精密な成分比をもつ混合ガスの製法[†]

大 沢 敏 彦*

On a Method of Preparing of the Gas Mixture with Precise Composition

Toshihiko OHSAWA*

A new method is presented for preparing a gas mixture with precise composition and greatly changing its consumption.

This method is distinguished from conventional methods in the following aspects. A new technique was adopted in order to achieve precise control over the constituents of the gas mixture. A new 'constant differential pressure control method' is used for keeping the flow quantity under control. And a widely used surge absorber is employed to provide a continuous supply in accordance with changes in consumption.

The components of the gas mixture are completely mixed in the piping by a new type of mixer. They are described in detail.

The experimental results show that the maximum dispersion of the composition in a three-component system is less than 1%.

The difference between the data of the analysis is less than the inherent scatter of the analysis of a laboratory gas chromatograph.

These results show that the flow control system and the line mixer are entirely satisfactory.

1. 緒 論

正確な成分比を有する混合ガスの需要は、少量のものではガス分析計の基準ガスから、燃焼器の検定などに用いるテスト用ガスなどのように、1時間当たり何 m^3 あるいは何 10m^3 といった大量でかつ連続使用のものなど、最近各方面で、手軽で安価な供給が求められている。

たとえば、最近公布された改正ガス事業法は、家庭用ガス器具の安全確保のために検査を一層厳密にすることが求められ、器具の燃焼テストを標準的ガスによ

る検査に合わせて、当該ガスの限界性状ガスによる検査も義務づけた。このため、器具製造業者あるいは公的検査機関では、数十種類の成分比の異なる、相当厳密に成分比のコントロールされた混合ガスを相当多量にかつ連続的に供給する必要が生じた。

この問題の背景には、混合ガスの種類が多いだけでなく、検査業務の特殊性からその消費量が時間的に相当変動する。極端な状態では、その消費量は $0.2\text{m}^3/\text{h}$ 程度から数 $10\text{m}^3/\text{h}$ まで変動する可能性を有しており、この変動する需要に見合うように流量を調節しながら成分比を一定に保って供給することは容易ではない。

さらに、この問題は、それぞれ流量制御された成分ガスを使用端までの輸送途上で完全に混合することも含まれている。静置された密度の異なる成分ガスから成る混合ガスが完全に均質になるには、数日から数10日を要することはよく知られているところである。

通常、このような混合ガスを製造するには、つぎの2とおりの方法が考えられる。第1の方法は、各成分ガスをたとえば容積式流量計のようなもので、規定量づつ計量して1つのガス貯槽に送入して、これを攪拌調整する方法である。この方法は、混合ガスを連続して使用するような場合には、それぞれの混合ガスに対して使用時の貯槽と調整用の貯槽の2つの貯槽を用意しなければならない。成分を分析計で点検しながら調整すると、1回の調整に3~4時間を要し、したがって、貯槽の大きさも混合ガスの1時間当たり使用量の数倍の容積のものを用意しなければならない。これが、混合ガスの種類が多くなれば膨大なものになってしまう。

つぎに考えられる方法は、通常の流量制御方式による連続混合である。この場合、混合ガスの使用量が、たとえば $0.2\text{m}^3/\text{h}$ から数 $10\text{m}^3/\text{h}$ までのように大幅に変動するときには、比率制御を伴った流量制御に高い精度を期待することはむずかしい。

このような高精度の成分比をもつ、多種類の混合ガ

[†] 応用物理学関係連合講演会で1部発表(昭46・4)

* 東京農工大学工学部 小金井市中町 2-24-16

* Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei

(Received February 3, 1973)

スを同時に連続して製造する新しい流量制御方式¹⁾とライン混合方式について検討を行なったので、報告する。

この方式は、つぎの3つの主要な部分から成り立っている。

- (1) 絞り弁と定差圧による流量制御
- (2) オンオフ制御のためのサージアブソーバー
- (3) ライン中で完全混合のためのミキサー

である。

混合ガスの各成分ガス流量を一定値に保つために、絞り弁とその上・下流側圧力を一定に保つ制御方式¹⁾を用いた。ガスに限らず、流体が絞り機構を通過するときには、流体の性状が一定であれば、流量 Q と圧力降下 ΔP は

$$Q = k\sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

と関係づけられて、 k は流体の性状ならびに絞り機構の形状に関係する定数である。このことは、絞り弁とその上・下流側圧力調節弁で適当な ΔP を作り出せば、確実に一定流量を実現することができるであろう。

