전자기기의 신호전송을 위한 Photo Couplers(P/C) 의 위험 요소 발굴

박형기 · 최충석^{*}

전주대학교 소방안전공학과

(2012. 12. 11. 접수 / 2013. 2. 21. 채택)

Risk Factors Related to Photo Couplers(P/C) for Signal Transmission by Electronic Devices

Hyung-Ki Park · Chung-Seog Choi^{*}

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

(Received December 11, 2012 / Accepted February 21, 2013)

Abstract : The purpose of this study is to find risk factors by analyzing the operation principle of a photo coupler (P/C) used to remove the noise of electronic devices and establish a base for the performance improvement of developed products. It was found from the P/C circuit analysis of normal products that they were equipped with an electrolytic condenser of 0.1 μ F to smooth system signals. Due to the epoxy resin packing the external part of the P/C, this study experienced a limit to visually examine the damage to it. It could be seen from the analysis of electric characteristics of the P/C that the forward voltage (V_f) and reverse current (I_r) were 1.3 V and 10 μ A, respectively. In addition, it is required that the breakdown voltage (VCE) between the collector (C) and emitter (E) be maintained at less than 35 V. The and of the damaged product #1 were comparatively good. However, the measurement of was 100.0 μ A. From this, it is thought that a short circuit occurred to the internal circuit. Moreover, from the fact that the of the damaged product #2 was open circuit and the measurement of was 0.0 μ A, it is thought that the collector and emitter was separated or insulation resistance was significantly high. Furthermore, from the fact that the of the damaged product #3 was open circuit and the measurement of was 0.0 μ A, it is thought that the space between the collector (C) and emitter (E) failed to meet the design standard or that they were separated. Therefore, it is thought that fabricating the P/C by increasing the reverse current 10 mA to 50 mA will prevent its malfunction

Key Words : photo couplers, signal transmission, electronic devices, forward voltage, reverse current

1. 서론

전자기기에 사용되는 포토커플러(P/C; Photo Coupler)는 전기 신호를 빛의 신호로 변환하고 빛을 다시 전기 신호로 변환하는 디바이스이다. 현재 사용되고 있는 P/C는 1955년 미국의 E. E. 로브너가 고안한 것에 기초하여 개발된 것들이 대부분이다. 발광부에는 발광다이오드, 텅스텐램프, 네온램프 등이 쓰이고, 수광부에는 실리콘 아발란체 포토다이오드, pin 다이오드, 황화카드뮴, 카드뮴셀레늄 등이 사용된다. 최근에 개발된 P/C는 갈륨비소 적외선 발광다이오드와 실리콘 포토다이오드 등이며, 컴퓨터의 주변기기, 자동판매기, 릴레이, 전원제어용 등에 사용된다. 또한 수광부와 집적회로 등을 포함한 것과 직접 전력계통을 제어하기 위한 포토사이리스터와 조합한 것도 개발되어 있다. 전자기기에 사용되는 P/C는 잡음을 완전히 제거하기 위하여 입력과 출력이 완전히 격리되도록 설계되어 있다. P/C는 스위칭 속도, 출력의 안정성, 유도 전압의 제거, 입력 서지의 제거, 고압 회로의 설계 등이 우수하나 외란에 의한 동작 특성의 저하가 발생할 수 있다. 즉, P/C 제작 단계에서 설계 마진을

충분히 고려하지 않으면 전원부의 오작동 및 출력부의 기능 저하가 발생하여 시스템의 성능 저하에 직접적인 영향이 있다¹⁻³⁾. 또한 P/C의 온도 상승은 주변의 디바이스의 기능 저하는 물론 주변의 가연물에 착화되어 화재의 발생도 배제할 수 없다. 전자기기의 소자 및 배선에서 발생할 수 있는 화재는 단락, 접촉(숙) 불량, 누전, 트래킹 및 흑연화 현상 등이 있다⁴⁻⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 전자기기의 잡음 제거를 위해 사용되는 P/C의 작동원리를 해석하여 위험요소를 발굴하고, 향후 개발 제품의 성능 개선을 위한 근거를 확립하는데 있다.

