

이동식 대형 위성통신단말의 전파 지향 성능에 대한 바람 진동 영향성에 관한 연구

The Study on a Correlation Among Wind Vibration and Aiming Performance of Radio Wave for a Large Satellite Communication System on the Truck

김 상 현[†] · 전 종 익^{*} · 김 병 준^{*} · 이 증^{*} · 최 지 호^{*} · 황 기 민^{**}

Sang-Hyun Kim, Jong-Ik Jeon, Byung-Jun Kim, Jeung Lee,
Ji-Ho Choi and Ki-Min Hwang

(Received September 23, 2016 ; Revised October 7, 2016 ; Accepted October 7, 2016)

Key Words : Wind Vibration(바람 진동), Satcom(위성통신), Pointing Loss(지향 손실)

ABSTRACT

A large satellite communication terminal on the truck shall be designed ruggedly against a disturbance for holding a position which satisfies communication performance. Especially, A design considering a wind is essential for getting into a communication with a satellite in a strong-wind condition. This paper suggests a experimental method to analyze performance of a radio wave and the aiming accuracy by wind vibration. And it analyzes the improvement and vibrational effect on a random-excitation of a structure caused by nonlinear strong wind.

기 호 설 명

1. 서 론

- Ant. : 안테나
- C : 빔의 속도(3×10^8 m/s)
- D : 안테나 유효직경[m]
- $E_{l,max}$: 지상단말의 지향 고각[°]
- f : 주파수[Hz]
- GEO : 지구정지궤도
- Pointing loss : 지향 손실[dB]
- X : 파장[m]
- θ_{3dB} : 3 dB 지향손실 빔폭각[°]
- θ_{2dB} : 2 dB 지향손실 빔폭각[°]
- $\Delta\theta$: 빔폭각의 편측각[°]

현대에는 지구 반대편의 상대방과 데이터/음성 송수신을 위해 위성통신이 일반화되어 있다. 특히 군사 목적용의 경우에는 전술적 운용을 위해 고정시설 개념의 대형 위성통신단말보다 이동식 형태의 수요가 많다. 이동식 형태는 탑재플랫폼에 탑재되어 도로주행이 가능한 형태이어야 하며, 제한중량을 만족해야 하므로 소형/경량/접철식 설계가 필요하다. 또한, 이러한 설계 제한사항과 더불어 외부 환경에 노출되는 형상을 가지고 있기 때문에 풍속조건을 요구받게 되는데 과거 개발사례 시에는 최종형상의 사전 시험 없이 야외 자연바람 환경에서 시행착오를 거쳐 입증하였다. 해외 안테나업체의 경우는 정하중의 개

[†] Corresponding Author; Member, LIG Nex1
E-mail : kimsh1207@lignex1.com
^{*} LIG Nex1
^{**} Agency for Defense Development(ADD)

[‡] Recommended by Editor Jae Hung Han
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

념으로 간주하여 최대 운용풍속 하중을 안테나에 집중 인가하여 입증하기도 하고, 유사체계의 경우 대형 장비에 대한 풍속조건 검증을 개방형 풍동 시험(이하 ‘인공바람’) 시설에서 입증한 사례도 있었다.

이 연구대상은 기 개발사례보다 높은 풍속조건을 요구받고 있으며, 주파수 밴드별 개별 풍속조건을 적용하는 해외 유사체계보다 가혹한 조건에서 전파 성능을 만족해야 한다.

이 연구와 관련된 선행연구를 분석하면 이승호 등은 바람은 시간에 따라 풍속/풍향이 변하는 난류이기 때문에 구조물의 강제 진동이 발생한다고 밝히고 있다⁽¹⁾. 또한 김진오 등은 바람에 의한 와류가 구조물에 주기적 진동을 발생시킨다고 밝히고 있다⁽²⁾. 이러한 선행연구들은 연구대상물의 물리적인 진동현상과 개선방안에 대해 분석하였지만 이 논문은 물리적인 진동현상이 전파시스템 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대해 시험 및 개선시도를 통해 그 효과를 분석해 보았다.

2. 연구내용

2.1 위성통신단말 지향 개념

위성통신 지상단말이 통신을 하기 위해서는 인공위성과 정밀지향이 필요한데 지구 정지궤도 상의 인공위성과 지구표면의 지상단말(earth station)간에 상관관계는 식 (1), (2)와 같다⁽³⁾. 정지궤도 인공위성은 지구 자전축에 수직방향으로 적도 상공 약 35 786 km 이격된 궤도에 위치하며 자전속도와 동일하게 이동한다. 따라서, 정지궤도 인공위성과 음성/데이터 위성통신을 하기 위해서는 전파가 특정 고각/방위각을 정밀 지향한 채 고정되어야 한다. 서울을 예를 들면 지향 고각은 식 (3)에 의해 상향 약 45.5° (El_{max})로 산출된다.

그런데 위성통신단말은 운용 중 바람에 노출되게 되면 지향각이 변형하게 된다. 따라서, 위성통신단말은 외력에 대한 지향각 변형이 최소화되는 고강성 구조로 설계되어야 하며, 이 구조적 강성은 전파의 성능으로 입증되어야 하므로 실 인공위성과 통신을 하면서 시험이 필요하다.

$$El_{max} = 90^\circ - |\varphi| - |d| \tag{1}$$

$$d = \tan^{-1} \left[\frac{-r_e \times \sin \varphi}{r_{sat} - r_e \times \cos \varphi} \right] \tag{2}$$

- d* : apparent declination of the GEO satellite
- r_e* : earth's radius (6378 km)
- r_{sat}* : geostationary satellite radius (42 164 km)
- φ* : latitude of the earth station (Seoul : 37°)

2.2 연구대상 형상 및 요구조건

연구대상은 정지궤도 인공위성을 이용하여 위성 통신하는 지상단말로 접철이 가능한 offset 안테나를 적용하며, 형상 및 주요 사양은 Fig. 1과 Tables 1, 2와 같다.

