

위성망 간섭평가를 위한 조정거리 결정방법 분석

Analysis of Coordination Distance to Assess the Interference in the Satellite Network

오대섭(D.S. Oh)
은종원(J.W. Eun)

통신위성시스템연구팀 연구원
통신위성시스템연구팀 책임연구원, 팀장

동일 지역 내 위성망 및 지상망이 동일 주파수를 사용할 경우 서로 간의 간섭으로 인해 서비스에 영향을 받게 된다. 따라서 간섭에 대한 영향 평가가 필요하게 되고 그에 따라 조정이 필요한 경우 조정 절차에 들어가게 된다. 본 문서의 목적은 조정 필요성의 유무를 결정하기 위한, 서비스 간의 유해 간섭이 없는 최소한의 거리를 구하는 데에 있다. 본문에서는 요구 주파수 대역에 대해 전송 손실을 비교하여 반복 계산을 통해 조정거리를 결정하는 방법에 대해 분석하였다.

I. 서론

20세기 중반 이후 위성서비스가 도입된 이래 지금까지 위성서비스가 가지는 동보성, 광역성 등의 장점으로 인해 활발한 연구와 발전을 거듭하고 있다. 그러나, 위성망 및 지상망의 고도화에 의해 필수불가결적으로 두 업무가 동일 지역에서 서비스되어 서로의 업무에 영향을 미치는 상황이 발생하게 된다. 일반적으로 (그림 1)과 같이 위성망의 상, 하향 링크가 지상망에 간섭을 주기도 하고, 또한 지상망의 신호가 인접 지구국에 영향을 미치기도 한다. 국제통신연합에서는 이러한 경우에 대해 상호간 기술적 파라미터를 통한 공유 기준을 만들어 동일 지역 내 주파수 공유 문제를 해결하고 있다[1].

본 문서는 위성망 및 지상망의 간섭 발생을 예상하기 위한 조정 거리를 결정하는 방법에 대해 기술하였다. 조정거리라 함은 지상국과 동일 주파수를 공유하는 지구국 주변의 지역 또는 같은 양방향 송수신 주파수 대역을 가지는 수신 지구국과 주파수를

공유하는 송신 지구국 주변의 지역 중 허용간섭량을 초과하여 조정이 필요한 지역을 의미한다. 특히, 신규 위성 서비스를 계획할 때 인접국에 대한 간섭 평가 및 조정 시 그 대상을 결정하기 위한 조정거리 결정은 중요한 의미를 가진다. 본 문서에서는 전파모드 1(clear sky)에 대한 조정거리 결정방법에 대하여 설명한다[2].

