung Research and New Development, Korea
 E-mail : jdk9890@naver.com

* Dept. of Research and Development Team, Sangyoung Research and New Development, Korea.

Received : September 01, 2014; Accepted : October 23, 2014

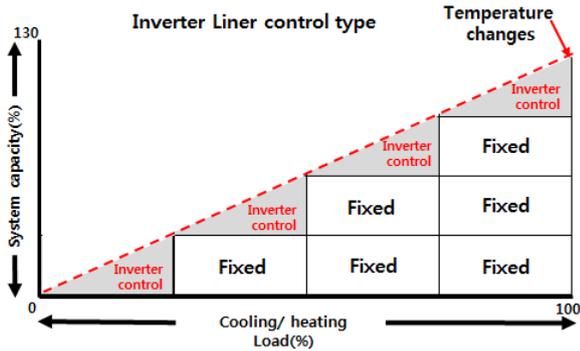


그림 2 고효율 인버터 제어 방식
Fig. 2 Efficient inverter control system

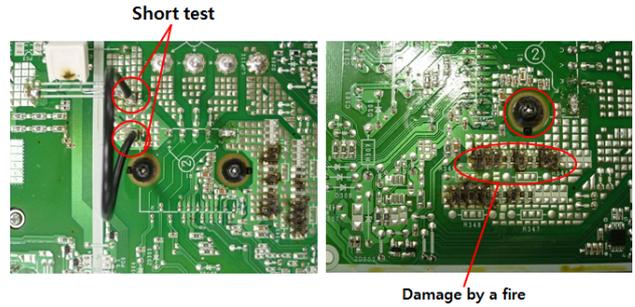


그림 4 에어컨 인버터 제어 부 short test
Fig. 4 Short test of the inverter control system part in air conditioner

용 과전류 보호소자의 특성을 구현 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 과전류 보호 소자의 정격 결정

전기 기기에서 퓨즈의 적용은 적용 위치 양단의 정격 전류와 정격 전압을 기본으로 설계를 하며, 정격 전류와 전압이 결정되면, inrush current와 차단 용량, 온도 등의 세부적인 능력치를 조정하여 최종적으로 선정한다. 보통 일반적인 퓨즈의 정격 전류는 I-T curve의 작성을 통한 한계 전류를 산출함으로 이루어지고, 회로에서 퓨즈의 적용위치 양단에 흐르는 전류에 마진율을 적용하여 최종 선정된다[5]. 하지만 인버터 제어가 적용된 회로는 그림3에서와 같이 펄스 형태의 전류가 짧은 시간에 반복되는 형태로, 적용 위치 양단의 전류는 식1와 같이 펄스 형태의 전류 실효값을 적용하여 산출 할 수 있다.

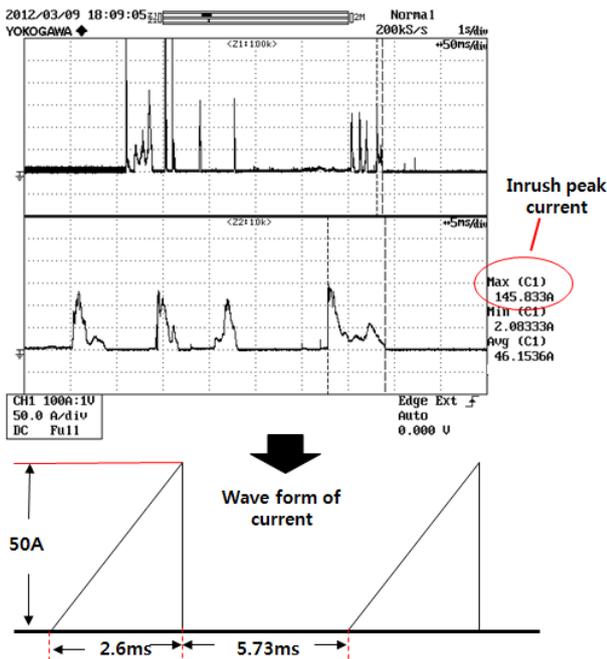


그림 3 고효율 인버터 제어 방식의 파형
Fig. 3 Wave form of high efficient inverter control system

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{8.33ms} \int_0^{2.6ms} \left(\frac{50A}{2.6ms} \times t\right)^2 \cdot dt}$$

$$= \sqrt{\frac{50^2 A}{8.33ms \times (2.6ms)^2} \left(\frac{1}{3} t^3\right)_0^{2.6ms}}$$

