

1m 거리에서 최적화된 안테나를 통한 공진방식 무선전력전송

Resonant Type Wireless Power Transfer Using an Optimized Antenna at 1m Distance

김영현¹ · 류다운² · 박대길² · 구경현^{2*}

¹비앤알테크놀로지

²인천대학교 전자공학과

Young Hyun Kim¹ · Daun Ryu² · Daekil Park² · Kyung Heon Koo^{2*}

¹BNR technology, Incheon, 21999, Korea

²Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

[요 약]

본 논문에서는 자기공진방식 무선전력전송 표준인 A4WP (alliance for wireless power) 주파수 6.78 MHz에서, 1 m 거리 무선전력 전송 안테나를 최적화하고 이에 따른 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하였다. 전력전송 거리는 시스템 형태, 안테나의 크기, 공진기 내 코일과 코일사이 간격인 피치(pitch) 등 다양한 요인에 따라 영향을 받으며, 전자계 시뮬레이션을 통해 이를 확인하였다. 시뮬레이션을 통해 고정된 거리에 대하여 최적화된 무선전력전송 안테나를 설계하였으며, 거리에 따른 전송손실인 $|S_{21}|$ 값을 계산하였다. 설계된 안테나를 제작하여 측정치를 시뮬레이션 값과 비교한 결과, 최대 1.3 m 거리에서 시뮬레이션은 전송손실 1.6dB 및 효율 69 %, 측정결과는 전송손실 1.5dB 및 효율 70 %를 나타내었다.

[Abstract]

This paper has optimized WPT (wireless power transfer) antenna, and compared EM (electromagnetic) simulation result with measurement for the magnetic resonant type standard of A4WP (alliance for wireless power) using 6.78MHz frequency and 1m distance. Power transmission distance is affected by various factors such as system shape, antenna size, and resonator coil pitch etc, which were confirmed by the EM simulation. By simulation an optimized WPT antenna was designed for a fixed distance, and the transmission loss $|S_{21}|$ has been calculated with changing distance. Measurement was carried for the fabricated antenna, and the measured transmission loss is 1.5dB with 70% efficiency at maximum 1.3m distance compared to the simulated loss of 1.6dB with 69% efficiency

Key word : Wireless power transfer, Resonance, Helical antenna, 1m distance, EM simulation.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.246>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 1 June 2016; Revised 1 June 2016

Accepted (Publication) 29 June 2016 (30 June 2016)

*Corresponding Author; Kyung Heon Koo

Tel: +82-32-835-4766

E-mail: khkoo@inu.ac.kr

I. 서론

무선전력전송은 100여 년 전 니콜라 테슬라에 의해 제안된 기술로서 전기에너지를 전자기장 형태로 변환하여 선을 사용하지 않고 무선으로 전력을 전송하는 기술이다. 현재의 무선전력전송 기술이 더욱 발전되면 사용자의 인지 여부 또는 주위 환경과 상관없이 단말기 배터리의 잔여 전력량에 따라 수시로 충전이 가능하게 시스템을 구성할 수 있어 배터리 방전 및 충전에 따른 다양한 문제를 편리하게 해결할 수 있다. 오늘날 다양한 무선 휴대 기기의 사용이 일반화하고 있으며, 그에 따른 휴대 기기의 충전 필요성이 대두하면서 무선충전 및 무선전력전송 기술에 대한 연구 개발이 증대하고 있다. 무선충전을 위해 휴대 기기용 자기유도방식 기술이 개발되었으나, 송수신기간 1 cm 내외의 짧은 전송거리와 단말기 장착 위치에 따른 자유도가 매우 작기 때문에 개선의 필요성이 대두하고 있다. 이를 해결하기 위한 방식으로 자기유도에 비하여 단말기 장착 위치의 자유도가 높은 자기공진방식에 대한 연구가 증대하고 있다.

