

衛星地球局과 마이크로파 地上局間의 降雨散亂 干涉

朴東徹*, 李殷圭**

(正會員) (準會員)

忠南大學校 工科大學 電子工學科
副教授(工博)*, 碩士課程**

I. 서 론

지난 20년간 위성통신 분야는 괄목할 만한 성장을 해온 결과, 현재에는 백여개의 통신 위성이 궤도에서 동작중이고 이로 인하여 지구 정지 궤도도 상당히 붐비고 있는 실정이다. 대부분의 통신 위성이 C-밴드라 불리우는 4/6GHz의 주파수대에서 동작되고 있으며 이 주파수대는 역시 지상 마이크로파 시스템에서도 많이 사용되고 있다. 이와 같이 지상 마이크로파 시스템과 위성 통신 시스템이 마이크로파 주파수 스펙트럼을 공유하게 됨에 따라서 상호간의 간섭 효과는 증대한 문제로 부각되고 있다.

간섭에는 자루트 내에서의 간섭 혹은 타루트와의 간섭 등이 있으며, 각 간섭의 유형으로서는 직진파에 의한 간섭, 회절파에 의한 간섭, 대기산란, 다경로, 강우산란 등에 의한 간섭이 있다. 이러한 간섭량들을 계산할 수 있는 능력의 확보는 결국 마이크로파 치국 및 위성 지구국 설계 능력과 직결된다고 말할 수 있다. 지상과 위성 등 두개의 통신 시스템이 같은 주파수대를 물의없이 공유하기 위해서는 두 시스템간의 간섭을 통제할 수 있어야 한다.

서로 다른 두 시스템을 결합시키는, 즉 원치않는 간섭을 야기시키는, 전파 메카니즘의 하나로 강우에 의한 산란을 생각할 수 있다. 강우산란을 이해하기 위하여는 후방산란 계수, 빗방울 크기, 강우강도 그리고 파장간의 상호 관계가 정립되어야 하며 이 상호 관계에 관한 식들이 간섭량 계산에 이용된다. 또한 강우 산란파도 수신측에 도달하기 전에 강우에 의한 감쇠를 겪으므로 강우감쇠 효과도 계산에 고려되어야 한다. 특히 강우감쇠 효과는 10GHz 이상의 주파수에서 크게 나타나기 때문에 위성 통신 시스템 혹은 지상 마이크로파 통신 시스템의 사용 주파수를 확장할 경우 강우에 의한 감쇠량이 상당히 증가하게 된다.

강우산란으로 인한 지구국 안테나와 지상국 안테나 간의 결합량을 계산하는 방법은 70년대 중반에 Gusler^[1]와 Bullington^[2]에 의해 제시된 바 있다. 본 해설에서는 이들의 방법을 설명하고, 본 저자에 의해 개발된 프로그램을 이용해서 계산된 결합량의 결과를 제시하고, 아울러 결과에 대한 이론적인 고찰을 간단히 덧붙이고자 한다.

II. 강우와 전파 전파

강우 내에서 전파파가 전파할 때 작은 변위 전류가 빗방울에 유도되어 이로 인하여 산란 현상이 일어나고 또한 열 발생으로 인한 흡수 현상도 일어나게 된다. 산란과 흡수 현상은 모두 공히 전파 경로에서의 감쇠를 유발시키며, 산란과 흡수 각각이 강우감쇠에 미치는 영향은 파장과 빗방울 크기와의 상대적 관계에 따라 다르다. 즉 빗방울의 크기보다 파장이 클 경우는 흡수에 의한 감쇠가 산란에 의한 감쇠보다 크며, 반대로 빗방울의 크기가 파장에 비해 크면 산란이 감쇠의 주된 원인이 된다. 강우에 의한 산란 현상 중에서 특히 측방 산란은 타 통신 경로에 간섭을 주는 중요한 요인이 될 수 있다.

본 해설에서 다루고자 하는 간섭량은 위성 지구국에서 송신된 전파가 전파 경로상에서 발생하는 측방 강우산란으로 인하여 임의의 인접 지상국으로 입사되는 산란파의 전력을 말하며, 이 간섭량이 바로 두 안테나간의 결합량이다. 강우 산란파가 지상국으로 입사하는 과정에서 강우의 흡수 현상에 의한 감쇠, 강우로 인한 편파의 부정합이 야기되어 생기는 감쇠 등이 추가되기 때문에 이러한 효과들도 간섭량 계산에 고려되어야 한다. 따라서 본 절에서는 간섭량 계산에 중요한 요소인 강우감쇠와 강우산란에 대해서 자세하고 상세히 보고자 한다.

