

10kW 급 풍력 블레이드의 수동형 피치제어 모듈의 설계를 위한 여러가지 익형의 공력 특성에 관한 연구[§]

강상균* · 이지현** · 이장호***†

* 군산대학교 대학원 기계공학과, ** (주)삼원밀레니엄, *** 군산대학교 기계자동차공학부

Aerodynamic Characteristics of Several Airfoils for Design of Passive Pitch Control Module of 10 kW Class

Sang Kyun Kang^{*}, Ji Hyun Lee^{**} and Jang-Ho Lee^{***†}

^{*} Dept. of Mechanical Engineering, Graduate school of Kunsan Nat'l Univ.,

^{**}Samwon Millennia, Inc., ^{***} School of Mechanical and Automotive Engineering, Kunsan Nat'l Univ.

(Received October 3, 2013 ; Revised February 5, 2014 ; Accepted March 2, 2014)

Key Words: Pitch Control System Module(피치제어모듈), Variable Pitch(가변피치), Airfoil(익형), Aerodynamic Characteristics(공력특성), Thrust(추력), Torque(토크)

초록: 풍력터빈 블레이드의 가변 피치제어는 풍력발전기의 과풍속 영역 설계에 있어 중요한 요소로 알려져 있으나 원가문제 때문에 소형 풍력터빈에는 적용되지 못하고 실속제어가 많이 적용되고 있다. 하지만, 블레이드 주변의 난류 때문에 설계된 실속이 구현되지 않는 실속지연 현상이 종종 발생되고, 이에 따른 풍력 블레이드의 과회전과 발전기의 과출력 위험이 발생하고 있다. 이에 따라 블레이드에서 발생하는 공력으로 피치가 변하고 스프링의 복원력으로 복귀되는 수동형 피치제어 모듈이 주목 받고 있다. 본 연구에서는 회전하는 블레이드의 익형에서 발생하는 양력과 항력을 이용하여 회전면으로 작용되는 토크와 블레이드의 Flap 방향으로 작용되는 추력을 계산하는 방법을 제시하고, 이러한 힘들의 크기를 여러 가지 익형에 대해 비교하였으며, 블레이드의 피치모멘트를 정량적으로 산출하여 수동 피치제어 모듈의 설계자료로 활용될 수 있도록 하였다.

Abstract: Even though the variable pitch control of a wind turbine blade is known as an effective component for power control over the rated wind speed, it has limited applicability to small wind turbines because of its relatively high cost on the price of small wind turbine. Instead, stall control is generally applied in the blade design without any additional cost. However, stall delay can frequently be caused by high turbulence around the turbine blade, and it can produce control failures through excessive rotational speed and overpowering the electrical generator. Therefore, a passive pitch control module should be considered, where the pitch moves with the aerodynamic forces of the blade and returns by the elastic restoring force. In this study, a method to calculate the pitch moment, torque, and thrust based on the lift and drag of the rotating blade wing was demonstrated, and several effective wing shapes were reviewed based on these forces. Their characteristics will be estimated with variable wind speed and be utilized as basic data for the design of the passive pitch control module.

- 기호설명 -

α_A : 받음각 [degree]

β : 부착각도 [degree]

C_D : 항력계수 [-]

C_L : 양력계수 [-]

C_m : 피치모멘트계수 [-]

dD : 해석요소의 항력 [N]

dL : 해석요소의 양력 [N]

dM : 해석요소의 피치모멘트 [N·m]

§ 이 논문은 대한기계학회 IT 융합부문 2013년도 춘계학술대회 (2013. 5. 9.-10., 대명리조트) 발표논문임.

† Corresponding Author, jangho@kunsan.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

- dr : 해석요소의 반경방향길이 [m]
- dS : 해석요소의 주력 [N]
- dT : 해석요소의 토크 [N·m]
- λ_r : 주속비(r) [-]
- λ_R : 주속비(R) [-]
- P : 출력 [W]
- r : 회전반경 [m]
- R : 로터 반지름 [m]
- t : 코드길이 [m]
- ϕ : 회전면과의 각도 [degree]
- U : 회전면에 작용하는 힘 [N]
- V : 풍속 [m/s]
- V_R : 상대속도 [m/s]
- ω : 각속도 [rad/s]
- z : 블레이드 수 [-]

1. 서 론

풍력발전기는 과풍속에서 로터나 발전기가 손상되거나, 파손되는 것을 방지하기 위하여 블레이드의 회전속도를 설계회전수 이하로 유지되도록 제어된다.

이를 구현하기 위한 방법으로 회전하는 블레이드에서 유동박리가 발생하도록 설계하여 양력과 토크를 감소시키는 방법인 실속제어방식과 회전 블레이드의 받음각이 감소되도록 블레이드의 피치각을 제어하여 양력을 감소시키는 피치제어 방식이 있다.

