

비정지궤도 위성시스템 및 정지궤도 위성시스템과의 등가전력속밀도 연속곡선 분석

장재철*, 양규식*, 정종혁*

Analysis of continuous curves of EPFDs between non-GSO/FSS and
GSO/FSS

Jae-Chul Jang, Gyu-Sik Yang, Jong-Hyeog Jeong

요 약

WRC-2000에서 지상망과 정지궤도(GSO)를 이용한 위성통신 및 방송으로 분배된 Ku(14/11GHz) 및 Ka(30/20GHz)대역의 일부를 비정지궤도(non-GSO) 위성시스템과 공유하여 사용키로 결정함에 따라, 비정지궤도 위성시스템과 기존 정지궤도 위성망간 주파수대역의 공유문제, 간섭기준 및 간섭영향 평가 등에 관한 연구의 필요성이 제기되어 본 논문에서는 우리나라 위성망의 등가전력속밀도를 계산하기 위해 네 가지 분석방법을 사용하였다.

ABSTRACT

The necessary of research is proposed about sharing between networks of the fixed-satellite service using non-geostationary satellites and other networks of the fixed-satellite service, interference criteria and calculation methods for the fixed-satellite service because WRC-2000 make a decision that the frequency bands 11/14GHz and 20/30GHz are available to system in the fixed-satellite service employing satellite in both geostationary and non-geostationary orbits. In the paper, four methodologies attempting to derive continuous curves of korea satellite network EPFD(equivalent power flux density) are used.

I. 서론

1990년도 초부터 통신기술의 급속한 발전과 각국 정부의 통신서비스에 대한 비규제 정책등으로 통신위성 및 방송위성을 이용한 다양한 서비스의 출현은 통

신환경의 급격한 변화로 위성통신의 수요는 날로 급증하고 있는 실정이나 위성통신서비스 제공을 위하여 필수적으로 소요되는 궤도와 주파수 자원은 한정되어 있으며, 동일한 주파수 대역을 사용하는 위성망간 간섭현상이 발생하기 때문에 국제전기통신연합(ITU : International Telecommunication Union)에서 규정하고 있는 절차에 따라 위성궤도 및 주파수 운용을 하여야

* 정보통신부 전파연구소
접수일자: 2001. 1. 2

한다. 최근, 정지궤도 고정위성업무(GSO/FSS)에 사용되던 Ku 및 Ka대역에서 SkyBridge 등 비정지궤도(non-GSO) 위성시스템을 이용한 멀티미디어 서비스가 상용화를 앞두고 있으며, 이러한 non-GSO/FSS 시스템의 사용계획에 따라 기존 GSO/FSS, GSO/BSS에 분배된 주파수 대역과의 공유문제가 대두되고 있다. 이에 따라 간섭허용기준 및 간섭영향 평가방법 등이 세계전파통신회의(WRC : World Radio-communication Conference) 의제로 채택되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 Ku대역 비정지 위성시스템 운용에 따른 무궁화 위성망에 미치는 영향을 분석하였고, EPFD 제한치의 적용에 있어서 전파규칙 S22조에 없는 안테나 크기에 대한 문제가 제기됨에 따라 이 문제를 해결하기 위해 ITU 연구동향을 토대로 정해지지 않은 지구국안테나 크기에 따른 EPFD 연속곡선(continuous curve)에 대한 연구를 수행하였다.[1,2,3,4]

II. 무궁화 위성에 대한 EPFD 제한치 검토

Ku대역의 우리나라 무궁화 위성(KOREASAT-1)과 비정지 궤도 위성시스템에 대한 공유가능성을 알아보기 위해 KOREASAT-1시스템의 캐리어(carriers)에 따른 지구국 안테나사이즈별 즉, 멀티미디어(70cm), TVRO(1.8m), CATV(3.7m), VSAT(3.7m) 및 E-1(6.1m)에 대해 ITU-R 권고 S.1323의 procedure D에 근거하여 프랑스에서 개발한 DMS 프로그램을 이용하여 분석하였다. 간섭평가를 위한 EPFDdown 허용(validation)값은 CPM-99 보고서 및 전파규칙 S22에서 60cm, 1.2m 및 3m 크기 안테나에 대해서만 규정되어 있으므로 첫째, 실제 안테나 크기와 가장 근접한 안테나 크기(70cm⇒60cm, 1.8m⇒1.2m, 3.7/6m⇒3m)의 제한 값을 적용하고 둘째, CPM-99 보고서 및 전파규칙 S22조로부터 3.7m 안테나에 대한 허용(validation)값을 유도하여 적용하였다.[5] 분석결과 무궁화위성의 CATV 캐리어(3.7m)를 제외한 다른 캐리어들은 ITU-R 권고 S.1323의 10%이내의 기준(상대적 비가용도증가율)을 만족한 것으로 나타났다. 따라서 CATV 캐리어에 대한 좀더 상세한 분석을 하였다.

