

무접점스위치(SSR) 발열 방지 장치 개발에 대한 연구

이 만 수*·김 준 용*·김 진 배*

*호서대학교 융합기술학과

A Study on Development of Heat-Emission Prevention Device for SSR

Man-Soo Lee*·Jun-Yong Kim*·Jin-Bae Kim*

*Department of Fusion Technology, Hoseo University

Abstract

Electric of using in daily life is always exposed to risk of electrical fire and electric shock. Only degree of risk is different, there is no risk free electrical product. Generally, the higher voltage, the risk of electric shock is high. The much electric current, the risk of electrical fire is high. But, we can't help using electric because of risk and we effort to reduce the risk of electrical fire and electric shock.

This study deal with the fire prevention generated on heating equipment using SSR for current.

Keywords : SSR, 반도체 소자, ARC

1. 서 론

1.1 연구 배경

2019년 소방청 화재 통계에 따르면 화재의 발화원인 중 전기적 아크(단락)에 의한 화재건수는 8,600건으로 전체 36,706중 23%를 차지하고 전체 사망자수에서도 38명으로, 14%를 차지하는 등 주요 요인으로 지목되고 있다. 또한 전기적 원인으로 인한 화재가 기계적 요인으로 인한 화재의 2배를 넘는 등 단순 부주의에 의한 화재를 제외 한다면 발화요인중 1위를 차지하고 있다.[1]

<Table 1> 최근 4년간 화재 발생 요인별 건수

	2016	2017	2018	2019
전기적	8,962	9,264	10,471	8,600
기계적	5,187	4,489	4,619	3,610
화학적	625	625	604	575
기타	174	282	372	425

우리가 일상생활에서 사용하고 있는 전기는 항상 화재와 감전의 위험에 노출되어 있다. 위험의 정도가 다를 뿐,

두 가지 위험에서 자유로운 전기 제품은 없다. 전기 기기의 위험은 일반적으로 전압이 높을수록 감전의 위험이 높으며, 사용 전류가 많을수록 화재의 위험이 높다.

<Table 2> 최근 4년간 감전사고 발생 현황[2]

	2015	2016	2017	2018
건수	558	546	532	515

특히 전기화재로 인한 화재중 설비에 필수적인 부품으로 사용되고 있는 무접점스위치(SSR)의 발열로 인하여 기계설비의 발화로 발생하는 공장화재가 다수 발생하고 있는 실정이다.

1.2 연구 목적 및 방법

연구배경의 이유로 본 연구에서는 반도체 발열에 의한 화재 예방을 위한 장치 개발 필요성에 의하여 SSR 반도체 소자를 병렬로 운전하는 스위치 방식과 현재 사용되는 일반 방식과의 열발생량 및 전력 사용량의 차이를 정량적으로 분석하여 비교분석하고자 한다.

SSR을 병렬로 이용하는 방식으로 열 에너지의 발생량

†Corresponding Author : Man-Soo Lee, Engineering, Hoseo University, 20, Hoseo-ro79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea, E-mail: mslee@hoseo.ac.kr

Received December 03, 2019; Revision December 03, 2019; Accepted December 09, 2019











을 획기적으로 줄일 수 있다면 대 전류용 가열장치에서 발생하는 화재를 사전에 방지하여 인적 및 물적손실을 막을 수 있어 화재예방과 산업안전에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 가열장치

2.1 가열장치의 개요

먼저 우리가 사용하는 일반적인 가열장치에 대하여 알아보려 한다. 다음의 <Table 3>은 가열장치를 도식화하여 나타낸 그림의 기호별 명칭이다.

<Table 3> Heating apparatus of Symbolic name

Figure					
Appellation	The flow of electricity	Signal flow	Power Inlet	Electric Breaker	Maget Contactor (M/C)
Figure					
Appellation	Thermostat	Temperature sensor	SSR (Solid State Relay)	Temperature controller	Heater

2.2 가열장치의 다양한 형태

[Figure 1]은 가장 흔히 볼 수 있는 가열 장치이다. 간단한 방법으로 온도 스위치와 히터로 구성되어 있으며, 가정의 조리기구 및 간단한 가열장치에 사용된다. 기구가 간단하고 저렴하지만 안전장치는 없어서, 사용자가 주의를 해야 한다.