II. 본론

1. 기본 가정 및 파라미터

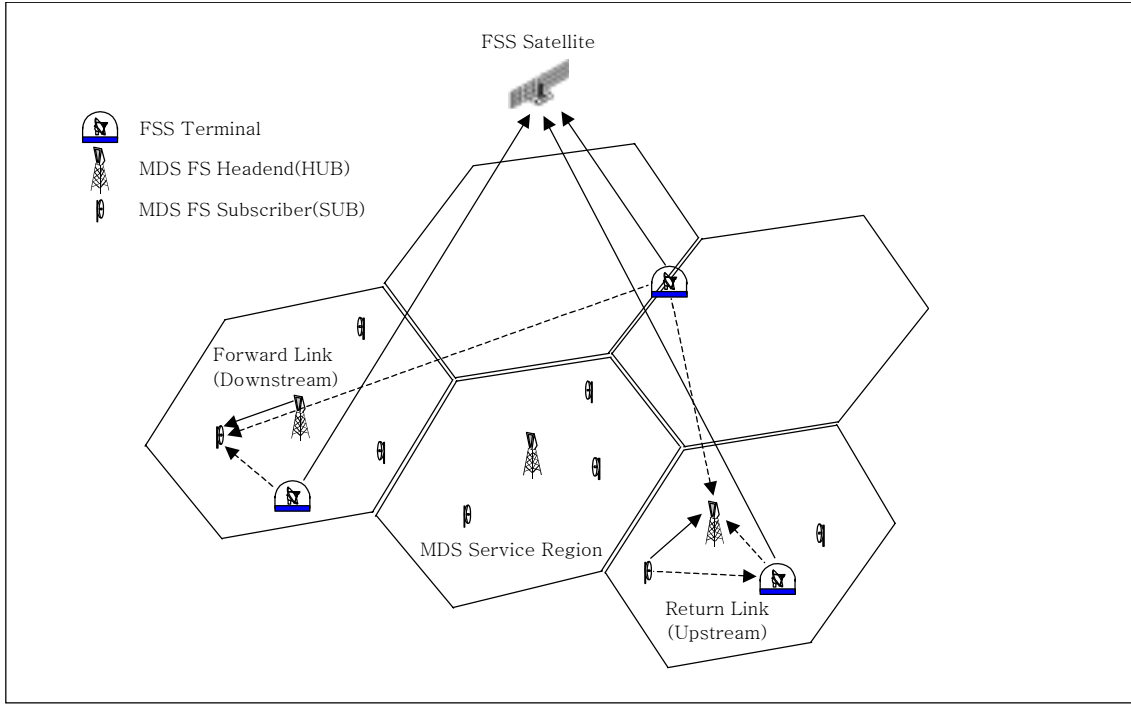
전파모드 1에서의 조정거리 결정을 위해 전 세계는 아래와 같은 전파 기후 지역으로 나뉜다.

A1 zone: 해안에 인접한 지역

A2 zone: A1 외의 모든 육지

B zone: 차가운 바다. 위도 30도 이상의 바다

C zone: 따뜻한 바다. 위도 30도 이하의 바다



(그림 1) 위성망과 지상망간 간섭 시나리오

또한, 예외적인 전파조건을 반영하기 위한 radio-meteorological 변수 β_p 는 위도에 의해 정해진다. 적합한 β_p 를 위한 위도는 (1), (2)와 같이 주어진다.

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1.8 & \text{for } |\zeta| > 1.8^\circ \\ 0 & \text{for } |\zeta| \leq 1.8^\circ \end{cases} \quad (1)$$

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{1.67 - 0.015\zeta_r} & \text{for } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 4.17 & \text{for } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (2)$$

850MHz~60GHz 대역에서는 전파모드 1의 계산을 위해 경로 해수면 굴절도(N_o)가 사용된다.

$$N_o = 330 + 62.6e^{-\left(\frac{\zeta - 2}{32.7}\right)^2} \quad (3)$$

대표적인 해수면 굴절도의 분포는 (그림 2)와 같이 나타난다. 어떤 한 방향에 대한 조정거리는 지구 국으로부터의 상대적으로 가까운 거리에서부터 수백 킬로미터로 확장해가며 계산된다. 그러나 실제적

