

강우감쇠의 영향 분석을 위한 국내 각 지역의 강우강도 분포

正會員 이 형 수*, 신 철 호*

Rainfall-Intensity Distribution for an Analysis of the Effects of Rain Attenuation

Hyung-Soo Lee*, Cheol-Ho Shin* *Regular Members*

요 약

20GHz 이상의 주파수대에서 대기중 감쇠에 있어서 고려해야 할 인자로는 대기분자, 강우, 강설, 안개 등이 있으며 이 중 가장 큰 영향은 강우에 의한 감쇠이다. 강우로 인한 감쇠는 강우강도에 의해서 그 감쇠정도가 결정되고, 강우강도는 공간적 시간적으로 변동이 매우 다양하다. 따라서 강우강도에 의한 시간적 공간적 데이터의 확보와 정확한 강우강도의 추정은 정확하고 신뢰성 있는 회선설계를 위하여 필수적이다.

본 연구에서는 제주도를 제외한 남한전역의 32개 측후소로부터 얻을 수 있는 최근 10여년 간의 디지털 강우강도 데이터를 확보하여 지역별 강우강도와 시간율의 관계를 경험적으로 분석하였으며, 강우강도의 분포를 추정하기 위한 여러 가지 방법론을 비교 분석하였고 한국실정에 맞는 방법론을 제시하였다.

ABSTRACT

In general, attenuation at frequencies over 20GHz is mainly due to absorption by atmospheric gases, rain, and snow. Among this factors rain become an important limiting factor. Rain attenuation is highly influenced by rainfall-intensity and it varies over time and space. Thus it is required to obtain spatial and temporal data of rainfall-intensity for precise prediction of rainfall attenuation.

In this paper, rainfall intensity of thirty-two measurement sites in South Korea excluding Jeju Islands over recent ten years is obtained and the regional relation between rainfall-intensity and percent of time is analyzed. Also we present the new method about rainfall-intensity cumulative distribution.

*한국전자통신연구원 책임연구원
論文番號:97063-0221
接受日字:1997年 2月 21日

I. 서론

20 GHz 이상의 주파수대에서 대기중 감쇠에 있어서 고려해야 할 인자로는 대기분자, 강우, 강설, 안개 등이 있다[1]. 이중 대기분자의 주된 성분은 산소와 수증기이다. 수증기 분자는 전기 쌍극자 모멘트를 가지며 산소분자는 자기 쌍극자 모멘트를 가지므로 입사 전파의 주파수가 이들 쌍극자의 고유 주파수에 일치하면 분자의 공진 현상이 일어나서 전파 에너지의 일부가 이들 분자에 흡수됨으로 감쇠가 일어난다. 이들 흡수는 주변의 압력과 온도 등에 의해 영향을 받으며 주어진 고도에서 장소와 시간에 따라 최대 2배 까지 변화한다.

산소와 수증기의 감쇠특성에 대해서는 미국 상무성산하의 통신과학연구소(ITS)에서 계통적인 연구가 행해져 왔다. 그 결과가 감쇠커브 또는 계산법 형태로 ITU-R [2]에 정리되어 있는데 그림 1과 같다(기압 1013hPa, 기온 20C, 수증기밀도 7.5g/m³인 경우).

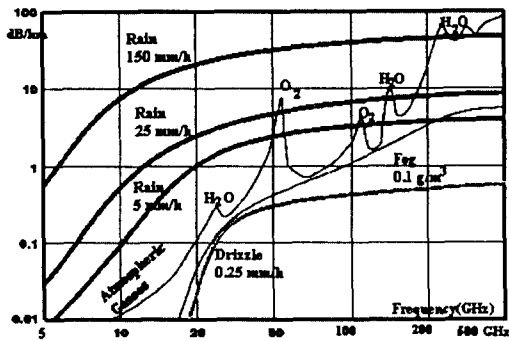


그림 1. 대기분자와 강우에 의한 감쇠
Fig. 1. Attenuation due to atmospheric gases and Liquid hydrometeors

밀리파대에서는 산소에 의해 감쇠가 심한 흡수선이 60GHz 부근과 119GHz에 있다. 수증기에 의한 흡수선은 밀리파대 부근에서는 22.2GHz, 183.3GHz, 323GHz에 있으며 수증기에 의한 감쇠는 수증기 밀도의 증가와 함께 커진다. 최근 산소의 흡수대에 위치하는 60GHz대 (16dB/km)에서, 자동차용 레이더 및 밀리파 구내통신시스템의 연구개발이 진행되고 있는

데, 이는 심한 흡수감쇠를 이용하므로 100m 이내 근거리용 시스템에서는 대기분자에 의한 감쇠의 영향은 거의 문제가 되지 않지만, 역으로 타 시스템과의 간섭은 발생되기 어렵다는 특징을 이용하는 것이다.