[Figure 1] Heating apparatus

[Figure 2]는 [Figure 1] 장치에 과전류 제한 장치를 추가하는 형태로, 히터 또는 주변 장치의 과전류로 인한

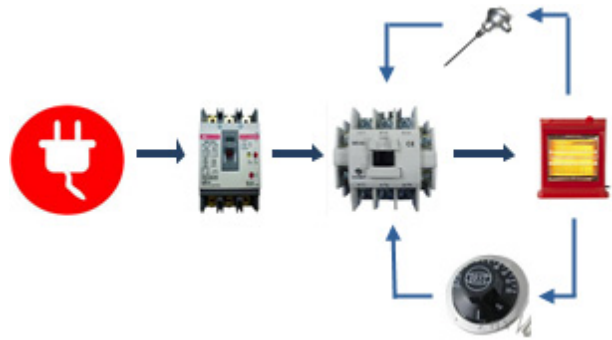
화재를 예방한다.



[Figure 2] Heating unit with an overcurrent limit device

과전류 제한 장치가 있어 화재의 예방에는 효과가 있으나 정밀한 온도 제어 및 원격 제어가 불가능하기 때문에 장비에 적용하기에는 제한적이다.

[Figure 3]은 [Figure 2]에서 온도 스위치를 온도제어기와 스위치로 분리하고 히터 과열 보호장치를 추가하여, 히터 과열에 의한 화재를 방지하고 있다.



[Figure 3] Heating unit with temperature controller and switches and heater over temperature protection device

간단하면서도 과전류 차단기와 히터 과열에 대한 안전장치가 있어 안전을 요구하는 곳에 사용하며, 정밀한 온도 제어 및 원격 제어가 불가능하기 때문에 장비에 적용하기에는 제한적이다.

[Figure 4]는 [Figure 3]에서 온도 제어 장치를 센서와 제어기 및 스위치로 분리한 형태이다.

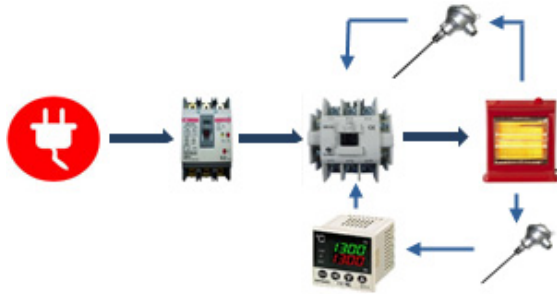


[Figure 4] A heating unit in which the temperature control unit is separated by sensors and controls and switches.

별도의 온도 제어기를 통하여 히터의 설정 온도를 원격 제어가 가능하며 가열 대상 물체의 온도를 측정하여 온도를

제어를 함으로 정확한 온도 제어가 가능하다. 기기에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법으로 소 용량의 가열 제어에 적합하다. 그러나 대용량에서는 제어용 스위치의 잦은 단속으로 인하여 접점의 수명이 짧아지는 단점이 있다.

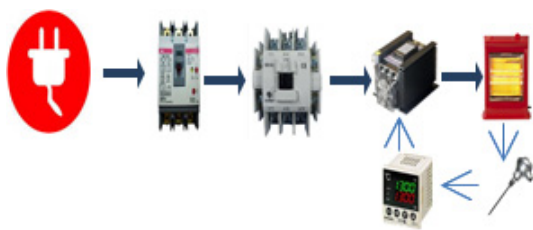
[Figure 5]는 [Figure 3]에서 히터 과열 보호 장치를 추가하는 방법으로 히터 또는 주변 장치의 과열로 인한 화재를 예방한다.



[Figure 5] Heater with heater over temperature protection device added

별도의 온도 제어기를 통하여 히터의 설정 온도를 원격 제어가 가능하며 가열 대상 물체의 온도를 측정하여 온도를 제어하고 별도의 과열방지 기능까지 포함 하고 있어서 정확한 온도 제어는 물론 안전까지 확보 할 수 있다. 기기에서 사용되고 있는 방법 중 고급형으로서 소 용량의 가열 제어에 적합하다. 그러나 대용량에서는 제어용 스위치의 잦은 단속으로 인하여 접점의 수명이 짧아지는 단점이 있다.

[Figure 6]은 [Figure 5]에 반도체 소자를 추가하여 스위치의 수명을 연장하는 방법이다.

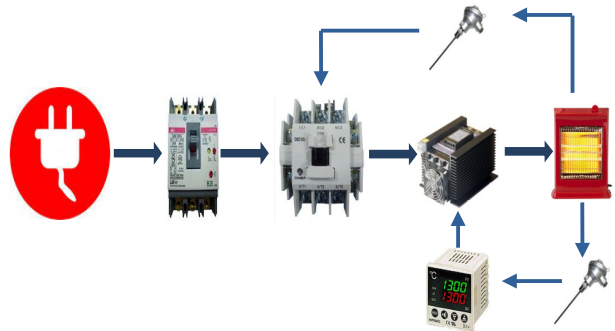


[Figure 6] A heating device with semiconductor devices

일반적으로 기기에 사용하는 방법 중 가장 첨단 방법이며, 반도체 소자로 만든 무 접점 소자를 이용함으로써 아크로 인한 접점 손실이 없어 수명이 길어진다. 여기에 사용되는 반도체 소자로는 SSR(Solid State Relay), TPR(Thyristor Power Regulator)등이 사용된다.

