

論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2012.40.6.485>

풍력터빈 에어포일 주위의 벽면효과에 관한 연구

조환기*, 강승희**, 유기완***, 이준신****

A Study on Wall Interference Effect Around the Wind Turbine Airfoil

Hwan Kee Cho*, Seung-Hee Kang**, Ki-Wahn Ryu*** and Jun-shin Lee****

ABSTRACT

The wall interference effects around the wind-turbine airfoil are experimentally investigated at low Reynolds numbers in a closed test-section wind tunnel. The test is performed at free-stream velocities from 10 to 31 m/s, which correspond to Reynolds numbers ranging from 1.5×10^5 to 4.6×10^5 based on chord of the airfoil. The blockage-area ratios, which is the ratio of the chord to the test-section width, are 27.8%, 38.5%, 41.7%, 45.5%, and 55.6%. The test results for the airfoil show that the transition point on the airfoil surface tends to move backward due to wall interference. The wall pressures for an adequate interference correction by a measured-boundary-condition method are desirable more than three times region of the chord before and after around the reference center.

초 록

저 레이놀즈 수 조건에서 폐쇄형 풍동 시험부에 설치된 에어포일 주위의 벽면효과에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 이를 위해 풍동시험이 수행되었으며, 시험은 자유흐름 속도 10 ~ 31 m/s와 시위기준 레이놀즈 수 $1.5 \times 10^5 \sim 4.6 \times 10^5$ 조건에서 수행되었다. 시위대 시험부 폭 비인 기준폐쇄율은 27.8%, 38.5%, 41.7%, 45.5% 그리고 55.6%이다. 시험결과 벽면효과에 의해 에어포일 표면에서의 천이점이 후방으로 미미하게 이동함을 확인하였다. 또한, 벽면압력을 이용한 벽면효과 보정을 위해서는 에어포일을 중심으로 시위의 세배 이상의 벽면압력이 필요함을 확인하였다.

Key Words : Wall Interference(벽면효과), Wind Tunnel Test(풍동시험), Airfoil for Wind Turbine(풍력터빈 에어포일)

1. 서 론

풍력터빈을 활용하여 풍력에너지를 최대한

추출하기 위해서는 고효율의 블레이드가 필수적이며 이는 기본적으로 에어포일의 최적설계 등을 통해 가능하다. 설계된 에어포일의 성능 검증을 위해 현재 풍동시험이 가장 광범위하게 사용되고 있다[1, 2]. 그러나 풍동시험에는 시험부 벽면이 존재하여 모형 주위의 속도, 유선 등이 풍력터빈의 실 조건과 다르게 되어, 풍동시험을 통해 측정되는 공력계수 및 받음각 등에 많은 오차를 유발한다고 알려져 있다[3].

이러한 벽면효과에는 시험부내에 점유되는 모형, 후류 및 흐름의 박리 등으로 인해 유발되는

† 2012년 3월 22일 접수 ~ 2012년 5월 29일 심사완료

** 정회원, 전북대학교 항공우주공학과
교신저자, E-mail : ksh@jbnu.ac.kr
전북 전주시 덕진구 백제대로 567

* 정회원, 청주대학교 항공운항학과

*** 정회원, 전북대학교 항공우주공학과

**** 정회원, 한국전력 전력연구원 녹색성장연구소

폐쇄효과(blockage effect), 시험부 길이방향의 압력구배를 유발하는 buoyancy 효과 그리고 모형 주위의 유선 휨과 내리흐름 차이로 인한 받음각, 공기력과 모멘트 계수들의 변화 효과가 있다고 알려져 있다. 또한, Ross와 Altman은 수직축 풍력터빈의 경우에 대해 시험한 결과 폐쇄율(blockage ratio)이 증가하게 되면 블레이드 동력 계수(coefficient of power) 특성이 실제와 상이하게 나타난다고 제시하였다[3, 4].

