

---

# 미세먼지가 위성신호에 미치는 영향에 관한 연구

유승덕\* · 홍완표\*

## A Study on the Effects of Fine Particles to Satellite Signal

Seung-Duk Yu\* · Wan-Pyo Hong\*

### 요약

본 연구는 대기중에 포함된 미세먼지(PM10: 지름  $10\mu\text{m}$  이하크기의 미세먼지)가 위성신호전송주파수대역에 미치는 영향을 해석하기 위한 것으로, 미세먼지 농도별 위성신호감쇠 정도를 해석을 위하여  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 총 7단계로 분류하여 해당 농도가 위성신호에 미치는 영향을 정량화 하는 연구이다.

### ABSTRACT

This study examines how the concentration of Fine Particles(PM10: Fine Particles of under Diameter  $10\mu\text{m}$ ) included in the air influences on the satellite signal transmission frequency band. For the study of satellite signal attenuation rate by the concentration of Fine Particles, the concentration of Fine Particles classified 7 levels, below  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ , below  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ . After then, it analyzed how much each concentration influenced on the satellite signal transmission frequency band.

### 키워드

Satellite communication, Satellite signal attenuation, Fine particles concentration, PM10  
위성통신, 위성신호감쇠, 미세먼지농도, PM10

## I. 서론

Ubiquitous화 및 산업화로 사회 환경이 변화되며 무선통신기기의 보급이 기하급수적으로 증가하였고, 그로 인해 현재 사용 중인 주파수의 고갈이 매우 심화되었다. 위성통신에서도 L-band, S-band, C-band의 고갈 정도 또한 심각하여 Ku-band, Ka-band 이상의 주파수 사용은 불가피해 졌다. 특이한 점은 미세먼지가 위성통신에 영향을 줄 수 있으며 그 중 미세먼지의 강도와 미세먼지에 함유된 증속속이 주요인으로 추정되고 있다.[1] 연구는 대기 중에 포함된 미

세먼지(PM10: Fine Particles  $10\mu\text{m}$ 이하)가 위성통신에 사용하는 5개 대역(L-band, S-band, C-band, Ku-band, Ka-band)에 미치는 영향을 해석하기 위하여 먼지농도를  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하,  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 총 7개의 단계로 분류(저자의 정의)하여 미세먼지 농도별로 위성신호전송주파수대역에 어느 정도 영향을 미치는가에 관하여 정량적으로 분석하였다.

## II. 서론

---

\* 한세대학교 유시티IT산업정책학과(haxgon@naver.com)

\*\* 교신저자, 한세대학교 정보통신공학과(wpHong@hansei.ac.kr)

접수일자 : 2011. 12. 10

심사(수정)일자 : 2011. 12. 20

게재확정일자 : 2012. 01. 25

### 2.1 미세먼지(PM10) 측정방법

대기 중 미세먼지(PM10)농도를 측정하는 방법은 고용량공기포집법, 로우블룸에어샘플러법, 광산란법, 광투과법, β선법 중 우리나라는 환경정책기본법에서는 환경 대기 중 미세먼지(PM10)농도를 β선법에 의해 자동연속측정도록 규정하고 있다. β선법은 대기 중에 부유하고 있는 10μm이하(단 분립장치에 따라 포집입자의 크기를 조절할 수 있음)의 입자상물질을 일정시간 여과지위에 포집하여 β선을 투과시켜 입자상물질의 중량농도를 연속적으로 측정하는 방법으로 β선을 방출하는 광원으로부터 조사된 β선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수·소멸되는 β선의 차로 측정되며 다음 식에 따른다.[2]

$$I = I_0 \times \exp(\mu X)$$

I : 여과지에 포집된 먼지를 투과한 β선강도

I<sub>0</sub>: Blank 여과지에 투과된 β선강도

μ : 분진에 의한 β선 질량 흡수소멸계수( $cm^2/mg$ )

X : 단위면적당 포집된 먼지의 질량( $mg/cm^2$ )

여기서 I<sub>0</sub>는 먼지가 포집되지 않은 여과지를 통과한 베타선 강도이며 μ는 상수로써 먼지의 성분에 무관하다. 따라서 먼지농도는 단위면적당 포집된 먼지의 질량에 의한 베타선의 흡수량으로 결정된다.

$$C = \frac{S}{\mu V \Delta t} \ln(I/I_0)$$

C : 먼지농도( $mg/m^3$ )

