

이동체에 방송통신 서비스를 제공하기 위한 위성 추적 안테나 기술

Satellite Tracking Antenna Technologies for COTM

New ICT 방송통신융합기술 특집

윤소현 (S.H. Yun) 무선RF·탐재기술연구팀 선임연구원
 곽창수 (C.S. Kwak) 무선RF·탐재기술연구팀 선임연구원
 염인복 (I.B. Yom) 무선RF·탐재기술연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 이동방송통신 서비스
 - III. 위성 추적 안테나
 - IV. 결론

이동체 내에서 방송통신 서비스를 제공하기 위해서는 무선망과 위성망을 연계하는 시스템 사용이 요구되며, 위성으로부터의 신호를 끊임없이 제공하기 위해서는 위성 추적 안테나가 필요하다. 위성 추적 안테나는 이동체의 외부에 주로 장착되기 때문에 가벼우면서도 저고도형이어야 한다. 또한 랜덤한 이동체의 동작 상태에서도 연속해서 안테나 빔이 위성을 향하도록 하기 위한 추적 기술이 요구된다. 양질의 서비스 제공을 위해 전기적으로 우수한 성능을 가지면서도 물리적인 제약을 극복하기 위한 위성 추적 안테나 개발이 선진국을 중심으로 추진중에 있다. 이에 본 고에서는 반사판 및 위상배열 형태로 개발되고 있는 위성 추적 안테나의 기술동향을 파악하고 한국전자통신연구원 에서 개발중인 안테나를 소개하고자 한다.

I. 서론

최근 시장에서는 이동체에서도 무선 인터넷 서비스 및 양방향 고화질의 멀티미디어, 방송 서비스에 대한 요구가 증가하고 있어 이를 만족시키기 위한 기술 개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 지상파 위주의 초고속 이동통신방송 기술은 서비스 제공 지역 특히 선박, 열차, 항공기 등의 대형 이동체와 소외지역에 대해서 한계가 있는 반면, 위성 통신은 전국을 대상으로 정지나 이동 시에도 사용이 가능하다. 그러나, 위성 신호는 터널, 빌딩과 같은 NLOS 지역에서 서비스 제공이 중단되는 단점이 있기 때문에 기 구축된 지상 무선 통신망을 활용하여 끊임 없는 서비스를 제공하기 위한 위성·무선 연동 시스템 개발이 연구 개발되고 있다.

선박이나 고속열차, 항공기 등에 설치된 위성추적 안테나와 단말장치를 통해 지상에 있는 위성지국과의 양방향 통신으로 신호를 주고 받으며, 실내에서는 무선랜(WLAN, WiBro 등)을 이용한다. 이 시스템을 이용할 경우 이동체 내부의 승객들은 자신의 노트북 컴퓨터를 무선랜에 연결하기만 하면 인터넷 접속이 가능하며, 실시간으로 위성방송을 시청할 수 있게 된다. 승객뿐 아니라 승무원도 노트북 컴퓨터를 무선랜에 연결하기만 하면 인터넷 접속이 가능하며 이동체 운항과 안전에 관련된 여러 업무들을 수행하기 위해 운항중에도 지상과 연락할 수 있다. 이를 위한 프로젝트 개발이 유럽[1], 일본[2], 미국[3] 등의 선진국가의 연구소와 기업을 중심으로 이루어지고 있으며 이를 본 고의 II장에서 소개하고자 한다.

위성에서 송출되는 신호를 수신하기 위해 필수불

가결한 안테나는 일반적으로 이동체 외부에 장착되며 고성능이면서도 높이가 낮은 소형모델이 유리하다. 안테나의 높은 이득과 효율을 얻기 위해서는 반사판 형태가 적절하지만 높이에 제약을 받는 경우가 많다. 높이의 제약을 피하기 위해 반사판에 특별한 옅셋 구조를 취하거나 반사판 표면에 성형을 가하기도 하고, 반사판의 효율을 높여줄 수 있도록 급전부에 변형을 주기도 한다. 안테나 시스템을 구성하는 중요한 RF 부품으로는 고효율 신호 수신을 위해 잡음지수와 이득이 우수한 LNA와 고효율 신호 송신을 위한 HPA가 필요하다. 또한 위성에서 수신된 신호를 단말로 전달하거나, 반대로 단말의 신호를 위성으로 송신하기 위해서 주파수 변환기(FCM)를 사용한다. 이동중에도 위성 신호를 놓치지 않기 위해서는 위성제어모듈(STM)을 통해 위성을 추적해야 하며, STM과 능동 부품에 필요한 전원을 공급하기 위한 전원분배모듈(PDM)이 안테나 시스템을 구성하게 된다. 본 고의 III장에서는 고성능의 저고도 안테나의 기술동향에 대해 살펴보기로 한다.

