原 著 論 文

パイプの直径の減少の垂直 2 相流への影響についての研究*

田中正三**・赤井宣士***・佐藤 博**

(昭和49年 4 月15日受理)

The Study on the Effect of Decrease of Pipe
Diameter in Vertical Two Phase Flow

By

Shozo TANAKA, Nobuhito AKAI and Hiroshi SATO

Abstract: Calcium or paraffin deposition causes the decrease of tubing diameter. It is one of the problems in many oil fields that the increase of pressure drop is resulted from the decrease of tubing diameter. The effects of presence of smaller diameter section in a tubing string in two phase vertical flow were studied. The measurements were carried out at atmospheric pressure using air as gas and water as liquid. The vertical flow strings used in the experimental works were consisted of the about 5-m-long and 2.5-cm in diameter main section and the smaller diameter section placed in the middle part of main section (shown in Fig. 1). The smaller size pipes were long between 2-cm and 50-cm and 0.52cm in diameter. From the results of the tests, the correlation was developed. The pressure drop in smaller size section is able to be calculated by using Eq. (5) and Eq. (6) with Fig. 7. The pressure drop is expressed in terms of the pipe length, liquid flow rate and gas liquid ratio.

1. 緒 言

Poettmann Carpenter¹⁾ とが垂直 2 相流の実用的な計算方法を提案してより、この方面の研究は非常な発展をとげ、最近では Beggs²⁾ らが傾斜したパイプ内の 2 相流についての研究成果を発表している。最近では採油井において起り得る現象に対応して垂直 2 相流の研究が進められている。本研究において取り上げられた問題は、ロウ分などの付着により起るチュービングの径の減少に伴なう、垂直 2 相流の圧力損失の増加の問題である。坑井内の流体の流動の際の圧力損失は、チュービングの径の減少により大きくなるため、坑底圧が増大し産油量の減少を来す。ロウ分等の付着による圧力損失の問題についての研究はほとんど見当らない。本研究は実験室の規模で実施され、径の変化の範囲も狭いものであるが、今後この方面の研究の第 1 歩となるものと考えている。

2. 実験装置と実験方法

本研究ではガス体として空気が、液体として水が用いられた。実験装置の略図を図 1 に示す。コンプレッサー

図 1 実験装置の略図

* 文部省科学研究費による研究

** 秋田大学教授

*** 秋田大学大学院学生 (現在三菱石油開発K. K. 勤務)

**** 秋田大学大学院学生 (現在秋田大学助手)

よりの圧縮空気はオリフィスを通りリフトパイプに入る。水はポンプより流量調節装置を通り、リフトパイプに入り、空気とともにパイプ内を上昇する。水の流量は台ばかりで測定された。

リフトパイプの内径は2.50 cm, その全長は径の小さいパイプの長さによって異なるが約5 mである。リフトパイプ上に配置した圧力測定点は20ヵ所で、圧力は水を満したビニールパイプ内を導かれて、圧力変換器を通して抵抗線歪測定器に伝えられ、これに接続した記録計に記録される。圧力変換器は共和電業製のPG-500型、容量 0.5 kg/cm^2 を、抵抗線歪測定器は共和電業製のDPM-AT型を、記録計は日立製QPD 74型を用いた。

径の小さいパイプは内径0.52 cmのものをうい、その長さを2 cm, 18 cm, 34 cmおよび50 cmの4通りに変えて実験を行なった。水の流量の範囲は $0.5\text{ l/min} \sim 2.0\text{ l/min}$, 空気の流量の範囲は約 $20\text{ l/min} \sim 50\text{ l/min}$ の範囲であった。

本研究ではなお径の小さいパイプの長さを一定とし、内径を0.52 cm, 0.99 cm および1.51 cm に変えて、径のサイズの影響を調べるための実験を行なった。この実験結果からは実験式の誘導は行なわれなかったが、径のサイズの影響の大きさは示された。

3. 実験結果

径の小さいパイプ部分における圧力低下は、リフトパイプ上の各測定点からの圧力をグラフに画いて求められた。径の小さいパイプの内径が0.52 cm, 長さが2.0 cmの場合の水の流量が 2.0 l/min , 空気の流量がそれぞれ 24.0 l/min と 34.5 l/min の時の実験データを図2と図3に示す。

図2および図3に見られるように、径の小さい部分において大きな圧力低下が起る。パイプの長さが、それぞれ2.0 cmと34.0 cmの場合の圧力低下と空気の流量の関係を図4と図5に示した。

図2 リフトパイプ内の圧力変化 (空気の流量= 24.0 l/min の場合)

図3 リフトパイプ内の圧力変化 (空気の流量= 34.5 l/min)

図4 圧力低下と空気の流れとの関係（径の小さいパイプの長さ=2.0cmの場合）

図5 圧力低下と空気の流れとの関係（径の小さいパイプの長さ=34.0cm）

4. 実験式の誘導

図6は径の小さいパイプの長さを横軸にとり、縦軸に圧力低下（水柱 cm）をとったものである。この図は水の流量が0.5 l/min、空気の流量がそれぞれ20, 25, 30, 35および40 l/minの場合の関係を示したものである。この図は図4および図5などから読みとりプロットしたものである。図より圧力の低下は径の小さいパイプの長さの2次式で表わされることが知れる。