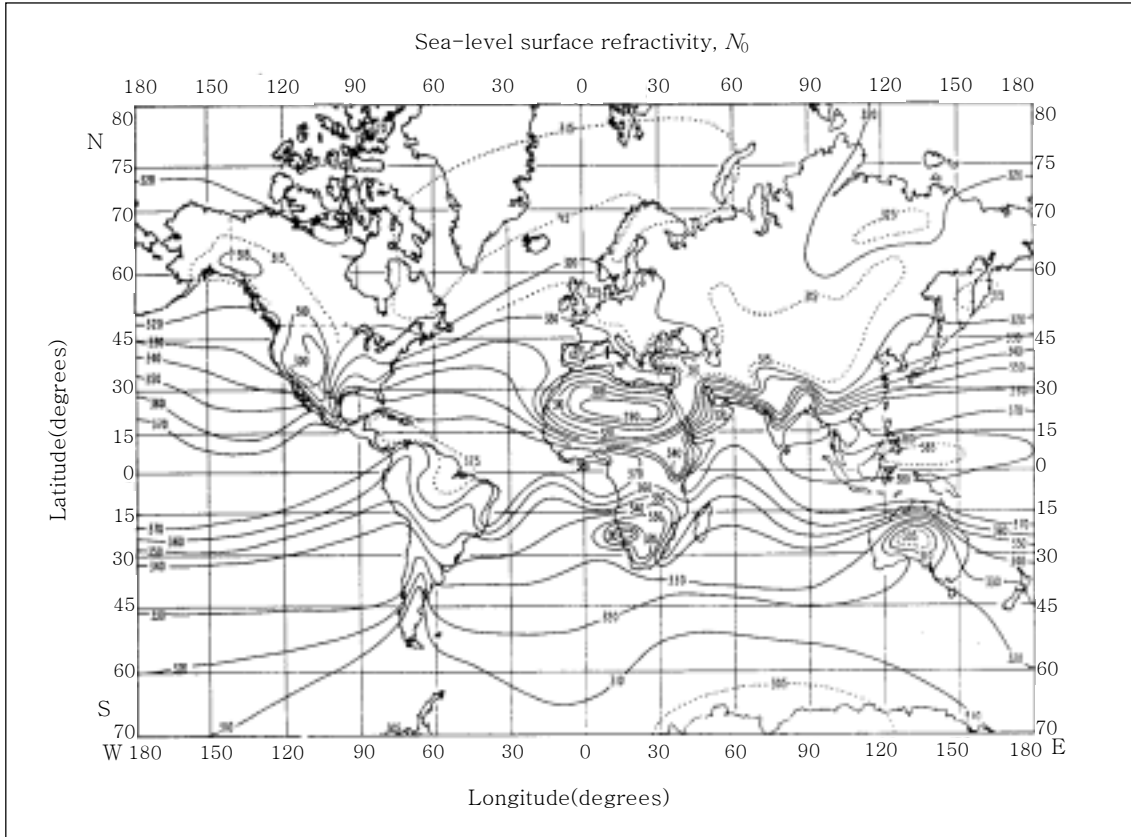
으로 조정거리의 하한값을 두고 계산한다.

최소조정거리를 구하기 위한 첫 단계로 주파수에 대한 함수관계를 구하면 (4)와 같다[3].

$$d'_{\min}(f) = 100 + \frac{(\beta_p - f)}{2} \text{ km} \quad (4)$$

(4)를 이용하여 최소조정거리를 구하면 (5)와 같다.

$$d_{\min}(f) = \begin{cases} d'_{\min}(f) \text{ km} & \text{for } f < 40 \text{ GHz} \\ \frac{(54 - f)d'_{\min}(40) + 10(f - 40)}{14} \text{ km} & \text{for } 40 \text{ GHz} \leq f < 54 \text{ GHz} \\ 10 \text{ km} & \text{for } 54 \text{ GHz} \leq f < 66 \text{ GHz} \\ \frac{10(75 - f) + 45(f - 66)}{9} \text{ km} & \text{for } 66 \text{ GHz} \leq f < 75 \text{ GHz} \\ 45 \text{ km} & \text{for } 75 \text{ GHz} \leq f < 90 \text{ GHz} \\ 45 - \frac{(f - 90)}{1.5} \text{ km} & \text{for } 90 \text{ GHz} \leq f < 105 \text{ GHz} \end{cases} \quad (5)$$



(그림 2) 해수면 굴절도[4]

또한 반복계산에 있어 상한값 역시 필요하게 된다. 전파모드 1에서의 조정거리 상한값은 (6)과 같다.

$$d_{\max 1} = \begin{cases} 1200 & \text{km for } f \leq 60\text{GHz} \\ 80 - 10 \log\left(\frac{p_1}{50}\right) & \text{km for } f > 60\text{GHz} \end{cases} \quad (6)$$

조정거리 계산은 특정한 평균 연시간을 p_1 을 넘지 않는 간섭 레벨을 기본으로 한다. 조정이 필요하게 되는 최악 윌시간을 p_{w1} 에 대한 등가 연시간을 p_1 의 경우 (7), (8)과 같은 방법에 의해 계산된다.

