

## 70 kV 임펄스용 접힌 TEM 혼 안테나에 관한 연구

### Study on Folded TEM Horn Antennas for 70 kV Impulse

이진성\*                      변준호\*\*                      안영준\*\*\*                      이병제\*\*\*\*  
(Jin-Seong Lee)              (Joon-Ho Byun)              (Young-Joon Ahn)              (Byungje Lee)

#### 요 약

본 연구에서는 70 kV 임펄스를 사용하는 고출력 시스템에 적합한 두 번 접은 TEM 혼 안테나를 제안하였다. 제시된 구조는 TEM 혼 안테나를 두 번 접음으로서 길이를 50 % 이상 줄일 수 있는 장점을 가진다. 제안된 안테나는 배열된 구조가 되고, 이를 급전하기 위해 체비셰프 다단 변환기를 이용한 스트립 구조의 전력분배기를 사용하였다. 전력분배기는 4개의 TEM 혼 안테나에 동일한 전력과 위상을 공급하며, 광대역(150 MHz ~ 768 MHz, VSWR<2.0)으로 동작한다. 제안된 안테나는 70 kV 임펄스에서 정전파괴현상이 발생하지 않도록 금속과 금속과의 간격은 25 mm 이상을 이격하여 설계하였다. 실제로 제작된, 두 번 접힌 TEM 혼 안테나의 크기는 1730 × 1600 × 300 (mm<sup>3</sup>)이고, 반사손실 10 dB 이하를 기준으로 동작 주파수는 152 MHz ~ 750 MHz, 400 MHz ~ 750 MHz에서 안테나 이득은 6.77 dBi ~ 10.70 dBi 이다.

#### ABSTRACT

In this paper, a twice folded TEM horn antenna for 70 kV impulse high power system is proposed. The length reduction of 50 % is achieved by folding a conventional TEM horn antenna twice. The array elements are fed by the stripline power divider using the Chebyshev transformer. The power divider feeds four TEM horn antenna elements with an in-phased uniform power, and it covers a wide bandwidth (150 MHz ~ 768 MHz, VSWR<2.0). Considering the air breakdown at peak 70 kV impulse, the proposed antenna maintains the 25 mm gaps between conducting plates. The dimension of the twice folded horn antenna is 1730 × 1600 × 300 (mm<sup>3</sup>), and the operating frequency is from 152 MHz to 750 MHz under 10 dB return loss. The peak gains are measured from 6.77 dBi to 10.70 dBi at 400 MHz ~ 750 MHz.

**Key words :** TEM horn, impulse, high power, folded TEM horn, breakdown

#### I. 서 론

최근 전자산업이 발전하면서, 고출력 전자파가 전자 기기에 미치는 영향과 이에 대한 예방 대책이 활발히 연구되어지고 있다. 일반적으로 전자파가 전자

기기에 미치는 영향에 관한 연구는 고출력 시스템을 사용하여 실험하며, 고출력의 신호를 전송하는 시스템을 구성하기 위해서는 반드시 정전파괴를 고려하여 설계해야 한다. 만약, 고출력 시스템의 안테나에서 정전파괴현상이 발생하면, 고출력 신호의 정상적

