

## 풍력블레이드용 에어포일 성능 검증을 위한 풍동 시험

신 형기<sup>1)</sup>, 김 석우<sup>2)</sup>

### Airfoil wind tunnel test for performance validation

Hyunki Shin, Seokwoo Kim

**Key words** : wind turbine(풍력발전기), blade(블레이드), airfoil(에어포일), wind tunnel test(풍동 시험), roughness sensitivity(표면 거칠기 민감도)

**Abstract** : 풍력 블레이드용으로 설계된 에어포일에 대하여 풍동 시험을 수행하였다. 설계된 에어포일의 레이놀즈수 범위에 맞추고자 코드 길이 40cm의 모델에 대하여 유속 17m/s, 35m/s, 50m/s에 대하여 에어포일 표면에서의 압력과 에어포일 뒤쪽 레이크에서의 압력을 측정하였다. 이를 통하여 설계에 사용된 기법의 타당성과 설계된 에어포일에 대하여 설계 변수에 대한 실질적 만족도에 대하여 평가하였다. 이와 더불어 표면 거칠기에 대한 모사를 위하여 트립도트를 부착하여 시험을 수행하였다. 이를 통하여 레이놀즈수와 표면 거칠기에 따른 에어포일의 성능 및 유동 변화 특성에 대하여 파악 할 수 있었다.

### I. 서 론

한국에너지기술연구원 풍력발전연구단에서는 100kW급 실속제어형 풍력발전기의 블레이드 개발을 위하여 이에 적합한 두 종의 에어포일을 설계하였으며 이의 검증 및 특성 연구를 위하여 풍동 시험을 수행하였다. 풍력 블레이드용 에어포일의 경우 항공기용 에어포일과는 달리 표면 거칠기에 대하여 공력 특성의 변화가 둔감하게 변하는 것이 요구된다. 따라서 풍동 시험 역시 이에 대한 효과를 테스트 할 필요가 있다. 이를 위하여 일반적인 에어포일 공력 성능 테스트 이외에 앞전 부근에 일정한 두께의 트립 도트를 부착하여 표면 거칠기가 증가하는 효과를 모사하고 이에 대한 공력 특성을 검토하는 시험을 함께 수행하였다. 본 논문에서는 수행된 시험 결과와 설계된 목표의 부합도와 표면 거칠기에 대한 에어포일의 특성에 대하여 논의하고자 한다.

### II. 실험장치 및 방법

본 연구를 위한 풍동실험은 공군사관학교의 단일 폐쇄회로식의 중형 아음속풍동에서 이루어졌다. 측정부의 크기는 2.45m(H)\*3.5m(W)\*8.7m(L)이며 작동 유속은 5~92m/s, 시험부 수축비는 7.26:1 이며 난류 강도는 74m/s에서 0.1% 이내이다.

시험을 위한 에어포일은 두께비가 24%와 12%인 풍력 블레이드용으로 설계된 에어포일이다. 모델은 코드 길이 0.4m, 스패ん 길이 1m로 제작되었으며, 3차원 효과를 막기 위하여 에어포일 모

델의 한 쪽 끝은 지름 3c로 원형의 엔드 플레이트가 설치 되었고 다른 한 쪽면은 턴테이블 위에 설치하였다. 표면 압력 측정을 위하여 각 에어포일의 윗면과 아랫면에 40개의 압력홀이 설치 되었다. 에어포일의 뒷전에서 1c 떨어진 위치에는 항력 계산을 위하여 레이크를 설치하였다. 레이크의 정압관은 가운데를 기준으로 +/- 0.5c 간격 안쪽은 10mm 간격으로 정압을 측정하고 그 바깥쪽 +/- 1.5c 안쪽은 20mm 간격으로 정압을 측정하였다. 또한 기준 압력을 측정하기 위하여 3개의 피토 튜브가 설치 되었다. 이의 설치 모습은 Fig. 1에서 보여진다.