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1.1 + |\cos 2\zeta_r|^{0.7}} & \text{for } \zeta_r \leq 45^\circ \\ \sqrt{1.1 - |\cos 2\zeta_r|^{0.7}} & \text{for } \zeta_r > 45^\circ \end{cases} \quad (7)$$

$$p_1 = 10^{\frac{\log(p_{w1}) + \log(G_r) - 0.444}{0.816}} \quad (8)$$

p_1 은 $12p_1 \geq p_{w1}$ 의 조건을 만족해야 한다. 조정거리 결정은 최소허용 간섭전력의 개념에서 시작한다. 시간의 $p\%$ 동안 요구되는 최소허용 기본 전송손실은 (9)와 같이 구해진다.

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad (9)$$

여기서 $P_r(p)$ 는 $p\%$ 의 시간율을 초과하지 않는 허용간섭전력을 의미한다.

2. 850MHz~60GHz 대역의 조정거리 결정

본 대역에서의 조정거리 결정은 앞의 (5)에서 구해진 최소거리에서부터 적당한 거리만큼 증가시키는 반복 계산을 통해 정해진다. 본 대역에서의 반복 계산

은 (10), (11)의 조건을 만족할 때까지 계속된다[5].

$$L_5(p_1) \geq L_3(p_1) \quad \text{and} \quad L_6(p_1) \geq L_4(p_1) \quad (10)$$

또는,

$$d_i \geq d_{\max 1} \quad (11)$$

전파 감쇄량을 계산하기 위해, 먼저 dry air에 의한 감쇄량을 구하면 (12)와 같다.

$$\gamma_o = \left[7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 150} \right] f^2 \times 10^{-3} \quad (12)$$

수증기에 의한 감쇄량은 수증기밀도(ρ , g/m^3)의 함수로 표시된다.

$$\gamma_w(\rho) = \left(0.050 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f - 22.2)^2 + 8.5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (13)$$

대류권 산란 전파모델에서의 수증기에 의한 감쇄량과 A1, A2 지역에서 덕팅 전파모델에서의 수증기에 의한 감쇄량, B와 C 지역에서 덕팅 전파모델에서의 수증기에 의한 감쇄량은 각각 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} \gamma_{wt} &= \gamma_w(3.0) \\ \gamma_{wdl} &= \gamma_w(7.5) \\ \gamma_{wds} &= \gamma_w(10.0) \end{aligned} \quad (14)$$

주파수에 의한 덕팅 감쇄량은 (15)와 같이 계산된다.

$$\gamma_d = 0.05f^{1/3} \quad (15)$$

가. 덕팅 모델

덕팅 현상은 단구간 간섭 현상에서 중요한 현상

이다. 덕팅 현상은 높은 신호 레벨을 긴 경로 거리에 걸쳐 전달할 수 있다. 덕팅 모델에서의 거리에 따른 손실의 최소값은 (16), (17)과 같이 계산된다.

$$L_3(p) = L_b(p) - A_1 \quad (16)$$

$$A_1 = 122.43 + 16.5 \log f + 15 - \frac{6}{1 + d_c} \quad (17)$$

d_c 는 경로 중 육지에 해당되는 부분의 거리이다.

나. 대류권 산란 모델

대류권 산란은 100~150km 이상의 긴 전파경로에서 발생한다. 대류권 산란 손실 중 주파수에 대한 부분은 (18)과 같다.

$$L_f = 25 \log f - 2.5 \left[\log \frac{f}{2} \right]^2 \quad (18)$$

대류권 산란 모델에서의 거리에 따른 최소 손실은 (19)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} L_4(p) &= L_b(p) - 187.36 - 10\theta_h - L_f \\ &+ 0.15N_o + 10.1 \left(-\log \left(\frac{p}{50} \right) \right)^{0.7} \end{aligned} \quad (19)$$

θ_h : 지구곡 수평앙각

N_o : 해수면 경로 굴절도

반복 계산방법을 위해 현재 거리를 d_i 라 하면,

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (20)$$

여기서, 증가량 s 는 주로 1km를 사용한다.

