The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 18, No. 5, pp.63-68, Oct. 31, 2018. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.63
JIIBC 2018-5-8

SoS를 위한 SIW 망에 집적된 마이크로스트립 패치 어레이 안테나에 관한 연구

A Study on Microstrip Patch Array Antenna Integrated on SIW Network for SoS

기현철*

Ki, Hyeon Cheol*

요 약 본 논문에서는 24GHz ISM 밴드(24-24.25GHz)에서 SIW를 이용한 SoS(System on Substrate)구현을 위한 제반 설계를 하고자하며 그 일환으로 SIW, 전환기 및 MPAA를 SoS형태로 동일 기판에 집적하여 그 특성을 분석하였다. 기판은 비유전율이 3.48이고 두께가 20mil인 Rogers사의 Ro4350을 사용하였다. 최적 설계결과 길이 11.55mm의 SIW의 삽입손실은 0.32dB를 보였으며 50Ω 마이크로 스트립으로 신호전환 하는 데 0.19dB의 삽입손실이 발생하였다. SoS형태로 동일 기판에 집적된 MPAA의 특성은 단독 MPAA의 특성과 매우 유사했다. 그러나 집적된 MPAA는 단독 MPAA에 비해 이득 면에서는 SIW와 전환기의 삽입손실 만큼(0.58dB) 감소했으며 SLL은 0.7dB만큼 감소하였다. 반면에 대역폭은 670MHz에서 800MHz로 19.4%만큼 증가하였다.

Abstract In this paper, We intended to design various things for the realization of SoS(System on Substrate) with SIW in 24GHz ISM 밴드(24-24.25GHz). As part of them, We integrated SIW, transition and MPAA as SoS on the same substrate and investigated its characteristics. We used Rogers Ro4350 with relative permittivity of 3.48 and thickness of 20mil. As results of optimal design, insertion loss of the SIW with 11.55mm length showed 0.32dB and insertion loss of 0.19dB occurred in transition to 50Ω microstrip.
Characteristics of the MPAA integrated on the same substrate as SoS are very similar to those of stand-alone MPAA. But the integrated MPAA decreased by 0.58dB in gain, which is the sum of SIW insertion loss and transition insertion loss, and by 0.7dB in SLL compared that of stand-alone MPAA. However, the bandwidth was increased by 19.4% as it changed from 670MHz to 800Mhz.

Key Words : SIW, transition, SoS, MPAA, millimeter wave, array antenna

Ⅰ. 서 론

RF기술의 발달로 RF 시스템의 활용 범위가 국방의 경계를 넘어 과학과 우리의 일상생활에 까지 확대되었다. 더구나 IoT(Internet of Things) 기술의 발달과 함께 향후에는 대부분 시스템에서 RF기술이 활용될 것으로 보인다.

이와 같은 RF기술과 활용의 급속한 진전으로 보다 넓은 주파수 스펙트럼을 활용할 필요성이 대두되어 밀리미터 웨이브 등의 보다 높은 주파수 활용 기술에 대한 연구

*정회원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 : 2018년 7월 29일, 수정완료 : 2018년 9월 7일
게재확정일자 : 2018년 10월 5일

Received: 29 July, 2018 / Revised: 7 September, 2018 / Accepted: 5 October, 2018
*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr
Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

가 활발히 진행되고 있다. 여기서 필수적으로 요구되는 기술은 높은 주파수 시스템의 설계뿐만 아니라 소형화, 낮은 제작단가, 제작 용이성 등이 포함된다. 또한, 고집적 설계에서 평면 구조가 유리하여 PCB(Printed Circuit Board) 기술이 기존에 널리 사용되고 있으므로 PCB기술과의 호환 가능성도 중요한 요소가 된다.

한편, 밀리미터웨이브 기술에서는 마이크로스트립선과 같은 평면적인 전송선보다는 도파관(wave guide)전송선이 훨씬 유리하다. 도파관은 양호도나 고전력 면에서 마이크로스트립선보다 상대적으로 유리할 뿐만 아니라 폐쇄적 구조이므로 고립도가 높고 방사 손실이 적다. 이와 같은 특성은 주파수가 높아질수록 그 중요성이 더 커진다. 마이크로스트립선과 같은 평면적인 전송선은 가장자리에 전계가 집중되므로 전도손실이 크나 도파관은 그렇지 않으므로 전도손실이 적다.

