

각지 긴 결합 구조와 슬롯을 이용한 마이크로스트립 패치 대역통과필터의 특성 개선

Improvement of the Microstrip Patch Bandpass Filter using Interdigital Coupling Structure and Embedded Slot

김 현 · 임현준 · 윤현보

Hyun Kim · Hyun-jun Lim · Hyun-Bo Yoon

요 약

본 논문에서는 새로운 구조의 마이크로스트립 패치 대역통과필터를 제안하였다. 이 구조에서는 필터의 삽입 손실과 크기를 동시에 줄이기 위해 패치 구조에 각지 긴 결합구조와 슬롯을 적용하였다. 그 결과, 5 GHz의 공진 주파수로 설계한 패치 대역통과필터를 공진 주파수는 1.8946 GHz로, 삽입손실은 -2.168 dB에서 -0.379 dB로 줄일 수 있었다. 제안된 필터는 1.8946 GHz 공진 주파수의 상용화된 마이크로스트립 필터인 최소단수의 평행 edge 결합필터의 길이와 비교할 때 64.9 % 줄일 수 있었고, 삽입손실도 더 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

Abstract

In this paper, A new microstrip bandpass filter is proposed. The novelty of the proposed structures is to use a interdigital capacitor and embedded slot that are formed on a patch resonator such that its insertion loss and size can be significantly reduced simultaneously. As a result, it is found that the resonant frequency of patch filter designed at 5 GHz is decreased to 1.8946 GHz and the insertion loss is reduced from -2.168 dB to -0.379 dB. This proposed filter has small size and low insertion loss in comparison with the conventional parallel edge coupled bandpass filter.

I. 서 론

정보화 시대의 발전에 따라, 이동통신이 보편화 되고 다양한 통신서비스의 요구에 맞추어 그에 따른 모든 통신 시스템들이 집적화, 소형화 추세에 있다.

소형필터 역시 통신시스템의 한 부분으로써 활발히 연구 개발되어 왔다. 특히 최근에는 단면적이 작고 경량이며, 여러 유형의 구조에 적합한 제작의 용이성과 경제성 등의 많은 장점을 갖고 있는 다양한 구조의 마이크로 스트립 선로 필터들이 연구 개발

되고 있다^{[1]~[3]}.

그러나, 기존의 상용화된 마이크로스트립 선로 필터들의 특성은 손실이 많고, 결합단수가 증가함에 따라 필터의 크기가 커지는 단점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 주로 안테나 설계에 많이 쓰이는 마이크로스트립 패치를 대역통과 필터의 공진기로서 적용하였다. 이것은 Capacitive-gap-coupled 전송선로 필터의 $\lambda/2$ 공진기 대신에 마이크로스트립 패치 구조를 공진기로서 적용한 형태로서, Gap coupled feed antenna를 필터로 응용한 구조를 갖는다^[4]. 그러

동국대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Dong Kuk University)

· 논문 번호 : 20001107-131

· 수정완료일자 : 2001년 4월 18일

나, 마이크로스트립 패치를 그대로 필터로 적용하면 손실이 많고, 크기도 많이 줄지 않는 단점이 있다. 따라서 이를 개선하기 위해 마이크로스트립 패치 구조에 깎지 낀 결합 구조(interdigital capacitor structure)와 슬롯(slot)을 사용하여 공진 주파수를 낮춤으로써 소형화 하고, 대역폭을 증가시키고, 삽입손실을 줄이고자 하였다^{[5]-[7]}.

II. 마이크로스트립 패치 대역통과 필터의 설계

마이크로스트립패치 대역통과 필터의 공진기로 사용된 패치구조는 그림 1과 같다.

