

## 2×2 MEMS 스위치와 광섬유지연선로를 이용한 10 GHz 위상배열 안테나용 3-bit 광학적 실시간 지연선로

### 3-bit Optical True Time Delay for 10 GHz Phased Array Antennas Composed of Optical 2×2 MEMS Switches and Fiber Delay Lines

이백송\*, 신종덕, 김부균  
 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 faith213@sunbee.ssu.ac.kr

위성통신 및 무선통신에서 안테나의 수신 감도를 향상시키기 위한 노력은 계속되어 왔다. 안테나의 지향성을 높이기 위하여 다수의 동형 단위 안테나들을 일정 방향으로 배열하여 안테나를 기계적으로 회전시키지 않고, 고정된 다수의 동형 단위 안테나들에서 방사되는 전파의 위상을 전자적으로 변화시켜 방사빔을 주사하는 방법, 즉 위상배열 안테나(Phased Array Antenna)를 널리 사용하고 있다.

위상배열 안테나의 단위 안테나에서 방사되는 전파의 위상을 변화시키기 위해선 실시간 시간지연 시스템이 필요하다. 그 중에서 넓은 대역폭, 저 손실, EMI(Electro Magnetic Interference)에 무관, 높은 정보전송용량, 소형화, 저렴한 비용 등과 같은 장점들을 갖는 광학적 실시간 지연선로(True Time Delay, TTD)에 관한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 현재까지 분산 보상 광섬유(Dispersion Compensation Fiber, DCF)를 이용하는 방법, 광섬유격자(Fiber Bragg Grating, FBG)<sup>(1)</sup>를 이용하는 방법, 칩 광섬유 격자(Chirped Fiber Grating, CFG)<sup>(2,3)</sup>를 이용하는 방법 등이 제안되어 왔으나 대부분의 시스템이 파장 가변 광원이나 다파장 광원을 필요로 하고 있다.

본 논문에서는 단일 파장의 광원 한 개를 사용하고, 2×2 MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) 스위치와 서로 다른 광섬유 지연선로들의 조합을 이용한 위상배열 안테나용 TTD를 제안하였으며, 실험적으로는 10 GHz 위상배열 안테나용 3-bit TTD를 구현하였다. 제안된 TTD는 기존의 TTD 시스템에서 요구되는 파장 가변 광원이 필요하지 않아서 경제적이며, 파장 동조에 관한 기술적 문제 등이 발생하지 않아 고 신뢰도의 시스템 구성이 가능하고, MEMS 스위치들을 전기적인 방법으로 제어하기 때문에 고속 빔 주사각 변화가 가능하다.

그림 1은 m개의 단위 안테나로 구성된 위상배열 안테나의 구조를 나타내고 있다. 각 단위 안테나에는 직렬로 연결된 2×2 MEMS 스위치들이 연결되어 있으며, 스위치들 사이에는 서로 다른 길이의 광섬유 시간 지연 선로들이 연결되어 있다. MEMS 스위치 제어에 따라 단위 안테나에 연결된 광섬유 지연선로의 길이가 선택되기 때문에 RF 신호가 각 단위 안테나에 도착하는 시간을 조절할 수 있게 되어, 위상배열 안테나로부터 방사되는 빔의 주사각을 조절할 수 있다. 그림 2는 본 연구에서 구현한 3-bit TTD의 구조이다. 10 GHz 위상배열 안테나에 사용하는 경우 최대 빔 이득을 얻을 수 있는 배열 안테나 소자간의 간격(d)는 1.5 cm 이다. 인접한 TTD의 시간지연 차이( $\Delta\tau$ )는  $\Delta\tau = d \sin\theta / c$  이고, 이에 대한 광섬유 지연선

로의 길이차이는  $\Delta L = c \Delta \tau / n$  이다. 여기서  $\theta$ 는 위상배열 안테나의 빔 주사각이다. 따라서 10 GHz 시스템에서 최대  $\Delta \tau$ 는 50 ps 이며, 인접 단위 안테나 간의 단위 지연시간  $\tau$ 는 12 ps이다. 그림 3은 TTD의 시간지연 측정 실험 구성도이다. 이득 스위칭으로 발생시킨 초단 펄스를 2개의 TTD에 입력시킨 후, MEMS 스위치 상태를 변화시키며 광섬유 결합기로 되돌아오는 펄스들의 시간 차이를 측정하여 시간지연 값을 구하였다. 표 1에 빔 주사각과 스위치 상태, 그리고 TTD간의 시간지연 계산치와 실험치를 도시하였다.

