

ITS 기지국용 안테나의 빔 스캔을 위한 RF Module 설계

Design of RF Module for Beam Scanning of ITS base station Antenna

박주문* · 고진현* · 김현중* · 하재권**

(*블루웨이브텔(주), 연구원 · **대표이사)

Key Word: ITS, 가변 빔, 기지국, 위상천이기

목 차

I. 서론	4) 3dB PAD 회로
II. 시스템설계	5) Power Divider
1. RF Module 일반	3. RF 모듈 제작 및 측정
2. 기능 및 구성	1) 제작품 및 측정환경
1) TRX Switch 회로	2) 측정 결과
2) 2단 송·수신 증폭기 회로	4. 빔 제어 특성 실험
3) 3-bit 위상 천이기 회로	IV. 결론
	참고 문헌

I. 서론

ITS시장은 전 세계적으로 무선통신 네트워크의 활발한 보급에 따라 무선통신을 이용한 다양한 ITS 서비스의 제공이 가능해지고 있으며, 이를 이용한 새로운 부가 서비스의 개발이 빠르게 증가하고 있다. 또한 텔레매틱스 서비스와 위치기반서비스 등 새로운 수익모델의 개발 등으로 인해 기술적 혹은 비용측면에서의 장애물이 완화되고 있으며 시장의 수요가 점차적으로 증가하고 있다. 대표적으로 ETCS, 차량항법장치 및 텔레매틱스 서비스, 스마트카드 및 GPS 애플리케이션과 같은 다양한 ITS 시스템 및 애플리케이션 개발이 추진되어 상용화되는 등 ITS를 구성하는 하위 시장이 확대되어 나가고 있다.^[1]

ITS 시스템은 점차적으로 고품질 및 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하는 방향으로 가고 있으며, 이러한 서비스를 가능하게 하는 핵심 기술로서 기지국의 효율성 증대와 성능의 향상에 있다. 최근 기지국용 안테나 연구동향은 지향방향에 따라서 이득과 전력 신호의 세기를 달리할 수 있는 다중 빔패턴 안테나의 개발에 관심이 집중되고 있다.

본 논문에서는 다양한 사용 환경 조건에 따라 전자전적인 제어에 의하여 특정 방향으로 지향 이득이 서로 다르거나, 2~4 섹터 혹은 그 이상의 섹터 안테나로 전체 서비스 환경에 따른 유연한 빔 커버리지 영역을 담당할 수 있고, 중앙 집중 운용 및 유지보수가 가능한 안테나 및 RF Module을 설계하였다.

II. 시스템 설계

1. RF Module 일반

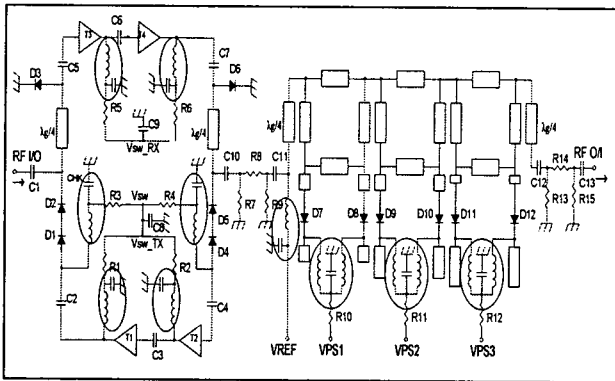
<표1>는 RF 모듈에서의 송수신 능동채널부의 주요 규격을 나타내고 있다.

<표1> 송수신 능동채널부의 주요 규격

채널 이득 or 삽입손실 특성	송신	0 dB 이상
	수신	-8 dB 이상
송수신 격리 특성		-50 dB 이하
채널간 이득 오차		±1.5 dB 이하
채널간 위상 오차		±5° 이하
위상 제어 오차량		±10° 이하
입력 반사손실 특성	송신	-10 dB 이하
	수신	-10 dB 이하
출력 반사손실 특성	송신	-10 dB 이하
	수신	-10 dB 이하

한 섹터의 RF 모듈은 크게 CH1과 CH2로 나누어진다. CH1은 위상이 고정되어 있으며, CH2는 45°, 90°, 180°의 3-Bit 위상천이기가 작동함으로써 위상을 제어하도록 되어 있다. 한 섹터의 안테나는 1×3 안테나 2개가 Sub Array 구조로 되어 있다. RF 모듈은 송신 모드와 수신 모드로 나누어지며, 송수신 스위치, 증폭기, PAD, 위상천이기, Power Divider 로 구성되어 있다.

