

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.41>

JIIBC 2013-2-6

# 코르게이트 도파관을 사용한 위성통신용 저역통과 여파기의 설계

## Design of Low Pass Filters Using Corrugated Waveguide for Satellite Communications

김희중\*, 최학근\*\*

Hwe-Jong Kim, Hak-Keun Choi

**요약** 본 논문에서는 코르게이트 도파관을 사용한 위성통신용 저역통과 여파기를 제안하였다. 본 구조는 위성통신용 시스템으로 사용되기 위해 임피던스 트랜스포머와 T-junction을 배열한 코르게이트 도파관이 결합된 형태로 설계하였다. T-junction은 낮은 삽입손실과 높은 격리도의 특성을 만족시키기 위해 Chebyshev 함수를 사용하여 설계하였다. 임피던스 트랜스포머는 높은 반사손실을 위해 코르게이트 도파관의 양 끝에 높이가 다른 T-junction을 결합한 구조로 설계하였다. 제작된 여파기는 12.25 ~ 12.75 GHz에서는 반사손실이 35.4 dB이상, 삽입손실은 0.1 dB이하, 14.0 ~ 14.5 GHz에서는 격리도가 54.4 dB이상으로 나타났다. 따라서 본 논문에서 제안된 저역통과 여파기는 위성통신용 시스템에 사용 가능함을 보였다.

**Abstract** In this paper, low pass filters(LPF) using corrugated waveguide for satellite communication is proposed. To design the proposed LPF, the corrugated waveguide and impedance transformers are combined. The corrugated waveguide is formed by arrangement of T-junction. To obtain low insertion loss and high isolation propriety, T-junction is designed by using Chebyshev function. Impedance transformers is designed by combining T-junction with different heights at both ends of the corrugated waveguide to get high return loss. The measured results of the proposed LPF have a return loss of over 35.4 dB, a insertion loss of less than 0.1 dB from 12.25 GHz to 12.75 GHz and a isolation propriety of over 54.5 dB from 14 GHz to 14.5 GHz. From these results, it is confirmed that the proposed waveguide LPF can be used for satellite communication.

**Key Words** : Chebyshev, LPF, Corrugated Waveguide

### 1. 서 론

마이크로파 여파기는 통과대역 내의 주파수를 전송하고 차단대역 내의 주파수를 감쇠시킴으로써 시스템의 주파수 응답을 제어하는 2-포트 회로망이다. 주파수 응

답에 따라 저역통과(low pass), 고역통과(high pass), 대역통과(band pass), 대역저지(band rejection)등이 있으며, 여파기의 종류에는 자계면 불연속 구조, Fin-line 구조, 반파장 공진기를 이용한 여파기, 감쇠모드 여파기, 이중 모드 여파기 등이 있다. 반파장 공진기를 이용한

\*준희원, 단국대학교 대학원 전자전기공학과

\*\*정희원, 단국대학교 전자공학과(교신저자)

접수일자: 2013년 1월 24일, 수정완료 2013년 3월 5일

게재확정일자 2013년 4월 12일

Received: 24 January 2013 / Revised: 5 March 2013

Accepted: 12 April 2013

\*\*Corresponding Author: hkchoi@dankook.ac.kr

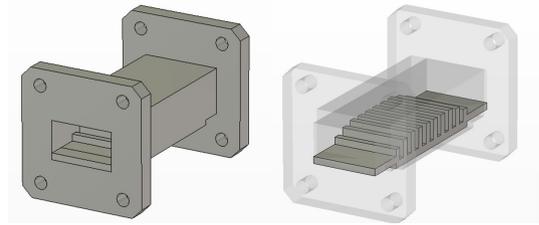
Dept. of Electronic Engineering Dankook University, Korea