2. 관련이론

전자기기에 사용되는 P/C는 스위치를 전환할 때 발생되는 잡음을 방지하기 위해 사용되는 것 외에 의료용 뇌파계, 심전도 등에 적용함으로써 피험자의 감전 방지를 위해 생체 입력 신호를 상용 전원으로부터 차단하는 목적으로도 사용된다. 즉, P/C를 적용하여 시스템을 설계하면 출력 전압의 안정화가 가능하고, 2차측의 전압 변화를 1차측의 제어 회로

^{*}Corresponding Author: Chung-Seog Choi, Tel : +82-63-220-3119, E-mail : enetek@naver.com
Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University, 303, Chenjam-ro, Wansan-Gu, Jeonju 560-759, Korea

Fig. 1. The classifications of Photo Coupler.

에 피드백할 때 구동 회로 및 제어 회로의 절연이 가능하다. 또한 P/C는 Photo Transistor, Photo Darlington Transistor, Photo Triac/Optic 등으로 구분하며 우수한 절연, 높은 순방향 전류와 광전류 출력비(CTR; Current Transfer Ratio), 단순한 구조, 고속 동작, 외부 영향 등을 받지 않는 제어 기능과 낮은 감쇠시간(Decay time) 등을 갖고 있다. 그리고 직류 회로에서 고주파까지 광대역의 전기 신호 및 단방향 전송을 할 수 있고, 릴레이 등에 비해 소형이라는 장점이 있다. P/C는 빛을 이용하여 시스템이 작동하기 때문에 상대적으로 잡음이 적고 시스템을 구성하는 장치 사이의 전류를 절연할 수 있으며, 각 장치마다 접지 등이 가능하다. 또한 장치 사이의 결합 용량이 작기 때문에 출력 쪽의 신호가 입력 쪽으로 되돌아가는 일이 없다는 장점이 있다. 따라서 전기회로와 단말기 등에 P/C를 매개로 하여 결합하면 전원 전압의 차이나 기계부에서 발생하는 잡음 등에 의한 영향을 최소화할 수 있다. 출력신호 대상에 따라 구분하면 Fig. 1과 같은 트랜지스터 타입, IC 타입, MOSFET 타입 등이 있다¹⁻³⁾.

Fig. 2는 본 연구에 적용된 DIP Type(Dual In Package, Fairchild Com.) P/C의 내부 구성 및 단면을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 발광다이오드에서 빛을 방사하게 되면 베이스(B)에 전류가 흘러 컬렉터(C)로 신호가 전달되는 과정을 나타낸 것이다. Fig. 2(b)는 내부의 구성을 입체적으로 투시한 것이며, 4개의 단자로 구성된 것을 알 수 있다. Fig. 2(c)는 P/C의 2중층 수지와 경계부 등을 상세하게 표시한 것이다. 즉, 발광 소자와 수광 소자를 최대한 가깝게 하여 순방향 전류와 광전류 출력의 비를 높게 유지한 것

Fig. 2. A schematic diagram of the DIP type photo coupler.

Fig. 3. A example circuit of the photo coupler.

이 특징이다¹⁻³⁾.

Fig. 3은 전자기기에 적용된 P/C의 회로 및 구동 전원을 나타낸 것이다. 회로에 적용된 P/C는 일반적으로 펄스 입력 파형의 High 또는 Low 등에 따라 다이오드에 통전이 되는 경우에 순방향 전류 5 mA가 흘러 광센서가 발광하게 되도록 설계되어 있다. 즉, 베이스에 전류가 유입되면 컬렉터 전압 Vcc에 5 V가 부하 저항 RL의 5 ohms를 통과하여 출력전압 Vo에 인가됨에 따라 접지 단자GND와 회로가 구성되는 것이다. 또한 동시에 Low 상태가 되므로 광센서가 발광되지 않은 펄스발생기가 Low인 경우는 Vcc는 부하 저항을 통해 직접 Vo와 연결되어 Low 상태가 되는 것을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

전자기기에 적용된 P/C의 고장 분석은 외형 분석, 전기적 특성 평가 및 물리적 시험 등으로 구분하여 실시한다. 전기적 시험⁸⁾은 부품 고유의 특성치 평가를 하고, 물리적 시험은 초음파 및 X-ray 등을 이용한 비파괴검사 등을 통해서 원인을 밝히게 된다. 또한 소자 내부의 특성은 피막박리술(Decapsulation)로 표면의 재질을 제거한 후에 광학현미경(OM; optical microscope), 전자주사현미경(SEM; Scanning Electron Microscope), 전자프로브마이크로분석기(EPMA; Electron Probe X-ray Micro Analyzer), 이온집속투과현미경 등으로 분석하게 된다. 분석자 및 시험기관 등에 따라 분석 방법은 다양하므로 고장품의 상태에 따라 다르게 적용된다⁷⁻¹¹⁾.