もちろん、これは定流量制御であるから、混合ガスを一定に保ちな消費量に応じて、各成分ガスの比率から流量を変化させる代わりに、定流量をパルス状に流して、平均流量が消費量に見合うようにすればよい。そこで、当然のことながら適当なサージアブソーバーが必要になる。流量制御に比べて圧力制御は一般にかなり応答時間が短かいので、オンオフに伴う過渡時の誤差は比較的小さいと期待されるが、動作頻度との関連でその成分比への影響については検討されなければならない。

Fig. 1 のブロック図は、新しい方法の概略を示す。

原料ガスは、それぞれ $3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 程度の圧力で恒温槽に入る。恒温槽では、必要な精度の範囲で一定の温度にガス温を保った。つぎに各成分ガスは、サージアブソーバーからの信号でオンオフされる電磁弁 ECV を通り、圧力調節弁 PCV₁ に入る。PCV₁ は、絞り弁上流側圧力を一定に保つものである。絞り弁開度は面積式流量計を見ながら設定する。絞り弁下流側は PCV₂ により一定圧力に保持される。PCV₂

を出たガスは、同様に制御された他の成分ガスとともにラインミキサーで完全に混合されて、使用端に送られる。変化する使用量に応じて成分ガスの流れをオンオフするためにサージアブソーバー V_s がある。PCV₂ はミキサーのあとに置いてもよい。

本方式による混合ガス製造の基本になる流量制御方式とライン混合方式について、以下の2章、3章において述べる。

2. 定差圧式流量制御

2.1 制御方式の概要

ガスに限らず、流体が絞りを通過するときの圧力損失 ΔP は、次式で示される²⁾。

$$\Delta P = \frac{\rho V^2}{2g} \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2 + \kappa \frac{\rho}{2g} V^2 \quad (2)$$

A_1, A_2 ; 管と絞り部の断面積

V ; 管内流速

κ ; 絞りの形と流体の粘性に依存する定数

ρ ; 流体の密度

g ; 重力加速度

圧力 P における流体流量 Q_P は

Fig. 1 Block diagram of the system

Fig. 2 Characteristic of the valve (PCV₁) for inlet pressure change. for single operation, — for double operation.

$$Q_P = V A_1 \quad (3)$$

したがって、 Q_P と ΔP にたいして次式が得られる。

$$\Delta P = \frac{\rho}{2g} Q_P^2 \left\{ \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right)^2 + \kappa \frac{1}{A_1^2} \right\} \quad (4)$$

$$Q_P = \sqrt{\frac{2g}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right)^2 + \kappa \frac{1}{A_1^2}}} \cdot \sqrt{\Delta P} \\ = k \sqrt{\Delta P} \quad (5)$$

ただし、 $\Delta P = P_1 - P_2$

P_1, P_2 : 絞りの前後の圧力

この関係から、流体の性状が一定であり絞りの開口部を一定に保てば、絞り部を通過する流体流量は、その上・下流側圧力の差 ΔP があまり大きくない範囲内では ΔP に一義的に依存することがわかる。したがって流量を一定値に保つという目的は、上・下流圧力を一定に保つという方法に変換される。

一般に、流量制御に比べて圧力制御は比較的容易に行なえて精度もよい。

(5) 式の関係から、圧力制御における精度の流量の精度への影響はつぎのように導びかれる³⁾。

$$\Delta Q = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial P_1} \right)^2 \delta P_1^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial P_2} \right)^2 \delta P_2^2} \\ \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\delta P}{P_1 - P_2} = \frac{\delta P}{\Delta P} \quad (6)$$

ただし、圧力 P_1, P_2 の誤差は $\delta P_1 \approx \delta P_2 \approx \delta P$ とする。

このことは、流量 Q のパーセント誤差は、絞りの上下の圧力の誤差 $\delta P_1, \delta P_2$ がほぼ等しいとすると、 P_1 あるいは P_2 の誤差の ΔP に対する割合いと等しいことを示している。