풍력터빈의 다양한 운영조건에 필요한 성능자료를 생산하기 위한 풍동시험은 낮은받음각 뿐 아니라 실속흐름 이후의 높은받음각까지의 성능자료가 필요하다. 이러한 다양한 조건에 놓여있는 풍력터빈 블레이드용 에어포일의 경우는 층류박리, 천이 뿐 아니라 실속 영역에서는 깊은 실속(deep stall), 동실속(dynamic stall) 등 복잡한 유동 특성을 보인다. 그러나 현재까지 풍력터빈용 에어포일의 벽면효과에 대한 연구는 낮은받음각 영역의 부착흐름(attached flow)에 대한 제한적인 연구 결과만 제시되고 있을 뿐, 높은받음각까지 체계적인 벽면효과에 대한 물리적 현상 파악 및 이를 기반으로 한 보정 연구는 현재까지 제시되지 않고 있는 상황이다.

본 연구는 저속풍동 시험부에서 폐쇄율에 변화에 따른 벽면효과가 풍력터빈용 에어포일 주위 유동장에 끼치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 동일한 에어포일을 사용하여 시험부 폭을 조절함으로써 폐쇄율 변화를 얻었다. 이러한 폐쇄율 변화에 따른 에어포일 표면에서의 정압분포 변화와 후류에서의 전압분포 변화 등에 대해 연구하였다. 또한, 폐쇄율 변화에 따른 시험부 벽면에서의 압력분포 변화를 연구하여 추후 이를 활용한 보정기법 개발에 필요한 기본적인 연구를 수행하였다.

II. 풍동시험 및 모형

본 시험에 사용된 풍동은 공군사관학교의 단일폐회로 형태의 저속풍동으로 시험부는 900 mm(폭) × 900 mm(높이) × 2,150 mm(길이)이며 각 모서리에 길이 141 mm의 필렛(fillet)이 있는 팔각형 형태의 폐쇄형이다. 수축비는 4:1이며, 시험부에서 균일한 유동을 얻을 수 있도록 총 4장의 스크린이 설치되어 있다. 송풍기는 직경 1.5 m로 8개의 블레이드로 구성되어 있으며 45 kW 직류 모터에 의해 구동된다.

본 시험에 사용된 에어포일의 두께 대 시위비가 24%이고 시위(c)는 250 mm 이다. 에어포일

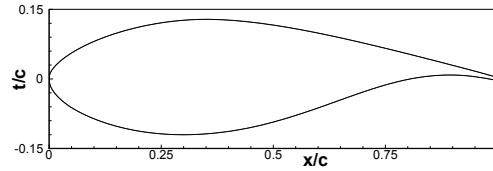


Fig. 1. 풍동시험 에어포일 형상

형상은 Fig. 1과 같다. 에어포일은 시위의 1/4 지점이 시험부 중심에 일치하도록 에어포일을 설치하였다.

에어포일 표면에는 벽면효과에 따른 에어포일 표면의 변화를 연구하기 위해 윗면과 아랫면에 총 62개의 정압공이 설치되었다. 압력공의 위치는 표 1과 같다. 벽면효과에 의한 후류의 변화를 연구하기 위해 전압레이크가 사용되었다. 레이크는 중심에서 좌우로 각각 150 mm는 5 mm 간격으로 나머지는 10 mm 간격으로 총 100개의 전압관이 설치되었다. 전압 레이크는 에어포일의 뒷전으로부터 시위의 약 4배 위치에 설치되었다.

Table 1. 압력공 위치

No.	x/c	y/c	No.	x/c	y/c
1	0.940	0.019	33	0.002	-0.012
2	0.907	0.028	34	0.003	-0.016
3	0.852	0.041	35	0.004	-0.018
4	0.792	0.056	36	0.009	-0.026
5	0.728	0.071	37	0.014	-0.032
6	0.672	0.084	38	0.022	-0.041
7	0.620	0.095	39	0.025	-0.044
8	0.574	0.104	40	0.032	-0.049
9	0.535	0.111	41	0.039	-0.054
10	0.502	0.116	42	0.046	-0.059
11	0.474	0.120	43	0.065	-0.070
12	0.450	0.122	44	0.101	-0.086
13	0.425	0.125	45	0.144	-0.100
14	0.398	0.127	46	0.189	-0.110
15	0.367	0.128	47	0.234	-0.117
16	0.332	0.128	48	0.278	-0.120
17	0.294	0.126	49	0.319	-0.120
18	0.255	0.122	50	0.356	-0.118
19	0.214	0.115	51	0.389	-0.114
20	0.171	0.105	52	0.420	-0.110
21	0.128	0.092	53	0.452	-0.104
22	0.088	0.076	54	0.488	-0.096
23	0.056	0.059	55	0.530	-0.085
24	0.038	0.048	56	0.575	-0.071
25	0.030	0.043	57	0.630	-0.052
26	0.023	0.037	58	0.687	-0.032
27	0.016	0.030	59	0.740	-0.016
28	0.009	0.023	60	0.798	-0.001
29	0.004	0.016	61	0.855	0.007
30	0.003	0.014	62	0.910	0.008
31	0.002	0.012			
32	0.000	0.000			

