

풍동실험을 통한 능동위상배열레이더에서 다층레이돔에 작용하는 공기력과 풍압의 실험적 연구

임성환^{*,1)} · 강광희¹⁾ · 최지호¹⁾ · 이승호²⁾ · 권순덕²⁾

¹⁾ LIG 넥스원(주) 기계연구센터

²⁾ 전북대학교 대형풍동실험센터

Wind Tunnel Test of Aerodynamic Forces and Wind Pressures Acting on Multi-layer Radom in Active Phased Array Radar

Sung-Hwan Yim^{*,1)} · Kwang-Hee Kang¹⁾ · Ji-Ho Choi¹⁾ · Seung-ho Lee²⁾ · Soon-Duck Kwon²⁾

¹⁾ Mechanical Engineering R&D Lab, LIG NEXI Co., Ltd., Korea

²⁾ KOCED Wind Tunnel Center, Chonbuk National University, Korea

(Received 6 November 2013 / Revised 30 December 2013 / Accepted 17 January 2014)

ABSTRACT

In this paper, we investigated the sensitivity of aerostatic force coefficients of multi-layer radom in the various wind speeds. The test was conducted in KOCED Wind Tunnel Center in Chonbuk National University, and wind speeds were in the range from 5 m/s to 26 m/s in order to determine the Reynolds number independence. The test results of present multi-layer radom were not affected by the Reynolds number, The maximum positive pressure coefficient was found to be 1.08 at the center of the front of the plane in angle of attack of 0 degree, the maximum negative pressure coefficient was -2.03 at the upper right corner in angle of attack of 120 degree, while maximum drag coefficient was 1.11 in angle of attack of 180 degree.

Key Words : Radome(레이돔), Wind Tunnel Test(풍동실험), Pressure Coefficient(풍압계수), Angle of Attack(영각), Static Pressure(정압), Negative Pressure(부압)

1. 서론

일반적으로 레이더는 선박 항해용 레이더로부터 시작하여 항공기 관제에 이르기까지 폭넓은 활용범위를

갖고 있는 장비이다. 레이더의 운용 특성상 레이더는 주로 개방되어 있는 장소, 지상에서 높이 위치한 장소에 설치 운용된다. 그러므로 레이더는 바람에 의한 영향을 피할 수가 없게 된다. 바람은 동작중인 레이더에 여러 가지 물리적 영향을 일으키며, 일정한 속도를 갖고 회전해야 하는 레이더의 회전속도를 크게 바꿔 놓거나, 지속적으로 레이더 안테나에 영향을 미치게 되

* Corresponding author, E-mail: shyim1031@lignex1.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

면 구동모터의 소손까지도 발생하게 된다. 또한 능동 위상배열레이더의 레이돔의 경우 안테나의 RF 방사 시에 전기적인 투명창 역할을 수행하며, 외부의 환경 요소로부터 안테나를 보호하는 역할을 수행한다. 일반적으로 레이돔의 구조는 얇은 벽(Thin Wall)구조, 반파장(Half wavelength)구조, A-샌드위치구조, B-샌드위치구조, C-샌드위치구조 및 다층구조로 나눌 수 있는데^{11~21}, A-샌드위치구조의 경우 유리섬유를 면재(Skin)로 사용하고, 심재(Core)를 하니콤 또는 발포성 폼을 이용한 3층 구조로서 기계적, 전기적 특성이 우수한 것으로 알려져 있어 지상 및 해상레이더에 많이 적용되고 있다. 일반적으로 레이돔의 형상은 오자이브(ogive) 곡면의 형태를 가지므로 전파의 통과 위치에 따른 굴절율의 차이가 나게 되며, 재료의 특성 및 공정 등에 따른 오차가 추가되기 마련이다. 이러한 경우 개별 레이돔이 가지는 각각의 오차 특성을 미리 정밀하게 측정하여 보정표를 이용하여 보상하는 방법이 사용되나, 측정의 한계, 환경/운용에 따른 변화에 기인하는 잔여 오차는 여전히 남게 된다. 따라서 레이돔 형태에 따른 적절한 풍하중을 반영하여 설계 되지 않으면 레이돔 형상의 구조적 변형으로 인해 전기적 특성에도 영향을 미치게 된다. 이러한 이유로 복합재 재료 특성에 따른 굴절 오차 보상, 방사 특성 해석 및 레이돔 구조 최적화 등에 대한 연구는 많은 연구자들이 다양하게 수행하고 있다^{13~51}. 하지만 외력으로 작용하는 풍하중의 영향성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 초기 능동위상배열 레이더의 레이돔 구조설계에서는 풍하중에 대해 항력계수를 가정하여 집중하중 혹은 등분포하중으로 치환하여 구조해석을 통해 설계 하였다. 최근 들어 보다 경제적인 설계를 위해 일부 연구자들이 전산유체해석을 통해 산정된 풍하중 결과를 바탕으로 구조해석을 수행한 사례가 일부 있으나, 전산유체해석의 근본적인 한계를 벗어나지는 못하고 있다^{16~71}. 설계 시 단면 형상에 따라 문헌상의 항력계수를 사용하는 경우가 대부분이나, 박리점이 일정한 사각단면의 경우에도 폭과 두께비에 따라서 항력계수 0.9에서 2.4까지 달라질 수 있다^{18~91}. 따라서 대상 레이더 구조물의 형태에 따라 항력계수가 과대평가 되거나, 과소평가 되는 현상이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 능동위상배열 레이더의 레이돔에 작용하는 풍향에 따른 풍하중 산정을 위해 상사법칙에 따라 축소된 풍압실험 모형과 공기력실험 모형을 제작하여 레이더의 일반적인 운용풍속 조건인 5~26m/s

