

## 조명기기의 임펄스내전압 성능의 분석

(Analysis of Impulse Withstand Voltage Performance of Lighting Equipment)

이복희\* · 방평호

(Bok-Hee Lee · Pyung-Ho Pang)

### Abstract

Modern electronic circuits are becoming more vulnerable to damage by surges, and it is required to improve the impulse withstand voltage performance of electrical and electronic equipment. This paper presents the impulse withstand voltage performance of lighting equipment connected to power lines, and the impulse withstand voltage tests for fluorescent lamp, LED lamp and halogen lamp were carried out according to the reference standards under normal service conditions. To conduct performance tests against lightning surge, a combination wave (1.2/50 $\mu$ s voltage - 8/20 $\mu$ s current) was employed. The test surge was applied between lines or between line and ground of the specimen to be measured. The test surge was applied synchronized at the peak value of the positive and negative AC voltage waves. As a consequence, some specimens satisfied the impulse withstand voltage test criteria, but lighting equipment such as 36W fluorescent lamps, 5W and 5.5W LED lamps and 50W halogen lamp were damaged at the test voltage levels between power lines. It is needed to improve the qualities of lighting equipment to satisfy EMC immunity requirements of equipment for general lighting purposes.

Key Words : Lighting Equipment, Fluorescent Lamp, LED Lamp, Halogen Lamp,  
Combination Wave Generator, Impulse Withstand Voltage Level

### 1. 서 론

최근 정보화 시대에 들어서면서 반도체 및 집적회로의 기술이 고도로 발전함에 따라 초소형, 초고속 소자

\* 주(교신)저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학과 교수  
\* Main(Corresponding) author : Professor,  
Department of Electrical Engineering, Inha University  
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822  
E-mail : bhlee@inha.ac.kr  
접수일자 : 2014년 2월 3일  
1차심사 : 2014년 2월 5일  
심사완료 : 2014년 2월 19일

들이 개발되어 각종 산업시스템에 적용되어 사회시스템이 빠르게 진전하고 있으며, 기후 변화로 인해 낙뢰의 발생 빈도가 증가하여 뇌서지에 의한 저압 전기설비에 대한 피해가 급속히 증가하고 있다. 즉 저압 전기설비 중의 하나인 조명기기도 반도체를 기반으로 제조하므로 서지에 대한 내성은 현격히 저하되었다. 뇌서지 및 개폐서지 등에 의해 발생하는 서지는 반도체 기반의 조명기기를 손상시킬 수 있을 정도의 큰 에너지를 발생시킨다. 뇌서지 및 개폐서지 인한 과전압에 대해 저압 전기설비를 보호하기 위한 과전압 범주

를 정해두어 건축물 내부에 설치되는 기기에 필요한 정격임펄스 내전압을 차등적으로 적용하고 있다[1-5]. 저압 기기의 임펄스내전압은 규정 조건하에서 절연과 파괴를 일으키지 않으며, 규정된 형태와 극성의 임펄스 전압의 첨두값으로 제조업체에서 기기나 그 부품에 지정한 임펄스내전압이다[6]. 공칭전압에 따라 선정되는 기기의 임펄스내전압은 전원공급의 연속성과 허용 가능한 사고위험에 대한 기기의 서로 다른 수준의 이용률을 구별하기 위해서 제공되는 것으로 특정 분류의 임펄스내전압의 기기를 선정함으로써 설비 전체에 대한 절연협조가 가능하며 사고의 위험을 어떤 허용 수준으로 낮출 수 있다. 최근 LED램프를 비롯하여 반도체를 이용한 조명기기도의 개발과 보급으로 서지전압에 대한 조명기기의 서지에 대한 내성이 점차 약해지고 있으며, 서지전압에 의한 조명기기의 파손이 증가되고 있어 서지에 대한 내성이 요구되고 있으며, 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다[7-9]. 뇌과전압이나 이상전압으로부터 전자식 조명기기를 보호를 위해 임펄스내전압 성능이 어느 정도인가를 실험적으로 평가할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 시판되고 있는 전자식 조명기기의 임펄스내전압 성능의 신뢰성을 평가하기 위한 목적으로 조명기기의 성능에 관한 한국산업표준[10-12]에 따라 조명기기별 임펄스내전압 성능을 분석하였다. 시료로는 전자식 형광등, LED램프, 할로겐램프 등에 대하여 각각 3개씩의 시료에 대하여 임펄스내전압 성능을 시험하였고, 그 결과를 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