패치 공진기의 길이와 폭은 직사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 설계식을 사용하였다^[8]. 공진 주파수가 f_r 일 때, 기판의 두께와 유전매질의 특성으로부터 패치의 W 는

$$W = \frac{c}{2 f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1a)$$

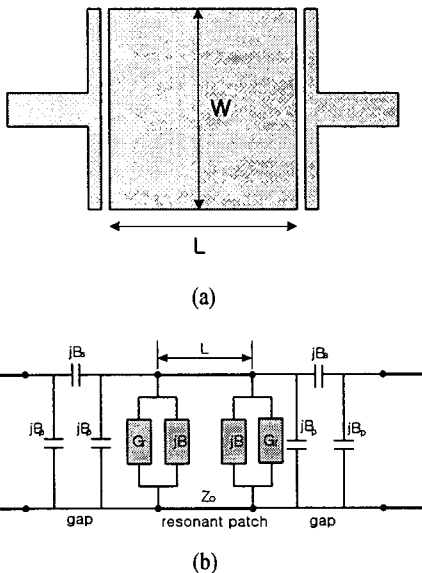


그림 1. 마이크로스트립 패치 대역통과 필터의 구조 (a)와 등가회로(b)

Fig. 1. Geometry(a) and equivalent circuit(b) of the microstrip patch bandpass filter.

이고, 여기서 ϵ_r 은 유전상수, c 는 빛의 속도(3×10^8 m/s)이다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 복사 패치의 길이 L 은 기판에 의한 선로확장 ΔL 을 고려하면

$$L = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2 \Delta L \quad (1b)$$

여기서 ϵ_e 과 ΔL 은 각각 다음과 같다.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\Delta L = (0.412h) \frac{\epsilon_e + 0.3}{\epsilon_e - 0.258} \frac{Wh + 0.264}{Wh + 0.8} \quad (3)$$

본 논문에서의 필터 설계는 공진 주파수를 5 GHz로, 기판은 유전체의 상대 유전율이 2.5, 두께가 1.6 mm인 테프론 기판으로 하였다. 식 (1a)와 (1b)를 이용하여 위의 조건으로 계산하면, 패치 공진기의 W 와 L 은 각각 22.68 mm와 18.15 mm이고, 급전 선로는 50 Ω 선로로 하였다. 공진회로의 등가회로는 그림 1(b)와 같다.

III. 깎지 낀 결합구조와 슬롯에 의한 필터 특성개선

3-1 깎지결합 커패시터(Interdigital Capacitor)를 이용한 손실 최소화

마이크로스트립 패치를 필터에 바로 적용하면 손실이 상당히 크다. 따라서, 손실을 줄이기 위하여 결합구조에 Interdigital capacitor를 사용할 수 있다. 이 구조는 밀결합인 구조로 인하여 결합손실이 상당히 줄어들고, 결합길이가 늘어나므로 공진 주파수도 낮추는 효과가 있다.

Interdigital capacitor는 3층 적층구조와는 다른 단층구조로 설계되며, capacitor의 용량은 깎지의 수를 증가시킴으로써 수십 pF까지 가능하지만 보통은 입출력 전송선로의 임피던스를 갖는 폭으로 깎지 낀 부분을 만들기 때문에 깎지의 수가 한정을 받게 된다.

다음은 Interdigital capacitor의 구조와 등가회로이다^[9].

여기서 직렬 커패시터를 실현하기 위해서는 가능

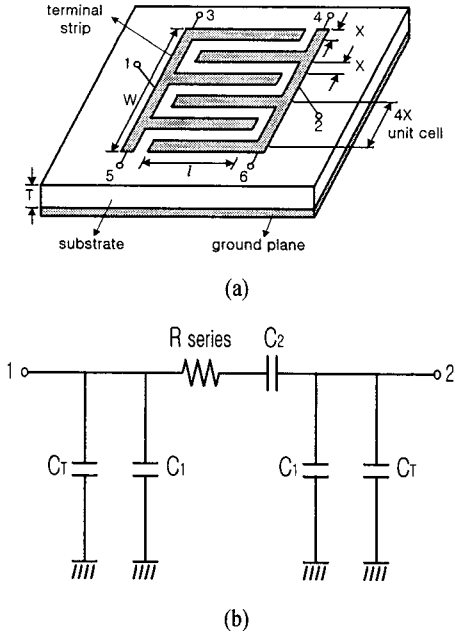


그림 2. Interdigital capacitor의 구조(a) 및 등가회로 (b)

Fig. 2. Geometry(a) and equivalent circuit(b) of the interdigital capacitor.

한 한 유전율이 큰 기판을 사용하는 것이 좋으며, loss $\tan \delta$ 가 작은 것을 사용한 것이 좋다.

