

자동차 LED 램프의 EMS 시험을 위한 조도 모니터링 자동화에 관한 연구

Study on the Illuminance Monitoring Automation for EMS Test of Automotive LED Lamp

최성현*** · 김원진* · 박현우* · 박용배**

Sung-Hyun Choi*** · Won-Jin Kim* · Hyun-Woo Park* · Yong-Bae Park**

요 약

자동차 LED 램프의 EMS(electromagnetic susceptibility) 시험 시, 정상 동작 상태와 성능 저하를 모니터링하기 위해 조도 계나 전류계를 사용할 수 있지만, EMS 시험 노이즈 환경에서 사용하기에 적합하지 않아 사람의 눈에 의존하여 조도를 모니터링하는 것이 현실이다. 하지만 사람의 눈을 이용하여 조도 모니터링을 수행할 경우, 정상 동작 판단 기준이 모호하고, 시험 엔지니어의 시력, 눈 깜박임, 눈의 피로 등의 요인으로 인하여 정확한 모니터링을 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 챔버 내부의 EMS 시험 노이즈 간섭을 회피하면서 자동차 LED 램프의 조도를 정량적으로 모니터링할 수 있는 자동화 시스템을 제안한다.

Abstract

When testing the EMS of an automotive LED lamp, light meters or ammeters can be used to monitor the normal operation conditions and performance degradation. However, in reality, illuminance is monitored by relying on human eyes because they are not suitable for use in an EMS test noise environment. If illuminance is monitored by using human eyes, the judgment criterion of normal operation is vague, and accurate monitoring is impossible owing to factors such as vision, blink of an eye, and eye fatigue of the test engineer. In this paper, we propose an automation system that can quantitatively monitor the illuminance of an automotive LED lamp while avoiding EMC test interference inside the chamber.

Key words: Electromagnetic Susceptibility, Automotive LED Lamp, Illuminance Monitoring

I. 서 론

LED(light emitting diode)는 기존 광원대비 월등한 고효

율, 반영구적인 수명, 저 전력 소모 등의 많은 장점을 가지고 있다^[1]. 자동차 산업에서는 하이브리드(hybrid) 자동차와 전기 자동차 개발과 더불어 일반 차량에 탑재되는

「이 연구는 (주)에이치시티 EMC시험센터에서 연구되었음.」

* (주)에이치시티(HCT)

** 아주대학교 IT융합대학원(Graduate School of IT Convergence, Ajou University)

· Manuscript received January 20, 2021 ; Revised January 25, 2021 ; Accepted February 24, 2021. (ID No. 20210120-006)

· Corresponding Author: Yong-Bae Park (e-mail: yongb@ajou.ac.kr)

전자제어 부품이 증가하면서 점차 고성능, 고효율의 LED를 사용하게 되었다^[2]. 특히 LED는 칩 사이즈(size)가 작고 유연한 디자인이 가능하여 그림 1과 같이 많은 완성차 업체들이 자신들만의 독특한 디자인을 구현하기 위해 LED 램프(lamp)를 적용하고 있다^{[3],[4]}.

자동차 LED 램프는 장거리 투사를 통한 선명한 시야 확보, 뛰어난 내구성으로 관리비용 절감, 빠른 응답속도와 높은 색온도 표현으로 후속 충돌 사고 방지 등의 기술적 장점을 가지고 있다^{[2],[5]}. 이러한 장점을 통해 기존의 할로겐(halogen) 램프와 HID(high intensity discharge) 램프를 빠르게 대체하고 있으며, 이에 따라 자동차 LED 램프의 EMC 인증 사례가 지속적으로 증가하고 있다.

EMS 시험은 EMC 인증의 한 분류로서 여러 가지 형태의 전자파 장애가 방출되는 환경에서 피시험기기(EUT, equipment under test)의 정상 동작 상태와 성능 저하를 검증하는 시험이다^{[6],[7]}. 대표적으로 규정 출력의 전자파를 안테나(antenna)를 이용하여 공기 중에 복사시키는 RS(radiated susceptibility) 시험과 프로브(probe)를 이용하여 케이블에 전도시키는 CS(conducted susceptibility) 시험이 있다^{[8],[9]}. 자동차 LED 램프의 EMS 시험 시, 정상 동작 모니터링(monitors)을 위해 조도계나 전류계를 사용할 수 있지만, 조도계는 RS 시험 노이즈(noise)에 대한 완벽한 내성을 확보하기 어렵고, 전류계는 케이블에 전도되는 CS 시험 노이즈로 인하여 정확한 전류 측정이 불가능하기 때문에 사람의 눈에 의존하여 조도 모니터링을 수행하는 것이 현실이다.

