

CFG 실 시간지연 선로를 사용한 10 GHz 위상 배열 안테나의 설계

학생회원 이 갑 용, 정회원 최 연 봉, 신 중 덕, 김 부 균, 이 상 배*

Design of a 10 GHz Phased-Array Antenna Using CFG True Time-Delays

Gab-Yong Lee Student Member, Yeon-Bong Choi, Jong-Dug Shin, Boo-Gyoun Kim,
and Sang-Bae Lee* Regular Members

요 약

본 논문에서는 여러 개의 칩 광섬유 격자(Chirped fiber gratings : CFGs)와 한 개의 파장 가변광원을 이용하여 연속적으로 빔의 주사 방향을 조정할 수 있는 송신용 선형 위상배열 안테나용 실 시간지연 선로를 제안하였다. L-밴드, S-밴드, 그리고 X-밴드에서 측정된 CFG의 평균 군 지연 기울기는 177 ps/nm이었다. 최대 빔 주사각을 180° 로 설계한 4개의 안테나 소자로 구성된 10 GHz 송신용 선형 위상배열 안테나 구조에서 전산 모의 실험 결과로 얻은 최대이득은 11.6 dB로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a continuously variable true time-delay for transmit linear phased-array antenna using *chirped fiber gratings*(CFGs) and a tunable laser source. Average group delay-slope of the CFG was measured to be 177 ps/nm at L-, S-, and X-band. Simulation results show that the maximum gain of the transmit linear phased-array antenna with the beam steering angle of 180° is 11.6 dB at 10 GHz.

1. 서 론

위성 통신의 발달로 고속 데이터 전송 및 시간과 장소에 구애받지 않는 서비스 제공에 필요한 시스템 구축에 관한 연구가 필요하다. 위성방송용 안테나의 경우에는 차량이나 선박 등 이동체에 쉽게 탑재할 수 있고, 언제 어디서나 고품질의 서비스를 받기 위해서는 위성의 방향을 추적할 수 있는 위상배열 안테나 시스템을 필요로 하고 있다. 위상배열 안테나 시스템의 빔 주사방식에는 위상 주사 방식(Phase scanning)과 시간지연 주사방식(Time delay scanning)이 있다. 위상 주사 방식은 사용 주파수에 따라 주 빔의 방향이 약간씩 틀어지는 'beam

squint'현상이 발생하기 때문에, 시간지연 주사 방식만을 이용하거나 시간지연 주사 방식을 혼합한 형태의 위상배열 안테나 구현에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

광학적인 접근 방식을 이용한 위상배열 안테나(Phased-Array Antenna : PAA)는 넓은 대역폭, 저손실, EMI(Electro-Magnetic Interference)에 무관, 소형화가 가능하다는 장점이 있다. 광통신 기술을 이용한 실 시간지연선로(True Time-delay : TTD)의 구현은 분산 보상 광섬유(Dispersion Compensation Fiber : DCF)를 이용하는 방법 [1], Photonic 스위치를 이용하는 방법 [2], 광섬유격자(Fiber Bragg Grating : FBG)를 이용하는 방법 [3], 칩 광

승실대학교 정보통신전자공학부

* 한국과학기술원 광 기술연구센터

논문번호 : 010231-0831, 접수일자 : 2001년 8월 31일

※본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터와 공동연구과제에 의한 것입니다.