전파는 Fig. 2와 같이 offset 안테나의 인공위성 ↔ 주반사판조립체 ↔ 부반사판조립체 ↔ 급전혼조립체 ↔ 단말구성품의 경로를 거쳐 송수신되며, 전파 성능의 판단기준은 인공위성이 송출하는 자신의 위치신호인 비콘수신레벨(지상단말 기준 수신링크)의 지향 손실 수치로 평가하며 dB 단위를 사용한다. 일반적으로 외력에 의해 안테나의 지향점이 변하는 최대 제한은 비콘수신레벨이 50%까지 감소되는 수준인 3 dB로 나타낼 수 있고, 관련 군사규격에서 제시하는 기준은 2 dB 이하를 적용한다⁽⁴⁾.

안테나에서 전파가 송신되는 상황을 시각적으로 표현하면 Fig. 3과 같이 물방울 형태의 포물선 형상으로 방사된다. 이 때 물리적으로 지향각이 변경되어 ΔG의 편차가 발생한다면 이 차이가 이득의 손



Fig. 1 Research item

Table 1 Comparison of wind requirements

Item	Wind requirement	Note
Research item	20 m/s to gusting 27 m/s : < 2.0 dB O/OO-Band	Operational
	40 m/s (stowed)	Survival
Existing case	18 m/s (without gusting)	Operational
	25 m/s (Stowed)	Survival
Foreign case	4.5 m/s : < 0.8 dB All bands,	Operational
	13.4 m/s gusting to 20.1 m/s : < 2.0 dB OO-Band,	
	20.1 m/s gusting to 26.8 m/s : < 2.0 dB C/O/Ku-Band	
	35.8 m/s (deployed) 55.9 m/s (stowed)	Survival

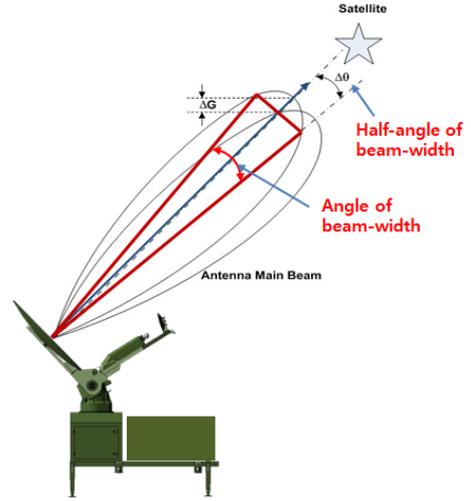


Fig. 3 Concept about angle of beam-width

Table 2 System specifications of research item

Item	Specification	Note
Platform	Payload 2.5 tone	
Ant. effective dia.	2.15 m	
Frequency band	0, 00	
Transmission capacity	12 Mbps	
Pointing loss (Rx)	Under 2 dB	

Table 3 Calculation of beam width angle

Type	Frequency (GHz)	$2 \times \Delta\theta$ [3 dB pointing loss (°)]	$2 \times \Delta\theta$ [2 dB pointing loss (°)]
O band receive	0.00	1.35	1.1
	0.00	1.26	1.03
OO band receive	00.0	0.48	0.39
	00.0	0.46	0.38

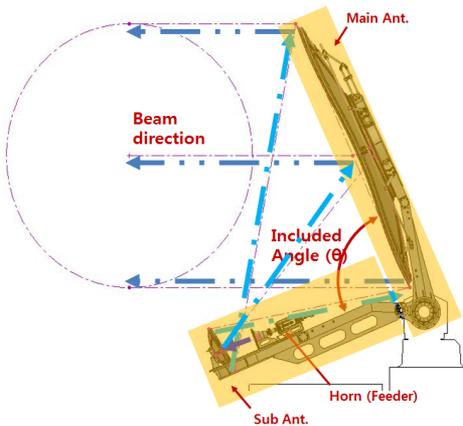


Fig. 2 Radio wave transmit of offset ant.

실이며, 정상 빔의 중심 지향선을 기준으로 변경된 빔의 중심 지향선과 기존 정상 빔의 교차점 간에 양 측각도를 빔폭각이라 한다.

단말 전체의 전파효율, 이득 등 성능 요구값을 기준으로 안테나 크기, 운용주파수를 이용하면 지향 손실에 대한 물리적 제한 빔폭각을 산출할 수 있는데 관련 수식은 식 (3)에서 식 (5)와⁽⁵⁾ Table 3과 같다.

$$\theta_{3dB} = 70 \times \frac{X}{D} \tag{3}$$

$$X = \frac{C}{f} \tag{4}$$

$$\theta_{2dB} = \sqrt{(1/6)} \times \theta_{3dB} \times 2 \tag{5}$$

이렇게 산출된 빔폭각의 1/2은 바람과 같은 외력이 작용할 때 변형되지 않아야 할 변형각으로 적용할 수 있다. 따라서 운용주파수 중 가장 빔폭이 작은 OO대역 수신인 OO.O GHz의 경우에 제한 빔폭각은 0.38°이며, 편측의 한계 변형각은 $\Delta\theta = 0.19^\circ$ 로 산출된다.