사람의 눈을 이용하여 조도 모니터링을 수행할 경우, 정상 동작 판단 기준이 모호하고, 시험 엔지니어(engineer)의 시력, 눈 깜박임, 눈의 피로 등의 요인으로 인하여 정

확한 모니터링을 할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 미국의 Michigan Scientific Corp.는 전자파 노이즈에 높은 내성을 지닌 아날로그 빛 전송기를 개발하였다. 아날로그 빛 전송기는 EMS 시험 환경에서도 조도를 측정할 수 있지만, 특정 위치에 대한 정확한 조도 측정이 불가능하고, 다채널 측정이 불가능하기 때문에 두 종류 이상의 조도는 측정이 불가능하다는 한계가 있다. 따라서 다양한 조명 기능을 지닌 자동차 LED 램프의 한 가지 조명 기능만 켜서 EMS 시험을 진행해야 하므로 실제 자동차 LED 램프의 동작조건에 적합하지 않으며, 각 조명 기능에 대한 EMS 시험을 반복적으로 진행해야 하므로 시간적인 측면에서 비효율적이다. 또한 EMS 시험 시스템과 독립적으로 동작하기 때문에 사람의 눈이 모니터링에 반드시 관여해야 한다.

본 논문에서는 위에서 설명한 바와 같이 사람의 눈이 LED 램프의 EMS 시험에 관여하는 문제점을 해결하기 위해 광케이블과 광전소자를 이용하여 챔버(chamber) 내부의 EMS 시험 노이즈 간섭을 회피하면서 빛의 밝기를 전압으로 변환할 수 있는 4채널 조도 모니터를 설계하고, 기존에 존재하는 EMS 시험 시스템과 통합하여 EMS 시험과 동시에 정량적인 조도 모니터링이 가능한 자동화 시스템을 제안한다.

II. 조도 측정 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 시스템의 기본 원리는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 광케이블을 이용하여 빛을 감지하고, 조도 모니터를 통해 측정 가능한 전압으로 변환한다.

2-1 조도 모니터

조도 모니터는 AC Line Filter와 SMPS를 이용한 전원

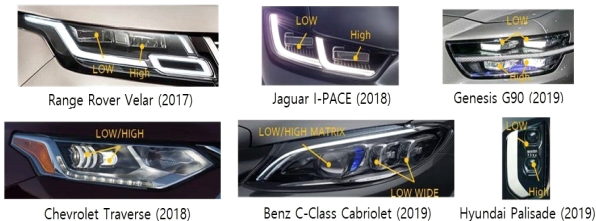


그림 1. 다양한 자동차 LED 램프 디자인^[4]
Fig. 1. Various automotive LED lamp designs^[4].

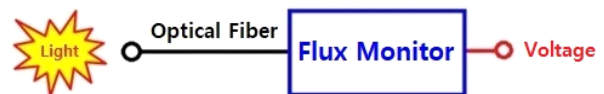


그림 2. 조도 모니터의 기본원리
Fig. 2. Basic principles of illuminance monitor.

부와 광전소자, Op Amp, 가변저항으로 이루어진 변환부로 구성한다. 전원부에서 AC Line Filter는 전원선을 통하여 들어오는 노이즈를 제거하거나, 내부 노이즈가 밖으로 나가는 것을 차단한다^[10]. SMPS는 일반적인 AC-DC Converter 역할을 수행하며, Filter로부터 1차 정류된 AC 전원을 DC 전원으로 변환하여 변환부 PCB에 전원을 공급한다. 변환부의 광전소자는 헤드램프(headlamp)의 상향 등처럼 밝은 광원을 측정하기 위한 포토다이오드 또는 리어램프(rearlamp)의 차폭등처럼 어두운 광원을 측정하기 위한 포토트랜지스터를 사용한다. 광전소자와 가변저항은 그림 3과 같이 구성하며, 광전소자에 빛을 비추면 전류가 발생하고, 이때 Anode 또는 Emitter 단의 가변저항 R_L 에 걸리는 전압을 OP Amp의 입력전압으로 사용한다^[11]. 여기서 가변저항 R_L 은 1차적으로 빛에 의해 걸리는 전압 V_O 를 조절한다. 즉, 가변저항을 통해 조도에 대한 민감도를 조절한다.

Anode 또는 Emitter 단의 가변저항 값을 높이면 R_L 에 걸리는 전압을 높일 수 있지만, 가변저항의 값이 커질수록 R_L 에 걸리는 기준 전압도 높아진다. 따라서 조도에 대한 측정 범위가 좁아지기 때문에 무한히 높은 저항을 사용하는 것은 좋지 않고, 적절한 범위 내의 가변저항을 사용해야 한다. R_L 에 걸리는 전압 V_O 는 미세한 값이므로 OP-Amp를 이용하여 증폭하고, 위상이 변하지 않도록 그림 4와 같이 비반전 증폭회로를 구성한다.

위와 같은 방법으로 동일한 4개의 채널을 만들고, 과전

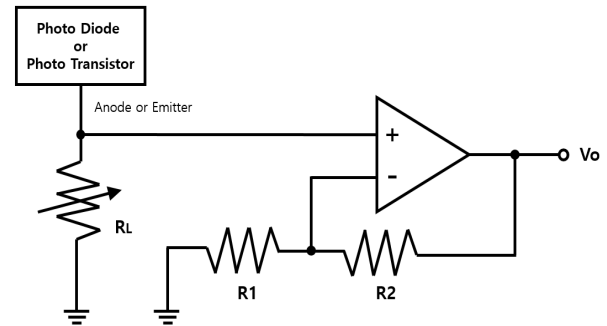


그림 4. 비반전 증폭기 추가 회로

Fig. 4. Non-inverted amplifier addition circuit.

