

# 천이현상을 고려한 익형유동의 공력특성 비교 연구

## A Comparative Study Of Airfoil Flow Considering Transition Phenomenon

손미소<sup>1\*</sup>, 류동국<sup>1</sup>, 박수형<sup>1</sup>

건국대학교 항공우주정보시스템공학과<sup>1</sup>

### 초 록

본 연구에서는 아음속 저 레이놀즈 수에서 NACA0012에 나타난 층류 박리 거품과 천이유동에 대해 연구하였다. 천이유동조건과 완전난류유동 조건에 따른 EDISON 계산 결과 값과 실험값의 공력계수를 비교하였다. 또한, EDISON 계산 결과 값과 Xfoil을 이용하여 나온 결과 값의 천이점 비교를 통해 Xfoil의 천이 모델과 EDISON 천이 모델간의 차이를 비교하였다.

Key Words : 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics), 천이유동(Transition Flow), 익형(Airfoil)

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

항공기의 날개와 같은 유선형 물체는 박리가 크지 않은 경우에 항력의 대부분을 마찰항력이 차지하게 된다. 따라서 마찰항력의 예측이 전체 항력을 예측하는데 있어 무엇보다 중요한 요소라고 볼 수 있다. 특히,  $10^5 \sim 10^6$ 의 레이놀즈수의 영역에서 운용되는 항공기의 경우 물체 표면에서 천이현상이 일어나게 되고 이러한 현상은 표면마찰 계수에 직접적인 영향을 주어 전체 마찰항력 예측을 좌우하게 된다. 본 연구에서는 천이 현상을 동반하는 유동조건을 가진 익형을 해석하여 천이현상의 이해 및 천이현상에 따른 물리적 현상을 확인하고자 한다.

### 1.2 연구목표

본 연구에서는 EDISON 결과와 Xfoil 및 실험 결과를 비교하여 EDISON의 예측성을 알아보고 천이현상을 고려한 익형의 공력특성을 해석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 배경이론

천이유동(Transition Flow)은 유동이 층류(Laminar Flow)에서 난류(Turbulent Flow)로 변화하는 유동을 뜻한다. 천이유동은 층류유동 내부의 매우 작은 교란이 유동특성과 표면조건 등의 요인으로 급격히 증폭되어서 난류로 변화하는 현상이다. 이러한 천이유동의 모사를 위해서 Orr과 Sommerfeld은 평판에서 2차원 비압축성 경계층 유동에 대해 2차원 교란의 선형 안정성에 관한 상미분 방정식을 제안하였다. 하지만 앞선 방법은 계산 시간이 많이 걸리므로 Drela의 경우 근사(approximate)  $e^N$  방법을 제안하였고 이는 가장 큰 주파수의 교란을 직선의 식으로 근사화하여 천이점을 구한다<sup>(1)</sup>. 그러나  $e^N$ 의 경우 복잡한 형태의 물체나 3차원으로 확장 시킬 경우에 경계층의 정의가 어렵다는 한계점을 가진다. 본 연구에서는 경계층의 실험과 난류경계층에 대한 경험적 상관관계를 이용하여 모든 천이 현상을 국부변수(local variable)로 기술할 수 있는 방법으로서 Langtry and Menter에 의해 정식화된 천이모델을 적용하였다.<sup>(2,3)</sup> 천이유동의 해석에 있어 완전난류의 해석과 비교해 중요하게 다루어야 할 물리적 현상중의 하나가 층류 박리거품(Laminar Separation Bubble)이며 익형의 형태나 유동조건에 따라 다양하게 발생할 수 있다. 층류 박리거품은 유동이 층류에서 역압력구배(Adverse Pressure Gradient)로 인해 갇힌 유동이 발생하게 되면서 생성된다. 이러한 층류박리거품은 공력계수에 직접적인 영향을 줄 수 있으며 천이점의 위치에 영향을 미친다. 따라서 천이점과 더불어 층류박리거품의 거동을 살펴보는 것은 천이유동을 이해하는데 있어 중요한 요소라 볼 수 있다.