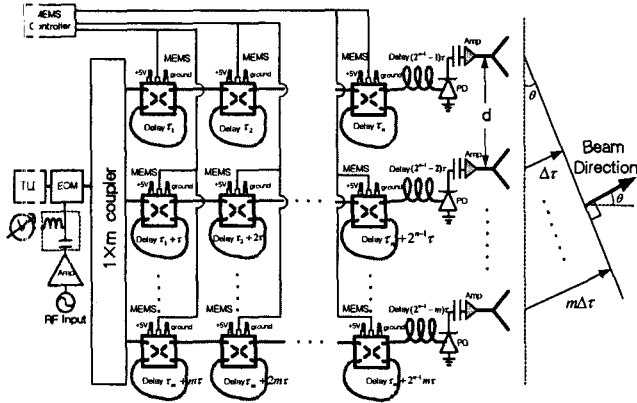


그림 1. 제안한 위상 배열 안테나의 구조

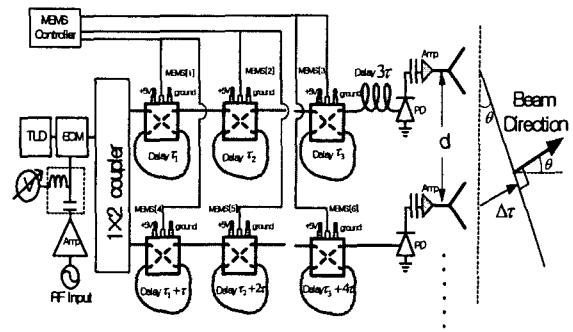


그림 2. 3-bit 실시간 지연선로의 구조

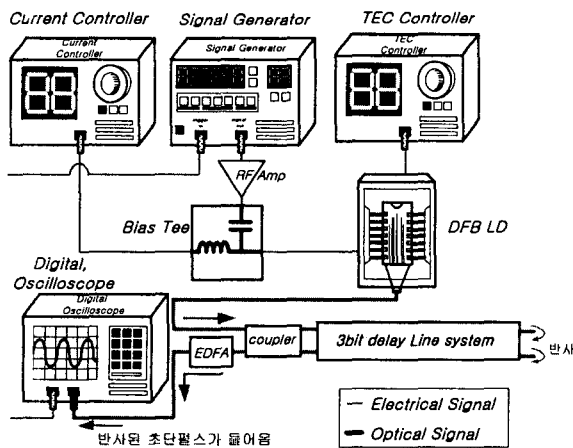


그림 3. TTD의 시간지연 측정 실험 구성도

주사각 [deg]	MEMS[1] & MEMS[4]	MEMS[2] & MEMS[5]	MEMS[3] & MEMS[6]	시간지연		
				Time Delay	이론치 [ps]	실험치 [ps]
-39.8°	bar	bar	bar	-3τ	-36	-36.1
-28.7°	cross	bar	bar	-2τ	-24	-24.2
-13.9°	bar	cross	bar	-τ	-12	-11.9
0°	cross	cross	bar	0	0	0.1
13.9°	bar	bar	cross	τ	12	12.1
28.7°	cross	bar	cross	2τ	24	24.1
39.8°	bar	cross	cross	3τ	36	36.1
73.7°	cross	cross	cross	4τ	48	48.4

표 1. 시간지연 계산치 및 실험치

1. A. Molony *et. al.*, "Fiber Bragg-grating true time-delay systems: Discrete-grating array 3-b delay lines and chirped-grating 6-b delay lines," *IEEE MTT*, vol. 45. pp. 1527-1530, 1997.
2. J. L. Corral *et. al.*, "Continuously variable true time-delay optical feeder for phased-array antenna employing chirped fiber grating," *IEEE MTT*, vol. 45. pp. 1531-1536, 1997.
3. Gab-Yong Lee *et. al.*, "Optical True time-delay feeder for linear phased-array antennas implemented with chirped fiber gratings," *LEOS 2001*, vol.1 pp. 255-256, 2001.