2.1 CATV 캐리어 EPFDdown 제한치(3m) 분석

CATV 캐리어가 10%의 기준을 초과함에 따라 전파규칙의 허용 EPFDdown 뿐만 아니라 운용(operational) EPFDdown도 이용하여 상세한 분석을 실시하였다. 표 1은 3m 크기의 지구국 안테나에 대한 3가지 경우의 EPFDdown 제한치를 가지고, CATV 캐리어(3.7m)에 대해 DMS 실행 결과 비가용도의 상대증가(relative increase of unavailability)가 각각 17.56, 17.56, 14.50%로 적합한 기준인 10%이내를 만족시키지 못하고 있다. 고려할 점은 이 결과는 전파규칙 S.22조에 따라 3.7m 대신 3m 안테나의 EPFDdown 제한치로 시뮬레이션 되었다는 점이며, 이것은 실제보다 더 엄격한 기준을 적용한 것이므로 무궁화위성망이 간섭을 받을 것이라는 결론을 내리기에 아직 이르다.

표 1. 3m 안테나의 EPFDdown을 이용한 CATV 캐리어 분석
Table 1. Analysis of CATV carrier using EPFDdown of antenna

EPFDdown 제한값 %	1) 허용 제한값 (Validation limits)	2)허용+운용제한 값 Validation limits with the operational limit (2005.12.31이후)	3)허용+운용제한값 Validation limits with the operational limit (2005.12.31이전)
비정지위성시스템이 없을때의가용율(Calculated availability without non-GSO)	99.90805	99.90805	99.90805
비정지위성시스템이 도입되었을 때의 가용율(Calculated availability with non-GSO using the limits in CPM-99)	99.8919	99.8919	99.89472
상대적 비가용율의 증가(Calculated relative increase of unavailability)	17.56	17.56	14.50

2) CATV 캐리어 EPFDdown 제한치(3.7m)유도 분석

실제적인 평가를 위해 3.7m 안테나 크기에 대한 EPFDdown 제한치를 유도하기 위해 전파규칙 S.22조의 3m와 10m를 기준으로 그림1과 같이 허용 제한치인 EPFDdown 값(dB)은 선형(linear)적으로, 안테나 직경(m)은 대수(logarithmic)적으로 표현하여 3m와

10m를 직선으로 연결하는 선형보간법(linear interpolation)을 이용하여 3.7m에 대한 EPFDdown값을 구하여 DMS 시뮬레이션을 한 결과를 정리하였다.

표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 유도된 3.7m 안테나의 EPFDdown 제한치를 사용하여 평가한 비정지위성 시스템에 의한 상대 비가용도의 증가는 3m 안테나에 대한 EPFDdown 제한치를 사용하는 것보다 더 낮은 값으로, 권고 ITU-R S.1323의 기준(10%)에 많이 근접함을 알 수 있다.

전파규칙에 따라 현재의 GSO FSS 시스템들은 non-GSO 시스템(WRC-97의 결의 130, 131 및 538에서 검토된) 간섭 유해로부터 보호되어야 한다. 따라서 만약 non-GSO 시스템에 대하여 GSO시스템들을 가진 주관청이 운용제한치 초과를 확인하게 되면 non-GSO 시스템 운용자들은 GSO 시스템에 초과 간섭을 주지 않는 레벨로 전력을 줄여야 하고, 계속해서 운용 제한치를 초과할 경우 적절한 조치를 취해야 한다. 이를 위하여는 이용 안테나 크기에 대한 비정지 위성 시스템의 EPFDdown 제한치를 정확히 알 필요가 있으므로 EPFDdown의 연속곡선의 필요성이 제기되고 있는 것이다.