Fig. 4는 본 연구에 적용된 PCB(Printed Circuit Board)에 P/C가 설치된 실체사진을 나타낸 것이다. 일반적인 전자기기와 유사한 소자인 저항, 콘덴서, IC, 다이오드 등을 이용하여 회로가 구성된 것을 알 수 있다. 각각의 소자는 10 W의 출력을 발생시키기 위해 적용된 것이며, P/C는 전원의 ON/OFF 스위칭 기능을 하기 위해 적용된 것이다. P/C의 입력 및 출력 부분은 전류를 적절하게 제어하기 위한 저항을 삽입하여 시스템의 안정성을 확보하였다¹¹⁾.

Fig. 5는 Fig. 4에 제시된 시스템의 회로도도를 나타낸 것이다. 시스템에 적용된 P/C는 OO Company P-OO이며, Gallium Arsenide Infrared Emitting Type으로서 고속 응답, 효율성 및 안정성 등이 시험 기준을 통과한 소자이다. P/C의 안

Fig. 4. The real model of a photo coupler.

Fig. 5. A circuit diagram of the Gallium Arsenide Infrared Emitting Type P/C.

전한 구동을 위해 5 Ω 의 안전저항이 연결되어 있고, 시스템 신호의 평활을 위해 0.1 μF 의 전해콘덴서를 적용하였다. 또한 전원의 안정적인 공급을 위해 AC 220 V, 60 Hz를 DC +5 V로 공급함에 따라 P/C의 구동을 위한 전원은 적절하게 설계된 것으로 분석되었다. 즉, 변압기의 2차측을 통해서 전과 정류된 전류가 공급되고, 평활 회로를 통과한 신호가 P/C에 입력되므로 스위칭 IC의 반응은 우수하고 1차측의 정류단과 연동하게 되는 것이다.

Fig. 6은 P/C의 소손 패턴을 분석하기 위해 나타난 것이다. Fig. 6(a)는 정상제품을 나타낸 것으로 단자부 및 하부의 일부에서 거친 마무리가 확인되나 제품의 성능에는 문제가 없는 것으로 확인되었다. Fig. 6(b)-(d)는 소손된 P/C의 실체사진을 확대 촬영하여 나타난 것으로 일부가 거친 마무리의 흔적은 있으나 정상제품과 비교하여 특이 사항이 없는 것을 알 수 있다. 즉, P/C가 물리적으로 변형, 파손 및 탄화 등이 없다면 외형 검사를 통해서 소손제품으로 판정하는데 한계가 있음을 알 수 있다. 이와 같이 확인이 불가능한 이유는 반도체 소자의 단점인 물리적 충격으로부터 소자를 보호하기 위해 외부를 에폭시수지(Epoxy resin)로 포장하여 제작하기 때문으로 판단된다.

Table 1은 Fig. 6에 제시된 P/C의 전기적 특성을 측정하여 나타난 것이다. V_f 는 순방향 전압을 의미하며 최대 1.3 V까지 요구되며, I_r 는 역방향 전류를 나타내는 것으로 최대 10 μA 가 허용된다. 또한 반도체 소자의 특성 평가의 근거가 되는 컬렉터(C)와 이미터(E) 사이의 절연파괴 전압(V_{CE})은 35 V 이상을 유지해야 한다. 정상제품의 V_f 는 1.23 V이었으며, I_r 는 4.5 μA , V_{CE} 는 85.34 V 등으로 측정되어 모든 항목에서 전기적 특성이 양호한 것으로 판단된다. 그러나 소손제품인 #1의 V_f 및 V_{CE} 는 비교적 양호하였

Fig. 6. The comparison package of a normal product and damaged products.