조명기기도 저압 전기설비의 일종으로 한국산업표준에 규정되어 있는 저압 개폐장치 및 제어장치, 조명기기 - 전자기 내성, 전기자기적합성-시험 및 측정기술: 서지내성시험[11,13,14] 등에 따른 임펄스내전압 성능의 평가에 대한 시험방법을 적용하였으며, 이 시험회로의 개략도는 그림 1과 같다.

서지시뮬레이터는 임펄스시험에 요구되는 조합파

(combination wave)를 발생시킬 수 있는 임펄스발생장치로 내부임피던스는 2Ω이며, 단락상태에서 8/20μs, 5kA의 임펄스전류를 발생시킬 수 있고, 개방상태에서 1.2/50μs, 10kV까지의 임펄스전압을 발생시킬 수 있다.

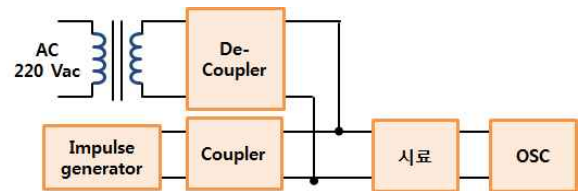


그림 1. 임펄스내전압성능을 평가하는 시험회로도  
Fig. 1. Test circuit diagram for examining the impulse withstand voltage performance

실제 전원계통에서 운전 중에 발생하는 뇌서지에 대한 시험전압 및 전류 파형과 동일하게 적용하였다[14]. 본 연구에서 사용한 조합파 발생장치와 측정장비의 명세를 표 1에 나타내었다.

표 1. 조합파 발생장치와 측정장비의 명세  
Table 1. Specifications of combination wave generator and measuring instruments

장 비 명	규 격
임펄스전압 발생장치	충전전압 10kV, 8/20μs, 5kA의 임펄스전류, 1.2/50μs, 10kV의 임펄스전압
오실로스코프	주파수대역: 0 - 1GHz, 4 Channel, 5GS/s sample rate
능동성 프로브	50MHz, 최대 5.6kV, 공통(RMS)
클램프형 변류기	Pearson Current Monitor, 10MHz 10kA

시료는 국내에서 시판되고 있는 조명기기를 선정하였으며, 정격전압 AC 220V, 60Hz인 형광등 25W(안정기 내장형), 20W, 36W(안정기 별도), 5W, 5.5W, 5.68W, 6.5W의 구동회로 내장형 LED램프, 50W(안정기 별도) 할로겐램프에 대하여 임펄스내전압 성능을 시험하였다.

## 2.2 실험방법

현재 시판되고 있는 대표적인 조명기구 조명기기의 임펄스내전압 성능을 평가하여 전자기 내성의 검증을 위한 시험을 표 2의 한국산업표준에 규정된 시험방법과 조건[11,15]에 따라 수행하였다. 조명기구 조명기기가 점등상태일 때 입사된 서지전압에 대한 내성을 평가하는 것으로 정극성과 부극성 임펄스전압을 AC 전원전압 파형의 영(0)점과 피크값에 중첩시켜 각각 5회씩 시험하였다. 입사된 임펄스전압에 대한 시험대상 조명기구 조명기기의 단자전압과 전류를 관측하고 시험결과를 검토하였다.

