

디지털 방송위성망이 아날로그 방송위성망으로 미치는 간섭량 평가

°진광자, 박세경, 김재명
 한국전자통신연구원 무선, 방송기술연구소 위성통신시스템연구부
 Tel : 042)860-4859, Fax : 042) 860-6403, E-mail : gjjin@etri.re.kr

Evaluation of the Interference from the Digital Broadcasting Satellite Networks into the Analogue Networks

°Gwang-Ja Jin, Se-Kyoung Park, Jae-Moung Kim
 Satellite Communications System Department, ETRI-Radio Broadcasting Technology Laboratory
 Tel : 042)860-4859, Fax : 042) 860-6403, E-mail : gjjin@etri.re.kr

Abstract

The interference evaluation methods and criteria between the analogue TV/FM signals for BSS(Broadcasting Satellite Service) plans and the associated feeder link plans were established in WARC(World Administrative Radio Conference)-77 and 88. However, it should be applied the different interference evaluation methods and criteria of the digital TV signals from those of the analogue TV/FM signals. In this paper, the interference evaluation methods and criteria between the digital TV signals and the analogue TV/FM signals were analyzed. And also, the effects of the interference from the digital signals for Koreasat-1 into the analogue TV/FM signals for Japanese broadcasting satellite were evaluated. The amounts of EIRP reduction in the transmitting space stations were calculated to meet the interference criteria. The results showed that the digital BSS networks including Koreasat-1 would share the limited resources with the analogue BSS networks.

I. 서론

세계전파통신회의(WARC, World Administrative Radio Conference)-77과 88에서는 모든 국제전기통신연합(ITU, International Telecommunications Union) 회원국들에게 방송서비스 제공을 위한 정지궤도 및 주파수 자원을 공평하게 분배하기 위해서 BSS 계획 및 BSS feeder link 계획을 작성하였다. 계획 당시에는 실질적으로 적용할 수 있는 전송방식이 아날로그 형태의 FM 방식이기 때문에, 이 방식이 기본 변조방식으로 채택되었다^[1].

그러나 아날로그 신호에 비해 디지털 신호에 대한 성능의 우수성과 통신기술의 발전으로, 방송위성을 통한 디지털 TV 신호의 전송에 대한 수요가 증가하고 있다^[2]. 따라서 디지털 TV 신호와 아날로그 TV 신호간의 간섭평가 기법의 정립과 간섭 허용기준의 제정이 요구되고 있다.

디지털 TV 신호가 아날로그 TV 신호에 미치는 간섭평가 기법은 아날로그 TV 신호간 간섭평가 기법을 응용하여 결정할 수 있으므로, WARC-77, 88 계획의 채널 특성과 아날로그 TV/FM 신호에 대한 간섭평가 기

법은 아래에서 기술하였다.

우리나라를 포함하는 제 3 지역에 분배된 BSS 계획 및 관련 feeder link 계획의 채널주파수는 표 1 과 같다. 이때 방송위성 채널은 다른 직교 편파를 이용하여 주파수 재사용 기법을 적용하고 있으며, 채널의 대역폭 및 채널간 간격은 각각 27 MHz, 19.18 MHz 이고, 동일 편파를 사용하는 채널간 간격은 38.36 MHz 이다.

표 1. WARC-77 BSS 계획 및 관련 feeder link 계획

채널 번호	할당주파수 (GHz)	채널 번호	할당주파수 (GHz)
1	11.72748 / 17.32748	2	11.74666 / 17.34666
3	11.76584 / 17.36584	4	11.78502 / 17.38502
5	11.80420 / 17.40420	6	11.82338 / 17.42338
7	11.84256 / 17.44256	8	11.86174 / 17.46174
9	11.88092 / 17.48092	10	11.90010 / 17.50010
11	11.91928 / 17.51928	12	11.93846 / 17.53846
13	11.95764 / 17.55764	14	11.97682 / 17.57682
15	11.99600 / 17.59600	16	12.01518 / 17.61518
17	12.03436 / 17.63436	18	12.05354 / 17.65354
19	12.07272 / 17.67272	20	12.09190 / 17.69190
21	12.11108 / 17.71108	22	12.13026 / 17.73026
23	12.14944 / 17.74944	24	12.16862 / 17.76862

BSS 계획 및 관련 feeder link 계획에서 아날로그 TV/FM 신호간 간섭량에 대한 C/I 보호비(Protection Ratio of Carrier to Interference Power)는 각각 식(1.1)과 (1.2)에서 주어진다.

