

직렬아크현상의 검출기술 및 장치

지홍근¹ · 정광석¹ · 박대원¹ · 길경석[†] · 서동환¹ · 류길수²

(원고접수일 : 2009년 11월 12일, 원고수정일 : 2009년 12월 29일, 심사완료일 : 2009년 12월 29일)

Detection Technique and Device of Series Arcing Phenomena

Hong-Keun Ji¹ · Kwang-Suk Jung¹ · Dae Won Park¹ · Gyung-Suk Kil[†] · Dong-Hoan Seo¹ ·
Keel-Soo Rhyu²

요 약 : 전력계통에서 아크현상이 원인이 되는 전기화재는 전기제품의 사용증가에 따라 급증하고 있으나, 이들 사고를 방지할 수 있는 확립된 방법은 없다. 이들 배경에서 본 논문은 공기조화기에서 직렬아크 검출 기술과 장치에 대한 실험적 결과에 대해 기술하였다. 공기조화기의 불완전한 접속부에서 발생하는 직렬아크를 모의하고, 주파수 스펙트럼을 FFT로 분석한 결과, 190 kHz~250 kHz와 900 kHz~1.6 MHz 에 존재함을 알 수 있었다. 저역차단주파수가 170 kHz이며 60 Hz를 176 dB까지 감쇄시킬 수 있는 아크검출 및 파형정형 회로를 설계하였다. 또한 스위치 조작, 인버터 운전 및 서지 등에 의해 발생하는 노이즈로부터 직렬아크신호를 분리할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 적용실험은 UL1699에 규정되어있는 아크발생장치를 이용하여 여러 형태의 공기조화기에서 수행되었으며, 99 %이상 검출능력을 나타내었다.

주제어 : 전기화재, 공기조화기, 직렬아크, 검출회로, 아크발생장치, UL1699

Abstract: Annually, electrical fires caused by arcing phenomena in power system rapidly increase as the use of more electric appliances, but there is no established method for the prevention of the accidents.

With this background, this paper dealt with the experimental results on a series arc detection technique and a device for air conditioners. Series arcing phenomena that is generated in incomplete connection of air conditioners was simulated, and the frequency spectrum was analyzed. The Fast Fourier Transform (FFT) of the arc pulse showed that the dominant frequency components exist in ranges of 190 kHz~250 kHz and 900 kHz~1.6 MHz. An arc detection circuit with low cut off frequency of 170 kHz to attenuate 60 Hz by 170 dB and a signal discriminator were designed. Also, an algorithm which separate series arc signal from unwanted noises produced by switching operation, inverter, and surge was proposed. Application experiment was carried out on several types of air-conditioners by using the arc generator specified in UL1699, and the results showed the over 99 % accuracy.

Key words: Electric fire, Air conditioner, Series arc, Dection circuit, Arc generator, UL1699

† 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail:kilgs@hhu.ac.kr, Tel:051-410-4414)

1 한국해양대학교 전기전자공학부

2 한국해양대학교 IT공학부

1. 서 론

전기에너지는 소음이나 공해가 적으며 다른 에너지로 변환이 쉽기 때문에 육상뿐만 아니라 선박, 항공기에서도 널리 사용되고 있다. 하지만 전기기기나 설비의 사용이 증가함에 따라 화재, 감전 등과 같은 전기사고가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다.

전기화재사고의 원인에는 접촉불량, 절연열화, 압착·손상, 층간단락, 과부하·과전류, 누전·지락 등이 있으며, 2008년의 경우 아크를 동반한 단락 사고는 전기화재의 55%를 차지하였다[1]. 현재 국내의 경우 전기사고를 방지하기 위하여 배선용차단기, 누전차단기 등의 보호장치가 사용되고 있으나 이들 보호장치는 사고 발생시 문제의 확산을 막기 위하여 신속히 차단할 수는 있지만 각종 사고의 원인이 되는 아크신호를 검출하여 감시하는 시스템은 이루어져 있지 않다[2-4].

