

POD를 이용한 실린더 후류의 와류 흘림 주파수 분석

Analysis of Vortex Shedding Frequency using POD

김태성* · 이희남† · 윤두병** · 박진호**

Taesusng Kim, Huinam Rhee, Doo Byung Yoon, and Jin Ho Park

1. 서 론

적합직교분해 (Proper Orthogonal Decomposition, POD)는 난류유동장 등 고차 현상에서 주요 모드들을 추출하여 몇 개의 저차 모드로 수학적인 모델링을 구성하기 위해 사용될 수 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 2차원 실린더 후류의 유동장을 비압축성 전산유체해석을 통하여 해석하고 실린더 후류 와류 흘림 영역에서 취득한 유속 데이터에 POD 기법을 적용하여 모드해석을 수행하고 주요모드들의 시간계수를 주파수 분석하여 와류 흘림 주파수를 구하였으며 그 결과를 참고문헌의 실험데이터와 비교 분석하였다.

2. 본론

POD 기법은 유동장 데이터를 공간모드와 시간모드를 이용하여 식 (1) 과 같이 표현가능하다⁽¹⁾.

$$u(x, y, z) = \lim_{M \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^M a_j(t) \phi_j(x, y, z) \quad (1)$$

여기서 $u(x, y, z, t)$ 는 유동변수, $a_j(t)$ 는 시간계수, $\phi_j(x, y, z)$ 는 공간모드를 의미하며, 유동장 변수는 시공간 함수이므로 공간 상관함수를 계산하고 고유값 문제를 정식화하여 고유값과 고유벡터를 구한다. 여기서 고유값은 에너지를 의미하며 고유 벡터는 공간 함수로 진폭을 의미한다.

† 이희남; 정회원, 순천대학교 기계우주항공공학부
E-mail : hnrhee@sunchon.ac.kr

Tel : 061-750-3824, Fax : 061-750-3820

* 순천대학교 대학원 기계우주항공공학부

** 한국원자력연구원

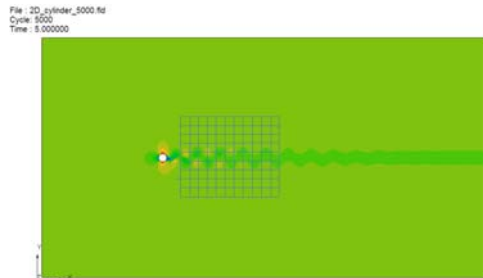


Figure 1 CFD analysis of wake flow from a 2D cylinder and data acquisition positions

Figure 1은 2차원 실린더 유동장의 해석 결과이며 수평방향의 속도 분포를 보여주고 있다.

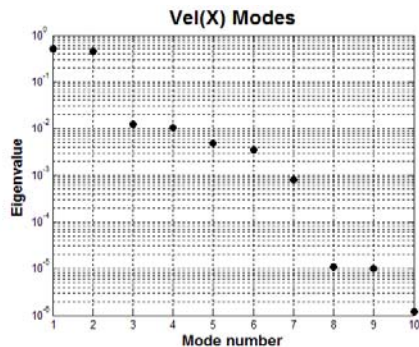


Figure 2 Eigenvalues (velocity)

해석도구는 상용 CFD프로그램 SC/Tetra를 사용하였다. 해석조건은 비압축성 공기, Re=10,000, 적분시간 간격은 0.001sec, 난류모델은 MP $k-\epsilon$ 을 사용하였다. Figure 1에 표시된 약 1,000 개의 공간위치에서 유속데이터를 추출하여 POD를 수행하였다.

Figure 2는 POD를 통해 계산된 고유치 값을 보여주고 있다. 고유치는 각 모드에서의 에너지를 의

미하므로 1차와 2차 모드가 가장 많은 영향력을 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. POD 모드형상은 Figure 3 과 같고 1차 모드와 2차 모드가 전체 유동장과 유사한 것을 확인할 수 있다.

