いただいた 東京大学 西脇仁一教授に厚く感謝の意を表わすとともに、実験の遂行に関し具体的な援助をいただいた 萩 三二氏、日本ラヂエーター会社、本研究の議論に加わって下さった 平田賢氏ほか西脇研究室の

諸兄に厚くお礼申しあげる。

さらにこの論文をまとめるにあたり、種々の便宜を供していただいた 日立製作所中央研究所 只野文哉部長に深く感謝の意を表する次第である。

621.434.036

石油機関吸込管内における気化増進と混合気温度上昇*

喜多野 晴一**, 河 合 彊**

Increase of Vaporization of Fuel Oil and Temperature Rise of Mixture in the Suction Pipe of Kerosene Engine

by Seiichi KITANO and Tsutomu KAWAI

The relation between the increase of vaporization of gas oil and the temperature rise of mixture in the suction pipe has been studied under several conditions of preheating of the fuel oil or intake-air respectively.

In the experiment a model horizontal suction pipe and a blower were used.

From the results of this and past experiments, it has been ascertained that mixture heating is best, the fuel oil heating is second best and the air heating is worst, to obtain more vaporization of fuel oil and less temperature rise of mixture in the suction pipe.

1. ま え が き

従来筆者は気化器の後の吸込管内に生成される混合気を外部から加熱して、これが吸込管内の燃料油の気化状態および混合気の温度上昇にいかなる影響を与えるかを、石油機関を目標として種々なる条件のもとに実験的に研究してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

今回は燃料油および空気が気化器に到達するまでに、それらを別個に予熱して、これらが吸込管内の気化増進にどの程度役立つか、またこの際混合気の温度上昇と管内気化率との関係はどうなるのかなどを実験的に研究した。

2. 燃料油加熱と吸込管内の気化状態

第1図はこの場合の実験装置の概要を示す。第2図は燃料油加熱装置の詳細を示すもので、加熱油そう(モビル油を入れた)3内に内径4.5mm, コイル直径130mm, 巻数26, 全管長約4mの燃料銅管を入れ、またこの油そう内に投込み式電熱器(容量1kW)を入

れて燃料油を加熱した。

燃料油の予熱温度(油温)は50, 100, 150°Cの三とおりとし、燃料油には軽油を、気化器はB形⁽⁴⁾(ベンチュリ径20mm)を用いた。

このB形気化器には絞り弁が設けてないから、実験はすべて絞り弁全開に相当するものである。

吸込管内の風速 v_0 は第1図に示すように気化器の前方でピトー管により測定され、11m/sと21m/sの二とおりとし、燃料供給量 G_f はできるだけ0.6g/s

1: 燃料タンク, 2: 油加熱器, 3: 気化器,
4: ピトー管, 5: S形管壁加熱器,
6: 気液分離器, 7: 風速加減わきみち弁
8: 送風機, t_0 : 流入空気温度,
 t_1 : 加熱器前混合気温度, t_2 : 加熱器後混合気温度
 t_3 : 気液分離器後混合気温度

第 1 図

* 昭和34年12月10日 関西支部第206回講演会において講演, 原稿受付 昭和35年1月21日.

** 正員, 大阪府立大学工学部(堺市百舌鳥梅町).

の一定値に保った。

燃料油の気化量は、従来どおり⁽¹⁾衝突形気液分離器(第1図6)によって混合気中の燃料油を油蒸気と液相の油とに分離し、液相の油量を測定して、その量を供給燃料油量から差引いて求めた。気化率 ϕ はこのようにしてえられた気化量の供給燃料油量に対する%である。

実験は

(1) 燃料油のみを予熱した場合

(2) 燃料油の予熱に管壁加熱を付加した場合について行なった。

2.1 燃料油のみを予熱した場合 油バーナ等で燃えにくい油を噴射する前に予熱することがよく行なわれている。これは予熱によって油の粘性を減じ、油の微粒化をよくするためと、噴射の瞬間に一部分の燃料蒸気を作り、着火および燃焼を容易にするためであろう。一般に液体を予熱した場合、微粒化特性がいかに変わるかについて、棚沢・小林両氏⁽⁴⁾が水およびエチルアルコール 50% 水溶液を使って実験しているが、予熱が微粒化にきわめて効果的なことを報告している。筆者も油の予熱による気化増進を期待したのである。