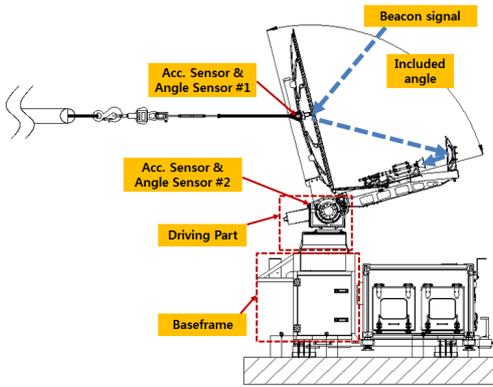


Fig. 4 Method #1 steady force test

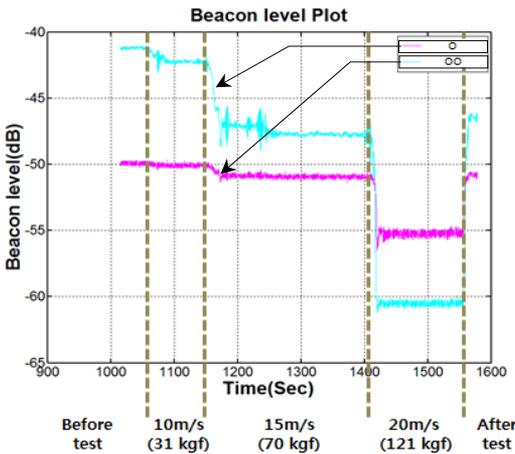


Fig. 5 Variation of beacon level on force

2.3 시험결과 분석

최종 입증시험은 불규칙한 자연바람 환경의 풍속 조건에서 O, OO 주파수밴드를 모두 만족시켜야 하므로 정하중 시험방식과 인공바람 시험방식을 통해 현 요구조건에 맞는 적절한 시험방법을 선정하고 성능 개선사항과 방향을 도출한다.

(1) 풍력 정하중 시험

연구대상 실장비를 Fig. 4와 같이 지면에 견고하게 고정된 후 안테나 주반사판조립체의 후면 중앙(#1) / 구동부 상단(#2) 총 2개소에 가속도 센서 / 각도 센서를 장착하여 풍력을 5m/s 단위의 정하중으로 환산한 외력 인가시 전파가 지향하는 각의 변화와 O, OO 주파수 비콘수신레벨의 변화를 관찰하였다.

시험결과 비콘수신레벨은 Fig. 5와 같이 외력이 증가함에 따라 레벨이 감소되며, OO대역이 O대역에 비해 감소되는 정도가 크다. 이것은 Fig. 3에서 시각적으로 보여주었던 빔 형상이 O대역은 둥근 타원형이며, OO대역은 상대적으로 주파수가 높아 빔 형상이 날카롭기 때문에 발생하는 결과이다. Table 2의 지향손실 제한을 고려 시 O대역의 경우 20m/s 이상의 외력에서 기준값을 초과하며, OO대역은 15m/s 이상의 외력 인가시에 기준값을 초과하므로 결국 평균 운용풍속 20m/s 요구조건에 불만족하는 결과를 나타내었다.

주반사판에서 최종 방사되는 전파의 방향과 주반사판조립체의 각이 일정하다고 할 때 주반사판조립체의 변형각이 전파의 지향 변형각이라 할 수 있다. 따라서 Fig. 6, Table 4와 같이 변형각 또한 15m/s 이상에서 한계 변형각(0.19°)를 초과하는 것을 알 수 있다.

(2) 인공바람 시험

연구대상 실장비를 Fig. 7과 같이 지면에 견고하게 고정하고 풍속 제어가 가능한 직경 2m급 대형 팬을 설치하였다. 안테나 주반사판조립체의 후면 중앙(#1) / 구동부 상단(#2) / 부반사판조립체 급전흔하단(#3) 총 3개소에 가속도 센서 / 각도 센서를 장착하고 풍속 단계별 전파가 지향하는 각의 변화와 비콘수신레벨의 변화를 관찰하였다.

시험결과 Fig. 8 - A(#1), B(#2), C(#3)은 3개소에 설치된 각도센서에서 측정된 시간에 대한 각도값을 나타내는 그래프이다. 풍속의 세기가 증가할수록 추세선의 변동이 점차 증가하면서 편차도 증가하는 경향을 보였다. 8m/s에서 20m/s 구간에서는 추세선의 변화가 거의 없으나, 부반사판조립체의 각도가 급격히 변화하는 25m/s 시점부터 3개의 각도 센서 추세선, 편차가 모두 증폭하고, 비콘수신레벨이 급격히 감소하였다.

이것은 안테나의 정상 사잇각(식(6))에 대한 변화 그래프 Fig. 9를 보면 더 확연히 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Difference of induced angle} \\
 & = \text{angle of sensor \#1} \\
 & \quad - \text{angle of sensor \#2} \\
 & \quad - \text{induced angle by design}
 \end{aligned} \tag{6}$$

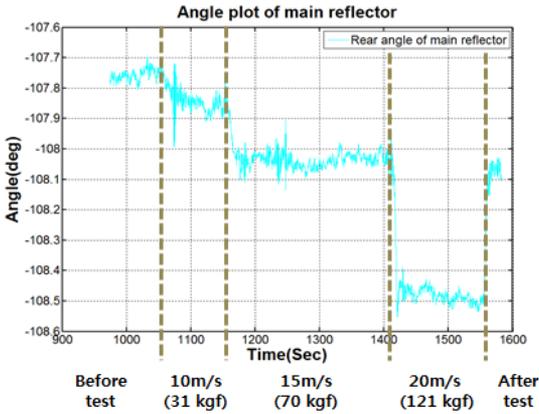


Fig. 6 Angle plot of main ant.