에어포일 표면의 거칠기를 모사하기 위하여서는 5.6mil과 11.4mil 두께의 Cad Cut 사의 트립도트를 부착하였다. 트립 도트의 경우 일반적으로는 레이놀즈 수를 보상하기 위하여 부착하지만 본 연구에서는 블레이드 표면의 오염으로 인하여 경계층의 천이가 발생하는 것을 모사하기 위하여 사용되었다. 부착 위치는 앞전을 기준으로 0.05c 위치에 에어포일의 윗면과 아랫면에 각각 부착하였다.(Fig. 2)

설계 레이놀즈 수에 대하여 측정하기 위하여 유속은 각각 17m/s, 35m/s, 50m/s로 설정하였으며 -15도~+20도 사이에서 측정이 이루어졌으며 모든 압력은 5hz 시간 간격으로 150회 측정이 이

1) 한국에너지기술연구원  
E-mail : hkeewind@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3748 Fax : (042)860-3543  
2) 한국에너지기술연구원  
E-mail : wemins@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3568

루어졌다.

측정된 압력값에 대하여서는 Abbott과 Doenhoff가 제시한 방법에 의해 양력 계수와 항력 계수가 계산 되었으며 각각의 값에 대하여 solid blockage, wake blockage, streamline curvature에 대한 보정을 수행하였다.