1. 강우감쇠

강우로 인한 감쇠는 두 가지 요인으로부터 기인된다 고 볼 수 있는데 그 중 하나가 빗방울에 의한 전파 에너지의 흡수이고, 다른 하나는 빗방울에 의한 전파 빔 밖으로의 에너지 산란이다. 이 두 현상으로 인한 전파의 감쇠량은 빗방울의 크기와 형태, 강우온도, 강우강도 등과 관련된다. 강우 감쇠량 A(dB)를 결정짓는 강우 감쇠율(specific attenuation due to rain) γ (dB/km)는 빗방울의 온도, 형태 등이 일정하다는 가정하에 빗방울 크기의 통계 분포를 이용하여 근사적으로 계산될 수 있다. 이때 강우에 의한 총 감쇠량 A는 강우 감쇠율 γ 를 전 전파 경로로 적분하여 얻어진다. 강우 감쇠율 γ 를 계산하기 위한 방법으로 널리 이용되는 것은 빗방울의 형태를 구형으로 가정하고 빗방울 크기 통계 분포를 이용하여 $\gamma = aR^b$ 의 형태로 도출해 내는 방법이다. 여기서 R은 강우강도(mm/h)이고 계수 a와 b는 주파수, 강우온도, 빗방울 크기 분포와 관련된다. 특히 Olsen^[3] 등은 Laws-Parsons(L-P)^[4]과 Marshall-Palmer(M-P)^[5], 그리고 Jose등의 빗방울 크기 통계 분포를 적용하여 계수 a, b의 값을 1-1000GHz의 주파수 범위에서 계산하였으며 이 계산 결과를 도표화 한 바 있다. 그외의 다른 방법은 실험을 통한 근사식을 이용하여 역시 $\gamma = aR^b$ 의 형태로 나타내는 방법이 있으며, 이 실험적 방법은 비교적 산출이 용이하고 거의 이론치와 일치할 정도로 신뢰도가 높기 때문에 근래들어 폭넓게 이용되고 있다. CCIR Rep. 7211^[6]에 Laws-Parsons의 크기 분포와 구형 빗방울을 가정하고, 강우강도 R을 파라미터로 하여 주파수에 따른 강우 감쇠율의 변화를 그래프로 나타내었고 이는 그림 1과 같다. 그림 1에서 100GHz까지는 모든 강우강도에 대해서 감쇠가 주파수의 증가와 더불어 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

빗방울이 구형이라는 가정은 빗방울 크기가 작을 때는 대략 정확하나 빗방울 크기가 커질수록 맞지 않는다. 크기가 큰 빗방울은 빗방울의 밑면이 일그러진 타원체의 형태로 낙하하며 또한 빗방울이 클수록 일그러짐의 정도가 심하다. 이러한 현상은 많은 관측자들에 의하여 사진으로 확인 된 바 있고, 특히 Pruppacher와 Pitter^[7]는 일그러진 빗방울의 형태를 이론적으로 도출해 낸 바 있다. 일반적으로 빗방울의 형태가 구형이 아닌 결과로 실제 수평 편파가 수직 편파보다 더 많은 감쇠를 당한다. 구형이 아닌 빗방울의 형태를 고려한 수평 및 수직 편파에 대한 감쇠율의 계산은 매우 복잡한 계산을 통하여 얻어질

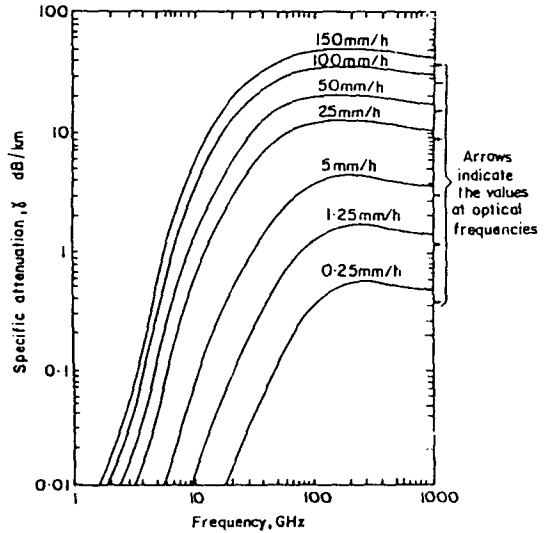


그림 1. 주파수에 따른 강우 감쇠율

수 있으며, Morrison과 Chu^[8]는 두편파 방법에 따른 감쇠율의 차를 계산한 바 있다.

또한 강우는 전파하는 전파와의 편파를 변화시키며, 결과적으로 수신안테나에서의 편파 분리도(XPD-Cross Polarization Discrimination)가 감소하여 이에 따른 전파 에너지의 감쇠가 수반된다. 특히, 최근들어 일부의 위성 통신 시스템과 지상공간 마이크로파대 및 밀리미터파대 통신 시스템에서는 주파수 대역폭의 확장없이 전송 용량을 증가시키기 위하여 이중 편파 채널을 사용하고 있기 때문에 심한 강우로 인하여 편파 분리도가 크게 떨어질 경우 감쇠 현상의 증가 효과로 통신이 불가능하게 될 수도 있다.

2. 강우산란

앞에서 설명된 감쇠 이외에도 강우는 전파하는 에너지를 전파 빔의 축방으로 산란시킨다. 이러한 축방 산란은 지상 회선간의 간섭 혹은 지상과 위성 회선간의 간섭을 야기시키는 주된 원인중의 하나이다. 산란에 관한 이론이 19세기말 Rayleigh와 20세기초 Mie에 의해서 발표된 이후로 두 이론은 산란에 의한 간섭량 계산에 폭넓게 이용되고 있다. 지금까지 위의 두 이론을 적용하여 계산된 이론치와 실제로 측정된 실험치와 비교하여 볼 때 Rayleigh 산란이론은 빗방울의 크기가 작은 경우에 실험치와 잘 맞으며 Mie 산란이론은 큰 빗방울에서 실험치와 잘 맞는 것으로 알려져 있다. 따라서 높은 강우강도 일수록 단위체적당 빗방울의 갯수는 적으나 빗방울의 크기는 커지며