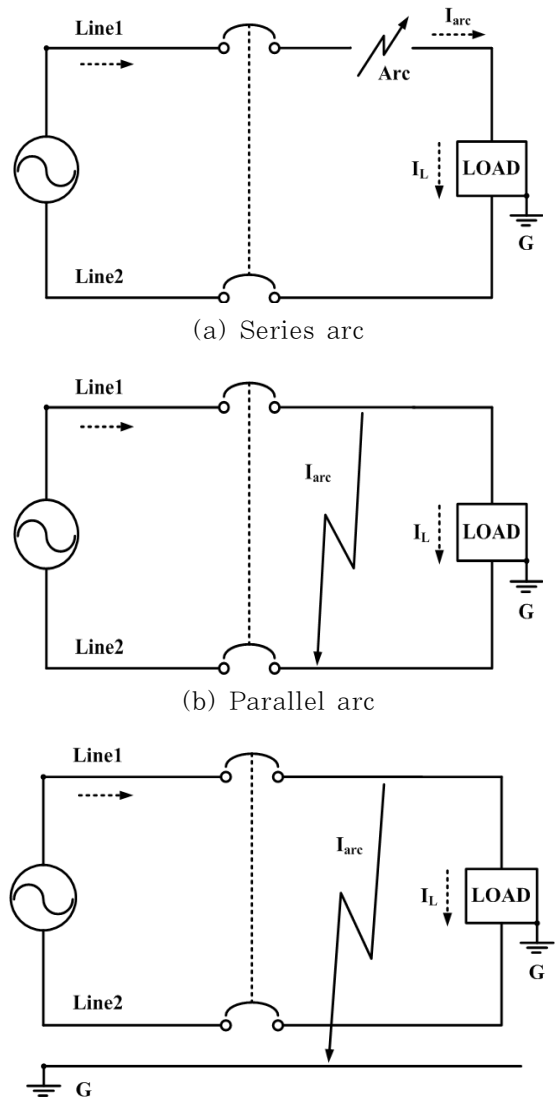
본 논문에서는 최근 선박에서 쾌적한 환경을 위해 사용량이 증가하고 있는 공기조화기에서의 전기 사고 예방을 위한 직렬아크신호 검출모듈의 설계 및 제작에 관하여 기술하였다. 선박용 공기조화기 배선의 접속불량, 절연열화 등으로 인해 발생하는 직렬아크를 모의하기 위하여 아크발생장치를 이용하였으며, 공기조화기에서 발생하는 아크신호의 분석을 통해 직렬아크신호의 검출모듈을 설계·제작하였다.

2. 이 론

아크는 절연체에서 발생되며 전극의 소손을 동반하여 연속적으로 빛을 내는 방전현상으로, 고장전류가 흐르는 경로에 따라 크게 직렬아크와 병렬아크로 나눌 수 있다[5-7]. **Figure 1(a)**는 직렬아크 발생을 나타낸 것으로 부하와 전기적으로 직렬로 연결되어 있는 부분에서 발생한다. 이때 흐르는 아크전류는 아크발생시의 임피던스와 부하의 임피던스에 의해 제한되어 에너지 레벨이 낮기 때문에 기존 차단기의 보호레벨 범위에 속하지 않는다[8-10].

Figure 1(b)는 병렬아크, **Figure 1(c)**는 병렬아크의 일종인 접지아크를 나타낸 것으로서 각각

상도체와 중선선 또는 상도체와 접지간에 의도하지 않은 도전경로가 형성되었을 경우 발생한다. 병렬아크나 접지아크가 발생했을 경우 고장 발생점의 임피던스가 낮아지게 되고 최종적으로 단락이나 지락으로 이어져 사고가 발생한다. 병렬아크나 접지아크는 직렬아크의 발생에 의해 진전이 되므로 직렬아크를 검출하면 단락이나 지락으로 이어지는 사고를 예방할 수 있다.