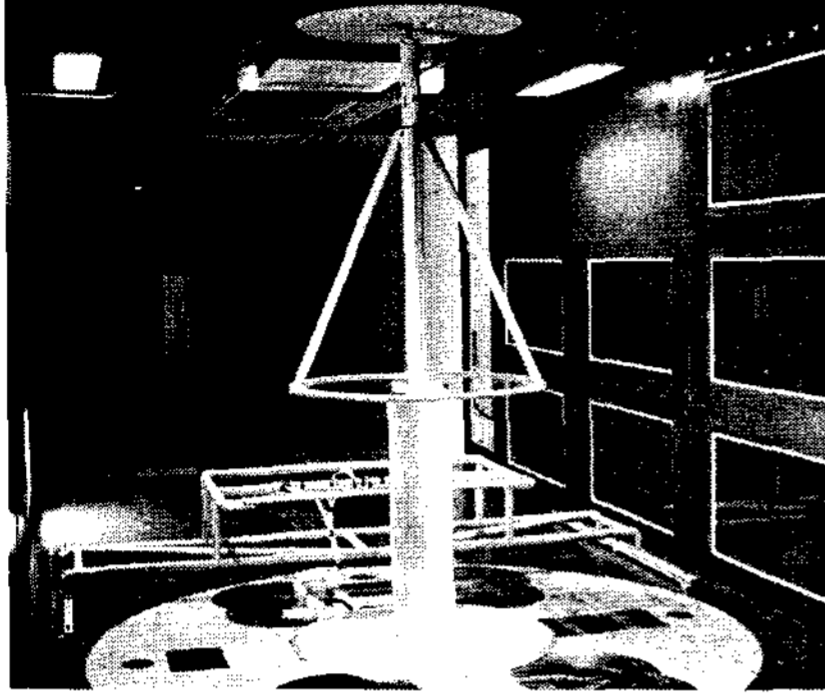


Fig. 1 model installation for wind tunnel test

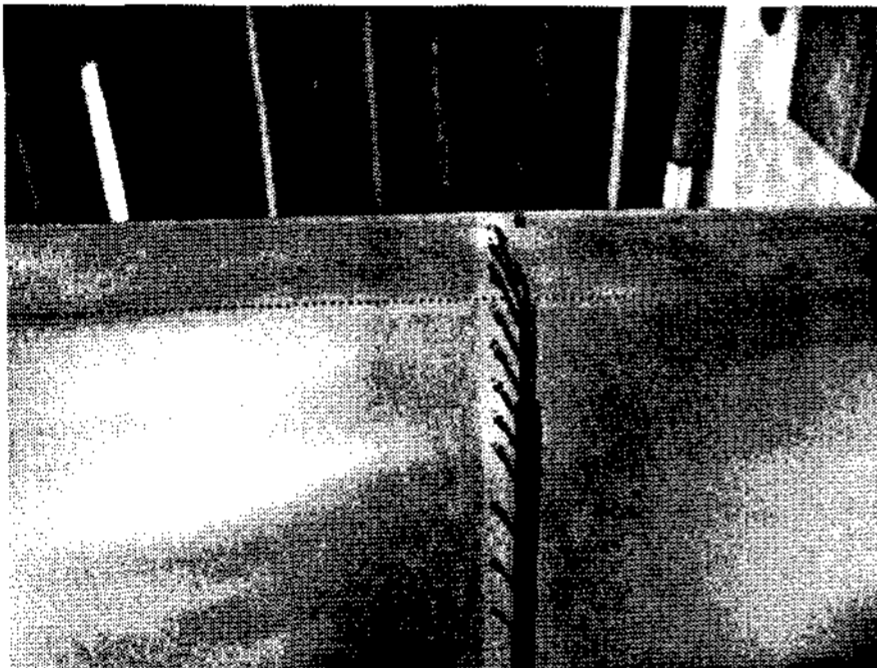


Fig. 2 trip dots attachment

### III. 실험결과 및 검토

Fig. 3,4,5,6은 KWA005-240과 KWA009-127에 대한 측정 결과와 계산 결과를 보여주고 있다. 우선 설계 단계에서 공력 계산에 사용되었던 Xfoil 과의 결과를 비교하여 보면 실속이 일어나기 전, 선형적으로 공력 특성이 변하는 구간에 대하여는 양력계수와 항력 계수 모두 실험값과 계산값이 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 기본적으로 표면 거칠기를 모사한 트립 도트를 부착한 상태의 경우에 대해서도 양력 계수에 대하여는 계산값과 실험값이 잘 일치한다. 그러나 가장 낮은 레이놀즈 수인  $4.5 \times 10^5$ 인 경우에는 측정된 양력 계수의 거동이 다른 레이놀즈 수와 다른 특성을 보이며 계산값은 이를 잘 따르지 못 함을 보여준다. 또한 항력 계수의 경우 트립 도트를 부착한 경우에 대하여는 계산값이 측정값과 차이를 보이는데 이는 트립 도트 자체가 항력을 유발하지만 계산이 이를 모사하지 않은 것이 가장 큰 원인으로 추정된다(Fig. 4, 6).

실속 이후에 대하여는 예상한 것과 같이 계산

값과 측정값은 큰 차이를 보이고 있다(Fig. 3, 5). 양력 계수에 대하여는 계산값이 실제 측정값에 비해 어느 경우나 과대 예측을 하고 있으며 항력 계수에서는 측정값 보다 훨씬 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 실속 이후 값에 대한 한계를 충분히 숙지한다면 xfoil의 경우 설계 단계에서 적합할 것으로 판단된다.