20GHz이상 대역에서는 강우에 의한 흡수와 산란으로 인해 주파수와 강우강도에 의해 그림 1과 같이 심한 감쇠를 받게 된다. 그리고 비에 의한 감쇠는 공간과 시간에 따라 매우 변화가 심하고 예측이 어려우나 그 성질상 확실적인 특성이 있기 때문에 지리적 위치, 기후, 지형, 계절, 강우율 등에 의해 통계적으로 관련된 랜덤 프로세스로 취급하여 해석하고 있다. 그러므로 20GHz이상 대역에서는 강한 강우에 의한 큰 감쇠는 주파수를 잘 선정한다 하더라도 피할 수 없는 문제이며 그 영향의 정도는 통계적으로 평가될 수 있다.

강설의 경우에는 광파는 큰 감쇠를 받는데 대해, 밀리파대에서 감쇠는 2, 3dB이며 안개의 경우는 광파에서 감쇠가 크지만, 밀리파대 전파는 거의 감쇠하지 않는 것으로 보고되고 있다[3]. 이상으로 부터, 20GHz 이상 대역에서 대기의 영향으로는 몇 개 주파수 대역을 제외하고는 주로 강우의 영향을 고려해도 좋을 수 있다.

본 논문은 20GHz 이상 대역에서의 강우감쇠와 강우강도의 관계를 분석한 후 강우감쇠 계산에 가장 기본적인 요소인 강우강도를 국내 측후소에서 측정된 강우 자료를 이용하여 강우량의 분포 특성과 시간별 강우강도 데이터를 제시하였으며 강우강도의 분포를 추정하기 위한 여러 가지 방법론을 비교 분석하였고 한국실정에 맞는 방법론을 제시하였다.

II. 강우감쇠와 강우강도의 관계

1. 강우감쇠 계산 방법

여러 가지 강우강도에 따른 주파수별 강우감쇠는 실험데이터에 의하면 강우가 전파경로상에서 동일한 형태로 가정할 경우, 강우감쇠량은 이론적, 경험적으로 강우감쇠계수와 전파경로 길이의 곱으로 나타내며, 강우감쇠계수 γ (dB/km)와 강우강도 R (mm/h)간의 관계는 $\gamma = a R^b$ 로 근사하는 것이 경험적으로 알려져 있다[4]. 여기서 a, b 는 주파수와 온도에 의존하는 파라미터이다.

ITU-R REC.838[5]에서는 무선통신망 설계시 간략

하게 수평편파, 수직편파 파라미터값에 기인하여 강우감쇠를 계산할 수 있는 수식을 다음과 같이 제시하고 있다.

단계 1.0. 01% 시간율동안 초과되는 강우강도 $R_{0.01}$ (mm/h) 데이터를 준비한다.

단계 2. 각 주파수, 편파, 강우율에 따른 단위 거리 (km)당 강우감쇠계수 γ (dB/km)를 표 1의 상수를 이용하여 아래의 식과 같이 계산한다.

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad (1)$$

여기서 k , α 는 주파수와 편파에 의존하는 계수로서 다음 식과 같다.

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta] \cdot \cos 2\tau / 2 \quad (2)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cdot \cos^2 \theta] \cdot \cos 2\tau / 2k \quad (3)$$

여기서 θ 는 경로상의 양각이고 τ 는 수평편파에 대한 상대각으로 수직편파인 경우 90° 이다.

표 1. 강우감쇠(dB/km)를 계산하기 위한 상수

Table 1. Regression coefficients for estimating rain attenuation

주파수 (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
10	0.0101	0.0088	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.2
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
40	0.350	0.310	0.939	0.929
50	0.536	0.479	0.873	0.868

단계 3. 실제 전송거리 d 에 대한 감쇠를 구하기 위해 유효 경로 길이 $d_{eff}(=d \cdot r)$ 를 구한다.

$$r = \frac{1}{1 + d/d_0} \quad (4)$$

여기서 $R_{0.01} \leq 100$ mm/h에 대해서는 $d_0 = 35 e^{-0.015 R_{0.01}}$ 이고 $R_{0.01} > 100$ mm/h에 대해서는 $R_{0.01}$ 대신에 100mm/h 값을 사용한다.

