이동 통신 중계기 설치를 통한 승강기 시스템의 전자파 환경 개선

Improvement of Electromagnetic Environment Effects in a Lift System by Installing a Mobile-Communication Repeater

임 병 철* · 정 기 범** · 정 연 춘

Byung Chul Lim* · Ki-Bum Jung** · Yeon-Choon Chung

요 약

본 연구의 목적은 전자파 적합성을 고려하여 승강기 시스템 내에 중계기 안테나를 설치하는 방안을 제안하는 것이다. 승강로에 중계기 안테나를 설치하는 경우(Solution 1)와 승강기 내부에 중계기 안테나를 설치하는 경우(Solution 2)의 2가지 solutions을 검토하였으며, Solution 2가 Solution 1보다 효과적임을 확인하였다. 또한, 승강기에 대한 전자파 내성 기술 기준과 20 dB의 안전 마진을 고려하여 중계기 안테나의 출력(EIRP)을 -5 dBm으로 제한할 것을 제안하였으며, 이러한 출력은 이동 통신 시스템의 정밀 전력 제어 메커니즘에 따라 최적의 안정된 전자파 환경을 제공함을 확인하였다. 이러한 접근은 무선을 활용하여 오히려 전자파 환경을 개선할 수 있음을 보여준 본 연구가 Green ICT의 중요한 사례가 될 수 있다.

Abstract

The purpose of this study is to suggest installation methods of a mobile-communication repeater into a lift system with consideration of EMC. Two approaches, one(Solution 1) is realized with a repeater installed in a lift hoistway and another(Solution 2) installed inside a lift, were proposed. It is confirmed that the Solution 1 is more effective than the Solution 2. And it is suggested that the EIRP of a repeater must be limited to be ≤ -5 dBm by considering electromagnetic immunity level for a lift and safety margin of 20 dB. This limit can provide suitable electromagnetic environment inside a lift with precise power-control mechanism of mobile communication systems. This study could be a good example of Green ICT by improving electromagnetic environment in spite of radio use.

Key words : Repeater, Lift, EIRP, Power Control, EMC

I. 서 론

일반적으로 승강기 함체는 금속으로 만들어지기 때문에 승강기 내부에서는 외부 전자파가 차폐되며, 따라서 휴대폰의 통화 품질이 나쁠 수밖에 없다. 이

로 인해 우리나라에서는 승강기 내에서의 통화 품질 불만에 대한 민원이 급증하고 있으며, 이동 통신 서비스 3사에서는 민원이 발생한 건물의 각 층마다 승강기 주변의 승강장 주변에 중계기 안테나를 설치하여 승강기 내에서의 통화 불량을 해소하고 있다. 이

서경대학교 전자공학과(Department of Electronics, Seokyeong University)

*한국승강기대학 승강기안전관리과(Department of Lift Safety Management, Korea Lift College)

**이엔알텍(E&R Tech)

· 논 문 번 호 : 20110914-102

· 교 신 저 자 : 정연춘(e-mail : ycchung@skuniv.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 10월 7일

러한 접근 방법은 설비 투자에 막대한 비용을 지출되므로 승강기 시스템 내부에 중계기 안테나를 설치하여 비용 절감을 추진하고 있으나, 관련 법규^[1]에 의해 승객의 안전을 최우선으로 하는 승강기의 안전에 영향을 미칠 수 있는 어떤 장치도 승강기에 설치하지 못하도록 엄격히 규제되고 있어 큰 어려움을 겪고 있다.

먼저 승강로 또는 승강기 내부에 중계기 안테나를 설치하였을 때가 불특정 다수가 승강기 내부에서 핸드폰을 동시에 사용하는 경우보다 전자파 환경적으로 보다 안전할 수 있을 것이라는 추측은 가능하다. 왜냐하면 금속 구조물로 이루어진 승강기 내부에서 외부 전자파는 어느 정도 차폐되므로 핸드폰의 수신 전계 강도는 낮을 것이고, 이동 통신 시스템의 정밀 전력 제어 메커니즘^[2]에 의해서 수신 신호가 약하면 송신 신호를 크게 할 것이다. 따라서 중계기를 활용하여 적절한 크기의 신호를 수신할 수 있게 함으로써 오히려 핸드폰의 송신 출력을 낮게 유지할 수 있고, 결과적으로 주변의 다른 전자 장비에 전자파 장애를 일으키지 않으므로 보다 안전할 수 있다고 판단하였다.