피치제어는 정격풍속 이상에서 터빈 시스템의 추력 부하를 감소시키고 일정한 출력을 얻을 수 있는 제어방법이지만, 실속제어에 비해 장치가 복잡하고 설치비용이 많이 든다는 단점이 있어 소형 풍력시스템에 적용되지 않는 것이 일반적이다.⁽¹⁾ 그렇지만, 별도의 구동장치 없이 익형의 받음 각만을 이용하는 수동형 피치제어 모듈을 활용하면 소형 풍력시스템에도 비교적 낮은 가격으로 피치제어 기능을 구현할 수 있다.

소형 풍력발전기에 수동형 피치제어 모듈이 설치되면 돌풍 등에 의한 이상하중을 제어함으로써 신뢰성 및 블레이드의 피로/내구성능을 향상시키고, 블레이드의 파손 예방으로 인한 유지보수비용이 절감될 수 있게 된다.

이러한 수동형 피치제어 모듈의 설계를 위해 회전하는 날개에서 발생하는 힘들의 특성이 먼저 알려져야 한다. 본 연구에서는 피치제어 모듈에 적

Table 1 Specification of KA2 and KA1^(2,3)

Specification	KA1	KA2
Max thickness ratio	22%	14%
Camber	1.6%	4.4%
Camber position	16.7%	37%

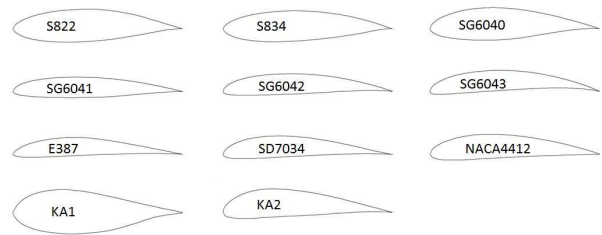


Fig. 1 Shape of airfoils

용될 수 있는 여러 가지 익형에 대해 Schmitz' theory 를 적용한 블레이드 코드 설계 안을 제시하고, 회전하는 블레이드의 익형에서 발생하는 양력과 항력을 이용하여 추력, 피칭 모멘트, 토크 등을 계산하고 상호 비교하였다. 이와 같은 결과는 수동형 피치제어 모듈 설계의 기본 자료로 활용될 것이다.

2. 익형 종류별 블레이드 설계 방법

2.1 익형의 종류 및 특성

소형풍력 블레이드에 적용 가능한 익형으로, 본 연구팀이 개발한 고유익형 2 개에^(2,3) 선행연구를 통해 알려진 익형 9 개가⁽⁴⁻⁷⁾ 더해져 총 11 개의 익형이 검토된다. 익형의 양력과 항력은 Xfoil 을 이용하여 산출된다. 이들 익형의 고유번호와 형상은 Fig. 1 에 나타낸 바와 같다.

한편, 상용화된 10kW 급 풍력발전기의 블레이드를 살펴보면, 날개 끝단에서 0.2~0.4m 의 코드길이를 갖는데, 이를 정격풍속 10m/s 에서 상대풍속을 적용하여 Reynolds 수를 계산해보면 60 만 ~ 120 만의 범위에 해당된다. 이에 따라 본 연구에서는 평균 Reynolds 수 90 만에서 11 개 익형의 받음각에 따른 양력계수, 항력계수, 피치모멘트계수의 특성이 서로 비교 검토된다.

본 연구팀이 개발한 고유익형 KA1, KA2 의 사양은 Table 1 에 정리되었다.^(2,3) KA1 의 두께비는 22%이며, 캠버는 1.6%이다. KA2 의 두께비는 14%이며, 캠버는 4.4%이다.

각 익형들의 양력계수와 피치모멘트계수의 최대

값과 이때의 받음각 들은 Table 2 에 정리되었다.^(2~7) 표에서 보는 바와 같이 양력계수가 가장 큰 익형은 KA2 로 15 도에서 1.65 이며, 피치모멘트 계수가 가장 작은 익형은 SG6043 으로 0 도에서 -0.18 로 나타난다.

각 익형들의 받음각 변화에 따른 양력계수, 항력계수, 그리고 모멘트 계수들의 특성 변화는 Fig. 2 에 나타낸 바와 같다.^(2~7) 그림에서 보는 바와 같이 익형들의 양력계수는 받음각 변화에 따라 일정 범위 안에서 변화하고, 변화기울기 또한 서로 다르다는 것을 알 수 있으며, 각 익형들의 피치모멘트 또한 익형에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 나타난다.

이러한 특성들은 풍속변화에 따른 블레이드의 토크와 피치모멘트의 변화에 영향을 주며, 이와 함께 수반되는 수동형 피치제어 모듈의 작동특성에도 중요한 작용을 하게 된다.