第3図は燃料油の予熱温度(油温)と吸込管内の気化率との関係を示す実験結果で、油の予熱によって気化率は増加するが、それは $v_a=11\text{ m/s}$ および $v_a=21\text{ m/s}$ いずれの場合も油温 150°C において5%くらいであって、そう著しいものではない。しかし予熱により油の粘性、表面張力が小になっているから、油の微粒化はよくなっているはずで、後述のように油の受熱量に対する気化率は非常に良好である(第11図)。

次に予熱した油が気化器のノズルから空気流中に噴

出して混合するために空気(混合気)の温度上昇が起る。これは実験的にも求められるが、次の式でその概略値を求めることができる。

G_f : 油の流量,

c_f : 油の比熱,

$\Delta t_f = t_{f1} - t_{f2}$: 油の温度降下,

G_a : 空気の流量,

c_a : 空気の比熱,

$\Delta t_a = t_{a2} - t_{a1}$: 空気の温度上昇

この間において油の蒸発および熱損失がないものとするれば

$$\Delta t_a = \left(\frac{c_f}{c_a} \right) \left(\frac{G_f}{G_a} \right) \cdot \Delta t_f \quad \dots\dots\dots (1)$$

この式によれば空気の温度上昇は燃料空気比 (G_f/G_a) の大なるほど、 Δt_f (予熱油温) の大なるほど大きくなる。

第4図は油温と混合気の温度上昇との関係を示す。

第 3 図

第 2 図

第 4 図

この実験では燃料流量 G_f を一定にしているから、 $v_a = 11 \text{ m/s}$ のとき燃料空気比が 0.046 で、 $v_a = 21 \text{ m/s}$ のときの燃料空気比 0.024 より大きくなるので、その混合気温度上昇線は上位にくる。また測定値は計算値と近い値を示している。

2.2 燃料油の予熱に管壁加熱を付加した場合 次に燃料油の予熱を行ない、それと同時に吸込管管壁加熱（混合気加熱）を行なった場合の吸込管内の気化状態を研究した。

燃料供給量 G_f は約 0.6 g/s の一定値に保ち、燃料油の温度を常温 (26°C)、 60°C 、 150°C の 3 種類とし、管内風速 $v_a = 11, 21 \text{ m/s}$ および加熱管壁温度 $t_w = 100, 150$ および 200°C の各組合せについて実験した。

第 5 図

第 5 図 (a) は風速 $v_a = 11 \text{ m/s}$ のときの実験結果で、油を全く予熱せず管壁を加熱した場合と、油を予熱して同時に管壁を加熱した場合とを比較してみると、油予熱の効果は油温 60°C のときに気化率約 2% 増し、また油温 150°C のときに約 5% 増しであって、いずれも比較的少なく、この場合も気化の大部分が管壁加熱（混合気加熱）によるものであることがわかる。第 5 図 (b) は風速 21 m/s の場合の実験結果で、風速 11 m/s の場合とよく似た結果を示している。

さて、吸込管内における気化増進とともに、それに関連して考慮すべき重要事項は混合気の温度上昇で、これをできるだけ低く保つことが必要である。これらについて調べてみると、第 6 図 (a) は風速 11 m/s の場合における混合気の温度上昇 Δt と気化率 x との関

係を表わす実験結果で、実験点 A, B, C はそれぞれの符号に対する油温の条件で管壁加熱熱量零における気化率である。図から油を予熱した場合は油を予熱しない場合よりも、同じ x に対して Δt が大になり不利である。これは油を予熱すると混合気の温度上昇が大きくなり、その割に気化率が増加しないためと考えられる。低速 ($v_a = 11 \text{ m/s}$) の場合には前述のごとく空燃比が小さいので、予熱油温が高くなると混合気の温度上昇が相当大きくなるため、 $x-\Delta t$ 曲線がかなり右方に移動することになる。