II. 이동방송통신 서비스

Inmarsat은 2002년부터 유럽 지역에 144 kbps 급 인터넷 및 IP 기반 이동통신 서비스를 제공 중이다. 유럽의 Alcatel, Airbus 등 16개의 회원사들은 이동체에 광대역 멀티미디어 서비스를 위한 EC FP 6의 MOWGLY 프로젝트를 2005년부터 수행중이며, ESA 주관으로 SAET, Ihst 등의 프로젝트를 2006년부터 수행하고 있다. 이외에도 ETSI에서는 위성기반 무선 연동 인터넷 서비스를 위한 기술 기준을 준비중에 있다. 고속 열차 승객에게 광대역의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 위성 무선 연동 프로젝트인 "Broadband to Train"은 ESA의 지원 하에 상용화 서비스를 목표로 21Net사에서 Thalys 열차의 Brussel과 Paris 구간에 Ku 대역 양방향 위성 멀티미디어 서비스를 제공하고 있다[4]. 서비스 제공을 위한 시스템 구성도는 (그림 1)과 같으며 열차 지붕에 탑재된 반사판 안테나를 통해 위성 신호

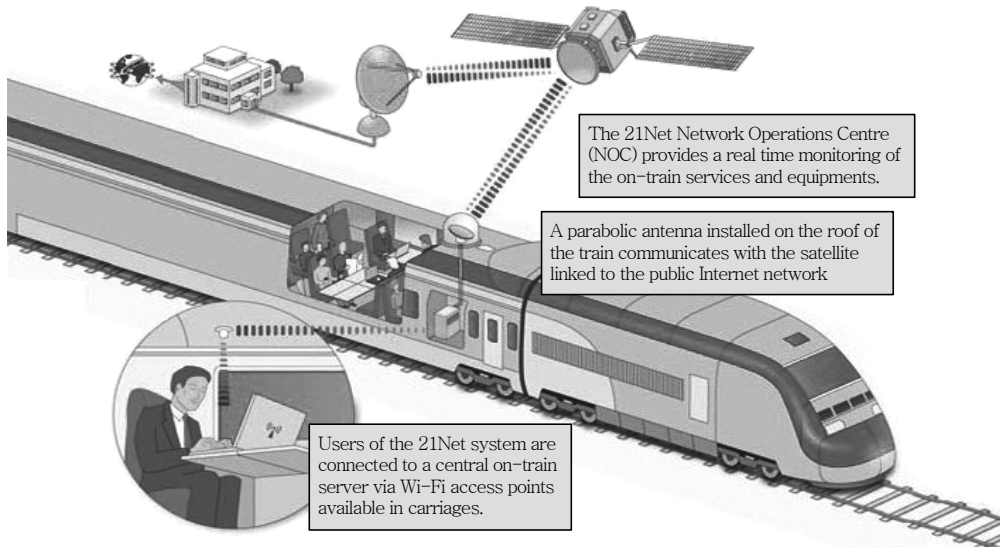
● 용어해설 ●

WLAN 접속방식: IEEE 802.11g를 준용하며 2.4~2.4835 GHz 대역을 사용함

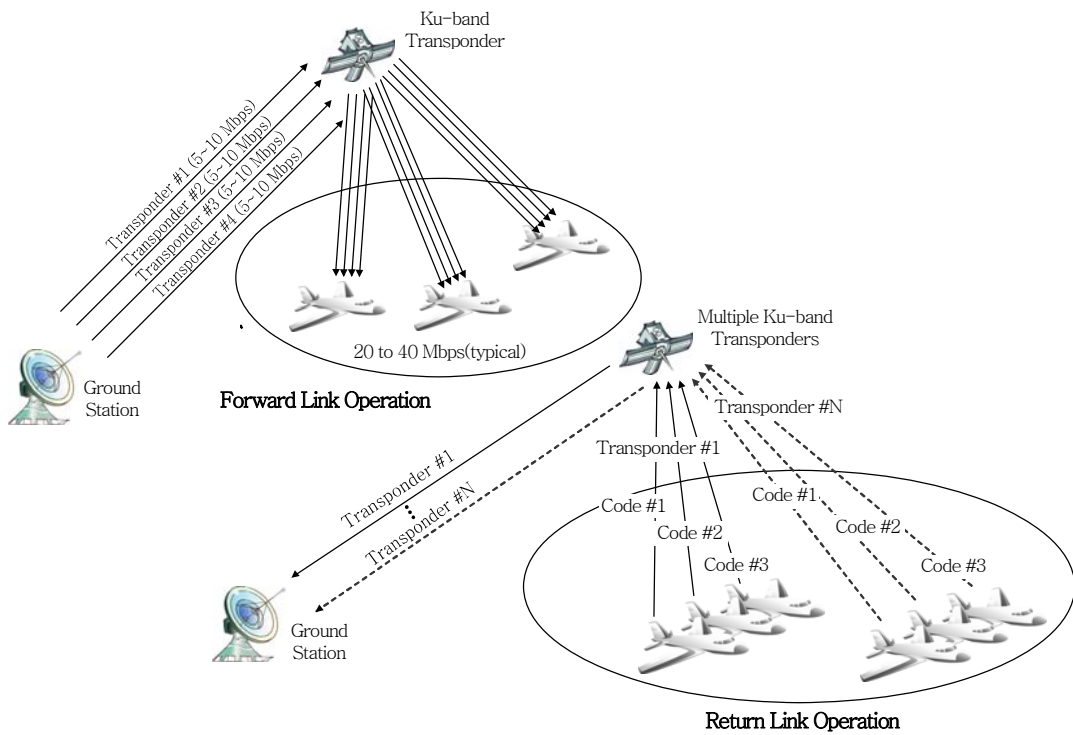
WiBro 접속방식: IEEE 802.16e를 준용하며 2.3~2.39 GHz 대역에서 상향 1 Mbps, 하향 3 Mbps의 전송속도를 갖는다. 해외에선 Mobile WiMAX로 알려짐

를 송수신하고 추적한다. 반사판 안테나를 통해 수신된 신호는 객차 내 단말장치로 전달되고 객차 내 무선망 시스템을 활용하여 개인의 노트북 컴퓨터에 신호를 전달하게 된다.

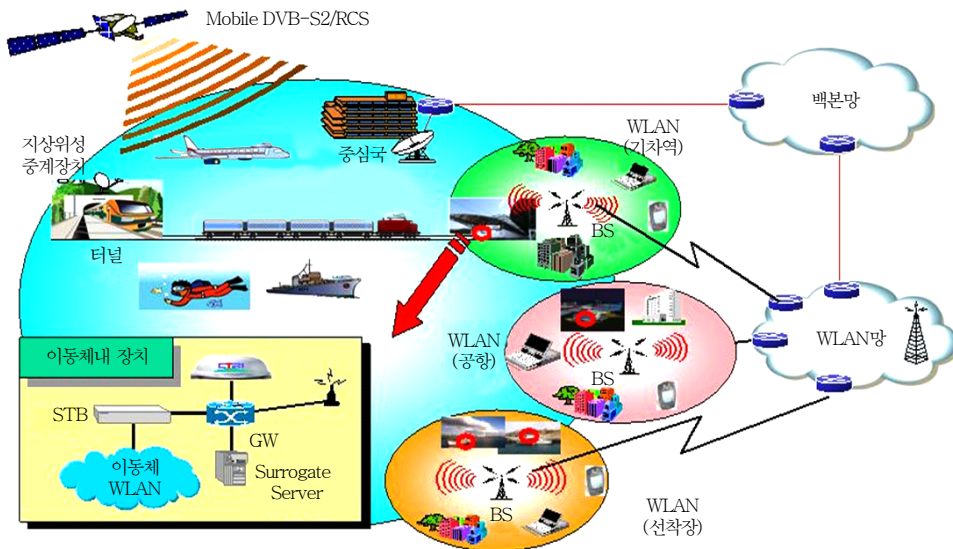
Mitsubishi Electric사는 비행기 내에서 인터넷과 방송 서비스 제공을 위한 시스템을 개발해 “Connexion by Boeing”이라는 이름으로 사용되었다 [2]. 응용 개념은 (그림 2)와 같이 Ku 대역의 양방



