

로드셀형 풍향풍속계 개발[§]

전병하* · 한동섭* · 이권희*†

* 동아대학교 기계공학과

Development of Load-Cell-Based Anemovane

Byeong Ha Jeon*, Dong Seop Han* and Kwon-Hee Lee**†

* Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.,

(Received June 29, 2012 ; Revised January 18, 2013 ; Accepted January 28, 2013)

Key Words: Anemovane(풍향풍속계), Load Cell(로드셀), Strain Gage(스트레인게이지), Wind Speed(풍속), Wind Direction(풍향)

초록: 로드셀형 풍향풍속계는 바람의 벡터적 성질을 이용한다. 본 연구를 통해 개발된 풍향풍속계는 기존과 달리 풍속계의 날개부가 회전하지 않는 고정형이다. 로드셀형 풍향풍속계를 개발하기 위해서는 측정된 4개 날개의 압력비와 풍향, 압력합과 풍속사이의 관계식을 각각 도출해야 한다. 본 연구에서는 압력비와 풍향사이의 관계식을 도출하기 위하여 각각 ANSYS CFX를 이용한 해석적 접근과 풍동실험을 이용한 실험적 접근을 적용하였다. 해석시 0° 에서 90° 까지 7.5° 간격으로 풍향조건을, 실험시 10° 간격으로 10가지 풍향조건을 설정하였다. 또한 실험 및 해석적 접근을 통해 압력비와 풍향사이의 관계식을 도출하였다.

Abstract: A load-cell-type anemovane operates based on wind vector properties. The developed load-cell-type anemovane is of a fixed type in which the wing does not rotate, unlike in the case of existing anemovanes. The load-cell-type anemovane is required to accurately derive the correlation between the load ratio and the wind direction in order to develop a qualified product. This is because the load ratio repeats every 90° owing to the use of four load cells, and its value varies nonlinearly according to the wind direction. In this study, we compared analytical results with experimental results. Fluid analysis was carried out using ANSYS CFX. Furthermore, the prototype was tested using a self-manufactured wind tunnel. The wind direction was selected as the design variable. 13 selected wind direction conditions ranging from 0° to 90° with an interval of 7.5° for analysis were defined. Furthermore, 10 wind direction conditions with an interval of 10° for the experiment were defined. We derived the relations between the pressure ratio and the wind direction through the experiment and fluid analysis.

1. 서론

기상관측의 목적은 현재의 기상실황을 정확히 파악하고, 동시에 분석하여 기상예보 및 기상학을 연구하는 데 필요한 기초 자료를 얻기 위한 것이다. 기상관측을 하는 방법으로는 풍향풍속계가 대표적이다. 일반적으로 풍향풍속계는 기계형 풍향풍속계와 열선 및 초음파형 풍속계로 분류한다.^(1,2) 기계형 풍향풍속계는 풍차형 풍향풍속계로서 풍차

를 공기 흐름속에 두면 회전이 생기고, 이회전의 속도는 풍속에 비례하게 된다. 프로펠러의 회전수를 전기적인 펄스로 변환한다. 이때, 전자도수계로 카운트하여 속도를 구하며, 취급이 간단하기 때문에 회전불량이 발생하고 낮은 풍속에는 어려움이 있다. 또한 풍차형 풍향풍속계는 일반적으로 볼베어링이 사용되며 볼베어링의 마모 및 균열에 의한 계측오차가 발생할 수가 있다.

초음파 풍속계는 음파가 공기중에서 전파속도가 풍속계에 따라 달라지는 성질을 이용하여 풍속을 측정하며 측정 임계 풍속이 없고 0 m/s부터 풍속 측정이 가능하며 풍속변화에 대한 응답 속도가 빠른 특징이 있다.^(1,3) 반면에 초음파 풍향풍속계의 경

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 부산지회 춘계학술대회(2012. 5. 11., 동아대) 발표논문임

† Corresponding Author, leekh@dau.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

우 장비가 고가이며, -30 ℃이하의 온도에서는 반응속도가 저하되는 단점을 가지고 있다. 따라서 기존 풍향풍속계의 단점을 보완하여 상호 보완적으로 사용할 수 있는 로드셀형 풍향풍속계를 제안한다.

