

異質的 地下水系에서 多相흐름

(Multiphase Flow in Heterogeneous Groundwater Systems)

최 우 회, 선우 중 호

요 旨

異質的 地下水系에서 물과 DNAPL(dense nonaqueous phase liquids)의 同時的 움직임을 연구하기 위한 수직단면 2차원 有限要素模型이 개발되었다. 물과 DNAPL의 흐름방정식은 非飽和 領域 뿐만 아니라 飽和領域까지도 연속적으로 模寫하기 위하여 流體 壓力項으로 形式化 하였다. 이들 支配方程式의 非線形性을 다루기 위하여 mass lumping과 修正 Picard 기법이 이용되었고, 數値振動과 分散을 줄이기 위하여 前方加重이 사용되었다. 本 數値模型의 檢證은 重力과 毛細管 效果를 모두 고려한 McWhorter와 Sudana(1990)의 解析解와 比較함으로써 行하였다. 또한 數値模型의 타당성 검토의 연구는 進行되고 있다.

要 約

地下水系(groundwater systems)에서 多相흐름(multiphase flow)을 포함한 문제는 많은 自然科學과 工學分野에서 제기되고 있다. 역사적으로 多相흐름 모형의 개발에 대한 큰 동기는 탄화수소 貯留지로부터 좀 더 효율적인 오일과 가스 채수의 매력에 의하여 야기되었다. 初期 研究는 저수지 압반에서 가스, 오일, 그리고 물의 3相 흐름에 대한 모형의 후속개발을 촉진시키기 위하여 가스-오일과 오일-물 체계의 2相 흐름의 문제에 집중 하였다. 水文學者, 農工技術者, 그리고 土質 物理學者들은 매우 오랫동안 농업수확에 물 사용을 最適化하기 위한 地下水 資源 활용 개선동기에 의하여 공기-물 多孔質 媒體 體系에서 유체의 운동에 관심을 가져왔다. 더우기 최근에는 환경적 문제가 대기와 地下水 사이에 있는 비포화 영역에서 많은 地下水 汚染物質이 대기 침전물, spill, 지하탱크로부터의 流出, 地下 廢棄物 處理등을 통하여 흙 표면 근처로 유입된다. 물에 녹지않는 물

질은 비포화 영역을 통하여 地下水에 혼합체로 이동 될 수 있다. 揮發性物質은 가스相에서 質量 흐름과 擴散에 의하여 移動 될 수도 있다. 게다가 환경적 汚染物質의 많은 분류는 흙에서 분리된 液體相으로 있는 물에 녹지 않는 有機合成物로 구성되어 있다. 이와 같은 液體는 불행히도 표면 spill 또는 地下 저장탱크로 부터의 流出을 통하여 지하에 도달하는 매우 폭 넓게 사용되는 산업용 솔벤트나 자동차와 비행기의 연료를 포함한다. 이들 合成物은 생산비가 저렴하기에 산업과 소비자에게 매력을 끌고 다양한 용도로 쓰이고 있다.

본 연구의 目的은 密度가 높고 혼합하지 않는 液體들은 일반적으로 위험하고 실험실 실험과 현장실험을 할 때 시간과 비용이 많이 소요된다. 그러나 數值모델링은 이와 같은 실험의 설계에 유용한 수단으로 이용되고 실험하기 어려운 敏感度와 불확실성 분석을 수행할 수 있다.

본 研究의 內容은 다음과 같다. 먼저 汚染物質 移動의 物理的 과정을 고찰한다. 다음으로 多相흐름에 대한 연구에 대하여 검토한다. 多相흐름에 관한 연구는 크게 數學的 模型과 數值的 模型로 구분할 수 있다. 多相흐름의 支配方程式인 편미분 방정식에서 비선형항을 풀기위한 構成方程式에 관한 연구를 검토한다. 그리고 地下水系에 대한 異質性의 적용에 관한 연구에 대하여 검토한다. 다상흐름의 지배방정식을 일반적인 Darcy의 법칙과 질량보존의 법칙으로 부터 비포화 영역과 포화 영역을 연속적으로 模寫하기 위하여 流體 壓力項으로 유도 하였다. 이들 지배방정식에서 비선형항의 관계를 규명하기 위하여 構成方程式을 유도한다. 유도한 支配方程式을 數值的으로 해석하기 위하여 有限要素法을 사용하였다. 전방가중(upstream weighting)이 대류전속(advective flux) 지배적인 경우에 數值振動(numerical oscillation)과 數值分散(numerical dispersion)을 처리하기 위하여 사용되었다. 지배방정식의 비선형성을 다루기 위하여 mass lumping과 수정 Picard 반복기법이 사용되었다. 수치모형의 檢證을 위하여 重力과 毛細管 效果를 완전히 포함한 1차원 解析解가 존재하는 경우에 대하여 數值解와 비교하였다. 개발된 수치모형을 캐나다에 있는 Borden 유역에 적용하여 이질성 地下水系에서 流體舉動에 대한 毛細管 效果, 퍼짐에 대한 流體特性의 효과, 그리고 空間的으로 相互聯關된 無作爲場에서 非濕潤 舉動을 조사함으로써 타당성 검토를 진행하고자 한다.