

# Ka대역 위성방송 신호의 강우강도에 따른 전송기법

\*윤기창    \*\*김승철    \*손원

\*경희대학교

\*\*한국전자통신연구원

## Transmission Schemes for Ka band Satellite Broadcasting Signals by Rainfall Rate

\*Yoon, Ki-Chang    \*\*Kim, Seung-Chul    \*Sohn, Won

\*Kyung Hee University

\*\*ETRI

### 요약

이 연구는 Ka대역 위성 HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 강우강도에 따른 전송방안을 제안하였다. Ka대역은 Ku대역에 비하여 강우에 취약하기 때문에 이를 안정적으로 활용하기 위해서는 강우감쇠를 효과적으로 경감시키는 기술개발이 필수적이다. 유럽위성방송 표준인 DVB-S2에서는 강우감쇠에 대한 대처방안으로 채널상황에 따라 여러 변조방식과 채널 부호율을 이용하는 적응형 변복조 방식을 지원하고 있으며, 이 논문에서는 DVB-S2기반의 전송방식과 Ka대역 중계기의 규격을 적용하여 강우강도에 따른 전송방안을 제안하였다. 이를 위하여 ITU-R P.618-9 강우감쇠 추정 모델과 기상청에서 측정된 1998년부터 2007년까지의 최근 10년간 국내 주요지역의 30분 누적강우량을 이용하여 지역별 강우 감쇠값을 도출하였고 강우강도와 시간 율 관계분석을 통하여 강우강도에 따른 강우감쇠 값을 획득하였다. 획득한 강우감쇠 값을 무궁화 위성 3호의 링크설계에 적용하여 강우강도에 따른 적용 가능한 전송방안을 도출하였다.

이 연구를 바탕으로 강우의 지역적 편이가 높은 우리나라의 강우 특성을 유연하게 반영하여 각 지역에 맞는 적응적인 전송방식을 고려할 수 있다.

## I. 서론

현재 C대역 및 Ku대역의 위성주파수 사용이 전 세계적으로 포화 상태에 이르고 초고속 정보 전송을 위한 넓은 주파수 대역이 필요하게 됨에 따라 새로운 주파수 자원인 Ka대역이 주목받고 있다. 현재 Ka대역 중계기를 탑재한 위성은 DirecTV, N-Star, HOT BIRD 6, DFS Kopernikus, Italsat 등이 있으며 전 세계적으로 Ka대역 중계기를 탑재한 위성이 증가하는 추세에 있다. 우리나라에서도 현재 운용 중인 20GHz 대역의 무궁화 위성 3호[1]와 2009년 11월에 발사 될 통신해양 기상위성[2]등이 있다.

그러나 Ka대역(20GHz대역)은 기존 Ku대역(12GHz대역)보다 강우로 인한 신호 감쇠에 매우 민감하다는 문제점이 있어 동일한 전송규격을 사용할 경우 훨씬 열악한 서비스 가용도를 감수하여야 하는 문제점이 생긴다. 현재 이러한 신호감쇠를 보상하는 방안으로 다이버시티 기법, 적응형 변복조, Spot beam 등을 이용한 연구가 진행되고 있으며 이 논문에서는 적응형 변복조 방식을 이용한 강우감쇠 경감방안을 제안하였다.

강우강도는 주파수와 더불어 강우감쇠를 결정짓는 주요 파라미터 중 하나이다. ITU-R P.837-1[3]에서는 1994년 우리나라를 K지역으로 분류하여 시간율 0.01%에 대한 강우강도를 42mm/h로 권고하였고, 2007년 ITU-R P.837-5[4]에서 50mm/h로 상향조정하였으나 우리나라의 강우 특성이 지역적 및 시간적인 편차가 매우 높게 나타나기 때

문에 이를 제대로 반영하지 못한다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기상청에서 측정된 지역별 30분 누적 강우량을 이용하여 국내 Ka대역 위성 신호의 강우로 인한 감쇠량을 분석하여 강우강도의 분포에 따른 신호감쇠를 적응적인 변복조 방식을 이용하여 효율적으로 경감시키는 방안을 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내 강우강도의 분포 및 강우감쇠 값을 분석하였고, 3장에서는 Ka대역 위성링크설계를 수행하였다. 4장에서는 강우강도에 따라 적용 가능한 전송방식을 제안하였고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 강우강도 및 강우감쇠

### 1. 강우강도와 시간 율

강우강도(Rainfall rate)는 측정시간 동안 내린 강수량을 시간 단위(60분)로 환산하여 나타내며 강우의 세기(intensity)를 나타내는 파라미터이다. 강우량은 일정 시간동안 내린 비의 양으로 강우강도와 정의가 같으나, 추정이 아닌 측정치로 이용된다는 점에서 차이가 있다.

