

위성전파의 전송특성 및 간섭허용레벨 연구

2008. 12. 31.

전파연구소

제 출 문

본 보고서를 「위성전파의 전송특성 및 간섭허용레벨 연구」
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2008. 12. 31

연구책임자 : 이 황 재(기준연구과 위성기술담당)
연구원 : 박 주 홍(기준연구과 위성기술담당)
임 상 희(기준연구과 위성기술담당)
이 희 경(기준연구과 위성기술담당)
양 재 혁(기준연구과 위성기술담당)

요 약 문

1992년에 개최된 세계주관청전파통신회의(WARC-92)는 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성을 이용하여 고화질 텔레비전(High-Definition Television, HDTV) 서비스를 제공할 수 있도록 동 주파수 대역을 제 1지역(유럽 및 아프리카 지역) 및 제 3지역(우리나라를 포함한 오세아니아 지역)에 방송위성업무(Broadcasting-Satellite Service, BSS)용으로 분배(2007년 4월 1일 시행)하였다. 이에 대한 후속 조치로 2007년도에 개최된 세계전파통신회의(World Radiocommunication Conference-07, WRC-07)는 동 주파수 대역에서 방송위성 이용에 필요한 국제등록 절차와 위성제원 등을 검토하기로 결의하고 이를 WRC-11 의제 1.13으로 채택하였다.

본 연구는 WRC-11의 의제 1.13에 관한 연구로서, 해당 주파수 대역에서 방송위성업무의 원활한 시행과 더불어 국내 위성 전파 자원의 확보 및 보호 방안을 검토할 목적으로 수행하였다. 이 연구에는 해당 주파수 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 절차, 주파수 공유 기준, 전송특성 등이 연구 범위에 포함되었다.

동 주파수 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 절차를 살펴보면, WRC-11에서 현재 관련 결의(Resolution)로 정하고 있는 임시 절차와 동일한 절차가 결정되더라도 현재 우리나라가 추진 중인 방송위성망의 국제등록에는 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다. 그러나 현행 임시 절차와 달리 방송위성업무용 궤도 및 주파수가 각 국에 균등하게 할당될 경우에는, 현재 국제등록을 추진 중인 방송위성망을 계획 위성망의 추가 사용 위성망으로 등록하는 방안을 대안으로 고려할 수 있을 것이다.

방송위성업무에 적용할 수 있는 공유 기준과 관련하여, 현재 국제전기통신연합 전파통신부문(ITU-R)의 관련 연구반에서는 기존의 전력속밀도(Power Flux-Density, pfd) 기준값을 개정하는 것에 대한 연구가 진행 중이다. 이를 위하여, 강우 영향이 큰 지역에 대해서는 기존의 $-105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 그대로 적용하고 강우 영향이 적은 지역에 대해서는 $-115 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 적용하는 방안이 검토되고 있다. 우리나라는 서울 지역의 강우율을 적용하여 서비스 가용도를 수정하는 내용의 기고서를 관련

연구반에 제시한 바 있다. 동일 국가 내에서도 지역에 따라 강우 영향이 다르다는 점을 감안하면 서울 이외의 지역에 대한 강우율 및 서비스 가용도 분석도 필요할 것으로 판단된다. 또한 향후 전력속밀도 제한값 이외의 공유 기준, 간섭계산 방법론 및 안테나 패턴 등에 대한 논의가 본격적으로 진행될 것임을 고려하면 이에 대한 연구도 추가로 수행할 필요가 있다.

Ka 대역의 전송특성과 관련하여, 동 대역에서 위성 통신 신호의 주요 감쇠 요인은 강우, 대기가스 흡수, 편파열화, 대기잡음, 굴절지수의 변화 등이 있다. 해당 주파수 대역의 강우 감쇠 보상기법으로는 정적인 보상, 적응형 보상, 다이버시티 등이 연구 대상이 될 것이며, 강우감쇠계수 및 유효경로 길이와 같은 감쇠파라미터와 지역별 강우 강도 실측 데이터를 통해 근사 확률분포를 추정하는 방법으로는 log-normal, Gamma, Moupfouma 등이 있다.

본 연구는 이미 언급하였듯이 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무의 시행과 관련된 WRC-11 의제 1.13에 대응하기 위하여 수행한 연구이다. 이 업무의 적절한 시행과 우리나라 위성 전파 자원의 적절한 보호를 위해 본 연구 결과 및 추가 연구 사항을 토대로 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

SUMMARY

WARC-92 allocated the band 21.4 - 22.0 GHz in Regions 1 and 3 to the broadcasting-satellite service and the allocation came into effect on 1 April 2007. WRC-07 adopted an agenda 1.13 on the review of the technical and regulatory studies on harmonization of spectrum usage, including planning methodologies, coordination procedures or other procedures, and broadcasting-satellite service technologies in the 21.4 - 22.0 GHz band and the associated feeder-link bands in Regions 1 and 3.

In relation to this study, the procedures for Plan and non-Plan registration process in the Radio Regulations were reviewed. Moreover, the meeting results of ITU-R SG4(satellite service matter) and SC-WP(Working Party of the Special Committee) associated with developing the procedure of broadcasting-satellite service in the band 21.4 - 22 GHz were also considered.

With regard to the sharing criteria for BSS systems in the band 21.4 - 22.0 GHz in Regions 1 and 3, existing criterion of ITU-R and study results in ITU-R WP4A were investigated and reviewed. A reference power flux-density for the broadcasting-satellite service has given in Recommendation ITU-R BO.1776 as $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ in any 1 MHz at the Earth's surface to be used in studies on sharing for the broadcasting-satellite service in this band in these Regions. However, study results in ITU-R showed that it could be difficult to find a correlation between the rainfall rate and the availability for a specific reference pfd at Earth's surface and the elevation could be the potential impact factor in the determination on the rain attenuation level. It has been discussing in ITU-R on the application of different reference power flux-density values, $-105 \text{ dB}((\text{W/m}^2)/\text{MHz})$ and $-115 \text{ dB}((\text{W/m}^2)/\text{MHz})$, for areas subject to high rain attenuation and areas not subject to high rain attenuation respectively. Therefore, a detailed evaluation to these

values was required and this evaluation should consider the rainfall and the availability in various cities in our county.

Some phenomenon such as attenuation by atmospheric gases and rain and decrement in antenna gain due to wave-front incoherence in the propagation Ka band, and the presentative probability models—log-normal probability distribution, gamma probability distribution and moupfourma probability distribution— to estimate long-term rain intensity using measured data were presented. The techniques to mitigate the rain attenuation, for example static compensation method, diversity compensation method, adaptive compensation method, or adaptive modulation method, were also analyzed.

목 차

제1장 서론	11
제2장 21GHz 대역 방송위성업무용위성망의 국제등록 규정 절차 검토	12
제1절 서론	12
제2절 21GHz 방송위성업무용 위성망 등록 현황	12
1. ITU 등록 현황	12
2. 우리나라 위성망 국제등록 현황	13
제3절 위성망 국제등록 규정 절차 검토	14
1. 전파규칙의 비계획 위성망 국제등록 절차	15
2. 전파규칙의 방송위성 계획 위성망 국제등록 절차	18
3. 21GHz 대역 방송위성업무용 임시 절차	19
제4절 결론	20
제3장 방송위성 주파수 공유기준 연구	22
제1절 서론	22
제2절 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역의 국제 주파수 분배	23
1. 국제 주파수 분배 현황	23
2. 결의 525 (Rev.WRC-03)	24
3. 결의 525 (Rev.WRC-07)	27
제3절 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역의 방송위성 주파수 공유기준	29
1. 방송위성업무와 다른 업무간의 공유기준	29
2. 정지궤도를 이용하는 방송위성업무간 공유기준	31
제4절 국제기구 및 각국의 연구 동향	33
제5절 결론	35
제4장 Ka 대역 이용에 따른 강우감쇠 완화 방안 조사·분석	37
제1절 서론	37

제2절 위성 통신 경로의 전파환경	38
1. 개요	38
2. 대기가스 흡수	39
3. 편파열화	40
4. 대기잡음	41
5. 굴절지수의 변화효과	41
제3절 위성통신 경로의 강우감쇠예측을 위한 파라미터 분석	41
1. 개요	41
2. 강우 감쇠계수	42
3. 유효경로 길이	42
4. 강우 강도 확률 분포	45
5. 강우감쇠 보상 기법	46
제4절 방송위성 시스템의 강우감쇠 관련 전송제원 개정	47
1. 배경	47
2. ITU-R 보고서 BO. 2071관련 주요 개정 제안 내용	47
3. ITU-R 권고 BO. 1659 관련 주요 개정 제안 내용	49
제5절 결론	50
제5장 결론	52
참고문헌	54

표 목 차

[표 2.1] 각국별 21 GHz 대역 방송위성망의 ITU 국제등록 현황	13
[표 2.2] 우리나라 21 GHz 대역 방송위성망 등록 제	14
[표 2.3] 국제 주파수등록 절차	15
[표 2.4] 조정대상 위성망의 선정	17
[표 2.5] ITU의 방송위성 계획	18
[표 3.1] 21.4 - 22 GHz 주파수 대역의 국제 주파수 분배	23
[표 3.2] 제 1지역에서 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무 하향 링크에 대한 서비스 가용도	31
[표 3.3] 제 3지역에서 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무 하향 링크에 대한 서비스 가용도	31
[표 4.1] 21 GHz 방송위성시스템의 전송제원	48
[표 4.2] QPSK1/2에서의 C/N값 및 링크마진	49

그 립 목 차

[그림 3.1] 결의 525(Rev.WRC-03)의 전력속밀도 제한값	29
[그림 3.2] ITU-R 권고 BO.1785의 전력속밀도 제한값	33
[그림 4.1] 강우감쇠 경로 구조와 유효길이	43
[그림 4.2] 강우감쇠 예측 요소 및 절차	44
[그림 4.3] 강우감쇠 예측을 위한 세부절차	44

제1장 서론

1992년에 개최된 세계주관청전파통신회의(WARC-92)는 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성을 통한 고화질 텔레비전(High-Definition Television, HDTV) 서비스를 위하여 동 주파수 대역을 제 1지역(유럽 및 아프리카 지역) 및 제 3지역(우리나라를 포함한 오세아니아 지역)에 방송위성업무(Broadcasting-Satellite Service, BSS)용으로 분배(2007년 4월 1일 시행)하였다. 2007년에 개최된 세계전파통신회의(World Radiocommunication Conference-07, WRC-07)는 동 주파수 대역에서 방송위성 이용에 필요한 국제등록 절차와 위성제원 등을 검토하기로 결의하고 이를 WRC-11 의제 1.13으로 채택하였다. 국제전기통신연합 전파통신부문(ITU-R) 내에서는 SG4(위성업무 연구반)의 WP4A(고정위성업무 작업반)가 동 의제에 대한 책임 연구반으로 지정되어 연구를 수행하고 있다.

본 연구는 동 의제에 관한 연구로서, 해당 주파수 대역에서 방송위성업무의 원활한 시행과 더불어 국내 위성 전파 자원의 확보 및 보호 방안을 검토할 목적으로 수행하였다. 이 연구에는 해당 주파수 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 절차, 주파수 공유 기준, 전송특성 등이 연구 범위에 포함되었다.

제1장에서는 본 연구의 배경과 연구 내용을 간략히 소개하였으며,

제2장에서는 동 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 현황과 현행 전파 규칙에서 규정하고 있는 위성망 국제등록 절차에 대해 검토하고, 이와 관련된 ITU-R 연구 결과를 소개하였다.

제3장에서는 현재 ITU-R 권고 등에서 규정하고 있는 동 대역의 방송위성업무에 대한 주파수 공유기준과 이와 관련된 ITU-R의 연구 결과를 정리하고 향후 연구 방향을 제시하였다.

제4장에서는 Ka 대역에서 위성 통신 경로의 전파환경에 대해 설명하고, 강우 감쇠에 대한 몇 가지 성능 개선 방안을 분석하였다.

마지막으로 제5장에서는 본 연구의 연구 결과를 정리하고 결론을 맺었다.

제2장 21GHz 대역 방송위성업무용 위성망의 국제등록 규정 절차 검토

제1절 서 론

1992년에 개최된 WARC-92에서는 21.4-22 GHz 대역에서 제 1지역 및 제 3지역의 방송위성업무를 2007년 4월 1일 이후에 시행하도록 하였다. 그리고 2007년 4월 1일 이후에 이 대역에서 HDTV 시스템의 도입을 위해 향후 세계전파통신회의에서 명확한 규정이 채택될 때까지 유연하고 공평한 방법으로 규제할 것을 결의(결의 525 1)¹⁾하였다[1].

이를 위해 2007년에 개최된 WRC-07에서는 의제 1.13으로 채택하여 21.4-22 GHz 주파수대역에서 방송위성을 통한 HDTV 서비스를 위한 위성의 국제등록 절차와 기술제원 검토를 수행하도록 하고 있다.

본 연구에서는 21 GHz 대역 방송위성망의 국제 등록 현황 및 현행 전파규칙에서 규정하고 있는 위성망 국제등록 절차에 대해 검토하고, ITU-R에서의 수행 중인 관련 연구 결과를 소개하고자 한다.