\* 주저자 : 유비쿼터스 신기술 연구센터 전임연구원

\*\* 공저자 : 삼성전자, 정보통신총괄, 통신연구소, 선행 CAE Lab

\*\*\* 공저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

\*\*\*\* 공저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수

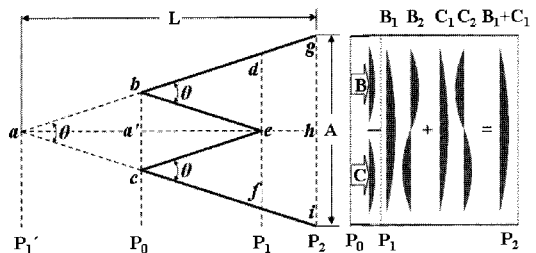
† 논문접수일 : 2007년 8월 7일

인 전송이 불가능하게 되고, 반사된 신호는 시스템의 전원부에 심각한 손상을 일으킬 수 있기 때문에 이러한 정전파괴현상을 방지하는 것은 고출력 시스템에서는 무엇보다 중요하다 [1]. 일반적으로 고출력 임펄스를 사용하는 시스템은 특정한 주파수 대역이 아닌 임의의 주파수를 가지는 불특정 다수의 전자기기를 실험대상으로 하기 때문에 안테나가 광대역에서 동작해야 한다. 본 논문에서는 광대역으로 동작하고 고출력 임펄스 전송 특성이 우수한 것으로 알려진 TEM 혼 안테나[2,3]의 물리적인 길이를 줄일 수 있는 접힌 TEM 혼 구조를 이용하여 최고 전압 70 kV에서 정전파괴가 발생하지 않는 임펄스용 광대역 두 번 접은 TEM 혼 안테나를 설계하고 제작하여 특성을 분석하고자 한다.

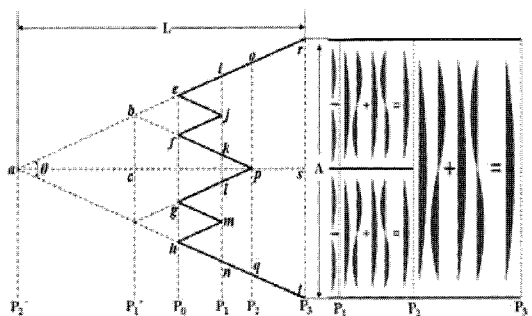
## II. 동작 원리와 방사체의 설계

TEM 혼 안테나는 동작 주파수가 낮을수록 안테나의 길이가 커진다는 단점이 있다 [4]. 이러한 단점을 보완하기 위해 안테나의 길이를 줄일 수 있는 접힌 TEM 혼 안테나 구조가 제안되었다 [5]. <그림 1>은 TEM 혼 안테나를 한 번 접은 구조와 동작원리를 나타내고 있다. TEM 혼 안테나 g-a-i에서 모드의 합성과 상쇄를 위한 최적의 합성 길이 e-h를 결정[5]하고, 전체길이 a-h에서 최적화된 모드 합성 길이 e-h를 제외한 점 a와 e의 중점 a'를 잇는 b-a'-c를 기준으로 안테나를 접어서 g-b-e-c-i를 연결하는 한 번 접은 TEM 혼 안테나를 설계할 수 있다. 이렇게 설계된 안테나는 높은 주파수에서 동작하는 두 개의 TEM 혼(d-b-e, e-c-f)과 낮은 주파수에서 동작하는 한 개의 TEM 혼(g-b-c-i)으로 이루어지며, 접힌 길이 a-a'만큼 안테나의 길이가 줄어들게 된다. 이때, 안테나는 2개의 입력을 가지며, <그림 1>의 P0의 경계면에서 B와 C로 각각 급전된 파동은 P1과 P2 경계면 사이에서 주 모드(B1, C1)와 함께 고차모드(B2, C2)가 발생하게 된다. 발생된 전계는 레벨 P1과 P2의 경계면 사이에서 고차모드의 상호 상쇄가 이루어져 고차모드의 발생을 억제시키게 되고, 주

모드만 결합하게 된다. 이러한 모드의 합성과 상쇄의 동작원리에 의해 접힌 TEM 혼 구조는 광대역으로 동작하게 되고, 이는 도파관 슬랫 결합기의 동작 원리와 유사하다 [5]. <그림 1>에서 작은 TEM 혼(d-b-e, e-c-f)에 앞에서 설명한, TEM 혼 안테나 접는 방법을 다시 한 번 적용하면, <그림 2>와 같이 가장 높은 주파수에서 동작하는 네 개의 TEM 혼(i-e-j, j-f-k, l-g-m, m-h-n), 중간 주파수에서 동작하는 두 개의 TEM 혼(o-e-f-p, p-g-h-q), 가장 낮은 주파수에서 동작하는 한 개의 TEM 혼(r-e-h-t)으로 구성된 r-e-j-f-p-g-h-t를 연결하는 4개의 입력을 가지는 두 번 접은 TEM 혼 안테나를 설계 할 수 있다. 안테나의 동작원리는 <그림 1>의 한 번 접은 TEM 혼 안테나 구조를 확장한 형태이다. 본 논문에서는 시뮬레이션과 실험을 통하여 TEM 혼 안테나의 두 도체판 사이각  $\theta$  는  $24^\circ$ , 개구면 크기 A는  $1.2\lambda$ , 전체길이 L은  $2.8\lambda$ 로 결정하였고, 이를 변형하여 접힌



