

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.47>

JIIBC 2016-4-8

## HEMP 보호용 전원선 필터 구현

### Implementation of Dedicated Power Line Filter for HEMP Protection

김근남\*, 이성화\*\*, 김진태\*\*\*

Keun-Nam Kim\*, Sung-Hwa Lee\*\*, Jin-Tae Kim\*\*\*

**요약** 본 연구에서는 고고도 핵폭발에 기인한 HEMP의 영향으로부터 민간시설의 적합한 보호를 위한 HEMP 보호용 전원선 필터 구현 필요성을 다루기 위해, HEMP 관련 국방 규격 분석 및 바리스터, 관통형 커패시터, 가스방전관, 인덕터 등의 주요 소자들에 대한 분석을 수행하고, 이를 기반으로 단상 220VAC/16A 용량의 HEMP용 전원선 필터를 간이 제작하였다. 또한 배선용 차단기, 서지 보호기, EMI 필터 등과의 MIL-STD-188-125 PCI 규격 기반의 비교 실험을 수행하였다. 결과적으로 HEMP에 의한 전도성 노이즈로부터 시스템을 보호하기 위해서는 HEMP 보호 전용 필터의 개발이 필수조건임을 확인하였다.

**Abstract** This paper covers the importance of a dedicated Power Line Filter implementation against HEMP(High altitude ElectroMagnetic Pulse) threats caused by high altitude nuclear detonations. As the PCI test results for E1 short pulse with 2500[A], only HEMP filter obtained the required residual current around 8[A], but others didn't meet below 10[A] on MIL-STD-188-125 PCI regulation. Consequently, the development of a dedicated power line filter turned out to be a essential element in order to protect the power related system against HEMP transient.

**Key Words** : HEMP(High Altitude EMP), Power Line Filter, EMI Filter, PCI(Pulse Current Injection)

## 1. 서론

핵폭탄과 미사일 기술개발이 진전됨에 따라 고고도 핵전자기파(HEMP)에 대한 위협이 새롭고 절박하게 인지되고 있는데, 이러한 HEMP의 위협에 효율적으로 대처하기 위한 이론적 연구와 실험 활동들은 지하 및 공중 테스트, 기존의 대기 실험 데이터 분석, 비핵 시뮬레이션 분석 및 HEMP 코드개발 등을 바탕으로 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>.

고고도 핵 전자기펄스(HEMP)는 고도 40 km 이상의

고고도에서 핵폭발이 발생할 때 생성되는 다량의 전자에 의해 발생하는 고출력 펄스이다. 핵분열 시 발생하는 전자와 대기권 내의 공기 분자와의 상호작용에 의해 발생하는 Compton Effect에 의해 발생하는 전자의 흐름은 지구 표면에까지 이르는 고출력 전자기 펄스를 발생하게 된다<sup>[2]</sup>.

HEMP의 위협에 효율적으로 대처하기 위해 HEMP 관련 국방 규격 분석 및 바리스터, 관통형 커패시터, 가스방전관, 인덕터 등의 주요 소자들에 대한 분석을 수행하고, 이를 기반으로 단상 220VAC/16A 용량의 HEMP용

\*정희원, (주)알에프넷

\*\*중신회원, 제주한라대학교 정보통신공학과

\*\*\*정희원, (주)파이브텍

접수일자 : 2016년 6월 9일, 수정완료 : 2016년 7월 9일

게재확정일자 : 2016년 8월 5일

Received: 9 June, 2016 / Revised: 9 July, 2016 /

Accepted: 5 August, 2016

\*\*Corresponding Author: hwa2@chu.ac.kr

Dept. of Information & Telecommunication, Cheju Halla University, Korea

전원선 필터를 간이 제작하였다. 또한 배선용 차단기, 서지 보호기, EMI 필터 등과의 MIL-STD-188-125 PCI(Pulse Current Injection) 규격 기반의 비교 실험을 수행하였다.

## II. HEMP

### 1. HEMP의 원리

HEMP는 지표면 30Km이상의 핵폭발에 의한 감마선 방출과 Compton Effect에 기인하여 발생하는데, 급한 기울기로 피크까지 증가 후 서서히 감소하는 전자기적 방사특성 보유한다. 매우 낮은 주파수에서 수백MHz의 주파수 스펙트럼으로 광범위하고 강력한 영향을 준다.

