

HAPS 시스템 구현을 위한 최근의 연구동향

강영홍
군산대학교

요약

본고에서는 20km-50km 성층권상공에 위치하는 HAPS(High Altitude Platform Station) 구현을 위한 최근의 연구동향에 대해 알아본다. 기존의 지상 및 위성통신시스템에 비해 HAPS만의 고유의 특징을 살려 3G 이상의 광대역 이동통신서비스 및 재난재해 응용 등 일본, 미국, 유럽에서 차세대 HAPS에 대한 연구를 활발히 진행하고 있는 시점에서 이들의 연구동향을 분석하여 소개함으로써, 향후 국내에서도 국가적인 차원의 HAPS 연구개발이 활발히 이루어질 수 있는 계기가 마련될 수 있으리라 기대한다.

1. 서론

성층권 무선중계시스템(High Altitude Platform Station, HAPS)은 고도 20km-50km의 성층권에 무선중계기를 탑재한 비행선을 일정위치에 유지시켜 초고속 무선멀티미디어 서비스를 가능하게 하는 차세대 초고속 무선통신 인프라이다[1],[2]

HAPS 시스템의 가장 중요한 장점은 구현의 용이성, 유연성/재구성성(reconfigurability), 저비용 운용, 낮은 전파지연, 고양각(high elevation), 광역성, 방송/멀티캐스트(multicast) 능력, 광대역 등이며, 단점으로는 국(station)의 모니터링, 비행선기술의 미완성, 온보드(on-board) 안테나의 안정화 등이다[3].

HAPS 시스템을 위한 주파수로서 WRC-97에서는 고정서비스를 위한 47.2-47.5GHz 및 47.9-48.2GHz 대역이 분배되었다(RR 5.552A). 이 대역은 강우감쇄의 영향을 받기 쉽기 때문에 ITU-R은 가능 주파수로 18-32GHz 대역에 대한 연구를 수행한 결과 WRC-2000에서는 일부 국가에서 27.5-28.35GHz 대역과 31.0-31.3GHz 대역이 추가분배되었다(RR 5.537A 및 RR 5.543A). 또한, 이때 IMT-2000 기지국을 위한 주파수로서 2GHz 대역인 1.885-1.98GHz 및 2.11-2.16GHz (worldwide), 2.01-2.025GHz 및 2.16-2.17GHz (Region 1 and 3)가 분배되었다(RR 5.388A).

일본은 2006년 태양전지를 이용한 무인비행기를 사용하여 어레이 안테나로 무선 로컬라이제이션(localization) 실험과 100-element 온보드 DBF(Digital Beam Forming) 안테나를 장착한 "Zeppelin NT" 비행선을 이용하여 IP 전송실험을 성공리에 마쳤다[4]. 미국의 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)는 5년 동안 연속 비행할 수 있는 비행체를 개발하기 위한 목적으로 프로젝트를 추진 중이다. 최상의 내구성의 비행체는 테러리스트의 훈련캠프에서부터 날씨변화 또는 대화재 및 허리케인과 같은 재해후의 통신시스템의 재구축에 이르는 모든 것을 모니터링할 수 있다. Aurora Flight Systems, Boeing 및 Lockheed Martine 3사는 향후 수년에 걸쳐 18km-27km 고도에서 1,000파운드의 센서를 실어 날을수 있는 프로토타입 개발을 진행하고 있다 [5].

유럽에서는 2003-2006년 동안 13 파트너들이 CAPANINA 프로젝트를 수행해 왔다. 이 프로젝트는 HAPS 광대역시스템, 응용 및 서비스 분야와 HAPS 시스템을 위한 광대역 통

신링크, 네트워크 및 인프라지원 분야, 그리고 HAPS 시스템을 위한 광대역 통신노드 기술분야로 나뉘어 수행되었 다 [6].

한국에서는 90년대 후반부터 주파수 공유 연구, 개념설계 및 기본기술 개발, DBF를 포함한 표준 및 핵심기술 개발은 ETRI, 저고도 및 성층권 비행선 개발은 KARI가 주축이 되어 연구를 진행해 오다 2004년 잠정 중단되었으며, 현재는 ETRI에서 위성/지상망 대체 또는 보완을 위한 차세대 HAPS 구조 분석에 대한 연구가 소규모로 진행되고 있으며, 여기서는 3G 이동통신, WiBro 이동인터넷 및 B3G/4G 이동통신의 응용 등이 연구되고 있다[7].