본 연구에서는 승강기 시스템(여기에서는 승강기와 승강로, 기계실을 포함한다)에 이동 통신 중계기 안테나를 도입함과 동시에 적절히 송신 출력을 제한함으로써 전자파 적합성을 확보하는 방안을 검토하였다. 즉, 승강기 내에서 효과적인 무선 서비스를 가능케 하고, 동시에 승강기의 안전성을 강화할 수 있는 방안을 강구하였다. 본 논문에서는 이러한 연구의 과정을 요약하고, 나아가서 본 연구결과를 통해 현행 승강기 관련 법규를 개선하여 승강기 시스템 내부에 중계기를 설치할 수 있게 함으로써 휴대폰의 통화 품질을 개선한 사례를 소개한다.

II. 실험 방법 및 결과 분석

2-1 실험 방법

먼저 승강기의 설치 환경과 전파 환경이 상이한 신규 승강기 설치현장 4곳을 선정하였으며, 승강기 내부에서의 통화 품질을 개선하기 위해 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 다음의 2가지 방법으로 중계기

(a) 승강로에 중계기 안테나를 설치하는 경우
(a) Installation of a repeater antenna in a lift hoistway

(b) 승강기 내부에 중계기 안테나를 설치하는 경우
(b) Installation of a repeater antenna inside a lift

그림 1. 승강기 내에서의 통화 품질 개선을 위한 2가지 해법

Fig. 1. Two solutions for improving communication quality inside a lift.

안테나를 설치하는 경우를 고려하였다. 승강로에 안테나를 설치하는 경우(Solution 1)와 승강기 내부에 안테나를 설치하는 경우(Solution 2). 실제, 1차 실험은 부산 센텀스타 건물(60층, 66 stops)의 Thyssen-Krupp 엘리베이터, 2차 실험은 잠실 포스코 스타파크 빌딩(25층, 19 stops)의 Otis 엘리베이터, 3차 실험은 대전 파이낸셜 빌딩(17층, 24 stops)의 현대엘리베이터, 4차 실험은 광주 만호빌딩(5층, 7 stops)의 대성 IDS 엘리베이터를 대상으로 이루어졌다.

Solution 1의 실험을 위해서 승강로에 이득이 10.0 dBi 정도인 이중 대역(2G+WCDMA) 야기(Yagi) 안테나, Solution 2의 실험을 위해서 이득이 2.0 dBi 정도

인 중계기용 이중 대역(2G+WCDMA) 옴니 안테나를 각각 설치하였다.

실제 실험에서는 그림 1에 보인 2가지 경우에 대해서, 기계실 중앙지점과 승강기 바닥으로부터 1.5 m 높이에서의 전계 강도를 측정하였으며, 또한 기계실 제어반과 승강기 내부 패널의 각종 케이블로 유기되는 유도 전류를 측정하였다. 기계실과 승강기 내부에서의 전계 강도 측정 결과를 사용하여 노출되는 전계 강도와 승강기의 복사 전기장 내성 레벨을 비교하고, 또한 유도 전류의 측정은 승강기 제어반에서의 중요 신호와 결합되어 나타나는 전자파 장해 영향을 분석하는데 이용된다.

측정은 Rohde & Schwarz사의 ESPI 스펙트럼 분석기와 Schwarzbeck사의 USLP9142 대수주기형 안테나를 이용하였다. 또한, 유도 전류 측정은 Rohde & Schwarz사의 ESPI 스펙트럼 분석기와 FCC(Fischer Custom Communications)사의 F-2000 전류 프로브를 사용하였다. 여기에서, FCC사의 F-2000 전류 프로브는 10 MHz~3 GHz의 매우 넓은 주파수 대역에서의 공통 모드 전류 측정에 사용되며, 이동 통신 주파수 대역에서 약 22 dB Ω의 전달 임피던스를 가진다. 실제 측정에서는 기계실 제어반 및 승강기 제어패널에 있는 각종의 통신, 센서, 전원, 엔코더(encoder), 인버터 선로로 유도되는 전류를 측정하였다. 1차 현장 시험에서는 23개, 2차 현장 시험에서는 27개, 3차 현장 시험에는 48개, 4차 현장 시험에는 총 29개의 선로에서 유도 전류를 측정하였다.