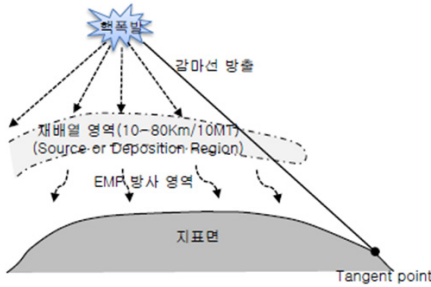


그림 1. 고고도 핵폭발에 의한 HEMP 발생  
Fig. 1. HEMP threats caused by high altitude nuclear detonations.

### 2. HEMP의 위험

HEMP의 전도성 위험은 고출력 전자기 펄스가 전송선로 또는 통신선로에 유기되어 선로 상에 과전류를 흐르게 만들어 전송선로 및 통신선로와 연결된 각종 전자 시스템 및 제어 시스템을 성능저하 또는 기능마비를 일으키는 위험이고<sup>[3]</sup>, 복사성 위험은 고고도에서 방출되는 고출력 전자기 펄스의 복사로 인한 위험반경 내의 모든 전자 시스템 및 제어 시스템의 성능저하 또는 기능마비를 일으키는 위험이다<sup>[4]</sup>.

E1영역으로 표기되는 Early-Time HEMP 영역은 최초의 감마선에 기인하는 펄스로 지표면에 매우 빠른 속도로 도달하며  $t < 1[\mu s]$  이하의 지속시간을 갖는 펄스로 매우 날카로운 특성을 보유하고 있고 에너지가 수백 [MHz] 범위 내에 집중하게 된다.

E2 영역으로 표기되는 Intermediate-Time HEMP의 경우는 고임피던스 필드로 주로 1[Hz]에서 100[kHz]의

주파수 스펙트럼 분포를 가지며  $1[\mu s] < t < 1[s]$  범위의 지속시간을 갖는다. 마지막으로 E3 영역으로 표기되는 Late-time HEMP는  $t > 1[s]$ 의 지속시간을 가지며, 주로 MHD(Magneto-HydroDynamic : 자기유체역학) HEMP이다. MHD-EMP는 서로 상이한 물리적 구조에 기인하여 발생되며, 전자기장은 넓은 영역과 매우 낮은 주파수 범위에 걸쳐 매우 작은 크기로 나타나고, 장거리의 통신용 케이블과 전력선 및 해저케이블에 이르기 까지 그 영향이 미치는 것으로 알려지고 있다. 그림 2에 시간 축 상에서의 HEMP의 특성을, 그림 3에 주파수 축 상에서의 HEMP의 특성을 각각 나타내었다<sup>[5][6]</sup>.

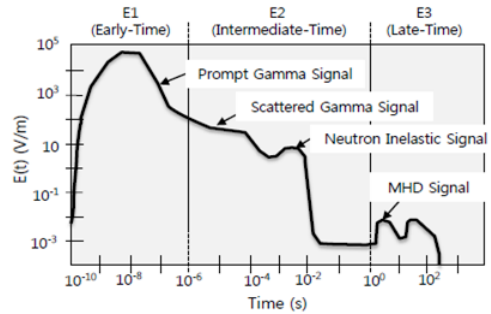


그림 2. 시간축 상에서의 HEMP 특성  
Fig. 2. HEMP characteristics on time division

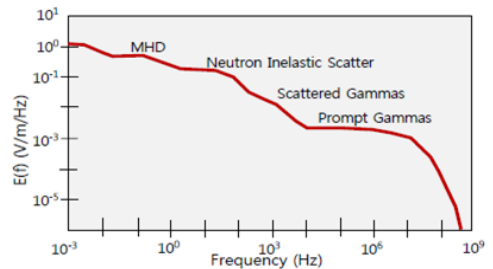


그림 3. 주파수축 상에서의 HEMP 특성  
Fig. 3. HEMP characteristics on frequency division

### 3. HEMP의 방호 기술

HEMP에 대한 방호 대책은 경제적인 구축을 위하여 외부공간, 건물, 방, 장비 등에 대해 구분지어 설계되어야 하고, 각각 특성에 맞게 필요한 조치를 취해야 한다.

