

제 출 문

본 보고서를 「고정위성업무와 타 업무간의
공유에 관한 연구(Ⅲ)」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 12. 31.

연구책임자 : 공업연구관 성향숙(전파자원연구과)

연 구 원 : 전 송 주 사 양왕렬(전파자원연구과)

공업연구사 박주홍(전파자원연구과)

공업연구사 임상희(전파자원연구과)

공업연구사 이일용(전파자원연구과)

요 약 문

1. 과 제 명 : 고정위성업무와 타업무간의 공유에 관한 연구(Ⅲ)

2. 연 구 기 간 : 2003. 1. 1. ~ 12. 31.

3. 연구책임자 : 공업연구관 성향숙

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<input type="checkbox"/> 위성망 간섭완화기술 연구 o 정지위성망의 간섭완화기술 연구 - ITU 관련규정 및 실례 조사 - HDFSS시스템에 적용 가능한 간섭 완화기술 조사 및 분석 - HDFSS 간섭완화방법 제시 o 비정지위성망의 간섭완화기술 연구 - ITU 관련규정 및 실례 조사 - HEO 위성시스템에 적용 가능한 간섭완화기술 조사 및 분석 - HEO시스템의 간섭완화방법 제시	성향숙 박주홍 임상희													
<input type="checkbox"/> 위성관련 전파전파 모델 분석 o 위성망 관련 전파전파모델 정리 및 분석(ITU-R 모델 중심) o 위성이용 주파수대역을 중심으로 전파전파 시뮬레이션	성향숙 이일용													
<input type="checkbox"/> 위성망 보호 방안 - 위성망 및 지구국의 국제등록 관련 절차, 규정 및 기술기준 분석 - 신규 위성망과 지상망의 제원 파악 및 간섭 파라미터 분석 - 간섭예상 위성망에 대한 영향 검토 - 효율적인 이의제기 방안 모색	성향숙 양왕렬													
분기별 수행진도(%)		20			50			80			100			

나. 세부 과제별 추진사항

1) 정지위성망의 간섭완화기술 연구

- 정지위성망과 지상망에 적용할 주파수 대역별 간섭완화기술 조사 및 장단점 분석
- 지구국의 안테나 패턴에 따른 지상망과의 이격거리 분석을 통한 간섭완화 기술 검토

2) 비정지위성망의 간섭완화기술 연구

- HEO위성시스템과 정지위성망간 적용 가능한 간섭완화기술 조사 및 간섭 완화효과분석
- 4/11GHz 대역 HEO FSS 시스템 전력속밀도 마스크 분석

3) 위성전파전파 모델 분석

- 위성링크상의 전파전파모델 정리 및 분석(ITU-R 권고 중심으로)
- 위성이용 주파수대역(4, 6, 12, 14, 20, 30, 40 GHz)을 중심으로 전파전파 시뮬레이션

4) 위성망 보호 방안

- 위성망과 지구국의 국제등록에 관련된 절차 및 규정 검토
- ITU 회보(IFIC) 공표에 따른 이의제기 실시
- 지구국 국제등록 신청서 검토

5. 연구 결과

1) 간섭완화 기술연구

o 정지위성망에 대한 간섭완화기술 연구

- 간섭완화 기술 적용을 위한 완화기술별 장단점 분석
- 지구국의 안테나 패턴에 따른 지상망과의 이격거리 분석을 통한 간섭완화 기술 비교분석
- 한국통신학회 추계학술발표회 논문 발표 (1건)
 - 제목 : 고정통신위성망과 고정통신망간의 주파수공유를 위한 간섭완화 기술

- 비정지 위성망에 대한 간섭완화기술 연구
 - 간섭완화기술 적용에 의한 USAKU-H2형 HEO 위성시스템과 정지 위성망간의 간섭 완화효과 분석
 - 한국전자과학회 종합학술발표회 논문발표(1건)
 - 제목 : 12GHz 대역에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간의 주파수 공유 방법 연구
 - 4/11GHz 대역에서 중·고위도 지역의 FS 시스템을 효과적으로 보호할 수 있는 HEO FSS 시스템 전력속밀도 마스크 분석

2) 전파간섭모델 분석

- 위성망 관련 전파전파 모델 분석(ITU-R 권고 중심으로)
 - 대기중 가스에 의한 감쇠 예측모델 : ITU-R 권고 P.676
 - 강우에 의한 감쇠 예측 모델 : ITU-R 권고 P.618
 - 구름에 의한 감쇠 예측 모델 : ITU-R 권고 P.840
- 분석된 전파전파 모델을 이용하여 위성이용 주파수대역을 중심으로 전파전파 시뮬레이션 실시
 - 4, 6, 12, 14, 20, 30, 40 GHz 대역 선정
 - 위의 3가지 감쇠 예측 모델에 적용하여 시뮬레이션
- 2004년도 제14회 통신정보 합동학술대회 논문 투고(1건)
 - 우리나라 위성통신상에서 구름에 의한 감쇠 영향 연구(심사중)

3) 위성망 보호 방안

- 위성망과 지구국의 국제등록에 관련된 절차 및 규정 검토
- ITU 회보(IFIC) 공표에 따른 이의제기
 - 분석대상 : 제2480호~제2508호
 - 분석결과 : 31개국 769개 위성망에 대한 이의제기 실시
- 지구국 국제등록 신청서 검토
 - (주)KT의 SMO-1A 등 지구국 49국 및 전파천문국 5국

4) 기고문 발표 및 학회 논문투고

- ITU-R 등 국제회의 기고문 발표 (4건)

- 4GHz 및 11GHz 대역에서 FS 시스템의 보호를 위한 HEO FSS 시스템의 전력속밀도 제한(JWP4-9S)
- 비정지위성의 간섭 발생시 조정 절차에 대한 권고 초안 검토 (WP4A)
- 통신위성 수신안테나 보호 제안(WP4A)
- 방송위성 수신안테나 보호 제안(WP6S)
- o APG2003-5차 회의 기고문 발표(1건)
 - WRC-03 의제 중 위성 관련 제안
- o 한국통신학회 논문투고(1건) 및 게재(1건)
 - 방송위성망간 주파수 공유에 관한 연구(투고)
 - 4GHz 및 11GHz 대역에서 HEO FSS의 전력속밀도에 관한 연구(게재)

6. 기대효과

- o 위성 간섭완화기술 제시를 통한 효율적인 주파수 이용 도모
- o 우리나라 운용 위성망 및 지상망 보호
- o 위성 관련 산업 활성화 도모
- o 국제 협력 활동 활성화로 국가 경쟁력 강화

7. 기자재 사용 내역 : 해당사항 없음.

8. 기타사항 : 해당사항 없음.

SUMMARY

We evaluated the effectiveness of mitigation techniques to enhance sharing between GSO FSS networks and other systems and analysed the prediction models of attenuation on satellite signal propagation.

To see the effect of mitigation techniques that can improve frequency sharing of 19GHz band between FSS and FS, we considered four types of antenna patterns and three antenna sizes of FSS earth stations. It shows that RR AP 7 antenna pattern would be most appropriate for FSS earth station in 19GHz due to low side lobes. In case of 45cm antenna size, we see that the difference of separation distance between a FSS earth station and a FS station is up to 22km, depending on antenna patterns. Also, when we use RR AP 8 antenna pattern for a FSS earth station, the difference of separation distance is up to 14km depending on antenna size. Therefore, this study showed interference reduction quantitatively between FSS and FS in 19GHz by varying sizes of antenna and antenna patterns.

In respect of interference mitigation techniques to enhance sharing between GSO FSS networks and HEO FSS systems, we assessed the effectiveness of four mitigation techniques. The GSO arc avoidance, the improvement of satellite antenna side lobe features and the orthogonal polarization are effective in sharing between the GSO earth station and the HEO satellites, however the geographical separation between earth stations do not show much reduction of interference. And a combination of two different mitigation techniques may reduce interference more efficiently than a single mitigation technique. But, the further study on various frequency bands and antenna sizes is needed in order to find the optimum sharing environment between GSO and HEO systems.

With regard to the analysis of radio propagation models between earth and space, we analysed three prediction models. In case of the atmospheric gaseous attenuation, the effect of dry air is more dominant than water vapour, but is low enough to be ignored in the link design of satellite network. The long-term rain attenuation is very important in the design of satellite links above 10GHz and the cloud attenuation should be considered seriously in the 40GHz band. But it is needed that the predicted values of attenuation by propagation models for satellite signals are compared with the measured data in operating satellite systems.

Finally, results of WRC-2003 and the software tools related to ITU-R satellite filings are reviewed. Also, ITU filing informations of earth stations and satellite networks are investigated that the Republic of Korea is proceeding to register in ITU-R.

목 차

표 목차	9
그림 목차	10
제 1 장 머리말	12
제 2 장 위성시스템의 주파수공유를 위한 간섭완화기술 연구	13
제 1 절 정지위성망에 대한 간섭완화기술 연구	13
1. 서 론	13
2. FSS와 FS간의 공유를 위한 간섭완화 기술	14
3. 19GHz에서 FSS 지구국에 적용되는 안테나 패턴 분석	17
4. 안테나 패턴에 따른 이격 거리 분석	20
5. 결 론	23
제 2 절 12GHz 대역에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성 망간의 주파수 공유 방법 연구	25
1. 서 론	25
2. 고정위성시스템(FSS)간에 적용될 수 있는 간섭 완화기술	26
3. HEO FSS(하향)으로부터 GSO FSS(하향)으로의 간섭완화량 계산	32
4. 결론 및 향후 계획	44
제 3 장 지구↔우주 전파전파모델 분석	46
제 1 절 개 요	46
제 2 절 지구↔우주 링크상의 대기 중 가스에 의한 영향	47
1. 대기 중 가스에 의한 감쇠에 영향을 미치는 파라미터	47
2. 대기 중 가스에 의한 감쇠 예측	49
3. 위성 이용주파수에서의 대기 중 가스에 의한 감쇠 예측	53
제 3 절 지구↔우주 링크상 강우에 의한 영향	56
1. 임의지점의 강우율로부터 Long-term 통계 강우	

감쇠예측치 계산 절차	58
2. 위성이용 주파수에서 강우감쇠 예측	59
3. 임의의 40GHz 위성망에서 대기 및 강우 감쇠영향 비교결과	62
제 4 절 지구↔우주 링크상의 구름(또는 안개) 영향	64
1. 구름(또는 안개)에 의한 감쇠	64
2. 위성이용 주파수 대역에서 구름에 의한 감쇠 예측	65
제 5 절 결 론	69
제 4 장 운용 및 계획 중인 우리나라 위성망 보호방안 연구	71
제 1 절 국제등록절차 및 관련 S/W 운용	71
1. 국제등록 관련 규정 및 절차	72
2. 국제등록 관련 S/W	75
제 2 절 2003년도 우리나라 국제등록 신청내용 고찰	77
1. 지구국 국제등록 신청	77
2. 위성망 국제등록 신청	78
3. 전 세계 위성망 국제등록 공표내용(2003년)	79
제 3 절 결 론	83
제 5 장 맺음말	84
참 고 문 헌	87

표 목 차

<표 2.1.1> 위성망 및 지상망의 주요 파라메타	21
<표 2.1.2> 안테나 패턴에 따른 이격 거리	22
<표 2.2.1> 간섭완화기술의 적용으로 인한 평균 $\Delta T/T$ 의 변화	38
<표 2.2.2> GSO 아크 회피와 편파 분리 기술의 동시 적용으로 인한 평균 $\Delta T/T$ 의 변화	40
<표 2.2.3> GSO 아크 회피와 지구국 분리의 동시 적용으로 인한 평균 $\Delta T/T$ 의 변화	42
<표 2.2.4> GSO 아크 회피각의 변화에 따른 평균 $\Delta T/T$ 의 변화	43
<표 3.1> ITU-R 권고 P. 676 Annex 2의 경로감쇠(path attenuation)식 분류	50
<표 3.2> 강우감쇠 예측과 관련한 ITU-R 권고	57
<표 3.3> 0.01% 이외의 연시간율에 적용하기 위한 β 조건 분류 ·	59
<표 3.4> 우리나라 지역의 구름에 의한 감쇠분포치	69
<표 4.1> 우리나라 지구국 통고현황	77
<표 4.2> 우리나라 위성망 사전공표 현황	78
<표 4.3> 우리나라 위성망 조정공표 현황	79
<표 4.4> 2003년도 전세계 국제등록 공표건수	80
<표 4.5> 2003년도 국가별 이의제기 건수	82

그 립 목 차

<그림 2.1.1> 19GHz에서 FSS지구국 45cm 수신안테나패턴	18
<그림 2.1.2> 19GHz에서 FSS지구국 60cm 수신안테나패턴	19
<그림 2.1.3> 19GHz에서 FSS지구국 90cm 수신안테나패턴	20
<그림 2.1.4> FS로부터 FSS 수신 지구국 간섭 개념도	22
<그림 2.2.1> 회피각을 이용한 간섭완화 개요	27
<그림 2.2.2> 지구국 분리에 의한 간섭완화 개요	28
<그림 2.2.3> GSO 지구국에 사용된 안테나 패턴	33
<그림 2.2.4> GSO 위성의 경도 변화에 따른 평균 $\Delta T/T$	36
<그림3.1> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 대기온도변화	48
<그림3.2> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 대기압 변화	48
<그림3.3> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 수증기 밀도 변화	48
<그림3.4> 경로감쇠계산을 위한 대기의 각 유효등가 고도	52
<그림3.5> 4GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	53
<그림3.6> 6GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	53
<그림3.7> 12GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.8> 14GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.9> 20GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.10> 30GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.11> 40GHz에서 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.12> 주파수별 건조공기에 의한 감쇠	54
<그림3.13> 4GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.14> 6GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.15> 12GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.16> 14GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.17> 20GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.18> 30GHz에서 수증기에 의한 감쇠	55
<그림3.19> 40GHz에서 수증기에 의한 감쇠	56
<그림3.20> 주파수별 수증기에 의한 감쇠	56
<그림3.21> 지구-우주 경사경로 개략도	58

<그림3.22> 4GHz에서 강우 감쇠치	60
<그림3.23> 6GHz에서 강우 감쇠치	60
<그림3.24> 12GHz에서 강우 감쇠치	61
<그림3.25> 14GHz에서 강우 감쇠치	61
<그림3.26> 20GHz에서 강우 감쇠치	61
<그림3.27> 30GHz에서 강우 감쇠치	61
<그림3.28> 40GHz에서 강우 감쇠치	61
<그림3.29> 주파수별 강우 감쇠치	61
<그림3.30> 대기가스에 의한 감쇠 영향(40GHz)	63
<그림3.31> 대기 중 가스와 강우에 의한 감쇠 영향(40GHz)	63
<그림3.32> 구름에 대한 비감쇠계수 K_l	64
<그림3.33> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 0.1% ...	66
<그림3.34> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 1%	66
<그림3.35> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 10% ...	66
<그림3.36> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 50% ...	66
<그림3.37> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 0.1% ...	66
<그림3.38> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 1%	66
<그림3.39> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 10% ...	67
<그림3.40> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 50% ...	67
<그림3.41> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 0.1% ...	67
<그림3.42> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 1%	67
<그림3.43> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 10% ...	67
<그림3.44> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 50% ...	67
<그림3.45> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 0.1% ...	68
<그림3.46> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 1%	68
<그림3.47> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 10% ...	68
<그림3.48> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 50% ...	68
<그림3.49> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 0.1% ...	68
<그림3.50> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 1%	68
<그림3.51> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 10% ...	69
<그림3.52> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치-연시간율 50% ...	69

제 1 장 머리말

새로운 위성서비스 도입 및 위성 이용기술의 발전에 따라 ITU-R의 관련 연구반에서는 신규 위성업무를 위한 주파수 분배와 함께 다른 업무와의 주파수 공유를 위한 규정, 절차에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 현재 전파의 이용분야가 다양해지고 확대되어지는 상황에서 주파수의 효율적 사용에 대한 관심이 고조되고 있음에 따라 각 서비스간의 전파간섭완화 기술의 적용으로 이러한 주파수 공유는 실현할 수 있을 것이다.

본 보고서에서는 고정위성업무와 타 업무들간의 주파수 공유 방안을 찾고자 먼저, Ka 대역에 있어서 HD-FSS 및 HD-FS 도입에 대비하여 주파수 공유를 위한 간섭완화 기술들에 대해 분석하였고, 특히 19 GHz 대역에서 안테나 패턴 분석에 따른 간섭 완화량을 분석하여 주파수 공유 방안을 살펴보았다.

GSO 위성망과의 주파수 공유 가능성이 향상될 것으로 기대되는 HEO 궤도의 이용에 대한 관심이 증가하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 HEO를 이용하는 위성시스템과 GSO를 이용하는 위성망이 주파수를 공유할 경우 두 시스템에 몇 가지 간섭 완화기술을 적용하여 간섭량을 계산하고 그 간섭 완화효과를 비교함으로써 두 시스템이 효과적으로 주파수를 공유할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

앞의 2 가지 공유방안 분석에 있어 정확한 간섭량 계산을 위해 위성신호의 전파전파 감쇠 예측이 기본적으로 필요할 것이다. 이에 본 보고서에서는 대기 중 가스에 의한 영향, 강우에 의한 영향 및 구름(또는 안개)에 의한 영향을 다루는 3가지 위성전파전파 예측모델을 분석한 후, 이러한 3개의 예측모델을 현재 위성에서 이용하고 있는 여러 주파수 대역에 적용시켜 감쇠 예측치를 계산하였고, 그 결과를 분석하였다.

마지막으로 주파수 공유를 위한 규정, 절차에 대한 연구로서, 우리나라 위성망의 확보 및 보호를 위해 WRC-2003 결과 및 국제등록에 따른 관련 S/W에 대해 살펴보고, 2003년도에 우리나라에서 국제등록 추진 중에 있는 지구국과 위성망에 대한 내용에 대하여 고찰해 보고자 한다.

제 2 장 위성시스템의 주파수공유를 위한 간섭완화기술 연구

제 1 절 정지위성망에 대한 간섭완화기술 연구

1. 서 론

현재 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 수요 증가와 함께 이를 충족시키기 위하여 통신망의 광대역화, 초고속화, 지능형화가 요구되고 있다. 우리나라를 비롯한 여러 국가에서는 광대역 멀티미디어 서비스 접속이 주로 광통신망을 통해 이루어지고 있지만, 유럽의 일부 국가와 미국, 캐나다, 일본 등에서는 광통신망과 아울러 Ka 대역의 무선 지상통신망 즉, BWA, FWA, B-WLL 등을 구축하는데 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 이러한 Ka 대역의 무선통신망은 지상에서 고밀도 즉, HD-FS(High-Density Fixed Service)로 시스템이 구축되는 것이 주요 특징이다. 또한 위성을 이용한 광대역 서비스를 제공하기 위해 HD-FSS(High -Density Fixed Satellite Service) 개념의 정지 위성망 또는 비정지위성 시스템이 현재 유럽과 미주 등지에서 고려 중에 있다. 기존 위성통신 시스템이 넓은 지리적인 지역에 적은 수의 지구국을 가지는 반면, HD-FSS 위성통신 시스템은 넓은 지리적인 지역에 수많은 초소형 지구국들이 널리 분포하는 특성을 갖는다. 또한 기존의 유선망이나 HD-FS 시스템구축이 지형적으로 어려운 지역에서 HD-FSS가 유용하게 운용될 수 있을 것으로 전망하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Ka 대역에 있어서 HD-FSS 및 HD-FS 도입에 대비하여 주파수 공유를 위한 간섭완화 기술에 대해 살펴보고, 특히 19GHz 대역에서 안테나 패턴 분석에 따른 간섭 완화량을 분석하여 주파수 공유 방안을 살펴보았다.

2. FSS와 FS간의 공유를 위한 간섭완화 기술

고정위성업무(FSS)와 고정업무(FS)간의 공유에 관한 검토에 있어 ITU-R에서는 다양한 주파수 대역에서 간섭완화 기술에 대한 연구를 수행 중에 있다. 이러한 주파수대역 중 Ka대역에서 위성의 하향 주파수대역과 지구국의상향 주파수대역의 FS와 FSS 주파수 공유시 간섭완화 기술과 그 특징을 이하에 기술하였다.

가. 상향 주파수 대역에서의 간섭완화 기술

상향링크 대역에서 고려되는 간섭완화 기술은 Site shielding, Restricted elevation angle, Conventional band segmentation 및 Geographical band segmentation 등이 있다.

Site shielding 기술과 Restricted elevation angle은 지상망으로부터 지구국으로의 간섭을 차폐하기 위해 지구국을 차폐 또는 양각을 제한하는 것이며, Conventional band segmentation은 지구국과 지상망의 대역을 분리함으로써 두 업무간의 간섭영향을 제거하도록 하는 방법이며, Geographical band segmentation은 지구국과 지상망을 지리적으로 분리하여 간섭을 완화시키도록 하는 방법이다.

이러한 간섭완화 기술 중 차폐 기술 및 양각의 제한에 따른 간섭완화 기술은 다수의 지구국에 실질적으로 적용하는 것은 어려울 것으로 예상하며, 지리적 분리 기술은 도시지역에 적용하기 어려우며, 대역 분리 기술이 보다 실용적으로 이용될 수 있을 것이다.

나. 하향 주파수 대역에서의 간섭완화 기술

17.7~19.7GHz 대역에서 고려되는 간섭완화 기술에는 Dynamic Channel Assignment (DCA), Adaptive coding, Spread spectrum, Site shielding 및 FSS antenna pattern을 이용한 기술 등이 있다. 이하에는 ITU-R에서 논의되고 있는 각각의 간섭 완화기술별 특징을 기술하였다.

1) Dynamic Channel Assignment (DCA) 기술

DCA 기술은 FS로부터의 간섭영향을 받지 않는 채널을 선택할 수 있도록 FSS 지구국 및 단말을 구현하기 위하여 간섭 측정 시스템을 부착한다. 고잡음 레벨 및 BER은 FSS 수신 지구국에서 직접 측정 가능하나, 저잡음 레벨은 직접 측정이 어려움에 따라 축적된 시간동안의 데이터를 이용하여 측정을 한다. BER의 측정을 통해 시스템의 가용도를 평가할 수 있으며, 축적된 시간이 길수록 보다 정확한 가용도를 측정할 수 있다. FSS 시스템의 영향에 있어 DCA 기술은 위성당 다수의 beam 수와 빔당 multiple carrier를 가지는 경우에 적용될 수 있으나, 추가적인 carrier 및 빔의 증가는 위성 process를 복잡하게 한다. 또한 FS 시스템이 증가할 경우, DCA 기술을 적용할 수 있는 가용 채널은 적어질 수 있다. 따라서 이론적으로는 적용 가능하나, 실질적으로 도처에 분포된 FSS 지구국에 DCA를 적용하는 것은 실용적이지 못하다.

2) Adaptive coding 기술

Adaptive coding 기술은 간섭과 강우 감쇠에 의한 시스템 가용도의 저하를 보상하기 위해 짧은 시간을 동안 적용 가능하다. 일반적으로 강우 감쇠 등 fading에 의한 이득은 시변적임에 반해, 외부 간섭에 의한 이득 감소는 시불변임에 따라 시간율에 따른 영향은 강우 감쇠에 의해 결정된다. Adaptive coding 기술은 FSS 시스템의 설계 단계에서 고려되며, 특히 turbo code가 유용하게 적용될 수 있을 것이다. Turbo code의 특징은 반복 복호가 가능하며 인터리버의 크기 조절이 가능하다는 장점이 있다. 이와 같은 특성을 이용해 원하는 BER 성능에 도달하도록 자유롭게 조절할 수 있다. 터보 코드는 최근 ITU등에서 IMT-2000 등 차세대 이동통신에서 고속 데이터 전송용으로 채널 코드의 표준으로 채택된 상태이다.

Adaptive coding 기술은 시변 이득 감쇠를 보상하는데 적용할 수 있으며, 따라서 FS로부터의 간섭에 따른 이득의 감소를 직접적으로 제거하는 목적은 아니며, 시스템의 가용도를 유지하는데 있어 유용하게 적용될 수 있다.

3) 대역 확산(spread spectrum) 기술

대역 확산 기술은 Direct Sequence(DS), Multi-carrier (MC) 및 frequency hopping(FH) 등 3가지 방법이 제안되고 있다. spread spectrum signal은 CDM(code division multiplex)과 관련성을 가지고 있으며, ITU에서는 권고 ITU-R SM.1055에서 spread spectrum 기술을 이용한 주파수 대역 공유에 관한 예를 나타내고 있다.

우선 Direct Sequence spread spectrum (DS) 기술은 CDMA의 기초가 되는 방식으로, 데이터 비트를 매우 빠르게 무작위 비트 패턴 즉 PN(pseudo random noise) 시퀀스와 곱함으로써 데이터를 해당 채널의 전체 대역폭을 차지하는 대규모의 코드 흐름으로 확산시키는 기술이다. 이 방식은 우수한 잡음 방지 성능을 가지고 있으며, 데이터를 중간에서 가로채기가 어려워 보안성이 우수하다는 등의 장점이 있으나, 수신기의 구조가 복잡해지는 등의 단점이 있다.

그리고 Multi-carrier spread spectrum(MC) 방식은 주어진 주파수 대역을 M개의 부대역으로 나누고, 각각의 부대역으로 동일한 협대역 DS/CDMA 신호를 전송하는 시스템이다. 따라서, 확산부호의 전송률은 Single Carrier DS/CDMA의 1/M배로 줄어들게 된다. 이 때 부반송파의 개수 M은 일반적으로 확산이득(N)보다 작은 값이다. MC 방식은 Single Carrier CDMA에 비해 협대역 간섭 억제효과가 있으며 확산부호의 칩률(chip rate)이 낮아 신호 처리를 위한 하드웨어가 낮은 주파수에서 동작하므로 복잡도를 줄일 수 있으나, Single-carrier DS/CDMA에 비해 많은 반송파를 사용함에 따라 각 반송파의 동기화 등의 어려움이 있다.

한편 frequency hopping spread spectrum(FH) 방식은 DSSS 방식과 함께 대표적인 spread spectrum 방식으로서, 디지털 전송신호의 중심 주파수가 특정 주파수 대역내에서 계속 이동되도록 하는 확산 대역방식이다. DS 방식에서는 암호 펄스열을 직접 곱함으로써 비화 특성이 생기지만, FH 방식에서는 이러한 펄스열이 주파수열로 입력된다. 이러한 FH 방식은 FDMA와 비슷한 구조에서 주파수만 변화하도록 만든 구조임에 따라 DS 방식에 비해 주파수 효율을 높이는데 한계가 있다.

따라서 spread spectrum 기술은 FSS와 FS간의 공유를 위한 간섭제거 기

술보다는 공유 조건을 개선하는데 적용될 수 있을 것이다.

4) 지구국 차폐(site shielding) 및 FSS 지구국 안테나 패턴

site shielding 방식은 FS로부터 FSS 지구국으로의 간섭을 차폐하는 방법으로 모든 지구국에 이 방식을 적용하기 어려움에 따라 실용적이지 못하다.

한편 FSS antenna pattern을 이용한 간섭완화 기술에 있어 Ka 대역에서 FSS 지구국은 작은 크기(30~90cm)의 안테나로 다양한 안테나 패턴을 이용하고 있음에 따라 모든 지구국에 일괄 적용하는 것은 어려움이 있으나, 본 연구에서는 FSS 지구국의 안테나 크기별로 다양한 안테나 패턴을 분석하여 간섭완화 기술에 적용하고자 하였다.