로 높은 강우강도에서는 Mie 산란이론이 더 정확한 것으로 알려져 있다. 이 관계를 주파수에 관련시켜 생각한다면 주파수가 높아짐에 따라 빗방울의 크기는 파장에 비하여 상대적으로 커지기 때문에 높은 주파수에서는 Mie 산란이론이 더 정확함을 예견할 수 있다.¹⁰⁾

일반적으로 산란의 세기는 단위체적당 산란 단면적(σ_v)와 연관된다. 그러므로 산란 전력을 계산하기 위해서는 이론적으로 도출해 낸 산란 단면적을 이용해야 하며, 이때 Mie 혹은 Rayleigh 산란 단면적을 이용할 수 있다. Mie 산란 단면적은 계산이 복잡하기 때문에 10GHz 이내의 산란문제에서는 Rayleigh 산란 단면적이 주로 이용되고 있으며, 송·수신 안테나의 편파 결합에 따라서는 30GHz까지도 사용될 수 있다.

Rayleigh 산란이론에 의하면 구형으로 가정할 한 개의 빗방울에 의해 형성되는 산란 단면적은 식(1)과 같다.¹¹⁾

$$\sigma = \frac{\pi^2 |K|^2}{\lambda^4} \times 10^{-18} \sin^2(\beta) D^6 \text{ [m}^2\text{]} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 $K = (\epsilon_r - 1) / (\epsilon_r + 1)$ 이고 ϵ_r 은 물의 복소 유전율, β 는 입사파의 전계와 산란파의 산란 방향이 이루는 각, D 는 빗방울의 지경(mm), 그리고 λ 는 전파의 파장(m)이다.

실제 강우의 경우 빗방울의 크기는 일정하지 않고 통계적 분포를 가지므로 식(1)의 결과를 각각 다른 직경 D 를 갖는 수많은 비의 입자에 대해서 확대 적용하면 단위체적당 산란 단면적은 식(2)와 같이 놓을 수 있다.

$$\sigma_v = \frac{\pi^2 |K|^2}{\lambda^4} \sin^2 \beta \times 10^{-18} \int N(D) D^6 dD \text{ [m}^2\text{/m}^3\text{]} \quad (2)$$

위의 식(2)에서 $N(D)$ 는 직경 D 를 갖는 빗방울의 총갯수로 Laws-Parsons 혹은 Marshall-Palmer의 빗방울 크기 통계 분포에 의해서 계산된다. 식(2)에서 $\int N(D) D^6 dD$ 를 반사율(reflectivity factor)이라고 부르고 Z 라고 나타내자. 그러면 주파수가 일정할 경우 강우에 의해 산란된 산란파의 세기는 반사율의 크기에 의해 결정된다는 것을 식(2)를 통하여 알 수 있다. Mie와 Rayleigh의 산란이론을 서로 비교하기 위하여 두 이론에 의해서 각각 계산된 반사율의 비를 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 결과를 통하여 볼 때 5GHz 이내에서는 두 이론이 거의 일치하며 5GHz와 20GHz 사이에서는 2dB 이내의 오차를 갖고 있음을 알 수 있다.¹⁰⁾

Ⅲ. 강우산란으로 인한 간섭량 계산 방법

강우산란으로 인한 간섭량 계산 방법으로 Gusler 방법과 Bullington 방법에 대해서 고찰해 보자.

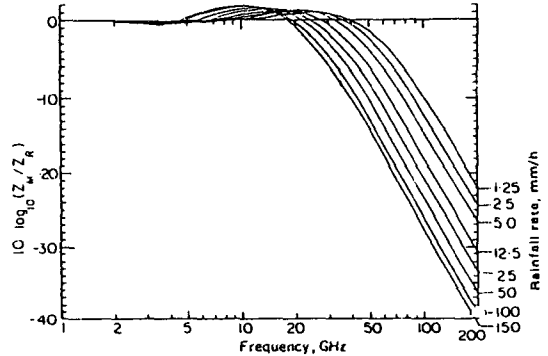


그림 2. Mie 산란이론과 Rayleigh 산란이론에 의해 계산된 반사율의 비

1. Gusler 방법

이 방법에서는 우선 간섭국인 지구국과 피간섭국인 지상국 사이에 존재할 수 있는 강우의 분포 형태를 네 가지로 분류하였다. 첫째는 두 통신소의 전 구간에 비가 내리는 경우이며, 둘째는 지구국 주위에서만 비가 내리는 경우, 셋째는 두 통신소 구간내의 일부 구간에 비가 내리는 경우, 마지막으로 넷째는 두 통신소 구간의 송신측 외부에 비가 내리는 경우이다. 앞에서 설명된 첫번째부터 세번째까지의 구조는 송·수신 두 안테나 사이에서 비가 내릴 때 간섭 구조를 세 경우로 분류한 것이며, 넷째는 두 안테나 밖에서 비가 내릴 때의 구조이다.