[Figure 7]은 [Figure 6] 방법에 과열 방지 장치를 추가하는 방법으로 히터 또는 주변 장치의 과전류로 인한 화

재를 예방한다.



[Figure 7] Heating apparatus with an additional heat protection device

3. 반도체 소자의 사용

반도체 소자는 장치의 수명을 연장하는데 이용하고, 안전까지 요구되는 장소에 사용 한다.

3.1 반도체 스위치 고장 현상

반도체 스위치는 기계적인 스위치에 비해 아크로 인한 접점 소손과 기계적인 마모 등으로 인한 수명 한계의 원인이 없기 때문에 사용 빈도가 계속 늘어가고 있는 추세이다. 그러나 반도체를 사용하면서 발생 할 수 있는 부작용도 많이 나타나고 있으며, 히터 가열에서 반도체 스위치의 고장 현상은 크게 2가지로 볼 수 있다.

첫 번째는 합선(Short)으로 고장이 나는 경우이다. 온도 제어기에서 전력 공급 정지 신호를 보내도 소자의 합선으로 인하여 계속 전력을 공급하기 때문에 과열의 위험이 있다.

두 번째는 단선(Open)으로 고장이 나는 경우이다. 단순한 단선일 때에는 온도 제어기에서 전력공급 신호를 보내도 반도체 소자의 단선으로 인하여 히터에 전력이 공급되지 않는 상황으로 가열 물체의 온도가 내려가 생산품의 불량률을 야기할 수 있다.

그러나 반도체 소자 내에서 아크가 발생하거나, 패키지 내의 Void 등으로 인하여 반도체가 폭발을 할 때에는 상황이 다르다. 소자의 크기가 작을 때에는 큰 문제가 되지 않지만, 대 전력 소자에서는 상당한 화재 같은 상황이 나타나게 된다.

[Figure 8]은 SSR 과열로 인한 화재현장이다.



[Figure 8] SSR Fire Field Due to Overheating

3.2 반도체 소자 적용 원리

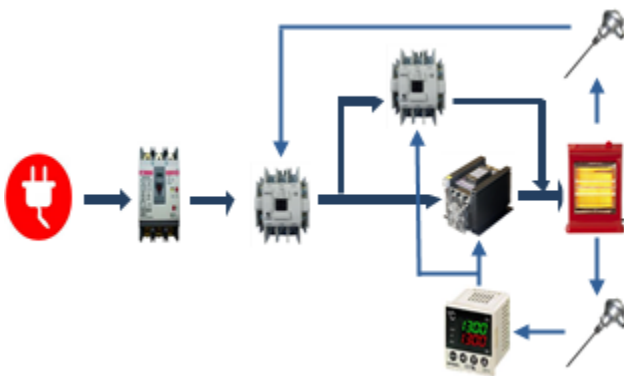
이론적으로 반도체 소자의 수명은 무한대이지만, 반도체를 보조하는 주변 소자와 반도체가 동작 할 때 발생하는 열로 인하여 반도체의 수명은 짧아지게 된다. 그러므로 반도체 소자의 수명을 연장 시키는 방법으로 가장 효과적인 방법은 소자의 온도를 낮게 유지하는 것이다.

반도체 소자는 기계적인 소자에 비해 접점에서 소비하는 전압(Drop voltage)이 크며, 이로 인하여 많은 열이 발생한다. 반도체 소자와 기계적인 소자를 병렬로 운전하게 되면 대부분의 전류는 기계적인 소자로 이동을 하게 되어 SSR에서 발생하는 열은 획기적으로 줄어든다.

기계적인 소자에서 아크가 발생 하지 않도록 SSR과 제어 장치를 적절히 조절을 하면, SSR은 아크를 제거하고, 기계적인 소자는 열을 제거하게 되어 수명은 길어지고 안전도 확보된다.

3.3 반도체 소자 적용 실험

먼저 기계적인 소자와 SSR을 병렬로 운전하였을 때 발생하는 열 에너지의 변화를 관찰하기 위하여 아래와 같이 구성하고 측정하였다.