단계 4. 유효 경로 길이 $d_{eff}(=d \cdot r)$ 로 0.01% 시간율을 초과한 강우감쇠량을 추정한다.

$$A_{0.01} = \gamma_R d_{eff} = \gamma_R d \cdot r \quad (5)$$

단계 5. 위의 시간율 0.01%와 다른 시간율(0.001%와 1% 사이)에 대해서는 다음과 같은 함수를 이용하여 보정한다.

$$A_f / A_{0.01} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log_{10} p)} \quad (6)$$

단계 6. 동일한 중계구간과 기후에서 7~50GHz사이의 다른 주파수에 대한 감쇠는 경험에 의해 다음 식으로 평가할 수 있다.

$$A_2 = A_1 (\Phi_2 / \Phi_1)^{1 - H(\Phi_1, \Phi_2, A_1)} \quad (7)$$

$$\Phi(f) = \frac{f^2}{1 + 10^{-4} f^2} \quad (8)$$

$$H(\Phi_1, \Phi_2, A_1) = 1.12 \times 10^{-3} \cdot (\Phi_2 / \Phi_1)^{0.5} (\Phi_1 A_1)^{0.55} \quad (9)$$

여기서 A_1, A_2 는 주파수 f_1, f_2 (GHz)에서의 강우감쇠 값이다.

위의 식 (1)-(8)에서 볼 수 있듯이 0.01%의 강우강도 R (mm/h)값만 알면 거리별, 주파수별, 시간율별 강우감쇠 계산을 할 수 있다.

2. 계산식 검토

앞절의 식들은 측정에 의한 강우감쇠 데이터가 없을 때 강우강도 데이터만으로 전세계 대부분의 지역에서 간략하고 손쉽게 적용시킬 수 있다. 즉, 다양한 강우율 분포 및 넓은 주파수 대역에 대해 적용시킬 수 있는 근사식이다. 그러나 이 식들을 적용하더라도 2가지 문제점이 있을 수 있다. 첫째, 단계 1에서 각 지역별 강우강도 값이 준비되지 않은 나라를 위해서 ITU-R[6]에서는 넓은 지역(또는 국가)에 대한 중앙값(median)을 제시하고 있다. 이 데이터는 국제간의 주파수 간섭계산이나 위성지구국 조정영역계산시 근사

적으로 계산하는 용도로 제시[7]된 것으로 우리나라는 일본과 같은 K지역에 속하고 있다. 그러나 국내 각 지역에서의 강우량은 지역에 따라 많은 차이가 나므로, 지상 중계시스템이나 위성지구국설계시 각 지역에 따라 강우강도의 차이에 따른 회선 품질 마진에 많은 차이를 두게 되므로, 각 지역별로 강우강도 값을 측정된 데이터를 적용시켜야 정확한 회선 가동율이나 중단율 분석이 가능해진다.

둘째, 다양한 시간율에 대한 데이터가 없을 때 단계 5와 같이 0.01% 시간율을 기준으로 보정하는 식을 제시하고 있으나 시간율 0.01%때의 강우강도값이 두 지역에서 같을지라도 다른 시간율에서는 두 지역이 서로 다른 강우강도값을 가질 수 있기 때문에 측정에 의한 시간율 데이터가 있다면 그 데이터를 이용하는 것이 더 정확성을 기할 수 있을 것이다.

Ⅲ. 국내 강우량 특성 분석

강우량이란 어느 적분시간내에 지표의 수평면(또는 지표의 수평투영면)에 도달한 강우의 양을 말하며 물의 깊이로서 표시된다. 적분시간이 1분, 20분, 60분에 따라 1분 강우량(mm/min), 20분 강우량(mm/20min), 60분 강우량(mm/h)이라고 하고 있다.

본 연구에서는 강우강도를 구하기 위해 표 2와 같이 제주도를 제외한 8개도 32개 관측지점에서 과거 10년간('84~'93년)의 강우정보를 토대로 하였다. 이 강우정보는 적분시간 20분으로 측정되어 강우자기지에 수록되어 있었으므로 스캐너를 이용하여 디지털 정보로 변환한 후 문서인식기술을 이용하여 디지털 정보로 변환하였다.

이 정보를 이용하여 전체 측정기간에 대해 20분간격의 강우량을 구한다(비가 내리지 않는 20분간의 강우강도는 0으로 기록한다).

비는 일년중 수개월에 물리는 경향이 있는데 대체적으로 연중 7~8월에 내리는 강우량이 전체 강우량의 41~56% 정도이며 6~9월(4개월) 사이에 내리는 강우량이 전체의 76~86%에 달한다. 표 3은 5개 주요 도시지역에서 강우량 특성에 대해 나타내고 있다.

