

LNG 배관내 2상 유동에 관한 연구

이상규, 홍성호, 이중남*, 이성우*
한국가스공사 연구개발원, 삼성중공업 기전연구소*

A Study on 2-Phase Flow in the LNG Pipeline

Sanggyu Lee, Seong-Ho Hong, Joong Nam Lee*, Sung Woo Lee*
Kogas R&D Center, Research Institute of Machinery & Electrotechnology (SHI)*

1. 서론

기상과 액상이 공존하는 흐름, 즉 기액 2상유동 (two-phase flow)은 일상에서 자주 보는 현상이다. 액체의 비등(boiling)이라 함은, 일정한 압력에서 액체에 열을 가하면 액체가 끓어 기체로 바뀌는 현상으로, 액체와 기체가 공존하는 한, 더 많은 열을 가해도 더 이상의 온도 변화가 없는 현상이다. 즉 물질이 일정한 압력하에서 포화상태로 존재하는 한, 더 이상의 온도증가가 없으므로 이를 열역학적 평형상태라 하고 포화액이 포화증기로 바뀌는 과정에서 두 상이 국부적 열평형 (local thermal equilibrium)을 이루며 공존하게 되는 것을 2상 상태 (2-phase state)라고 부른다. 그리고 이러한 2상 상태에서 배관을 통해 흐르는 과정을 2상 유동 (2-phase flow)이라 한다.

이러한 2상유동은 기체와 액체의 비율에 따라서 여러가지 유동양식을 갖는다. 비등(boiling)이나 압축(compression)을 동반하는 2상류는, 많은 동력 플랜트, 공조 및 냉동장치, 보일러, 수냉각형 원자로, 각종 증발기, 증기터어빈 (steam turbine)등에 있어서 가장 중요한 과정이다.

산업 전반에 걸친 2상유동은 이러한 중요성으로 인해, 많은 연구자들이 다년간 실험을 병행한 연구를 활발히 진행하여, 비교적 많은 현상들에 대해 실체가 명확해 졌지만, 현상의 복잡성이나 특이성 때문에 2상유동의 유동 기구 (mechanism)나 전열 과정에 대한 이해는 아직도 부족한 실정이다.

Baker⁽¹⁾는 최초로 수평관에 대한 2상 유동 양식을 연구하여 2상 유동 양식 선도 (diagram)를 발표하였고, Scott⁽²⁾는 Baker 선도를 부분적으로 수정하여 천이경계선에 폭을 갖는 형태로 표시한 선도를 제안하였다. 그리고 Mandhane⁽³⁾는 수평 관내의 2 성분계 2상 유동에 관한 다수의 계측 결과를 총합하여, 두 유체의 물성치 효과는 비교적 적다는 것을 바탕으로, 유동 양식에 가장 큰 영향을 미치는 걸보기 유속에 의한 유동양식 선도를 제시하였다.

한편, Lockhart 와 Martinelli는 대기압 하에서의 각종 공기-액계 단열 2상류에 대한 측정 결과를 기초로 하여, 2상류에 대한 마찰손실 (friction loss)과 보이드율 (void fraction)을 예측하는 실험적 방법을 연구하여 발표하였다.⁽⁴⁾ 이 방법은 2상류 마찰손실 구배(gradient)를, 전유량중 액상 성분만이 혹은 기상 성분만이 단상(one phase)류로 흐른다고 가정할 때의 마찰손실구배에 대한 비로써 나타내었고, 관내의 2상류 압력손실계산의 기초가 되었다. 그리고 Martinelli와 Nelson⁽⁵⁾은 위의 L-M처리 방법을 확장하여 관길이 방향으로 균일한 가열을 받는 증발관의 마찰손실에 대한 계산방법을 제시하였다.

