Proceedings of
The 5th National Congress on Fluids Engineering
March 26-28. 2008, Jeju, Korea

유전알고리즘과 CFD기법을 이용한 터빈블레이드 경사각 최적화

이은석* · 정용현**

Leaning Angle Optimization of the Turbine Blade using the Genetic Algorithm and CFD method

Eun Seok Lee* and Yong Hyun Jeong**

Key Words : *Genetic Algorithm(유전알고리즘), Leaning Angle(경사각), Turbine Blade(터빈블레이드)*

Abstract

Abstract should be in English. The leaning angle optimization of turbine blade using the genetic algorithm was conducted in this paper. The calculation CFD technique was based upon the Diagonalized Alternating Directional Implicit scheme(DADI) with algebraic turbulencemodeling. The leaning angle of VKI turbine blade was represented using B-spline curve. The control points are the design variable. Genetic algorithm was taken into account as an optimization tool. The objective was to minimize the total pressure loss. The optimized final geometry shows the better aerodynamic performance compared with the initial turbine blade.

1. 서 론

본 연구에서는 터빈블레이드의 경사각(leaning angle)을 최적화시키는데 그 목적을 두었다. 터빈블레이드의 경사각은 터빈을 지나는 흐름방향에 직각인 유동장을 변화시켜 이른바 이차흐름(secondary flow)에 영향을 준다. 이러한 변화된 이차흐름 특성은 점성특성이 두드러진 벽면주위에서 큰 영향을 발휘하여 전체적인 터빈의 공력성능에 변화를 주게 된다. 터빈 경사각을 설계변수로 하고 터빈 입, 출구 사이에서의 전압력 손실 최소화를 목적함수로 설정하여 최적화를 수행하였다.

유체역학 특성영역(characteristic domain)은 본질적으로 비선형이어서 기울기 탐색 방법(gradient search method)-구배법, 뉴톤법 등-을 사용하면 국소적 최소값(local minimum)에서 탈출하기가 쉽지 않다. 기울기를 사용하지 않은 탐색 방법(non-gradient search method)-유전알고리즘, 단체법(simplex method)등-을 사용하면 국소적 최소값에서 탈출하기는 비교적 쉬우나 연산량이 상대적으로 증가하여 계산시간이 매우 커지는 단점이 있다. 과거에는 2차원 CFD기법과 기울기를 사용하지 않은 탐색 방법을 병행한 최적화가 대세이었지만 현대 병렬컴퓨터의 발달로 3차원 CFD를 이용한 CFD와 기울기를 사용하지 않은 탐색 방법을 병행한 연구도 증가하고 있는 추세이다.[1]

2. 계산방법

본 논문에서는 VKI 익형을 갖는 터빈블레이드 경사각을 스팬방향의 5개의 제어점을 갖는 B-Spline으로 곡선으로 변화시켜 형상화하였다. 유전알고리즘의 적용을 위해 5개의 제어점을 각각 6비트 binary string형태의 설계변수로 전환시키었다. 전체 인구수(population size)는 31개, 돌연변이 확률은 6%로 각각 설정하였다. 입출구의 유량이 같다는 것을 제한조건(constraints)으로 삼고 전압손실 최소화를 목적함수로 두었다. 제한조건을 벌칙(penalty)함수를 도입하여 목적함수에 포함시키었다. 병렬연산을 위해 32개의 node를 갖는 병렬컴퓨터를 사용하여 각각 인구에 해당하는 연산을 독립적으로 수행하였다. 각 node는 인텔 펜티엄 1.7 GHz CPU와 512 MB SDRAM을 장착하였다. 한 가지 3차원 경우의 계산에 약 3~4시간이 소요되었으며 약 600개의 CFD run이 하나의 최적화 계산에 투입되었다. 병렬컴퓨터 덕분으로 하나의 최적화 계산에 약 3일 소요되었다. 이는 단일 CPU 컴퓨터를 사용하는 경우, 석 달 이상이 소요되는 분량이다.

CFD 코드는 Steger[2]가 제안한 DADI(Diagonalized Alternating Direction Implicit) 기법을 사용하였으며 난류모델링으로는 Chien[4]에 제안한 k-e[3]에 Nichols[4]의 압축성 보정효과를 적용하였다.