여파기는 설계 및 제작이 용이하여 일반적으로 널리 사용되고 있으나, 기본적으로 반파장 공진기를 사용하고 있으므로 그 크기가 크다. 감쇠모드 여파기나 이중모드 여파기는 불연속 구조의 해석이 까다롭고 제작 상의 어려움이 있다. 코르크게이트 도파관은 그에 비해서 제작이 간단하다.<sup>[1]</sup> 마이크로파 통신의 수신단, 송신단, 시험 및 측정 시스템에 응용되고 있다. 또한 모바일 통신, 위성방송 등의 여러 분야의 시스템에 사용되고 있다.<sup>[2, 3]</sup> 위성통신 시스템은 전 세계적으로 사용되고 있으며, 국내에서도 점차 사용범위가 확대되고 있다. 그러므로 위성통신용 시스템의 부품은 고성능, 경량화, 소형화 등의 특성을 만족해야 한다.<sup>[4~6]</sup> 비교적 제작이 간단한 코르크게이트 도파관은 협대역 및 광대역 저역통과 여파기에 위성통신용 안테나 피더시스템에 사용가능하다.<sup>[7~12]</sup> 그런데 위성통신용 시스템에 사용하기 위해서는 높은 반사손실 및 낮은 삽입손실, 높은 격리도의 높은 특성이 요구된다. 본 논문에서는 코르크게이트 도파관을 사용한 위성통신용 저역통과 여파기를 제안한다. 제안된 여파기는 임피던스 트랜스포머와 T-junction을 배열한 코르크게이트 도파관으로 구성되어 있다. 이 구조를 통해서 높은 반사손실 및 낮은 삽입손실, 높은 격리도 특성을 갖는 위성통신용 저역통과 여파기를 설계한다. 그리고 설계된 여파기를 제작하고 그 특성을 측정하여 위성통신용 시스템으로 사용 가능함을 보인다.

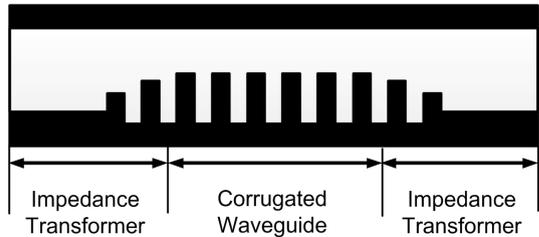
## II. 코르크게이트 도파관을 사용한 저역통과 여파기의 설계

### 1. 저역통과 여파기의 구조

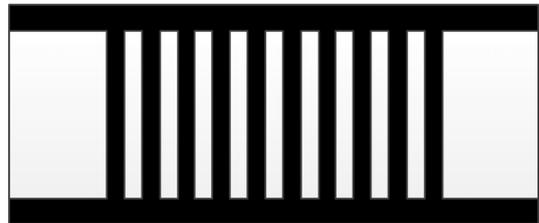
그림 1은 제안된 저역통과 여파기의 구조이다. WR-75 규격의 도파관에 T-junction을 배열한 코르크게이트 도파관(corrugated waveguide)과 입출력 포트에 임피던스 트랜스포머(impedance transformer)를 결합한 구조이다. 코르크게이트 도파관은 그림 5(b)와 같이 높이가 동일한 T-junction을 5단으로 도파관 내부 하단에 배열하여 설계하였다. 임피던스 트랜스포머는 높이가 다른 T-junction을 2 단으로 배열하여 임피던스를 매칭하는데 사용하였다.



(a) 입체도  
(a) Solid view



(b) 측면도  
(b) Side view



(c) 평면도  
(c) Top view

그림 1. 제안된 여파기의 구조

Fig. 1. Geometry of proposed filter

### 2. T-junction의 설계

그림 2는 도파관의 내부 하단에 2개의 마루와 1개의 골로 이루어진 T-junction의 구조이다. 이 구조는 일반적인 주파수 응답특성인 Chebyshev 함수를 사용하여 T-junction의 등가회로로 설계하였다.<sup>[13]</sup> N. Marcvitz 제안한 근사식을 사용하여 도파관 형태인 T-junction으로 변환하였다.<sup>[14]</sup>

그림 3은 T-junction의 등가회로이다. 높은 격리도 및 낮은 삽입손실을 위해 3차 Chebyshev 함수를 사용하여 T-junction의 등가회로를 설계하였다. 3차 Chebyshev 함수를 사용하여 정규화된 소자값을 구하였고 주파수 변환과 임피던스 변환을 통하여 T-junction의 등가회로

소자값을 결정하였다.

