

HAPS 시스템의 간섭경감기법 분석

Analyzing Interference Mitigation Scheme for HAPS System

구본준 (B.J. Ku)	광대역무선전송연구팀 선임연구원
박종민 (J.M. Park)	광대역무선전송연구팀 선임연구원
이승민 (S.M. Lee)	광대역무선전송연구팀 연구원
안도섭 (D.S. Ahn)	광대역무선전송연구팀 팀장

목 차

-
- I . 서론
 - II . DBF 필요성
 - III . ITU-R에서의 DBF 연구
 - IV . 결론

본 논문에서는 성층권 통신망(HAPS)과 기존 위성망 및 지상망과의 원활한 공유를 위해서 진행되고 있는 HAPS 시스템의 간섭경감기법에 관한 연구 동향을 분석한다. 이를 위해서 2006년 6월 27일부터 7월 5일까지 개최된 ITU-R WP9B 회의를 통하여 논의된 주요 결과들을 중심으로 살펴보고자 한다. Ka 대역에서 고정업무(FS)용으로 활용 가능한 HAPS 시스템의 간섭경감기법으로 5가지가 제안되었으며, 특히 본 회의에서는 디지털빔형성(DBF) 기법을 적용한 탑재안테나의 다중빔패턴의 성능분석 결과들이 제시되었다. HAPS 시스템의 간섭경감기법으로 디지털빔형성기법을 적용함에 있어서 그 필요성과 ITU-R WP9B에서 논의되고 있는 내용들을 중심으로 간섭경감기법 분석 결과를 기술하고 본 내용과 관련한 ITU-R에서의 향후 연구 전망 등을 살펴보고자 한다.

I. 서론

HAPS 시스템 혹은 성층권 통신시스템은 위성망이 가지고 있는 LOS의 장점과 지상망이 가지고 있는 짧은 전송 지연의 장점을 동시에 가지고 있는 차세대 통신 인프라로 인식되고 있다. 그러나 이러한 장점과 더불어 기존 지상망과 위성망으로의 간섭 또한 많이 유발할 수 있다는 단점도 가진다.

지금까지 ITU-R에서 논의된 HAPS 시스템의 간섭경감기법으로 고양각에서의 HAPS 시스템 운용, 동적인 채널 할당, HAPS 플랫폼의 차폐 효과, 송신 전력제어, 탑재안테나 및 지상국 안테나의 빔패턴 개선에 대한 것들이 있다[1]. 이 중 동적인 채널 할당기법과 디지털빔형성기법에 기반한 안테나 빔패턴 향상에 대하여 구체적으로 논의되었다.

동적할당기법을 적용하기 위해서는 우선적으로 HAPS 지상국이나 플랫폼이 현재 운용중인 기존 지상 FS 시스템의 주파수를 센싱할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 여기에서의 간섭 시나리오는 HAPS 플랫폼에서 P-MP 시스템의 기지국과 사용자 단말로의 간섭, HAPS 지상국에서 P-MP 시스템의 기지국과 사용자 단말로의 간섭 등 총 4개의 간섭경로에 대해서 정의되었다. 주된 결과로서 HAPS 플랫폼에서 P-MP 시스템으로의 간섭 평가는 특별한 간섭경감기법의 적용이 없이도 공유가 가능하다는 것이며, HAPS 지상국으로부터 P-MP 시스템으로의 간섭 평가는 안테나 빔패턴 및 센싱에 대한 조건[1]이 충족될 경우, 공유가 가능하다는 것을 보여준다.

또 하나의 기법인 디지털빔형성 기반의 안테나 빔패턴 개선은 간섭 경감을 위한 기법들에서 유력한 후보 중 하나로 고려되고 있다.

● 용어해설 ●

HAPS: 고도 약 20km의 성층권 영역에 유무인 비행기, 무인 비행체 또는 비행선과 같은 플랫폼을 제공시켜 그것에 무선 중계기를 탑재함으로써 다양한 무선 응용서비스를 제공할 수 있는 성층권무선중계시스템을 말함. ITU의 전파규칙 1.66A에 high altitude platform station이 정의됨.