섬유 격자(Chirped Fiber Grating : CFG)를 이용하는 방법 [4]등이 제안되어 왔다. DCF를 이용한 시간지연선로는 광섬유의 분산을 이용한 방법으로서 광원의 파장에 따른 시간지연 차를 이용하는 것이다. 하나의 파장 가변광원을 사용하고 각 안테나 소자에 서로 다른 길이의 DCF를 연결하여 구성한다. 광 스위치를 이용한 방식은 평판 도파로로 구성된 시간지연선로와 광 스위치의 조합으로 구성되며, 광 스위치의 ON/OFF에 따라 조절되는 시간지연으로 PAA의 빔의 방향을 결정할 수 있는 구조이다. 한 개의 파장 고정 광원을 사용하며 제어 신호에 따라 빔의 주사 방향을 변화시킬 수 있으나, 빔 주사 각의 분해능을 증가시키기 위해서는 스위치 수를 증가시켜야 하며, 또한 넓은 대역폭을 제공하는데 한계가 있다. 이와 유사한 방식으로 반사 파장이 서로 다른 여러 개의 FBG를 연결하여, 입력되는 광원의 파장에 따라 FBG로부터 반사되는 위치가 서로 다르게 되어 시간 지연을 얻는 방식이다. 따라서 빔 주사 방향을 바꾸기 위해서는 한 개의 파장 가변광원과 브래그 파장이 다른 여러 개의 FBG가 있어야 한다. CFG를 이용하는 방법은 입력되는 광원의 파장에 따라서 한 개의 CFG에서 반사되는 위치가 달라 시간지연이 연속적으로 변하게 되어서 FBG와는 다르게 연속적으로 빔 주사 방향을 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 여러 개의 파장 가변광원이 있어야만 한다.

본 논문에서는 안테나 빔의 주사 방향을 연속적으로 변화시킬 수 있고, 위상 주사 방식보다는 가격이

저렴한 광학적 TTD 구조를 이용한 10 GHz 송신용 선형위상 배열 안테나 구조를 설계하였다. 제 II장에서는 제안된 TTD의 구조를 간단히 설명하였고, 제 III장에서는 여러 RF 주파수에서 CFG의 평균 시간 지연을 측정하였고, 제 IV장에서는 위의 CFG를 사용하여 10 GHz 송신용 선형 PAA를 설계하였고, 전산 모의 실험을 통해 성능을 분석하였다. 마지막으로 제 V장에서는 본 논문의 연구결과를 요약하였다.

II. 제안된 TTD구조

PAA는 여러 개의 안테나 소자가 일정한 간격으로 배열된 안테나로서 빔의 주사 방향을 임의로 조절할 수 있는 스마트 안테나의 일종이다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 N개의 CFG로 구성된 TTD구조를 갖는 송신용 선형 PAA의 구성도 이다.

반사 대역폭은 동일하나 길이가 서로 다른 N개의 CFG를 사용한 TTD로서, 파장 가변광원의 출력 파장 변화에 따라 연속적으로 빔의 주사 방향을 바꿀 수 있는 구조이다. 즉, λ_1 파장이 입력되면 최상단의 CFG로부터 최대 시간지연이 발생하여 빔의 주사 방향은 위쪽을 향하게 되며, λ_n 파장의 경우에는 이와 반대로 최하단의 CFG로부터 최대 시간지연이 발생하게 되므로 빔의 방향은 아래쪽을 향하게 된다.

따라서, 입력 파장의 변화에 따라 N개의 CFG로부터 반사되는 시간지연 차를 이용하여 연속적으로

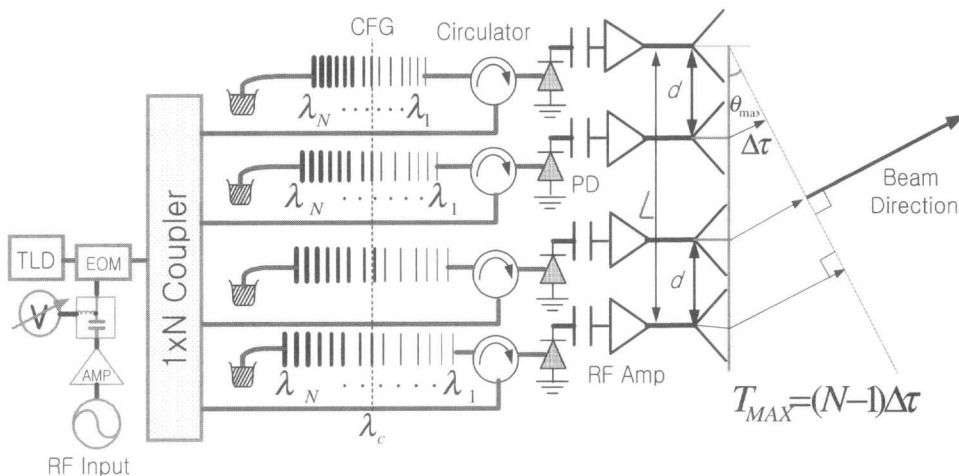


그림 1. N 개의 CFG를 사용한 송신용 선형 PAA의 구조

빔 주사 각을 변화시킬 수 있다.