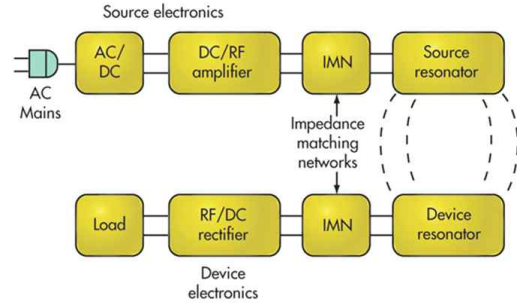
무선전력전송 방식은 크게 전자기방사 방식, 자기유도방식, 자기공진방식으로 분류할 수 있다. 전자기 방사 방식은 전자파를 이용한 방식으로 수 m - 수 km까지 전력전송이 가능하지만, 경로손실(path loss)에 따른 저효율 문제와 전자파방사에 따른 인체영향이 주요 문제이다. 자기유도 방식은 코일에 전류가 흐르면 주변에 형성되는 자계를 이용하여 전력전송을 하는 것이다. 이러한 자계를 이용한 자기유도방식은 가까운 거리에서 높은 효율로 전력 전송이 가능하나, 거리가 멀어질수록 효율이 급격하게 떨어져 전송거리가 수 mm 내외에 불과하다는 문제점이 있다. 자기공진방식은 두 물체간의 공진을 이용하는데, 물체를 공진체로 생각할 수 있고, 이 공진체는 각각의 고유 주파수에서 강한 상호 진동 즉 공진이 발생하며, 물체의 고유 주파수 이외의 주파수에서는 상호진동이 약하게 발생하게 된다. 이렇게 고유 주파수에서만 강하게 상호진동하는 현상을 이용하여 에너지를 전송하는 경우 수 cm에서 수 m 거리까지 전력전송이 가능할 수 있다[1]-[3].

본 논문에서는 A4WP (alliance for wireless power) 표준을 참조하여 6.78 MHz 주파수에서 1m 이상 거리에서 전력전송에 가능한 공진형 무선전력전송 안테나 연구를 진행하였다.

II. 안테나 시뮬레이션

2-1 자기공진방식

무선전력전송 시스템은 그림 1과 같이 전기에너지를 특정한 송신장치를 통하여 원하는 주파수 및 전력으로 변환 후 송신 안테나로 전송하고 이를 수신 안테나가 수신 후 사용자가 원하는 기기에 적합한 주파수 및 전력으로 변화시켜 에너지를 공급하는 시스템을 의미한다[4]. 본 논문에서는 자기 공진방식을 이용



1. 시스템 블록도

Fig. 1. Block diagram of a WPT system.

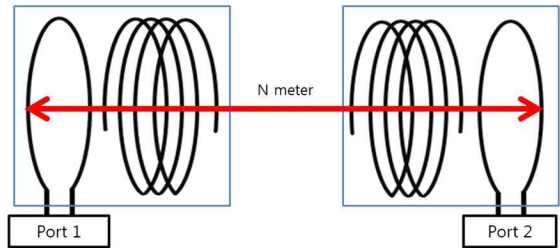


그림 2. 자기공진방식 안테나 시스템

Fig. 2. A magnetic resonant type WPT antenna system.

한 송수신 안테나 설계에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

본 연구의 자기공진방식 시스템은 그림 2와 같이 4코일 형태로 구성되어있으며, 코일은 각각 송신 단일코일, 송신 공진코일, 수신 공진코일, 수신 단일코일로 구성된다. 단일 코일과 공진 코일은 자기 유도에 의해 전달이 이뤄지며, 공진코일과 공진 코일은 자기공진 방식으로 에너지가 전달된다. 그림 2와 같은 4코일 방식은 공진코일로만 구성된 2코일 방식에 비해 Q-factor가 높아 전력 전송에 효율적이므로 본 논문에서는 4코일 형태를 이용하여 안테나를 제작하였다 [5]-[6].

일반적으로 자기 공진방식의 전력전송거리는 수 cm에서 수 m로 알려져 있지만, 전력 전송 거리는 공진 안테나의 크기에 관계된다. 공진 방식을 이용하여 먼거리 전력전송을 하기 위해서는 적절한 크기의 공진형 송수신 안테나가 필요하다.