HEMP에 대한 방호대책은 기존 설비나 새로운 설비 전체에 대해 기술 설계 측면에서 고려되어야 한다. 이에 대한 신뢰성을 유지할 수 있어야 하며, 특히 비용적인 측면에서도 효과적이어야 한다.

HEMP에 대한 방호는 특정한 하나의 방법을 통하여 세우기보다는 일반적인 전자파 환경보다는 더 악조건을 고려하여 복합적인 방호 대책을 필요로 한다.

HEMP 공격에 발생하는 전자파 방호와 관련한 기술로 차폐가 있는데, 이는 ① 외부 전자기장에 의한 전하유도를 차단시키는 원리로 전력선, 통신선 정전차폐층 케이블 등에 활용하는 정전 차폐, ② 금속판, 금속망, 도금막, 도전선 플라스틱등 도전성재료로 기기의 주위를 둘러싸서 노이즈 전자파의 침입이나 누설을 방지하는 자기 차폐, ③ 구리, 판금, 금속메쉬(metal mesh), 발포금속(metal foam), 플리즈마(이온화된 기체) 등의 전도성 재료로 주위를 둘러싸고 그 표면에 전파를 반사시켜, 전자파의 침입이나 유출을 방지하는 전자 차폐 기술로 나누어 볼 수 있다<sup>[7]</sup>.

### III. HEMP 필터 설계 및 구현

#### 1. HEMP 필터 설계

HEMP 필터 설계 시 고려해야할 요소 중 1차적으로 가장 큰 고민은 설비에 전달되는 HEMP 신호로부터의 유기적인 간섭을 제어하는 것이다. HEMP 유기 방해 신호의 대부분 에너지는 공진주파수(5~10[KHz])보다 훨씬 높은 곳에 분포하므로 외부와 내부 설비 간에 100[KHz] 이상의 주파수에서 최소 60[dB](80[dB] 이상 선호) 이상의 감쇄량을 가진 HEMP 필터의 적용으로 필터링과 건축물에 적절한 차폐를 함으로써 설비 내부의 HEMP 유기 신호 레벨을 크게 감소시킬 수 있다. 일반적으로 장비 제조사는 정류기 및 전원공급기의 일부만으로 EMI/EMC 관점에서의 전원선 노이즈 필터링 기능과 과도 순시전압에 전압에 대응하기 위한 보호소자들을 채용하지만 고전류 및 고에너지를 갖고 넓은 대역에 분포하는 순수 HEMP 신호에 대한 대응하기에는 부족하다.

HEMP 대책용 필터를 제작하려고 할 때 보호 터미널 선정을 위해서는 1) HEMP 신호 스펙트럼과 관련된 신호의 대역폭 2) 요구하는 방해 억압 정도의 크기 3) 터미널 보호단자 선택의 신뢰성 및 손상에 대한 취약성 검토 4) 허용 전압 및 전류의 크기 5) 터미널보호소자의 가격 등이 주요 고려 대상이다.

필터의 제작 과정에서는 다음의 사항들을 고려할 수 있어야 한다. 첫째, 사용되는 접지 케이블은 최대한 짧게 하여 기생인덕턴스나 기생 커패시턴스를 최소화한다. 둘

째, 전원선용 HEMP 필터 차단 및 종단(필요에 따라 적용)에 마운트되는 바리스터의 전극에 납땜 용제로 많이 사용하는 플럭스가 인입될 경우 바리스터의 커패시턴스를 크게 증가시킬 수 있어 주의가 필요하다. 셋째, 일반적으로 회로를 구성한 후 절연 및 고정을 위해 compound(우레탄 계열 및 기타)로 충진을 하며 충진 재료는 가사 시간을 충분히 하여 소자 틈새로 충진체가 충분히 침투하여 절연과 고정을 완벽히 할 수 있어야 한다. 넷째, 관통형 콘덴서 마운팅 작업 시에는 제조사에서 제공하는 규격 볼트를 사용하고 적절한 토크로 조임으로써 절연애자의 메탈라이징 부위가 파손되어 치명적 고장이 발생하지 않도록 유의하여야 한다. 선형 필터는 대역외 에너지 제거 필요성으로 인해 부가적 보호장치 필요하다.