(그림 1) 이동체 내 무선인터넷 서비스 제공 기술



(그림 2) Connexion by Boeing Application Concept



(그림 3) 고속이동체 인터넷 위성무선연동 서비스 개념도

향 시스템으로 구축되어 있으며 지상에서 위성으로 신호를 보내면 위성에서 각 비행체에 20~40 Mbps의 데이터 전송률로 신호를 전달하여 준다. 리턴 링크의 경우는 비교적 낮은 1 Mbps의 전송속도로 포워드 링크와는 반대 경로를 통해 신호가 전달된다. 이 시스템의 경우는 여러 개의 비행체가 동시에 동일한 위성 중계기를 사용할 수도 있기 때문에 정확한 위성 추적뿐 아니라 정확한 전력 공급 제어 기능이 필요하다.

(그림 3)은 한국전자통신연구원에서 현재 개발중인 고속이동체 위성·무선 연동 시스템이다. 위성으로부터의 포워드 링크는 DVB-S2 기반의 80 Mbps의 모뎀 성능을 가지며, 리턴 링크는 10 Mbps 모뎀 성능을 갖는 DVB-RCS 기반으로 이루어진다. 고속 열차 외부 지붕에 장착된 안테나를 통해 위성 신호를 송수신하고, 이동망간 핸드오버를 통해 끊김 없는 서비스를 제공하고자 하며 터널과 같은 음영 지역에서는 gap-filter를 활용한다. 이 시스템은 Ku 및 Ka 대역 주파수를 모두 커버하며 우리나라에서는 무궁화 위성을 활용해서 고속열차 내 승객들에게 방송통신 서비스를 제공하고자 한다. 고속열차 외부 지붕에 장착되는 안테나는 원하는 위성을 찾고, 추적하기 위한 탐색 및 추적 알고리즘이 필요하며 양

질의 위성 신호를 송수신을 하기 위해 높은 G/T와 EIRP 성능을 요구하게 된다. 안테나는 외부에 장착되기 때문에 크기, 특히 높이에 제약을 받게 된다. 고속 이동 시의 풍압에도 견딜 수 있도록 안테나를 보호할 수 있는 레이돔이 필요하며, 레이돔을 포함한 전체 시스템의 경량화는 필수 고려항목이다. 위성 추적을 위한 안테나에 대해 다음 장에서 좀 더 자세히 살펴보고자 한다.

Ⅲ. 위성 추적 안테나

본 고의 II장에서 살펴본듯 이 이동체에 방송통신 서비스를 제공하기 위해서는 위성 추적 안테나를 사용해야 하며, 이동체의 랜덤한 동작 상태 하에서도 연속해서 안테나 빔이 위성을 향하도록 하기 위해 복잡한 추적 기술이 요구된다. 안테나는 소형, 경량, 저고도형이면서도 높은 이득 특성을 가져야 한다. 소형, 경량화를 위해서는 마이크로스트립 타입의 위상배열 안테나가 유리하나, 고이득 특성이나 낮은 사이드로브 레벨 등의 전기적인 특성을 만족시키기 위해 현재까지는 반사판 형태가 주로 개발되고 있는 실정이다. 특히 주파수 대역폭이 넓고 송수신

을 동시에 고려해야 하는 경우 고이득의 위상배열 안테나는 구성 소자의 개수가 급격하게 증가하게 되고, 각 소자의 크기 및 위상을 제어하기 위한 능동 부품의 개수도 증가하게 되어 안테나 개발 비용을 상승시킨다.