또한 각지 수를 증가시키면 커패시터를 크게 할 수 있지만, 스트립선로의 폭이 대체로 좁아 여러 개의 finger를 제작하기 곤란하다는 단점이 있다.

3-2 슬롯(Slot)의 적용에 의한 소형화

마이크로스트립패치 대역통과의 필터의 소형화를 위하여 패치에 슬롯(slot)을 적용하였다.

일반적으로 마이크로스트립 선로는 준-TEM 모드로, 슬롯 선로는 준-TE 모드로 전파한다. 두 형태가 모두 포함된 구조에서는 모드간의 결합이 일어나게 된다. 슬롯 선로에서는 주파수가 증가할수록 에너지가 슬롯에 집중되며, 진행 방향 및 횡 방향 전류 분포가 슬롯의 가장자리에서 더 높아지게 된다. 즉 구조의 불연속에 따른 전류분포의 변화에 의해서 대역폭이 증가하게 된다. 또한, 슬롯의 가장자리에서는 전류분포 집중으로 인하여 슬롯의 길이를 증가시킬 경우 가장자리를 따라서 흐르는 전류의

지연효과, 즉 저속파 효과로 인해서 공진 주파수가 낮아지는 효과도 얻는다. 따라서, 같은 비율의 크기 감소 효과를 가진다^[10].

3-3 슬롯과 각지 낀 결합구조를 갖는 패치 대역통과 필터의 설계

본 논문에서 구현한 슬롯과 각지낀 결합 구조를 갖는 패치 필터의 구조는 그림 3과 같다.

여기서, SL_1 과 SL_2 는 각각 슬롯의 가로·세로 길이이고, SG는 슬롯의 폭, CG는 결합 gap, CW는 결합단의 두께를 나타낸다.

각 부분의 설계치는 W (width)과 L (length)은 각각 22.68 mm와 18.15 mm, 슬롯의 폭 SG는 0.4 mm, CW는 1 mm, 결합 gap CG는 삽입손실의 최소화를 위하여 0.15 mm이고, 각지 결합 수는 9개로 설계하였다. 가로슬롯길이 SL_1 의 길이에 따른 주파수 변화는 다음 장에서 시뮬레이션 결과로 나타내었다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션은 MOM(method of moment) 방식의 시뮬레이션 tool인 IE3D를 이용하였다. 다음의 그림 4는 각지낀 결합 구조와 슬롯이 있는 패치공진필터(그림 3)의 반사손실(S_{11})과 삽입손실(S_{21})에 대한 산란파라미터 dB값의 시뮬레이션 결과이다. 공진주파수 1.823 GHz에서 반사손실은 -23.77 dB, 삽입손실은 -0.6505 dB를 얻었다.

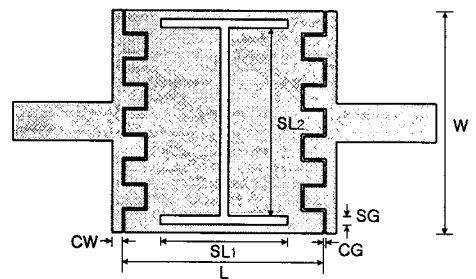


그림 3. 본 논문에서 제안된 대역통과 필터의 구조
Fig. 3. Geometry of the Microstrip Patch Bandpass Filter with Interdigital coupling structure and Embedded slot.

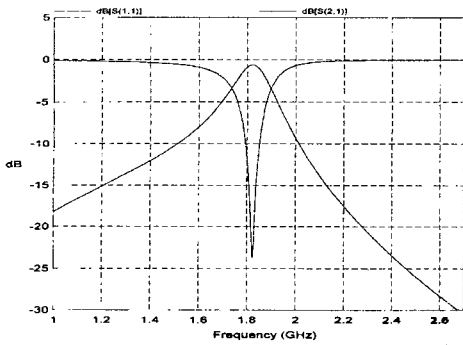


그림 4. 본 논문에서 제안된 필터의 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulated result of the microstrip patch bandpass filter with interdigital coupling structure and embedded slot.