이렇게 회로 내부 short로 인해 발생한 과전류는 일반적 회로와 기존의 가변식 동작 방식에 비해서 높은 전류(약 400A)가 단시간에 유입되며, 0.1ms 이내에 해당전류를 차단 할 수 없을 시 화재와 폭발로 이어진다. 하지만 현재 시판되고 있는 수동 동작형 퓨즈 중 400A의 인가 전류에서 0.1ms 이내에 동작 하려면 wire type 퓨즈의 경우 약 2A~2.5A의 정격 전류 퓨즈, SMD type의 퓨즈의 경우 4A~5A 정격의 퓨즈가 필요하다[3-4]. 이는 인버터 방식의 평시 전류인 그림3의 전류에서 가용 체의 용단이 발생하는 퓨즈로 적용이 불가능하다. 때문에 기존에 적용되고 있는 일반적인 수동 동작형 퓨즈에서 정격전류는 높으며, 최대 피크 전류에서는 빠른 동작을 하는 고효율 인버터 제어 회로에 최적화 된 과전류 보호 소자가 필요하다.

이에 본 연구에서는 박막 금속의 적층 도금과 세라믹 재료의 높은 열전도도를 이용하여 고효율 인버터 제어 회로

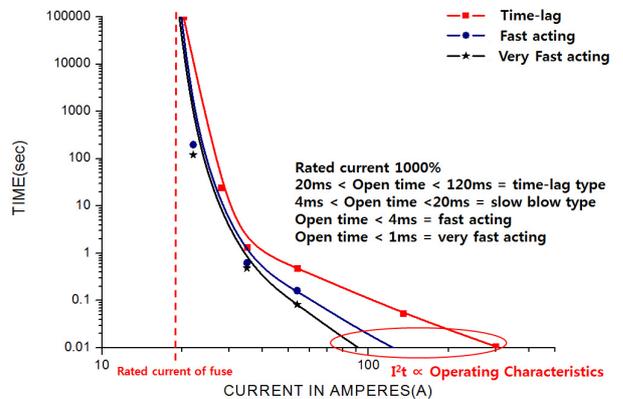


그림 5 퓨즈의 I-T 커브
Fig. 5 I-T curve of fuse

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{50^2 A}{3 \times 8.33ms \times (2.6ms)^2} \times (2.6ms)^3} \\
 &= \sqrt{\frac{50^2 A \times 2.6ms}{3 \times 8.33ms}} = \sqrt{260.1} = 16.1A
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

계산된 실효값인 16.1A의 평시 전류가 인가되는 것으로 판단 가능하며, 적용되는 퓨즈는 해당 전류에서 빠른 동작 특성을 고려한 마진을 적용하면 18~20A의 정격 전류 퓨즈가, 매우 빠른 동작 특성을 고려하면 15~16A의 정격 전류 퓨즈가 적용 가능하다[5].

퓨즈의 정격 전류는 제품의 용단 시간을 통해서 결정되며, 제작된 제품의 I-T 커브를 작성하면 그림5와 같이 정격 전류와 동작 특성을 모두 확인 적용 할 수 있다. 또한 과전류에 따른 미세한 동작 특성 제어도 공정 및 재료의 변경을 통해 I-T 커브를 이동 시키며 구현할 수 있다.

2.2 과전류 보호 소자의 동작특성 결정

인버터 제어 동작 간 펄스 형태의 전류가 짧은 주기로 반복 인가되며, 또한 아주 짧은 시간에 130~140A 정도의 surge성 돌입 전류 역시 다수 발생 한다. 이렇게 발생하는 돌입 전류는 대부분 μs 의 짧은 시간에 인가되며, 때문에 부품의 수명에는 영향을 줄 수 있지만, 심각한 손상이나 화재 등으로는 이어지지 않는 무시 가능한 전류이다. 하지만 회로 내부에서 발생한 short로 인하여 전체 저항이 변경 될 시 돌입 전류는 최대 400A 까지 발생 하였고, 이 전류를 0.1ms 이내에 차단하지 못한다면 회로에 심각한 손상이 발생하며, 전체 화재로 까지 이어졌다.