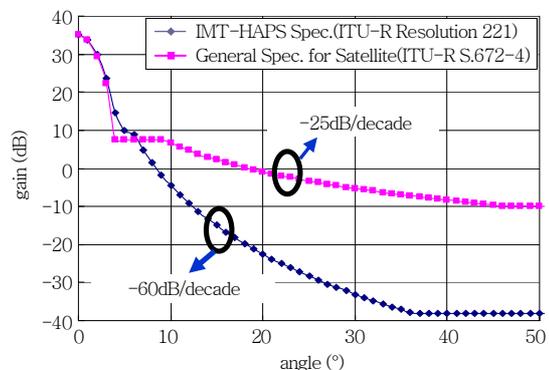
본 논문에서는 2006년 6월 27일부터 7월 5일까지 개최된 ITU-R WP9B 회의에서 새로이 논의된 간섭경감기법인 디지털빔형성기법에 대해서 그 분석 결과를 기술하고자 한다. 먼저 디지털빔형성기법의 필요성에 대해서 알아보고, 본 회의에서 논의되었던 내용들을 중심으로 그것의 연구 동향 및 분석 결과를 살펴보고자 한다.

II. DBF 필요성

HAPS 시스템은 광역의 서비스 영역에 광대역의 초고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서 수많은 다중빔을 구현한다. 다중빔은 넓은 영역에 광대역의 서비스를 제공시 충분한 회선마진을 제공할 수 있는 특징이 있다. 그러나 이러한 다중빔은 빔간 간섭뿐만 아니라, 기존 지상망과 위성망으로의 간섭 또한 증가시키는 단점이 있다.

ITU-R은 이러한 간섭 효과를 경감시키기 위해서 HAPS IMT-2000 시스템의 경우, 기존 위성망에서 적용되는 안테나 빔패턴보다 더 엄격한 기준의 안테나 빔패턴을 사용할 것을 결의하였다[2]. 그러나 기존의 아날로그 방식의 빔형성 방식을 적용해서는 이러한 규격을 만족시킬 수가 없다[3].

(그림 1)에서 기존 위성시스템의 간섭 분석 수행을 위해서 적용되는 안테나 빔패턴에 대해서 HAPS IMT-2000 안테나 빔패턴은 부엽파의 레벨이 아주 낮아 이러한 안테나 빔패턴을 구현하기 위해서는 배



(그림 1) 안테나 빔 패턴 비교

열안테나의 소자 각각에 연결된 수신 혹은 송신 채널들에 유기되는 전계 크기 및 위상의 분포에 대한 오차가 매우 작은 범위 내에서 제어가 이루어져야 한다.

(그림 2)는 아날로그 방식의 빔형성과 디지털 방식의 빔형성을 적용하였을 때의 안테나 빔패턴을 시뮬레이션을 통하여 비교한 것이다. 일반적으로 아날로그 빔형성을 적용한 배열안테나에서는 각 소자에 유기되는 전계의 세기 및 위상의 분포에 대한 제어가 디지털빔형성을 적용한 시스템보다 세밀하게 이루어지지 못하는 것으로 알려져 있다. 본 예에서는 아날로그 빔형성을 적용한 시스템에 대해서 그 크기에 대한 오차가 0.5dB, 위상 분포에 대한 오차가 10도인 것을 가정하였으며, 디지털빔형

성의 경우 각각 0.2dB 및 1.5도까지의 오차를 가정하였다. 이를 통하여 볼 때 적어도 크기 분포 및 위상 분포 오차가 각각 0.2dB 및 1.5도 이하일 때 HAPS IMT-2000 안테나 빔패턴 조건을 만족함을 볼 수 있다.

그러므로 HAPS IMT-2000 시스템과 같이 Ka 대역에서 고정업무용으로 활용될 HAPS 시스템에서도 부엽과 레벨이 매우 낮은 엄격한 안테나 빔패턴의 구현을 통하여 타 통신망로의 간섭신호를 줄임으로써 망 간 공유를 더 쉽게 할 수 있을 것이다. 이를 위하여 디지털빔형성을 적용한 다중빔 구현이 필수적이라고 할 수 있다.

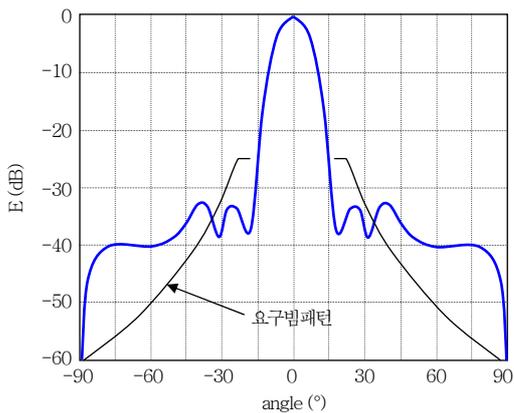
다음 장에서는 Ka 대역에서 운용 가능한 고정업무용 HAPS 시스템의 기술적 및 운용적 특성에 대해서 기술하고, 그 중 DBF를 적용한 간섭경감기법 기술에 대해서 구체적으로 분석하고자 한다.