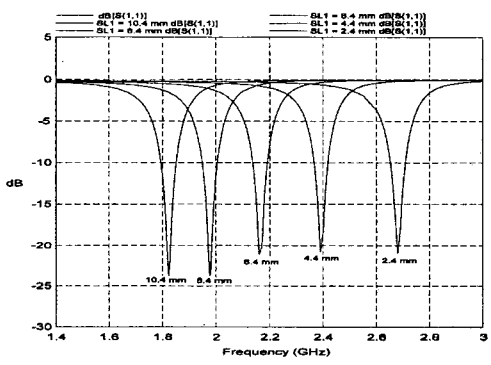


그림 5. SL_1 에 따른 S_{11} 의 공진주파수 변화
Fig. 5. Resonance frequency variation of reflection loss(S_{11}) as length of SL_1 .

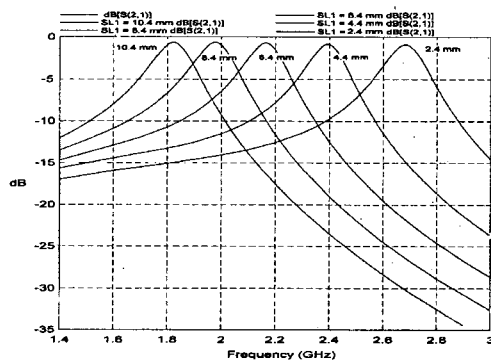


그림 6. SL_1 에 따른 S_{21} 의 공진주파수 변화
Fig. 6. Resonance frequency variation of insertion loss(S_{21}) as length of SL_1 .

세로슬롯만 낸 경우에는 약 3.2 GHz 정도까지 공진주파수가 떨어졌다. 여기에 양끝으로 가로슬롯을 내어 옆으로 누운 H자 모양으로 슬롯을 적용하자 공진주파수는 급격히 감소하여 반복 시뮬레이션을 통하여 약 1.5 GHz까지의 공진주파수를 얻었으나 손실이 증가하여, 제안된 패치필터는 손실이 최소화인 1.823 GHz에서 설계하였다.

다음은 가로슬롯길이(SL_1)에 따른 S_{11} 과 S_{21} 의 공진주파수의 변화의 시뮬레이션 결과이다.

V. 제작 및 측정

5-1 제작

필터의 제작은 음화필름에 의한 사진 부식법으로

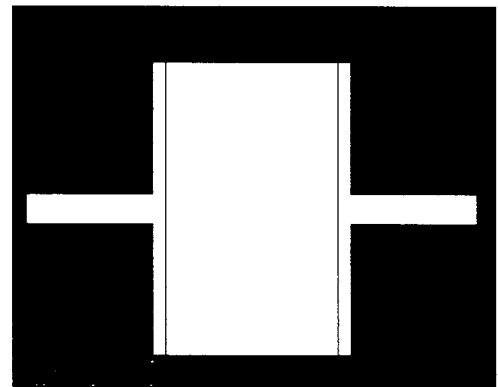


그림 7. 5GHz 마이크로스트립 패치 대역통과 필터의 패턴도

Fig. 7. Pattern of the 5GHz patch bandpass filter.

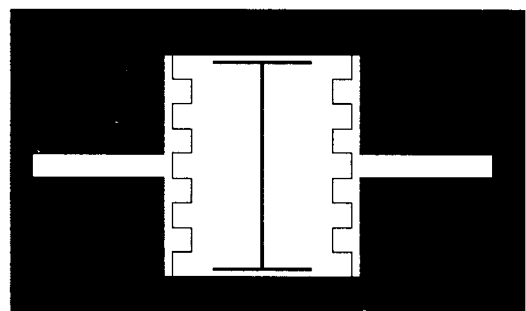


그림 8. 본 논문에서 제안된 필터의 패턴도
Fig. 8. Pattern of the Microstrip Patch Bandpass Filter with Interdigital coupling structure and Embedded slot.

제작하였다. 패치 필터의 음화필름을 위한 AutoCAD 로 그린 패턴도는 그림 7과 그림 8과 같다.