<그림 1> 한 번 접은 TEM 혼 안테나 구조  
<Fig. 1> Structure of once folded TEM horn antenna

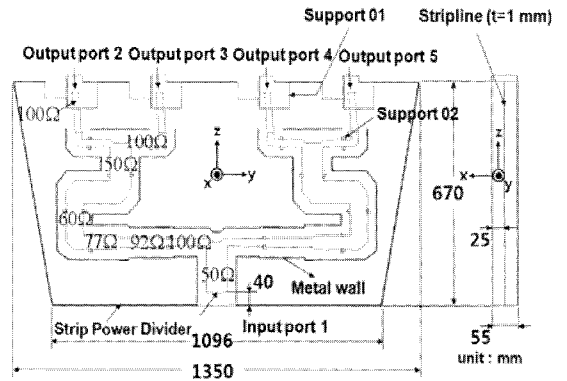


<그림 2> 두 번 접은 TEM 혼 안테나 구조  
<Fig. 2> Structure of twice folded TEM horn antenna

TEM 혼 안테나에 관한 연구를 수행하였다. 이때, TEM 혼 안테나의 최저 동작 주파수는 200 MHz로 결정하였다.

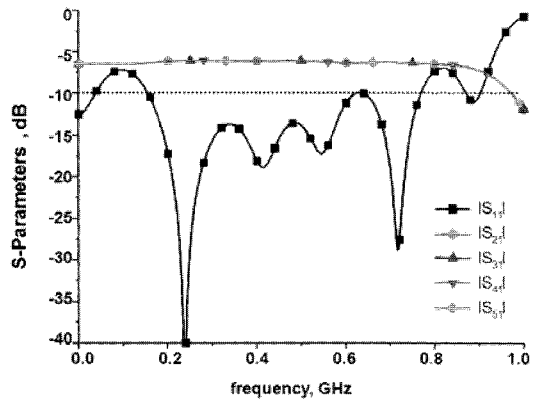
### III. 전력 분배기 설계

본 절에서는 두 번 접은 TEM 혼 안테나를 급전시키기 위한 70 kV 임펄스용 광대역 전력 분배기에 대해 설명하고자 한다. 고출력에서 정전파괴를 방지하기 위한 일반적인 방법은 내전압이 높은 절연가스를 주입하는 방법을 가장 많이 사용한다. 그러나 본 논문에서는 공기를 유전체로 사용하는 경우만을 고려하여 전력분배기를 설계하였다. 일반적으로 공기를 유전체로 사용할 경우, DC 전압에서 1 mm당 3 kV의 내전압을 가진다 [6]. 70 kV 임펄스에서 정전 파괴현상을 방지하기 위해 전력 분배기는 금속과 금속 사이의 간격을 24 mm 이상 이격하여 설계하여야만 한다. 따라서 공기를 유전체로 사용하는 스트립 구조의 전력 분배기는 정전 파괴 방지를 위해 스트립 라인과 접지의 간격을 위, 아래 각각 25 mm 이격하여 설계하였다. 또한, 스트립 구조 전력 분배기의 캐버티 공진 방지를 위해 스트립 라인을 따라서 약 25 mm 떨어진 부분에 금속벽을 설치하였다 [7]. <그림 3>은 제안된 전력 분배기의 상세도이다. 전력 분배기는 광대역 동작특성을 위해 체비셰프 다단 변환기를 이용하여 100 Ω - 92 Ω - 77 Ω - 60 Ω - 50 Ω으로 변환하도록 스트립 구조로 설계하였고, 1개의 입력부(50 Ω)와 4개의 출력부(100 Ω)를 가지며, 동일한 위상과 전력을 4개의 TEM 혼 안테나에 전달한다. 안테나 방사 소자와 전력분배기를 연결하는 급전 부분을 지지하기 위해 유전율 3.0의 폴리카보네이트(support-01)를 사용하였고, 스트립라인의 지지를 위해 임피던스 부정합이 최대한 적게 발생하도록 support-02(폴리카보네이트)를 사용하였다. 스트립 라인은 두께 1 mm의 두랄루민을 사용하고, 접지 부분은 두께 2 mm의 두랄루민을 사용하였다. 설계된 전력 분배기의 크기는 1350 × 670 × 55(mm<sup>3</sup>) 이다. <그림 4>에서는 제안된 전력 분배