또한 Thom⁽⁶⁾은, 수직 관내의 상향류에 대하여 물의 강제유동 비등계의 압력손실을, 광범위한 실험결과로부터 간단히 추정하는 방법 등을 제시하였다. 한편, 본 연구에서는 액화 천연가스 (LNG; Liquefied Natural Gas)의 운송중 배관내에 생성되는 2상류를 대상모델로 하여, 조성 및 운송조건에 따른 유동을 파악하고, 최소한의 운전손실로 최적의 LNG 배관망을 구축하는 배관설

계를 위하여, 각종 손실계산 방식들을 이용한 2상 유동상의 압력손실에 대한 정량적 계산 수행 및 결과비교를 통해 계산모델을 정립한 다음, 최적 배관망 설계자료의 도출을 위한 전용프로그램을 구현하고자 하는데 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 2상 유동에서의 압력손실 계산

2.1.1 2상 유동의 종류

2상 유동은 기체나 액체의 질량 유량, 유동속도, 관벽면의 가열 여부에 따라 여러가지의 유동 형태를 이룬다. 이러한 유동 상태를 파악하거나, 해석모델을 설정하기 위하여, 유동형태를 몇 가지의 유동양식(flow pattern)으로 구분할 수 있으며, Fig.1 및 Fig.2에 각각의 구분된 유동양식의 종류와 흐름에 따른 변화과정을 그림으로 나타내었다. 특히, Fig.1은 2상유동의 발달에 따른 내부 유체의 열전달계수에 대한 변화 과정을 보여주고 있다.

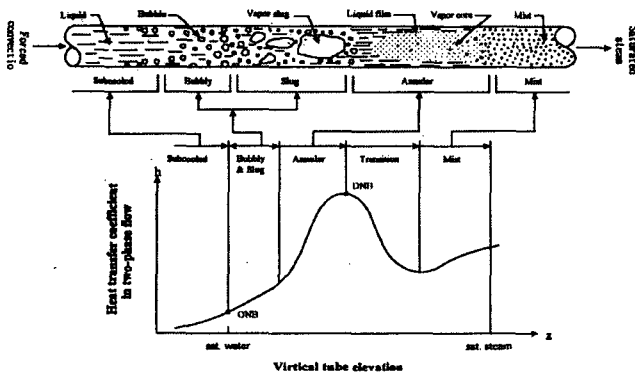


Fig. 1 Variation of heat transfer coefficient in terms of flow regimes in a pipe

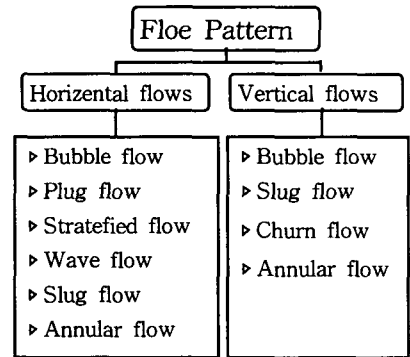


Fig. 2 The flow pattern of 2-phase flow

2.1.2 2상 유동의 세가지 특성

LNG관대로 흐르는 2상 유동은 외부로부터의 완벽한 절연(adiabatic)상태를 유지하지 않는 한 지속적인 열의 유입 또는 방출 현상을 만들게 된다. 이와 같은 상태에서 내부의 2상류는 다음과 같은 세 가지의 흐름 특성을 가지게 된다.

- 1) bubble의 수와 크기가 지속적으로 증가하므로 void가 일정하지 않고 계속 증가하며, 이로 인해 2상유동은 항상 개발중(developing)이다.
- 2) bubble과 annular flow regime의 얇은 액체막 내부에서 새로운 bubble들이 형성(nonhomogeneous) 되고 있다.
- 3) subcooling의 정도가 비교적 높은 경우, 즉 액체의 온도가 포화온도보다 낮을 경우에도 경계 층 내에서는 bubble들이 형성(nonequilibrium)된다.

즉, 유입열에 의해 초기에 생성된 bubble들은 2상류 흐름에 의해 지속적으로 혼합되어 주류(main stream)에 합류되므로, bubble의 생성과 분포는 위치에 따라 불균일(nonhomogeneity)성을 보인다. 또한, 생성된 bubble로 인해 void는 증가하게 되고, 따라서 흐르는 유체의 조성(composition)은 항상 변하게 된다. 그러므로 2상 유동은 완전히 개발된 흐름(fully developed flow)이 될 수 없으며, 또한 열역학적 평형상태를 유지할 수 없다. 따라서 결론적으로 2상 유동, 특히 외부로부터 유입열을 받는 가열형 2상 유동은 밀도 변화, 보이드 분포, 속도 분포 등에서

많은 불규칙성을 가진다는 것을 알 수 있다.