Table 4 Steady force test results

Type	Results					Note
	Before test	10 m/s	15 m/s	20 m/s	After test	
Force [kgf]	-	31.0	70.0	121.0	-	
#1 angle [°]	107.8	107.9	108.0	108.5	108.1	
Difference of angle (#1) [°]	-	0.1	0.2	0.7	0.3	
#2 angle [°]	88.4	88.47	88.57	88.72	88.47	Over the ref. (shaded)
Difference of angle (#2) [°]	-	0.07	0.17	0.32	0.07	
Beacon O band [dB]	-49.92	-50.08	-50.94	-55.22	-50.77	
Beacon OO band [dB]	-41.21	-42.24	-47.72	-60.5	-46.43	

※ Difference of angle = specific results - before test

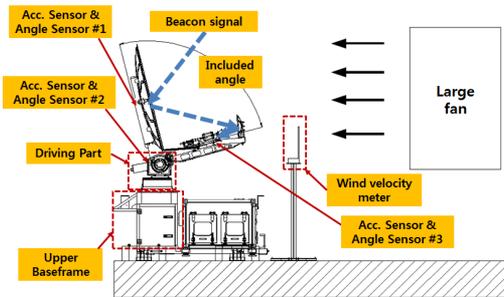


Fig. 7 Method #2 artificial wind test

Fig. 9 그래프 Y축의 (+)값과 (-)값은 정상 사잇각 대비 사잇각이 증가 또는 감소한 것을 나타내며, 각도 센서 1개의 자체 정확도가 $\pm 0.1^\circ$ 이므로 사잇각 정확도는 $\pm 0.2^\circ$ 이다. 안테나의 주반사판조립체와 부반사판조립체는 소위 박수치는 형태로 거동을 하는데 낮은 풍속에서는 설계 사잇각보다 큰 영역에서, 20 m/s 구간에서는 설계 사잇각을 기준으로 (+), (-)를 교차하는 영역에서, 25 m/s 이후에는 설계 사잇각보다 작은 영역에서 발생하고 있다.

특이한 것은 외력 작용에 대한 변형각이 이론적 변형 제한각을 초과하여도 비콘수신레벨이 규격을 만족하고 있으나 진동에 의한 편차가 빔폭각을 초과할 때 비콘수신레벨이 급격히 감소하며 규격 불만족 현상이 나타났다. 이것은 구조적인 정적 변형보다 진동에 의한 동적 변형이 전파성능에 지배적인 악영향을 미친다고 할 수 있다.

결론적으로 Table 5와 같이 O대역 및 OO대역 모두 25 m/s 이상에서 비콘수신레벨이 2 dB 이상 감

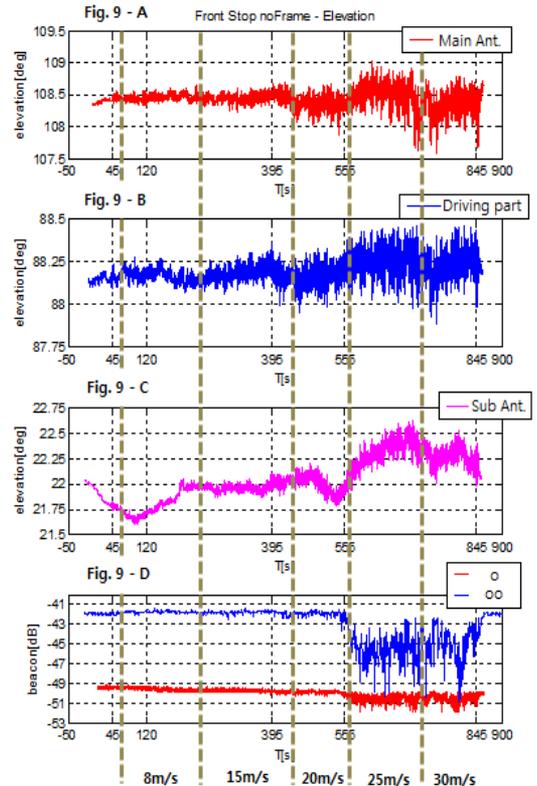


Fig. 8 Variation of sensors on wind (without bracket)

소하므로 평균 운용풍속 20 m/s 요구조건에 만족하는 결과를 나타내었다.

(3) 종합 검토결과

지금까지 풍속조건에 대한 2가지 시험을 수행한 결과 아래와 같은 결과를 도출할 수 있다.

1) 풍력 정하중 시험은 간단한 시험환경으로 정량적인 시험을 수행할 수 있었으나, 요구 풍속조건외 최악 조건이 일정하게 가해지는 과도한 시험임을 알 수 있었다. 또한, 바람의 힘 이외에 기타 진동 인자에 의한 영향을 볼 수 없는 시험이다.

2) 인공바람 시험은 실제 자연바람 환경에서 작용하는 바람의 거리 손실, 불규칙한 진동, 와류 등에 의한 효과가 현실성 있게 반영되고 있다는 것을 알

수 있었다. 단순한 구조적 강성도 중요하지만 진동에 의한 안테나 거동, 전파 지향 geometry의 왜곡도 전파 성능에 직접적인 영향을 미친다는 것을 알게 되었다.