이러한 점을 감안할 때 강우로 인한 회선 단절 등의 가용율을 자주 이용하고 있으나[3][7], ITU-R에서는 회선 품질 목표로 연중 강우강도, 최악월의 데이

표 2. 강우자기자료 수집지역과 해당기간

Table 2. Regions and Period of used rainfall data

지역	연수	해당기간	지역	연수	해당기간
서울/경기			온양	10	84~93
서울	10	84~93	전라북도		
강화	10	84~93	전주	10	83~92
이천	8	84~86, 88~92	군산	10	84~93
강원도			전라남도		
춘천	10	84~93	광주	10	84~93
강릉	9	83~90, 92	목포	10	84~93
대관령	9	85~93	여수	10	84~93
동해	2	92~93	경상북도		
속초	6	87~92	대구	10	84~93
워주	7	84, 87~90, 92~93	안동	9	85~93
홍천	10	84~93	영덕	10	84~93
충청북도			의성	9	84~91, 93
청주	10	84~93	풍기	9	84~91, 93
계천	8	84~91	경상남도		
추풍령	10	84~93	부산	10	83~92
충청남도			거창	10	84~93
대전	9	84~86, 88~93	밀양	10	84~93
금산	9	84~92	울산	10	84~93
서산	10	84~93	진주	10	84~93

*각 지역의 강우자기자료는 4월~10월까지의 자료이며, 대관령지역만 5월~10월까지 자료임

터를 권고하고 있다[8]. 여기서 최악월이란 ITU-R REC.581-2에서 "The annual worst month for attenuation by rain is that month within a year that has the largest fraction of time during which the attenuation on a propagation path exceeds some threshold of interest"로 정의하고 있다.

그리고 강우강도(mm/h)의 정확한 측정을 위해서는 순간적으로 변하는 강우강도의 변화를 측정하여야 하지만 현실적인 한계에 의하여 일정한 시간간격을 두고 측정된 강우량을 토대로 강우강도를 추정하게 된다. 강우량의 시간간격이 좁을수록 보다 정확한 강우강도를 추정할 수가 있고 강우량의 측정시간 간격이 넓을수록 강우강도의 우측 꼬리 값을 과소 추정

표 3. 강우량 정보 분석

Table 3. analysis of rainfall accumulations

구분 지역	월평균강우량 (강우집중비율 :%)							최악월	최다우 4개월
	4	5	6	7	8	9	10		
서울	50.40 (4.4)	89.20 (7.8)	147.00 (12.88)	358.90 (31.45)	279.96 (24.53)	173.40 (15.19)	42.3 (3.7)	7	6, 7, 8, 9
서울	114.45 (9.54)	128.40 (10.7)	218.30 (18.2)	270.75 (22.57)	231.10 (19.27)	192.75 (16.07)	43.75 (3.65)	7	6, 7, 8, 9
대구	64.85 (7.57)	67.20 (7.84)	137.55 (16.05)	228.20 (26.63)	174.82 (22.82)	195.55 (15.14)	129.70 (3.95)	7	6, 7, 8, 9
광주	77.40 (6.75)	96.15 (8.38)	203.65 (17.75)	325.15 (28.34)	249.37 (21.73)	148.30 (12.93)	47.35 (4.13)	7	6, 7, 8, 9
대전	59.56 (6.62)	69.56 (7.73)	121.11 (13.56)	243.56 (27.06)	216.89 (24.09)	156.11 (17.34)	32.41 (3.60)	7	6, 7, 8, 9

하는 경향이 있는 것을 감안할 때 가능한 한 측정시간의 단위를 좁게 하는 것이 바람직하다. 표 4에서는 서울지역의 20분 간격에 의한 강우강도와 1시간간격에 의한 강우강도와 시간율의 관계를 추정할 것을 보여주고 있는데, 강우량의 측정시간 간격이 넓을수록 동일한 시간율에 대한 강우강도를 과소 추정하는 경향을 보여 주고 있다.

강우강도를 구하거나 추정하기 위하여 사용되는 강우량의 측정시간 간격을 ITU-R[5]에서는 1분 간격

표 4. 서울지역 20분 간격과 1시간 간격에 의한 강우강도의 비교

Table 4. Comparison of 20 minutes and 1 hour rainfall rate in seoul city

시간율(%)	연중	
	20분 간격	1시간 간격
0.5	5.810	6.660
0.2	12.961	12.322
0.1	19.857	17.852
0.05	29.416	22.694
0.02	41.509	35.599
0.01	50.871	41.733
0.005	58.425	46.308
0.001	80.055	59.308

으로 권장하고 있지만 현실적으로는 1분 간격의 수년 데이터를 확보하기란 어렵기 때문에 일본의 경우 10분 간격, 미국의 경우 5분 간격의 데이터를 확보하여 1분간의 데이터로 환산하는 방법을 택하기도 한다[9], [10], [11].