400A의 인가 전류에서 0.1ms 이내에 퓨즈가 용단하여 제품을 안전하게 보호하기 위한 퓨즈의 동작 특성은 식 2와 같이 퓨즈가 제시하는 I^2t 값의 비교를 통해서 확인 가능하다.

$$I^2t = 400A^2 \times 0.0001s = 16 \tag{2}$$

Nominal Melting I^2t 값이 16에서 형성되어 있는 퓨즈는 miniature퓨즈 빠른 동작 형이 4A~5A, 지연 형이 1.6A~2A 이고 cartridge 퓨즈 빠른 동작 형이 3.15A~4A, 지연 형이 1A~1.25A이다. 즉 기존의 수동 동작 형으로 시판되고 있는 일반 퓨즈를 사용할 시 정격 전류 15A를 만족하면 동작 특성을 만족할 수 없고, 동작특성을 만족하면 퓨즈의 정격 전류가 너무 낮아 사용과 동시에 용단이 발생한다. 때문에 그림6와 같이 기존 제품들과는 다르게 I-T 커브 상에서 정격 전류와 동작 특성을 모두 만족시키는 제품의 개발이 필요하다.

2.3 퓨즈 설계

그림 6와 같이 3.15A의 동작특성에서 정격전류 선을 이동 시키기 위해서는 fuse element에서 발생하는 열을 빠른 시간 안에 이동 시켜 fuse element 재료의 용점에 이르는 시간을 지연 시켜야 하며, 최종 적으로는 15A의 전류를 계속해서 인가하여도 용단에 이르지 않도록 열전도도를 상승 시켜야 한다. 보통 퓨즈의 I-T 커브에서 나타나는 변곡점은 퓨즈의 용단 시 퓨즈 엘리먼트에서 발생하는 열이 전도 후

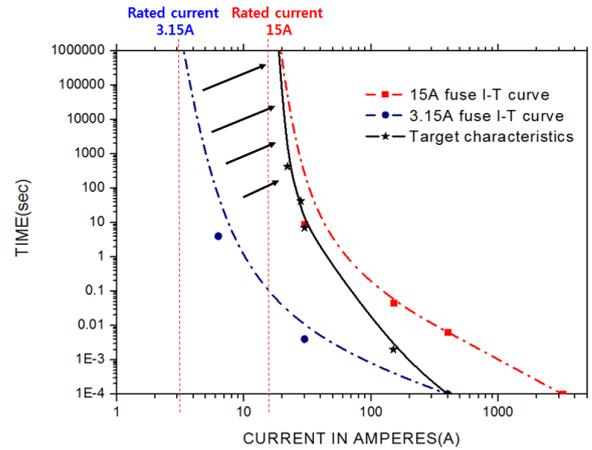


그림 6 특성 구현 목표 I-T 커브
Fig. 6 I-T curve of target characteristics

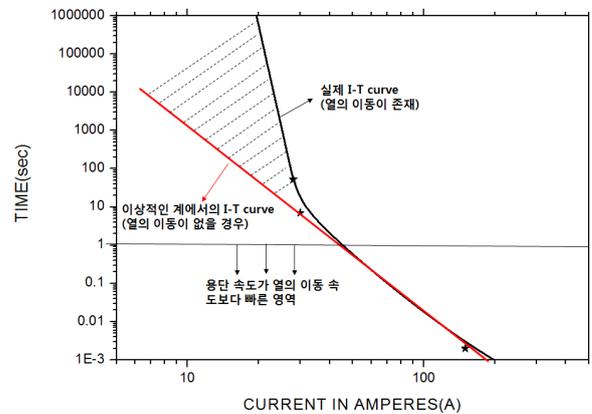


그림 7 I-T 커브에서의 열전달 동작 해석
Fig. 7 Analysis of heat transfer at the I-T curve

은 대류를 통해 이동하면서 퓨즈 엘리먼트가 용점에 이르는 시간을 지연 시키면서 나타나는 점으로, 그림 7과 같이 전류가 낮아질수록 열의 이동이 없는 이상적인 계보다 용단 시간이 지연된다.

하지만 일정 전류 이상에서는 열의 이동속도 보다 용단의 속도가 빨라져 열이 이동되기 전에 용단에 이르며, 해당 영역에서는 이상적인 계와 같은 용단 거동을 한다. 이러한 퓨즈의 용융 특성을 적용하여 열의 이동 속도와 양을 더욱 빠르게 조정하면 목표로 하는 그림 6와 같은 거동을 하는 퓨즈 특성을 구현 가능하다.

