

인간동력비행기 Propeller의 날개 단면 선정을 위한 EDISON-CFD 분석

The EDISON-CFD Analysis for propeller blade section of Human Powered Aircraft

우희찬^{1*}, 문상일¹, 이충렬¹
충남대학교 항공우주공학과¹

초 록

본 논문은 HPA(Human Powered Aircraft) 제작 계획서를 작성하기 위해 프로펠러에 사용하는 에어포일을 작년에 접하게 된 EDISON-CFD 분석을 이용하여 기존에 X-foil로 얻어진 날개 익형에 대한 양력계수와 항력계수, 양항비와 비교하였다.

프로펠러 허브로부터 거리에 따른 단면에 해당하는 레이놀즈 수, 마하수, 받음각, 시위길이를 고려하여 에어포일을 분석해 보았다. 그 결과를 통해 프로펠러 에어포일을 선정하는데 많은 도움이 되었다.

EDISON-CFD 분석에 대해 좀 더 공부하는 계기가 되어 우리 팀이 앞으로 졸업논문을 쓰는데 많은 도움이 될 것이다.

Key Words : Human Powered Aircraft(HPA, 인력비행기), X-foil, XFLR, EDISON-CFD^[1](첨단 사이언스 교육허브)

1. 서 론

올해 처음 열리는 인력항공기 경연대회를 준비하면서 프로펠러 단면별 익형에 대한 공력 분석을 하게 되었다. 많이 쓰는 x-foil, XFLR 이용하여 분석을 하던 중 우리나라에서 개발된 EDISON-CFD 라는 프로그램을 사용해 보기로 결정 하였다.

이 프로그램은 기존의 해외에서 개발된 프로그램들과는 달리 우리나라에서 만든 프로그램으로 웹상에서 작업을 할 수 있고 작업한 것을 저장할 수 있다는 것이 큰 장점이다. 따라서 인터넷이 잘 구축되어 있는 우리나라에서는 언제 어디서든지 컴퓨터와 인터넷을 할 수 있는 조건만 충족시키면 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 기존의 프로그램들과는 달리 mesh 라는 공간상의 격자를 분석자가 직접 생성하여 분석을 하기 때문에 정확한 분석이 필요한 곳과 비교적 정확하지 않아도 되는 부분을 정하여 설정해 줌으로써 좀 더 정확한 분석을 해볼 수 있다.

인간동력항공기의 프로펠러 에어포일은 낮은 레이놀즈 수 영역에서 큰 양항비 값을 가져야 하므로 낮은 레이놀즈 수 영역을 조건으로 프로펠러 피치각과 위치에 따른 단면별 분석을 EDISON-CFD와 X-foil을 이용하여 비교하면서 그 경향성과 결과를 분석하여 최종 에어포일을 선정하겠다.

2. 프로펠러 에어포일 공력 비교

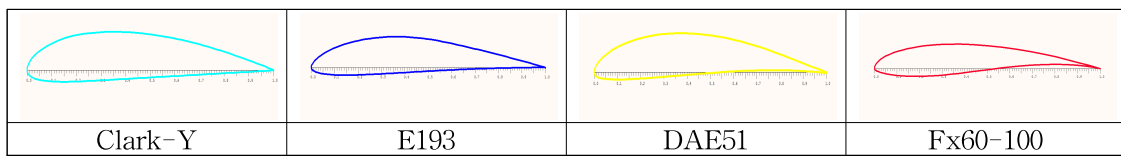
2.1 과거 인간동력항공기에 사용되었던 프로펠러 단면 익형

Table 1. 과거 인력항공기 프로펠러 에어포일^[2]

HPA	prop airfoil	Maximum Thickness
daedalul88	DAE51	9.4% at 30% chord
velair89	wortmann FX 60-100	10% at 27.9% chord
velair87		
Monarch	E193	10% at 31.5% chord
-	Clark Y	11.7% at 30.5% chord

4종류 모두 저 레이놀즈 수 영역에서 사용하도록 설계된 프로펠러 에어포일이며, 대략 평균 30% chord에서 10%의 Maximum Thickness를 갖는 것을 볼 수 있다.