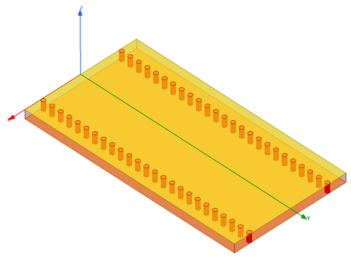
결국, 밀리미터웨이브 대역 이상의 높은 주파수대역에서는 각 요소를 연결하는 망이 도파관으로 이루어지는 것이 바람직하다. 그러나 도파관은 부피가 크고 고가인 단점이 있다. 또한, 비평면적인 도파관을 평면적 시스템과 하이브리드로 결합하는데 따른 신호 전환 등많은 난점이 발생한다.

그러나 도파관을 SIW(Substrate Integrated Waveguide)로 대체하면 위에서 언급된 모든 문제를 해소할 수 있으며 도파관의 장점을 모두 살릴 수 있다. SIW기술은 수동소자, 능동소자, 안테나를 포함한 모든 구성 요소를 동일한 기판(substrate)에 집적하는 SoS(System on Substrate)를 가능하게 한다. SoS는 안테나부터 칩셋까지 모든 구성요소를 동일 기판에 집적할 수 있고, 다른 구성요소끼리의 신호 전환이 필요 없고, 기생성분과 신호 감쇄를 줄일 수 있다. SIW를 이용한 SoS는 고성능의 밀리미터웨이브 시스템을 저렴하고 쉽게 구현할 수 있도록 해준다. 따라서 밀리미터웨이브 시스템에서 현재의 SiP(System in Package)방식은 머지않아 SIW를 이용한 SoS방식으로 대체될 것으로 보인다.

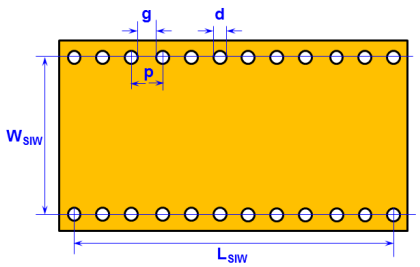
본 논문에서는 24GHz ISM 밴드(24-24.25GHz)에서 SIW를 이용한 SoS구현을 위한 제반 설계를 하고자한다. 24GHz ISM 밴드에서 SIW를 이용한 SoS구현을 위해 가장 중요한 것은 24GHz ISM 밴드에서 최적화된 SIW를 설계하는 것이다. 다음은 SIW와 마이크로스트립선과 최적화된 전환기를 설계하는 것이다. 이후 칩셋과 안테나를 제외한 각종 소자는 마이크로스트립선으로 연결되므로 용이하게 집적할 수 있다. 안테나의 경우에는 구조와 형태가 다양하여 연결방법이 다양할 수 있다. 그러나 SoS구현을 위해서는 안테나의 구조도 기판에 집적될 수 있도록 평면적 형태가 되어야한다. 따라서 본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나 형태로 국한했으며 MPAA(Microstrip Patch Array Antenna)를 설계하여 동일 기판에 집적하였다.기판은 비유전율이 3.48이고 두께가 20mil인 Rogers사의 Ro4350을 사용하였다.

II. 24GHz ISM밴드 SIW설계

그림 1은 SIW의 구조를 설명하고 있다. 그림 1(a)는 SIW의 입체도로서 윗면과 아랫면이 금속면으로 이루어지고 그 사이가 절연체로 메워져있는 기판에 비아(via)를 선처럼 배열하여 금속벽면을 만들어 줌으로써 위, 아래 금속면과 비아로 이루어진 두 측면의 금속면으로써 구형 도파관(rectangular waveguide) 형태를 형성한 구조로 되어있다. SIW는 구형 도파관과 유사하게 동작하며 기판 내의 도파관으로 활용된다. 그림 1(b)는 SIW의 평면도로서 d는 바아의 반경을 나타내고 p는 비아간의 피치(pitch)를 나타낸다. W_{SIW}는 SIW의 폭을 나타내고, L_{SIW}



(a)



(b)

그림 1. SIW 구조 (a)입체도 (b)평면도
Fig. 1. Structure of the SIW (a) Isometric view (b) Top view