2.2 블레이드의 설계

회전날개의 반경에 따른 회전속도 변화를 고려한 코드길이는 Betz's limitation 과 Schmitz' theory 를 적용하여 각각 산출될 수 있다.⁽⁸⁾ Betz's limitation 을 적용한 코드길이 산출 방법은 식 (1)과 같이 정리될 수 있고, Schmitz' theory 를 적용한 코드길이의 산출방법은 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

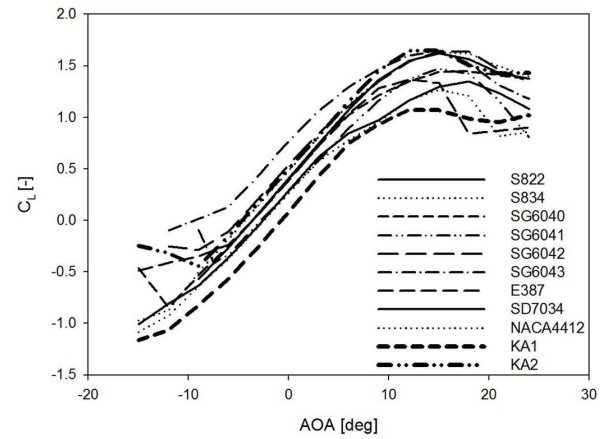
이와 같은 식들은 블레이드의 전체길이에 대해 반경방향으로 구분된 16 개의 각 요소에 적용된다.

Table 2 Maximum characteristic of test airfoils ^(2~7)

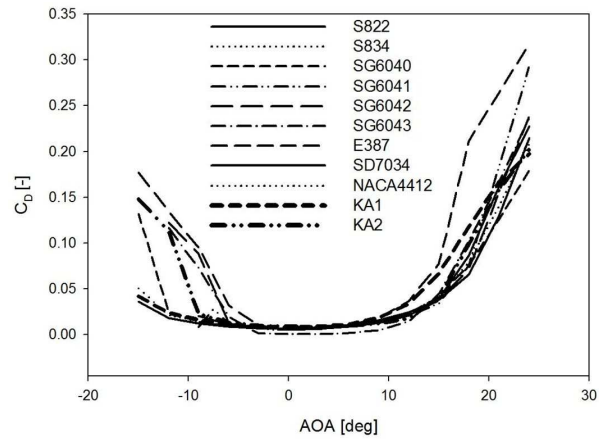
Airfoil	Thickness ratio	AOA	CL max	AOA	CM min
	[%]	[deg]	[-]	[deg]	[-]
S822	21	18	1.35	-12	-0.10
S834	16	15	1.27	24	-0.10
NACA4412	10	15	1.64	24	-0.11
SG6040	14	18	1.45	-9	-0.10
SG6041	14	15	1.47	24	-0.12
SG6042	12	15	1.64	24	-0.14
SG6043	10	15	1.65	0	-0.18
E387	10	12	1.37	24	-0.15
SD7034	12	15	1.62	24	-0.13
KA1	22	12	1.07	24	-0.05
KA2	14	15	1.65	24	-0.11

$$t(r)_{Betz} = \frac{16\pi R}{9zC_L} \frac{l}{\lambda_R \sqrt{\lambda_R^2 \left(\frac{r}{R}\right)^2 + \frac{4}{9}}} \quad [m] \quad (1)$$

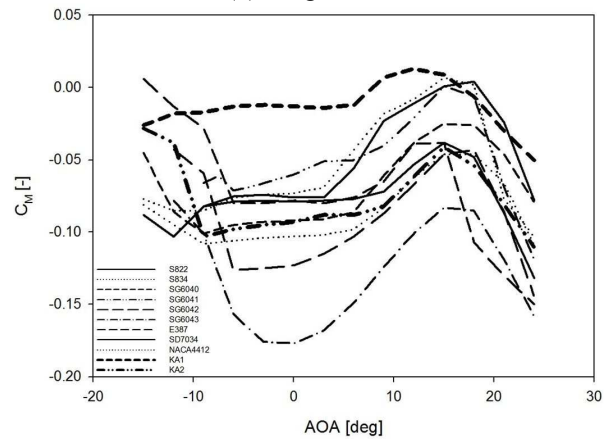
$$t(r)_{Schmitz} = \frac{1}{z} \frac{16\pi r}{C_L} \sin^2\left(\frac{l}{3}\phi_l\right) \quad [m] \quad (2)$$



(a) Lift coefficient



(b) Drag coefficient



(c) Pitch moment coefficient

Fig. 2 Several key characteristics of airfoils depending on the change of angle of attack ^(2~7)

Table 3 Wind turbine specification

Item	Condition
$P[kW]$	10
$V_1[m/s]$	10
$R[m]$	3.5
rpm	120
$\omega[rad/s]$	12.6
$z[EA]$	3
$\lambda_R[-]$	4.4
R_{Hub}	0.15

본 연구에서 검토중인 풍력발전기의 정격 설계 사양 및 적용환경은 Table 3 과 같으며, 익형 데이터 들이 적용된 날개의 코드길이는 Fig. 3 과 같다.

Betz limitation 이 적용된 코드길이는 루트에서 최대 코드길이를 가진 후 끝단 방향으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보이며(Fig. 3(a) 참조), Schmitz' theory 를 적용한 코드길이는 루트에서 끝단 방향으로 증가하다 17% 지점의 길이에서 최대값을 가진 후 점차 감소하는 경향을 보인다(Fig. 3(b) 참조).