(c) Ground arc
Figure 1: Types of arc

3. 설계 및 제작

3.1 아크발생장치

불완전한 접속부 또는 열화된 선로에서 발생하는 아크는 **Figure 2**와 같은 UL1699의 규정에 의한 아크발생장치로 모의할 수 있다. 아크발생장치의 고정전극은 아크 발생시 전선 또는 절연물에 형성된 탄화된 도전로를 모의하기 위하여 탄소봉을 적용하고, 이동전극은 전선과 같은 재질의 동봉(cooper rod)을 사용하였다[11]. 이동전극에 연결된 마이크로미터를 조절하여 고정전극과 이동전극 사이에 임의적으로 아크현상을 만들어 낼 수 있다. 또한 진동모터와 컨트롤러를 설치하여 보다 쉽게 아크를 발생하도록 하였다.

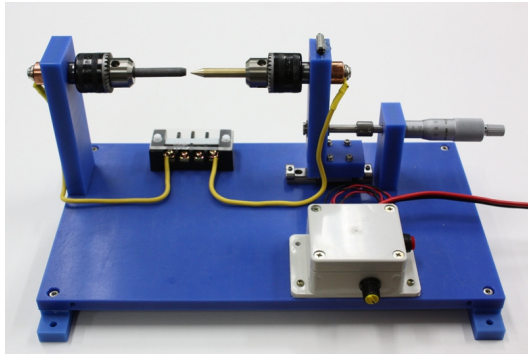


Figure 2: Photograph of the arc generator

3.2 아크검출모듈

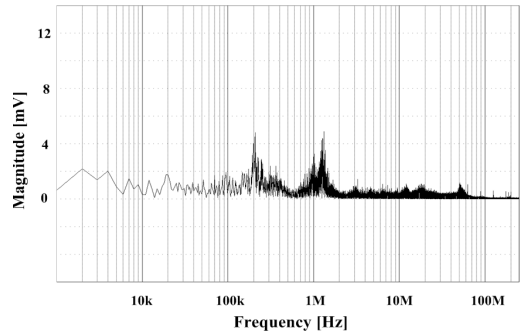
아크 검출방법에는 아크 발생시의 빛을 검출하는 광 검출법, 전자기파 검출법, 급격한 임피던스의 변화로 인하여 나타나는 고주파 전압, 전류 검출법이 있으며, 본 논문에서는 전압검출방법을 이용하였다. 아크신호의 주파수성분을 알아보기 위해 전원주파수 성분을 제거한 아크신호를 측정 및 분석을 하였다. **Figure 3**은 검출한 아크신호와 주파수분석 결과를 나타낸 것이다. 분석결과 **Figure 3**(b)와 같이 아크신호는 190 kHz~250 kHz와 900 kHz~1.6 MHz 사이의 주파수대역을 가지는 것으로 나타났다[12].

주파수 분석결과를 바탕으로 직렬아크 발생시의 전원주파수 성분을 제거하고 아크 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 **Figure 4**(a)와 같은



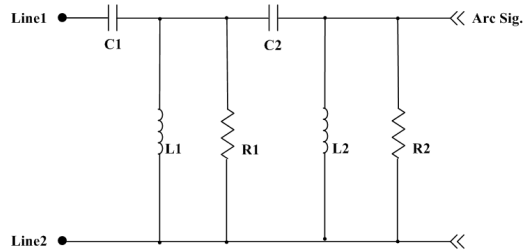
상 : 전원 전압 [200 V/div, 10 ms/div]
하 : 아크 전압 [2 V/div, 10 ms/div]