- Switching 소자 : GDT(Gas Discharge Tube), Fuses, Switching Thyristor
- Clamping/Limiting 소자 : MOV(Metal Oxide Varistor), TVS(Transient Voltage Suppressor) Diode
- Isolation 소자 : isolation transformer, Fiber Optics

표 1. HEMP 적용 보호소자 비교

Table 1. Comparison of HEMP devices

구분	장점	단점
MOV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Response(ns), depending on shape, size and Installation</li> <li>• High Energy Absorption Capability</li> <li>• High Surge Current Capability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large Capacitance (1 to &gt;10nF)</li> </ul>
GDT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High Surge Current(5kA ~ 100kA)</li> <li>• Low Clamping Voltage</li> <li>• Very Low Capacitance(&lt; 2pF)</li> <li>• Very Low Leakage Current</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatively High firing Voltage(typ. 100V 이상)</li> <li>• Finite Response Time</li> </ul>
TVS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Response(ns)</li> <li>• Various Clamping Voltage 사용(3V ~ 200 V)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Small surge Current (&lt;100A)</li> <li>• Large Capacitance (100pF ~ 3nF)</li> </ul>

#### 2. HEMP 보호용 전원선 필터 구현

본 연구에서는 기존 순시과전압을 억제하기 위해 사용되는 각종 소자들 및 제품들의 MIL-STD-188-125의 HEMP 규격의 핵심인 PCI 특성 시험 만족여부를 비교 실험하기 위해 HEMP 용 필터 시작품을 제작하여 실제 실험을 통해 그 효과를 입증하도록 하였다. 일반적으로 CW(연속파)를 다루는 EMI/EMC와 달리 HEMP 필터는 매우 짧은 상승시간을 갖는 펄스를 다루기 때문에 임펄

스성 과도 순시전압에 대해 보호 가능하여야 하고 동시에 충분한 절연 내력을 가지고 있어야 한다. 기본적으로 필터의 입력 및 출력 단에는 서지 억제 부품인 MOV를 적용하였고, 높은 주파대역에서의 감쇠특성을 강화하고 MIL 규격에 맞는 삽입손실을 이끌어내기 위해 Feed-through 커패시터를 기본 적용하였으며 여기에 저주파 영역의 감쇠특성 개선을 위해 표준형의 필름 커패시터를 도입하였다. 표준형의 경우 리드 인덕턴스 영향으로 인해 자기공진주파수가 낮으며, Feed-through 커패시터는 리드선의 인덕턴스가 매우 작아 자기공진주파수가 높은 특성을 활용한 것이다. 표 2는 본 연구에 활용하기 위해 간이 제작한 HEMP 보호 전용 전원선 필터의 설계 기본 규격이며, 설계 기본 규격을 바탕으로 구현한 HEMP 보호 전용 전원선 필터의 기본 회로도도 그림 4와 같다. 그림 5는 설계한 기구물의 실제 측면도이다.

표 2. HEMP 필터 설계 규격  
Table 2. Design specification of HEMP filter

항목	설계 규격	비고
사용 전압	220 VAC 단상 3선식	
허용 전류	16[A]	32 A까지 적용 가능
잔류 전류	10[A] 이하	MIL-STD-188-125 PCI 만족
삽입 손실	<ul style="list-style-type: none"> <li>10[KHz] : 20[dB] 이상</li> <li>100[KHz] : 40[dB] 이상</li> <li>1[MHz] : 60[dB] 이상</li> <li>10[MHz] - 1[GHz] 이상 : 80 [dB] 이상</li> </ul>	

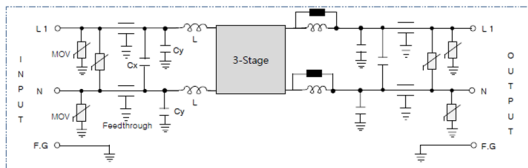


그림 4. 회로 구성도  
Fig. 4. Circuit diagram

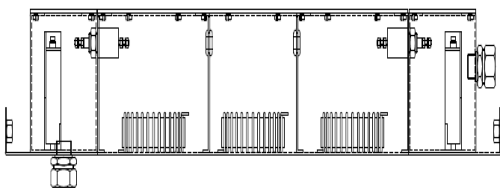


그림 5. HEMP 필터 형상도  
Fig. 5. Diagram of HEMP filter

#### IV. 실험 및 결과

MIL-STD-188-125 PCI 수락시험 및 성능을 만족하는 측정 장비를 이용하여 각 실험 대상들에 대해 Wire-to-Ground PCI 측정 구성도를 기반으로 Short Pulse E1 측정 실험을 수행하였다.