また図4や図5より、圧力低下は空気の流量の1次の

図6 径の小さいパイプの長さとの関係（水の流量=0.5 l/minの場合）

関係にあることが知れるので、圧力低下は次のように兩者を加えたものにより表わし得ると仮定した。

$$\Delta P = al^2 + bl + cq_a + d \quad (1)$$

この式で、

ΔP = 圧力低下, 水柱 cm

l = 径の小さいパイプの長さ, cm

q_a = 空気の流量 (大気圧, 室温の下での体積),

l/min

a, b, c および d = 実験定数

しかしこの式は実験の範囲全体にわたり、実験データと一致しなかったので、式(1)に次のような項を加えた。

$$\Delta P = al^2 + bl + cq_a + d + (hl + k)(mq_a + n) \quad (2)$$

この式で、

h, k, m および n = 実験定数

この式を整理すると次のようになる。

$$\Delta P = al^2 + (b + hn + hmRq_w)l + (c + km)Rq_w + (d + kn) \quad (3)$$

この式で、

R = ガス液比

q_w = 水の流量, l/min

いま、

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= a \\ f_2 &= b + hn + hmRq_w \\ f_3 &= (c + km)Rq_w + (d + kn) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

とすると、

$$\Delta P = f_1 l^2 + f_2 l + f_3 \quad (5)$$

本実験ではパイプの径は一定であり、流体として水と空気を用いたので、流体の粘性や表面張力は一定であるから、 f_1, f_2 および f_3 は水の流量のみの関数として考えられる。実験データより f_1, f_2 および f_3 は次のように水の流量の関数として表わせた。

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= -0.030 q_w^2 + 0.072 q_w + 0.011 \\ f_2 &= F_1 R - F_2 \\ f_3 &= F_3 R - F_4 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$F_1 = 0.1240 q_w^3 - 0.2654 q_w^2 + 0.2250 q_w$$

$$F_2 = 2.450 q_w^2 - 5.267 q_w + 4.481$$

$$F_3 = 5.115 q_w^2 + 6354 q_w$$

$$F_4 = 37 q_w^2 + 130$$

式(6)の f_1 , F_1 , F_2 , F_3 および F_4 を水の流量の関数として示したものが図7である。これより水の液量およびガス液比が分かれば、容易に径の小くなったパイプにおける圧力低下を求めることができる。

図 7-1 q_w と f_1 の関係

図 7-2 q_w と F_1 の関係

図 7-3 q_w と F_2 の関係

図 7-4 q_w と F_3 の関係

図 7-5 q_w と F_4 の関係

5. パイプの径の縮小・拡大による圧力低下

図6において各曲線と縦軸との交点は、パイプの径の縮小・拡大による損失と考えられる。図6およびそれと同様のグラフより求めた、パイプの径の縮小・拡大による圧力低下を、ガス液比に対してプロットしたグラフが図8である。図よりパイプの径の縮小・拡大による圧力低下は、水の流量とガス液比の関数であることが示され

図 8 パイプの径の拡大と縮小による圧力低下とガス液比の関係

る。またガス液比に対して直線的関係にあることが知れる。

図9にパイプの径の縮小・拡大による圧力低下と全圧力低下の比を示した。これによると、水の流量が2.0 l/min、パイプの長さが18 cm の場合は、他の場合と違っ

図 9 径の拡大と縮小による圧力低下と全圧力低下の比

た傾向を示すが、しかしこの場合を含めてパイプの径の縮小・拡大による圧力低下は、かなり大きいことが知れる。

なお式(5)の右辺の第3項は、このパイプの径の縮小・拡大による圧力低下を示すものである。

6. 径の小さいパイプのサイズが圧力低下に及ぼす影響

径の小さいパイプの長さを 34cm にして、その内径の

サイズを 0.52cm, 0.99cm, 1.51cm に変えて実験を行ない、径の小さいパイプの内径のサイズが圧力低下に及ぼす影響を調べた。どの場合もリフトパイプの内径は 2.50cm, 水の流量は 0.5l/min であった。この実験結果を図10に示す。この実験結果によれば、径の小さいパイプの内径のサイズは、圧力低下にきわめて大きい影響を持つことが知れる。また一方パイプの径が半分程度つまっても、圧力低下にはほとんど影響のないことも示された。

図10 内径のサイズが変化した場合の圧力低下とガス液比の関係

7. 結 論

本研究は実験室的規模のものであるが、パイプの径の減少により起る圧力低下について、比較的簡単な圧力低下を計算できる実験式が得られたことは、今後のこの問題の研究に十分貢献できる結果を得たことと考えている。

本研究には昭和47年度文部省科学研究費を使用しましたことを付記します。

参 考 文 献

- 1) Poettmann, F.H. and Carpenter, P.G., 1952, The Multiphase Flow of Gas, Oil and Water Through Vertical Flow Strings with Application to the Design of Gas-Lift Installations, Drill. and Prod. Prac., API, pp.257~278.
- 2) Beggs, H.D. and Brill, J.P., 1973, A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes JPT, May, pp.607~617.