일반적으로 로드셀은 크게 단축형, 다축형으로 구분되고 설치 방법에 따라 크게 내부 삽입형(internal balance) 과 외부 감지형(external balance)으로 분류 된다.⁽⁴⁾ 내부삽입형은 제트엔진이나 미사일의 거동 파악을 위한 분야에 주로 사용되고, 외부 감지형은 선박이나 대형구조물의 축소 모형을 이용한 실험에 사용된다.⁽⁵⁻⁸⁾

로드셀형 풍향풍속계는 바람의 벡터적 성질을 이용한다. 바람은 벡터로 표현 할수 있는데 이를 바람벡터라고 한다.⁽¹⁾ 대부분의 경우 연직속도는 수평속도에 비해 작기 때문에 바람을 수평속도(2차원의 벡터)로서 취급하기도 한다.⁽⁹⁾

또한 기존 풍속계와는 달리 풍속계의 날개부가 회전하지 않는 고정형 타입이다. 이는, 풍차형 풍향풍속계와 달리 볼베어링이 필요없다. 또한 각날개에 스트레인게이지를 부착하여 본체 전체가 하나의 로드셀의 역할을 하게 된다. 이는 풍향풍속계의 날개에 풍하중이 발생하고 로드셀에 인장·압축 하중이 작용한다. 그 하중은 로드셀에 부착된 스트레인게이지에 저항변화가 발생하고 저항변화가 하중(혹은 압력)의 변화로 도출하게 된다.

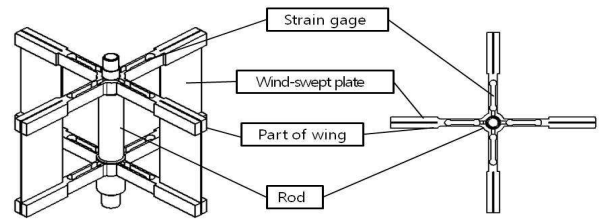
본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 기계식 풍향풍속계와 초음파식 풍향풍속계의 단점을 보완하고, 저온에서 사용 가능한 풍향풍속계를 설계하고자 한다. 또한, 로드셀형 풍향풍속계에 대한 유동해석 및 풍동실험을 수행하여 측정부에서의 풍향 및 풍속의 관계식을 제시하고자 한다.

2. 풍향 및 풍속의 유동해석

2.1 풍향풍속계의 해석모델

Fig. 1(a)는 풍향풍속계의 내부 형상을 나타낸다. 형상은 4개의 날개에 수풍부(Wind-swept plate)를 삽입하였다. 이때 수풍부의 상단 및 하단부를 고정하여 와류 및 뒤틀림을 최소화하였다. 또한 풍하중이 작용할 때 날개에서 굽힘이 일어난다. 날개에 홀을 생성하여 스트레인게이지를 부착하고 스트레인게이지에 도출되는 하중값을 측정할 수 있도록 하였다.