3. 19GHz에서 FSS 지구국에 적용되는 안테나 패턴 분석

ITU-R에서 논의중인 간섭완화 기술 중 FSS 지구국의 안테나 패턴에 따른 간섭완화 기술 적용을 위하여, 본 연구에서는 19GHz에서 FSS 지구국의 안테나 크기별로 다양한 안테나 패턴 및 크기에 따른 간섭 완화량을 분석하였다. 분석에 사용된 안테나 패턴은 전세계적으로 널리 이용되고 있는 FSS 지구국 안테나 패턴인 ITU-R 권고 S.1428-1, S.465-5, RR AP7 및 AP8을 이용하였다. FSS 지구국 안테나 패턴과 관련하여 수신 주파수 19GHz에서 안테나 크기가 45cm, 60cm 및 90cm인 경우를 고려하여 각 안테나의 수신 상대 이득패턴을 분석하였으며, 그 결과를 그림 2.1.1, 2.1.2 및 2.1.3에 나타내었다.

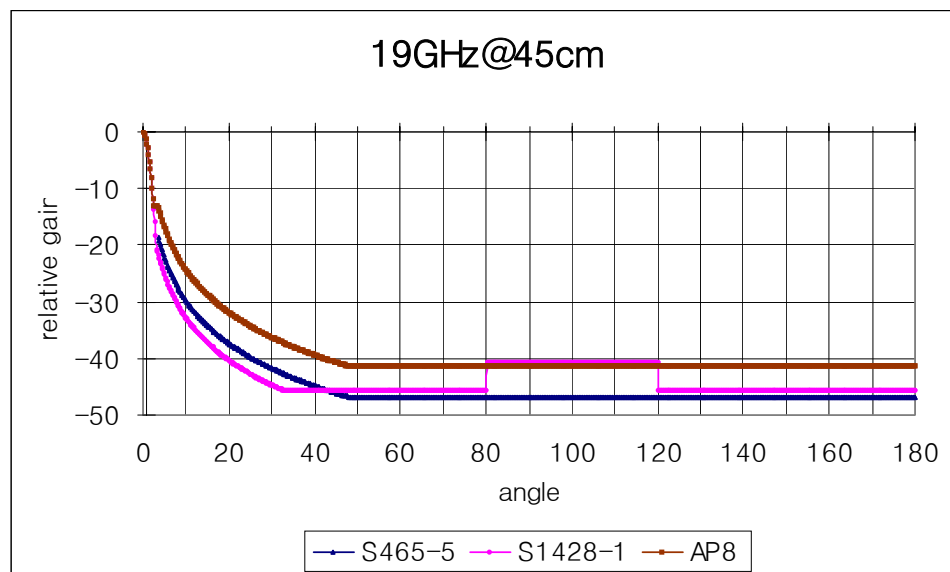
그림 2.1.1에서는 19GHz에서 직경 45cm 안테나에 대하여 ITU-R 권고 S.465-5, S.1428-1 및 전파규칙(RR) 부록(AP) 8의 안테나 패턴을 나타내었다. 이 경우 RR AP7 안테나 패턴은 45cm처럼 작은 크기의 안테나에서는 정의되지 않아 고려하지 않았다. ITU-R 권고 S.465-5 안테나 패턴의 경우 주빔인 3.5°이하에서는 안테나 패턴이 정의되어 있지 않으며, 권고 S.1428-1 안테나 패턴은 80°~ 120°사이에서 상대이득이 높아지는 특징이 있다.

한편 ITU-R 권고 S.1428-1과 RR AP 8의 안테나 패턴은 0 ~ 2.4°까지

는 동일한 안테나 이득을 가지나, $80^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 사이에서의 각을 제외한 2.4° 이상의 각도에서는 ITU-R 권고 S.1428-1의 안테나 패턴이 RR AP 8의 안테나 패턴 보다 최대 약 9dBi 정도 낮은 상대 이득을 가짐을 알 수 있다.

그리고 ITU-R 권고 S.1428-1과 S.465-5는 $0 \sim 44^{\circ}$ 의 각도에서 ITU-R 권고 S.1428-1의 안테나 패턴이 ITU-R 권고 S.465-5의 안테나 패턴 보다 최대 약 3dBi 정도 낮은 상대 이득을 가지나, $80^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 사이에서의 각도를 제외한 44° 이상의 각에서는 ITU-R 권고 S.465-5의 안테나 패턴이 ITU-R 권고 S.1428-1 안테나 패턴 보다 약 1dBi 정도 낮은 상대 이득을 가짐을 알 수 있다.

이러한 결과에서 볼 때 19GHz 주파수대에서 45cm 안테나의 경우 $0 \sim 44^{\circ}$ 의 각에서는 ITU-R 권고 S.1428-1의 안테나 패턴이, 44° 이상에서는 ITU-R 권고 S.465-5의 안테나 패턴이 가장 작은 상대이득을 가짐을 알 수 있다.



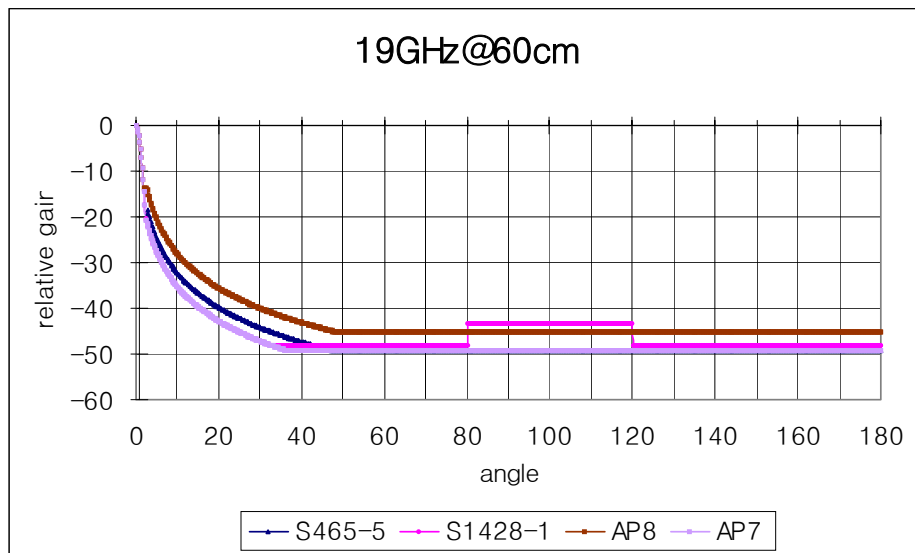
<그림 2.1.1> 19GHz에서 FSS지구국 45cm 수신안테나패턴

<그림 2.1.2>는 60cm 안테나에 대한 것으로, <그림 2.1.1>의 안테나 패턴 외에 RR AP7의 안테나 패턴이 추가되었다. 이는 작은 안테나 크기에서는 RR AP7의 안테나 패턴이 정의되지 못함에 따라 19GHz 주파수대에서는 RR AP7 안테나 패턴은 60cm 이상의 안테나 크기에서만 정의되기 때문이다.

ITU-R 권고 S.1428-1과 RR AP 7의 안테나 패턴은 유사한 상대이득을

가지나, $80^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 사이에서는 RR AP 7의 안테나 패턴이 ITU-R 권고 S.1428-1의 패턴보다 상대이득이 약 6dBi 정도 낮음을 알 수 있다. 이는 back-lobe에서 들어오는 외부간섭에 대해 ITU-R 권고 S.1428-1의 안테나 패턴 보다 RR AP7의 안테나 패턴이 효과적으로 차단할 수 있음을 보여준다. 한편 RR AP7과 ITU-R 권고 S.465-5의 상대 이득차는 $0 \sim 33^{\circ}$ 사이의 각에서 ITU-R 권고 S.465-5의 안테나 패턴보다 RR AP7의 안테나 패턴이 약 3dBi 정도 낮은 상대이득을 가진다. 그리고 RR AP7과 AP8의 안테나 패턴의 비교에 있어서는 RR AP7의 안테나 패턴이 RR AP8 보다 모든 각도에서 상대 이득이 최대 약 7dBi 정도 낮음을 알 수 있다.

이러한 결과에서 볼 때 19GHz 주파수대에서 60cm 안테나의 경우 RR AP7 안테나 패턴이 가장 작은 side-lobe를 보임을 알 수 있다.

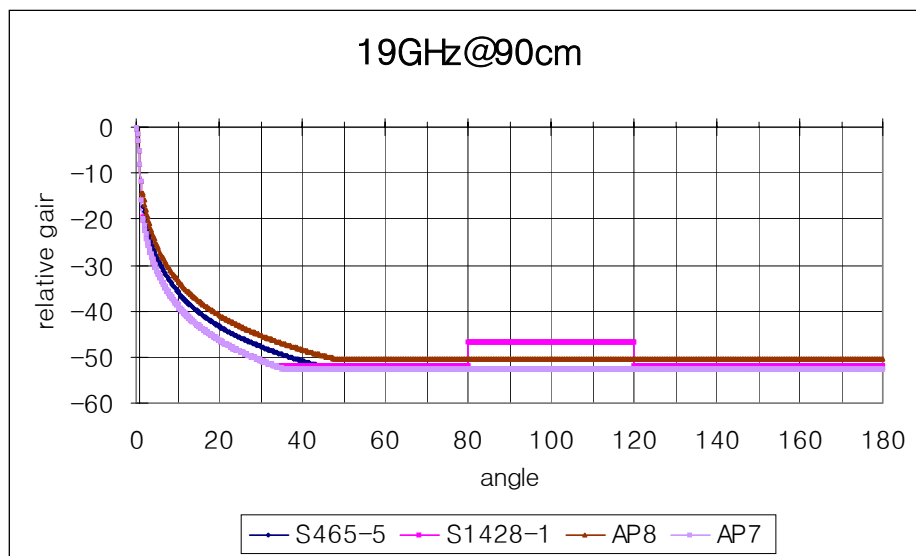


<그림 2.1.2> 19GHz에서 FSS지구국 60cm 수신안테나패턴

<그림 2.1.3>에서는 19GHz 주파수대에서 90cm 안테나 크기에 대한 안테나 패턴을 나타내었다. 그림에서 ITU-R 권고 S.1428-1과 RR AP7의 안테나 패턴은 <그림 2.1.2>와 같이 유사한 상대이득을 가지나, RR AP 7의 안테나 패턴이 ITU-R 권고 S.1428-1의 패턴보다 상대이득이 약 6dBi 정도 낮음을 알 수 있다. 한편 RR AP7과 ITU-R 권고 S.465-5의 상대 이득차는 $0 \sim 33^{\circ}$ 사이의 각에서 ITU-R 권고 S.465-5의 안테나 패턴보다 RR AP7의 안테나 패턴이 약 3dBi 정도 낮은 상대이득을 가진다. 그리고 RR AP7과 AP8의 안

테나 패턴의 비교에 있어서는 RR AP7의 안테나 패턴이 RR AP8 보다 모든 각도에서 상대 이득이 최대 약 5dBi 정도 낮음을 알 수 있다.

이러한 결과에서 볼 때 19GHz 주파수대에서 90cm 안테나의 경우 RR AP7의 안테나 패턴이 가장 작은 side-lobe를 보임을 알 수 있다.



<그림 2.1.3> 19GHz에서 FSS지구국 90cm 수신안테나패턴

19GHz 주파수 대역에서 안테나 크기에 따른 안테나 패턴에 대한 검토에 있어 <그림 2.1.1>, <그림 2.1.2> 및 <그림 2.1.3>의 결과를 비교하여 볼 때 안테나의 크기가 작을수록 상대적으로 수신안테나 패턴의 side-lobe가 커짐에 따라 인접된 지상망으로부터의 간섭에 민감하게 된다. 그러나, 지구국 안테나의 크기는 소형화할수록 설치가 용이한 장점이 있다.

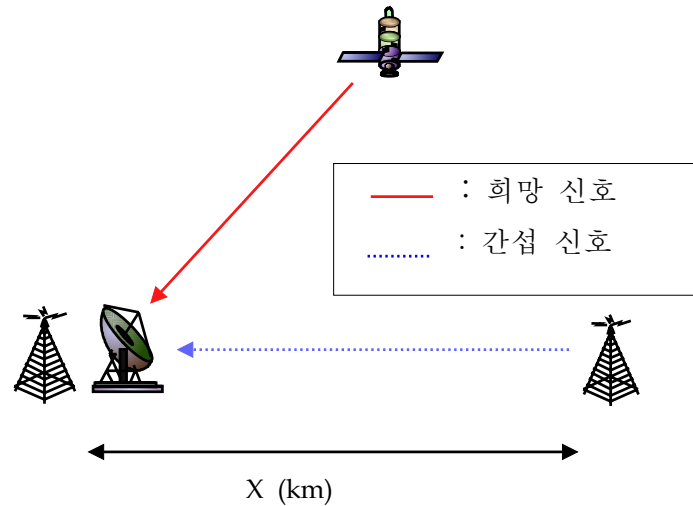
4. 안테나 패턴에 따른 이격 거리 분석

FSS와 FS의 주파수 공유시 FSS 지구국의 안테나 패턴에 따른 FS의 간섭량을 분석하였다. FSS 위성망은 동경 116°에 위성궤도를 위치시키고, 지구국은 동경 128°, 북위 37.5°에 두었으며, 위성망의 일반적인 특성은 ITU-R 권고 S.1328-4를 이용하였다. 또한 19GHz의 FS 지상망은 ITU-R 권고 F.758-3에 의한 일반적인 특성을 이용하였다. (<표 2.1.1> 참조)

<표 2.1.1> 위성망 및 지상망의 주요 파라메타

위성 송신 파라메타		지상망 송신 파라메타	
궤도위치	116°E	해발고	0 m
주파수	19 GHz	주파수	19 GHz
송신 EIRP	57 dBw	EIRP	38 dBw
송신 이득	50.5 dBi	송신 이득	45 dBi
안테나패턴	ITU-R 권고 S.672-3	안테나패턴	ITU-R 권고 F.699-5
편파	수평	편파	수평
지구국 수신 파라메타		지상망 수신 파라메타	
수신이득	39.28 dBi	수신이득	45 dBi
잡음온도	250 K	잡음온도	575 K
편파	수평	편파	수평
안테나크기	60 cm	해발고	0 m

19GHz 대역에서 FSS 지구국 안테나 크기별 패턴에 따른 지상망으로부터 수신지구국의 잡음온도 증가량($\Delta T/T$)이 6%가 되는 거리 산출을 위해 표 1에서의 제원으로 VISUALYSE S/W를 이용하여 분석하였다. 표 2.1.1의 지구국 수신 파라메타 중 안테나 크기는 45cm, 60cm 및 90cm 중 60cm를 중심으로 한 수신이득을 나타낸 것이며, 잡음온도 및 편파는 안테나 크기 및 패턴에 무관하게 <표 2.1.1>의 제원을 이용하였다. 한편 <그림 2.1.4>는 FS로부터 FSS 수신 지구국 간섭 개념도를 나타낸 것이다. 개념도에 있어 수신 지구국과 수신 지상망은 동일한 위치에 있는 것으로 가정하고, 지상망간의 통신 경로와 위성 지구국간의 통신 경로는 일직선상에 있는 것으로 하여 송신 지상망의 위치를 조정하며 분석을 수행하였다.



<그림 2.1.4> FS로부터 FSS 수신 지구국 간섭 개념도

19GHz에서 FSS 수신 지구국 안테나 45cm, 60cm 및 90cm가 지상망으로부터 받는 간섭량($\Delta T/T = 6\%$)을 분석한 결과를 표 2.1.2에 나타내었다. 위성이 동경 116°에 위치한 경우 지구국의 양각은 약 45°가 되므로, 지구국에 들어오는 지상망으로부터의 간섭신호는 지구국 안테나 off-axis angle이 45°가 된다. <표 2.1.2>에서는 이때의 각 안테나 패턴 및 크기별 상대 이득을 나타내고, 수신 지구국의 $\Delta T/T$ 값이 6%가 되는 거리를 산출한 것이다.

<표 2.1.2> 안테나 패턴에 따른 이격 거리

안테나 크기	안테나 패턴	안테나 최대이득	상대 이득 (off-axis : 45°)	이격거리 (X)
45cm	S.465-5	36.79 dBi	-46.12 dBi	26 km
	S.1428-1		-45.79 dBi	27 km
	AP8		-40.66 dBi	48 km
60cm	AP7	39.28 dBi	-49.28 dBi	24 km
	S.465-5		-48.61 dBi	26 km
	S.1428-1		-48.28 dBi	27 km
	AP8		-44.40 dBi	41 km
90cm	AP7	42.81 dBi	-52.81 dBi	24 km
	S.465-5		-52.14 dBi	26 km
	S.1428-1		-51.81 dBi	27 km
	AP8		-49.69 dBi	34 km

<표 2.1.2>에서의 결과를 볼 때 지구국의 안테나 크기에 따른 이격 거리는 side-lobe가 작은 RR AP7이 24km로 가장 적으며, side-lobe가 큰 RR AP8의 안테나패턴을 사용 시 이격 거리가 가장 큼을 알 수 있다. 또한 RR AP8의 패턴을 제외하고는 안테나 크기와 상관없이 이격 거리가 같다. 표 2.1.2의 결과 중 안테나 패턴 ITU-R 권고 S.465-5의 경우를 살펴보면 45cm, 60cm 및 90cm 안테나 모두 이격 거리가 26km인 것을 볼 수 있다. 이 경우는 안테나 크기에 상관없이 안테나 이득이 $36.79 - 46.12 = 39.28 - 48.61 = 42.81 - 52.14 = 9.33$ dBi로 수신 지구국의 안테나 패턴이 안테나 크기에 무관하므로 이격 거리도 같음을 알 수 있다. ITU-R 권고 S.1428-1 및 RR AP7도 ITU-R 권고 S.465-5와 같은 상황이다.

그러나 RR AP8의 안테나 패턴은 안테나 크기별로 이득이 달라지는 것을 볼 수 있다. 즉 45cm 경우 $36.79 - 40.66 = -3.87$ dBi, 60cm인 경우 $39.28 - 44.40 = -5.12$ dBi 이며, 90cm 안테나의 경우 $42.81 - 49.69 = -6.88$ dBi이 됨에 따라 이격 거리가 차이가 남을 알 수 있다. RR AP8과 같은 안테나 패턴을 이용하는 수신 지구국을 사용하여 위성망을 구축할 경우 45cm 안테나와 90cm 안테나의 경우 이격 거리차가 14km 임을 알 수 있다. 이러한 차이는 HD-FSS망 또는 HD-FS망을 구축할 때는 안테나 크기가 망 구성에 중요한 변수로 작용할 수 있다.

또한 같은 안테나 크기 (예, 45cm)의 경우 안테나 패턴에 따라 $48 - 26 = 22$ km의 이격 차이를 보임으로 안테나 패턴 또한 고밀도 시스템 구성에 주요 변수로 작용될 수 있다.

이상의 결과는 지구국과 지상망이 하나의 망으로만 구성되어 있을 때의 이격 거리를 나타낸 것으로 실질적으로 HD-FSS 또는 HD-FS로 지구국 및 지상망을 구성할 때 HD-FSS 및 HD-FS가 가지는 소형화 및 고밀도화라는 특성을 감안하면 이러한 안테나 패턴별 이격 거리의 차이가 두드러지게 나타날 것으로 예상된다.

5. 결 론

Ka대역의 무선통신망 구축과 관련하여 HD-FSS 및 HD-FS에 관한 연구

가 선진국을 중심으로 활발하게 진행되고 있으며, 이에 ITU-R에서도 FSS와 FS간의 공유를 위한 간섭완화 기술에 관한 다양한 논의를 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 ITU-R에서 연구중인 다양한 간섭완화 기술 중 FSS 지구국의 안테나 패턴 및 크기에 따른 이격 거리를 분석하였다.

분석 결과, 19GHz 대역에서 HD-FSS용 수신 지구국 안테나 패턴은 RR AP7과 같이 side-lobe가 작은 안테나 패턴이 적절할 것이다. 또한 RR AP7의 안테나 패턴을 가지는 지구국과 권고 F.699-5의 안테나 패턴을 가지는 지상망과의 이격 거리는 최소 24km가 되어야 함을 알 수 있었다. 같은 안테나 크기 (예, 45cm)에서도 안테나 패턴에 따라 최대 22km의 이격 거리가 차이가 나며, 같은 안테나 패턴의 경우 안테나 크기에 따라 이격 거리가 14km 차이 남을 알 수 있었다.

제 2 절 12GHz 대역에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간의 주파수 공유 방법 연구

1. 서 론

위성 자원의 한정성으로 인하여 위성 궤도 및 주파수를 보다 효율적으로 이용하는데 많은 관심이 집중되어 왔다. 위성 자원의 경우 그 궤도를 이격시키거나 주파수를 달리하는 것으로는 그 수요를 충당할 수 없으므로 같은 주파수를 동시에 여러 시스템에서 사용하기 위한 방법들에 대한 논의가 국제적으로 계속되고 있다.

국제전기통신연합(ITU)¹⁾의 전파규칙(RR)²⁾ 21조에서는 정지궤도(GSO)³⁾ 및 비정지궤도(non-GSO)⁴⁾를 이용하는 위성시스템과 고정통신(FS)⁵⁾ 또는 이동통신(MS)⁶⁾ 시스템이 주파수를 공유할 수 있도록 위성시스템의 출력을 지구표면에서의 전력속밀도(pfd)⁷⁾로 규제하고 있다. 또한 22조에서는 특정 주파수대역에서 GSO를 이용하는 위성시스템과 non-GSO를 이용하는 위성시스템의 주파수 공유를 위하여 non-GSO 위성시스템의 출력을 등가전력속밀도(epfd)⁸⁾로 제한하고 있다. 하지만 이러한 출력 제한만으로는 서로 다른 시스템들이 주파수를 공유하는데 한계가 있으며, 만약 이들 시스템간에 간섭을 완화시킬 수 있는 어떠한 기술들이 적용된다면 보다 효과적인 주파수 공유가 가능해 질 것이다. 이에 따라 ITU-R⁹⁾에서는 위성시스템의 출력 제한과 더불어 주파수를 공유하는 시스템들간에 적용할 수 있는 간섭 완화기술에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

고타원형궤도(HEO)¹⁰⁾는 궤도 특성 측면에서는 저궤도(LEO)¹¹⁾나 중궤도(MEO)¹²⁾와 함께 non-GSO의 범주에 포함되고 시스템 운용 특성 측면에서

1) ITU : International Telecommunication Union

2) RR : Radio Regulations

3) GSO : Geostationary Orbit

4) non-GSO : non-Geostationary Orbit

5) FS : Fixed Service

6) MS : Mobile Service

7) pfd : Power-Flux Density

8) epfd : Equivalent Power-Flux Density

9) ITU-R : ITU Radiocommunication Sector

10) HEO : Highly Elliptical Orbit

11) LEO : Low Earth Orbit

는 LEO 혹은 MEO 위성시스템과 GSO 위성망의 복합적인 특성을 가지며 LEO 혹은 MEO 위성시스템에 비해서 GSO 위성망과의 주파수 공유 가능성이 향상되므로 이 궤도의 이용에 대한 관심이 증가하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 HEO를 이용하는 위성시스템과 GSO를 이용하는 위성망이 주파수를 공유할 경우 두 시스템에 몇 가지 간섭 완화기술을 적용하여 간섭량을 계산하고 그 간섭 완화효과를 비교함으로써 두 시스템이 효과적으로 주파수를 공유할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

2. 고정위성시스템(FSS)간에 적용될 수 있는 간섭 완화기술

ITU-R은 주파수를 공유하는 시스템들간에 적용할 수 있는 간섭 완화기술에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있으며 이들 연구 결과를 토대로 간섭 완화기술에 대해서 권고하고 있다. ITU-R 권고 S.1431은 10~30GHz 대역에서 이동위성시스템의 피더링크를 제외한 non-GSO FSS¹³⁾ 시스템들간에 적용될 수 있는 간섭 완화기술들을 간단히 소개하고 있는데, 이 권고에 소개된 간섭 완화기술은 위성 다이버서티, 위성 선택 전략, 위성 안테나 부엽, 지구국 안테나 부엽, 주파수 채널화, 링크 밸런싱, 편파 분리 등이다. ITU-R 권고 S.1595에서는 HEO FSS 시스템과 LEO FSS 시스템 혹은 MEO FSS 시스템간에 4가지의 간섭완화기술 즉, 위성 다이버서티, 위성 선택 전략, 지구국 사이트 분리, HEO 원지점 회피를 실제 적용하여 시뮬레이션한 결과를 비교함으로써 HEO FSS 시스템과 LEO FSS 시스템 혹은 MEO FSS 시스템간의 주파수 공유에서 이들 간섭완화기술의 적용 가능성에 대해서 기술적인 평가를 하고 있다. 하지만 이들 기술을 HEO FSS 시스템간에도 적용할 수 있는지에 대해서는 연구가 더 필요함을 지적하고 있다. WRC¹⁴⁾-03은 결의 136(Rev.WRC-03)을 통하여 37.5~50.2GHz 대역에서 GSO FSS망과 non-GSO FSS 시스템간의 주파수 공유를 위한 간섭완화기술로서 위성 다이버서티, 지구국간 지리적 이격, 사이트 이격, 적응형 코딩, 링크 밸런싱 등에 대해 연구해 줄 것을 ITU-R에 요청하였다. 이들 권고 및 결의에서 소개하고 있는 간섭완화기술들을 간단히 정리하면 다음과 같다.

12) MEO : Medium Earth Orbit

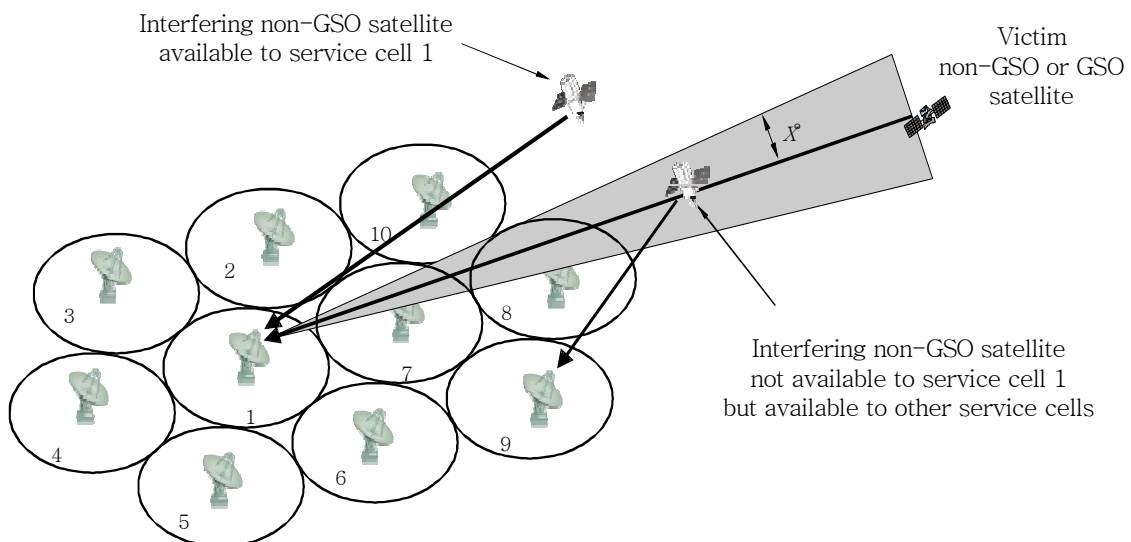
13) FSS : Fixed Satellite Service

14) WRC : World Radiocommunication Conference

가. 위성 다이버시티 (Satellite diversity)

인라인 간섭(in-line interference)은 간섭을 주는 non-GSO 위성시스템의 위성이 간섭을 받게 되는 다른 non-GSO 위성시스템 또는 GSO 위성망의 회망 지구국과 회망 위성 사이에 직접 위치함으로써 발생하게 되는데, 위성 다이버시티는 이러한 인라인 간섭 상황이 발생할 때마다 간섭을 주는 non-GSO 위성과 통신을 하게 되는 지구국이 이 위성이 아닌 다른 가시 위성을 선택하게 함으로써 인라인 간섭이 발생하지 않도록 하는 것이다. 즉 간섭을 받게 되는 위성의 회피각을 X° 로 하고, 간섭을 주는 위성이 이 회피각 내에 들어오게 되면 이 간섭을 주게 될 위성은 송신을 중단하고 그 상대 지구국은 가시 위성 중에서 회피각 밖에 있는 위성을 선택하게 되는 것이다.