(a) 아크 파형

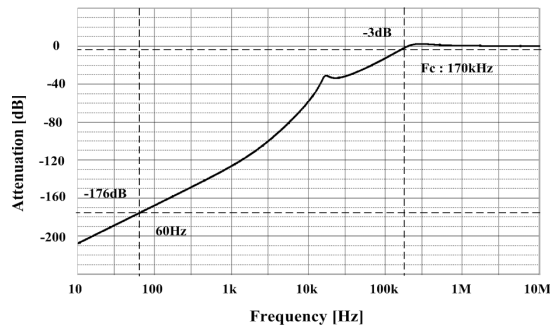


(b) 주파수 스펙트럼

Figure 3: Analysis of arc pulse



(a) 회로

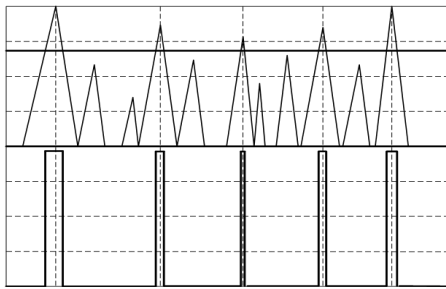
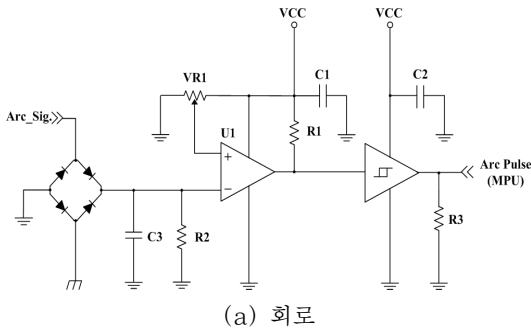


(b) 주파수 응답

Figure 4: Arc detection circuit

직렬아크 검출회로를 설계·제작하였다. -3 dB의 저역차단주파수는 170 kHz이며 필터의 적용으로 **Figure 4(b)**와 같이 전원주파수 성분은 -170 dB 이상 감쇄시킬 수 있다.

Figure 5는 노이즈를 제거하고 검출한 아크신호를 MPU(Micro Processor Unit)에서 처리 가능한 신호로 디코딩하도록 설계된 파형정형회로이다. (+), (-)의 모든 아크신호를 검출하도록 브리지 회로를 적용하였으며, 비교기 회로를 적용하여 기준레벨 이하의 고주파 노이즈 신호는 제거하고 기준레벨 이상의 아크신호는 디코딩되어 출력되도록 하였다. VR1을 통해 아크검출 감도를 조절할 수 있다.



(b) 파형 정형

Figure 5: Waveform discriminator

설계한 직렬아크 검출회로와 파형정형회로에 MPU회로를 추가하여 **Figure 6**과 같은 아크검출 모듈을 제작하였다. 녹, 황, 적 LED를 이용하여 Normal, Noise 및 Arc 상태를 표시하며 RS232 통신을 이용하여 PC에서 아크발생 상태를 확인할 수 있도록 하였다.

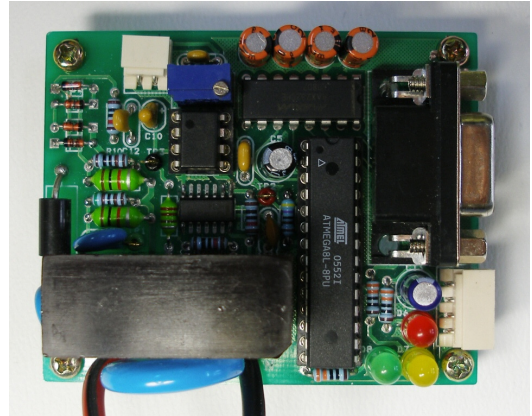


Figure 6: Photograph of the arc detection module

3.3 아크판별 알고리즘

설계한 아크검출모듈을 이용하여 아크검출시 전원플러그 접속, Surge 입력, 스위치의 On/Off 동작시 아크신호와 유사한 고주파신호를 발생시키게 되는데 이들을 아크로 판별하지 않아야 하기 때문에 아크 여부를 판단할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 100 ms를 한 구간으로 나누어 구간당 입력되는 펄스 수의 패턴을 비교하는 방법으로 아크를 판별하는 알고리즘을 제안하였다. 구간당 발생하는 아크의 펄스 수가 실험적 데이터를 통해 얻은 오차범위 내에 있으면 'Noise', 오차범위를 벗어나면 'Arc'로 구별된다.