2.1.3 2상 유동의 압력강하

2상 유동에서의 압력 강하 (pressure drop)는 다음과 같은 강하 기구 (drop mechanism)에 의해 총합되어 이루어진다.

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_g + \Delta P_o$$

즉, 압력 강하는 마찰(friction), 가속(acceleration), 그리고 중력(gravity)에 의해서 주로 야기되며, 또한 흐름도중에 거치게 되는 각종 배관요소들에 의해서도 발생된다.

일반적으로 통용되는 2상 유동에서의 압력 강하량을 계산하는 모델의 종류는 다음과 같다.

- ◇ Homogeneous method
- ◇ Lockhart-Martinelli method
- ◇ Martinelli-Nelson method
- ◇ Thom method
- ◇ HTFS method
- ◇ HTRI method
- ◇ B-coefficient method
- ◇ C-coefficient method

상기의 모델들은 유동유량, 유동유체의 종류, 및 기타 유동 조건들에 따라 적절히 사용돼야 하며, Table 1에 이들 중 대표적인 6가지 모델에 대한 계산특성을 비교하여 나타내었다.

Table 1 The characteristics of calculation model of pressure drop for 2-phase flow

Model	Lockhart-Martinelli	Martinelli-Nelson	Thom	Baroczy	HTFS	HTRI
Condition	대기압 근처의 수평유동	Steam-water	Steam-water (P>17bar)	All liquid	All liquid	All liquid
Flowrate (Kg/m ² s)	350 ≥	350 ≥	150 - 2000	300 - 4000	10 - 3160	350 ≥
Charact.	저압 배관용 일반적 사용	L-M모델보완 (고압 배관)	수직상향의 강제 대류	질량 속도 고려	계산 간단	유동형식별 수식차별화
Accuracy	low	low	medium	medium	medium	high

그리고, 이들 모델에 대한 운동마찰 압력강하 계산의 지배 방정식들을 다음과 같이 요약할 수 있다.

a. Lockhart-Martinelli method

L-M 방법을 이용하여 마찰 손실압력을 구하려면, 먼저 2상 마찰승수(friction multipliers)를 구해야 한다. 2상 마찰승수는 2상 마찰 압력손실의 단상 마찰 압력손실에 대한 비율로서 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_{FL}^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (1)$$

여기서 C는 유동 유형에 따라 결정되는 계수이며

Table 2 Values of C-coefficient

유동형태 (액체/기체)	난류/난류	난류/층류	층류/난류	층류/층류
C 계수	21	12	10	5

Table 2에 유동별 값을 나타내었고, X는 L-M 계수로서 다음과 같이 주어진다.

$$X = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta Z}\right)_L / \left(\frac{\Delta P}{\Delta Z}\right)_G} = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.9} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G}\right)^{0.1} \quad (2)$$

여기서 x는 mass fraction이고, ρ 는 밀도, 그리고 μ 는 점성계수(viscosity)이다. 다음에 단상유동에서의 마찰 손실을 구한다.

$$f_L = 0.046 \left(\frac{G_L D}{\mu_L}\right)^{-0.2}, \text{ 여기서 } G_L = G(1-x) \quad (3)$$

그러면 단상에 대한 압력 강하 ΔP_L 은,

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta z}\right)_L = \frac{2f_L G_L^2}{D\rho_L g} \quad (4)$$

따라서 최종적으로 2상 유동 마찰 압력손실 ΔP_F 는 다음과 같이 위 식(4)에 2상 마찰승수를 곱해서 구한다.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_F = \left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_L \Phi_{FL}^2 \quad (5)$$

b. Baroczy method

이 방법을 통해 마찰 손실압력을 구하려면 먼저 단상 유동에 대한 레이놀즈(Reynolds)수를 구해야한다.

$$Re_{FLO} = \frac{UD}{\nu_L} \quad (6)$$

그리고 위의 식에서 구해진 값으로부터 단상 마찰손실 계수를 구하면,

$$f_{LO} = 0.079(Re_{FLO})^{-0.25} \quad (7)$$

가 된다. 따라서 단상 유동에서의 마찰 손실값은

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta z}\right)_{FLO} = \frac{2f_{FLO} G^2}{D\rho_L g} \quad (8)$$