해석수행을 위하여 Autodesk사의 Inventor를 이용하여 Fig. 1(b)와 같이 모델을 생성 하였다. 풍향풍속계



(a) Internal shape of loadcell anemovane⁽⁹⁾



(b) Model of loadcell anemovane

Fig. 1 Basic design of loadcell type anemovane

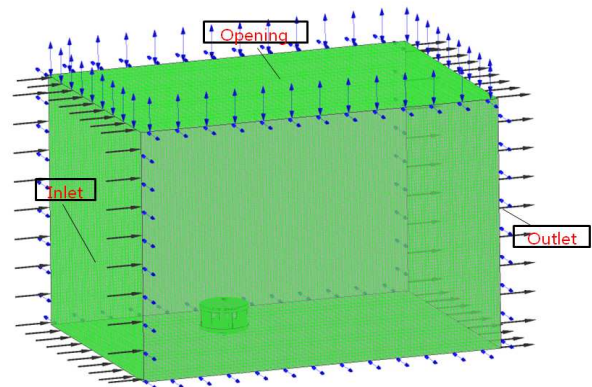


Fig. 2 Fluid field of anemovane

의 폭은 225 mm이고 높이는 176.0 mm이다. 유동해석 수행을 위해, ANSYS WORKBENCH의 Design-modeler를 이용 육면체 유동장을 생성하였다. Fig. 2는 유동장 모델을 표시하고 있다. 유동장의 크기는 1225mm×1725mm×1206.8mm이다. 생성된 유동장을 ANSYS-CFX에 적용 하기 위해 격자를 생성하였다. 유동해석에서 사용된 격자의 크기는 유동장의 경우 15 mm이며 곡률 각도는 18°로 적용하였으며 전체 요소수는 10,071,716 개이며 노드수는 1,760,516개이다.

2.2 설계변수 정의 및 해석

풍하중 작용시 풍속 및 풍향에 따른 응력값을 도출하기위하여 유동해석을 수행하였다.⁽¹⁾ 유동해석을 수행하기 위한 설계조건은 풍향을 0°~90° 까지

Table 1 Sign convention of load in each wing part according to the wind direction

Position	Wind direction range							
	0 °	0 ° < θ < 90 °	90 °	90 ° < θ < 180 °	180 °	180 ° < θ < 270 °	270 °	270 ° < θ < 360 °
N	0	-	-	-	0	+	+	+
E	+	+	0	-	-	-	0	+
S	0	+	+	+	0	-	-	-
W	-	-	0	+	+	+	0	-
Case	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧

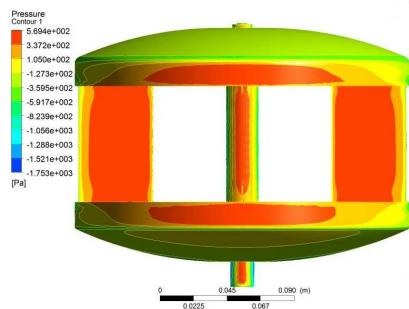


Fig. 3 Pressure distribution results of CFD analysis (30m/s and 0° condition)

7.5°의 간격으로 설정하였고, 풍속은 0m/s~30m/s까지 5m/s의 간격으로 설정하였다. 유동해석을 위한 해석조건으로서 유동장내의 유체는 상온의 공기로서 가정하였고, 난류조건으로서 SST(Shear Stress Transport) 모델을 선정하였다. 김범석등⁽¹⁰⁾의 연구에서는 CFD 코드에서 채택하고 있는 표준 K-ε 난류모델 및 SST 조건에 대해 설명하고 있다. SST 모델⁽¹¹⁾의 경우 역압력구배에 의해 발생하는 와류의 크기와 박리점을 비교적 정확히 예측한다고 평가 받고 있다.

유동모델의 경계조건은 Fig. 2와 같이 Inlet, Outlet, Opening으로 나누어 설정하였다. 설계조건과 동일한 각각의 풍속을 Inlet에 설정하였다. 유동장의 윗면과 옆면의 경우 Opening 조건을 설정하였으며 작용압은 대기압을 설정하였다. 유동장의 모델은 각 풍향에 맞게 모델을 수정하여 적용하였다. 또한 모델의 각 수풍부는 각 영역을 설정하여 유동해석 후, 수풍부에 작용하는 압력을 확인할 수 있도록 하였다. 또한 해석수행을 위한 해석옵션의 경우, 반복횟수는 1000으로 하였으며 residual target의 경우 1×10^{-6} 으로 설정하였으며 각 유동해석은 3GHz 워크스테이션급 컴퓨터로 약 2시간이 소요되었다.