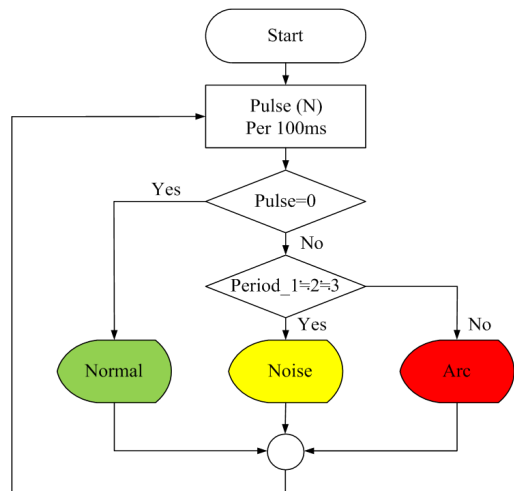


Figure 7: Arc discrimination algorithm

3.4 실험계 구성

공기조화기에서 발생하는 직렬아크신호를 모의하고, 설계한 모듈을 평가하기 위하여 Figure 8 과 같은 실험계를 구성하였다. AC 220V전원에 공기조화기를 연결하고 전원과 부하사이에 아크발생장치를 직렬로 연결하였으며, 아크검출모듈을 공기조화기의 전원 입력단에 연결하였다. 아크발생은 오실로스코프와 PC를 통해 확인한다.

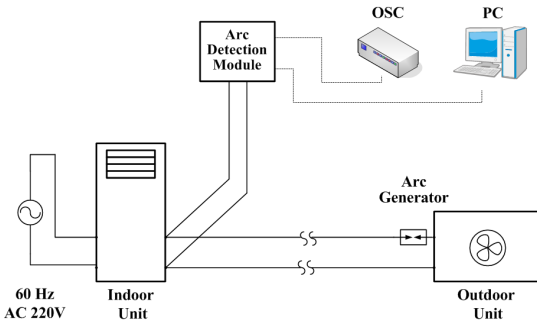
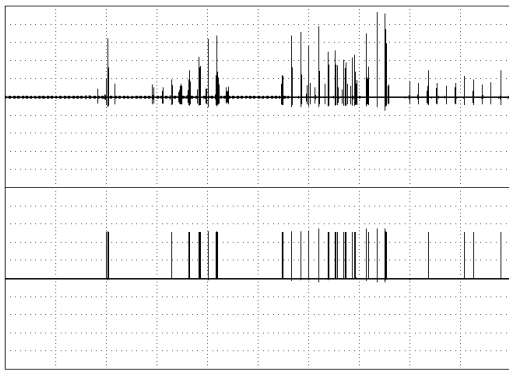


Figure 8: Configuration of the experimental set-up

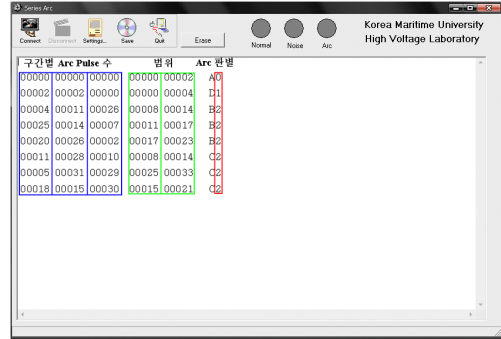
4. 결과 및 분석

본 논문은 공기조화기용 직렬아크 검출모듈을 설계·제작하는 것이다. Figure 9(a)는 공기조화기에서 직렬아크를 모의하고 아크검출모듈에서의 출력신호를 측정한 것이다. 고역통과필터를 통해 전원주파수 성분이 제거된 170 kHz이상의 아크신호만을 검출하였으며, 신호정형회로를 통해 노이즈를



상 : 아크 파형 [2 V/div, 10 ms/div]
 하 : 정형 파형 [2 V/div, 10 ms/div]

(a) 직렬아크 파형



(b) PC 모니터링 화면

Figure 9: Example of arc discrimination

제외한 아크신호만을 펄스 형태로 출력됨을 확인하였다. Figure 9(b)는 아크발생시 RS232 통신을 통해 PC에서 아크발생을 확인한 것으로 검출된 아크 펄스 수와 상태를 모니터링 할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 공기조화기용 직렬아크신호 검출모듈의 설계 및 제작에 관한 것으로 공기조화기에서의 아크신호 분석 결과, 주 성분이 190 kHz~250 kHz, 900 kHz~1.6 MHz 대역임을 확인하고 저역차단주파수가 170 kHz인 직렬아크 검출회로를 설계하였다. 아크검출의 감도를 조절하여 기준레벨 이하의 노이즈는 제거하고, 검출한 아크신호만을 디코딩 할 수 있는 파형정형회로를 추가하고 아크 발생 상태를 판별할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제작한 아크검출 모듈을 사용하여 공기조화기에 적용실험 결과 스위치 On/Off, Surge 등의 영향에 오동작 없이 발생한 직렬아크신호의 검출이 가능하며, PC를 통해 상태를 확인하였다.

