

PSE와 SSA를 이용한 원형 실린더 근접 후류 지역의 난류 특성 연구

Turbulence Properties in the Near-Wake of a Circular Cylinder Using
Power Spectral Estimation and Singular Spectral Analysis

방주영*, 서일원**

Joo Young Bang, Il Won Seo

.....

요 지

원형 실린더를 주변 흐름에 관한 연구는 오랜 기간 유체역학 전 영역에서 모형실험이나 수치 모형으로 광범위하게 연구되었다. 이 흐름은 하천의 교각이나, 바다의 시추선과 같은 수공구조물 주변에서 관측된다. 난류와 와류가 공존하는 복잡한 특성 때문에, 이 흐름은 수공학에서 유사이송, 세굴, 오염물 확산 등에 영향을 준다.

본 연구는 실험실 수로에 설치된 원형 실린더($D=9cm$) 후방의 근접 와류 구간에서($x/D < 5$) 유속을 ADV로 측정 후, 난류 특성을 Power Spectral Estimation(PSE)와 Singular Spectral Analysis(SSA) 방법으로 연구하였다. PSE는 샘플 스펙트럼의 한계를 보완하고자 자료를 분할하고, window 함수를 적용하여 ensemble 평균을 구하는 경험적 방법이다. PSE를 이용하여 스펙트럼을 계산한 결과, 주 흐름 및 횡방향 흐름은 Inertial subrange에서 Kolmogorov의 가정과 일치하는 추세를 보였다. 그러나 수심방향 흐름의 스펙트럼은 $-5/3$ 보다 빠르게 감소하는 추세를 보였다. Inertial subrange 스펙트럼에서 난류 에너지 소산율은 원형 실린더에서 멀어짐에 따라 감소하는 추세를 보였고, 주 흐름방향과 횡방향 흐름은 비슷한 크기를 보였다. 난류 에너지 소산율과 동점성계수를 이용하여 Kolmogorov 길이, 유속, 시간 스케일을 계산했다.

난류의 운동에너지를 계산하기 위해 Triple decomposition 방법 중 하나인 SSA를 적용하였다. SSA는 유속행렬을 이용하여 고윳값과 고유벡터를 계산하고, 유속에서 기여도가 큰 부분을 추출하는 방법이다. SSA를 통해 실린더 후방 흐름에서 와류 성분과 난류 성분을 나누었다. 횡방향 흐름은 강한 와류로 큰 기여도를 갖는 고유벡터가 나타났지만, 주 흐름과 수심방향 흐름은 상대적으로 낮은 기여도를 갖는 고유벡터가 나타났다. 와류를 제외한 흐름에서 난류 운동에너지는 실린더와 멀어짐에 따라 감소하고, 흐름 중앙에서($y/D=0$) 가장 큰 값을 보였다.

핵심용어 : 난류, 근접 후류, Power Spectral Estimation, Kolmogorov scale, Triple decomposition, Singular Spectral Analysis, 원형 실린더

* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정 · E-mail: ybang418@gmail.com

** 정희원 · 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 · E-mail: seoilwon@snu.ac.kr