그림 3에서 차단주파수는 13 GHz, 임피던스는 480 Ω의 기준으로 등가회로의 소자값은 C1=0.0516 pF, L2=5.8417 nH, C3=0.0516 pF, R0=480 Ω이다.

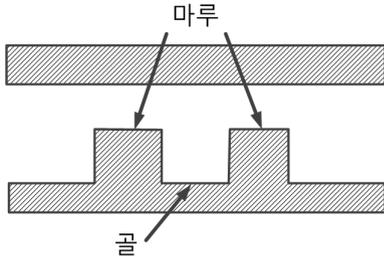


그림 2. T-junction의 구조  
Fig. 2. Geometry of T-junction

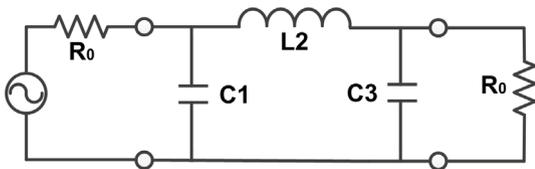


그림 3. T-junction의 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit of T-junction

그림 4는 T-junction의 등가회로를 사용한 도파관 형태인 T-junction 구조이다. 등가회로의 소자값을 N. Marcviz가 제안한 근사식에 대입하여 T-junction 구조의 파라미터를 결정하였다. 파라미터는 W=2 mm, G=2 mm, b=10 mm, Cs=C's'=5 mm이다.

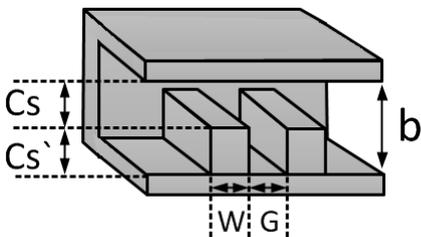


그림 4. 단일 T-junction 구조  
Fig. 4. Single T-junction structure

그림 5는 단일 T-junction의 특성 그래프이다. 설정한 차단주파수 13 GHz 이하의 주파수에서는 대부분의 신호가 통과하였으며, 13 GHz 이상의 주파수에서는 신호가 감쇠하였다. 그러므로 T-junction의 특성을 만족

하였다.

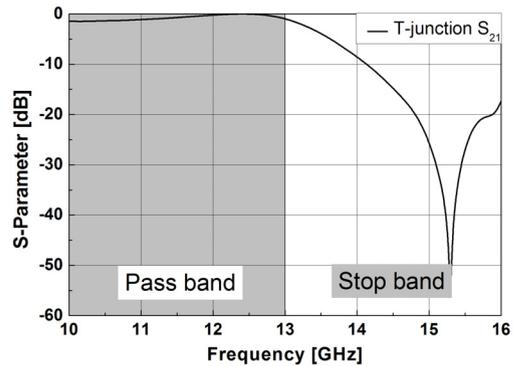


그림 5. 단일 T-junction 특성  
Fig. 5. Single T-junction S-parameter

### 3. 저역통과 여파기의 설계

표 1은 제안된 저역통과 여파기의 규격이다. 위성통신용 시스템에 사용하기 위해 높은 반사손실, 낮은 삽입손실, 높은 격리도의 특성을 갖도록 제안된 여파기의 규격을 설정하였다. 또한 위성통신에서 주로 사용하는 주파수인 Ku대역으로 설정하였다.

표 1. 저역통과 여파기의 요구 규격  
Table 1. Required specification of low pass filter

구 분		수 치
주파수	통과대역	12.25 ~ 12.75 GHz
	차단대역	14.0 ~ 14.5 GHz
반사손실		35 dB 이상
삽입손실		0.1 dB 이하
격 리 도		50 dB 이상

그림 6은 제안된 저역통과 여파기의 구조이다. 이 구조는 WR-75 규격의 도파관 안에 설계한 T-junction을 5단으로 배열하였다. 양 끝에 높이가 다른 T-junction을 2단으로 배열하여 임피던스 트랜스포머로 설계하였다. 코르크레이트 슬롯의 폭 W는 2 mm, 코르크레이트 마루의 사이간격 G는 2 mm로 고정하였으며, 도파관 윗면과 코르크레이트 마루의 사이간격 Cs는 4.8 mm부터 5.6 mm까지 0.2 mm간격, 도파관의 바닥과 코르크레이트 골의 사이간격 Ls는 1.27 mm부터 1.67 mm까지 0.2 mm간격으로 변화하면서 특성을 확인하였다.