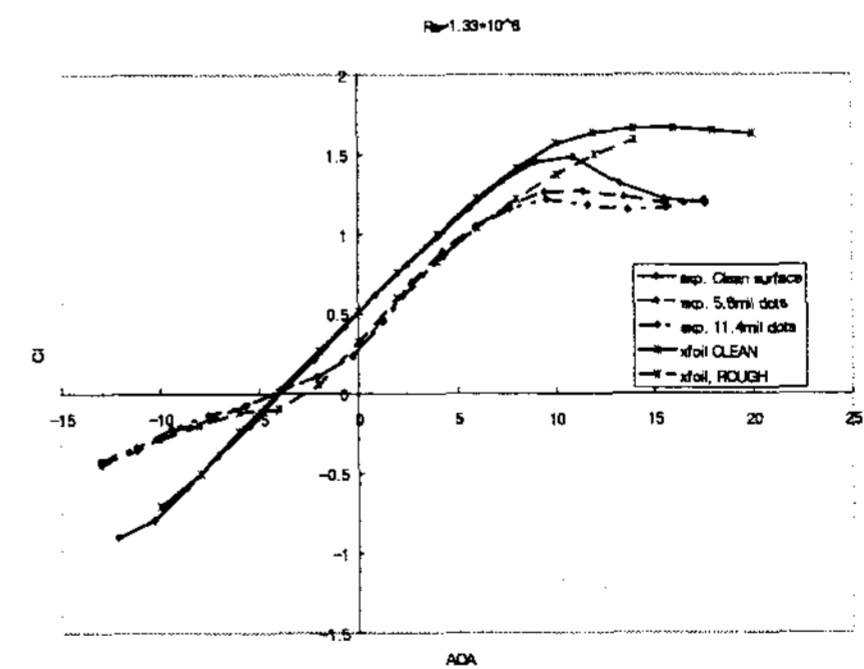
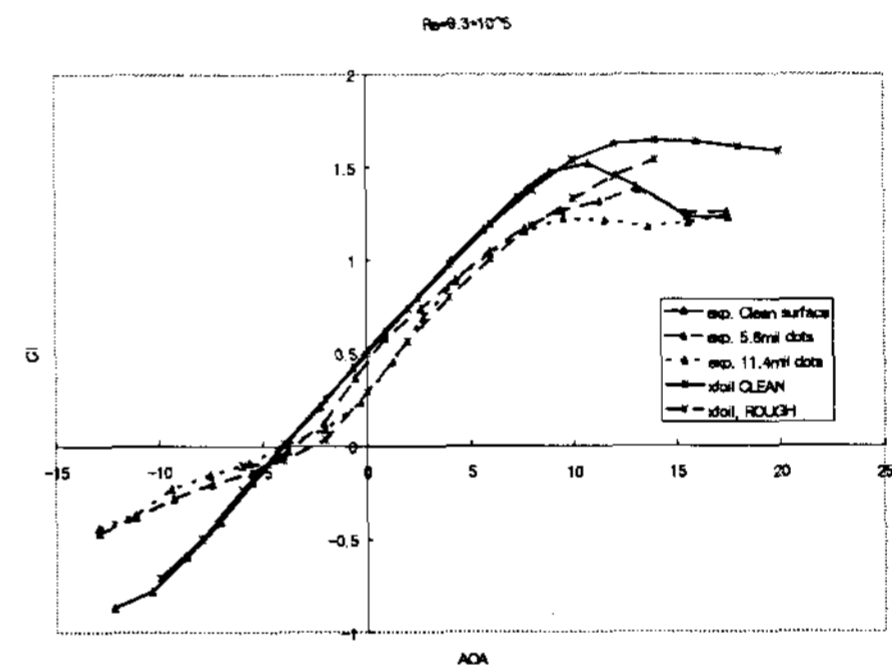
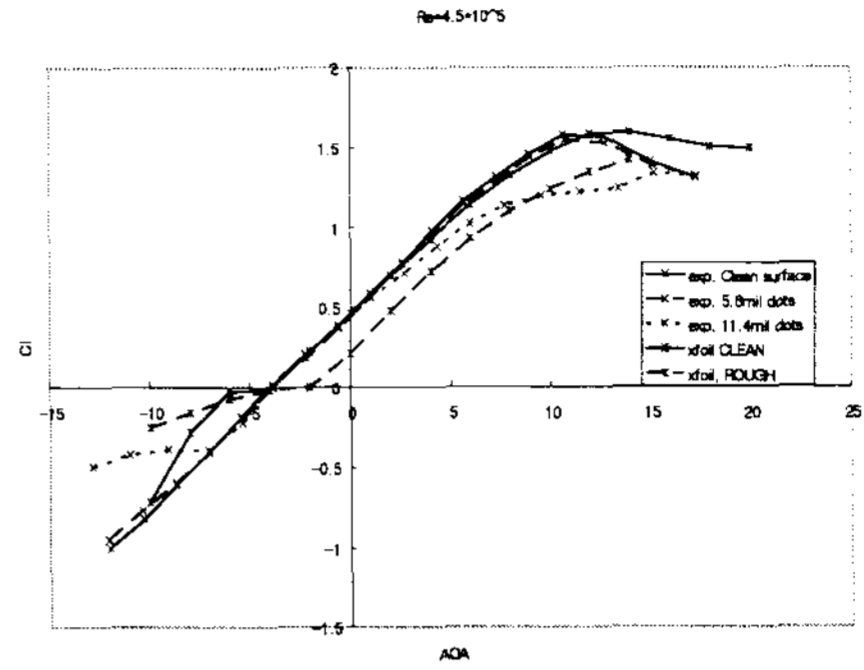


