

석유생산 시스템에서 다상유동의 패턴 결정

이근상¹ · 김현태^{2*}

¹한양대학교 자원환경공학과, ²한국지질자원연구원 석유해저연구부

Determination of Flow Patterns for Multi-Phase Flow in Petroleum Production Systems

Kun Sang Lee¹ and Hyun Tae Kim^{2*}

¹Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²Petroleum and Marine Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

A comprehensive mechanistic model has been used to determine the flow pattern for gas-oil two-phase flow in pipes of petroleum production system. Depending on operational parameters, geometrical variables, and physical properties of the two phases, the two phases shows a specific flow patterns. For different parameters of the system, flow pattern were compared for wide range of superficial velocities of oil and gas. In a variety of parameters, the inclinational angle and superficial velocities of oil and gas are the most dominant factors in determining the flow patterns for two-phase flow in pipelines. Other parameters such as pipe diameter and fluid properties have a limited effect on the change of flow patterns except for near transition. The mechanistic model is shown to be useful to determine the flow pattern in situations where either an experimental evaluation in a laboratory or reliable correlations are not available.

Key words : two-phase flow, mechanistic model, flow pattern, pipe flow

본 연구에서는 포괄적 역학모델을 이용하여 석유 생산 시스템의 파이프 내 가스-오일 2상유동에 대한 유동패턴을 결정하였다. 2상의 유체는 운영 인자, 기하학적 변수, 유체 물성 등에 따라 특성의 유동패턴을 나타냈다. 광범위한 기액 겹보기 속도에 대하여 시스템의 인자들을 변화시키면서 유동패턴을 비교하였다. 다양한 인자들 중 경사각과 겹보기 속도가 파이프 내 가스-오일 2상유동의 유동패턴을 결정하는데 가장 지배적인 인자로 나타났다. 파이프 직경, 유체 물성 등의 인자들은 전이 경계선 부근을 제외하면 유동패턴 변화에 제한적인 영향만을 미쳤다. 역학모델은 실험실 평가나 신뢰성있는 상관식 이용이 불가능할 때 유동패턴을 결정할 수 있는 유용한 도구이다.

주요어 : 2상유동, 역학모델, 유동패턴, 파이프 유동

1. 서 론

파이프 내에서의 기-액 2상유동은 석유, 화학, 원자력, 우주, 지열 산업 등 다양한 주요 산업 분야에서 발생한다. 이 같은 응용 분야에서의 파이프라인 설계 및 압축 설비의 구축을 위하여 1950년대 이후 2상유동에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다 (Shoham, 2006). 석유산업에서는 오일과 가스의 생산 및 운송 중

에 일반적으로 비혼화 다상 유체의 동시 유동이 발생한다 (Hasan and Kabir, 2002). 전체 석유 생산 시스템의 간략화된 모식도가 Fig. 1에 나타나 있다 (Brown, 1984). 통상 유정 및 유선 (flowline)을 구성하는 수평, 경사, 수직 파이프 내에서 2상유동이 발생한다. 특히 해상 유전의 경우 정두 (wellhead)에서 분리 설비에 도달하기 전 이러한 운송 유선이 상당히 길고 다양한 각도로 배치되어 있다. 다상유동의 경우 유동 단면에 대하여

*Corresponding author: htkim@kigam.re.kr

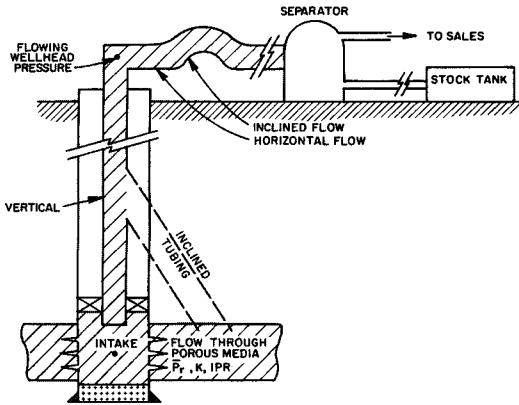


Fig. 1. Schematic representation of complete producing system.