また、比較的純度の高い原料ガスを用いるとき、ガ

スの性状が一定であれば絞り部の形状係数 κ は一定と考えてよいので、付着物などによる開口部面積や形状が変わらない限り誤差の原因にはならない。

2.2 自力式調圧弁による圧力制御

2.2.1 調圧弁の動特性

提案された流量制御方式に用いる圧力制御弁には、構造が簡単で、安価な自力式調圧弁を用いる。自力式調圧弁は古くからいろいろの方面に用いられていながら、その特性とくに動特性についての研究は、1.2 の例^{5,6)}を除いてほとんど見当たらない。最近、森永により、興味深い報告⁵⁾がある。森永はダイヤフラムとスプリングによる空気減圧弁の動特性、とくに流量変動に対する動特性改善の方針を提案し、その有用性を強調している。

さらに、今われわれの考えている流量制御方式に用いる調圧弁に要求される特性の一番大切な特性は、調圧弁一般に要求される流量特性ではない。大切な特性は、調圧弁の出口あるいは入口圧力変動に対する制御圧特性である。森永によれば、自力式調圧弁の設定圧力 P_r 、供給圧力 P 、および流量変化 ΔQ のステップ応答に対する定常偏差 δ は

$$\delta = \frac{k - K_2 S_3}{k - K_2(S_1 - S_3)} \cdot \Delta P_r - \frac{k K_4 - K_2 S_2}{k + K_2(S_1 - S_3)} \cdot \Delta P_s \\ + \frac{k K_3}{k + K_2(S_1 - S_3)} \cdot \Delta Q \quad (7)$$

である。

(7) 式から明らかなように、オフセットは流量変化 ΔQ に対してはゼロにすることはできないが、設定圧力ならびに供給圧力の変化に対しては、 S_2, S_3 、すなわち弁座面積とかバランスダイヤフラムの面積をうまく設計すれば、オフセットをゼロにすることができる。

調圧弁の過渡応答を決めるのは、ダイヤフラムに制御圧が作用するための、充圧時定数 T_2 と固有振動 ω_n などであるが、これらはいずれも小さくて、全体として過渡時間はかなり小さいことが期待される。

2.2.2 制御系の特性実験

新方式による流量制御の特性について調べるために、モデルプロセスを構成した。測定には、高圧ポンプの N_2 ガスをレギュレータで 4 kg/cm^2 まで減圧し、約 200 l の Tank に入れて用いた。電磁弁は系の過渡応答を見るために手でオンオフして用いた。調圧弁は、 G_1 (愛知時計 C-20-N)、 G_2

Fig. 3 Characteristic of the valve (PCV₂) for outlet pressure change.
..... for single operation, — for double operation.

(同 C-20-Z) を直列にして、絞り上流側圧力制御弁 PCV₁ とし、G₃ (同 A-25-Z)、G₄ (同 A-20-Z) を直列にして絞り下流側圧力制御弁 PCV₂ とした。面積式流量計は市販のもの (OMEGA-SM) を用い、流量の較正は検定済みの湿式ガスメーター (品川 WS-33, 200 e/REV) を用いた。このガスメーター誤差は最大 0.1% である。G₁, G₂, および G₃, G₄ の中間には、大気放出弁を設けてそれぞれ単独のテストもできるようにした。圧力は単管マノメーター (品川 Type MS-C-2500) で 1 mmH₂O まで読取る。過渡特性の圧力は、ストレンゲージを用いた圧力トランスミッター (KYOWA-PG-2000) を用いて観測し、流量は 5 ミクロンの白金ホットワイヤーによる熱線風速計で観測した。配管は 1^B のガス管を用い、PCV₁ と絞り弁および PCV₂ の間はそれぞれ 1 m 程度である。各部の温度は 0.1°C まで読取れる水銀温度計を用いたが、とくに恒温装置を用いていない。