III. ITU-R에서의 DBF 연구

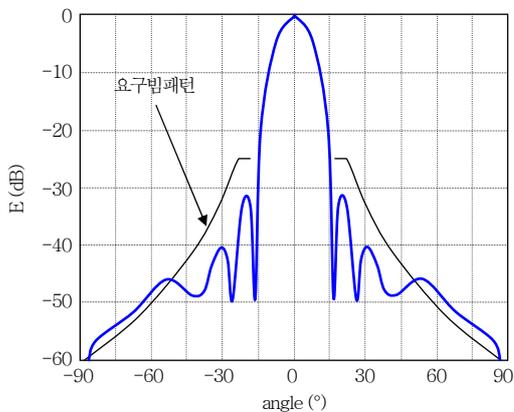
1. Ka 대역 HAPS 고정 업무 특성

Ka 대역에서 고정업무로 활용 가능한 HAPS와 타 망간의 공유 연구를 더 쉽게 진행하기 위해서 ITU-R은 권고서 ITU-R F.1569에 정의된 HAPS 시스템 파라미터를 권고하고 있다[4]. 이는 또한 HAPS 개발시 참조할 수 있는 가이드라인으로 활용 가능할 것이다. 주요 내용은 간섭경감을 위해서 HAPS가 가져야 할 특성에 관한 것으로 탑재 혹은 지상국 시스템이 가져야 될 기능과 인접대역으로의 간섭을 줄이기 위한 시스템 파라미터들이 정의되어 있다. <표 1>에서 상향 링크는 HAPS 지상국으로부터 HAPS 플랫폼으로, 하향 링크는 그 역방향 링크를 말한다. 플랫폼의 차폐로 인한 간섭 경감 효과는 비행선 플랫폼의 아래쪽에서 위쪽으로 120도 이상의 각도에서 15dB의 차폐효과를 권고하고 있다.

탑재 시스템의 빔구현 방식은 아주 낮은 부엽과를 생성할 수 있는 디지털빔형성기법이 제안되었으며 다중빔으로 인한 셀간 간섭의 경감을 위해서



(a) 아날로그빔형성 예(크기오차 0.5dB, 위상오차 10도)



(b) 디지털빔형성 예(크기오차 0.2dB, 위상오차 1.5도)

(그림 2) 아날로그빔형성 vs. 디지털빔형성 비교

〈표 1〉 Ka 대역 HAPS 시스템 특성

파라미터	특성	
주파수	상향: 31.0~31.3GHz 하향: 27.5~28.35GHz	
플랫폼 운용 고도	20~25km	
최소 운용 양각	20도	
탑재시스템	빔구현	다중 스폿빔(DBF)
	주파수 재사용	4 이상
플랫폼 표면 재질	위성으로의 간섭 신호를 줄이기 위한 차폐기능	
지상국	송신전력제어(ATPC)	
링크 가용도	99.4% 이상(M 지역)	
설계 I/N 값	10%	
인접대역 전력밀도 (31.3~31.8GHz)	<-105dB(W/MHz), Clear sky 조건	
	<-100dB(W/MHz), Rain 조건	
보호대역	40MHz(31.26~31.3GHz)	

적어도 주파수 재사용률이 4 이상이 되도록 권고하고 있다.

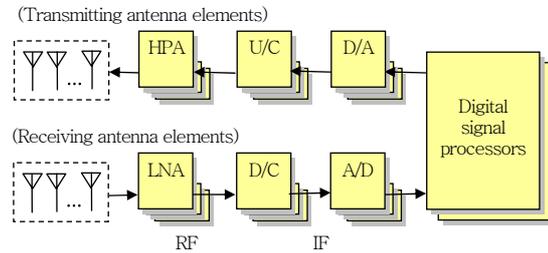
2. DBF 특성

〈표 1〉의 HAPS 고정업무 시스템의 특성에서 보듯이 HAPS 망에서 타 망으로의 간섭을 줄이기 위해서 운용 양각, 빔 구현 방식, 플랫폼의 요구사항 등을 규정하였다. 그 중에서 다중빔 구현 방식인 DBF를 이용한 다중빔 기술에 대해서 구체적으로 살펴보고자 한다.