제2절 21GHz 방송위성업무용 위성망 등록 현황

1. ITU 등록 현황

21 GHz 대역에서 HDTV용 방송위성서비스를 위해 각 국에서는 위성 궤도 주파수 자원을 선점하기 위해 경쟁적으로 국제등록을 진행 중에 있다. 표 2.1에서는 1995년 이후부터 2008년 12월까지 국제등록을 진행 중이거나 완료한 위성망의 현황(22개 국가 650개 위성망)을 나타내었다.

1) 결의 525 : 제 1, 3지역에서 21.4~22 GHz 대역 HDTV용 방송위성업무의 도입

표 2.1 각국별 21 GHz 대역 방송위성망의 ITU 국제등록 현황

국가명	위성망 수	국가명	위성망 수
대한민국	3	말레이시아	24
프랑스	169	이집트	5
프랑스(유럽)	13	카자흐스탄	15
노르웨이	2	아랍에미레이트	113
스웨덴	13	베트남	22
중국	32	멕시코	2
호주	4	싱가폴	3
룩셈부르크	162	터키	26
시실리	2	우크라이나	3
파푸아뉴기니	3	파키스탄	12
콜롬비아	15	국가 수	22개 국가
키퍼러스	7	위성망 수	650개 위성망

21 GHz 대역 방송위성업무를 위해 국제등록을 추진 또는 완료한 650개 위성망 중에 규정 발효 일자인 2007년 4월 1일 이후 국제등록을 추진한 위성망은 우리나라 3개 위성망을 포함하여 전체 위성망의 절반이 넘는 342개 위성망이다. 이러한 결과로 볼 때 규정 발효일 이후 1년 6개월 동안 세계 각국은 집중적으로 21 GHz 대역에서 HDTV용 방송위성서비스를 위해 국제등록을 추진하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 각국이 자국의 신규 위성 전파자원 확보를 위해 치열한 경쟁을 벌이고 있는 결과라 할 수 있다.

2. 우리나라 위성망 국제등록 현황

1992년에 개최된 WRC-92에서 2007년 4월 1일부터 21.4~22.0 GHz를 1, 3지역에 방송위성업무용(HDTV 시스템)으로 분배하였다. 이에 우리나라는 21 GHz 대역에서 방송위성업무용 위성궤도 및 주파수 사전확보를 위해 '07년 5월에 3개의 위성망에 대해 국제등록을 신청하였으며, 2007년 10월에 조정공표자료를 ITU의 전파통신사무국(Radiocommunication Bureau, BR)에 제출하였다. 표 2.2에 우리나라 위성망에 대한 주요 제원을 나타내었다.

표 2.2 우리나라 21GHz 대역 방송위성망 등록 제원

위성명 및 궤도	KORBSAT-113E(113E), KORBSAT-116(116E), KORBSAT-128.2(128.2E)
주파수(GHz)	<ul style="list-style-type: none"> o 방송링크용 : 21.4~22.0 o 피더링크용 : 24.75~25.25, 27.0~31.0 o 관제용 : 12.25~12.75, 14.0~14.5
운용예정일	2014년 상반기

우리나라는 21 GHz 대역에서 HDTV 방송위성업무용 위성 궤도 및 주파수 자원을 선점하고, 향후 도입될 위성을 이용한 HDTV 방송을 선도하기 하기 위해 정부 주도로 위성망 국제등록을 추진하고 있다. 이를 위해 우리나라 KORBSAT 계열 3개의 위성망은 ITU 결의 525에 의한 국제등록 임시 절차에 따라 비계획 위성망 국제등록 절차(전파규칙(Radio Regulations, RR) 9조 및 11조 등²⁾로 국제등록을 진행 중에 있다. 따라서 차기 WRC에서 21 GHz 대역 방송위성업무용 위성망의 국제등록 규정 절차가 계획 위성망 등록 절차를 적용할 경우에도 현재 진행 중인 우리나라 위성망 국제등록에 영향이 없도록 관련 회의에서 적극적인 입장 제시가 필요하다.

제3절 위성망 국제등록 규정 절차 검토

ITU RR은 WRC에서 제·개정되며, 통신 및 방송에 이용되는 전파자원(위성의 궤도 및 주파수 등)은 계획된 자원과 비 계획된 자원으로 크게 나누어 각국의 전파 주권 보호와 전파자원의 효율적 이용을 추구하고 있다[2].

계획된 자원은 RR의 부록(Appendix, AP) 30, 30A 및 30B에 나타나 있으며, AP 30은 방송위성업무를, AP 30A는 방송위성업무의 피더링크를, 그리고 AP 30B는 계획된 고정통신위성업무에 관한 내용이 기술되어 있다. 한편 비 계획된 자원에 관한 위성망의 국제 등록은 ITU의 "First Come, First Served" 원칙에 의해 실질적인 자원이용에 관계된 주관청과의 조정을 통해 획득되며, 국제 규정에 따른 혼신 조정과정을 거쳐 ITU에 등록하여야만 국제적

2) 전파규칙 9조는 위성망 사전공표, 조정공표 및 조정 절차에 대해 규정하고 있으며, 11조는 위성망 통고 및 국제주파수등록원부로의 등재에 대해 규정하고 있음

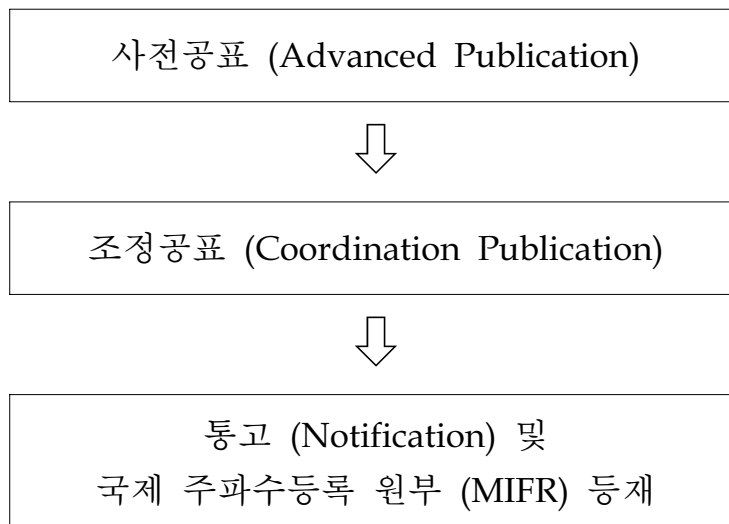
으로 보호받을 권리 확보가 가능하게 된다. 만약 조정완료 없이 전파 혼신 발생시에는 상대 주관청의 요구에 따라 즉시 운용을 중단하여야만 한다. 따라서 비 계획된 전파자원의 확보와 향후 운용 시에 다른 나라의 유해한 혼신으로부터 보호받기 위해서는 위성망의 국제 등록과 아울러 등록을 위한 조정이 필수적으로 수행되어야만 한다[2].

위성전파자원의 이용을 위하여 계획 자원을 이용하고자 할 경우와 비 계획 자원을 이용하고자 할 경우에 따라 국제등록 절차는 구별되며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 전파규칙의 비계획 위성망 국제등록 절차[2]

비 계획된 자원을 이용하는 위성망 국제 등록은 사전공표, 조정 및 통고 등의 절차를 통해 이루어지며, 조정 절차를 표 2.3에 나타내었다.

표 2.3 국제 주파수등록 절차



가. 사전 공표(Advanced Publication Information, API)

사전 공표는 위성망(정지 및 비정지)의 국제등록 절차를 개시하는 상징적인 절차로써 위성망의 일반적인 정보를 모든 주관청에 통지하는 것이다. 신규 위성망뿐만 아니라 위성망에 주파수의 추가 및 $\pm 6^\circ$ 이상 궤도 변경 시에도

사전공표 절차를 수행하도록 RR 9조에서 규정하고 있다. 그리고 RR 9조의 1A절에는 조정절차가 요구되지 않는 위성망에 대한 사전공표 절차를, 1B절에는 조정절차가 요구되는 위성망에 대한 사전공표 절차에 관하여 규정하고 있으며, 비계획된 자원을 이용하는 대부분의 위성망은 조정절차를 수행하도록 하고 있다.

이러한 사전 공표 자료에는 정지 및 비정지 위성망의 일반적인 정보가 수록되어 있으며, ITU의 BR에서는 등록 정보가 전파규칙에 일치하는지 여부를 확인하여 규정에 일치하는 공표 자료는 IFIC(International Frequency Information Circular)에 공표 한다.

사전 공표시 ITU의 BR에 제출하여야 할 정보는 RR 부록 4에서 규정된 위성망 명, 관련 주관청 명, 궤도 위치, 사용 주파수 및 운용 개시일 등이며, 이러한 사전 공표 자료는 위성망의 운용 개시 예정일의 7년 전부터 가능한 2년 전까지 제출하여야 한다.

나. 조정 공표 (Coordination Publication)

조정 공표 자료는 위성망의 상세제원(출력, 전파형식 등)을 제공하는 것으로서 사전공표 자료의 접수일로부터 6개월이 경과된 후 접수일로부터 24개월 이내에 제출하여야 하며, 조정공표 접수일은 위성망 보호의 우선 순위결정에 중요한 일정이 된다. 이러한 조정 공표는 RR 부록 4에서 규정된 정지 및 비정지 위성망의 상세 정보를 송부하면 IFIC에 공표된다.

조정 자료 공표시의 주요 내용으로는 신규 위성망의 상세 제원, 조정동의 대상 국가명의 표시 및 RR 규정의 위배 여부 등이 나타나 있다. 그리고 조정동의 대상 국가명은 공표하는 위성망에 대한 기 분류 및 BR이 분류한 조정동의 대상 국가명이 표시된다. 조정자료에 대한 BR의 심사는 주파수 분배표 및 관련 RR 규정의 적합성, 신규 위성망으로부터 영향을 받을 수 있는 주관청의 식별 등의 심사를 통하여 조정자료와 심사결과를 IFIC에 공표하게 된다.

위성망 등록 시에는 ITU의 SpaceCap 소프트웨어를 이용한 전자파일 형식을 사용하여야 하며, ITU GIMS(Graphic Interface Management System)로 안테나 이득 그래픽 자료를 제출하도록 규정하고 있다.

다. 조정 절차 (Coordination Procedures)

조정대상 위성망의 선정은 조정 공표 자료 중에서 위성망의 궤도 위치, 서비스 범위 및 전송 제원(주파수 등)의 중첩 여부로 결정하게 된다. 신규 위성망이 IFIC에 공표된 후 신규 위성망으로부터 혼신이 예상되는 주관청은 4개월 이내에 해당국에 이의 제기를 하여야 하며, 이의제기가 없을 시에는 공표 위성망의 운용에 동의하는 것으로 간주된다.

표 2.4에는 WRC-2000에서 결정된 C, Ku 및 Ka 대역에서의 위성망 조정 기준을 나타내었다. 조정 기준은 주파수 대역별 위성의 궤도 이격에 따라 궤도 범위내의 위성을 우선적으로 고려하게 된다. 만약 궤도차 범위 밖의 위성이라도 간섭 기준인 잡음온도 증가량($\Delta T/T$)이 6% 이상 일 경우 이의 제기가 가능하다. 한편 C, Ku 및 Ka 이외의 대역에서의 전파 간섭은 궤도 이격에 관한 규정은 없고 $\Delta T/T$ 가 6%이상 일 경우 이의제기 가능하다.

표 2.4 조정대상 위성망의 선정

구 분	주파수 대역(GHz)	조정 기준	비 고
C 대역	3 ~ 6	$\pm 10^\circ$ 이내	조정 기준에 상관없이 $\Delta T/T$ 가 6%이상 일 경우 이의제기 가능
Ku 대역	11 ~ 14	$\pm 9^\circ$ 이내	
Ka 대역	17 ~ 30	$\pm 8^\circ$ 이내	

라. 통고 및 등재 (Notification & Recording)

통고는 조정 절차를 완료한 후 운용 예정일 이전 3년 이내에 RR 11조에 따라 ITU BR에 통고 자료를 송부하여야 한다. BR에서는 통고서 양식에 기재하여야 할 정보 심사 및 주파수 분배표와 관련 규정의 준수 여부, 다른 주관청과의 조정 절차의 준수 여부, 다른 주파수 할당으로의 유해한 간섭 여부 등의 기술적 심사를 한다. 심사가 완료될 경우 BR은 해당 주파수 할당을 MIFR에 등재하게 된다.

2. 전파규칙의 방송위성 계획 위성망 국제등록 절차[2]

RR에서 규정하고 있는 계획 대역은 방송위성업무 계획(부록 30), 방송위성 피더링크 계획(부록 30A) 및 고정위성업무 계획(부록 30B)이다.

제1, 3지역의 방송위성 계획은 1977년 WARC BCSAT-77회의를 통하여 대역폭은 27MHz로, 궤도는 6°간격으로 결의하였으며, 1983년 RARC SAT-83에서 제 2지역 방송위성 계획을 결의하였다. 한편 방송위성의 피더링크 계획은 제1, 3지역에서는 WARC ORB-88에서 수립되었으며, 제 2지역에 있어서는 RARC SAT-83 및 WARC ORB-85에서 결의되었다(표 2.5 참조).