여기서 2상 마찰 승수를 찾기 위해서 다음 식으로 물성값(physical property) Γ 을 구한다. 즉,

$$\frac{1}{\Gamma^2} = \left(\frac{\mu_L}{\mu_G}\right)^{0.2} \frac{\nu_L}{\nu_G} \quad (9)$$

그리고 구한 물성값을 이용하여 참고문헌에 제시된 마찰 승수 그래프와 수정 계수 C_G 그래프⁽⁷⁾에 mapping 시켜 이들 값을 선정한 다음, 최종적으로 2상유동의 압력손실을 구한다.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_F = \left(\frac{\Delta P}{\Delta z}\right)_{FLO} \Phi_{FLO}^2 C_G \quad (10)$$

c. HTRI method

이 방법은 2상 유동의 마찰 손실 계산에서 가장 보편적인 방법으로서 HTRI(Heat Transfer Research Inc.)에서 개발되어 특히, 보일러의 열교환기 설계에 일반적으로 쓰이고 있다.

먼저 기상과 액상에 대한 각각의 레이놀즈수를 구한다.

$$Re_L = \frac{U_L D}{\nu_L}, \quad Re_G = \frac{U_G D}{\nu_G} \quad (11)$$

다음, 각각의 경우에 대해 마찰 계수 f 를 구한다

HTRI 방법에서는 다음의 Churchill 식과 Moody 선도를 이용하여 구한다.

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{A+B} \right]^{\frac{1}{12}} \quad (12)$$

여기서 A와 B는 각각,

$$A = \left[2.457 \ln \left(\frac{1}{(7/Re)^{0.9} + 0.27 \varepsilon / D} \right) \right]^{16} \quad (13)$$

$$B = \left[\frac{37530}{Re} \right]^{16}, \quad \text{여기서 } \frac{\varepsilon}{D} \text{ 는 } \textit{toughness} \quad (14)$$

이다. 다음은 유동 양식을 판별하기 위하여 void fraction α 와 중력과 전단력비인 계수 C_{gt}^2 를 구한다.

$$\alpha = \frac{1}{\frac{x}{1-x} \frac{\rho_L}{\rho_G} + 1} + 1 \quad (15)$$

$$C_{gt}^2 = \frac{D}{G^2} \left[g \rho_G (\rho_L - \rho_G) \left(\frac{1-x}{x} \right) \right] \quad (16)$$

위의 계수들로부터 유동 양식을 판별하고, 판별된 유동 양식에 따라 C 계수를 구한다. 단, 대부분의 경우 유동 종류는 bubble flow, slug flow, annular flow 등이며 따라서 이들 flow에 대한 C 계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$C = 4.66 \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.175} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0.25} \left(1 - \frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{1.5} \quad (17)$$

계산된 C 계수를 M-N 2상 마찰승수 식(1)에 대입하여 2상 마찰승수 ϕ_{FL}^2 을 구한 다음, 최종 마찰압력 손실을 구한다. 즉,

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta z} \right)_F = \frac{2f_L G_L^2 \nu_L}{gD} \phi_{FL}^2 \quad (18)$$

d. 배관 요소에서의 압력강하 수식

배관계를 구성함에 있어 배관외에 2상유동 압력손실을 고려해야 될 부분이 배관요소들이다. 이들 배관요소들은 각종 밸브(valve) 및 밴드(bend), 오리피스(orifice), 그리고 확대/축소관(diffuser/reducer) 등으로 이뤄져 있으며, 유동이 이들을 통과할때 생기는 압력강하량이 매우 큰 만큼, 배관계 설계시 반드시 고려되어야 할 사항이다.

다음은 이들 중 대표적인 5가지의 요소 들에 대한 2상 유동 압력강하량을 계산하는 지배식들을 나열하였다.