시간 율(Time percentage)은 총 측정시간 중 해당 강우강도를 초과하는 시간의 합을 백분율(%)로 나타내는데, 강우강도( $R$ )와 시간 율( $p$  %)의 관계에 있어서는 강우강도( $R$  mm/h)를 초과하는 시간이 전

체 측정 기간의  $p$  %에 해당한다는 의미이다. 이와 같은 관계를 통해 특정 지역의 총 측정 시간에 대한 강우강도가 주어지면 이를 크기순으로 나열한 후, 시간 을  $p$  %에 대한 지점을 찾아 강우 강도 값을 획득하게 된다.

## 2. 우리나라 강우의 특성

1998년부터 2007년까지의 최근 10년간 국내 주요 6개 지역의 평균 강우시간은 약 5854.2 시간이며, 0.1 mm/h 이상의 강우가 올 확률은 약 6.7 %로 분석되었다. 광주 지역이 약 7.1 %의 확률로 강우 발생 확률이 가장 높으며 대구 지역이 약 6.0 %의 최저 강우확률을 갖는다. 우리나라의 강우확률( $P(B)$ )과 강우 시 강우강도의 분포 확률( $P(A|B)$ )은 (표 1)과 같으며, 대부분의 강우강도는 약 87.1 %의 확률로 5 mm/h 이하이며, 약 94.4 %의 확률로 강우강도가 10 mm/h이하로 관측된다.

표 1. 우리나라의 강우확률 및 강우강도의 분포[%]

| 지역 | 강우 확률 [ $P(B)$ : %] | 강우강도 [mm/h] |      |       |       |       |       |
|----|---------------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|
|    |                     | 5 이하        | 5~10 | 10~15 | 15~20 | 20~30 | 30 이상 |
| 서울 | 6.40                | 86.04       | 7.69 | 2.66  | 1.11  | 1.09  | 1.43  |
| 광주 | 7.08                | 87.69       | 6.61 | 2.93  | 0.95  | 0.92  | 0.90  |
| 대구 | 6.02                | 88.75       | 7.13 | 2.45  | 0.65  | 0.53  | 0.49  |
| 대전 | 6.93                | 87.34       | 6.92 | 2.92  | 1.07  | 1.04  | 0.71  |
| 부산 | 6.93                | 84.82       | 8.30 | 3.05  | 1.63  | 1.37  | 0.84  |
| 울산 | 6.73                | 87.81       | 7.51 | 2.44  | 1.03  | 0.63  | 0.58  |

## 3. 분 강우강도 획득 절차

ITU-R P.618-9[5]는 강우감쇠 추정에 사용되는 강우강도에 대해 장기간 측정 기간(3~7년)과 1분의 측정 간격을 권고하고 있다. 장기간 측정에 대한 권고사항은 기상청이 1961년부터 현재까지의 강우데이터를 보유하고 있어 충족되나, 1분의 측정 간격에 관한 사항은 국내 대부분 관측 장비의 최소 시간단위가 10분이기 때문에 충족시키지 못하는 문제가 있다. 따라서 여러 누적시간으로 측정된 강우강도를 분 단위의 강우강도로 변환하여야 한다.

강우강도를 타 누적시간으로부터 1 분 단위 누적시간으로 변환하기 위해서, ITU-R P.837-5에서 사용하는 (식 1)을 이용하였다.

$$R_1(p) = a[R_r(p)]^b \quad (\text{mm/h}) \quad (1)$$

여기서,  $R_1(p)$ ,  $R_r(p)$ 는 각각 시간 을  $p$  %를 초과하는 1 분 누적 강우강도와  $\tau$ 분 누적 강우강도이며,  $a, b$ 는 지역적 특성을 반영하는 회귀 계수(Regression coefficients)로서 (표 2)와 같은 값이 제안되었다.