Fig. 3 KWA005-240 lift coefficient

실속 이후의 값이 계산값과 큰 차이를 보이고 있지만 전체적인 성능 계수는 설계 목표값을 잘 만족하고 있다. 양력 계수의 경우 KWA005-240은  $Re=1.33 \times 10^6$ 에서 최대 양력계수가 1.4 이상을 보여주고 있다. KWA009-127의 경우 최대 양력계수가 계산값보다 상당히 작은 값을 보이고 있는데 이는 팁 에어포일로 설계되었기 때문에 물트에서의 휨 모멘트를 줄이기 위하여 낮은 최대 양력 계수를 요구하는 특성이 있는 KWA009-127의 경우

매우 바람직한 방향의 특성을 보여주고 있다 (Fig. 5). 트립 도트를 부착한 경우에 대하여도 계산값과 잘 일치하는 특성을 보이고 있기 때문에 거칠기 민감도에 대한 설계 특성 역시 설계 목표에 잘 부합된다고 볼 수 있다. 실속 이후의 특성의 경우 양력계수의 급격한 저하가 아닌 부드러운 감소가 이루어지고 있으며 KWA005-240의 경우 트립 도트를 부착한 경우 실속 이후에도 양력 계수의 저감이 거의 없는 특성을 보여주고 있다.