S : 먼지가 포집된 여과지의 면적( $cm^2$ )

V : 흡입된 공기량( $m^3$ )

Δt : 포집시간(min)

### 2.2 위성신호 측정

본 연구를 위해 위성으로부터 수신하는 정확한 신호를 측정하기 위하여 경기도 이천에 위치한 위성전파감시센터(위도 37°08' 15.311, 경도 127°33' 36.712, 고도 150.4m)에서 위성신호를 측정하였다. 위성전파감시센터의 위성전파수신시스템은 55°E~160°W 사이 정지궤도위성에서 발사되는 신호를 수신할 수 있다. 본 연구를 위하여 표1과 같이 4개의 정지궤도위성으로부터 송신되는 5개 밴드의 신호를 수신하여 신호전

력값(Signal Level)을 측정하였다.

표 1. 측정 대상 위성시스템 특징  
Table 1. Features of measuring target satellite systems

위성명	대역/편파	중심주파수	경도	방위각/양각
COMS1	L / H	1,686MHz	128.19°E	178.3/46.5
MBSAT	S / CR	2,642MHz	144.00°E	153.37/42.45
ASIASAT	C / H	3,920MHz	105.55°E	212.89/40.99
KOREASAT	Ku / H	12,529MHz	113.07°E	202.4/44.1
	Ka / CR	20,689MHz		

본 연구에서 위성신호 관측을 한 대상위성으로, 경기도 이천에 위치한 위성전파감시센터로부터 위성신호측정을 위한 대상 위성위치는 그림 1과 같다.



그림 1. 측정 대상 위성의 위치

Fig. 1 Location of measuring target satellite systems

### 2.3 위성통신신호의 대기감쇠

위성통신에 있어 대기감쇠는 산소와 물성분, 그리고 주파수가 주요원인으로 작용하는데, 산소와 물성분은 양각이 작을수록 신호가 통과하는 대기상의 경로 길이가 길어지며 그로 인해 더 많은 산소와 물성분의 영향을 받고 대기를 통과하는 주파수는 주파수가 높을수록 영향을 크게 받는다. 즉, 대기감쇠는 산소분자와 물분자의 흡수에 기인한다.[3][4]

일반적으로 위성통신은 1~30GHz의 주파수가 사용되

며 대기감쇠가 적은 것으로 보고되고 있다. 1~2GHz이상의 더 높은 주파수는 대기 가스(주로 산소), 수증기 그리고 침전물이 전파를 흡수하고 산란되는데, 이러한 현상 때문에 수신신호가 감쇠하는데 주파수가 높아질수록 감쇠는 점차 심해진다. 어떤 특정 주파수에서는 가스에 의한 흡수가 최대가 되는 공진 영역(resonance region)도 존재하게 된다.[5][6]

### 2.4 미세먼지의 농도기준

#### 가. 미세먼지 예보기준과 황사기준

기상청에서 황사주의보는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발령하고, 황사경보는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발령한다. 황사강도로 가장 낮은 강도인 옅은 황사는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만 예상될 때를 말하며, 짙은 황사는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가  $400\sim 800\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 예상될 때를 말한다. 마지막으로 가장 강도가 높은 황사를 매우 짙은 황사라 부르며 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 예상될 때 예보한다. 황사특보의 발표기준은 2개로 구분하는데 낮은 단계인 황사주의보는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지농도가  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때를 말하고, 황사경보는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지농도가  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발표한다.[7][8]

황사강도 예보기준 중 가장 강도가 높은 1시간 평균 미세먼지 기준이  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 인 경우보다 훨씬 그 강도가 높은 경우가 빈번히 발생하는데, 황사 관측 이래 서울지역에서 관측된 가장 강력한 황사는 2002년 4월8일~10일에는 황사로 미세먼지농도가 무려  $3,311\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기록되었으며, 서울에서 발생한 두 번째 최고의 농도는 2006년 봄  $2,941\mu\text{g}/\text{m}^3$  이었으며, 2010년 3월 최고농도는  $2,712\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록했었다.[9]

#### 나. 미세먼지의 분류기준

미세먼지의 농도별 위성신호전송주파수대역을 실험하기 위하여 미세먼지 농도를 7단계로 정의하였으며 그림 2와 같이 분류하였다.