그림 3은 강우산란에 의한 간섭 경로의 일반적인 기하학적 구조를 나타낸 것이며 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \theta'$ 는 송·수신 안테나 복사패턴의 기하학적 구조와 두 통신소간의 직선 거리 dc , 강우의 분포 형태 등에 따른 간섭

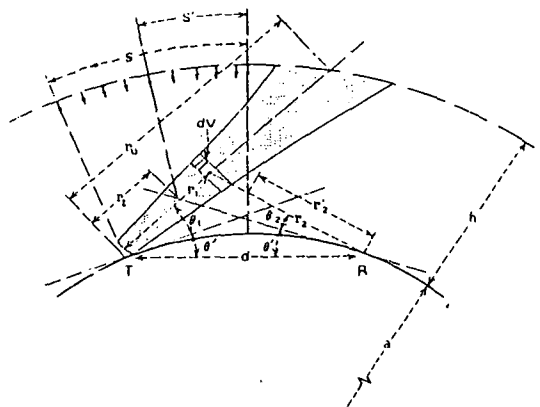


그림 3. 강우산란에 의한 간섭의 기하학적 구조

구조에 의해 구해지는 파라미터들이다. 여기서 r_1 과 r_u 는 강우분포 거리 S, 강우발생 고도 RH, 두 통신소간의 직선거리 dc 그리고 두 안테나의 앙각 θ_1, θ_2 등에 의해 좌우되며 수신안테나 R에 간섭을 끼칠 수 있는 최저와 최고의 산란 지점을 나타낸다. 다시말해서 r_1 부터 r_u 까지의 구간에서 산란된 전파가 지상국 수신안테나 R로 입사되며 각 지점에서 산란된 전파의 수신 이득은 수신안테나의 복사패턴에 따라 각각 다르다.

앞의 그림 3에서 지구국 송신안테나 T가 Gaussian 빔 형태의 전파를 복사하고 또한 강우 입자에 의한 산란이 등방성이라고 가정하자. 이 가정하에 레이더 방정식을 적용하여 지상국 수신안테나로 입사되는 간섭량을 근사적으로 구하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R/P_T = \int_{r_1}^{r_u} \frac{\sigma_v}{4\pi r_1^2} A_2(\theta_2) \exp(-\alpha(r_1+r_2-r_1^2)) dr_1 \quad (3)$$

물론 강우에 의한 산란이 완전한 등방성은 아니나 실제로 비등방성 산란으로 인하여 파생될 수 있는 오차는 30GHz 이하의 주파수에서 3dB보다 작은 것으로 보고되어¹¹⁾ 등방성 산란을 가정한 식(3)은 실제 응용에 큰 오차를 유발하지 않을 것이다. 식(3)에서 σ_v 는 앞의 II 절에서 이미 설명된 바 있는 단위체적당 산란 단면적이며 α 는 강우감쇠 상수로 II 절에서 설명된 강우 감쇠율 γ (dB/km)가 neper/km의 단위로 변환되었을 때의 값을 갖는다. $A_2(\theta_2)$ 는 수신안테나 R의 복사패턴으로 수신안테나가 등방성인 경우 $\lambda^2/4\pi$ 이며 지향성인 경우에는 식(4)와 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.

$$A_2(\theta_2) = A_0 \{ \exp(-K_1\theta_2^2) + \exp(-K_2^2 - K_3\theta_2) \} \quad (4)$$

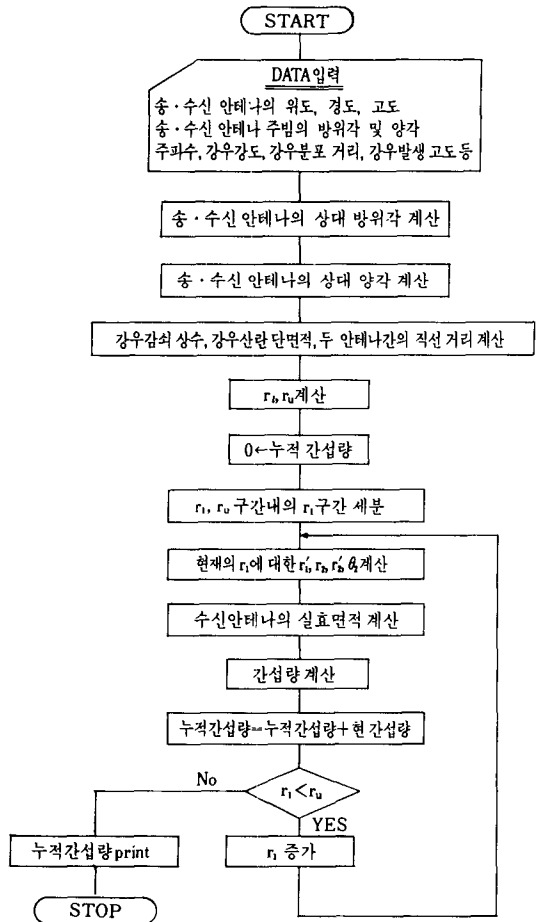
$A_0 = \lambda^2 \cdot G / 4\pi$
 $G = 27000 / (\theta_E \cdot \theta_H)$: 수신안테나의 이득
 θ_E, θ_H : 수신안테나의 3-dB 빔폭
 λ : 파장(m)

식(4)에서 K_1 은 주빔, 그리고 K_2, K_3 는 부로브와 관계되는 상수이며 θ_2 는 수신안테나의 주빔 축과 산란파가 이루는 각도이다.