압 차단과 노이즈 정류를 위한 제너다이오드와 캐패시터를 사용하여 변환부 PCB를 완성한다.

4채널 조도 모니터의 기구 설계는 내부 PCB가 외부 노이즈로부터 쉴드(shield) 되도록 금속재질을 사용한다. 입출력 포트와 조도 민감도를 조절할 수 있는 가변저항을 위해 기구의 전면과 후면을 가공하여 그림 5 및 그림 6과 같이 조도 모니터의 기구 설계를 완성한다.

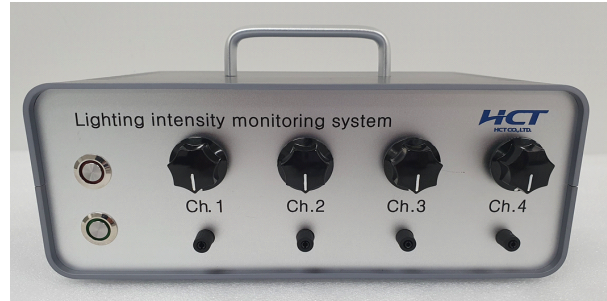


그림 5. 조도 모니터 전면

Fig. 5. Illuminance monitor front.

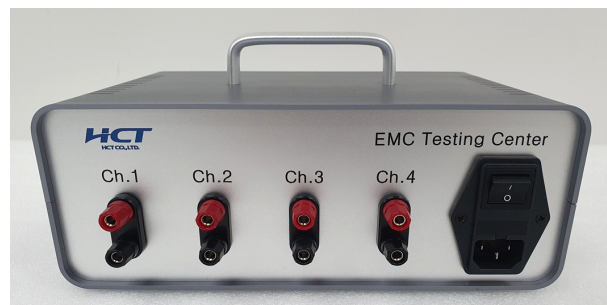


그림 6. 조도 모니터 후면

Fig. 6. Illuminance monitor back.

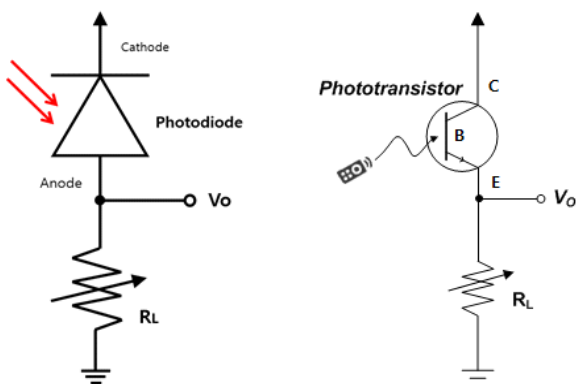


그림 3. 광전소자와 가변저항 회로^[11]

Fig. 3. Circuit of photoelectric element and VR^[11].

2-2 광케이블

본 시스템은 비교적 가격이 저렴한 POF(plastic optical fiber)를 사용하여 조도를 측정한다. 이때 광케이블의 양 끝단은 그림 7의 절단 예시 그림 7(a)와 같이 반듯하게 절단해야 한다. 이 절단면에 따라 광원으로부터 측정하는 빛의 양과 광전소자에서 얻는 조도 민감도가 달라진다.

광원을 측정하는 광케이블 단면은 그림 8과 같이 광케이블 커넥터를 결합하여 보호하고, 반대쪽 단면은 그림 9와 같이 조도 모니터와 연결한다. 이때 광케이블이 심하게 구부러지거나 꺾이게 되면 광손실이 발생하여 조도 측정에 문제가 발생하므로 광케이블에 손상이 가지 않도록 주의한다.

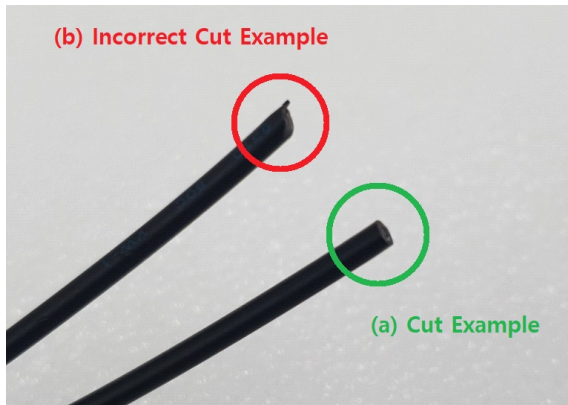


그림 7. 광케이블 절단
Fig. 7. Optical fiber cable cutting.

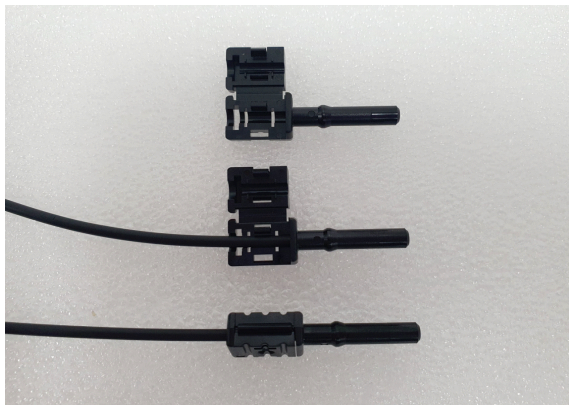


그림 8. 광케이블 커넥터
Fig. 8. Optical fiber cable connector.