표 2. 교류전원에서 서지시험조건  
Table 2. Surge test conditions in AC mains

특 성	조명기기			
	안정기 내장형 램프 및 반(semi) 등기구	등기구 및 개별 부속품		
		입력 전원		
임펄스파형	1.2/50 $\mu$ s			
시험 레벨	선 간	0.5kV	0.5kV	1.0kV
	선과 접지 간	1.0kV	1.0kV	2.0kV
		$\leq 25$ W	$> 25$ W	

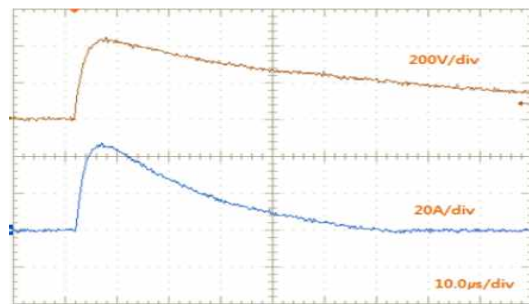
## 3. 결과 및 검토

### 3.1 형광등의 임펄스내전압 성능

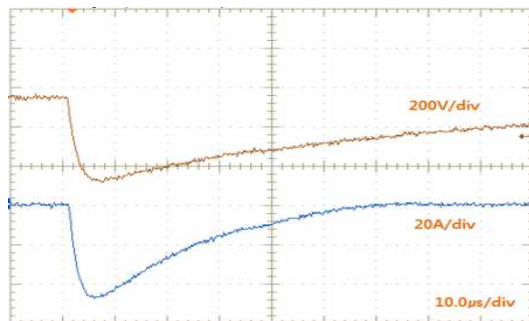
점등상태인 형광등에 입사된 임펄스전압에 대한 내성을 검증하기 위하여 정·부극성의 임펄스시험전압을 AC 전원전압 파형의 피크값과 영점(0°, 90°, 270°)에 중첩시켜 각각 5회씩 공급하였다. 220V, 60Hz, 20W 형광등에 정·부극성 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 공급한 때 단자전압과 전류 파형의 대표적인 예를 그림 2에 나타내었다. 임펄스전압에 의해 흐르는 전류는 거의 비례적인 형상을 나타내어 입력임피던스가 저항성

에 가까운 것으로 볼 수 있다.

20W인 안정기 비내장형 형광등(탁상용 형광등)과 25W인 안정기 내장형 형광등에 대하여 선간 및 선과 접지사이에 AC 전원 전압 파형의 피크값과 영점에 각각 0.5kV, 1.2/50 $\mu$ s, 1kV, 1.2/50 $\mu$ s의 임펄스전압이 중첩된 시험전압을 공급하였을 때 파괴 방전이 발생하거나 소손되지 않았다. 시료 형광등의 안정기가 소손되지 않았으므로 입사시킨 전압과 전류 파형은 그림 2와 거의 동일하였으며, KS C IEC 61547 표준의 요건을 충족하는 것으로 나타났다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 2. 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 대한 20W 형광등의 단자전압과 전류 파형의 예

Fig. 2. Typical waveforms of the terminal voltage and current when the 1.2/50 $\mu$ s impulse voltage was applied to the 20W fluorescent lamp

36W인 안정기 비내장형 형광등 3개의 시료는 220V의 선간전압의 피크점에 1kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중첩시켜 입사시킨 때 모든 시료가 2회 이내에 파손되었다. 파손되었을 때 전압과 전류 파형의 예를 그림 3에 나타내었다. 임펄스전압이 입사된 후 약 2.5 $\mu$ s 경과

시점에 절연파괴가 일어났으며, 이는 형광등의 점등과 안정된 동작기능을 유지하도록 하는 안정기의 임펄스내전압 성능이 부족한 것으로 판단된다. 충전선과 접지 간에 공급한 2kV, 1.2/50 $\mu$ s의 임펄스전압에 대하여는 파괴되거나 소손되지 않았다.

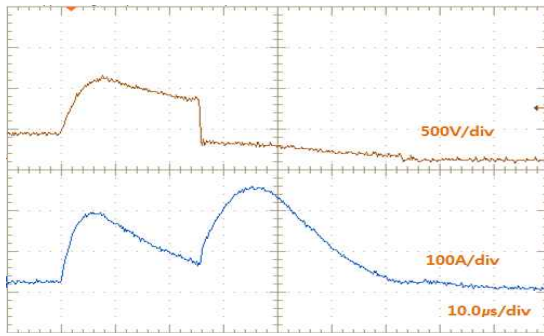
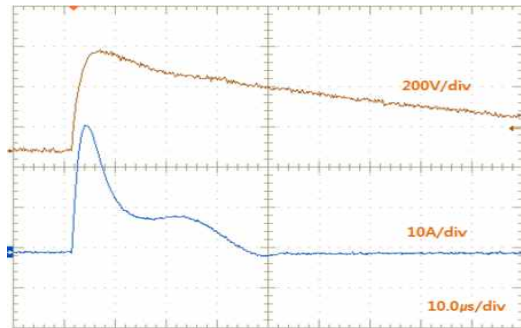