2-2 전자계 시뮬레이션

전자계시뮬레이션 (EM simulation)을 이용하여 무선전력용 송수신 안테나를 설계하였으며 그 형태는 그림 3과 같이 4코일 형태로 구성하여 공진기 구성의 자유도, 높은 품질상수(Q factor)를 얻고자 하였다. 코일 두께는 2.9 mm, 송신과 수신 안테나는 동일 크기로 설계하였으며 안테나의 공진 주파수는 6.78 MHz에 맞추고자 하였고 단일 코일은 반지름이 337 mm, 헬리컬 형태의 공진코일은 반지름이 433 mm 로 설계하였다. 공진코일의 코일과 코일사이 간격인 피치(pitch) 및 코일의 감는 횟수는 시뮬레이션을 통해 1 m 거리에서 최적의 효율을 갖도록 진행하였다.

1. 간격인 피치에 따른 전송손실 $|S_{21}|$

Table 1. Transmission loss $|S_{21}|$ according to pitch.

pitch(mm)	20	30	35	40	45	50
$ S_{21} (dB)$	3	1.4	0.9	0.6	0.47	0.50

시뮬레이션 결과인 표 1은 송수신기간 간격이 1m 거리일 때 공진코일의 코일간 간격인 피치 변화에 따른 6.78 MHz에서의 전송손실 $|S_{21}|$ 값을 나타낸 표이며, 피치가 45 mm 일 때 가장 작은 전송손실 값을 가지며 45 mm보다 작은 피치 값을 가질 때는 과결합현상으로 인하여 전송손실 값이 증가하며 45 mm보다 큰 값을 가질 때는 1 m보다 가까운 거리에서 작은 전송손실 을 $|S_{21}|$ 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

그림 3은 시뮬레이션을 진행한 공진코일 내 코일간 간격인 피치가 45 mm, 감은 횟수를 5.63회로 설정한 그림을 나타낸다.

그림 4는 S_{21} 결과를 나타낸 그래프로 송수신 안테나의 거리를 1 m - 2 m 까지 0.2 m 씩 거리를 늘려가며 시뮬레이션을 진행하였으며, 거리 증가에 따라 전송 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있다[7].

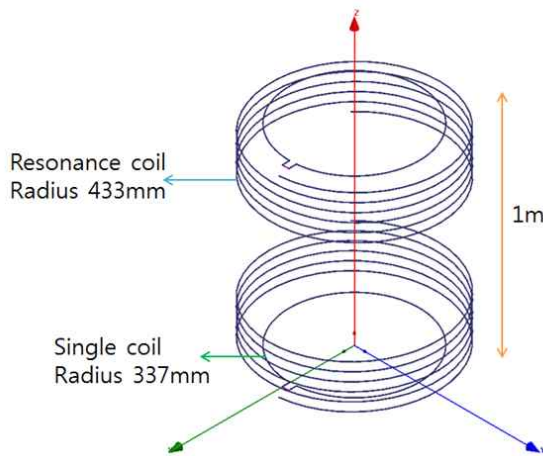


그림 3. 전자계시뮬레이션을 위한 송수신 안테나 코일 구성
Fig. 3. Tx/Rx antenna coils for WPT EM simulation.

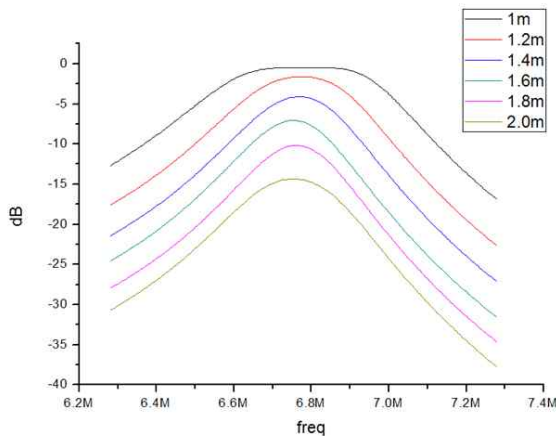


그림 4. 시뮬레이션한 전송특성
Fig. 4. Simulated transmission characteristics.

$$0 \log_{10} |V| = |S_{21}|(dB) \tag{1}$$

$$\eta_{21} = |S_{21}(V)|^2 \times 100(\%) \tag{2}$$

S_{21} 은 순방향 전달계수를 의미하며, 전자계 시뮬레이션 또는 측정을 통해 구한 dB 단위의 S_{21} 값을 전압 값으로 변환 후 전력전송 비율(수식 2)을 계산하여 전송 효율을 계산하였다[8]. 수식 1과 2에 따라 그림3의 시뮬레이션 결과 값을 계산한 결과 표 2와 같은 결과 값을 얻었으며, 1 m에서 전송손실 $|S_{21}|$ 값은 0.47 dB로 89 %효율을 가지며 거리가 멀어질수록 효율이 급격하게 감소하는 특성을 나타내었다.