블레이드의 루트 부분은 공력특성에 미치는 영향이 적고, 구조적 영향이 큰 특성을 갖는다. 본 연구에서는 허브와 블레이드 연결의 수월성을 고려하여 Schmitz' theory 를 기반으로한 코드를 계산에 적용하였다.

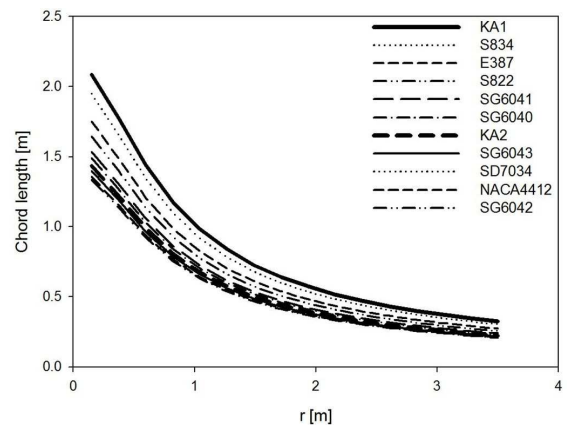
블레이드 끝단 부분의 코드길이를 기준으로 계산되는 익형별 Reynolds 수는 정격풍속 10m/s 를 기준으로 Table 4 와 같다. 코드길이가 최대값인 KA1 이 가장 큰 Re 수를 갖고, 코드길이가 최소값인 SG6042 가 가장 작은 Re 수를 갖는다.

회전하는 날개는 풍속과 함께 날개의 회전속도가 더해진 상대 풍속을 실제 풍속으로 느끼게 되며 이를 기준으로 어려가지 힘이 발생하게 된다. 날개 주변의 풍속과 이들이 이루는 각도는 Fig. 4 에 나타낸 바와 같다.

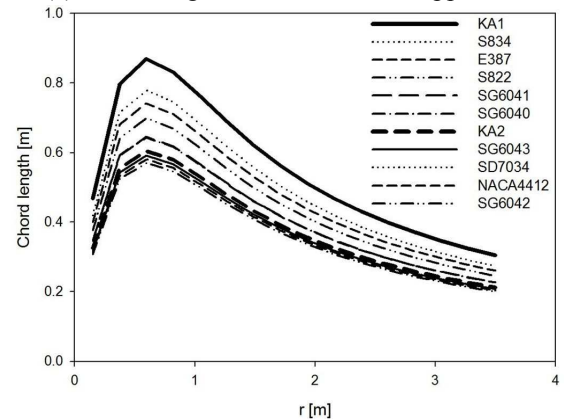
회전날개 끝에서 풍속에 대한 회전속도의 크기를 식 (3)과 같이 끝단 속도비로 나타내며, 날개에 입사되는 상대 풍속이 날개의 회전면과의 이루는 각도는 식 (4)와 같이 끝단속도비의 함수로 표현된다. 그리고 바람에너지의 회전에너지 변환 때문에 변화되는 풍속에 대해 Betz limitation 을 적용하면 날개 선상에서의 풍속과 회전면과 이루는 각도를 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

Table 4 Reynolds numbers of the blade tip having different airfoils

Airfoil	Betz chord	Schmitz chord
S822	786,667	735,518
S834	931,539	839,766
NACA4412	649,468	626,141
SG6040	712,389	693,973
SG6041	733,568	696,122
SG6042	639,340	615,092
SG6043	667,884	637,498
E387	837,004	800,172
SD7034	669,419	637,498
KA1	997,529	936,757
KA2	685,686	652,231



(a) Chord length of Betz limitation approach



(b) Chord length of Schmitz' theory approach

Fig. 3 Chord length based on Betz' limitation and Schmitz' theory approach

$$\lambda_R = \frac{R\omega}{V_1} \quad [-] \quad (3)$$

$$\phi_l = \tan^{-1} \left(\frac{R}{\lambda_R r} \right) \quad [\text{deg}] \quad (4)$$