그림 3. 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 의해 형광등이 파손된 때의 전압과 전류 파형의 예  
 Fig. 3. Typical waveforms of the voltage and current when the fluorescent lamp was damaged by the 1.2/50 $\mu$ s impulse voltage waveform.

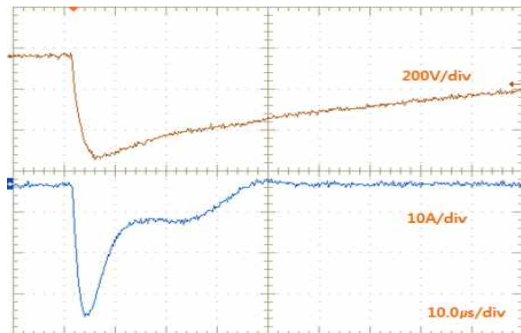
### 3.2 LED램프의 임펄스내전압 성능

일반적으로 220V 전원전압을 사용하는 범용 LED램프는 구동회로가 내장되어 있다. 220V 전원용 LED램프에 입사된 임펄스전압에 대한 내성을 검증하기 위하여 정·부극성 임펄스전압을 각각 5회씩 AC 전압 파형의 피크값과 영점(0°, 90°, 270°)에 중첩시켜 공급하였다. 220V용 LED 램프에 정·부극성 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 입사한 때 절연파괴를 일으키지 않은 경우 LED 램프의 단자전압과 전류 파형의 대표적인 예를 그림 4에 나타내었다.

1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 대하여 전류 파형은 급상승한 후 감쇠하며 진동하는 파형을 나타내었으며, 이는 입력임피던스가 커패시턴스와 인덕턴스의 병렬 조합인 것으로 추정된다. 즉 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 의해 커패시터에 흐르는 전류는  $C \frac{dv}{dt}$ 로 흐르므로 급상승하게 되며 병렬 리액턴스 또는 저항의 영향으로 감쇠적인 진동으로 변동하는 양상을 나타내게 된다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 4. 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 의한 LED램프의 단자전압과 전류 파형의 예  
 Fig. 4. Typical waveforms of the terminal voltage and current when the 1.2/50 $\mu$ s impulse voltage was applied to the LED lamp

소비전력 5W와 5.5W인 LED램프 각각 3개씩의 시료에 220V의 선간전압의 피크값에 0.5kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중첩시켜 입사시킨 때 모든 시료가 2회 이내에 파손되었으며, 파손되었을 때의 전압과 전류 파형의 예를 그림 5에 나타내었다. 임펄스전압의 입사와 동시에 구동회로의 입력부가 절연이 파괴되어 약 40A의 고장전류가 흘렀으며, 입력임피던스는 개방상태로 됨을 알 수 있다. 이러한 절연파괴는 LED램프에 내장된 구동회로의 임펄스내전압 성능이 부족한 것으로 판단된다. 즉 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압의 입사에 의한 전류 파형의 응답 양상을 보면 입력임피던스에 상응하는 커패시턴스와 리액턴스의 병렬요소는 정상적으로 동작한 것으로 볼 수 있다. LED 램프 구동회로의 파손은 입사한 임펄스전압에 기인된 반도체 소자의 기능이 소실됨에 의한 것으로 추정된다. 충전선과 접지 간

에 공급된 1kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압이 전원전압 220V의 피크에 중첩된 시험전압에 대하여 파괴 방전이 발생하거나 소손되지 않았다.