그림 1에서 TTD의 최대 시간지연 T_{max} 와 빔의 주사각과의 관계는 다음과 같다.

$$T_{max} = \frac{L}{c} \times \sin \theta_{max} = (N-1)\Delta\tau \quad (1)$$

여기서, L 은 배열안테나의 전체길이, c 는 빛의 속도, θ_{max} 는 최대 빔 주사 각, N 은 배열안테나의 소자 수, $\Delta\tau$ 는 배열 안테나 소자간의 시간지연 차이다.

III. CFG의 시간지연 측정 및 결과 분석

CFG의 시간지연을 측정하기 위한 실험 구성은 그림 2와 같다. 먼저 RF주파수는 고정시키고, 파장 가변광원의 파장을 조금씩 변화시키면서 CFG를 통해 반사되어 나오는 시간을 측정하여 각 파장별로 시간 지연 차를 계산하였고, 같은 방법으로 각 RF 주파수 별로 시간지연을 측정하였다.

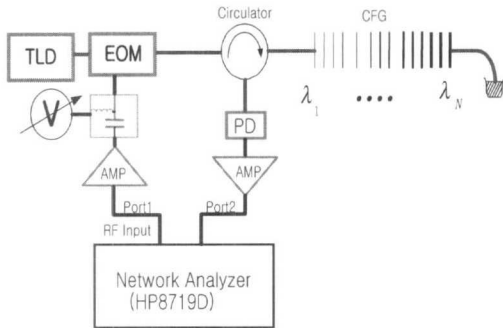


그림 2. CFG의 시간지연 측정 실험 구성도

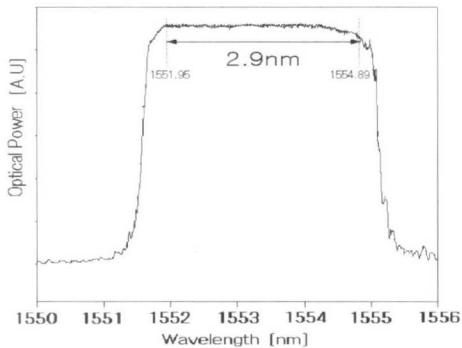


그림 3. CFG의 반사 스펙트럼

그림 3은 CFG의 반사 스펙트럼을 나타낸 것으로

사용된 CFG의 길이는 5 cm 이었다. CFG의 3 dB 반사 대역폭은 3.16 nm (1551.74 nm ~ 1554.90 nm)로 측정되었으나, 보다 나은 S/N비를 얻기 위해서 1.6 dB 반사 대역폭인 2.94 nm (1551.95 nm ~ 1554.89 nm)의 범위를 사용하였다. RF 주파수는 이동통신 및 레이더용 주파수 대역인 L-밴드, S-밴드 그리고 X-밴드인 1.8 GHz, 2.2 GHz, 8 GHz, 10 GHz를 사용하였다.

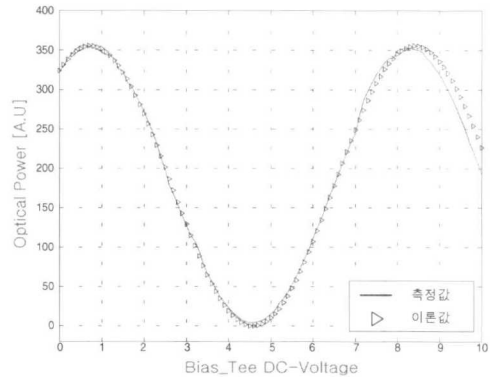


그림 4. EOM의 전달함수

그림 4는 EOM의 전달함수 그래프로서, V_{π} 값은 3.8 V이었고, 동작점은 2.6 V를 사용하였다.