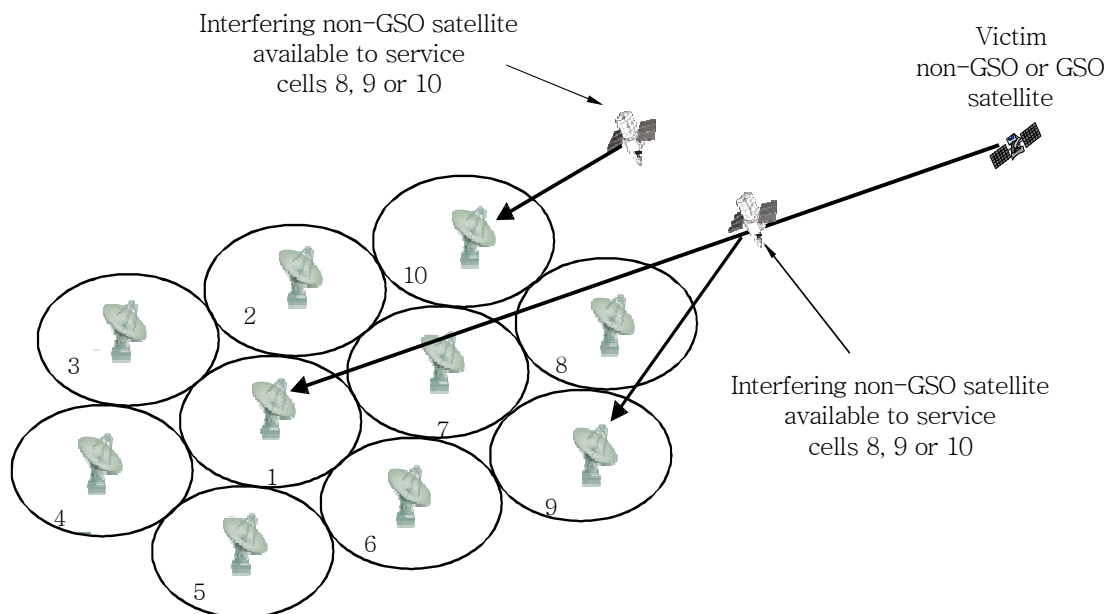
위성 다이버시티 기술을 적용하기 위해서는 위성간 핸드오버가 필요하므로 시스템이 복잡해지고 두 위성시스템에 속하는 위성들에 대한 상세한 위치 정보가 필요하므로 근본적으로 위성 시스템의 서비스 용량이 감소하게 된다. 또한 간섭을 주는 non-GSO FSS 시스템은 하나의 지역을 동시에 여러 위성이 서비스 할 수 있어야 하므로 많은 위성이 필요하며 모든 non-GSO 위성시스템이 이러한 조건을 만족시키기는 어렵다. <그림 2.2.1>은 X° 의 회피각에 의한 간섭완화방법을 간단히 도시한 것이다.



<그림 2.2.1> 회피각을 이용한 간섭완화 개요

나. 지구국 사이트 다이버시티 (Earth station site diversity)

경우에 따라서는 간섭완화기술로서 지구국 사이트 다이버시티가 사용될 수도 있다. 이 기술은, 인라인 간섭이 발생했을 때 간섭을 주는 위성이 간섭을 받게 되는 지구국 쪽을 향하지 않고 멀리 떨어져 있는 다른 지구국을 향하도록 하기 위해서, 지구국 분리가 필요하다. 이 기술을 사용하면 주빔 대 주빔 간섭이 발생하지 않고 부엽 대 주빔 간섭이 발생함으로써 결과적으로 간섭량이 감소하게 된다. 이 기술은 지구국이 서로 적정 거리 이상 떨어져있을 때 더 효과적이다. 이 기술을 이용하게 되면, 위성의 이용에는 큰 영향이 없지만 non-GSO 위성시스템이 어떤 주어진 지역에서 서비스할 수 있는 지구국의 수가 감소하게 되고 이들 지구국의 위치도 제한을 받게 되어, 임의의 지역에 대한 서비스 용량이나 지상에 대한 수용량이 감소하게 된다. 또한 이 기술을 이용하기 위해서는 간섭을 받게 되는 지구국의 모든 위치에 대한 정보가 필요하다. <그림 2.2.2>는 지구국 분리에 의한 간섭완화방법을 도시한 것이다.



Interfering earth station cells 1-7 have been removed from the scenario, only the victim earth station remains in cell 1.

<그림 2.2.2> 지구국 분리에 의한 간섭완화 개요

다. 위성 선택 전략 (Satellite selection strategies)

non-GSO FSS 시스템이 위성 선택 알고리즘을 이용하면 non-GSO FSS 시스템들간의 주파수 공유 가능성이 향상된다. 일반적으로 지구국은 고양각을 형성하는 위성을 선택하여 통신을 하게 된다. 위성 선택 전략 기술은 한 위성 시스템의 지구국이 통신할 위성을 선택할 때 다른 non-GSO 위성시스템의 위성들과 가장 크게 각도가 이격된 위성을 선택하는 식의 트래킹 방법을 사용하여 시스템간의 간섭을 감소시키고 공유 가능성을 향상시키는 것이다. 하지만 이 기술을 적용하면 시스템 운용 측면에서 시스템이 많이 복잡해지고 서비스 용량이 감소하게 된다. 또한 두 non-GSO 위성시스템의 위성들에 대한 상세한 궤도 위치 정보가 필요하다. 비록 이 기술은 가시 위성의 수를 감소시키지는 않지만 위성의 스위칭 수가 증가할 수 있고 자주 저양각에서 링크가 형성됨으로 인해서 서비스의 품질이 저하될 수 있다. 또한 저양각에서 형성되는 링크는 GSO 아크와의 이격을 감소시킬 수가 있다.

라. HEO 원지점 회피 (HEO apogee avoidance)

HEO 원지점 회피는 GSO 아크 회피와 유사한 기술이다. GSO 아크 회피는, 위성 다이버시티에서 설명한 것처럼, GSO 위성망과 non-GSO 위성시스템이 주파수를 공유할 때 non-GSO 위성이 GSO 아크 회피각 내에 들어올 경우 송신을 중단하고 상대 지구국은 GSO 아크 회피각 밖에 있는 다른 위성을 선택하여 통신하는 것이다. HEO 위성시스템이 $\sim 63^\circ$ 의 경사각, 90° 또는 270° 의 근지점각(argument of perigee)¹⁵⁾으로 많이 설계된다는 점을 고려하면 이로부터 HEO의 원지점 부근의 서비스 아크가 정의될 수 있고 다른 non-GSO 위성시스템들로 하여금 이 아크를 회피하게 하는 것이 HEO 원지점 회피 기술이다.

경사진 타원형 궤도의 경우, 근지점각이 중력의 불균일한 잡아당김에 의해서 일정하게 유지되지 않고 변하게 된다. 물론 달이나 태양의 인력에 의해서도 변하게 된다. HEO의 경우 궤도의 운용 부분 즉 원지점 부분이 일정하게 지구 상공의 어떤 지역이 되도록 하여야 하는데 이를 위해서 근지점각을

15) HEO 위성시스템이 90° 의 근지점각을 갖는 HEO로 설계된다면, 궤도의 원지점이 남반구 쪽에 위치하게 되므로 이 시스템의 서비스 지역은 남반구 쪽이 된다. HEO 위성시스템에서 궤도의 근지점각이 270° 이면 서비스 지역은 북반구가 된다.

일정하게 유지할 필요가 있다. 궤도의 경사각이 63.4° 또는 116.6° 일 경우 장 반경이나 이심률에 관계없이 근지점각이 일정하게 유지되는데, 이러한 이유로 많은 HEO 위성시스템들이 $\sim 63^\circ$ 의 경사각을 이용하게 된다.

HEO 원지점 회피 기술은, HEO 지구국의 위치가 알려져 있는 경우, HEO의 원지점의 서비스 아크 내에서 LEO 또는 MEO 위성의 빔이 HEO 지구국을 향하지 않도록 하는 것이다. 만약 HEO 지구국이 도처에 산재해 있다면, LEO 또는 MEO 위성의 빔은 HEO의 원지점의 서비스 아크 내에서 인라인 간섭이 발생할 수 있는 모든 HEO 지구국의 위치를 피하여야 한다. 위성의 빔의 이러한 재방향(redirection)으로 인라인 간섭의 발생을 피할 수 있고 이로 인하여 HEO 위성의 궤도 위치에 대한 상세한 정보 없이도 두 non-GSO 위성들간의 간섭이 허용 가능한 레벨로 감소하게 될 것이다. 하지만 이 기술은 근본적으로 간섭완화기술이 적용되는 위성시스템의 서비스 용량을 감소시키게 된다. 이 기술을 이용할 경우, 도처에 산재하는 HEO 지구국으로부터 위성의 빔을 재방향시키는 것보다는 몇몇의 알려진 HEO 지구국의 위치로부터 위성의 빔을 다른 방향으로 돌리는 것이 간섭을 주는 시스템의 위성의 커버리지에 영향을 덜 주게 될 것이다. ITU-R 권고 S.1595에 의하면, 이 기술을 적용할 경우 LEO 및 MEO 위성시스템으로부터 HEO 위성시스템으로의 간섭량은 확연하게 감소하지만, HEO 위성시스템으로부터 LEO 혹은 MEO 위성시스템으로의 간섭량은 전자와 비교하여 적은 감소를 보임을 알 수 있다. 이 기술은 지구의 임의의 지점에서 서비스할 수 있는 위성(간섭을 주는 non-GSO 위성시스템의 위성)의 수를 감소시키지만, 간섭을 받는 HEO 위성시스템의 위성들의 궤도 위치에 대한 정보는 필요하지 않다.

마. 위성 안테나 부엽 (Satellite antenna side lobes)

한 non-GSO 위성시스템의 위성이 다른 non-GSO 위성시스템 또는 GSO 위성망의 지구국이 위치한 곳이 아닌 다른 지역을 서비스하는 동안 인라인 간섭이 발생하는 경우, 이 non-GSO FSS 위성이 부엽 특성이 좋은 안테나를 사용한다면 다른 non-GSO FSS 시스템 또는 GSO FSS 위성망의 지구국 안테나의 주빔으로부터 그리고 주빔으로의 간섭량이 감소하게 될 것이다. 경우에 따라서는, 만약 위성의 커버리지가 특정 지구국의 위치를 포함하지 않는다면 부엽 특성이 좋은 안테나의 사용은 요구되는 회피각(지구 대 우주 회

피인 경우에)을 감소시킬 수 있을 것이다. 하지만 non-GSO FSS 시스템의 디자인시 안테나 비용과 위성의 전체 무게 측면에서 영향이 있을 것이다.

바. 지구국 안테나 부엽 (Earth station antenna side lobes)

지구국에서 낮은 부엽을 갖는 안테나를 사용한다면 다른 위성시스템으로의 간섭이 감소할 것이고 작은 회피각이 가능할 것이다. 하지만 안테나 디자인 가격이 상승할 것이다.

사. 주파수 채널화 (Frequency channelization)

주파수 채널화는 지정된 주파수대역을 작은 대역으로 나누는 것으로, 각 하위 대역(sub-band)은 C/I 레벨이 증가하도록 가장 가까운 동일 주파수 빔으로부터 공간적으로 분리된 다른 빔에 할당된다. 이러한 방법으로 주파수대역을 나누면 주파수가 겹칠 가능성이 줄어들어 간섭이 감소하게 되고 더 넓은 주파수대역으로의 간섭이 감소하게 된다. 하지만 시스템 용량이 감소하고 위성 디자인이 복잡해지며 위성시스템간에 조정이 많이 필요할 수 있다.

아. 링크 밸런싱 (Link balancing)

하향 송신에서, 링크 밸런싱은 서로 다른 non-GSO FSS 시스템들 또는 non-GSO FSS 시스템과 GSO FSS 시스템이 지구 표면의 임의의 지점에서 거의 같은 전력속밀도(pfd)로 운용되도록 하는 것이다. 즉, 한 시스템이 어떤 pfd 레벨로 운용되고 있다면 이 대역에서 새로 운용될 시스템도 기존의 시스템과의 최적의 공유를 위하여 비슷한 pfd 레벨로 운용하는 것이다. 만약 이 새로운 시스템이 더 높은 pfd 레벨로 운용된다면 기존의 시스템이 간섭을 받게 될 것이고, 더 낮은 pfd 레벨로 운용된다면 이 시스템이 기존의 시스템으로부터 간섭을 받게 될 것이다.

상향 송신의 경우에, 링크 밸런싱은 다른 시스템과 관련된 하나의 시스템에서 반송파 레벨간의 차이가 크지 않게 하기 위하여 그들의 송신 파라미터가 균일하게 링크를 디자인하는 것이다. 송신 환경의 조화를 위해서, 더 민감한 위성시스템의 반송파는 다른 위성시스템의 반송파로부터 받게 되는 간섭으로부터 그들 자신을 보호하기 위하여 더 큰 고정 마진으로 운용될 수

있을 것이다. 이 간섭은 일반적으로 단기간 간섭(short term interference)이기 때문에 인라인 간섭과 동시에 큰 페이딩이 일어날 확률은 적다.

자. 편파 분리 (Alternate polarization)

두 시스템이 같은 지역 내에서 직교하는 편파를 사용한다면 두 시스템은 같은 주파수를 사용할 수 있을 것이다. 하지만 편파 분리는 두 시스템간의 공유에만 유용하며, 세 번째 시스템은 다른 두 시스템과 직교하는 편파를 유지할 수 없다. 이 기술을 이용하면 주파수를 공유하는 시스템들간에 많은 조정이 필요할 것이다.

3. HEO FSS(하향)으로부터 GSO FSS(하향)으로의 간섭완화량 계산

가. 시뮬레이션 방법

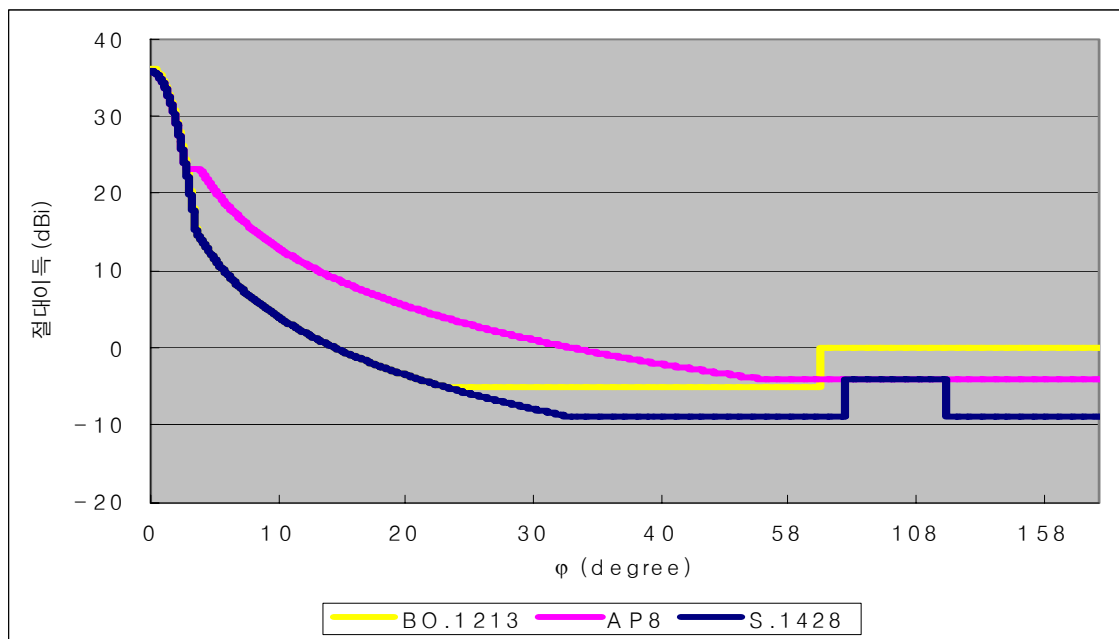
HEO 위성으로부터 GSO 지구국으로의 간섭량을 계산하는데 필요한 HEO 지구국, GSO 지구국 및 GSO 위성의 위치는 다음과 같이 선정하였다. 우선 GSO 위성의 경도를 동경 111.95°에 고정시키고 HEO 지구국 및 GSO 지구국의 위도는 북위 30°에 고정, 경도는 동경 111.95°에서 동쪽으로 1°씩 증가시켜가면서 각 위치에서의 간섭량을 평균 $\Delta T/T^{16)}$ 로 계산하였다. 그리고 GSO 위성의 경도를 동경 111.95°에서 동쪽으로 1°씩 증가시켜가면서 앞의 과정을 반복하여 각 위치에서의 간섭량을 평균 $\Delta T/T$ 로 계산하였다. 이렇게 모아진 평균 $\Delta T/T$ 데이터 중에서 평균 $\Delta T/T$ 가 높게 나타나는 9개의 위치를 선정하였다.

먼저, 9개의 위치에서 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 어떠한 간섭완화기술도 적용하지 않고 HEO 위성으로부터 GSO 지구국으로의 평균 $\Delta T/T$ 를 계산한 후, 간섭완화기술로서 GSO 아크 회피, GSO 지구국의 안테나 패턴 변화, 편파 분리 및 지구국간 거리 이격을 적용하여 평균 $\Delta T/T$ 를 계산하고 그 값을 비교함으로써 이들 기술의 적용에 의한 간섭완화효과를 평가하였다. 또한 몇 가지 간섭완화기술을 동시에 적용하였을 경우에 대해서도 간섭완화효과를 분석하였다.

16) 본 연구에서 평균 $\Delta T/T$ 값은 시뮬레이션 시간에 대한 평균치를 의미한다.

GSO 아크 회피에 의한 간섭완화효과를 분석하기 위하여, HEO 위성의 액티브 아크의 시작 위도를 적도에서 남·북위로 5°씩 증가시켰다. 한 예로, HEO 위성을 남·북위 30° 이상에서 액티브 상태가 되게 함으로써 30°의 GSO 아크 회피 효과가 나타나도록 하였다. GSO 아크 회피각은 0°에서 55°까지 5°씩 증가시켰다.

GSO 지구국의 수신 안테나 패턴은 ITU-R 권고 S.1428, BO.1213 및 RR의 Appendix 8을 사용하였다. <그림 2.2.3>은 이들 3개의 안테나 패턴을 비교하여 도시한 것이다. ITU-R 권고 S.1428과 BO.1213은 주엽 특성은 비슷하지만, ITU-R 권고 S.1428이 보다 개선된 부엽 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. RR의 Appendix 8은 ITU-R 권고 S.1428과 BO.1213에 비해서 전체적으로 부엽 특성이 좋지 않지만 후엽 특성은 ITU-R 권고 BO.1213에 비해서 좋은 것을 볼 수 있다. RR의 Appendix 8은 off-axis angle이 커짐에 따라 안테나 이득이 감소하다가 off-axis angle $\geq \sim 48^\circ$ 에서는 일정하게 유지된다. ITU-R 권고 S.1428과 BO.1213은 off-axis angle이 커짐에 따라 안테나 이득이 감소하다가 다시 증가하는 부분이 나타나게 되는데, ITU-R 권고 S.1428은 off-axis angle이 $80^\circ \sim 120^\circ$ 일 때, BO.1213은 off-axis angle $\geq \sim 70^\circ$ 일 때 안테나 이득이 다시 증가하게 된다.



<그림 2.2.3> GSO 지구국에 사용된 안테나 패턴
(12.7GHz, 안테나 크기 : 0.6m)

편파 분리에 의한 간섭완화 효과를 분석하기 위하여 HEO 위성시스템과 GSO 위성망이 서로 직교하는 편파 즉, HEO 위성시스템은 좌선향 편파 (LHCP)¹⁷⁾를, GSO 위성망은 우선향 편파(RHCP)¹⁸⁾를 사용하는 것으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

HEO 지구국과 GSO 지구국간의 지리적 이격은, HEO 지구국을 한 지점에 위치시키고 이 HEO 지구국을 중심으로 하여 GSO 지구국을 방위각 30° 간격으로 12개를 원형으로 위치시켜서 GSO 지구국의 각 위치에서 평균 $\Delta T/T$ 를 계산하였다. 반경을 점점 증가시켜가면서 평균 $\Delta T/T$ 를 계산하고 각 이격거리에서 평균 $\Delta T/T$ 값이 가장 큰 것을 선택하였다.

컴퓨터 시뮬레이션은 상용 프로그램인 Visualyse를 사용하여 수행하였다. HEO 위성시스템은 총 15개의 위성을 이용하여 USAKU-H2형으로 위성군을 구성하였다. 북반구 쪽에서 액티브 상태가 될 수 있는 위성 즉, 원지점이 북반구 쪽에 있는 궤도들을 도는 위성이 10개이고, 남반구 쪽에서 액티브 상태가 될 수 있는 위성이 5개이다. 이 15개의 위성 중에서 임의의 순간에 액티브 상태인 위성은 9개로, 6개는 북반구에 그리고 3개는 남반구에 존재한다. 또한 5개의 위성이 지구 표면에서 동일한 궤적을 형성하며 돌게 되므로, 북반구에는 2개의 궤적이, 남반구에는 1개의 궤적이 존재하게 된다. 시뮬레이션에 이용된 시스템 특성 및 간섭평가기준을 간단히 정리하면 다음과 같다.

o HEO 위성의 특성

- 시스템 타입 : USAKU-H2
- 액티브 위성 수 : 9 (북반구 : 6, 남반구 : 3)
- 동일 궤적을 가지는 위성 수 : 5 (액티브 : 3)
- 궤적 간격 : 60°(북반구), 120°(남반구)
- 궤도 경사각 : 63.435°
- 궤도 주기 : 8시간
- 원지점 고도 : 27288.3km
- 근지점 고도 : 517.4km
- 이심률 : 0.66

17) LHCP : Left-handed circular polarization

18) RHCP : Right-handed circular polarization

- e.i.r.p. : 35dBW/MHz
- 안테나 방사패턴 : ITU-R 권고 S.672-3
- 지구국의 위성 트래킹 방법 : 지구국은 가시 HEO 위성 중 가장 고앙각을 형성하는 위성 선택

o GSO 수신 지구국의 특성

- 주파수 : 12.7GHz
- 안테나 직경 : 0.6m
- 안테나 패턴 : ITU-R 권고 S.1428, BO.1213, RR AP8
- 안테나 최고 이득 : 35.8dBi(S.1428), 36.2dBi(BO.1213), 35.8dBi(AP8)
- 잡음온도 : 110K

o 시뮬레이션 시간 : 8시간 (HEO 위성의 1 주기), $\Delta t=20$ 초

o 간섭평가기준 : 전세계적으로 9개의 HEO 위성시스템이 존재하는 경우를 가정하여, 하나의 HEO 위성시스템에 의한 $\Delta T/T$ 는

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{6\%}{9} \simeq 0.67\%$$

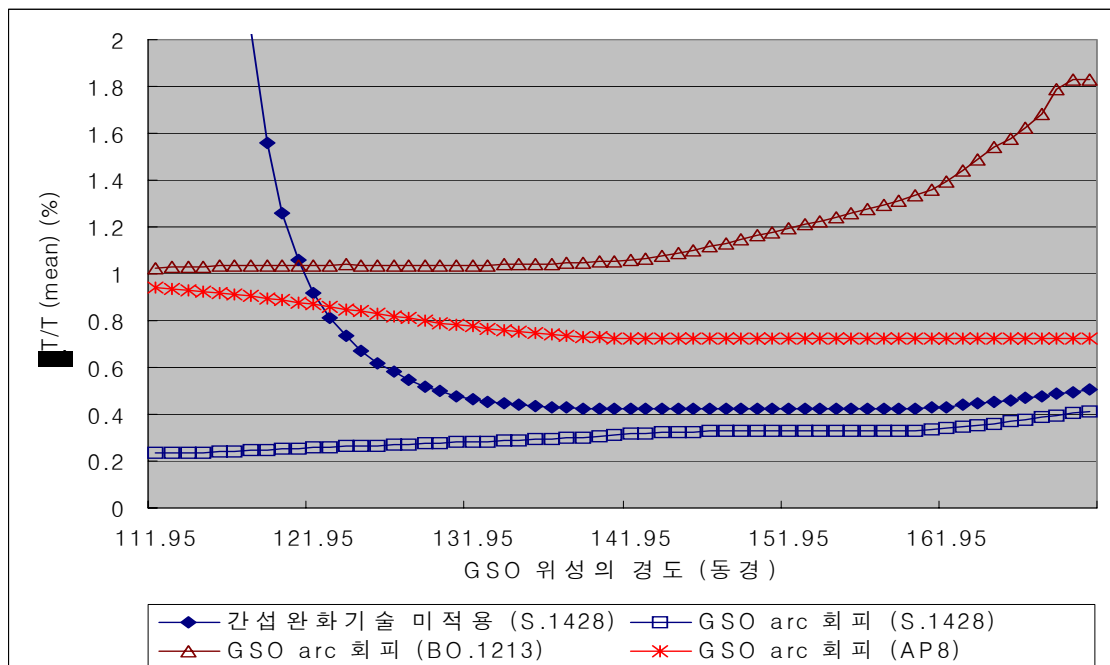
나. 시뮬레이션 결과

<그림 2.2.4>는 HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치를 고정시키고(북위 30°, 동경 111.95°) GSO 위성의 위치를 변화시켜서 평균 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과로서, GSO 위성의 위치는 동경 111.95°에서 동경 170.95°까지 1°씩 증가시켰다. HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 어떠한 간섭완화기술도 적용하지 않았을 때, ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용하는 GSO 지구국이 HEO 위성으로부터 받게 되는 간섭은 GSO 위성의 경도가 동경 111.95°~동경 114.95° 일 경우에 평균 $\Delta T/T$ 가 159%~51%로 매우 높게 나타난다. 이는 HEO 위성으로부터의 간섭이 GSO 지구국의 off-axis angle 10°~13° 이상으로 유입되기 때문이다. GSO 위성의 경도가 동경 158.95° 이후부터 평균 $\Delta T/T$ 가 다소 증가하는 것은 ITU-R 권고 S.1428의 경우 off-axis angle이 80°~120° 일 때 안테나 이득이 증가하기 때문이다(<그림 2.2.3> 참조).

GSO 지구국의 안테나 패턴이 ITU-R 권고 S.1428이고 HEO 위성시스템에

30°의 GSO 아크 회피가 적용되었을 경우, 간섭완화기술이 적용되지 않았을 때에 비하여 평균 $\Delta T/T$ 가 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, GSO 위성의 경도가 동경 111.95°~동경 114.95°인 경우에 평균 $\Delta T/T$ 가 급격히 감소하는데, 이것은 HEO 위성의 30° GSO 아크 회피로 인해서 GSO 지구국의 off-axis angle 34° 이상으로 간섭이 유입되기 때문이다.

HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 30°의 GSO 아크 회피가 적용되었을 경우, GSO 지구국의 안테나 패턴을 변화시켜서 평균 $\Delta T/T$ 를 계산해보면, ITU-R 권고 S.1428, RR AP8, ITU-R 권고 BO.1213 순으로 평균 $\Delta T/T$ 가 커지는 것을 볼 수 있다. GSO 위성이 동경 111.95°에 위치하고 HEO와 GSO 지구국이 북위 30°, 동경 111.95°에 위치할 경우, 30°의 GSO 아크 회피가 적용된 HEO 위성시스템의 위성으로부터 GSO 지구국이 받게 되는 간섭은 34° 이상의 off-axis angle로 유입되게 된다. 즉, HEO 위성의 궤적에서 북위 30°, 동경 111.95°인 지점이 HEO 위성의 액티브 아크의 시작점이라면, HEO 위성이 지구상의 북위 30°, 동경 111.95°인 지점의 상공을 지나가는 순간에 GSO 지구국이 이 HEO 위성으로부터 받는 간섭은 GSO 지구국의 off-axis angle



<그림 2.2.4> GSO 위성의 경도 변화에 따른 평균 $\Delta T/T$
 (HEO 및 GSO 지구국의 위치 : 북위 30°, 동경 111.95°
 GSO 아크 회피각 : 30°)

34°로 들어오게 된다. HEO 위성이 점점 북쪽(원지점쪽)으로 이동함에 따라서 GSO 지구국으로 유입되는 간섭의 off-axis angle은 점점 증가하게 된다. 이 경우, GSO 지구국의 안테나 패턴에서 off-axis angle이 34° 이상일 때의 패턴이 실질적으로 GSO 지구국의 평균 $\Delta T/T$ 에 영향을 주게 된다.

ITU-R 권고 S.1428은 시뮬레이션을 수행한 3개의 안테나 패턴 중 주엽 및 부엽 모두에서 가장 좋은 안테나 특성을 보이므로, <그림 2.2.4>에서 평균 $\Delta T/T$ 값도 가장 작게 나타나는 것을 알 수 있다. ITU-R 권고 BO.1213과 RR AP8의 경우, <그림 2.2.3>을 보면, ITU-R 권고 BO.1213이 RR AP8에 비해서 전체적으로 더 좋은 부엽 특성을 보이지만 off-axis angle이 70° 이상에서는 RR AP8이 더 좋은 안테나 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 <그림 2.2.4>에서 GSO 지구국이 ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용하였을 때보다 RR AP8의 패턴을 사용하였을 때 평균 $\Delta T/T$ 가 더 작게 나타나는 것은 70° 이상의 off-axis angle로 들어오는 간섭이 그 이하의 off-axis angle로 들어오는 간섭보다 GSO 지구국에 더 많은 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다. ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용할 경우, GSO 위성의 경도가 커짐에 따라 off-axis angle이 커짐에도 불구하고 평균 $\Delta T/T$ 가 증가하는 것은, 이미 언급한 것처럼, ITU-R 권고 BO.1213이 off-axis angle $\geq 70^\circ$ 에서 안테나 이득이 다시 커지기 때문이며, ITU-R 권고 S.1428의 경우와 비교하여 평균 $\Delta T/T$ 가 더 큰 증가를 보이는 것은 off-axis angle $\geq 70^\circ$ 에서 ITU-R 권고 BO.1213의 off-axis gain이 훨씬 크기 때문이다.

<표 2.2.1>은 선정된 9개 위치에서 간섭완화방법을 적용하지 않은 경우와 간섭완화방법으로서 GSO 지구국의 안테나 패턴 변화, 편파 분리, 30°의 GSO 아크 회피를 적용한 경우의 평균 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과이다.

간섭완화기술을 적용하지 않은 경우, GSO 지구국이 ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용하면 일부 위치에서 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하는 것을 볼 수 있다. 비록 이들 위치에서 $\Delta T/T$ 의 평균값들은 간섭평가기준을 만족하지만, $\Delta T/T$ 의 실제 값들은 전체 시뮬레이션 시간에 대해서 10~40% 정도의 시간률 동안 간섭평가기준을 초과하므로 이는 실질적으로 GSO 지구국의 운용을 매우 어렵게 한다.

<표 2.2.1> 간섭완화기술의 적용으로 인한 평균 $\Delta T/T$ 의 변화

($\Delta T/T$ 의 평균값이 간섭평가기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

평균 $\Delta T/T$ (%)	HEO 및 GSO 지구국 위치		북위 30° 동경 111.95°			북위 30° 동경 121.95°			북위 30° 동경 131.95°		
	GSO 위성의 동경		112.95°	147.95°	170.95°	111.95°	121.95°	180.95°	111.95°	145.95°	190.95°
간섭완화기술 미적용	S.1428	평균값*	158.62	0.42	0.51	1.25	0.46	0.97	0.34	0.24	0.68
		최대값**	46597.79	1.67	1.71	147.77	8.78	4.74	3.69	1.03	3.24
		시간률***	16.34	16.34	26.59	14.53	14.51	41.66	6.83	6.50	29.67
	BO.1213	평균값*	174.44	1.32	2.59	1.93	1.24	2.60	1.01	1.02	1.87
		최대값**	51093.46	4.20	13.22	147.77	8.78	11.91	3.69	2.58	8.15
		시간률***	99.19	99.49	100.00	95.60	95.26	100.00	85.12	86.76	99.65
	AP8	평균값*	174.12	1.17	1.11	8.78	2.75	1.03	1.49	0.74	0.74
		최대값**	46597.79	8.92	5.23	1160.75	68.98	4.69	28.96	3.21	3.21
		시간률***	42.88359	42.88	42.88	41.66	41.66	41.66	29.35	29.35	29.35
편파 분리 (HEO : LHCP GSO : RHCP)	S.1428	평균값*	39.66	0.11	0.13	0.31	0.11	0.24	0.09	0.06	0.17
		최대값**	11649.45	0.42	0.43	36.94	2.20	1.18	0.92	0.26	0.81
		시간률***	8.49	0.00	0.00	6.87	2.78	9.77	0.69	0.00	2.11
	BO.1213	평균값*	43.61	0.33	0.65	0.48	0.31	0.65	0.25	0.25	0.47
		최대값**	12773.36	1.05	3.31	36.94	2.20	2.98	0.92	0.64	2.04
		시간률***	8.52	7.50	34.81	6.87	5.53	32.75	0.69	0.00	19.16
	AP8	평균값*	43.53	0.29	0.28	2.20	0.69	0.26	0.37	0.18	0.18
		최대값**	11649.45	2.23	1.31	290.19	17.25	1.17	7.24	0.80	0.80
		시간률***	20.50	11.39	11.41	19.16	17.38	9.56	11.85	1.94	1.94
GSO 아크 회피 (30°)	S.1428	평균값*	0.23	0.33	0.41	0.35	0.26	0.67	0.37	0.24	0.59
		최대값**	0.99	1.12	1.71	1.32	0.89	2.52	1.32	0.87	2.38
		시간률***	3.38	6.83	17.15	12.45	4.35	33.19	20.76	4.05	23.68
	BO.1213	평균값*	1.03	1.13	1.83	1.24	1.27	1.91	1.30	1.13	1.76
		최대값**	2.48	2.85	6.25	3.40	3.55	6.34	3.15	2.25	6.73
		시간률***	95.02	98.45	100.00	92.85	91.14	100.00	86.32	91.25	100.00
	AP8	평균값*	0.94	0.72	0.72	1.00	0.91	0.80	0.90	0.76	0.76
		최대값**	7.74	2.46	2.46	7.50	5.86	2.77	6.94	2.73	2.73
		시간률***	33.44	33.44	33.44	46.08	46.08	46.08	40.25	40.25	40.25

* : 시뮬레이션 시간(8시간)에 대한 $\Delta T/T$ 의 평균값

** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 의 최대값

*** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준($\Delta T/T \approx 0.67\%$)을 초과하는 시간률(%)

HEO 위성시스템과 GSO 위성망이 서로 직교하는 편파를 사용할 경우, 전체적으로 평균 $\Delta T/T$ 가 크게 감소하지만 편파 분리에 의한 $\Delta T/T$ 감소 효과는 두 시스템의 서비스 지역이 지리적으로 멀리 떨어질수록 감소하기 때문에 두 시스템의 서비스 지역이 근접한 경우에만 유용하다. 편파 분리는 직교하는 두 편파만을 사용할 수 있으므로 한 시스템은 하나의 편파만을 사용할 수 있고 3개 이상의 시스템은 공유가 불가능하다는 점에서 시스템당 주파수 이용효율은 감소하게 된다. <표 2.2.1>에서 편파 분리에 의한 평균 $\Delta T/T$ 의 감소 효과가 적은 것은 편파 분리에 의한 간섭완화 효과를 ITU-R에서 지리적 이격과 관계없이 6dB로 정한 것을 적용하였기 때문이다. <표 2.2.1>에서, GSO 지구국이 ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용할 경우 하나의 위치를 제외한 모든 위치에서 $\Delta T/T$ 의 평균값들이 간섭평가기준을 만족하는 것을 볼 수 있다. 하지만 이러한 위치 중 일부 위치에서는 $\Delta T/T$ 의 실제 값들이 30% 이상의 시간률 동안 간섭평가기준을 초과하고 있다. 또한 RR AP8의 경우, $\Delta T/T$ 의 평균값들이 간섭평가기준을 만족하는 위치 중 절반에서 10%가 넘는 시간률 동안 실제 $\Delta T/T$ 값들이 간섭평가기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 이는 GSO 지구국의 운용을 매우 어렵게 할 수 있다.

<표 2.2.1>에서, HEO 위성시스템이 GSO 아크 회피각을 30° 로 하여 운용될 경우, ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용하는 GSO 지구국의 $\Delta T/T$ 평균값들은 모든 위치에서 간섭평가기준을 만족하지만 일부 위치에서는 20%가 넘는 시간률에서 실제 $\Delta T/T$ 값들이 간섭평가기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 더구나 ITU-R 권고 BO.1213과 RR AP8의 안테나 패턴을 사용하는 경우에는 모든 위치에서 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 초과한다. 따라서 30° 의 GSO 아크 회피만으로는 HEO 위성시스템과 GSO 위성망이 주파수를 공유하는데 어려움이 있다. ITU-R 권고 BO.1213과 RR AP8을 사용하는 경우보다 ITU-R 권고 S.1428을 사용하는 경우에 평균 $\Delta T/T$ 가 더 작은 것은, 이미 언급한 것처럼, ITU-R 권고 S.1428이 ITU-R 권고 BO.1213과 RR AP8보다 더 좋은 부엽 특성을 갖기 때문이다.

<표 2.2.1>에 의하여, GSO 위성망과 HEO 위성시스템은 30° 의 GSO 아크 회피만으로는 주파수 공유에 어려움이 있음을 알 수 있다. 따라서 30° 의

GSO 아크 회피 이외에 추가적으로 다른 간섭완화기술이 적용된다면 주파수 공유 가능성이 향상될 것이다. <표 2.2.2>와 <표 2.2.3>은, 30°의 아크 회피 만으로는 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하지 못하는 ITU-R 권고 BO.1213과 RR AP8의 안테나 패턴에 대해서, 30°의 GSO 아크 회피 이외에 추가적으로 편파 분리와 지구국 분리를 적용하여 평균 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과이다.

<표 2.2.2> GSO 아크 회피와 편파 분리 기술의 동시 적용으로 인한
평균 $\Delta T/T$ 의 변화
($\Delta T/T$ 의 평균값이 간섭평가기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

평균 $\Delta T/T$ (%)	HEO 및 GSO 지구국 위치		북위 30° 동경 111.95°			북위 30° 동경 121.95°			북위 30° 동경 131.95°		
	GSO 위성의 동경		112.95°	147.95°	170.95°	111.95°	121.95°	180.95°	111.95°	145.95°	190.95°
GSO 아크 회피 (30°)	S.1428	평균값*	0.23	0.33	0.41	0.35	0.26	0.67	0.37	0.24	0.59
		최대값**	0.99	1.12	1.71	1.32	0.89	2.52	1.32	0.87	2.38
		시간률***	3.38	6.83	17.15	12.45	4.35	33.19	20.76	4.05	23.68
	BO.1213	평균값*	1.03	1.13	1.83	1.24	1.27	1.91	1.30	1.13	1.76
		최대값**	2.48	2.85	6.25	3.40	3.55	6.34	3.15	2.25	6.73
		시간률***	95.02	98.45	100.00	92.85	91.14	100.00	86.32	91.25	100.00
	AP8	평균값*	0.94	0.72	0.72	1.00	0.91	0.80	0.90	0.76	0.76
		최대값**	7.74	2.46	2.46	7.50	5.86	2.77	6.94	2.73	2.73
		시간률***	33.44	33.44	33.44	46.08	46.08	46.08	40.25	40.25	40.25
GSO 아크 회피 (30°) + 편파분리	BO.1213	평균값*	0.26	0.28	0.46	0.31	0.32	0.48	0.33	0.28	0.44
		최대값**	2.12	0.71	1.56	0.85	0.89	1.58	0.79	0.56	1.68
		시간률***	8.40	0.46	22.31	2.22	4.10	23.58	3.70	0.00	15.11
	AP8	평균값*	0.23	0.18	0.00	0.25	0.23	0.20	0.23	0.19	0.19
		최대값**	1.93	0.62	0.00	1.90	1.46	0.69	1.73	0.68	0.68
		시간률***	7.54	0.00	0.00	7.73	5.97	0.28	6.90	0.09	0.09

* : 시뮬레이션 시간(8시간)에 대한 $\Delta T/T$ 의 평균값

** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 의 최대값

*** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준($\Delta T/T \approx 0.67\%$)을 초과하는 시간률(%)

<표 2.2.2>에서, 편파 분리를 추가적으로 적용하였을 경우에는 평균 $\Delta T/T$ 가 모두 간섭평가기준을 만족하는 것을 볼 수 있다. 하지만, ITU-R BO.1213의 경우, 일부 위치에서 실제 $\Delta T/T$ 값들이 간섭평가기준을 만족하지 못하는 시간률이 20%가 넘게 나타남으로 인하여 GSO 지구국의 운용에 어려움이 있다.

<표 2.2.3>에서, HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 지구국 분리를 추가로 적용할 경우, ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용하는 GSO 지구국과 HEO 지구국이 최대 300km 정도 이격되어도 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하지 못하는 것을 볼 수 있다. GSO 지구국이 RR AP8의 안테나 패턴을 사용하는 경우에는, HEO 지구국으로부터 260km 이격되어야 $\Delta T/T$ 의 평균값이 간섭평가기준을 만족한다. 하지만 전체 시뮬레이션 시간 중 30%가 넘는 시간률 동안 $\Delta T/T$ 의 실제값들은 간섭평가기준을 초과한다. 따라서 HEO 위성시스템이 지구국을 도처에 산재시키게 되면 이 기술의 적용은 사실상 불가능하게 된다.

<표 2.2.4>는 GSO 아크 회피각을 변화시켜가면서 GSO 지구국에서의 평균 $\Delta T/T$ 를 계산한 결과이다. HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치는 HEO 위성이 액티브 상태가 시작되는 위도와 그 위도에서 HEO 위성의 궤적이 만나는 정도로 설정하였다. HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치를 이렇게 설정한 이유는 이 위치에서 GSO 지구국이 HEO 위성으로부터 가장 큰 간섭을 받을 수 있기 때문이다.

GSO 아크 회피각이 커질수록 즉, HEO 위성의 액티브 아크의 시작 위도가 높아질수록 평균 $\Delta T/T$ 가 점점 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 GSO 아크 회피각이 커질수록 HEO 위성으로부터 GSO 지구국으로 간섭이 유입되는 off-axis angle이 증가하여 신호 감쇄가 커지고 HEO 위성의 고도가 높아져서 거리손실이 증가하기 때문이다.

GSO 지구국이 ITU-R 권고 S.1428을 사용하는 경우, GSO 아크 회피각이 15° 이상이면 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하지만 GSO 아크 회피각이 $15^\circ \sim 25^\circ$ 이면 실제 $\Delta T/T$ 가 $\sim 10\%$ 이상의 시간률 동안 간섭평가기준을 초과하게 된다. 하지만 GSO 아크 회피각이 35° 이상이면 100%의 시간률 동안

<표 2.2.3> GSO 아크 회피와 지구국 분리의 동시 적용으로 인한
평균 $\Delta T/T$ 의 변화

(HEO 지구국의 위치 : 북위 30°, 동경 111.95°)

$\Delta T/T$ 의 평균값이 간섭평가기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

평균 $\Delta T/T$ (%)	GSO 위성의 동경 안테나패턴		112.95°	147.95°	170.95°
GSO 아크 회피 (30°)	BO.1213	평균값*	1.03	1.13	1.83
		최대값**	2.48	2.85	6.25
		시간률***	95.02	98.45	100.00
	AP8	평균값*	0.94	0.72	0.72
		최대값**	7.74	2.46	2.46
		시간률***	33.44	33.44	33.44
GSO 아크 회피 (30°) + 지구국분리	BO.1213	평균값*	0.79	0.87	1.23
		최대값**	2.13	2.37	2.37
		시간률***	64.98	71.26	100
		이격거리****	300km	300km	300km
		위치*****	북위 32.70° 동경 111.95°	북위 32.70° 동경 111.95°	북위 32.70° 동경 111.95°
	AP8	평균값*	0.65	0.66	0.66
		최대값**	3.69	1.97	1.97
		시간률***	32.28	33.44	33.44
		이격거리****	260km	135km	135km
		위치*****	북위 32.34° 동경 111.95°	북위 31.21° 동경 111.95°	북위 31.21° 동경 111.95°

* : 시뮬레이션 시간(8시간)에 대한 $\Delta T/T$ 의 평균값

** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 의 최대값

*** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준($\Delta T/T \approx 0.67\%$)을 초과하는 시간률(%)

**** : HEO 지구국과 GSO 지구국의 지리적 이격 거리

***** : GSO 지구국의 위치

<표 2.2.4> GSO 아크 회피각의 변화에 따른 평균 $\Delta T/T$ 의 변화
 (GSO 지구국의 안테나 크기 : 0.6m
 $\Delta T/T$ 의 평균값이 간섭평가기준을 초과하는 부분은 음영 표시)

GSO 아크 회피각	HEO 지구국과 GSO 지구국의 위치	GSO 위성의 위치	$\Delta T/T$ (%)			
				S.1428	BO.1213	AP8
0°	북위0°, 동경102.5°	동경102.5°	평균값*	225.92	248.62	260.20
			최대값**	94409.17	103517.73	94409.22
			시간률***	26.41	99.49	57.05
5°	북위5°, 동경104.5°	동경104.5°	평균값*	2.53	3.63	18.32
			최대값**	288.93	289.14	2269.47
			시간률***	23.72	99.93	52.58
10°	북위10°, 동경106°	동경106°	평균값*	1.08	2.07	7.28
			최대값**	42.97	43.18	337.41
			시간률***	20.85	99.93	48.60
15°	북위15°, 동경107.7°	동경107.7°	평균값*	0.65	1.52	4.14
			최대값**	13.22	13.32	103.81
			시간률***	16.64	99.84	43.95
20°	북위20°, 동경109°	동경109°	평균값*	0.38	1.15	2.13
			최대값**	5.99	6.89	47.09
			시간률***	11.34	97.59	38.42
25°	북위25°, 동경110.83°	동경110.83°	평균값*	0.27	1.06	1.26
			최대값**	1.98	2.53	15.55
			시간률***	7.45	97.22	34.90
30°	북위30°, 동경111.95°	동경111.95°	평균값*	0.23	1.03	0.94
			최대값**	0.99	2.46	7.78
			시간률***	3.43	95.21	33.44
35°	북위35°, 동경113.33°	동경113.33°	평균값*	0.22	1.00	0.76
			최대값**	0.62	2.50	4.20
			시간률***	0	91.55	33.28
40°	북위40°, 동경114.83°	동경114.83°	평균값*	0.21	0.989	0.66
			최대값**	0.49	2.52	2.39
			시간률***	0	85.47	33.53
45°	북위45°, 동경116.5°	동경116.5°	평균값*	0.20	0.99	0.63
			최대값**	0.48	2.53	1.51
			시간률***	0	77.90	35.25
50°	북위50°, 동경118.5°	동경118.5°	평균값*	0.17	0.85	0.53
			최대값**	0.51	2.53	1.60
			시간률***	0	62.32	28.14
55°	북위55°, 동경121.38°	동경121.38°	평균값*	0.13	0.72	0.40
			최대값**	0.44	2.54	1.36
			시간률***	0	48.95	19.05

* : 시뮬레이션 시간(8시간)에 대한 $\Delta T/T$ 의 평균값
 ** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 의 최대값
 *** : 시뮬레이션 시간 중 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준($\Delta T/T \approx 0.67\%$)을 초과하는 시간률(%)

$\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하게 된다. 따라서 ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용하는 GSO 지구국과 HEO 위성시스템이 주파수를 공유할 경우, HEO 위성시스템이 $15^\circ \sim 25^\circ$ 의 GSO 아크 회피로 운용된다면 추가로 다른 간섭완화기술이 적용되어야 하고, 35° 이상의 GSO 아크 회피로 운용된다면 이것만으로도 충분히 공유가 가능하다.

GSO 지구국의 안테나 패턴이 RR AP8인 경우, HEO 위성시스템이 GSO 아크 회피각을 40° 이상으로 하여 운용하면, 평균 $\Delta T/T$ 값이 간섭평가기준을 만족하지만 여전히 $\sim 20\%$ 이상의 시간률 동안 실제 $\Delta T/T$ 값은 간섭평가기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 경우에는 GSO 아크 회피 이외에 다른 간섭완화기술이 추가로 적용되어야 두 시스템의 주파수 공유가 가능해질 것이다.

ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용할 경우에는 GSO 아크 회피각을 55° 까지 하여도 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭평가기준을 만족하지 못하는 것을 볼 수 있다. 따라서 HEO 위성시스템과 GSO 위성망이 주파수를 공유해야 하는 상황에서 만약 GSO 지구국이 ITU-R 권고 BO.1213의 안테나 패턴을 사용한다면 GSO 아크 회피로는 두 시스템의 주파수 공유가 불가능하다.

HEO 위성시스템이 X° 의 GSO 아크 회피각을 두고 GSO 위성망과 주파수를 공유할 경우 HEO 위성시스템으로부터의 간섭은 $X^\circ + \alpha$ 이상의 off-axis angle로 GSO 지구국으로 유입되므로 GSO 수신 지구국 안테나 패턴의 부엽 특히 후엽 특성이 유입되는 간섭량에 무시하지 못할 영향을 끼치게 됨을 <표 2.2.4>로부터 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 계획

USAKU-H2형 HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 GSO 아크 회피, 지구국 안테나 패턴 개선, 편파 분리, 지구국간 지리적 이격 등의 간섭 완화기술을 적용하여 실제 간섭 완화효과를 분석한 결과 GSO 아크 회피에 의한 간섭 완화효과가 가장 뛰어났다. GSO 아크 회피는 GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭을 크게 감소시키지만 후엽 방향으로의 간섭완화 효과는 적으므로, GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭 완화에 좋은 기술로 사료된다. 또한 GSO 지구국 안테나 패턴의 부엽 특성 개선도 두 시스템이 주파수를

공유할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있다. ITU-R 권고 BO.1213이나 RR AP8 보다는 부엽 특성이 개선된 ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용할 경우 부엽 방향으로의 간섭량이 크게 감소함을 확인할 수 있었다.

편파 분리에 의한 주파수 공유는 두 시스템의 서비스 지역이 지리적으로 근접한 경우에만 가능하고 두 시스템이 직교하는 편파만을 사용할 수 있으므로 인하여 3개 이상의 시스템의 주파수 공유가 불가능함으로써 실질적으로 주파수 이용효율은 감소하게 된다. 또한, GSO 지구국과 HEO 지구국의 사이트 다이버서티는 수백 km 정도의 이격을 통해서 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭 기준을 만족하기 때문에 만약 HEO 시스템이 지구국을 도처에 산재시키게 되면 지구국간 지리적 이격 기술의 적용은 사실상 불가능하게 된다.

간섭을 완화시키기 위해서 이들 기술을 적용할 때, 단지 하나의 기술만을 적용하여 주파수 공유 환경을 개선하려고 한다면 이는 완화기술을 적용하여 운용하여야 하는 시스템에 과도한 제약을 줄 수 있을 뿐 아니라 공유 환경 개선에도 한계가 있다. 따라서 서로 다른 완화기술들을 동시에 여러 가지 적용한다면 주파수 공유 가능성이 더 증가하고 보다 효과적인 공유 환경이 제공될 수 있을 것이다.

본 연구는 12.7GHz라는 특정 주파수와 직경 0.6m라는 특정 안테나 사이즈에 대해서만 시뮬레이션 및 분석이 수행되었기 때문에, 간섭 완화기술들에 대한 보다 객관적인 평가를 위해서는 HEO 위성시스템과 GSO 위성망이 주파수를 공유하는 다양한 주파수대역과 GSO 지구국의 다양한 안테나 크기에 대한 연구가 더 필요하며 이에 대한 연구는 2004년도에 계속 수행할 계획이다.

제 3 장 지구↔우주 전파전파모델 분석

제 1 절 개 요

위성이용 주파수 대역에 대한 지구↔우주 경사경로(slant path)상의 전파 전파특성 파악은 위성전파 간섭 분석을 할 때 정확한 신호세기 계산에 도움을 준다. 지구의 기상현상에 의해 일어나는 신호감쇠는 위성통신 링크의 가용성 저하를 일으키는데 이러한 가용성 저하를 극복하기 위한 통신시스템기술 개발에 있어, 위성신호의 정확한 전파전파특성 연구는 위성시스템 링크 설계시 기본적으로 필요한 것이다. 한편, 위성통신에 쓰일 수 있는 새로운 주파수 분배 결정시, 위성 송수신신호의 전파특성데이터는 타업무와의 주파수 공유 분석연구에 이용할 수 있을 것이다. 이와 같이 위성통신경로상의 전파전파 예측 모델 연구는 지상망 전파전파 특성 연구와 함께 미래의 국가 스펙트럼 분배연구에 중요한 요소가 된다.

위성통신(지구↔우주) 링크상에서 위성전파의 전파에 영향을 미칠 수 있는 가장 중요한 기후현상으로는 대기 중 가스에 의한 흡수, 강우에 의한 흡수, 강우와 유사한 구름에 의한 흡수, 대류권내의 굴절을 변화에 의한 산란(scintillation) 등이 있다. 앞에 열거된 현상을 다루는 지구↔우주 경사경로상 전파전파 예측 모델들이 아래의 ITU-R 권고들에 정리되어 있다.

