

Taper 슬롯구조배열 안테나 구현

On the implementation of Taper slot array antenna structure

이 천 희*
(Cheon-Hee Lee)

김 호 준**
(Ho-Jun Kim)

곽 경 섭***
(Kyung-Sup Kwak)

요 약

본 연구에서는 X-밴드 taper 슬롯구조 능동위상 배열 안테나를 구현하였으며, 구현한 안테나의 성능을 해석하고 측정을 통하여 분석하였다. 제작된 광대역 위상배열 안테나의 능동반사계수 및 능동복사패턴을 측정된 결과를 통하여 설계된 위상배열 안테나의 능동반사계수 및 능동복사패턴 결과와 일치함을 확인하였고, 안테나의 광대역 빔 특성을 검증하여 설계 목표에 부합하는 안테나 구조를 제안하였다.

핵심어 : X-Band, 테이퍼 슬롯 안테나, 위상배열 안테나, 능동복사패턴, 육각형주기구조

ABSTRACT

X-Band taper slot-typed active phased array antenna is studied and designed. Through the simulated and measured performances, it is confirmed that both of active reflection coefficient and active radiation pattern of the designed phased array antenna are agreed well with those of the prototype manufactured one. From this study, the proposed antenna structure is matched to the design target of characteristics of antenna's broadband beam.

Key words : X-Band, Taper slot antenna, Phased array antenna, Active radiation pattern, Hexagonal periodic structure

I. 서 론

현재 차세대 능동 위상배열 안테나는 광대역 주파수 대역에서 동작하는 레이더, 전자전, 통신 등 여러 임무를 수행할 수 있는 장점이 있다.[1,2,3] 그러므로 광대역 위상배열 안테나의 설계에 대한 중요성은 점점 커지고 있으며, 따라서 본 논문에서 제안한 광대역 테이퍼 슬롯 위상배열 안테나 구조는 효과적으로 광대역 및 광범위 빔 조향 특성을 나타

낼 수 있다.

무한배열 환경에서의 해석기법은 주로 수치적 도파관 시뮬레이션기법(Numerical Waveguide Simulation Method)또는 주기적인 경계조건(Periodic Boundary)에서의 플로켓 모드 합(Floquet Mode Summation)을 이용한 방법을 사용하고 있다. 하지만 유한한 위상배열 안테나의 성능을 분석하기 위해서는 설계 주파수 대역과 전체 빔 조향 범위에서 주파수 변화에 따른 빔 조향 각도의 변화에 따른 능동반사계수

* 주저자 : 인하대학교 전자공학과 박사과정

** 공저자 : 인하대학교 전자공학과 석사과정

***교신저자 : 인하대학교 정보통신공학부 석좌교수

† 논문접수일 : 2013년 00월 00일

(Active Reflection Coefficient)를 다른 수치해석 시뮬레이터를 이용해서 구해야 하는 어려움과 또한, 추가적으로 빔 조향 성능 예측을 위해 능동복사패턴(Active Element Pattern)을 근사적으로 계산해야만 하는 번거로움이 있다[4]. 더구나 주기적인 경계조건(Periodic Boundary)을 이용한 안테나 시뮬레이션은 무한배열 환경에서의 시뮬레이션 특성과 유사하지만 배열 개수가 큰 유한배열 안테나의 시뮬레이션 특성과는 차이가 발생한다[5,6,7]. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해, 복사소자의 구조를 효율적으로 설계하면서, 빔 조향 각도에 따른 유한배열 안테나의 능동반사계수와 빔 조향 성능을 예측할 수 있는 능동복사패턴을 효과적으로 구할 수 있는 설계방법이 필요하다.

