

질량 원천항을 이용한 내부조파 Internal Wave Generation with the Mass Source Function

하태민¹⁾·조용식²⁾
Ha, Taemin · Cho, Yong-Sik

파랑의 전파와 변형에 대한 연구에는 수심방향으로 적분한 2차원방정식인 완경사방정식과 Boussinesq 방정식을 기반으로 한 수치모형을 이용한 연구가 최근까지 가장 활발하게 진행되어 오고 있다. 그러나 실제 구조물의 설계에는 2차원 수치모형에서 고려할 수 없는 수심방향 유속에 기인한 정확도의 문제로 인해 구조물의 형상과 재원을 설계하기 위한 정교한 수치모형실험이 어려워 주로 수리모형실험에 의존해 왔다. 수리모형실험은 실제 현상을 가장 잘 재현해 낼 수 있어 신뢰성이 매우 높지만 다양한 실험을 수행하기가 어렵고 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있다. 이에 따라 최근 수심방향으로 완전한 운동방정식인 Navier-Stokes 방정식을 푸는 3차원 수치모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이론적으로 매우 우수한 모형이긴 하나 정확도 높은 결과를 얻기 위해서는 매우 조밀한 격자를 필요로 하기 때문에 아직까지 막대한 계산시간이 필요하다는 단점이 있으나 컴퓨터 기술이 급격한 속도로 발전하고 있어 Navier-Stokes 방정식 모형의 적용 가능성은 계속 높아지고 있다. 파랑변형을 다루는 수치모형실험을 수행할 때 외부조파를 사용할 경우 구조물이나 지형에 의해 반사되어 나온 파랑이 조파지점에 도달할 때 실험영역으로 재 반사되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 내부조파기법의 개발에 대한 연구가 필수적이었으며, 자유수면변위를 변수로 사용하는 모형의 경우 그 연구가 매우 활발하게 진행되어 왔다. 한편, Navier-Stokes 방정식 모형의 경우 자유수면변위를 변수로 사용하는 2차원 모형에 비해 상대적으로 연구가 미흡하였다. 본 연구에서는 기존의 연직 2차원 Navier-Stokes 방정식 모형에 사용된 연속방정식에 질량 원천항을 추가하는 내부조파기법을 도입하여 3차원 수치모형에서 고립파를 내부조파하고, 급경사에서의 고립파의 처오름 및 처내림 현상을 수리모형 실험결과와 비교 및 분석하였다. 수치모형은 Navier-Stokes 방정식을 엇갈림 격자체계에서 계산하는 동수압 모형으로서, Two-step projection 기법을 사용하는 유한차분모형을 사용하였다. 본 수치모형은 난류의 해석을 위해서 상대적으로 큰 에디(eddy)만을 고려하는 SANS(spatially averaged Navier-Stokes) 방정식을 계산하는 LES(large-eddy-simulation) 기반의 수치모형으로, 난류 모델링을 위해 Smagorinsky LES 모형을 사용한다. 또한, 압력장의 계산을 위해 Bi-CGSTAB 기법을 이용하여 Poisson 방정식의 해를 구하였으며, 자유수면 추적을 위하여 2차 정확도의 VOF(volume-of-fluid) 기법을 사용하였다. 수치모형실험이 전체적으로 수리모형실험에서 관측한 파랑의 처오름 및 처내림 현상을 잘 재현하고 있는 것으로 나타났으며, 정량적인 비교를 통해 수치모형의 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 내부조파, Navier-Stokes 방정식, 질량 원천항

1) 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 ·(E-mail : kevin4324@hanyang.ac.kr)

2) 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 교수(교신저자)