2-2 실험 결과 및 전자파 환경 영향 분석

현장 측정에서 실험 조건 및 측정 환경에 따라 매우 다양한 측정 결과가 도출되었으며, 이러한 다양한 측정 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- Solution 1에서도 건물 꼭대기의 기계실에서도 일정 수준 이상의 전계 강도가 측정되었는데, 이는 승강로에서의 전파전파 특성과 송신 안테나의 후방 방사 패턴에 기인하는 것으로 판단된다.
- 실험 중에 중계기에 의한 영향보다 높은 수준의 전계 강도가 일시적으로 나타났는데, 이는 실험 인력의 이동 통신 단말기에 의한 영향으

로 확인되었다.

- 실험 중계기에 의한 유도 전류보다 승강기 전력 계통에 의한 유도 전류가 보다 현저하게 나타났다.
- 인접한 기지국의 신호는 물론, TRS 신호 등의 ISM 대역 신호도 CAN 통신 선로에 유기되어 나타났다.
- Solution 1에서 송신기로부터의 거리가 멀어짐에 따라 수신 전계 강도가 줄어들었으며, 동시에 이동 통신단말기에 의한 영향은 증가하였다.
- 트래픽(traffic) 모드에서 Solution 1보다 Solution 2에 의해 나타나는 전계 강도 및 유도 전류가 상대적으로 낮았다.

III. 실험 결과에 대한 해석

3-1 이동 통신 시스템의 전력 제어 효과

현장 측정 결과는 대부분 유사한 경향을 가지며, 2-2에서 기술한 것으로 정리될 수 있다. 4곳에서의 실험 결과 중에서 승강기 시스템 내부에서의 이동전화 통화 품질과 관련된 현상을 설명하기 위해 승강기 내부의 이동국의 송, 수신 출력의 변화에 관한 실험 결과의 한 예를 제시하고자 한다. 그림 2는 대전 파이낸셜 빌딩에서 이루어진 실험 결과를 나타내며, 사용된 이동 통신 시스템은 SKT 2G이고, 총 층고 24층의 승강로 상부에 중계기 안테나를 설치한 Solution 1의 경우에 대해 승강기가 상하로 이동하면서

그림 2. Solution 1에 대한 이동국(핸드폰)의 출력 변화
Fig. 2. Rx and Tx power variation of a mobile station for the Solution 1.

10분간 단말기의 송, 수신 레벨을 측정한 결과이다. 그림 2로부터 송강기 내부에 설치된 단말기의 수신 레벨이 낮아질수록 송신 출력은 증가함을 알 수 있으며, 이러한 측정 결과는 이동 통신 시스템의 전력 제어 효과를 잘 설명하고 있다.

3-2 Solution 1과 Solution 2의 비교

우리는 그림 2에서 Solution 1에 대한 이동 통신 시스템의 전력 제어 효과를 확인하였으며, 이러한 전력 제어 효과가 Solution 1과 Solution 2에서 어느 정도의 차이를 보이는 지를 실험하였다. 실험은 대전 파이낸셜 빌딩에서 Solution 1, 광주 만호빌딩에서 Solution 2에 대해 이루어졌으며, 각각 SKT 2G와 SKT 3G 이동 통신 시스템을 구현하여 실험하였다. 그림 3은 SKT 3G 이동 통신 시스템에 대해 Solution 1과 Solution 2의 비교 실험 결과이다.

이러한 실험 과정은 SKT 2G 이동 통신 시스템에 대해서도 유사한 실험 결과를 얻었다. 그림 3으로부터 Solution 2가 Solution 1보다, 이동 통신 단말기의 최대 출력이 약 30 dB 적음을 알 수 있다. 이러한 결과는 Solution 1의 경우, 송강기가 이동함에 따라 층고에 따른 수신 전력의 변화가 큰 반면에, Solution 2의 경우에는 중계기 안테나가 송강기 내부에 설치되므로 이동 통신 전파가 안정적인 레벨로 송수신되는 것에 기인한다. 또한, Solution 1의 경우, 층고가 높은 빌딩에서 적절한 구간마다 중계기 안테나를 설치해야 하는 단점이 있다.