표 2. 제안된 분 강우강도 변환 모델의 회귀계수 값

| Integration Time [Min] | ITU-R P.837-5 |       | L.D.Emiliani [6] |       | TTA [7] |       |
|------------------------|---------------|-------|------------------|-------|---------|-------|
|                        | a             | b     | a                | b     | a       | b     |
| 5 to 1                 | 0.986         | 1.038 | 0.924            | 1.044 | 1.024   | 1.027 |
| 10 to 1                | 0.919         | 1.088 | 0.829            | 1.097 | 0.939   | 1.078 |
| 20 to 1                | 0.680         | 1.189 | 0.736            | 1.169 | 0.780   | 1.149 |
| 30 to 1                | 0.564         | 1.288 | 0.583            | 1.265 | 0.723   | 1.162 |
| 60 to 1                | -             | -     | 0.509            | 1.394 | -       | -     |

## 4. 강우감쇠 분석

3 절에서 획득한 국내 강우강도 값을 ITU-R 618-9 모델에 적용하여 지역별 시간 을 따른 강우감쇠 값을 (그림 1)에 나타내었다. (그림 1)에서 알 수 있듯이 모든 시간 을 영역에서 서울과 울산지역이 각각 강우감쇠 최대와 최저지역으로 나타났다. 서울지역의 시간 을 0.01 %에 대한 강우감쇠 값은 45.5 dB로 울산 지역의 동일 시간 을에 대한 강우감쇠 값인 22.4 dB에 비해 약 23.1 dB정도의 큰 차이를 보인다.

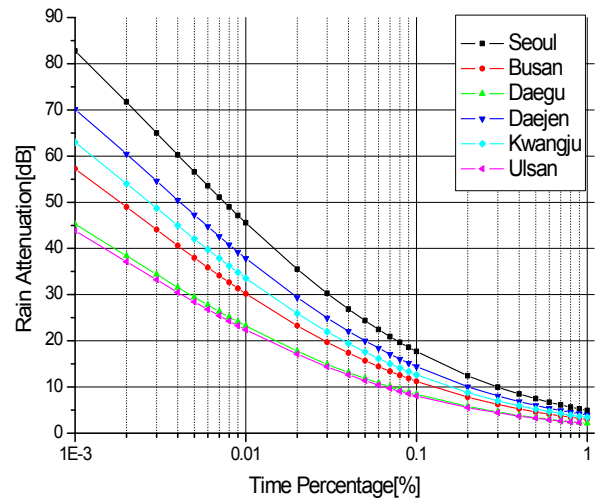


그림 1. 최근 10년간 시간 을에 따른 지역별 강우감쇠(TTA 계수값 적용)

## III. 위성 링크 설계

### 1. 링크설계 파라미터

#### 가. 안테나 이득(Antenna Gain)

수신 안테나 이득은 안테나의 직경(0.45 m)과 효율(65 %) 및 주파수(21.195 GHz)의 함수로 약 38.04 dB를 적용하였다.

#### 나. 자유 공간 손실(Free Space Loss)

지구국위치(서울 : 126E, 52N)와 위성체 궤도(126E, 37N)간 거리(37,356 km)의 함수로 약 210.33 dB를 적용하였다.

#### 다. 실효 방사 전력(EIRP)

실효방사전력(EIRP)은 위성 송신전력을 표현하는데 일반적으로

사용되는 것으로 60 dBW를 적용하였다.

### 라. 잡음 전력(Noise Power)

잡음 전력은 절대온도(213.1 K), 대역폭(36 MHz) 및 roll-off factor(0.2)으로 표현되며 약 -130.54 dB를 적용하였다.

### 마. 강우감쇠(Rain Attenuation)

강우감쇠 값은 TTA에서 제안한 분 강우강도 변환계수 값을 이용하여 국내 지역별 강우감쇠 값을 추정하였고, 링크 설계 시에는 링크가 용도 99.7%에 해당하는 서울지역의 강우감쇠 값(-7.25 dB)을 적용하였다.

## 2. 요구 캐리어 대 잡음 비 (Required C/N)

(표 3)은 유럽 위성방송 표준인 DVB-S2[8]에서 정의된 비디오 신호의 요구  $E_s/N_0$  값이다. 이  $E_s/N_0$  값은 표준 프레임(64,800bit)을 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널로 전송 시 수신 신호의 오류가 거의 발생하지 않는 QEF(Quasi Error Free)를 만족하는 경우로 계산된 값이다.

표 3. DVB-S2 Performance at QEF PER =  $10^{-7}$

| MODCOD     | Ideal $E_s/N_0$ (dB) in AWGN |
|------------|------------------------------|
| QPSK 1/4   | -2.35                        |
| QPSK 3/4   | 4.03                         |
| QPSK 9/10  | 6.42                         |
| 8PSK 3/5   | 5.50                         |
| 8PSK 2/3   | 6.62                         |
| 8PSK 3/4   | 7.91                         |
| 16APSK 2/3 | 8.97                         |
| 16APSK 3/4 | 10.21                        |

수신 신호의 성능분석을 위하여 요구  $E_s/N_0$  값을 (식 2)를 이용하여 요구  $C/N$  값으로 변환하였다.

$$C/N = E_s/N_0 + 10\log(f_s/B) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

여기서,  $f_s$ 는 심볼 율(Symbols/sec)이고,  $B$ 는 대역폭(Hz)이다. 심볼 율과 대역폭은 (식 3)과 같은 관계에 있기 때문에  $C/N$  값은  $E_s/N_0$ 와 roll-off factor( $\alpha$ )에 의해 결정된다.

$$f_s = B/(1 + \alpha) \quad (3)$$

(식 2)와 (식 3)을 이용하여 QEF를 만족하는 요구  $C/N$  값을 (표 4)에 도출하였다.