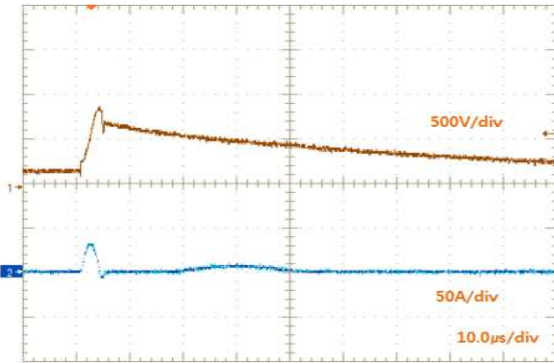


그림 5. 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 의해 LED램프가 파손된 때의 전압과 전류 파형의 예  
Fig. 5. Typical waveforms of the voltage and current when the LED lamp was damaged by the 1.2/50 $\mu$ s impulse voltage

정격전력 5.68W와 6.5W인 LED 램프 각각 3개씩의 시료에 1.2/50 $\mu$ s 임펄스 시험전압을 선간 및 선과 접지 사이의 AC 전원 전압 파형의 피크점과 영점에 중첩시켜 공급하는 내전압 성능시험에서 파괴방전이 발생하거나 소손되지 않았으며, KS C IEC 61547 표준의 요건을 충족하는 것으로 나타났다. 220V용 LED램프의 임펄스내전압 성능이 시험대상으로 한 시료 12개 중 6개가 한국산업표준의 시험규격을 충족하지 못하는 것으로 나타났으나 임펄스내전압 성능은 주로 구동회로의 전자기 내성과 관련된 것으로 판단된다.

### 3.3 할로겐램프의 임펄스내전압 성능

근래 국부조명용으로 많이 사용되어 왔던 할로겐램프에 대한 임펄스내전압 성능의 평가시험을 수행하였다. 할로겐램프에 입사된 임펄스전압에 대한 내성을 검증하기 위하여 시험전압을 정·부극성 임펄스전압을 각각 5회씩 AC 전원 전압 파형의 피크점과 영점(0°, 90°, 270°)에 중첩시켜 공급하였다.

정격출력 50W인 할로겐램프 3개의 시료에 선간전압 220 V의 피크값에 1kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중

첩시켜 공급한 때 모든 시료는 1회에 파손되었다. 할로겐램프 점등회로의 선간전압의 피크값에 정극성 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중첩시켜 입사시켜 점등회로가 파손된 때 단자전압과 전류 파형의 전형적인 예를 그림 7에 나타내었다. 할로겐램프 점등용 안정기는 전자식으로 전류 파형에서 임펄스전압의 과도부에 상응하는 첫 번째 피크는 입력단의 커패시터에 흐른 전류  $C \frac{dv}{dt}$  A이고, 임펄스전압의 파미부에서의 전류 피크는 절연파괴에 의한 방전전류이다. 따라서 점등회로의 입력임피던스는 커패시터와 리액터로 구성되어 있음을 알 수 있으며, 임펄스전압이 인가된 지 약 3.5 $\mu$ s 경과한 후 전자부품(정류기 또는 커패시터)의 소손으로 이어지는 고장으로 판단된다.

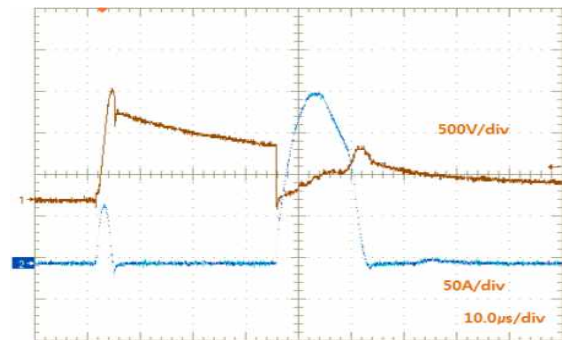


그림 6. 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압에 의해 할로겐램프가 파손된 때의 단자전압과 전류 파형의 예  
Fig. 6. Typical waveforms of the terminal voltage and current when the halogen lamp was damaged by the 1.2/50 $\mu$ s impulse voltage

## 4. 결 론

서지전압에 대한 조명기기의 임펄스내전압 성능을 평가하는 한국산업표준의 시험기준을 기반으로 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 형광등 3종의 9개 시료 중 20W 안정기 비내장형 3개와 25W 안정기 내장형 3개는 선간전압의 피크값에 0.5kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압이 중첩된 시험전압의 요구사항을 충족하였으며, 36W 안정기 비내장형 시료 3개는 선간전압의 피크값에 1kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압이 중첩된 시험전압에

서 1회~2회 이내에 파손되었다.

