

이상전압에 따른 정수기 PCB의 보호대책

(The Protective Countermeasure of Water Purifier PCB according to Abnormal Voltage)

김동욱* · 최충석** · 문현욱 · 이기연 · 김향곤

(Dong-Ook Kim · Chung-Seog Choi · Hyun-Wook Moon · Ki-Yeon Lee · Hyang-Kon Kim)

요 약

과전압에 의한 절연파괴와 허용전류의 초과에 따른 과열 그리고 장기간 사용에 따른 절연 성능 저하 등에 의해 전기사고는 발생한다. 본 논문은 정수기에서 사용되는 PCB의 전원 제어 시스템 개선에 관한 연구로서 기존의 전원 제어 시스템에서는 임펄스 형태의 서지의 경우만 바리스터 소자로 구성된 보호 시스템이 설계되어 있었다. 이러한 기존의 시스템은 임펄스 형태 이외의 과전압이 시스템에 입력되었을 경우 시스템을 보호하지 못했기 때문에 새로운 전원 제어 시스템을 설계하여 과전압으로부터 시스템을 보호하여 전기사고를 미연에 방지하고자 하는데 그 목적이 있다. 본 논문에서 제안한 전원 제어 시스템은 입력전원의 전압을 인지하여 설정된 전압 이상의 전압이 입력 되는 경우 SSR(solid state relay)을 통하여 전원을 차단하여 시스템을 보호하도록 설계하였다.

Abstract

The electrical accident results from an insulation breakdown by over-voltage, an overheating by the excess of allowable current, a deterioration performance by the passage of time, and so on. This paper discusses how to improve the power control system of PCB in water purifier. The protecting device of present power supply control system in water purifier is composed of the varistor device which acts only for impulse-type surges. So the present system can not be protected others except the surge of impulse-type. The newly-suggested power control system in this paper is designed to protect the system by disconnecting power supply through SSR(Solid State Relay) if the value of input voltage is exceeded the setting value.

Key Words : Abnormal voltage, Power control system, Electrical safety, Insulation breakdown

1. 서 론

최근 몇 년 동안 천둥과 번개를 동반한 국지성 호우로 인해 전국 곳곳에서 낙뢰로 추정되는 피해사례가 잇따랐다. 여러 나라에서 전력설비의 뇌해대책에 관한 연구가 오래 전부터 진행되어 왔으나 이들 대부분은 발전소·변전소·송전선·고압배전선을 대상으로 한 것으로 일반용 저압에서 뇌해 등 이상전

* 주저자 : 전기안전연구원 연구원
** 교신저자 : 전기안전연구원 수석연구원
Tel : 031-580-3035, Fax : 031-580-3045
E-mail : dongook@naver.com
접수일자 : 2007년 5월 17일
1차심사 : 2007년 5월 21일
심사완료 : 2007년 6월 12일

압에 대한 대책은 확립되지 않았다. 이상전압의 발생에서 오는 절연파괴나 허용전류를 넘는 전류에서 오는 과열, 시간의 경과에 따른 절연 열화 등으로 인한 절연 내력의 저하는 절연피복의 변질 등 다양한 전기사고의 원인이 된다. 전기설비가 견딜 수 있는 전압은 공칭전압의 수배로 정해져 있으나 뇌서지, 전력계통 개폐 서지, 수용가 중부하 운전 등으로 순간 과전압이 발생할 요소가 많이 있다. 고도 정보화 사회의 인프라스트럭처 설비의 특징은 전원뿐만 아니라 통신장비와 각종 컴퓨터를 포함한 네트워크를 구성하고 있다는 점에 있다. 일반 가정의 예를 보아도 가전제품에는 마이크로프로세서가 정착되는 경우가 많으므로 전자회로에 적합한 이상전압에 대한 대책은 중요한 과제이기도 하다[1]. 전자회로의 뇌해 등 이상전압은 단순한 장치의 손상만이 문제가 아니라, 잘못된 신호를 만들어 내고 그것이 장치의 오동작을 일으킴으로 인하여 발생할 수 있는 재해가 훨씬 크다고 할 수 있다[2-4].

본 논문에서는 이상전압에 대한 PCB의 보호대책에 대하여 알아보기 위하여 사용전압 이상의 이상전압이 유입되었을 때의 온도 특성과 이에 의한 사고 예방을 위한 제어시스템의 설계에 대하여 제시하였다.