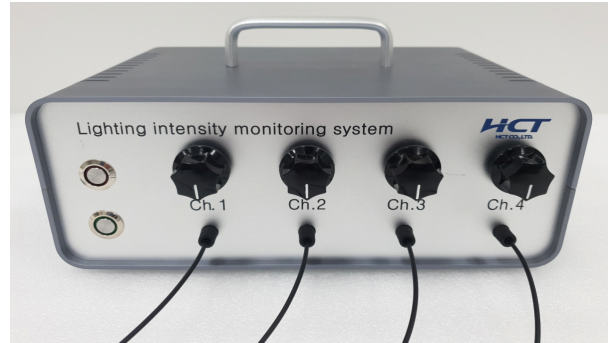


그림 9. 광케이블 연결
Fig. 9. Connection of optical fiber cable.

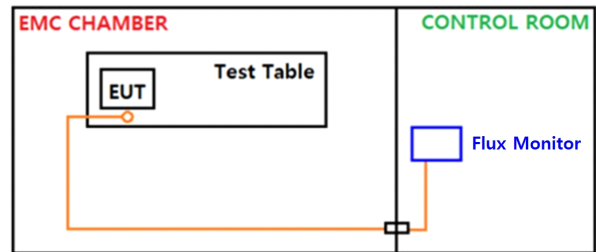


그림 10. 광케이블 연결도
Fig. 10. Connection diagram of optical fiber cable.

플라스틱 광케이블은 그림 10과 같이 챔버 내부의 피시험기로부터 외부 컨트롤 룸(control room)의 조도 모니터와 연결되며, 광케이블의 전반사 특성을 통해 피시험기 광원의 빛은 EMS 시험 노이즈 영향을 받지 않고 조도 모니터까지 전달된다.

2-3 고정 스탠드

조도를 모니터링하기 위해 측정하려는 광원에 광케이블을 고정해야 한다. 만약 광케이블과 조도 모니터를 연결한 상태에서 경미한 흔들림이 발생하면 조도 모니터에서 출력되는 전압은 크게 흔들리게 된다. 이때 발생하는 전압 변동이 EMS 시험 노이즈로 인한 피시험기의 조도 변화에 의한 것인지, 광케이블의 흔들림으로 인한 것인지 판단이 불가능하므로 광케이블을 고정하여 피시험기의 조도 변화에 의해서만 출력 전압이 변동되도록 한다.

광케이블을 고정하는 방법은 여러 가지 방법이 있지만, 금속과 같은 도전성 물질의 사용은 피해야 한다. 전자

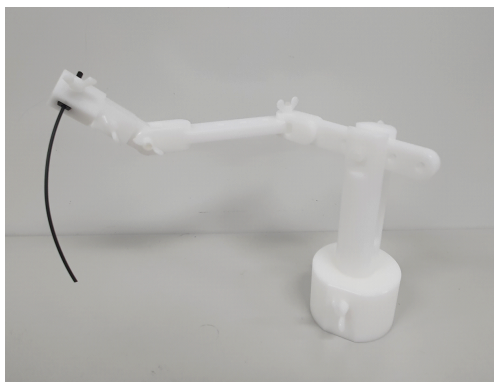


그림 11. 광케이블 고정 스탠드
Fig. 11. Fixation stand for optical fiber cable.

파의 전반사 특성으로 인하여 금속과 같은 도전성 물질을 이용하여 광케이블을 고정하게 되면 피시험기에 인가하는 EMS 시험 노이즈 일부가 반사되어 EMS 시험 신뢰성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비 도전성 물질로 유전율이 $3.7 \epsilon_0$ 특성을 지닌 폴리아세탈을 활용하여 X, Y, Z 축으로 각도 조절이 가능한 광케이블 고정 스탠드를 그림 11과 같이 제작하였다.

Ⅲ. 조도 모니터링 자동화 통합 시스템 구현 및 결과

3-1 조도 모니터 성능 검증

조도 모니터링 자동화 통합 시스템 구현에 앞서 조도 모니터의 성능 검증이 필요하다. 이를 위해 밝기 조절이 가능한 광원과 기준 데이터(data)를 통해 빛의 밝기 변화에 따라 조도 모니터가 정확한 전압을 출력하는지를 확인한다. 본 논문에서는 5단계에 걸쳐서 밝기 조절이 가능한 스마트폰 손전등 LED를 광원으로 이용하고, 일반 조도계를 기준 데이터로 활용하여 EMS 시험 노이즈가 없는 환경에서 광원의 밝기 변화에 따른 조도 모니터와 조도계의 비교 데이터를 수집하였다.