는 SIW의 길이를 나타낸다. 피치는 인접한 비아 사이로의 누설 손실을 줄이기 위해 작게 유지될 필요가 있다. 그러나 피치 길이 자체보다는 d/p가 더욱 중요한 의미를 갖는다. 방사손실을 무시할 수 있는 정도의 비아의 반경과 피치에 대한 공식이 다양한 SIW구조를 시뮬레이션하여 구해 졌으며 수식으로 표현하면 다음과 같다.[1-4]

$$d < \frac{\lambda_g}{5} \quad (1)$$

$$p < 2d \quad (2)$$

SIW는 유효폭(W_{eff})인 구형 도파관과 등가될 수 있는데, 유효폭은 피치가 충분히 작다는 가정 하에 다음 수식으로 구할 수 있다.

$$W_{eff} = W_{SIW} - 1.08\frac{d^2}{p} + 0.1\frac{d^2}{W_{SIW}} \approx W_{SIW} - 0.95\frac{d^2}{p} \quad (3)$$

앞에서 언급한 내용을 바탕으로 24GHz ISM 밴드에서 최적화된 SIW를 설계하였다. 비아의 반경 d= 0.24mm로 제작사에서 지정된 값으로 설정하였고 비아 사이의 피치 p(혹은, 비아 간극 g=p-d)를 최적화하는 방법으로 설계하였다.

우선, 24GHz ISM 밴드에서 SIW의 폭 W_{SIW}를 최적화하기 위해 Ansys사의 HFSS를 사용하여 W_{SIW}를 5.2mm부터 3.2mm까지 0.4mm씩 감소시켜가며 부터 SIW의 삽입손실(S_{21})과 반사 손실(S_{11})을 구하였고 그 결과를 그림 2.2(a)에 보였다. W_{SIW}가 감소함에 따라 SIW의 차단주파수가 증가하고, 동시에 반사계수 레벨은 높아지고 있음을 보여준다. 그림2.2(b)는 24.125GHz에서의 삽입손실(S_{21})을 확대하여 보여주고 있다. W_{SIW}를 일정한 간격으로 선형적으로 감소시켰으나 삽입손실(S_{21})의 변화 간격은 비선형적인 특성을 보이고 있음을 볼 수 있다. W_{SIW}=5.2mm 근처에서는 0.0675dB/mm로 변화하는데 비해 W_{SIW}=3.6mm 근처에서는 0.96375dB/mm로 변화함을 볼 수 있다. 이는 W_{SIW}가 4.8mm보다 작아지면서 삽입손실이 급격히 증가함을 의미한다. 따라서 W_{SIW}를 4.8mm로 설정함으로써 삽입손실과 SIW의 폭을 함께 최소화할 수 있는 타협점을 찾았다. 그림2.2(c)는 SIW의 반사손실(S_{11})을 보여주며, W_{SIW}가 감소함에 따라 반사손실의 레벨이 높아짐을 보여준다. 그림 3(a)는 비아 간극 g에 따른 SIW의 삽입손실(S_{21}) 및 반사손실(S_{11})을 보여준다.

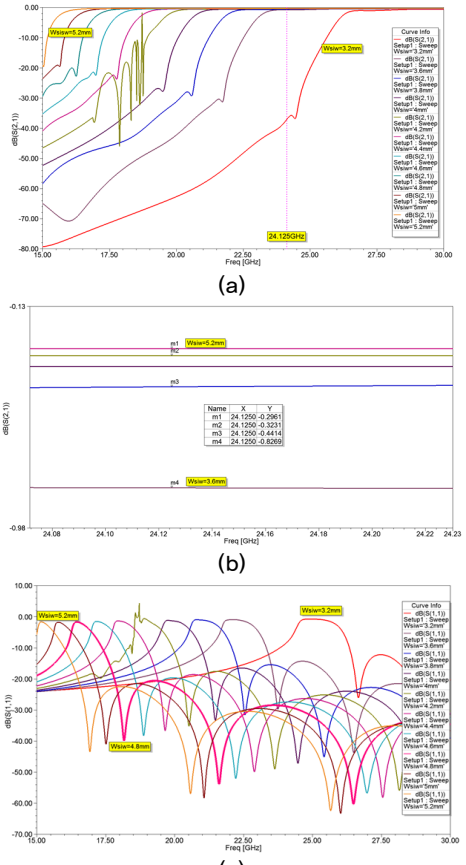


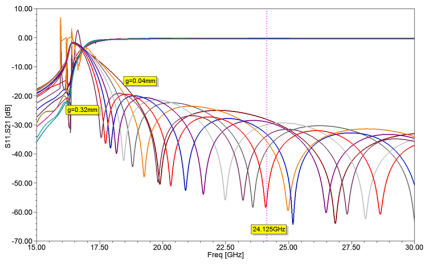
그림 2. W_{SIW}에 따른 SIW의 특성 (a) 삽입손실(S_{21}) (b) 삽입손실(S_{21})의 확대 그림 (c) 반사손실(S_{11})