## 2.2 유동조건 및 계산조건

본 연구에서 유동조건은 전상언등<sup>(4,5)</sup>의 계산과 같으며 이때, 유동조건은 마하수 0.2, 레이놀즈수  $3.99 \times 10^6$ , 받음각은  $-4^\circ \sim 18^\circ$ 이다. 격자는 C-type이다. Fig. 1에 그려진 격자는 EDISON 프로그램에서 제공되었다. 천이점을 계산하기위해 EDISON에서  $\gamma - Re_\theta$  천이전달 모델을 사용하였고 Xfoil에서  $e^N$  방법을 사용한다.

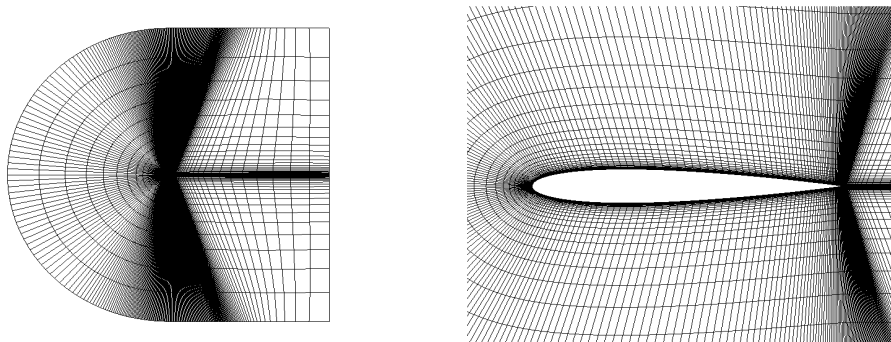


Fig. 1. EDISON에서 제공한 C-type으로 그려진 NACA0012 익형형상에 대한 격자.