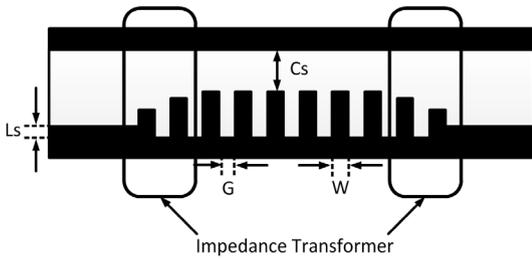
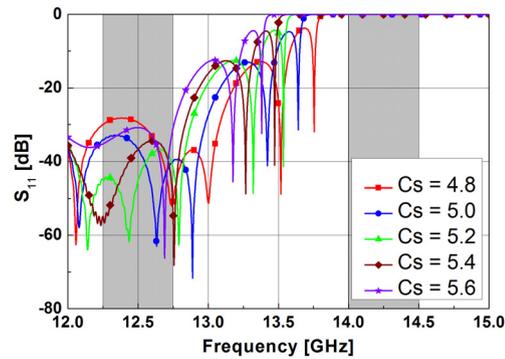
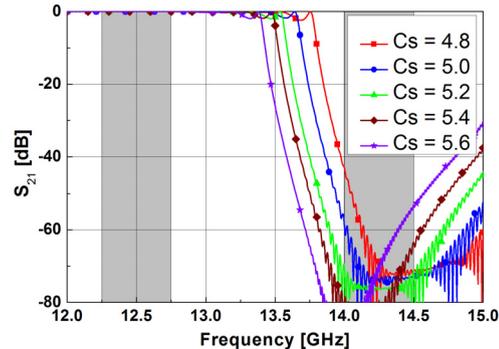


그림 6. 제안한 저역통과 여파기의 구조  
Fig. 6. Geometry of propose low pass filter

그림 7은 도파관 윗면과 코르크케이트 마루의 사이간격  $C_s$ 는 4.8 mm부터 5.6 mm까지 0.2 mm간격으로 변화에 따른 특성을 나타낸 결과 그래프이다. 특성 그래프는  $C_s$ 가 커짐에 따라 낮은 주파수로 이동하는 것을 확인하였으며,  $C_s$ 가 5.2 mm일 때 특성을 만족하는 것을 알 수 있었다.



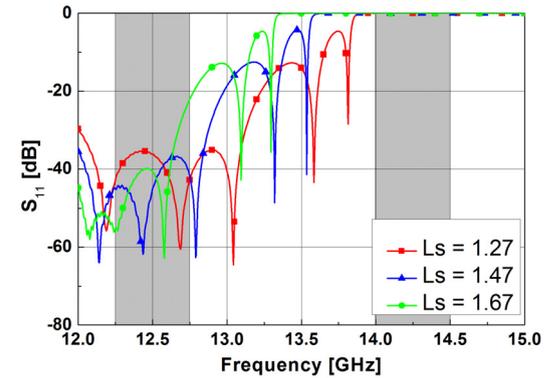
(a)  $C_s$  값 변화에 따른 특성 ( $S_{11}$ )  
(a) S-parameter versus  $C_s$  ( $S_{11}$ )



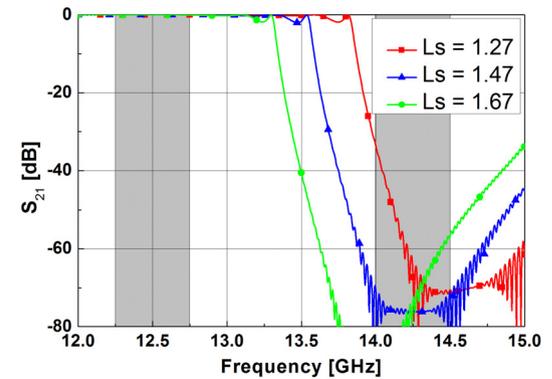
(b)  $C_s$  값 변화에 따른 특성 ( $S_{21}$ )  
(b) S-parameter versus  $C_s$  ( $S_{21}$ )