2. 관련이론

일반적으로 PCB의 소자 중 서지전압에 대한 보호 장치로 바리스터(Varistor)가 사용되며 보호하고자 하는 부품이나 회로에 그림 1과 같이 전원단자와 병렬로 연결하여 과도전압이 증가하면 낮은 저항 회로를 형성하여 과도전압이 더 이상 상승하는 것을 막아준다. 바리스터의 과전압 보호원리는 전압 비의존성과 전압 의존성, 저항의 직렬연결을 기초로 한다. 모든 과전압원의 임피던스는 0보다 큰 값을 갖고 전압 비의존성을 갖는다. 그림 2에 나타난 전압 비의존성 임피던스 Z_{SOURCE} 는 전선의 저항, 코일의 유도성 리액턴스 및 전도라인의 복합 임피던스로 구성되어 있다. 만약 과도전압이 발생되면 전류는 Z_{SOURCE} 와 바리스터로 흐르게 된다. V_{SOURCE} 는 Z_{SOURCE} 와 같으므로 전압 비의존성 임피던스의 양단에는 비례적인 전압강하가 생긴다. 그러나 바리스터의 양단에는 흐

르는 전류와 무관하게 전압강하가 생긴다. 즉, 식 (1)과 같이 전압분배가 이루어지므로 Z_{SOURCE} 의 양단에 걸리는 전압은 강하되게 되어 바리스터와 병렬로 연결된 보호하고자 하는 회로는 보호된다. 이와 같이 바리스터는 전압분배 법칙에 따라 회로를 보호하며 그림 3에서와 같이 부하전원의 과전압과 바리스터의 V-I 특성곡선을 서로 교차시키면 과전압을 보호하는 동작점(서지전류와 보호레벨이)이 된다.

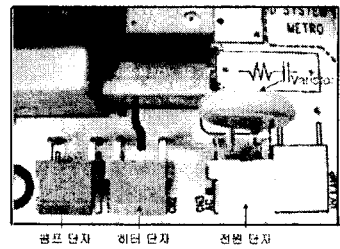


그림 1. 정수기 PCB에 사용된 바리스터
Fig. 1. Varistor of PCB used at a water purifier

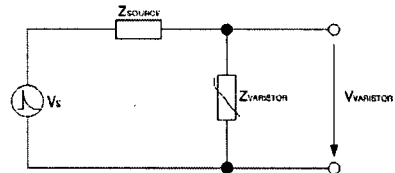


그림 2. 바리스터의 임피던스와 Source 임피던스간의 전압분배 회로(V_S : 서지전압)
Fig. 2. Voltage division circuit between varistor impedance and source impedance

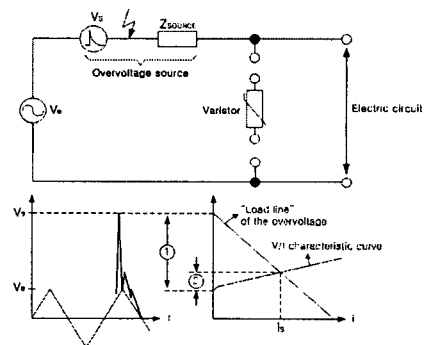


그림 3. 바리스터의 과전압 보호원리(V_B : 사용전압)
Fig. 3. Protection principal for over voltage of varistor

$$V_{VARISTOR} = \frac{Z_{VARISTOR}}{Z_{SOURCE} + Z_{VARISTOR}} \times V_S \quad (1)$$

3. 실험장치 구성

가정용 전기제품의 사용실태 및 안전사고 위험 요인을 한국소비자보호원에서 조사한 결과 최근 3년간 화재사고 다발 품목으로 정수기가 5위를 차지하고 있으며 정수기는 24시간 작동시킴써 사용자가 없는 상태에서도 지속적으로 전기에너지를 사용하고 있는 제품이다. 이러한 특성으로 화재위험성을 줄이기 위해 다각적인 안전성이 확보되어야 한다. 본 논문에서는 과전압에 대한 가정용 전기제품의 화재안전성 실험으로 정수기를 설정하였으며 제품의 전원코드에 전압을 인가하여 실험을 수행하였다.

그림 4는 과전압 실험 구성도로 220[V]의 입력전압을 시작으로 전압을 상승시켜 시스템이 동작된 후 5분 후에 PCB의 소자의 발열특성을 적외선카메라(TVS-5200, Avio, Japan)로 측정하였다. 또한 과전압에 따른 시스템내의 이상 현상과 PCB 부분의 폭발현상을 분석하기위해 초고속 카메라(HISI; High Speed Imaging System, HG-100K)를 사용하여 분석하였다.