복수의 유체가 동시에 이동하므로 단상유동보다 훨씬 더 복잡한 현상이다. 다상유동 시 유체 거동을 정확하게 모델링하기 위해서는 유동 단면에서 개별 유체상들이 차지하고 있는 방식과 비율을 알아야 한다. 이러한 결과를 이용하여 압력 감소와 액체 함량 (holdup)을 결정함으로써 유선과 분리 설비의 용량을 적절하게 설계할 수 있다.

단상유동과 2상유동의 근본적 차이는 유동패턴 (flow pattern) 또는 유동영역 (flow regime)의 존재 여부이다. 복수의 비혼화 유체가 유동할 때 유체 간에는 가변성 경계면이 존재하며 이러한 경계면의 형상과 분포 특성에 따른 기액상의 기하학적 형상을 유동패턴이라고 한다. 석유 생산 시스템의 파이프 내에 기액 동시 유동이 발생하면 유동 조건에 따라 다양한 형태로 기액이 분포한다. 유동 형태는 계면의 공간적 분포의 차이로 발생하며 속도와 함량 분포 등 유동 특성의 차이를 가져온다.

파이프 내 2상유동에 대하여 유동패턴을 결정하는 것은 기액 운송 시스템 설계에 매우 중요하다. 전통적으로 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 조건 하에서 실험을 수행한 후 상관식을 도출하는 경험적 방법을 사용하였다. 시각적 관찰을 통하여 유동패턴을 결정하고 데이터를 유동패턴도 (flow pattern map)라고 부르는 2차원 그래프에 도시하였다. 유동패턴도 작성에 사용되는 좌표계는 대부분 질량 유동율, 운동량 (momentum) 플럭스, 겉보기 속도 (superficial velocity) 등의 물리량이다. 수평유동에 대한 Mandhane *et al.* (1974)의 유동패턴도는 미국가스협회 (American Gas Association, AGA)와 미국석유협회 (American Petroleum Institute, API)의 데이터뱅크에 기반을 두고 있다. 그러나 이와

같은 방법은 적용가능한 데이터의 범위가 한정적으로 유가스전에서 나타나는 다양한 유체 및 조건에 적용하기 어렵다. 또한 파이프 내 다상유동에 대한 물리적 현상과 원리를 고려하지 않았기 때문에 이론적 근거가 취약하다 (Petalas and Aziz, 2000).

1970년대에 이르러 실험 기반 해석법의 한계성을 극복하기 위하여 유동 현상의 기본적인 물리 법칙에 바탕을 둔 역학모델이 개발되기 시작하였다. 이후 역학 모델을 이용하여 유동패턴을 예측하고 각 유동패턴 별로 유동 특성을 규명하는 연구가 지속되어 왔다. 역학 모델의 예로는 Taitel and Dukler (1976), Taitel *et al.* (1980)의 연구를 들 수 있고 이를 바탕으로 유동패턴 예측 모델이 꾸준히 개발되었다 (Xiao *et al.*, 1990; Gmez *et al.*, 1999; Petalas and Aziz, 2000). 국내의 경우 생산 유전에 대한 운영 및 설비 설계 경험이 일천하므로 이에 대한 연구가 거의 수행된 바 없다.

본 연구에서는 석유 생산 시스템 내에서 발생할 수 있는 다양한 상황에서 파이프 내 2상유동에 대한 포괄적 역학모델을 이용하여 유동패턴을 결정하였다. 2상 유동 시스템 내 유동패턴에 영향을 미치는 인자들을 (1) 기액 유동율과 같은 운영 변수, (2) 파이프 직경 및 경사각과 같은 기하 변수, (3) 기액 밀도, 점도, 표면장력 등 2상의 물리적 물성 등 세가지 유형으로 분류하고 각 변수들이 유동패턴에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 유동패턴 결정

2.1. 유동패턴 전이 모델

파이프라인 내 수평유동을 기준으로 유동패턴은 크게 네 가지 유형으로 나눌 수 있다. Fig. 2는 수평유동 시 발생하는 유동패턴과 기액 계면의 형상을 나타낸 그림이다 (Shoham, 2006). 각 유동 영역의 특징 및 세부 분류는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 층상유동 (stratified flow, ST): 기액 유동율이 비교적 작으면 중력에 의하여 2상이 분리되어 하부에는 액상 유동, 상부에는 기상 유동이 발생한다. 기액 계면이 매끄러우면 층상평활 (stratified smooth, SS), 비교적 기체 유동율이 클 때 안정한 물결 모양의 계면을 형성하면 층상파형 (stratified wavy, SW)으로 세분한다.
- 간헐유동 (intermittent flow, I): 간헐유동에서는 액체와 기체의 교대 유동이 나타난다. 파이프의 전체 단면을 채운 액체 플러그 (plug) 또는 슬러그 (slug)가 파이프 하부를 흐르는 층상 액체를 포함