그림 7.  $C_s$  값 변화에 따른 특성  
Fig. 7. S-parameter versus  $C_s$

그림 8은 도파관 바닥과 코르크케이트 골의 사이간격  $L_s$ 는 1.27 mm부터 1.67 mm까지 0.2 mm간격으로 변화에 따른 특성을 나타낸 결과 그래프이다. 특성 그래프는  $L_s$ 가 커짐에 따라 낮은 주파수로 이동하는 것을 확인하였으며,  $L_s$ 가 1.47 mm일 때 특성을 만족하는 것을 알 수 있었다.



(a)  $L_s$  값 변화에 따른 특성 ( $S_{11}$ )  
(a) S-parameter versus  $L_s$  ( $S_{11}$ )



(b)  $L_s$  값 변화에 따른 특성 ( $S_{11}$ )  
(b) S-parameter versus  $L_s$  ( $S_{11}$ )

그림 8.  $L_s$  값 변화에 따른 특성  
Fig. 8. S-parameter versus  $L_s$

여파기의 코르크케이트 슬롯의 폭, 코르크케이트 마루의 사이간격, 도파관 윗면과 코르크케이트 마루의 사이간격, 도파관의 바닥과 코르크케이트 골의 사이간격을 조정하여 저역통과 여파기의 요구 규격을 만족하도록 설계하였다.

### III. 코르케이트 도파관을 사용한 위성 통신용 저역통과 여파기의 제작 및 측정

그림 9는 제작된 저역통과 여파기의 사진이다. 제작된 여파기는 알루미늄 금속으로 제작하였으며, 황색 크로마이트로 도금하였다. 제작된 여파기는 앞에서 설계한 코르케이트 슬롯의 폭  $W$ 는 2 mm, 코르케이트 마루의 사이간격  $G$ 는 2 mm, 도파관 윗면과 코르케이트 마루의 사이간격  $C_s$ 는 5.2 mm, 도파관의 바닥과 코르케이트 골의 사이간격  $L_s$ 는 1.47 mm으로 제작하며, 전체 크기는 38.3 mm × 38.3 mm × 60 mm로 제작되었으며, 입출력 도파관은 WR-75의 규격 도파관으로 제작하였다.

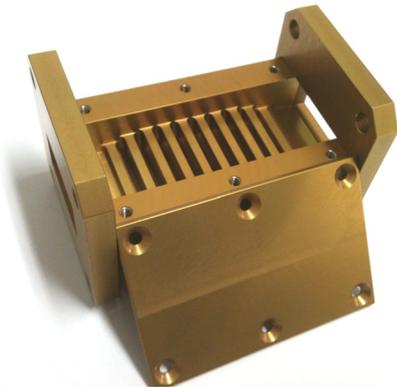


그림 9. 제작된 저역통과 여파기의 사진  
Fig. 9. Photograph of fabricated low pass filter

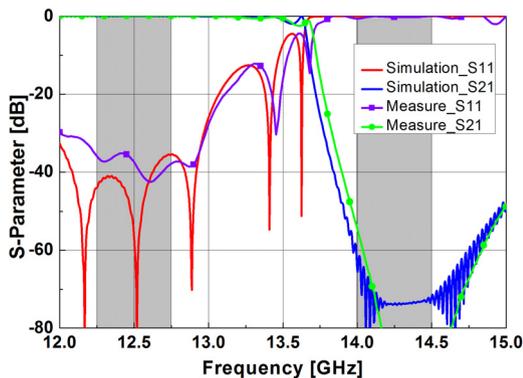


그림 10. 제작된 저역통과 여파기의 측정결과  
Fig. 10. Measured results of fabricated low pass filter

그림 10은 제작된 저역통과 여파기의 측정결과이다. 제작된 여파기는 Network Analyzer를 사용하여 측정하였으며, 그림 10과 같이 CST Microwave Studio (V.2011)를 사용하여 나타낸 설계치와 측정치를 같이 비교하여 그래프로 나타냈다. 통과대역(12.25 ~ 12.75 GHz)에서 반사손실은 35.4 dB(VSWR 1:1.06)이상, 삽입손실은 0.1 dB이하, 차단대역(14.0 ~ 14.5 GHz)에서 격리도는 54.4 dB 이상으로 나타났다.