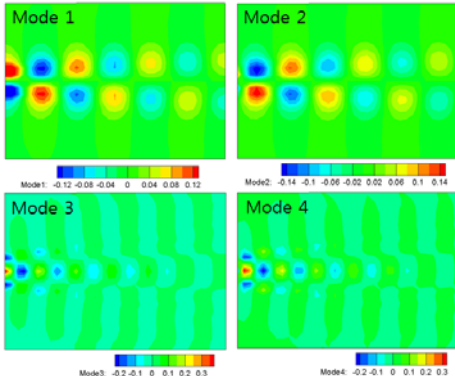


Figure 3 POD Modes of velocity

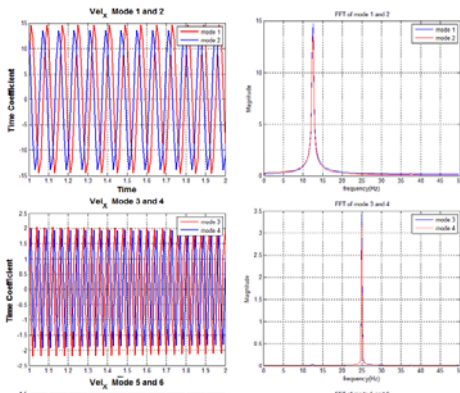


Figure 4 Time coefficient of POD Modes

시간계수의 시간 이력과 주파수 스펙트럼은 Figure 4 와 같으며, 시간계수의 주파수가 1차와 2차 모드는 12.5 Hz 이며 3차와 4차 모드는 25Hz, 5차와 6차 모드는 37.5Hz 로 정확히 harmonics 임을 알 수 있다. 와류 흘림 주파수 f_s 는 식 (2)와 같다⁽²⁾.

$$f_s = \frac{SU}{D} \quad (2)$$

여기서 S, U, D 는 각각 Strouhal number, 실린더 직경, 그리고 유속을 의미한다. 본 CFD 해석에 사용된 조건은 직경이 0.2m, 유속은 7.587 m/s 이므로 식 (2)를 이용하여 Strouhal number (S)를 계산하면 약 0.33 이 구해진다. 한편 참고문헌 (2)에 의

하면 $Re=100,000$ 조건에 대하여 실험에 의해 구해진 S 값은 약 0.21으로서 본 연구에서의 수치적 예측값은 실험값에 비해 약 50% 이상 크다. 이러한 오차의 원인은 실린더 표면 거칠기와 관련이 있다고 판단되며, 참고문헌 (2)에 의하면 실린더 표면의 거칠기가 감소할수록 S 가 증가하며 $Re=200,000$ 이상인 경우 매끈한 실린더에 대해서 $S=0.5$ 이다. 본 연구에서의 실린더 표면 거칠기는 zero 라고 가정되어 있는 반면 실제 실험시 사용된 실린더는 영보다 큰 값을 가질 것이므로 본 연구에서 수치적으로 예측된 S 값은 타당성이 있다고 판단된다. 또 다른 오차의 원인으로는 난류모델링으로 판단되며 본 연구에서 사용된 난류모델인 MP $k-\epsilon$ 과 실제 난류유동 특성과의 차이가 Strouhal number 값의 오차에 기여를 한다고 판단된다.

3. 결 론

2차원 실린더 후류 유동장 CFD 해석데이터에 적합적분해 기법을 적용하여 고유치, POD 모드형상, 시간계수들을 구하고 시간계수들의 주파수 분석을 통하여 와류 흘림 주파수를 예측하였다. 이를 통해 구한 Strouhal number 와 참고문헌 상의 실험데이터를 비교한 결과 실린더의 거칠기 및 난류모델의 오차 등을 고려할 때 타당한 수준의 예측이 이루어진 것으로 판단된다. 보다 다양한 Re 수에 대한 연구가 수행될 예정이며 본 연구 결과는 구조물의 유동유발진동 현상의 전산해석에 응용될 수 있다.

후 기

본 연구에 대한 한국원자력연구원의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) L Sirovich., 1987, "turbulence and Dynamics of Coherent Structures Part I: Coherent Structures", Quarterly of Applied Mathematics, vol, 45, pp. 561-571.
- (2) R. D. Blevins, "Flow-Induced Vibration" 2nd ed.,1990.