이런 상황을 고려하여 21Net에서는 Thalys 열차에 (그림 4)와 같은 80 cm 원형 반사판 안테나를 장착하여 Hispasat 1D 위성을 활용한 시험을 수행하였다. Ku 대역에서 43 dBW EIRP와 17.3 dB/K G/T의 전기적인 성능을 가진다. 전기적으로는 비교적 우수한 성능을 보이고 있으나, 반사판의 크기 때문에 장착시 높이 및 무게의 어려움 때문에 높이를 줄인 비슷한 성능의 안테나를 후속 모델로 개발하였다. 반사판 개구면 크기는 1.5 m×40 cm로 높이를 거의 절반으로 줄인 형태이다. EIRP는 41 dBW이고 G/T는 15 dB/K이다. 열차 시험은 현재 진행중인 것으로 보여진다. 21Net 안테나에 사용된 레이돔은 Chelton사에서 제작한[5] 것으로 터널 내에 두 대의 기차가 동시에 최고의 속도로 지나갈 때와 같은 최악의 상황에서 발생하는 구조적, 환경적인 스트레스를 견디면서도 전기적으로는 빔의 deflection과 삽입 손실이 적도록 해야 한다[6]. 21Net사에서 개발한 안테나는 Ku 주파수 대역만 커버하고 있는데, Ka 대역에 대한 소비자 요구가 증가하면서 Ka 대역 안테나 개발에도 관심을 기울이고 있다.

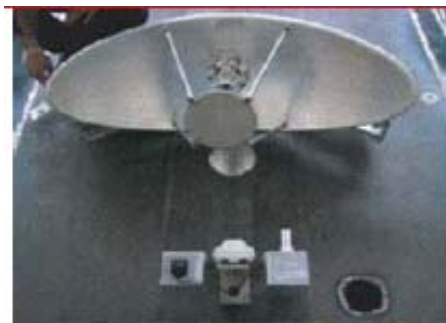
Alcatel Alenia Space사에서는 TGV와 ETR500에 반사판 안테나를 탑재하여 Atlantic Bird 2 위성을 이용해서 열차 시험을 수행하였다. TGV 열차 시



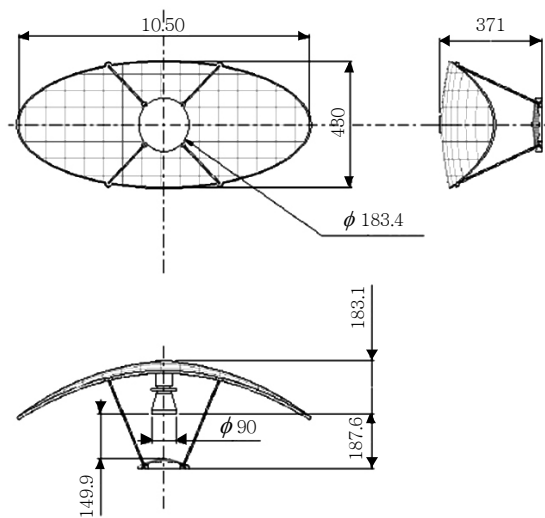
(그림 4) 21Net 80 cm 반사판 안테나 레이돔 장착

험에 사용된 안테나는 (그림 5)와 같이 열차에 장착되었고 ETR500에 장착된 안테나는 바닥판 없이 열차 지붕에 직접 체결되었다. Alcatel Alenia Space사에서 활용한 안테나는 옵셋 없이 중앙에서 급전되는 이중 반사판 형태이다. 급전부는 원형 혼에 OMT와 LNB가 연결되어 있다. 반사판과 별도로 GPS와 Fiber Gyro가 있어서 위성과 안테나의 자세를 파악하는 데 활용한다. 안테나는 방위각 방향으로는 $-360^{\circ} \sim +360^{\circ}$ 범위 내에서, 양각 방향으로는 $+20^{\circ} \sim +50^{\circ}$ 범위 내로 움직임이 가능하다. 안테나 설계 결과는 (그림 6)과 같이 개구면의 크기가 1.05 m×43 cm이며 Ku 대역 전용으로 설계되었다. Ku 대역 송수신 이득은 boresight에서 37 dB 수준이다.