최근 멀티미디어 서비스에 대한 이동 및 유비쿼 터스 역세 스 증대는 차세대 무선통신시스템의 개발을 요구하고 있다. 이러한 면에서 4G 망은 저렴한 비용으로 고속의 서비스를 제공하면서 어디서나 언제든지 최적의 연결이 기대되고 있으며, 이를 위해 HAPS 시스템은 3G 이후 시스템의 진화에 매우 중요한 역할을 하게 될 것이다.

따라서, 본고에서는 차세대 무선통신 인프라로서 필요한 소요기술들에 대해 알아본다. 이를 위해 II장에서는 HAPS 시스템에 대한 연구동향 분석으로 비행체, 안테나 기술, 채널모델 등의 개발동향과, III장에 기존의 지상이동 및 고정서 비스와의 주파수공유 분석, IV장에서는 현재 활발히 연구되고 있는 HAPS MIMO 시스템에 대해 간략히 소개한 후, V장에서 결론을 내린다.

II. HAPS 시스템

1. 비행체

HAPS 시스템의 역사를 통해 제안되고 있는 비행체의 3가지 범주로 구분할 수 있다[3].

[무인 비행선]

추진시스템을 가지면서 반경식(semi-rigid) 또는 연식(non-rigid)의 거대한 태양전력의 기구 (balloon)로 약 800kg 이상의 페이로드(payload) 를 갖는 100m 이상의 길이로 구성된다(그림 1 참조). 이 형태의 비행체는 5년 이상 상공에서의

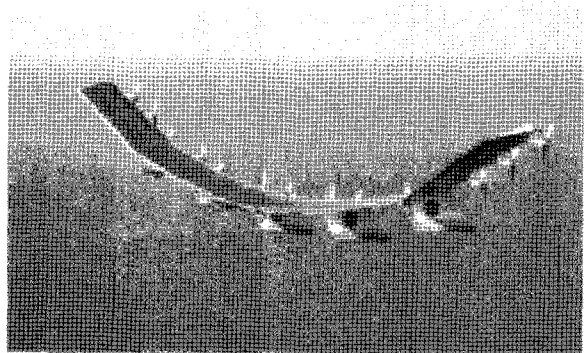
유지를 목표로 한다.



(그림 1) 일본의 Zeppelin NT

[태양전력의 무인항공기]

High Altitude Long Endurance Platforms(HALE Platforms)로 알려지고 있으며, 추진체로 전기모 터 및 프로펠러를 사용하는 반면, 날개와 안정장 치에 장착된 솔라셀은 낮 동안 전력을 공급하고 온보드 연료셀에 충전한다(그림 2 참조). 아직 비록 평균 비행지속시간이 정해져 있지 않지만, 미국의 DAPRA는 5년 이상을 목표로 하고 있다.



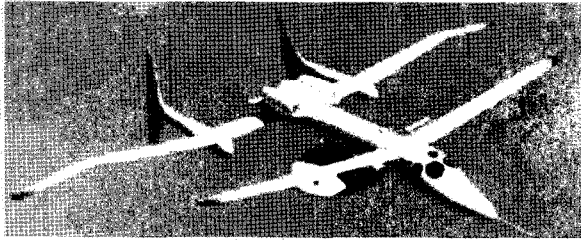
(그림 2) 미국의 Helios

[유인비행기]

연료제한 및 인간 요소에 기인하여 수시간의 비행시간을 갖는다(그림 3 참조).

2. 안테나 기술

이동통신용HAPS 기지국용 안테나는 ITU-R M. 1456[8]에



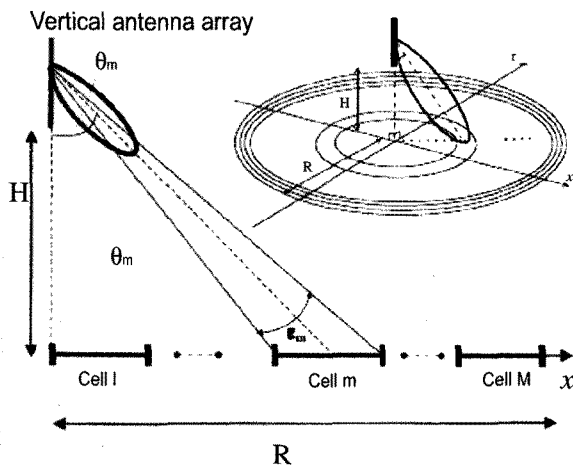
(그림 3) 유인 비행기

주어져 있지만, 여기서는 새롭게 개발 되고 있는 비행체 어레이 안테나 및 지상국용의 렌즈안테나를 소개한다.