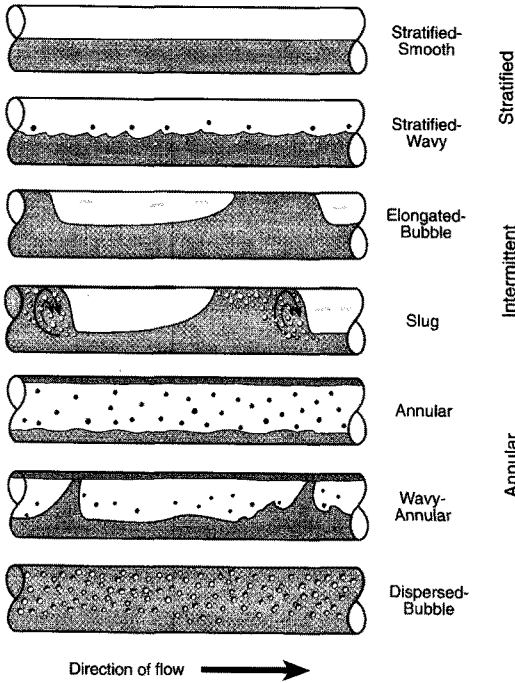


Fig. 2. Flow patterns in horizontal and near-horizontal pipes.

한 기체 포켓 (gas pocket)에 의해 분리된다. 간헐 유동패턴은 슬러그 (slug, SL)와 장기포 (elongated bubble, EB)로 나눌 수 있다. 장기포유동은 슬러그 유동의 한계 상황으로 액체 슬러그 내에 기포가 포함되어 있지 않다.

- 환상유동 (annular flow, A): 기체 유동율이 크면 액적 (liquid droplet)을 포함하기도 하는 기상은 고속으로 중심부에서 유동하고 액체는 파이프 벽을 따라 박막으로 유동하게 되는데 이를 환상유동이라고 한다. 층상파형, 슬러그, 환상유동의 전이 경계에서 발생하는 환상파형 (wavy-annular) 유동을 환상유동의 일부로 분류하기도 한다.

- 분산기포유동 (dispersed bubble flow, DB): 액체 유동율이 매우 크면 기포로 분산된 기상을 포함한 액상이 연속상이 된다. 대부분의 기포는 상부 파이프 벽 부근에 위치하며 액체 유동율이 크면 전체 단면에 균일하게 분포한다. 분산기포유동 발생 시 기액은 동일 속도로 이동하므로 균질 무할 (no-slip) 유동으로 간주한다.

고경사유동의 경우 액상의 불규칙적인 진동이 나타나는 처언 (churn) 유동이 발생하기도 한다.

본 연구에서는 유동패턴 결정에 대한 Barnea (1986)의 통합 모델을 바탕으로 Pereyra and Torres (2005)

가 개발한 유동패턴 예측 프로그램 FLOPATN을 Microsoft Excel 2007에서 사용할 수 있도록 수정하여 사용하였다. 이 프로그램을 통하여 유동패턴 영역간 전이 경계의 위치를 기액 겹보기 속도의 함수로 결정한다. 액체와 기체의 겹보기 속도 v_{sL} , v_{sG} 는 각 상의 단위 면적 당 체적 유동율인 체적 플럭스 (flux)로 정의한다.

$$v_{sL} = \frac{q_L}{A_p} \tag{1}$$

$$v_{sG} = \frac{q_G}{A_p} \tag{2}$$

여기에서 q_L , q_G 는 각각 액체와 가스의 유동율, A_p 는 파이프의 단면적이다

이 모델에서 사용한 전이 경계 모델은 다음과 같다.