3-3 유도 전류 영향 분석

본 절에서는 측정된 유도 전류가 송강기 제어 신호와 결합되어 나타나는 영향을 해석한 결과를 기술한다. 본 해석에서는 측정된 신호를 소스(source)로 사용한다. 먼저, 측정 신호가 시뮬레이션 상에서 정확하게 표현되도록 소스를 입력하고, 그 소스의 출력 파형을 검증해야 한다. 두 번째로는 주파수 영역의 신호를 시간 영역 신호로 변환하는 것이다. 측정된 주파수 영역의 유도 전압 값을 사용된 전류 프로브의 전달 임피던스 특성과 푸리에 역변환을 사용하여 시간 영역 유도 전류로 변환한다.

시뮬레이션은 C1_CAN 신호, 인버터 신호, main

그림 3. Solution 1과 Solution 2에 대한 이동국(핸드폰)의 출력 변화 비교 실험 결과

Fig. 3. Comparison of power variation of a mobile station for the Solution 1(a) and Solution 2(b).

address 신호와 변환되어진 2G, 3G 신호를 사용하였다. 시뮬레이션을 위해 Ansoft사의 Nexxim Ver 4.0을 사용하였는데, 프로그램에서 음(-)의 값 시간 영역을 인식하지 못하므로 측정 값 중 양(+)의 값만을 취하여 소스로 인가하였다. 또한, 2G, 3G 신호의 커플링을 이용하기 위해 두 개의 마이크로스트립 라인이 있는 그림 4와 같은 커플링 전송 선로를 사용하였다. 커플링 전송 선로는 기본적으로 감쇠비를 가지고 있으므로 원 신호 대비 감쇠비를 고려한 입력신호를 인가하여야만 실제 영향을 받은 신호에 대한 평가가 이루어질 수 있다.

그림 5(a)에 CAN 통신의 원 신호와 그림 5(b)에 이동 통신 중계기 신호가 결합된 CAN 통신 신호를 보였으며, 표 1에 두 신호의 아이 패턴(eye-pattern)의 파라미터 값을 나타내었다. 표 1로부터 두 신호의 아이 패턴에서 차이가 크지 않음을 확인할 수 있으며, 따라서 이동 통신 중계기 신호가 CAN 통신 신호

그림 4. 이동 통신 신호와 CAN 신호의 결합 회로도
Fig. 4. Simulation circuit of the CAN signal coupled with a repeater signal.

(a) 원 신호
(a) An original signal

(b) SKT 2G 신호와 결합된 신호
(b) The coupled signal with 2G mobile comm

그림 5. CAN 통신 신호의 아이 패턴
Fig. 5. Eye pattern of the CAN signal.

의 신호 품질에는 크게 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

표 1. CAN 원 신호와 결합된 신호의 아이 패턴 파라미터 비교

Table 1. Comparison of the eye patterns between the original CAN signal and the coupled signal.

유형	MEO(V)	MEW(us)	Jitter(us)
CAN 신호	0.2127	1.8059	0.2181
커플링된 신호	0.1971	1.8015	0.2094

실제 분석에서는 이러한 CAN 통신 신호 외에도, 인버터 신호, 주 어드레스(main address) 신호 등의 다양한 통신 및 제어 신호에 대해 이루어졌으며, CAN 신호와 동일하게 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 이동 통신 신호는 시간 영역에서 수 ns의 임펄스(impulse) 신호와 같기 때문에, 수 ms 또는 μ s를 사용하는 승강기의 통신 및 제어 신호에는 영향을 주지 않기 때문이다.

본 논문에서는 약 1년간의 현장 측정과 실험 분석을 요약하여 정리한 것이다. 많은 현장 측정 결과는 용역보고서^[3]에 포함되어 있으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째로, 이동 통신 중계기에 의해 승강기의 기계실 및 승강기 내부에 발생하는 전계 강도는 KS B 6945:2007에서 요구하는 전기장 내성 시험 레벨보다 낮다. 단, 이동 통신 주파수와 내성 시험 주파수 범위는 다르기 때문에 명확히 전자파 적합성이 이루어진다고 볼 수는 없다.