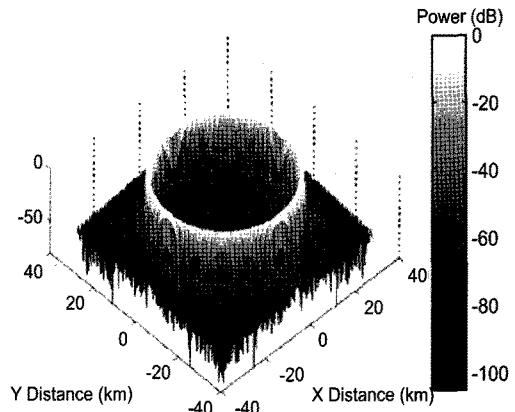
2.1 수직안테나 어레이

(그림 4)에 수직안테나 어레이(vertical antenna array) 구조 및 링형태(ring-shaped) 셀룰러구조 를 보인다. (그림 5)는 121-element 수직안테나 어레이가 20km 반경을 향할 때의 링형태 빔패턴이다.

시뮬레이션결과와는 간단한 윈도우 웨이트 (window weight)를 사용하여도 수직안테나 어레이 가 평면(planar) 어레이보다 우수한 커버리지 성능을 가져오며, 거의 2.4배나 안테나 엘리먼트 를 줄일 수 있다는 점을 보인다. 기존의 육각 셀룰러 형태는 주파수 재사용 인자 가 1, 3, 4, 7등을 허용하지만, 링형태의 셀룰러 구성으로 1 이상의 어떤 재사용 인자도 가능하므로 좀더 유연한 셀룰러 설계가 가능하다 [9].



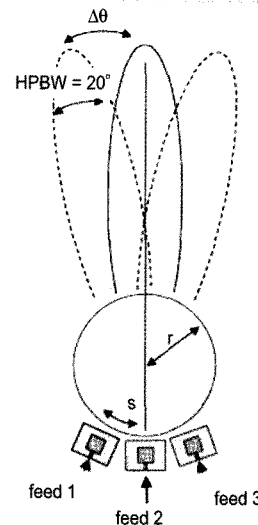
(그림 4) HAPS 통신용 링형태 셀을 형성하는 수직안테나 어레이 구성



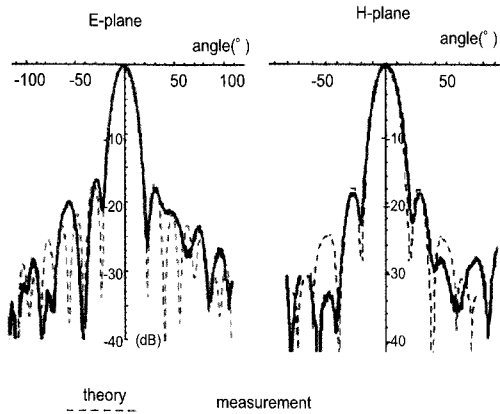
(그림 5) 반경 20km 방향 121-element에 의해 생성된 링형태 빔패턴

2.2 스캐닝 구 렌즈 안테나

스캐닝 구 렌즈 안테나(scanning spherical lens antenna)의 기능적 구조를 (그림 6)에 보이며, 여기서 반전력 빔폭 (HPBW)은 20°, 빔 스티어링 (steering)은 피드(feed)간의 스위칭에 의해 수행 될 수 있다. (그림 7)에 patch-fed 반구렌즈로 측정된 방사패턴을 보이며, 메인로브와 제1 사이드로브가 이론치하고 잘 맞는다. 이 안테나는 HAPS 통신용에 우수한 멀티빔 안테나로 평가되고 있으며, 특히 일정지수 렌즈 특성은 WiMAX 서비스와 같은 low-GHz 범위에서 사용되는 중간이득 안테나에 매우 효율적이다[10].