[Figure 9] Experimental component

[Figure 10]은 실험을 위하여 구성한 장치의 사진이고, <Table 4>는 시험 조건이다.



[Figure 10] Experimental component

<Table 4> Test conditions

working voltage	Overcurrent circuit breaker	Electromagnetic contactor	SSR	Heater capacity	indoor temperature
220V Three-phase	EBS103b 100A	MC-110 A	WYFM3H 3C 100Z4	28KW	28.8 ° C

3.4 반도체 소자 적용 실험 결과

<Table 5>는 기존 방식인 [Figure 7]과 같은 방법으로 시험 조건에서 약 100분을 가동 한 후 측정된 결과이다.

<Table 5> Measurement results of [Figure 7] method

Type of measurement		Measured value	note
Voltage	R - S	219.3 V	
	S - T	217.6 V	
	T - R	219.2 V	
Current	R	69.4 A	
	S	69.3 A	
	T	69.2 A	
SSR Thermal plate temperature		65.8 ° C	
SSR Falling voltage	R	1.32 V	
	S	1.32 V	
	T	1.31 V	
Internal temperature of controller		39.6 ° C	

이 때, SSR의 평균 전압강하는 1.32V이며 평균 전류는 69.3A로 SSR에서 소비하는 전력은 $1.32(\text{전압}) \times 69.3(\text{전류}) \times 3(\text{상수}) = 274.428\text{W}$ 가 된다.

다음의 <Table 6>은 이번 연구에서 제안하는 방법인 Figure 9와 같은 방법으로 전환을 한 후 약 100분을 가동을 한 후 측정한 결과이다.

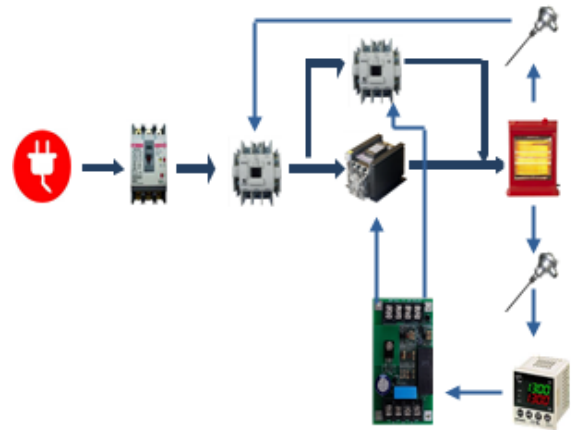
<Table 6> Measurement results of [Figure 9] method

Type of measurement		Measured value	note
Voltage	R - S	219.2 V	
	S - T	217.3 V	
	T - R	219.0 V	
Full current	R	70.4 A	
	S	70.2 A	
	T	70.0 A	
SSR Current	R	0.6 A	
	S	0.7 A	
	T	0.8 A	
SSR Thermal plate temperature		36.5 °C	
SSR Falling voltage	R	0.21 V	
	S	0.21 V	
	T	0.22 V	
Internal temperature of controller		38.4 °C	

이 때, SSR의 평균 전압강하는 0.21V이며 평균 전류는 0.7A로 SSR에서 소비하는 전력은 $0.21(\text{전압}) \times 0.7(\text{전류}) \times 3(\text{상수}) = 0.441\text{W}$ 가 되며, SSR에서 소비되는 전력을 274.428 W에서 0.441W로 획기적으로 줄일 수가 있다.

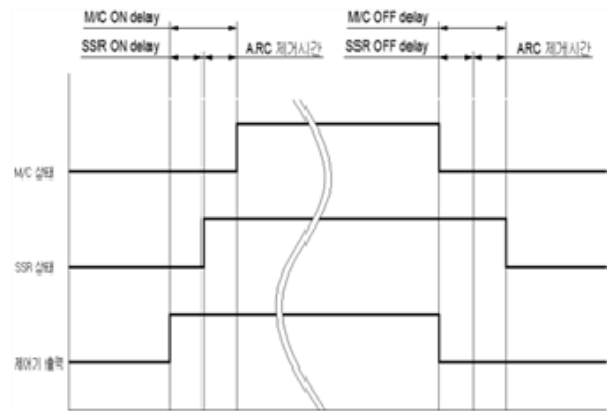
시험 결과 SSR의 온도는 주변온도(제어기 내부온도)보다도 낮게 유지가 되었으며, 이것은 SSR이 고장날 수 있는 환경을 획기적으로 개선하였다고 판단된다. 이렇게 하여도 화재의 위험을 완전히 없앨 수는 없지만 확률은 크게 줄 것으로 기대된다.