第 6 図 (b) は $v_a = 21 \text{ m/s}$ の場合における $x-\Delta t$ 曲線で、この場合も v_a

第 6 図

$=11 \text{ m/s}$ のときと同様, 油を予熱したほうが予熱しない場合より不利である。しかしこの場合は $v_a=11 \text{ m/s}$ の場合にくらべて空燃比が大きくなるので, 油の予熱温度を高くしても混合気の温度上昇が比較的少なく, 油予熱なしの曲線との開きが少なくなっている。

以上の実験により次のことが知られた。

(1) 燃料油(軽油)を予熱しても吸込管内の気化の増加はわずかである。たとえば油を 150°C に予熱した場合気化率の増加は約5%である。

(2) 燃料油を予熱した場合は吸気温度の上昇をきたす。特に予熱油温が高く, 空燃比の小なるときはそれが著しい。

(3) 燃料油予熱と管壁加熱とを併用しても, 管壁加熱だけの場合にくらべて気化率の増加はわずかである。

(4) 燃料油予熱と管壁加熱とを併用した場合は管壁加熱だけの場合にくらべて, 同じ気化率に対して混合気の温度上昇が大きくなり不利である。

3. 空気加熱と吸込管内の気化状態

気化器にはいるまでに吸込空気を予熱して, それが

吸込管内の気化状態, 混合気の温度上昇などにいかなる影響をおよぼすかを調べたものである。

実験装置は前述の燃料油加熱の場合の実験装置に気化器の前方 30 cm に空気予熱器を付加したものである。空気予熱器はその中に直径 0.65 mm , 長さ 5.22 m のニクロム線を2本並列に用いた容量 2 kW の電熱器を取付けた。

第 7 図

(a)

(b)

3.1 軽油を用いた場合

第7図は予熱空気温度 t_a 一定なる場合における燃料供給量 G_f と気化量 G_{fv} との関係を表わす実験結果で、管内風速 v_a が一定 (11 m/s) で t_a が 80, 120, 150°C の各場合において、 G_f を 0.3~0.6 g/s に変化して気化量 G_{fv} g/s を調べたものである。その結果 v_a, t_a 一定なる場合 G_f を変えても G_{fv} に大きな変化は現われない。しかし G_f の増加につれて G_{fv} はやや下りきみである。これは v_a, t_a が一定なる場合 G_f を増せば混合気の温度が低下し、その中に存在する蒸気量は減少するものと考えられるが、気化器から噴出した燃料油のうちかなりの部分が間もなく管壁に集滴し、空気中に浮遊して運ばれる燃料粒子の割合が少ないので、混合気の温度低下が比較的小になるため、気化量 G_{fv} がこの範囲の G_f によっては大きな変化を示さないであろう。

第8図 (a), (b) は空気予熱と管内気化との関係を示す実験結果で、(a) は $v_a=11$ m/s, $G_f=0.4\sim0.6$ g/s において空気温度 $t_a=22\sim145^\circ\text{C}$ の範囲に、また $v_a=21$ m/s, $G_f=0.4\sim0.5$ g/s において $t_a=21\sim97^\circ\text{C}$ の範囲に変化させた場合の予熱空気温度 t_a と気化率 x との関係を示す両対数線図である。(b) は (a) における空気温度 t_a の代りに混合気温度 t_m (第1図の t_s の温度) を取って t_m と x の関係で示したものである。これらの線図によれば x は t_a あるいは t_m の増加によって急激に増加すること、および風速 11 m/s と 21 m/s の実験結果はほぼ直線で表わされ、そのうえ互に平行することが見られる。なお、(a) (b) 両図の1, 2, 3 の記号を付けた×印はそれぞれ ($v_a=15.6$ m/s, $t_a=133^\circ\text{C}$), ($v_a=17.9$ m/s, $t_a=120^\circ\text{C}$), ($v_a=30.2$ m/s, $t_a=80^\circ\text{C}$) に対する x の測定値を表わす。これらの点を通り $v_a=11$ m/s, 21 m/s の直線に平行線を引いて、それぞれの速度における t_a と x の関係を表わすことにした。