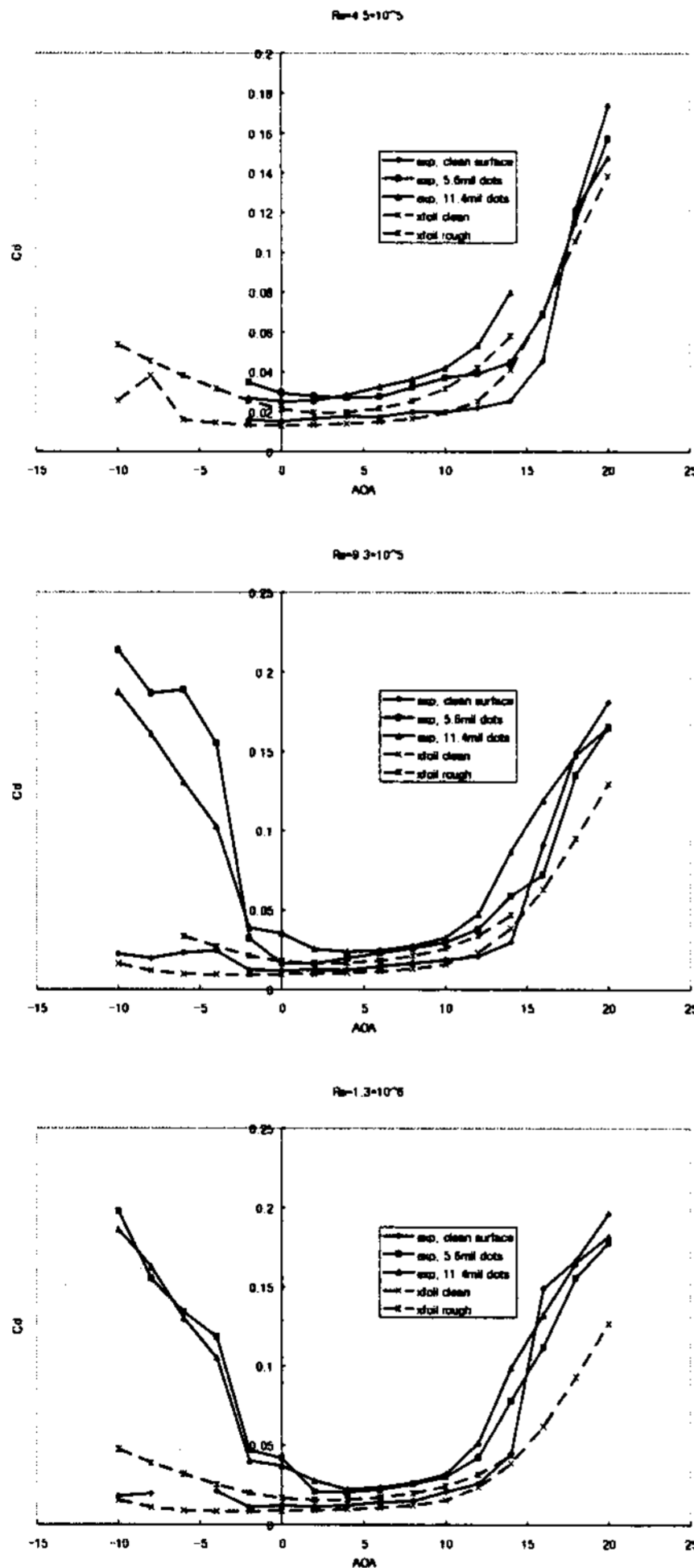


Fig. 4 KWA005-240, drag coefficient

표면 거칠기를 모사하기 위하여 부착한 트립 도트에 따른 변화를 살펴 보면 양력 계수의 측면에서  $Re=9.4 \times 10^5$ ,  $1.33 \times 10^6$ 에 대해 트립 도트의 두께가 5.6mil과 11.4mil의 경우 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 트립 도트를 통하여 거칠기에 대한 특성을 알기 위하여는 5.6mil 두께의 트립 도트로 충분하다고 판단된다.

표면 거칠기에 따른 특성은 KWA005-240과 KWA009-127 모두  $Re=9.4 \times 10^5$ 과  $1.33 \times 10^6$ 에서는

예측했던 특성을 보여주고 있다. 그러나 KWA005-204의  $Re=4.5 \times 10^5$ 에서는 표면 거칠기가 증가하더라도 양력계수가 거의 감소하지 않는 특성을 보여주고 있다. 이는 낮은 레이놀즈 수에서의 경계층 특성에 기인한 것으로 추정되며 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다. KWA009-127의 경우 트립 도트가 부착된 경우에도 양력 계수 값의 변화가 거의 없다 (Fig.5). 이는 두께비가 얇은 에어포일의 형상 특성에 기인하며 에어포일의 설계 의도와 잘 부합되는 특성을 나타내고 있다.