(그림 6) 멀티피드(multi-feed) 일정지수 렌즈



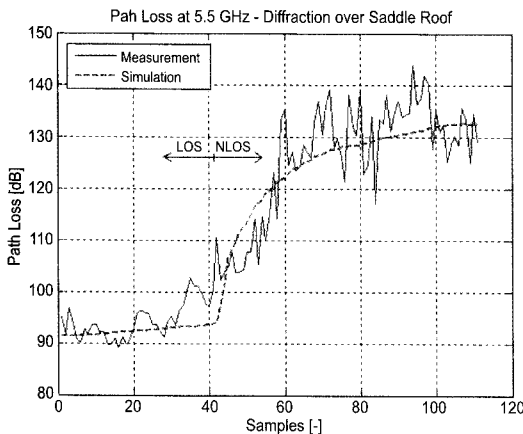
(그림 7) 5.8GHz에서 측정된 방사패턴

3. 채널모델

HAPS 채널에서 LOS(line-of-sight) 경로와 같은 지배적인 신호성분이 존재하며, 페이딩 진폭분포는 라이시안이다. HAPS 시스템에 대한 채널모델링을 고려하여 IMT-2000 통신시스템을 위해 매크로 및 메가셀룰러 전파에 대한 물리적 통계모델이 개발되었지만[11], 여기서는 최근에 측정데이터로부터 개발된 섀도잉 및 penetration 손실모델을 소개한다.

3.1 섀도잉 모델

협대역 양각에 기반한 섀도잉 (shadowing) 모델이 3G 및 4G 이동시스템용 2-6GHz 주파수대역에서 HAPS에 의해 제

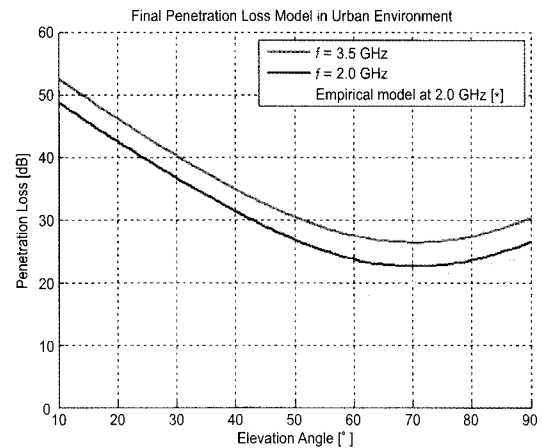


(그림 8) 2.0GHz에서 측정된 섀도잉의 한 예

공되는 이동시스템을 위해 개발되었다. (그림 8)은 flat roof 빌딩에서 측정된 2.0 GHz 경로손실을 보이며, HAPS와 이동국간의 LOS 확률 및 NLOS 추가 섀도잉 경로손실은 양각의 함수로 주어진다[12].

3.2 Penetration 손실

도시지역에서 빌딩내 penetration 손실에 대한 경험적 모델이 리모트 컨트롤 비행선을 이용하여 측정데이터에 기반하여 개발되었다. (그림 9)에 계산된 penetration 손실이 고양각에서의 측정데이터와 비교되었다. 2.0GHz와 3.5GHz에서의 penetration 손실차는 약 3.6dB이지만, 빌딩 매질에 의존한다[13].



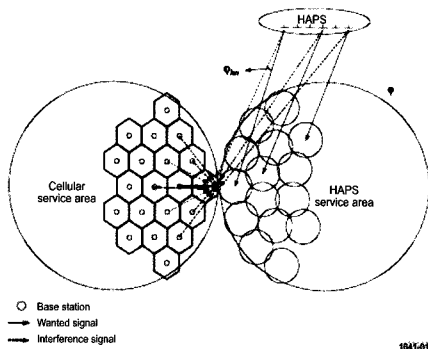
(그림 9) 새로운 penetration 손실에 대한 경험적 모델의 비교

III. 주파수공유 분석

1. IMT-2000 서비스

(그림 10)은 셀룰러 기지국과 HAPS 비행선이 셀룰러 이동국에 미치는 간섭모델을 보인다. 간섭을 받는 이동국은 HAPS 서비스지역에 가장 인접해서 위치한다고 가정한다. 그림 11은 셀 당 HAPS 유저 수를 고려하여 분리거리 함수로서 C/I 값을 보여준다. 셀룰러 이동국의 C/I 기준값을 -17.4 dB, 유저 당 HAPS 송신전력을 100mW, HAPS 셀 반경을