2.2.3 結果

(i) 調圧弁の圧力特性

1 次圧を変化させたときの調圧弁 2 次圧変化を観測した。Fig. 3 は、絞りの上流側の圧力を調整する調圧弁の圧力特性の一例であり、点線は C-20-N Type の調圧弁単独の場合 1 次圧 3.0 kg/cm², 2 次圧 3,000 mmH₂O の場合に、1 次圧を 3 kg/cm² のまわりに 1 kg/cm² 変動させたとき 2 次圧に ± 50 mmH₂O の変動を見た。この程度の 2 次圧変動は通常のカバーサービスには問題にならないが、われわれの問題とする制御には無視できない大きさである。1 次圧変動に対する 2 次圧変動、すなわち (7) 式における ΔP_2 に対するオフセットは、バルブシートおよびバランスダイヤフラムの受圧面積を調整することによりゼロにすることができる。改良カバーを直列にした場合、Fig. 2 に示す実線は 1 次圧 ± 1 kg/cm² の変動に対して 2 次圧変化 ± 4 mmH₂O 程度という良好な結果を得た。

つぎに、絞りの下流側の圧力を調整するのに用いる調圧弁の 2 次圧変動に対する 1 次側圧力特性を Fig. 3 に示す。2 次圧が 0~1,500 mmH₂O 変化したとき、1 次側圧力はわずか 1 mmH₂O というよい結果が得られた。

(ii) 調圧弁の過渡特性

ステップ状の 1 次圧力変動に対する 2 次圧の応答を、ストレンゲージを用いた圧力トランスミッターにより観測した。Fig. 4 (a) は、1 次側圧力 3 kg/cm² のステップ状入力があったときの絞り弁上流側圧力制御弁 PCV₁ の出口圧力が 0 mmH₂O からの立上がりを示す。この場合、絞り弁の下流側は大気に開放して

Fig. 4 (a) Step response of the PCV₁ at the condition of $P_2=3$ kg/cm², $P_1=2,000$ mm-H₂O, $P_0=\text{atm.}$, flow rate=75 l/min.

(b) Step response of the PCV₂ at the condition of $P_2=3$ kg/cm², $P_1=2,862$ mm-H₂O, $P_0=1,996$ mmH₂O, $P_0=\text{atm.}$

あって、PCV₁ だけの特性を示していると考えてよい。立上がり時間は 0.2 sec 程度でオーバーシュート量が 15~20% 見られ、2 次圧にわずかなハンティングが見られる。その周期は 28 c/s 程度で、スプリング常数と可動部重量から計算した固有振動数 ω_n とよく一致している。

Fig. 4 (b) は、絞りの下流側圧力制御弁 PCV₂ の圧力 P_2 のステップ状変動に対する過渡応答を示す。この場合、絞り弁上流圧は PCV₁ によって 2,800 mmH₂O に制御しているので、この応答は Fig. 4 (a) の応答も含んだ応答と考えられるが、わずかに立上がり時間が長くなっているが PCV₁ のそれとほぼ同じ程度である。

(iii) 流量の過渡応答

前項の結果は、流量を調節する絞り弁の上下流圧力の制御弁の過渡応答を観測した。これがガス流自体の過渡状態を反映しているか否かを確認するために、5 ミクロンの白金線を用いた熱線風速計により管内流速の過渡状態における変化を観測した。Fig. 5 はその結果の一例で、過渡状態は圧力よりやや長く 0.5 sec 程度続いている。なお、電磁弁を開いた直後の流速の負の方向へのふれは、熱線風速計の原理からはあり得ないことであるが、断熱圧縮波のためであろう。また、それに引続く高いピークは、流量を変えてテストしてもあまり高さは変わらない。このオーバーシュート量を概算すると、絶対量で 0.1 l 程度で、この量は多分配管太さと長さに関係する量で PCV₁ と PCV₂ の間

Fig. 5 Step response of the gas flow at condition of P_2 -3 kg/cm², P_4 -2,840 mmH₂O, P_5 -2,200 mmH₂O, flow rate-50 l/min.

CONTROLLED GAS

Fig. 6 Characteristic of the long time stability of the system

の配管内圧力を 0 から設定圧力 (2,000 mmH₂O) まで充圧するに要する量に相当すると考えられる。

(iv) 長時間安定性と再現性

圧力制御弁に用いている自力式の調圧弁は、スプリングとダイヤフラムによる直動式調圧弁であるので、

Table 1 Data of the gaschromatograph analysis for the same sample. The date show the stability of the gas chromatograph analysis.