- 층상에서 비층상으로의 전이

전이 A: Taitel and Dukler (1976) 모델 (층상유동의 불안정성)

$$v_G \geq \left(1 - \frac{h_L}{d}\right) \left[\frac{(\rho_L - \rho_G)g \cos\theta A_G}{\rho_G S_I} \right]^{0.5} \tag{3}$$

전이 L: Barnea *et al.* (1982) 모델 (환상 하강막 (falling film)으로 전이)

$$v_L^2 > \frac{gd \cos\theta \left(1 - \frac{h_L}{d}\right)}{f_L} \tag{4}$$

- 층상평활에서 층상파형으로의 전이

전이 C: Taitel and Dukler (1976) 모델

$$v_G \geq \left[\frac{4\mu_L(\rho_L - \rho_G)g \cos\theta}{s\rho_G\rho_L v_L} \right]^{0.5} \tag{5}$$

전이 K: Barnea *et al.* (1982) 모델 (저 가스 유동율의 하향 유동)

$$\frac{v_L}{\sqrt{gh_L}} > 1.5 \tag{6}$$

- 분산기포유동으로의 전이

전이 F-G: Barnea (1986) 모델

$$d_{\max} \leq d_{CD}, \quad d_{\max} \leq d_{CB} \tag{7}$$

- 환상유동으로의 전이

전이 J: Barnea (1986) 모델

$$H_L \geq 0.24, \quad \delta_L \geq 0.5 \tag{8}$$

- 기포에서 슬러그로의 전이

전이 E: Taitel *et al.* (1980) 모델

$$\left[\frac{\rho_L^2 g d^2}{(\rho_L - \rho_G) \sigma} \right]^{0.25} \geq 4.36 \quad (9)$$

여기에서 v_G , v_L 은 기액상의 실제 속도, ρ_G , ρ_L 은 기액상의 밀도, d 는 파이프 직경, A_G 는 기체 단면적, θ 는 경사각, S_f 는 경계면 길이 ($=dA_L/dh_L$), h_L 은 액체 수위, f_L 은 벽면-액체 마찰인자, μ_L 은 액체 점도, s 는 차폐계수 (sheltering coefficient), d_{max} 는 분산기포의 최대 안정 직경, d_{CD} 는 임계 기포 직경, d_{CB} 는 전이 경계에서의 임계 기포 직경, H_L 은 무차원의 액체 함량, δ_L 는 무차원 변수로 파이프 직경에 대한 액막의 두께이다.

2.2. 유동패턴 결정

유동패턴 예측 프로그램을 이용하여 유동패턴 영역간 전이 경계를 기액 겉보기 속도의 함수로 결정하였다. 계산에 사용한 주요 인자들은 유체 물성, 파이프의 기하학적 특성, 운영 변수로 분류하여 Table 1에 정리되어 있다. 표에서 굵은 체로 표시된 숫자는 기본 경우에 사용한 데이터를 나타낸다.

Fig. 3은 기본 유체 물성 및 운영 조건 적용 시 수평 유동 (경사각 0°) 에 대한 유동패턴도를 기액 겉보기 속도의 함수로 나타낸 것이다. 겉보기 속도의 영향을 시각적으로 제시하기 위하여 $v_{SG}=0.1, 1.0, 10.0$ m/sec 및 $v_{SL}=0.01, 0.1, 1.0$ m/sec의 교차 위치를 유동패턴도 상에 운영지점 (operating point) 으로 표시하였다. 경사각을 제외한 기타 조건들을 Fig. 3의 계산 시와 동일하게 유지하면서 추가적인 계산을 수행하였다. Fig. 4에서 7은 각각 경사 상향 유동 (45°), 수직 상향

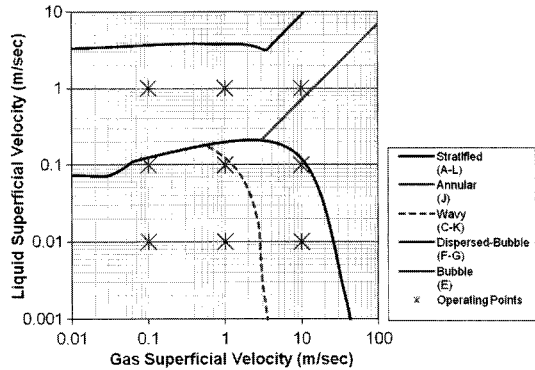


Fig. 3. Flow pattern map for horizontal two-phase flow.