- o 대기(Dry air(건조공기)와 수증기)에 의한 영향 : ITU-R 권고 P.676^[13]
- o 강우에 의한 영향 : ITU-R 권고 P.618 §2.2.1^[14]
- o 구름(안개 포함)에 의한 영향 : ITU-R 권고 P.840^[15]
- o 대류권 신틸레이션(scintillation)에 의한 영향
: ITU-R 권고 P.618 §2.4^[14]

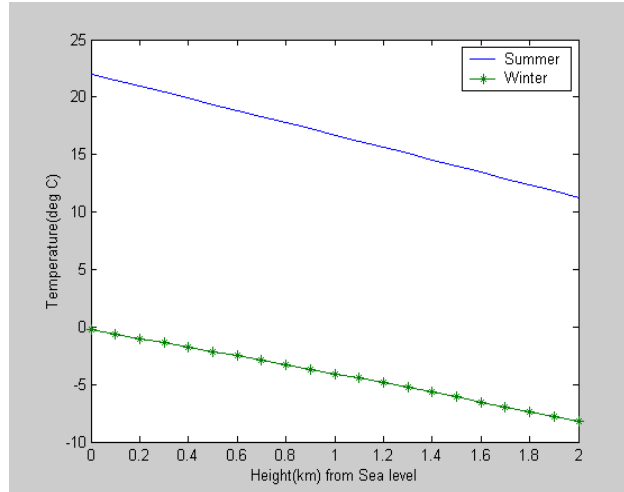
본 장에서는 대기 중 가스에 의한 영향, 강우에 의한 영향 및 구름(또는 안개)에 의한 영향의 3가지 위성전파전파 예측모델을 분석한 후, 이러한 3개의 예측모델을 현재 여러 위성에서 이용하고 있는 주파수 대역에 적용시켜 감쇠 예측치를 계산하였고, 그 결과를 분석하였다.

제 2 절 지구↔우주 링크상의 대기 중 가스에 의한 영향

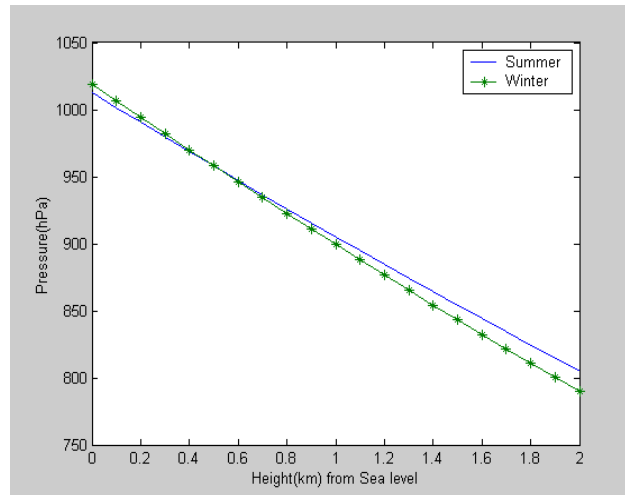
1. 대기 중 가스에 의한 감쇠에 영향을 미치는 파라미터

대기 중에 존재하는 가스들(크게 건조공기(Dry air)와 수증기(Water vapour)로 나뉘)에 의한 감쇠는 주파수(GHz), 대기압(hPa), 대기온도(K 또는 $^{\circ}\text{C}$), 수증기 밀도(g/m^3)의 영향을 받는다. 건조공기의 경우는 주파수, 대기압력, 대기온도만의 영향을 받으며, 수증기의 경우 주파수, 대기압, 대기온도 외에 수증기 밀도의 영향을 함께 받는다.

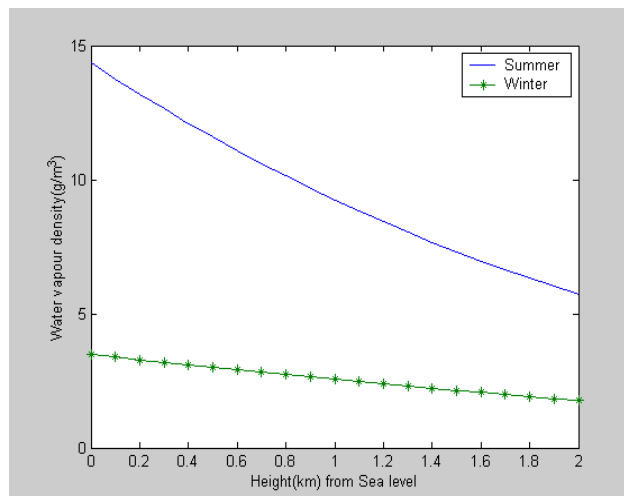
만약에 임의의 해당 지구국 지역에서 대기 중 가스에 의한 감쇠치를 구할 때, 그 지역의 대기압력, 대기온도, 수증기 밀도 등의 기후인자에 관한 신뢰할 만한 관측자료가 없을 경우, ITU-R 권고 P.835^[16]을 이용할 수 있다. 이 권고에서는 지구국이 위치한 고도에 따라 전세계 표준 기후인자값(1년 평균)을 구할 수 있고, 지구국이 위치한 위도(고·중·저)에 따른 표준 기후인자값을 고도(km), 그리고 계절별(여름 또는 겨울)로 구할 수 있다. 다음 <그림3.1>, <그림3.2>, <그림3.3>은 중위도에 위치한 지구국의 고도에 따른 대기온도, 대기압, 수증기밀도 표준값을 각각 구한 것으로 ITU-R 권고 P.835에 따라 계산하였다. 중위도라 함은 남북위 22~45도 사이를 가리키며, 그림들에서 보다시피 여름과 겨울로 나누어 표현하였다. 대기온도, 대기압 및 수증기밀도가 모두 고도가 높아짐에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 대기온도와 수증기 밀도는 여름이 겨울보다 높음을 알 수 있다.



<그림1> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 대기온도변화



<그림2> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 대기압 변화



<그림3> 중위도 지구국 고도에 따른 표준 수증기 밀도 변화

2. 대기 중 가스에 의한 감쇠 예측

1~350 GHz 주파수 대역에서 대기 중 가스에 의한 감쇠는 ITU-R 권고 P.676의 Annex 2^[13]에 나오는 근사식들을 이용하여 예측할 수 있다. 이 근사식들은 매우 높은 정확도가 요구되지 않은 경우에 특정한 조건(지구국의 고도, 안테나 양각)하에서 쉽고 빠르게 감쇠 예측치를 구할 수 있다. 지구국의 고도가 5km 이하에서만 적용가능하고, 지구국 양각이 $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$ 일 경우는 Annex 2의 근사식을 적용할 수 없다. 따라서, 매우 낮은 양각에서는 동일 권고의 Annex 1에 나오는 line-by-line 예측방법을 이용하여야만 하는 제한 조건들이 있다.

건조공기에 의한 감쇠식(A_o)와 수증기에 의한 감쇠식(A_w)은 최종적으로 다음과 같이 표현된다.

$$A_o = \frac{\gamma_o \times h_o}{\sin \theta} \quad (\text{dB}) \quad (3.1)$$

$$A_w = \frac{\gamma_w \times h_w}{\sin \theta} \quad (\text{dB}) \quad (3.2)$$

γ_o =건조공기에 의한 비(比)감쇠치(dB/km)

h_o =건조공기에 의한 유효등가고도(km)

γ_w =수증기에 의한 비(比)감쇠치(dB/km)

h_w =수증기에 의한 유효등가고도(km)

θ = 지구국 안테나 양각

<표3.1>에서는 이러한 비감쇠치(specific attenuation, $\gamma_o; \gamma_w$)와 유효등가 고도($h_o; h_w$)에 관한 식들이 주파수에 따라 어떻게 분류되어있는가를 보여준다. 특히 건조공기의 경우는 각 주파수에 따른 흡수 특성에 따라 다른 비감쇠치에 관한 식들이 이용되나 수증기에 대한 경우는 동일한 하나의 식만이 적용된다. 앞에서 언급하였듯이, 이 식들은 주파수와 대기압, 대기온도, 수증기밀도 등의 주요 기후인자를 파라미터로 가진다.

<표3.1> ITU-R 권고 P. 676 Annex 2의 경로감쇠(path attenuation)식 분류

경로	지구국 양각	매질종류	비감쇠치 분류조건		유효등가고도분류조건	
Earth-space path	$5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$	Dry air	γ_o	$f \leq 54\text{GHz}$ $54\text{GHz} < f \leq 66\text{GHz}$ $66\text{GHz} < f \leq 120\text{GHz}$ $120\text{GHz} < f \leq 350\text{GHz}$	h_o	$1\text{GHz} \leq f \leq 56.7\text{GHz}$ $56.7\text{GHz} < f < 63.3\text{GHz}$ $63.3\text{GHz} \leq f < 98.5\text{GHz}$ $98.5\text{GHz} \leq f \leq 350\text{GHz}$
		Water Vapour	γ_w	$f \leq 350\text{GHz}$	h_w	$f \leq 350\text{GHz}$
	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	Dry air & Water Vapour	Line-by-line method(Annex 1에 정리)			

※ f : 주파수

지구국 양각 $5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, 54GHz 이하 대역에서 공히 적용할 수 있는 γ_o 와 γ_w 은 각각 다음의 식(3.3a)와 식(3.4a)과 같다.

$$\gamma_o = \left[\frac{7.34 r_p^2 r_t^3}{f^2 + 0.36 r_p^2 r_t^2} + \frac{0.3429 b \gamma_o'(54)}{(54 - f)^a + b} \right] f^2 \times 10^{-3} \quad (\text{dB/km}) \quad (3.3a)$$

$$\gamma_o'(54) = 2.128 r_p^{1.4954} r_t^{-1.6032} \exp[-2.5280(1 - r_t)] \quad (3.3b)$$

$$a = \ln(\eta_2 / \eta_1) / \ln(3.5) \quad (3.3c)$$

$$b = 4^a / \eta_1 \quad (3.3d)$$

$$\eta_1 = 6.7665 r_p^{-0.5050} r_t^{0.5106} \exp[1.5663(1 - r_t)] - 1 \quad (3.3e)$$

$$\eta_2 = 27.8843 r_p^{-0.4908} r_t^{-0.8491} \exp[0.5496(1 - r_t)] - 1 \quad (3.3f)$$

$$r_p = p / 1013 \quad (3.3g)$$

$$r_t = 288 / (273 + t) \quad (3.3h)$$

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \left\{ 3.13 \times 10^{-2} r_p r_t^2 + 1.76 \times 10^{-2} \rho r_t^{8.5} + r_t^{2.5} \left[\frac{3.84 \xi_{w1} g_{22} \exp(2.23(1 - r_t))}{(f - 22.235)^2 + 9.45 \xi_{w1}^2} \right. \right. \\ & + \frac{10.48 \xi_{w2} \exp(0.7(1 - r_t))}{(f - 183.31)^2 + 9.48 \xi_{w2}^2} + \frac{0.078 \xi_{w3} \exp(6.4385(1 - r_t))}{(f - 321.226)^2 + 6.29 \xi_{w3}^2} \\ & \left. \left. + \frac{3.76 \xi_{w4} \exp(1.6(1 - r_t))}{(f - 325.153)^2 + 9.22 \xi_{w4}^2} + \frac{22.36 \xi_{w5} \exp(1.09(1 - r_t))}{(f - 380)^2} \right] \right\} \end{aligned}$$

$$+ \frac{17.87\xi_{u5}\exp(1.46(1-r_t))}{(f-448)^2} + \frac{883.7\xi_{u5}g_{557}\exp(0.17(1-r_t))}{(f-557)^2} + \frac{302.6\xi_{u5}g_{752}\exp(0.41(1-r_t))}{(f-752)^2} \Big] f^2 \rho 10^{-4} \quad (\text{dB/km}) \quad (3.4a)$$

$$\xi_{w1} = 0.9544r_p r_t^{0.69} + 0.0061 \rho \quad (3.4b)$$

$$\xi_{w2} = 0.95r_p r_t^{0.64} + 0.0067 \rho \quad (3.4c)$$

$$\xi_{u3} = 0.9561r_p r_t^{0.67} + 0.0059 \rho \quad (3.4d)$$

$$\xi_{w4} = 0.9543r_p r_t^{0.68} + 0.0061 \rho \quad (3.4e)$$

$$\xi_{w1} = 0.955r_p r_t^{0.68} + 0.006 \rho \quad (3.4f)$$

$$g_{22} = 1 + (f-22.235)^2/(f+22.235)^2 \quad (3.4g)$$

$$g_{557} = 1 + (f-557)^2/(f+557)^2 \quad (3.4h)$$

$$g_{752} = 1 + (f-752)^2/(f+752)^2 \quad (3.4i)$$

$$r_p = p/1013 \quad (3.4j)$$

$$r_t = 288/(273+t) \quad (3.4k)$$

위의 식에서 f 는 주파수(GHz), p 는 대기압(hPa), t 는 대기온도($^{\circ}\text{C}$), ρ 는 수증기밀도(g/m^3)를 말한다. 유효등가고도 h_o 과 h_w 은 아래의 식(3.5)와 식(3.6)과 같다.

$$h_o = 5.386 - 3.32734 \times 10^{-2}f + 1.87185 \times 10^{-3}f^2 - 3.52087 \times 10^{-5}f^3 + \frac{83.26}{(f-60)^2 + 1.2} \quad (\text{km}) \quad (3.5)$$

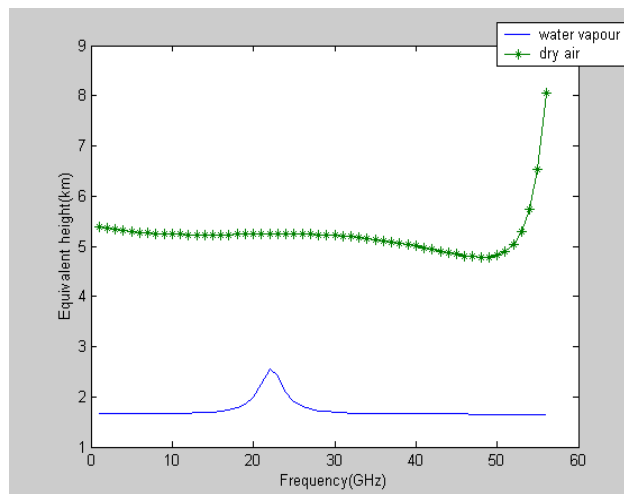
$$h_w = 1.65 \left\{ 1 + \frac{1.61}{(f-22.23)^2 + 2.91} + \frac{3.33}{(f-183.3)^2 + 4.58} + \frac{1.90}{(f-325.1)^2 + 3.34} \right\} \quad (\text{km}) \quad (3.6)$$

지구곡 양각 $5^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$ 에서 지표의 기상데이터에 의해 계산되는 대기 경

로 전체감쇠 예측치(A_g)는 다음과 같다.

$$A_g = \frac{r_o h_o + r_w h_w}{\sin \theta} = A_o + A_w \quad (\text{dB}) \quad (3.7)$$

대기 중 가스로 인한 경로감쇠계산을 위해 각 대기성분의 유효 등가고도 h_o (dry air)과 h_w (water vapour)은 <그림3.4>에서 보여지는 특성을 가진다. <그림3.4>는 1~56GHz 대역까지만 각 대기 중 가스에 대한 유효등가고도를 표현한 것이다. 건조공기의 경우는 대기권에서 수증기보다는 높은 곳까지 존재하므로 훨씬 높은 유효등가고도를 가진다. 건조공기에 대한 유효등가고도를 보면 50GHz 대역에서 갑자기 증가하는데 이것은 이 대역에서 건조공기에 의한 전파흡수가 강해져 고도 5km이상의 미약한 건조공기의 양도 영향을 줄 수 있기 때문이다. 마찬가지로, 수증기의 유효등가고도를 보면 약 22GHz 정도에서 다른 주파수 대역보다 높음을 볼 수 있다. 이 현상도 이 대역에서 물분자에 의한 전파흡수가 강해 고도 2.5km까지의 극히 미약한 수증기밀도라 할지라도 영향을 줄 수 있으므로 유효등가고도가 높아진 것이라 볼 수 있다.



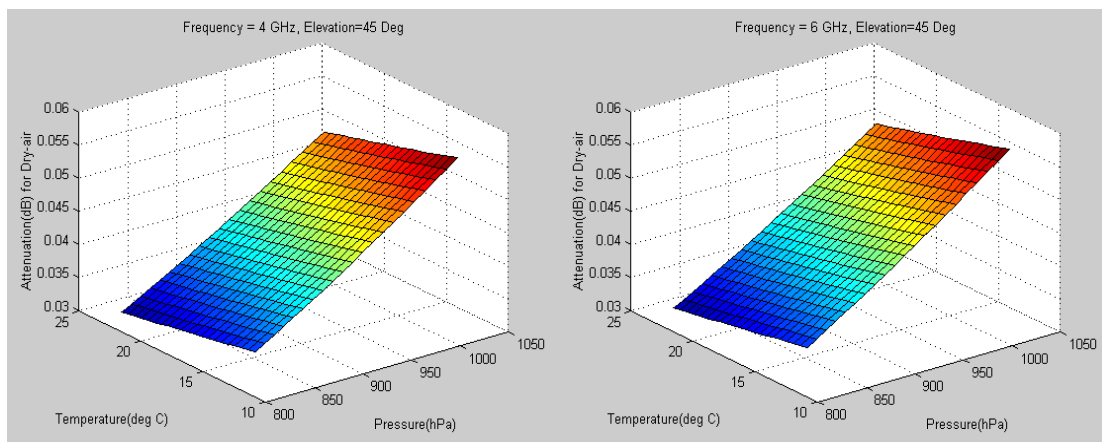
<그림3.4> 경로감쇠계산을 위한 대기의 각 유효등가 고도

3. 위성 이용주파수에서의 대기 중 가스에 의한 감쇠 예측

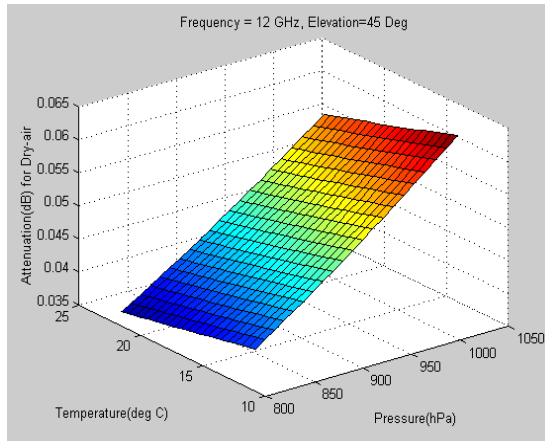
위성통신경로상에서 건조공기와 수증기 각각에 의한 감쇠 예상치를 구하였다. 적용된 위성이용 주파수들은 4, 6, 12, 14, 20, 30, 40 GHz 총 7개 주요 대역들이다. 우리나라 지역에서 운용되는 것을 고려하여 중위도 지역의 여름 기후 파라미터(대기온도, 대기압, 수증기 밀도) 표준치들을 적용하였다. 먼저 대기온도와 대기압의 변화에 따른 건조공기의 영향 감쇠 예측치를 계산하였다. 수증기 영향에 의한 감쇠치 계산의 경우는 수증기 밀도값을 중위도 여름의 해수면 기준치($=14.3452 \text{ g/m}^3$)로 고정한 다음, 대기온도와 대기압에 따른 변화를 보았다. 이 경우 지구국 안테나 양각은 우리나라에서 정지궤도를 바라보는 45도로 모두 일정하게 고정하였다.

건조공기에 의한 감쇠를 구하는 식(3.1)을 이용하여, 주어진 위성주파수 대역에서 건조공기로 인한 감쇠치 계산값의 변화를 <그림3.5>에서 <그림3.11>까지 보여 주고 있다. <그림3.12>는 안테나 양각이 45도, 대기온도가 10℃, 대기압이 1013hPa인 특정조건하에서 1~40GHz 대역까지 건조공기에 의한 감쇠변화를 나타낸 것이다. 40GHz 대역까지 주파수 증가에 따라 건조공기에 의한 감쇠량은 조금씩 증가하고 있다. 중위도 여름에서 주파수가 40GHz이고, 45도의 안테나 양각에서 최대 0.38dB 미만의 감쇠가 예상되는 것을 볼 때, 40GHz 이하 주파수대역의 위성통신링크에서 대기 중의 건조공기에 의한 감쇠영향은 무시할 수 있다고 본다.

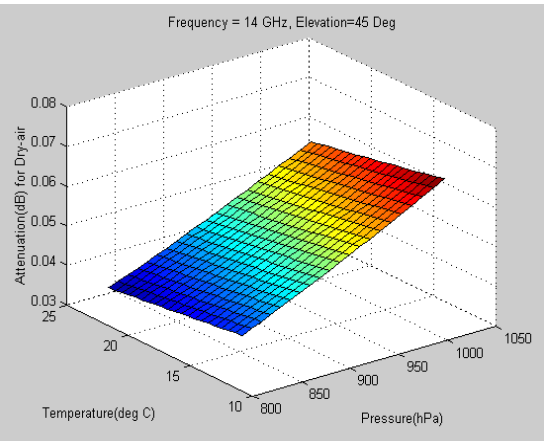
- 건조공기에 의한 감쇠 예상치



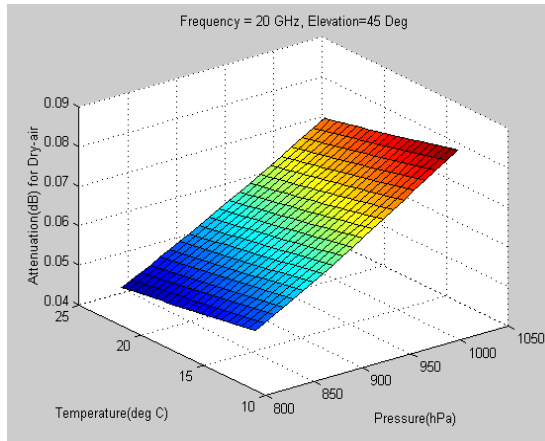
<그림3.5> 4GHz에서 건조공기에 의한 감쇠 <그림3.6> 6GHz에서 건조공기에 의한 감쇠