성능 검증을 위해 그림 12와 같이 스마트폰 손전등 LED를 조도 측정 광원으로 설정하여 고정시키고, 그림 13과 같이 조도 모니터와 조도계의 조도 측정부를 광원으로부터 동일선상에 위치하도록 하였다. 이후 스마트폰 손전등의 빛의 세기를 가장 밝은 5단계부터 가장 낮은 1 단계까지 순차적으로 줄이면서 조도계 측정값과 오실로

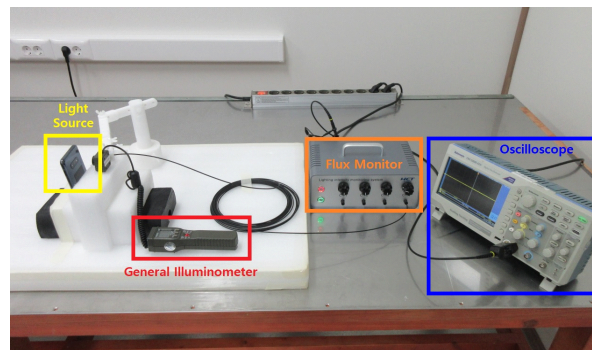


그림 12. 성능 검증 셋업 (1)
Fig. 12. Performance verification setup (1).



그림 13. 성능 검증 셋업 (2)
Fig. 13. Performance verification setup (2).

스코프 측정 전압값을 확인하였다. 이때 조도 모니터의 출력 전압은 오실로스코프(Oscilloscope)의 RMS(실효값) 기능을 이용하여 측정하였다.

표 1은 조도계와 조도 모니터의 조도 측정 결과이며,

표 1. 조도 측정 결과

Table 1. Measurement result of illuminance.

Lantern brightness	Illuminometer measurement value (Lux/%)		Flux monitor output value (V/%)		Error rate (%)
5 Level (standard)	1,955	100	8.02	100	N/A
4 Level	1,547	79.13	6.41	79.93	0.8
3 Level	901	46.09	3.77	47.01	0.92
2 Level	676	34.58	2.82	35.16	0.58
1 Level	450	23.02	1.82	22.69	0.33

조도 모니터는 조도계 대비 오차율이 1 % 미만의 성능을 보인다. 따라서 광케이블과 조도 모니터를 이용하여 EMS 시험 환경에서도 조도계와 동일한 수준으로 피시험기기의 조도를 측정할 수 있다.

3-2 조도 모니터링 자동화 시스템 구현

본 논문에서 목표로 하는 시스템은 기존에 존재하는 EMS 시험 시스템과 조도 모니터, 오실로스코프를 통합하여 EMS 시험을 수행하면서 자동으로 조도 모니터링이 가능하도록 한다. 이를 위해 신호발생기(signal generator), 전력증폭기(amplifier), 전력 측정기(power meter) 등의 장비들이 GPIB 통신으로 연결되어 있는 EMS 시험 시스템과 조도 모니터의 출력전압을 측정하는 오실로스코프를 하나의 GPIB 통신으로 연결한다. 본 논문에서는 주요 EMS 시험 중 RS 시험 시스템에 한하여 조도 모니터링 자동화 통합 시스템을 구현한다. 시험 소프트웨어(software)는 Rohde & Schwarz의 EMC32 프로그램(program)을 사용하며, 프로그램에서 RS 시험에 조도 모니터링 자동화 기능을 추가하는 방법에 대하여 설명한다.

‘GPIB USB HS’를 오실로스코프 후면의 GPIB 포트(port)에 물리적으로 연결하고, EMC32 프로그램의 ‘Device List’ 옵션(option)에서 GPIB 통신으로 연결된 오실로스코프를 그림 14와 같이 추가한다.

EMC32 프로그램에서 오실로스코프 동작과 모니터링 방법에 대한 설정을 위해 ‘Test Template’의 ‘EUT Monitoring’ 파일을 생성하고, 다음 설명과 같이 세부설정을 입력한다.

그림 15의 ‘After Dwell’은 EMS 노이즈 인가 후 모니터링 데이터(data)를 수집하도록 만드는 옵션이고, 그림 16의 ‘Value Range’는 기준 모니터링 전압 대비 원하는 변동

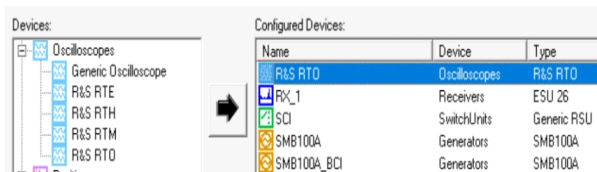


그림 14. 오실로스코프 추가
Fig. 14. Oscilloscope add.

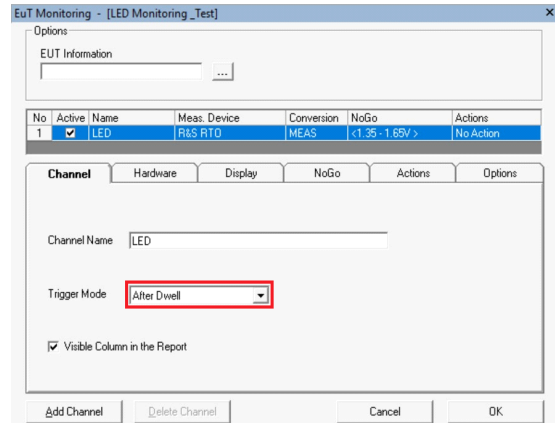


그림 15. 모니터링 타이밍 설정
Fig. 15. Monitoring timing setting.