5-2 측정결과

다음 그림들은 5 GHz 패치 필터, 세로슬롯만 낸 경우, 제안된 필터의 측정결과이다. 5 GHz 패치 필터의 측정에서는 공진 주파수 4.896 GHz, 삽입손실 -2.168 dB 이었고, 세로슬롯만 낸 경우 공진 주파수는 3.1674 GHz, 삽입손실은 -0.812 dB로 감소하

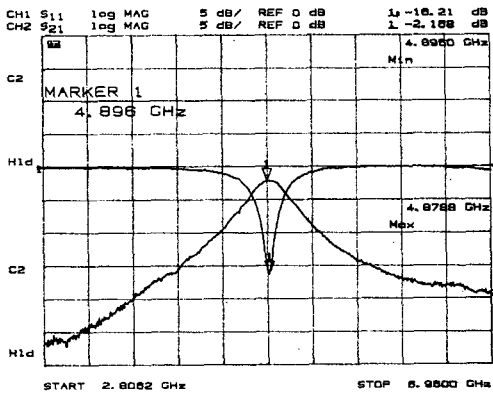


그림 9. 5 GHz 마이크로스트립 패치 대역통과필터 측정결과

Fig. 9. Measured result of the 5GHz patch bandpass filter.

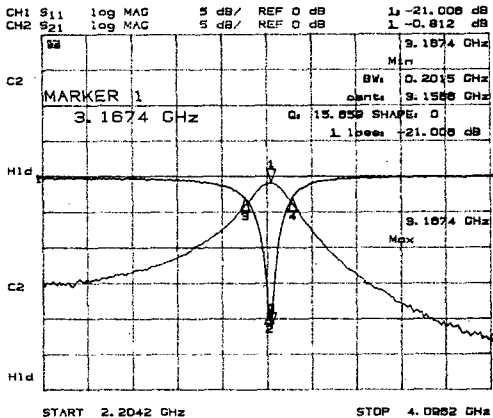


그림 10. 세로슬롯만 낸 경우 측정결과

Fig. 10. Measured result of the case with perpendicular slot.

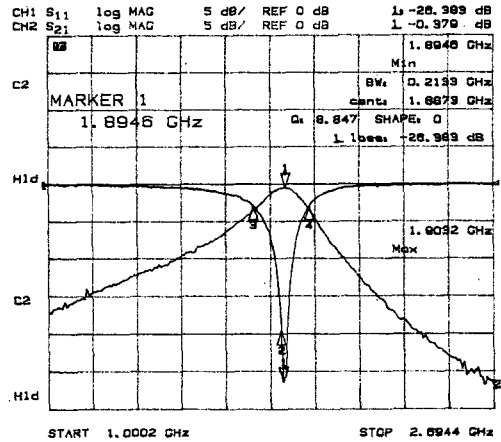


그림 11. 본 논문에서 제안된 대역통과 필터의 측정결과

Fig. 11. Measured result of the microstrip patch bandpass filter with interdigital coupling structure and embedded slot.

였다. 마지막으로 각지 긴 결합구조와 슬롯이 있는 제안된 필터의 측정에서는 공진 주파수 1.8946 GHz, 삽입손실 -0.379 dB를 얻었다.

5-3 결과분석

다음 표 1에서 앞 절에서의 측정결과들을 비교분석하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 제안된 필터의 측정 결과는 공진 주파수 1.8946 GHz에서 반사손실은 -26.383 dB, 삽입손실은 -0.379 dB를 얻었다. 이때,

표 1. 측정결과와 시뮬레이션 값의 비교

Table. 1. Comparison of measured result with simulated.

구 분 \ 구 조	5 GHz 패치 필터 측정 결과	제안된 필터 측정 결과	제안된 필터 시뮬레이션 결과
공진주파수 (GHz)	4.896	1.8946	1.823
삽입손실 (dB)	-2.168	-0.379	-0.6505
반사손실 (dB)	-18.21	-26.383	-23.77

슬롯이 있는 마이크로스트립 구조에서의 측정결과는 시뮬레이션 결과에 비해 공진 주파수가 조금 높아지는데, 이것은 시뮬레이션 tool 에서 슬롯에 의한 전자계의 가장자리 효과(end-effect)가 유효 길이의 증가분을 감소시키는 현상을 고려하지 못하기 때문이다.

결과에서와 같이 제안된 필터는 5 GHz 패치 대역통과필터에 비해 공진주파수가 1.8946 GHz로 낮아져 같은 비율의 크기 감소 효과, 즉 크기를 약 1/3로 줄인 결과가 있었고, 삽입손실도 크게 개선되었음을 알 수 있다.