표 2.5 ITU의 방송위성 계획

계획	지역	주파수 (GHz)	년도
BSS	1	11.7 ~ 12.5	1977
BSS	3	11.7 ~ 12.2	1977
BSS	2	12.2 ~ 12.7	1983
피더링크	2	17.3 ~ 17.8	1983/85
피더링크	1 & 3	14.5 ~ 14.8*	1988
피더링크	1 & 3	17.3 ~ 18.1	1988

* 제1, 3지역의 피더 링크 주파수대 (14.5~14.8GHz대)에서 유럽 지역은 제외

WRC-2000에서는 제 1, 3지역의 방송위성 계획 개정을 결의하여, 제 1지역에는 국가당 10개의 채널을, 제 3지역에는 국가당 12개의 채널을 할당하였다. 그리고 WRC-2000에서 방송위성업무 계획 제원을 변경 또는 추가하여 신청한 위성망의 경우 15년간 운용을 보장하고 그 기간이 경과한 후 최대 15년 연장할 수 있도록 하였다. WRC-2000에서 각국에 할당된 방송위성업무용 계획 제원을 변경 없이 운용하고자 할 경우에는 ITU BR에 신청 자료를 제출하면 된다.

그러나 계획 제원을 변경 또는 추가하여 사용하고자 하는 경우에는 부록 30 및 30A의 4조에 따라 운용 예정일 이전 8년 이내에 국제등록을 신청하여야 한다. 관련 신청 자료가 접수되면 ITU BR은 해당 위성망의 국제등록에 따른 간섭예상 주관청을 확인하여 공표하고, 통고 주관청은 간섭이 예상되는 주관청과 혼신 제거를 위해 조정을 수행하여야 한다.

간섭 예상 주관청과 조정이 완료된 후 통고 주관청은 부록 4에 따른 정보를 ITU BR에 제출하여야 하며, BR은 RR 규정 절차 준수 및 조정 동의 여부 등을 심사하고 이상이 없을 경우 MIFR에 등재한다.

3. 21GHz 대역 방송위성업무용 임시 절차

1992년에 개최된 WRC-92에서 21.4~22.0GHz을 1, 3지역에 방송위성업무용(HDTV 시스템)으로 분배한 이후 관련 위성망의 국제등록을 위한 규정 절차가 마련되지 않아 다음과 같은 임시 절차에 따라 국제등록을 추진토록 하고 있다.

향후 WRC에서 관련 규정 절차 및 기술적 제원이 확정되기 전 기간동안 적용할 규정에 대해 결의 525에서는 제 1, 3지역의 21.4-22 GHz 대역에서 주파수 분배표에 따라 운용중인 방송위성업무 외의 모든 업무(고정 업무 및 이동업무)들은 방송위성업무에 유해 간섭을 야기하지도 않고, 방송위성업무로부터 보호를 요청하지도 않는 조건으로 운용할 수 있도록 규정하고 있다.

또한 향후 WRC에서 명확한 절차가 결정되기 전에 제 1, 3지역의 21 GHz 대역에서의 방송위성업무용 위성망을 운용하기 위해서는 비계획 위성망 국제등록 절차인 RR 9조 및 11조를 잠정적으로 따르도록 하고 있다.

따라서 21 GHz 대역에서의 방송위성망 국제등록을 위한 현행 임시 절차를 정식 국제등록 규정 절차로 확정하기 위해 2007년에 개최된 WRC-07에서는 의제 1.13으로 채택하였으며, ITU-R SG4에서 관련 연구를 수행 중에 있다.

21 GHz 대역에서 HDTV용 방송위성업무에 적용할 규정 절차와 관련하여 ITU-R SG4 및 특별위원회 작업반(Working Party of the Special Committee, SC-WP)에서는 다음과 같은 등록 절차 방안에 대해 검토를 수행하고 있다[3].

- Method A : 각 국에 일정한 기술적인 제원 특성 및 용량의 계획을 통해 장기간에 대한 주파수 및 궤도 자원을 할당하는 방법 (현행 RR 부록 30, 30A, 30B에 따른 방식과 유사)
- Method B : 선점원칙을 통한 자원의 할당 방법 (현행 RR 9조 및 11조에 따른 방식과 유사)

- Method C : 선점원칙을 통한 자원의 할당 방법을 따르되, 국가당 등록 위성시스템 수 및 서비스 영역 등을 제한(러시아 제안)

회의에서 프랑스, 스웨덴 등은 러시아가 제안한 국가당 등록 위성시스템 수와 서비스 영역 등을 제한하는 것은 주관청의 위성 전파자원의 확보 권한을 제한하고 위성 사업 활성화를 저해할 수 있음에 따라 러시아 제안은 수용하기 어려움을 제기하였다. 회의 결과, 러시아의 등록절차 추가 제안에 대해 관련 회의에서 지속적인 논의를 계속 수행하기로 하였다.

한편 ITU-R 관련 회의에서 계획 또는 비계획 위성망 등록절차 적용에 따른 구체적인 논의는 아직 수행되지 못하고 있으나, 추후 등록 절차에 대한 논의가 수행될 때 우리나라의 등록중인 위성망에 영향이 없도록 적극적으로 의견을 제기할 예정이다.

제4절 결 론

21 GHz 대역 HDTV를 위한 방송위성업무용 위성망의 국제등록을 위한 규정 절차를 제정하기 위해 WRC-07에서는 의제 1.13으로 채택하여 관련 연구를 ITU-R SG4에서 수행토록 하고 있다.

우리나라를 포함한 각국에서는 21 GHz 대역에서 방송위성업무 제공을 위한 위성망 국제등록을 경쟁적으로 국제등록 중에 있다. 이에 따라 자국의 위성 궤도 및 주파수 자원을 선점 확보하기 위한 노력의 하나로 국제등록을 위한 규정 절차가 자국에 영향이 없는 방향으로 제정되도록 ITU 등에서 논의를 수행 중에 있다.

위성망 국제등록 절차는 크게 계획 위성망을 위한 절차와 비계획 위성망을 위한 절차 등 크게 두가지 방안으로 구별될 수 있으며, 21 GHz 대역 방송 위성망은 현재 비 계획 위성망을 위한 규정 절차로 등록하도록 임시적으로 적용하고 있다.

향후 2011년에 개최될 WRC-11에서 21GHz 대역 방송위성망을 위한 등록 절차가 현행 임시 절차와 동일하게 비 계획 위성망 국제등록 절차를 따를 경우에는 우리나라 위성망의 국제등록에 큰 어려움은 없을 것으로 판단한다.

한편 계획 위성망 규정을 적용하여 각 국에 균등하게 궤도 및 주파수를 할당할 경우, 21.4-22 GHz의 전체 600 MHz 대역을 사용하지 못할 우려가 있다. 따라서 현재 국제등록중인 우리나라 위성망은 계획 위성망의 추가 사용 위성망으로 등록되도록 하여 위성 전파자원을 보호하는 방안을 적극 검토할 필요가 있다고 판단한다. 이를 위해 향후에도 ITU 등 관련 국제회의에서 우리나라의 입장을 적극 반영하여 국제등록 중인 우리나라 위성망에 영향이 없도록 할 필요가 있다.

제3장 방송위성 주파수 공유기준 연구

제1절 서론

21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역은 주파수의 특성상 강우에 의한 영향을 많이 받는 대역으로 동 대역에서의 통신서비스 시행은 강우 감쇠 보상이 가장 큰 이슈로 인식되어 왔었다. 하지만 새로운 방송통신 서비스에 대한 수요 증가에 따라 더 많은 서비스의 시행을 위한 주파수 확보가 당면한 문제가 되었고 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 주파수 대역의 특성상 여러 가지 어려움으로 사용이 어려웠던 주파수 대역에 대한 이용 기술 연구가 주목을 받게 되었다. 그 하나의 일환으로 WRC는 21.4 - 22.0 GHz 대역에서 방송위성업무 시행을 2007년 4월 1일로 발효하였으며 이를 위한 연구를 WRC-11 의제로 채택하였다[4].

WARC-92는 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성을 통한 HDTV 서비스를 위하여 동 주파수 대역을 제 1지역 및 제 3지역에서 방송위성업무용으로 분배(2007년 4월 1일 시행)하였다³⁾. WRC-03은 결의 507(Rev.WRC-03)⁴⁾을 통해 2007년 4월 1일 이후에 동 주파수 대역에서 방송위성업무(HDTV) 시스템의 시행은 이후 WRC에서 적절한 규정을 채택할 때까지 유연하고 공정한 방법으로 규제되어야 한다고 결의하였으며(결의 507 (Rev.WRC-03)), 결의 525 (Rev.WRC-03)⁵⁾를 통하여 2007년 4월 1일 이전과 이후에 시행될 방송위성업무 (HDTV) 시스템에 적용될 잠정적 절차를 각각 결의하였다. WRC-07은 동 주파수 대역에서 방송위성 이용에 필요한 국제등록 절차와 위성제원 등을 검토하기로 결의하고 이를 WRC-11 의제 1.13으로 채택하였으며, ITU-R 내에서 SG4의 WP4A를 동 의제의 책임 연구반으로 지정하였다. 현재 WP4A에서는 이에 대한 연구가 수행 중에 있다 [4][5][6][7].

3) 결의 526 (WARC-03) : 광 RF-대역 고품질 텔레비전(HDTV)을 위한 방송위성업무(BSS)와 관련 피더 링크에 분배된 주파수대역의 사용에서 융통성을 보장하기 위한 절차의 채택

4) 결의 507 (Rev.WRC-03) : 방송위성업무의 협약과 관련 계획의 설정

5) 결의 525 (Rev.WRC-03) : 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(BSS)의 고품질 텔레비전(HDTV) 시스템의 도입

제3장은 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송 위성업무의 공유 기준에 대한 기초 연구로 수행되었으며, ITU-R 내에서 지금까지 수행한 동 지역 동 대역의 방송위성업무와 관련된 공유 기준 연구 결과를 검토 정리하고 동 이슈에 대한 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

제2절 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역의 국제 주파수 분배

1. 국제 주파수 분배 현황

동 주파수 대역은 고정업무 및 이동업무가 제 1지역, 제 2지역, 제 3지역 모두에서 1차 업무로 분배되어 있으며, 방송위성업무는 주석 5.530에 따라 제 1지역 및 제 3지역에서 2007년 4월 1일부터 분배 효력이 발생했다. 일본의 경우 주석 5.531에 따라 방송업무도 1차 업무로 추가 분배되어 있다[2].

표 3.1 21.4 - 22 GHz 주파수 대역의 국제 주파수 분배

제 1 지역	제 2 지역	제 3 지역
21.4 - 22 GHz 고정 이동 방송위성 5.347A 5.530	21.4 - 22 GHz 고정 이동	21.4 - 22 GHz 고정 이동 방송위성 5.347A 5.530 5.531

5.530 제 1지역 및 제 3지역에서 21.4 - 22 GHz 주파수 대역에서의 방송위성 업무에 대한 분배는 2007년 4월 1일부터 발효한다. 그 이전에 잠정적으로 그리고 그 이후에 동 주파수 대역을 방송위성업무로 사용하는 것은 결의 525 (WARC-92)*의 규정에 따른다.

* 동 결의는 WRC-03 및 WRC-07에서 개정됨

5.531 추가분배 : 일본에서 21.4 - 22 GHz의 주파수 대역은 방송업무도 1차 업무로 분배한다.

결의 525(WRC-03)의 부속서는 2007년 4월 1일 이전과 이후에 시행되는 방송위성업무(HDTV)에 적용할 잠정적 절차를 규정하고 있다. 2007년 4월 1일 이전에는 주파수 분배표에 따라 제 1지역 및 제 3지역의 동 주파수 대역에서 기존에 분배된 모든 업무가 계속 운용될 권리를 갖는다. 2007년 4월 1일 이후에는 이들 업무들이 계속 운용될 수는 있지만 방송위성업무(HDTV)에 유해한 간섭을 야기해서는 안 되고, 방송위성업무(HDTV)로부터 보호를 요구할 수도 없다[7]. 즉 2007년 4월 1일 이후에는 주파수 분배표상으로는 제 1지역 및 제 3지역에서 동 주파수 대역이 고정업무, 이동업무, 방송위성업무 등에 똑같이 1차 업무로 분배되지만 실질적으로 방송위성업무만이 1차 업무로서의 권리를 갖고 다른 업무들은 마치 2차 업무와 같은 권리를 갖게 되는 것이다. WRC-03과 WRC-07에서 개정된 결의 525의 주요 내용을 다음의 2.와 3.에 정리하였다.