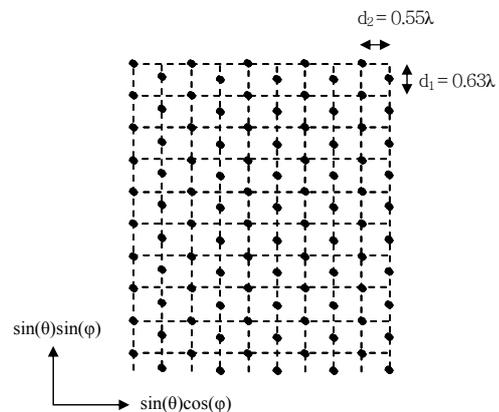
DBF 시스템은 모든 시스템, 즉 지상, 위성 등에 적용될 수 있으나 본 논의에서는 ITU-R에서 연구가 진행중인 HAPS DBF 시스템의 특성에 대해서 분석한다.

HAPS DBF 시스템의 구성은 (그림 3)과 같이 타 무선통신망에서 구성된 시스템과 거의 비슷한 구조를 가지고 있으며 크게 배열안테나, RF 모듈, IF 모듈, 프로세스 모듈로 이루어진다[5].

배열 안테나는 2가지의 형태로 100개 소자로 구성된 사각형과 199개의 소자로 구성된 육각형 형태의 패널이 제안되어 있다. 그 중 (그림 4)는 간섭경감을 위해 적용된 형태인 100개의 소자로 구성된



(그림 3) DBF 안테나 시스템 개요도



(그림 4) 사각형 구조를 갖는 배열 안테나

사각형 형태의 배열안테나 구성을 보여준다[5]. 안테나 각 소자는 삼각형 구조로 배열되어 있으며, 이는 사각형 배열 구조에 비해 작은 개수의 소자로 비슷한 성능을 갖는 배열안테나를 설계할 수 있는 장점이 있다[3]. (그림 4)에 보여진 안테나 패널의 크기는 중심주파수(30GHz로 가정)의 파장을 약 10mm 라고 할 경우, 가로 및 세로의 길이가 각각 55mm 및 63mm에 해당한다. 이것은 매우 작은 크기로서 적어도 RF 송수신기 모듈이 5.5mm×6.3mm의 사각기둥 내에 집적되어야 한다는 것을 알 수 있다.

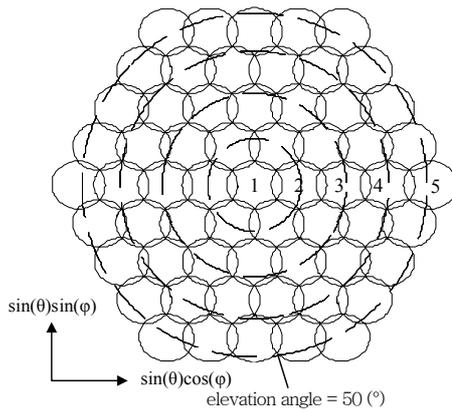
ITU-R에서 연구중인 안테나의 형태가 사각형 패널의 경우, 양각 50도까지의 서비스 영역에 61개의 다중빔을 구현할 수 있으며, 육각형 패널의 경우, 양각 40도까지의 서비스 영역에 163개의 다중빔을 구현할 수 있다. 여기에서 서비스 영역의 확장, 즉 양각의 범위를 최소 운용 양각인 20도까지 줄이기 위해서는 위 패널을 다수 개 적용한 다중패널 배열 안테나의 적용을 통해서 구현 가능하다.

(그림 5)는 100개의 소자로 이루어진 사각형 형태의 안테나 패널에서 발생하는 다중빔의 형상을 보여준다[5]. 일반적으로 1번 중심셀에서 5번 가장자리 셀로 갈수록 안테나 빔패턴의 부엽과 레벨이 상승하고 지상에서의 빔형상이 타원 형태를 갖는다.

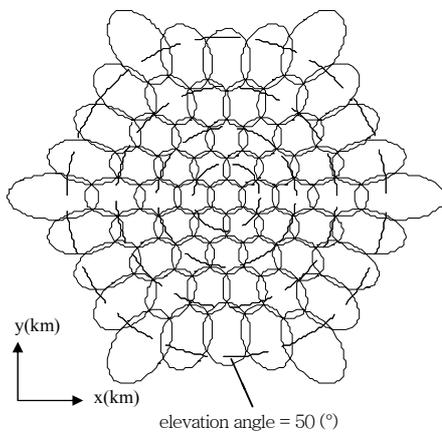
(그림 6)은 (그림 5)에 보여진 다중빔이 지상에 방사되었을 때의 빔형상을 나타내며 서비스 영역은 양각 50도까지임을 보여준다[5].