시험은 시험부 벽면효과 이외의 다른 영향이 없도록 하기위해 동일한 모형 및 계측시스템을 사용하였다. 폐쇄율 변화는 시험부내에 두께 10 mm 아크릴 평판을 삽입하여 그 폭을 조정함으로써 얻었다. 삽입된 평판의 좌현과 우현에는 각각 31개의 정압공이 설치되었다. 평판은 전방부에는 교란된 흐름이 모형 쪽으로 흐르는 것을 방지하기 위해 바깥 방향으로 쐐기(wedge)를 주었다. 벽면의 간격(W)은 450 mm($\epsilon=55.6\%$), 550 mm($\epsilon=45.5\%$), 600 mm($\epsilon=41.7\%$), 650 mm($\epsilon=38.5\%$)에 대해 그리고 삽입 평판이 없는 시험부의 경우는 벽면의 간격이 900 mm($\epsilon=27.8\%$)이다. 여기서 ϵ 는 기준 폐쇄율로 에어포일 시위대 시험부 폭 비율을 나타낸다.

자유흐름의 속도는 삽입된 벽면에 의한 영향과 에어포일로의 흐름교란이 최소화되도록 시험부 입구 좌현에 피토펙압관을 사용하여 측정하였다. 동압은 Setra model 239 (1,245 Pa (5"W.C.))를 정압은 Setra model 270 (1.379x10⁵ Pa (20 psia))를 사용하여 계측하였다. 온도 및 습도는 KIMO 사의 TH200 모델을 사용하여 매 시험시 실시간으로 계측하였다. 계측된 아날로그 신호들은 NI사의 SCXI-1000을 사용하여 디지털 신호로 변환된 후 자료처리 컴퓨터에 저장되었다. 에어포일 표면에서의 압력분포, 후류에서의 전압분포 그리고 시험 벽면에서 압력분포는 64개의 압력을 동시에 측정할 수 있는 PSI사의 ESP 모듈 (ESP-64HD $\pm 2,500$ Pa (± 10 "W.C.)) 4개와 PSI-8400 시스템을 사용하여 측정하였다. 시험은 최대 속도 약 31 m/s에서 수행하였으며 이때 시위기준 레이놀즈수는 4.6x10⁵이다. Fig. 2에 시험장면을 나타내었다.

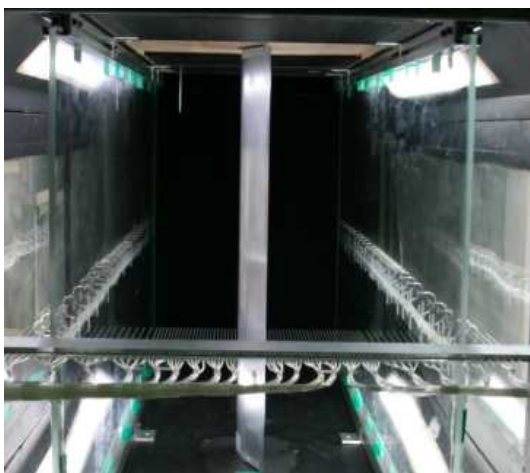


Fig. 2. 시험 장면

III. 결과 검토

측정된 압력은 시험부 입구에 설치된 피토펙압관으로부터 측정된 정압과 동압을 사용하여 압력계수(C_p)로 무차원화 하였다. 에어포일 뒷전의 압력계수 값은 에어포일 윗면과 아랫면 압력 분포를 Akima의 spline 기법[5]을 사용하여 각각 외삽한 후 그 값의 평균을 사용하였다.