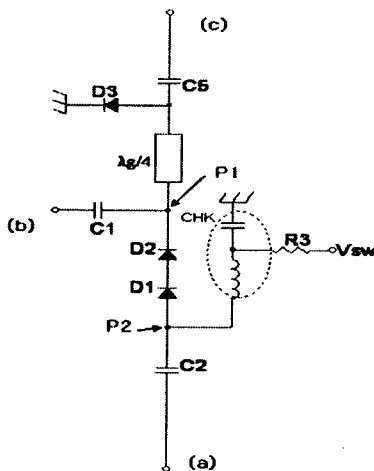
CH2에 대한 시스템의 회로도는 <그림1>에서 나타내고 있고 CH1에는 3-Bit 위상천이기가 동작하지 않은 것을 제외하면 CH2의 회로와 동일하다.



<그림1> 시스템 회로도

2. 기능 및 구성

1) TRX Switch 회로



<그림2> TRX Switch1 등가회로

TRX Switch는 2단 송수신 증폭기의 전단과 후단에 위치하며, 송신 모드 또는 수신 모드 스위칭 즉 토글 스위칭 기능을 수행한다. 스위치가 ON 되면 송신 모드로 동작하게 되며, 스위치가 OFF 되면 수신모드로 동작한다.

TRX Switch의 동작 특성을 보면 다음과 같다.

(1) 송신 모드

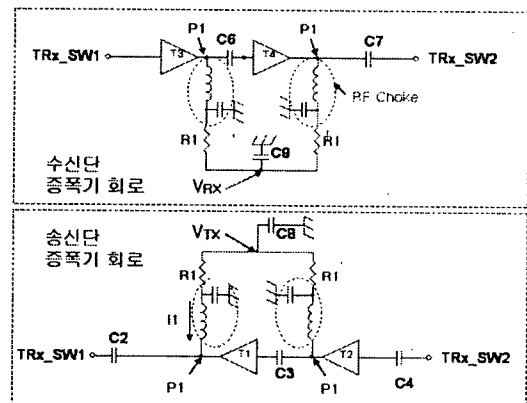
Vsw 에 10V의 전압이 인가되면 다이오드 D1, D2, D3가 ON 상태가 되고, P2점에서 Vsw 방향으로 RF Choke에 의하여 동작. 대역폭 내에서는 Open 상태가 되므로 그림의 (a)에서의 RF 신호는 D1, D2를 통해 전달된다. D3가 ON 되어 있으므로 P1 지점에서 (c)방향 으로는 동작역폭 내에서는 Open 상태가 되므로, D1, D2를 경유한 RF 신호는 (b)방향으로만 전달됨으로써 송신 모드로 동작하게 된다.

(2) 수신 모드

스위치에 전원이 인가되지 않은 상태(Vsw=0V)로써 D1, D2, D3 가 Off 상태가 된다. (b)에서의 RF 신호는 다이오드 D1과 D2에 의해서 (a) 방향으로 전달되지 못하고, (c) 방향으로 전달 됨으로써 수신 모드로 동작하게 된다. 이때, C1, C2, C5는 직류 전원 차단용 캐패시터로서 동작하며, D1, D2는 송수신 격리 특성 향상으로 위해 두개 사용하였다.