하나의 배열안테나 패널이 어느 정도 양각까지의 서비스 영역을 갖는가 하는 문제는 배열안테나를 이루는 소자의 안테나 빔패턴에 달려 있다.

일반적으로 배열안테나의 빔은 안테나 패널의 중심축에서 멀어질수록 성능 열화가 발생한다. 이것은 바로 안테나 소자가 코사인 형태의 빔패턴을 갖기



(그림 5) 사각형 패널에서 발생된 다중빔

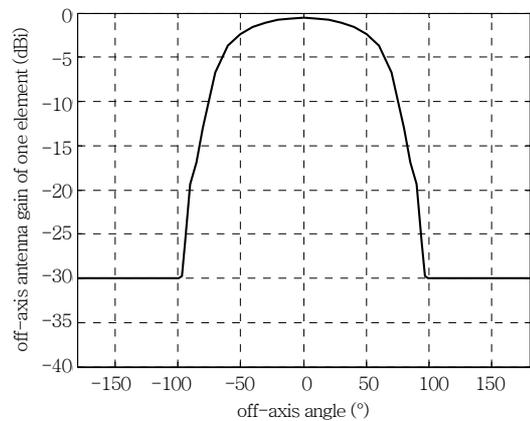


(그림 6) 서비스 영역에서의 다중빔

때문인데, 서비스 영역에 대한 문제는 바로 안테나 소자의 빔패턴이 결정하게 된다.

(그림 7)은 거의 80도의 각도 내에서 성능 열화가 -3dB 이하임을 보여주는 안테나 소자 빔패턴을 보여준다[5]. 만약 이러한 빔패턴을 갖는 안테나 소자 100개를 이용하여 배열 안테나를 구성할 경우, (그림 6)과 같이 양각 50도의 서비스 영역에 다중빔을 구현할 수 있을 것이다.

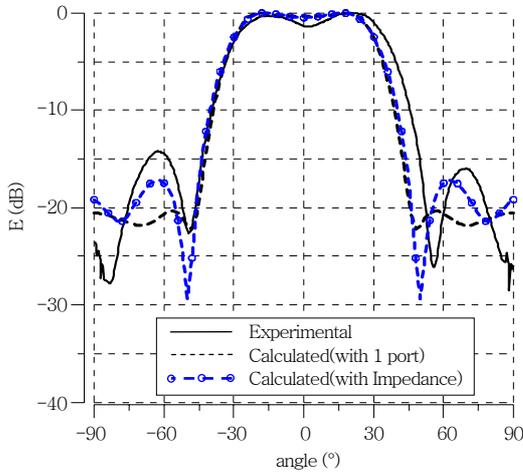
현재까지 Ka 대역에서 HAPS용으로 활용 가능한 안테나 소자는 약 60도의 범위 내에서 평평한 안테나 빔패턴을 보여주는 유전체봉 안테나가 개발되어 있다(그림 8)[6], (그림 9) 참조). 이것은 양각 60도의 서비스 영역을 다중빔으로 채울 수 있다는 것을 말해 준다. 하지만 ITU-R에서 논의되고 있는 안테나 소자를 구현하기 위해서는 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.