## 2.3 결과

### 2.2.1 공력계수 결과 비교

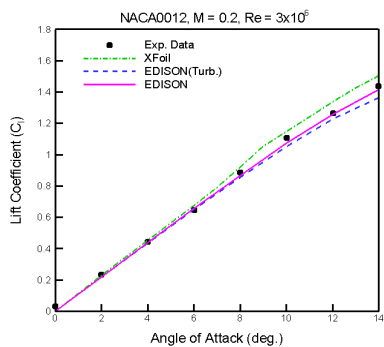


Fig. 2. 받음각에 따른 양력계수

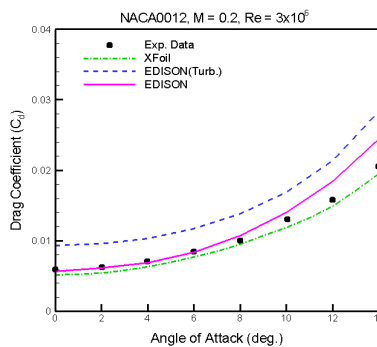


Fig. 3. 받음각에 따른 항력계수

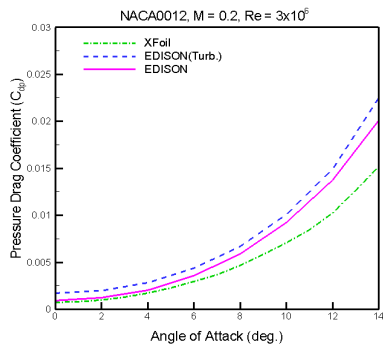


Fig. 4. 받음각에 따른 압력항력계수

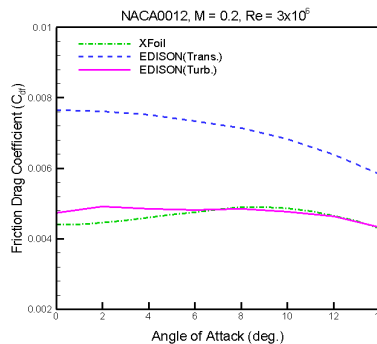


Fig. 5. 받음각에 따른 마찰항력계수

Fig. 2는 받음각에 따른 양력 계수 값을 나타낸 그림으로써 전체받음각에 따라 EDISON결과 값이 Xfoil 결과 값 및 실험 결과 값들과 비슷한 경향성을 갖고 있다. EDISON을 이용한 완전 난류 유동과 천이유동조건에 대한 계산결과는 큰 차이가 나타나지 않는다. Fig. 3은 받음각에 따른 항력계수 값을 나타낸 그림이다. Xfoil 결과 값이 실험 결과 값의 경향을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 완전난류조건이 천이유동조건에 비해 전체적으로 높은 항력 값을 예측하였다. 아음속의 경우 항력은 압력항력과 마찰항력으로 구성되어 있기 때문에 이러한 원인은 Fig. 4와 Fig. 5에서 살펴 볼 수 있다. Fig. 4는 받음각에 따른 압력항력계수를 나타낸 그림이고 Fig. 5는 받음각에 따른 마찰항력계수를 나타낸다. 압력항력은 받음각이 증가하여도 완전난류조건과 천이유동조건에 차이가 일정한 것을 볼 수 있다. 천이유동조건에 대한 마찰항력 값은 받음각이 증가하여도 값의 변화가 작다. 받음각 10도 이전까지 항력은 완전난류조건이 천이유동조건보다 40~50% 높게 예측한다. 압력항력은 5~10%정도 일정한 차이가 나타남을 볼 수 있다. 마찰항력일 때 완전난류조건이 30~40% 높게 예측되는 것을 알 수 있다. 그러므로 전체 항력은 마찰항력에 큰 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 이러한 원인이 무엇인지 살펴보도록 한다.

### 2.2.2 천이점 해석

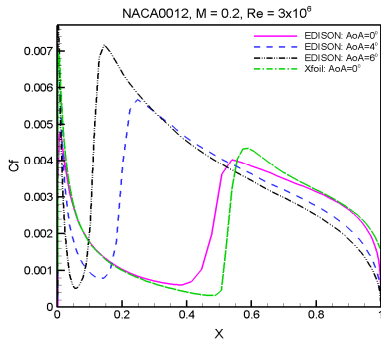


Fig. 6. 받음각에 따른 NACA0012의 마찰계수

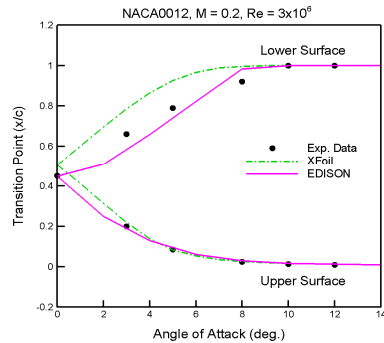


Fig. 7. 천이점

EDISON에서 천이를 예측하는 계산 방법은  $\gamma-Re_\theta$  방법을 사용하고 Xfoil의 경우  $e^N$  방법을 사용한다.  $\gamma-Re_\theta$  방법에서  $\gamma$ 는 층류와 난류를 구분해주는 역할을 하여  $\gamma$ 의 변화를 통해 천이점을 알 수 있게 한다.  $e^N$  방법은 천이점이 계산된다. 그러므로 천이점을 구분하는 방식이 다르므로 받음각에 따른 마찰계수의 그림을 통하여 마찰계수가 최소가 되는 지점을 천이점이라고 하였다. 그러므로 받음각에 따른 천이구간을 나타낸 Fig. 6에서 받음각 0도 일 때 EDISON의 마찰계수와 Xfoil의 마찰계수의 차이가 나타날 수 있다. 윗면의 경우 Fig. 5에서 받음각이 증가할수록 완전난류조건과 천이유동조건 계산 값의 차이가 작아진다. 그러므로 저 받음각에서는 항력이 마찰항력의 지배를 받지만 고 받음각에서는 압력항력의 지배를 받게 되는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 받음각에 따라 천이점을 나타낸 그림이다. Fig. 7을 통해 EDISON의 결과가 실험 및 Xfoil의 결과 값 비교적 일치하는 것을 볼 수 있다. 또한, 받음각이 증가할수록 날개 윗면의 경우 천이점이 익형의 앞전으로 이동하고 아랫면의 경우 익형의 뒷전으로 이동하는 모습을 확인할 수 있다.