Fig. 2. Characteristics of the SIW depend on WSIW (a) Insertion loss(S_{21}) (b) Magnified figure of insertion loss(S_{21}) (c) Return loss(S_{11})

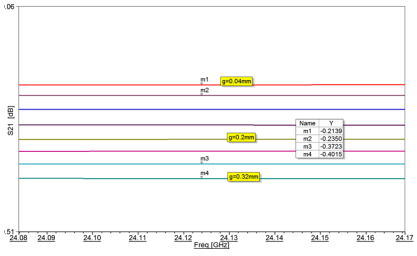
g가 0.04-0.32mm까지 변화를 해도 삽입손실(S_{21})과 반사손실(S_{11})레벨은 크게 변화 하지 않고 있음을 볼 수 있다. 특히, g>d 즉, p>2d인 경우에도 방사손실 증가가 뚜렷하지 않아서 p>2d의 조건은 절대적이지는 않다는 것을 알 수 있었다.

그림 3(b)는 삽입손실(S_{21})의 확대한 그림으로서 비아 간극 g가 증가함에 따라 삽입손실(S_{21})도 거의 선형적으로 증가함을 보여준다. 즉, 삽입손실은 g가 감소할수록 감소하므로 비아보다는 그로브(groove)를 이용한 SIW가

삽입손실 면에서 유리할 수 있음을 보여준다. g의 감소는 단위 길이당의 비아 수를 증가 시켜서 무작정 줄일 수는 없으므로 제작 상의 편의를 고려하여 g=0.2mm로 설정하였다. SIW의 폭은 지나치게 크지 않으면서 삽입손실을 최소화 할 수 있도록 W_{SIW}=4.8mm로 설정하였다. 설계된 SIW는 L_{SIW}=10.8mm일 때 24.125GHz에서 -0.32dB의 삽입손실(S_{21})과 -28.98dB의 반사손실(S_{11})의 특성을 보였다.



(a)



(b)

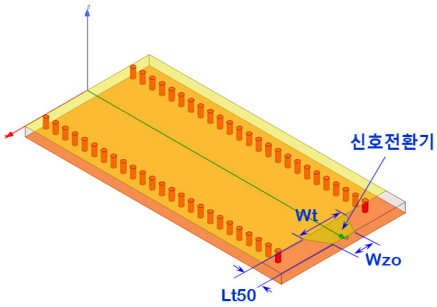
그림 3. 비아 간극 g에 따른 SIW의 특성 (a) 삽입손실(S_{21}) 및 반사손실(S_{11}) (b) 삽입손실(S_{21})의 확대 그림

Fig. 3. Characteristics of the SIW depend on via gap g (a) Insertion loss(S_{21}) and Return loss(S_{11}) (b) Magnified figure of insertion loss(S_{21})

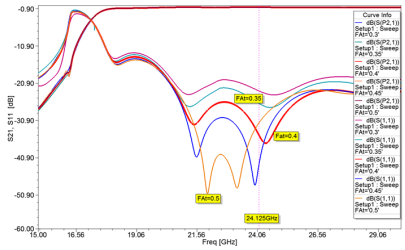
Ⅲ. 신호전환(transition)

칩셋과 각종 소자들은 마이크로스트립선으로 연결되므로 동일 기판에 함께 집적되기 위해 SIW와 마이크로스트립선 사이에 그림 4(a)에서 보인 것과 같은 신호전환기가 필요하다. 전환기는 마이크로스트립 테이퍼(microstrip taper) 방식을 이용하여 페이퍼의 폭(Wt)과 길이(Lt50)를 최적화하여 설계하였다. 그림 4(a)에서 Wzo는 Zo=50Ω인 마이크로스트립선의 폭을 나타낸다. 그림 4(b)는 Wt를 최적화하기 위한 것으로 변수 'FAt'에 따른 전환기가 포함된 SIW의 특성이다. FAt=0.4에서 삽입손실이 가장 적었으며 이때의 Wt=1.92mm로 최적화되었다. 그림 4(c)는 Lt50을 최적화하기 위한 것으로 변수 'ALP_Lt'에 따른 전환기가 포함된 SIW의 특성이다. ALP_Lt=-0.8mm에서 삽입손실이 가장 적었으며 이때의 Lt50=0.75mm로 최적화되었다.