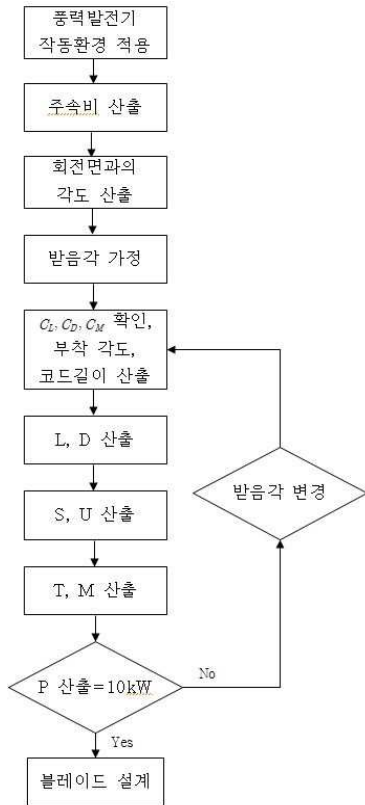


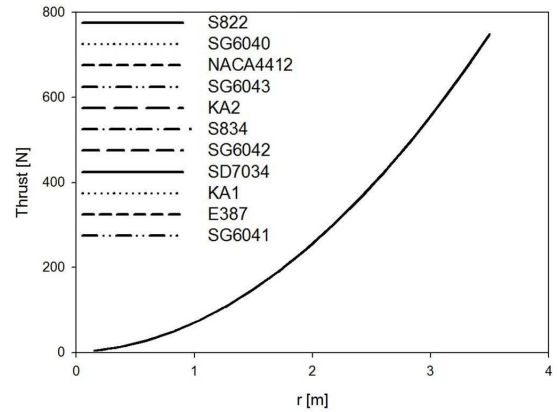
Fig. 8 Force calculate process

피치모멘트는 익형 단면에 수직인 축 성분의 모멘트로 보통 작용점이 중요한데 통상 아주 얇은 익형의 이론 공력 중심인 시위선상 앞전으로부터 $t/4$ 인 거리에 있는 곳에 작용한다고 본다.

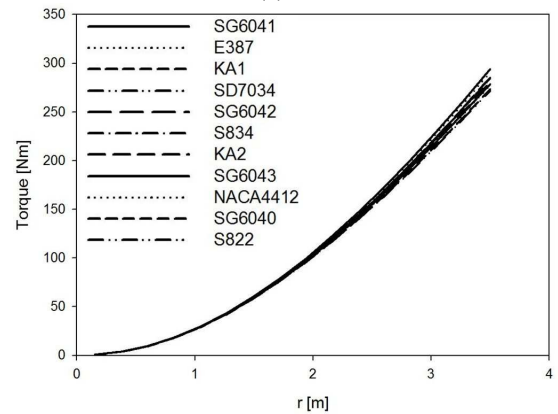
위와 같은 계산 방법은 블레이드의 밑단부터 끝단까지 여러 개의 요소로 분리된 구간에 차례로 적용되며 각 구간의 계산 값을 합산하여 블레이드 전체의 값을 산출하게 된다. Fig. 8 과 같이 블레이드의 목표 출력에 도달되도록 설계 받음각을 시행착오법으로 결정하고 결정된 설계 점에서 각각의 힘들을 최종적으로 결정하게 된다.

4. 공력계산 결과

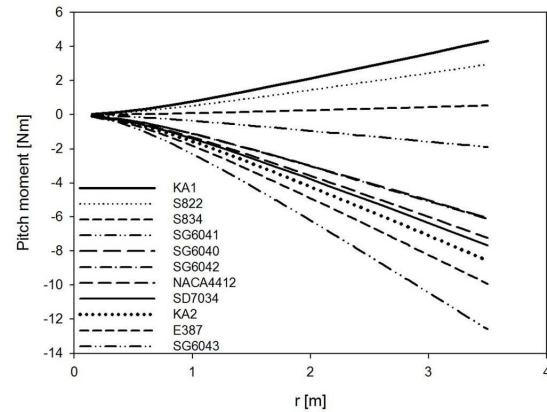
서로 다른 익형 11 개로 설계된 블레이드에 대해 길이방향의 총 16 개의 분할 요소에서 계산된 양력, 항력, 추력, 토크, 피치모멘트, 출력 등의 계산결과를 날개의 길이방향으로 적산하여 Fig. 9 에 나타내었고, 각 해석 구간에서의 자세한 사항 값들은 Appendix 에 표로 정리하였다. 그리고 서로 다른 11 개의 익형에 적용된 정격 설계 점의 블레이드 받음각, 양력, 항력, 추력, 토크, 그리고 피치모멘트 등의 계산결과를 Table 5 에 요약하였으며, pitch moment 는 Fig. 10 에 서로 비교하여 나타내었다.



(a) Thrust



(b) Torque



(c) Pitch moment

Fig. 9 Thrust, torque, and pitch moment along blade length

해석결과, 추력은 모든 익형에서 유사한 것으로 나타난다(Fig. 9(a) 참조). 이는 추력 계산 식 (10)에서 사용되는 양력이 식 (2)와 식 (7)의 조합으로 표현되면서 각 익형의 양력계수와 무관하게 되고, 익형에 따라 서로 다른 값을 보이는 항력에 $\sin\phi_2$ 가 적용되어 그 영향이 나타나지 않기 때문이다. 즉, 추력은 모든 익형에 따라 크게 다르지 않고, 풍속과 회전수 그리고 날개 수에 따라 결정되게 된다.