(그림 7) ITU-R에서 제안된 안테나 소자 빔패턴



(그림 8) Ka 대역 HAPS용 안테나 소자 예

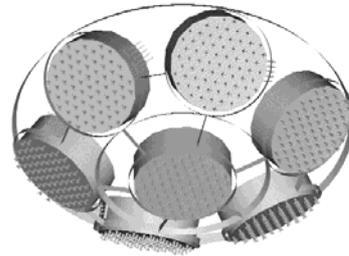


(그림 9) (그림 8)의 안테나 소자 빔패턴

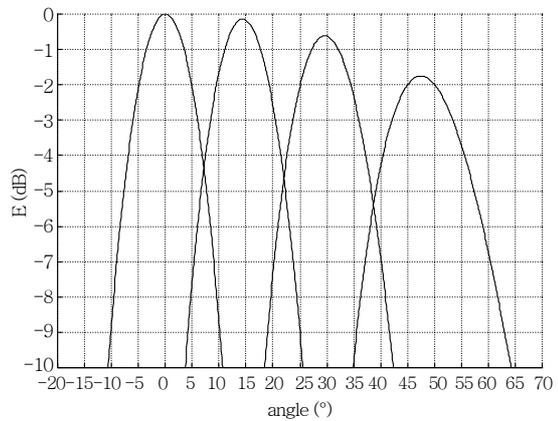
실제적으로 HAPS IMT-2000 시스템을 위한 DBF 다중빔 시스템은 다중패널로 구성된 다중빔 시스템이 되어야 함을 보여준다. 이것은 이미 언급되었듯이 바로 안테나 소자의 빔패턴에 기인하는 하나의 배열안테나가 갖는 제한된 스캔 각도 때문이다. (그림 10)에 보여진 예는 하나의 패널이 73개의 소자로 구성된 7개의 다중패널 다중빔 시스템을 나타낸다. 여기에서 하나의 패널은 최대 19개의 빔을 송신 및 수신할 수 있다.

(그림 11)은 위에 기술된 배열안테나에 대한 안테나 빔패턴을 도시한 것으로 안테나 패널의 중심축 0도에서 멀어질수록 안테나 빔패턴의 성능이 열화되는 것을 볼 수 있다. 이러한 성능으로부터 최대 구현할 수 있는 다중빔은 (그림 12)에서 보듯이 최대 19가 되며, 더 넓은 서비스 영역으로의 확장을 위해서 7개의 다중패널을 적용하면 100개 이상의 다중빔을 지상에 구현할 수 있다(그림 12)에서 u, v 는 공간상의 좌표로 방향코사인을 나타내며, (그림 5)에 정의되어 있다.

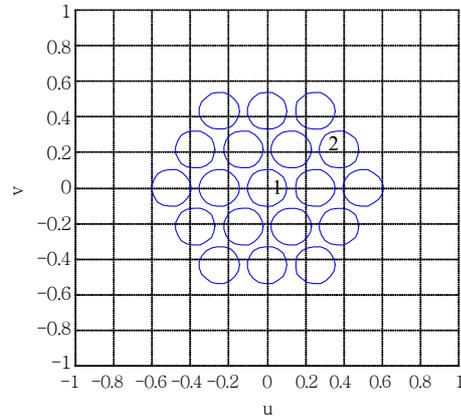
지금까지 간섭경감을 위한 HAPS 시스템의 DBF 특성에 대해서 살펴보았다. DBF 방식을 적용하여 낮은 부엽파를 갖는 배열안테나를 구현함으로써 원하지 않는 타 통신망 서비스 영역으로의 간섭을 경감할 수 있지만, Ka 대역에서 HAPS용 DBF 다중빔 시스템을 구현하기 위해서는 몇 가지 극복해야 할



(그림 10) HAPS IMT-2000 DBF 다중패널 다중빔 예



(그림 11) 다중빔에 따른 안테나 빔패턴 성능비교



(그림 12) 19개의 빔으로 구성된 다중빔

과제가 남아 있다. 우선 Ka 대역은 파장이 매우 짧아 배열안테나를 이루는 안테나 소자간 거리가 매우 작기 때문에 집적화된 RF 송수신기 기술이 필요하다. 또한 넓은 서비스 영역에 다중빔을 구현하기 위해서는 배열안테나 패널이 성능 열화 없이 넓은 스

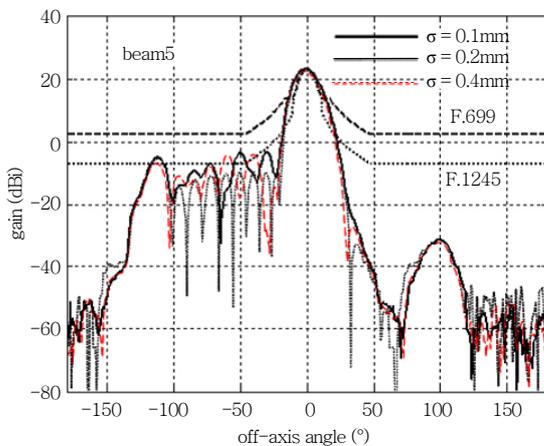
캔 각도를 갖도록 설계하는 기술이 필요하다. 이러한 기술은 간섭경감뿐만 아니라 HAPS 탑재시스템의 저경량, 저전력화에도 장점을 제공할 수 있을 것이다.