1) 관의 확대(diffuser)

$$-\Delta P_{TP} = \frac{G^2}{\rho_L \sigma} \left[1 - \frac{1}{\sigma} \right] \Phi_{FLO}^2, \text{ 여기서 } \sigma = \frac{A_2}{A_1} \quad (19)$$

2) 관의 축소(reducer)

$$-\Delta P_{TP} = \frac{G^2}{2\rho_L} \left[1 - \frac{1.41}{\sigma^2} \right] \Phi_{FLO}^2 \quad (20)$$

3) Bend

$$-\Delta P_{TP} = 4f_{LO} \frac{l_e G^2}{D \rho_L} \Phi_{FLO}^2 \quad (21)$$

4) Valve

$$-\Delta P_{TP} = \Delta P_{LO} \Phi_{FLO}^2 \quad (22)$$

5) Orifice

$$-\Delta P_{TP} = \frac{G^2}{2\rho_L} \left[\frac{1.64}{\sigma} - 1 \right] \Phi_{FLO}^2 \quad (23)$$

2.2 LNG배관 설계 프로그램의 개발

2.2.1 프로그램 개요

인화성이 강한 LNG는 초저온(-162℃)의 액체 상태에서 저장 및 운송된다. 특히 산업 현장은 물론 가정에서도 사용 빈도가 급진적으로 증가 추세에 있는 LNG는 높은 인화성으로 인한 운용상의 많은 위험요소들을 내포하고 있어, 선진 외국사들을 중심으로 안정성 확보차원의 운용기술을 다년간에 걸쳐 연구 및 실용기술을 개발해왔다. 그러나 LNG의 수송 과정 중 극저온, 고압, 및 2상 유동의 극한 상황으로 인한 여러현상들을 명확히 규명하여 안전한 배관시스템을 구현할 수 있는 Total 배관 열유동설계 프로그램의 개발은 아직도 답보상태를 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 상기의 전술된 2상 유동에 관한 각 계산 자료들을 바탕으로 배관 설계에 필요한 모든 정보 및 자료를 입력한 다음, 최적의 배관계를 구성할 수 있는 설계자료 도출을 위한 전용프로그램을 개발한다는 데 있다.

2.2.2 프로그램 기본구조 및 계산 순서

본 프로그램의 구성은, 크게 main solver부, data bank부, I/O display부로 구분된다. Solver에서는 생성가스(BOG: Boil-Off Gas)의 계산루틴, 2상유동 압력강하 계산루틴 등을 지원하게 되며, data bank에서는 LNG에 대한 각종 물성 지원, 배관 요소별 마찰계수, 및 기타 계산수행을 위한 각종 물성자료 등을 지원하게 된다. 마지막으로 I/O display부에서는 배관설계시의 초기 입력조건 및 경계조건 등을 입력할 수 있으며, 계산결과에 대한 display기능 및 여타 code와의 결과 호환 기능도 수행하게 된다.

본 개발 프로그램에서의 계산 순서는 먼저 LNG생산지별로 달리하는 물성치를 계산하기 위해 분자 조성별 mole 분율(weight %)을 입력하여 LNG전체에 대한 평균 밀도 및 평균 점도를 계산한다. 이어서, 초기 유속 및 유량에 따른 유동 양식 (flow pattern)을 계산한 다음, 보냉구조 (insulation structure)에 따른 배관 내부로의 segment별 입열량을 계산한다. 계산된 입열량을 통해 유동상의 2상유동 특성인 mass fraction, void fraction등을 계산하여 손실 마찰을 계산하고, 각종 요소 손실 등과 합산하여 최종 압력 손실값을 도출해 낸다.

3. 결과 고찰

위에 열거한 일반적으로 사용되는 2상유동에서의 압력강하량 계산방법의 결과를 비교하기 위하여, 3가지 배관 형태에 대하여 각각의 방법을 적용하여 보았다. 3가지 배관 형태의 조건은 Table 3와 같다.

Table 3 방법론들의 비교를 위해 예제로 사용된 배관 및 흐름 조건들

구 분	직경 (m)	관길이 (km)	가스유량 (kg/s)	액체유량 (kg/s)	가스밀도 (kg/m ³)	액체밀도 (kg/m ³)	가스점도 (kg/ms)	액체점도 (kg/ms)
A	0.1	3.4	1.066	0.381	57.0	599	0.012x10 ⁻³	0.136x10 ⁻³
B	0.01	0.1	0.0907	0.126	14.3	819	0.016x10 ⁻³	0.117x10 ⁻³
C	0.08	1.2	0.016	0.109	1.95	469	0.044x10 ⁻³	0.14x10 ⁻³