고속열차나 항공기 외에 SUV와 같은 일반 차량



(그림 5) TGV에 장착된 Alcatel 안테나



(그림 6) Alcatel사의 안테나 설계 결과

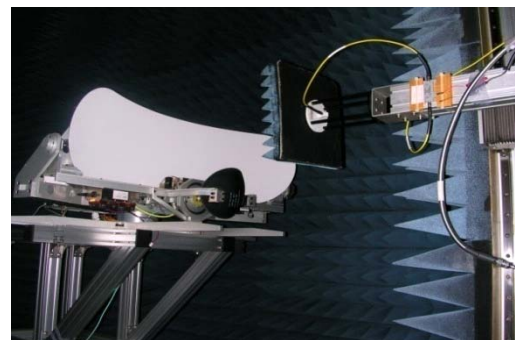
탑재용으로 개발된 안테나도 있다. 차량용으로 개발되는 안테나는 부피와 무게에 대한 제약이 크기 때문에 차량용 탑재 안테나를 주로 개발하고 있는 미국의 Raysat사는 범용의 안테나가 아니라 특정 용도에 맞게 안테나를 개발하고 있다. 범용으로 사용하고자 하면 부피와 무게가 증가할 수 밖에 없고, 전기적인 성능 또한 만족시키기 어렵기 때문에 제품화가 어렵다. 그 예로 양방향 서비스를 제공하는 안테나라 하더라도 필요한 출력 전력에 따라 3 W BUC가 내장된 32 kg의 안테나[7]는 31 dBW의 EIRP 성능을 보이는 반면, 20 W BUC가 내장된 13 kg 안테나[8]는 40 dBW EIRP 성능을 보인다. 방송 서비스 수신만 가능하도록 만든 가장 콤팩트한 안테나는 높이가 불과 15 cm 밖에 되지 않는 평판 형태이다.

차량 탑재용으로 반사판 안테나를 개발하고 있는 C-comsat사[9]는 (그림 7)과 같이 안테나 보호를 위한 레이돔을 사용하지 않는 대신에 미사용 시에는 지붕에 밀착되게 접을 수 있는 기계적 구조를 택하고 있다. 접을 수 있는 이점으로 반사판 크기에 대한 제약은 비교적 덜 수 있다. C-comsat사의 98 cm 원형 개구면 반사판 안테나는 무게가 65 kg이며 전개시 높이는 1.32 m, 접혀있을 때 높이는 46.3 cm이다. 전개되었을 시 160 km/h의 풍속까지 견딜 수 있으며 Ku 대역 송신 이득은 41 dB, 수신 이득은 40 dB이다. C-comsat사는 단일 옹셋 반사판 형태로 Ku 대역 안테나를 주로 개발하였으나, 최근 Ka 대역 66 cm 타원형 이중 옹셋 안테나 1종을 새롭게 선보이고 있다. 안테나 송수신 이득은 40 dB 수준이다.



(그림 7) 차량 탑재용 전개형 반사판 안테나

한국전자통신연구원에서는 (그림 3)의 시스템의 구현을 위해 고속이동체에 탑재 가능한 안테나를 개발하고 있다. 개발중인 안테나는 Ku 및 Ka 대역을 모두 커버할 수 있도록 하였으며 고속이동체에 탑재 가능하도록 높이를 45 cm로 제한하고 설계를 수행하였다. 전기적인 요구 조건으로 Ku 대역 G/T는 10 dB/K, Ka 대역은 12 dB/K을 만족하도록 하였으며, EIRP는 Ku 대역은 40 dBW, Ka 대역은 49 dBW의 성능 요구 조건을 만족하도록 하였다. 고속이동체 탑재용 안테나를 구성하는 RF 부품으로는 반사판을 비롯하여 방사기[10], 주파수 변환모듈, 빔성형 모듈, 전원분배 모듈, 위성추적 제어 모듈이 있다. RF 부품의 조립은 급전부에서 여기되는 전파가 반사판의 원하는 방향으로 진행할 수 있도록 기계적인 정밀도를 유지하면서 수행되어야 한다. 위성추적은 sequential lobing 방식에 의해 수행되므로 방사기는 동서남북에서 유기되는 4개 경로의 신호를 순차적으로 수신하면서 위성을 추적한다. 이때 4개 경로의 위상이 동일하도록 빔성형 모듈 내의 가변 감쇄기와 가변 위상 변위기의 값을 제어하면서 안테나의 성능을 측정한다. 안테나 초기 성능 측정은 (그림 8)과 같은 무반향실에서 이루어진다. 추적 시험은 실제 위성을 바라보면서 수행하기 위해 (그림 9)과 같이 야외에서 수행하고 고속이동체의 운동을 모사하는 모션시뮬레이터 상에서 이루어졌다. (그림 10)은 시험 열차인 G7 고속열차에 안테나를 탑재하여 오송~동대구간에서 수행된 안테나 시험 장면을 보여