위와 같은 과정을 통하여 해석을 실시하였으며, 풍속 30 m/s 풍향 0°의 경우 Fig. 3과 같은 결과도출된다.⁽¹⁾

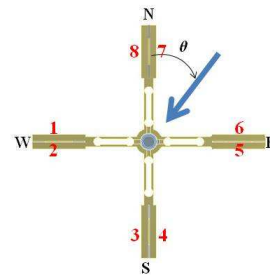


Fig. 4 Numbering convention of each part in wing

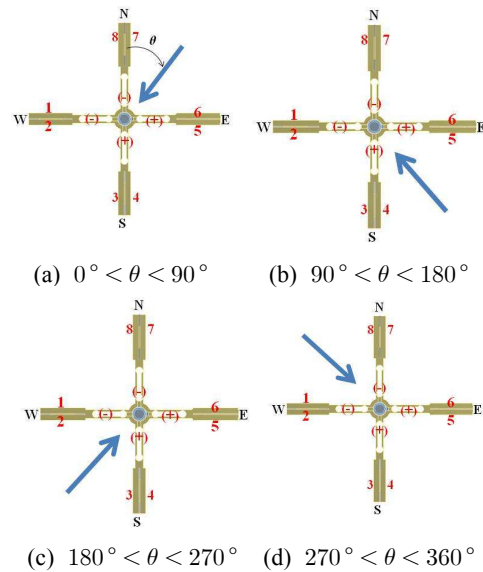


Fig. 5 Each range of wind direction

3. 압력비와 풍향 사이의 관계

3.1 유동해석 결과와 풍향사이의 관계

로드셀형 풍향풍속계는 풍향 및 풍속을 로드셀을 이용하여 하중을 측정하지만 해석결과는 압력을 산출한다. 따라서 해석 시 각 지점의 압력을 산출하였다. 각 하중 측정부에 Fig. 4와 같이 번호를 설정하였다. Fig. 6은 회전굽힘의 방향을 설정한 것이다.⁽¹⁾

Table 1과 같이 풍향이 0°, 90°, 180°, 270°인 경우에는 마주보는 두 개의 값이 같고 나머지 두

Table 2 Pressure ratio of two adjacent parts of wing with respect to wind direction and speed in fluid analysis

Wind direction	Wind speed						
	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s	25m/s	30m/s	Average
0°	0	0	0.01	0	0	0	0
7.5°	0.24	0.2	0.24	0.23	0.23	0.2	0.22
15°	0.3	0.3	0.31	0.32	0.3	0.3	0.31
22.5°	0.37	0.37	0.36	0.37	0.37	0.36	0.37
30°	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
37.5°	0.47	0.47	0.48	0.47	0.47	0.47	0.47
45°	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
52.5°	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53
60°	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
67.5°	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63
75°	0.7	0.7	0.69	0.68	0.69	0.7	0.69
82.5°	0.76	0.8	0.76	0.77	0.78	0.8	0.78
90°	1.0	0.99	0.99	0.99	0.98	1	0.99

개는 0이 된다. 따라서 바람이 몇 사분면에서 불어 오는지 판단하기 위한 구간설정이 요구된다. 산출된 데이터를 통해 풍향을 도출할 수 있다. 각 날개 부에서 풍하중에 의한 압력 부호를 판단하여 바람이 불어오는 구간을 파악한후 0°, 90°, 180°, 270° 일 때는 바로 풍향을 산출하고, 그 외에는 각 구간별 압력비(R_p)를 이용하여 정확한 풍향을 파악한다.

Fig. 5와 같이 풍하중이 작용할 때, 최대압력부는 6번면이다. 6번면과 마주보고 있는 7번면을 이용하여 압력비를 산출한다. 압력비는 당면과 같이 정의된다.