2. 계산결과

초기 형상은 직선형의 스팬형상을 가진 터빈블레이드로 Figure 1과 2에 각각 마하수 및 속도벡터분포 계산결과를 나타내고 최적화된 형상의 계산결과는 곡선형의 스팬형상을 가진 블레이드로 Figure 3과 4에 마하수 및 속도벡터분포 계산결과를 각각 나타내었다. Figure 1에서는 중간 피치평면과 출구단면에서의 마하수 분포를 보여주고 있다. 출구단면의 짙은 파란색 부분이 마하수 0.1 이하의 아주 낮은 속도를 갖는 영역으로 흐름박리 영역에 해당된다. 이러한 흐름박리 영역은 익단(blade tip)보다는 익근(blade root)에서 주로 형성되고 전압력 손실의 원인을 제공한다. 이러한 흐름박리 현상은 Figure 2에서 보다 확연하게 볼 수 있다. 한편 Figure 3에서는 최적화된 블레이드의 마하수 분포를 볼 수 있으며 출구단면에서 짙은 파른색의 낮은 마하수 영역을 거의 찾아볼 수가 없다. 이는 곡선형의 스팬방향을 따라 원주방향의 속도성분이 가속되어 곡률에 따른 역방향 압력구배

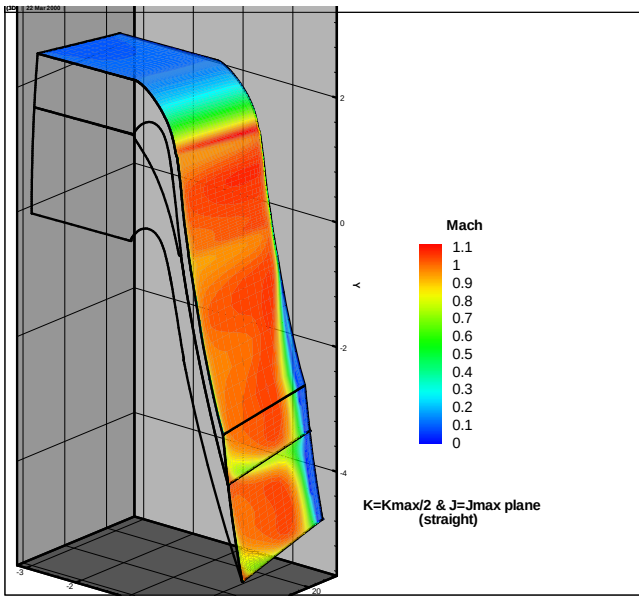

Figure 1 Mach contours at a half pitch and exit planes (***M***exit=1.0, straight, initial)

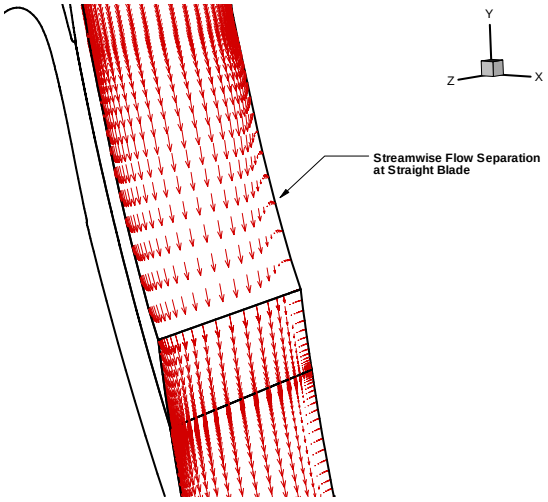

Figure 2 Velocity vector plot at a half pitch and exit planes (***M***exit=1.0, straight, initial)