대기 흡수로 인한 감쇄량을 구하면 (21)과 같다.

$$\gamma_g = \gamma_o + \gamma_{wdl} \left(\frac{d_t}{d_i} \right) + \gamma_{wds} \left(1 - \frac{d_t}{d_i} \right) \quad (21)$$

d_t = 경로상의 육상 거리

조정거리 결정을 위한 몇 가지 파라미터를 구하는 방법은 (22), (23)과 같다.

$$\tau = 1 - \exp[-(4.12 \times 10^{-4} d_{tm}^{2.41})] \quad (22)$$

$$\mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{tm}}{16-6.6\tau}} + [10^{-(0.496+0.354\tau)}]^{0.5} \right]^{0.2} \quad (23)$$

d_{tm} : A2 지역내 이어진 육상 경로 거리

d_{tm} : A1, A2 지역 최대 육상 경로 거리

$$\varepsilon = -0.6 - 8.5 \times 10^{-9} d_i^{3.1} \tau \quad (24)$$

$$\mu_2 = (2.48 \times 10^{-4} d_i^2)^\sigma \quad (25)$$

$$\mu_4 = 10^{(-0.935+0.0176\zeta_r) \log \mu_1} \quad (26)$$

기본 경로 손실을 구하기 위한 덕팅의 경로에 대한 발생률 β 와, 그에 관련된 파라미터 Γ_1 은 (27), (28)과 같이 구해진다.

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad (27)$$

$$\Gamma_1 = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \times \exp \left[-(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198(\log \beta)^2) \times 10^{-6} d_i^{1.13} \right] \quad (28)$$

덕팅에 의한 거리에 따른 손실은 (29)와 같이 구해진다.

$$L_5(p) = (\gamma_d + \gamma_g) d_i + (1.2 + 3.7 \times 10^{-3} d_i) \times \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^{\Gamma_1} \quad (29)$$

대류권 산란에 의한 손실은 (30)과 같다.

$$L_6(P) = 20 \log(d_i) + 5.73 \times 10^{-4} \times (112 - 15 \cos(2\zeta)) d_i + (\gamma_o + \gamma_{wr}) d_i \quad (30)$$

이상에서 구해진 값으로부터 L_5 와 L_3 , L_6 와 L_4 의 값을 (10) 또는 (11)의 조건에 부합하는지 비교하고, 만일 (10) 또는 (11)의 조건을 만족하지 못하는 경우, (20)에서 i 값을 증가시킨 후, 조건을 만족할 때까지 반복 계산하여 (10), (11)의 조건에 맞는 거리 d 값을 찾는다.

3. 60GHz~105GHz 대역의 조정거리 결정

본 대역과 같은 밀리미터파의 전파모델은 자유공간 손실 및 대략적인 대기 흡수에 주된 영향을 받는다. 본 대역에서의 조정거리 결정을 위한 반복 계산은 850MHz~60GHz 대역의 방법과 거의 같다. 본 대역을 위한 계산은 (31), (32)의 조건을 만족할 때까지 계속된다.

$$L_9(p1) \geq L_8(p1) \quad (31)$$

또는,

$$d_i \geq d_{\max 1} \quad (32)$$

60~105GHz 대역의 건조 대기에 대한 흡수율을 구하면 (33)과 같다.