- BSS 계획 (WARC-77)

$$\begin{aligned} C/I_{co} &> 31 \text{ dB} \\ C/I_{inc} &> 15 \text{ dB} \\ C/I_{inc} &> 15 \text{ dB} \end{aligned} \quad (1.1)$$

- BSS feeder link 계획 (WARC-88)

$$\begin{aligned} C/I_{co} &> 40 \text{ dB} \\ C/I_{inc} &> 21 \text{ dB} \\ C/I_{inc} &> 21 \text{ dB} \end{aligned} \quad (1.2)$$

또한 BSS 계획 및 관련 feeder link 계획에서 각 채널

별 C/I 및 C/I 보호비를 고려한 총 채널에 대한 등가보호마진(EPM, Equivalent Protection Margin)은 식(2.1), (2.2)와 같으며, 이때 \oplus 는 (C/I)' 합으로 정의된다.

- BSS 계획 (WARC-77)
 $EPM = (C/I_{co} - 31) \oplus (C/I_{lac} - 15) \oplus (C/I_{uac} - 15) > 0$ (2.1)

- BSS feeder link 계획 (WARC-88)
 $EPM = (C/I_{co} - 40) \oplus (C/I_{lac} - 21) \oplus (C/I_{uac} - 21) > 0$ (2.2)

WRC-97에서는 현재 운용중인 방송위성망을 제외한 나머지 BSS 계획과 관련 feeder link 계획에 대한 EPM 기준을 다소 하향 조정하였다¹⁴⁾.

본 논문은 II장에서 아날로그 TV 신호간 간섭평가 기법을 보완하여 디지털 TV 신호가 아날로그 TV 신호에 미치는 간섭평가 기법을 분석하였고, III장에서 실질적인 간섭의 영향을 평가하기 위해 디지털 TV 방식을 적용한 무궁화 방송위성망이 아날로그 TV 방식의 일본 방송위성망(BS-3)으로 미치는 간섭특성을 분석하였으며, IV장에서 본 논문의 결론을 기술하였다.

II. 디지털 TV 간섭신호에 대한 간섭평가 기법

희망신호가 아날로그 TV 신호이고, 간섭신호가 디지털 TV 신호일 경우, 간섭 평가기준은 기존의 아날로그에 대한 것을 이용하여 계산할 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 전송방식별 기저대역의 신호 특성을 고려하여 아날로그 TV 신호는 중심주파수에 전력밀도가 크게 나타난 것으로 가정하고, 디지털 TV 신호는 점유 대역폭에 걸쳐 전력밀도가 일정한 특성을 갖는 것으로 가정한다. 그러므로 간섭원이 아날로그 TV 신호일 경우와 간섭원이 디지털 TV 신호일 경우에 대한 간섭 보호비가 달리 적용되어야 할 것이다.

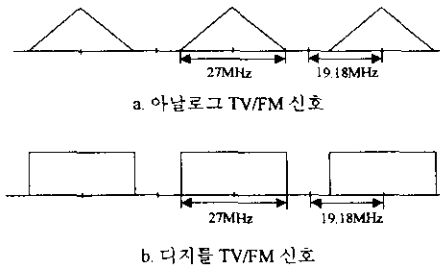


그림 1. 아날로그 및 디지털 TV/FM 신호의 스펙트럼 특성

II-1. 디지털 TV 신호 간섭에 대한 C/I 계산 및 평가 기준

간섭신호의 중심주파수가 희망신호의 것과 일치하는 동일채널 간섭은 간섭원이 아날로그 TV 신호에 대한 것과 같이 간섭 신호의 총 전력이 희망신호의 대역폭으로 유입되므로, 적용되는 간섭 보호비가 아날로그의 것과 동일하여야 할 것이다. 그러나, 간섭신호의 중심주파수가 희망신호의 것과 일치하지 않는 상인접 채널