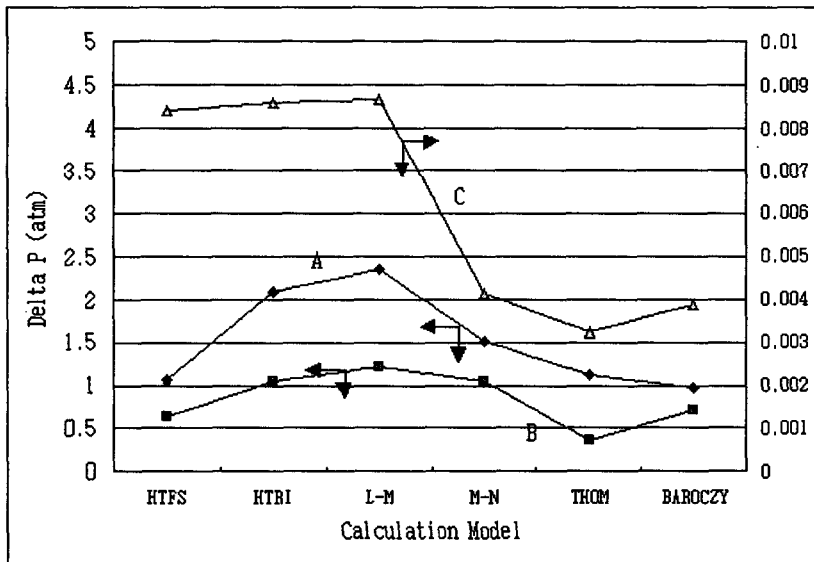


Fig. 3 대표적 압력 강하량 계산식 6가지에 대한 계산 결과 비교

2상유동에서의 대표적 압력 강하량 계산식인 6가지에 대하여 Table 3에 나타난 A, B, C의 경우에 대하여 압력 강하량을 계산한 프로그램 결과를 Fig.3에 나타내었다. 그림에서 C의 압력강하량만을 오른쪽 y축에 대한 값으로 표시하였다. 그림에서 나타나듯이 각각의 방법들은 각기 일률적인 특징을 가지고 있으며, 구축된 프로그램으로 LNG의 실제 data에 이러한 특성을 고려하여 적용할 수 있는 기반을 마련하였다.

4. 결론

본 연구는, 2상 유동에 관한 발생구조 및 발달과정을 면밀히 분석하고, LNG의 운송과정에 대한 안정성 확보차원의 배관 설계를 위한 전용 프로그램의 개발에 응용하여, 최적의 배관설계조건

의 계산을 위한 Tool의 구현이 목적이다. 따라서 본 연구를 통해:

- 가. 2상 유동에 대한 발생기구의 규명과 억제 조건 등을 상세히 파악할 수 있었고;
 - 나. 2상 유동의 계산 모델 및 각종 유동계수 등에 대한 보다 정확한 수식을 정립할 수 있었으며;
 - 다. 유동 모델별 비교 계산을 통해 개발된 프로그램의 정확성과 오차범위를 논할 수 있었다.
- 향후 과제로는 LNG data에 대한 지속적인 비교검증을 통하여 최적의 LNG 2상 유동 분석을 할 수 있는 계산 프로그램을 구현하는 것이다.