$$R_p = \frac{P_N}{(P_N + P_E)} \quad (1)$$

단, 여기서 $P_N = (P_8 - P_7)$, $P_E = (P_6 - P_5)$

또한 로드셀형 풍향풍속계에서는 인접한 두 스트레인 게이지의 하중 비가 90°간격으로 반복되므로 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 인 구간인 Table 1의 case ②에서 압력비와 풍향 사이의 관계를 도출하면 나머지 구간에서도 같은 식을 활용할 수 있다. 유동해석 값을 이용하여 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ (case ②)의 구간에서 풍속에 따른 압력비(R_p)를 산출하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2는 압력비가 풍속과 무관한 것을 알 수 있다. 또한 Table 2를 이용하여 압력비(R_p)와 풍향(θ) 사이의 관계는 식 (2)와 같이 산출되었다.

$$\theta = 0.7563 + 179.7R_p - 273.64R_p^2 + 182.42R_p^3 \quad (2)$$



Fig. 6 Prototype model installed in the wind tunnel

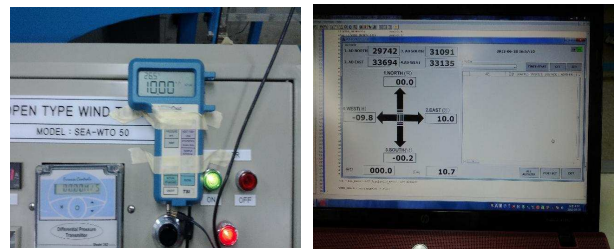


Fig. 7 Sensor monitoring system

3.2 풍동실험

본 연구에서는 시제품을 이용하여 풍동실험을 진행하였다. 풍동실험의 조건으로서 일정한 속도를 발생하도록 하였으며 0m/s~10m/s의 속도범위의 조건을 부여하였다. 또한, 모델을 턴테이블에 설치하고 10°의 간격으로 회전시켜 풍향을 측정하였다.⁽¹⁾

Fig. 6은 풍동실험을 위해 시제품을 설치하고 측정장비를 설치한 것이다. 스트레인게이지에서 풍하중이 측정이 되면 Fig. 7과 같이 설치된 모니터링 시스템을 이용하여 결과를 도출하였다.

3.2.1 풍동 실험 결과

풍속은 5m/s와 10m/s를 적용하였으며 풍향각도는 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 까지 10°씩 증가하여 적용하였다. 실험결과는 Table 3과 같다. 또한 Table 3을 이용하여 압력비(R_p)와 풍향(θ)사이의 관계식은 식 (3)와 같다.

$$\theta = 0.0906 + 0.01806R_p - 2.94289R_p^2 + 2.16589R_p^3 \quad (3)$$

압력비를 수직축으로 하고, 풍향을 수평축으로 하면 Fig. 8과 같은 그래프를 얻을 수 있다. 풍향과 압력의 관계를 통해 Fig. 8의 그래프가 그려진다. 풍향과 압력비의 관계를 통해 얻어진 식 (2)와 식 (3)의 평균을 구하였다. 여기서 평균식은 아래와 같이 제안된다.

$$\theta = (614.5 - 212.7R_p - 3.84793R_p^2 - 0.028487R_p^3) \times 10^{-4} \quad (4)$$

Table 3 Pressure ratio of two adjacent parts of wing with respect to wind direction and speed in wind tunnel

Wind direction	Wind speed		
	5m/s	10m/s	Average
0°	0.009	0.07	0.08
10°	0.26	0.27	0.27
20°	0.32	0.35	0.34
30°	0.41	0.43	0.42
40°	0.46	0.47	0.47
50°	0.51	0.52	0.52
60°	0.61	0.61	0.61
70°	0.66	0.66	0.66
80°	0.74	0.72	0.73
90°	0.88	0.96	0.92

Table 4 Pressure summation of two adjacent parts of wing with respect to wind direction and speed in fluid analysis