에서 레이놀즈수 영향을 평가한 후 레이더 회전각도를 다양하게 변화시켜 영각에 따른 레이돔에 작용하는 압력과 공기력을 측정하고, 형상설계에 영향을 미치는 풍압계수 및 공기력계수를 도출하였다. 또한 풍동실험에서 도출된 결과를 반영하여 레이돔의 응력해석(구조해석)을 통해 구조적인 안정성을 평가하여 그 결과를 제시하였다.

2. 레이돔 풍동실험

2.1 레이돔구조

본 연구대상인 능동위상배열 레이더의 전체 크기는 폭 1,850mm, 길이 3,370mm로 설계되었으며, 레이돔의 스킨부는 HG120/RS1212, 플렌지부는 HPW193/RS1212, 코어부는 Nomex honeycomb로 구성되어 있다. 레이돔의 전파투과면 적층구조는 Fig. 1과 같다. 레이돔의 주파수 대역은 C-Band대역이며, 샌드위치 Multi-layer구조를 갖고 있다. 두께는 성형 후 12.0mm이다.

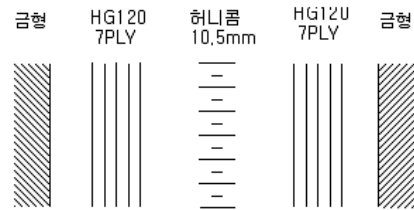


Fig. 1. Radom structure of laminating

2.2 모형의 제작

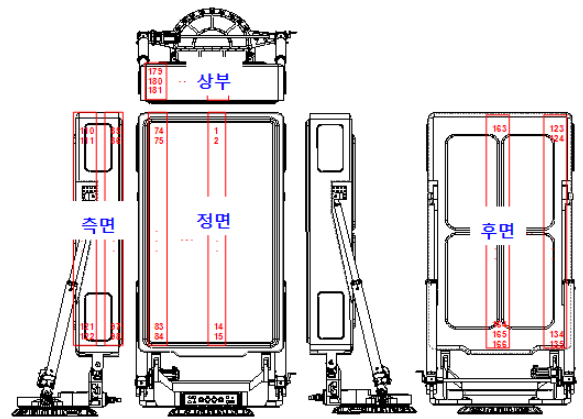


Fig. 2. Test model of Radar

본 연구의 레이더 풍동실험 모형은 풍동의 폐쇄율을 고려하여 1:5 스케일의 모형으로 제작하였으며, 제작된 모형의 크기는 높이 837mm, 폭 370mm, 두께 125mm이다. 모형의 외형은 아크릴로 제작되었으며, 레이더 하부 연결부와 실린더 지지대는 충분한 강성 확보를 위하여 두랄루민(duralumin)으로 제작하였다. 시험모형의 형상은 Fig. 2와 같다.

2.3 실험 시설 및 실험 장비

본 연구는 전북대학교 대형풍동실험센터의 경계층 풍동에서 수행하였다. 수직순환형 폐회로 방식의 경계층 풍동으로 풍속 및 시험부 규모에 따라 고속시험부와 저속시험부로 구분되어있으며, 레이더 풍동실험은 고속시험부에서 실시하였다. 고속시험부의 크기는 폭 5m, 높이 2.5m, 길이 20m 이며, 풍속범위는 0.5~31m/s 이고, 난류강도는 1.5% 미만의 등류를 형성할 수 있다. 대형풍동의 내부투시도는 Fig. 3에 나타나 있다.