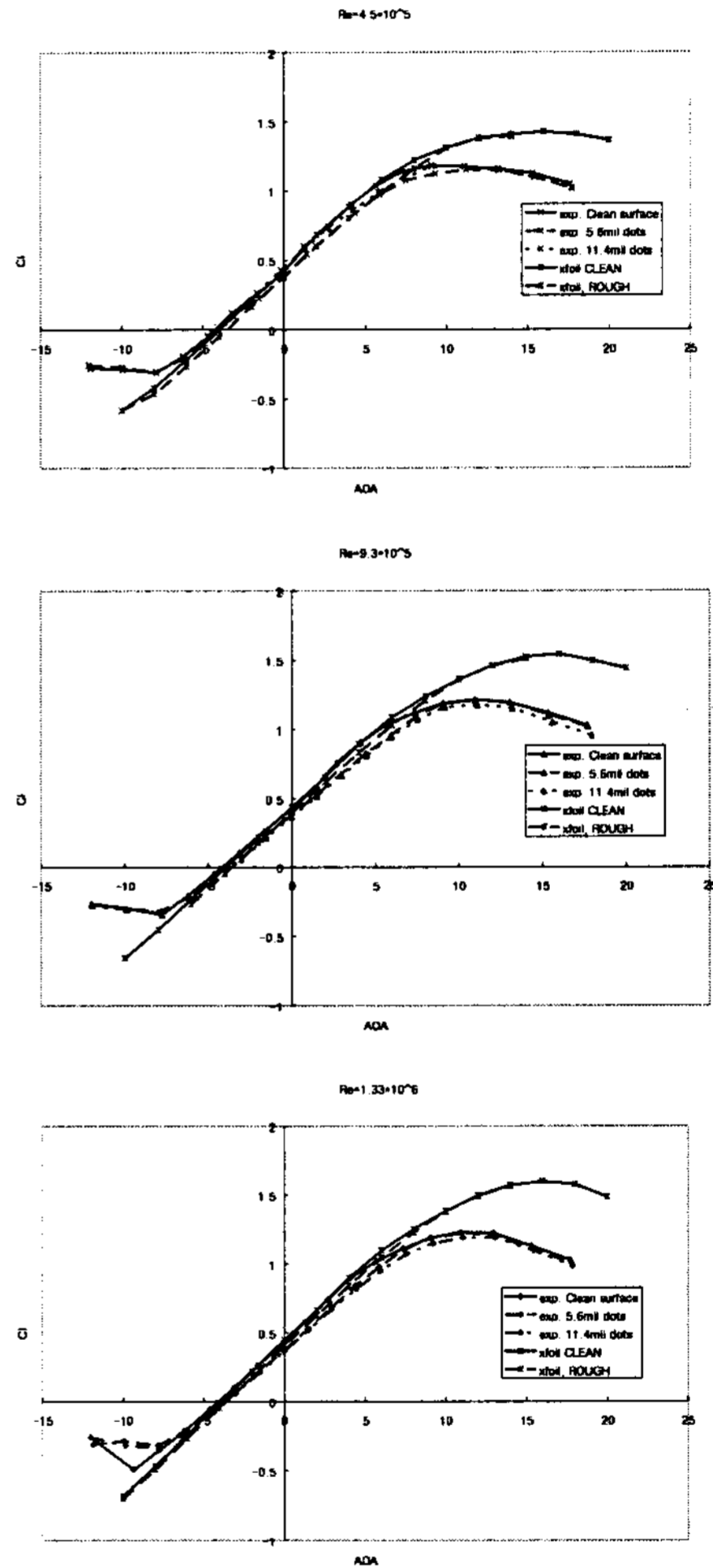


Fig. 5 KWA009-127 lift coefficient

#### IV. 결론

풍력 블레이드용 에어포일로 설계된 KWA005-240 에어포일과 KWA009-127 에어포일에 대한 풍동 시험을 수행하였다. 기본적으로 풍동 시험 결과 보여지는 에어포일의 공력성능은 설계 목표를 만족하는 우수한 에어포일임을 나타낸다. 또한 설계단계에서 사용된 xfoil은 실속이후의 신뢰성에 대한 고려를 설계자가 충분히 숙지 한다면 설

계단계에서 충분히 신뢰성을 가지고 사용할 수 있는 틀임을 알 수 있다. 이 외에도 본 시험을 통하여 에어포일의 두께비와 레이놀즈 수에 따른 에어포일 표면 거칠기에 대한 성능 특성 등을 확인 할 수 있었다. 따라서 설계된 에어포일은 블레이드의 개발에 효과적으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 연구비 지원을 통하여 수행 되었습니다.