Run No.	N ₂ %	H ₂ %	C ₂ H ₄ %	Total %
1	43.35	50.08	6.57	100
2	43.62	49.77	6.61	100
3	43.51	49.54	6.95	100
4	42.80	50.49	6.71	100
5	43.59	49.47	6.67	100
6	43.53	49.74	6.73	100
7	43.63	49.45	6.92	100
8	42.88	50.23	6.89	100
$\bar{X}$	43.36	49.89	6.75	100
σ	0.310	0.358	0.135	

とくにダイヤフラムやスプリングの特性が変わらない限り制御圧は変わらない。構造上のいくつかの改良を施こした改良型の調圧弁を用いるとき、その長時間安定性はよい。数 10 分あるいは数時間連続して流した場合に、圧力のペンレコーダーからの読取った結果は ± 2 mmH₂O 程度のゆっくりした周期的変化が認められる。これは、 ± 1 mmH₂O 程度のストレインゲージ用プリアンプのドリフトと空気圧のゆらぎを考慮すれば、変化はないものと考えられる。

また、オン・オフを繰返して操作したときの、絞りの上・下流側定力の再現性も ± 2 mmH₂O 程度の範囲内にあり、差圧を 1,000 mmH₂O 程度にとるとき、それぞれ 0.1% 程度の誤差原因にとどまっている。

3. 多成分ガスのライン混合

3.1 概要

成分ガスの管内流れに伴う混合については、多くの基礎的研究がある^{7)~9)}。しかしその多くは、1 次元モデルを用いており、とくに流れの軸方向の混合について多くなされていて、乱流を伴わない場合の半径方向の混合についての実験的研究は少ない。拡散だけを考慮した半径方向の拡散係数は、流体の性質にもよるがかなり小さく、完全な混合に相当長い管路が必要とされている⁷⁾。

一方、不完全な混合のまま貯槽に入ると、容易に完全な混合は得られないことは経験的に知られている。

そこでわれわれは、完全な混合を短時間のうちに実現するため、積極的に乱流を簡単な装置で作り出すラ

Table 2 Data of the gaschromatograph analysis for the gas mixture. Sampled at the different point in the same vessel during continuous operation.

Sampl point	N ₂ %	H ₂ %	C ₂ H ₄ %	Total %
near up	52.00	40.25	7.75	100
wall mid.	51.91	39.88	8.08	100
bottom	51.85	39.83	8.32	100
center up	51.79	39.80	8.41	100
mid.	51.84	39.84	8.32	100
bottom	51.66	39.76	8.58	100
$\bar{X}$	51.84	39.89	8.24	
σ	0.104	0.163	0.250	

Table 3 Data of the gaschromatograph analysis for the gas mixture Sampled at the different time in the same vessel at the inlet and outlet valve closed.

Sampl Time	N ₂ %	H ₂ %	C ₃ H ₈ %	Total %
0	57.81	33.08	9.11	100
5	57.92	33.11	8.97	100
10	57.30	33.27	9.43	100
30	57.14	33.84	9.02	100
60	57.98	33.24	8.78	100
$\bar{X}$	57.63	33.31	9.06	100
σ	0.31	0.33	0.21	

イン混合器を試作し、その性能について検討した。

ラインミキサーの基本的原理は、流体の流れは急激な拡がりや絞りにより乱流を作る。この拡がりや絞り、さらには壁面衝突の繰返しで、乱流を積極的に作り、混合を完全に行なわせようとするものである。流れの式から、1回の急な角度をもつ拡がりや絞りによって生ずる圧力損失は、(2)式で与えられる。 k は、0.4~0.5程度で形状に関する定数である。今、流速を10 m/s程度に取り、ふくらみの断面積比を1:4程度にしたとき、(2)式により窒素ガスに対する ΔP を計算すると、 $\rho=1.22 \text{ kg/m}^3$ 、 $k=0.5$ として $\Delta P=0.6 \text{ g/cm}^2$ 程度になる。このような素子を10個ほど直列にして用いたとき、 ΔP は数10 mmH₂O程度である。