둘째로, 이동 통신 중계기에 의해 복사되는 전자파가 승강기 케이블에 유도됨을 확인하였다. 그러나 이러한 유도 전류는 현재 승강기에서 사용되고 있는 전송 신호의 품질에 큰 영향을 끼치지 않음을 확인하였다. 이는 유도 전류의 크기가 작을 뿐 아니라 주파수에서도 큰 차이가 있기 때문인 것으로 판단한다.

셋째로, 이동 통신 중계기에 의한 영향은 Solution 2 보다 Solution 1의 경우가 보다 심각한 것으로 판단된다. Solution 1의 경우, 중계기 안테나가 승강로에 설치되므로 전자파 차폐 기능을 갖는 금속성 승강기 내부에서는 이동 통신 단말기의 전력 제어 특성에 따라 송수신 특성에 변화가 크다. 반면에 Solution 2의 경우, 매우 안정적인 범위에서 송수신이 이루어지고, 보다 낮은 최대 송신 출력으로 승강기 내부의 전파 환경이 보다 우수하고, 또한 승강기에 미치는

영향 또한 줄어드는 것으로 판단된다. 따라서 두 경우 중에서 Solution 2의 경우가 보다 전자파 환경적으로 유익한 것으로 판단할 수 있다.

넷째로, Solution 1의 경우, 승강로 상, 하부에 중계기 안테나를 설치하게 되므로 빈 공간(clearance space) 확보에 제한이 있고, 또한 유지 보수에 어려움이 있을 것으로 판단하며, 초고층 빌딩의 경우에 승강로 길이가 길어져 전파 품질 유지를 위해 추가적인 전파공학 설계가 필요할 것이다. Solution 2의 경우, 승강기 내부의 중계기 안테나로 통신 신호를 전송하기 위해 동축 케이블이 필요하며, 따라서 승강기 케이블과 영킹 사고를 일으킬 소지가 크다.

다섯째로, 승강기 시스템에는 본 실험에 사용된 이동 통신 주파수 외에도 다양한 종류의 전기적 잡음이 존재함을 확인하였다. 이러한 전기적 잡음은 현재 승강기의 안전에 영향을 끼치고 있는 것으로 판단한다. 특히, 인버터를 사용하는 전원 장치의 경우, 매우 높은 주파수에 이르는 상당한 크기의 잡음이 다양한 승강기 케이블에 유도되고 있었다. 또한, 부산 및 광주 현장 시험에서는 TRS 주파수와 ISM 대역의 2.4 GHz 대역 신호가 승강기 케이블로 결합되고 있었다.

IV. 효과적 도입 방안의 제안

우리는 앞에서 이동 통신 시스템의 중요한 특징이 정밀 전력 제어에 있으며, 승강기 내부에 이동 통신 중계기를 설치함에도 불구하고 승강기 내부의 전자파 환경은 오히려 개선될 수 있음을 확인하였다. 따라서 전자파 환경적으로 이동 통신 중계기의 출력과 이동 통신 단말기의 출력이 평형이 되는 조건을 찾는 것이 바람직하다. 그림 6에 이동 통신 정밀 전력 제어에 의한 출력 평형 구간을 분석한 결과를 보였다. 그림 6으로부터 이동 통신 중계기의 출력을 -5 dBm으로 제한할 때, 승강기 내부에서의 전자파 환경이 안정됨을 알 수 있다.

또한 전자파 내성 기술 기준을 고려하여 위에서 구해진 중계기 출력이 전자파 적합성을 유지할 수 있는가를 분석하였다. 승강기의 전자파 내성은 10V/m 로 규정되어 있다^[4]. 따라서 그림 7로부터 이러한 전자파 내성 기준에 20 dB의 안전 마진(safety

그림 6. 이동 통신 시스템의 전력 제어에 의한 출력 평형구간 분석

Fig. 6. Equilibrium-region analysis for output power with power-control mechanism in mobile communication systems.

그림 7. 중계기 출력의 전자파 적합성 분석

Fig. 7. EMC analysis for a repeater output-power.

margin)을 고려하면 1 V/m 이상의 전계 강도가 승강기 내부에서 노출되지 않도록 해야 한다. 여기에서, 10 cm의 최소 근접거리를 고려하면, 등가 유효 복사 전력(EIRP)은 -4.77 dBm이 된다. 따라서 이동 통신 중계기의 출력을 -5 dBm으로 제한하는 것이 타당한 것으로 분석된다.