이상에서와 같이 본 논문에서 설계 및 제작한 필터의 적용으로 공기조화기에서 발생하는 직렬아크의 검출은 물론 아크판별 알고리즘을 통해 외부 고주파 노이즈 신호로부터 'Arc'상태 판별의 신뢰도를 향상시켰다. 또한 현재 공기조화기의 절연상태의 모니터링이 가능하다. 향후 본 검출방법을 이용하여 공기조화기 뿐만 아니라 각종 전기기기 및 설비에서 아크에 의한 전기사고 예방에 적용가능 할 것이라 판단된다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

[1] Emergency Management Agency, A Statistical Analysis on the Electric Accident, 2008.

[2] George D. Gregory, "The arc-fault circuit interrupter : An emerging", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 34, no. 5, pp. 928-933, 1998.

[3] Chunlin Li, Francis Dawson, Hassan Kojori, Chris Meyers, and Edwin Yue, "Arc fault detection and protection - opportunities and challenges", SAE Technical Papers, pp. 590-597, 2003.

[4] George D. Gregory, "More about arc-fault circuit interrupters", IEEE Trans. Industry Applications, vol. 40, pp. 928-933, no. 4, 2004.

[5] 길경석, 지홍근, 박대원, 김일권, 김영일, 조영진, "병렬아크의 고속차단에 관한 연구," 한국조명전기설비학회, 제22권, 제12호, pp. 95-100, 2008.

[6] 길경석, 지홍근, 박대원, 김일권, 류길수, 송재용, "직렬아크신호의 검출방법," 한국철도학회 논문집, 제11권, 제5호, pp. 477-481, 2008.

[7] James M. McCormick, and Pete Theisen, "Arc fault circuit interrupter development overviews", SAE Technical Papers, 2003-01-3233, 2003.

[8] Wen-Jun Li, Yuan-Chun Li, "Arc fault detection based on wavelet packet", Proc. 2005 Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, vol. 3, pp. 1783-1788, 2005.

[9] Carlos E. Restrepo, "Arc fault detection and discrimination methods", IEEE Conf. on Electrical Contacts, pp. 115-122, 2007.

[10] Robert F. Couhglin, and Frederick F. Driscoll, Operational Amplifiers Linear Integrated Circuits, 3rd Edition, Prentice-Hall, INC., 1987.

[11] Underwriters Laboratories, UL1699 - Standard for Arc - Fault Circuit - Interrupters, 2006.

[12] 지홍근, 최성국, 정광석, 박대원, 길경석, "에어컨에서 직렬아크검출 알고리즘에 관한 연구", 한국철도학회 춘계 학술대회논문집, pp. 1970-1976, 2009.

저 자 소 개



지홍근(池弘根)

1983년 10월생. 2008년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2008~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 석사과정.



정광석(鄭光石)

1982년 8월생. 2009년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2009~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 석사과정.



박대원(朴大元)

1977년 12월생. 2002년 한국해양대학교 전기시스템공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2007~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 박사과정.



길경석(吉暲碩)

1962년 6월생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 3월~2004년 2월 영국 카디프대학 방문교수. 1996~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수.



서동환(徐東煥)

1970년 10월 7일생. 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사), 2003년 동 대학원 졸업(박사), 2004년 3월~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수.



류길수(柳吉洙)

1953년 5월생. 1976년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1979년 동대학교 대학원 졸업(석사). 1989년 동대학원 졸업(박사). 1982년~현재 한국해양대학교 IT공학부 교수.