본 논문에서는 무한배열과 유한배열 환경을 단계적으로 적용하여 광대역 위상 배열 안테나를 체계적이면서 효과적으로 설계할 수 있는 기법을 제안하였다. 무한배열 환경에서 설계된 최적화 구조를 유한한 위상배열 안테나에 적용하여 설계하였으며, 단계별 위상 배열 안테나의 능동반사계수와 능동복사패턴 특성을 통해 배열 개수가 큰 유한한 광대역 위상배열 안테나의 빔 조향 성능을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다.

II. 배열안테나 설계 및 시뮬레이션

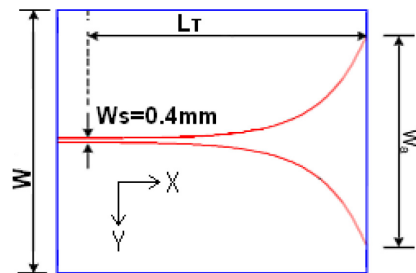
본 논문에서는 테이퍼 슬롯 구조를 이용한 배열 안테나 설계기법에 대하여 논하고 주기구조를 이용한 안테나설계 및 배열안테나 설계에 대한 제반 기능, 성능 및 특성을 분석하고 기술 한다.

1. 주기구조를 이용한 안테나 설계 및 시뮬레이션

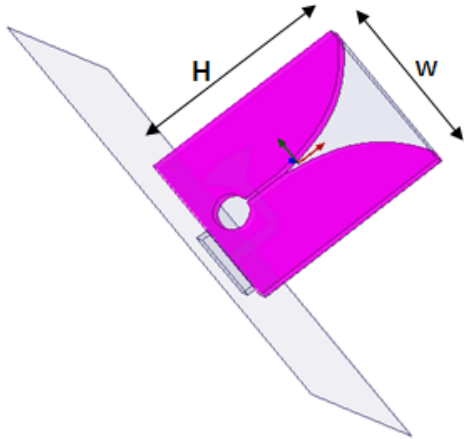
주기구조(Periodic boundary)를 이용한 안테나설계는 안테나의 배열개수가 매우 많아 시뮬레이션이 어렵고 시간이 많이 소요될 때 빠르고 쉽게 하기 위한 방법이다. 주기구조를 이용하여 안테나를 설계하면 배열이 주기적으로 구성되었을 때 자기 자신의 반사계수(S11)와 인접소자의 커플링 (S21)값을

모두 고려한 값을 추정하여 전체 배열안테나의 성능과 유사한 성능을 추출한다. 따라서 주기구조를 배열안테나의 구성에 맞게 잘 설계해야만 전체 배열안테나의 성능과 유사한 결과를 얻을 수 있다. 그림 1은 3D 시뮬레이션 툴인 HFSS를 사용하여 주기구조로 설계한 안테나 구조를 나타낸다[8,9].

본 논문에서는 HFSS 3D 시뮬레이션 툴을 사용하여 배열안테나에 적용 가능한 최적화된 단일 복사소자 구조를 그림 1에서 나타내었다. 단일 복사소자의 최적화는 배열복사소자 설계 시 매우 중요하다. 최적화된 복사소자 길이는 $H=16.5$ mm 폭은 $W=14$ mm로 $LT=12$ mm, $WS=10$ mm로 설계하였으며, 복사소자 기판은 유전율이 3.0인 Taconic 사 RF-30을 사용하였다. 급전부와 테이퍼 슬롯 구조의 GND 설계는 반사손실과 방사패턴 성능을 고려하여 최적화로 하였다. 급전부 앞에 Radial Stub를 적용하여 전류흐름에 따른 반사손실 특성을 더 향상시키도록 하였다. Notch(TSA)구조 및 설계 파라미터는 그림 <1 (a)>와 같으며, 스트립라인 급전을 이용한 Notch구조는 슬롯라인이 나팔처럼 확장되는 테이퍼모양의 복사부와 스트립라인에서 테이퍼 슬롯라인으로 변환되는 천이부(transition)로 구성된다.