2. 결의 525 (Rev.WRC-03) : 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(BSS)의 고화질 텔레비전(HDTV) 시스템의 도입

결의 525(Rev.WRC-03)의 주요 내용을 정리하면 다음과 같다[7].

o 고려 사항 :

- WRC-92는 제 1지역 및 제 3지역에서 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역을 방송위성업무에 분배하였고 이는 2007년 4월 1일부터 효력을 갖는다.
- 2007년 4월 1일까지 주파수 분배표에 따라 동 지역의 동 주파수 대역에서 운용되고 있는 기존의 업무들은 다른 업무들로부터 유해한 간섭을 받지 않고 계속 운용될 권리를 갖는다.
- 기존 업무들의 계속적인 운용에 영향을 주지 않으면서, 2007년 4월 1일 이전에 동 주파수 대역에서 실험적인 HDTV 시스템의 도입을 촉진하는 것이 바람직하다.
- 기존 업무들의 계속적인 운용에 영향을 주지 않으면서, 2007년 4월 1일 이전에 동 주파수 대역에서 운용적인 HDTV 시스템을 도입할 수 있다.
- 2007년 4월 1일 이후에 동 주파수 대역에서 HDTV 시스템의 도입은 이후 WRC에서 명확한 규정을 채택할 때까지 유연하고 공정한 방법으로 규제되어야 한다.

o 결의 사항 :

- 부속서의 잠정적 절차를 채택하고 이는 1992년 4월 1일부터 발효된다.

o 부속서 : 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(HDTV) 시스템 도입을 위한 잠정적 절차

- 일반 규정 :

- 2007년 4월 1일 이전에, 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 주파수 분배표에 따라 운용되는 모든 기존 업무들은 계속 운용될 수 있는 권리를 갖는다.
- 이들 업무들은 이 날짜 이후에도 계속 운용될 수는 있으나, 방송위성업무(HDTV) 시스템에 유해한 간섭을 야기해서는 안 되고, 방송위성업무(HDTV) 시스템으로부터 보호를 요청할 수도 없다.
- 동 지역의 동 주파수 대역에서 운용적인 방송위성업무(HDTV) 시스템의 도입은 이후 WRC에서 명확한 규정이 채택될 때까지 유연하고 공정한 방법으로 잠정적 절차에 의해 규제되어야 한다.

- 2007년 4월 1일 이전에 도입되는 실험적 방송위성업무(HDTV) 시스템에 대한 잠정적 절차

- 제 27조의 규정에 따라 2007년 4월 1일 이전에 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 실험적 방송위성업무(HDTV) 시스템을 도입하기 위하여, 결의 33(Rev.WRC-03)의 A절 - C절 또는 9조 - 14조에 포함된 절차가 적절하게 적용되어야 한다.⁶⁾⁷⁾[8]

6) 결의 33 (Rev.WRC-03) : 방송위성업무를 위한 관련 계획 및 협약의 발효 전에 방송위성업무용 우주국의 사용

7) 국제 전파규칙

9조 : 다른 주관청과 조정을 실행하거나 다른 주관청의 동의를 얻기 위한 절차

11조 : 주파수 할당의 통고 및 등록

12조 : 5 900 - 26 100 kHz 주파수 대역에서 방송업무에 분배된 HF 주파수 대역의 계절별 계획 수립

13조 : 전파통신국에 대한 지시사항

14조 : 전파통신국의 판정 또는 기타 결정에 대한 재검토 절차

27조 : 실험국

- 2007년 4월 1일 이전에 도입되는 운용적 방송위성업무(HDTV) 시스템에 대한 잠정적 절차

- 2007년 4월 1일 이전에 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 운용적 방송위성업무(HDTV) 시스템을 도입하기 위하여, 다른 나라의 영토 내에 하나의 우주국의 방사에 의해서 지표면에서 생성되는 전력속밀도(Power Flux-Density, pfd) 값이 다음을 초과한다면, 결의 33(Rev.WRC-03)의 절차가 적용되어야 한다 :

-115	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $0^\circ < \theta < 5^\circ$
$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

여기서 θ 는 수평면에 대한 도래각이고, 위의 전력속밀도 제한값은 자유공간손실을 가정하여 얻어진 값이다.

- 전력속밀도 값이 위의 제한값을 초과하지 않는다면, 결의 33(Rev.WRC-03)의 A절 또는 9.11조⁸⁾의 절차가 적용되지 않아 지상업무와 조정 절차를 거칠 필요가 없다.

- 2007년 4월 1일 이후에 도입되는 방송위성업무(HDTV) 시스템에 대한 잠정적 절차

- 2007년 4월 1일 이후에 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(HDTV) 시스템을 도입하기 위하여, 향후 WRC에서 명확한 절차가 결정될 때까지 9조 - 14조 (9.11조 제외)의 모든 관련 규정이 적용되어야 한다.

8) 국제 전파규칙 9.11조 : 계획에 따르지 않는 방송위성업무가 지상업무와 동일한 권리로 주파수를 공유하는 주파수 대역에서 방송위성업무는 지상업무와 조정을 수행하여야 함

3. 결의 525 (Rev.WRC-07) : 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(BSS)의 고화질 텔레비전(HDTV) 시스템의 도입

2007년 4월 1일부터 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무 분배가 발효됨에 따라, WRC-07은 결의 525(Rev.WRC -03)에서 전력속밀도 제한값을 삭제하는 등 동 결의를 개정하였다. 개정된 결의 525(Rev.WRC-07)의 주요 내용을 정리하면 다음과 같다[1].

o 고려 사항 :

- WRC-92는 제 1지역 및 제 3지역에서 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역을 방송위성업무에 분배하였고 이는 2007년 4월 1일부터 효력을 갖는다.
- 2007년 4월 1일까지 주파수 분배표에 따라 동 지역의 동 주파수 대역에서 운용되고 있는 기존의 업무들은 다른 업무들로부터 유해한 간섭을 받지 않고 계속 운용될 권리를 갖는다.
- 2007년 4월 1일 현재, 동 주파수 대역에서 HDTV 시스템의 도입은 이후 WRC에서 명확한 규정을 채택할 때까지 유연하고 공정한 방법으로 규제되어야 한다.

o 추가 고려 사항 :

- 방송위성업무에 대한 강우 감쇠 경감기술 (ITU-R 권고 BO.1659)⁹⁾[9]
- 동 지역 동 주파수 대역의 방송위성업무에 대한 기준 전력속밀도 (ITU-R 권고 BO.1776)¹⁰⁾[10]

9) ITU-R 권고 BO.1659 : 17.3 - 42.5 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무 시스템에 대한 강우감쇠 경감 기술

10) ITU-R 권고 BO.1776 : 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무의 기준 전력속밀도

- 동 지역 동 주파수 대역의 정지궤도 방송위성업무간 공유 기준 (ITU-R 권고 BO.1785)¹¹⁾[11]
- 17.3 - 42.5 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무 및 관련 피더 링크의 시스템 파라미터 (ITU-R 보고서 BO.2071)¹²⁾[12]

o 결의 사항 :

- 부속서의 잠정적 절차를 채택한다.

o 부속서 : 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무(HDTV) 시스템 도입을 위한 잠정적 절차

- 일반 규정 :

- 주파수 분배표에 따라 제 1지역과 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 운용되는 방송위성업무를 제외한 모든 업무들은 방송위성업무(HDTV) 시스템에 유해한 간섭을 야기해서는 안 되고, 방송위성업무(HDTV) 시스템으로부터 보호를 요청할 수도 없다.
- 동 지역의 동 주파수 대역에서 운용적인 방송위성업무(HDTV) 시스템의 도입은 WRC-11에서 명확한 규정이 채택될 때까지 유연하고 공정한 방법으로 잠정적 절차에 의해 규제되어야 한다.

- 방송위성업무(HDTV) 시스템에 대한 잠정적 절차

- 다음 WRC에서 명확한 절차가 결정되기 전에 동 지역의 동 주파수 대역에서 방송위성업무(HDTV) 시스템을 도입하고 운용하기 위하여, 9조 - 14조(9.11조 제외)의 모든 관련 규정이 적용되어야 한다.

11) ITU-R 권고 BO.1785 : 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 정지궤도를 이용하는 방송위성업무 시스템간의 주파수 공유에 적용될 공유 기준

12) ITU-R 보고서 BO.2071 : 17.3 - 42.5 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무 및 관련 피더 링크의 시스템 파라미터

제3절 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역의 방송위성 주파수 공유기준

1. 방송위성업무와 다른 업무간의 공유기준

결의 525(Rev.WRC-03)와 2006년에 개발된 ITU-R 권고 BO.1776은 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에 분배된 방송위성업무에 대한 공유 연구에 이용될 수 있는 지표면에서의 기준 전력속밀도 제한값을 제시하고 있다[7][10].

결의 525(Rev.WRC-03)는 어떤 국가의 영토 내에 하나의 우주국의 방사에 의해서 지표면에서 생성되는 전력속밀도 제한값을 다음과 같이 제시한다.

-115	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $0^\circ < \theta < 5^\circ$
$-115 + 0.5 (\theta - 5)$	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	$\text{dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$	for $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

여기서 θ 는 수평면에 대한 도래각이고, 위의 전력속밀도 제한값은 자유공간손실을 가정하여 얻어진 값이다. 그림 3.1은 결의 525(Rev.WRC-03)의 전력속밀도 제한값을 도시한 것이다.

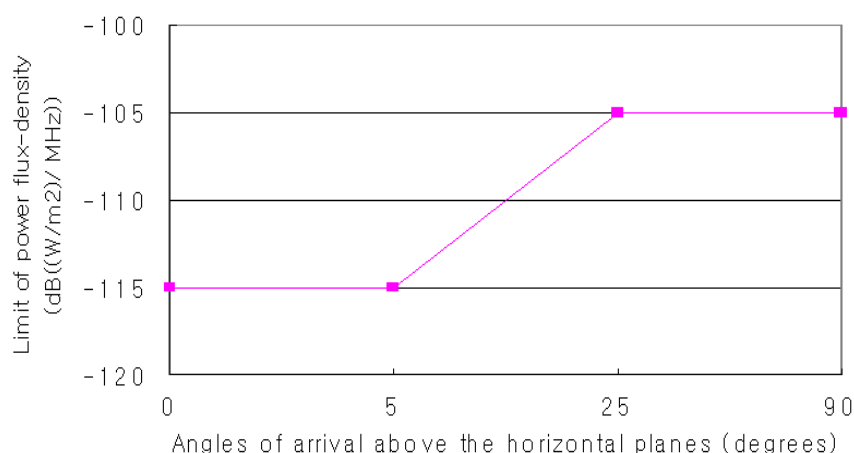


그림 3.1 결의 525 (Rev.WRC-03)의 전력속밀도 제한값

2007년 4월 1일부터 제 1지역 및 제 3지역에서 동 주파수 대역의 방송위성업무 시행이 발효되었기 때문에, WRC-07은 결의 525(Rev.WRC-03)에서 전력속밀도 제한값을 삭제하였다[1]. 이는, 동 대역에 분배된 1차 업무 중 실질적으로는 방송위성업무만이 1차 업무로서의 권리를 갖게 되고 다른 업무는 마치 2차 업무와 같은 권리를 갖게 됨으로써, 방송위성업무와 다른 업무 즉, 고정업무나 이동업무와의 공유가 무의미해졌기 때문이다. 결과적으로 방송위성업무와 이들 업무와의 공유 기준이었던 방송위성업무의 전력속밀도 제한값 역시 존재 이유가 사라진 것이다.

ITU-R 권고 BO.1776은 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무에 대한 공유 연구에 사용될 지표면에서의 기준 전력속밀도 제한값으로, 강우감쇠를 보상하고 높은 연간 서비스 가용도를 얻기 위하여, $-105 \text{ (dB(W/m}^2\cdot\text{MHz))}$ 가 고려되어야 한다고 권고하고 있다. 강우감쇠 영향이 적은 국가들에 대해서는 이보다 작은 전력속밀도 제한값이 고려될 수 있다.

동 권고의 부속서는 동 주파수 대역에서 방송위성업무로부터 방사되는 전력속밀도 값을 $-105 \text{ (dB(W/m}^2\cdot\text{MHz))}$ 로 가정하여 제 1지역 및 제 3지역의 몇몇 도시에서 얻을 수 있는 연간 서비스 가용도를 제공한다. QPSK와 8-PSK 변조 방식을 가정하여 각 변조 방식에 대해 요구되는 반송파대 잡음비(C/N) 기준을 각각 7.5 dB와 10.7 dB로 하고 45 cm 수신 안테나를 가정하면, 이들 도시에서 99.73 - 99.99% 범위의 연간 서비스 가용도를 얻을 수 있다. 요구되는 반송파대 잡음비, 7.5 dB와 10.7 dB는 나이퀴스트 잡음대역폭을 기준으로 하여 하드웨어 실행 마진, 위성 하드웨어 손실 마진을 포함한 값이다. 표 3.2와 표 3.3은 각각 제 1지역과 제 3지역에서 동 주파수 대역의 방송위성업무 하향 링크에 대해 얻어진 서비스 가용도를 연간 시간률로 표시한 것이다.

표 3.2 제 1지역에서 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무
하향 링크에 대한 서비스 가용도

		모스크바	파리	이스탄불
Elevation angle (degrees)		26.5	33.2	40.7
pfd (dB(W/m ² · MHz))		-105.0	-105.0	-105.0
Overall C/N	7.5 dB	99.99%	99.99%	99.99%
	10.7 dB	99.99%	99.99%	99.99%

표 3.3 제 3지역에서 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무
하향 링크에 대한 서비스 가용도

		동경	서울	방콕
Elevation angle (degrees)		38.0	44.9	73.5
pfd (dB(W/m ² · MHz))		-105.0	-105.0	-105.0
Overall C/N	7.5 dB	99.96%	99.99%	99.82%
	10.7 dB	99.94%	99.98%	99.73%

2. 정지궤도를 이용하는 방송위성업무간 공유 기준

2007년 4월 1일부터 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 대역에서 방송위성업무 분배가 발효됨에 따라, 동 주파수 대역에서 방송위성업무를 운용하기 위해서는 방송위성업무 시스템간의 공유 기준이 필요하게 되었다. 또한, 동 주파수 대역은 강우감쇠에 의한 영향을 많이 받기 때문에 다른 주파수 대역에 비해서 상대적으로 높은 등가등방 방사 전력(Equivalent Isotropically Radiated Power, e.i.r.p.)이 요구된다.