3. 안테나 빔패턴 성능 비교

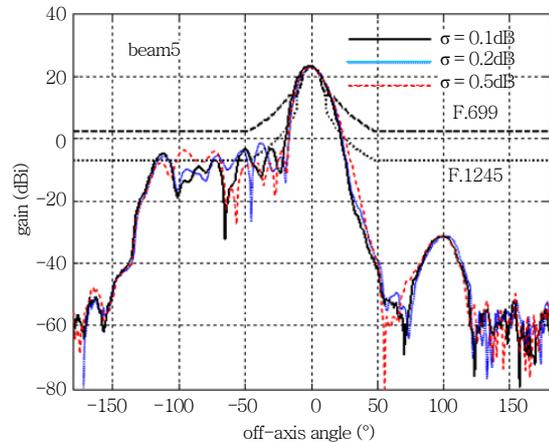
본 절에서는 ITU-R에서 제안된 DBF 규격에 대하여 안테나 빔패턴의 성능을 비교하고자 한다.

(그림 13)~(그림 16)[5]까지의 안테나 빔패턴에 대한 성능 결과는 (그림 4)에서 언급된 100개의 소자를 갖는 배열안테나에 대해서 도출되었다. 배열안테나에 있어서 그 성능에 영향을 줄 수 있는 파라미터로 안테나 소자의 배열 위치의 오차로 인한 영향과 배열안테나상의 각 소자에 유기되는 전계 크기 및 위상의 오차로 인한 영향 등을 고려할 수 있다. 여기에서 각각의 오차에 대한 랜덤 분포는 평균이 0인 정상분포를 따르며 표준편차는 <표 2>에 기술된 값을 갖는다고 가정한다.

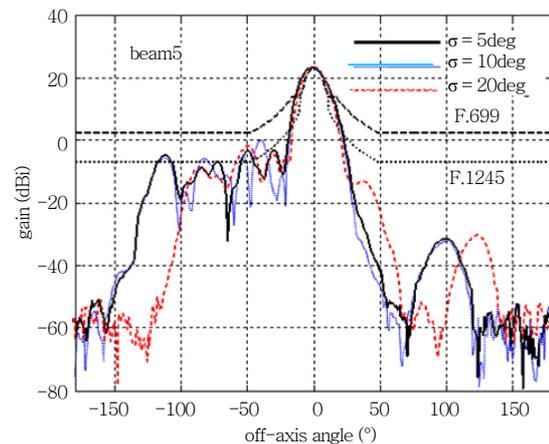
(그림 13)에서 배열 안테나 소자 위치 오차에 따른 안테나 빔패턴 영향은 크게 중요하지 않으나 (그림 14) 및 (그림 15)에서 보듯이 전계의 크기 및 위상 분포에 대한 오차의 영향은 부엽파의 레벨에 영향을 주는 것으로 파악된다. 또한 (그림 16)에서 보듯이 목표로 하는 부엽파 레벨에 따른 돌프-체비셰프 함수의 분포 변화에 대해서도 상당히 영향을 받



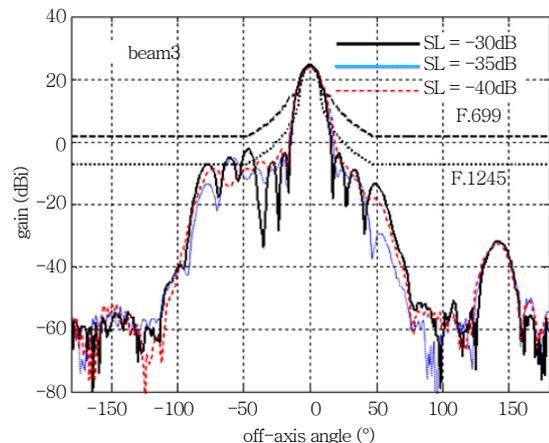
(그림 13) 위치오차에 따른 빔패턴 비교



(그림 14) 크기분포 오차에 따른 빔패턴 비교



(그림 15) 위상분포 오차에 따른 빔패턴 비교



(그림 16) 돌프-체비셰프 함수에 따른 빔패턴 비교

〈표 2〉 안테나 빔패턴 성능 분석시 적용된 파라미터

그림 번호	위치표준 편차	크기표준 편차	위상표준 편차	돌프-체비셰프의 SL 목표값
13	변수	0.1dB	5도	-35dB
14	0.1mm	변수	5도	-35dB
15	0.1mm	0.1dB	변수	-35dB
16	0.1mm	0.1dB	5도	변수