3.15A의 정격인 퓨즈를 정격 전류 15A까지 높이기 위해서는 퓨즈 엘리먼트에서 발생하는 열을 얼마나 빠르게 많이 이동시킬 수 있는지가 관건이며, 방법으로는 Fourier의 열 이동 법칙과 같이 재료의 열전달 계수, 접촉 단면적, 온도 구배 등의 요소가 있다[6].

$$qx = -kAx \frac{dT}{dx} \tag{3}$$

식 (3)에 나타낸 요소 중 온도 구배의 경우는 환경적 요

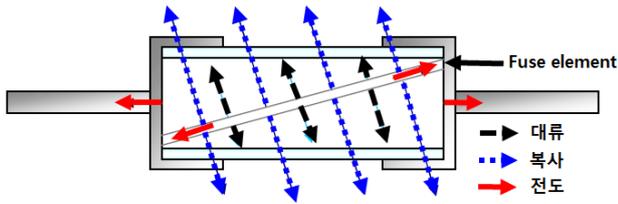


그림 8 퓨즈의 열전달 유형
Fig. 8 Heat transfer type of fuse

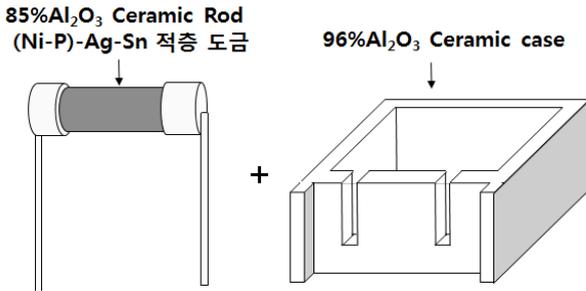


그림 9 제작 퓨즈 구조도
Fig. 9 Design drawing of manufacturing fuse

인으로 고정적인 변위 값으로 가져갈 수 없고, 때문에 열원에서의 방열 면적과 방열 물질의 변경을 통하여 방열 양과 속도를 조절 할 수 있다.

기존에 퓨즈 엘리먼트로 가장 많이 사용하고 있는 금속 wire type의 경우 그림 8와 같이 전도와 대류 등의 매개체와 접촉 면적이 가장 적은 구조이며, 때문에 열의 집중도가 가장 높다[7]. 또한 방열을 위한 열의 이동 효율이 전도가 가장 높고 다음이 대류, 마지막이 복사인 것을 감안할 때 기존의 wire type의 퓨즈는 전도를 통한 방열이 가장 비효율적인 구조임으로 적용이 불가능하다. 그래서 본 연구에서는 그림 9와 같이 전도를 통한 열의 이동이 가장 용이한 금속의 박막을 세라믹 rod상에 도금의 방법으로 전착하여 열의 이동 면적을 확보하였고, 15A의 정격을 구현하기 위하여 퓨