(a) Planar structure



(b) Three-dimensional antenna structure

〈그림 1〉 최적화된 단일안테나 구조.
 〈Fig. 1〉 Optimized Single antenna structure.

안테나 설계 규격은 수치해석기법을 이용하여 다중모드 능동위상배열 레이더용 배열복사소자의 성능을 만족하도록 정하였으며, 주파수는 X-Band에서 동작하며, 스캔 범위는 목표 규격에 있는 방위각, 고각 범위에서 목표를 탐지하도록 설계한다.

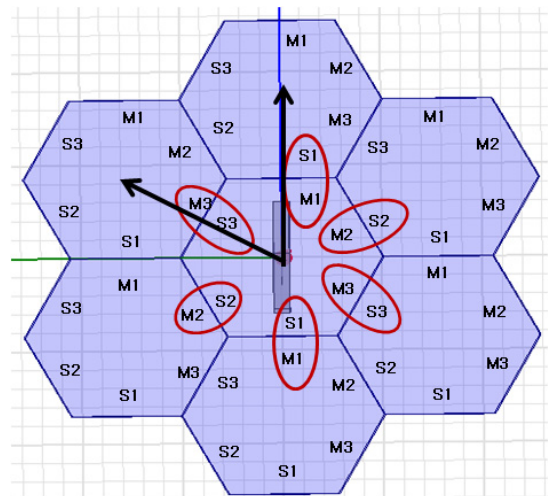
〈표 1〉 안테나 설계 규격
 〈Table. 1〉 Antenna Specification

Item	Specifications
Frequency	X Band
Bandwidth	10 %
Polarization	Lineally Horizontal
Array Configuration	Triangular array
Array spacing	15.7 × 17 mm
FOV	±45° (Azimuth/Elevation)
Directivity of single radiating element	5dB(normal) / 0dB(scan sector boundary)
Active reflection coefficient	≤ -10 dB (@ 90%)
Check path coupling	≥ -30 dB

Tapered Slot Antenna는 진행파형 안테나로 전자기파는 광속보다 느린 위상 속도로 안테나 기관 표면을 따라 전파한다. 또한 전자기파는 금속 테이퍼의 슬롯을 따라 진행하면서 안테나의 기관 끝에서 자유 공간으로 방사될 때까지 증가하면서 움직인다. 따라서 테이퍼 슬롯 구조는 광대역 대역폭을 확보 할 수 있는 장점이 있다[10].

그림 2는 다중모드 능동위상배열 레이더용 배열 복사소자의 성능에 맞는 주기구조모양을 나타낸다. 배열복사소자는 삼각배열로 구성된 평면배열복사소자로 형성되었다. 주기구조는 Master, Slave기능을 사용하여 설계한다. 이렇게 6각 모양으로 설계되면 인접소자가 연속적으로 연결되어있는 배열구조특성을 가지며, 이러한 구조특성을 이용하여 배열복사소자를 설계하여 성능을 추출한다.

배열복사소자의 배열구조는 grating lobe를 최소화하기 위한 삼각배열로 구성되므로 인접소자들의 배열간격을 고려하여 주기구조를 설계해야 한다. 따라서 배열구조에 적합한 주기구조는 6각형구조로 형성된다.



〈그림 2〉 무한배열안테나의 특성을 갖는 6각형 주기구조 모양

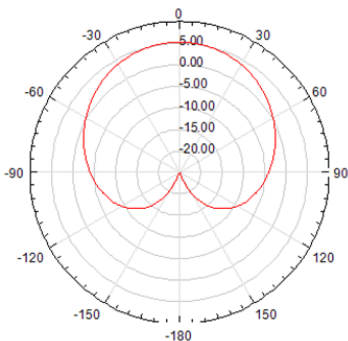
〈Fig. 2〉 Hexagonal constuction periodic structure characterized infinite array antenna

2. 능동복사패턴(Active element Pattern) 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 능동반사계수 특성에 가장 많은 영향을 주는 최외각 각도에서 진행하였다. Bore-sight 에서는 점검구조의 특성은 점검구조가 없을 때의 능동반사계수 특성과 비교 했을 때 아주 미흡하게 차이가 발생하나 전 조향 각에 따라 큰 영향이 없음을 나타낸다. 이러한 시뮬레이션 절차는 제작 시 발생 할 수 있는 오차를 줄이고, 제작비용을 절감 할 수 있는 좋은 방법이다.