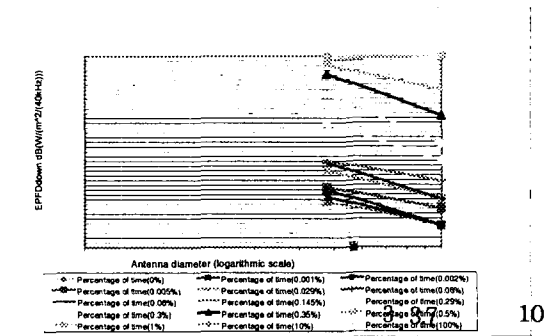


그림 1. 3m와 10m 안테나의 EPFDdown을 이용한 3.7m 안테나의 EPFDdown의 유도
Fig. 1 Derivation of EPFDdown of 3.7m antenna using EPFDdown of 3m and 10m antenna

표 2. 3.7m 안테나의 EPFD 제한값을 이용한 CATV 캐리어 분석

Table 2. Analysis of CATV carrier using EPFD limit value of 3m antenna

EPFDdown 제한값 %	1) 허용 제한값	2) 허용+운용제한값 (2005.12.31 이후)	3) 허용+운용제한값 (2005.12.31 이전)
비정지위성시스템이 없을 때의 가용율	99.90805	99.90805	99.90805
비정지위성시스템이 도입되었을 때의 가용율	99.88600	99.88618	99.90104
상대적 비가용율의 증가	1300	1291	762

III. EPFD 연속곡선(Continuous Curves)

WRC-97에서 GSO/FSS망 보호를 위한 EPFD 제한치를 채택하고, 지구국 안테나 직경에 따른 EPFD 연속곡선의 개발을 요청하였다. WRC-2000에서 몇몇 안테나 직경에 대한 단일시스템 EPFDdown 제한치가 확정됨에 따라, 지구국 안테나 직경에 따른 EPFD의 연속 곡선을 도출할 수 있는 방법(methodology)을 개발하기로 결의(결의 137(WRC-2000))하였다.[6]

여기에서는 미국 및 우리나라, 프랑스, 영국등에서 제출한 기고문을 바탕으로, “안테나 직경에 따른 EPFD 연속곡선”의 도출을 위한 4가지 방법을 간략히 소개하겠다.

- 방법 A: 연속곡선 적용절차(curves fitting procedure)
- 방법 B: 보간법(interpolation)
- 방법 C: Scaling
- 방법 D: Constant Io/No

3.1 방법 A : 연속곡선 적용절차(Curve Fitting Procedure)

이 방법은 1999년 11월 CPM(Conference Preparatory Meeting)에서 합의된 EPFDdown 제한치를 바탕으로 작성되었으며, 전파규칙 S22조에 없는 안테나 직경에 대한 최대허용 EPFD 제한치에 대한 근사값을 추정하기 위해 이용할 수 있다.

3.1.1 10.7 -12.75GHz 대역

$$EPFD_{down} = -179.77 - 19.16 \log D + \frac{15.114 + 4.794D}{1 + \exp\left[\frac{0.7042 + \log p + 0.159D}{1.948 - 0.5976 + (\log D - 0.263)^2}\right]}$$

$$EPFD_{down} \leq EPFD_0 = -160.0$$

$$EPFD_{down} \geq EPFD_{100} = \begin{cases} -180.18 - 21.53 \log D & \text{for } D < 3.0 \text{ m} \\ -185.89 - 9.562 \log D & \text{for } D \geq 3.0 \text{ m} \end{cases}$$

p : 초과되어도 되는 EPFD_{down} 시간율
 D : 안테나 직경(m)
 EPFD₀ : 언제든지 초과되어서는 안 되는 EPFD_{down} 값
 EPFD₁₀₀ : 100% 시간에 초과되어도 되는 EPFD_{down} 값

※ 전과규칙 표S22-1A와 식(1)의 계산치와의 편이 (편이: 1.2 dB(W/m²), peak 편이: +3.2/-2.6 dB(W/m²))

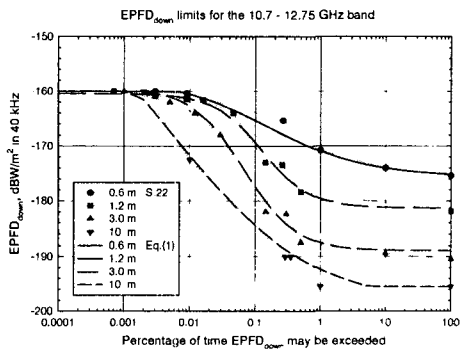


그림 2. 식(1)과 표.S22-1A와의 EPFD_{down} 비교
 Fig. 2 EPFD_{down} comparison versus equation (1) and table.S22-1A