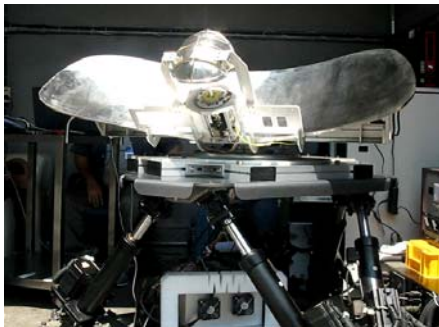


(그림 8) 무반향실 내에서의 안테나 성능 측정

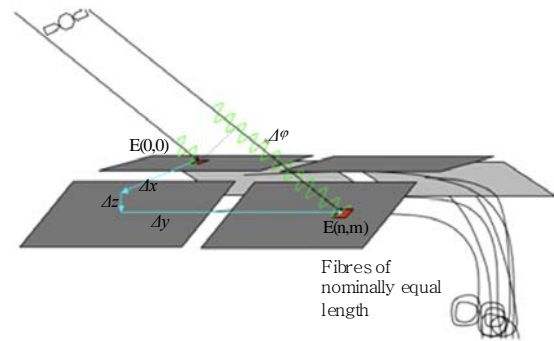
주고 있다. 위성 추적시 안테나에 수신되는 C/N은 20 dB 수준임을 확인하였다.

본 장에서 소개한 안테나는 높은 이득을 얻기 위해 반사판 형태를 이루고 있어 아직도 무게와 부피에 대한 부담을 가지고 있는 것이 사실이다. 성능 요구 조건을 만족하면서도 무게와 부피를 줄이기 위해

위상배열 안테나에 대한 연구가 진행되고 있는데, 아직은 RF 부품의 성능이나 가격 측면에 한계가 있다. 특히, 더블 테커 TGV에 안테나를 장착하기 위해서는 높이가 3 cm로 제한되는데 이를 위해서는 위상배열 안테나의 사용이 불가피하게 된다. Phase Solutions사[11]에서는 GaAs 대신 SiGe를 사용한



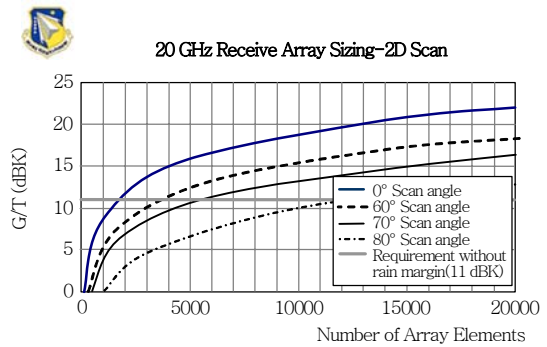
(그림 9) 모션시뮬레이터상에서 시험중인 안테나



(그림 11) Phase Solutions사 개발 목표 안테나



(그림 10) G7 고속열차에 탑재된 안테나



(그림 12) G/T에 따른 배열안테나 소자 개수

〈표 1〉 이동체 안테나 주요 성능 요약

성능항목	21Net	Alcatel	Raysat	C-comsat	Phase Solutions	ETRI
안테나 형태	반사판	반사판	평판	반사판	위상배열	반사판
크기	Φ80 cm	1.5 m × 40 cm	1.05 m × 43 cm	115 L × 90 W × 15 H cm	Φ98 cm	1.2 m × 2 m × 3 cm
주파수	Ku Tx Ku Rx	Ku Tx Ku Rx	Ku Tx Ku Rx	Ku Rx Ku Rx	Ku Tx Ku Rx	Ku Tx Ku Rx Ka Tx Ka Rx
EIRP(dBW)	43	41	48.8*	31	41*	43
G/T(dB/K)	17.3	15	37.0*	9	40*	16.6
						49 for Ka 40 for Ku
						12 for Ka 10 for Ku