(a), (b) 両図における直線の傾斜はほとんど等しい。

第 9 図

(a) 図によれば

$$x \propto t_a^{2.50}$$

(b) 図によれば

$$x \propto t_m^{2.64}$$

となる。また t_a あるいは t_m 一定なる場合それぞれ

$$x \propto v_a^{1.52}, \quad x \propto v_a^{1.27}$$

の関係が得られた。これによれば空気温度を高めることが風速を高めるよりも気化には有効なことがわかる。

次に、予熱した空気中に気化器ノズルからの燃料が混合する場合における空気の温度降下を2.1の油予熱のときの空気の温度上昇の計算と同じようなやり方で次のごとく求めてみた。

G_{fl} : 液状で残った燃料,

G_{fv} : 気化した燃料,

r_0 : 気化熱 (液体熱を含む),

Δt_a : 空気の温度降下

他の記号は2.1燃料油予熱のときと同様

$$\Delta t_a = [G_{fl} \cdot c_f (t_{f2} - t_{f1}) + G_{fv} \cdot r_0] / G_a \cdot c_a \quad \dots (2)$$

計算に際しては $G_{fl} = G_f - G_{fv}$ にとり、 t_{f2} には混合気温度を用い、 r_0 は 100 cal/g にとった。

第9図に混合気温度 t_m' (第1図の t_s の温度) に対する空気の温度降下 Δt_a の実験結果と計算結果を示す。これによれば t_m' と Δt_a とは直線的関係にあり、また同じ混合気温度に対しては風速が小なるほど空気の温度降下 Δt_a が大きくなっている。また実験値は計算値よりかなり大きくなっている。この差はすべて管

第 10 図

壁からの熱損失によるもので、予熱空気を使用する場合熱損失が相当に大きいことを表わしている。

第10図は吸込管内の気化増進の三つの方法、すなわち空気予熱、燃料油予熱、管壁加熱の各場合における混合気温度上昇 Δt と管内気化率 α との関係を比較したものであって、この線図によれば管壁加熱、燃料油予熱、空気予熱の順に同じ α を得るのに Δt が小さくなって有利である。

換言すれば、混合気温度を高めないで（吸気量を減らさないで）管内気化率を大にするには管壁加熱が最良、燃料油予熱が中位、空気予熱が最下位である。このことは吸込管内の気化増進法を石油機関に適用するのに最もたいせつな事項である。

次に重要なことは、外部からの一定加熱量に対して油の気化量が大なる加熱方法はどれか、ということである。この場合加熱効率が加熱装置によって異なるので、この影響を除くため、供給熱量よりも油および空気が外部から受取った正味熱量を比較の基準にとるほうがわかりやすい。

第11図は気化増進の三方法を空気および油の受熱量 Q_r と気化率 α との関係で示したもので、これから得られる気化増進の順位は気化の熱効率（外部加熱により燃料の気化に要した熱量と受熱量の比）の優劣を表わしている。

この受熱量 Q_r の求め方は、空気予熱および油予熱の場合には流量、気化器入口前の温度が実測されるので、それぞれの室温以上に保有する熱量をもってその受熱量とし、また管壁加熱の場合には、加熱装置の熱損失をあらかじめ測定しておき⁽¹⁾、供給熱量から熱損失を減じたものを受熱量とした。

図から同一風速、同一受熱量に対して、燃料油予熱

の気化率が管壁加熱に等しい ($v_a=11\text{ m/s}$) か、それよりも若干大 ($v_a=21\text{ m/s}$) で、燃料油予熱の気化効率が管壁加熱よりもわずかにばかりすぐれている。これは燃料油予熱が微粒化促進に有効な結果と考えられる。したがって気化の熱効率は燃料油予熱、管壁加熱、空気予熱の順に低くなって、第10図による順位と一部変っている。

そこで、気化増進方法の優劣は気化の熱効率（気化効率）と混合気温度上昇との両面から決定するのが妥当と考えられ、第12図はこの関係を、燃料油予熱と管壁加熱のみについて図示したもので、図から管壁加熱が最良であることがわかる。