3) 안테나의 변형각 최소화를 위한 구조적 개선은 해석을 통해 취약부위를 도출하고 보완이 용이하나, 이러한 다물체 복합 시스템에서는 각 부위별 질량, 강성 인자가 다양하여 개선방향 도출이 쉽지 않다. 따라서, 가속도 데이터를 측정/분석하여 진동 측면의 취약점과 개선방향을 파악할 필요가 있다.

2.4 진동 응답 특성 분석

(1) 고유주파수 분석

구조물의 진동 저감 설계 시 구조물의 모달 특성은 외란과 공진 여부, 개선 방향 및 목표 설정 등에 효과적으로 활용될 수 있다⁶⁾. 연구 대상 장비의 크기와 시험 제한 환경을 고려하여 가장 관심부위인 주반사판조립체를 임팩트해머로 가진하여 모달시험을 수행하였다. 모달시험 결과데이터를 Fig. 10에 나타내었으며 상단은 전달함수 그래프이며 하단은 위상 그래프이다. 모달시험결과 주반사판프레임의 1차 고유진동수는 19 Hz임을 확인하였고 모드 형태는 Fig. 11과 같이 트위스트 모드로 확인되었다.

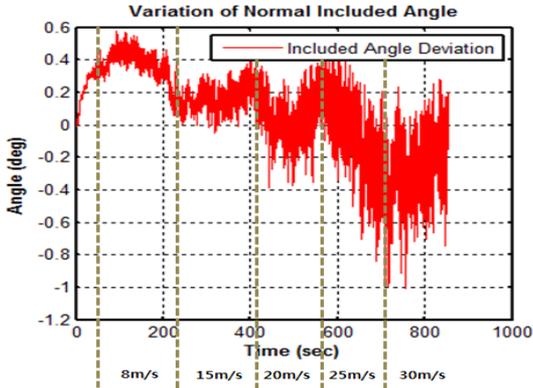


Fig. 9 Included angle (without bracket)

Table 5 Results of artificial wind test (without bracket)

Type	Results					
		8 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s	30 m/s
#1 angle [°]	Ave.	108.4	108.5	108.4	108.3	108.5
	Var.	0.1	0.15	0.2	0.5	1.4
#2 angle [°]	Ave.	88.15	88.17	88.17	88.14	88.28
	Var.	0.1	0.2	0.25	0.3	0.5
#3 angle [°]	Ave.	108.4	108.5	108.4	108.3	108.5
	Var.	0.1	0.15	0.2	0.5	1.4
Beacon O band [dB]	Ave.	-49.25	-49.56	-49.91	-50.12	-50.55
	Var.	0.4	0.4	0.4	0.5	2
Beacon OO band [dB]	Ave.	-41.8	-42.03	-42.04	-46.18	-47.62
	Var.	0.4	0.4	0.5	7	8

※ Ave. : average / Var. : variation
 ※ Shaded cells : over the reference
 ※ Bold & italic text : not good

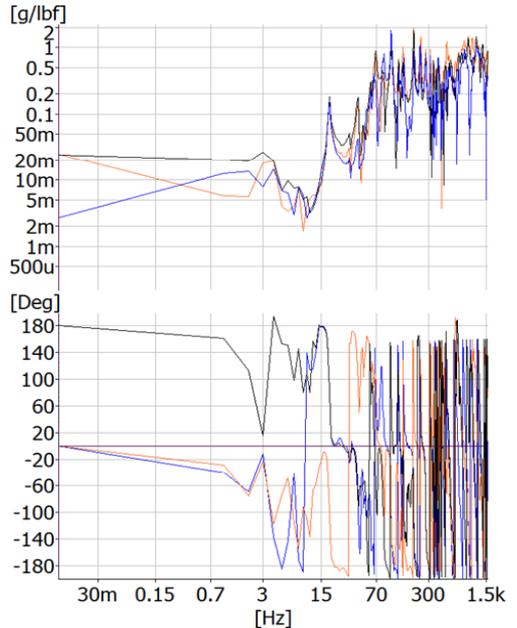


Fig. 10 Results of modal test

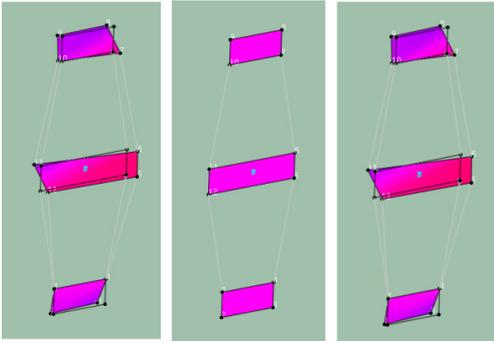


Fig. 11 Mode shape(modal test)

(2) 진동 응답 분석

다음은 Fig. 12의 적색 점선 표시부와 같이 주반사판조립체 후면에 가속도 센서를 장착하고 풍속 단계별 인공바람 시험에 대한 진동 응답 특성을 확인하였다. 풍속 8 m/s에서 30 m/s 전 구간에 대한 진동 응답을 측정된 결과 Fig. 13과 같이 베이스프레임 상부가 갖는 3 Hz 전후방 거동 모드가 가장 지배적이고 유주파수로 나타났다.