ITU-R 권고 BO.1785는 이러한 점들을 고려하여 제 1지역 및 제 3지역에서 21.4 - 22.0 GHz 대역의 정지궤도 방송위성업무간 공유에 적용할 수 있는 공유 기준을 전력속밀도 마스크로 표현하여 권고하고 있다. 동 권고는

맑은 기상 조건에서 방송위성업무 시스템에 적용될 기준 전력속밀도 제한값을 다음과 같이 권고한다[11][13].

-143.2	dB((W/m ²)/MHz)	for 0° ≤ θ < 0.268°
-131.8 + 20 log θ	dB((W/m ²)/MHz)	for 0.268° ≤ θ < 1.18°
-134.7 + 3.12 θ ²	dB((W/m ²)/MHz)	for 1.18° ≤ θ < 2.59°
-124.5 + 25 log θ	dB((W/m ²)/MHz)	for 2.59° ≤ θ < 6.03°
-105.0	dB((W/m ²)/MHz)	for 6.03° ≤ θ

여기서 θ는, 각 위성의 동서방향 위치유지 정확도를 고려한, 희망 우주국과 간섭 우주국간의 최소 궤도 이격각(minimum geocentric orbital separation in degrees)이다. 이 전력속밀도 제한값은 WRC에서 동 주파수 대역의 방송위성업무에 대한 계획이 수립될 때까지 방송위성업무간 조정의 트리거 레벨로 고려되어야 한다. 그림 3.2는 ITU-R 권고 BO.1785의 전력속밀도 제한값을 도시한 것이다.

이 전력속밀도 제한값은 반송파대 간섭비(C/I)를 이용하여 구하였는데, 자세한 사항은 동 권고의 부록 1에서 기술된다. 현재 동 주파수 대역에서의 수신 지구국 안테나 방사 패턴이 개발되지 않았기 때문에 수신 지구국 안테나 방사 패턴은 ITU-R 권고 BO.1213을 이용하였고, 45 - 120 cm 안테나 보호를 기본 가정으로 하였다. 6°의 궤도 이격에서 보호 요구조건은 전력속밀도 -105 dB((W/m²)/MHz)로 하였다(이때 보호비는 단일 간섭원에 대해서 C/I = 29.7 dB이다). 허용할 수 있는 간섭 전력속밀도 제한값은 다음의 공식에 의해서 얻을 수 있다.

$$\text{Interfering pfd limit } (\theta) = \text{pfd wanted} - 29.7 + \Delta G (\phi)$$

여기서 ΔG (φ)는, 고려된 안테나 크기에 대해서, 관측자 중심각(topocentric angle)에 대한 오프엑시스 이득이다(φ = 1.1 θ). 수신 지구국의 안테나 패턴은 ITU-R 권고 BO.1213의 동일 편파 안테나 패턴을 이용하였다. 45 - 120 cm 안테나에 대해 요구되는 각각의 전력속밀도 곡선을 그린 후 이들 곡선에 대해서 가장 낮은 값들을 선택하여 최종적으로 그림 3.2의 전력속밀도 제한

값 마스크를 얻었다.

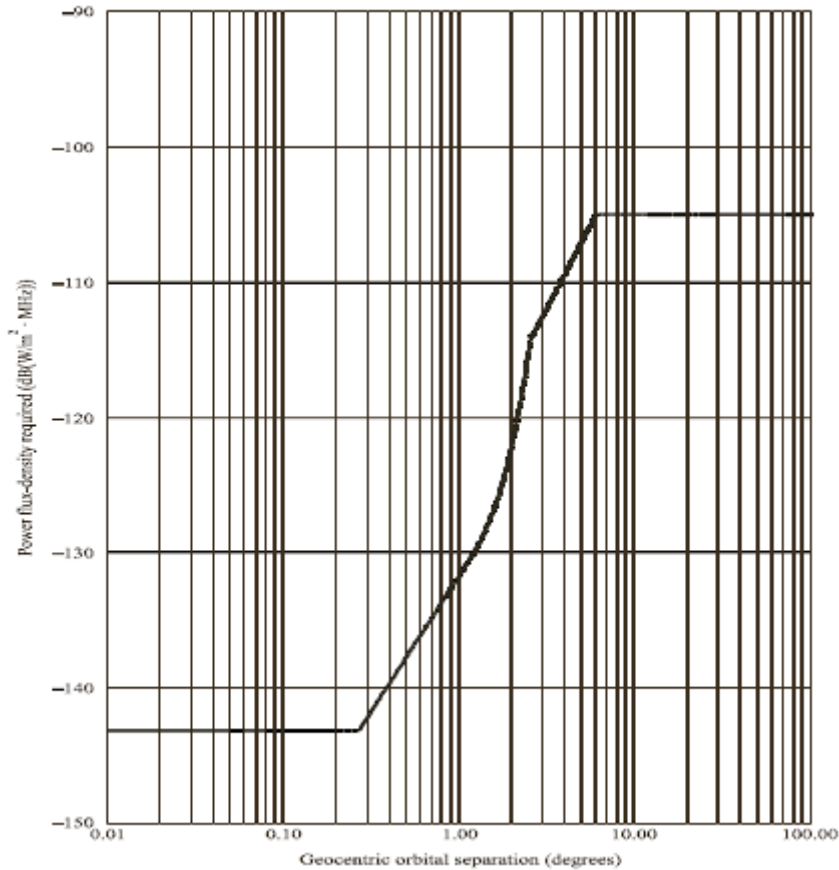


그림 3.2 ITU-R 권고 BO.1785의 전력속밀도 제한값
(C/I 기준 = 29.7 dB, 기준 $pfd = -105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$)

제4절 국제기구 및 각국의 연구 동향

2011년 세계전파통신회의 준비회의(Conference Preparatory Meeting-11, CPM-11) 1차 회의에서 아시아·태평양 전기통신연합(Asia Pacific Telecommunity, APT)은 동 주파수 대역을 HDTV용 방송위성업무로 이용하기 위하여 국제등록 절차 및 기술제원의 검토가 필요하다고 제안하였으며, 일본은 방송위성업무용 위성안테나 기준 패턴 연구가 필요하다는 입장을 제시하였다. 한편 러시아는 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무는 제 1지역 및 제 3지역 국가를 위한 계획 주파수로 분배하여 공평하게 이용되도록 해야 한다고 피력하였으며, 아시아·태평양 방송연합(Asia Pacific Broad-

casting Union, ABU)은 실제로 구현 가능한 규정 절차 및 기술 조건이 마련되어야 한다고 밝혔다.

2008년 4월과 11월에 개최된 ITU-R WP4A회의에서도 동 이슈에 대한 논의가 진행되었는데, 주요 회의 결과를 정리하면 다음과 같다[14][15].

우선 동 이슈에 대한 연구를 수행함에 있어 세부 연구 내용 및 활동 일정 등에 대한 논의가 이루어졌는데, 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무 기술 및 관련된 피더 링크 시스템에 대한 연구 내용을 세분화하고, 동 주파수 대역에서의 계획 방법론, 조정 절차 또는 다른 절차 등이 논의되었다. 현재까지 결정된 세부 연구 내용은 다음과 같다.

- 강우에 의한 서비스 가용도
- 강우 또는 다른 기상 요인에 의해 야기되는 감쇠
- 감쇠와 요구되는 서비스 가용도에 의해 얻어지는 하향 링크의 등가등방 방사전력 또는 전력속밀도
- 채널 코딩
- 보호비, 전력속밀도 마스크, $\Delta T/T$, EPM, I/N 등과 같은 공유 기준
- 위성 궤도 이격, 위성 위치 유지를 포함한 간섭 계산 방법론
- 피더 링크의 등가등방방사전력
- 수신 G/T
- 편파
- 지구국의 수신 안테나에 대한 기준 패턴
- 위성 송·수신 안테나에 대한 기준 패턴
- 불요방사레벨 등

현재 ITU-R 권고 BO.1776은 기준 전력속밀도 제한값을 $-105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 로 제시하면서 강우감쇠 영향이 적은 국가들에 대해서는 이보다 작은 값이 고려될 수 있다고 명시하고 있다. 지표면에서의 어떤 특정한 전력속밀도 값에 대해서 강우 강도와 서비스 가용도 사이의 연관성을 찾기가 어렵고 동일 국가 및 지역 내에서도 강우 강도, 강우 감쇠 및 서비스 가용도에

차이가 있을 수 있다. 이러한 점을 고려하여, 강우 감쇠의 영향이 크지 않은 국가들에 적용할 수 있는 전력속밀도 기준값에 대한 논의가 이루어졌다. 어떤 특정한 도시에 대해서 동일한 파라미터들을 고려하였을 때 강우 감쇠 레벨이 양각이 낮을수록 높게 나타나는 현상은 강우 감쇠의 정도를 결정함에 있어서 양각이 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 따라서 전력속밀도 기준을 정함에 있어서 강우 감쇠의 영향이 큰 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하는데 필요한 기준으로 강우율 뿐만 아니라 양각 요소도 고려되어야 할 것이다.

룩셈부르크는 제 1지역의 3개 도시(모스크바, 파리, 이스탄불)에 대해서 기준 전력속밀도를 $-115 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 로 하여 21 GHz 주파수 대역의 방송위성업무 하향 링크에 대한 연중 서비스 가용도 계산 결과를 제시하였고, 일본은 제 1지역 도시의 서비스 가용도를 전력속밀도 $-105 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{MHz})$ 및 $-115 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{MHz})$ 를 기준으로 계산한 결과를 제시하였다. 우리나라는 ITU-R 권고 P.837에서 우리나라에 적용된 강우율을 이용하여 주파수 대역별 강우 감쇠와 서울에서의 연중 서비스 가용도 분석 결과를 제시하였다.

현재까지 제 3지역의 전력속밀도 기준은 현행 기준인 $-105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를, 제 1지역에 대해서는 $-115 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 적용하는 것을 주요 내용으로 하는 동 권고의 개정 예비 초안이 작성되었다.

제5절 결 론

현재 ITU-R WP4A에서는 제 1지역 및 제 3지역 21.4 - 22.0 GHz 대역의 방송위성업무에 적용할 수 있는 전력속밀도 기준값에 관한 ITU-R 권고 BO.1776의 개정에 관한 연구가 진행 중에 있다. 주요 연구 내용은 강우에 의한 영향이 큰 지역에 대해서는 기존의 기준값인 $-105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를, 강우 영향이 적은 지역에 대해서는 이 보다 10 dB 작은 $-115 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 적용하는 것이다.

우리나라는 서울 지역의 강우율을 적용하여 서비스 가용도를 수정하는 내용의 기고서를 관련 연구반에 제시한 바 있다. 동일 국가 내에서도 지역에 따라 강우 영향이 다르다는 점을 감안하면 서울 이외의 지역에 대한 강우율

및 서비스 가용도 분석도 필요할 것으로 판단된다.

또한 현재까지는 WP4A에서 주로 전력속밀도 기준값에 대한 사항이 논의되었지만 차기 회의부터는 전력속밀도 기준값 이외에 WP4A에서 정한 다른 연구 항목들에 대해서도 연구 및 논의가 진행될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 특히, 전력속밀도 이외의 공유 기준, 간섭계산 방법론 및 안테나 패턴 등에 대한 연구 수행이 필요할 것으로 판단된다.

제4장 Ka 대역 이용에 따른 강우감쇠 완화 방안 조사·분석

제1절 서 론

정보통신 기술의 발달과 이에 따라 급변하는 디지털 환경 속에서 방송통신 융합현상이 두드러짐에 따라 HDTV, 디지털 멀티미디어방송(Digital Multimedia Broadcasting, DMB), 디지털 텔레비전(Digital television, DTV) 등의 멀티미디어 통신, 초고속 인터넷, 위성을 이용한 무선 인터넷 서비스 수요의 증가로 유·무선 통신용 주파수 확보가 세계적 문제로 제기되고 있다. 특히 이동통신 서비스와 멀티미디어 통신 서비스에 대한 높은 관심과 사용에 따라 기존의 무선 채널 포화현상은 심각한 수준이다. 이에 따라 통신 선진국들은 높은 주파수를 이용한 위성 방송 및 위성 통신 서비스에 연구를 집중하고 있다[16].

서비스 지역의 광역성, 동보성, 회선 설정의 유연성, 신속성 및 내재해성 등의 장점을 가지고 있는 위성 방송 및 위성 통신은 국가 차원의 위성 통신망으로 요구되고 있고, 무선 채널 포화 현상에 따라 초고속의 광대역 통신을 위한 높은 주파수(Ka)대역의 위성통신망이 필요하게 되었다. Ka 대역으로 운용되는 지상 및 위성 무선 전송 시스템의 경우, 희소성에 따른 간섭 문제 해결, 단말기의 소형화 가능, 시스템의 광대역화를 통한 대용량 시스템 구축 가능 등의 여러 장점을 가지고 있으나 강우를 포함한 대기 중의 산란 및 흡수에 의해 신호의 감쇠 및 편파 열화현상이 심각하여 시스템의 안정적인 운용에 제약을 가지고 올 것으로 예상된다[17][18].

