

크리깅 방법을 이용한 그리드핀 공력데이터 모델링

김성태^{1*}, 최대산¹, 유강국¹

빅스트폼 기술연구소¹

Aerodynamic Data Modeling of Grid-fin Using Kriging Method

Sungtae Kim^{1*}, Daesan Choi¹, Kang Kuk You¹

Key Words : Grid-fin(그리드핀), Meshless method(무격자 기법), Surrogate model(대체 모델), Kriging method(크리깅 방법)

서론

그리드핀은 프레임 내부에 웹이 서로 교차하는 형태의 조종면으로 초음속에서 공력성능이 우수하고 짧은 시위길이로 인해 구동 모멘트가 작으며 보관이 용이하다는 장점으로 인해 발사체의 자세 제어를 위한 조종 수단으로 많이 사용되고 있다. 이러한 그리드핀의 공력 성능 예측을 위해 풍동시험 및 CFD 해석 등의 방법들이 널리 활용되고 있지만 그리드핀 형상의 복잡성 및 다수의 형상 변수 존재로 인해 가능한 형상 경우의 수가 매우 많아 상당한 실험비용이 요구된다.

본 연구에서는 LHS(Latin Hypercube Sampling) 방법으로 생성한 실험점들에 대해 무격자 기법으로 유동해석을 수행하고 CFD 해석에서 얻은 공력 데이터로 크리깅 방법을 사용해 단일 그리드핀 공력데이터 대체모델을 생성하였다. 또한, 생성한 대체모델에 대해 교차검증 및 CFD 해석과의 비교를 통해 대체모델의 타당성을 검증하였다.

본론

그리드핀 형상 변수 정의

본 연구에서는 그리드핀 프레임 외각 형상이 사각형인 형태만을 고려하였으며 프레임 내부의 높이와 너비 모두 1 m로 고정하였다. 형상 변수는 그리드핀의 시위길이, 그리드핀 높이 방향 셀 개수, 웹의 교차 각도, 그리고 웹 뒷전 후퇴각으로 정의하였으며 형상 변수 개수는 총 4개이다. 그리드핀 지지대는 형상에서 제외되었으며 동체 측면에 부착된 단일 그리드핀을 고려하였다.

다수의 그리드핀 형상을 효율적으로 다루기 위해 오픈소스 S/W인 SALOME를 기반으로 하는 자동화 스크립트를 작성하여 그리드핀 형상 파일을 생성하였다. Fig.1은 자동화 스크립트로 생성한 그리드핀

형상의 예시를 나타낸 것으로 앞서 말한 것처럼 그리드핀이 동체 측면에 부착된 경우를 고려하여 반시계방향으로 90도 회전되었다. 그리드핀 너비 방향 셀 개수는 주어진 높이 방향 셀 개수 그리고 웹 교차 각도에 의해 결정되는데 정수로 나누어 떨어지지 않는 경우에는 소수점 첫번째 자리에서 반올림하였다.

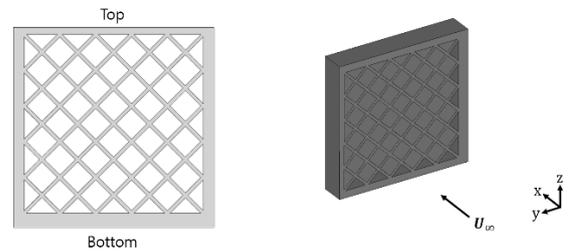


Fig. 1. Grid-fin configuration

유동해석 및 대체모델 생성

복잡한 형상의 그리드핀 다수 케이스에 대한 유동해석을 효율적으로 수행하기 위해 무격자 기법을 사용하였다. 무격자 기법은 격자를 사용하는 유한 체적법과 달리 공간질점을 사용하기 때문에 복잡한 형상에 대해서도 전처리 과정의 자동화가 용이하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 SALOME 기반의 그리드핀 형상 자동 생성 스크립트와 Bash 기반의 batch job 스크립트를 이용하여 유동해석 과정의 대부분을 자동화할 수 있었다. 유동조건은 마하수 0.6, 받음각 10도로 고정하여 유동해석을 수행하였다.

대체모델은 크리깅 방법을 이용하였으며 상관계수 최적화를 위해 다목적 유전 알고리즘을 사용하였다. 크리깅 방법은 비선형성이 강한 다변수 문제도 유연하게 다룰 수 있으며 통계에 기초하기 때문에 생성한 모델의 신뢰도 분석이 가능하다는 장점이 있다. 대체모델 생성에 필요한 실험점들은 pyDOE

패키지의 LHS 방법을 이용해 생성하였으며 실험점 20개를 사용하였다.

대체모델 교차검증 결과

대체모델의 타당성을 검증하기 위해 Leave-one-out 교차 검증을 수행하였다. Fig. 2는 그 결과를 나타낸 것으로 실험점들이 $y=x$ 를 따라서 분포하여 대체모델의 예측값이 실험값과 잘 일치함을 보여준다. 또한, 실험점들의 standard residual이 모두 ± 3 이내로 생성한 대체모델이 타당함을 확인하였다.