지금까지 설명된 Gusler의 방법은 송·수신 안테나의 주빔이 모두 대원 평면상에 존재하고 또한 두 통신소 구간에 아무런 방해물체가 존재하지 않을 경우에 한해서 계산이 가능하다. 그러나 그러한 간섭 구조는 각 통신소의 배열과 지형적인 환경을 고려할 때 실제 존재 가능성이 희박하며 송·수신 안테나간에 최대의 결합량을 주는, 다시말해서 최악 조건의 간섭 구조라 할 수 있다. 따라서 실제적으로 존재 가능한

모든 간섭 구조에 대해서 적용이 가능하도록 하기 위하여는 Gusler 이론에 추가로 송·수신 안테나의 고도와 안테나 주빔의 방위각 그리고 전파 경로상에 존재할 수 있는 장애물의 효과를 고려해 주어야 하며, 이러한 경우 앞의 그림 3에 나타내어진 모든 파라미터들은 약간 수정된 방법으로 구해져야 한다. 표 1은 Gusler의 방법에 추가하여 송·수신 안테나의 고도와 안테나 주빔의 방위각 그리고 장애물을 고려하여 저자에 의해 개발된 프로그램의 대략적인 계통도이다.

표 1. Gusler 방법을 확장시킨 프로그램의 계통도



이 계통도는 본 해설에서 분류된 네가지 간섭 구조 중 한가지에 적용되는 계통도이고, 나머지 구조에 대해서도 이 계통도를 큰 변화없이 반복 적용시켜 간섭량을 계산한다.

$r_1, r_u, r_1, r_1', r_2, r_2', \theta_2$ 는 그림 3에 나타나 있다(단 r_1' 는 송신안테나에서 강우지역까지의 거리로 그림3의 구

조에서는 0 이기 때문에 표시되지 않았다).

2. Bullington 방법

아무리 정확한 해를 이용한다 해도 실제 간섭량을 계산하는데는 항상 파라미터의 불확실성이 존재하므로 복잡한 계산을 하는 대신 대부분의 공학적인 목적에 일치하는 한계내에서 계산 과정을 단순화해 보자는데 Bullington 방법의 의의가 있다. Bullington 방법은 앞의 Gusler 방법과 비교하여 볼 때 다음 두 가지의 특징을 갖는다. 첫째는 송신안테나와 수신안테나의 두 주빔에 의한 결합만을 고려함과 동시에 비교적 영향이 작은 몇 가지의 파라미터들을 무시함으로써 간섭 구조를 단순화 했으며, 둘째는 간섭량 계산에는 산란파의 감쇠 효과가 전혀 고려되지 않고 감쇠 효과는 단지 신호 대 간섭비(S/I)와 간섭 대 잡음비(I/N)의 측면에서만 다루어졌다는 점이다. 따라서 Gusler 방법에 비하여 계산 절차는 간단하지만 간섭량은 실제 측정치보다 크게 추정된다는 단점이 있다. 그림4(a)는 단순화된 일반적인 간섭 구조이며 그림 4 (b)는 간섭량 계산을 위하여 Bullington이 적용한 구조로서 두 빔의 교차 지역에 송신 이득 G'_i (dB)를 갖는 가상의 안테나가 있다고 가정한 구조이다.

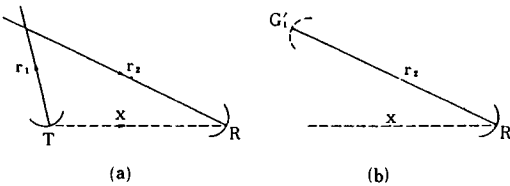


그림 4. (a) 두 통신소간 상호 간섭 경로의 평면도
(b) 공통체적으로부터의 간섭경로

가상안테나의 이득 G'_i 는 주파수와 강우강도에 관련되며 산란전력이 클수록 G'_i 도 커진다. 그러나 송신안테나 T에서 송신된 전력이 강우에 의하여 전부 산란된다 하여도 가상안테나의 실효 이득 G'_i 는 항상 0dB보다 작다. 이는 강우산란에 의하여 수신안테나 R에 입사된 간섭량이 두 빔의 교차지역에 있는 가상 등방성 송신안테나에 의해 수신안테나 R에 입사하는 전력보다 항상 작다는 것을 의미한다.

산란이론을 적용하기 위하여 그림 5와 같이 두 빔의 교차로 형성되는 공통체적 V에 균일한 밀도를 갖는 수많은 강우입자가 존재한다면 간섭량은 레이더 방정식을 적용하여 식(5)와 같이 놓을 수 있다.

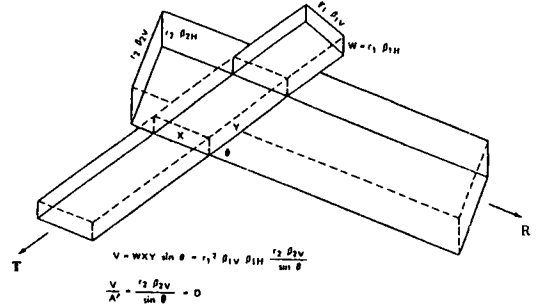


그림 5. 공통체적 (common volume)의 입체 구조

$$P_R/P_T = \left(\frac{A_2}{4\pi r_2^2} \right) \left(\frac{\sigma}{A'} \right) (VN) = \left(\frac{A_2}{4\pi r_2^2} \right) \sigma N \left(\frac{D}{1 + \sigma N \cdot D} \right)$$

$$= \frac{A_2}{4\pi r_2^2} G'_i \quad (5)$$

식(5)에서 A_2 는 수신안테나의 실효 면적, A' 는 송신안테나로부터 거리 r_1 떨어진 지점에서의 빔 단면적, σ 는 강우입자 하나에 대한 산란 단면적, 그리고 N은 단위체적당 빔방울 갯수이다. 식(5)에서 $1/(1 + \sigma N \cdot D)$ 항은 앞에서 제시한 G'_i 가 항상 0dB보다 작다는 가정에 일치시키기 위해서 도입했으며, σN 은 앞의 II절에서 다루어진 단위체적당 산란 단면적 σ_v 이고, D는 III절에서의 강우분포 거리 S이다.