Table 1. The electrical characteristics of the P/Cs.

sample	classification	V_f [V]	I_r [μA]	V_{CE} [V]
normal product		1.23	4.5	85.34
damaged product #1		1.19	100.0	78.61
damaged product #2		open	0.0	96.29
damaged product #3		open	0.0	54.34

으나 I_r 은 100.0 μA 가 측정된 것으로 보아 내부 회로의 단락이 발생된 것으로 판단된다. 그리고 소손제품 #2의 V_f 는 open 현상이 발생하였고, I_r 은 0.0 μA 로 절연체로 특성이 변형된 것으로 판단된다. 또한 소손제품 #3은 V_f 는 open 현상이 발생하였고, I_r 가 0.0 μA 인 것으로 보아 경계면의 연결이 기준치를 확보하지 못했거나 분리된 것으로 판단된다.

Fig. 7은 P/C 내부의 특성을 분석하기 위해 나타난 X-ray 패턴 및 실체현미경 사진을 나타낸 것이다¹²⁾. Fig. 7(a)는

Fig. 7. The pattern analysis of the P/C by X-ray & O.M.

정상제품의 X-ray 패턴으로 균일한 배선 및 내부 배치를 확인할 수 있었다. Fig. 7(b)-(c)는 소손제품을 나타낸 것으로 단자의 일부가 완벽하게 기밀되지 못하고 공 모양의 틈(ball rift)이 확인된 것으로 보아 납땜이 잘못된 것으로 판단된다¹³⁾. 그리고 Fig. 7(d)는 실체현미경을 이용하여 소손제품을 분석한 것으로 단자부의 외부 측면에서 소손 흔적이 확인되었다. 즉, 이상과 같은 사고 패턴 분석에서 알 수 있듯이 소손의 유형은 다양한 형태로 나타날 수 있음이 확인되었고, x-ray를 이용한 검사를 통해서 내부 단자부 납땜의 정확도를 판별할 수 있을 것으로 판단된다^{14,15)}.

Fig. 8은 P/C의 전압-전류 특성 곡선을 나타낸 것이며, 전압-전류의 특성 분석은 오실로스코프(Curve Tracer, 370 A,

Tektronix Co., USA)를 이용하였다. 가로축(X)은 전압을 나타내고 세로축(Y)은 전류를 나타낸다. 각각의 분금은 가로축은 Div; 500 mV, 세로축은 Div; 5 mA, 10 mA 등으로 나타냈다. Fig. 8(a)는 P/C의 콜렉터(C)-이미터(E) 사이에 순방향 전류(I_f) 20 mA를 공급하였을 때 Y-축에 수직인 곡선을 보이는 것으로 보아 소자의 내부에서 단락에 준하는 현상이 발생한 것으로 판단된다. Fig. 8(b)는 콜렉터(C)-이미터(E) 사이에 순방향 전류 50 mA를 공급하였을 때를 나타낸 것으로 Parametric Shift가 발생하여 정상제품과 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 8(c)는 콜렉터(C)-이미터(E) 사이에 순방향 전류가 내성한계인 100 mA 이상이 흘러 open 특성을 나타낸 것을 알 수 있다. 즉, 소자에서 발생하는 고장의 주된 요인 중의 하나이므로 웨이퍼 본딩(wafer bonding) 제조 공정에서 순방향 전류를 증가시켜 시험하고, 특성을 평가할 수 있는 시스템을 도입하여 제품을 출하하면 불량률을 감소시킬 것으로 판단된다¹⁶⁻¹⁸⁾.

전자기기의 잡음 제거를 위해 적용되는 P/C의 설계에서 변압기, 다이오드, 저항, 콘덴서, 트랜지스터, 스위칭 IC 등의 설계는 IEC 60335 규격의 절연거리 8 mm 이상의 유지가 필요하다는 것을 확인할 수 있었고, 다음과 같은 주의사항을 기울여 제작 및 관리 등을 수행할 때 오작동 요인을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

① P/C는 광학 특성을 이용한 소자이므로 습기나 직사광선에 노출되면 특성이 저하되므로 적절한 관리 및 배치 등이 필요하다.

② 반도체인 IC는 열적스트레스에 취약하므로 온도 0~35°C, 상대 습도(RH) 45~75% 등을 유지하여 관리할 것을 권장한다.

③ P/C는 유독 가스가 발생하는 곳에 방치할 때 열화(劣化)가 가속되므로 부식성 가스 또는 정전기 발생 등이 없는 곳에 소자는 보관할 것을 요구한다.

④ P/C를 취급할 때 급속한 온도 변화가 발생하면 표면의 박리 또는 변형 등이 발생할 가능성이 있으므로 적절한 주의가 요구된다.