그림 6은 HEMP 전원선 필터의 입력단에 2500[A]의 E1 펄스 인가 시 주입전류가 2495[A]의 측정값으로 나타남을 보였다. 또한 그림 7에서는 2500[A]의 펄스 전류를 HEMP 필터의 L선에 인가 후 필터링을 거쳐 필터의 L선 출력 부하 측에서 측정된 잔류전류가 8.18[A]로 나타나는 것을 보였다. 그 결과로 자체 구현한 HEMP 전원선 필터는 MIL-STD-188-125 PCI 규격인 10[A] 이하를 만족하므로 성능 조건에 부합함을 알 수 있다. 참고로, 오실로스코프 상에 보이는 전압 단위 V는 전류 프로브의 사용으로 인해 나타난 전압 값을 읽어도 그것이 전류 값이 된다.

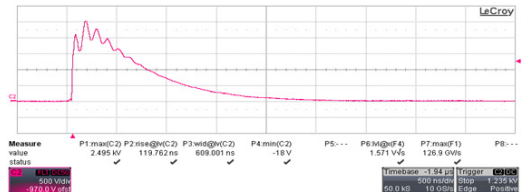


그림 6. 2500[A] E1 펄스 주입 전류 측정 결과  
Fig. 6. Measurement of input current by 2500[A] E1 pulse

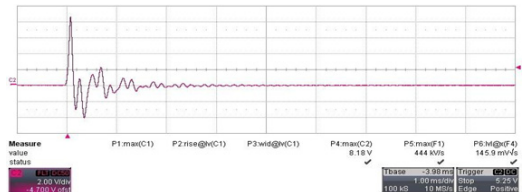


그림 7. 2500[A] E1 펄스 인가시 전류 측정 결과  
Fig. 7. Measurement of residual current by 2500[A] E1 pulse

그림 8은 필터의 성능 특성을 좀 더 면밀히 관찰하기 위해 HEMP 필터 L선 입력 측에 E1 최대 펄스 전류 2500[A]의 40[%] 수준인 1000[A]의 전류를 인가하고 오실로스코프 상에 나타난 값을 기록하였다. 그 결과 HEMP 필터 L선의 출력 부하 측에서 측정된 잔류전류가 8.83[A]가 되는 것으로 나타나 MIL-STD-188-125 PCI 규격을 만족시키는 것을 알 수 있다.

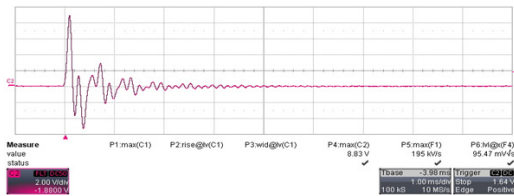


그림 8. 1000[A] E1 펄스 주입 전류 측정 결과  
 Fig. 8. Measurement of input current by 1000[A] E1 pulse

마찬가지 방법으로 단상 3선식의 HEMP 전원선 필터 입력 측 N선에 2500[A]의 E1 펄스 인가 후 필터의 N선 출력 부하 측에서 측정한 잔류전류가 8.08 [A]가 나타남을 그림 9에 보였으며, 필터의 L선과 마찬가지로 N선도 최대 전류 주입조건에서 MIL-STD-188-125 PCI 규격을 만족함을 알 수 있다.

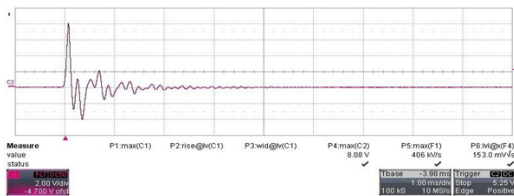


그림 9. 2500[A] E1 펄스 인가시 전류 측정 결과  
 Fig. 9. Measurement of residual current by 2500[A] E1 pulse