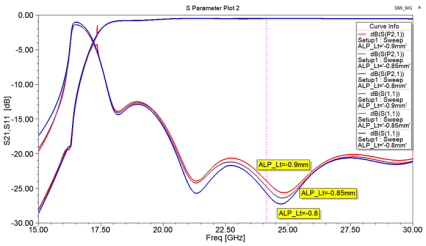
전환기가 포함된 SIW 24.125GHz에서 -0.51dB의 삽입손실(S_{21})과 -25.67dB의 반사손실(S_{11})의 특성을 보여 전환기에 의한 삽입손실이 0.19dB가 됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

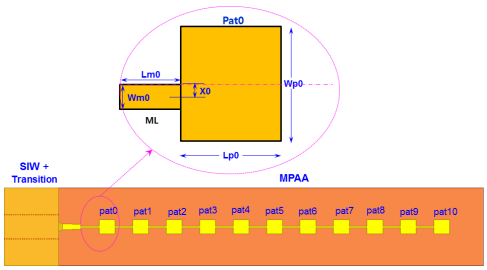
그림 4. 전환기가 포함된 SIW (a) 전환기가 포함된 SIW 구조 (b) FAt의 변화에 따른 특성 (c) ALP_Lt의 변화에 따른 특성

Fig. 4. SIW with transition (a) Structure of SIW with transition (b) Characteristics of the SIW with transition depend on FAt (c) Characteristics of the SIW with transition depend on ALP_Lt

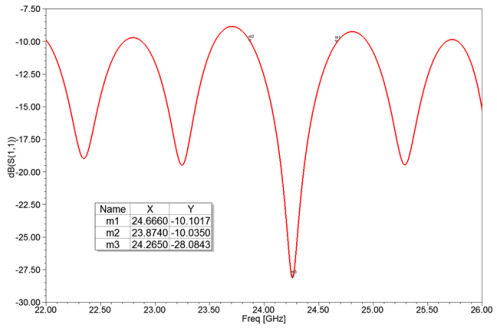
Ⅳ. MPAA의 집적

MPAA(Microstrip Patch Array Antenna)는 5G 이동통신용 안테나, 자율주행 센서 등의 레이더 안테나 등으로 널리 사용된다.[5-6] MPAA 크게 진행파형과 공진형으로 분류되며 여기서는 그림 5(a)에 보인 바와 같이 11개의 패치로 구성된 공진형 MPAA로 설계하였다. 원 안의 그림은 패치0를 확대한 것으로 X0=0으로 설정하여 마이크로스트립과 패치가 상하로 치우침 없이 중앙으로 정열되도록 하였고 모든 패치는 동일한 규격으로 설계하였다. 최적 설계 결과 Wp=2.81mm, Wm=0.3mm, Lp=3.10mm, Lm=3.53mm으로 설정되었다. 설계된 MPAA는 SIW 및 전환기와 함께 동일 기판에 집적시켜서 SoS(System on Substrate)가 이루어지도록 하였다.

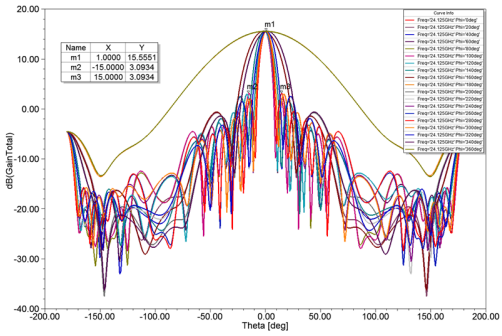
그림 5(b)는 그림 5(a)의 SoS형태로 동일 기판에 집적한 MPAA의 반사손실 특성을 보여준다. MPAA의 대역폭은 23.87-24.67GHz로서 24GHz ISM밴드에 잘 맞춰져 있으며 대역폭은 800MHz가 된다. 그림 5(c)는 SoS형태로 집적한 MPAA의 이득 특성을 보여준다. 11개의 패치로 구성된 MPAA의 최대이득은 15.6dB이고 SLL(Side Lobe Level)는 12.47dB를 보였다. 이는 단독 MPAA의 이득 16.18dB에서 SIW의 삽입손실 0.32dB와 전환기의 삽입손실 0.19dB를 빼준 값과 잘 일치하고 있다. SoS형태로 집적함에 따라 SLL은 13.01dB에서 12.47dB로 0.7dB만큼 감소하였고, 대역폭은 670MHz에서 800MHz로 증가하였다. 그림 5(d)는 SoS형태로 집적한 MPAA의 전계분포를 보여준다. SIW내에서는 TE_{10}모드로 진행하던 파가 전환기를 거치면서 유사 TEM모드로 잘 전환되고 있음을 볼 수 있다. 또한, MPAA 상에서는 공진모드가 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다.