<그림 3> 제안된 스트립 구조의 전력 분배기

<Fig. 3> Structure of proposed power divider



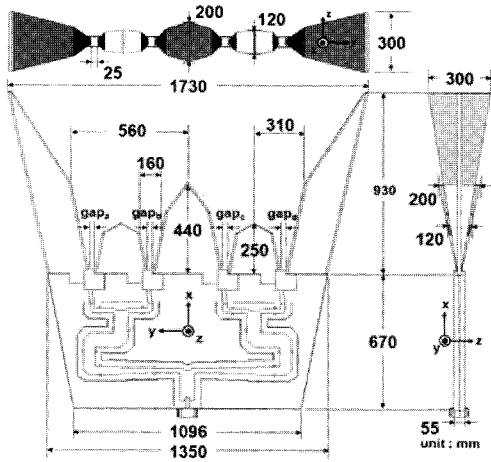
<그림 4> 제안된 전력 분배기의 시뮬레이션 결과

<Fig. 4> Simulated results of proposed power divider

기의 반사 손실과 삽입 손실의 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다. 시뮬레이션 결과 전력 분배기의 동작 주파수는 반사손실 10 dB 이하를 기준으로 150 MHz ~ 768 MHz이고, 삽입손실은 동작 주파수 내에서 약 6 dB이다.

### IV. 접힌 TEM 혼 안테나 설계

<그림 5>는 두 번 접은 TEM 혼 안테나의 상세도이다. 안테나 방사체와 스트립 구조의 광대역 고출력 전력 분배기가 결합된 모습을 보여주고 있다. 설계된 안테나는 70 kV 임펄스에서 정전파괴를 방지하기 위해 안테나 방사체 입력부의 도체판 사이의 간격  $g_{a1}$ ,  $g_{a2}$ ,  $g_{a3}$ ,와  $g_{a4}$ ,를 25 mm 간격으로

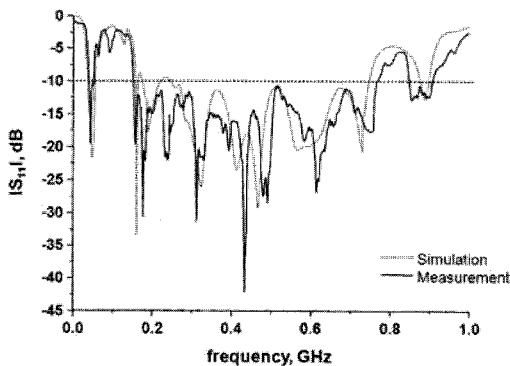


<그림 5> 제안된 두 번 접은 TEM 혼 안테나  
 <Fig. 5> Structure of proposed twice folded TEM horn antenna

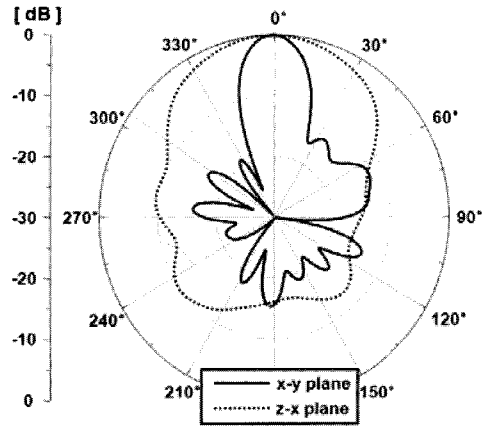
이격시켜 설계하였다. 제작된 안테나의 전체 크기는  $1730 \times 1600 \times 300$  (mm<sup>3</sup>) 이며, 안테나 방사체는 전기전도성, 무게, 견고성을 고려하여 두께 2 mm의 두랄루민을 사용하여 제작하였다.