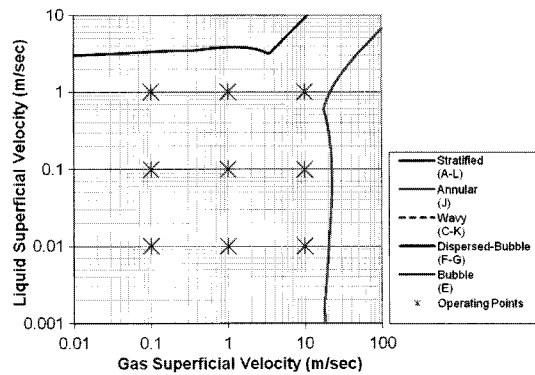


Fig. 4. Flow pattern map for upward inclined two-phase flow (+45°).

유동 (90°), 경사 하향 유동 (-45°), 수직 하향 유동 (-90°) 에 대한 유동패턴도이다. 경사각에 따라 유동패턴도의 형상을 결정하는 전이 경계의 위치가 크게 변함을 알 수 있다.

Table 2는 각 유동패턴도로부터 얻은 유동패턴을 운

Table 1. Parameters used in the generation of flow pattern map

fluid	liquid density (ρ_L)	400/600/ 800 /1,000/1,200 kg/m ³
	liquid viscosity (μ_L)	0.001 kg/m·sec
	gas density (ρ_G)	1/2/3/4/5 kg/m ³
	gas viscosity (μ_G)	1×10 ⁻⁵ kg/m·sec
	surface tension (σ)	0.075 N/m
pipe	diameter	0.05/0.075/ 0.1 /0.25/0.5 m
	inclination angle	-90°, -45°, 0° , 45°, 90°
	absolute roughness	4×10 ⁻⁵ m
operation	liquid superficial velocity (v_{SL})	0.01/0.1/1 m/sec
	gas superficial velocity (v_{SG})	0.1/1/10 m/sec

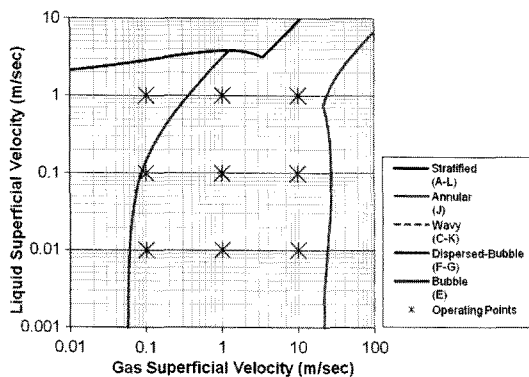


Fig. 5. Flow pattern map for upward vertical two-phase flow (+90°).

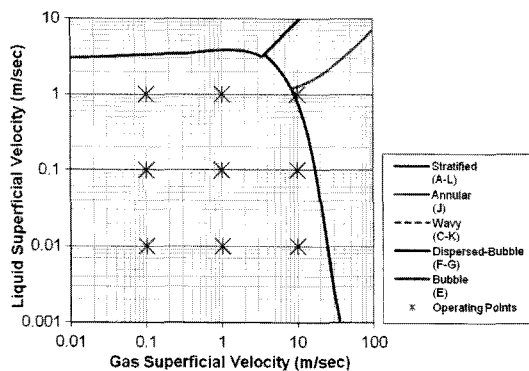


Fig. 6. Flow pattern map for downward vertical two-phase flow (-45°).

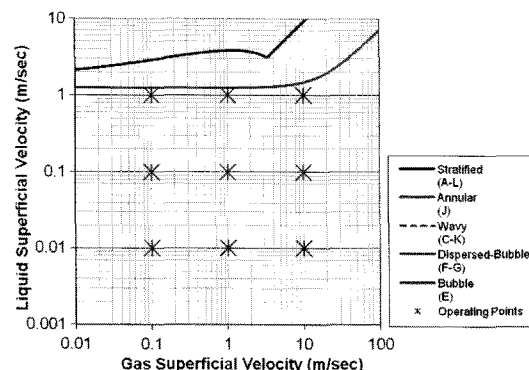


Fig. 7. Flow pattern map for downward vertical two-phase flow -90°.

