

遠心型過給機壓力比の溫度修正式に就て*

所員 栗野 誠 一

概 要

Dimensional Relation $R=f\left(\frac{GV\bar{T}}{p}, \frac{n}{T}\right)$ 及び遠心過給機内壓力上昇 Δp は回轉數 n の二乗に比例するといふ條件より、遠心過給機壓力比 R の溫度修正式として現在使用されてゐる (A) 式の代りに

$\frac{R_z-1}{R_0-1} = \frac{T_0}{T_z}, \quad \frac{R_z-1}{R_{15}-1} = \frac{288.2}{T_z}$

R_z, R_0, R_{15} は絶対溫度 $T_z, T_0, 288.2^\circ\text{K}$ (15°C) の時の壓力比

なる簡單なる形式を導出した。この式は現用式と實用範圍内では1%以内の誤差でよく一致し、又低壓縮比では現用式よりも實驗値に一致し、 $R_{15}=2.0$ 以上の高壓縮比に對しても現用式よりも合理的ではないかと考へられる。

目 次

1. 緒 言.....27
2. 新修正式の導出.....28
3. 他の公式及び實驗式との比較.....30
4. 結 言.....34
附 記 (壓力比の定義に就いて).....35

1. 緒 言

遠心型過給機は周知の如く絞弁開度一定、回轉數一定の下で單に吸入溫度のみを變化させるときは壓力比 R は吸入空氣溫度の低下と共に増大する。

この壓力比と溫度との關係式として我國及び諸外國で専ら使用されてゐるのは次式である。¹⁾

$R_z = R_0 \left\{ 1 + 0.00063 R_0^2 (t_0 - t_z) \right\} \dots\dots\dots (A)$

* 本論文の要旨は昭和14年11月11日、機械學會應用力學大會に於ける“高壓縮遠心過給機の高空性能推定法”なる論文中に於て講演せるものである。
1) J. P. Herriot; Testing Supercharged Engines, Aircraft Engng. Vol. 2, 22, 1930/12, p. 300/304.
Andrew Swan; Handbook of Aeronautics, Vol. II, p. 468/471.

R_0 ; 採入空気温度 t_0 °C の時の壓力比

R_z ; 採入空気温度 t_z °C の時の壓力比

$$R = \frac{p_a}{p_s} \quad p_s; \text{過給機前壓}, \quad p_a; \text{過給機後壓}$$

この式は地上で吸入側絞りに依り壓力のみを低下せしめ、温度は大氣温度で行ふ簡易高空性能試験結果より發動機高空性能を推定する場合、或は其他一般の高空性能推定計算に於て屢々使用する式である。而るに (A) 式は R_0 の三次式であつて、 R_0 を知りて R_z を求むることは數値計算には大した不便はないが、數式として他の數式に導入する如き場合には複雑不便である。且 (A) 式は實驗式であるらしくこの式の適用限界等にも明瞭でない。筆者は Dimensional Analysis によつて理論的にこの温度修正式に關する一型式を得、使用して見て便利であり且實用に適しさうであるので参考までに報告する。

2. 新修正式の導出

今遠心過給機に於いて最初の状態を

吸入側壓力	P_0	吸入側絕對溫度	T_0
吐出側壓力	P_{a_0}	回轉數	n_0
壓力比	$R_0 = \frac{P_{a_0}}{P_0}$		
流量	G_0		

とすれば Dimensional Relation に依り

$$\frac{P_{a_0}}{P_0} = f\left(\frac{G_0 \sqrt{T_0}}{P_0}, \frac{n_0}{\sqrt{T_0}}\right) \dots \dots \dots (1)$$

即ち壓力比は $\frac{G_0 \sqrt{T_0}}{P_0}, \frac{n_0}{\sqrt{T_0}}$ が同一であれば同一値を取ることが實驗的にも證明されてゐる。