그림 5는 각 주파수별로 측정된 시간지연결과이다.

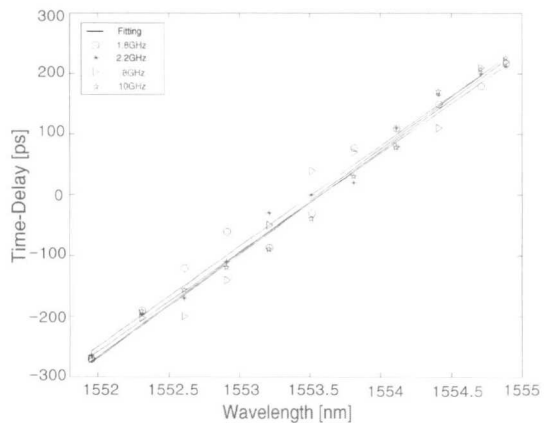


그림 5. 각 RF주파수별 측정된 시간지연(1.8, 2.2, 8, 10 GHz)

반사 대역폭 범위에서 파장 가변광원의 파장을 변화시키면서 통신망 분석기(HP8719D)를 통해 각 주파수별 측정된 최대 평균 시간지연은 약 519 ps이었으며, 평균 군 지연기울기는 약 177 ps/nm 이었고, 오차는 약 ±1.8 % 이었다. CFG의 파장변환

에 따른 측정된 시간지연의 오차는 apodization 처리 과정이 없이 제작되어진 CFG를 사용하였기 때문이라 판단된다[5].

IV. 10GHz 송신용 선형 PAA의 설계 및 분석

그림 6은 5 cm 길이 CFG의 측정결과를 근거로 설계된 4개의 CFG를 이용한 TTD의 구조를 나타낸 것이다.

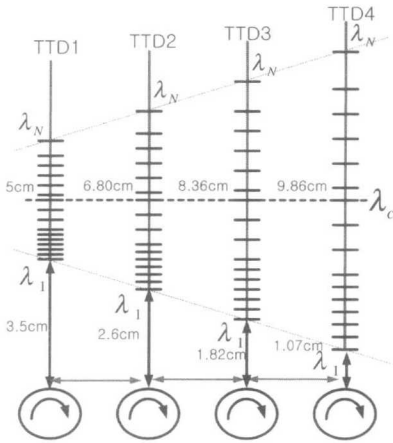


그림 6. 4개의 CFG를 이용한 TTD

TTD는 중심파장 λ_c 를 기준으로 CFG 군 지연 기울기는 일정하게 증가시키고, 이와 반대로 SMF 길이는 감소시킴으로써 일정한 시간지연 차를 발생시킬 수 있다. 시간지연 차는 CFG에서 반사되어 나오는 왕복시간과 각각의 CFG에 연결된 SMF의 왕복시간의 합을 의미한다. 따라서 CFG의 반사 대역폭 2.94 nm이고, CFG와 SMF의 유효굴절률이 1.46일 때, 가장 짧은 CFG의 길이가 5 cm, 이곳에 연결된 가장 긴 SMF의 길이가 3.5 cm일 때 4개의 CFG의 각각의 길이는 5, 6.80, 8.36, 9.86 cm이고, CFG에 연결된 SMF의 길이는 각각 3.5, 2.6, 1.82, 1.07 cm가 되며 이것을 근거로 설계하였을 때 10 GHz 송신용 선형 PAA의 최대 빔 주사각은 180° 이었다.

그림 7은 설계된 4개의 CFG들 사이에 발생하는 시간지연 차와 파장변화에 따라 선형 PAA 주 빔의 주사각의 변화를 나타낸 그래프이다.