### IV. 결론

본 논문에서는 코르케이트 도파관을 사용한 위성통신용 저역통과 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기는 WR-75 규격의 도파관에 설계된 T-junction을 배열한 코르케이트 도파관과 입출력 포트에 임피던스 트랜스포머를 결합한 구조로 설계하였다. 또한 도파관 윗면과 코르케이트 마루의 사이간격과 도파관 바닥과 코르케이트 골의 사이간격이 커짐에 따라 공진 주파수가 낮아지는 것을 확인하였다. 제작된 여파기는 위성통신용 시스템에 사용되도록 높은 반사손실 및 낮은 삽입손실, 높은 격리도의 특성에 만족하였다. 그러므로 본 논문에서 제안된 저역통과 여파기는 위성통신용 시스템에 사용가능할 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

- [1] Gyu-Je Sung, Sang-Won Yun, "The Design of Miniaturized Waveguide Bandpass Filters with Improved Spurious Characteristics", The journal of Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 10, no.2, pp. 237-246, 1999
- [2] David M. Pozer, "Microwave Engineering-3rd", John Wiley & son, USA, 2005
- [3] Mike Golio, "The RF and microwave handkook", CRC Press, USA, 1954
- [4] Sun-Won Kim, Jae-Hyuk Lim, Sung-Hoon Kim, Do-Soon Hwang, Ik-Min Jin, "Recent Trend in Satellite Manufacturing Market", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 10,

- pp. 81-90, 2012
- [5] Hyeon-Jin Lee, Hyun-Chul Kim, "Design of K-band Array Antenna for Satellite Communications", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60P, pp. 167-171, 2012
- [6] J. Uher, J. Bornemann, Uwe Rosenberg, "Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD", Artech House, Boston, USA, 1993
- [7] S.B. Cohn, "Design Relations for the Wide-Band Waveguide Filter", Proc. of the I.R.E., Vol. 37, pp. 799-803, 1950
- [8] Ralph Levy, "Tapered Corrugated Waveguide Low-pass Filter", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 21, pp. 526-532, 1973
- [9] W. Hauth, R. Keller, U. Rosenberg, "CAD of Waveguide Low-Pass Filters for Satellite Applications", 17th EuMC Proc. Rome, pp. 151-156, 1987
- [10] Esteban, J., Rebollar, J.M., "Characterization of corrugated waveguides by modal analysis", Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, Vol. 39, NO. 6, pp. 937-61, 1991
- [11] Clarricoats, P.J.B.; Saha, P.K., "Propagation and radiation behaviour of corrugated feeds. Part 1: Corrugated-waveguide feed", Proc. of the IEE., Vol. 118, No.9, pp. 1167-1176, 1971
- [12] James, G.L., "Analysis and Design of TE<sub>11</sub>-to-HE<sub>11</sub> Corrugated Cylindrical Waveguide Mode Converters", Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on , Vol. 29, pp. 1059-1066, 1981
- [13] George L. Matthaei, Leo Young, E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", Artech House INC, Dedham, USA, 1980
- [14] N. Marcviz, "Waveguide Handbook", IEE, London, UK, 1986

## 저자 소

### 김 회 중(준회원)



- 2011년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
  - 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 단국대학교 전자전기공학과(공학석사)
  - 2013년 3월 ~ 현재 : (주) 하이게인안테나 연구원
- <주관심분야 : 안테나 및 전파전파>

### 최 학 근(정회원)



- 1979년 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
  - 1981년 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
  - 1988년 : 고려대학교 전자공학과(공학박사)
  - 1991년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 전자공학과 교수
  - 2006년 7월 ~ 2012년 6월: 단국대학교 공학교육혁신센터장
  - 2010년 7월 ~ 2012년 9월 : 단국대학교 공학대학장
  - 1989년 1월 ~ 현재 : (주) 하이게인 안테나 기술고문
  - 2012년 9월 ~ 현재 : 단국대학교 천안캠퍼스 부총장
- <주관심분야 : 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로>