3.1 에어포일 표면의 압력분포 변화

벽면효과에 의한 에어포일 표면에서의 압력분포 변화를 확인하기 위해 시험부 폐쇄율을 변화시키면서 에어포일 표면에서의 압력분포를 측정하였다. 본 연구에서 수행된 시험은 자유흐름 31 m/s일 때 레이놀즈수가 4.6x10⁵으로 천이흐름이 에어포일 표면에 존재하는 영역에 해당된다. 받음각 0°, 5° 그리고 30°의 경우에 대하여 시험부 폐쇄율 변화에 따른 에어포일 표면에서의 정압력계수 분포 변화를 Fig. 3 ~ Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 받음각 0°, 5°에서 에어포일의 윗면과 아랫면에 그리고 받음각 30°의 경우 실속이 발생하지 않은 에어포일 아랫면에 천이 흐름에 의한 급격한 압력변화가 존재함을 볼 수 있었다. 천이점은 흐름가시화 기법에 근거하여 참고문헌 [6]에서 제시된 기법을 기준으로 판단하였으며, Fig. 3 ~ Fig. 5에 천이점을 표시하였다. 시험부 폭을 작게 하여 폐쇄율을 증가시키면 그림에서 보는 바와 같이 에어포일 주위의 흐름이 가속되게 되고 이로 인해 에어포일 윗면과 아랫면의 압력계수가 더 작아지는 경향을 보임을 알 수 있었다. 이러한 벽면효과에 의한 영향은 그림에서 보는 바와 같이 에어포일의 아랫면보다 윗면에서의 변화가, 윗면에서는 최대 두께 부근에서의 변화가 상대적으로 크게 나타남을 볼 수 있었다. 이는 에어포일 윗면에서는 윗면의 최대두께 부근까지는 폐쇄율이 증가할수록 순압력 구배가 크게 작용하여 나타나는 것으로 판단되며, 에어포일 아랫면에서도 동일한 영향으로 이러한 현상이 발생됨을 볼 수 있었다. 받음각 30°의 경우는 에어포일 윗면에서 발생하는 흐름 실속에 의해 표면 전체에 균일한 압력분포를 보이지만 벽면효과에 의해 흐름이 가속되어 폐쇄율이 증가될수록 압력계수가 낮아짐을 볼 수 있었다. 본 연구에서 수행된 폐쇄형시험부의 경우 폐쇄율을 크게 하여 벽면효과를 증가시키면 천이점이 미미하게 후방으로 이동됨을 볼 수 있었다. 벽면효과에 의한 이러한 천이점 이동은 상대적으로 미미하게 나타났다. 그러나 Fig. 5에서 보는

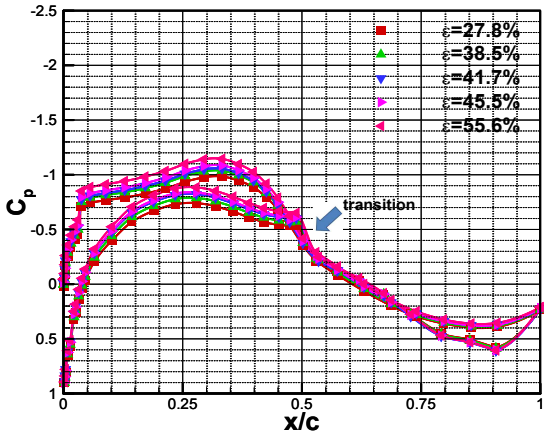


Fig. 3. 벽면효과에 의한 에어포일 표면에서의 압력분포 비교($\alpha=0^\circ$, $V=31$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

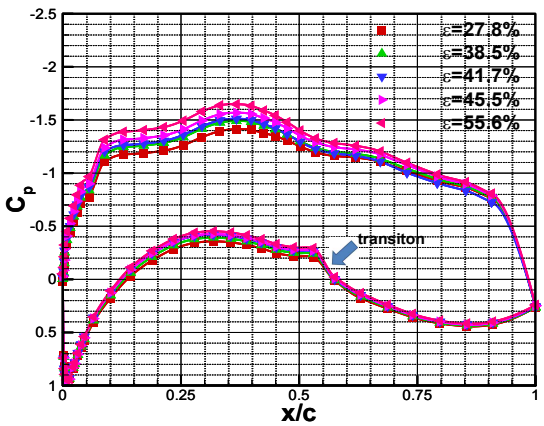


Fig. 4. 벽면효과에 의한 에어포일 표면에서의 압력분포 비교($\alpha=5^\circ$, $V=30$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

바와 같이 받음각 30° , 폐쇄율 55.6%의 경우 에어포일 아랫면의 시위의 0.75배 부근에서 나타난 천이점 및 영역의 변화가 상대적으로 크게 나타남을 볼 수 있었다. 이는 상대적으로 높은 폐쇄율 뿐 아니라 높은받음각으로 인해 발생하는 흐름의 박리 영향으로 박리 blockage가 커져 흐름의 가속량이 상대적으로 크게 되어 나타난 현상으로 판단된다.