구체적인 보완 방향을 알기 위해 연구대상을 진동 분석 모델로 표현하면 Figs. 14, 15와 같고, 식 (7), (8)과 같이 운동방정식을 유도할 수 있다. 결국 주반사판조립체의 변형 x_1 과 사잇각 편차 변형을 최소화 해야 하므로 이에 대한 식으로 유도하면 식 (9)에서 식 (11)과 같다.

$$-m_M \ddot{x}_1 = k_M(x_1) + c_1(\dot{x}_1) - F_1 - k_2(x_2 - x_1) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (7)$$

$$-m_2 \ddot{x}_2 = k_2(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_3(x_2) - F_2 \quad (8)$$

$c_2 \approx 0$ (가스스프링 특성)이며, 사잇각의 편차를 미소각으로 간주하여 수평방향의 차이로 비교하면 $x_1 - x_2 = y$ (사잇각 편차) 이다.

위 조건을 식 (7)에 대입하면,

$$y = \frac{F_1 - m_M \ddot{x}_1 - c_1(\dot{x}_1) - k_M(x_1)}{k_2} \quad (9)$$

위 조건을 식 (8)에 대입하면,

$$y = \frac{-F_2 + m_2 \ddot{x}_2 + k_3(x_2)}{k_2} \quad (10)$$

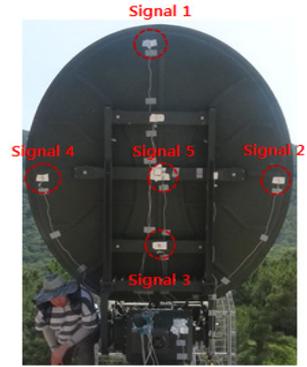


Fig. 12 Position of acceleration sensor (response test)

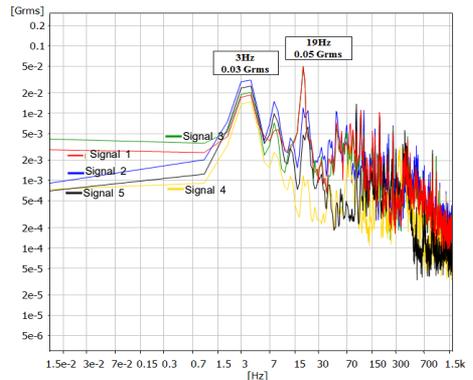


Fig. 13 Acceleration value of artificial wind test (without bracket)

식 (9) = 식 (10)이고 $c_1 \approx 0$ (구조부재 특성)로 간주하여 x_1 의 함수로 정리하면,

$$x_1 = \frac{(F_1 + F_2) - m_M \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 - x_2(k_3)}{k_M} \quad (11)$$

식 (9) / 식 (10)에서 y 를 최소화 하기 위해서는 k_2, k_3, k_M, m_M, m_2 를 증가시킬 수 있고, 식 (11)에서 x_1 을 최소화 하기 위해서는 k_3, k_M, m_M, m_2 을 증가시킬 수 있다. 여기서 k_2 는 k_M 대비 매우 작은 수치로 영향이 미미하며, m_M, m_2 는 적재중량에 악영향을 끼치고, k_3 는 x_1 을 증가시키므로 배제하면 결국 현실적으로 k_M 의 증가를 고려해야 한다.

$$k_M = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_s}} = \frac{k_1 \times k_s}{k_1 + k_s} \quad \text{이므로,}$$

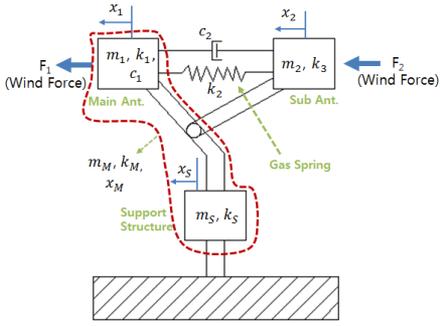


Fig. 14 Free body diagram for research item

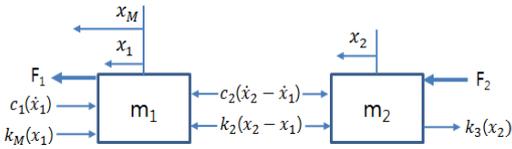


Fig. 15 Model for vibration analysis

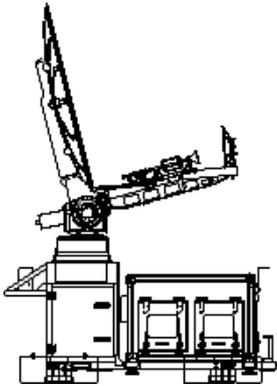


Fig. 17 Before change

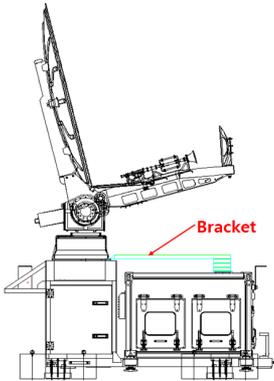


Fig. 18 After change

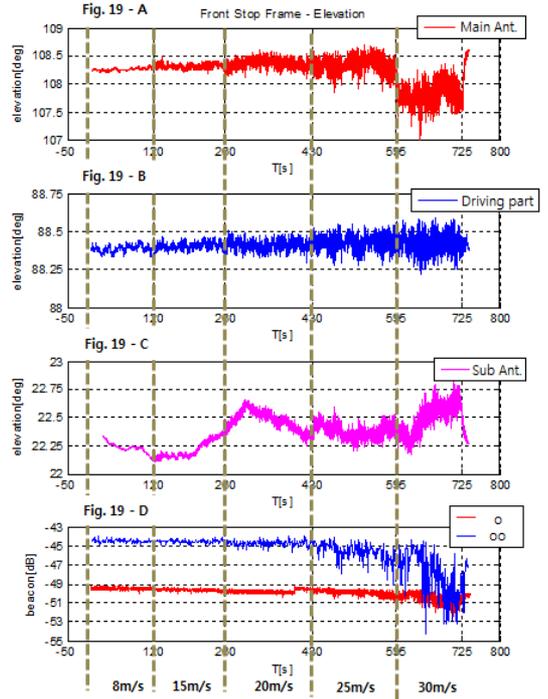


Fig. 18 Variation of sensors on wind (with bracket)