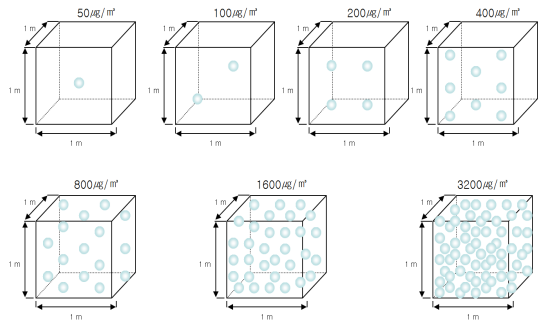


그림 2. 미세먼지 7단계 농도 기준  
Fig. 2 Classified 7 levels of fine particles

그림 2와 같이 위성신호전송주파수대역에 미치는 미세먼지의 영향을 실험하기 위하여 미세먼지농도를  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1600\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $3200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 7단계 미세먼지농도 기준을 제시하였다.(저자의 정의)

### 2.5 월별·계절별 미세먼지 평균농도

#### 가. 월별 미세먼지 평균 농도

환경부의 대기환경연보에서 발표한 최근 5년간 월별 미세먼지(PM10)농도의 변화는 표 2와 같다.

표 2. 월별 미세먼지농도  
Table 2. Monthly fine particles concentration

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

년도 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2006	50	53	81	91	59	66	43	52	38	69	48	55
2007	55	55	56	94	79	49	56	45	40	43	62	51
2008	50	52	71	58	59	42	49	34	39	55	50	56
2009	44	63	50	62	57	54	42	37	39	55	39	52
2010	47	44	64	50	56	47	41	42	38	41	69	55

2006~2010년 월별 미세먼지의 농도인 표 1을 도식화 하여 변화를 보면 그림 3과 같다.

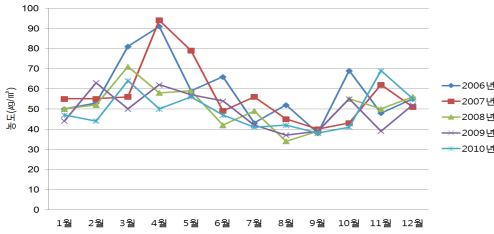


그림 3. 월별 미세먼지농도 변화  
Fig. 3 Change of monthly fine particles

표 1과 그림 3을 보면 계절별 농도는 봄철(2월~5월) 황사영향으로 다소 높은 수준을 보이고 있고, 여름철(7월~9월)에는 장마와 태풍에 의한 강우량의 증가로 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다.

서울지역의 2009년과 2010년의 월별 미세먼지 평균 농도변화는 그림 4와 같다.

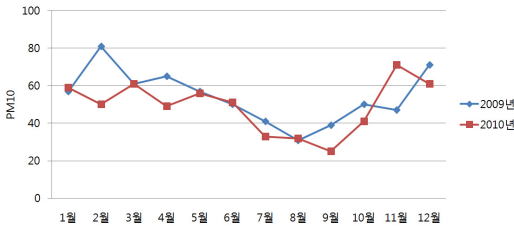


그림 4. 서울지역 월별 미세먼지 변화('09~'10)  
Fig. 4 Change of monthly fine particles in Seoul('09~'10)

그림 4에서 보면 11월과 2월에 가장 미세먼지의 농도가 많고, 8월과 9월에 가장 미세먼지의 농도가 낮은 것으로 분석되었다. 이유는 온도가 낮으면 미세먼지가 부유하는 고도가 낮아져 미세먼지가 늘어나고, 국내의 평균 미세먼지는 계절적 영향을 가장 많이 받는 것으로 분석되었다.[10]

나. 계절별 미세먼지 평균 농도

서울지역의 계절별 미세먼지 평균농도는 여름철(6월~8월)  $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을철(9월~11월)  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 봄철(3월~5월)  $61\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 겨울철(12월~1월)  $69\mu\text{g}/\text{m}^3$  순으로 나타났다. 서울지역의 2009년, 2010년 계절별 미세먼

지농도 변화는 그림 5와 같다.

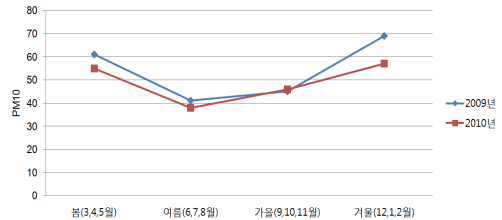


그림 5. 계절별 미세먼지농도 변화('09~'10)  
Fig. 5 Change of seasonal fine particles in seoul('09~'10)

이상에서와 같이 계절별 미세먼지의 농도를 보면 여름과 가을이 상대적으로 봄과 겨울보다 약 30%~40% 미세먼지가 적은 것으로 조사되었다. 여름철 장마와 집중호우에 따른 강우감쇠를 제외하고는 미세먼지의 영향을 가장 작게 받는 계절이 여름과 가을로 조사되었다.