IV. 국내 강우강도 분석 및 분포함수 추정

1. 강우강도 추정 방법

현재 대부분의 나라에서 사용하고 있는 강우강도(mm/h)란 n분 강우량을 1시간당 양으로 환산한 것이다[12]. 예를 들면, ITU-R에서 정의한 적분시간이 1분인 강우강도(mm/h)란 1분 강우량을 60배한 것이다[9]. 그리고 시간율 p(%)에 해당하는 강우강도가 x_p (mm/h)라 하면 강우강도가 x_p (mm/h) 이상인 기간이 전체시간의 p(%)에 해당한다는 의미이다. 본 논문에서 사용된 데이터 수는 년중 강우강도를 분석하는 경우에 1시간당 3개, 하루당 72개, 한달당 2,160개, 12개월x10년으로 하면 259,200이 된다. 이 데이터들을 큰순서대로 정렬시켜 전체 데이터의 수에서 0.01% 번째 데이터를 취하면 이것이 $R_{0.01;20}$, 즉 "측정기간의 0.01% 시간율에 대한 20분간 강우강도"가 되며 이를 ITU-R에서 권고하고 있는 mm/h로 환산한 $R_{0.01}$ 로 변환하기 위해서는 $R_{0.01;20}$ 에 3을 곱하면 된다.

강우강도와 시간율과의 관계를 구하기 위하여 어

떠한 종류나 형태의 강우강도를 이용할 것인가의 선택은 현실적으로 두가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 연중 강우강도와 시간율의 관계를 구한 다음 특정 시간율에 해당하는 수년의 강우강도를 이용하여 평균(또는 중앙)적인 강우강도를 구하는 방법으로 특정 연도에 국한되어 집중적인 강우가 내린 특이적인 경우의 강우강도를 제거하는 효과가 있다. 두 번째 방법은 수년에 걸쳐 누적된 강우강도를 토대로 강우강도와 시간율의 관계를 구하는 방법으로 단지 1년이라는 시간동안의 기준이 아닌 수개년의 관찰기간 동안의 특정 시간율에 해당하는 강우강도를 추정하는 방법이다. 본 논문에서는 년중 강우강도는 특정 연도의 극단적인 양상도 수용할 수 있으므로 장기적인 시스템 신뢰를 확보를 위한 추정에는 보다 더 이상적이므로 이 방법을 사용하였으며 최악월의 강우강도를 구할 때는 각 연도의 최악월 강우강도를 구한 후 10년간 데이터중 중앙치를 택하는 전자의 방법을 택하고 있다[6], [12].

시간율에 대한 강우강도를 추정하기 위해서는 강우강도의 누적분포함수를 추정하여야 하는데 크게 경험적 누적분포함수 자체를 이용하는 방법과 경험적 누적분포함수를 이론적 누적분포함수에 근사시키는 방법을 생각할 수가 있다. 전자의 방법은 표본의 크기가 매우 크고 정확한 분포함수의 형태를 추정할 필요가 있는 경우에 적용할 수가 있는 방법이고 후자의 방법은 표본의 크기가 적거나 이론적인 분포함수를 유도할 필요가 있을 경우에 적용시킬 수가 있다.

2. 경험적 누적 분포에 의한 강우강도

본 논문에서는 최악월의 시간율과 강우강도의 관계를 분석하는 경우에도 표본의 크기가 21,500개 이상이라는 사실과 특정 시간율에 대한 정확한 강우강도의 추정을 위해 경험적 누적분포함수 자체를 이용하여 표 5와 같이 5개 지역의 최근 10년의 시간율에 따른 강우강도값과 전국 32개 지역의 10년의 시간율에 따른 연중 강우강도값의 중앙(median)값을 구하여 ITU-R의 연중 국내 중앙치값을 비교하였다.

이 표에서 볼수 있듯이 강우강도는 지역별로 상당한 편차를 보이고 있다. 즉 광주지역은 전국 중앙치보다도 큰 값을 보이고 있으며 대구지역은 상당히 적은 값을 보이고 있다.

3. 이론적 누적분포함수

경험적인 분포로 더 정확한 값을 반영한다고는 하나 경우에 따라서는 강우감쇠의 합수적인 예측을 위해서 근사적인 이론적 누적분포함수를 구하는 것이 요구될 수도 있으므로 경험적 분포함수를 근사시키는 분포함수를 실증적으로 비교하여 한국적인 분포함수를 제시하고자 한다.

일정한 기간동안에 강우강도 X 가 특정한 강우강도 x_0 (mm/h) 이상일 확률을 $P(X \geq x_0)$ 라고 하고, 일정한 기간 S 는 특정한 기간 A 와 그의 여집합인 A^c 로 이루어진다. 이 때 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

표 5. 주요 도시의 경험적 누적 분포에 의한 강우강도
Table 5. Rain rate due to empirical distribution in large cities

(단위mm/h)