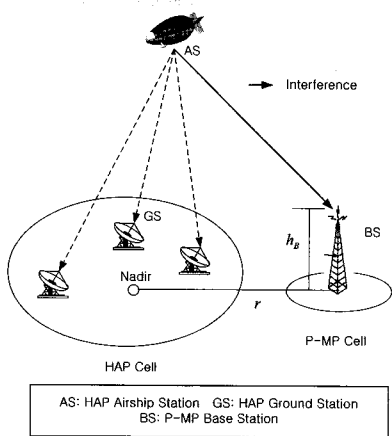
2km로 가정하면, HAPS 유저 수가 50, 100, 500 및 1000으로 증가함에 따라 소요 이격거리(separation distance)는 각각 1.1, 1.6, 14 및 31.1km이다[14],[15].



(그림 10) 셀룰러 이동국에 미치는 간섭모델

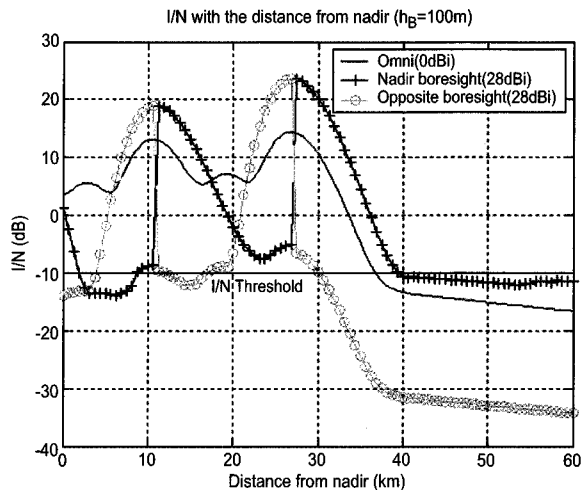
2. 고정서비스

여기서는 (그림 11)에 보이는 것처럼 HAPS 비행선으로부터 FWA(Fixed Wireless Access) 기지국에 미치는 간섭을 평가하기 위해 적절한 안테나 패턴, 전파모델, 주파수 재사용을 고려한 HAPS 셀구조 등을 고려하였다. (그림 12)에 FWA 기지국의 섹터셀을 고려하여 최악의 경우(기지국 안테나가 HAPS 비행선의 nadir boresight)와 최상의 경우(기지국 안테나가 nadir opposite boresight)의 I/N 값을 전방향성 안테나의 경우와 비교하였다. 최악의 경우 전방향성 안테나 보다 최대 7dB 정도 높게 나타나고, 셀간 최소 이격거리는 20km



(그림 11) HAPS 비행선으로부터 FWA 기지국에 미치는 간섭모델

이상이다. 최상의 경우는 전방향성 안테나보다 18dB 감소되고 있어 HAPS 서비스는 FWA 셀의 경계지역에서 제공될 수 있어 이격거리가 필요하지 않다[16].

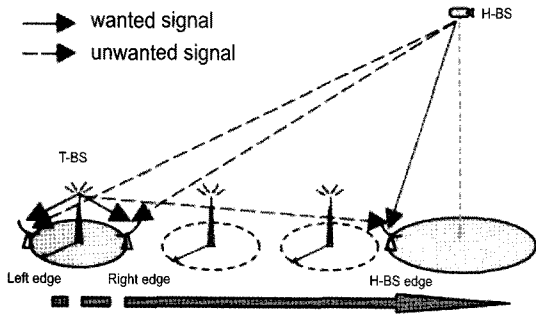


(그림 12) FWA 섹터셀의 최상의 경우와 최악의 경우 I/N

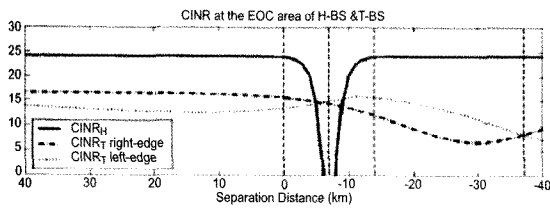
3. WiMAX 광대역 서비스

여러 이격거리에 있어 시스템성능을 평가하는 것이 중요하며, 적절한 서비스 에리어에서 T-BS (Terrestrial Base Station)와 H-BS(HAPS Base Station)로부터의 WiMAX 광대역의 전개를 정당 화하는데 도움을 준다. 이 경우 (그림 13)으로 모델화 된다. 거리이격은 최초 40km로 가정하고, T-BS 커버리지 에리어를 H-BS 커버리지 에리어로 근접시키면서 이격거리를 감소시킨다. 테스트 유저는 T-BS의 오른쪽과 왼쪽 EOC(edge of the coverage) 및 H-BS의 왼쪽 EOC에 고정시킨다. (그림 14)에 보이는 $CINR_H$ 곡선은 이격거리가 0으로 감소할 때까지 매우 느리게 변한다.