주) * Directivity Gain

공정을 이용해서 안테나 소자 개발 비용을 절감하고자 하였다. Phase Solutions사에서 개발하고 있는 위상배열 안테나는 1.2 m × 2.0 m 개구면 크기에 높이는 3 cm로 (그림 11)과 같은 개념도를 갖는다. 안테나는 12~16개의 패널로 구성되며 각 패널은 512개의 소자쌍으로 구성되어 있다. 결국, 안테나 전체는 6,000~8,000개 이상의 소자쌍이 필요하게 된다. (그림 12)에서 보이는 바와 같이 70도 스캔 각도에서 11 dB/K의 G/T 성능을 얻기 위해서는 6,000개 이상의 소자가 필요하며 소자 수를 계속 늘인다고 하더라도 15 dB/K 이상의 G/T를 얻기는 어렵다 [12]. 필요 소자 개수의 증가는 안테나 개발 비용을 증가시키고, 이것이 위상배열 안테나 개발의 어려운 점이다. 현재 소자 하나의 가격은 50~150달러 수준인데 Phase Solutions사에서는 소자 하나의 목표 가격을 향후 5년 안에 10달러로 감소시킬 목표를 세우고 있다. 하지만, 아직까지는 가격 절감 효과를 기대하기는 어려운 실정이다.

본 장에서 소개한 안테나의 주요 성능을 <표 1>에 요약하였다.

IV. 결론

위성 신호를 이용한 고속 이동체에서의 방송통신 서비스 개발은 선진국에서도 2002년 즈음부터 시작되어 아직 국제적으로도 개척중인 분야이기 때문에 우리나라가 세계 우위를 차지할 수 있는 가능성이 높다. 또한 우리나라 국내 현황을 볼 때, 무궁화 1, 2, 3, 5호기 위성이 발사되었고 위성으로부터 방송통신 신호가 송출되고 있기 때문에 지상에서는 위성 신호를 활용한 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 그러므로, 무궁화 위성 활용 및 시간과 장소에 구애 받지 않는 유비쿼터스 정보통신 인프라 구축을 통해 국가 경제활성화에 도움을 줄 수 있을 것이다. 세계 각국이 정부 주도로 차세대 이동형 위성 안테나 기술 개발을 진행하고 있는 만큼 우리나라도 이에 대한 대처가 필요할 것이다.

약어 정리

BUC	Block Up Converter
COTM	Communications on the Move
EIRP	Effective Isotropically Radiated Power
ESA	European Space Agency
FCM	Frequency Converter Module
FP	Framework Program
G/T	Antenna Gain over Temperature
HPA	High Power Amplifier
iHST	Internet for High Speed Trains
LAN	Local Area Network
LNA	Low Noise Amplifier
LNB	Low Noise Block
NLOS	Non Line Of Sight
OMT	OrthoMode Transceiver
PDM	Power Divider Module
SAET	Satellite Access to Europeans Trains
STM	Satellite Tracking Control Module
WiBro	Wireless Broadband
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless LAN

참고 문헌

- [1] http://www.esa.int/esaTE/SEMSAXW797E_index_2.html
- [2] Mitsubishi Electric Announces the Successful Development of an Airborne Ku-band Antenna Sub-system for Satellite Communications Enables Broadband Communication Applications for In-flight Entertainment Systems, For Immediate Release No.2330.
- [3] www.raysat.com
- [4] www.21net.com
- [5] www.radomes.co.u/newsreplaced.html
- [6] Alexander Mnaz, "Radome Influence on Weather Radar Systems Principles and Calibration Issues," Gematronik GmbH, a.manz@gematronik.com
- [7] www.raysat.com/_Uploads/dbAttachedFiles/SR_1000.pdf
- [8] http://www.raysat.com/_Uploads/dbsAttached-

- Files/S_300.20.pdf
- [9] www.c-comsat.com/index.php?page=models&hl=en_US
- [10] http://www.phasorsolutions.com/Phasor_Solutions/HOME.html
- [11] Sohyeun Yun, Inbok Yom, and Hojin Lee, "Four Band Feed System with Electrical Tracking Capability for Ku/Ka Band Bi-directional Antenna," APS, 2008.
- [12] Study on the Configuration of a Los-profile and High Efficient Mobile Antenna to be Mounted on Trains, Final Report, APEX, 2007.