지역 시간율 (%)	서울		부산		대구		광주		대전		비고	
	연중	최악 월	연중	최악 월	연중	최악 월	연중	최악 월	연중	최악 월	국내 중앙값	ITU-R K지역
0.2	12.9	25.6	12.2	23.9	8.6	15.4	12.1	23.9	11.3	23.2	10.6	
0.1	19.8	35.2	18.0	35.6	12.8	22.8	20.0	34.5	18.6	30.6	15.7	12
0.05	29.4	45.4	28.5	43.9	17.8	29.6	28.0	47.3	26.0	41.8	22.7	
0.01	50.8	66.1	50.9	67.8	32.6	39.9	56.8	80.8	46.1	67.1	43.7	42
0.005	58.4	75.3	59.6	81.3	38.2	48.2	74.5	94.2	58.6	75.2	53.3	
0.001	80.0	98.7	84.5	94.6	45.5	52.3	99.5	105.7	75.5	95.1	67.7	100

$$\begin{aligned}
 P(X \geq x_0) &= P(X \geq x_0, S) \\
 &= P(X \geq x_0, A) + P(X \geq x_0, A^c) \quad (10) \\
 &= P(X \geq x_0|A)P(A) + P(X \geq x_0|A^c)P(A^c)
 \end{aligned}$$

이는 일정한 기간동안 강우강도가 x_0 이상인 시간율은 특정한 기간 A 동안에 강우강도가 x_0 이상인 확률 ($P(X \geq x_0|A)$)과 특정한 기간이 전체의 기간에서 차지하는 비율 ($P(A)$)의 곱에 기간 A^c 동안에 강우강도가 x_0 이상인 확률 ($P(X \geq x_0|A^c)$)과 그 기간 A^c 가 전체의 기간에서 차지하는 비율 ($P(A^c)$)의 곱을 더한 것과 같다는 의미이다. 예를 들어, 최다우 4개월 동안에 강우강도가 x_0 이상인 시간율은 4개월 동안의 비가 온 비율 ($P(A)$)과 비가 왔을 때 강우강도가 x_0 이상인 비율 ($P(X \geq x_0|A)$)의 곱과 4개월 동안의 비가 오지 않는 비율 ($P(A^c) = 1 - P(A)$)과 비가 오지 않을 때 강우강도가 x_0 이상인 비율 ($P(X \geq x_0|A^c)$)의 곱을 더한 것이다. 그런데 비가 오지 않을 때 강우강도가 $x(> 0)$ 이상인 경우는 없으므로 명백히 $P(X \geq x_0|A^c) = 0$ 이므로 $P(X \geq x_0) = P(X \geq x_0|A)P(A)$ 가 됨을 알 수 있다. 따라서 강우강도와 시간율의 관계를 구하기 위한 방법은 두가지인데, 첫 번째는 $P(X \geq x_0)$ 를 직접적으로 이용하는 방법이고 두 번째는 $P(X \geq x_0|A)P(A)$ 를 이용하는 방법이 있다.

강우강도의 근사적 확률밀도함수로는 여러 가지 [13]가 있으나 가장 대표적인 감마분포, 대수정규분포에 대해 분석하였다. 감마분포를 이용하기 위해서는 확률변수가 0인 경우의 밀도함수는 존재하지만 그 확률은 0이고, 대수정규분포를 이용하기 위해서는 확률변수가 반드시 0보다 커야 되기 때문에 현실적으로 두번째의 방법만을 적용할 수가 있다. 그리고 특정한 기간 A 동안의 강우강도의 확률밀도함수 $f(x|A)$ 라고

할 때 일반적인 식과 파라미터는 표 6과 같으며 식 (11)과 같이 표시한다.

$$\begin{aligned}
 P(X \geq x_0|A) &= \int_{x_0}^{\infty} f(x|A) dx \\
 &= 1 - \int_0^{x_0} f(x|A) dx \quad (11)
 \end{aligned}$$

표 7은 5개 주요 도시의 10년간 지역별 비가 온 비율 (강우시간율: $P(A)$)을 제시하고 있으며 비가 왔을 때 강우강도의 평균과 분산을 추정한 값을 나타내고 있

표 7. 주요 도시별 강우 특성 추정

지역	연중 강우 시간율(%)	연중 평균 $E(X)$	연중 분산 $Var(X)$
서울	2.55	5.10	54.82
대전	2.04	5.03	50.40
광주	2.53	5.17	62.03
대구	2.40	4.07	22.30
부산	2.59	5.28	52.58

표 8. 분포함수의 파라미터 추정

Table 8. prediction about parameters of distribution

지역	감마분포		대수정규분포	
	α	β	$E(\log_e X)$	$Var(\log_e X)$
서울	0.4749	0.0931	1.1448	0.7503
대전	0.5013	0.0997	1.1560	0.7231
광주	0.4314	0.0834	1.1624	0.7361
대구	0.7412	0.1823	1.0542	0.5593
부산	0.5301	0.1004	1.2229	0.7077

표 6. 강우강도(X)의 확률밀도함수 $f(x|A)$

Table 6. Cumulative distribution functions of Rainfall rate

종류	$f(x A)$	평균·분산
감마분포 Gamma(α, β)	$\frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, 0 < x < \infty$	$E(X) = \frac{\alpha}{\beta}$ $Var(X) = \frac{\alpha}{\beta^2}$
대수정규분포 L-N(μ, σ^2)	$\frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log_e x - \mu}{\sigma}\right)^2}, 0 < x < \infty$	$\mu = E(\log_e X)$ $\sigma^2 = Var(\log_e X)$

다. 그리고 이를 바탕으로 표 6에서의 감마분포와 대수정규분포의 평균과 분산에 등치시켜서 해당 파라미터를 추정한 결과값이 표 8과 같이 감마분포의 파라미터인 α 와 β 값과 대수정규분포의 파라미터인 μ 와 σ^2 값으로 계산되고 있다.