Wind direction	Wind pressure					
	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s	25m/s	30m/s
0°	12.65	59.38	132.18	238.27	372.23	529.26
7.5°	14.02	58.68	130.18	235.52	344.54	522.67
15°	14.56	58.04	129.16	232.34	354.15	517.89
22.5°	15.63	68.9	129.94	275.64	372.23	519.54
30°	15.71	57.42	126.91	227.81	372.23	509.35
37.5°	15.95	57.25	125.48	228.23	372.23	512.3
45°	16.27	59.8	122.42	239.45	372.23	488.84
52.5°	15.95	57.25	125.48	228.23	372.23	512.3
60°	15.71	57.42	126.91	227.81	372.23	509.35
67.5°	15.63	68.9	129.94	275.64	372.23	519.54
75°	14.56	58.04	129.16	232.34	372.23	517.89
82.5°	14.02	58.68	130.78	235.52	372.23	522.67
90°	12.65	59.38	132.18	238.27	372.23	529.26
Average	14.87	59.93	128.51	239.62	368.70	516.22

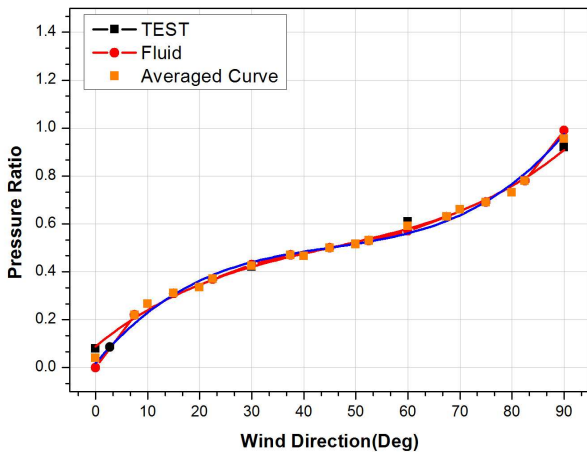


Fig. 8 Comparison of load ratio between two adjacent parts of wing according to the wind direction

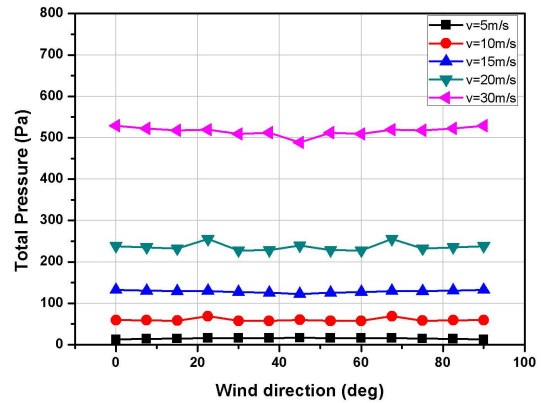


Fig. 9 Summation of pressure between two adjacent parts of wing according to the wind direction

4. 압력합과 풍속사이의 관계

4.1 유동해석 결과와 풍속사이의 관계

유동해석 결과를 이용하여 풍속에 따른 수평부의 압력의 합(P_T)을 Table 4에 나타내었다. 이때 압력합은 압력비와 같이 최대풍향이 작용하는 면과 그 면을 마주보고 있는 면에 작용하는 압력값을 이용하여 산출한 것이다.

Fig. 5와 같이 풍하중이 작용하게 되면 식 (5)를 적용해 압력합을 산출해 낼 수 있다.

$$P_T = \sqrt{P_E^2 + P_N^2} \quad (5)$$

(단, $E = P_5 + P_6, N = P_7 + P_8$)

풍향에 따른 인접한 부분의 압력합을 Fig. 9에 표시하였다. 여기서 22.5°등 날개를 통과 할 때 다른

각도에 비해 값이 증가함을 볼 수 있다. 이는 5% 정도의 오차로 나타났다. 한국 기상산업진흥원⁽¹⁾에 따르면 계측오차는 5% 이내로 정해진다. 따라서 풍속이 일정하면 풍향과 관계없이 압력값이 가장 크게 측정되는 case의 압력값은 식 (6)을 적용하면 일정하다는 것을 알 수 있다.

$$P_T = C_v \sqrt{P_i^2 + P_j^2} \quad (i = E, S, W, N, j = N, E, S, W) \quad (6)$$