송신용 선형 PAA의 RF 주파수는 10 GHz를 선택하여 전산 모의 실험을 하였다. 이때 PAA의 주 빔 이득이 최대가 되고 다른 신호와의 간섭 및 재밍(jamming)의 영향을 없애기 위한 인접 안테나 소

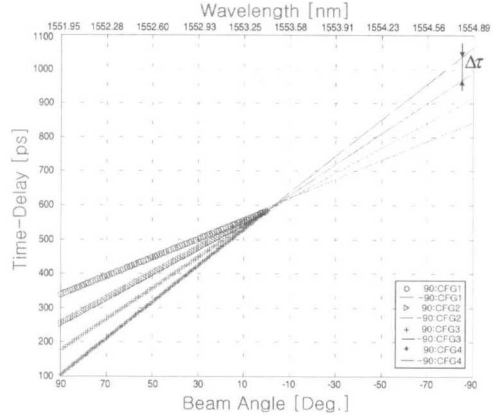


그림 7. TTD의 시간지연차에 따른 선형 PAA의 빔 주사각의 변화

자간의 거리는 식 (2)로 나타낸다.

$$d \leq \frac{\lambda_m}{1 + |\sin \theta_{\max}|} \quad (2)$$

여기서, λ_m 은 설계된 안테나의 자유공간에서의 RF파장, θ_{\max} 는 안테나의 최대 빔 주사각을 나타낸다. θ_{\max} 가 $\pm 90^\circ$ 일 때 빔의 최대 이득을 얻기 위한 안테나 소자간의 간격 d 는 $0.5\lambda_m$ 이하가 되어야 한다. 또한 배열 안테나를 위한 반 파장 단일 안테나 소자의 길이에 대한 근사값은 식 (3)으로 결정할 수 있다.

$$L = W = 0.49 \times \frac{\lambda_m}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

여기서, ϵ_r 은 기판의 비유전율을 나타낸다.

그림 8은 10 GHz용 송신용 선형 PAA를 위한 단일 안테나 소자를 설계한 것으로 한 변의 길이가 9.2 mm인 정사각형 구조로써, 두께가 0.7864 mm 이고 비유전율이 2.5인 테프론이다.

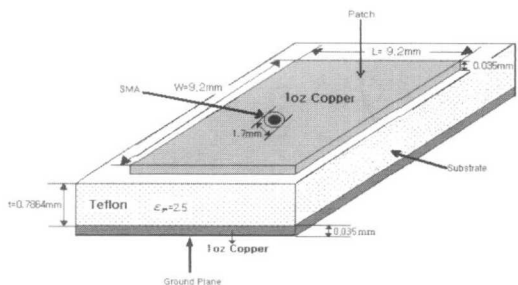
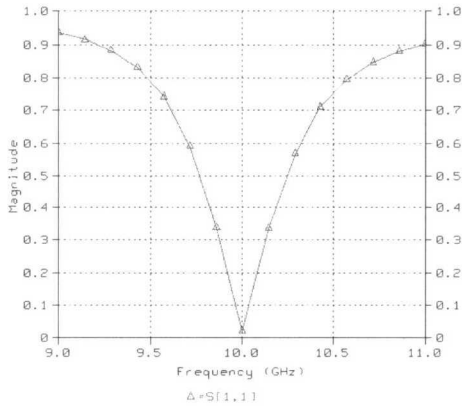
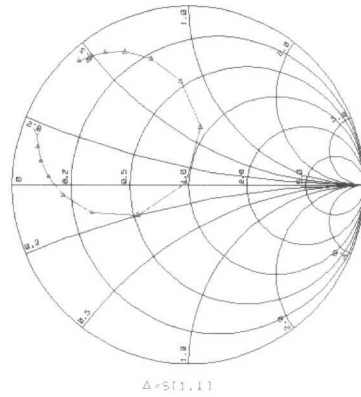