이러한 파라미터를 이용하여 서울지역의 연중 강우강도와 시간율의 경험적 관계와 함수적 관계에 대해 추정한 결과 비교를 그림 2와 표 9에 나타내고 있다.

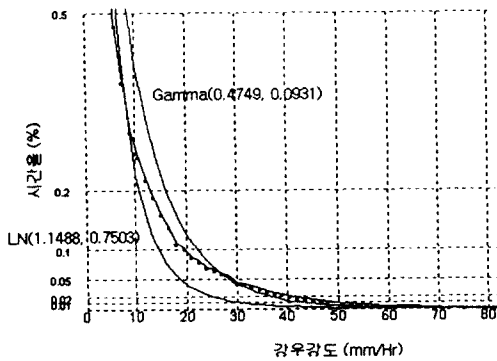


그림 2. 서울지역의 강우강도 분포함수들간의 비교
Fig 2. Comparison of cumulative distributions in Seoul city

표 9. 서울지역의 강우강도 분포함수들간의 비교 표
Table 9. Comparison table of cumulative distributions in seoul region

구분 시간율(%)	경험적 분포	감마분포	대수정규분포
0.5	5.810	8.513	6.595
0.2	12.961	16.024	10.712
0.1	19.857	22.143	14.432
0.05	29.416	28.496	18.747
0.02	41.509	37.140	25.479
0.01	50.871	43.814	31.438
0.005	58.425	50.576	38.224
0.001	80.055	66.527	57.623

연중 강우강도와 시간율의 관계를 위한 강우강도의 경험적 누적분포함수(그림 3의 실선 부분)를 근사시키는 분포함수로는 일반적으로 남한 전역에서 시

간율이 0.1%보다 클때는 대수정규분포가 더 근사화되며 시간율이 0.1%보다 적을 때는 감마분포가 적절하다는 것을 발견할 수 있었다. 이는 대수정규분포가 큰 시간율에서 더 근사적이며, 감마분포가 작은 시간율에서 보다 근사적이라는 종래의 일반적인 연구[12], [13], [14]와 같은 결과를 얻을 수 있었으나, 최다우 4개월이나 최악월일때는 그 결과가 다소 다른 차이를 보이는 것으로 제시되었다[15].

4. 전국 강우강도 등고선

주요한 시간율에 해당하는 강우강도를 등고선 형태로 표현할 수가 있는데 그림 3은 시간율 0.01%에 해당하는 연중 강우강도의 등고선 그림을 나타내고 있다. 강우강도의 등고선 그림에는 MathSoft사의 S-PLUS Version 3.2에서 제공하고 있는 interp 함수와 contour 함수를 사용하였다.

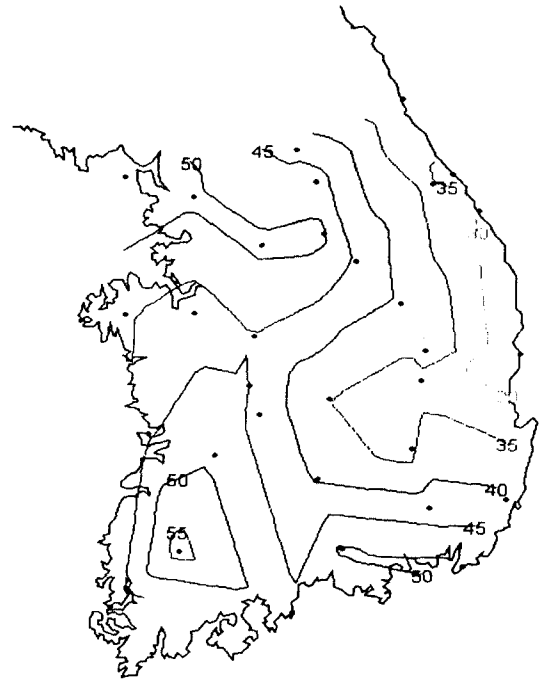


그림 3. 국내 지역별 강우강도 등고선(0.01% 시간율)
Fig 3. Map about a rainfall rate exceeded 0.01% of the time in Korea