### 2.2.3 층류박리거품해석

층류 박리 거품(Laminar separation bubble)이란 경계층의 층류영역에서 역 압력 구배로 인해 유동이 어떠한 영역에서 감히는 현상을 말하며 층류에서 잘 나타나는 현상이다. 일정한 받음각 이상에서 작은 크기지만 층류박리거품이 생성되고 소멸된다. Fig. 8과 Fig. 10에서는 받음각이 10도일 때 앞전과 뒷전에서 박리 거품이 나타난다. 작은 영역에 나타나는 버블은 공력계수에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 그러나 층류 익형(Laminar airfoil)의 경우에는 층류박리거품이 크게 발생할 경우 공력계수 예측에 영향을 줄 수 있다. Fig. 9으로 천이구간을 확인할 수 있다. 마찰항력계수가 천이구간에서 음수로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 부분에서는 박리 거품 생성의 결과로 천이 현상이 나타난다. 받음각이 증가할수록 박리 거품의 생성과 소멸이 발생하게 된다.

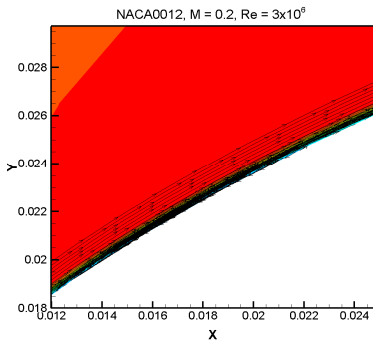


Fig. 8. 받음각 10도에서의 앞전 박리 거품

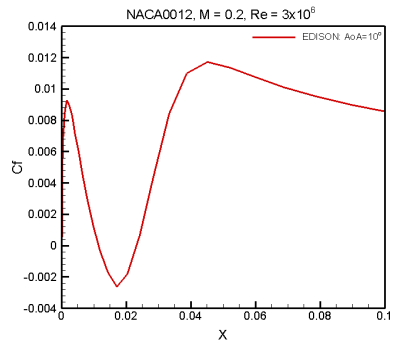


Fig. 9. 받음각 10도에서의 마찰항력계수

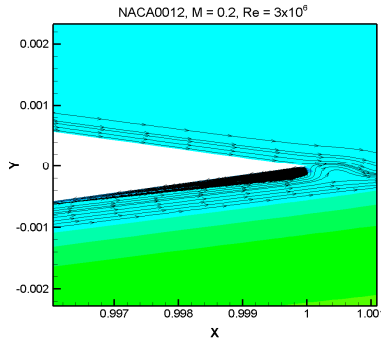


Fig. 10. 받음각 10도에서의 뒷전 박리 거품

### 3. 결론

본 연구에서는 공력계수, 박리거품 및 천이점을 EDISON으로 계산하여 실험값과 비슷한 결과를 예측하고 물리적 이론과 같음을 확인 할 수 있다. 저 받음각에서 항력이 마찰항력의 영향을 많이 받음을 알 수 있었고 고 받음각에서는 압력항력의 영향이 크기 때문에 완전난류와 천이유동간의 마찰항력 차이가 작아진다. 또한, 저 레이놀즈 수의 경우 유선형 형태 날개의 조건에서 층류박리거품의 생성이 천이현상을 빠르게 일어나도록 해준다. 그러므로 천이점의 예측을 통하여 천이현상은 항력을 촉진 시키는 원인이며 천이 난류 조건의 차이를 확인 할 수 있다.

### 후 기

본 연구는 EDISON 중앙 센터와 열유체 전문센터의 지원을 받아 수행되었고 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) Drela, M. and Giles, M.B., 1986, "Viscous-Inviscid Analysis of Transonic and Low Reynolds Number Airfoils," AIAA, Vol.25, No.10, pp.1347-1355.
- (2) Menter, F.R., Langtry, R.B. and Volker, S., 2006, "Transition Modeling for General Purpose CFD Codes," Flow Turbulence Combust. Vol.77, pp.277-303.
- (3) Langtry, R.B. and Menter, F.R., 2009, "Correlation-Based Transition Modeling for Unstructured Parallelized Computational Fluid Dynamics Codes," AIAA Journal. Vol. 47, No.12, pp.2894-2096.

- (4) Jeon, S. E., Park, S. H., Kim, S., Byun, Y. H., Jung, K. J., Kang, I., 2010, "NACA0012 천이 유동의 저속 공력 특성 해석," 한국전산유체공학회지, Vol. 15, No.3 pp.1~8.
- (5) 사정환, 전상언, 박수형., 2012, "아음속 익형의 항력 예측을 위한 천이모델 비교 연구," 한국항공우주학회논문집, pp.59~64.