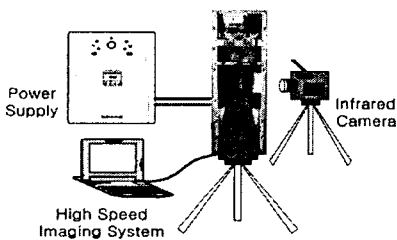


그림 4. 실험 구성
Fig. 4. The experimental schematic

4. 결과 및 고찰

4.1 PCB 발열 온도측정 결과

과전압에 따른 PCB 부품의 발열온도를 측정하여 제어회로의 과전압에 따른 제어회로의 안전성을 분석하였다.

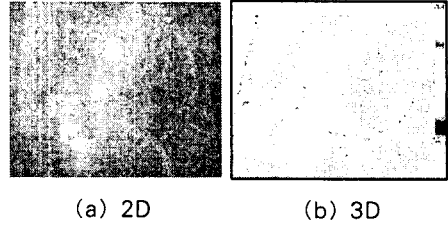


그림 5. 220[V] 전압 인가
Fig. 5. Applied voltage is 220[V]

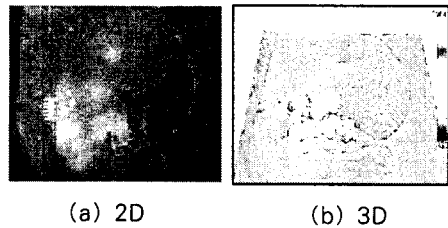


그림 6. 300[V] 전압 인가
Fig. 6. Applied voltage is 300[V]

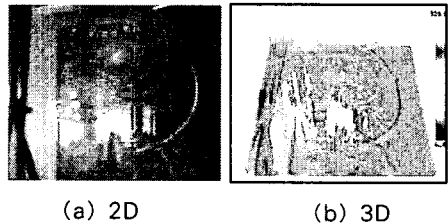


그림 7. 350[V] 전압인가
Fig. 7. Applied voltage is 350[V]

그림 5는 220[V]을 인가하여 PCB에서 발열온도를 측정한 것으로 DC +24[V] 정전압 IC(Voltage Regulator)와 병렬로 연결된 콘덴서에서 약 70[°C] 내외의 온도가 측정되었으며 저항 소자와 그 밖의 콘덴서에서 약 40[°C] 내외의 온도가 측정되었다.

그림 6은 300[V]를 인가했을 때 PCB에서 발열온도를 측정한 것으로 그림 5와 유사한 부분에서 발열하며 220[V]에서 발열 부분과 유사하며 DC +24[V] 정전압 IC와 병렬로 연결된 콘덴서부분에서 약 100[°C]의 발열온도가 측정되었다.

그림 7은 350[V]를 인가했을 때 PCB에서 발열온도를 측정한 것으로 DC +5[V] 정전압 IC의 방열판과 콘덴서 그리고 DC +24[V] 정전압 IC와 병렬로

연결된 콘덴서부분에서 약 150[°C]의 발열온도가 측정되었다.

이상과 같이 PCB에서 과전압에 의한 소자의 발열 온도를 측정한 결과 220V에서 사용시 안전상 문제점은 발견되지 않았으나 350[V]의 과전압 인가시 소자의 허용온도를 초과하였다. 이에 대해 개선사항으로 회로의 과전압 인가시 차단할 수 있는 제어장치가 요구되며 DC +24[V] 정전압 IC에 방열판을 부착하여 열 방출이 이루어 질 수 있도록 고려해 볼만하다.

4.2 PCB 폭발시 착화가능성

그림 8은 PCB 외함의 전선이 삽입되는 상부 부분에 면면지를 가정한 약간의 탈지면(솜)을 놓고 사용자가 전원을 잘못 투입한 경우를 가정하여 과전압에 의한 착화여부를 실험하였다.

그림 9는 그림 8과 같은 상태에서 가변변압기를 이용하여 급격한 과전압을 인가했을 때 대략 460±20[V]에서 폭발되었으며 그림 9 (a)와 그림 9 (b)와 같은 폭발과 비산에 의해 그림 9 (d)와 같이 탈지면이 착화되었다. 이는 PCB 외함의 상부에 가연성 물질이 있을 경우 화재로 이어질 수 있으며 먼지가 많은 장소에서 장시간 사용시 시스템에 과전압이 인가될 경우 화재로 이어질 가능성이 크므로 상부는 불연성의 재질로 완전 밀폐시키고 하부로 전선이 PCB 외함 내부로 삽입되도록 하고 먼지가 쌓이지 않는 구조로 개선이 필요하다.