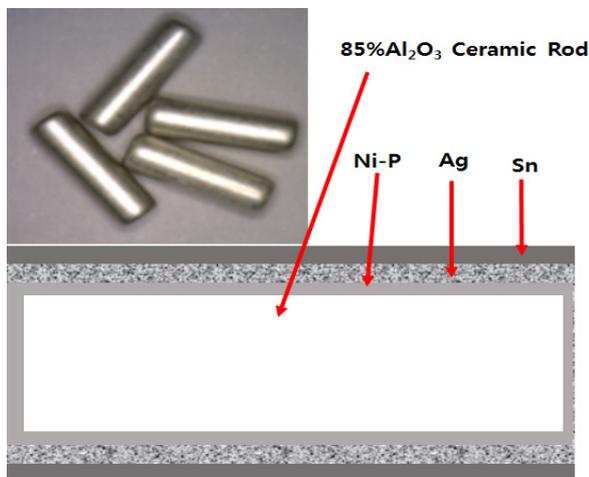


그림 10 금속 박막 적층 구조 퓨즈의 구성
Fig. 10 Metal films of laminated structure fuse

표 1 박막 금속 적층 도금액의 조성 및 작업 조건

Table 1 Composition and condition of metal films laminated plating material

| 성분 | 1.니켈 | 2.은 | 3.주석 |
|-----------------------|-------|----------------------|--------------------|
| 염화니켈 | 30g/l | - | - |
| 차아인산염 | 10g/l | - | - |
| 구연산염 | 10g/l | - | - |
| 염화제2철 | 2g/l | - | - |
| 시아나화은 | - | 30g/l | - |
| 시아나화염 | - | 48g/l | - |
| 탄산나트륨 | - | 45g/l | - |
| 광택제(CS ₂) | - | 0.96ml/l | - |
| 금속은 | - | 24.6g/l | - |
| 황산주석 | - | - | 40g/l |
| 황산 | - | - | 100g/l |
| 크레졸 | - | - | 30g/l |
| 술폰산 | - | - | 5g/l |
| 포르말린 | - | - | 10g/l |
| 광택제 | - | - | 20g/l |
| 분산제 | - | - | 35℃ |
| 온도 | 90℃ | 실온 | 5A/dm ² |
| 전류밀도 | - | 2.5A/dm ² | - |
| pH | 4~6 | - | - |
| 전압 | - | 6V | - |

즈 엘리먼트의 외부에 Al₂O₃ 계열의 세라믹 body를 충전하여 전도의 범위를 확대 하였다.

2.4 퓨즈 제작 및 실험 결과

퓨즈는 동작특성에 따라 크게 빠른 동작 특성과 지연형 동작 특성으로 나뉘어진다. 그리고 빠른 동작 특성을 구현하기 위한 재료로 은(Ag) 계열이 많이 사용되고, 지연형 동작 특성을 구현하기 위해서는 Cu 계열의 재료를 주로 사용한다[8].

고효율 인버터 회로에 최적 설계되는 퓨즈의 경우 동작 특성상으로 빠른 동작 특성과 유사하며, 해당 동작 특성을 만족하기 위하여 Ag 계열의 금속이 적용되어야 하지만, wire type 퓨즈의 엘리먼트에 비해 상대적으로 낮은 재료 두께 때문에 동일한 동작 특성을 구현하기 용이하지 않다. 이런 문제를 해결하기 위하여 정격 전류의 400%이상의 정격 전류 인가에서 내구성을 유지 하는 무전해 니켈(Ni-P) 도금 층과 275% 정격 전류에서 용단 시간을 조정하는 주석(Sn) 도금 층을 그림10와 같이 적층하여 특성을 구현 하였다. 제품을 제작한 도금의 조건은 표 1과 같다.

표1의 조건에 따라 순차적으로 적층 도금을 실시하였고, 도금 전 전처리하는 간이 수세, 세라믹 표면 불산 에칭, 탈지, 민감화 처리, 표면 활성화 처리, 예비 침적(예열)의 단계를 거쳤다. 니켈(Ni-P)도금 층과, Sn 도금 층의 도금 시간과 두께를 고정하고 은(Ag)의 두께에 따른 금속 박막 퓨즈의 용단 거동을 확인하기 위하여, 도금 중 20분 간격으로 시료를 채취하여 도금 두께를 확인하였다. 도금의 두께 측정은 샘플을 절단한 후 연마하여 그림 11와 같이 주사 전자 현미경을 이용하여 측정 하였다.

각각의 도금 시간에서 샘플링한 시료의 도금 두께를 측정

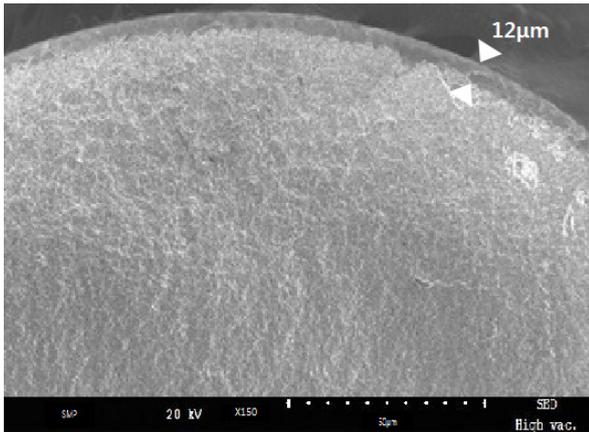


그림 11 도금 층 두께 측정 (주사 전자 현미경)
 Fig. 11 Thickness of laminated plating (scanning electron microscope)

한 결과 5~25µm의 피막이 확인 되었고 이렇게 제작된 제품을 전류에 따라 용단 시험을 실시하여 그림 12의 I-T 커브를 얻었다. 그리고 실험 시 퓨즈의 용단 시간을 일반적인 빠른 동작형 퓨즈의 용단시간과 일치하도록 조정하고 일정한 용단 특성을 확보하기 위하여 그림13와 같이 금속 피막에 cutting(trimming)을 실시하여 저항을 유지하였다. 실험 결과 Ag의 도금 두께가 10~13µm 일 때 3.15A의 정격 전류와 I²t 값 16이하를 만족하였으며, 400A의 전류에서 평균 0.0965ms의 용단시간으로 조건에 부합하였다.