강우분포 거리 D가 1km 일때 Rayleigh 산란 단면적을 적용하여 구해낸 G'_i 의 값을 주파수를 파라미터로 하여 강우강도의 함수로 그림 6에 나타내었다. 강우분포 거리가 1km가 아닐 경우에도 $R' = RD'$ 의 관계식을 적용하여 G'_i 의 값을 쉽게 구할 수 있다.

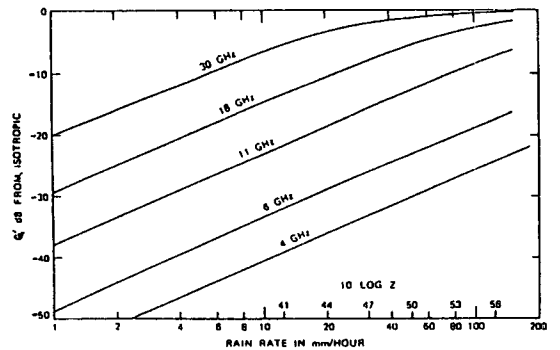


그림 6. 가상 안테나의 실효 이득

IV. 컴퓨터 계산 결과 및 고찰

간섭량 계산을 위하여 앞에서 설명된 두가지의 방

법, 즉 한가지는 첫번째로 설명된 Gusler 방법이고 다른 한가지는 두번째로 설명된 Bullington 방법을 이용하여 두개의 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 실제 경우와 유사하게 하기 위해 Gusler 혹은 Bullington 이론에 추가하여 송·수신 안테나의 고도, 안테나 주빔의 방위각, 그리고 전파 경로상에 존재하는 장애물을 고려하였다. 두 방법에 의해 계산된 간섭량 결과를 비교하여 볼 때 Bullington 방법에 의해 계산된 간섭량이 Gusler 방법에 의해 계산된 간섭량보다 10dB 이상 크게 나타나고 있다. 본 절에서는 Bullington 방법보다 더 정확하다고 생각되는 Gusler 방법의 프로그램을 이용하여 계산된 결과의 일부로써 수신안테나가 등방성인 경우에 4GHz와 11GHz에서 계산된 결과를 제시하고자 한다. 계산에 적용된 간섭 구조는 III-1에 설명된 네가지의 구조중 전 지역 강우시와 송신측 강우시등 두 구조이며, Gusler가 계산했던 결과와 비교하기 위하여 송·수신 두 안테나의 주빔이 대원 평면상에 존재하고 전파 경로상에 아무런 장애물이 존재하지 않도록 하였다.

1. 두 안테나 구간내의 전 지역 강우시

그림 7은 두 안테나 사이의 지선 거리가 15km와 100km일 때 강우강도 1400mm/h의 범위에서 구간내 전 지역 강우시 계산된 결과이다.

그림 7에서 실선은 Gusler의 결과이며 X는 본 프로그램의 결과이다. 그림 7의 결과를 보면 강우강도가 증가할수록 4GHz보다 11GHz에서, 그리고 15km보다 100km에서 간섭량이 더 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 이미 II절에서 설명 되었듯이 주파수가 높아질수록 강우 감쇠율이 증가하기 때문이다.

2. 송신측 강우시

그림 8은 송신측 강우시의 결과이며, 간섭 구조는 강우 분포거리가 송·수신 구간 전 지역이 아니라 송신안테나 주위의 1km 구간으로 한정된 것 외에는 전 지역 강우시와 차이가 없다.

그림 8의 결과를 그림 7의 결과와 비교하여 볼 때 강우강도가 증가할수록 4GHz에서는 간섭량이 크게 증가하며, 11GHz에서는 간섭량의 감소폭이 둔화되고 있다. 이는 전 지역 강우시와는 반대로 강우분포 지역이 작기 때문에 강우감쇠 효과가 감소하고 상대적으로 강우산란 효과가 증가하는데 기인한다. 그림 7과 그림 8의 두 결과에서 특이한 점은 최대 간섭량을 갖는 간섭 구조가 존재한다는 것이다. 그러므로 동일 주파수를 사용하는 통신 시스템들 간의 간섭을

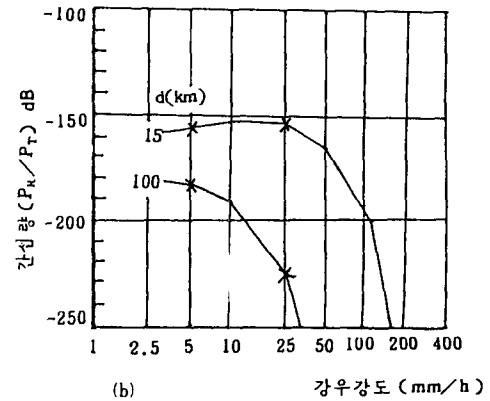
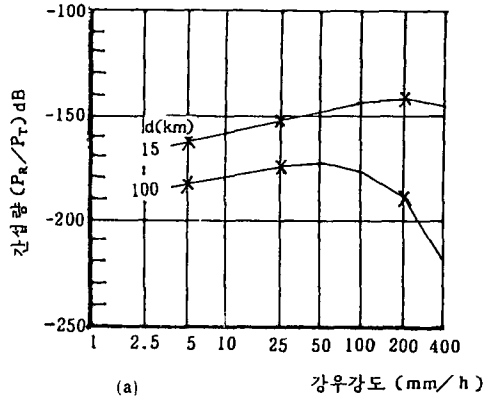