그림 8. 과전압에 의한 착화 실험 구성
Fig. 8. Ignition experiment due to over voltage

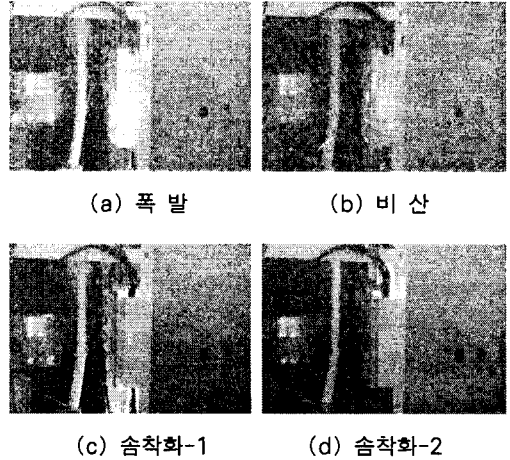


그림 9. 과전압에 의한 탈지면 착화 과정
Fig. 9. Ignition experiment due to over voltage

4.3 기존 전원시스템 분석

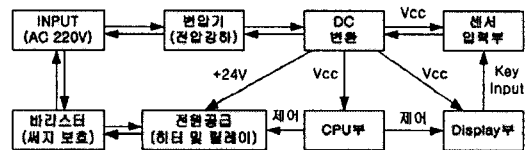


그림 10. 기존 전자회로부의 전원제어 시스템 개략도
Fig. 10. Schematic of power control system of primarily electric circuit

그림 10은 기존 냉온수기 전자회로부(PCB)의 전원 시스템 개략도를 나타낸 것이다. 개략도에 나타난 바와 같이 전원 시스템의 동작은 AC 220[V]를 입력 받아 히터 및 릴레이 등에 전원 공급을 하여 시스템을 구동하게 된다. 히터 및 릴레이 등을 제어하는 CPU부와 Display부가 있으며, 각종 제어부 센서를 구동하기 위해 변압기로부터 강압된 전압을 정류 회로 및 정전압 IC로 구성된 DC 전압 변환부를 거쳐 변환된 DC 전압을 사용하는 구조로 되어 있다. 그러나 시스템에 이상 전압이 유입되면 회로를 보호하고 시스템의 작동 오류를 억제할 수 있는 보호 장치는 매우 미약하며 단지 바리스터 정도가 설치되어 있다. 그러나 바리스터는 임펄스 형태의 과전압만을 보호할 뿐 지속적인 형태의 과전압은 보호하지 못한다. 또한 바리스터가 소손이 되어도 전자회로부를 차단

이상전압에 따른 정수기 PCB의 보호대책

하지 못하여 바리스터가 소손된 이후에 유입되는 과전압으로부터 시스템을 정상적으로 유지 못한다는 한계를 갖고 있다.

4.4 PCB 회로 보호를 위한 개선 모델

그림 11은 개선된 전자회로부의 전원제어 시스템의 개략도를 나타내고 있다. AC 입력과 AC 입력을 받아 처리하는 회로 사이에 스위치 소자를 무접점 릴레이인 SSR(Solid State Relay)과 SSR을 제어하기 위한 스위칭 소자와 제어 부분을 위한 구동전압을 공급하는 부분을 추가하여 전자회로부 전원제어 시스템을 구성하였다. 이 때 입력 전압을 감지하는 부분은 기존 전자회로부에서 사용된 바리스터 내압의 용량에 맞는 전압을 감지할 수 있도록 회로를 분압 형태로 구성하여 과전압으로부터 회로를 보호하도록 하였다. 이 회로는 일정 이상의 전압이 인가되었을 경우에 시스템에 전원을 차단시켜 과전압에 의한 사고를 미연에 방지할 수 있게 된다.