400A에서 용단 시간을 만족한 퓨즈는 기본적으로 정격 전류가 3.15A~3.5A 정도를 만족 하며, 해당 퓨즈를 인버터 제어형 회로에 실장 할 시 상대적으로 낮은 정격 전류로 인해 정상 전류에서도 용단이 발생해 퓨즈로서의 기능을 할 수 없다. 때문에 I²t 값의 변화 없이 정격전류를 상승시키기 위하여 도금의 두께는 고정 시키고 세라믹의 열전도 특성을 이용하여 정격전류의 상승을 유도 하였다.

보통 퓨즈 엘리먼트를 보호하는 퓨즈의 body는 퓨즈 동작 후 양단간의 전류를 차단하는 거리를 유지해야 하며, 또

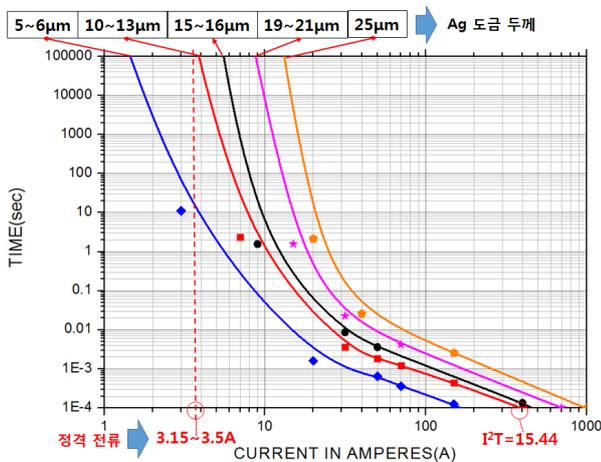


그림 12 Ag 도금 두께에 따른 퓨즈 용단 특성 변화
 Fig. 12 The variation of fusing characteristics for each Ag plating thickness

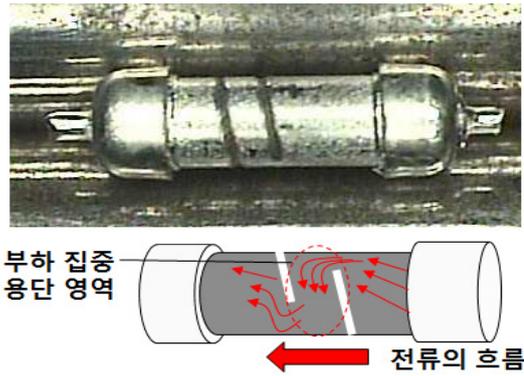


그림 13 금속 박막 cutting을 이용한 열 집중 유도
 Fig. 13 Induction of heat concentration using metal film cutting

한 퓨즈 엘리먼트의 폭발 등의 위험에서 회로 및 주변 부품에 충격이 미치지 않도록 어떤 상황에서도 형상을 유지해야 한다. 때문에 절연성과 강인성이 모두 만족해야 퓨즈의 body로 사용 가능하며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 자재는 플라스틱 사출 자재와 Al₂O₃ 계열의 세라믹이다. 이중 알루미나(Al₂O₃)계열의 세라믹의 경우 열전도 특성이 우수하여 방열 재료로 많이 사용 중이다.

앞서 논의한 열전달 양과 속도를 높이기 위해서는 재료의 열전도도와 함께 접촉 면적이 충분이 넓어져야 하며, 때문에 알루미나 세라믹과 퓨즈 엘리먼트의 접촉 면적을 넓히기 위해서는 퓨즈 엘리먼트 주변을 세라믹 방열 자재가 완전히 충전되어야 한다. 그림 14와 같이 알루미나 세라믹 case에 3.15A 정격의 film 형 퓨즈를 삽입하여 액상의 세라믹을 충전, 응고시킨 후 전류에 따른 용단 시험을 실시하였다. 실험 시 방열 체적에 따른 방열 정도를 확인하기 위하여 표2와 같이 대조군을 두었고 특성에 만족하는 최적의 세라믹 body를 설계 하였다.