V. 결 론

승강기 내에서 핸드폰의 사용이 일반화됨에 따라 통화 품질에 대한 민원이 증가하고 있으며, 이동 통신 서비스 3사에서는 이러한 민원의 해소를 위해 건물 각 층의 승강장 주변에 중계기 안테나를 설치하고 있으나 비용이 많이 소요된다. 따라서 서비스 3

사에서는 승강기 시스템 내부로 중계기 안테나의 설치를 희망하고 있으나, 관련 법규에 의해 설치가 제한되고 있다.

본 연구를 통해서 승강기 시스템에 이동 통신 중계기 안테나를 설치하는 2가지 solutions을 검토하였으며, 특히, 승강기 내부에 안테나를 설치하는 방법 (Solution 2)이 보다 효과적임을 확인하였다. 또한, 승강기에 대한 전자파 내성 기술 기준과 20 dB의 안전마진을 고려하여 중계기 안테나의 출력(EIRP)을 -5 dBm으로 제한할 것을 제안하였으며, 이러한 규정은 현행 검사 기준에 반영되어 있다. 이러한 출력은 이동 통신 시스템의 정밀 전력 제어 메커니즘에 따라 최적의 안정된 전자파 환경을 제공한다. 또한, 이러한 도입 방안을 뒷받침하기 위해 현행 기술 기준(KS B6945: 2007)은 적용 주파수 상한을 현행 500 MHz에서 국제표준화동향에 맞춰 2.7 GHz로 확대할 필요가 있다.

현재 건물의 각층에 설치되는 중계기 안테나를 승강기 시스템 내부에 설치할 경우, 향후 5년간 약 5,600억 원의 비용을 절감할 수 있을 것으로 추정된다^[5]. 도선이 없는 기술(무선), 그 자체가 Green ICT가 아니라, 무선을 활용하여 오히려 전자파 환경을 개선할 수 있음을 보여준 본 연구가 Green ICT의 중요한 사례가 될 수 있다.

감사의 글

현장 시험을 위해 이동 통신 중계기 시스템을 설치하고, 데이터 수집을 도와준 대보시스템즈(주) 유승하 부사장과 허윤도 대리께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 법률 제9384호, "승강기 시설 안전 관리법" 및 "동법 시행령, 검사 기준 등", 행정안전부, 2009년 1월.
- [2] D. P. Agrawal, Q. Zeng, *Introduction to Wireless and Mobile Systems*, Thomson Learning, USA, 2003.
- [3] 정연춘 등, "이동 통신용 중계기에 의한 승강기 설비의 EMC 안전성에 관한 조사 분석", 서경대학교 산학협력단, 2008년 12월.
- [4] KS B4945: 2007, "전자파 적합성-엘리베이터, 에스컬레이터 및 수평 보행기 제품군 규격-내성", 2007.
- [5] 행정안전부 보도 자료, "승강기내 이동 통신 중계기(안테나) 설치관련 검사 기준 마련", 2009년 12월.

임 병 철

1994년 2월: 경북대학교 전기공학과 (공학사)
2000년 2월: 경북대학교 전기공학과 (공학석사)
2010년~현재: 서경대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
1995년~2009년: 한국승강기안전관

리원 표준연구팀 책임연구원
2009년11월~현재: 한국승강기대학교 안전관리과 교수
[주 관심분야] Functional Safety를 고려한 Large System의 EMC 측정 및 대책기술

정 기 범

1999년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 한양대학교 전자공학 박사과정
2004년~2008년: RAPA 전자파기술

원 팀장
2008년~현재: (주)이엔알텍 대표이사
[주 관심분야] EMC를 고려한 회로 및 PCB 대책 설계, 수치해석

정 연 춘

1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이
학사)

1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이
학석사)

1999년 8월: 충남대학교 전자공학
과 (공학박사)

1985년 12월~2001년 5월: 한국표준
과학연구원 전자기환경그룹 그룹장 책임연구원

2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics

2001년 6월~2002년 2월: (주)익스팬전자 중앙연구소장

2005년 6월~2008년 11월: 한국전자진흥협회 EMC기술지
원센터장(겸임)

2002년 2월~현재: 서경대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책 기술, 전자파 재료