3.1.2 17.8 -18.6GHz 대역

$$EPFD_{down} = -175.44 - 7.763 \log D - 8.681(\log D)^2 + \frac{6.727 + 4.956D - 0.404D^2}{1 + \exp\left[\frac{\log p + 0.2773 + 3.242 \log D - 2.49(\log D)^2}{0.028 \log D - 0.00737(\log D)^2 - 0.2944}\right]}$$

$$EPFD_{down} \leq EPFD_0 = -164.0$$

$$EPFD_{down} \geq EPFD_{100} = -175.4 - 6.682 \log D - 10.91(\log D)^2$$

※ 전과규칙 표S22-1B와 식(2)의 계산치와의 편이 (편이 : 1.3 dB(W/m²), peak 편이 : 4 dB(W/m²))

3.1.3 19.7 -20.2GHz 대역

$$EPFD_{down} = -777.7 + 27.19D + \frac{696.65 - 7.481D}{1 + \exp\left[\frac{\log p - 17.639 - 0.8684D + 0.3603D^2}{11.2 + 6.0473 \log D}\right]}$$

$$EPFD_{down} \leq EPFD_0 = -154.0$$

$$EPFD_{down} \geq EPFD_{100} = -190.6 - 17.22 \log D + 4.809(\log D)^2$$

※ 전과규칙 표S22-1B와 식(2)의 계산치와의 편이 (편이: 1.1 dB(W/m²), peak 편이: +2.6/-3.4 dB(W/m²))

3.1.4 다른 대역폭으로 전환

전과규칙의 표.S22-1B와 S22-1C에는 EPFD_{down} 제한치에 대한 대역폭이 40kHz와 1000kHz이다. 앞의 식(1)-(3)에 의해 유도된 대역폭은 40kHz에 대한 값이다. 1000kHz를 기준대역폭으로 할 때는 아래 계산식에 의해 14dB를 더하여 구할 수 있다.

$$10 \log(1000/40) = 14dB \dots \dots \dots (4)$$

3.2 방법 B : 보간법(Interpolation)

전과규칙 S22조에 나와 있지 않은 안테나 크기에 대해 직선을 이용하여 EPFD 제한치를 구하는 방법으로, 주어진 시간율에 대하여 EPFD에 대해 선형적으로 안테나 직경에 대해 대수적으로 이루어진다. 이 방법의 결과는 다음 그림과 같으며 예를 들어 시간율 1.0%에 대한 3m 안테나의 EPFD는 -187.913dBW이고 10m 안테나는 -189.714dBW이므로 4m 안테나에 대한 값은 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$val = 187.913 + \frac{(\log 4 - \log 3)}{(\log 10 - \log 3)} \times (-195.45 + 187.913) - 187.913 + 0.2389 \times (-7.537) = -189.714$$

이 방법은 무궁화 위성의 Ku대역 Carrier중 3.7m 안테나를 이용하는 network을 위해 EPFD 제한치를 구한 2절의 방법과 같은 방법이다.(WP 4A 기고문 doc.476 참조).

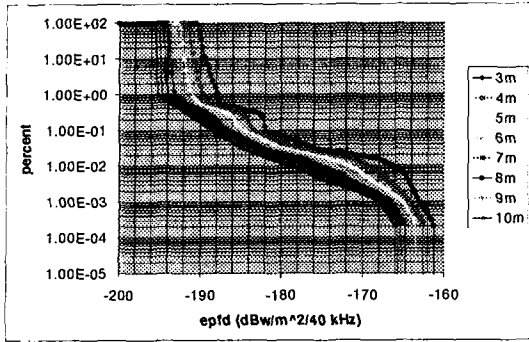


그림 3. 안테나 크기에 따른 추가운용 제한치
Fig. 3 Additional operational limits for antenna sizes

3.3 방법 C : SCALING

시간율에 따른 EPFD의 분포를 살펴보면 장기(long-term)부분에서는 출력합(power addition)의 분포를 보이고, 단기(short-term)부분에서는 시간합(time e addition)의 분포를 다음과 같이 보인다.

-power addition: 같은 시간율에 대해 해당 EPFD에 $10 \cdot \log((D_{ref}/D)^2)$ 을 더함.

-time addition: 같은 EPFD 레벨에 대하여 $(D_{ref}/D)^2$ 에 의한 시간율을 곱함.

이러한 scaling 분포를 이용하여 전파규칙에 나와 있는 안테나의 시간율에 따른 EPFD의 값으로부터 전파규칙에 나와있지 않은 안테나 크기에 대한 EPFD값을 구할 수 있다.