기존의 상용화된 마이크로스트립 필터인 평행 edge 결합 대역통과 필터의 길이와 비교하여 64.9%를 줄일 수 있었고, 삽입손실도 더 우수한 특성을 가진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 용량성 결합(Capacitive-gap-coupled) 전송선로 필터와 갭결합 급전 안테나(Gap coupled feed antenna)의 구조를 기초로하여, 마이크로스트립 패치를 필터의 공진기로서 적용한 대역통과 필터를 실현하였다. 또, 필터의 크기와 손실을 줄이기 위해 깎지 낀 결합 구조와 슬롯을 적용하였다.

그 결과, 제안된 필터는 슬롯의 저속과 효과에 의하여 5 GHz로 설계한 패치 대역통과필터의 공진 주파수가 1.8946 GHz로 낮아지고, 깎지 낀 결합에 의하여 삽입손실이 -2.168 dB에서 -0.379 dB로 개선하였다. 또한, 평행 edge결합 대역통과 필터의 공진기 길이와 비교하여 64.9% 줄인 효과를 가짐으로써, 기존의 상용화된 대역통과 필터들과의 비교에서도 크기와 손실에서 매우 우수한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

앞으로 패치 구조의 다단연결이 가능하고, 설계 상에서 슬롯에 대한 정형화된 설계식을 얻는다면, 실제 상용화 하기에 충분한 특성과 소형화·경량화 추세에 적합한 상용필터로서 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Hong, "Aperture-Coupled Microstrip Open-Loop Resonators and Their Applications to the Design of Novel Microstrip Bandpass Filters", *IEEE Trans. MTT.*, vol. 47, no. 9, September, 1999.
- [2] J. S. Hong, "Microstrip Cross-Coupled Trisection Bandpass Filters with Asymmetry Frequency Characteristics", *IEE Proc.-Microw. Propag.*, vol. 146, no. 1, February, 1999.
- [3] J. Manti and A. Griol, "Harmonic Suppressed Microstrip Multistage Coupled Ring Bandpass Filters", *Electronics Letters 29th*, vol. 34, no. 22, October, 1998.
- [4] Lei Zhu, Pierre-Marie Wecowski, and Ke Wu, "New Planar Dual-Mode Filter Using Closs-Slotted Patch Resonator for Simultaneous Size and Loss Reduction", *IEEE Trans. MTT.*, vol. 47, no. 5, May, 1999.
- [5] Lei Zhu, Ke Wu, "Accurate Circuit Model of Interdigital Capacitor and Its Application to design of New Quasi-Lumped Miniaturized Filters with Suppression of Harmonic Resonance", *IEEE Trans. MTT.*, vol. 48, no. 3, March, 2000.
- [6] W. C. Jung., H. J. Park, "Microstrip Ring Bandpass Filters with New Interdigital Side-Coupling Structure", *IEEE Trans. MTT.*, 1999.
- [7] H. Iwasaki, "A Circularly Polarized Small-size Microstrip Antenna with a Cross Slot", *IEEE Trans. MTT.*, vol. 44, pp. 1399-1401, Oct., 1999.
- [8] I. J. Baul & P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1982.
- [9] G. D. Alley, "Capacitances and their Application to Lumped-Element Microwave Integrated Circuit", *IEEE Trans. MTT.*, vol. MTT-18, pp. 1028-1033, 1970.
- [10] R. K. Hoffman, *Handbook of Microwave Integrated Circuit*, Artech House, 1987.

김 현

1999년 2월: 관동대학교 정보통신 공학과(공학사)
2001년 2월: 동국대학교 전자공학과(공학석사)
2001년 3월~현재: 삼성전자 정보통신총괄 무선통신사업
부

윤 현 보

1979~현재: 동국대학교 전자공학과 교수

임 현 준

1993년 2월: 동국대학교 전자공학과(공학사)
1995년 2월: 동국대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 3월~1996년 3월: POS-DATA
1996년 3월~1998년 3월: 한화/정보통신 주임연구원
1998년 3월~현재: 에이스테크놀로지 선임연구원
1996년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정