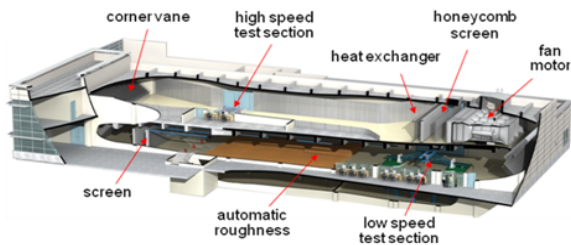


Fig. 3. Cross section of KOCED Wind Tunnel Center

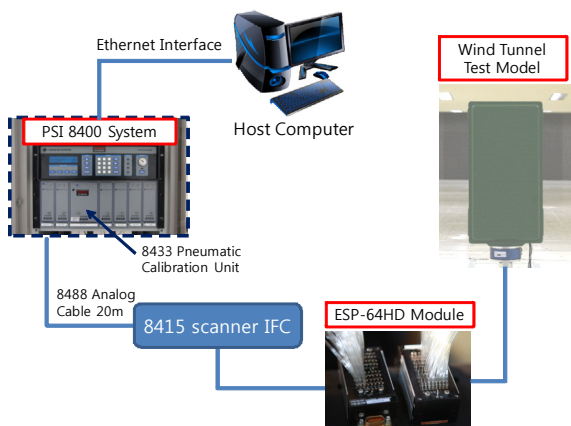


Fig. 4. Experimental equipment of pressure measurement

레이더 모형에 작용하는 풍압을 측정하기 위하여 $\pm 254\text{mmAq}$ 까지 측정 가능한 PSI사의 8400 system 풍

압측정 장비를 사용하였다. 실험 시에는 총 3개의 ESP-64HD 모듈을 사용하였고, ESP 모듈은 각각 64개의 채널을 가지고 있다. 압력 측정장치의 시스템 구성도는 Fig. 4에 나타나 있다.

레이더 모형에 작용하는 공기력을 측정하기 위하여 Fx, Fy, Fz, Mx, My 및 Mz 방향의 힘을 동시에 측정할 수 있는 6분력계(JR3사, Model:160M50)를 사용하여 측정하였다.

3. 공기력 측정

3.1 실험 조건

공기력 측정 실험 시 기류는 등류로 한정하였다. 풍동 유로 내의 바닥면 경계층의 영향을 피하기 위하여 바닥면으로부터 충분한 높이를 확보하여 모형을 설치하였으며, 레이더 구동에 따른 바람입사각은 실험풍속 11.6m/s와 26m/s에 대하여 각각 15도 및 45도 간격으로 달리하여 0~360도까지 풍압실험을 수행하였다. 풍동 유로 내 실험모형 설치 사진과 공기력 실험조건은 각각 Fig. 5과 Table 1에 나타나있다.

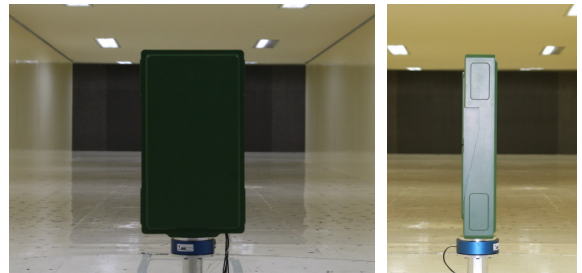


Fig. 5. Model of aerodynamic force test

Table 1. Test condition of aerodynamic force

조건	영각 [도]	기류	속도 [m/s]
1	0~345 (15도 간격)	등류	11.6
2	0~315 (45도 간격)		26

바람이 미치는 힘은 6개의 분력으로 나눌 수 있다. 이들 성분에 대한 좌표계는 Fig. 6과 같이 구조물에 대해 정의할 수도 있고, Fig. 7과 같이 기류에 대해

정의할 수도 있다.

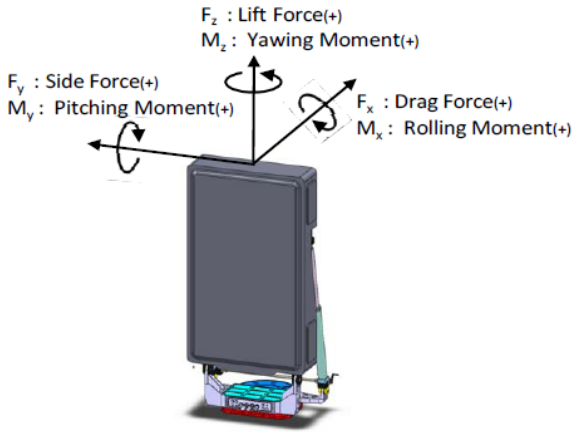


Fig. 6. Coordinate of structure

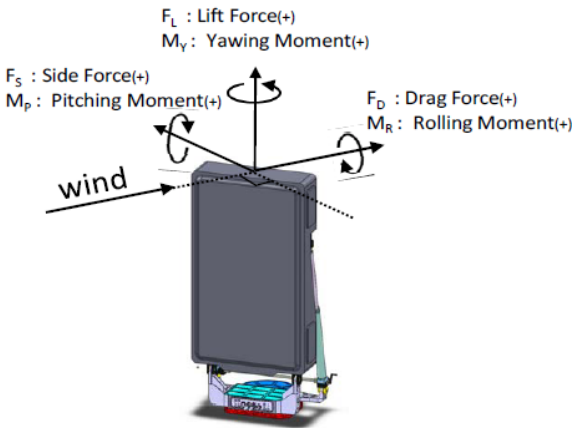


Fig. 7. Coordinate of fluid

본 논문에서 공기력 실험 시 좌표계는 레이돔 하부 설계 시 적합한 구조물 좌표계를 적용하여 실험을 진행하였다. 영각 변화에 대한 좌표계의 변환은 식 (1)~(4)와 같다.