2) 2단 송·수신 증폭기 회로

송수신 증폭기는 수신된 혹은 송신해야할 신호의 세기를 증폭하기 위한 것을 목적으로 하며, TRX Switch 에 의해서 송수신 모드가 결정되고 송신 모드에서는 $V_{TX}=10V$, $V_{RX} = 0V$ 가 인가되며, 수신 모드에서는 $V_{TX}=0V$, $V_{RX} = 10V$ 가 인가되어 각 모드에 해당되는 증폭 회로가 동작하게 된다. 각 모드에서 증폭기는 2단으로 설계하였으며, 사용된 증폭기 소자로는 Mini-circuit 사의 ERA-2를 사용하였다

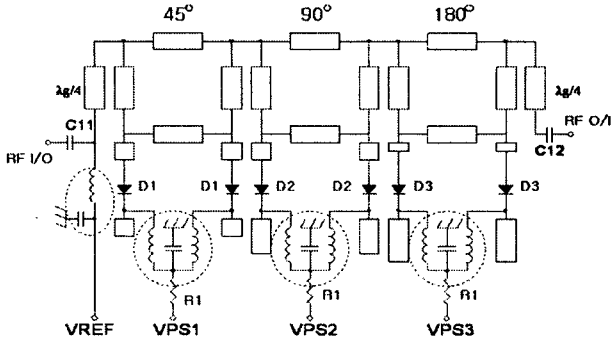


<그림3> 2단 송수신 증폭기 회로

3) 3-bit 위상 천이기 회로

각 섹터의 안테나는 1×3 부 배열 안테나 두개(SA11, SA12)로 구성되고 양각 방향에서의 빔 제어를 위해 2개의 부 배열 중 SA11에는 고정 위상 천이기를 그리고 SA12에는 3 비트 디

지털 위상천이기를 사용하고 있다. 그러므로, 위상 천이기의 각 비트는 45°, 90°, 180°의 위상을 제어한다. <그림4>은 3비트 위상천이기의 내부 부도를 보여준다.



<그림4> 3-bit 위상 천이기 부도

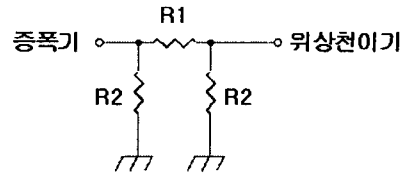
<그림4>은 반사형 위상천이기 구조로써 기본소자로 90° 브랜지라인 하이브리드 소자를 사용한다. 전체 위상 천이기의 회로 크기를 줄이기 위하여 내부 회로를 100 Ω 시스템으로 설계 하였으며, 입출력에 70.7 Ω 임피던스 변환기를 각각 삽입하여 50 Ω 시스템이 되도록 설계하였다.

위상 천이기 회로의 동작 원리는 다음과 같다. V_{REF} 단자를 통해 위상 천이기의 주 회로에 +5V를 인가하고 위상 제어 단자인 V_{PS1} , V_{PS2} , V_{PS3} 에 +10V를 인가함으로써 다이오드 D1, D2, D3를 역바이어스 시켜 OFF 시킨다. 이때, 역바이어스 전압은 -5V로서 각 다이오드는 동작 주파수 대역에서 약 0.01~0.02 pF 정도의 캐패시턴스를 갖는다. 원하는 위상을 지연시키기 위하여 V_{PS1} , V_{PS2} , V_{PS3} 단자에 0V(GND)를 인가함으로써 각 다이오드들은 순 방향으로 도통되어 ON 상태가 된다. 3 비트 위상 천이기의 동작 특성은 <표2>에 요약 정리 하였다.

<표2> 위상천이기 동작 특성

상 태	V_{PS1} (V)	V_{PS2} (V)	V_{PS3} (V)	동작특성	위상 (°)	빔 틸팅 (°)
1	10	10	10	D1, D2, D3 OFF	0	0
2	0	10	10	D1 ON, D2, D3 OFF	45	3
3	10	0	10	D2 ON, D1, D3 OFF	90	6
4	0	0	10	D1, D2 ON, D3 OFF	135	9
5	10	10	0	D3 ON, D1, D2 OFF	180	12
6	0	10	0	D1, D3 ON, D2 OFF	225	15
7	10	0	0	D2, D3 ON, D1 OFF	270	18
8	0	0	0	D1, D2, D3 ON	315	21

4) 3dB PAD 회로

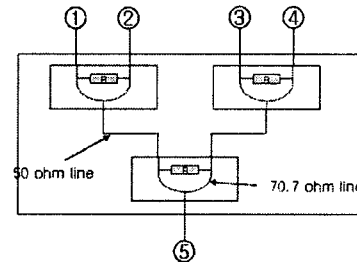


<그림5> Pi형 PAD 회로

PAD는 입출력 임피던스 정합 개선 및 채널 이득 조절을 위해 회로 내부에 사용되었다. PAD는 크게 T형, Pi형 그리고 하이브리드형으로 구분되며, 본 연구에서는 송수신 채널의 임피던스 정합 및 채널 진폭 특성을 보정하기 위하여 Pi형 PAD를 사용하였다.