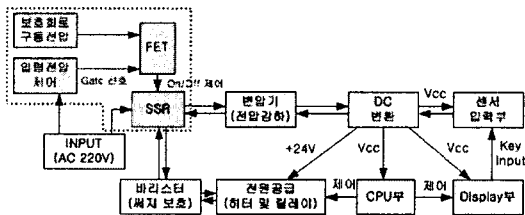


그림 11. 개선된 전자회로부의 전원제어 시스템 개략도
Fig. 11. Schematic of power control system of proposal electric circuit

그림 12는 개선된 전자회로부의 전원제어 시스템의 회로도도 개선된 시스템에서는 다이오드를 이용하여 입력 전압을 정류하여 전압 분압에 의하여 보호회로 구동 전압과 입력 전압을 감지하였다. R11에 걸리는 전압을 V_D , R22에 걸리는 전압을 V_G 라고 하면 V_D 는 보호회로 구동 전압이며, V_G 는 입력 전압의 감지 값에 해당한다. 이 V_D 를 FET의 Drain단에 연결하여 SSR의 제어전압(V_{CS})으로 사용하고, V_G 를 Gate단에 연결하여 Gate 신호로 연결하였다. 그림 12의 회로를 분석하면, 일반적인 AC 입력 전압일 때는 FET가 Turn-on되지 못하여 V_D 전압이 그대로

V_{CS} 가 되어 SSR이 ON 상태가 되어 회로에 전압을 공급하게 된다. 하지만 AC 입력 전압이 이상 전압이 유입되면 V_G 가 FET를 Turn-on 시킬 만큼의 전압이 되어 FET를 Turn-on시켜 V_{CS} 는 0[V]가 되어 SSR을 차단하여 회로에 이상 전압이 유입되는 것을 막아주게 된다.

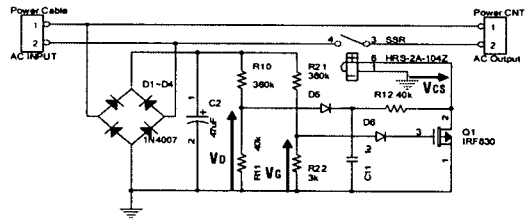


그림 12. 개선된 전자회로부의 전원제어 시스템 회로도
Fig. 12. Schematic of power control system of proposal electric circuit

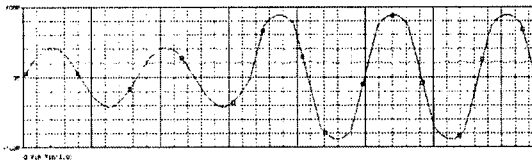
이렇게 구성한 전원 제어 시스템을 기존의 전자회로부에 추가하면 일정 이상의 전압이 인가되었을 경우에 시스템 전원을 차단시켜 과전압에 의한 사고를 미연에 방지할 수 있게 된다. 또한 서지와 같은 임펄스 형태의 과전압은 기존의 회로에서 사용한 바리스터에 의해 과전압으로부터 시스템을 보호할 수 있어 안정적인 전원공급 및 사용이 가능하다.

4.5 전원제어 시스템의 시뮬레이션 결과

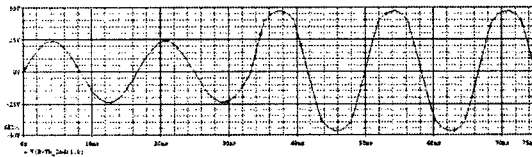
그림 13은 기존 전자회로부의 전원제어 시스템과 개선된 전자회로부의 전원제어 시스템의 입력 전압의 상태에 따른 시스템의 전력 파형을 시뮬레이션을 통하여 비교하여 나타낸 것이다. 시뮬레이션은 ORCAD에 포함되어 있는 P-SPICE로 수행하였으며, 과전압은 AC 220[V]가 정상적으로 인가되다가 AC 460[V]가 인가되는 형태의 전원 입력을 사용하였다.

개선된 전원 제어 시스템의 시뮬레이션 결과는 그림 13에 나타나듯이 기존의 시스템은 (b)에서와 같이 과전압이 인가되어도 변압기 2차측 출력 전압이 변압비에 의해 그대로 출력되고 있음을 나타내고 있다. 이는 시스템에 과전압이 그대로 인가되어 시스템을 보호하지 못하고 있음을 나타내고 있지만, 개

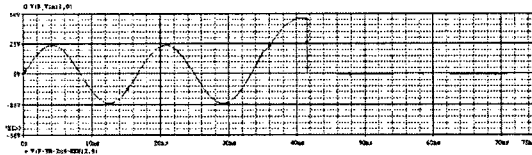
선 모델인 (c)에서는 V_D , V_G , V_{CS} 를 통하여 440[V] 이상의 전압이 인가되었을 때, 변압기 2차측 출력 전압이 일정 전압이 인가되었을 때 차단되는 것을 알 수 있다. 이 결과는 440[V] 이상의 과전압이 인가되었을 때 과전압이 시스템으로 인가되는 것을 차단하도록 설계되어 있음을 나타내며 전원 제어 시스템이 과전압으로부터 전기제품을 보호한다는 것을 알 수 있다.