2.6 위성신호관측과 미세먼지 7단계농도별 감쇠 실험

위성통신전파의 파장( $\lambda$ )의 길이가 짧아질수록 장애 요소(미세먼지농도)에 영향을 많이 받는 것으로 예측할 수 있다.[11] 본 연구는 위성전파감시센터에서 최적의 조건으로 지름 13m의 카세그레인 안테나를 이용하여 측정된 것으로 일반 가정용으로 사용하는 지름 1m 이내의 파라볼라안테나 환경과 다를 수 있고, 실측한 위성신호테이터(Signal Level)는 위성시스템을 운영하는 단계에서 2004년, 2005년, 2006년, 2007년, 2011년 실측값이다. 미세먼지농도는 위성신호 측정일에 기상청에서 측정된 데이터로 1일 24회(1시간 간격)에 측정된 값이다. 이 미세먼지 농도 7단계 중 동일 단계범위의 값이 1일 70%이상인 17회 이상 관측된 날을 해당 미세먼지농도로 정하였고, 해당 농도별 5개 위성신호대역을 측정 실험하였다.

가. 미세먼지  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향

미세먼지농도  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 매우 맑은 날 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값으로 표 3과 같다.

표 3. 먼지농도  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 평균 위성신호  
Table 3. Satellite signal of under fine particles concentration  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2006/8/04	-129.68	-119.31	-125.5	-119.3	-133.73
2006/9/02	-129.56	-116.83	-125.49	-117.98	-134.53
2007/4/12	-127.39	-110.79	-124.4	-119.68	-133.35
2007/4/20	-127.78	-110.5	-121.91	-120.09	-133.67
최대편차	-2.29	-8.81	-3.59	-2.11	-1.18

위성신호의 평균을 대역별 변화는 그림 6과 같다.

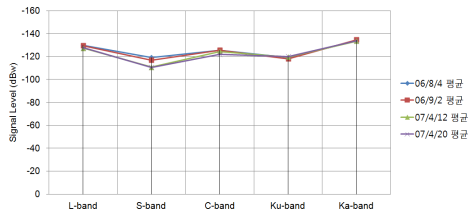


그림 6. 먼지농도  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 6 Change of satellite signal by under  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$

S-band 변화가  $-8.81\text{dBw}$ 로 가장 많은 변화가 있고, 이어서 S-band( $-3.59\text{dBw}$ ), C-band( $-2.29\text{dBw}$ ), Ku-band( $-2.11\text{dBw}$ ), Ka-band ( $-1.18\text{dBw}$ ) 순으로 변화가 큰 것을 확인하였다.

나. 미세먼지  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값은 표 4와 같다.

표 4. 먼지농도  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 평균  
Table 4. Satellite signal of under fine particles concentration  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2005/4/07	-122.06	-111.1	-123.41	-118.15	-130.52
2005/4/11	-122.32	-111.63	-122.59	-118.13	-130.08

2005/4/12	-121.98	-111.18	-122.87	-117.95	-130.16
2005/4/19	-121.21	-111.22	-122.94	-117.46	-131.89
2005/4/22	-121.54	-111.63	-122.45	-116.33	-129.8
2006/3/30	-123.94	-117.59	-124.62	-123.82	-131.62
2006/4/7	-123.97	-117.54	-125.53	-120.74	-132.35
2006/4/13	-126.33	-117.99	-125.55	-121.37	-133.05
2011/10/11	-127.47	-96.81	-125.8	-118.78	-143.01
최대편차	-6.26	-21.18	-3.35	-7.49	s-13.21

위성신호의 평균을 대역별 변화는 그림 7과 같다.