V. 결 론

강우강도에 의한 시간적, 공간적 데이터의 확보를 토대로 한 강우강도와 시간율의 관계에 대한 신뢰성 있는 분석은 강우로 인한 감쇠의 정확한 예측과 이를 고려한 회선설계를 위해서는 필수적이다. 본 연구에서는 최근 10년의 강우강도의 경험적 누적분포함수를 전국 32개 지역의 강우강도와 시간율의 관계를 구하였고 본 논문에서는 이중 5개 도시의 강우강도와 시간율의 관계를 제시하였다. ITU-R에서 제시하고 있는 연중 강우강도 지역도를 보면 우리 나라 전역을 K지역으로 단일 구분하고 있으며 시간율 0.01%에 해당하는 강우강도가 42(mm/h)라고 모두 동일하게 추정하고 있는 점을 감안할 때 본 논문에서 제시한 각 지역별 시간율에 따른 강우강도는 그 유용성이 크다고 볼 수 있다.

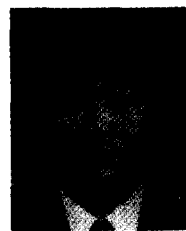
경험적인 강우강도의 분포함수를 근사시키는 함수로는 연중 강우강도인 경우, 0.1% 이상 시간율에서는 대수정규분포가 더 근사하며, 0.1% 이하 시간율에서는 감마분포가 적절하다는 것을 알 수 있었다. 이 강우강도 값을 기준으로 20GHz 이상의 주파수 대역에서 무선시스템 중계거리 산정시, 불가동 시간율 목표치에 따른 주파수별 최적 경로길이를 정확하게 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 좀 더 정확하고 순간적인 강우강도의 예측을 위해 앞으로 1분간의 강우량에 대한 강우강도 분포 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. A.A.R. Townsend, Digital Line-of-sight Radio Links: A Handbook, Prentice Hall, 1992.
2. ITU-R, "Attenuation by atmospheric gases in the frequency range 1-350 GHz", Rec. 676-1, 1994.
3. 일본무선설비검사검정협회, B-ISDN 대응 밀리파 이용기술에 관한 조사연구 보고서, Mar., 1995.
4. R.L. Olsen, et al., "The aR^b relation in the calculation of rain attenuation," IEEE Trans. Antenna and Propagation, AP-26, pp. 318-329, 1978.
5. ITU-R, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", Rec. 838, 1994.

6. ITU-R, "Characteristics of precipitation for propagation modelling", Rec. 837-1, 1994.
7. ITU-R, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-line-of sight systems", Rec. 530-5, 1994.
8. 이형수, 김혁제, 신동근, "20 GHz 이상 대역에서의 국내 고정 무선중계시스템의 최적 경로길이 설계", 전자과학회논문지, Vol. 7, No3, 8, 1996.
9. 細失良雄, "일본 각지의 1분 우량분포의 추정법", 일본 전자정보통신학회논문지 B, Vol. J71-B, pp. 256-262, Feb.1988.
10. S.H.Lin, "More on Rain Rate Distributions and Extreme Value Statistics", B.S.T.J. Vol. 57, No. 5, pp. 1545-1568, Oct. 1977.
11. B.segal, "The influence of rain gauge integration time on measured Rainfall-intensity distribution function", Atmospheric and Oceanic Tech. Vol. 3, pp. 662-671, Dec. 1986.
12. CCIR, "Radiometeorological data", CCIR Vol. V, Report 563-4, pp. 103-146, 1990.
13. R.K.Crane, Electromagnetic wave propagation through rain, John Wiley & Sons Inc., 1996.
14. 양준규, 신창윤, 강영홍, "국내 위성회선에 미치는 강우감쇠의 영향분석", 한국통신학회논문지, Vol. 20, No. 10, pp. 2927-2937, Oct. 1995.
15. 유성모, 엄익현, 이형수, "무선회선설계에서 강우 감쇠의 영향분석을 위한 강우강도와 시간율의 관계 분석", JCCI-97, pp. 772-776, 2. 1997.



이 형 수(Hyung-Soo Lee) 정회원
 1980년: 경북대학교 전자공학과 학사
 1985년: 연세대학교 전자계산학과 석사
 1995년: 성균관대학교 정보공학과 박사
 1983년~현재: 한국전자통신연구

원 책임연구원

※주관심분야: 전파전파특성, 스펙트럼 관리기술, 무선망 설계



신 철 호(Cheol-Ho Shin) 정회원

1971년 5월 27일생

1994년 2월: 전남대학교 전자공
학과 졸업(공학사)

1996년 2월: 전남대학교 대학원
전자공학과 졸업(공
학석사)

1996년 2월~현재: 한국전자통신
연구원 연구원

※주관심분야: 이동통신 및 전파전파 특성 등