3.2 후류의 변화

시험부 폐쇄율 변화가 에어포일 후류에 미치는 영향을 연구하고자 시험부 폐쇄율을 변화시키면서 후류에서의 전압분포 변화를 비교하였다.

자유흐름 속도 31 m/s에서 에어포일 받음각

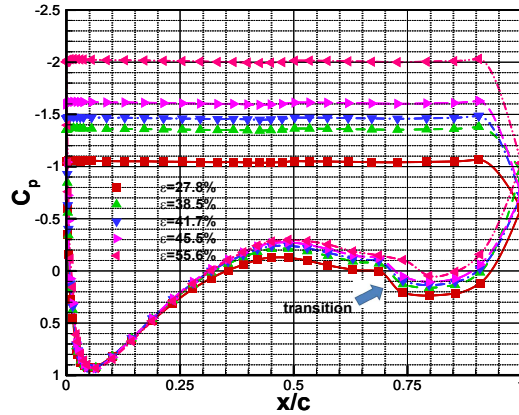


Fig. 5. 벽면효과에 의한 에어포일 표면에서의 압력분포 비교($\alpha=30^\circ$, $V=28$ m/s, $Re = 4.1 \times 10^5$)

10° 일 때 후류에서의 전압분포를 Fig. 6에 비교하여 나타내었다. 여기서 y 는 레이크 중심으로부터 시험부 우현으로의 거리를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 폐쇄율 변화에 따른 후류에서의 운동량 손실 변화는 상대적으로 매우 미미함을 볼 수 있었다. 그러나 그림에서 보는바와 같이 벽면효과가 발생하는 경우 후류 영역에서는 운동량 손실 영역이 변화됨을 볼 수 있었다. 기준 폐쇄율 45.5%까지는 이러한 변화가 미미하게 나타나지만 폐쇄율 55.6%의 경우를 보면 이러한 변화가 상대적으로 크게 나타남을 볼 수 있었다. 이러한 후류 영역의 변화는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 폐쇄율 변화에 따른 에어포일 윗면과 아랫면의 흐름 가속 차에 의한 내리흐름 변화가 발생되어 나타난 현상으로 판단된다.

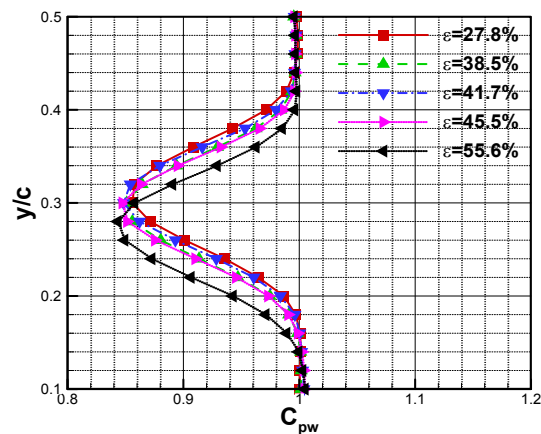


Fig. 6. 벽면효과에 따른 후류에서의 전압분포 비교($\alpha=10^\circ$, $V=31$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

3.3 시험부 벽면압력 변화

벽면효과를 보정하는 방법 중 현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 방법은 고전적 방법과 벽면압력측정 방식이다. 고전적 방법은 모형주위의 흐름을 이상유체로 가정하고 시험부 벽면을 이미지 방법으로 모사하여 벽면효과를 보정한다. 흐름의 박리가 존재하는 경우는 실험결과를 사용한 반 경험식 등이 사용된다. 이 방법은 사용이 간편하고 빠른 보정이 가능하지만 에어포일 시험의 경우 높은받음각에서 신뢰할 만한 보정 방법은 현재까지 제시되지 않고 있다는 문제점이 있다. 이에 반해 벽면압력측정 방법은 시험부 경계면에서의 압력변화 등을 측정하여 보정하는 방법으로 시험부 벽면을 모사하는 고전적 방법과는 달리 실제 측정된 압력을 사용하여 보정하므로 고전적 방법보다 실제 흐름에 가까운 보정을 수행할 수 있다고 알려져 있다. 또한 이 방법은 시험 모형 종류에 거의 무관하게 사용할 수 있으며 높은받음각까지 매우 신뢰할 수 있는 결과를 제시한다고 알려져 있다[3, 7, 8].