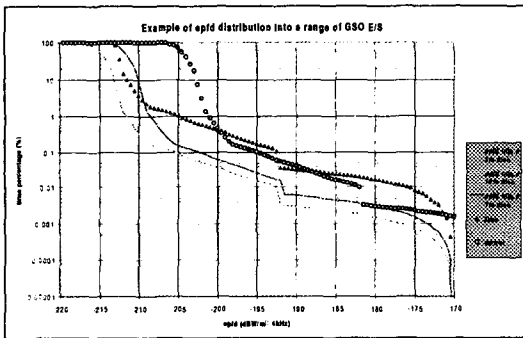


그림 4. 정지궤도(GSO) 지구국의 EPFD 분포 예
Fig. 4. Example of EPFD distribution into geostationary earth station

그림 4는 10m 결과들로부터 7m 안테나의 시간율에 대한 EPFD 값을 scaling 방법으로 유도한 것을 보여 준다. 이의 검증으로 3m 시뮬레이션된 EPFD의 장기 부분은 "power addition" curve와 동일하고, time addition" curve는 단기 부분과 동일한 것을 알 수 있다.

이 방법은 EPFD 분포와 지구국 성능, 그리고 GSO 링크(links)의 보호에 기반을 두고 있고, 지구의 모든 지점에서 적용할 수 있도록 제안되었으며, 전파규칙 S22조의 허용 제한치로부터 이 규칙에 나와 있지 않은 크기의 안테나에 예상되는 최대 간섭량의 예측에 이용될 수 있다.

3.4 방법 D : Io/No 상수(Constant Io/No)

Io/No값을 일정한(상수) 값으로 유지시켜 EPFD down 값을 보간하는 방법으로 GSO 운용자들이 주어진 안테나 크기에 대한 EPFDdown값으로부터 Io/No를 결정할 수 있다. 여기서는 non-GSO 시스템의 주빔(main beam)으로부터 GSO 시스템 수신기의 부엽(side lobe)으로의 간섭인 장기간섭만을 다루고, 간섭 평가에 따라 Io/No의 일정한 값을 정하면 지구국 안테나 직경에 관계없이 GSO 시스템 성능 감쇠 레벨은 일정하다.

3.4.1 장기(Long-term)간섭 EPFDdown 유도방법

$$EPFD_{down} = \frac{I_o \cdot BW_{ref}}{A_e} \dots \dots \dots (6)$$

- Io : 간섭 전력 스펙트럼 밀도
- BWref : 기준 대역폭
- Ae : GSO 지구국 안테나의 유효 영역

$$A_e = \frac{G \cdot \lambda^2}{4 \pi} \dots \dots \dots (7)$$

- G : 안테나의 peak 이득
- λ : 송신파장

$$G_{max} = 5.89 \cdot \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2, \frac{D}{\lambda} < 100 \dots \dots \dots (8)$$

$$G_{max} = 6.92 \cdot \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2, \frac{D}{\lambda} > 100$$

$$\frac{C}{N+I} = \frac{C}{N \cdot \left(1 + \frac{I_o}{N_o}\right)} \dots \dots \dots (9)$$

- C : 신호전력

I : 간섭전력
 No : 잡음전력 스펙트럼 밀도

$$N_o = k \cdot T_{sys} \dots\dots\dots (10)$$

Tsys : GSO 지구국 수신시스템의 유효 잡음 온도
 k : 볼츠만 상수

$$I_o = \frac{I_o}{N_o} \cdot k \cdot T_{sys} \dots\dots\dots (11)$$

$$EPFD_{down} = 4\pi \cdot \frac{I_o}{N_o} \cdot kT_{sys} \cdot \frac{BW_{ref}}{5.89 \cdot D^2} \cdot \frac{D}{\lambda} < 100 \dots (12)$$

$$EPFD_{down} = 4\pi \cdot \frac{I_o}{N_o} \cdot kT_{sys} \cdot \frac{BW_{ref}}{6.92 \cdot D^2} \cdot \frac{D}{\lambda} > 100 \dots (13)$$

$$\frac{I_o}{N_o} = \frac{EPFD_{down} \cdot 5.89 D^2}{4\pi k T_{sys} BW_{ref}} \text{ for } \frac{D}{\lambda} < 100$$

$$\frac{I_o}{N_o} = \frac{EPFD_{down} \cdot 6.92 D^2}{4\pi k T_{sys} BW_{ref}} \text{ for } \frac{D}{\lambda} > 100$$

Io/No가 상수라는 조건하에 안테나 직경 함수에 따른 EPFDdown 연속곡선의 개발이 이루어졌으나, Io/No는 각각의 주파수 대역 및 대역간의 주어진 시간율에 대해, 안테나 크기들간에 일정하지 않아서, 이 방법은 현실적으로 적용하기 어렵다.