今絞弁開度を一定として、吸入側を (P_0, T_0) の状態より (P_z, T_z) に變化したとすれば

$$\frac{P_{a_z}}{P_z} = f\left(\frac{G_z' \sqrt{T_z}}{P_z}, \frac{n_z}{\sqrt{T_z}}\right) \dots \dots \dots (2)$$

依つて今 (1) (2) より

$$\frac{G_0 \sqrt{T_0}}{P_0} = \frac{G_z' \sqrt{T_z}}{P_z} \quad \therefore G_z' = G_0 \frac{P_z}{P_0} \cdot \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T_z}} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{n_0}{\sqrt{T_0}} = \frac{n_z}{\sqrt{T_z}} \quad \therefore n_z = n_0 \frac{\sqrt{T_z}}{\sqrt{T_0}} \dots \dots \dots (4)$$

に保つときには

$$\frac{P_{a_0}}{P_0} = \frac{P_{a_z'}}{P_z} \dots \dots \dots (5)$$

2) R. S. Capon, G. V. Brooke; The Application of Dimensional Relation to Air Compressors, with Special Reference to the Variation of Performance with Inlet Conditions. R. & M. No. 1336.

3) 渡部一郎外三名. 遠心過給機の實驗 (ラトー過給機) 航研彙報172號. 昭和13年12月

となるべきである。

一方実験により⁴⁾

$$\frac{n}{\sqrt{T}} \propto \frac{G\sqrt{T}}{P} \dots\dots\dots(6)$$

$$\therefore n \propto \frac{GT}{P} \propto v \text{ (volume)} \dots\dots\dots(7)$$

即ち空気量 G は P, T 一定なれば回轉數に比例する故今 (P_z, T_z) で回轉數 n_z をもとの n_0 に戻すと考へれば

この時の空気量は ρ を空氣密度とすれば(3) (4) より

$$G_z = G_z' \cdot \frac{n_0}{n_z} = G_0 \cdot \frac{P_z}{P_0} \cdot \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T_z}} \cdot \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T_z}}$$

$$\therefore G_z = G_0 \cdot \frac{P_z}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_z} = G_0 \cdot \frac{\rho_z}{\rho_0} \dots\dots\dots(8)$$

壓力比 $\frac{P_{az}'}{P_z}$ は回轉數を n_z より n_0 に戻した爲に $\frac{P_{az}'}{P_z}$ に變化するものとすれば、壓力上昇 $\Delta P = P_a - P_0$ は n^2 に比例する故(4)を参照して

$$P_{az} - P_z = (P_{az}' - P_z) \left(\frac{n_0}{n_z} \right)^2 = (P_{az}' - P_z) \frac{T_0}{T_z} \dots\dots\dots(9)$$

$$\therefore \frac{P_{az}}{P_z} - 1 = \left(\frac{P_{az}'}{P_z} - 1 \right) \frac{T_0}{T_z}$$

(5)を参照し $R_z = \frac{R_{az}}{P_z}$ とすれば

$$\boxed{\frac{R_z - 1}{R_0 - 1} = \frac{T_0}{T_z}} \dots\dots\dots(B)$$

又は $R_z = 1 + (R_0 - 1) \frac{T_0}{T_z} \dots\dots\dots(B')$

(B) 式又は (B') 式が壓力比に對する温度修正式であつて $(R-1)$ が過給機吸入側絕對溫度に逆比例するといふ極めて簡単な結果が得られた。この (B) 式は上述の如く次の二つの條件を基礎として成立つものである。

(i) Dimensional Relation として次式が成立すること。

$$R = f\left(\frac{G\sqrt{T}}{P}, \frac{n}{T}\right)$$

(ii) 過給機内壓力上昇 $\Delta P = P_a - P_0$ は n^2 に比例すること。

若し (ii) の條件の代りに ΔP が n^{2k} に比例するとすれば (B) 式の代りに

4) 渡部一郎外三名; 遠心過給機の特性に及ぼす翼數の影響; 航研報告第159號(昭和12年12月)第79圖, 第119圖参照。

5) 過給機研究室; 遠心過給機の壓力上昇温度上昇の回轉指數並びにポリトロップ指數(B. M. W. 過給機), 航研彙報 172號, 668頁(昭和13年12月)