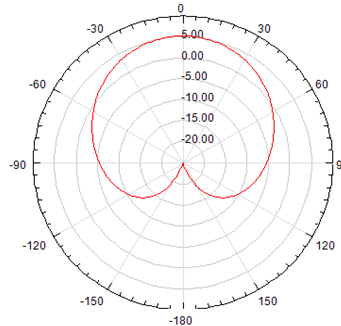
능동위상배열복사소자 특성을 분석하는데 있어 능동반사계수 특성 분석과 함께 능동복사패턴 특성 또한 중요한 요소로 나타낸다. 또한, 능동복사패턴에 따라 빔 스캔각도가 달라지므로 설계 시 배열복사소자의 특성을 고려하여 설계해야 한다. 그림 3 은 주기구조를 이용한 능동복사패턴 특성을 나타낸다. 그림 3에서 나타내듯이 능동복사패턴은 6-dB 기준으로 beamwidth은 E-plane에서 135도, H-plane에서 120.5도로 광대역 특성을 나타낸다. 복사소자 이득은 5dB로 목표성능에 만족함을 나타낸다.

◆ 6-dB beam width (E-plane)



● 6-dB beam width
✓ 135°(center frequency (F_c))

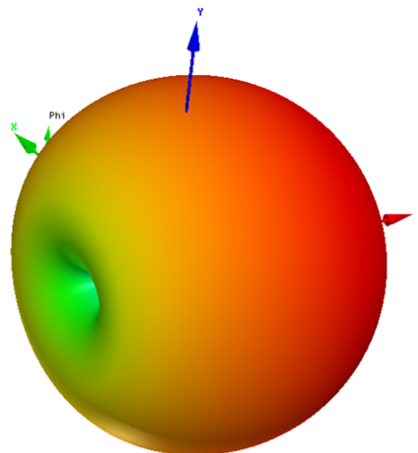
◆ 6-dB beam width (H-plane)



● 6-dB beam width
✓ 120.5°(center frequency (F_c))

〈그림 3〉 주기구조를 이용한 능동복사패턴 결과
〈Fig. 3〉 Active radiation pattern results using the periodic structure

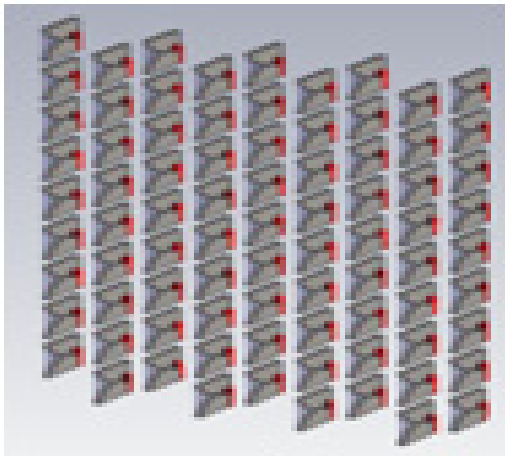
그림 4는 주기구조를 이용한 안테나의 3D 방사패턴을 나타낸다.