### V. 측정 결과

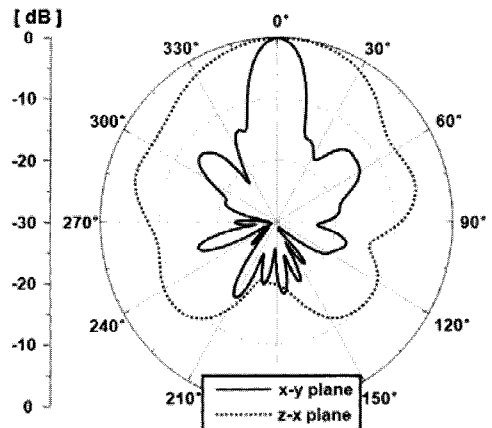
<그림 6>은 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 반사손실을 측정하여 비교한 그래프이다. 점선은 CST를 사용하여 시뮬레이션을 수행한 결과이고 실



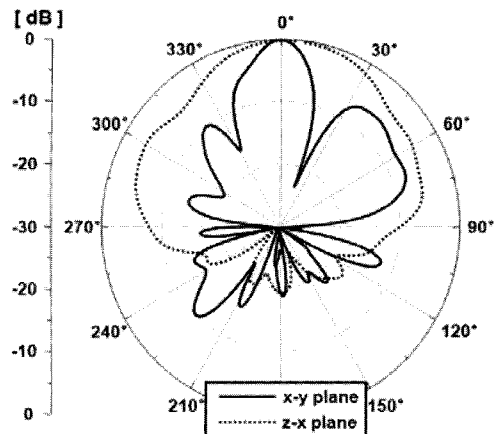
<그림 6> 두 번 접은 TEM 혼 안테나 반사손실  
 <Fig. 6> Return loss of twice folded TEM horn antenna



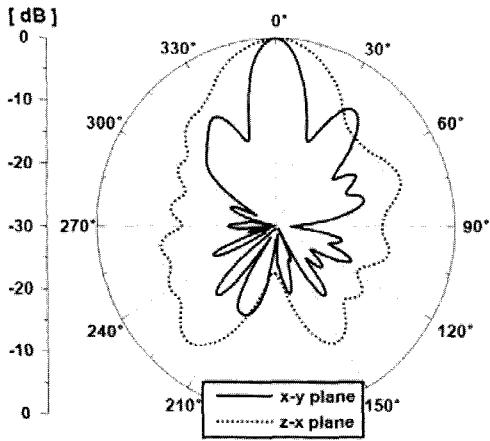
(a) 400 MHz



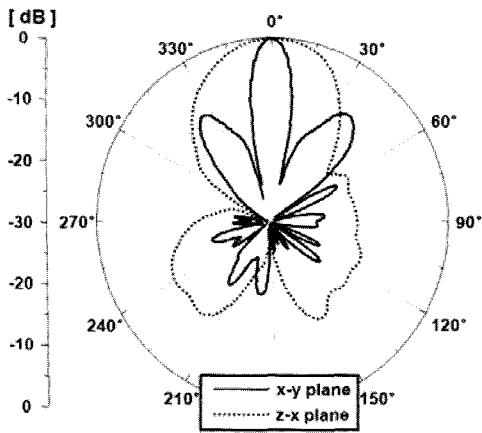
(b) 500 MHz



(c) 600 MHz



(d) 700 MHz



(e) 750 MHz

<그림 8> 제작된 안테나의 x-y 방사 패턴과 z-x 방사패턴 측정 결과

<Fig. 8> Measured radiation patterns at x-y plane and z-x plane of the proposed antenna

선은 에질런트사 네트워크 분석기 E5071B를 사용하여 실제 측정된 결과이다. 제작된 안테나는 반사 손실 10 dB 이하를 기준으로 152 MHz ~ 768 MHz 에서 동작한다.

<그림 7>은 제작된 안테나를 전자파 무반사실에서 x-y plane과 z-x plane을 측정된 결과이다. <표 1

은 전자파 무반사실 측정 가능 주파수 대역인 400 MHz ~ 750 MHz에서의 시뮬레이션 결과와 실제 측정된 안테나의 최대 이득을 비교한 표이다. <그림 7>과 <표 1>을 분석한 결과, 주파수가 증가하면서 이득이 증가하고, x-y plane에 비해 z-x plane의 반 전력 빔 폭이 넓음을 확인할 수 있다. 안테나의 최대 이득은 750 MHz에서 10.70 dBi이며 최소 이득은 400 MHz에서 6.77 dBi이다.