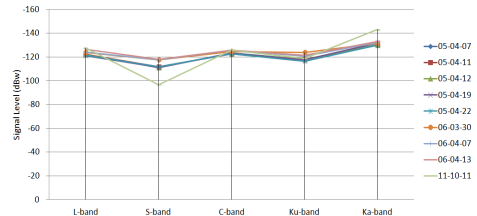


그림 7. 먼지농도  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 7 Change of satellite signal by under  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$

S-band 변화가  $-21.18\text{dBw}$ 로 가장 많은 변화가 있고, 이어서 Ka-band( $-13.21\text{dBw}$ ), Ku-band ( $-7.49\text{dBw}$ ), L-band( $-6.26\text{dBw}$ ), C-band( $-3.35\text{dBw}$ ) 순으로 변화가 큰 것을 확인하였다.

다. 미세먼지  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값은 표 5와 같다.

표 5. 먼지농도  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 평균  
Table 5. Satellite signal of under fine particles concentration  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2004/3/31	-129.5	-115.53	-111.57	-116.18	-126.88
2004/4/01	-129.69	-115.67	-112.21	-116.33	-128.39

2005/4/08	-122.11	-111.43	-122.81	-118.07	-129.95
2005/4/21	-121.62	-111	-122.4	-116.45	-130
2006/4/18	-118.76	-117.4	-125.16	-120.83	-131.99
최대편차	-10.93	-6.4	-13.59	-4.65	-5.11

표 5의 위성신호의 평균을 대역별 변화로 보면 그림 8과 같다.

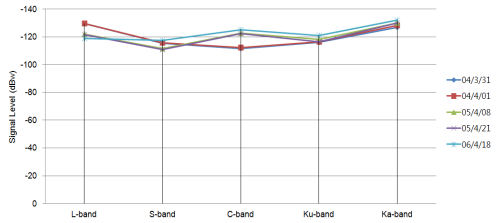


그림 8. 먼지농도 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 8 Change of satellite signal by under 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C-band 변화가 -13.59dBw로 가장 많은 변화가 있고, 이어 L-band(-10.93dBw), S-band(-6.4dBw), Ka-band(-5.11dBw), Ku-band (-4.75dBw) 순으로 변화가 큰 것을 확인하였다.

라. 미세먼지 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 측정된 위성신호의 일자별 평균 Signal Level 평균값은 표 6과 같다.

표 6. 먼지농도 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 평균  
Table 6. Satellite signal of under fine particles concentration 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2006/4/08	-123.91	-117.66	-125.76	-120.92	-132.1
2006/4/09	-123.81	-117.55	-125.59	-120.89	-132.68
2006/4/24	-119.77	-117.83	-125.05	-120.97	-131.99
2007/3/28	-127.56	-104.1	-123.39	-119.83	-133.79
최대편차	-7.79	-13.73	-3.31	-4.44	-3.85

표 6의 위성신호의 평균을 대역별 변화로 보면 그림 9와 같다.

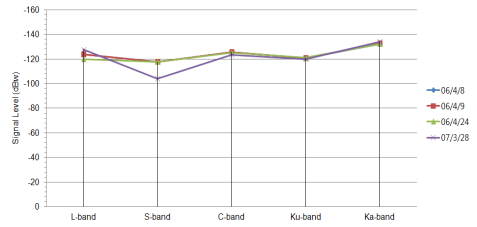


그림 9. 먼지농도 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 9 Change of satellite signal by under 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

S-band 변화가 -13.73dBw로 가장 많은 변화가 있고, 이어 L-band(-7.79dBw), Ku-band(-4.44dBw), Ka-band(-3.85dBw), C-band(-3.31dBw) 순으로 변화가 큰 것을 확인하였다.

마. 미세먼지 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값은 표 7과 같다.

표 7. 먼지농도 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 평균  
Table 7. Satellite signal of under fine particles concentration 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2004/03/11	-102.79	-115.69	-115.76	-118.58	-128.82
2005/04/20	-121.36	-111.93	-122.44	-116.55	-129.97
최대편차	-18.57	3.76	-6.68	2.03	-1.15

표 7의 위성신호의 평균을 대역별 변화로 보면 그림 10과 같다.

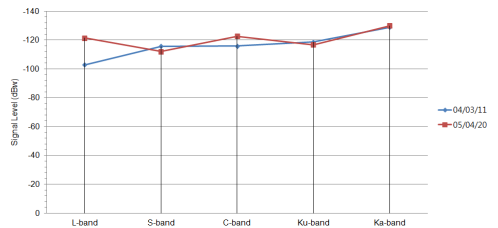


그림 10. 먼지농도 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 10 Change of satellite signal by under 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

L-band 변화가 -18.57dBw로 가장 많은 변화가 있고, 이어서 C-band(-6.68dBw), S-band(3.76dBw), Ku-band(2.03dBw), Ka-band (-1.15dBw) 순으로 변화가 큰 것을 확인하였다.