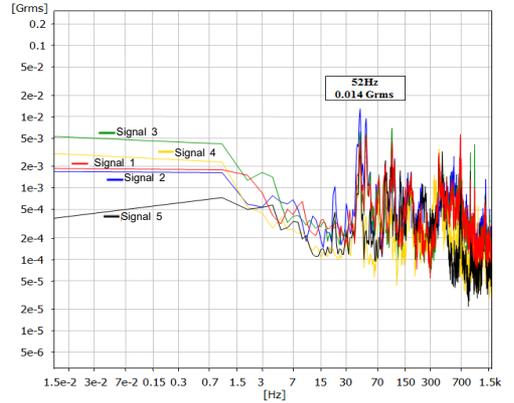


Fig. 19 Acceleration value of artificial wind test (with bracket)

k_1 과 k_s 를 동시에 증가해야 효과적이지만 바람에 의한 가진은 10 Hz 이하의 저주파수를 가지고 있기 때문에 해당 범위내 고유주파수 3 Hz를 갖는 베이스프레임 상부의 강성 개선을 통한 고유주파수의 증가로 외란과의 공진을 회피할 필요가 있다. 따라서, k_s 를 증가시키는 방향으로 Fig. 16에서 Fig. 17로 보완하였다.

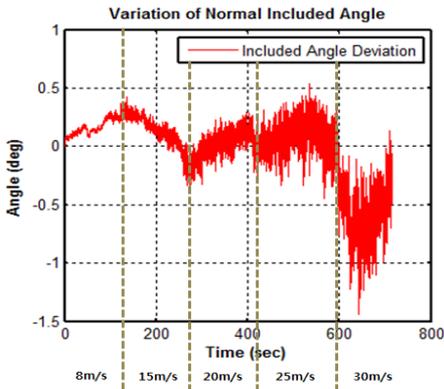


Fig. 20 Included angle(with bracket)

Table 6 Results of artificial wind test(with bracket)

Type		Results				
		8 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s	30 m/s
#1 angle [°]	Ave.	108.2	108.3	108.4	108.4	107.8
	Var.	0.1	0.15	0.3	0.5	0.7
#2 angle [°]	Ave.	88.39	88.4	88.42	88.4	88.42
	Var.	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
#3 angle [°]	Ave.	22.21	22.18	22.51	22.32	22.57
	Var.	0.2	0.25	0.37	0.3	0.5
Beacon O band [dB]	Ave.	-49.3	-49.54	-49.85	-50.54	-51.39
	Var.	0.4	0.4	0.5	0.8	2
Beacon OO band [dB]	Ave.	-44.39	-44.52	-44.66	-45.88	-49.38
	Var.	0.4	0.4	0.8	2.5	8

※ Ave. : average / Var. : variation
 ※ Shaded cells : over the reference
 ※ Bold & italic text : not good

(3) 개선방안 적용 결과

각 항목별로 보완 전/후를 비교해보면 다음과 같다.

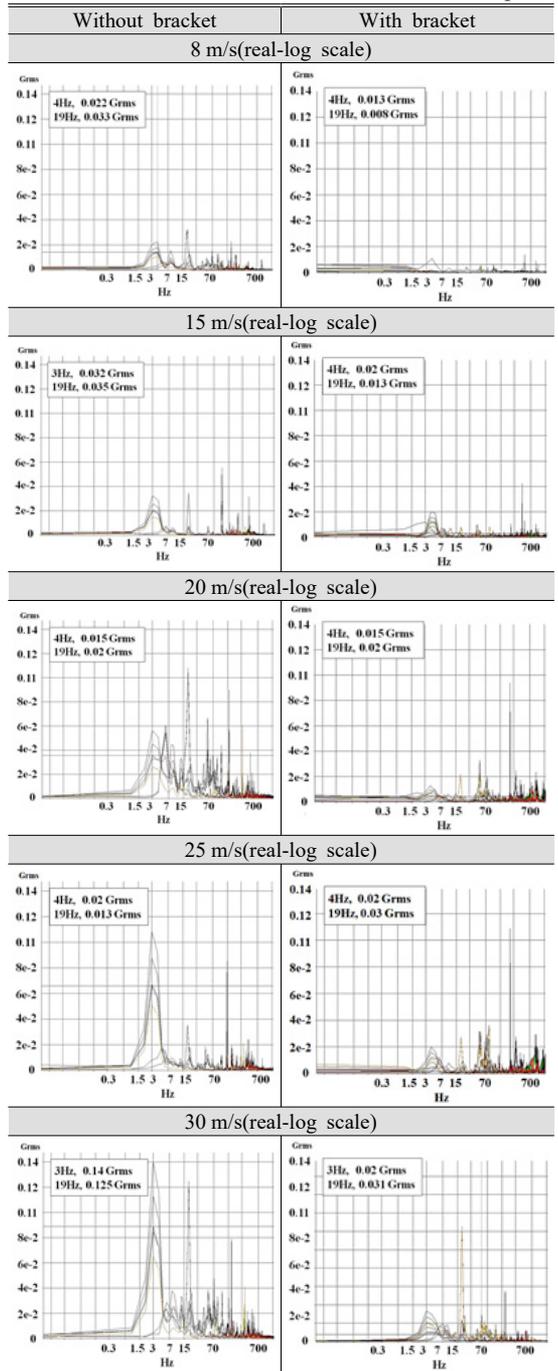
1) 단계적 풍속조건 전 구간에 대한 진동응답 측정 결과 Fig. 13과 Fig. 19를 비교하면 3 Hz 고유주파수가 나타나지 않았고, 각 풍속 단계의 구간별로 분석했을 때에도 Table 7과 같이 베이스프레임 상부에서 발생하는 3 Hz에서의 응답 가속도 크기가 현저하게 감소되었다.