또는 하인접 채널 간섭은 일부 대역폭이 중첩되더라도 전체 전력이 유입된 것으로 처리하는 아날로그 TV/FM 신호와 달리 간섭신호의 전력중에서 희망신호 대역폭과 중첩되는 만큼의 신호 전력으로 처리되어야 하므로, 새로운 간섭 보호비를 설정하여야 한다. 즉, 그림 3에서 볼 수 있듯이 빗금 친 부분이 겹치는 대역폭으로 디지털 TV 신호의 총 전력으로부터 겹치는 부분의 전력을 환산하여 식(3)과 같이 C/I 값을 계산한다.

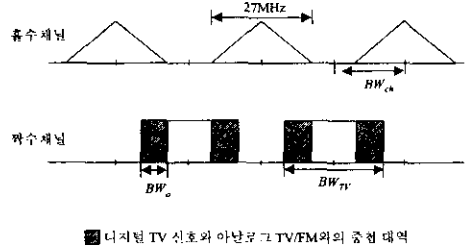


그림 3. 디지털 TV 신호에 의한 아날로그 TV/FM 신호로의 간섭 특성

$$\begin{aligned}
 BW_o &= BW_{TV} - BW_{ch} \\
 C/I_{Dco} &= C/I_{Aco} \\
 C/I_{Dlac} &= C/I_{Alac} - 10 \log \left(\frac{BW_o}{BW_{TV}} \right) \\
 C/I_{Duac} &= C/I_{Auac} - 10 \log \left(\frac{BW_o}{BW_{TV}} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, BW_o , BW_{TV} , BW_{ch} 는 각각 희망신호와 간섭신호의 중첩 대역폭(= 7.82 MHz)과 TV 신호 대역폭(= 27 MHz) 및 제 3 지역에서 인접채널간 간격(= 19.18 MHz)이며, C/I_{Dco} , C/I_{Dlac} , C/I_{Duac} 는 디지털 TV 신호 간섭에 의한 동일채널 C/I(dB), 하인접채널 C/I(dB), 상인접채널 C/I(dB)이고, C/I_{Aco} , C/I_{Alac} , C/I_{Auac} 는 아날로그 TV 신호 간섭에 의한 동일채널 C/I(dB), 하인접채널 C/I(dB), 상인접채널 C/I(dB)값을 나타낸다.

한편, 디지털 TV 간섭신호에 대한 아날로그 TV 희망신호의 간섭 보호비는 희망채널에 겹치는 대역에서의 간섭신호 전력에 대한 요구 C/I 기준이므로, 동일채널에 대한 것을 적용시켜 하향회선에서는 31 dB, feeder link에서는 40 dB를 이용할 수 있을 것이다.

II-2. 디지털 TV 신호 간섭에 대한 EPM 및 요구 EIRP 감소량 계산

디지털 TV 신호에 대한 간섭평가는 BSS 계획 및 관련 feeder link 계획에 있는 모든 채널을 고려한 EPM에서 디지털 신호로 대체하고자 하는 아날로그 TV 신호의 EPM을 제거한 후에, 디지털 TV 신호의 EPM을 추가하여 구한다. 즉, 디지털 TV 간섭 신호에 대한 EPM 및 EIRP 감소량은 아래에서 기술한 4가지 단계 수행함으로써 계산할 수 있다. 이때 4번째 단계에서 언급한 기 분배된 다른 방송위성 채널의 성능열화를 방지하기 위해 요구되는 EIRP 감소량은 새로 결정되는 단일 보호비(Single Protection Criteria)가 수정 전의

단일 보호비에 비해 일정한 값 이상으로 성능을 열화 시켜서는 안된다는 전파규칙(Radio Regulations)의 규정을 적용하여야 한다.