바. 미세먼지  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값은 표 8과 같다.

표 8. 먼지농도  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 평균  
Table 8. Satellite signal of under fine particles concentration  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2006/04/08	-123.72	-117.60	-125.68	-121.03	-132.39
2006/04/09	-124.01	-116.97	-125.84	-120.85	-132.34
최대편차	-0.29	0.63	-0.16	0.18	0.05

표 8의 위성신호의 평균을 대역별 변화로 보면 그림 11과 같다.

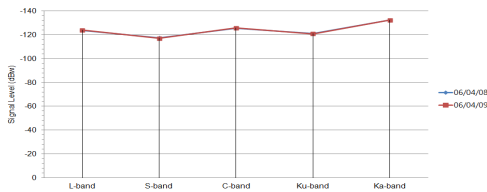


그림 11. 먼지농도  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 11 Change of satellite signal by under  $1,600\mu\text{g}/\text{m}^3$

모든 대역이 전체적으로 큰 변화가 없는 것을 확인하였다.

사. 미세먼지  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하일 때 위성신호 영향  
미세먼지농도  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 5개 대역별 위성신호의 Signal Level 평균값은 표 9와 같다.

표 9. 미세먼지농도  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 측정  
Table 9. Satellite signal of under fine particles concentration  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$

(단위 : dBw)

날짜 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
2006/04/08 13	-123.722	-117.611	-125.527	-120.818	-132.124
2006/04/08 15	-123.820	-117.046	측정실패	-120.920	-132.204
2006/04/08 17	-123.797	-117.174	-125.588	-120.810	-132.210
2006/04/08 19	-123.645	-118.029	-125.764	-121.248	-132.579
일평균	-92.83	-87.96	-83.70	-90.64	-99.13
최대편차	-0.175	-0.984	-0.238	-0.438	-0.455

표 9의 위성신호 대역에 관하여 위성신호의 평균을 대역별 변화로 보면 그림 12와 같다.

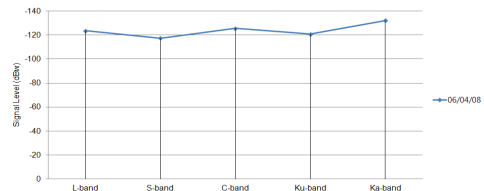


그림 12. 먼지농도  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하시 위성신호 변화  
Fig. 12 Change of satellite signal by under  $3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$

$3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 고농도의 미세먼지발생 사례는 많지 않으며, 본 연구에서도 아쉽게 단 1회에 한하여 관측되었으며, 이 데이터로서 5개의 대역에 미치는 영향을 실험하기에 어려웠다.

## 2.7 미세먼지 7단계 농도별 위성신호 감쇠

미세먼지(PM10)농도  $50\sim 3,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 7단계 농도변화에 따른 위성신호의 평균값은 표10과 같다.

표 10. 미세먼지농도 7단계별 위성신호 평균값  
Table 10. Average of satellite signal by 7 levels fine particles concentration

(단위 : dBw)

농도 \ 대역	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
$50\mu\text{g}/\text{m}^3$	-128.603	-114.358	-124.325	-119.263	-133.82

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-123.424	-111.854	-123.973	-119.192	-132.498
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-124.336	-114.206	-118.83	-117.572	-129.442
400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-123.763	-114.285	-124.948	-120.653	-132.64
800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-112.075	-113.81	-119.1	-117.565	-129.395
1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-123.87	-117.28	-125.76	-120.94	-132.36
3,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-123.75	-117.47	-125.63	-120.95	-132.28

표 10의 위성신호평균을 미세먼지농도 7단계로 보면 그림 13과 같다.