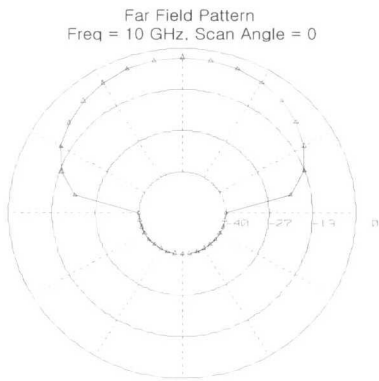
그림 8. 단일 안테나 소자의 설계도



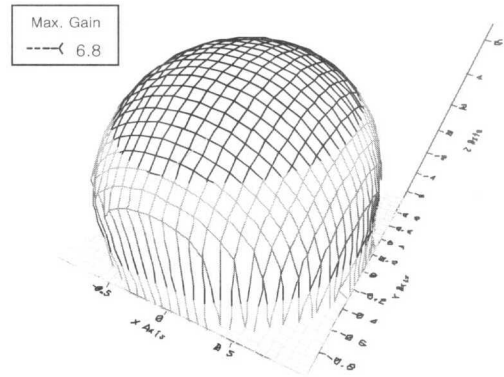
(a) 50 Ω 임피던스매칭의 크기



(b) 50 Ω 임피던스매칭 스미스 차트



(c) 빔 주사각 0°에서의 원거리 방사패턴



(d) 원거리 방사패턴의 이득의 크기

그림 9. 10 GHz PAA용 단일 안테나 소자

그림 9의 (a), (b), (c), (d)는 앙상블 5.0을 이용하여 구한 전산 모의 실험 결과로써, 10 GHz의 단일 안테나 소자의 50Ω 임피던스 매칭과 빔의 최대 이득을 나타낸 그래프와 원거리 방사패턴이다.

실험 결과 단일 안테나 소자의 빔 최대 이득은 6.8 dB이었다.

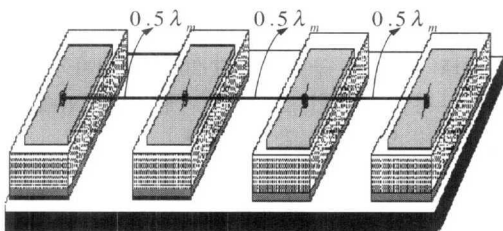


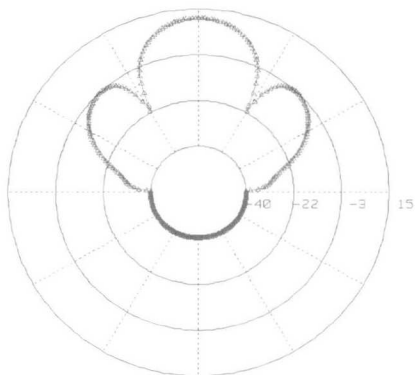
그림 10. 안테나 소자 4개로 구성된 송신용 선형 PAA구조 (d=0.5λ m)

그림 10은 그림 9와 같이 설계된 단일 안테나 소자를 이용한 송신용 선형 PAA 구조로써 안테나 소자 수 N 을 4, 안테나 소자간의 간격 d 를 0.5λ m으로 한 PAA의 설계 구조를 나타낸 것이다.

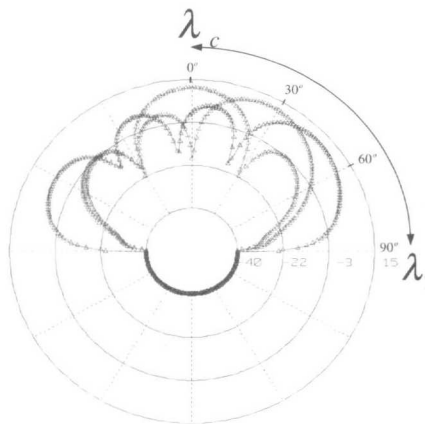
그림 11은 그림 10의 구조에서 10 GHz용 선형 PAA의 전산 모의 실험 결과를 나타낸 것으로 선형 PAA 빔 주사각이 0°일 때 주 빔의 최대 이득은 11.6 dB이었다.