풍속(v)을 수평축으로 하고 압력합을 수직축으로 하고 이를 2차 함수로 근사화한 것을 Fig. 10에 표시하였다. 단, C_v 는 풍속에 따른 속도계수로 정의한다. Fig. 10으로부터 압력합은 풍속의 제곱에 비례하는 것을 알 수 있다. 이를 수식으로 표현하면

Table 5 Pressure summation of two adjacent parts of wing with respect to wind direction and speed in wind tunnel test

Wind direction	Wind Load					
	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s	25m/s	30m/s
0°	4.51	18.12	40.71	72.41	113.16	162.95
10°	4.509	18.11	40.712	72.4	113.14	162.96
20°	4.49	18.085	40.726	72.33	113.145	162.89
30°	4.493	18.08	40.72	72.41	113.155	162.99
40°	4.51	18	40.73	72.48	113.2	162.95
50°	4.55	18.11	40.73	72.4	113.16	162.91
60°	4.6	18.1	40.714	72.5	113.18	162.97
70°	4.55	18.09	40.73	72.4	113.058	162.94
80°	4.45	18.09	40.72	72.39	113.15	162.96
90°	4.45	18.12	40.71	72.41	113.15	162.97
Average	4.51	18.09	40.72	72.41	113.15	162.95

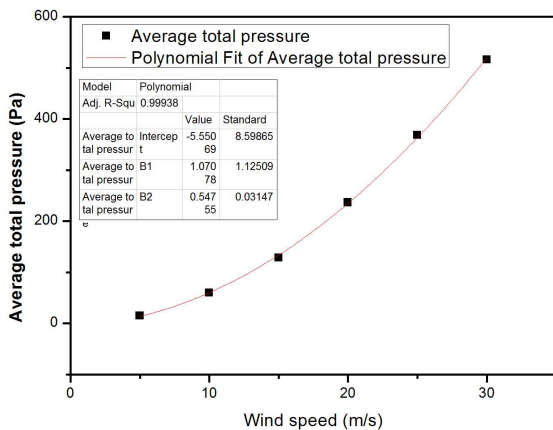


Fig. 10 Average total pressure according to the wind direction (analysis)

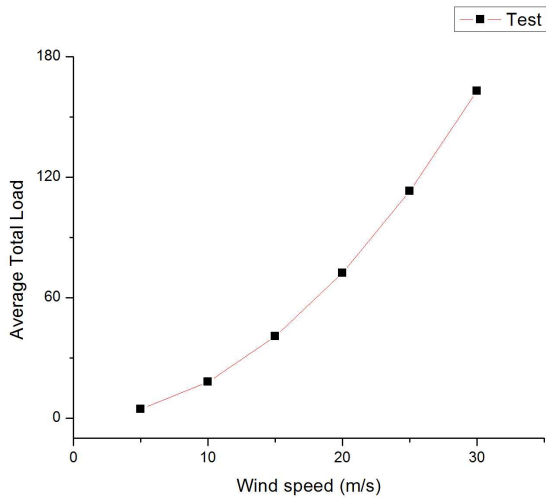


Fig. 11 Average total load according to the wind direction (test)

다음과 같다.

$$0.5476v^2 + 1.07808v - 5.5507 = P_T \quad (7)$$

식 (7)의 값을 이용하면 속도식은 다음과 같이 표현된다.

$$v = \sqrt{\frac{P_T}{0.5476} + 11.0923} - 0.9777 \quad (8)$$

4.2 풍동시험 결과와 풍속사이의 관계

유동해석 결과를 실제식에 적용하기에는 무리가 있다. 그 이유는 유동해석의 결과는 압력으로 나오며 실제모델은 로드셀형이기 때문에 변형률변화에 의한 하중값으로 나타나기 때문이다.