고전적 방법을 사용하여 보정할 경우 현재까지 실속이후의 영역까지 신뢰할 수 있는 보정 기법이 제시되지 않고 있는 상황에서 벽면압력을 사용한 보정방법이 유일한 대안이라고 판단된다. 본 연구에서는 벽면압력을 사용한 보정기법 연구에 필요한 기본적인 자료를 제공하기 위해 폐쇄율 변화에 따른 벽면압력 변화에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 폐쇄율 변화에 따른 벽면압력압력 변화 그리고 레이놀즈 수 영향에 따른 벽면압력변화 등을 연구하였다.

본 연구에서 사용된 벽면압력 위치와 타 연구 [7, 8, 9]에서 제시된 벽면압력 위치를 Fig. 7에 비교하여 나타내었다. 여기서 x_c 는 시험부 중심을 나타내며, W 는 시험부 폭을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 대부분의 연구에서는 시험부 벽면효과 변화가 크게 나타날 것으로 예측되는 모형 중심부 부근에는 측정 위치를 조밀하게 하였으며 중심에서 먼 거리에서는 측정 간격을 상대적으로 넓게 한 것을 볼 수 있다. 이를 기준으로 본 연구에서는 그림에서 보는 바와 같이 모형 중심부근에서는 조밀하게 그리고 모형에서 상대적으로 먼 거리인 입구와 모형 후류 부위는 그 측정 위치를 넓게 하였다. 시험부 좌현과 우현에 동일하게 총 31개의 압력공을 설치하였다.

시험부 벽면에서 레이놀즈 수 변화에 의한 영향을 파악하기 위해 레이놀즈 수를 변화시키면서 벽면압력분포를 측정하였다. 그 결과를 Fig. 8에

나타내었다. 그림에는 본 연구에서 수행된 최대 폐쇄율인 55.6% 경우에 대하여 자유흐름 속도를 10 m/s ($Re=1.5 \times 10^5$), 15 m/s ($Re=2.3 \times 10^5$), 26 m/s ($Re=3.8 \times 10^5$) 그리고 31 m/s ($Re=4.6 \times 10^5$)로 변화시키면서 수행된 결과를 나타내었다. 레이놀즈 수 변화에 따른 에어포일 주위 배제두께 변화가 존재하고 이로 인해 벽면효과 영향이 존재할 것으로 예상되었지만 그림에서 보는 바와 같이 그 영향은 매우 미미함을 볼 수 있었다. 이는 본 연구에서 수행된 레이놀즈 수 변화가 상대적으로 적어 그 영향이 미미하게 나타난 것으로 판단된다.

에어포일 받음각 0° , 10° 그리고 30° 에 대해 폐쇄율 변화에 따른 시험부 벽면에서의 압력분포 변화를 Fig. 9 ~ Fig. 11에 나타내었다. 여기서 H 는 본 시험에 사용된 풍동 시험부 높이로 900 mm이다. 그림에서 보는 바와 같이 시험부 벽면에서의 압력은 모형 중심 부근에서의 변화가 상대적으로 크게 나타나며 모형중심에서 벗어날수록 그 변화가 상대적으로 작아짐을 볼 수 있었다. 또한, 시험부 입구 방향으로의 변화보다는 후류 방향으로의 변화가 상대적으로 크게 나타나는 데 이는 모형에서 발생하는 후류에 의한 영향으로 판단된다. 이러한 변화는 폐쇄율이 증가할수록 크게 나타나며 받음각이 증가될수록 크게 나타남을 볼 수 있었다. 받음각 30° 의 경우 모형 후방부 부근에서 벽면압력 변화가 매우 급격한 나타남을 볼 수 있는데 이는 흐름의 박리로 인한 영향으로 판단되며 이로부터 높은 받음각에서는 separation blockage에 의한 영향이 매우 커질 것을 예측할 수 있다.