지상 WiMAX 커버리지 에리어가 H-BS 커버리지의 가장자리를 중첩하기 시작하면 $CINR_H$ 는 0dB 이하로 급격히 떨어진다. 왜냐하면 H-BS EOC 에리어상의 수신기 유저는 T-BS에 더욱 근접하여 더 많은 간섭을 수신하기 때문이다. 지상 WiMAX의 커버리지 에리어가 H-BS 커버리지 안으로 완전히 포함되었을 때, $CINR_H$ 는 이전의 레벨로 급격히 상승한다. T-BS의 EOC 에리어에 있어서, T-BS가 H-BS 왼쪽 EOC 에리어에 있는 즉, 이격거리가 -7km될 때까지 오른쪽 EOC 상의 $CINR_H$ 는 왼쪽 EOC 에리어 보다 더 우수하다[17].

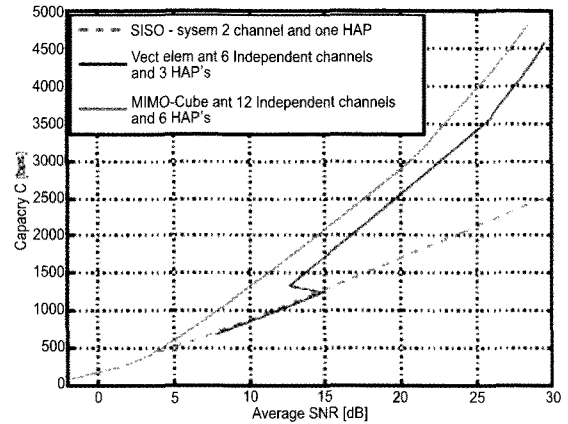


(그림 13) 가변 이격거리에 따른 에지(edge) 성능시나리오



(그림 14) 이격거리 감소에 따른 H-BS와 T-BS의 EOC 에어리어에서의 CINR

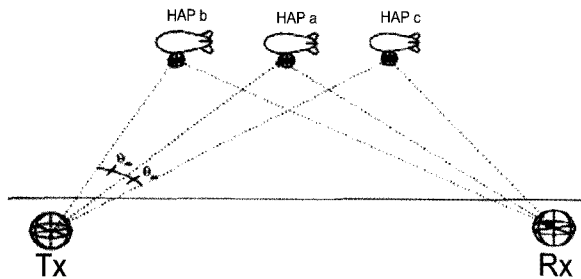
MIMO-Cube 안테나를 사용하여 수행된 용량을 SNR에 의해 나타낸 것이다. 이 결과로부터 MIMO-HAPS 다이버시티 시스템은 단일 HAPS 경우에 비해 우수한 성능을 제공하며, MIMO-Cube 안테나는 벡터 엘리먼트 안테나보다 우수한 용량을 제공한다[18].



(그림 16) 평균 SNR에 대한 용량

IV. HAPS MIMO

다수의 HAPS를 이용하여 고속 데이터 전송을 위한 시스템으로서 특수형태의 MIMO 안테나의 polarization과 패턴 다이버시티를 조합한 HAPS 다이버시티를 사용하고 또한, OFDM 변조기법을 사용하는 가상적으로 형성된 MIMO 채널로 구성된다. (그림 15)에 3개의 HAPS를 이용한 다이버시티 구성을 보이며, (그림 16)에는 벡터 엘리먼트 안테나와



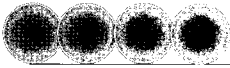
(그림 15) 3개의 HAPS로 이루어진 MIMO-HAPS

V. 결론

본고에서는 HAPS 시스템 구현을 위한 최근의 연구동향으로 비행체, 안테나 기술, 채널모델의 개발, 지상이동 및 고정 시스템 주파수 공유분석, 그리고 HAPS MIMO 시스템에 대해 소개하였다.