그러나 실험 결과는 Table 5와 같이 나타나며 평균값을 이용해 그래프를 작성하여 보면 Fig. 11과 같이 표시된다. Fig. 11에 의한 수식은 다음과 같이 표시된다.⁽¹⁾

$$0.1811v^2 - 5.7448 \times 10^{-4}v - 0.01418 = P_T \quad (9)$$

여기서 Fig.11에 임의의 상관계수를 곱하게 되면 Fig 10 과 같은 그래프를 얻을 수 있다. 이는 앞서 정의한 속도계수(Cv)를 적용하한 것이다. 속도계수(Cv)를 나타내면 식 (7)과 같이 된다. 이때 속도계수(Cv)는 0.305이다.

5. 결 론

본 연구에서 유동해석은 로드셀형 풍향풍속계를 고안하기 위해 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 유동해석을 적용하여 기준에 사용하고 있는 풍향풍속계와 달리 로드셀에 작용하는 압력(하중)을 산출할 수 있다.

(2) 각도와 풍속에 따른 유동해석의 결과로 얻어진 압력값을 로드셀에 도출되는 하중값을 대신하였고, 기준 압력비를 이용하여 풍향 관계식을 도출하였다. 또한 압력값들의 합을 이용하여 풍속을 결정하였다.

(3) 해석 수행시 풍향의 경우 7.5°간격으로, 풍속의 경우 5m/s간격으로 수행하였다.

명확한 풍향과 풍속을 측정하기 위해서는 유동해석값에 영향을 미치는 격자의 정밀도를 높여야 한다. 또한 난류에 의한 부압의 영향을 명확히 할 필요가 있다. 위 보완사항들을 향후과제로서 보다 정밀도를 높여 보완 및 적용할 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지역산업공통기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임(2012H1B8A2026078). 또한 저자들은 본 연구에 대한 많은 조언을 해주신 故한근조 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- (1) Jeon, B. H., Roh, Y. C., Han, D. S. and Lee, K.H., 2012, "Design of an Anemovane Based on the Load Cell," *Proc. of the Sixth Global Conference on Power Control and Optimization, (AIP Conf. Proc.)*, Vol. 1499, pp. 399~403.
- (2) Kim, K. S., Lee, Y. N., Kim, J. S., Jung, I. R., Seo, D. J., Ga, C. H., Kim, D. S., Son, S. M., Go, J. H., Cha, K. H., Lee, J. D., Moon, C. J. and Kim, J. S., 1991, "The Research About Anemometer," *Ministry of Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 2~18.
- (3) Park, D. H. and Yeh, Y. H., 2006, "Characterization of Three-Dimensional Ultrasonic Anemometer Using Phase Measurement," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 15, No. 6, pp. 442~448.
- (4) Lee, J. H., Song, C. K. and Park, S. H., 2011, "Optimum Structure Design of a Triaxial Load Cell for Wind Tunnel Test," *Journal of KSPE*, Vol. 28, No. 2, pp. 226~232.
- (5) Karkehabadi, R., Rhew, R. D. and Hope, D. J., 2004, "Study and Analyses on the Structural Performance of a Balance," *NASA TM-213263*.
- (6) Erm, L. P., 2006 "Development of a Two-Component Strain Gauge Balance Load Measurement System for the DSTO Water Tunnel," *Air Vehicles Division Defence Science and Technology Organization*, DSTO-TR-1835.
- (7) Norman, T. R., Shinoda, P. M., Kitaplioglu, C., Jacklin, S. A. and Sheikman, A., 2002 "Low-Speed Wind Tunnel Investigation of a Full-Scale UH-60 Rotor System," *American Helicopter Society 58th Annual Form*.
- (8) Vos, H. B., 1996, "Strain Gauge Balance Development at NLR," *NLR-TP-96550-L*.
- (9) Kim, I. K. and Jeon, B. I., "Research of Weather and Climate," *Se-jong*, pp. 85~87.
- (10) Kim, B. S., Kim, M. E. and Lee, Y. H., 2008, "Predicting the Aerodynamic Characteristics of 2D Airfoil and the Performance of 3D Wind Turbine Using CFD Code," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 32, No. 7, pp. 549~557.
- (11) Ansys CFX, 2010, Release 12.0 Documentations, Ansys Inc.