5) Power Divider

Power Divider는 1:1 윌킨슨 전력 분배기를 기본 소자로 사용하며, 4개의 섹터를 전력 분배 및 결합하기 위하여 3개의 윌킨슨 전력 분배기가 사용되었다. 윌킨슨 전력 분배기의 격리 저항 R의 값은 100Ω이 사용되며, 이때 격리 특성량은 실험적으로 최소 20dB 이상을 유지해야 한다.

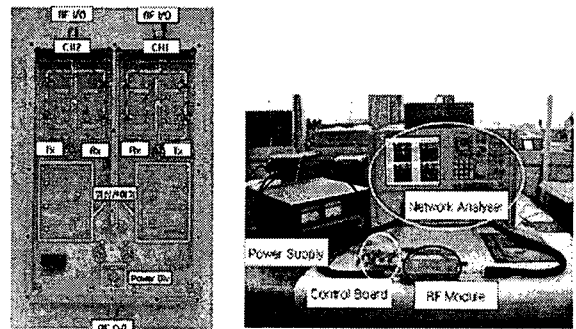


<그림6> 4:1 Wilkinson Power Divider

3. RF 모듈 제작 및 측정

1) 제작품 및 측정환경

<그림7>의 (a)는 당사에서 제작한 RF Module의 내부 구성이며, <그림7>의 (b)는 측정 환경을 나타내고 있다.



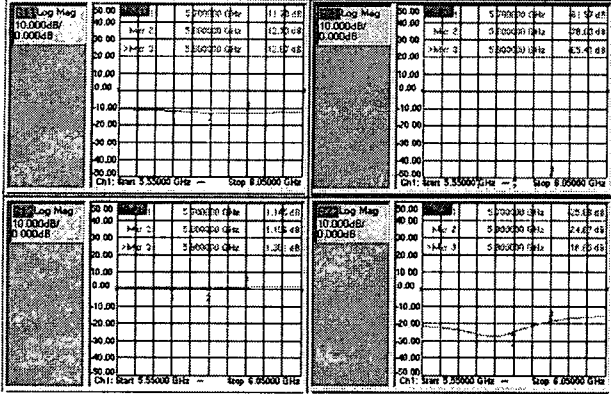
(a)내부 구성

(b) 측정환경

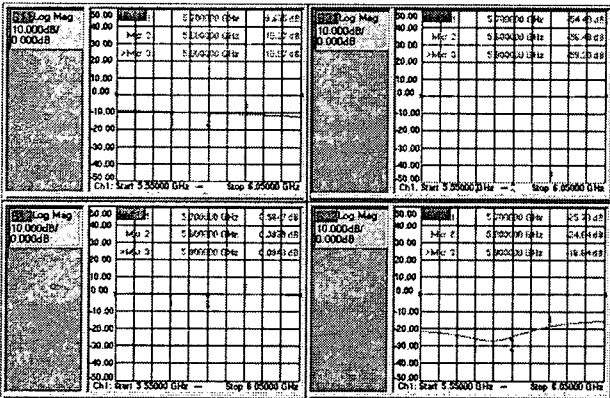
<그림7> RF Module의 내부 구성 및 측정환경

2) 측정 결과

다음의 그림들은 각 채널의 송수신 모드에서 전기적인 특성을 나타내고 있다.