HAPS 시스템만이 지닌 고유의 장점을 살려 일본, 미국, 유럽 등에서는 정보통신 이상의 서비스, 즉 테러리스트의 훈련캠프에서부터 날씨변화 또는 대화재 및 허리케인과 같은 재해 후의 통신시스템의 복구측에 이르는 모든 것을 모니터링할 수 있는 이상적인 무선통신시스템으로 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 국내 HAPS에 대한 연구는 ETRI와 학계에서 아주 소규모로 진행되고 있어 향후 3G 이상의 광대역 이동통신 서비스, 리모트센싱, 항법응용, 재해예방/구조응용 등을 위한 국가적 인 지원의 연구가 절실히 요구되고 있는 시점이다.



- [1] T.C. Tozer, D. Grace, "High altitude platforms for wireless communications", IEE Electronics & Commun. Eng. J., vol.13, no.3, pp.127-137, June 2001.
- [2] 강영홍, 최문환, "Ka 대역에서 HAPS 비행선으로부터 터 GSO 위성으로의 간섭영향 분석", 한국통신학회논문지, 제29권 제5B호, pp.476-482, 2004년 5월.
- [3] S. Karapantazis, "Broadband communications via high-altitude platforms: a survey", IEEE Commun. & Tutorials, vol.7, no.1, pp.2-31, First Quarter 2005.
- [4] H. Tsuji, "Recent developments for HAPS application in Japan", COST297-0171-WG00-PRI-01
- [5] <http://dsc.discovery.com/news/2008/04/28/vulture-plane.html>
- [6] <http://www.capanina.org/>
- [7] B.J. Ku, "Feasibility study on communication services using low altitude platform", COST297-0247-WG10-PRI-01-1
- [8] Doc. ITU-R M,1456, Minimum performance characteristics and operational conditions for High Altitude Platform Stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980MHz and 2110-2170MHz in Region 1 and 3 and 1885-1980MHz and 2110-2160MHz in Region 2, Nov. 2000.
- [9] Z. Xu, Y. Zakharov, and G. White, "Beampattern optimization for downlink cellular communications from high altitude platforms", COST297-0144-WG10 - PRI-01
- [10] J. Thornton, "Versatility of scanning lens as ground antenna for HAP communications: low GHz to mm-wave", COST297-026-WG10-PUB-P01-2
- [11] C. Oestges, "A stochastic geometrical vector model of macro- and megacellular communication channels", IEEE Tran. Vehic. Tech., vol.37, no.2, pp.1352-60, Jan. 2001.
- [12] J. Holis, P. Pechac, "Elevation dependent shadowing model for mobile communications via high altitude platforms in built-up areas", IEEE Trans. Antenna Propag., vol.56, no.4, pp.1078-1084, April 2008.
- [13] J. Holis, P. Pechac, "Penetration loss measurement and modeling for HAP systems in urban environment", EURASIP J. Wireless Commu. & Net, vol.2008, Article ID 543290, April 2008.
- [14] 김봉석, 박종민, 구본준, 안도섭, 강영홍, "HAPS 시스템과 셀룰라 IMT-2000 시스템간 주파수 공유기준 평가", 한국통신학회논문지, 제27권 제8B호, pp.819-825, 2002년 8월.
- [15] Rec. ITU-R M,1641, A methodology for co-channel interference evaluation to determine separation distance from a system using high-altitude platform stations to a cellular system to provide IMT-2000 service within the boundary of an administration, June 2003.
- [16] 최문환, 함형일, 강영홍, "HAPS 비행선에서 P-MP FWA 시스템으로의 간섭 분석", 한국항공학회논문지, 제9권, 제2호, pp.177-184, 2005년 12월.
- [17] Z. Yang, D. Grace, P.D. Mitchell, "Downlink performance of WiMAX broadband from high altitude and terrestrial development sharing a common 3.5GHz band", IST Mobile and Wireless Summit, June 2005.
- [18] T. Hult, A. Mohammed, "MIMO for HAPS: and idea whose time has come", COST297-0089-WG10-PRI-01-1.

약 력



강 영 홍

1984년 한국항공대학교 공학사
 1986년 한국항공대학교 공학석사
 1993년 한국항공대학교 공학박사
 1990년 ~ 현재 군산대학교 교수
 관심분야: 이동통신, 위성통신, 표준화