2) Fig. 8과 Fig. 18을 비교하면 주반사판조립체(A 그래프)의 각도 변화는 30 m/s에서 증가했으며, 베이스프레임 상부(B 그래프)의 각도 변화는 고르게

안정화 되었다.

3) 부반사판조립체(C 그래프)의 각도 변화는 20 m/s에서 증폭하고 25 m/s에서 안정해지는 상반된 결

Table 7 Acceleration response results according to existence of the bracket for the wind speed



과를 얻었고, 비콘수신레벨(D 그래프)은 25 m/s에서 급격한 하강 특성이 서서히 감소하는 특성으로 완화되었다.

4) Fig. 9와 Fig. 20 비교시에는 안테나의 사잇각은 더 큰 편차를 가지면서 전체적인 경향은 유사하였다.

결국 보증 풍속수준은 Table 5와 Table 6에서 수직상으로 비교 시 25 m/s에서 30 m/s로 향상되었으며, 각도의 편차, 비콘수신레벨도 개선된 결과를 보였다. 하지만 진동에 의한 편차값은 25 m/s 이후에 빔폭각의 2배 이상, 비콘수신레벨 2 dB 이상 발생하고 있어 향후 안테나와 시스템 형상이 증가된다면 추가적인 강성 개선이 필요하다고 판단된다.

3. 결 론

이 연구를 통하여 풍속조건에 노출된 대형 다물체 복합 구조물의 정밀 지향 성능에 대해 2가지의 시험결과를 비교할 수 있었고, 구조 뿐만아니라 진동에 대한 영향을 크게 받고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 종합 결론을 정리하면 아래와 같다.

(1) 풍속조건을 받는 연구대상은 정하중 시험보다 인공바람 시험을 통해 입증하여야 자연바람 요구조건 상황을 현실성 있게 반영하여 진동의 영향을 고려할 수 있으며 시험과 보완이 가능하다.

(2) 타워형 외팔보 구조의 정밀 지향시스템에서는 다양한 강성 변수를 이용하여 개선할 수 있으나, 설계 제한사항을 고려 시 안테나와 지지구조물의 강성증가가 가장 현실적인 개선방향이었다.

(3) 전파 빔을 방사하는 부재의 지지구조물의 강성 보완만으로도 진동의 의한 지향각 편차가 감소하고, 추세선이 안정화되며, 결국 전파의 수신레벨이 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후에 offset 안테나와 지지구조물을 동시에 강성을 높일 수 있는 효과적인 방안 도출시 보다 향상된 내풍속 전파 특성을 확보 할 수 있을 것이라 예상된다.

후 기

이 논문은 군위성통신체계-II 다대역위성단말 개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구이다.

References

- (1) Lee, S. H., Kim, S. Y. and Kwon, S. D., 2011, A Study on the Correction of Turbulence Spectrum in Wind Tunnel Test, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 423-425.
- (2) Kim, J. O., Jeon, J. H., Cho, L. J. and Kim, S. H., 2011, Wind-induced Vibration at the Towers of Wind-turbine Generators, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 459-460.
- (3) The Staff of Lab-volt Ltd., 2011, Satellite Orbits, Coverage, and Antenna Alignment, Lab-Volt Ltd., Canada, Exercise 3, pp. 129-132.
- (4) Department of Defense Interface Standard, 2012, MIL-STD-188-164 Interoperability of SHF Satellite Communications Terminals, p. 24, p. 40.
- (5) Sophocles, J. O., 2013, Electromagnetic Waves and Antennas, Rutgers University, p. 702, p. 847.
- (6) Lee, J. H., Ryu, G. H., Yang, S. C., Kim, J. E. and Jung, D. Y., 2012, Simplified Finite Element Model Building of an External Mounting Pod for Structural Dynamic Characteristics Analysis of and Aircraft, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 495-501.



Sang-Hyun Kim received his B.S. degrees from Korea Aerospace University in 1998 and 2001. He is a research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. His research interests are design and analysis about military satellite system, actuator, vibration, shock and noise environments.



Jong-Ik Jeon is research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received his the degree of master from Hanyang University. His research interests are shock/vibration and fatigue/fracture.



Byung-Jun Kim is research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received his B.S. degrees from Hanyang University in 1988 and 1992. His research interests are design and analysis about analysis

about military equipments under severe vibration, shock and noise environments.



Ji-Ho Choi is a research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. His research interests are design and analysis about military equipments under severe vibration, shock and noise environments.



Jeung Lee received his B.S. degrees from Pusan University in 1986 and 1989. He is a research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. His research interests are design and analysis about military satellite system, ac-

tuator, vibration, shock and noise environments.



Ki-Min Hwang is a senior researcher at the Agency for Defense Development(ADD). He received the degree of master from Kyungpook National University. His research interests are mobile communications and satellite communications system.