영지점으로 표시된 9개의 기액 겹보기 속도 조합의 함수로 요약한 것이다. 수평유동 시에는 액체 겹보기 속도 v_{sL} 이 작을 때 기체 겹보기 속도가 작으면 층상평활 유동, 크면 층상파형유동이 주로 발생한다. v_{sL} 이 커짐

Table 2. Effects of inclination angle and superficial velocities on the flow regime

v_{sG} (m/sec)	v_{sL} (m/sec)	inclination angle (°)				
		0	45	90	-45	-90
0.1	0.01	SS	SL	SL	SW	A
0.1	0.1	SS	SL	SL	SW	A
0.1	1.0	SL	SL	B	SW	A
1.0	0.01	SS	SL	SL	SW	A
1.0	0.1	SS	SL	SL	SW	A
1.0	1.0	SL	SL	SL	SW	A
10.0	0.01	SW	SL	SL	SW	A
10.0	0.1	SW	SL	SL	SW	A
10.0	1.0	SL	SL	SL	A	A

SS: stratified smooth

SW: stratified wavy

SL: slug

B: bubble

A: annular

Table 3. Effects of diameter and superficial velocities on the flow regime for horizontal flow

v_{sG} (m/sec)	v_{sL} (m/sec)	diameter (m)				
		0.05	0.075	0.1	0.25	0.5
0.1	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
0.1	0.1	SL	SS	SS	SS	SS
0.1	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
1.0	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
1.0	0.1	SS	SS	SS	SS	SS
1.0	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
10.0	0.01	SW	SW	SW	SW	SW
10.0	0.1	A	A	SW	SW	SW
10.0	1.0	SL	SL	SL	SL	SL

에 따라 v_{sG} 와 무관하게 슬러그유동이 발생한다. 경사각이 커지면 (상향 유동 시) 전 영역에서 주로 슬러그 유동이 발생한다. 경사각이 작아지면 (하향 유동 시) 층상파형이 우세하게 발생하고 수직 하향 유동 시 모든 경우에 환상유동이 발생하였다.

기본 유체 물성을 적용한 수평유동 (경사각 0°)에 대하여 파이프 직경을 변화시켰을 때 나타난 유동패턴을 Table 3에 요약하였다. 파이프 직경이 작은 경우 (0.05 m 및 0.075 m) 유동패턴 간 전이 경계면의 위치 변화로 인하여 일부 운영 지점에서 약간을 변화를 보였다. 직경이 0.1 m 이상인 파이프에서는 기액 겹보기 속도와 무관하게 동일한 유동패턴을 나타냈다.

Table 4는 기본 유체 물성을 적용한 수평유동에 대하여 액체 밀도를 400 kg/m³에서 1,200 kg/m³까지 변화시켰을 때 나타난 유동패턴을 정리한 것이다. 액체

Table 4. Effects of liquid density and superficial velocities on the flow regime for horizontal flow

v_{sG} (m/sec)	v_{sL} (m/sec)	liquid density (kg/m ³)				
		400	600	800	1,000	1,200
0.1	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
0.1	0.1	SS	SS	SS	SS	SS
0.1	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
1.0	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
1.0	0.1	SS	SS	SS	SS	SS
1.0	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
10.0	0.01	SW	SW	SW	SW	SW
10.0	0.1	A	A	SW	SW	SW
10.0	1.0	A	SL	SL	SL	SL

Table 5. Effects of gas density and superficial velocities on the flow regime for horizontal flow

v_{sG} (m/sec)	v_{sL} (m/sec)	gas density (kg/m ³)				
		1	2	3	4	5
0.1	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
0.1	0.1	SL	SS	SS	SS	SS
0.1	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
1.0	0.01	SS	SS	SS	SS	SS
1.0	0.1	SS	SS	SS	SS	SW
1.0	1.0	SL	SL	SL	SL	SL
10.0	0.01	SW	SW	SW	SW	SW
10.0	0.1	SW	SW	SW	A	A
10.0	1.0	SL	SL	SL	SL	SL

밀도가 작고 기체 겉보기 속도가 큰 일부 경우 경계면의 위치 변화에 따라 층상평활유동 또는 슬러그유동 대신 환상유동이 발생한 경우를 제외하면 기액 겉보기 속도와 무관하게 동일한 유동패턴을 나타냈다.