Table 5 Calculation results in the design point

Wings	α_A	C_L	C_D	S	M	T	P
	[deg]	[-]	[-]	[N]	[N·m]	[N·m]	[kW]
S822	19	1.32	0.08	2309	8.9	815	10.2
S834	18	1.19	0.06	2245	1.6	852	10.7
NACA4412	18	1.59	0.09	2247	-21.7	832	10.5
SG6040	18	1.44	0.08	2248	-18.2	820	10.3
SG6041	17	1.43	0.07	2242	-5.7	882	11.1
SG6042	18	1.62	0.08	2245	-18.4	854	10.7
SG6043	17	1.56	0.09	2247	-37.8	837	10.5
E387	13	1.25	0.06	2243	-29.8	872	11.0
SD7034	17	1.56	0.08	2244	-23.0	857	10.8
KA1	13	1.06	0.05	2244	13.0	857	10.8
KA2	18	1.53	0.08	2245	-26.7	842	10.6

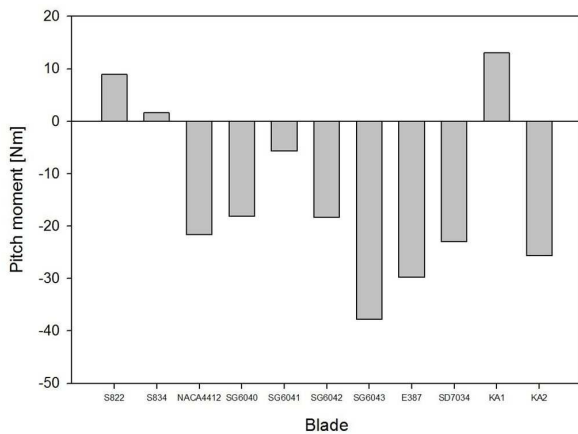


Fig. 10 Pitch moment of wind turbine blades with different airfoils

한편, 블레이드의 회전면에 작용되는 토크는 Fig. 9(b)에서 보는 바와 같이 루트 부분에서는 모든 익형이 유사한 경향을 나타내지만, 끝단으로 갈수록 상이한 결과를 나타낸다. 이것은 각 설계점에서 익형 별 양력계수와 항력계수의 차이 때문에 나타나는 현상이며, 토크 식 (11)에서 보는 바와 같이 양력에 $\sin\phi_2$ 가 적용되어 양력의 영향은 감소되고, 항력에 $\cos\phi_2$ 가 적용되어 날개 끝으로 갈수록 항력의 영향이 증가하기 때문에 나타나는 현상이다.

따라서 양력이 크고 항력이 작은 익형이 블레이드의 회전토크를 증가시키는데 적합하다는 것을 알 수 있다.

피치모멘트는, Fig. 9(c)와 같이, 블레이드의 루트 부분에서 0 에 가까운 값을 갖지만, 끝단으로 갈수록 피치모멘트의 절대값은 증가하는 것으로 나타

난다. 양의 값을 갖는 피치모멘트는 시계 방향으로 회전한다. 시계방향으로 회전하는 피치모멘트의 최대값을 갖는 익형은 KA1 으로 13.0 N·m 이며, 반시계 방향으로 회전하는 피치모멘트의 최대값을 갖는 익형은 SG6043 으로 37.8N·m 이다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 블레이드의 발생되는 양력, 항력, 추력, 토크, 피치모멘트의 산출방법 들을 제시하고, 블레이드를 길이방향으로 16 개 요소로 분할한 부분에 대해 제시한 산출방법을 적용하여 힘을 산출하였고 이들의 특성을 상호 비교하였다.

회전운동량의 변화에 근거하여 산출된 Schmitz 의 코드길이를 적용한 블레이드의 추력, 토크, 모멘트 등의 특성을 비교한 결과 추력은 익형과 관계없이 풍속과 끝단속도비에 따라 일정한 값을 갖는 것으로 밝혀졌으며, 토크는 루트 부분에서는 익형에 관련없이 유사한 값을 보이지만, 끝단으로 갈수록 각 익형 별 양력과 항력의 차이로 인한 영향이 커지는 것으로 확인되었다. 즉, 양력이 크고 항력이 작은 익형이 큰 토크를 만들어 내는 것으로 나타났다. 피치모멘트는 익형에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났으며 약 -37.8 ~ 13.0N·m 정도의 값을 갖는 것으로 계산되었다.

본 연구에서 계산된 힘들은 날개 밑단부터 끝단까지 다른 손실의 고려 없이 Betz limitation 만을 적용한 결과이기 때문에 설계 점에 발생할 수 있는 최대 힘을 나타낸다고 볼 수 있으며, 블레이드 구조 설계에 유용한 근거로 활용될 수 있을 것이다. 특히, 본 연구에서 검토된 pitch moment 는 수동형 피치제어 모듈 설계의 작용력을 결정하는 기본 자료로 활용될 수 있을 것이다.

향후, 본 연구의 결과는 실험설계에 활용될 것이며, 16%이상의 강한 난류와 극심한 풍속 변화특성을 보이는 현장 운전 조건에서 시간에 따라 변동하는 여러 가지 힘들의 동 특성을 분석하는 중요한 근거 자료가 될 것이다.

후 기

본 연구는 2012 년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 입니다(No.20123021020010), (No.2012T100100650).

참고문헌 (References)

(1) Munteanu, I., Bratcu, A. I., Cutululis, A. I. and

Ceanga, E., 2010, *Optimal Control of Wind Energy Systems*, Springer, London, pp. 72~80.