는 것으로 나타났다. 결과적으로 DBF 적용을 통하여 안테나 소자에 유기되는 전계의 크기 및 위상 분포 오차를 줄이도록 정밀하게 제어하는 것이 간섭원으로 작용하는 부엽파의 레벨을 줄일 수 있으며 배열 안테나 패널상에 적절한 전계 크기 분포를 갖는 함수의 적용을 통해서 낮은 부엽파를 갖는 안테나 빔패턴을 구현할 수 있을 것이다. 또한 DBF는 적용형 빔형성을 통하여 간섭경감을 실현할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 현재 ITU-R에서 논의되고 있는 HAPS 시스템의 간섭경감기법에 대해 연구 진행현황을 살펴보았다. 그 중 탑재 시스템을 위한 DBF 다중빔을 적용한 간섭경감기법에 대해서 구체적으로 살펴보았다. Ka 대역에서 활용 가능한 DBF 다중빔 배열안테나를 구현하기 위해서는 우선적으로 아주 작은 공간에 집적할 수 있는 RF 송수신기 모듈 설계 및 제작 기술이 필요하고 또한 하나의 배열 안테나 패널이 넓은 서비스 영역에 다중빔을 구현하기 위해서는 넓은 각도에서 성능 열화가 거의 없는 안테나 소자 설계 및 제작 기술이 필요함을 알 수 있었다. 또한 DBF 안테나 빔패턴의 성능 비교를 통하여 안

테나에 유기되는 전계의 크기 및 위상 분포 오차가 부엽파 레벨에 영향을 미치므로 이것에 대한 세밀한 제어가 간섭을 줄일 수 있는 것으로 파악되었다.

기 언급된 DBF를 적용한 간섭경감기법들이 ITU-R의 기존 권고서에 추가되어 수정 권고 초안을 위한 작업문서 형태로 논의되고 있으므로 관련 회의에서의 진행현황을 지속적으로 파악하는 것이 필요할 것으로 판단된다. Ka 대역뿐만 아니라 V 대역에서도 이의 활용을 통한 간섭완화를 위해서 망간 간섭 분석 및 공유 연구가 진행되어야 될 것이다.

약어 정리

A/D	Analog to Digital converter
ATPC	Automatic Transmit Power Control
D/A	Digital to Analog converter
D/C	Down-Converter
DBF	Digital Beamforming
FS	Fixed Service
HAPS	High Altitude Platform Station
HPA	High Power Amplifier
IF	Intermediate Frequency
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication sector
LNA	Low Noise Amplifier
LOS	Line-of-Sight
P-MP	Point-to-Multipoint
RF	Radio Frequency
U/C	Up-Converter
WP	Working Party

참고 문헌

- [1] Rec. ITU-R F.1607, "Interference Mitigation Techniques for Use by High Altitude Platform Stations in the 27.5-28.35GHz and 31.0-31.3GHz Bands," ITU, 2003.
- [2] RESOLUTION 221(Rev. WRC-03), "Use High Altitude Platform Stations Providing IMT-2000 in the Bands 1885-1980MHz, 2010-2025MHz and 2110-2170MHz in Region 1 and 3 and 1885-1980MHz and 2110-2160MHz in Region 2," WRC-2003, 2003.

● 용어해설 ●

돌프-체비셰프(Dolph-Chebyshev): 돌프가 등간격의 선형배열에 대해 낮은 부엽과 좁은 주빔을 갖는 패턴을 얻기 위해서 부엽들이 동일한 레벨일 때 그러한 최적의 빔폭과 부엽레벨의 특성을 갖는 체비셰프 다항식을 합성 문제에 적용함. 이를 돌프-체비셰프 선형배열이라고 함.

- [3] Bon-Jun Ku et al., "Radiation Pattern of Multibeam Array Antenna with Digital Beam-forming for Stratospheric Communication System: Statistical Simulation," *ETRI J.*, Vol.24, No.3, June 2002, pp.197-204.
- [4] Rec. ITU-R F.1569, "Technical and Operational Characteristics for the Fixed Service Using High Altitude Platform Stations in the Bands 27.5-28.35GHz and 31.0-31.3GHz," ITU, 2002.
- [5] Annex 8 to WP9B Chairman's report, Preliminary Draft Revision of Rec. ITU-R F.1607, Annex 8 to Doc. 9B/203, ITU, July 2006.
- [6] Y.S. Kim et al., "Design and Measurements of Ka-band Waveguide Dielectric Rod Antenna for 7 Channel Digital Beamformer for HAPS," *Proc. of Sym-
potics 2004*, Slovakia, Oct. 2004.