표 2. 거리에 따른 전송손실 및 효율

Table 2. Transmission loss according to distance.

distance (mm)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
$ S_{21} (dB)$	0.47	1.6	4.11	7.06	10.17	14.3
eff (%)	89	69	38	19	9	3

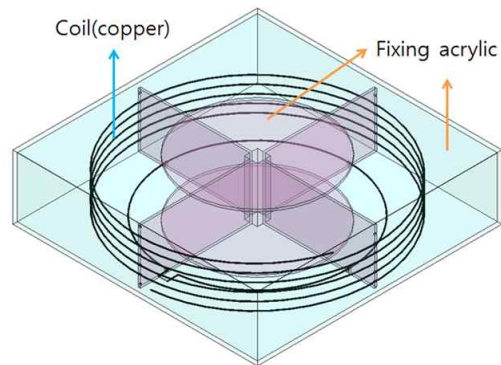


그림 5. 아크릴 케이스를 씌운 송수신 안테나 코일 구성
Fig. 5. Tx/Rx antenna coils with case for WPT EM simulation.

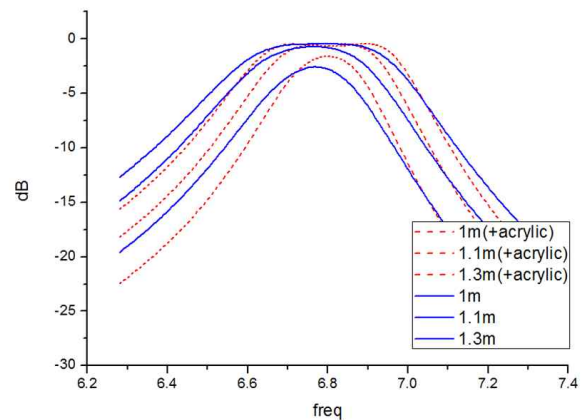


그림 6. 케이스가 있는 경우 시뮬레이션 전송특성
Fig. 6. Simulated transmission characteristics with case.

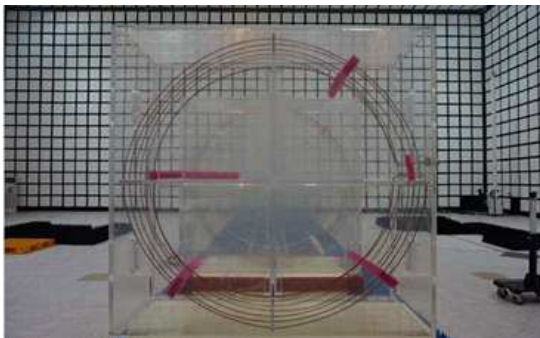
실제 제작 시 코일간격 및 형태 유지, 측정을 용이하게 할 용도로 아크릴 케이스를 사용하였으며, 케이스 크기는 코일을 넣을 수 있는 최소크기로 하였다. 그림 5는 전자계 시뮬레이션 상 아크릴의 영향을 확인하기 위하여 아크릴을 추가한 구성이며, 그림 6에 케이스 유무의 각각 특성을 제시하였듯이 시뮬레이션 결과 아크릴이 있는 경우 1 m 거리에서 과 결합되는 현상이 발생함을 확인할 수 있으며 그로 인하여 이후 거리에서는 효율이 더 좋은 특성을 나타내었다.

III. 안테나 코일 특성 측정

3-1 안테나 코일 특성 측정

제작한 안테나는 2.9 mm 두께의 구리 코일을 이용하였으며, 시뮬레이션한 구성도와 동일하게 제작하였다. 송수신 코일을 고정하고 코일 사이 간격 피치를 45 mm로 맞추기 위해 아크릴 판에 홈을 파고 고정 틀을 제작하였다. 또한 아크릴 사각 케이스를 제작하여 측정에 용이하게 하였다.