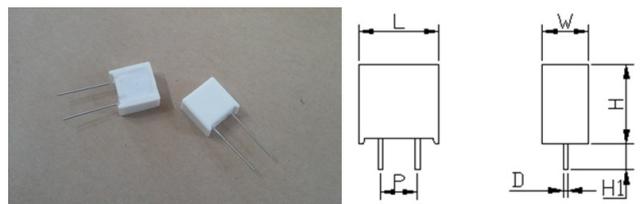


그림 14 최종 제품 형상
 Fig. 14 The final product

표 2 Test 세라믹 body 치수 및 구조
 Table 2 Size and structure of test ceramic body

| 구분 Division | 치수 Dimension (mm) | | | | | |
|----------------|-------------------|-----|------|----|-----|-----|
| | L | W | H | H1 | P | D1 |
| A type | 14.0 | 5.0 | 18.0 | 미정 | 7.5 | 0.6 |
| B type | 14.0 | 8.0 | 14.0 | 미정 | 7.5 | 0.6 |
| C type | 14.0 | 9.5 | 25.5 | 미정 | 7.5 | 0.6 |

용단 실험 결과 그림 15와 같이 세라믹 body B type에서

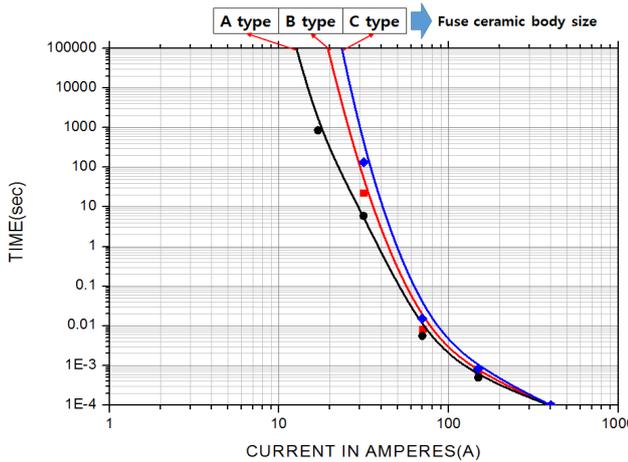


그림 15 세라믹 body 체적에 따른 용단 시간 변화
 Fig. 15 The variation of fusing time for each ceramic body volume

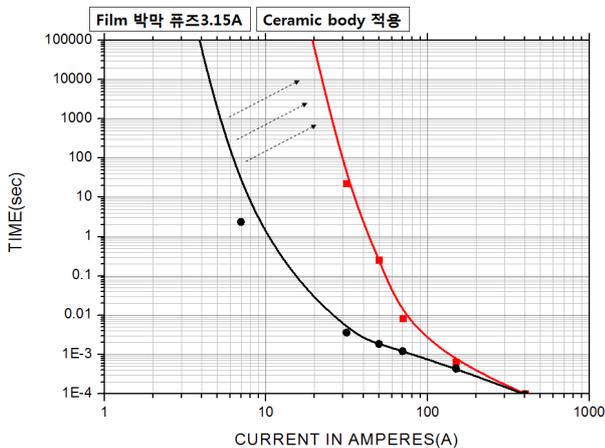


그림 16 세라믹 방열을 이용한 정격전류 상승
 Fig. 16 Increase of rated current using ceramic radiant heat

정격전류와 I^2t 값을 만족하였다. A type case의 경우 정격 전류가 약 11A~12A로 적용이 불가능하고, C type case의 경우는 정격 전류의 200%인가 시 용단 시간이 135.62s로 너무 느리게 용단 되어 회로에 심각한 문제를 일으킬 가능성이 크기 때문에 적용이 불가능 하다. 그리고 변화가 없을 것으로 예상했던 I^2t 값 역시 미세하게 변하여, A type 15.49, B type 15.872, C type 16.16 으로 약간 상승하였다. 그러나 그림 16와 같이 세라믹 body를 적용하기 전보다 정격전류가 월등히 상승 하였으며, 구현 하려 하였던 15A 이상의 동작 특성 또한 만족 할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구를 통해서 인버터 제어 회로에 적용 할 수 있는 특수 동작 형 퓨즈를 설계 할 수 있었다. 기존의 수동 동작 퓨즈에서 구현하기 힘든 미세한 동작 형태까지, 퓨즈 엘리멘