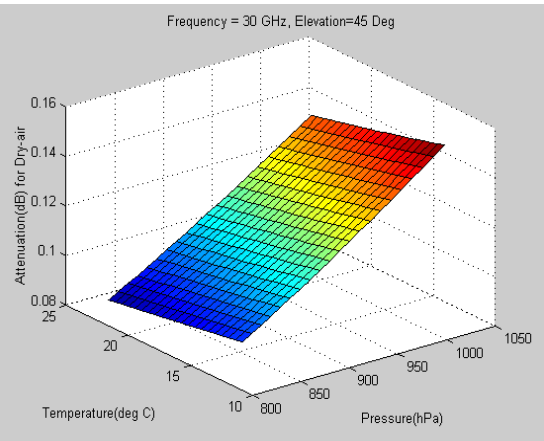
<그림3.7> 12GHz에서 건조공기에 의한 감쇠



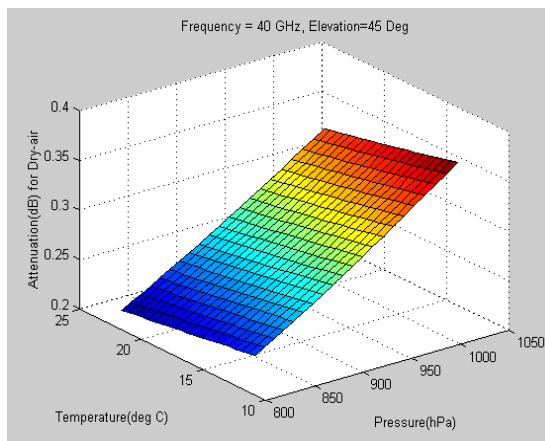
<그림3.8> 14GHz에서 건조공기에 의한 감쇠



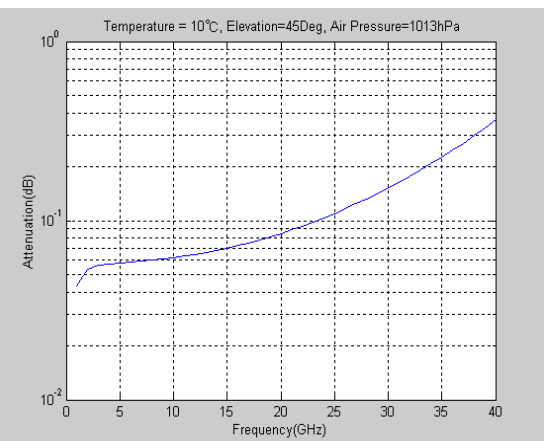
<그림3.9> 20GHz에서 건조공기에 의한 감쇠



<그림3.10> 30GHz에서 건조공기에 의한 감쇠

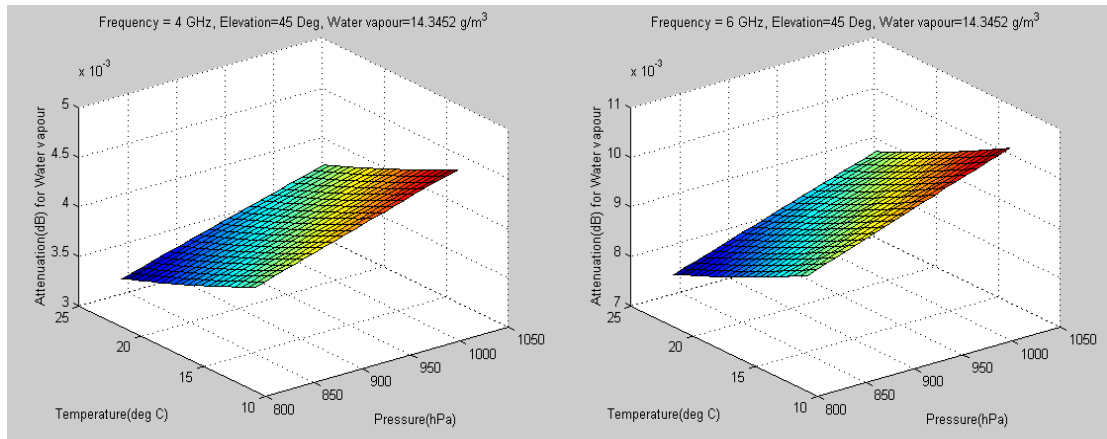


<그림3.11> 40GHz에서 건조공기에 의한 감쇠

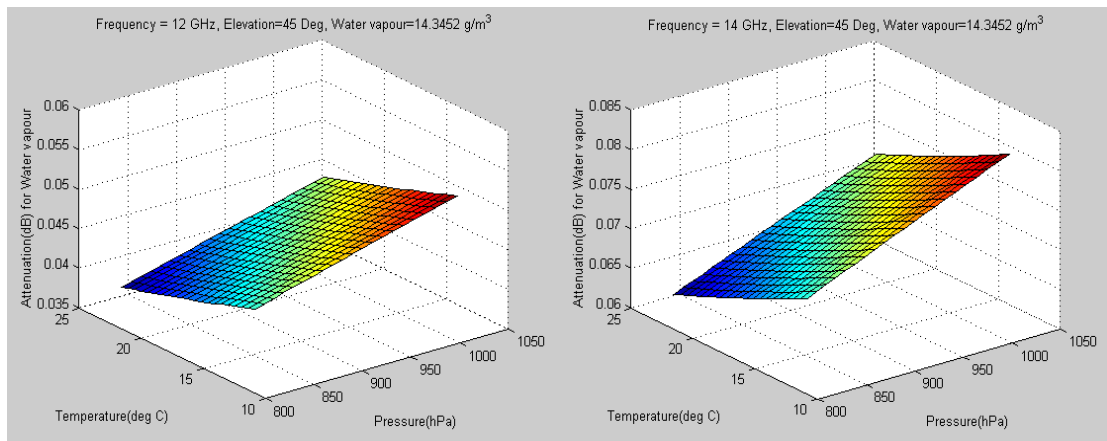


<그림3.12> 주파수별 건조공기에 의한 감쇠

- 수증기에 의한 감쇠 예상치

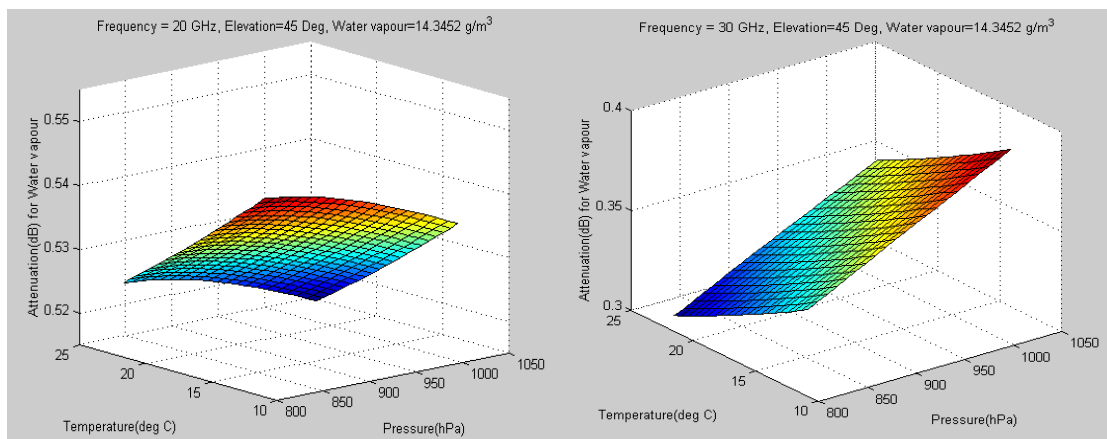


<그림3.13> 4GHz에서 수증기에 의한 감쇠 <그림3.14> 6GHz에서 수증기에 의한 감쇠



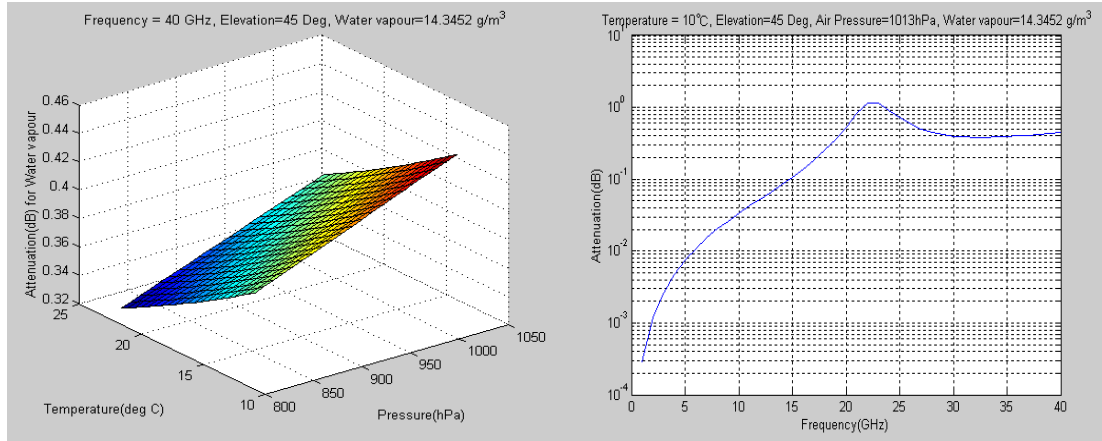
<그림3.15> 12GHz에서 수증기에 의한 감쇠

<그림3.16> 14GHz에서 수증기에 의한 감쇠



<그림3.17> 20GHz에서 수증기에 의한 감쇠

<그림3.18> 30GHz에서 수증기에 의한 감쇠



<그림3.19> 40GHz에서 수증기에 의한 감쇠

<그림3.20> 주파수별 수증기에 의한 감쇠

<그림3.13>에서 <그림3.19>까지는 특정 주파수에서 수증기에 의한 감쇠치 변화를 보여 주고 있고, 각 주파수에 대한 감쇠치 변화는 식(3.2)를 이용하여 구하였다. <그림3.20>은 안테나 양각이 45도, 대기온도가 10℃, 대기압이 1013hPa, 수증기밀도가 14.3452g/m³인 특정조건하에서 1~40GHz 대역까지 수증기에 의한 감쇠변화를 나타낸 것이다. 건조공기에 의한 감쇠치 변화 양상과는 달리, 같은 기후와 안테나 양각조건에서 40GHz 대역보다는 20GHz 대역에서 보다 높은 감쇠치를 보이고 있다(최대 1.15dB 미만, <그림3.20> 참조). 이것은 20~30GHz 사이에서 물분자의 전파흡수율이 우세하기 때문이다. 건조공기에 의한 감쇠영향과 마찬가지로 수증기에 의한 감쇠 또한 최대 1.15dB 미만으로 그것의 영향은 무시할 수 있다.

위에서 보여진 전체 예측결과로부터 우리나라 통신환경에서 40GHz 이하 대역에서 대기 중 가스에 의한 감쇠는 중위도 여름에서 최대 약 1.54dB 미만으로 위성통신 링크설계시에 무시하여도 될 것으로 보인다.

제 3 절 지구↔우주 링크상 강우에 의한 영향

지구↔우주 링크 상의 경사경로에서 강우 감쇠에 관한 내용은 ITU-R 권고 P.618의 §2.2.1^[14]에서 볼 수 있다. 여기에서 강우감쇠치는 평년에 대한 장기간(long term) 통계치로 구하여진다. 주어진 지점의 강우감쇠 예측 계산식은 최대 55GHz 대역까지 적용할 수 있다. 다음 <표3.2>에서는 이러한 지구↔우주 경로상 강우감쇠치를 구하기 위해 필요하거나 관련된 권고들을 열거

해 놓았다. 강우 감쇠 예측에서 주로 쓰이는 권고들은 ITU-R P.837^[17], P.838^[18], P.839^[19] 등이다.

<표3.2> 강우감쇠 예측과 관련한 ITU-R 권고

ITU-R 권고	관련 내용
P.835	지상고도(altitude)에 따른 온도, 기압, 수증기밀도 기준치 및 위도와 계절에 따른 기후인자 예측식 제공
P.836	연시간율에 따른 지역별 수증기 밀도(surface density and total columnar content) 제공
P.837	연시간율에 따른 특정지역별 강우율 제공
P.838	강우 감쇠 예측을 위한 주파수 종속 계수(k, α) 계산
P.839	0℃ 등온선에 따른 강우의 높이(고도) 계산
P.840	구름(또는 안개)으로 인한 감쇠치 계산

다음은 강우 감쇠 계산시에 필요한 파라미터들이다.

$R_{0.01}$: 연시간율 0.01%일 때 각 지역의 강우율(1년중 53분간)

h_s : 평균해수면 기준 지구국의 고도(km)

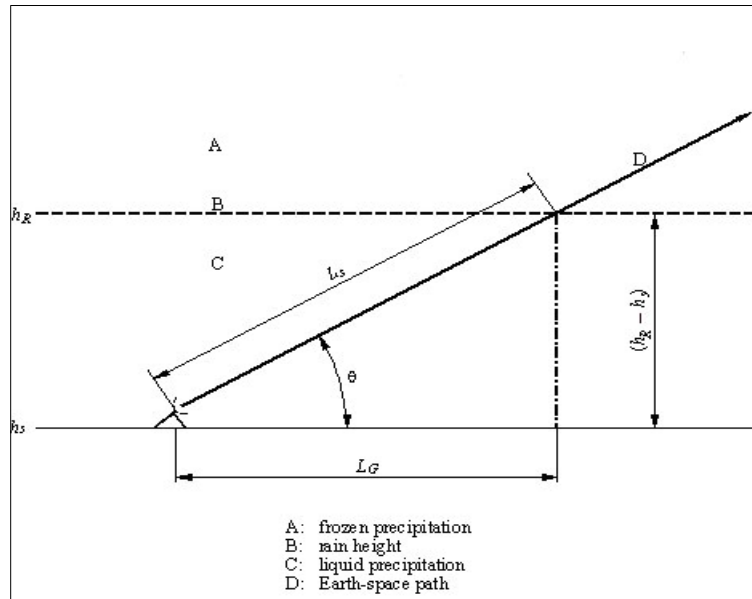
θ : 지구국의 양각(degree)

ϕ : 지구국의 위도(degree)

f : 주파수(GHz)

R_e : 지구의 유효반지름(8500km)

<그림3.21>은 위에서 열거한 이러한 강우감쇠 계산에 필요한 파라미터들의 이해를 돕고 강우높이에 대한 설명을 하기 위해 지구-우주 경사경로를 표현한 개략도이다. 강우에 의한 감쇠 영향은 강우높이가 정의된 <그림 3.21>의 C 공간내 Liquid 강우에 의한 것을 일컫는다. A 공간내의 frozen 강우는 실제로는 구름이 존재하는 공간에 있다. 그러므로 A 공간에서는 구름에 의한 감쇠영향을 고려해야 할 것이다.



<그림3.21> 지구-우주 경사경로 개략도

1. 임의지점의 강우율로부터 Long-term 통계 강우감쇠예측치 계산 절차

다음은 ITU-R 권고 P.618에서 임의의 한지점의 강우율데이터로부터 Long-term(장기간) 통계 강우감쇠치 계산 절차를 정리한 것이다(<표3.2>와 <그림3.21> 참조).

- (1) ITU-R 권고 P.839를 통해 지구국이 위치한 지역에 따라 강우높이(h_R)를 계산한다.

- 각 지역의 0°C 등온선 고도($h_{0^{\circ}\text{C}}$) 기준에 따른 강우높이

$$h_R = h_{0^{\circ}\text{C}} + 0.36 \quad (\text{km}) \quad (3.8)$$

- 우리나라의 0°C 등온선 고도($h_{0^{\circ}\text{C}}$) = 3km

- (2) 지구국이 위성을 바라보는 양각이 5도 이상일 경우와 5도 미만일 경우로 나누어 각기 다른 경사경로거리(slant-path length, L_s) 계산식을 적용한다.
- (3) 경사경로거리를 이용하여 수평입사경로거리(L_G)를 계산한다.
- (4) ITU-R 권고 P.837로부터 각 지역의 연시간을 0.01%의 기준 강우율 $R_{0.01}$ 을 뽑아낸다.

- 우리나라 수도권 지역의 경우 $R_{0.01}$ 은 30~35mm/h의 값을 나타냄.

- (5) ITU-R 권고 P.838로부터 주파수 종속 계수 k , α 를 구한 뒤 강우율 $R_{0.01}$ 을 이용하여, 비감쇠치(γ_R , dB/km)을 구한다.

$$\gamma_R = k (R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (3.9)$$

- (6) 수평감소인자($r_{0.01}$, horizontal reduction factor)와 수직조정인자($v_{0.01}$, vertical adjustment factor)를 구하고 난 뒤, 유효경로길이(L_E)를 계산한다.

- (7) 유효경로길이(L_E)와 비감쇠치(γ_R)를 이용하여 최종적으로 $A_{0.01}$ (the predicted attenuation exceeded for 0.01% of an average year)를 구한다.

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \quad (\text{dB}) \quad (3.10)$$

- (8) 임의의 연시간을 p (범위는 0.001%~5%에만 적용가능함)에 대한 강우감쇠예측치(A_p)는 앞에서 구한 $A_{0.01}$ 값을 <표3.3>에 나오는 기준으로 하는 아래의 식(3.11)에 넣어 계산한다.(이때 <표3.3>의 기준은 연시간율, 지구국의 안테나 양각·위도 조건이다.)

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)} \quad (\text{dB}) \quad (3.11)$$

<표3.3> 0.01% 이외의 연시간율에 적용하기 위한 β 조건 분류

조 건	β
$p \geq 1\%$ 또는 $ \phi \geq 36^\circ$	0
$p < 1\%$ 그리고 $ \phi < 36^\circ$ 그리고 $\theta \geq 25^\circ$	$-0.005(\phi - 36)$
그 외	$-0.005(\phi - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta$

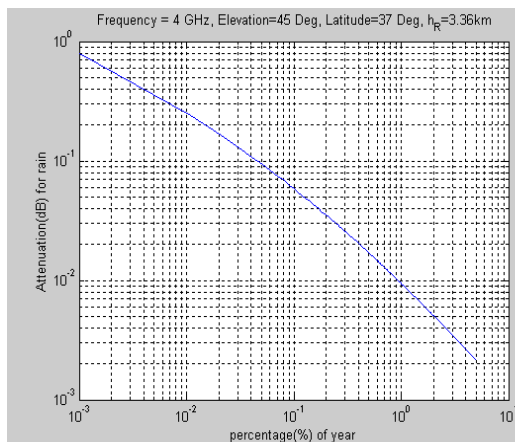
2. 위성이용 주파수에서 강우감쇠 예측

위성이용 주파수들을 적용하여 위성통신 경로상에서 강우감쇠 예상치를 계산해 보았다. 계산하여 구한 감쇠치는 앞의 단락에서 언급된 절차들을 이용한 것으로 장기간 통계치로 볼 수 있다.

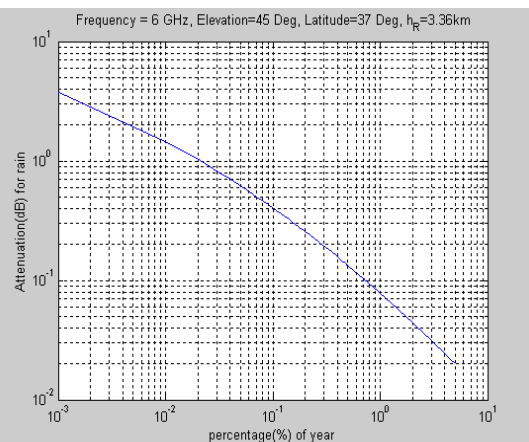
적용된 위성이용 주파수들은 앞서와 마찬가지로 각각 4, 6, 12, 14, 20, 30, 40GHz 대역 총 7개 대역들이다. 지구국이 위치한 위도는 북위 37도이고,

우리나라에서 정지궤도를 바라보는 안테나 양각을 45도로 고정하였다. 강우 높이는 우리나라에 적용되는 기준으로 3.36km(0℃ 등온선 고도($h_{0℃}$)=3km)로 정하였다. 0.01%의 연시간을 강우율 $R_{0.01}$ 은 우리나라 중부지역을 고려하여 33mm/h로 하였다.

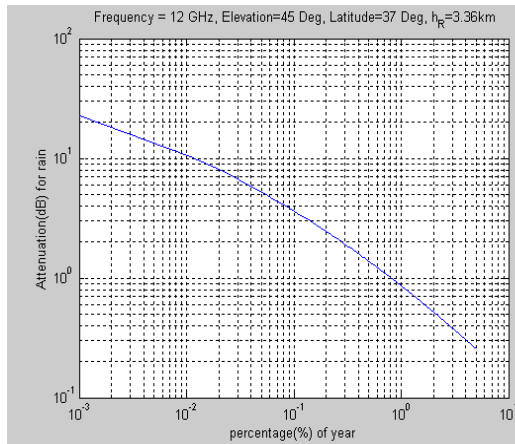
다음의 <그림3.22>에서 <그림3.28>은 각 위성주파수당 위의 언급한 조건에 따라 연시간율에 대한 강우감쇠 예상값을 식(3.11)을 이용하여 구한 것이다. <그림3.29>는 고정된 연시간율 0.01%에서 1~40 GHz까지 주파수별 강우감쇠 예상치를 나타낸 것으로 지구국의 위도와 양각, 그리고 강우고도는 앞의 그림들에서 적용된 같은 변수값을 가진다. 연시간율 0.01%를 기준으로 볼 때 10GHz 이상 대역에서 약 10 dB를 초과하여 감쇠함을 예상할 수 있다. 특히 40 GHz 대역의 경우 40dB 이상 강우감쇠가 예상된다. 이러한 감쇠 결과 예상치에서 추측해 볼 때, 20~40 GHz 주파수 대역을 이용하는 위성시스템 링크설계에 강우감쇠 특성을 고려하는 것이 얼마나 중요한가를 알 수 있다.



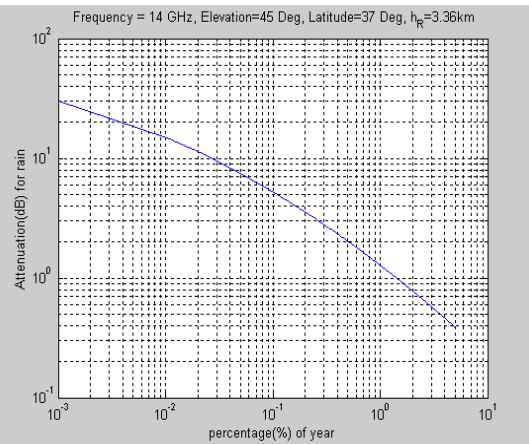
<그림3.22> 4GHz에서 강우 감쇠치



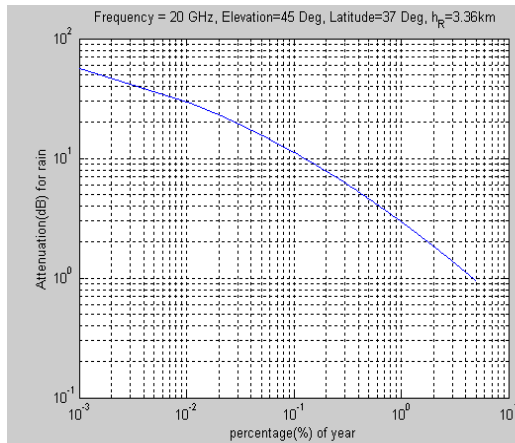
<그림3.23> 6GHz에서 강우 감쇠치



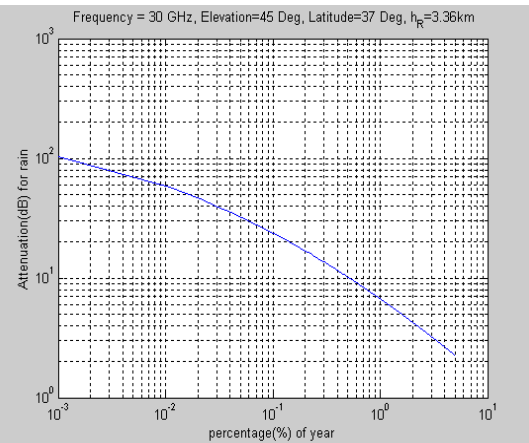
<그림3.24> 12GHz에서 강우 감쇠치



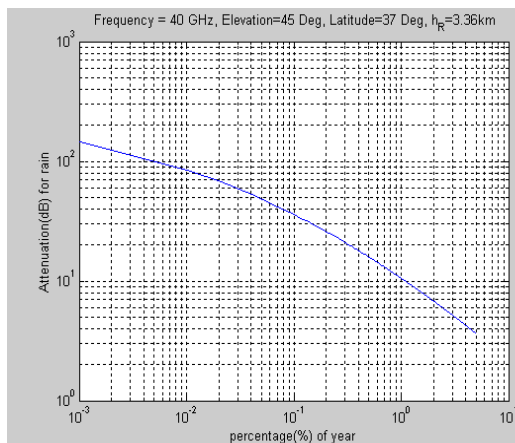
<그림3.25> 14GHz에서 강우 감쇠치



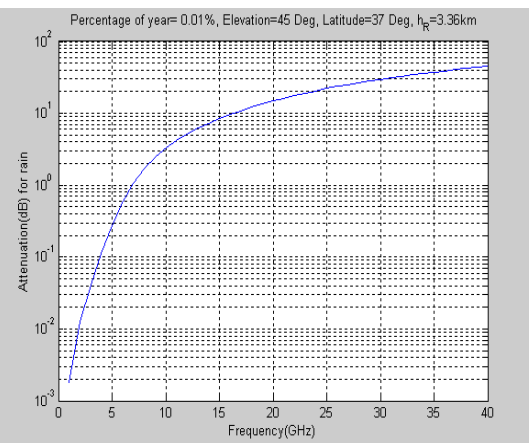
<그림3.26> 20GHz에서 강우 감쇠치



<그림3.27> 30GHz에서 강우 감쇠치



<그림3.28> 40GHz에서 강우 감쇠치



<그림3.29> 주파수별 강우 감쇠치

3. 임의의 40GHz 위성망에서 대기 및 강우 감쇠영향 비교결과

대기 중 가스에 의한 영향만을 고려했을 경우와 대기가스와 강우에 의한 영향을 동시에 고려했을 경우로 나누어, 우리나라 지역에 어떠한 감쇠분포 특성을 가지는지를 비교해 보았다. 40 GHz 대역 임의의 위성망을 선정하였고 거기에 알맞은 시스템 파라미터들을 찾아서 적용하였다^[20]. 비교결과치를 구하기 위해, Visualyse Professional(version 3.0)라는 위성전파간섭 소프트웨어를 이용하였다.

다음은 시뮬레이션에 이용된 위성망 시스템의 주요 파라미터들이다.

- o 위성궤도 : 동경 123.7도 o 운용주파수 대역 : 40 GHz
- o 우주국 송신 EIRP : 61dBW o 우주국 안테나이득 : 48 dBi
- o 지구국 안테나 이득 : 40 dBi
- o 지구국의 위치에 따라 위성을 바라보는 양각은 변함

다음은 시뮬레이션에 이용된 기후 파라미터들이다.

- o 연시간율 : 0.01%
- o 강우율 : 연시간율 0.01% 지역별 강우율(ITU-R 권고 P.837-4)
- o 대기온도 : 섭씨 15도 o 대기압 : 1013hPa
- o 수증기 밀도 : 7.5g/m³

<그림3.30>에서 보면, 주어진 시스템 파라미터를 적용할 때, 대기 중 가스에 의한 감쇠만을 고려할 경우 위성신호세기값이 -118에서 -119dBW 사이에 분포하게 된다. <그림3.31>에서 대기 중 가스와 함께 강우의 영향을 볼 경우, 우리나라 각 지역의 연시간율 0.01%의 강우율과 변화하는 안테나 양각에 따라 최대 약 -157 dBW, 최소 약 -187 dBW의 사이에서 신호세기값 분포를 가진다. 위의 결과로부터 우리나라 지역에서 연시간율 0.01%의 강우율에서 강우감쇠분포는 약 39dB에서 68dB 정도의 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.



<그림3.30> 대기가스에 의한 감쇠 영향(40GHz)



<그림3.31> 대기 중 가스와 강우에 의한 감쇠 영향(40GHz)

제 4 절 지구↔우주 링크상의 구름(또는 안개) 영향

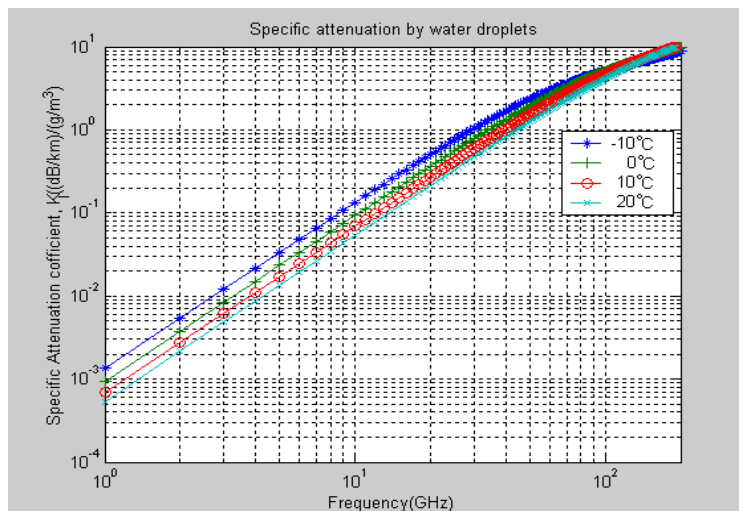
1. 구름(또는 안개)에 의한 감쇠

10GHz 이상 또는 낮은 운용가능성을 가진 마이크로웨이브 시스템 설계에서 구름으로 인한 감쇠는 중요한 변수가 될 수도 있다. 대개 0.01cm 보다 작은 물방울로 이루어진 구름이나 안개에서의 감쇠는 부피당 물의 총용량을 파라미터로 하여 표현할 수 있다. 다음은 구름이나 안개 속에서의 비감쇠치 (specific attenuation, γ_c , dB/km)를 나타낸 것이다^[15].

$$\gamma_c = K_l M \quad (\text{dB/km}) \quad (3.12)$$

이때 K_l 은 비감쇠계수이고 단위는 (dB/km)/(g/m³)이다. M 은 구름이나 안개 속에 있는 액체상태의 물(liquid water)의 밀도를 일컫고 단위는 g/m³이다.

비감쇠계수 K_l 은 주파수와 대기온도에 따른 물의 유전율 변화에 영향을 받는다. 유전율에 대한 개략적인 사항은 ITU-R 권고 P.840^[15]의 수식을 참고할 수 있다. <그림3.32>는 일정 대기온도상에서 1~200 GHz 주파수 대역에서 비감쇠계수 K_l 를 나타낸 것이다. 대기온도는 -10℃에서 20℃까지 10℃씩 증가시켰다. K_l 는 대기온도가 낮을수록 그리고, 주파수가 높을수록 증가함을 알 수 있다.



<그림3.32> 구름에 대한 비감쇠계수 K_l

보통 안개속 액체상태의 물의 밀도(M)는, 중간 정도 탁한 안개속(300m 정도 가시거리)에서 0.05g/m^3 이고, 매우 탁한 정도의 안개속(50m 정도 가시거리)에서 0.5g/m^3 이다. 이와 같은 M 값들을 식(3.12)에 대입하면 비감쇠치 γ_c 를 구할 수 있고 특히 지상에서 안개의 영향에 의한 감쇠를 계산할 때 쉽게 이용할 수 있다.

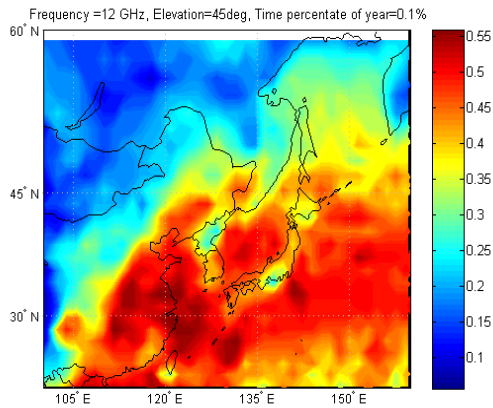
실제로 식(3.12)은 안개비처럼 구름이 매우 낮게 떠 있고 지구곡의 양각이 매우 낮은 경우는 적용이 쉽다. 대개 안개와 달리 구름은 공중에 떠 있기 때문에 양각에 따른 경로길이 개념을 쉽게 도입하기 어렵다. 따라서, ITU-R 권고 P.840에서는 주어진 연시간율에 대한 액체성질 물의 전체 원주 용량 통계치(L , the statistics of total columnar content of liquid water, kg/m^3)^[21]를 이용하여 구름으로 인한 감쇠(A_c)를 구하도록 하였는데, 아래 식(3.13)과 같이 표현할 수 있다.

$$A_c = \frac{LK_L}{\sin \theta} \quad (\text{dB}) \quad (3.13)$$

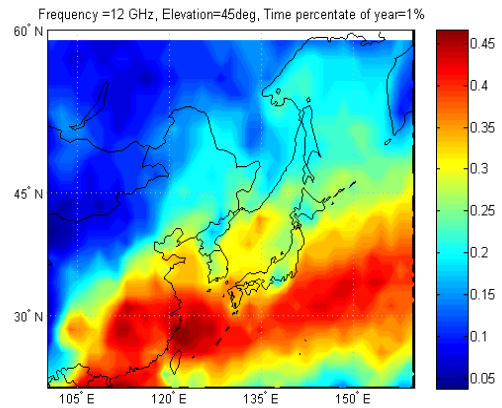
위의 식(3.13)은 안테나 양각(θ)이 $5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 일 때 적용할 수 있다. 구름이 분포하는 고도의 대기 온도를 고려할 때 K_L 은 <그림3.32>에 나오는 0°C 일 때 값들을 이용할 것을 권고하고 있다.