기본 유체 물성을 적용한 수평유동에 대하여 기체 밀도를 1 kg/m³에서 5 kg/m³까지 변화시켰을 때 나타난 유동패턴을 Table 5에 정리하였다. 기체 밀도가 크고 기체 겉보기 속도가 큰 경우 환상유동이 발생하였고 기체 밀도가 작은 경우 슬러그유동의 영역이 약간 커졌다.

3. 결 론

석유 생산 시스템에서 흔히 발생하는 파이프 내 기액 동시 유동 시 유동패턴을 결정하기 위하여 역학적 모델을 사용하였다. 기액 유동율과 같은 운영 변수, 파이프 직경 및 경사각과 같은 기하 변수, 기액 밀도, 점도, 표면장력 등 2상 유체의 물리적 물성 등 다양한 설계 및 운영 시나리오를 나타내는 석유 생산 시스템

의 주요 인자들이 파이프 내 2상유동 시 유동패턴에 미치는 영향을 분석하였다. 동일한 입력 조건 하에서 파이프 경사각에 따라 층상평활, 층상파형, 슬러그, 기포, 환형 유동 등의 경계면 위치가 완전히 달라지므로 유동패턴 결정에 가장 중요한 인자로 나타났다. 수평 유동 시에는 액체 겉보기 속도가 작을 때 기체 겉보기 속도가 작으면 층상평활유동, 크면 층상파형유동이 주로 발생하고 액체 겉보기 속도가 커짐에 따라 슬러그 유동이 발생한다. 상향 유동 시 전 영역에서 주로 슬러그유동이 발생하고 하향 유동 시 층상파형이 우세하였으나 수직 하향 유동 시에는 환상유동이 발생하였다. 파이프 직경, 기액 밀도, 점도 등은 비교적 큰 영향을 미치지 않고 전이 경계면 부근의 유동을 조건에서만 일부 유동패턴의 변화를 야기하였다.

사 사

본 연구는 2010년 한국지질자원연구원의 “산유국 주요분지 잠재력 분석 및 협력기반구축” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- Barnea, D., Shoham, O. and Taitel, Y. (1982) Flow-pattern transition for downward inclined two-phase flow; horizontal to vertical, Chem. Eng. Sci., v.37, p.735-740.
- Barnea, D. (1986) Transition from annular flow and from dispersed-bubble flow-unified models for the whole range of pipe inclination, Int'l. Jour. Multiphase Flow, v.12, p.733-744.
- Brown, K. (1984) The technology of artificial lift methods, v.4, PennWell Books, Tulsa, OK, 447p.
- Hasan, A.R. and Kabir, C.S. (2002) Fluid flow and heat transfer in wellbores, Soc. Pet. Eng., Richardson, TX, 181p.
- Gomez, L.E., Shoham, O., Schmidt, Z., Chokshi, R.N., Brown, A. and Northug, T. (1999) A unified mechanistic model for steady-state two-phase flow in wellbores and pipelines, SPE 56520 paper presented at the 1999 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, TX.
- Mandhane, J.M., Gregory, G.A., and Aziz, K. (1974) Flow-pattern map for gas-liquid flow in horizontal pipes, Int'l. Jour. Multiphase Flow, v.1, p.537-554.
- Pereyra, E. and Torres, C. (2005) FLOPATN_Flow pattern prediction and plotting computer code, U. of Tulsa, Tulsa, OK.
- Petalas, N. and Aziz., K. (2000) A mechanistic model for multiphase flow in pipes, Jour. Cdn. Pet. Tech., v.39, p.43-55.
- Shoham, O. (2006) Mechanistic modeling of gas-liquid two-phase flow in pipes, Soc. Pet. Eng., Richardson,

- TX, 396p.
- Taitel, Y. and Dukler, A.E. (1976) A model for predicting flow regime transition in horizontal and near horizontal gas-liquid flow, *AIChE Jour.*, v.22, p.47-55.
- Taitel, Y., Barnea, D., and Dukler, A.E. (1980) Modeling flow pattern transition for steady upward gas-liquid flow in vertical tubes, *AIChE Jour.*, v.26, p.345-354.
- Xiao, J.J., Shoham, O. and Brill, J.P. (1990) A comprehensive mechanistic model for two-phase flow in pipelines, SPE 20631 paper presented at the 65th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, New Orleans, LA.
-
- 2010년 10월 22일 원고접수, 2011년 3월 14일 게재승인