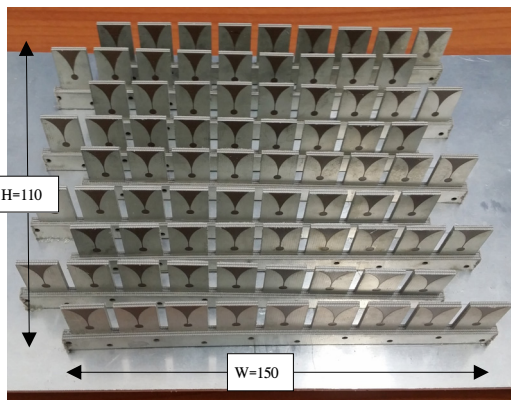
〈그림 4〉 주기구조를 이용한 안테나의 3D 방사패턴
〈Fig. 4〉 3D radiation pattern using the periodic structure

III. 9X9배열안테나 설계 및 시뮬레이션

그림 5는 점검구조를 제외한 9x9배열안테나의 구조를 나타낸다. 복사소자만 시뮬레이션을 한 이유는 주기구조를 통하여 점검구조가 있을 때와 없을 때의 시뮬레이션 결과를 비교 검토한 결과 점검구조는 안테나의 능동반사계수의 특성에 거의 영향이 없으므로 복사소자만 설계하여 시뮬레이션을 진행하였다.



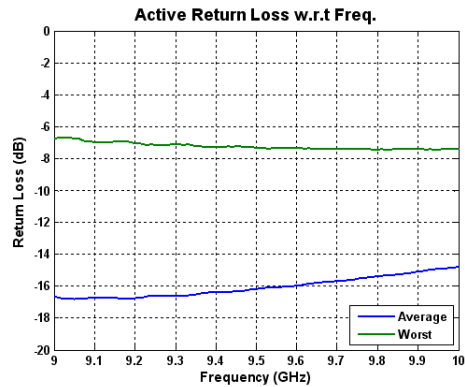
〈그림 5〉 9x9배열안테나 구조
〈Fig. 5〉 9x9array antenna structure



〈그림 6〉 조립된 복사소자 형상도
〈Fig. 6〉 Shape of the radiating element assembly

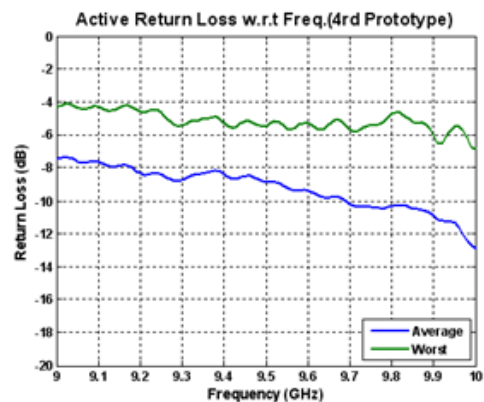
그림 6은 실제 제작된 9X9 안테나의 모형을 보

여준다. 삼각형 격자구조의 평면형 능동 위상배열 시스템은 방위각과 고각방향으로 넓은 빔 조향 능력 및 Grating Lobe을 최소화 할 수 있는 능력을 가지고 있다.



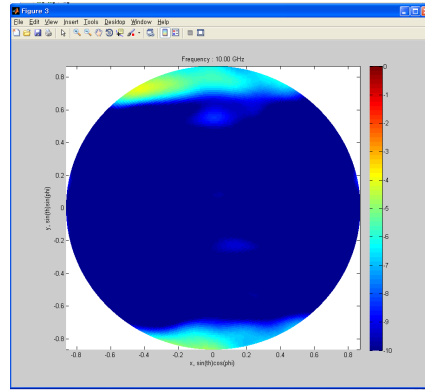
〈그림 7〉 9x9 배열안테나의 능동반사계수
〈Fig. 7〉 Active reflection coefficient of 9x9 array antenna

그림 7은 9x9배열안테나의 능동반사계수 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 7에서 나타내듯이 능동방사계수는 전 조향 각을 스캔하였을 때 평균값은 -16dB 이하이고 나쁜 경우의 값은 -7dB정도가 된다.