## V. 결론

미래의 전쟁은 고출력 전자파를 이용한 전자전이 대세이 될 것으로 전망됨에 따라 중요 시설에 대한 HEMP 방호 기준 정립이 시급하며, HEMP 방호 설계 및 시공 기술 개발이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 HEMP와 관련한 MIL-STD-188-125 및 MIL-STD-220C 규격에 관한 이론적인 분석을 수행하였다. 또한 MIL-STD-188-125 PCI 시험 규격기반의 단상 3선식 220VAC/16[A] 용량의 HEMP 전원선 필터의 간이 구현 및 기존 상용 전원보호 장치들과의 PCI 비교 실험을 통해 HEMP 보호 전용 필터 구현 필요성을 강조하는데 주안점을 두었다. PCI 실험결과로 HEMP 필터의 2500[A] short pulse(E1) 주입 전류 실험에서 잔류 전류는 L선의 경우 8.18[A], N선의 경우 8.03[A]의 잔류전류가 관측되어 MIL-STD-188-125 PCI 규격인 10[A] 이하를 만족하는 것으로 나타났으며, HEMP에 의한 전도

성 노이즈로부터 시스템을 보호하기 위해서는 HEMP 보호 전용 필터의 개발이 필수조건임을 확인할 수 있었다. 향후 3상 전원선 HEMP 보호 필터에 대한 연구 및 개발을 수행하고자 하며, 이를 통해 소형화, 누설전류와의 관계, 제조비용 절감방안, 잔류전류 최소화 방안 등을 제안하고자 한다.

## References

- [1] Fourmilab, "The Electromagnetic Pulse and its Effects", [http://www.fourmilab.ch/etexts/www/effects/eonw\\_11.pdf](http://www.fourmilab.ch/etexts/www/effects/eonw_11.pdf), 2013.09.
- [2] IEC 61000-2-9 (1996), Part 2 : Environment - Section 9 : Description of HEMP Environment - Radiated Disturbance.
- [3] IEC 61000-2-10 (1998), Part 2-10 : Environment - Description of HEMP environment - Conducted disturbance.
- [4] IEC 61000-2-11 (1999), Part 2-11 : Environment - Classification of HEMP environments.
- [5] National Radio Research Agency & The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, "A Study on the Electromagnetic radiation Spectrum", research report, 2003.
- [6] The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, "A Effective Design of EMP Shelter", 2012.10.18
- [7] K. H. Ryu, "High-tech defense systems and social infrastructure facilities against HEMP attack safe?", Research Report of Electrical Industry Research Institute of Korea [http://erik.re.kr/?mid=research\\_6&m=1&document\\_srl=8621](http://erik.re.kr/?mid=research_6&m=1&document_srl=8621), 2015. 2. 23
- [8] K. S. Lee, G. K. Choi, "PAPR Reduction for WPM Schemes using Filter Design Schemes" The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), VOL. 13 No. 1, pp. 49-54, February 2013
- [9] E. C. Kim, J. S. Cha, C. H. Lee, J. J. Kang, S. K. Kim, "Performance of Double Binary Turbo Code for Ultra Wide-Band Systems with MultipleAntenna Scheme" The Journal of The Institute of Internet,

Broadcasting and Communication(JIIBC), VOL. 9  
No. 2, pp. 117-122, April 2009

- [10] Richard Lee Ozenbaugh, Consultant Hesperia, California, "EMI filter Design (second edition Revised and Expanded)", copyright dd 2001.
- [11] MIL-STD-461F, " Requirements For The Control of Electromagnetic Interface Characteristics Of Subsystems And Equipment" AMSC, 10 December 2007.

## 저자 소개

### 김 근 남(정회원)



- 1994년 : 경남대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 2014년 : 건국대학교 정보통신대학원 정보통신학과 졸업(공학석사)
- 2008년~2011년 : 알스톰트랜스포트 코리아(프) 부장
- 2011년~현재 : (주)알에프넷 연구소장

<주관심분야 : 이동통신 및 IoT기반 시스템>

### 이 성 화(중신회원)



- 1989년 : 건국대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 1991년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1998년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1991년~1993년 : 롯데전자(주) 연구원

• 1999년~현재 : 제주한라대학교 정보통신과 교수

<주관심분야 : 정보통신, 스마트 컴퓨터 시스템, 정보보안>

### 김 진 태(정회원)



- 1991년 : 건국대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 1993년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1999년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2004년~현재 : (주)파이브텍 대표이사

• 1999년~현재 : 건국대학교 정보통신대학원 겸임교수

<주관심분야 : Real-Time Control System and Mobile IoT System>