벽면압력측정 방법 중 Wall pressure signature 방법은 후류에 의한 영향만 존재하는 점근점(asymptotic point)이 포함된 영역 이상의 벽면압력 자료를 필요로 하고 있다. 풍력터빈용 에어포일 자세 및 폐쇄율 변화가 점근점 변화에 끼치는 영향을 연구하였다. 이러한 점근점은 벽면 압력 분포를 Akima의 spline 기법으로 내삽한 후 그 변곡점을 찾는 방식으로 판단하였다. 에어포일 받음각 및 폐쇄율 변화에 따른 영향은 Fig. 9 ~ Fig. 11에 보는 바와 같이 받음각 0° 에서는 시험부 전방방향으로 시험부 높이의 0.3배(시위의 0.9배), 후류 방향으로 0.7 배(시위의 2.3배)가 되며 받음각 10° 이후에는 전방과 후류 방향으로 각각 0.8배(시위의 약 3배) 정도에 위치됨을 볼 수 있다. 또한 점근점 변화는 폐쇄율 변화에 거의 영향을 받지 않음을 볼 수 있었으며 받음각 변화에 따른 변화가 상대적으로 크게 나타나지만 받음각 10° 이후에는 그 변화가 시위의

세배 정도에 근접해 가는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구 결과로부터 벽면압력을 이용한 벽면효과 보정을 위해서는 에어포일 전후방으로 시위의 세배 위치 이상의 벽면압력이 측정되어야 한다는 것을 판단 할 수 있었다.

IV. 결 론

풍력터빈용 에어포일의 풍동시험시 발생하는 벽면효과에 의한 영향을 연구하기 위하여, 저속 풍동 시험부에서 폐쇄율 변화에 따른 에어포일 주위 유동장 변화에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 저 레이놀즈 조건에서 폐쇄형 풍동시험부에 놓여있는 에어포일 주위 유동장에 폐쇄율을 변화시키면서 벽면효과를 연구한 결과 다음과 같

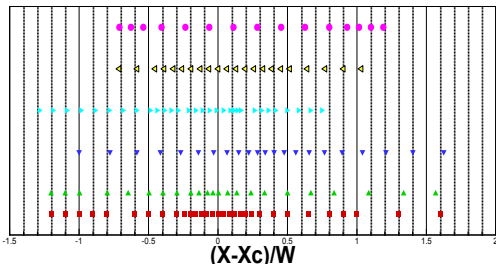


Fig. 7. 시험부에서 압력공 위치 (square symbol: present study, delta symbol : DNW-LST, gradient symbol : DNW-LST-PW, right triangle symbol : IAR 5 ft, left triangle : Lockheed 22 ft, circle symbol : Lockheed 15 ft)

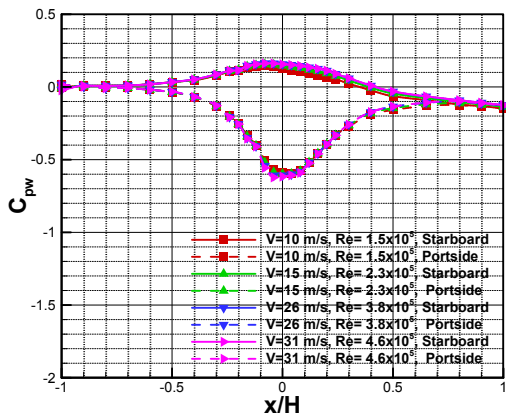


Fig. 8. 레이놀즈 수 변화에 따른 시험부 벽면에서의 압력분포 변화 ($\alpha=10^\circ$, $\epsilon=55.6\%$)

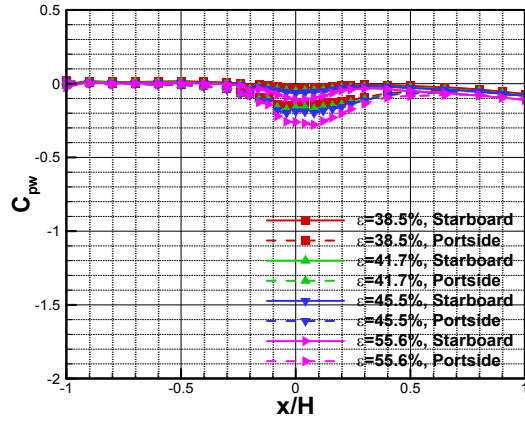


Fig. 9. 시험부 벽면에서의 압력분포 비교 ($\alpha=0^\circ$, $V=31$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