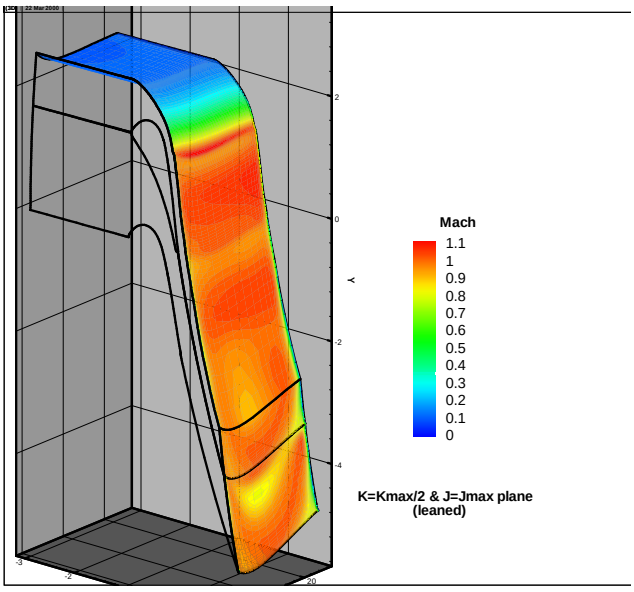

Figure 3 Mach contours at a half pitch and exit planes (***M***exit=1.0, leaned, optimized)

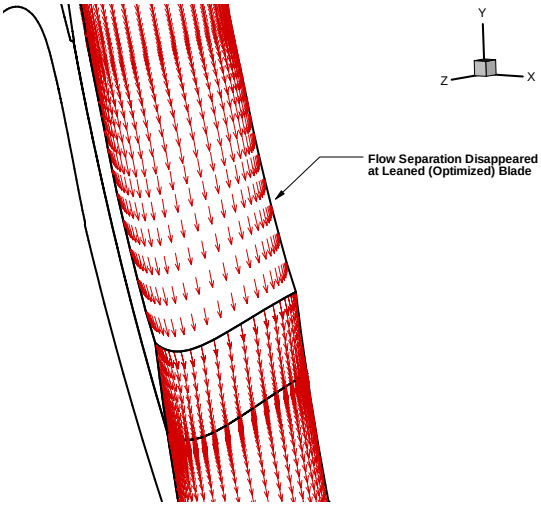

Figure 4 Velocity vector plot at a half pitch and exit planes (***M***exit=1.0, leaned, optimized)

의 영향을 상대적으로 덜 받기 때문이라 판단된다. 따라서 출구에서의 전압력 손실도 초기익형에 비해 약 3% 정도 감소된 것으로 계산되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 터빈블레이드의 경사각 최적화에 대한 연구를 수행하였다. 블레이드 경사각은 이차흐름 분포에 영향을 끼쳐 터빈 출구단면에서의 전압력 분포, 즉 터빈성능을 결정하는 요소가 된다. 최적화를 위해 터빈 스팬방향의 기하학적 형상을 5개의 제어점을 가진 B-spline으로 형상화하였고 유전알고리즘을 이용하여 출구 단면에서 전압력 손실을 최소화하는 최적화를 수행하였다. 또한 막대한 3차원 터빈 CFD 계산시간을 최소화하기 위해 병렬 CPU를 가진 컴퓨터를 이용하여 계산을 수행하였다. 계산결과 초기 익형에서 보인 출구단면 익근 부근에서의 흐름박리를 제거할 수 있었으며 전압력 손실을 초기 익형대비 약 3% 단축을 꾀할 수 있었다. 이러한 병렬 유전알고리즘과 3차원 터빈계산 최적화기법은 설계단계에서의 매우 유용함이 입증되었고 향후, 익형최적화, 가로세로비 최적화, 기울임각(sweep angle) 최적화, 입사각(incidence angle) 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Yamamoto, K. and Inoue, O.: Applications of Genetic Algorithm to Aerodynamic Shape Optimization, AIAA-95-1650-CP,1995

[2] Steger, J. L.,: Implicit Finite-Difference Simulation of Flow About Arbitrary Two-dimensional Geometries, AIAA Journal, Vol. 16, No. 7, pp. 679-686, July 1978.

[3] Chien, K.-Y.,: Prediction of Channel and Boundary-Layer Flows with a Low Reynolds Number Turbulence Model, AIAA Journal, Vol. 20, pp. 33-38, 1982

[4] Nichols, R. H. : Development and Validation of a Two-Equation Turbulence Model with Wall Function for Compressible Flow, AIAA-90-2385-CP, pp. 115-129, 1996