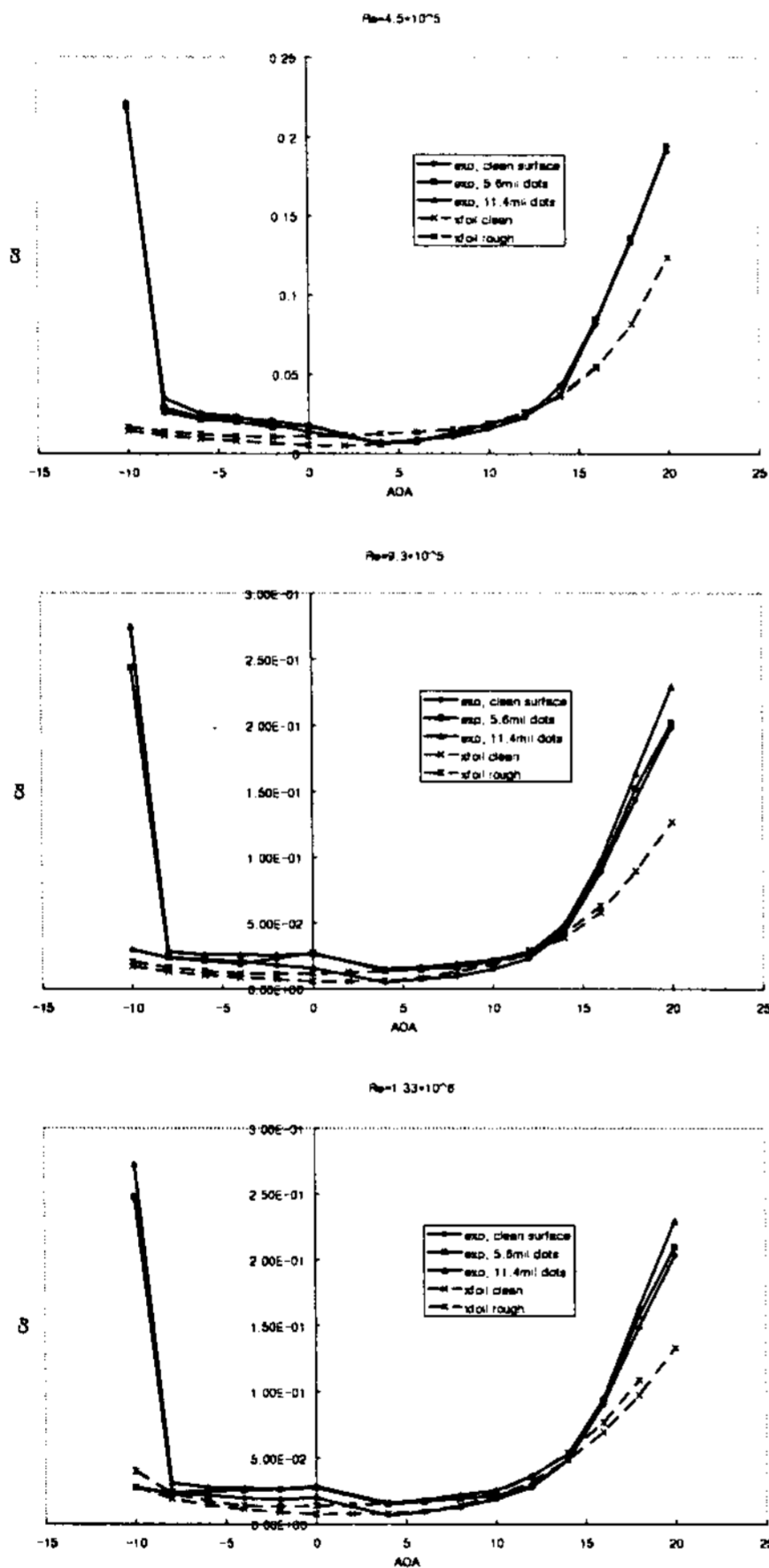


Fig. 6 KWA009-127, drag coefficient

## 참고문헌

- [1] Kristian S. Dahl and Peter Fuglsang, Design of the Wind Turbine Airfoil Family RISO-A-XX, Riso-R-1024, DEC. 1998.
- [2] R.P.J.O.M. van Rooij and W.A. Timmer, Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils, Transactions

- of the ASME, Vol. 125, Nov. 2003
- [3] P.A. Henne, Applied Computational Aerodynamics, Progress in Astronautics and Aeronautics Vol. 125
- [4] Michael S. Selig and mark D. Maughmer, Multipoint Inverse Airfoil Design Method Based on Conformal Mapping, AIAA Journal Vol. 30, No. 5, May 1992
- [5] Mark Drela, XFOIL 6.94 User Guide, Dec. 2001
- [6] Franck Bertagnolio, Niels Sorensen, Jeppe Johansen and Peter Fuglsang, Wind Turbine Airfoil Catalogue, Riso-R-1280, Aug. 2001
- [7] D.M. Somers, The S819, S820, and S821 Airfoils, NREL/SR-500-36334, Jan. 2005
- [8] J.B.Barlow, W.H. Rae and A.Pope, "Low Speed Wind Tunnel Testing, 3rd edition", Wiley, New York, 1999
- [9] C.Bak, P.Fuglsang, J.Johansen and I.Antoniou, "Wind Tunnel Tests of th NACA 63-415 and a Modified NACA 63-415 Airfoil," Riso-R-1193(EN), Riso National Laboratory, 2000
- [10] 권기정 "타원 익형 공력 및 유동장 특성에 대한 실험적 연구", KAIST, 박사학위논문, 2005