<표 1> 시뮬레이션과 측정된 안테나의 이득 비교  
<Table 1> Comparison of measured and simulated result

Frequency, MHz	Simulated, dBi		Measured, dBi	
	x-y plane	z-x plane	x-y plane	z-x plane
400	8.30	7.90	6.77	7.04
500	9.20	9.20	9.32	9.57
600	9.70	9.70	9.61	9.57
700	10.90	10.90	10.56	10.03
750	11.50	11.50	10.58	10.70

#### IV. 결론

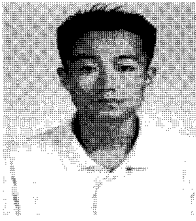
본 논문은 70 kV 임펄스 시스템용 안테나로 두 번 접은 TEM 혼 안테나를 제안하였다. 안테나를 접음으로서 TEM 혼 안테나에 비해 50 % 이상 길이를 줄일 수 있었다. 안테나는 공기를 유전체로 사용할 경우, 정전파괴를 방지하기 위해서 모든 금속과 금속과의 간격을 25 mm 이상 이격하였으며, 이는 DC 75 kV에서도 정전파괴가 발생하지 않을 것으로 예상된다. 최종적으로 제작된 안테나의 동작 주파수는 152 MHz ~ 768 MHz 이고, 안테나의 이득은 750 MHz에서 10.70 dBi이다.

#### 참고문헌

[1] 윤영중, 이병무, 한만근, 김형락, "초고출력용

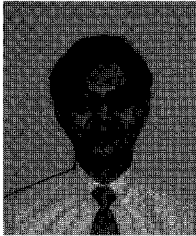
- 안테나 기술," *한국전자과학회 전자과학기술*, vol. 10, no 4, pp. 3-15, 2000. 10.
- [2] D. A. Jolokotronis, Y. Huang, and J. T. Zhang, "Design of TEM horn antennas for impulse radar," *IEEE High Frequency Postgraduate Student Colloquium*, Leeds, U.K., pp. 120-126, Sept. 1999.
- [3] R. T. Lee and G. S. Smith, "A design study for the basic TEM horn antenna," *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 46, no.1, pp. 86-92, Feb. 2004.
- [4] J. D. Taylor, *Introduction to Ultra-Wideband Rader Systems*, CRC Press, Inc., Florida, pp. 176-183, 1995.
- [5] V. B. Braude, S. B. Sukhovetskaya, and B. J. Sukhovetsky, "Wide-band folding horn type microwave antennas," *Antennas and Propagation for Wireless Communications, Proc. IEEE APS Conf.*, pp. 143-146, Nov. 2000.
- [6] K. Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, John Wiley & Sons, New York, p. 44, 2000.
- [7] 박진우, 이진성, 박근태, 유한필, 이병제, "20 kW 용 임펄스 발생기를 입력 신호로 하는 고출력 광대역 배열 안테나에 사용되는 4-way 전력 분배기에 관한 연구," *한국통신학회 하계종합학술 발표회 논문집*, vol. 33, pp. 693-, 2006. 8.

저자소개



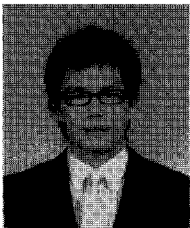
이진성 (Lee, Jin-Seong)

2001년 2월 : 호서대학교 전파공학과 (공학사)  
 2003년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2007년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)  
 2007년 9월 ~ 현재 : 유비쿼터스 신기술 연구센터 전임연구원



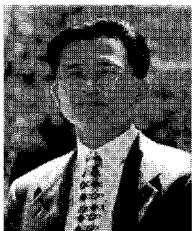
변준호 (Byun, Joon-Ho)

1999년 12월 : 미국 Southern Illinois University at Carbondale 전자공학과 (공학박사)  
 2000년 1월 ~ 현재 : 삼성전자 정보통신연구소 책임연구원



안영준 (Ahn, Young-Joon)

2007년 2월 : 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
 2007년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정



이병제 (Lee, Byungje)

1998년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수  
 1997년 2월 : 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학박사)  
 1993년 12월 : 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학석사)  
 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 5월 ~ 1998년 2월 : 삼성전자 정보통신연구소 선임연구원  
 1998년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수