$$F_d = F_x \cos\theta + F_y \sin\theta \quad (1)$$

$$F_s = F_x \sin(\theta + 180) + F_y \cos\theta \quad (2)$$

$$M_R = M_x \cos\theta + M_y \sin\theta \quad (3)$$

$$M_P = M_x \sin(\theta + 180) + M_y \cos\theta \quad (4)$$

공기력계수는 풍하중을 무차원화 시킨 계수로서 임의의 공기 밀도 및 풍속에 대해서도 하중을 얻어낼 수 있다는 큰 장점이 있다. 또한 비슷한 형상의 단면이면 거의 같은 값을 사용할 수 있다. 정적 공기력계수 C_D (drag force coefficient), C_S (side force coefficient), C_L (lift force coefficient), C_{MR} (rolling moment coefficient), C_{MP} (pitching moment coefficient), C_{MY} (yawing moment coefficient)에 대한 정의는 식 (5)에 나타나있다.

$$C_D, C_S, C_L = \frac{F_D, F_S, F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

$$C_{MR}, C_{MP}, C_{MY} = \frac{M_R, M_P, M_Y}{\frac{1}{2} \rho U^2 A H} \quad (5)$$

여기서 $F_D, F_S, F_L, M_R, M_P, M_Y$ 는 각각 drag force, side force, lift force, rolling moment, pitching moment, yawing moment이고, ρ 는 공기밀도, A 는 모형의 면적, H 는 모형의 높이, U 는 평균풍속이다.

3.2 레이놀즈수의 영향

레이놀즈수는 관성에 의한 힘과 점성에 의한 힘의 비로 유체동역학에서 가장 중요한 무차원 수 중 하나이다. 공기를 매질로 하는 풍동실험에서 공기의 관성 영향 즉 단위 시간당 통과하는 유체의 질량과 밀접한 관계가 있는 계수이다. 레이놀즈수는 다음과 같은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu} \quad (6)$$

여기서 ρ 는 공기밀도, U 는 접근기류의 풍속, L 은 구조물의 특성길이, μ 는 공기의 점성계수이다.

축소모형실험이 실제 풍동실험의 결과를 반영하기 위해서는 레이놀즈수에 따른 풍하중 및 풍압의 변화 여부를 확인해야 한다. 이때 풍속 실험 결과가 실제 구조물 설계에 유용한 데이터가 되기 위해서는 반드시 레이놀즈수에 독립적인 범위 내에서 수행되어야 한다. 이에 기류 조건은 등류로 한정하고, 레이놀즈수를 $3.0 \times 10^5 \sim 1.6 \times 10^6$ 으로 달리하여 실험을 수행하였다.

실험 조건은 Table 2에 나타나 있고, 레이놀즈수에 따른 공기력의 변화는 Fig. 8에 나타나 있다. 실험 결

과 구조물은 레이놀즈수의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

Table 2. Test condition according to Reynolds number

조건	속도 [m/s]	기류	레이놀즈수
1	5	등류	3.0×10^5
2	10		6.1×10^5
3	15		9.1×10^5
4	20		1.2×10^6
5	26		1.6×10^6

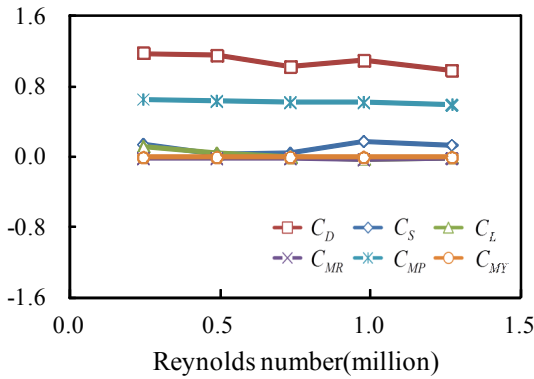


Fig. 8. Aerodynamic force coefficient according to Reynolds numbers

3.3 실험 결과

레이돔에 작용하는 바람 입사각 변화에 따른 공기력 측정 실험 조건은 풍압 실험과 동일한 조건에서 실험을 수행하였다. 실험 결과는 Fig. 9와, Fig. 10에 나타나 있다. 두 가지 풍속 조건 11.6m/s와 26m/s의 실험 결과가 잘 일치하고 있으며, 좌우 대칭인 바람입사각에 대해서도 유사한 실험 결과를 보이고 있다. C_D 의 경우 바람입사각 0도와 180도에서 각각 1.108 ± 0.044 (95%신뢰수준)과 -1.063 ± 0.042 (95%신뢰수준)의 가장 큰 공기력계수 값을 보이고, C_S 의 경우 바람입사각 60도와 255도 영각에서 가장 큰 공기력계수 값을 보였다. C_L 및 C_{MY} 의 경우 모든 바람입사각에서 0에 가까운 값을 보인다. 또한 C_{MP} 의 경우 바람입사각 0도와 180도 영각, C_{MR} 의 경우 바람입사각 105도, 240도에서 가장 큰 공기력계수 값을 보였다.