또한, 위성 디지털 멀티미디어 방송은 국내 방송시장과 국내 산업에 엄청난 파급 효과를 가져 올 것으로 예측되며 정보화 사회의 또 다른 변화를 예고하고 있다. 이러한 초고속의 광대역 통신을 가능케 하는 위성 방송 시스템은 높은 주파수 대역을 사용하고 있기 때문에 앞서 설명한 것과 같이 위성 통신 경로의 영향을 받으며 특히 강우에 심각한 열화 특성을 가지는 것으로 조사된다.

위성을 이용한 고속 고품질 서비스 제공을 위한 통신 시스템은 현재 이용되고 있는 Ku 대역의 주파수 보다 높은 Ka 대역 이상의 주파수 사용이 고려되고 있다. Ka 대역 이상의 주파수를 이용한 디지털 위성 방송을 고려할

경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심각하게 발생하므로 강우 감쇠에 능동적으로 대처하기 위한 보상기법에 대한 연구와 대비가 필요한 실정이다. 또한 최근 폭우의 발생률이 증가하고 위성방송을 재난 방송으로 이용하려는 움직임은 위성 통신 시스템의 안정화와 성능 개선을 요구하고 있으며 따라서 강우량에 따른 위성 방송 시스템의 열화 정도를 분석하고 이에 대한 기술적인 대책이 필요한 실정이다.

본 장에서는 Ka 대역의 위성 통신 경로의 전파환경에 대해 간단히 설명하고자 한다. 10 GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 위성통신 전송로에서 가장 심각한 장애요인인 강우감쇠에 대하여 세부적인 감쇠파라미터와 장기간에 걸친 지역별 강우 강도 실측 데이터를 이용하여 근사 확률분포를 추정하는 대표적인 확률분포연구결과에 대해 소개한다. 또한, 2008년 ITU-R SG4의 WP4A에서 우리나라가 기고한 강우감쇠에 관련된 내용을 설명하고자 한다. 끝으로 지역별로 다른 강우에 따른 신호감쇠가 발생함에 따라 이에 대한 개선방안으로 Ka 대역의 위성 방송을 위한 몇 가지 성능 개선 방안에 대해 분석한다.

제2절 위성통신 경로의 전파환경

1. 개요

약 30 MHz 이상의 전리층 침투 주파수를 이용하는 위성통신은 낮은 대기 혹은 대류권 내의 가스입자 특히 산소 및 수증기 입자가 에너지를 흡수하는 주파수대 이하에서는 방해 없이 전송될 것이다. 무선 주파수와 대기 가스의 상호작용이 심한 어떤 특정 흡수대역에서 위성 통신은 매우 제한적이다. 실제로 위성 통신은 이러한 흡수 대역 사이에 존재하는 전파의 창에서 개발되었으며, 여기에서의 주요 관심사도 이러한 창에서의 감쇠를 유발하는 전파전파 요인들이며, 현재의 위성통신 기술 추세에 비추어 10 GHz 주파수를 고려 대상으로 한다. 약 100 GHz 까지의 전파의 창에서 운용되는 위성통신에 영향을 주는 주요 전파전파 요인들은 다음과 같다[19][20].

2. 대기 가스 흡수

지구 대기를 형성하고 있는 가스들은 여러 구성 요소가 복합되어 전자파와 상호 작용을 일으키나, 무선 주파수에 대해서는 단지 산소와 수증기 입자만이 전파 흡수를 유발시킨다. 주요 흡수대역으로 3개의 대역이 존재하며, 22.2 GHz(수증기), 60 GHz(산소), 118.8 GHz(산소)를 중심 주파수로 하는 대역이다. 산소 분자의 영구 자기모멘트는 전파의 자기장과 상호 작용을 일으키며, 수증기 분자의 전기 쌍극자는 전파의 전기장과 상호 작용을 일으킨다. 이러한 상호 작용으로 분자의 회전 에너지 레벨이 변화하고 전파로부터 에너지를 흡수하게 된다.

한편 ITU RR의 부속서 7[21]에서는 지구국 조정영역을 결정하기 위해 필요한 전파전파현상을 크게 2가지로 분류하였고 주파수별로 적용되는 전파전파모델 및 적용 가능한 연평균 시간율을 아래와 같이 정하였다.

(1) 전파 모드(1) : Clear-air 에서의 전파전파현상

(가) 100 ~ 790 MHz 대역 : 전파모드(1) predicted path loss curves

(연평균시간율 : 1~50%)

(나) 790 MHz ~ 60 GHz 대역 : 대류권 산란, 덕팅, layer reflection/refraction(연평균시간율 : 0.001~50%)

(다) 60 ~ 105 GHz 대역 : 자유공간 손실 및 대기중 가스에 의한 감쇠
(연평균시간율 : 0.001~50%)

(2) 전파 모드(2) : 유속계 산란(hydrometeor scatter)

(가) 1~40.5 GHz 대역에만 적용 : 주로 강우에 의한 산란현상(연평균 시간율 - 0.001~10%)

(3) 전파모드(1)과 전파모드(2)에 적용되는 대기 중 가스에 의한 감쇠모델

대기중 가스에 의한 감쇠모델은 전파모드(1)과 (2)에서 같이 적용되며 790 MHz 이상 주파수 대역에서 고려된다. 대기 중 가스에 의한 감쇠는 Dry air(주로 산소흡수)와 Water vapour(수증기)에 대한 2가지 영향으로 크게 나누어진다. 각각의 모델은 모두 주파수, 대기압(P , hPa), 대기온도(T , °C)에 따라 영향을 받게 되며 이외에도 수증기밀도(ρ , g/m³)는 수증기에 의한 영향에서 함께 고려된다[22].

전파규칙 부속서 7에서 쓰이는 대기 중 가스에 의한 감쇠모델은 1992년에 개정된 ITU-R 권고 P.676[23]을 이용하고 있으며, ITU-R 권고 P.676은 2005년에 재개정이 이루어졌는데[24], 비(比)감쇠치(the Specific attenuation, dB/km)에 대한 근사식 표현을 비롯하여 전체적으로 바뀌었다.

(4) 전파모드(2) 유속계 산란 전파전파모델

전파모드(2) 유속계 산란 전파전파모델이 적용가능한 주파수 범위는 1~40.5 GHz이다. 전파모드(2)에서 조정영역을 결정할 때, 유속계 산란으로 인해 발생한 신호는 1 GHz 미만 주파수 대역과 40.5 GHz 초과 주파수 대역에서 무시될 수 있다. 왜냐하면, 대체적으로 1 GHz 이하 주파수 대역에서 산란된 신호 크기는 매우 낮고, 40.5 GHz 이상 주파수 대역에서는 상당한 양의 전파 산란이 발생되더라도 강우산란 Volume(또는 Cell)에서 수신 지상국·지구국까지 경로를 따라 크게 감쇠하기 때문이다[25].

강우산란을 주로 고려하는 유속계 산란 경로 손실은 주로 강우율($R(p)$, mm/h)의 함수로써, 손실계산이 유효한 연평균시간율(p) 범위는 0.001~10%이다. 이 경로손실에는 대기중 가스에 의한 감쇠도 포함된다.

전파모드(2)에서 일어나는 경로손실을 구하기 위해 먼저 강우율을 결정하여야 한다. 지구국이 위치한 지점의 주어진 강우율 데이터를 이용하는 것이 타당하다고 할 수 있으나, 통계데이터가 없을 경우, 좀더 정확한 강우율 통계치를 얻기 위해 주어진 연시간율에 따른 강우율을 도시한 맵(Map)을 참고할 수 있다[26].

3. 편파열화

편파열화는 강우나 얼음 결정으로 대표되는 강수 입자와 다중경로 전파의 두 가지 원인으로 발생한다. 다중 경로 전파에 의해 발생하는 편파열화는 일반적으로 지상 무선링크에 한정되어 있으므로, 위성-지구 경로 간에서 주된 교차편파 원인은 강우라 할 수 있다. 편파열화의 특성은 전송로 상의 불균일 매질에 좌우되며, 이러한 매질로부터 받는 감쇠량이나 위상변화에 따라

다르게 나타난다.

4. 대기잡음

대기잡음이란 대기 잡음의 증가로 인한 시스템 성능의 영향은 하향링크의 C/N을 떨어뜨린다는 것이며, 이것은 하향링크의 진폭 감쇠와 동일한 효과를 야기한다. 그러나 대기 잡음의 증가는 부가적으로 일어나는 것이므로 그 효과의 크기는 대기잡음이 없을 경우의 지구국 잡음온도에 의존한다.

5. 굴절지수의 변화효과

대기의 굴절률 구조에 대한 소규모 불균일성에 의해 일어나는 굴절지수의 변화 효과로는 파면(wave-front)의 불일치에서 기인한 안테나 이득의 감소, 위상이나 진폭의 빠른 변화로 알려진 대기 신틸레이션(Scintillation) 현상 등이 있다. 대기 굴절율의 불균일성에서 기인하는 수신안테나에서 입사파의 파면 불일치 현상은 안테나 유효이득의 감소로 해석할 수 있는 안테나-매질 간의 결합손실을 제공할 수 있으며 대기 신틸레이션의 경우, 대기의 다중 경로 페이딩이라 하며, 고도상으로 수 km내에서 생성되므로 10° 이하의 낮은 각에서 중요한 신호 변동의 요소가 될 수 있다.

제3절 위성통신 경로의 강우감쇠예측을 위한 파라미터 분석

1. 개요

10 GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 위성통신 전송로에서 가장 심각한 장애요인은 강우에 의한 감쇠현상이다. 이는 신호 및 수증기 흡수 대역 이외의 주파수 대역에서 신호의 진폭을 가장 크게 열화시키며, 진폭의 열화 정도에 따라 수신 시스템의 잡음 온도를 증가시키거나, 편파의 특성을 변화시키기도 한다. 강우의 심각성과 비예측 특성으로 인해, 밀리미터파 위성통신 시스템 설계 시 가장 중요하게 고려하는 감쇠요소이다.

2. 강우 감쇠계수

일반적으로 강우 감쇠량 $Y_R(\text{dB})$ 는 식 (4.1)과 같은 기본적인 관계로 예측할 수 있으며, 이식은 Olsen에 의해 강우로 인한 특정감쇠(Specific attenuation; 단위 길이당 감쇠량을 나타내는 것으로써 단위는 dB/km 이며, 이하 감쇠계수라 표기함)추정식이 단순화된 이후 가장 보편적으로 이용되는 수식이다[27].

$$\gamma_R = kR(p)^\alpha L_e \quad (4.1)$$

현재 전파규칙 부록 7에서 계수 k , α 는 빗방울의 온도, 주파수, 편파, 빗방울 입자의 크기 분포 등에 따라 변하는 값으로 정의하고 있다. 보다 정확한 계수 k , α 값은 최근 개정된 ITU-R 권고 P.838[28]에서 구할 수 있다. $R(p)$ 는 표면 강우강도(mm/h)이다.

또한 L_e 는 유효강우 경로길이(km)로써, 표면 강우강도가 경로 전체에 대해 일정하게 내리는 것으로 가정하는 가상의 경로길이를 나타낸다.

3. 유효경로 길이

강우 감쇠량을 정확히 예측하기 위해서는 공간적으로 분포가 다른 각 경로별 강우강도 분포를 예측할 수 있어야 한다. 그러나 현실적으로 강우강도 분포에 이용되는 데이터들은 대부분 지구 표면 지역에서의 강우 측정기(rain gauge)나 레이더에 의한 측정 데이터를 근거로 한 것이기 때문에, 위성-지구 경로와 같은 경사 경로에 대한 각 경로별 강우강도 분포를 예측하기란 매우 어려운 일이다.

따라서, 지구 표면에서의 측정 데이터를 이용한 강우강도 분포를 강우 감쇠량 예측에 적용하기 위해서는 실제 전파경로와 강우강도와의 관계를 고려하여 강우강도가 전파의 감쇠에 영향을 주는 유효경로길이를 그림과 같이 산정하여야 한다.

강우 고도 h_R 은 ITU-R P.839[29]에서 제시한 값을 이용하며, θ (경로의 고도각) $\geq 5^\circ$ 인 경우 L_s 는 식 4.2를 적용하며, 그 이외의 경우 식 4.3을 적용한다.

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} km \quad (4.2)$$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e})^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} km \quad (4.3)$$

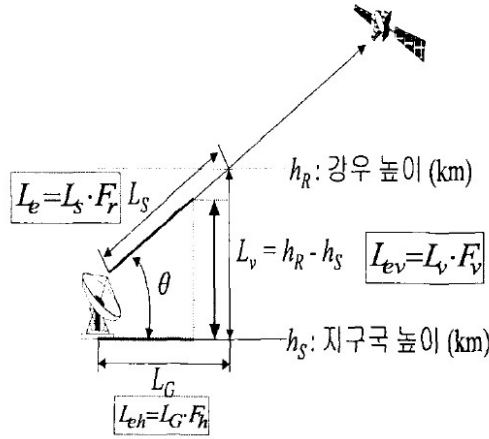


그림 4.1 강우감쇠 경로 구조와 유효길이

유효경로 예측 모델 중에서 ITU-R 모델은 강우셀 직경과 강우의 영향을 받는 경로길이를 가정하기 위해, 연 시간율 0.01%에 대한 감소인자를 도입한다. 위성통신 경로에 대한 강우 감쇠 유효경로길이(L_{eff} , km)는 실제 경사 경로 길이(L_s , km)에 조정인자(F_s)를 고려하여 다음과 같은 수식을 사용해 구할 수 있다.

$$L_{eff} = F_s L_s \quad (4.4)$$

$$F_s = \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} \quad (4.5)$$

$$F_H = 0.158 + 0.837 \times e^{-R/130.14} \quad F_V = 4.175 \times e^{-0.409} \quad (4.6)$$

식 (4.1)~(4.6)을 통해 강우감쇠 예측 모델링의 기본적인 절차를 알 수 있으며, 그림 4.2와 같이 이론적 요소, 통계적 요소, 실험적 요소의 세가지로 구별할 수 있다. 그림 4.3은 이상의 요소를 얻기 위한 세부적인 절차를 요약하고 있다.