그림 12의 (a)와 (b)는 선형 PAA 빔 주사각이 $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 90^\circ$ 일 때 원거리 방사패턴에 대한 전산 모의 실험결과이다. 빔 주사각이 $\pm 30^\circ$ 일 때 주 빔의 최대이득은 11.2 dB로서 0°일 때 주 빔의 이득과는 0.4 dB 차이가 났고, $\pm 60^\circ$ 로 변할 때는 주 빔의 최대 이득은 10.6 dB로 1.0 dB의 차이가 났다.

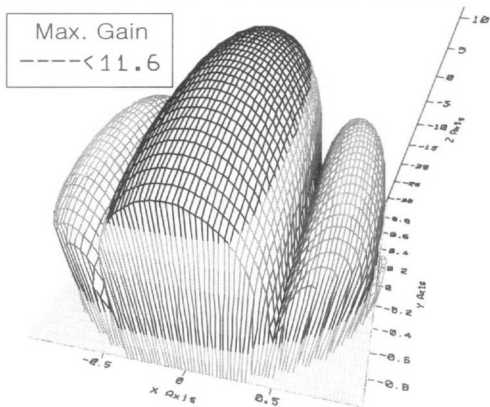
Far Field Pattern
Freq = 10 GHz, Scan Angle = 0



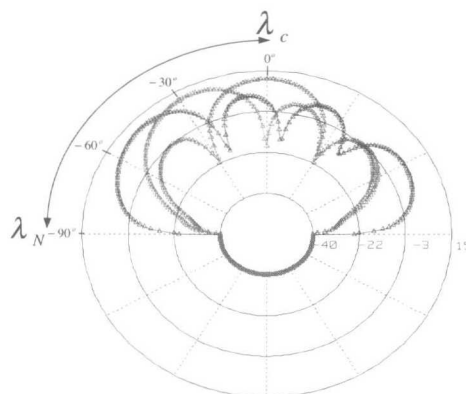
(a) 빔 주사각이 0°일 때의 원거리 방사패턴



(a) 빔 주사각이 0°, 30°, 60°일 때의 원거리 방사패턴



(b) 원거리 방사패턴의 최대 이득



(b) 빔 주사각이 0°, -30°, -60°일 때의 원거리 방사패턴

그림 11. 4개의 안테나소자로 구성된 10 GHz 송신용 선형 PAA

그림 12. 선형 PAA의 빔 주사각에 따른 주 빔의 원거리 방사패턴

V. 결론

본 논문에서는 한 개의 파장 가변광원과 동일한 반사 대역폭을 가지면서 길이가 다른 N개의 CFG를 이용한 TTD를 사용하여, 연속적으로 빔 주사 방향을 조정할 수 있는 10 GHz 송신용 선형 PAA 구조를 설계 분석하였다.

Apodization처리가 되지 않은 길이가 5 cm인 CFG의 평균 군 지연 기울기는 177 ps/nm, 오차는 약 ±1.8 %로 측정이 되었다. apodization처리가 된 CFG를 사용한다면 파장변화에 따른 보다 정확한 시간지연 차를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이 결과를 이용하여 설계한 10 GHz 단일 안테나 소자

의 전산 모의 실험 결과 최대 빔 이득은 6.8 dB이었다. 또한, 최대 빔 주사각이 180°가 되도록 단일 안테나 소자 4개를 0.5λ_m간격으로 배열하여 구성한 송신용 선형 PAA구조에서 얻은 최대 빔 이득은 11.6 dB이었다.

제한된 PAA의 구조는 IMT-2000용 기지국용 안테나와 정밀 측정이 요구되는 레이더용 안테나로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

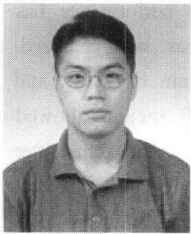
참고 문헌

[1] R. D. Esman, M. Y. Frankel, J. L. Dexter, L. Goldberg, M. G. Parent, D. Stilwell, and D. G.

Cooper, "Fiber-Optic Prism True-Time Delay Antenna Feed", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 1347-1349, Nov. 1993.