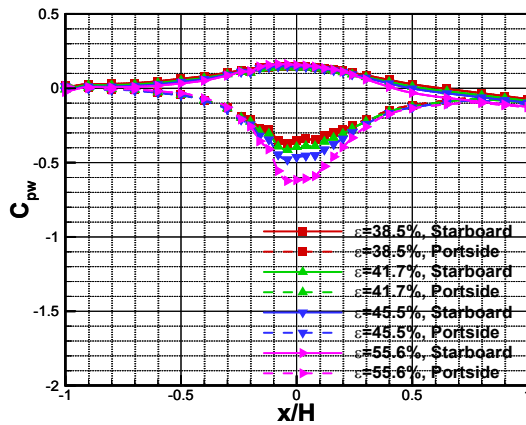


Fig. 10. 시험부 벽면에서의 압력분포 비교 ($\alpha=10^\circ$, $V=31$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

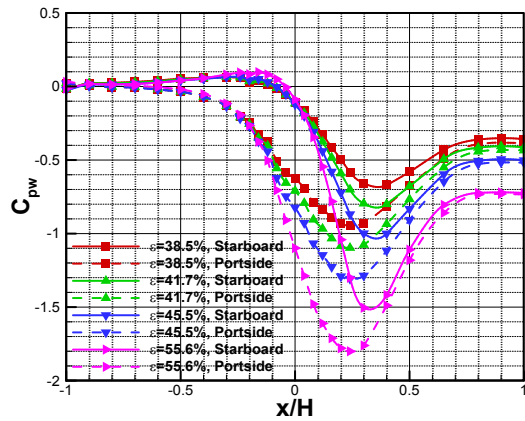


Fig. 11. 시험부 벽면에서의 압력분포 ($\alpha=30^\circ$, $V=31$ m/s, $Re = 4.6 \times 10^5$)

은 결론을 얻을 수 있었다. 폐쇄형 시험부 벽면 효과에 의해 에어포일 표면에서의 천이점이 후방으로 이동되며 벽면효과가 증가할수록 이러한 변화는 보다 크게 나타나는 경향이 있다. 또한, 벽면압력을 이용한 벽면효과 보정을 위해서는 에어포일 전후방으로 시위의 세배 위치 이상의 벽면압력이 측정되어야 한다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구내용의 일부는 지식경제부 신재생에너지 기술개발사업 (융합원천)인 "서남해2.5 GW 해상 풍력을 위한 실증단계 연구 (과제번호: 20113040020010)" 과제의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1) Claessens, M.C., "The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind Turbines," Master of Science Thesis, Delft University of Technology, 2006.

2) Timmer, W. A. and Rooij, RPJOM van. "Some Aspects of High Angle-of-Attack Flow on Airfoils for Wind Turbine application". Helm, P & Zervos, A (Ed.). In the Proceedings of the European wind energy conference "Wind Energy for the New Millennium",

Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001. pp. 355-358.

3) 강승희, "폐쇄형 풍동 시험부 내의 정상 및 비정상 박리흐름에 대한 Blockage 보정 기법 연구," 한국과학기술원 박사학위논문, 2005

4) Ross, I., Altman, A., "Wind tunnel blockage corrections: Review and application to Savonius vertical-axis wind turbines," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 99, 2011. pp. 523 - 538.

5) Akima, H., "A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures," J. of the Association for Computing Machinery, Vol. 17, No.4, 1970, pp 589-602.

6) Selig, M. S., Deters, R. W., and Williamson, G. A., "Wind Tunnel Testing Airfoils at Low Reynolds Number," AIAA-2011-875, 49th AIAA Aerospace Science Meeting, 2011.

7) Ewald, B. F. R., (Editor), "Wind Tunnel Wall Correction", AGARDograph 336, 1998.

8) Mokry, M., Chan, Y. Y., and Jones, D. J., "Two-Dimensional Wind Tunnel Wall Interference", AGARD-AG-281, 1983.

9) Labrujère, Th. E., "Correction for Wall Interference in a Solid-Wall Wind Tunnel Using Sparse Measured Boundary Conditions", NLR TP 89004U (PB92-138577), Jan. 1989.