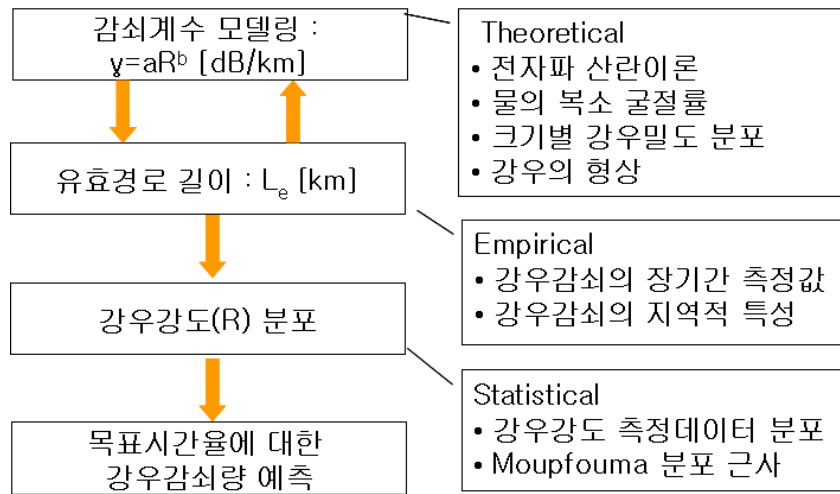


그림 4.2 강우감쇠 예측 요소 및 절차

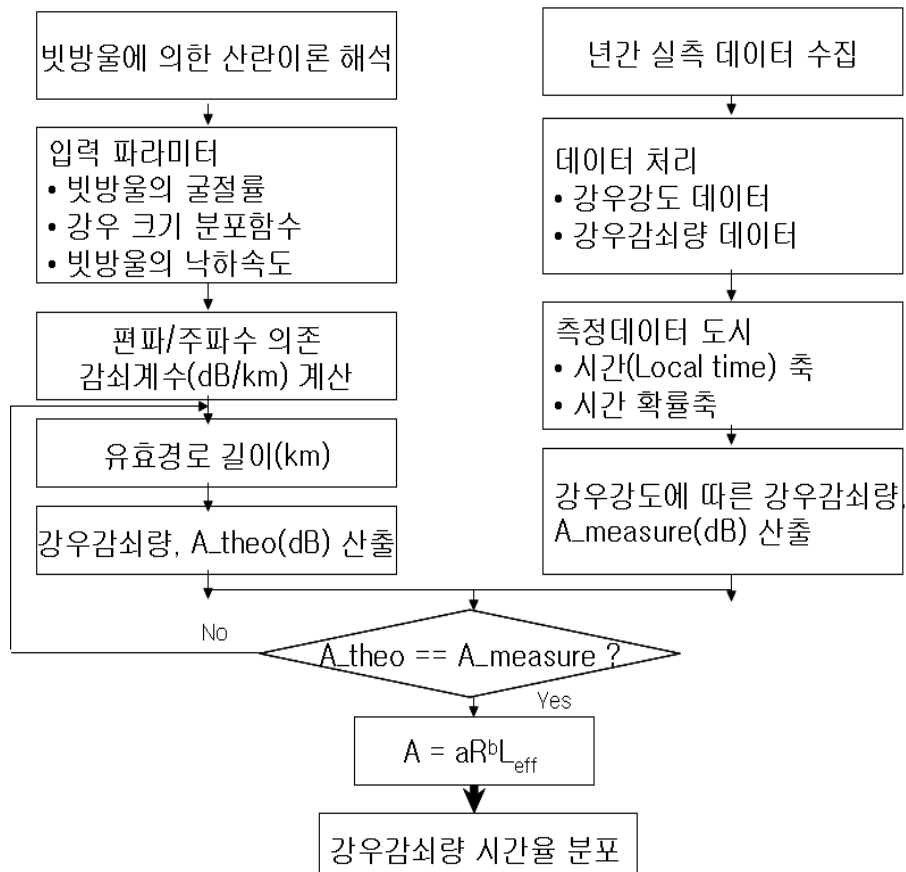


그림 4.3 강우감쇠 예측을 위한 세부절차

4. 강우 강도 확률 분포

강우 감쇠량 예측에 있어서 가장 중요한 요소는 강우 강도이다. 이러한 강우 강도 분포는 지역별 시간별로 다르게 나타나므로, 장기간에 걸친 지역별 강우 강도 실측 데이터를 통해 근사 확률분포로 추정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다.

한 지역의 시간율에 대한 강우 강도분포는 강우강도의 실측치를 이용하여 가장 근사적으로 일치되는 확률분포를 찾아내어 적용시킬 수 있다. 통상 널리 이용되는 확률분포로는 Gamma, Log-normal 분포 등이 있으며, 50 [mm/hr] 이상의 높은 강우 강도영역에 대해서는 Gamma 분포가, 그 이하의 낮은 강우 강도에 대해서는 Log-normal 분포가 더 적당한 것으로 알려져 있다. 이 외에도 Moupfouma 분포함수를 이용하여 강우 강도를 추정한 연구 사례도 있다[30].

가. Log-normal 분포

Log-normal 변수 R 의 확률밀도 함수 $p(R)$ 은 다음과 같다.

$$p(R) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi}\sigma R} \exp \left\{ -\frac{(\log R - m)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (4.7)$$

여기서 R 은 강우강도[mm/hr], σ 는 $\log R$ 의 표준편차, m 은 $\log R$ 의 평균이다. Log-normal 분포를 이용할 경우, 변수인 R 이 log-normal 분포를 가지면 변수의 합이나 지수 및 곱으로 표현된 변수도 log-normal 분포를 따른다.

나. Gamma 분포

Gamma 확률분포를 이용하여 강우강도 분포를 추정할 경우, 아래의 Gamma 확률밀도 함수 $f(R)$ 을 적용한다.

$$f(R) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} R^{\alpha-1} e^{-\beta R} \quad (4.8)$$

R 은 강우강도[mm/hr], $\Gamma(a)$ 는 Gamma 함수, β , a 는 상수이다. 이때 평균 및 분산은 각각 $m=a/\beta$, $a^2=a/\beta^2$ 으로 표시되며, 식 (4.8)의 확률밀도 함수 $f(R)$ 을 확률 누적함수 $F(R)$ 로 나타내면 식 (4.9)와 같다.

$$F(R) = \int_R^{\infty} f(f)dr \quad (4.9)$$

다. Moupfouma 분포

Moupfouma 변수 R 의 확률밀도 함수 $g(R)$ 은 식 (4.10)과 같다.

$$g(R) = \frac{\alpha}{R^r} \exp(-\beta R) \left[\frac{r}{R} + \beta \right] \quad , R_{\min} \leq R < \infty \quad (4.10)$$

여기서 α , β 및 r 은 분포의 파라미터이고 R_{\min} 은 밀도함수의 발산을 막기 위한 변수의 하한값이다.

5. 강우감쇠 보상 기법

위성 통신 시스템의 주파수가 높아질수록 강우에 의한 신호 감쇠가 심각함을 알 수 있다. 그러므로 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하는 Ka 대역의 위성 방송을 위한 성능 개선 방안으로 다음과 같은 방법들을 고려할 수 있다[31].

가. 정적인 보상 방법

정적인 보상방법으로는 수신기 G/T의 개선과 잡음에 강한 변·복조 방식의 채용 그리고 부호화 이득이 높은 오류정정 부호를 채용하는 방법이다. 이러한 기법들은 적은 강우감쇠의 경우에 유리하며, 소자의 성능 및 정보의 특성에 좌우된다. 하지만 안테나 유효면적의 증가와 수신단의 회로구성이 복잡하며 수신기의 가격상승이 우려되는 단점이 있다.

나. 다이버시티 기법

강우 상관도가 떨어지는 복수개의 수신 시설을 이용하는 기법으로 주파수, 궤도, 공간, 시간 다이버시티 등이 있으며 광대역 채널이나 지구국에서의 강우영향이 심한 경우에 대규모 위성 통신 시스템에서 널리 사용된다. 하지만 수신공간의 제약을 받거나 일반 가입자의 단말기인 경우에는 다이버시티 기법을 적용하기에는 다소의 무리가 따른다.

다. 적응형 보상 방법

강우 지역에 중점적으로 송신 전력을 분배하는 적응적 송신 전력 제어 기법과 계층 부호 및 계층 변조 방식을 채택하는 적응형 전송 기법이 있다. 강우의 연중 발생률이 매우 낮은 경우 강우가 발생하는 기간에만 보상할 수 있어 효율적인 정보 전송이 가능하다. 이러한 기법은 강우가 넓고 일정하여 지구국 위치에서의 강우에 의한 효과가 적은 경우 유리하다.

제4절 방송위성 시스템의 강우감쇠 관련 전송제원 개정

1. 배경

강우감쇠 관련된 국내 표준화 활동으로는 2008년 ITU-R SG4의 WP4A 관련 권고 및 보고서의 개정을 제안할 수 있다. 지난 전파통신총회(Radio Assembly, RA-07)의 결과에 따라 방송위성업무용 궤도 및 주파수 자원의 이용에 관한 연구가 ITU-R WP4A로 이관되었으며, 특히 ITU-R WP4A가 WRC-11 의제 1.13으로 선정된 21 GHz 대역의 방송위성업무에 관한 이슈의 책임그룹으로 지정되었다. WRC-11 의제 1.13 은 21.4~22.0 GHz 대역을 이용하는 우리나라가 포함되는 제1, 3지역의 HDTV 방송위성 계획 작성 방안을 검토할 예정이며, 국내에서도 21 GHz 대역을 이용하는 HDTV 위성방송 관련 기술 개발 사업을 추진 중에 있다. 이에 따라 동 대역에서 주요한 위성통신 전송로에 심각한 장애요인이 되고 있는 강우감쇠에 대한 분석과 이에 따른 링크버짓 개선 등 관련 권고 및 보고서 개정을 제안하였다.

2. ITU-R 보고서 BO. 2071관련 주요 개정 제안 내용

ITU-R 보고서 BO. 2071[10]에는 17.3 GHz - 42.5 GHz 대역을 이용하는 방송위성시스템의 전송제원(서비스 요구사항, 피더링크 파라미터, 변조 및 링크 전송제원 등)을 상세하게 기술하고 있으나, 기술된 일부 전송제원이 다소 부적절하다고 판단되어 적절한 값으로 개정할 것을 제안하고 우리나라에서 HDTV 방송시스템 구현 시 직접 참고하고자 하였다. ITU-R 보고서 BO. 2071 에서는 강우 시 요구되는 위성 송신 출력(e.i.r.p.)과 지표면에서의

전력속밀도 값을 제시하고 있다. RR의 부칙 2에서 제안하고 있는 방송위성 시스템의 전송제원은 아래와 같다.

- (1) 서비스 가용도 : 99.7, 99.9 % (연간)
- (2) 강우감쇠 : 99.7, 99.9 %의 서비스 가용도에서 각각 6.1 dB, 11.1 dB
- (3) 변조방식 : QPSK1/2, QPSK3/4, TC8-PSK, 16QAM3/4

위의 제원을 바탕으로 보고서 BO.2071에서는 부칙 2 부록 3의 표 12에서 표 4.1과 같은 시스템 제원을 기술하고 있다. 표 4.1의 QPSK1/2를 기본으로 전체 C/N 링크값을 계산해보면 표 4.2와 같다.

표 4.1 21 GHz 방송위성시스템의 전송제원

Link parameters				
Uplink $C/(N+I)$	24 dB			
Tx antenna diameter	4 m			
No. of feed horns	188			
Receiving antenna	Dia. = 45 cm, Effic. = 70%, NF = 1.5 dB			
Information bit rate	About 40 Mbit/s			
Modulation	QPSK1/2	QPSK3/4	TC8-PSK	16-QAM3/4
Required C/N	4.4 dB	7.5 dB	10.7 dB	17.0 dB
Channel bandwidth (99%)	54.2 MHz	35.4 MHz	26.4 MHz	17.4 MHz
Case 1				
Service availability in a year by boosted beam	99.9% (Rain attenuation: 11.1 dB total attenuation: 13.9 dB)			
e.i.r.p. nationwide	56.4 dBW	57.7 dBW	59.8 dBW	65.0 dBW
e.i.r.p. boosted beam(-3 dB)	65.1 dBW	66.4 dBW	68.5 dBW	73.7 dBW
Case 2				
Service availability in a year by boosted beam	99.7% (Rain attenuation: 6.1 dB total attenuation: 9.0 dB)			
e.i.r.p. nationwide	55.1 dBW	56.4 dBW	58.4 dBW	63.7 dBW
e.i.r.p. boosted beam(-3 dB)	60.2 dBW	61.5 dBW	63.5 dBW	68.8 dBW

링크 설계를 통해 분석한 결과에 의하면 제시된 값을 적용할 경우 적절한 링크 품질이 유지되지 않는 것으로 판단되어 표 4.2의 링크 마진 결과값과 같이 2 dB 정도 높은 값으로 개정할 것을 제안하였다.