- [2] K. Horikawa, I. Ogawa, H. Ogawa, and T. Kitoh, "Photonic switched true time delay beam forming network integrated on silica waveguide circuits," *IEEE MTT-S Symposium Digest*, vol. 1, pp. 65 - 68, May 1995.
- [3] A. Molony, L. Zhang, J. A. R. Williams, I. Bennion, C. edge, and J. Fells, "Fiber Bragg-grating true time-delay systems: Discrete-grating array 3-b delay and chirped-grating 6-b delay line," *IEEE MTT*, vol. 45, pp. 1527-1530, Aug. 1997.
- [4] J. Marti, J. L. Corral, F. Ramos, V. Polo, and J. M. Fuster, "Milimeter-Wave Optical Beamforming Network for Phased-Array Antenna Employing Optical Up-conversion and Wide-band Chirped Fiber Gratings," *Electron. Lett.*, vol. 35, pp. 517-518, April 1999.
- [5] R. Kashyap, A. Swanton, and D. J. Arms, "Simple technique for apodising chirped and unchirped fiber Bragg gratings," *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1226-1228, June 1996.

이 갑 용(Gab-Yong Lee) 학생회원



1999년 2월 : 서남대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과(공학석사)
 1998년 10월 - 2000년 3월 : 삼한기전 (주) 개발부, 연구원

<주관심 분야> 광전송 및 광증계기, 시스템 제어공학

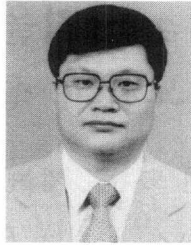
최 연 봉(Yeon-Bong Choi) 정회원



1987년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 (공학박사)
 2000년 8월 - 현재 : BK21 박사후과정

<주관심 분야> 전자공학, 통신공학, 광통신

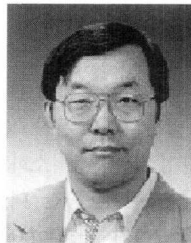
신 종 덕(Jong-Dug Shin) 정회원



1976 - 1981년 : 연세대학교, 전자공학과 (공학사)
 1984 - 1988년 : University of Texas at Austin, 전기 및 컴퓨터 공학과(공학석사)
 1988 - 1991년 : Texas A&M University, 전기공학과(공학박사)
 1980년 - 1983년 : 대영전자공업 (주) 개발부, 계장
 1991년 - 1995년 : 한국전자통신연구소, 선임연구원
 1995년 - 현 재 : 숭실대학교, 정보통신전자공학부 부교수

<주관심 분야> 완전광통신망, 광고환, 광신호처리, 광섬유 소자

김 부 균(Boo-Gyoun Kim) 정회원



1979년 : 서울대학교, 전자공학과 (공학사)
 1981년 : 한국과학기술원, 전자공학과 (공학석사)
 1989년 : The University of southern California, 전자공학과 (공학박사)

1989년 - 현재 : 숭실대학교, 정보통신전자공학부 교수
 1995년 : 대한전자공학회 편집위원, 대한전기학회 광전자공학 및 전자파 연구분과 간사장
 1999년 - 현 재 : 산업표준심의회 IEC/TC86 전문위원의 위원
 2000년 - 현 재 : 대한전자공학회 광파 및 양자전자공학회 전문위원장
 <주관심 분야> 광통신 및 광네트워크용 소자, 광통신 시스템 및 광 네트워크

이 상 배(Sng-Bae Lee) 정회원



1983년 2월 : 서강대학교 물리학과 졸업 (이학사)
 1985년 2월 : 동대학원 졸업(석사)
 1993년 8월 : 동대학원 졸업(박사)
 1985년 7월 - 현재 : KIST근무 (책임연구원)
 2000년 3월 - 현재 : 광기술연구센터 센터장

1999년 9월 - 현재 : 국가지정 "광섬유 연구실" 운영
 <주관심 분야> 특수광섬유 개발, 광섬유 레이저, 광섬유 격자소자, 광섬유 격자소자 센서등