그림 7. 전 지역 강우시 간섭량(R_R/P_T) 계산 결과
(a) $f=4GHz$, (b) $f=11GHz$

최소화하기 위해서는 커다란 간섭량을 줄 수 있는 위치를 피하도록 각 안테나가 배치되어야 한다.

3. 기타 간섭 구조

본 절에서 다루지 않은 구조중 송·수신 구간내 일부 지역 강우시의 결과는 강우분포 지역이 송신측에서 수신측으로 이동한 차이 밖에 없기 때문에 그림 8의 송신측 강우시 결과와 비슷한 간섭량을 갖는다. 반면에 송신측 외부 강우시의 결과는 위에서 언급된 세 구조보다 감쇠 효과가 제일 작기 때문에 제일 큰 간섭량을 줄 수 있는 구조이다. 그러나 이 경우는 두 안테나의 주빔이 동일한 방향을 향할 때 간섭이 가능하고, 설사 동일한 방향이라 해도 간섭파가 수신안테나까지 도달하기 위해서는 두 통신소간의 직선거리가 작아야 하며, 장애물의 높이가 낮거나 없어야 하고, 강우발생 고도가 높아야 하는 등 제한이 많기 때문에 존재가 희박한 구조이다.

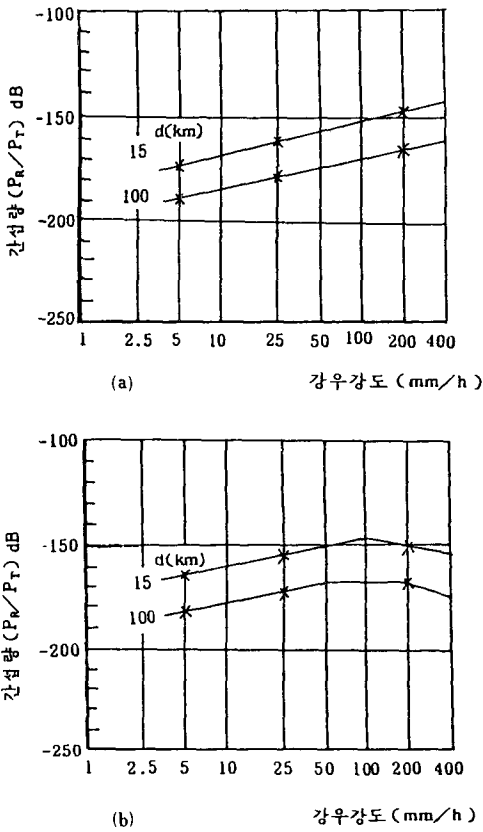


그림 8. 송신측 강우시의 간섭량(P_n/P_t) 계산결과
(a) $f=4\text{GHz}$, (b) $f=11\text{GHz}$

V. 결 론

Gusler와 Bullington에 의해 제시된 두가지의 강우산란 간섭량 계산 방법을 소개하였고 이 두 방법의 각각에 안테나의 고도, 안테나 주빔의 방위각, 지형 장애물 등을 추가로 고려하여 강우산란 간섭량을 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다. Gusler의 계산결과와 Gusler의 방법을 이용해 개발된 프로그램의 계산결과가 완전히 일치하므로 개발된 프로그램이 정확하다고 말할 수 있다. 제시된 계산결과에 의하면 일부 간섭 구조에서는 최대 -140dB 이상의 결합량을 갖는 것으로 나타나 있다. 물론 계산에 적용된 간섭구조는 송·수신 안테나의 두 주빔이 대원 평면상에서 교차하는 최악의 경우로 적용하였고, 또한 빗방울의 형태가 완전한 구형이며 각 빗방울에 의한 산란은 등방성 산란이라는 점 등의 가정이 포함되어 있기 때

문에 실제의 측정치와는 약간의 오차가 있을 수 있다. 그러나 -140dB 정도의 간섭량은 지구국 수신안테나의 잡음 레벨과 비교하여 볼 때 상당히 중요한 의미를 갖는다. 예를들어 지상국이 간섭국, 지구국이 피간섭국이라 가정하자. 지구국 시스템의 잡음 온도가 40MHz 내의 대역폭에서 70°K 라 하면 지구국 수신안테나에서의 열잡음 전력은 $P_n=kT_nB$ 식에 의해서 -134dBW가 되며 신호 전력은 보통 이보다 25dB 정도 높아야 한다. 등방성 지상국 안테나의 송신 전력이 10W라 하고 -140dB의 강우 결합을 고려하면 지구국 안테나로 들어가는 간섭 전력은 -130dBW가 되며 이는 열잡음 전력보다 4dB 큰 값이다. 더구나 이 간섭파가 지상국 안테나의 패턴에 의하여 이득을 갖게 되면 간섭 전력이 더 증가하기 때문에 지구국 시스템의 정상 동작에 큰 영향을 미칠 수 있다. 많은 통신 시스템에서 간섭 신호 레벨이 열잡음 레벨보다 수 dB 낮아야 바람직하다. 그래서 -140dB 정도의 간섭량도 실제로 큰 값일 수 있다.