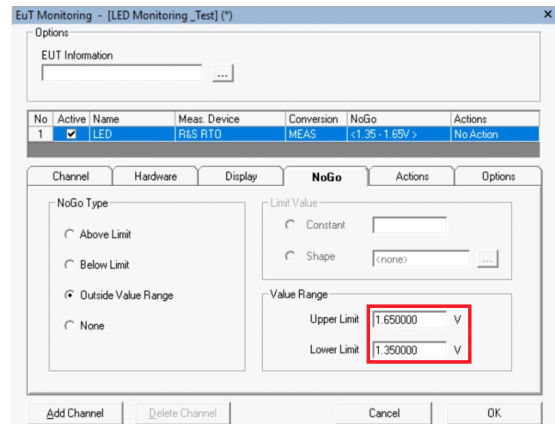


그림 16. 변동 허용치 설정
Fig. 16. Variation limit setting.

허용치를 지정하는 옵션이다. ‘Value Range’ 옵션을 통해 조도 밝기에 대한 정확한 판단 기준을 설정할 수 있다. 본 논문에서는 조도 모니터링에 대한 기준 전압을 1.5 V로 설정하고, 변동 허용치는 10 %로 설정한다.

마지막으로 오실로스코프 동작에 관하여 설정 후 ‘EUT Monitoring’ 파일에 관한 설정을 마치고, RS 시험의 ‘EUT Monitoring Parameters’ 옵션에 생성한 ‘EUT Monitoring’ 파일을 추가하면 RS 시험 파라미터와 모니터링 전압에 대한 파라미터로 나뉘어 표현된다.

EMC32 프로그램 설정 후 조도 모니터와 광케이블까지 물리적으로 연결하면 RS 시험과 동시에 조도 모니터링을

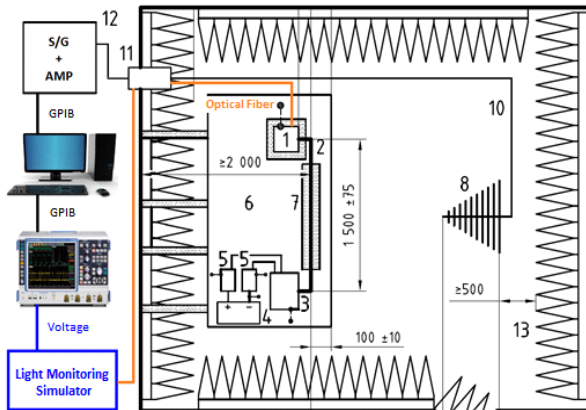


그림 17. 통합 시스템의 연결 구조
Fig. 17. Connection structure of integration system^[8].

할 수 있다. 이러한 RS 시험에 조도 모니터링 자동화 기능이 추가된 통합 시스템의 연결 구조는 그림 17과 같이 나타낼 수 있다.

3-3 조도 모니터링 자동화 결과

본 논문에서 제안하는 통합 모니터링 자동화 시스템을 이용하여 자동차 LED 헤드램프의 야간 주행 모드에 대한 조도 모니터링을 진행하였다. 그 결과, 그림 18과 같이 RS 시험과 동시에 자동차 LED 헤드램프의 상향등, 하향등, 차폭등의 조도 모니터링이 자동으로 수행되었다. 이 과정에서 그림 19와 같이 사람의 눈으로는 인지할 수 없지만 EMS 시험 노이즈로 인한 LED 광원의 경미한 이상

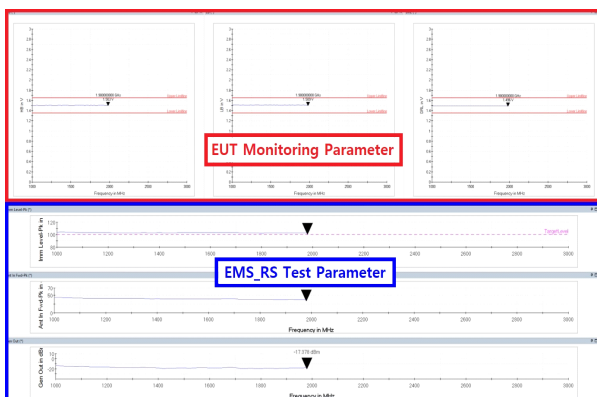


그림 18. LED 헤드램프의 조도 모니터링
Fig. 18. Illumination monitoring for LED headlamp.

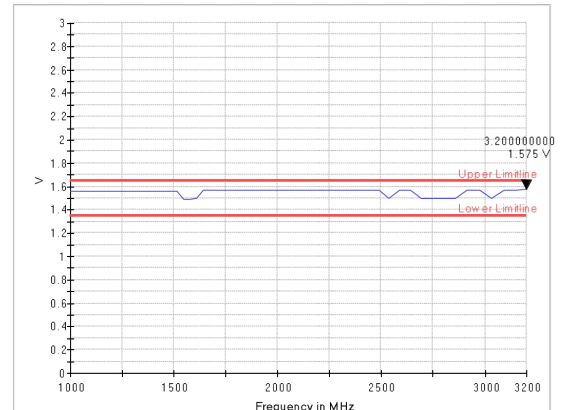


그림 19. 경미한 이상 동작 모니터링 결과
Fig. 19. Monitoring result of slight abnormal operation.