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[2 \times 10^{-4} (1 - 1.2 \times 10^{-5} f^{1.5}) + \frac{4}{(f-63)^2 + 0.936} \right] \\ + \frac{0.28}{(f-118.75)^2 + 1171} \Big] f^2 6.24 \times 10^{-4} \\ \text{for } f > 63.26 \text{GHz} \\ 10 \text{dB/km} \quad \text{for } f \leq 63.26 \text{GHz} \end{cases} \quad (33)$$

대기 중 수증기에 의한 흡수율은 (34)와 같이 구해진다($3g/m^3$).

$$\gamma_{wm} = (0.039 + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5}) f^2 2.369 \times 10^{-4} \quad (34)$$

대략적인 대기흡수는 (33), (34)의 합으로 주어진다.

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{vm} \text{ dB/km} \quad (35)$$

주어진 대역 주파수에서 기본 전송 손실 중 비(非) 거리 부분은 (36)과 같이 구해진다.

$$L_7 = 92.5 + 20 \log(f) + A_h \quad (36)$$

A_h : 지형차폐에 의한 전체 손실(dB)

거리에 의한 최소 손실은 (37)과 같다.

$$L_8(p_1) = L_b(p_1) - L_7 \quad (37)$$

현재 거리에 대한 거리 의존 손실은 (38)과 같이 계산된다.

$$L_9 = \gamma_{gm} d_i + 20 \log(d_i) + 2.6 \left[1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p_1}{50}\right) \quad (38)$$

이상에서 구해진 값을 반복계산의 조건 (31), (32)와 비교하면서 조건이 만족할 때까지 거리를 증가시켜가며 반복 계산한다.

III. 결론

지금까지 위성망 간섭평가를 위한 조정거리를 계산하는 방법에 대하여 알아보았다. 주지하다시피, 조정거리는 각 전파모델에서의 손실을 비교함으로써 구해짐을 알 수 있다. 즉, 각 모델에서 최소 손실을 넘어서는 손실이 발생한다는 것은 전송 손실이 커서 간섭의 영향이 줄어들음을 의미한다. 따라서, 간섭의 영향이 미미하여 서비스간의 조정이 필요 없게 된다.

반대로, 최소 손실보다 계산된 손실이 작은 경우, 전송 손실이 작아서 타 서비스에 간섭으로 작용하게

된다. 그러므로, 거리를 늘려나가면서 반복 계산을 하여 간섭의 영향을 줄여 나가게 된다.

새로운 위성서비스를 위하여 위성을 국제통신연합에 등록할 경우, 주관청 및 국제통신연합에서는 조정자료를 제출하게 된다[6]. 또한 관계된 인접국가는 자국의 서비스에 대한 영향을 분석하면서, 공표된 조정자료를 검토하게 된다. 본 문서에서 기술한 조정거리 결정은 이와 같은 타 국가 및 서비스간 조정대상을 선정하는 데에 유용한 분석방법으로 사용된다[7].

본 문서에 기술된 조정거리 결정을 통한 조정대상 선정, 서비스간 직접적인 간섭량 계산 및 간섭 경감 기법 등의 연구가 향후에도 지속되어야 하리라 본다.

참 고 문 헌

- [1] International Radio Consultative Committee "Handbook of Satellite Communication," 1988.
- [2] ITU-R. Appendix S7, "Method for the Determination of the Coordination Area Around an Earth Station in Frequency Bands between 1GHz and 40GHz Shared between Space and Terrestrial Radiocommunication Services," 1998.
- [3] ITU-R Recommendation SM.1448, "Determination of the Coordination Area Around an Earth Station in the Frequency Bands between 100MHz and 105GHz," 2000.
- [4] ITU-R Recommendation P.452, "Prediction Procedure for the Evaluation of Microwave Interference between Stations on the Surface of the Earth at Frequencies above about 0.7GHz," 2001.
- [5] ITU-R Recommendation P.620, "Propagation Data Required for the Evaluation of Coordination Distances in the Frequency Range 100MHz to 105GHz," 1999.
- [6] ITU-R Radio Regulation Article S9, "Procedure for Effecting Coordination with or Obtaining Agreement of Other Administrations," 1998.
- [7] ITU-R. Doc. JWP4-9S/178, "Report on the Meeting of Working Party 4-9S," 1999.