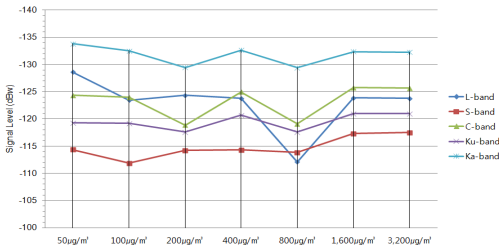


그림 13. 먼지농도 7단계별 Signal Level의 변화  
Fig. 13 Change of signal level each 7 level fine particles

그림 13에서 대기중의 미세먼지농도가 가장 밝은 단계 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우 Signal Level은 Ka-band, L-band, C-band, Ku-band, S-band 순 이었다. 미세먼지농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우는 C-band와 L-band만 바뀌었고, 나머지 대역에는 변화가 없었다. 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우는 Ka-band, C-band, L-band, Ku-band, S-band 순으로 C-band와 L-band의 차이가 확연히 벌어졌다. 미세먼지농도가 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우 Signal Level은 Ka-band, L-band, C-band, Ku-band, S-band 순으로 C-band와 L-band 순위가 다시 바뀌었다. 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우 가장 큰 특징은 L-band의 Signal Level 강도가 가장 낮게 나타났다. 미세먼지농도 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이하는 그 데이터가 적어서 판단 어려움인 경우 Signal Level은 변화는 크게 변화하는 것을 알 수 있다.

이상의 연구 결과를 종합해 보면 미세먼지의 농도는 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기점으로 그 이상의 농도에서 위성신호에 많은 영향을 주는 것을 알아내었다.

## 2.8 미세먼지 7단계 농도별 위성 대역 편차

이상과 같이 종합적으로 실험 및 해석한 결과 7단계의 미세먼지농도에 의한 위성신호대역별 영향은 표 11로 표현할 수 있다.

표 11. 7단계 미세먼지농도의 위성신호대역별 편차  
Table 11. Deviation of satellite signal bands by 7 levels fine particles concentration

(단위 : dBw)

대역 \ 농도	L-band	S-band	C-band	Ku-band	Ka-band
50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-2.29	-8.81	-3.59	-2.11	-1.18
100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-6.26	-21.18	-3.35	-7.49	-13.21
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-10.93	-6.4	-13.59	-4.65	-5.11
400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-7.79	-13.73	-3.31	-4.44	-3.85
800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-18.570	3.760	-6.680	2.030	-1.150
1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-0.29	0.63	-0.16	0.18	0.05
3200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-0.175	-0.984	-0.238	-0.438	-0.455

표 11의 7단계미세먼지농도와 그 시점에 위성신호대역별 편차를 보면 S-band, L-band, C-band, Ka-band, Ku-band 순으로 변화가 많은 것을 확인하였다. 위성신호대역별 7단계 미세먼지농도의 변화를 보면 그림 14와 같다.

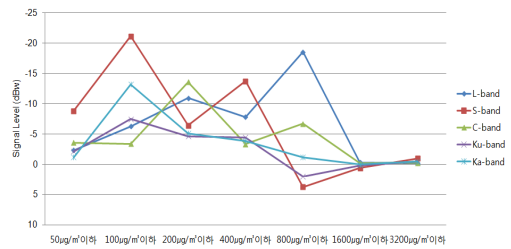


그림 14. 먼지농도별 위성신호 편차  
Fig. 14 Deviation of satellite signal bands by 7 levels fine particles concentration

그림 14에서 미세먼지농도별 L-band·S-band·C-band·Ku-band·Ka-band의 5개 위성신호의 편차를 보면 50·100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 S-band가 영향을 상대적으로 많이 받았고, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 C-band, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 S-band와 L-band, 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 L-band,



1,600, 3,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 영향이 작은 것을 확인 하였다.

### III. 결 론

대기 중에 함유된 미세먼지(PM10)의 농도별로 각 위성신호전송주파수대역에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 미세먼지농도를 7개의 단계로 분류하여 날짜와 시간별로 단계를 분류하여 7단계 중 하나의 미세먼지농도 관측당시 위성신호 측정하여 실험한 결과 대기 중 미세먼지농도가 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우 Ka-band와 L-band가 영향을 많이 받고, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우는 C-band와 L-band의 영향이 뒤바뀌고, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우 C-band와 L-band가 확연히 벌어졌다. 미세먼지농도가 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우 C-band와 L-band 순위가 다시 바뀌었으며, 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우 가장 큰 특징은 L-band의 Signal Level이 가장 낮았다. 미세먼지농도 1,600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하와 3,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 경우와 패턴이 같았다. 연구 결과를 종합하면 7단계 미세먼지농도별로 위성신호대역을 해석하면 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 위성신호 대역이 눈에 띄게 영향을 받고 (나머지 농도는 변화가 거의 없었음), 위성신호대역별로 보면 S-band, L-band, C-band, Ka-band, Ku-band순으로 변화가 많은 것을 확인하였다.