Table 2. 프로펠러 단면 익형



2.2 prop desiner를 통한 가상 프로펠러 설계

Table 3. 프로펠러 위치별 합성속도, helix angle 에 따른 받음각, 레이놀즈 수^[3]

r/R	Radius (m)	Chord (m)	피치각 (°)	선속도 (m/s)	helix angle ¹⁾ (°)	합성속도 (m/s)	Mach	앞전 받음각(°)	Re
0.093	0.14	0.047	71.3	2.953	67.1	7.6	0.0223	4.2	24,450
0.141	0.212	0.095	61.5	4.471	57.4	8.3	0.0244	4.1	54,032
0.189	0.283	0.143	53.9	5.969	49.5	9.2	0.0271	4.4	90,076
0.237	0.355	0.18	47.6	7.487	43.1	10.2	0.0301	4.5	126,331
0.285	0.427	0.206	42.5	9.006	37.9	11.4	0.0335	4.6	160,892
0.333	0.499	0.22	38.3	10.524	33.6	12.6	0.0372	4.7	190,406
0.381	0.571	0.226	34.7	12.043	30.2	13.9	0.0410	4.5	215,558
0.428	0.642	0.225	31.8	13.540	27.3	15.2	0.0450	4.5	234,837
0.476	0.714	0.22	29.3	15.059	24.9	16.6	0.0489	4.4	250,159
0.524	0.786	0.211	27.2	16.577	22.9	18.0	0.0529	4.3	259,985
0.572	0.858	0.2	25.3	18.096	21.1	19.4	0.0571	4.2	265,712
0.62	0.93	0.188	23.7	19.614	19.6	20.8	0.0613	4.1	268,094
0.667	1.001	0.175	22.3	21.112	18.3	22.2	0.0654	4.0	266,523
0.715	1.073	0.16	21.1	22.630	17.2	23.7	0.0697	3.9	259,523
0.763	1.145	0.145	20	24.149	16.2	25.1	0.0740	3.8	249,636
0.811	1.217	0.128	19	25.667	15.3	26.6	0.0782	3.7	233,181
0.859	1.289	0.11	18.1	27.186	14.4	28.1	0.0826	3.7	211,446
0.907	1.36	0.089	17.4	28.683	13.7	29.5	0.0868	3.7	179,931
0.955	1.432	0.062	16.7	30.202	13.0	31.0	0.0912	3.7	131,617

위 표는 Diameter : 3m, RPM : 201.4로 설정 하였을 때 프로펠러정보에 대한 표이다. 유입속도를 7m/s, 방향을 프로펠러에 수직인 방향으로 가정하였을 때 RPM을 통해 20개의 각 위치별 선속도를 구

1) helix angle : 프로펠러 회전면이 받는 상대풍의 각

할 수 있으며, 유입속도와 선속도의 벡터합을 통해 프로펠러 에어포일의 앞전에서의 속도를 구할 수 있다. 또한 방향이 결정되므로 앞전에서의 받음각을 알 수 있고, 앞전에서의 레이놀즈 수를 알 수 있다. 위 자료를 정리해 보면 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

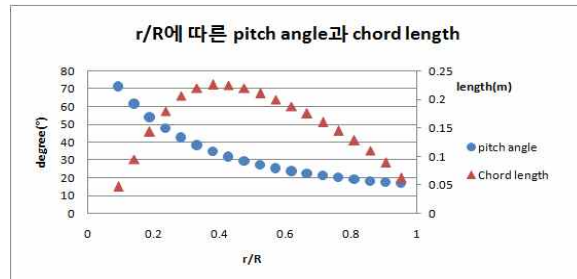


Fig 1. r/R에 따른 프로펠러 피치각과 코드길이 분포

2.3 EDISON-CFD 분석

2.3.1 eMega를 이용한 Mesh grid 형성

eAirs는 naca 시리즈의 데이터만을 가지고 있기 때문에 다른 에어포일을 분석하기 위해서 외부에서 mesh정보를 입력해 주어야 한다. 따라서 충남대학교에서 개발한 eMega에서 mesh를 작성하였고 그 정보를 eAirs에 업로드 하여 사용하였다.