표 4. Required C/N at QEF PER =  $10^{-7}$  (AWGN channel)

| MODCOD   | 요구 $C/N$ (dB) |                   |                   |
|----------|---------------|-------------------|-------------------|
|          | $\alpha=0.2$  | $\alpha=0.2$<br>5 | $\alpha=0.3$<br>5 |
| QPSK 1/4 | -3.14         | -3.32             | -3.65             |

|            |      |      |      |
|------------|------|------|------|
| QPSK 3/4   | 3.24 | 3.06 | 2.73 |
| QPSK 9/10  | 5.63 | 5.45 | 5.12 |
| 8PSK 3/5   | 4.71 | 4.53 | 4.20 |
| 8PSK 2/3   | 5.82 | 5.65 | 5.32 |
| 8PSK 3/4   | 7.12 | 6.94 | 6.61 |
| 16APSK 2/3 | 8.18 | 8.00 | 7.67 |
| 16APSK 3/4 | 9.42 | 9.24 | 8.91 |

## 3. Ka대역 위성 링크 설계

Ka대역 증계기를 가상적으로 설정하여 (표 5)에 링크 버짓을 나타내었다. 여기서 전송방식은 DVB-S2기반을 가정하였다.

표 5. The Link Budget of Ka band

| Downlink (21.195GHz)               | Clear Sky | Rain    | Units   |
|------------------------------------|-----------|---------|---------|
| Satellite EIRP(saturated)          | 60.0      | 60.0    | dBW     |
| Free Space Loss                    | -210.33   | -210.33 | dB      |
| Atmospheric loss                   | -0.80     | -0.80   | dB      |
| Pointing loss                      | -0.20     | -0.20   | dB      |
| Downlink Rain Loss in Seoul(99.7%) | 0         | -7.25   | dB      |
| Noise TEMP. due to Rain            | 0         | -2.58   | dB      |
| Rx. Antenna Gain(45cm)             | 38.04     | 38.04   | dB      |
| System Noise Temperature (213.1K)  | -23.29    | -23.29  | dB/K    |
| Ground G/T                         | 14.75     | 14.75   | dB/K    |
| Noise Bandwidth(36MHz)             | -74.77    | -74.77  | dB/Hz   |
| Boltzmann's constant               | 228.60    | 228.60  | dB/K/Hz |
| Downlink C/N                       | 17.25     | 7.42    | dB      |
| Required C/N for 8PSK 3/4          | 7.12      | 7.12    | dB      |
| Link Margin                        | 10.13     | 0.30    | dB      |

## IV. 강우강도에 따른 전송방안

ITU-R P.618-9 강우감쇠 추정 모델은 시간 율 0.01%에 대한 강우감쇠 값을 구한 후 이를 전시간 율 영역으로 확장시키기 때문에 각 시간 율에 따른 강우감쇠 값을 구하게 된다. 이를 기상청에서 측정된 10년간의 국내 주요 지역 강우데이터의 강우강도와 시간 율 분석을 통하여 강우강도에 따른 강우감쇠 값을 획득할 수 있다. (표 5)의 Ka대역 위성 링크 설계를 바탕으로 강우감쇠 최악 지역인 서울과 최저 지역인 울산지역의 강우강도에 따른 적용 가능한 전송방식을 (그림 2)와 (그림 3)에 나타내었다.