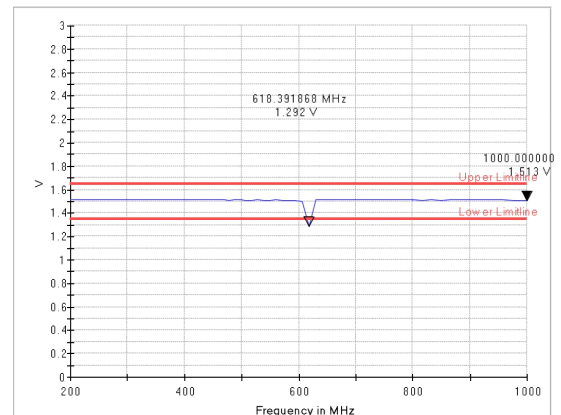


그림 20. 오동작 모니터링 결과
Fig. 20. Monitoring result of malfunction.

동작을 확인하였다. 또한 그림 20과 같이 정상 동작 범위를 초과하여 오동작이 발생한 지점에 대한 RS 시험 주파수 정보를 확인하였고, 전압 정보를 통해 13.87 %의 조도 변화율을 확인하였다. 그림 21은 자동차 LED 램프의 정상동작 모니터링 결과를 나타낸다.

그림 22와 표 2는 RS 시험 중 자동차 LED 헤드램프의 조도 변화율이 가장 높은 시험 주파수 918.95 MHz에서 오동작을 재현하고 임계값을 측정된 결과이며, 오동작이 발생하는 200 V/m 전계에서 3회 동안 오차율이 1 % 미만의 조도 변화가 재현되었다. 자동차 LED 램프의 오동작은 램프가 꺼지는 경우도 있지만, 조도가 지속적으로 흔들리는 오동작의 경우 정확한 임계값을 확인하기 어렵다.

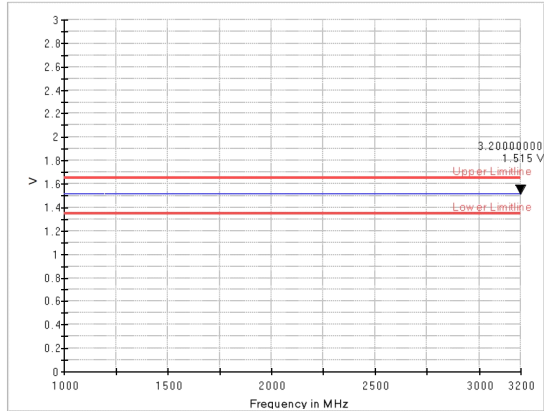


그림 21. 정상 동작 모니터링 결과
Fig. 21. Monitoring result of normal operation.

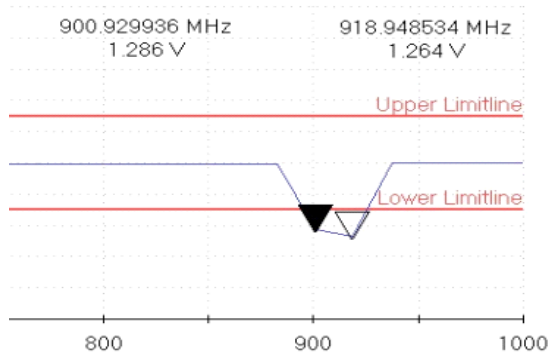


그림 22. 오동작 대역 (900.93~918.95 MHz)
Fig. 22. Malfunction band (900.93~918.95 MHz).

표 2. 오동작 재현 및 임계값 확인
Table 2. Malfunction reappearance and threshold check.

Reappearance number	200 V/m electric field		Threshold	
	Illuminance variation amount (V/%)		Electric field (V/m)	Illuminance variation amount (V/%)
1st	1.264	15.73	170 V/m	1.367 V~1.372 V
2nd	1.277	14.87		8.48 %~8.82 %
3rd	1.268	15.46		Same for all 3 times
Variation limit			1.35 V / 10 %	

따라서 자동차 LED 램프의 조도가 RS 시험 노이즈에 의해 지속적으로 흔들리더라도 변동 허용치 이내의 범위

에서 흔들리는지 10 V/m 전계 간격으로 확인하였다. 그 결과 170 V/m를 임계값으로 결정하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 자동차 LED 램프의 EMS 시험을 위한 조도 모니터링 자동화 시스템을 제안하고 검증하였다. 이 시스템은 광케이블과 광전소자를 이용한 조도 모니터를 통해 챔버 내부의 EMS 시험 노이즈 간섭을 회피하면서 조도계와 동일한 수준으로 조도 측정이 가능하다.