참고문헌

1. Baker, O. Simultaneous flow of oil and gas, Oil Gas J., 53, 185-190. (1954)
2. Scott, D.S. Properties of concurrent-gas-liquid flow, Advances in Chemical Engineering, 4. Academic Press, New York, 200 (1963)
3. Mandhane, J.M., Gregory, G. A., & Aziz, K. A Flow pattern map for gas-liquid flow in horizontal pipes, Int. J. Multiphase Flow 1-4 537-554, (1974)
4. Lockhart, R. W. & Martinelli, R.C. Proposed correlation of data for isothermal two-phase two-component flow in pipes, Chem. Eng. Prog. 45-1, 39-48, (1945)
5. Martinelli, R.C. & Nelson, D.B. Prediction of pressure drop during forced-circulation boiling of water, Trans. ASME, 70, 695-702, (1948)
6. Thom, J.R. S. Prediction of pressure drop during forced circulation boiling of water, Int. J. Heat Mass Transfer, 7, 709-724 (1964)
7. Baroczy, C.J. A Systemic correlation for two-phase pressure drop, Chemical Engineering Prog. Symp. Ser. 62-64 (1966)
8. White, E.T. & Beardmore, R.H. The velocity of rise of single cylindrical air bubbles through liquids contained in vertical tubes Chem. Eng. Science, 17, 351-361 (1962)
9. Martin, R. Measurement of the local void fraction at high pressure in a heating channel, Nuclear Science & Eng'ing, 48, 125-138, (1972)
10. Donald L. Katz, Robert L. Lee, Natural gas engineering, Production & storage McGraw Hill publishing company (1990)
11. Frank M. White, Fluid mechanics, Mc Graw-Hill publishing company 3rd ed.(1994)
12. Frank P. Incropera, & David P. Dewitt, Introduction to heat transfer, John Wiley & Sons (1990)
13. Havens, J.A. et al., Evaluation of 3-D Hydrodynamic Computer Models for Prediction of LNG Vapor Dispersion in the Atmosphere, Gas Research Institute GRI -87-0173 (1990)
14. Ted, A. Williams, High Expansion Form for LNG Mitigation, GRI-90/0003(1990)

4. LNG의 수출기지와 인수기지

LNG 수출국/수입국 현황

10⁹m³(N/y) Bottom Figures : Actual Traded Volumes in 1997

Top Figures : Contractual LNG Quantities as known in 1997

Importing Country / Exporting Country	Belgium	France	Italy	Spain	Turkey	Japan	United States	Korea (R.O.K)	Taiwan	Total
Aleria	(4.5) 3.9	(10.0) 6.5	- -	(3.0) 4.9	(2.0) 1.1		(1.2-4.5) 0.5			(20.7-24.0) 16.9
Libya				(2.0) 1.4						(2.0) 1.4
United States						(1.5) 1.7				(1.5) 1.7
Brunei						(6.9) 6.8		(0.9) 0.9		(7.8) 7.7
Abu Dhabi	(Sport) 0.1	(Sport) 0.8		(Sport) 0.4		(5.4) 4.9				(5.4) 6.2
Indonesia						(22.8) 21.8		(6.1) 6.3	(1.9) 2.8	(30.8) 30.9
Malaysia						(12.1) 10.1		(3.2) 1.5	(2.8) 0.8	(18.1) 12.4
Australia				(0.3) 0.3	(0.2) 0.2	(9.2) 8.3		(0.1) 0.1		(9.8) 8.9
Total	(4.5) 4.0	(10.0) 7.3	- -	(5.3) 7.0	(2.2) 1.3	(57.9) 53.6	(1.2-4.5) 0.5	(10.3) 8.8(*)	(4.7) 3.6	(99.1-99.4) 86.1

(*) 0.6 BCM are SPOT CARGO

5. LNG PROJECT 형성조건

- 대단위 가스전, 즉 5~7TCF의 매장량에 15~20년 공급가능한 저가의 대단위 가스전이여야 하고,
- 입출하설비와 LNG선의 입출항등에 적합한 입지조건을 갖추고 있어야 하며,
- LNG 구매자로부터의 확약, 특히 총생산량의 대량 구매자로부터 확약이 있어야 함.
- LNG 사업은 상업적 협상과 구매자와 판매자의 계약이 매우 경직하며, 종종계약시에 판매자에 입장에서는 "Take or Pay"를 구매자에 입장에서는 "Deliver or pay"를 주장하게됨.
- LNG 사업이 열매를 맺기 위해서는 8~10년 소요됨.
 - 기본계획/타당성 조사
 - 구매자/판매자/금융지원자 및 대정부의 상업적 계약
 - 최종설계/입찰/기자재구매
 - 공장/기간시설/배관/생산설비/운반선/수출입기지 등
- LNG 사업은 높은 가격, 장기사업기간, 강도 높은 위험성 때문에 구매자와 동등하게 개발자와 금융지원자가 공동으로 사업을 추진하게됨.
- LNG 사업은 이상의 특수성 때문에 추정치에 의한 예산을 집행하게 되고, 대외비의 요인들이 많기 때문에 판매자의 특수집단이 건설·운전·수송·기술지원(설계·안전·신뢰성 등)을 하게됨.