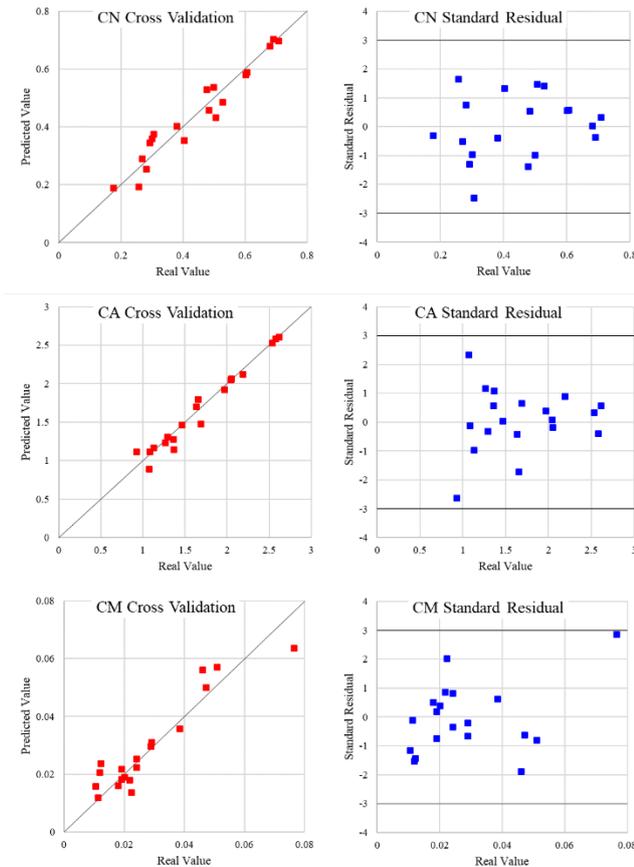


Fig. 2. Leave-one-out cross validation

추가적으로 CFD 해석과의 비교를 통한 교차검증도 수행하였다. 대체모델 생성에 사용한 실험점들과 중복되지 않도록 LHS 방법으로 실험점 10개를 생성하여 검증에 사용하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 형상 변수 일부가 실수가 아닌 이산화 된 정수임에도 불구하고 대체모델의 예측값과 CFD 실험값이 대체로 잘 일치함을 확인하였다. 그리드핀 형상이 정의되는 과정에서 너비 방향 셀 개수가 반올림 처리된 정도 대체모델의 정확성에 어느정도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

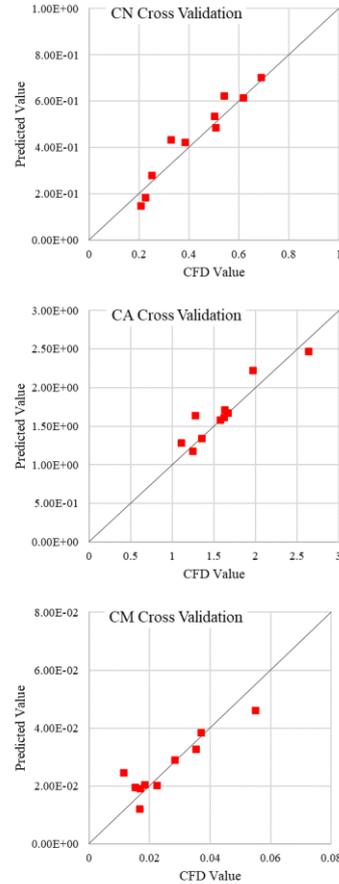


Fig. 3. CFD cross validation

결론

본 연구에서는 사각형 형태의 단일 그리드핀에 대하여 무격자 기법으로 유동해석을 수행하고 크리깅 방법을 이용하여 그리드핀 공력데이터 대체모델을 생성하였다. 다수의 그리드핀 형상을 효율적으로 다루기 위해 자동화 스크립트를 활용하여 유동해석을 수행하였고, 크리깅 방법으로 생성한 대체모델의 교차검증을 수행하여 대체모델이 타당함을 확인하였다. 추후 마하수와 받음각을 확장하여 다양한 유동조건에 대한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1) Theerthamalai, P., "Aerodynamic characterization of grid fins at subsonic

speeds.", *Journal of aircraft*, Vol. 44, No. 2, 2007, pp.694-698.

2) Huh, J.Y., Rhee, J.S., Kim, K.H., Jung, S.Y., "New least squares method with geometric conservation law (GC-LSM) for compressible flow computation in meshless method.", *Computers & Fluids*, Vol. 172, 2018, pp.122-146.

3) Jeong, S., Minemura, Y. and Obayashi, S., "Optimization of combustion chamber for diesel engine using kriging model.", *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol. 1, 2006, pp.138-146.

4) Congdon, Christopher, and Jay Martin. "On using standard residuals as a metric of kriging model quality.", *48th AIAA/ASME/ASCE/AHS /ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, 2007.