

# 고유동도 대비 대체 현상에 대한 경계면 추적 모델 (Front-Track Model for Displacement Processes with High Mobility Contrast)

이근상\*

## 1. 서론

다공성 매체를 통한 다상 유체 유동 중 유동도 대비가 클 경우 대류가 우세한 유체 전달 과정에 의해 뚜렷한 경계면이 형성된다. 이러한 문제들에 대하여 통상적인 유한차분 시뮬레이터를 사용하여 해를 구하면 수치 분산 및 진동이나 격자 방향 효과에 의해 많은 오차가 발생할 수 있다. 계산 비용을 증가시키지 않고 오차 문제를 극복하기 위하여 경계면의 이동을 추적하는 계산 기법이 고안되었는데 이를 경계면 추적 모델링이라고 부른다. 협의적으로 사용될 경우 shock-fitting method 를 의미하는데 Kocberber (1992)의 모델을 개량한 Miller *et al.* (1995), Rocha *et al.* (1997), Chen *et al.* (1997)의 내용을 중심으로 이 기법의 이론과 적용 사례 등을 소개한다.

## 2. 이론적 고찰

경계면 추적법에서 유체 간 경계면은 유동 영역을 몇 개의 구역으로 분리하는 수학적 불연속면이다. 과도 압력 현상을 고려할 경우 필요한 계산량을 줄이기 위하여 액체 유동은 정상상태, 가스 유동은 유사정상상태로 가정한다. Darcy 법칙으로부터 유도된 압력 방정식을 각 구역에 적용하여 유체 거동을 계산하고 각 구역은 경계면 조건에 의하여 연결한다. 유체 간 경계면은 압력 해로부터 계산되는 속도에 따라 이동한다.

경계면 추적 모델의 풀이 절차는 아래와 같이 요약할 수 있다.

1. 최초 격자와 초기 경계면을 정의한다.
2. 각 영역에서 압력 방정식을 푼다.
3. 압력 해로부터 경계면 속도를 계산한다.
4. 시간 간격 크기를 결정하고 경계면 속도에 따라 경계면을 새로운 위치로 이동한다.
5. 격자를 적합하게 재배치한다.
6. 필요 시 2-5 단계를 반복한다.

## 3. 적용 사례

가스 저류층으로 침입하는 물의 유동 현상은 유리한 유동도비에 의해 기본적으로 피스톤형이므로 경계면 추적법을 적용하기에 적합하다.

각 방향의 길이가 2000 ft 인, 두께 1 ft, 공극률 0.25, 투수계수 10 md, 불감소 물 포화율 0, 잔류 가스 포화율 0, 초기 압력이 8000 psi, 주입압력 8000 psi, 생산정 유량 1000 Mscf/day 인 가스 저류층에 대하여 계산을 수행하여 경계면의 변화를 나타낸 것이다(그림 1).

---

주요어: 다상유동, 경계면 추적법, 수치오차

\* 경기대학교 토목환경공학부 (kslee@kuic.kyonggi.ac.kr)

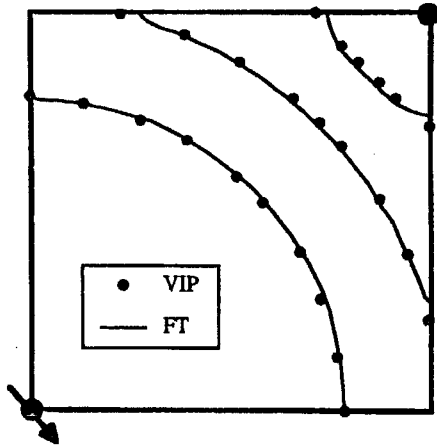


Figure 1. Comparison of front locations with VIP at 0.48, 0.81 and 0.96 pore volume injected.

VIP의 계산 결과와 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

그림 2는 길이 1000 ft, 두께 100 ft, 경사 15°, 공극률 0.25, 투수계수 10 md, 초기 압력이 8000 psi, 주입압력 8000 psi, 생산정 유량 20 Mscf/day 인 가스 저류층의 단면을 나타낸 그림이다. 경계면이 수직방향으로 휘어지면서 안정된 형태로 이동함을 보여준다. 역시 VIP의 계산 결과와 잘 일치하고 있음을 보여 준다.

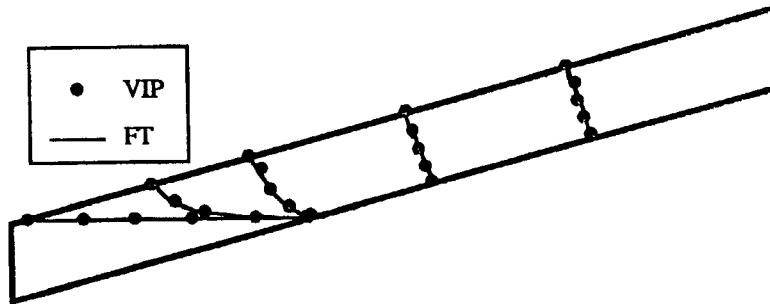


Figure 2. Comparison of front locations with VIP at 0.21, 0.26, 0.35, 0.54 and 0.75 pore volume injected.

#### 4. 결론

경계면 추적 기법을 이용한 유체 유동 모델링의 과정과 실제 적용 사례를 소개하였다. 유동도 대비가 커 대류가 우세한 다상 유체 유동 현상에 이 기법을 적용할 경우 계산 시간을 최소화하면서 오차를 줄일 수 있다.

#### 5. 참고문헌

- Chen, C., M.A. Miller, and K. Seperhnoori, 1997, "A New 3D Front-Tracking Approach to Modeling Displacement Processes in Complex Large-Scale Reservoirs," SPE 38137 presented at SPE Reservoir Simulation Symposium, Dallas, Texas, U.S.A.
- Kocerber, S., 1992, A Front Tracking Model for Thermal Oil Recovery Processes, Ph. D. dissertation, U. of Texas at Austin, Austin, Texas, U.S.A.
- Miller, M.A., K. Seperhnoori, C. Chen, K.S. Lee, 1995, *A New 2D Front-Tracking Approach for Modeling the Performance of Water-Drive Gas Reservoirs*, Gas Research Institute Report GRI-95/0294
- Rocha, S.R., M.A. Miller, and K. Seperhnoori, 1997, "A Succession-of-States Front-Tracking Model for the In-Situ Combustion Recovery Process," *In Situ*, Vol. 21, No. 1.