ITU-R SG4 WP4A의 1차 회의에서 제출한 우리나라의 제안에 대하여 일본은 우리나라가 제안한 BSS 시스템 제원 개정을 지지하고, DVB-S2와 같은 최신 기술을 고려하여 본 보고서의 개정 관련 연구를 지속적으로 수행할 필요가 있다는 입장을 표명하였으며, 캐나다는 우리나라가 제시한 링크버짓 상의 2 dB 여유량(margin)에 대한 추가적인 검토가 필요하다는 의견을 제시하였다. 우리나라의 제안 사항과 종전의 WP 6S 의장보고서에 첨부되어

있던 작업문서를 결합하여 새로운 작업문서를 개발하고, 본 보고서 개정 작업을 지속적으로 추진하기로 결정하였다[14].

표 4.2 QPSK1/2에서의 C/N값 및 링크마진

Classification	Under rain attenuation		No rain attenuation
Service availability (%)	99.9	99.7	-
e.i.r.p. (dBW)	65.1	60.2	55.1
Channel Bandwidth (MHz)	54.2	54.2	54.2
Path Length (km)	37,500	37,500	37,500
Free space loss (dB)	210.7	210.7	210.7
Total attenuation (dB)	13.9	9.0	2.9
Receive antenna gain (dBi)	38.6	38.6	38.6
Antenna pointing loss (dB)	0.5	0.5	0.5
Receive carrier power (dBW)	-121.3	-121.3	-120.3
Receive noise figure (dB)	1.5	1.5	1.5
Receive Noise Temperature (K)	119.6	119.6	119.6

Classification	Under rain attenuation		No rain attenuation
Service availability (%)	99.9	99.7	-
Sky-noise temperature (K)	249.4	227.3	126.5
Total noise temperature (K)	369.0	346.9	246.2
Noise Power (dBW)	-125.59	-125.86	-127.3
Downlink C/N (dB)	4.3	4.6	7.0
Uplink C/N (dB)	24.0	24.0	24.0
Total link C/N (dB)	4.24	4.50	6.96
Required C/N (dB)	4.40	4.40	4.40
Link margin (dB)	-0.16	0.10	2.56

3. ITU-R 권고 BO. 1659 관련 주요 개정 제안 내용

제1·3지역에서 21.4~22 GHz 대역의 전력속밀도를 권고하고 있는 ITU-R 권고 BO.1659[7]에서 우리나라 서울에서의 강우 감쇠 및 HDTV 방송위성시스템에 대한 서비스 가용도를 연평균 0.01%에 해당되는 지역의 강우율을 33.2 mm/hr 를 적용하였으나, 현재 발효중인 ITU-R 권고 P.837에서는 50.6 mm/hr로 권고되어 있어 이를 기준으로 서울 지역의 각 주파수 대역별 강우 감쇠 및 21 GHz 대역의 서비스 가용도를 분석하여 이 결과가 적절히 반영되도록 ITU-R 권고 BO.1659를 개정할 것을 제안하였다. 이를 통해 우리나라에서의 보다 안정적인 HDTV 방송위성시스템 도입을 도모할 수 있다.

WP4A 2차 회의결과 우리나라 제안을 바탕으로 서울에 대한 연중 서비스 가용도 계산 결과인 노이즈 발생 확률을 99.93%에서 99.87%로 개선하여 개정하고, 제3지역의 PFD 기준은 현행 기준인 $-105 \text{ (dB(W/m}^2\cdot\text{MHz))}$ 를, 제1 지역에 대해서는 $-115 \text{ dB(W/m}^2\cdot\text{MHz)}$ 를 적용하도록 본 권고서의 개정 예비초안을 수정하여 의장보고서에 반영하였다[15].

제5절 결론

위성 방송 및 위성통신은 서비스 지역의 광역성, 동보성, 회선 설정의 유연성, 신속성 및 내재해성 등의 장점으로 국가 차원의 위성 통신망이 요구되고 있고, 주파수 포화 현상이 심각해짐에 따라 국내·외적으로 초고속의 광대역 통신을 위해 높은 주파수(Ka) 대역의 위성 통신망이 필요하다. Ka 대역 이상의 주파수를 이용한 디지털 위성 방송을 고려할 경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하므로 이에 대한 보상기법이 국제적으로 활발히 연구되고 있으며, 현재까지 제안되고 있는 보상 방안으로는 정적인 보상방법, 적응형 보상방법, 다이버시티 기법 등이 있다. Ka 대역의 위성 통신 경로의 전파환경에서 주요한 감쇠 요인인 대기가스 흡수에 의한 영향, 편파열화, 대기잡음, 굴절지수의 변화효과 등에 대해 간단히 소개하였으며, 10 GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 위성통신 전송로에서 가장 심각한 장애요인인 강우감쇠에 주요한 영향을 미치는 감쇠파라미터—강우감쇠계수, 유효경로 길이—와 장기간에 걸친 지역별 강우 강도 실측 데이터를 통해 근사 확률분포로 추정하는 대표적인 확률분포방법으로 log-normal, Gamma, Moupfouma 등에 대해 설명하였다. 한편, 올해 ITU-R SG4 WP4A 1차 회의에서 우리나라는 17.3 GHz - 42.5 GHz 대역을 이용하는 방송위성시스템의 전송제원(서비스 요구사항, 피더링크 파라미터, 변조 및 링크 전송제원 등)에 대하여 기술하고 있는 ITU-R 보고서 BO. 2071에 대하여 링크 버짓 상 약 2 dB 이상의 여유량이 있으므로 2 dB 이상 상향하여 전송제원을 수정할 것을 제안하였다. 또한, WP4A 2차 회의에서 제1·3지역에서 21.4~22 GHz 대역의 전력속밀도를 권고하고 있는 ITU-R 권고 BO.1659에 대해서 우리나라 서울에서의 강우 감쇠 및 HDTV 방송위성시스템에 대한 서비스 가용도를 연평균 0.01%에 해당되는 지역의 강우율을

33.2 mm/hr 를 적용하였으나, 현재 발효중인 ITU-R 권고 P.837 에서는 50.6 mm/hr로 권고되어 있어 이를 기준으로 서울 지역의 각 주파수 대역별 강우 감쇠 및 21 GHz 대역의 서비스 가용도를 분석하여 이 결과가 적절히 반영되도록 ITU-R 권고 BO.1659를 개정할 것을 제안하여 우리나라의 HDTV 방송위성 시스템이 보다 안정적으로 운용될 수 있는 기본연구를 수행하였다.

제5장 결 론

본 연구는 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무의 시행과 관련된 WRC-11의 의제 1.13에 관한 연구로서, 해당 주파수 대역에서 방송위성업무의 원활한 시행과 더불어 국내 위성 전파 자원의 확보 및 보호 방안을 검토할 목적으로 수행하였다. 이 연구에는 해당 주파수 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 절차, 주파수 공유 기준, 전송특성 등이 연구 범위에 포함되었다.

동 주파수 대역에서 방송위성업무용 위성망의 국제등록 절차를 살펴보면, WRC-11에서 현재 관련 결의로 정하고 있는 임시 절차와 동일한 절차가 결정되더라도 현재 우리나라가 추진 중인 방송위성망의 국제등록에는 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다. 그러나 현행 임시 절차와 달리 방송위성업무용 궤도 및 주파수가 각 국에 균등하게 할당될 경우에는, 현재 국제등록을 추진 중인 방송위성망을 계획 위성망의 추가 사용 위성망으로 등록하는 방안을 대안으로 고려할 수 있을 것이다.

방송위성업무에 적용할 수 있는 공유 기준과 관련하여, 현재 ITU-R의 관련 연구반에서는 기존의 전력속밀도 기준값을 개정하는 것에 대한 연구가 진행 중이다. 이를 위하여, 강우 영향이 큰 지역에 대해서는 기존의 $-105 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 그대로 적용하고 강우 영향이 적은 지역에 대해서는 $-115 \text{ dB}((\text{W}/\text{m}^2)/\text{MHz})$ 를 적용하는 방안이 검토되고 있다. 우리나라는 서울 지역의 강우율을 적용하여 서비스 가용도를 수정하는 내용의 기고서를 관련 연구반에 제시한 바 있다. 동일 국가 내에서도 지역에 따라 강우 영향이 다르다는 점을 감안하면 서울 이외의 지역에 대한 강우율 및 서비스 가용도 분석도 필요할 것으로 판단된다. 또한 향후 전력속밀도 제한값 이외의 공유 기준, 간섭계산 방법론 및 안테나 패턴 등에 대한 논의가 본격적으로 진행될 것임을 고려하면 이에 대한 연구도 추가로 수행할 필요가 있다.

Ka 대역의 전송특성과 관련하여, 동 대역에서 위성 통신 신호의 주요 감쇠 요인은 강우, 대기가스 흡수, 편파열화, 대기잡음, 굴절지수의 변화 등이 있다. 해당 주파수 대역의 강우 감쇠 보상기법으로는 정적인 보상, 적응형 보상, 다이버시티 등이 연구 대상이 될 것이며, 강우감쇠계수 및 유효경로 길이와 같은 감쇠파라미터와 지역별 강우 강도 실측 데이터를 통해 근사

확률분포를 추정하는 방법으로는 log-normal, Gamma, Moupfouma 등이 있다.

본 연구는 이미 언급하였듯이 제 1지역 및 제 3지역의 21.4 - 22.0 GHz 주파수 대역에서 방송위성업무의 시행과 관련된 WRC-11 의제 1.13에 대응하기 위하여 수행한 연구이다. 이 업무의 적절한 시행과 우리나라 위성 전파 자원의 적절한 보호를 위해 본 연구 결과 및 추가 연구 사항을 토대로 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

[참고문헌]

- [1] 결의 525(Rev.WRC-07)
- [2] 국제전파규칙, 2008년
- [3] ITU-R WP4A 및 SC-WP 회의 결과, 2008년 11월
- [4] 결의 551 (WRC-07)
- [5] 결의 526 (WARC-92)
- [6] 결의 507 (Rev.WRC-03)
- [7] 결의 525 (Rev.WRC-03)
- [8] 결의 33 (Rev.WRC-03)
- [9] ITU-R 권고 BO.1659
- [10] ITU-R 권고 BO.1776
- [11] ITU-R 권고 BO.1785
- [12] ITU-R 보고서 BO.2071
- [13] ITU-R 권고 BO.1213
- [14] ITU-R WP4A 의장보고서, 2008년 4월
- [15] ITU-R WP4A 의장보고서, 2008년 10월
- [16] 방송위원회, “DMB 데이터방송 및 DMC 등 디지털 방송에 대한 종합계획”, 디지털 방송추진위원회 종합보고서, 2003년 2월
- [17] G Maral and M. Bousquet, Satellite Communications Systems, 2004.
- [18] 최용석, 위성통신, 성안당, 1999년
- [19] ITU, Handbook on Satellite Communications, Wiley, Third Edition, 2002.
- [20] 우병훈, 강희조, “Ka 대역 위성 RF 안테나를 이용한 강우환경 측정 및 운용방안 연구”, ETRI 연구보고서, 2002년 12월
- [21] ITU, 부록 7(Rev.WRC-07)
- [22] 고정위성업무와 타 업무간의 공유에 관한 연구(3차년도), 전파연구소 연구보고서, 2003년

- [23] ITU-R 권고 P.676-6
- [24] ITU-R 권고 P.676-1
- [25] ITU-R 권고 SM.1448
- [26] ITU-R 권고 P.837-5
- [27] R.L. Olsen, DV. Rogers, and D.B. Hodge, "The relation in the Calculation of Rain attenuation", IEEE Trans. on Antenna and propagation, vol. AP-26, no. 2, pp. 318-329, Mar. 1978
- [28] ITU-R 권고 P.838-3
- [29] ITU-R 권고 P.839-3
- [30] 최용석, 이주환, 고지환, "국내 강우감쇠량 측정 시스템 구현 방안", ETRI 기술문서, 위성-WAVE-970312-2670, 1997년
- [31] 우병훈, 강희조, "Ka-대역 위성통신을 위한 강우에 의한 전파감쇠 예측 모델", 한국해양정보통신학회 논문지, 6권 7호, pp. 1038-1044, 2002년 11월

위성전파의 전송특성 및 간섭허용레벨 연구



140-848 서울시 용산구 원효로 군자감길 46

발행일 : 2009. 2

발행인 : 김 춘 희

발행처 : 방송통신위원회 전파연구소

전화 : 02) 710-6452

인쇄 : 한국장애인이워크협회

Tel. 02) 2272-0307

ISBN-978-89-93720-08-2

비매품

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구결과임을 밝혀야 한다.