기계적인 소자와 SSR을 병렬운전 하였을 때 발생하는 열에너지의 변화 및 기계적인 스위치에서 발생하는 아크를 관찰하기 위하여 다음의 [Figure 11]과 같이 구성을 하고 관찰하였다.



[Figure 11] Parallel operation of mechanical elements and substitutions of SSR

여기에 사용된 시간 제어기의 역할은 ARC가 발생하는 M/C ON 이전에 SSR을 ON 하고 M/C OFF이후에 SSR을 OFF 함으로써 ARC의 발생을 방지한다. 이를 Time Chart로 표기하면 아래 [Figure 12]와 같다.



[Figure 12] Time chart

시간 제어용 PCB를 연결한 후 동작을 하였을 때 M/C에서 ARC가 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

4. 결론

현대인의 생활은 각종 전자제품의 홍수 속에서 이루어지고 있다. 전자제품이 인간에게 필요한 기능을 수행하기 위해서는 인간이 원하는 기능을 구현하는 제어부와 제어부에서 만들어진 신호를 표현하는 구동부로 구분된다.

대형 구동부에서는 대 전력을 필요로 하게 되고, 대 전력 제어용 소자에서 발생하는 열에 의하여 구동부의 수명 단축과 소손 및 화재가 발생하고 있다.

이번 연구에서는 대 전력 제어용 반도체에서 발생하는 열을 최소화 하여 반도체의 수명 연장과 소손을 방지하도록 하기 위하여 온도 제어기의 출력을 시간 제어기를 이용하여 SSR과 M/C의 ON시간과 OFF 시간을 적절히 제어한 결과를 다음과 같이 도출하였다

첫째, M/C에서 발생하는 ARC 는 SSR에서 제거하여 M/C 의 수명을 연장할 수 있다.

둘째, SSR에서 발생하는 열은 M/C에서 제거함으로써 SSR의 소손을 방지할 수 있다.

셋째, SSR 의 소손을 방지하여 SSR 의 수명연장에 기여할 수 있다.

넷째, SSR 의 주변온도를 낮춤으로써 발열에 따른 화재 발생 확률을 낮출 수 있다

본 연구결과를 바탕으로 대전류 산업설비에 적용되는 스위치 제작 시 이 연구결과를 적용하면 반도체스위치 발열에 따른 화재를 획기적으로 감소시키는데 기여할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 SSR 화재의 원인을 감소할 수 있는 결과를 제시하였고 기타 장치의 구성 요소들에 대한 추가 연구 및 기술개발도 수행되어야 할 것이다.

저자 소개



이 만 수

호서대학교 안전공학과 석사, 박사를 취득하였으며 기업체에서 20여년간 안전, 환경, 소방분야 실무 경험이 있으며 기업체 안전 진단 및 전문 강사, 겸임교수를 거쳐 현재는 호서대학교 나노융합기술 대학원과 융합기술학과에서 교수로 재직중이다.

주 소: 충남 아산시 배방면 세출리 호서대학교 조형과학관 306



김 준 용

호서대학교 융합기술학과 재학중으로 반도체 기업체에서 15년간 공장 자동화 및 현장 업무 개선 활동 실무경험이 있으며 관심분야는 공장 자동화, 설비 효율화, 작업환경 안전관리이다.

주 소: 충남 아산시 배방면 세출리 호서대학교



김 진 배

호서대학교 융합기술학과 재학중이며, 로봇 자동화 전문 기업인으로써, 다양한 산업 분야의 자동화 구축 경험이 있으며, 관심 분야는 현장 작업자의 안전, 작업환경개선 분야이다.

주 소: 충남 아산시 배방면 세출리 호서대학교

5. References

- [1] <https://www.nfds.go.kr>
- [2] <http://kosis.kr>
- [3] www.woonyoung.com
- [4] D. P. Park(2009), "A Study on Double Circuit Break Device using High Precision Current Sensor for Electrical Fire Disaster." Gangwon State University.
- [5] S. H. Hong, B. Y. Lee, S. T. Park, H. J. Yu(2007), "An Experimental Study on the Fire Hazards in Electric Heater." Journal of the Korean Society of Safety, 22(2):36-40.
- [6] D. G. Gwak, M. Y. Sin, D. Y. Chung(2006), "A Study on Auxiliary Control Safety Apparatus for RCD Trip on Electric Arc and Spark Disasters: Using by Power Semiconductor Switching Device." Fire Science and Engineering, 20(1):71-76.
- [7] S. W. Jung, K. W. Koo(2008), "A Heating Apparatus for Semiconductor Manufacturing using Direct Heating Method." The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers P, 57(4):408-411.