2. 위성이용 주파수 대역에서 구름에 의한 감쇠 예측

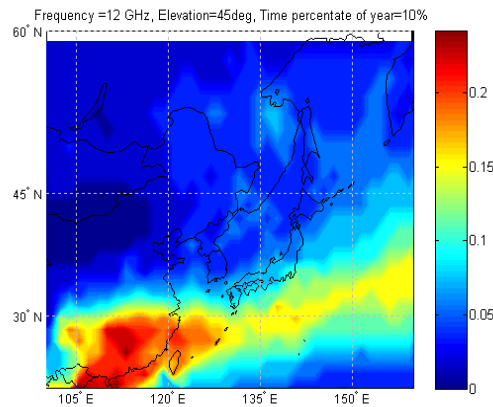
다음의 <그림3.33>에서 <그림3.52>까지는 ITU-R 권고 P.840에 나오는 각 연시간율(0.1%, 1.0%, 10%, 50%)에 대한 0°C 구름 속에 있는 액체상태 물의 전체 원주 용량 통계치(L)를 이용하여 구름에 의한 감쇠치를 12, 14, 20, 30, 40 GHz 대역에서 구한 것으로 식(3.13)이 적용되었다. 각 지역에서 정지궤도를 바라보는 안테나의 양각변화는 고려하지 않고 모두 45° 로 고정하였다. 한편 4GHz와 6GHz 대역의 감쇠치는 10 GHz 이상 대역들과 비교하여 미미하므로 고려하지 않았다.



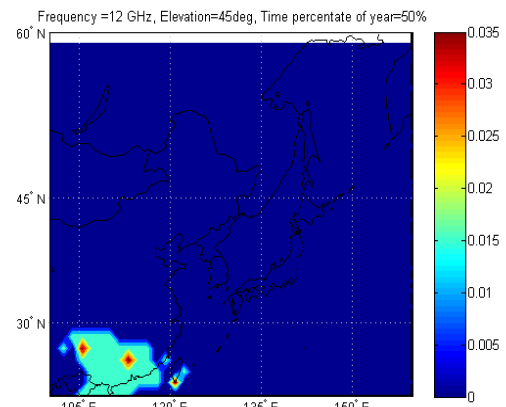
<그림3.33> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 0.1%



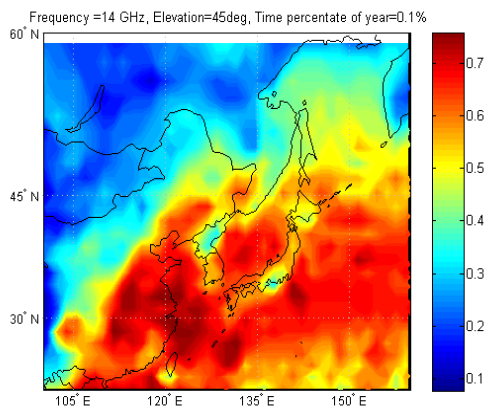
<그림3.34> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 1%



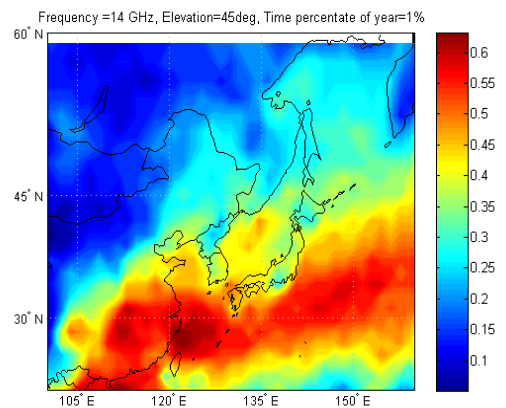
<그림3.35> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 10%



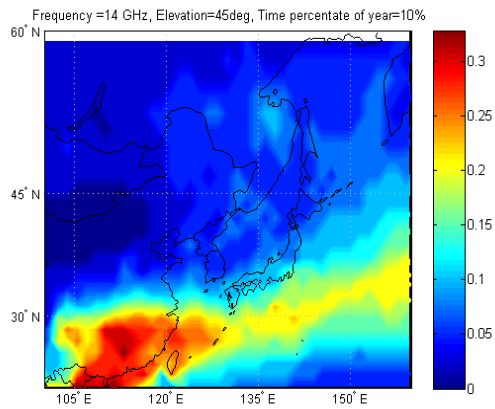
<그림3.36> 12 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 50%



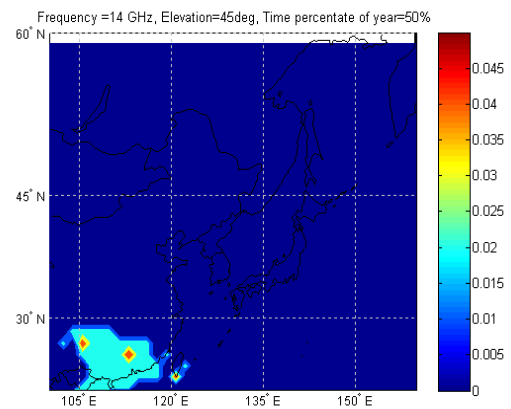
<그림3.37> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 0.1%



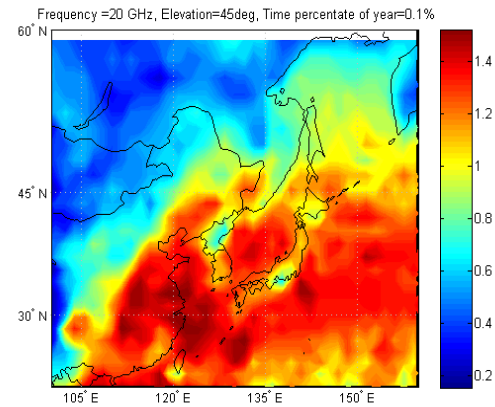
<그림3.38> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
- 연시간율 1%



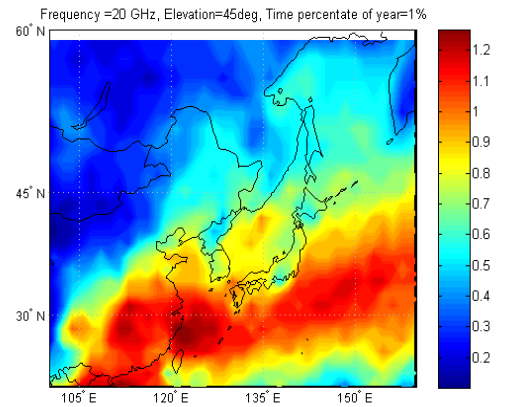
<그림3.39> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 10%



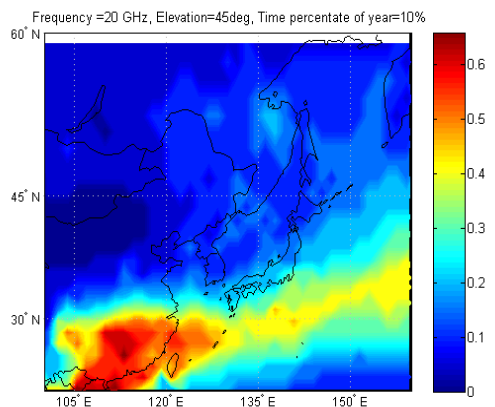
<그림3.40> 14 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 50%



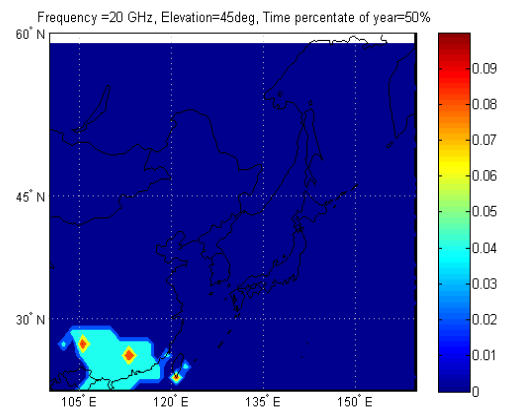
<그림3.41> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 0.1%



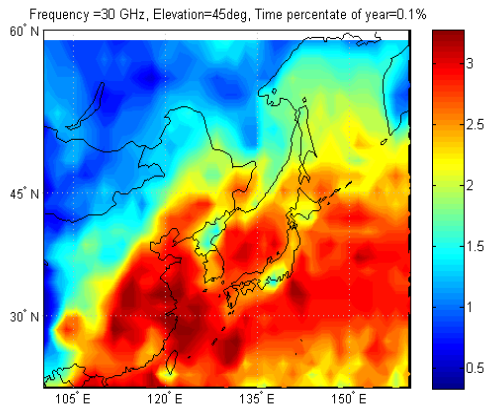
<그림3.42> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 1%



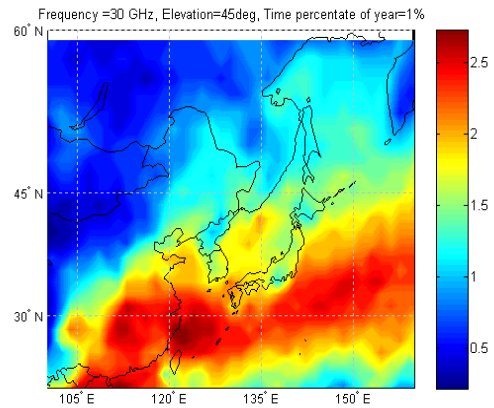
<그림3.43> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 10%



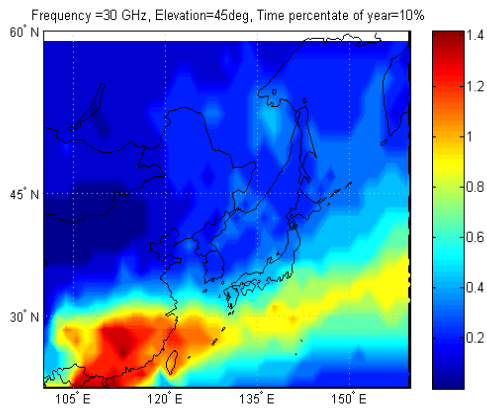
<그림3.44> 20 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 50%



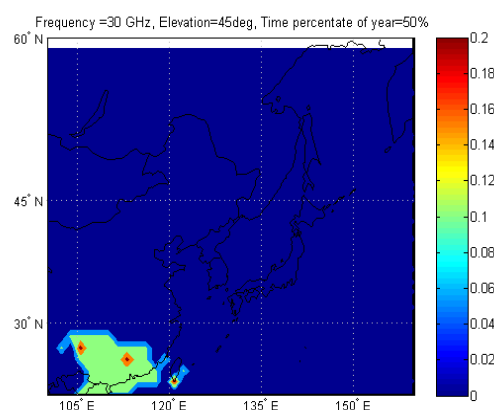
<그림3.45> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 0.1%



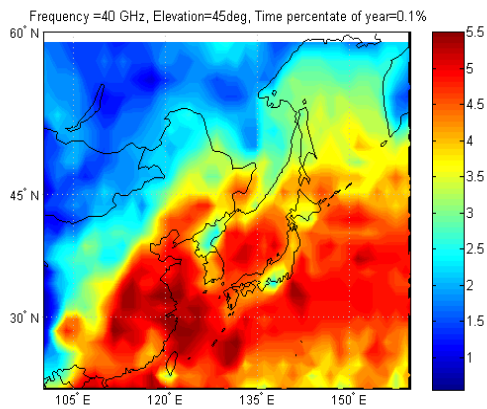
<그림3.46> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 1%



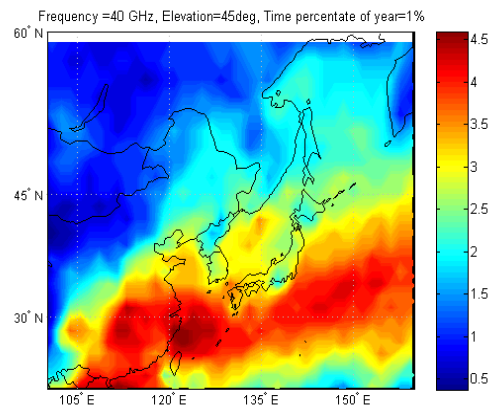
<그림3.47> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 10%



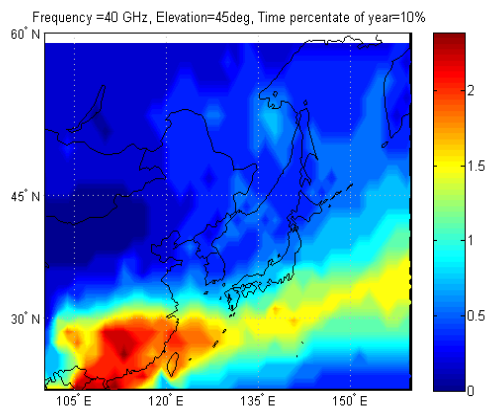
<그림3.48> 30 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 50%



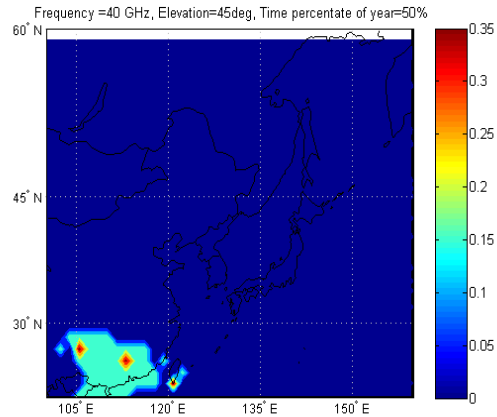
<그림3.49> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 0.1%



<그림3.50> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간을 1%



<그림3.51> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간율 10%



<그림3.52> 40 GHz에서 구름에 의한 감쇠치
-연시간율 50%

<표3.4>는 위의 한반도 주변 지역에서의 구름에 의한 감쇠영향 시물레이션에서 우리나라 지역의 감쇠치 분포를 정리한 것이다. 12GHz와 14GHz 대역의 결과를 보면 우리나라 지역에서 구름에 의한 감쇠분포는 전체적으로 1dB 미만으로 비교적 미미한 수준이나 40GHz 대역에서는 5.4 dB 정도로 이 대역의 위성링크 설계시 어느 정도 고려해야 할 사항이라고 판단된다.

<표3.4> 우리나라 지역의 구름에 의한 감쇠분포치

주파수 \ 연시간율	감쇠 추정치(dB)[최대~최소]			
	0.1%	1%	10%	50%
12 GHz	0.55~0.25	0.43~0.17	0.13~0.02	0
14 GHz	0.74~0.33	0.59~0.23	0.18~0.03	0
20 GHz	1.48~0.67	1.18~0.46	0.36~0.05	0
30 GHz	3.20~1.43	2.53~0.99	0.77~0.11	0
40 GHz	5.38~2.41	4.27~1.67	1.29~0.19	0

제 5 절 결 론

위성이 이용하는 여러 주파수 대역에서 대기압, 대기온도 및 수증기 밀도 값을 변수로 하여 대기 중의 건조공기와 수증기에 의한 감쇠예상치를 계산해 보았다. 감쇠 계산값에서 보면, 중위도 지역 여름에서 건조공기에 비해 수증기에 의한 감쇠영향이 우세하기는 하지만 이들 두 가지 영향을 동시에

고려한다 하더라도 중위도 여름 40 GHz 이하 대역에서 약 1.54dB 미만 정도이므로 대기 중 가스에 의한 감쇠 영향은 위성통신링크 설계시 무시할 수 있을 것이다.

장기간 통계치에 의한 강우감쇠치 계산 결과에서 보면, 10GHz 이상 대역에서 강우감쇠 영향은 심각하게 고려해야 할 사항이다. 우리나라 전역의 연 0.01% 시간율의 강우율 데이터를 기준으로 특히 40GHz 대역에서 39~68dB의 강우감쇠 예상치 분포를 가진다. 향후 이 대역에서의 위성링크 설계시에 중요한 고려사항일 것이다.

구름에 의한 영향을 본 시뮬레이션에서 12GHz와 14GHz 대역만의 결과를 보면, 우리나라 지역에서 구름에 의한 감쇠분포는 전체적으로 1dB 미만으로 비교적 미미한 수준이다. 하지만 40GHz 대역에서는 5.4 dB 정도로 이 대역의 위성링크 설계시 어느 정도 고려해야 할 사항이라고 판단된다.

앞에서 언급된 위성전파 전파모델들에 의한 예상감쇠치와 실제 위성측정 데이터와의 비교가 사실상 필요하다. 또한, 향후 측정 데이터와의 비교 분석을 통한 결과는 우리나라의 실정을 고려하는 전파전파모델과 관련한 ITU-R 권고의 개정 활동에 이용되어야 할 것이다.

제 4 장 운용 및 계획 중인 우리나라 위성망 보호방안 연구

본 장에서는 우리나라 위성망의 확보 및 보호를 위해 WRC-2003 결과 및 국제등록에 따른 관련 S/W에 대해 살펴보고, 2003년도에 우리나라에서 국제등록을 추진 중에 있는 지구국과 위성망에 대한 내용에 대하여 고찰해 보고자 한다.

제 1 절 국제등록절차 및 관련 S/W 운용

기술발전 추세를 반영하고 유용 가능한 전파자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력이 추진되고 있는 가운데 선진국을 중심으로 신규 서비스도입을 위해 자국의 전파자원을 확보하기 위한 노력이 치열하게 전개되고 있는 상황이다. 2003년 6월에 개최된 WRC-03에서는 48개의 의제에 대해 약 2300여 명이 참가하여 2500개의 제안서가 다루어 졌으며, 개정내용에 따라 일부 개정된 규정은 2003년 7월 5일부터 발효하였으며, 제12조 및 AP 4는 2004년 1월 1일부터, 대부분 규정은 2005년 1월 1일부터 발효하도록 결정되었고, 특히 7MHz대역에서의 재분배에 관한 규정은 2009년 3월 29일부터 발효하도록 하였다. 주요 개정내용을 살펴보면 다양한 업무를 위한 주파수 분배의 신규 또는 변경으로 주파수분배표상의 다양한 업무와의 공유를 위한 분배의 추가 또는 변경되었고 규정 절차의 측면에서 방송위성업무 계획을 위한 AP30, AP30A 및 고정위성업무 계획을 위한 AP30B의 개정 등과 위성음성방송을 위한 주파수 및 운용 조건 변경, 아마추어업무 등의 운용 절차 등에 관한 변경 및 기술적인 규정의 변경, RR 제21조 및 RR 제22조에 따른 정지 및 비정지위성의 공유 조건 등과 공공안전 재난 구호에 관한 규정 및 IMT-2000 서비스를 위한 검토 등이 있다. 우리나라와 직접적으로 관련되는 개정내용을 알아보면 통신위성망을 이용한 위성방송 수신안테나사이즈에 있어서 45cm를 보호하도록 하고, 방송위성망을 이용한 위성방송 수신안테나 사이즈에 있어서 2015년까지 45cm를 보호하며 2,605~2,635MHz가 위성용 DMB 주파수로 분배되었다.

또한, 우리나라는 전파통신분야 기술발전추세를 이해하고 위성망, 지상망,

방송망 등의 국제등록과 관련하여 올바른 이해를 돕기 위해 2003년 11월 3 지역에서는 최초로 국제전기통신연합의 전문가를 초빙하여 국제등록에 따른 제반절차 및 규정과 관련 S/W운용에 대한 세미나를 제주도에서 개최하여 참석하였다.

WRC-2003 결과 및 세미나 내용을 토대로 위성통신·방송 및 지구국의 국제등록절차 및 방법의 주요내용과 관련 S/W의 사용에 대한 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 국제등록 관련 규정 및 절차

가. 위성궤도 및 주파수 분배절차

ITU 헌장 제44조에서는 주파수 및 궤도를 효율적으로, 경제적으로 또한 공평하게 운용하도록 하고 있으며, 실질적으로 위성궤도 및 주파수의 이용에 있어서는 두 가지 메카니즘이 있다. 첫째는 조정에 따른 방법으로 위성궤도 및 주파수(이하 “위성전파자원”)의 효율적인 사용을 위해 선착순에 따라 위성전파자원을 확보하는 것이며 둘째는 계획에 의한 방법(AP30, 30A, 30B)으로 위성전파자원의 공평한 사용을 위해 계획에 따라 국가별로 분배하는 것이다.

조정에 따른 분배 규정 절차는 RR 제9조(조정 절차), 제11조(통고 절차), 제21조 및 제22조(제한값)과 AP 4, AP 5, 결의 49, 결의 539, 결의 609 등이 있고, 계획에 따른 분배 규정 절차는 AP 30(방송위성), AP 30A(방송위성 feeder link), AP 30B(고정위성업무) 등이 있다.

위성망의 조정에 따른 간섭을 제어하기 위한 전파규칙의 메카니즘은 크게 분배, 할당, 규정에 따른 보호 및 제한값의 적용 등으로 볼 수 있으며 분배는 주파수별 업무를 부여하는 것이고, 할당은 지역별 또는 국가별로 분배된 주파수를 부여하는 것이고, 규정에 따른 보호는 RR 제22조(비정지위성으로부터 정지위성 보호) 등을 들 수 있고, 제한값의 적용은 PFD(지상망 보호), EPFD(비정지위성으로부터 정지위성 보호), EIRP(우주업무의 보호) 등을 들 수 있다.

비계획된 위성망의 등록은 사전 공표, 조정과 통고 및 등록원부에 등재의 세가지 절차를 따르고 있다. RR 제9조 제1절에서 1A는 조정이 필요 없는

경우를, 1B는 조정이 필요한 경우를 나타내고 있으며, 1A를 따르는 위성망의 경우, 사전공표 후 조정 자료 없이 통고할 수 있고, 1A를 따른 위성망의 사전공표에 이의를 제기한 경우, RR에 조정을 완료할 것을 요구하는 조항이 없으므로 지속적으로 합의가 이루어지지 않을 경우에도 주관청간에 해결을 해야 하며 합의가 완료되지 않은 상태에서 통고/등재 하여도 RR상 불이익이 없고, 1B를 따르는 위성망의 경우, 사전공표 6개월 후에 조정 자료를 내고 조정이 완료된 후 통고하는 절차를 거쳐야 한다. 조정 절차는 RR 제9조 제2절에서 규정하고 있으며, 조정 자료에 대한 간섭 영향 등의 이의제기는 4개월 이내에 해야 하고, 9.7에 의한 조정대상국가와는 4개월 이내에 이의제기 여부와 상관없이 조정을 완료하여야 하며, 비계획된 주파수를 이용하는 방송 위성망의 경우, 1999년 1월 1일 이전에 사전공표 자료를 제출한 위성망은 결의 33을 따르고, 그 이후에 제출되는 방송위성망은 9.11을 따르고 있다.(WRC-03) 이와 아울러, 결의 49에 따른 행정적 이행절차는 Paper Sat. 방지 등을 위해 1997년 11월 22일부터 적용되고 있으며, ITU에 위성체 제조사, 발사 정보 등을 제출하여야 하고, 사용 예정일 6개월 전에 BR은 독촉장을 보내며, 행정적 이행 절차를 준수하지 않을 시에는 위성망 등록이 취소된다.

최종적으로 위성망과 지구국의 최종 등재를 위해서는 통고 및 등재 절차를 수행하여야 하며, 통고 관련 규정은 RR 제11조, 결의 33, 부록 30, 30A 및 30B가 있고, RR No.11.44.1(WRC-2003)에서는 9.1조에 따라 첫번째 통고 자료는 사전공표자료 접수일로부터 7년 이전에 제출하도록 하고 있으며, 1997년 11월 22일 이전에 사전공표자료를 제출한 경우에는 사전공표자료 공표 후 9년 이전에 통고 자료를 제출하여야 한다. RR 제9조 1A에 따라 조정이 필요없는 경우에는 사전공표자료 공표 6개월 이후에 통고자료를 제출할 수 있으나, 1B에 따라 조정이 필요한 경우에는 사전공표자료 접수 6개월 이후에 제출하여야 한다. 지구국의 경우 관련 우주국의 통고가 시작된 후 통고를 시행하여야 한다. 결의 55에 따라 2003년 9월 3일 이후에는 전자적 방법으로 통고서를 제출해야 하며, BR은 이러한 통고서를 접수한 후 30일 이내에 IFIC로 공표하여야 한다. 통고서의 시간제한 규정은 RR Nos. 11.44, 11.44.1(WRC-2000) 및 11.25이며 11.25의 내용은 사용예정일은 통고일로부터 3년을 초과할 수 없다고 규정하고 있다. 제출된 통고서는 BR에 의해 검증절

차를 거쳐야 하며 검증하는 내용은 Nos. 11.31(주파수 분배표상의 일치성 검토), 11.32(조정절차의 일치성 검토), 11.32A 및 11.33(간섭 확률 검토)이고 11.31에 일치하지 않아 부적합 판정을 받은 통고서의 재제출은 불가능하지만, 통고기간(7년 또는 9년)이 경과하지 않은 경우에는 신규 통고서를 제출할 수 있다. 11.31을 제외한 다른 규정에 의한 통고서의 재제출은 반송후 6개월 이내에 가능하다.

나. 방송 및 고정위성업무 계획

방송위성업무 계획은 전과규칙 부록30(다운링크)와 부록 30A(피더링크)에 규정되어 있으며, 부록 30에 규정된 내용은 12GHz 대역에서 1, 3지역의 234개 빔과 2지역에 238개 빔이 있다. 우리나라는 아날로그 및 디지털 3개 빔을 분배받은 바 있다. 부록 30A의 규정내용은 14/17GHz 대역에서 1, 3지역에 308개 빔과 2지역에 238개 빔이 있다. 또한, 1지역과 3지역 방송위성업무 List는 현재 부록 30에 의거 12GHz 대역에 29개 망/204개 빔이 있으며, 부록 30A에 14GHz대는 1개 망/1개 빔이 있고, 17GHz대는 24개 망/160개 빔이 있다. Plan과 List간의 공유를 위한 분석방법은 Plan의 경우 1, 3지역은 EPM, 2지역의 경우 OEPM의 방법을 적용하고 있으며, List의 down-link의 경우 PFD와 EPM의 방법을 적용하고 있다.

고정위성업무 계획(AP 30B)은 Part A에서는 구역분배, Part B에서는 운용 시스템에 대해 규정하고 있으며, Part B에서는 계획의 채택 전에 MIFR에 등재되거나, 조정 절차가 수행중이거나, 또는 1985년 8월 8일 이전에 사전공표가 접수된 위성망이다. 또한, 허용할 수 있는 값 이내에서 간섭을 유지하고, 관련 PDA(PreDetermined Arc)내에서 공칭궤도 위치를 움직이는 주 관청은 간섭받는 것으로 간주되지 않고 있고 추가 사용은 15년으로 한정하고 있다. 구체적인 사용을 위해 분배를 받고자 하는 신규 회원국은 최대 10개의 test point를 지정하고 각 test point에서의 해발고와 강우지역을 표시해야 하며, 기타 특이사항을 국제전기통신연합에 통보하여야 한다.