본 논문에서 제안하는 통합 모니터링 자동화 시스템을 적용한 결과, EMS 시험과 동시에 자동차 LED 램프의 기능별 조도 모니터링이 자동으로 수행되며, 사람의 눈으로 인지하지 못하는 LED의 경미한 이상 동작이 정상 동작 범위 내에서 발생하는지를 정확하게 판단할 수 있다. 특히 정상 동작 범위를 초과하여 조도가 변화하는 오동작을 정확하게 감지할 수 있으며, 해당 오동작의 EMS 시험 주파수 정보를 기록할 수 있어서 추후 현상을 재현하거나 임계값을 확인하기에 용이하다. 본 시스템은 자동차 LED 램프의 조도 모니터링을 위해 아날로그 빛 전송기를 이용하더라도 사람의 눈이 반드시 관여해야 하는 기존 방식에서 벗어나 사람이 관여하는 부분을 완전히 제거하여 정량적인 조도 모니터링을 자동으로 수행한다는 점에서 의미가 있다. 또한 일반 조명기기의 조도 모니터링에 적용 가능할 뿐 아니라, 최대 4가지 종류의 조도를 동시에 모니터링할 수 있어서 다양한 조명 기능을 지닌 자동차 LED 램프의 실제 동작 조건을 충족시킬 수 있고, 전체적인 EMS 시험 시간을 줄일 수 있다.

본 시스템은 방향지시등과 같은 동적 LED 동작의 경우 깜박이는 동작과 조도 모니터링 데이터를 수집하는 타이밍(timing)의 불일치로 인하여 적용에 제한적이다. 방향지시등의 조도 모니터링을 위해 조도 모니터와 오실로스코프를 이용하여 자동차 법규에 해당하는 400 ms 주기의 구형파를 확인할 수 있지만, 시험 엔지니어가 직접 눈으로 모니터링을 수행해야 하는 한계가 있다. 하지만 향후 Rohde&Schwarz의 EMC32 프로그램에 구형파의 주기 데이터를 수집할 수 있는 오실로스코프 옵션이 추가된다면 방향지시등의 조도 모니터링 자동화도 충분히 가능할 것으로 예상된다.

References

- [1] H. S. Geum, S. H. Choi, J. G. Yang, and I. S. Kim, "A study on the standardization of radiated emission measurement of LED lighting equipment with long load lines," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 1, pp. 66-74, Jan. 2013.
- [2] J. G. Jang, "Study on the development of high-efficiency LED fog lamp for vehicles," M.S. thesis, Kongju National University, Kongju, Korea, 2015.
- [3] J. H. Kim, "A study on the proper warming-up time of EMI test of LED lighting equipments," M.S. thesis, Dankook University, Youngin, Korea, 2017.
- [4] H. W. Jeong, K. Y. Kim, and H. M. Lee, "Research of cap plate via hole PCB for automotive LED lamp," in *Annual Conference of the Korean Society of Automotive Engineers*, May. 2019, pp. 643-644.
- [5] M. K. Kang, Y. H. Kim, "A study on introduction of domestic temperature reliability test standard of LED package for automobile headlamp," M.S. thesis, Incheon National University, Incheon, Korea, 2019.
- [6] K. Y. Cho, K. K. Ryu, and U. S. Hong, "Design technology of the wideband high power amplifier for electromagnetic susceptibility measurement," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 24, no. 8, pp. 1464-1471, Aug. 1999.
- [7] J. Y. Cho, J. C. Mun, and C. K. Jung, "A study on the optimized measurements of field uniformity for electromagnetic radiated immunity test system," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 16, no. 6, pp. 622-631, Jun. 2005.
- [8] *Road Vehicles - Component Test Methods for Electrical Disturbances from Narrow Band Radiated Electromagnetic Energy - Part 2: Absorber-Lined Shielded Enclosure*, ISO 11452-2, Nov. 2004.
- [9] *Road Vehicles - Component Test Methods for Electrical Disturbances from Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - Part 4: Harness Excitation Methods*, ISO 11452-4, Dec. 2011.
- [10] J. K. Min, "A study on EMI reduction for EMC certification," M.S. thesis, Pai Chai University, Daejeon, Korea, 2016.
- [11] Y. H. Park, J. H. Han, and Y. S. Kim, "The dual-axis adjustable tracking sensor in general-purpose using phototransistor," in *Annual Conference of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Jun. 2016, pp. 2092-2093.

최 성 현 [에이치시티/대리]

<https://orcid.org/0000-0003-1771-6964>



2015년 2월: 청주대학교 전자공학과 (공학사)
 2021년 2월: 아주대학교 IT융합대학원 정보전자전공 (공학석사)
 2016년 5월~현재: (주)에이치시티 대리
 [주 관심분야] Automotive EMC, EMS, Automotive Lamp

김 원 진 [에이치시티/차장]

<https://orcid.org/0000-0001-9820-9205>



2005년 8월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
 2005년 9월~2014년 2월: 현대자동차 연구소 책임연구원
 2014년 3월~2018년 12월: (주)이엔알 팀장
 2019년 1월~현재: (주)에이치시티 차장
 [주 관심분야] EMC, Automotive Testing

박 현 우 [에이치시티/이사]

<https://orcid.org/0000-0002-5684-6369>



1993년 2월: 아주대학교 제어공학과 (공학사)

2001년 2월: 아주대학교 정보전자공학 (공학석사)

1995년 8월~2016년 9월: 삼성자동차 수석연구원

2016년 10월~현재: (주)에이치시티 EMC

시험센터장
[주 관심분야] EMC

박 용 배 [아주대학교 전자공학과/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7095-4614>



1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2003년 2월~2006년 8월: KT 인프라연구

소 선임연구원
2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 전자장 해석, EMI/EMC