측정은 네트워크 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하였다. 그림 8과 같이 송수신 코일을 동일 선상에 정렬한 후 1 m 부터 2 m 까지 0.2 m 간격으로 떨어진 거리에 따라 반복 측정을 진행하였다. 거리의 기준은 송수신 양측에 단일로 구성된 루프형 코일 표면을 기준으로 하였다. 산란계수를 반복 측정하여 전송손실 특성의 평균 값을 도출하였다.



7. 공진 안테나 코일

Fig. 7. Fabricated resonant antenna coil.



그림 8. 측정 환경 구성

Fig. 8. Experimental setup.

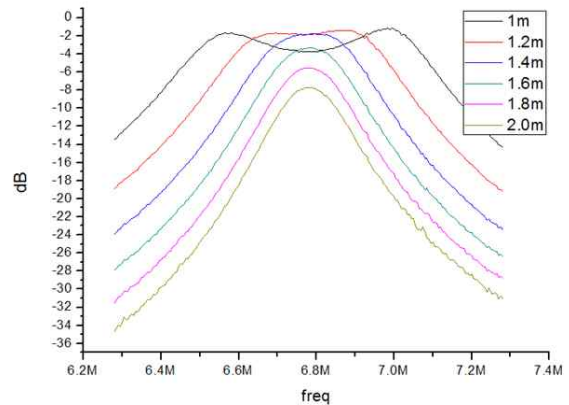


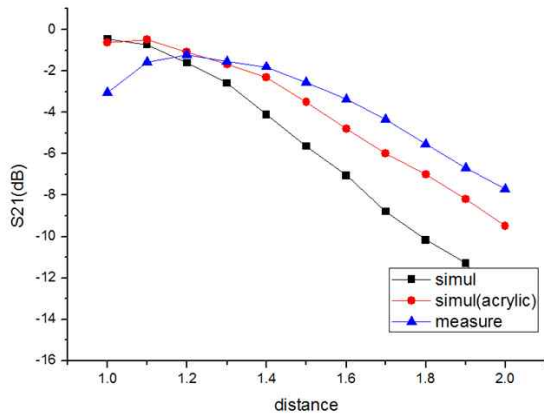
그림 9. 측정된 전송특성

Fig. 9. Measured transmission characteristics.

그림 9에는 무반사실에서 네트워크 분석기를 이용하여 거리별로 측정된 전송특성 결과를 나타낸 그래프이다. 수식 1과 2에 따라 1 m 거리에서 전송손실 $|S_{21}|$ 이 3.7 dB 로 효율이 42%, 1.2 m에서 $|S_{21}|$ 이 1.8 dB 로 효율이 66%, 1.3 m에서 $|S_{21}|$ 이 1.5 dB 로 효율이 70% 됨을 확인하였다.

IV. 안테나 코일 시뮬레이션과 측정결과 비교

실제 측정 환경을 최대한 유사하게 하기 위하여 그림 5에 제시하였듯이 시뮬레이션 안테나 코일에 고정용 아크릴 및 케이스를 추가하여 결과 값을 얻고자 하였으며, 아크릴 케이스를 고려하여 시뮬레이션한 결과치와 실제 측정한 결과 값을 제시한 그래프가 그림 10이다. 검은색 사각 곡선은 케이스가 없는 경우의 시뮬레이션이며, 붉은색 원형 곡선은 아크릴 케이스가 있는 경우 시뮬레이션, 파란색 삼각 그래프는 측정 결과를 나타내고 있다.



10. 다른 전송특성 |S₂₁| 비교

Fig. 10. Transmission characteristics |S₂₁| according to distance.

시뮬레이션에 비해 실제 측정치는 과결합이 되어 1 m 거리에서는 주파수가 2개로 분할되는 현상으로 인하여 6.78 MHz에서 |S₂₁| 값이 떨어지는 특성을 보이며 그로 인하여 1 m에서 효율이 시뮬레이션보다 낮으나, 과결합으로 인하여 1.3 m에서는 시뮬레이션 |S₂₁| 1.7 dB, 측정치 |S₂₁| 1.6 dB로 효율을 비교하였을 때, 거리가 1.3 m 이상일 때 전력전송이 효율이 더 높은 특성을 나타내었다[9].

