

최적화 방법에 따른 축류압축기의 효율평가

장춘만* · Abdus Samad** · 김광용***

Evaluation of Efficiency by Applying Different Optimization Method for Axial Compressor

Choon-Man, Jang*, Abdus, Samad** and Kwang-Yong, Kim***

Keywords : Axial Compressor(축류압축기), Blade Optimization(익형 최적화), Stacking Line(중첩선), Response Surface Method(반응면기법), Kriging Method(크리깅 방법), Radial Basis Function(레이디얼 베이스 함수)

Abstract

Shape optimization of a transonic axial compressor rotor operating at the design flow condition has been performed using three-dimensional Navier-Stokes analysis and three different surrogate models: i.e., Response Surface Method(RSM), Kriging Method, and Radial Basis Function(RBF). Three design variables of blade sweep, lean and skew are introduced to optimize the three-dimensional stacking line of the rotor blade. The object function of the shape optimization is selected as an adiabatic efficiency. Throughout the shape optimization of the rotor blade, the adiabatic efficiency is increased for the three different surrogate models. Detailed flow characteristics at the optimal blade shape obtained by different optimization method are drawn and discussed.

1. 서론

본 연구에서는 천음속 축류압축기 로터(NASA R 37)를 대상으로, 날개의 중첩선(stacking line)의 형상을 수치최적화 함으로써 압축기의 단열효율을 향상시키고자 시도하였다. 3차원 중첩선 형상은 날개의 스윕(sweep), 린(lean) 및 스큐(skew)를 이용하였다.

최근 들어 압축기의 날개 형상에 스윕, 린 및 스큐를 주어 효율향상 및 소음저감을 꾀하는 연구들이 시도되고 있다. 3차원 중첩선 형상을 결정하는 이러한 날개 형상변수는 충격손실(shock loss), 날개 허브와 팁 근방에서의 구석 박리(corner separation) 및 틈새손실(tip clearance loss)을 줄이는 것으로 알려져 있다.

저자들은 축류형 압축기의 익형최적화를 위하여 NASA R 37 익형에 대하여 반응면 기법(Response Surface Method)을 사용하여 익형 최적화를 수행하였다. [1]

본 연구에서는 천음속 축류 압축기 동익의 형상 최적화를 위하여 스윕-린-스큐로 구성된 삼차원 중첩선 및 단열효율을 각각 형상변수 및 목적함수로 선정하고, 반응면기법(RSM), 크리깅 기법(Kriging Method) 및 RBM기법을 이용한 최적화 기법을 적용하여 수행하였다. 또한, 수치최적화 연구를 통하여 얻어진 최적형상과 기존의 형상조건에서의 임펠러 내부 유동장 특성을 비교, 분석하였다.

2. 축류압축기

본 연구에서는 NASA rotor 37을 갖는 축류 압축기를 대상으로 날개의 형상최적화 연구를 수행하였다. 설계된 로터의 압력비는 설계유량 20.19 kg/s에서 2.106이며, 측정된 초킹 유량은 20.93 kg/s 이다. 팁 간극(tip clearance)은 0.0356 cm (0.45 percent span) 이다. 상세한 로터 사양은 기 발표논문[1]에 상세히 기술하였다.

Fig. 1은 NASA rotor 37의 자오면 형상을 나타낸다.

3. 익형 최적화 방법

본 연구에서는 축류압축기의 날개형상을 최적화하기 위하여 선정된 날개의 설계변수들이 목적함수에 미치는 영향을 수리 통계적인 방법으로 분석할 수 있는 세 종류의 최적화 기법을 도입하였다.

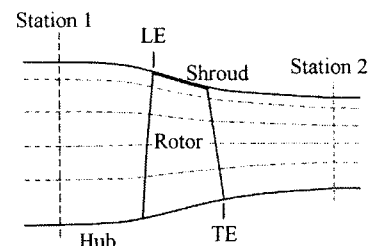


Fig.1 Meridional view of Rotor 37

* 한국건설기술연구원 화재 및 설비 연구부, jangcm@kict.re.kr

** 인하대학교 대학원 기계공학과, abdussamad77@inhaian.net

*** 인하대학교 기계공학과, kykim@inha.ac.kr

Table 1 Design space of blade sweep, lean, and skew

Variables	Lower Bound	Middle	Upper Bound
Sweep (α) %	0.0	12.6	25.2
Lean (β) %	-3.6	-1.8	0.0
Skew (γ) rad.	0.0	0.05	0.1

Table 2 Results of optimal values of design and variables and efficiency for different optimal methods

Models	sweep	lean	skew	Efficiency
RBF	0.4105	1.0000	0.6149	0.89924
RSM	0.4009	0.7476	0.6315	0.89851
KRG	0.4647	0.9707	0.6352	0.89823