첫째, 방송위성망(S)의 아날로그 TV 간섭신호에 의한 인접채널 C/I_A 을 계산하여 WARC-77, 88 계획상의 EPM(즉, 기준 EPM)으로부터 Δ 새로운 EPM를 EPM'로 정의하여 다음 식 (4.1) 및 (4.2)를 통해 계산한다.

- BSS 계획 (WARC-77)

$$EPM' = -10 \log \left(10^{\frac{EPM}{10}} - 10^{\frac{C/I_{Aoc} - 15}{10}} - 10^{\frac{C/I_{Aoc} - 15}{10}} \right) \quad (4.1)$$

- BSS feeder link 계획 (WARC-88)

$$EPM' = -10 \log \left(10^{\frac{EPM}{10}} - 10^{\frac{C/I_{Aoc} - 21}{10}} - 10^{\frac{C/I_{Aoc} - 21}{10}} \right) \quad (4.2)$$

둘째, 방송위성망(S)의 디지털 TV 신호에 의한 인접채널 C/I_D 을 앞의 II-1 절에서 기술한 방법으로 식 (5)를 이용하여 계산한다.

$$C/I_{Dloc} = C/I_{Aloc} - 10 \log \left(\frac{7.82 \text{ MHz}}{27 \text{ MHz}} \right)$$

$$C/I_{Dnoc} = C/I_{Aoc} - 10 \log \left(\frac{7.82 \text{ MHz}}{27 \text{ MHz}} \right) \quad (5)$$

$$C/I_D = C/I_{Dloc} \oplus C/I_{Dnoc}$$

셋째, 방송위성망(S)의 디지털 TV 신호를 포함시킨 새로운 EPM를 EPM''라 하고 식 (6)을 이용하여 계산한다.

- BSS 계획 (WARC-77)

$$EPM'' = -10 \log \left(10^{\frac{EPM}{10}} + 10^{\frac{C/I_D - 31}{10}} \right) \quad (6.1)$$

- feeder link 계획 (WARC-88)

$$EPM'' = -10 \log \left(10^{\frac{EPM}{10}} + 10^{\frac{C/I_D - 40}{10}} \right) \quad (6.2)$$

넷째, 기존의 계획을 수정하고자 할 때 음수인 EPM''에서는 (EPM''-0.25) dB 보다 더 성능을 열화시켜서는 안되고, 양수인 EPM''에서는 -0.25 dB 보다 더 성능을 열화시켜서는 안되기 때문에, EPM''이 기준값 이상으로 더 낮아질 경우 간섭신호의 위성 송신 EIRP를 낮추어야 할 것이다. 즉, $\min(0, EPM) - EPM'' > 0.25 \text{ dB}$ 이면, 위성 송신 EIRP의 감소량($\Delta EIRP$, dB)은 다음과 같이 구한다.

- BSS 계획 (WARC-77)

$$\Delta EIRP = \left[\left(\min(0, EPM) - 0.25 \right) \oplus EPM'' \right] - (C/I_D - 31) \quad (7.1)$$

- BSS feeder link 계획 (WARC-88)

$$\Delta EIRP = \left[\left(\min(0, EPM) - 0.25 \right) \oplus EPM'' \right] - (C/I_D - 40) \quad (7.2)$$

III. 무궁화 방송위성망에 의한 일본 방송 위성망으로 미치는 간섭량 계산

무궁화 방송위성망이 14/11GHz 대(feeder link: 14.5~14.8 GHz, 하향회선: 11.7~12.0 GHz)를 사용하고, 서비스 지역이 인접한 제 3 지역의 방송위성망은 11/17 GHz 주파수대(표 1 참조)를 사용하므로, 무궁화 방송위성망의 feeder link가 인접 방송위성망으로 주는 간섭은 없을 것이다.

표 2에서 주어진 것과 같이, 우리나라와 지리적으로 인접한 방송 위성망은 일본, 중국, 북한, 러시아 방송 위성망이며, 이 중에서 북한 및 러시아의 방송 위성망은 우리나라 방송 채널로부터 멀리 떨어진 관계로 간섭의 영향이 거의 없다.