⑤ P/C의 성능은 육안 검사로 이상 유무를 판별할 수 없으므로 X-ray 및 실체현미경 등을 이용한 과학적 정밀검사가 필요하다.

4. 결론

전자기기의 잡음 감소 제어에 적용된 P/C의 회로 분석 및 내부 특성 등을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 소손제품 2개의 시료에서 순방향 전압을 인가하였을 때 open 현상이 확인된 것으로 보아 과전압에 의한 피로 파괴가 발생한 것을 알 수 있었다. 또한 P/C의 기능 정지에 따라 동시에 EMC(Epoxy Mold Compound)의 파괴에 의해 과열이 되는 경우에는 외부 연소물과 결합하여 발화에 이를 수 있으므로 회로 설계 및 제조공정에 주의가 요구된다.

2) P/C의 부품을 출하할 때 내구 수명의 신뢰성 확보를 위해 현재의 설계된 역방향 전류(I_r) 10 mA을 50 mA 이상

Fig. 8. The V-I Characteristics Curve of Photo Coupler.

으로 향상시킬 것을 제안한다.

3) 내구성 설계기준을 근거하여 제품의 설치 및 환경 수준에 맞게 선별적으로 출하 검사기준을 강화할 필요가 있고, 제조공정의 편차가 발생할 수 있는 환경이 발생하면 공정편차를 줄이기 위해 4M(Man, Machine, Method, Material) 등의 철저한 품질관리가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

References

- 1) Yamazaki, "Safety Design Note of Electronic Circuit", The Nikkan Kogyo Shinbum, pp. 30-36, 2008.
- 2) SONY Tech. Training Center, "The Application of Electronic Component", pp. 3-3~3-53, 1995.
- 3) Osamu, "Design Capabilities to Determine the Quality", The Nikkan Kogyo Shinbum, pp. 113-121, 2009.
- 4) Chung-Seog Choi, Hyun-Woo, Kim, Kyung-Sup Lee, Yang-Su Lim, Chun-Ha Lee and Jae-hee Chung, "Electrical Fire Engineering", Honghwa Technology Publishing Co., pp. 189-198, 405-409, 2004.
- 5) Chung-Seog Choi, Hyang-Kon Kim, Dong-Ook Kim and Dong-Woo Kim, "The Analysis of Voltage Waveform and Oxidation Growth of Conductor with Series Arc", The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 55P, No. 3, pp. 146-152, 2006.
- 6) Kil-Mok Shong, Chung-Seog Choi, Young-Su Roh and Hee-Ro Kwak, "Carbonization Characteristics of Phenolic Resin Deteriorated by Tracking," The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, 53C-1-1, pp. 1-7, 2004.
- 7) Sasaki Hara, "Basic of Reliability Technique" Shuwa System, pp. 32-33, 2009.
- 8) H. J. Kim, H. J. Kim, "Innovation Production Management", Hyungseul Publishing Co., pp. 312-316, 2011.
- 9) M. Modarres, "Reliability and Risk Analysis", Marcel Dekker Inc, pp. 136-140, 1993.
- 10) Kiyoshi Nikawa, "All of LSI Failure Analysis Technique" Kogyo Chosaka, Publishing Co. Ltd, pp. 65-66, 2007.
- 11) Technical Committee on Reliability, "Failure Analysis and Countermeasure for Electronic Engineer", pp. 58-59, 2006.
- 12) SHARP, "Semiconductor Reliability Handbook Opto-Electronic Devices Edition", IV.22, IV-25, 1993.
- 13) Danaka, "Reliability Engineering Guide", Japanese Standard Association, pp. 59-63, 2010.
- 14) Aziki, "Reliability Technique of Semiconductor Device", The Institute of Japanese Union of Scientist & Engineering, pp. 95-120, 2008.
- 15) Hatsuta et al, "Material Dynamics & Fatigue Design Guide", The Nikkan Kogyo Shinbum, pp. 155-164, 2009.
- 16) Hirayama, "Non Destructive Testing Manual", Japanese Standard Association, pp. 24-33, 1995.
- 17) Yoshita, "Failure Cause & Countermeasure of Electronic Component", The Nikkan Kogyo Shinbum, pp.43-64, 2006.
- 18) Transistor Technic Edit Part, "The Handbook of Electronic Circuit Component", p. 278, 2007.