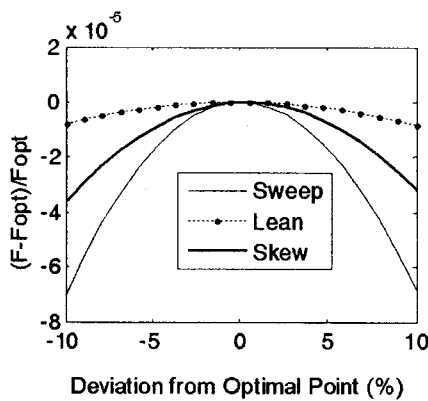


Fig. 2 Sensitivity analysis

먼저 전역적인 최적화(global optimization) 설계방법인 반응면 기법(response surface method), 국소적인 최적화 설계방법인 크리깅 방법(Kriging method), 그리고 Neural Network을 이용한 Radial Basis Function방법을 각각 도입하여 압축기 익형의 최적화를 수행하고, 그 결과를 비교, 검토하였다. 축류압축기의 형상최적화를 평가하기 위한 목적함수로 단열효율 (Adiabatic Efficiency)을 사용하였다.

수치최적설계의 설계변수인 3차원 중첩선(stacking line)을 정의하는 세 종류의 변수, 즉, 스윙, 린, 스큐를 이용하였으며, 상세한 설계변수의 정의 기 발표 논문[1]에 나타내었다. 최적 설계인자를 구하기 위한 설계값의 경계값은 예비계산을 통하여 결정하였으며, 각각의 설계변수에 대한 경계값은 Table 1에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

Table 2에서와 같이 스윙, 린, 스큐의 설계변수를 조합하여 수치해석에 의한 단열효율을 평가하고, 그 결과 데이터를 이용하여 3가지 최적설계방법(RBF, RSM, KRG)에 따른 각 설계변수의 최적점 및 효율을 Table 2에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이, 최적화 방법에 따라서 각 설계변수의 최적값은 다르

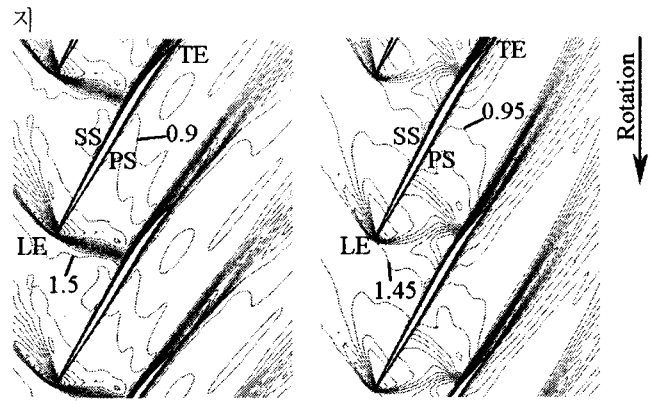


Fig. 3 Mach number contours on the plane of 90 percent span (interval of contour lines = 0.05) (RSM results)

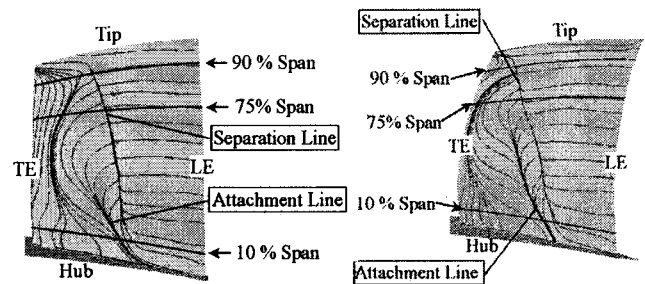


Fig. 4 Limiting streamlines on blade suction surface (RSM results)

만, 각 변수의 최적점을 조합하여 구한 단열효율은 세 경우 모두 유사함을 알 수 있다.

Fig. 2는 반응면기법을 이용하여 구한 각 변수에 대한 민감도를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이, 세 변수 중에 스윙이 가장 단열효율에 민감함을 알 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4는 반응면기법을 이용하여 최적점에서 익면상 및 익간에서의 유동특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 익형의 최적화를 통하여 날개 입구의 바우 충격파의 크기가 완화됨을 알 수 있었으며, 또한 충격파와 날개 부압면의 경계과의 간섭에 의해 발생하는 박리선의 위치도 하류측으로 이동함을 알 수 있었다.

5. 결론

천음속 축류 압축기 동익의 형상 최적화를 위하여 스윙-린-스큐로 구성된 삼차원 중첩선 및 단열효율을 각각 형상변수 및 목적함수로 선정하고, 반응면기법, 크리깅 기법 및 RBM기법을 이용한 최적화 기법을 적용하여 형상변수의 최적점 및 목적함수를 서로 비교, 분석하였다. 그 결과, 비록 3가지의 최적화 방식에서 구한, 설계변수의 최적값은 변동이 있으나, 최적 효율값은 세 경우 모두에서 유사함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] Jang, C.-M., Samad, A. and Kim, K.-Y., 2006, Optimal Design of Swept, Leaned and Skewed Blades in a Transonic Axial Compressor, ASME Turbo Expo., GT2006-90384.