〈그림 8〉 제작된 9x9 prototype 능동반사계수 결과
〈Fig. 8〉 9x9 prototype made active reflection coefficient results

그림 8은 제작된 4차 prototype의 능동반사계수 측정결과를 나타낸다. 그림에서 나타내듯이 전 조향 각에서 평균 능동반사계수는 -11dB 이하이고, 나쁜 경우는 -4dB의 특성을 나타낸다. 실제 측정 시 접선의 저항과 주변 환경에 의해 시뮬레이션 결과와 다소 차이를 보이지만 1차 prototype 부터 4차 prototype 까지 측정된 결과를 보면 3차 prototype 측정결과가 목표성능에 근접하였다. 3차 prototype의 능동반사계수(Active Reflection Coefficient)는 -7dB 기준으로 전 조향 각에서 97%를 나타냈고, 능동복사패턴(Active Element Pattern)은 동작주파수대역에서 목표성능($\pm 60^\circ$ (E-plane, H-plane))을 만족한다.

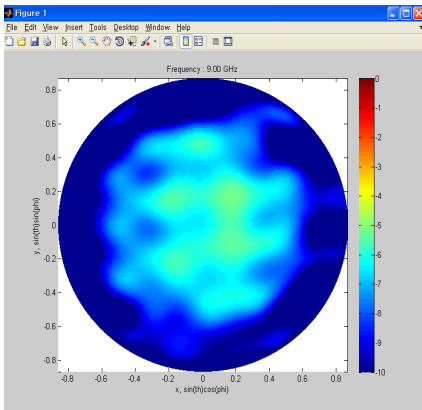


(c) 10 GHz

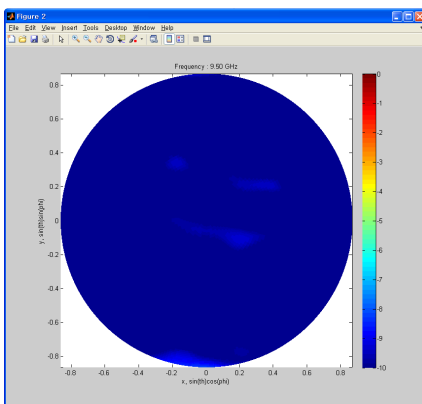
〈그림 9〉 주파수별 전 조향 각에서의 능동반사계수 측정 결과

〈Fig. 9〉 All the active steering angle measurement in the frequency-dependent reflection coefficient

그림 9는 능동반사계수 특성을 전 조향 각에서 2D Plot으로 나타낸 결과를 보여준다. 그림 9(a)는 9 GHz에서 전 조향 각을 스캔한 그림이고, 9(b)는 9.5 GHz에서 전 조향 각을 스캔한 그림이고 9(c)는 10 GHz에서 전 조향 각을 스캔한 그림을 보여준다.



(a) 9 GHz



(b) 9.5 GHz

IV. 결 론

본 논문에서 제작된 광대역 위상배열 안테나의 능동반사계수 및 능동복사패턴을 측정한 결과를 통하여 설계된 위상배열 안테나의 능동반사계수 및 능동복사패턴 결과와 일치함을 확인하였다. 또한 원전계(Far-Field) 측정을 통해 설계된 위상배열 안테나의 광대역, 광범위한 빔 특성을 검증하였으며, 삼각형 격자구조의 평면형 능동 위상배열 시스템은 방위각과 고각방향으로 넓은 빔 조향 능력 및 Grating Lobe을 최소화 할 수 있는 능력을 가지고 있음을 확인하였다. 현재 다중모드 능동위상배열 레이더의 복사소자 개발을 통하여 개발과정에서 나타난 문제점을 더 자세하게 분석하면 설계 및 제작에 반영하면 더 좋은 성능을 가진 복사소자를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

“본 연구는 미래창조과학부 방송통신정책연구센터의 영지원사업의 연구결과로 수행되었음”(KCA-1394100003)