受熱量 Q_r のうち気化に使用された熱量以外は、流動間に吸込管外への放熱損失と、混合気および吸込管内壁を流動する未気化燃料油の温度上昇とに使われる。この放熱損失熱量が同じで、かつ混合気と未気化燃料油との温度が完全に平衡しておれば、加熱方法のいかんにかかわらず同一風速、受熱量、気化率に対しては同一の混合気温度上昇となるべきである。しかるに第11図によれば、 $v_a=21\text{ m/s}$ の場合同一受熱量に対して燃料油予熱の気化率は管壁加熱のそれより大であり、しかも第10図によると混合気温度上昇も大である。これは燃料油予熱の場合予熱油の噴霧によって空気の温度上昇を助成するが、管壁加熱の場合にはその加熱方法の関係で、管壁を流動する未気化燃料油の温度が混合気の温度よりも高く、両者の温度が平衡しにくいと考えられる。

以上の実験結果および考察から気化増進方法として、管壁加熱が最適、燃料油予熱は中位、空気予熱は特に不良ということができる。

3.2 灯油を用いた場合 従来多くの場合軽油を使

第11図

第12図

用したが、空気予熱の場合軽油と比較するため、いっそう気化性にすぐれている灯油を用いて実験してみた。使用したのは白灯油で、比重 11°C で 0.799, 引火点 62.6°C で、その A. S. T. M. 蒸留曲線の初留点 183°C , 10% 点 196°C , 60% 点 213°C , 90% 点 229°C , 乾点 243°C であった。

第 13 図は空気予熱の場合における混合気温度と気化率の関係を白灯油について実験した結果で、同図には軽油使用の場合の実験結果をも付記して両者の比較を示した。同じ風速、混合気温度で白灯油の気化率は軽油のそれより 4~5 倍大きいことが見られる。

以上のことによって次のことがわかった。

(1) 予熱空気温度、管内風速が等しければ燃料供給量を変えても気化量には大差がない。

(2) 管内風速、燃料供給量が一定なれば、気化率 x は予熱空気温度に依存することが大きく、 $x \propto t_a^{2.50}$, または混合気温度を t_m で表わせば $x \propto t_m^{2.64}$ となる。

(3) 予熱空気温度、燃料供給量が一定なるとき気化率は管内風速 v_a によって影響され $x \propto v_a^{1.52}$, あるいは混合気温度を基準にとれば $x \propto v_a^{1.27}$ となる。

(4) 管壁加熱、燃料油予熱、空気予熱の吸込管内気化増進に対する三方法のうち混合気温度を高めないう管内気化率を増進するには、管壁加熱が最良、燃料油予熱が中位、空気予熱が最下位である。

(5) 燃料を気化する場合の熱効率に関する (4) に述べた気化増進の三方法の優劣は燃料油予熱がわずかに管壁加熱にまさるが、ほとんど大差なく、空気予熱のみ特に劣っている。

以上両項目を総合して考えれば、混合気温度上昇が小で、気化率を大にしうる方法は管壁加熱である。

(6) 空気を予熱して白灯油と軽油の管内気化率を比較すると、灯油に対する空気予熱効果は著しく、同じ条件で白灯油は軽油の 4~5 倍の気化率が得られる。

4. 結 び

ここ数年来筆者は石油機関の吸込管内の気化増進な

BSB 空気予熱
第 13 図

らびに混合気温度上昇などについて、燃料として主として軽油を用い、水平な吸込管を用いて、管内の燃料油および空気の流動状態ならびに加熱状態を種々さまざまに変化して実験的に研究を続けて来た。そしてこの問題に対していちおうの成果を得たものとする。

終りに臨みこの研究に終始御指導をいただいた京都大学 長尾不二夫教授に深甚なる感謝の意を表するとともに、この研究に協力された大阪府立大学機械工学科内燃機関研究室の方々および卒業生諸君に厚く感謝いたします。

文 献

- (1) 喜多野, 機械学会論文集, 22, 120 (昭 31-8), 613.
- (2) 喜多野, 機械学会論文集, 22, 124 (昭 31-12), 924.
- (3) 喜多野, 機械学会論文集, 24, 140 (昭 33-4), 262.
- (4) 棚沢, 小林, 機械学会誌, 50, 345 (昭 22-4-5), 122.