(2) Kang, D. H., Woo, Y. J. and Lee, J. H., 2012, “A Study on the Development for the Airfoil of Wind Turbine Blade Using Digital Wind Tunnel,” *Korean Society for Fluid Machinery*, Vol. 15, No. 5, pp. 42~47.

(3) Woo, Y. J., Son, J. W. and Lee, J. H., 2013, “Study on Aerodynamic Characteristics of the Original Airfoil, KA2. For the Application of Wind Turbine Blade,” *The 2013 Spring Conference of Korea Wind Energy Association*, p. 139.

(4) Lyon, C. A., Broeren, A. P., Giguère, P., Gopalathnam, A. and Selig, M.S., 1998, *Summary of Low-Speed Airfoil Data, V3*, SoarTech, Virginia, pp. 361~411.

(5) Selig, M.S. and McGranahan, B.D., 2004, *Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Airfoils for Use on Small Wind Turbines, V4*, SoarTech, Virginia, pp. 109~133.

(6) Williamson, G.A., McGranahan, B.D, Broughton, B.A., Deters, R.W., Brandt, J.B. and Selig, M.S., 2012, *Summary of Low-Speed Airfoil Data, V5*, SoarTech, Virginia, pp. 297~344.

(7) Airfoil Tools, <http://airfoiltools.com/>, accessed on 2013.04.10.

(8) Gasch, R., and Tvele, J., 2005, *Windkraftanlagen Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, Teubner, Germany, pp. 179~213.

(9) Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D. and Bossanyi, E., 2011, *Wind Energy Handbook Second Edition*, WILEY, Croydon, pp.57~66.

부록

Table 6 Lift, drag, thrust, pitch moment and torque characteristics along the blade length

Airfoil	r [m]	0.15	0.37	0.60	0.82	1.04	1.27	1.49	1.71	1.94	2.16	2.38	2.61	2.83	3.05	3.28	3.50	Total
S822	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.33	0.72	1.06	1.38	1.70	2.03	2.35	2.68	3.00	3.33	3.66	3.99	4.33	4.66	4.99	5.32	45.5
	dS [N]	3.68	9.42	15.24	21.05	26.83	32.60	38.35	44.08	49.81	55.52	61.24	66.95	72.65	78.36	84.06	89.76	749.6
	dT [Nm]	0.65	2.94	5.69	8.43	11.03	13.44	15.68	17.74	19.62	21.34	22.90	24.30	25.53	26.61	27.54	28.31	271.7
	dM [Nm]	0.02	0.08	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23
S834	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.30	0.64	0.94	1.22	1.50	1.78	2.07	2.36	2.65	2.94	3.23	3.52	3.81	4.10	4.40	4.69	40.1
	dS [N]	3.65	9.36	15.16	20.97	26.75	32.51	38.26	43.99	49.71	55.43	61.14	66.85	72.56	78.26	83.96	89.66	748.2
	dT [Nm]	0.65	2.96	5.75	8.55	11.22	13.73	16.07	18.26	20.29	22.18	23.91	25.51	26.97	28.28	29.46	30.50	284.3
	dM [Nm]	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
NACA4412	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.32	0.69	1.01	1.31	1.62	1.92	2.23	2.54	2.85	3.16	3.47	3.79	4.10	4.42	4.73	5.05	43.2
	dS [N]	3.67	9.40	15.21	21.01	26.80	32.56	38.31	44.04	49.77	55.48	61.20	66.91	72.61	78.31	84.02	89.72	749.0
	dT [Nm]	0.65	2.95	5.71	8.48	11.11	13.56	15.85	17.96	19.91	21.70	23.34	24.82	26.15	27.33	28.37	29.25	277.2
	dM [Nm]	-0.05	-0.20	-0.31	-0.39	-0.44	-0.48	-0.50	-0.51	-0.52	-0.53	-0.54	-0.54	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55
SG6040	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.33	0.71	1.05	1.36	1.68	1.99	2.31	2.63	2.96	3.28	3.60	3.93	4.26	4.59	4.91	5.24	44.8
	dS [N]	3.68	9.41	15.23	21.04	26.82	32.59	38.33	44.07	49.79	55.51	61.23	66.93	72.64	78.34	84.04	89.74	749.4
	dT [Nm]	0.65	2.94	5.70	8.45	11.05	13.48	15.73	17.80	19.71	21.45	23.03	24.46	25.72	26.83	27.79	28.60	273.4
	dM [Nm]	-0.04	-0.17	-0.26	-0.33	-0.37	-0.40	-0.42	-0.43	-0.44	-0.45	-0.45	-0.45	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46
SG6041	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.26	0.57	0.84	1.09	1.34	1.60	1.85	2.11	2.37	2.63	2.89	3.15	3.41	3.67	3.93	4.20	35.9
	dS [N]	3.63	9.32	15.11	20.90	26.68	32.44	38.19	43.92	49.64	55.36	61.07	66.78	72.49	78.19	83.89	89.59	747.2
	dT [Nm]	0.65	2.98	5.80	8.64	11.37	13.95	16.38	18.67	20.82	22.83	24.71	26.46	28.09	29.59	30.96	32.22	294.1
	dM [Nm]	-0.01	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-1.9
SG6042	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.29	0.64	0.93	1.22	1.50	1.78	2.06	2.35	2.64	2.93	3.22	3.51	3.80	4.09	4.39	4.68	40.0
	dS [N]	3.65	9.36	15.16	20.97	26.75	32.51	38.25	43.99	49.71	55.43	61.14	66.85	72.56	78.26	83.96	89.66	748.2