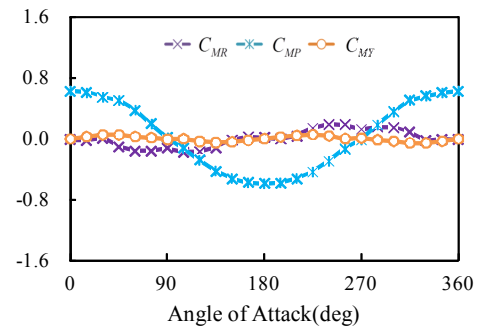
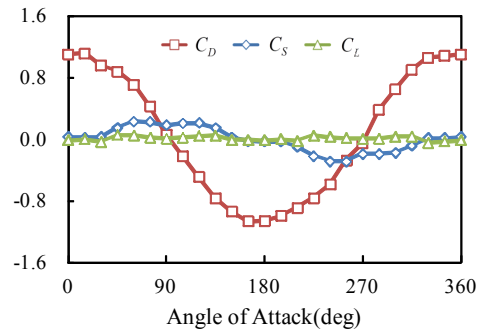


Fig. 9. Distribution of Aerodynamic force coefficient (U=11.6m/s)

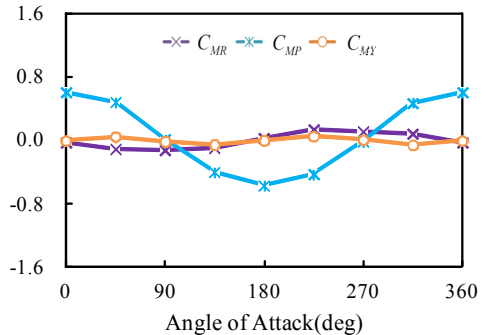
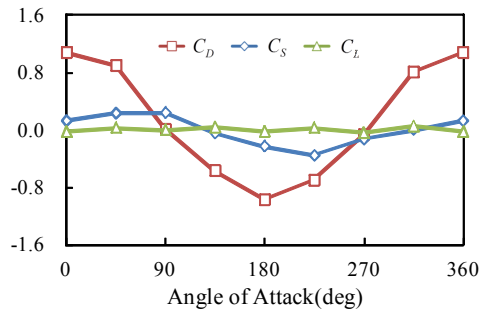


Fig. 10. Distribution of Aerodynamic force coefficient (U=26.0m/s)

4. 풍압 측정

4.1 실험 조건

풍압 측정을 위해 정면, 측면, 평면 및 후면에 각각 84개 38개, 44개, 15개 총 181개의 풍압공을 설치하였으며, 정확한 풍압 측정을 위해서 모형 내부에 ESP module를 내장하였다. ESP module이 포함된 풍압실험 모형은 Fig. 11에 나타나 있다. 풍압 측정 실험 시 기류는 난류강도 1.5% 이하의 등류로 한정하였으며, 레이돌 구동에 따른 바람입사각은 실험풍속 11.6m/s와 26m/s에 대하여 각각 15도 및 45도 간격으로 달리하여 0~180도까지 풍압실험을 수행하였다. 레이돌 구동에 따라 바람입사각을 15도 간격으로 달리하여, 풍압실험을 수행하였다. 풍압 실험 조건은 Table 3에 나타나 있다.

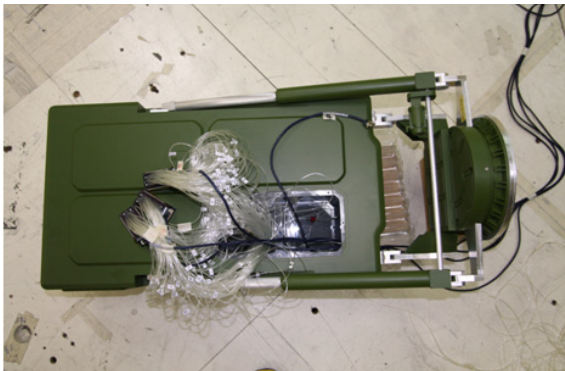


Fig. 11. Model of pressure test

Table 3. Test condition according to angle of attack and velocity

조건	영각 [도]	기류	속도 [m/s]
1	0~180 (15도 간격)	등류	11.6
2	0~180 (45도 간격)		26

4.2 레이놀즈수의 영향

실험 조건은 공기력실험(Table 2)과 동일하며 대표 풍압공의 레이놀즈수 변화에 따른 풍압의 변화는 Fig. 12에 나타나 있다. 풍속을 달리하여 레이놀즈수의 영향을 검토해본 결과 공기력 실험결과와 동일하게 레이놀즈수의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