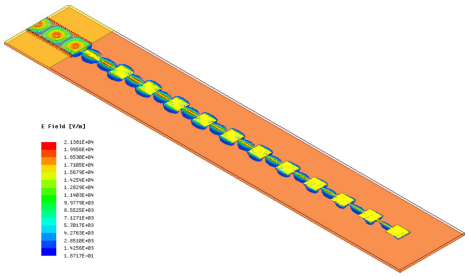
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. MPAA 구조와 배치 (a) 집적된 MPAA의 구조 (b) 집적된 MPAA의 반사손실 (c) 집적된 MPAA의 이득 (d) 집적된 MPAA의 전계분포 (e)

Fig. 5. Structure and placement of MPAA (a) Structure of the integrated MPAA (b) Return loss of the integrated MPAA (c) Gain of the integrated MPAA (d) Electric field distribution of the integrated MPAA

Ⅴ. 결론

밀리미터웨이브 시스템에서 SIW를 이용한 SoS (System on Substrate) 구축을 위해 비유전율이 3.48이고 두께가 20mil인 Rogers사의 Ro4350 기판을 사용하여 24GHz ISM 밴드(24-24.25GHz)에서 SIW를 이용한 SoS

를 위한 제반 설계를 하고자하였다. 그 일환으로 SIW, 전환기 및 MPAA를 SoS형태로 동일 기판에 집적하여 그 특성을 분석하였다.

최적화 설계를 통해 얻을 결과는 다음과 같았다.

우선, 길이 11.55mm의 SIW의 삽입손실은 0.32dB를 보였으며 50Ω 마이크로 스트립으로 신호전환 하는 데 0.19dB의 삽입손실이 발생하였다.

SoS형태로 동일 기판에 집적된 MPAA의 특성은 단독 MPAA의 특성을 잘 일치했으나, 이득 면에서는 SIW와 전환기의 삽입손실 만큼인 0.58dB가 감소했다. SLL은 0.7dB만큼 감소하였다. 반면에 대역폭은 670MHz에서 800MHz로 19.4%만큼 증가하였다.

References

[1] F. Xu and K Wu, “Guided-Wave and Leakage Characteristics of Substrate Integrated Waveguide” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005.

[2] Y.Cassivi, L. Perregrini, P. Arcioni, M. Bressan, K. Wu, and G. Conciauro, “Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide,” in IEEE Microwave Wireless Compon. Lett., vol. 12, pp. 333-335, Sep. 2002.

[3] D. Deslandes and K. Wu. “Single-substrate integration techniques of planar circuits and waveguide filters”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, pp. 593-596, Feb. 2003.

[4] D. Deslandes and K. Wu. “Design consideration and performance analysis of substrate integrated waveguide components”, Milano, European Microwave Conference, 23-27. pp. 881-884, Sept. 2002.

[5] H.C. Ki, "A Study on the effects of CSRR-metamaterial on Microstrip Comb-line Array Antennas", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 5, pp.187-192, Oct. 31, 2017. http://www.iibc.kr/bbs/board.php?bo_table=notice&wr_id=141

[6] H.C. Ki, "A Study on Waveguide to Microstrip Antipodal Transition for 5G cellular systems", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, VOL. 15 No. 4, pp.185-190, Aug. 31. 2015. http://www.iibc.kr/bbs/board.php?bo_table=notice&wr_id=141

저자 소개

기 현 철(정회원)

- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업.(공학사)
- 1986년 8월 : 한양 대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학박사)
- 1986년 ~ 1989년 : 한국 전자통신연구원 연구원.
- 1996년 ~ 1997년 : 미국 조지아공대 post.doc
- 2010년 ~ 2012년 : 미국 UCLA 객원교수
- 1992년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수.

<주관심분야 : RF회로설계, RF 및 mmW 부품 설계, Meta-material 응용 및 안테나설계>