(a) CH1



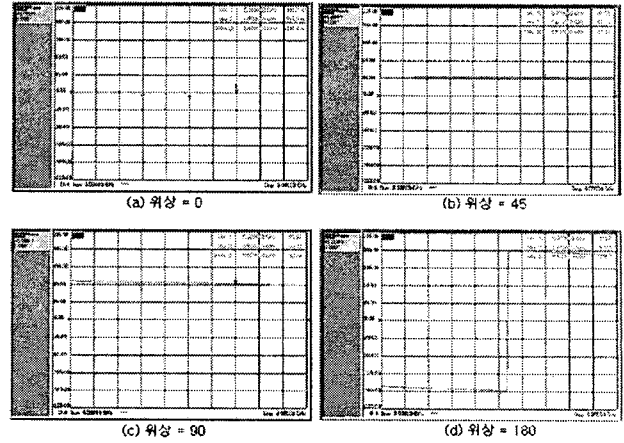
(b) CH2

<그림 8> 송신 모드에서의 전기적인 특성

<그림8>의 측정 결과로부터 송신 모드 입력 반사 손실 특성은 동작 대역내에서 -9.6 dB 이하이며, 출력 반사 손실 특성은 동작 대역내에서 -18.6 dB 이하이다. 또한, 전달 이득 특성은 동작 대역내에서 0.1 dB 이상으로 두 채널간 이득 차는 약 1.2 dB이하 임을 알 수 있다. 격리 특성은 동작 대역내에서 -54.5 dB 이하이다.

수신 모드에서는 전달 이득 특성은 동작 대역내에서 -9.0 dB 이상으로 두 채널간 이득 차는 약 2.1 dB이하의 특성을 나타내며 다른 특성은 송신모드와 유사한 성질을 갖는다.

다음의 <그림9>은 송수신 모드에서의 위상 제어 측정값을 보여주며, 그에 대한 데이터 값을 <표3>에 나타내었다.



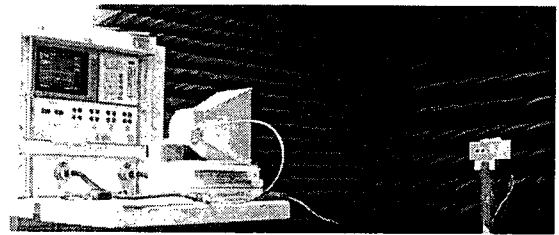
<그림9> CH2 송신 모드에서 위상 제어 측정값

<표3> CH2 송신모드에서 위상 제어 데이터

주파수(GHz)	$\theta = 0$	$\theta = 0$	$\theta = 0$	$\theta = 0$
5.7	0	47.58	95.60	-175.7
5.8	0	47.73	93.95	-179.1
5.9	0	47.34	92.34	176

<표 3>에서 결과를 살펴보면, 위상 제어 오차량은 45도 위상 비트의 경우 2.7도 이하이고, 90도 위상 비트의 경우 5.6도 이하이며, 180도 위상 비트의 경우에는 4도 이하이다. 3-비트 위상 천이기는 송수신 채널에서 공용하므로 수신 모드에서의 위상 제어 데이터는 송신 모드와 동일하다.