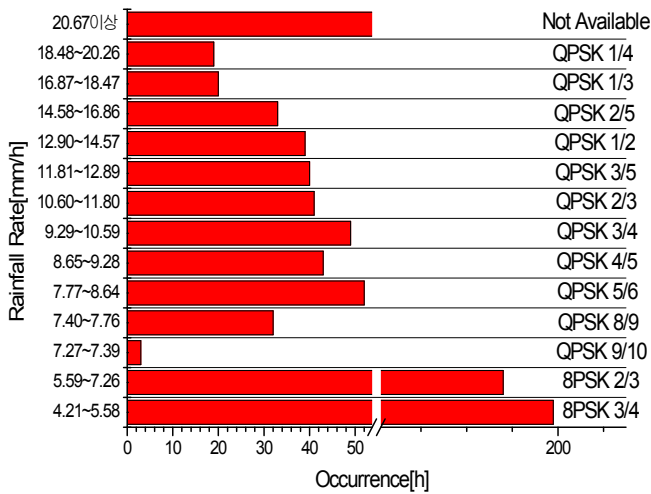


그림 2. 서울지역의 강우강도에 따른 전송방안(1998~2007)

이 때의 강우강도 값은 앞 절에서 제안된 세 가지 분 강우강도 변환 모델들의 평균값으로 추정되었다. (그림 2)에서 알 수 있듯이 최근 10년간 서울지역의 강우강도는 대부분 4.21~7.26 mm/h(44.2%)로 나타나기 때문에 이 경우 8PSK 변조방식과 2/3의 LDPC 부호율을 적용할 수 있으며 가장 열악한 QPSK 변조방식과 1/4의 부호율을 적용할 경우 10년 중 최대 86.7%의 시간에 대해서는 전송이 가능하지만 20.67 mm/h이상의 강우강도가 발생하는 시간은 10년간 약 139시간(15.9%)으로 이 경우 링크가 단절된다. 울산지역의 강우강도는 대부분 3.99~5.58 mm/h (34.0%)로 나타나며 16APSK 변조방식과 9/10 LDPC 부호율을 적용할 수 있다. 링크가 단절되는 경우는 32.76 mm/h 이상의 강우강도가 발생하는 약 24시간(2.7%)으로 서울 지역에 비하여 최악의 강우강도가 발생하는 빈도가 매우 낮다.

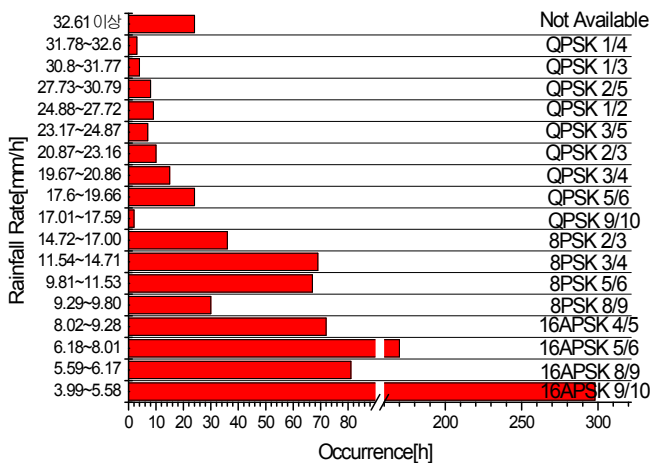


그림 3. 울산지역의 강우강도에 따른 전송방안(1998~2007)

## V. 결론

본 논문에서는 1998년부터 2007년까지 기상청에서 측정된 30분 누적 강우데이터를 이용하여 국내 강우특성 및 강우강도의 확률적인 분석을 수행하였고, Ka대역을 이용할 때 문제시 되는 강우로 인한 위성 신호의 감쇠량을 추정하였다. 또한 추정된 강우감쇠 값을 위성링크

설계에 적용하여 강우강도에 따른 DVB-S2기반의 전송방식을 제안하였다. 이를 통하여 지역 및 시간적인 편차가 높은 우리나라의 강우 패턴을 유연하게 반영하여 지역에 따라 적응적인 전송방식을 제공함으로써 강우감쇠를 효과적으로 경감시킬 수 있다.

## VI. 참고문헌

- [1] “무궁화 위성 3호의 Ka대역 중계기 특성”, KT 기술 문서.
- [2] “통신 해양 기상 위성의 중계기 특성”, 한국항공우주연구원.
- [3] “Characteristics of precipitation for propagation modeling”, Recommendation ITU-R P.837-1, 1994.
- [4] “Characteristics of precipitation for propagation modeling”, Recommendation ITU-R P.837-5, 2007
- [5] “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-Space Telecommunication systems”, Recommendation ITU-R P.618-9, 2007.
- [6] L.D. Emiliani, L. Luini and C. Capsoni “Extension of ITU-R Method for conversion of rain rate statistics from various integration times to one minute”, Electronics Letters , Vol. 44, No. 8, 2008.
- [7] “누적시간에 따른 강우강도 분포 변환 방법”, 한국정보통신기술협회(TTA), 2006.
- [8] “Digital Video Broadcasting (DVB), ETSI EN 302 307 V1.1.1 European Standard, 2004.