このラインミキサーを用いてどの程度完全に混合できるか、モデルを作り、混合状態の観測を行なった。

3.2 3成分混合系における分析結果

試作したライン混合素子10個を直列に使用し、

Fig. 6に示すようなプロセスを作り、ガスクロマトグラフによる分析を行なった。それぞれの成分ガスは、前章でのべた方法により、定流量に制御されている。

Table 1は、ガスクロマトグラフの分析精度を確認するために、同一人により同一試料を繰返し分析した結果である。分析試料はガス採集ビンで行なっている。

Table 2は、定常状態においてミキサー出口に置かれた、約200 lのタンク内の点(×点の位置)6点から同時に採取した試料についての分析結果である。

もし、この結果に有意な差があれば、混合が十分行なわれていないため、空間的に成分のばらつきをもっていることを示すはずである。

Table 3は、定常状態に達したのち、タンクの出入口を閉じてタンク中央部から、時間をおいて採取した試料についての分析結果で、もし成分に空間的なばらつきがあるならば、時間とともにこの値は変化するはずである。

これらの結果は、いずれもガスクロマトグラフの分析値のバラツキの範囲内で同一の値を示し、この結果で見るとライン混合は、ほぼ完全に行なわれているといえることを示す。

3.3 シュリーレンによる混合状態の観測

ガス分析で見ると混合は完全に行なわれている。この流れの中での混合状態を目視で確認するために、比重の大きく異なる2成分混合系において混合状態の確認を行なった。

密度の異なる2つのガス、都市ガス($\rho=0.62$)、ブタン($\rho=2.10$)の混合において混合が完全に行なわれていなければ、密度の分布によるシュリーレン像が

Table 4 Data of the gaschromatograph analysis for the gas mixture in actual plant. Sampled at the each 15 minute.

Sample No.	H ₂	C ₃ H ₈	N ₂	Sp. Grav.	Calori. Value	Wobbe No.
1	48.9	16.8	34.3	0.626	5582	7057
2	49.1	16.3	34.6	0.622	5467	6931
3	48.8	16.6	34.6	0.626	5530	6989
4	49.1	16.5	34.4	0.623	5520	6990
5	48.5	16.2	35.3	0.626	5425	6956
6	49.1	16.4	34.5	0.622	5493	6964
7	49.3	16.6	34.1	0.621	5542	7032
8	48.6	16.7	34.7	0.629	5546	6994
9	49.2	16.5	34.3	0.622	5520	6999
10	49.0	16.3	34.7	0.623	5464	6925
$\bar{X}$	49.0	16.5	34.5	0.624	5509	6984
σ	0.24	0.18	0.19	0.025	46	39

(a) Just start the heating. $T=0^{\circ}\text{C}$ (e) After 11 min. $\Delta T=3.5^{\circ}\text{C}$ (b) After 3 min. $\Delta T=0.3^{\circ}\text{C}$ (f) After 21 min. $\Delta T=1.0^{\circ}\text{C}$ (c) After 5 min. $\Delta T=0.6^{\circ}\text{C}$ (g) After 24 min. $\Delta T=0.5^{\circ}\text{C}$ (d) After 8 min. $\Delta T=2.5^{\circ}\text{C}$ (heating stop)

Photo. 1 Illustration of the Schlieren Patterens with measured temperature difference

観測できるはずである。

観測に先だって、シュリーレン像による密度の分布の分別能力のようなものを知るために、つぎのような実験を行なった。

アルミ板の一端を加熱すると、アルミ板の近傍の空気もまた加熱されて上昇気流を作る。その際、周囲の冷たい空気と混合しながら上昇するため、その近傍に密度分布のある流れを生ずる。アルミ板表面の温度から密度差が推定できるので、シュリーレンによって乱流中の密度分布の識別能のようなものの限界が知れるはずである。

今、加熱点から 30 cm 離れたアルミ板上 1.0 mm の点の温度差とシュリーレン像の写真を Photo. 1 (a)~(g)に示す。

加熱開始直後温度差 0 では、当然のことであるがゆらぎは認められない。このことはまたつぎに認められるゆらぎが加熱のためのバーナーの燃焼ガスによるゆらぎでないことを示している。次第に温度差が大きくなり、最大 3.5°C のとき加熱を停止した。その後次第に板の温度が下がり、20 分程度で室温とはほぼ等しくなった。温度は感度のよいドリフトの小さい熱電対温度計により 0.1°C まで読取った。