다. 지구국에 관한 조정 절차

지구국의 국제등록과 관련하여 제5, 9, 11조 및 AP 4, 5, 7에 따라 조정과정을 수행하여야 하고, 조정영역의 결정은 AP 7 및 권고 ITU-R SM.1448에 따른 규정 및 S/W를 이용하게 된다. 또한 지구국의 조정을 위해 부록 4의 부속서 2A에 따른 정보 즉, 주파수, 위성 정보, 좌표, 안테나 패턴 및 이득 등의 정보제공이 필요하다. 지구국의 조정영역도에 포함되고 간섭영향이 예상되는 주관청은 4개월 이내에 의견을 송부하여야 한다.

지상업무와 우주업무는 주로 1GHz 이상 대역에서 공유되고 있으며, 1차적으로 상호 공유가능여부와 조정이 필요한지 여부를 결정하기 위해 지구국 운용에 따른 지상망간 또는 다른 지구국간의 조정영역, 조정영역도, 조정거리라는 용어를 사용하고 있다. 이 경우 조정영역 내에 지상망이나 다른 지구국이 포함될 경우 조정이 필요함을 의미한다. 이 경우 규정적인 면을 살펴보면, 비정지위성 지구국과의 조정은 전파규칙 9.16에 근거하고 있으며, 동일한 일차업무로 분배되어 있으며 9.16과 9.19에 따르지 않는 지구국과의 조정은 전파규칙 9.18에 근거하고 있고, 방송위성업무용 지구국과의 조정은 9.19에 근거한다. 또한, RR 제5조의 주파수 분배표상의 각주에 따라 조정 동의를 구하여 운용하여야 하는 경우는 전파규칙 9.21에 근거하고, AP 5의 표 5-1에 따른 threshold 값을 초과할 경우에 간섭을 받는 것으로 간주하여 조정을 하도록 되어있다. RR 제21조는 지상업무와 우주업무의 공유를 위한 우주업무의 출력 제한값 등을 규정하고 있고 지상업무와 우주업무간의 공유 관련 참고문헌을 알아보면, 전파규칙의 결의 및 참조에 인용되는 권고 즉, ITU-R 권고 F.1245, M.1141, M.1142, M.1143, M.1319, F.1108가 있으며, 이에 따른 TOOL의 내용은 권고 ITU-R F.1335에 권고되어 있다.

2. 국제등록 관련 S/W

우주국 및 지구국 등의 국제등록 내용은 ITU의 홈페이지에 SNS 데이터 베이스를 통해 제공되고 있으며, 각국이 국제등록을 완료하거나 추진중인 위성망의 현황과 제원 등을 제공하고 있다. 또한, 우주 업무 관련 이해를 돕기 위해 preface를 마련하여 제공하고 있다. 이는 4개의 section으로 구성되어

있으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

- section 1 : 일반적인 사항
- section 2 : BR IFIC 및 SRS 구조 및 내용에 대한 서술
- section 3 : SNS 구조 및 내용 서술
- section 4 : 주관청의 약호 및 주소 등 각종 기호와 관련된 정보

우주 업무 관련 S/W는 SpaceCap, SpaceVal, SpaceQuery, GIMS, SpaceCom 등이 있으며, SpaceCap은 국제등록에 따른 위성 및 지구국의 제원 및 운용계획 일자 등 간략한 사용계획 등을 전자적인 파일로 작성하기 위한 프로그램이고 SpaceVal은 SpaceCap을 이용해 작성된 내용이 전파규칙 및 관련 규정에 적합하게 작성되었는지 여부를 확인하기 위한 프로그램이며, SpaceQuery는 각국의 조정공표 내용 및 등록이 완료된 위성망과 지구국의 내용을 검색하기 위한 프로그램이다. 또한, GIMS는 우주국의 송·수신에 따른 서비스 지역 및 위성망간과 지상망에 대한 간섭영향 평가를 위한 안테나의 콘투어를 작성하기 위한 프로그램이고, SpaceCom는 신규 및 추가되는 위성망에 대해 영향이 우려되는 주관청이 이의제기 내용을 작성하기 위한 프로그램으로 현재까지는 이의제기시 SpaceCom을 이용해야 하는 것이 의무사항은 아니었으나 조만간에 의무사항으로 전환될 예정으로 있다.

국제전기통신연합에서 위성망의 공표와 관련하여 발행하고 있는 BR IFIC (space service) 는 영어, 불어, 스페인의 3개국어로 매 2주마다 CD로 공표되고 있으며, BR IFIC는 사전공표자료 또는 조정자료가 포함된 special section 외에 GIMS data, SPS database, Cost Recovery status, circular letter 등이 포함되어 있고 신규 버전의 BR software가 있을 경우, 보통 3개월 정도 BETA S/W로 제공하고 있다. BR IFIC의 news에서 새롭게 변경 또는 추가되는 내용 여부를 확인할 필요가 있으며 IFIC CD 내의 search 기능을 활용하여 우리나라의 운용 및 향후 계획된 와 관련된 부분을 확인할 수도 있다. 위성망의 CD-ROM을 통한 공표일자와 종이문서의 공표일자 중 공식적인 일자는 CD-ROM의 일자가 우선한다.

제 2 절 2003년도 우리나라 국제등록 신청내용 고찰

1. 지구국 국제등록 신청

2003년도 우리나라 지구국 국제등록에 따른 공표내용을 알아보면 <표 4.1>과 같다. PART I-S는 사용계획이 있는 주관청이 지구국의 국제등록을 위해 주변국과의 조정절차를 완료한 후 통고한 지구국의 숫자를 나타내고, PART II-S는 통고된 지구국이 조정과정 및 국제전기통신연합의 검토결과 관련규정 등에 합치하여 주파수등록원부(MIFR)에 최종적으로 등재된 숫자를 의미하며, PART III-S는 통고된 지구국 중 전파규칙 등 관련 규정에 부합하지 않거나 상대위성과의 제원 등의 불일치 등으로 인해 반려된 숫자를 나타낸다.

본 내용은 우리나라 주변국과의 조정 및 국제등록 통고절차를 고려해볼 때 2003년 이전에 신청된 지구국으로 총 59 국의 지구국에 대한 국제등록이 완료되었으며, 관련규정에 합치하지 않아 반려된 지구국의 수가 12국으로 지구국의 국제등록에 따른 규정 및 절차는 물론, 관련 S/W를 운용함에 있어 정확한 이해가 필요함을 알 수 있다.

<표 4.1> 우리나라 지구국 통고현황

(단위 : 국)

PART I-S(통고)	PART II-S(등재)	PART III-S(반려)
8	59	12

2003년도에도 우리나라의 전파자원 확보를 추진하고 있으며, 한국천문연구원의 TAEDUK 등 5개의 전파천문국과 (주)KT의 KUMSAN-1A 등 총 44개의 지구국에 대한 국제등록을 위해 일본 등 우리나라 주변국과의 조정 및 통고를 추진 중에 있다.

지구국의 국제등록신청서 작성에 있어서 발생하고 있는 오류의 주요내용을 살펴보면 국제등록신청서 작성에 있어서 과거 종이자료에 의한 작성에서 전파규칙(RR)의 국제등록 절차 및 방법의 변경에 따라 SpaceCap S/W를 이용한 전자형식에 따른 신청서작성이 이루어져야 하나 아직도 일부 시설자의 경우 종이형식으로 신청서를 작성하고 있고, 조정영역 결정을 위한 S/W 사용에 있어서도 국제전기통신연합에서 지정한 R1448 S/W를 사용하여야 하나

과거에 사용되던 Ap28 S/W나 R847 S/W를 사용하는 경우가 발생하고 있어 국제적인 환경변화를 정확히 파악하지 못한 것으로 풀이된다. 또한, 지구국 파라미터 등의 결정에 있어서 상대위성망의 국제등록 내용과 위성명, 위성망 공표번호, 빔명 등이 불일치하는 사례가 있고, 서비스내용 및 주파수대역에 있어서 주파수분배표와 불일치하거나 송신출력, 안테나이득, 잡음온도 등 제원 설정에 있어서의 오류 등이 발생하고 있는 실정으로 심도 있는 검토와 각별한 주의가 요망된다.

2. 위성망 국제등록 신청

2003년도 우리나라의 신규 국제등록 공표내용을 살펴보면, 사전공표내용은 <표4.2>에서 알 수 있듯이 SKDAB-2 등 23개의 정지궤도위성망에 대한 신규 및 추가 사전공표가 있었다.

<표 4.2> 우리나라 위성망 사전공표 현황

위성명	궤도	회보번호	공표번호
SKSAT-1	111.5E	2493	API/A/2642
SKSAT-2	117.5E	2493	API/A/2643
SKSAT-3	147E	2493	API/A/2644
KOREASAT-113D	113E	2504	API/A/2822
KOREASAT-116D	116E	2504	API/A/2823
KOREASAT-126D	126E	2504	API/A/2824
KOREASAT-144D	144E	2504	API/A/2825
KOREASAT-103E	103E	2506	API/A/2909
KOREASAT-103KU	103E	2506	API/A/2910
KOREASAT-103L	103E	2506	API/A/2911
KOREASAT-103X	103E	2506	API/A/2912
KOREASAT-113E	113E	2506	API/A/2311 MOD-2
KOREASAT-113L	113E	2506	API/A/2913
KOREASAT-113X	113E	2506	API/A/2914
KOREASAT-116E	116E	2506	API/A/2915
KOREASAT-116L	116E	2506	API/A/2916
KOREASAT-116X	116E	2506	API/A/2917
KOREASAT-123.7E	123.7E	2506	API/A/2918
KOREASAT-123.7KA	123.7E	2506	API/A/2919
KOREASAT-123.7KU	123.7E	2506	API/A/2920
KOREASAT-123.7L	123.7E	2506	API/A/2921
KOREASAT-123.7X	123.7E	2506	API/A/2922
SKDAB-2	144E	2508	API/A/2052 MOD-2
계	23개 위성망		

<표 4.3> 우리나라 위성망 조정공표 현황

위성명	궤도	회보번호	공표번호
HYUNDAI-AA	120E	2486	CR/C/655
HYUNDAI-AC	120E	2486	CR/C/656
HYUNDAI-AL	120E	2486	CR/C/657
HYUNDAI-AS	120E	2486	CR/C/658
HYUNDAI-AU	120E	2486	CR/C/659
HYUNDAI-BA	126E	2486	CR/C/660
HYUNDAI-BC	126E	2486	CR/C/661
HYUNDAI-BL	126E	2486	CR/C/662
HYUNDAI-BS	126E	2486	CR/C/663
HYUNDAI-BU	126E	2486	CR/C/664
EASTSAT	164E	2487	CR/C/680
KOREASAT-2A	113E	2489	CR/C/806
KAISTSAT-4	N-GSO	2495	CR/C/983
EASTSAT-KA-116	116E	2497	CR/C/1026
SKDAB-2	144E	2501	CR/C/1073
계	16개 위성망		

비정지궤도위성망에 대한 사전공표 내용은 없었으며 조정공표 내용은 <표4.3>에서 알 수 있듯이 총 16개 위성망에 대한 조정공표가 있었으며, 정지궤도의 경우 EASTSAT-KA-116 등 15개 위성망, 비정지궤도의 경우 KAISTSAT-4 등 1개의 위성망에 대한 조정공표가 이루어 졌다. 또한, KOREASAT-116D 등 신규 위성전파자원의 확보를 위해 조정자료가 신청되는 등 위성전파자원 확보에 전력을 기울이고 있다.

3. 전 세계 위성망 국제등록 공표내용(2003년)

국제적인 공표내용은 <표4.4>에서 알 수 있듯이 정지궤도 위성망은 965개의 사전공표와 1190개의 조정공표 및 672개의 위성망에 대한 통고가 있었으며, 비정지궤도 위성시스템은 76개의 사전공표자료, 59개의 조정공표 및 234개의 통고가 있었고, 지구국은 1,399개의 통고가 이루어진 상황이다. 또한, 결의49에 따라 행정적 이행절차(DDI)가 이루어져야 하는 상황에서 정지위성의 경우 77개의 위성망이, 비정지위성시스템의 경우 1개의 위성시스템이 IFIC에 공표된 바 있다. 국제등록 공표내용 중 상당부분은 운영 또는 계획중인 위성망 제원의 변경 및 추가내용으로 볼 수 있으나 미루어 추측한다면 세계 각국에서 상당히 많은 수의 위성망에 대한 등록을 추진하고 있는 것으로 판단된다.

<표 4.4> 2003년도 전세계 국제등록 공표건수

회보No	정지궤도위성				비정지궤도위성				지구국 (N)	합계
	API	C	N	Res49	API	C	N	Res49		
2509	41	16	55		4	1	4		58	179
2508	34	28	30		10	3	9		94	208
2507	49	27	21		6	6	9		51	169
2506	43	36	15		1	10	3		40	148
2505	62	49	21		3	10	8		13	166
2504	85	54	15		3	1	3		12	173
2503	31	35	9		5	1	8		31	120
2502	37	22	17	6	5	2	1		16	106
2501	63	25	19		3		8		22	140
2500	39	25	103		1	2	75		315	560
2499	37	110	22	1	2	2	2		15	191
2498	38	38	21		2	8			58	165
2497	69	56	19	11	1		3		28	187
2496	34	37	17	18	6	3	5		40	160
2495	24	49	33	24	1	2	6	1	53	193
2494	20	52	28	4			6		40	150
2493	26	47	23				6		14	116
2492	36	55	32	2	3	4	13		28	173
2491	29	40	33		2		5		21	130
2490	63	49	23		1	2	12		101	251
2489	36	80	36		2		11		75	240
2488	30	58	10		7	1	2		119	227
2487	19	80	15	11	5		2		26	158
2486	17	76	23			1			63	180
2485	3	46	32		3		33		66	183
계	965	1190	672	77	76	59	234	1	1399	4673

이와 같이 세계 각 국은 자국의 위성전파자원을 확보하기 위해 심혈을 기울이고 있는 상황에서 우리나라의 위성전파자원을 보호하기 위해서는 전파규칙에서 정한 절차에 따라 이의제기 및 조정절차를 수행하여야 한다. 비록, 우리나라에서 확보한 위성전파자원이라고 하더라도 다른나라에서 신규 위성전파자원을 확보하기 위해 공표되는 위성망으로부터 야기되는 전파간섭 영향에 대한 이의제기가 적기에 이루어지지 않을 경우 다른나라 위성망으로부터의 혼신을 용인해야 하며 또한, 경우에 따라서 우리나라 무선국 운용에 따라 다른나라 무선국에 혼신을 야기하여서도 않되는 상황이 발생한다. 이와 같이 이의제기를 적기에 실시하는 것은 그만큼 중요한 의미가 있어 간과될 수 없는 실정이다. 현재 이의제기에 대한 작업은 신규공표 위성망의 증가와 더불어 우리나라에서 공표된 위성망이 상당한 만큼 그리 손쉬운 작업은 아니다. 이러한 문제는 이의제기 관련 작업의 자동화라는 당면과제를 수반했으며, 그동안 추진된 내용은 국제전기통신연합에서 발간하고 있는 전자화일에 대한 구조분석, 위성궤도 및 주파수대의 고찰을 통한 이의제기 대상 위성망의 추출, 추출된 위성망으로부터 상대국과 전기통신연합에 송부되어야 하는 영문서한의 작성 등이다. 물론, 이러한 작업은 관련 규칙의 제·개정 내용의 반영과 공표되는 서식을 현행화 하는 작업등이 계속적으로 수반되어야 한다. 2003년에 현행화된 내용은 우리나라의 신규공표 위성망에 대한 내용을 추가하였으며, 우리나라 지상망 보호를 위한 주파수대의 추가, 위성별 변경 또는 추가되는 공표상황에 대한 공표번호(SSN : Special Section Number)의 Revision 내용에 대한 처리, 영문서한 작성에 있어서 과거 장해요인으로 남아 있던 프로시저의 코딩(coding) 길이에 대한 제한 등을 모듈을 분리하고 연계함으로서 해결하였다.

이를 토대로 개발 및 보완된 자체 TOOL을 이용하여 <표 4.5>에서와 같이 2003년에는 일본 등 769개 신규 공표된 다른나라 위성망에 대해 이의제기를 실시하여 우리나라 위성전파자원을 다른나라 위성망 등으로부터 보호한 바 있다.

또한, 우리나라 위성전파자원 확보를 위해 일본, 중국 등 주변국과의 위성망 조정회의를 통해 최근 각광을 받고 있는 2GHz대역의 조정을 하는 등 계속적인 노력을 기울이고 있다.

<표 4.5> 2003년도 국가별 이의제기 건수

주관청명	사전공표	조정공표 (BSS 포함)	계
ARS	2	0	2
AUS	21	21	42
BLR	1	0	1
BRU	1	0	1
CAN	2	0	2
CHN	40	45	85
CZE	1	0	1
D	8	1	9
F	23	36	59
G	21	25	46
HOL	0	19	19
I	3	0	3
IND	11	5	16
INS	3	5	8
IRN	1	0	1
J	119	70	189
LAO	0	11	11
LUX	37	2	39
MLA	3	8	11
NOR	0	2	2
NZL	1	2	3
PHL	0	2	2
PNG	2	5	7
RUS	8	16	24
SEY	0	2	2
SNG	2	5	7
THA	15	4	19
TUR	1	2	3
UAE	19	0	19
USA	46	83	129
VTN	0	7	7
계			769

제 3 절 결 론

국제적으로 위성전파자원에 대한 효율적인 사용을 위해서 국제전기통신연합(ITU)을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 금년에도 이를 위한 전파규칙(Radio Regulation)에 대한 제·개정 작업을 위해 WRC-03이 개최된 바 있다. 이에 대해 고찰해 보면 실질적으로는 자국의 위성전파자원을 확보하고 보호하기 위한 치열한 경쟁이라 할 수 있다.

이러한 경쟁체제 하에서 신규서비스보급 및 보급중인 서비스를 보호하는 것은 국가적인 과제라 할 수 있으며 이러한 국제적인 환경변화 속에서 우리나라도 예외가 될 수는 없다. 보다 효과적인 위성전파자원을 확보하기 위한 접근 방법으로 크게 두가지 측면에서 고찰할 수 있는데, 첫째는 주파수분배, 국제등록절차 및 시스템간 공유조건 등 전파규칙, 관련 권고의 제·개정에 따른 우리나라 입장의 반영을 통해 원천적으로 유리한 고지를 점하는 것이며 둘째는 주어진 절차 및 공유조건 하에서 그 내용을 명확히 이해하고 우선권을 확보하는 것으로 요약될 수 있다.

이러한 상황에서 운용 및 계획중인 우리나라 위성망은 물론, 지상망의 보호를 위해서는 규정의 이해를 토대로 한 시기 적절한 이의제기 등의 작업이 이루어져야 하며, 관련 S/W에 대한 정확한 이해 및 사용은 물론, 자체적인 TOOL 개발 및 보완이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이와 아울러 우리나라는 물론, 다른나라에서 국제등록을 추진하는 과정에서 발생하는 각종 데이터의 효율적인 관리를 위한 데이터베이스(DB)의 구축은 향후에도 좀더 심혈을 기울여할 과제로 생각된다.

제 5 장 맺음말

GSO FSS와 FS간의 다양한 간섭완화 기술 중 FSS 지구국의 안테나 패턴 및 크기에 따른 이격 거리를 분석한 결과, 특히 19 GHz 대역 HD-FSS용 수신 지구국 안테나 패턴은 RR AP7과 같이 side-lobe가 작은 안테나 패턴이 적절하다. 또한, RR AP7의 안테나 패턴을 가지는 지구국과 ITU-R 권고 F.699-5의 안테나 패턴을 가지는 지상망과의 이격 거리는 최소 24km가 되어야 함을 알 수 있었다. 같은 안테나 크기(예를 들어, 45cm)에서도 안테나 패턴에 따라 최대 22km의 이격 거리가 차이가 나며, 같은 안테나 패턴의 경우 안테나 크기에 따라 이격 거리가 14km 차이가 남을 알 수 있었다.

HEO 위성시스템과 GSO 위성망간에 GSO 아크 회피, 지구국 안테나 패턴 개선, 편파 분리, 지구국간 지리적 이격 등의 간섭 완화기술을 적용하여 실제 간섭 완화효과를 분석한 결과 GSO 아크 회피에 의한 간섭 완화효과가 가장 뛰어났다. GSO 아크 회피는 GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭을 크게 감소시키지만 후엽 방향으로의 간섭완화 효과는 적으므로, GSO 지구국의 주엽 방향으로의 간섭 완화에 좋은 기술로 사료된다. 또한 GSO 지구국 안테나 패턴의 부엽 특성 개선도 두 시스템이 주파수를 공유할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있다. ITU-R 권고 BO.1213이나 RR AP8보다는 부엽 특성이 개선된 ITU-R 권고 S.1428의 안테나 패턴을 사용할 경우 부엽 방향으로의 간섭량이 크게 감소함을 확인할 수 있었다.

편파 분리에 의한 주파수 공유는 두 시스템의 서비스 지역이 지리적으로 근접한 경우에만 가능하고 두 시스템이 직교하는 편파만을 사용할 수 있으므로 3개 이상의 시스템의 주파수 공유가 불가능함으로써 실질적으로 주파수 이용효율은 감소하게 된다. 또한, GSO 지구국과 HEO 지구국의 사이트 다이버시티는 수백 km 정도의 이격을 통해서 평균 $\Delta T/T$ 가 간섭 기준을 만족하기 때문에 만약 HEO 시스템이 지구국을 도처에 산재시키게 되면 지구국간 지리적 이격 기술의 적용은 사실상 불가능하게 된다.

간섭을 완화시키기 위해서 이들 기술을 적용할 때, 단지 하나의 기술만을 적용하여 주파수 공유 환경을 개선하려고 한다면 이는 완화기술을 적용하여 운용하여야 하는 시스템에 과도한 제약을 줄 수 있을 뿐 아니라 공유 환경 개선에도 한계가 있다. 따라서 서로 다른 완화기술들을 동시에 여러 가지 적

용한다면 주파수 공유 가능성이 더 증가하고 보다 효과적인 공유 환경이 제공될 수 있을 것이다. 한편, 이 연구에서는 12.7GHz라는 특정 주파수와 직경 0.6m라는 특정 안테나 사이즈에 대해서만 시뮬레이션 및 분석이 수행되었기 때문에, 간섭 완화기술들에 대한 보다 객관적인 평가를 위해서는 HEO 위성 시스템과 GSO 위성망이 주파수를 공유하는 다양한 주파수대역과 GSO 지구국의 다양한 안테나 크기에 대한 연구가 더 필요하며 이에 대한 연구는 2004년도에 계속 수행할 계획이다.

위성이 이용하는 여러 주파수 대역에서 대기 중 가스와 강우 및 구름에 의한 영향으로 인해 발생하는 감쇠현상을 예측해 보았다. 먼저 대기압, 대기 온도 및 수증기 밀도값을 변수로 하여 대기 중의 건조공기와 수증기에 의한 감쇠예상치를 계산해 보았다. 감쇠 계산값에서 보면, 중위도 지역 여름에서 건조공기에 비해 수증기에 의한 감쇠영향이 우세하기는 하지만 이들 두 가지 영향을 동시에 고려한다 하더라도 중위도 지역 40 GHz 이하 대역에서 약 1.54dB 미만 정도이므로 대기 중 가스에 의한 감쇠 영향은 위성통신링크 설계시 무시할 수 있을 것이다. 장기간 통계치에 의한 강우감쇠치 계산 결과에서 보면, 10GHz 이상 대역에서 강우감쇠 영향은 심각하게 고려해야 할 사항이다. 우리나라 전역의 연 0.01% 시간율의 강우율 데이터를 기준으로 특히 40GHz 대역에서 39~68dB의 강우감쇠 예상치 분포를 가진다. 향후 이 대역에서의 위성링크 설계시에 중요한 고려사항일 것이다. 구름에 의한 영향을 본 시뮬레이션에서 12GHz와 14GHz 대역만의 결과를 보면, 우리나라 지역에서 구름에 의한 감쇠분포는 전체적으로 1dB 미만으로 비교적 미미한 수준이다. 하지만 40GHz 대역에서는 4 dB 정도로 이 대역의 위성링크 설계시 어느 정도 고려해야 할 사항이라고 판단된다.

끝으로, 우리나라 위성망의 확보 및 보호를 위해 WRC-2003 결과 및 국제등록에 따른 관련 S/W에 대해 살펴보고, 2003년도에 우리나라에서 국제등록을 추진 중에 있는 지구국과 위성망에 대한 내용에 대하여 고찰해 보았다. 운용 및 계획중인 우리나라 위성망은 물론, 지상망의 보호를 위해서는 규정의 이해를 토대로 한 시기 적절한 이의제기 등의 작업이 이루어져야 하며, 관련 S/W에 대한 정확한 이해 및 사용은 물론, 자체적인 TOOL 개발 및 보완이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이와 아울러 우리나라는 물론, 다른나라에서 국제등록을 추진하는 과정에서 발생하는 각종 데이터의 효율

적인 관리를 위한 데이터베이스(DB)의 구축은 향후에도 좀더 심혈을 기울여 할 과제로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU Radio Regulations AP7, AP8(2002),
- [2] Recommendation ITU-R S.465-5, “Reference earth-station radiation pattern for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz.”
- [3] Recommendation ITU-R S.1328-4, “Satellite system characteristics to be considered in frequency sharing analyses within the fixed-satellite service.”
- [4] Recommendation ITU-R S.1428-1, “Reference FSS earth-station radiation patterns for use in interference assessment involving non-GSO satellites in frequency bands between 10.7 GHz and 30 GHz.”
- [5] Recommendation ITU-R F.758-3, “Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services.”
- [6] Doc. 4-9S/46, “The feasibility of proposed mitigation techniques intend to facilitate sharing between FSS user terminals and FS stations in the 27.5-29.5GHz band”, 2000년 10월.
- [7] Doc. 4-9S/196, “Mitigation techniques proposed for FSS to facilitate sharing with FS in the band 17.7- 19.7GHz ”, 2001년 10월.
- [8] 전파연구소 2002년도 연구보고서, “고정위성업무와 타 업무간의 공유에 관한 연구”, 2002년 12월.
- [9] Recommendation ITU-R S. 1431, “Methods to enhance sharing between non-GSO FSS systems (except MSS feeder links) in the frequency bands between 10-30 GHz.”
- [10] Recommendation ITU-R S. 1595, “Interference mitigation techniques to facilitate coordination between non-geostationary fixed-satellite service systems in highly elliptical orbit and non-geostationary fixed-satellite service systems in low and medium Earth orbit.”
- [11] Recommendation. ITU-R BO. 1213, “Reference receiving earth station

antenna patterns for replanning purposes to be used in the revision of the WARC-77 BSS plans for Regions 1 and 3.”

- [12] Resolution 136 (Rev. WRC-03), 2003년 7월.
- [13] Rec. ITU-R P.676-5, “Attenuation by atmospheric gases”
- [14] Rec. ITU-R P.618-8, “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems”
- [15] Rec. ITU-R P.840-3, “Attenuation due to Clouds and Fog”
- [16] Rec. ITU-R P.835-3, “Reference standard atmospheres”
- [17] Rec. ITU-R P.837-4, “Characteristics of precipitation for propagation modelling”
- [18] Rec. ITU-R P.838-2, “Specific attenuation model for rain for use in prediction methods”
- [19] Rec. ITU-R P.839-3, “Rain height model for prediction methods”
- [20] Rec. ITU-R S.1328-3, “Satellite system characteristics to be considered in frequency sharing analyses between geostationary- satellite orbit (GSO) and non-GSO satellite systems in the fixed-satellite service (FSS) including feeder links for the mobile-satellite service (MSS)”
- [21] Rec. ITU-R P.836-3, “Water vapour: surface density and total columnar content”