본 논문에서는 무궁화 방송위성망과 채널대역이 중첩되는 중국 및 일본 방송위성망중에서 궤도상으로 무궁화 위성망과 가장 가까운 위치에 있는 일본의 방송 위성망에 대해서 간섭 특성을 평가하였다.

표 2. 인접 방송위성망 채널 현황

국가명	궤도	편파종류	할당 채널
한국	116°	좌선회 편파	2, 4, 6, 8, 10, 12
일본	110°	우선회 편파	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
중국	92°	좌선회 편파	3, 7, 11
북한	110°	좌선회 편파	14, 16, 18, 20, 22
러시아	110°	우선회 편파	19, 23, 25, 27, 31, 35, 39

무궁화 디지털 TV 신호에 의한 일본의 아날로그 TV 신호로의 간섭량 평가를 위해 이용한 각 위성망의 전송제원은 표 3에 나타내었다.

표 3. 희망 및 간섭 방송위성망의 전송제원

구분	희망위성망	간섭위성망
빔 명칭	J11100	KOR11201
궤도 위치	110°E	116°E
고려대상 채널	7	6, 8
편파 종류	우선회 편파	좌선회 편파
중심주파수	11.84256 GHz	11.82338 GHz(6 번) 11.86174 GHz(8 번)
boresight 좌표	31.5°N / 134.5°E	36.0°N / 127.5°E (부주)
시험점 좌표	34.7°N / 129.3°E (대마도)	-
우주국 total peak power	30.4 dBW	20.2 dBW (6 번) 20.3 dBW (8 번)
우주국 송신안테나 최대이득	33.8 dBi	43.43 dBi
지구국 수신안테나 최대이득	38.43 dBi	38.43 dBi

희망 방송위성망이 간섭 방송위성망으로 미치는 간섭에 의한 C/I , EPM 및 EIRP 감소량에 대한 분석 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4에서와 같이 무궁화 방송 위성망이 아날로그 TV 신호를 사용할 경우, 일본 방송 위성망의 7번 채널에서의 동가보호마진이 2.16 dB 이었으나, 디지털 TV 신호로 대체되었을 경우에는 그 값이

-0.63 dB로 낮아졌다. 이 값은 최대 허용기준인 -0.25 dB 보다 낮아 일본 방송위성망의 성능을 기준보다 더 열화시키므로, 일본 방송위성망을 적절히 보호하기 위해 무궁화 방송위성망의 위성 송신 EIRP를 0.58 dB 낮춰야 함을 알 수 있다.

IV. 결론

WARC-77, 88의 BSS 계획 및 관련 feeder link 계획은 아날로그 TV/FM 신호간의 간섭평가 기법을 적용하였다.

제 1, 3 지역의 방송위성망의 경제적인 구축을 위해 ITU에서는 현재 국가별로 할당된 채널수(제 1, 3 지역의 경우 최소 4개)를 최소 10개 이상으로 확대하기 위한 기술적인 타당성을 연구하고 있으며, 디지털 방식의 일부 도입을 적극 검토중에 있다¹⁾.

본 논문에서는 WARC-77, 88 계획 당시에 적용한 아날로그 TV 신호간 간섭평가 기법을 이용하여 디지털 TV 신호가 아날로그 TV/FM 신호에 미치는 간섭에 대한 평가기준을 분석하였으며, 운용중인 방송위성망에 이를 직접 적용하여 디지털 TV 신호를 전송하는 무궁화 방송위성망이 일본 방송위성망에 미치는 간섭량과, 간섭보호마진 및 요구 EIRP 감쇠량을 분석하였다.

본 논문의 이러한 분석결과는 무궁화 위성망과 같은 디지털 방송위성망이 아날로그 방송위성망과의 주파수

공유가 충분히 가능함을 보여줌으로써, 한정된 궤도 및 주파수 자원의 효율적인 이용을 도모하는 데 기여하였다고 사료된다.