- (2) LED 램프 4종 12개 시료 중 5W, 5.5W LED 램프 6개의 시료는 선간전압의 피크값에 0.5kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중첩시킨 시험전압 대한 요구사항을 충족시키지 못하고 1회~2회 이내에 파손되었으며, 5.68W, 6.5W LED 램프 6개는 전자기 적합성에 대한 시험의 요구사항을 충족하였다.
- (3) 50W 할로겐램프의 시료 3개는 선간전압의 피크값에 0.5kV, 1.2/50 $\mu$ s 임펄스전압을 중첩시킨 시험전압에 대한 시험의 요구사항을 충족시키지 못하고 1회만에 모두 파손되었다.

현재 시판되고 있는 조명기기의 일부는 서지에 대한 내성을 충족시키지 못하는 제품이 공급되고 있으며, 전기재해를 예방하고, 국민의 생명과 재산 보호를 위해 내전압성능의 개선 및 보완 또는 보호대책이 필요한 것으로 판단된다. 본 논문에서는 제한된 시료에 대한 결과만을 제시하였으나 조명기기가 용량과 제조사에 따라 매우 다양한 제품이 시판되므로 보다 많은 시료에 대하여 통계적인 결과의 도출을 위한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### References

- [1] Korea Electric Association; Korea Electro-Technical Commission Guidance - Technical Guide for Selection and Application of Surge Protective Devices in Low-Voltage Power Systems, pp.10~27, 2011.
- [2] Korea Electric Association; Consumer's Electrical Installation Guide, pp.569~571, 2010.
- [3] IEC 61643-12; Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles, pp.27-57, 90-97, 2007.
- [4] The Study Committee of IEEJ, "Lightning Protection for Electrical and Electronic equipment", IEEJ, pp.265-270, 2011.
- [5] B. H Lee and H. K Shin, "Protection Characteristics of Two-Stage Cascaded SPD Systems", J. KIIEE, Vol.27, No.5, pp.95-105, 2013.
- [6] KS C IEC 60664-1; Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests, pp.4, 2009.
- [7] KS C IEC 60364-4-44; Low-voltage electrical installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances, pp.7-11, 2013.

- [8] B. H Lee, S. C Lee, "A protection of facilities for information and communication from lightning surges"; A publishing department of Inha University, pp.62-71, 169-170, 2004.
- [9] B. H. Lee, P. H. Pang, S. H. Um, and C. H. Cho, "Impulse Withstand Voltage Performance Test of Low-voltage Electrical and Electronic Equipment", Proc. KIIEE Autumn Annual Conference, pp.165-166, 2013.
- [10] KS C 8000 : Luminaires, pp.12-16, 2007.
- [11] KS C IEC 61547 ; Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements, pp.3-7, 2003.
- [12] KS C IEC 60092-306 ; Electrical installations in ships - Part 306 : Equipment - Luminaires and lighting accessories, pp.8-11, 2012.
- [13] KS C IEC 60947-1 ; "Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules", pp.60-104, 2009.
- [14] KS C IEC 61000-4-5 ; "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test", pp.6-31, 2008.
- [15] KS C IEC 61000-6-1 ; "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-1: Generic standards - Immunity for residential, commercial and light-industrial environments", pp.5-8, 2009.

### 저자소개



**이복희**(李福熙)

1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업  
1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).  
1988~1989년 동경대학 객원연구원. 1999년  
Cincinnati대학 방문교수. 2010~2011년  
본 학회 회장. 현재 인하대 IT공대 전기  
공학부 교수.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr



**방평호**(房平鎬)

2006년 유한대학 전기공학과 졸업. 2014년  
인하대학교 공학대학원 정보전기공학과  
졸업. 현재 포스코건설(주) 근무.

Tel : (032)426-0084

Fax : (032) 426-0159

E-mail : pangph@poscoenc.com