V. 결론

최근 무선전력전송 기술의 발전에 따라 휴대 기기용 자기유도방식의 무선충전기 제품들이 출시되고 있으나, 짧은 전송거리와 정확한 위치에 놓아야 하는 등 위치 자유도가 제한적이라 널리 보급되지는 못하고 있다. 또한 전기자동차 충전등의 경우는 더욱 먼거리에서 전력전송이 필요하며 이러한 문제를 해결하기 위하여 자기공진방식에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 6.78 MHz를 이용하여 1m 이상 거리에서 전력전송을 위한 자기공진 무선전력전송에 관하여 연구를 진행하였다. 안테나 코일 고정을 위해 아크릴 케이스를 사용하였는데, 그로 인하여 과결합 현상이 발생하여 약 1.2 m-1.3m 거리에서 큰 전력전달 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

안테나 코일의 형태, 크기, 공진 코일의 코일간 간격에 따라 전달특성이 변화하며, 본 논문에서는 특정거리에서 최대 전달 특성을 갖도록 설계하였다. 이를 응용하면 변수 조정을 통해 거리 별 최적 효율을 갖는 시스템을 설계할 수 있다.

본 논문에서는 공진기를 헬리컬 형태로 제작하였으나, 향후 실용성이 증대된 스파이럴 형태 수신부 관련 연구를 진행할 계획이며, 공진 주파수 및 전송효율에 영향을 주는 케이스 등 영

향에 대한 연구도 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 중소기업청 기업부설 연구소 지원 사업에 의하여 이루어진 연구[C0193747]입니다.

참고 문헌

- [1] Y. K. Moon, S. J. Kang, G. H. Kim, Y. J. Won, and S. O. Im, "Technology trend and implementation for mobile WPT," *The Journal of institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 38, No. 10, pp. 26-34, Oct.2011
- [2] D. U. Ryu, Y. H. Kim, and K. H. Koo, "Performance measurement of the wireless charging devices using electromagnetic Induction Techniques," *The Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 3, pp. 237-243, Jun. 2015.
- [3] S. M. Kim, J. I. Moon, I. K. Cho, J. H. Yoon, and W. J. Byun, "The technical trend and future direction of wireless Power Transmission," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 29, No. 3, pp. 98-106, June 2014.
- [4] M. Kesler, *Highly Resonant Wireless Power Transfer : Safe, Efficient, and over Distance*, 1th ed. Massachusetts, MA: Witricity Corporation, 2013.
- [5] Wirricity, Understanding What WiTricity technology is transferring electric energy or power over distance without wires is quite simple [Internet], Available: <http://witricity.com/technology/witricity-the-basics/>
- [6] K. Y. Kim, Chapter 10 in *Wireless Power Transfer-Principles and Engineering Explorations*, 1st. ed. Rijeka, Denmark: InTech, pp. 207- 226 , 2012
- [7] A. P. Sample, D. A. Meyer, and J. R. Smith, "Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 2, pp 544-554, Feb. 2011
- [8] J. I. Agbinya, Chapter 1 in *Wireless Power Transfer*, 1st ed. Gistrup, Denmark: River Publishers Series in Communications, pp. 1-34, 2008.
- [9] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Science*, New York, Vol. 317, pp. 83-86, July 2007.



김 영 현 (Young Hyun Kim)

1994년 :인천대학교 전자공학과 (공학사),
1996년 ~ 2000년 :대우고등기술연구원,
2015년 ~ 현재 :인천대학교 전자공학과 박사 과정

1996년 :인천대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년 ~ 현재 :(주)비앤알테크놀러지 대표

※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선 통신시스템 등



류 다 운 (Daun Ryu)

2014년 :인천대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 ~ 현재 :인천대학교 전자공학과 대학원

※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선통신시스템, 위성안테나 등



박 대 길 (Daekil Park)

2014년 :인천대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 ~ 현재 :인천대학교 전자공학과 대학원

※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선전력전송, 무선통신시스템 등



구 경 현 (Kyung Heon Koo)

1981년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사),
1991년 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사),
1998년 ~ 현재 : 한국항행학회 이사, 연구회 위원장, 부회장
1987년 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

1983년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 ~ 2000년 : UC San Diego 방문학자

※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선통신 시스템, 차세대 항행시스템 등