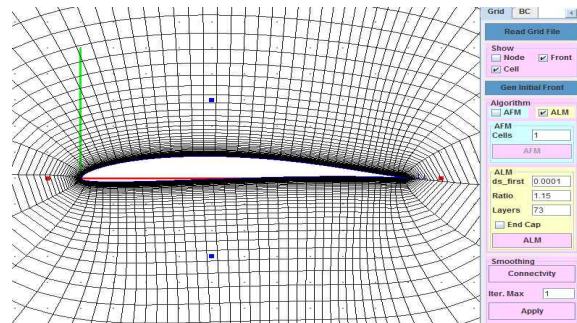


Fig 2. Mesh grid 작성 조건 및 형태

2.3.2 EDISON-CFD와 X-foil을 이용한 Fx60-100 공력 비교(Compressible, Laminar)

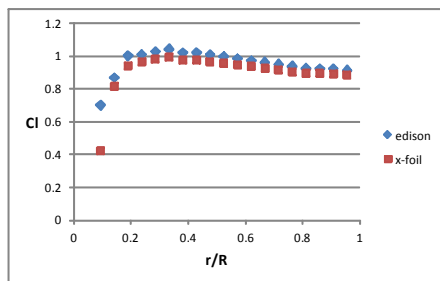


Fig 3. r/R에 따른 Cl 분포

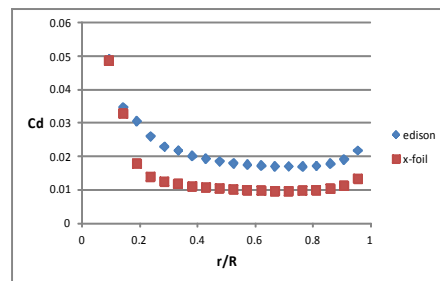


Fig 4. r/R에 따른 Cd 분포

EDISON-CFD와 X-foil을 이용하여 Fx60-100에어포일의 Cl값을 r/R별로 계산하여 그래프를 그렸다. 그 결과 비슷한 경향성을 보이기 때문에 EDISON-CFD로 분석한 결과가 어느정도 신뢰도를 갖는다고

할 수 있다. 따라서 EDISON-CFD를 통해 2.1장에서 소개한 에어포일을 분석해 보았다.

2.3.3 EDISON-CFD를 이용한 프로펠러 에어포일 공력분석(2D-compressible, Turbulent flow)

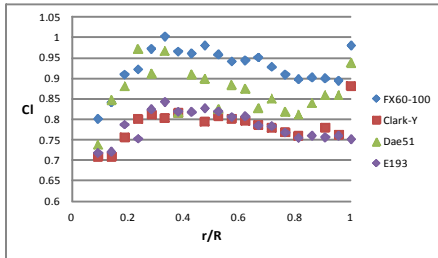


Fig 5. r/R에 따른 Cl 비교

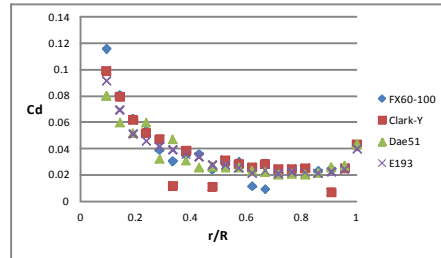


Fig 6. r/R에 따른 Cd

위 그림을 보면 Fx60-100 > Dae51 > e193 >= Clark Y 순으로 좋은 양력 특성을 나타냈으며 항력계수는 거의 비교할 수 없을 정도로 비슷한 경향과 값들을 보여주고 있다. 프로펠러 에어포일은 낮은 레이놀즈 수 영역에서 높은 양항비를 갖는 것이 중요하기 때문에 양항비 그래프를 그려서 에어포일 결정에 활용하겠다.

3. 결 론

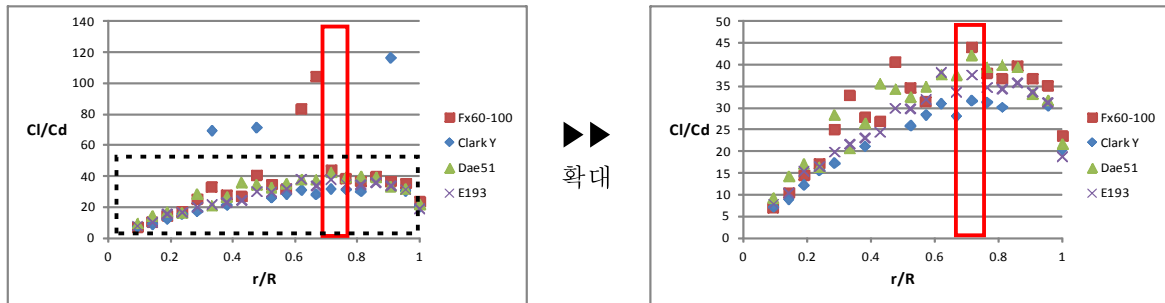


Fig 7. 프로펠러 r/R별 양항비 비교

중간에 주위의 값들과 다른 양상으로 튀는 것을 볼 수 있는데 이를 무시할 때 대체적으로 비슷한 경향을 보이며 값이 나타나는 것을 볼 수 있다. 양항비는 전체적으로 Fx60-100 > Dae51 > E193 > Clark Y 인 모습을 보였으며, 프로펠러 추력의 70%이상 차지하는 부분(루트에서 70%~75%부분)에서 확실히 드러났다. 이를 바탕으로 Fx60-100을 프로펠러 에어포일로 선정하여 제작해야겠으나 Fx60-100은 뒷전 부분이 너무 뾰족하기 때문에 정확한 설계가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 2번째인 Dae51을 프로펠러 에어포일로 선정하여 설계 및 제작하기로 결정하였다.

참고자료

- [1] <http://www.edison.re.kr/>(서비스팀)
- [2] http://library.propdesigner.co.uk/html/dae_51.html, http://library.propdesigner.co.uk/html/fx_60_100.html, http://library.propdesigner.co.uk/html/eppler_193.html
http://library.propdesigner.co.uk/html/clark_y.html
- [3] http://propdesigner.co.uk/html/prop_designer.html