참 고 문 헌

- [1] E. BROOKNER “Phased array radars-past, present and future” *IEEE RADAR’ 2002*, pp.104-113, Oct. 2002
- [2] T. Bertuch, M. Pamies, C. Locker, P. Knott, H. Erkens, R. Wunderlich, and S. Heinen, “System aspects of a low-cost coherent radar system with AESA antenna for maritime applications” *IEEE International Kharkov Symposium’ 2010*, pp.1-6, June. 2010
- [3] Niklas Billström, Klas Axelsson, Bruno Lumetzberger, “X-band sub-antenna for low cost AESA radars” *IEEE EuMC’ 2009*, pp.910-913, Sept. 2009
- [4] D.H. Schaubert, S. Kasturi, A.O. Boryssenko and W.M. Elsallal, “Vivaldi Antenna Arrays for Wide Bandwidth and Electronic Scanning” *IEEE EuCAP 2007*, pp.1-6, Nov. 2007
- [5] Chen Xianzhong, Yin Yixin, Hou Qingwen , Li Xiaoli, Zhu Menghui, Liu Kangli, “A design of phased array antenna based on the Vivaldi antenna” *IEEE IIS’ 2010*, vol, 1, pp.334-337, July 2010
- [6] Chao Deng and Yong-jun Xie, “Design of Resistive Loading Vivaldi Antenna” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol, 8, pp.240-243, May 2009
- [7] Li Bin Dong Liang, Zhao Jiao-cheng, “The research of broadband millimeter-wave Vivaldi array antenna using SIW technique” *IEEE ICMMT’ 2010*, pp.997-1000, May 2010
- [8] Yu Jian Cheng, Student Member, IEEE, Wei Hong, Senior Member, IEEE, and Ke Wu, Fellow, IEEE, “Design of a Monopulse Antenna Using a Dual V-Type Linearly Tapered Slot Antenna (DVL TSA)” *IEEE Transactions*, vol, 56, Issue, 9, pp.2903-2909, Sept. 2008
- [9] Zhang Cheng Hao, Wei Hong Member, IEEE, JiXin Chen, XiaoPing Chen, Ke Wu Fellow, IEEE, “A novel feeding technique for antipodal linearly tapered slot antenna array” *IEEE MTT-S International*, ISSN, 01490-645X, June 2005
- [10] Min-Kil Chong, Dong-Yoon Kim, Sang-Keun Kim, Sang-Mi Chon, Hyung-Gi Na, “Development of Planar Active Electronically Scanned Array(AESA) Radar Prototype for Airborne Fighter” *Korea electromagnetic Engineers* vol, 21, Issue, 12, pp.1380~1393, Dec 2010

저자소개



이 천 회 (Lee, Cheon-Hee)

2002년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신대학원 전자공학과 박사과정
1996년 2월 : 한남대학교 전자공학과 석사과정
1994년 2월 : 한남대학교 정보통신공학과(공학사)



김 호 준 (Kim, Ho-Jun)

2012년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 대학원 전자공학과 석사과정
2011년 2월 : 인천대학교 정보통신공학부(공학사)



곽 경 섭 (Kwak, Kyung-Sup)

2000년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부 석좌교수(IFP)
2003년 8월 ~ 현재 : 인하대학교 초광대역 무선통신 연구센터(UWB-ITRC) 센터장
2009년 1월 ~ 2009년 12월 : 한국ITS학회 회장
2006년 1월 ~ 2006년 12월 : 한국통신학회 회장
2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 원장
1989년 2월 ~ 1990년 3월 : 미국 IBM Network Analysis Center 연구원
1988년 2월 ~ 1989년 2월 : 미국 Hughes Network System 연구원
1988년 2월 : 미국 UCSD 통신이론 및 시스템(공학박사)
1981년 12월 : 미국 UCS 전기공학과(공학석사)
1977년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학사)
e-mail : kskwak@inha.ac.kr
연락처 : 032)860-7416