	dT [Nm]	0.65	2.96	5.75	8.55	11.22	13.73	16.08	18.27	20.30	22.19	23.93	25.53	26.99	28.31	29.49	30.54	284.5
	dM [Nm]	-0.05	-0.17	-0.27	-0.33	-0.38	-0.40	-0.42	-0.43	-0.44	-0.45	-0.46	-0.46	-0.46	-0.47	-0.47	-0.47	-6.1
SG6043	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
	dD [N]	0.31	0.68	0.99	1.29	1.59	1.89	2.19	2.49	2.80	3.11	3.42	3.72	4.03	4.34	4.65	4.96	42.5
	dS [N]	3.66	9.39	15.20	21.00	26.79	32.55	38.29	44.03	49.75	55.47	61.18	66.89	72.60	78.30	84.00	89.70	748.8
	dT [Nm]	0.65	2.95	5.72	8.50	11.13	13.60	15.90	18.03	20.00	21.82	23.48	24.99	26.35	27.56	28.63	29.55	278.9
	dM [Nm]	-0.09	-0.34	-0.55	-0.68	-0.77	-0.83	-0.87	-0.89	-0.91	-0.93	-0.94	-0.95	-0.95	-0.96	-0.96	-0.97	-12.6
	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
E387	dD [N]	0.27	0.59	0.87	1.13	1.40	1.66	1.92	2.19	2.46	2.73	3.00	3.27	3.54	3.82	4.09	4.36	37.3
	dS [N]	3.63	9.33	15.13	20.93	26.70	32.46	38.21	43.94	49.67	55.38	61.10	66.80	72.51	78.21	83.91	89.61	747.5
	dT [Nm]	0.65	2.97	5.78	8.61	11.32	13.87	16.28	18.53	20.64	22.61	24.44	26.14	27.71	29.15	30.46	31.64	290.8
	dM [Nm]	-0.07	-0.27	-0.43	-0.54	-0.61	-0.65	-0.68	-0.70	-0.72	-0.73	-0.74	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-9.9
	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
SD7034	dD [N]	0.29	0.63	0.92	1.20	1.48	1.76	2.04	2.33	2.61	2.90	3.18	3.47	3.76	4.05	4.34	4.63	39.6
	dS [N]	3.65	9.36	15.16	20.96	26.74	32.50	38.25	43.98	49.71	55.42	61.14	66.84	72.55	78.25	83.95	89.65	748.1
	dT [Nm]	0.65	2.96	5.76	8.56	11.24	13.75	16.11	18.31	20.36	22.26	24.01	25.63	27.10	28.44	29.64	30.71	285.5
	dM [Nm]	-0.06	-0.21	-0.33	-0.42	-0.47	-0.50	-0.53	-0.54	-0.56	-0.56	-0.57	-0.58	-0.58	-0.58	-0.59	-0.59	-7.7
	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
KA1	dD [N]	0.29	0.63	0.92	1.20	1.48	1.76	2.04	2.32	2.60	2.89	3.17	3.46	3.75	4.04	4.33	4.62	39.5
	dS [N]	3.65	9.35	15.16	20.96	26.74	32.50	38.25	43.98	49.70	55.42	61.13	66.84	72.55	78.25	83.95	89.65	748.1
	dT [Nm]	0.65	2.96	5.76	8.56	11.24	13.76	16.12	18.32	20.37	22.28	24.04	25.66	27.14	28.48	29.69	30.76	285.8
	dM [Nm]	0.03	0.12	0.19	0.24	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	4.3
	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6
KA2	dD [N]	0.31	0.66	0.97	1.26	1.56	1.85	2.15	2.45	2.74	3.05	3.35	3.65	3.95	4.26	4.56	4.87	41.6
	dS [N]	3.66	9.38	15.19	20.99	26.77	32.53	38.28	44.01	49.74	55.46	61.17	66.88	72.58	78.29	83.99	89.69	748.6
	dT [Nm]	0.65	2.95	5.73	8.52	11.16	13.65	15.96	18.11	20.11	21.95	23.63	25.17	26.57	27.82	28.93	29.89	280.8
	dM [Nm]	-0.06	-0.23	-0.37	-0.47	-0.52	-0.56	-0.59	-0.61	-0.62	-0.63	-0.64	-0.64	-0.65	-0.65	-0.65	-0.66	-8.6
	dL [N]	5.66	12.25	17.94	23.38	28.79	34.22	39.69	45.20	50.74	56.30	61.88	67.47	73.08	78.70	84.33	89.96	769.6