写真からもわかるように、温度差 0.3°C で、すでにシュリーレン像ははっきり認められて、このことは、板上 1 mm の温度が暖気流の温度を示すものとすれば、よく調整されたシュリーレン像によれば温度差で 0.3°C 密度差にすれば 1/1,000 程度まで 2 つの気体の不完全混合をシュリーレン像により識別できることを示している。もっとも、その光学的原理からしてシュリーレン像は、密度差の空間的微分値、変化強度を示すはずであるから、厳密に、空間にある 1/1,000 程度の密度差を示しているとはいえないことはいうまでもない。

Photo. 2 は、単一ガス流を流したときの像で、当然のことながら変化は認められない。

Photo. 3 は、混合器内流速を 10 cm/sec に保って都市ガス 43%、ブタンガス 57% の混合比で流したときの像で、第 3 素子を通過する頃には、すでに変化は認められない。この様子は、混合比を変えても大きな変化は認められない。

4. 実際のプラントでの実績

本方法による混合装置は、通産省指定検査機関である日本ガス機器検査協会の東京・名古屋・大阪の 3 検査所に 15 基設置され、それぞれ 3-4 成分ガスを 30 種類余製造し、実際の検定検査業務にサービスしてい

Photo. 2 Schlieren pattern of the simple gas flow

Photo. 3 Schlieren pattern of the mixing gas flow contained 43% town gas and 57% Butane gas

る。

その装置概要は、各基総流量 70 m³/H、N₂、H₂、C₃H₈、C₄H₁₀、CH₄などの純ガスを入口側圧力 2,800 mmH₂O 出口圧力 1,800 mmH₂O (ΔP 1,000 mmH₂O) に制御し、サービス端供給圧 500 mmH₂O で約 1 年間経過したが、結果はきわめて好調で所期の精度を維持している。Table 4 は実際のプラントで同一種のガスを時間をおいて採取した分析結果の一例で、法規で定められている Wobbe 指数で誤差 2% 以下の基準を下回る結果を示している。

5. む す び

以上種々の実験、ならびに実際のプラントにおける実績の示すように、多成分混合ガスの製造のために提唱された新しい方法は、流量制御を圧力制御に変換して行なう成分ガス流量制御方式と適当なサージアップソーバー、消費量に応じて製造を断続するオンオフ制御、ならびに完全な混合を行なうためのラインミキサーからなっており、成分ガスの流量制御においては、

オン状態がある程度(本テストでは20秒)以上続くようにサージアブソーバーを設計するならば、オンオフによる過渡状態における誤差も含めて1%以下の誤差で制御でき、さらに、制御された各成分ガスはラインミキサーでガスクロマトグラフによる精密な分析においても区別がつかない程度まで、完全な混合が行なわれて使用端に送られることが確認された。

提唱された新しい方法は、各要素ともきわめて簡単な構造のものばかりで、かつそれほど高価でない上に、操作も簡単で、設置面積もわずかですむので実用化された場合の経済効果は大きく、広い分野で有益であることが期待できる。

以上報告を終えるにあたり、本研究は東京大学工学部磯部孝教授のよき忠告を得て行なったことをとくに記し、厚く感謝の意を表する。なお本研究は、財団法人日本ガス機器検査協会の支持により行なわれたこと

を付記する。

参 考 文 献

- 1) 大沢：昭和46年応物連合講演会予稿集
- 2) S. J. PEERLESS: Basic Fluid Mechanics, p.207, PEGAMON PRESS (1967)
- 3) 真島磯部：計測法概論、(コロナ社)
- 4) 工業計測技術大系：流量 下, p.67, 日刊工業新聞社 (1961年)
- 5) 森永：空気減圧弁の動特性, 計測自動制御学会論文集, 6-1 68/73 (1970)
- 6) R. N. Barkly: Fine Control of Gas and Liquid with Reducing valve THE ENGINEER, 27, p.36 (1969)
- 7) O. Levenspiel: Chemical Reaction Engineering, p.309, Johnwiley (1962)
- 8) P. V. Danckwerts: The Effect of Incomplete Mixing on Homogeneous Reactions, Chemical Eng. Sci. 8, 93 (1958)
- 9) L. J. Tichacek et al: Axial Mixing in pipes, AIChE, Journal, 3, 439 (1957)