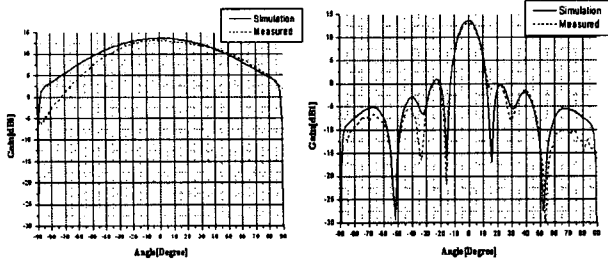
4. 빔 제어 특성 실험



<그림10> 무 반사파실에서 안테나 측정 환경

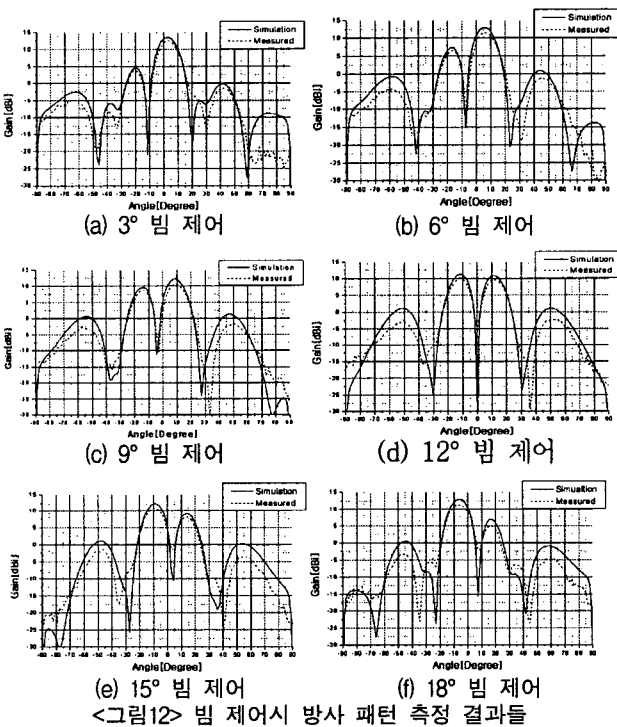
무 반사파실에서 장착된 안테나에 RF Module을 연결한 측정 환경 사진은 <그림10> 과 같다.

안테나의 정방향(빔 제어하지 않았을 경우)에서의 방사 패턴은 <그림11>와 같으며, 측정 결과로부터 이득은 13.1 dBi 이상이고, 사이드로브 레벨은 13 dBc 이상임을 알 수 있으며, 시뮬레이션 결과와 비교하여 거의 일치함을 알 수 있다.



(a) 방위각 (b) 양각
 <그림11> 정방향에서의 방사 패턴 측정 결과

3-bit 디지털 위상 천이기의 제어에 의한 양각 방향에서의 빔 제어 방사 패턴은 <그림12>과 같다.



(a) 3° 빔 제어 (b) 6° 빔 제어
 (c) 9° 빔 제어 (d) 12° 빔 제어
 (e) 15° 빔 제어 (f) 18° 빔 제어
 <그림12> 빔 제어시 방사 패턴 측정 결과들

위 측정 결과로부터 Simulation에 의한 예상 값과 제작품의 측정에 의한 결과값은 1°미만에서 거의 일치하는 결과를 나타내고 있고, <표4>에 정리하였다.

<표4> 기지국용 멀티 빔 안테나 설계치와 측정치의 비교

위상 천이기	주 빔 틸팅 각도		주 빔 이득	
	실험치	측정치	실험치	측정치
0°	0°	0°	13.65dBi	13.1dBi
45°	3°	2.9°	13.46dBi	12.47dBi
90°	6°	5.8°	12.96dBi	11.54dBi
135°	8.5°	8.6°	12.11dBi	10.49dBi
180°	11.5°	11.7°	10.84dBi	9.5dBi
225°	14°	14.4°	9.07dBi	7.98dBi
270°	17°	17.3°	6.71dBi	4.87dBi
315°	19.5°	18.7°	3.64dBi	2.44dBi

IV. 결론

본 논문에서는 전자식 빔 제어에 의하여 사용 환경에 따른 Cell Coverage 영역을 조절할 수 있는 RF Module 설계를 제안하였다. RF 모듈은 송수신 스위치, 증폭기, PAD, 위상천이기, Power Divider 로 구성되어 있다. 3-Bit 위상천이기(45°, 90°, 180°)를 단계적으로 구동함으로써 0°씩 21°까지 수직 방향 빔 제어가 가능하며, RF Interface Module(본 논문에서는 설명되지 않음)을 사용함으로써 원격조정이 가능하고, 중앙 집중 관리가 가능함을 실험을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 문형돈, '국내의 ITS 시장동향 및 시사점', IT기술시장조사 분석 보고서, 2003년.
- [2] 고진현, 김남기, 하재권, " DSRC 기반의 ETCS 기지국 안테나 설계 및 제작", 한국 ITS 학회 논문지, 제3권 제 1호 pp75~83, 2004. 3. 6
- [3] 임춘식, 하재권, 안동현, "ETCS용 RF 링크 설계와 안테나 빔 패턴에 의한 통신 영역 연구, 한국 ITS 학회 논문지, 제3권 제 1호 pp 43~53, 2004. 3. 6
- [4] Eom, S. Y., Jeon, S. I., Oh, D. G., Park, H. K. '3-bit Digital Phase Shifter for Mobile DBS Active Phased Array Antenna System Application'. IEEE, Vol 87806, PP 85-88. 2000.