일반적으로 효율적인 마이크로파대 통신 시스템을 설계하기 위해서는 간섭파에 의한 시스템의 성능 저하율이 잡음에 의한 시스템의 성능 저하율보다 작도록 해주어야 한다. 따라서 간섭파에 의한 시스템의 성능 저하를 최소한으로 줄이기 위한 다각적인 방법이 시도되고 있다. 그중 지구국 안테나를 두개 혹은 그 이상을 사용하는 전파 경로 다이버시티(diversity) 시스템이 이용되고 있으며 이러한 다이버시티 시스템의 설계에 앞절에서 제시된 계산 결과가 적절히 이용될 수 있을 것이다.

끝으로, 이론적으로 정확한 간섭량을 계산하기 위해서는 측정된 강우데이터를 근거로 강우 간섭량이 계산된다는 점에서 국내의 지형데이터와 지역별, 월별 강우데이터(강우강도, 강우발생 고도, 강우발생 확률 등)에 대한 기본 조사가 병행되어야 한다.

參 考 文 獻

[1] L.T. Gusler and D.C. Hogg, "Some calculations on coupling between satellite communications and terrestrial radio-relay systems due to scattering by rain," *BSTJ*, vol. 49, no. 7, pp. 1491-1511, September, 1970.

[2] K. Bullington, "Rain scattering interference in terrestrial microwave systems," *BSTJ*, vol. 54, no. 1, pp. 177-187, January, 1975.

[3] R.L. Olsen, D.V. Rogers, and D.B. Hodge, "The aR^b relation in the calculation of rain attenuation," *IEEE Trans. Ant. Prop.*, vol. AP-26, no. 2, pp. 318-329, March, 1978.

[4] J.O. Laws and D.A. Parsons, "The relation to raindrop size to intensity," *Trans. Amer. Geophys. Union.* vol. 24, pp. 452-460, 1943.

[5] J.S. Marshall and W. Mck, Palmer, "The distribution of raindrops with size," *J. Meteorol.*, vol. 5, pp. 165-166, August, 1948.

[6] *CCIR*, vol. V, pp. 167-171, XVth Plenary Assembly Geneva, 1982.

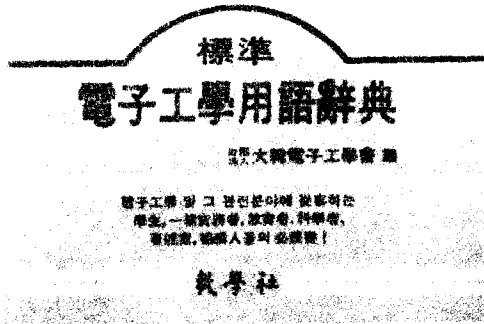
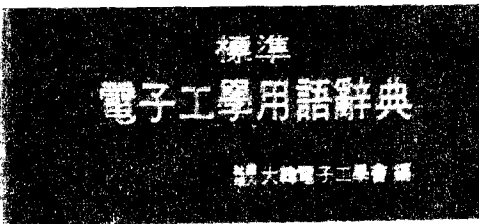
[7] H.R. Pruppacker and P.L. Pitter, "A semi-

empirical determination of the shape of cloud and rain drops," *J. Atmos. Sci.*, vol. 28, pp. 86-94, 1971.

[8] J.A. Morrison and T.S. Chu, "Perturbation calculations of rain-induced differential attenuation and differential phase shift at microwave frequencies," *BSTJ*, vol. 52, no. 10, pp. 1907-1913, December, 1973.

[9] M.P.M. Hall, *Effect of the troposphere on radio communication*, Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, UK, pp. 69-74, 1979.

[10] D.E. Setzer, "Anisotropic scattering due to rain at radio-relay frequencies," *BSTJ*, vol. 50, no. 3, pp. 861-868, March, 1971.*



■ 標準 電子工學 用語辭典 發刊

금번 본 학회에서는 電子工學, 通信工學, 컴퓨터科學 分野의 標準이 되는 用語辭典에 대한 절실한 필요성에 따라, 斯界元老와 重鎮들로 구성된 大韓電子工學會 電子工學 用語辭典編纂委員會의 헌신적인 參與와 노력의 結晶인 權威 있는 專門用語辭典을 발간했습니다. 電子工學 및 그 相關분야에 從事하는 모든 學生, 一線實務者, 教育者, 科學者, 著述表 및 編輯人등 여러 분에게 많은 도움이 되리라고 생각합니다.



■ 電子工業技術人力便覽 發刊

금번 본 학회에서는 산학협동위원회의 주관으로 '84년부터 추진해 오던 전자공업기술인력카드를 수집, 편집하여 電子工業技術人力便覽으로 발간하였습니다. 電子工業技術人力便覽에는 각 대학교, 연구소 및 산업체에서 전자공학 및 인접학문 분야의 전문직에 참여하시는 분들의 기술인력을 조사, 수록하였습니다. 電子工業技術人力便覽이 여러분에게 많은 도움이 되리라고 생각합니다.

* 이에 대한 자세한 문의는 학회 사무국(568-7800, 568-7489)으로 연락하여 주시기 바랍니다.