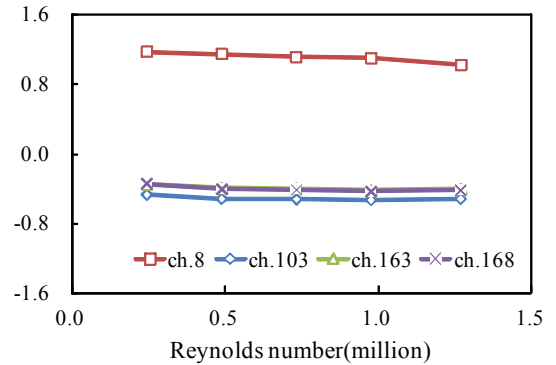
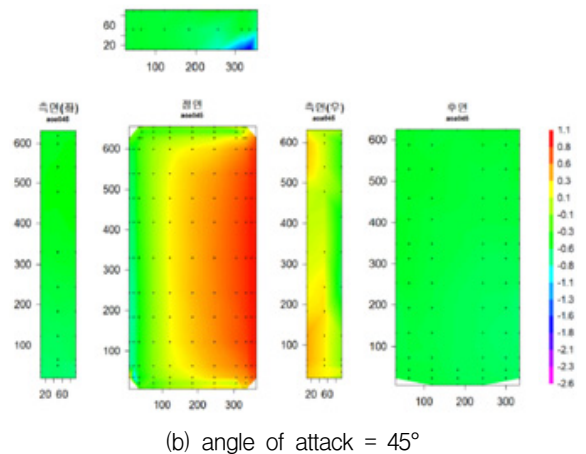
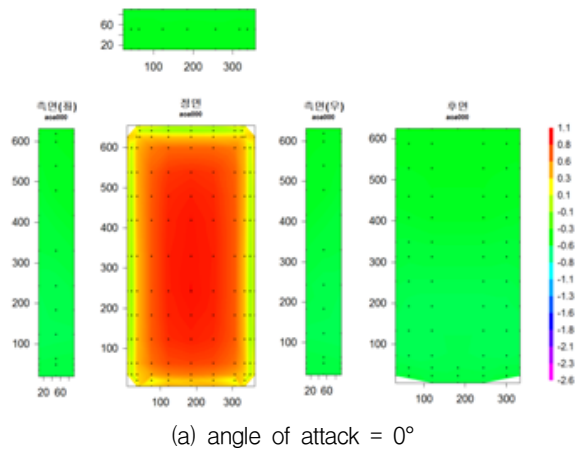
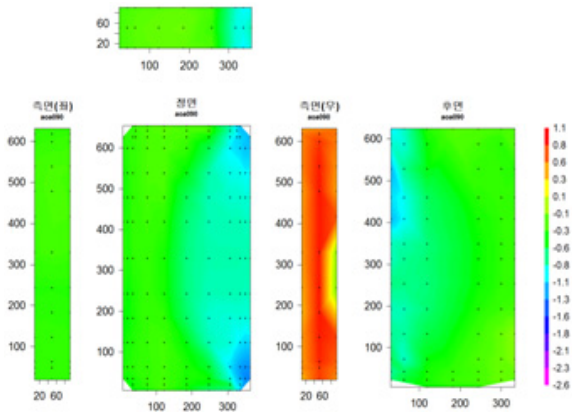


Fig. 12. Effect on Reynolds number of pressure tap

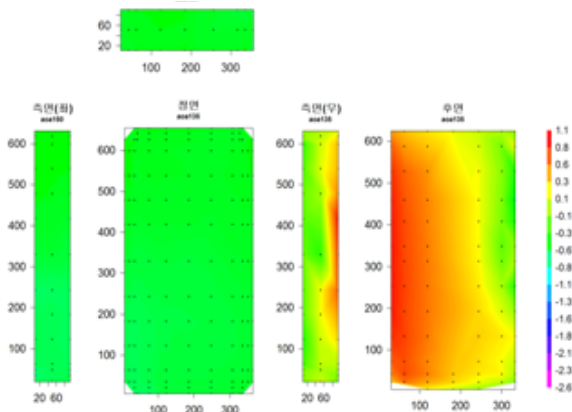
4.3 실험 결과

본 연구에서는 다양한 영각 조건에서의 풍압분포를 알아보기 위하여 11.6m/s와 26m/s 두가지 풍속에 대해

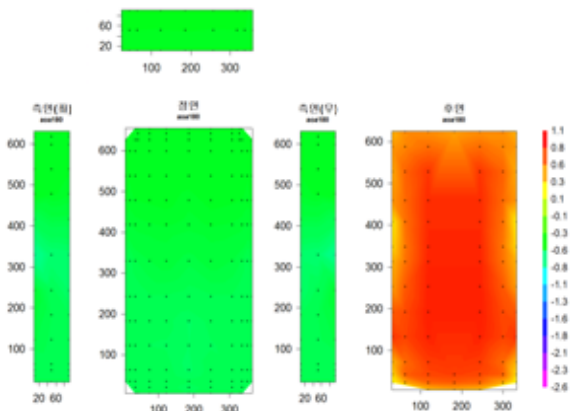




(c) angle of attack = 90°



(d) angle of attack = 135°



(e) angle of attack = 180°

Fig. 13. Distribution of pressure coefficient according to angle of attack

여 실험을 수행하고, 그 결과를 비교하였다. Fig. 13은 영각에 따른 풍압분포를 나타내고 있다. 영각 0도 일 때 정면 중앙의 위치에서 1.08의 가장 큰 정압과 영각 90도에서 정면 우측 하단 위치에서 -1.43의 가장 큰 부압을 보였다. 하지만 영각 0도에서 중앙 위치에서는 가장 큰 정압을 보였으나, 코너부의 Chamber구간 및 Round로 처리된 구간에서는 낮은 정압을 보였다.