상기와 같이 7단계의 미세먼지농도 분류를 통해 미세먼지농도 단계별 위성신호영향에 관한 실험을 통하여 단계별 Signal Level 감쇠 정도를 정량화 하였으며, 이 연구 결과는 위성통신신호가 미세먼지의 농도에 따른 신호감쇠량을 정량화 하기위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이며, 미세먼지의 이동과 농도변화에 따라 위성통신사업자의 위성통신시스템 Link Budget 설계 및 운용, 국가차원의 위성통신전파관리정책 수립에 활용될 수 있다.

본 연구는 위성신호와 미세먼지의 영향을 해석하기 위한 것으로 미세먼지농도를 7단계로 분류 하였고, 각 단계별 위성신호의 영향을 정량화하는 모델을 제시하였다. 연구는 각종 대류권의 기상조건과 성층권과 열권 등 관측대상 전파경로에서 발생하는 정보가 반영하지 못하는 한계가 있으며, 순수 위성전파감시센터에서 측정된 위성신호와 미세먼지와의 관계를 해석한

결과이며 객관성을 확보할 정도의 충분한 데이터를 이용하여 실험한 것이 아니므로 향후 이 분야에서 연구하는 실험과 다소 다른 결과가 나올 수 있을 것으로 추정되므로, 향후 보다 객관성을 확보할 수 있는 충분한 데이터와 대류권·성층권·열권 등 위성통신 전파환경에서 영향을 주는 요소와 영향을 연구할 필요가 있다.

### 참고 문헌

- [1] 박기식, "페이딩 채널에서 MMSE-OSUC 수신기를 적용한 MIMO 시스템의 성능분석", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 723-730, 2011.
- [2] 김홍민, "황사에 의한 위성통신 신호 감쇠 영향 연구", 박사학위논문, 한세대학교, pp.5-15, 2006.
- [3] 최동유, "Ku 대역 무선통신을 위한 강우감쇠 예측모델 제안", 조선대학교 박사학위논문, pp. 13-23, 2004.
- [4] 김민수, 이영철, "로드-풀을 이용한 X-Band GaN HEMT의 최적 임피던스 분석", 한국전자통신학회 논문지, 6권, 5호, pp. 621-628, 2011.
- [5] 신용화, "비콘 신호레벨 실측을 통한 무궁화위성 3호 Ku밴드 강우감쇠 영향분석", 건국대학교 석사학위논문, pp. 18-23, 2002.
- [6] 홍완표, "강우에 의한 위성통신신호 감쇠특성 연구", 연세대학교 석사학위논문, pp. 32-39, 1993.
- [7] 기상청, "기상연보", 2005년~2010년
- [8] <http://www.kma.go.kr> 기상청 기상관측 연구소
- [9] <http://news.gonga.com/view.php?id=Print-Domga|3|20110406|36189498|1>, 2011.4.6
- [10] <http://cleanair.seoul.go.kr/main.htm> 서울시 기후대기환경정보시스템
- [11] 문헌일, 홍완표, "TETRA시스템의 국산화를 제고를 위한 정책적 접근방안", 한국전자통신학회 논문지, 3권, 4호, pp. 233-239, 2008.

## 저자 소개



### 유승덕(Seung-Duk Yu)

1994년 경기공업대학 메카트로닉스  
과 준학사

1999년 한국방통통신대 전자계산학  
과(학사)

2002년 광운대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학(공학  
석사)

2010년 한세대학교 대학원 박사수료

2007년 정보통신기술사 합격

2008년 문엔지니어링 설계1본부 부장

※ 관심분야 : u-City, 위성통신, 미세먼지, 통신정책



### 홍원표(Wan-Pyo Hong)

1991년 서울과학기술대학교 전자공  
학과(공학사)

1994년 연세대학교 공학대학원 산업  
공학과(공학석사)

1999년 광운대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1990년 전기통신기술사 합격

1991년 정보통신부 5급특별채용고시합격 본부 통신정  
책실, 전차방송관리국, 정보화기획실

1997년 삼성전자(주) 통신사업부 전송영업그룹장

1999년 광운대학교 연구전담교수

2000년 한국정보통신기술사협회장

2002년 한세대학교 IT학부 정보통신공학전공 교수

한세대학교 정보통신연구소장

※ 관심분야 : 위성통신방송, 문자코딩, 통신정책