참고문헌

- [1] Appendix 30/S30 to Radio Regulations, "Provisions for All Services and Associated Plans for the Broadcasting Satellite Service in the Frequency Bands 11.7 - 12.2 GHz (in Region 3), 11.7 - 12.5 GHz (in Region 1) and 12.2 - 12.7 GHz (in Region 2)", ITU, 1977 and 1997.
- [2] Appendix 30A/S30A to Radio Regulations, "Provisions and Associated Plans for the Feeder Links for the Broadcasting Satellite Service (11.7 - 12.5 GHz in Region 1, 12.2 - 12.7 GHz in Region 2 and 11.7 - 12.2 GHz in Region 3) in the Frequency Bands 14.5 - 14.8 GHz and 17.3 - 18.1 GHz in Region 1 and 3, and 17.3 - 17.8 GHz in Region 2", ITU, 1988 and 1997.
- [3] Resolution 532, "Review and Possible Revision of the 1997 BSS Plans for Regions 1 and 3", ITU-R, 1997.
- [4] Resolution 531, "Review of Appendices 30(S30) and 30A(S30A) of the Radio Regulations", ITU, 1995.
- [5] Rec.736, "Estimation of Polarization Discrimination in the Interference Calculations between Geostationary-Satellite Networks in the Fixed-Satellite Service", ITU, 1992.

표 4. 희망 방송위성망에 의한 간섭 방송위성망으로 미치는 간섭에 의한 C/I, EPM 및 EIRP 감소량

항 목	희망 방송위성망(BS-3)	간섭 방송위성망(Koreasat-1)
해당위성에서 boresight 와 시험점간의 각도	1.019°	0.225°
해당위성에서 시험점에 대한 반전력범폭각	3.302°	1.206°
해당위성 동일편파 안테나이득 (G_{fp})	32.66 dBi	43.01 dBi
해당위성 교차편파 안테나이득 (G_{rc})	0.21 dBi	7.02 dBi
시험점에서의 두 위성간 각도	6.769°	
시험점에서의 동일편파 안테나이득 (G_{fp})	38.43 dBi	16.69 dBi
시험점에서의 교차편파 안테나이득 (G_{rc})	13.43 dBi	8.43 dBi
시험점과 희망위성간 자유공간손실	205.38 dB	
하인접채널의 시험점과 간섭위성간 자유공간손실	205.33 dB	
상인접채널의 시험점과 간섭위성간 자유공간손실	205.35 dB	
등가이득(??)	71.09 dB (= $10 \log(10^{32.66/10} 10^{38.43/10} + 10^{0.21/10} 10^{13.43/10})$)	51.45 dB (= $10 \log(10^{43.01/10} 10^{8.43/10} + 10^{7.02/10} 10^{16.69/10})$)
하인접 채널 C/I	35.16 dB (= $30.4 + 71.09 - 205.38 - (20.2 + 51.45 - 205.33) + 5.38$)	
상인접 채널 C/I	35.09 dB (= $30.4 + 71.09 - 205.38 - (20.3 + 51.45 - 205.35) + 5.38$)	
총 채널 C/I	32.11 dB (= $-10 \log(10^{-35.16/10} + 10^{-35.09/10})$)	
EPM'	4.18 dB (= $-10 \log(10^{-2.16/10} - 10^{-(29.91-15)/10} - 10^{-(29.83-15)/10})$)	
EPM"	-0.63 dB (= $-10 \log(10^{-4.18/10} + 10^{-(32.11-31)/10})$)	
EIRP 감소량	0.58 dB (= $(\min(0, 2.16) - 0.25) \oplus^1 4.18) - (32.11 - 31)$)	

(주) 등가이득(equivalent gain, G)¹⁾은 편파에 따른 위성의 송신안테나 및 지구국의 수신안테나 이득을 고려한 이득을 의미한다.

- 송, 수신 안테나가 동일편파 사용 : $G = G_{fp}G_{fp} + G_{rc}G_{rc}$
- 송, 수신 안테나가 직교편파 사용 : $G = G_{fp}G_{rc} + G_{rc}G_{fp}$