풍압실험의 경우 풍압공의 개수 및 위치가 적절하게 배치되지 않으면, 측정된 실험 결과를 이용하여 해석을 수행할 경우 많은 오차를 포함하게 된다. 실험 조건 및 결과의 신뢰성 확인을 영각 0도, 26m/s 조건에서 측정된 풍압 분포를 각각의 대표 면적으로 적분하여 공기력 실험 결과와 비교하여 보았다. 풍압 분포를 적분하여 얻어진 항력계수는 1.106으로 공기력 실험에서 6분력계를 사용하여 측정된 값인 1.108과 약 0.2%의 오차를 보이며 잘 일치하고 있다. 이는 풍압공이 충분한 대표성을 가지는 위치에 배치되었고, 압력측정 위치의 개수도 충분하다는 것을 의미한다. 또한 정면과 후면의 풍압 분포를 분석한 결과 각각 60%와 40%의 분담율을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 풍압분포는 레이더의 형상 설계 시 유용하게 사용될 수 있다.

5. 레이더 구조해석

5.1 유한요소(FEM) 모델

레이더 설계에 있어 레이더와 안테나 복사소자간 거리는 전기적인 성능(삽입손실 및 Active VSWR 등)에 영향을 미치게 된다. 따라서 외력에 의한 레이더의 변형량은 매우 중요한 설계인자이므로 풍압 및 풍력시험을 통해 얻은 실험결과를 토대로 다층 복합소재인(Skin : HG120/RS1212, Core : ECA-R/OX Normex) 레이더 구조해석을 수행하여 운용풍속 26m/s에서 레이더의 변위량을 계산하였다. 다층 복합소재의 기계적 물성치는 Table 4와 같다. 구조해석은 상용 구조해석 프로그램인 ANSYS Ver.13.0을 사용하여 수행하였으며, 사용된 요소는 적층 솔리드(Layered solid)요소를 이용하여 다층복합소재레이더의 모델링을 수행하였다. 사용된 요소의 수는 286,470개이며, 다층복합소재 레이더의 볼트 체결부는 3D spar, Multi-point constraint element를 이용하였다. Fig. 14는 레이더의 유한요소(FEM 모델)를 나타내고 있다.

Table 4. Mechanical property of multi-layer radom

구분	Skin (HG120/RS1212)	Core (ECA-R Nomex)
E_1	22.51GPa	1MPa
E_2	22.01GPa	1MPa
E_3	6.73GPa	117.21MPa
ν_{12}	0.148	0.499
ν_{13}	0.28	0.001
ν_{23}	0.28	0.001
ρ	1,800kg/m ³	48kg/m ³

Table 5에 비교하였다. 해석 결과 실제 실험을 통해 얻은 풍압분포를 적용한 경우 레이돔의 변위가 약 30%이상 감소된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 레이돔의 실제 형상을 반영하지 못한 이론적인 항력계수 적용에 따른 오차와 계산된 풍하중을 등분포하중으로 적용함으로써 발생하는 오차로 분석된다.

Table 5. Displacement of radom according to wind force

해석조건	최대 변위 (mm)
등분포하중	14.6
풍압실험 결과 반영	11.3

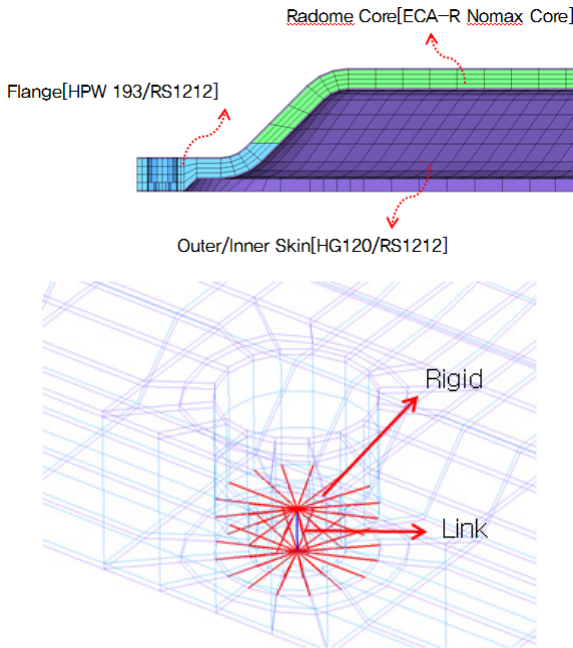
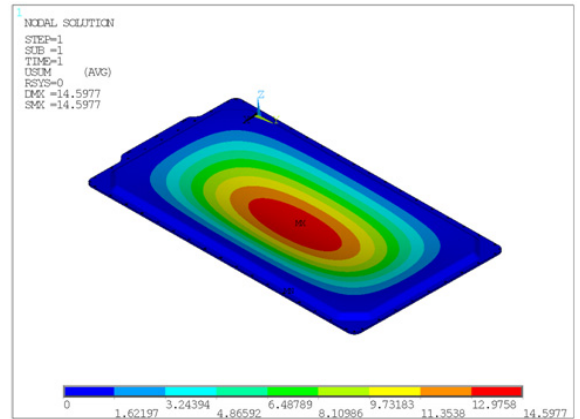