(a) 입력 전압파형



(b) 개선전 변압기 2차측 출력 전압파형



(c) 개선후 변압기 2차측 출력 전압파형

그림 13. 전원제어 시스템의 전압파형
Fig. 13. Voltage waveform of power control system of primarily and proposal electric circuit

5. 결 론

이와 같이 시스템에 과전압을 인가한 경우 메인 PCB의 바리스터(VAR)가 폭발하여 화재사고 이어질 수 있었으며 전기제품에 있어서 과전압 사고에 대한 예방대책을 다음과 같이 나타내었다.

- (1) PCB에서 과전압에 의한 소자의 발열온도를 측정 한 결과 220[V]에서 사용시 안전상 문제 점은 발견되지 않았으나 350[V]의 과전압 인가시 소자의 허용온도를 초과하였다. 이에 대

해 개선사항으로 회로의 과전압 인가시 차단할 수 있는 제어장치가 요구되며 DC +24[V] 정전압 IC(Voltage Regulator)에 방열판을 부착하여 열 방출이 원활히 될 수 있도록 고려해 볼만하다.

- (2) PCB 외함의 상부에 가연성 물질이 있을 경우 화재로 이어질 수 있으며 가연성 먼지가 많은 장소에서 장시간 사용시 시스템에 과전압이 인가될 경우 화재로 이어질 가능성이 있으므로 PCB 외함의 상부는 불연성의 재질로 완전 밀폐시키고 하부로 전선이 PCB 외함 내부로 삽입되도록 하고 먼지가 쌓이지 않는 구조로 개선이 필요하다.
- (3) 기존 전기제품의 전원제어 시스템에서는 AC 전원 입력부에서 과전압에 대한 보호장치로 임펄스 형태의 과전압만을 보호하는 바리스터만 있었기 때문에 다른 형태의 과전압이 인가되면 시스템의 고장 및 조건에 따라 전기 화재로 이어질 수 있다. 그러므로 입력 전압을 감지하는 부분은 바리스터 내압의 용량에 맞는 전압을 보호하도록 하여 일정 이상의 전압이 인가되었을 경우 시스템에 전원을 차단시켜 시스템을 보호할 수 있는 전원제어회로의 개선이 필요하다.

이 논문은 전력산업 연구개발 사업비의 지원에 의해 수행된 연구결과입니다.

References

- (1) 송인회, 電氣災害統計分析, 韓國電氣安全公社, pp. 8-89, 2004.
- (2) 최충석 외 5, “전기화재공학”, 동화기술, pp.189-270, 2004.
- (3) 최충석, 이경섭, 이덕출, “열열화원 600V 2중 비열절연 전선의 특성변화 분석”, 대한전기학회논문지, Vol.49C, No.1, pp.8-12, 2000.
- (4) C.S. Choi, K.M. Shong, D.O. Kim, D.W. Kim, Y.S. Kim, “The Electrical arc Direction PatternS by Short-circuit angle”, pp.218, Thirtieth Int. Symposium on Combustion, 2004.
- (5) Shigehito, Kensuke Akamatsu, Tetsuya Yano, Minoru Mizuhata and Akihiko Kajinami, “Preparation and characterization of copper(I) oxide nanoparticles

이상전압에 따른 정수기 PCB의 보호대책

dispersed in a polymer matrix", J. Mater. Chem., 8(8), pp.1865-1868, 1998.

- [6] V.musolino, A.Dal Corso, A.Selloni, "Initial stages of growth of copper on MgO(100) : A first Principles study", The American Physical Society, Vol.83, No.14, pp.2761-2764, 1999.

◇ 저자소개 ◇

김동욱 (金桐郁)

1971년 1월 6일생. 1998년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 연구원.

최충석 (崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 나고야대학 초빙연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 2004년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 수석연구원.

문현욱 (文鉉旭)

1975년 2월 14일생. 2000년 경북대학교 전자전기공학과 졸업. 2004년 University of Florida 전자전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 연구원.

이기연 (李璣燕)

1975년 5월 12일생. 2002년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 연구원.

김향곤 (金珣坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 책임연구원.