트 형상의 변화와 외부 방열 재료의 활용을 통해 구현 할 수 있었고, 특히 15A 이상의 정격전류와 동시에 3.15A의 동작 특성을 하나의 퓨즈에서 구현하여, 특정 회로와 상황에 적용 가능한 전용 퓨즈의 개념을 도입 할 수 있었다. 세라믹 방열과 박막 금속의 적층도금을 이용한 퓨즈 제작을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다

(가) 금속 박막 형태의 퓨즈는 열의 집중에 어려움이 있어 잘 사용 하지 않는 퓨즈 엘리멘트의 형태 이지만, 동작 특성적 면에서 매우 빠른 동작 특성을 구현하기 용이하여, 세라믹의 방열 특성을 이용해 특수 동작형의 퓨즈를 설계할 수 있었다.

(나) 금속 박막 퓨즈의 동작 특성을 포함한 여러 퓨즈 특성을 만족하기 위해서는 단일 금속의 사용으로는 구현이 어렵고 여러 금속의 적층 도금을 통해서 특성 구현이 가능하였으며, 각각 니켈 층(Ni-P)은 내구성 및 수명, 주석(Sn)은 낮은 전류에서의 용단 시간을 조정 할 수 있었다.

(다) 금속 박막 형태의 퓨즈 엘리멘트에 cutting을 이용하여 금속의 열 집중 부위를 구성하면, 용단시간의 산포가 줄어들고, cutting 간격을 조정하면 용단시간도 일부 조정 가능하다.

(라) 세라믹방열을 통한 퓨즈의 정격전류 상승이 가능하였으며, 퓨즈 엘리멘트와 세라믹 방열 재료간의 접촉 면적을 넓게 가져가기 위한 액상 세라믹의 충전으로 정격전류는 크게 상승 하였다.

(마) 세라믹 방열 체의 면적의 상승은 퓨즈의 정격전류를 미세하지만 더 상승 시켰고, 이는 방열 면적이 증가할수록 열의 발산이 빨리 일어나기 때문이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 선박안전기술공단의 자체 연구 사업에 의하여 이루어진 연구임

References

- [1] Byeong-Sun Kim "Technology trends in high-efficiency DC inverter VRF air conditioning system of the LG Electronics" Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 37, No. 6, pp. 53-61, 2008
- [2] Min-Hyuk Oh, Jung-Myoung Baek, Byung-Ha Lee, Jung-Hoon Kim "An Analysis on the improvement plan of energy efficiency standard for household refrigerator and air conditioner" The Krea Institute of Electrical Engineers Power Engineering Society, pp.216-218, 2006. 11,
- [3] Littelfuse, <http://www.littelfuse.com/products/fuses>. Accessed August 26, 2014.
- [4] Cooper bussmann <http://www.cooperindustries.com/content/public/en/bussmann/electrical/products>, Accessed August 26, 2014.

- [5] C. K. Ji and K. O. Kim, "Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links" Korea, Standards, KS C IEC- 60127, 02. 07, 2005.
- [6] David Gaskell "An introduction to transport phenomena in materials engineering" New Jersey, USA, Prentice-Hall, INC 1th ed. pp 265-271 1997.
- [7] "Fuse Handbook", SAVE FUSETECH, pp.30-48
- [8] Eun-Min Kim, Seung-Hwan Lee, Dea-Kweon Cho, Shin-Hyo Kim "Design of very fast acting fuse element using the Ag-Cu alloy" The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No. 8, pp. 1070-1074, 2014.

저 자 소 개



김 은 민(Eun-Min Kim)

2009 부경대학교 소재프로세스공학 학사
現) 부경대학교 석사 과정 (금속 공학)



김 신 호(Shin-Hyo Kim)

2001 목포해양대학교 기관공학 학사
2007 목포해양대학교 전기제어공학 석사
現) 선박안전기술공단 책임연구원



조 대 권(Dae-Kweon Cho)

1998. 부산대학교 분자 생물학 학사
2005. 한국교육개발원 컴퓨터공학 학사
2011. 부산대학교 메카트로닉스공학 석사
現) 상영 RND 대표