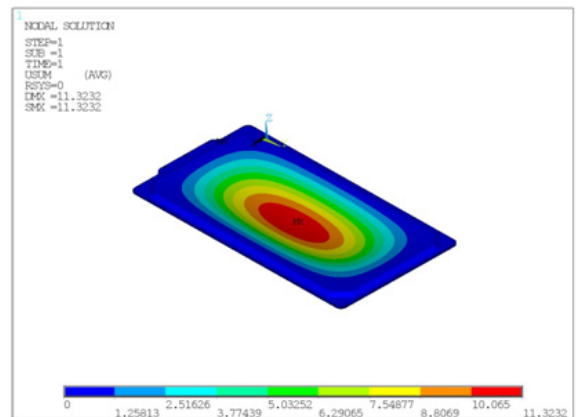
Fig. 14. FEM model of radom

5.2 구조해석 결과

풍하중을 고려한 구조해석 시 기존의 설계 방법인 가정된 사각 단면형상이 갖는 항력계수($C_D = 1.2$)를 통해 산출된 풍하중을 등분포하중으로 해석하는 방법과 풍동실험을 통해 측정된 풍압분포를 각각의 대표 면적으로 나누어서 해석하는 방법을 적용하여 구조해석 결과를 비교하였다. 구조해석 결과는 Fig. 15에 나타나 있고, 각각의 해석 방법에 따른 해석결과를



(a) uniform load



(b) experimental pressure

Fig. 15. Displacement of radom according to analysis condition

6. 결론

본 연구에서는 레이돔의 합리적이고 경제적인 풍하중 산정을 위해 풍동실험을 수행하였고, 1:5의 축소모형을 제작하고, 최대 풍속 26m/s 조건하에서 풍압과 공기력을 측정하였다. 이러한 풍동실험 결과를 바탕으로 상세 구조해석을 통해 기존의 설계 방법과 비교 분석하였다. 레이돔의 경우 약간의 곡률 및 코너 경사를 가지고 있으나, 풍압 및 공기력 실험 결과 레이놀즈수에 영향은 없는 것으로 나타났다. 풍압실험 결과 레이돔 정면에 대한 풍압계수는 바람입사각 0도 일 때 정면 중앙부에 1.08의 가장 큰 정압과 바람입사각 90도에서 정면 우측 하단에서 -1.43의 가장 큰 부압을 보이고 있는 것으로 나타났다. 풍압실험을 통해 측정된 풍압분포를 대표 면적으로 적분하여 구한 항력계수가 공기력실험에서 구한 항력계수와 약 0.2% 오차 범위 내에서 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 이렇게 풍동실험을 통해 측정된 풍압계수를 바탕으로 상세 FEM해석을 수행하였고, 해석결과 기존 이론적 계산에 의한 설계 방법과 비교하여 보다 최적화된 결과를 도출할 수 있었다. 따라서 레이돔의 전기적 및 기계적 성능을 최적화하기 위한 합리적인 설계를 위해서는 레이돔의 형상에 따라서 정압보다 더 큰 부압이 걸리는 위치가 발생하며, 이러한 풍압분포를 반영한 설계가 필요하다고 판단된다. 또한 전체적으로 레이더 구조물의 경우 풍동실험을 통해 보다 최적화 설계가 가능함을 확인 할 수 있었다.

References

[1] Merrill I. Skolnik, Radar Handbook(McGrawHill, Third Edition), pp. 12.39-12.43.
 [2] J. D. Walton, Jr., Radome Engineering Handbook :

Design and Principles(Marcel Dekker, Inc. New York 1970)

- [3] D. Peterson, et. al., "Radome Boresight Error and Compensation Techniques for Electronically Scanned Arrays," AIAA 93-2648, 2nd Annual AIAA SDIO Technology Conference (B), Vol. 23, No. 1, pp. 123-180, June, 1993.
- [4] D. W. Miller, "AIT(Atmospheric Interceptor Technology) Interceptor Performance Predictions".
- [5] AIAA 93-2683, 2nd Annual AIAA SDIO Technology Conference, 1993.
- [6] Zarchan and H. Gratt, "Adaptive Radome Compensation using Dither," AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 22, No. 1, pp. 51-57, 1999.
- [7] Hwang, M. H., Kim, D. H., Lee, J. W., Oh, M. W., Kim, M. H., and Ryu, K. J., "Aerodynamic Analysis and Comparison of Experimental Data for 2-Bladed Vertical Axis Wind Turbine," Journal of the Korean Society for Computational Fluids Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 85-91, 2010.
- [8] Dae-Ha Jeong, Min-Su Seo, Dong-Hyun Kim, Hui-Ju Choi, Eun-Jong Kim, "Long Range Tracking Radome CFD Aerodynamic and Structural Analysis," The Korean Society of Mechanical Engineers CAE/Computational Mechanics Symposium, 2013.
- [9] J. Courchesne and A. Laneville, "A Comparison of Correction Methods Used in the Evaluation of Drag Coefficient Measurements for Two-Dimensional Rectangular Cylinders," Journal of Fluids Engineering, Vol. 101, pp. 506-510, 1979.
- [10] E. Simiu and R. H. Scanlan, "Wind Effects on Structures," John Wiley & Sons, Inc. Canada, pp. 155-168, 1996.