IV. 결론

비정지궤도 위성 시스템의 도입에 따른 우리나라 위성시스템에 미치는 간섭영향을 분석하였으며, 정확한 분석을 위해 요구되는 전력제한치의 연속곡선의 유도방법에 대한 여러 가지 방안에 대하여 기술하였다.

비정지 위성 시스템으로부터 Ku대역을 이용하는 무궁화(KOREASAT-1) 위성망에 미치는 간섭영향을 정확히 평가하기 위하여 진파규칙 S22조에 간섭기준이 나와있지 않은 안테나 크기에 대한 EPFD값을 도출하여 간섭영향을 분석한 결과를 ITU에 기고하였으며 안테나 크기에 따른 EPFD 제한값의 연속곡선을 유도하는 ITU-R 권고안에 반영되었다.

연속곡선의 4가지 유도방법들은 몇몇 안테나 크기에 대한 진파규칙의 허용 EPFDdown값을 바탕으로 만들어졌으며, 지금 새 권고로 만들기 위해 ITU-R

WP4A에서 준비중에 있으며, 각각의 유도 방법들을 더 분석하여 하나의 방법을 도출하려 하고 있다.

앞으로는 더 정확한 제한치를 유도하기 위한 방법이 연구되어야 하고, 단일 시스템이 아닌 다수의 non-GSO 위성시스템에 의한 간섭기준 및 영향 평가에 대한 방법들이 더 연구되어야 한다. 또한, 비정지 위성시스템이 실제 운용시 기존의 시스템에 간섭을 주는지를 측정할 수 있는 방법이 요구된다; 예를 들어 무궁화위성망을 운용하는데 간섭이 발생하여 통신에 영향을 줄 경우 그 영향이 비정지 위성 시스템에 의한 것인지를 밝힐 수 있는 방법 등 연구가 필요한 실정이다.

참고문헌

- [1] 전파연구소, "연구보고서[우주전파환경·위성이용기술](P.219-257)", 1999.
- [2] 정보통신정책연구원, "2000년 세계전파통신회의(WRC-2000) 준비반 운영 결과보고서", 1999. 12.
- [3] 정보통신부 전파연구소, "ITU-R 연구동향"(2000, 제4호)
- [4] 정보통신부 전파연구소, "2000년도 전파연구 중간 발표회"
- [5] Recommendation ITU-R S.1323, Maximum permissible levels of interference in a satellite network(GSO/FSS; non-GSO/FSS; non-GSO/MSS feeder links) for a hypothetical reference digital path in the fixed satellite service caused by other codirectional networks below 30 GHz
- [6] Contribution ITU-R WP 4A/254, Methodology to describe continuous curves of long-term epfd limits as a function of antenna size
- [7] Contribution ITU-R WP 4A/465, Continuous curves of EPFDdown versus GSO FSS earth station antenna diameter
- [8] Contribution ITU-R WP 4A/476, Review of EPFDdown limits in the bands 10.7-12.75 GHz
- [9] Contribution ITU-R WP 4A/494, A method for accessing interference levels from non-GSO FSS systems into GSO/FSS antenna sizes between 3 and 10 meters
- [10] Contribution ITU-R WP 4A/515, Interpolation of

epfd limits to other antenna diameters

- [11] Contribution ITU-R WP 4A/63, Methodology to derive continuous curves of EPFD versus GSO FSS antenna diameter



장 재 철(Jae-Chul Jang)

1990년 2월 부경대학교 전자공학과
공학사

1992년 2월 동아대학교 대학원
전자공학과 공학석사

2000년 8월 한국해양대학교 대학원
전자통신공학과 공학박사

1992년 3월~1992년 11월 동환산업 (주) 부설연구소
연구원

1993년 3월~1998년 6월 공군 유도탄통제장교 근무
(대위)

1998년 7월~2000년 10월 한국아이엔전자공업(주)
기술연구소 소장

2000년 3월~2001년 2월 동서대학교 정보통신공학부
겸임교수

2000년 11월~현재 정보통신부 전파연구소 전파자원
연구과 연구원

※관심분야 : 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설
계, 계측제어