6) 過給機研究室; 遠心過給機の壓力上昇温度上昇の回轉指數並びにポリトロップ指數(ラター過給機) 航研彙報 173號, 8頁(昭和14年1月)

$$\frac{R_z-1}{R_0-1} = \left(\frac{T_0}{T_z}\right)^k$$

なる形で表はし得べく (B) は $k=1$ なる特別の場合である。

實用としては (B) 式で充分である様に思はれる。即ち以上を綜括するに、絞弁開度、回轉數を一定に保つた儘、單に吸入側の状態を (P_0, T_0) より (P_z, T_z) に變化したとすれば過給機を通る空氣流量は (8) 式に示す様に吸氣密度に比例して變化し、壓力比は (B) 式で示す様に壓力には無關係に絶對溫度のみの函數として變化する。

3. 他の公式及び實驗式との比較

(A) 式の外現在修正式として提案されてゐる公式には次の如きものがある。
永野氏の理論式

$$\frac{R_z}{R_{15}} = \left[\left\{ 1 - \frac{15-t_z}{288 R_{15}^{0.29}} \right\} \left\{ 1 + \frac{15-t_z}{273+t_z} \right\} \right]^{.45} \dots\dots\dots(C_1)$$

$$\frac{R_{15}}{R_z} = \left[\left\{ 1 - \frac{t_z-15}{(273+t_z) R_z^{0.29}} \right\} \left\{ 1 + \frac{t_z-15}{288} \right\} \right]^{3.45} \dots\dots\dots(C_2)$$

實用近似式として上式を簡單化し

$$\frac{R_z}{R_{15}} = 1 + \left\{ 0.0074(15-t_z) + 0.000041(15-t_z)^2 \right\} \log_{10} R_{15} \dots(C_1')$$

$$\frac{R_{15}}{R_z} = 1 + 0.0076(t_z-15) \log_{10} R_z \dots\dots\dots(C_2')$$

上式で R_{15} は採入空氣溫度 $t=15^\circ\text{C}$ の時の壓力比を示すものである。

又航空評議會に於ては實驗式として

$$\frac{R_z}{R_{15}} = \frac{2515-t_z}{2500} \dots\dots\dots(D)$$

適用範圍 $t_z = 0^\circ \sim +30^\circ$

$$R_{15} = 1.04 \sim 1.15$$

(B) の新公式の特別の場合として $t_0 = 15^\circ\text{C}$ の時の壓力比を R_{15} とすれば

$$\boxed{\frac{R_z-1}{R_{15}-1} = \frac{288.2}{T_z}} \dots\dots\dots(B'')$$

(A) の現公式も同様に

$$R_z = R_{15} \left\{ 1 + 0.00063 R_{15}^2 (15-t_z) \right\} \dots\dots\dots(A')$$

となる。

次にまづ (A') 式と (B'') の比較を行つて見る。(A') を變型して

7) 永野治; 航空發動機の性能解析と高空性能推算法. 日本航空學會誌第6卷第53號(昭和14年9月) p. 1015/1020,

尙ほ A. F. Schmidt; Verbrennungsmotoren (1939) S. 145 にも同一方法による解法あり.

8) 低高度遠心過給機付發動機の運轉試験の修正式; 航空評議會(昭和13年9月)

第 1 表 新公式(B'')及び現行式(A'')による $\frac{R_z-1}{R_{15}-1}$ の値の比較

新公式	現 公 式												
	$\frac{R_{15}}{T_z}$ t°C	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3	4
1.3518	-60	1.630	1.409	1.346	1.324	1.319	1.323	1.332	1.345	1.360	1.378	1.639	2.009
1.2912	-50	1.546	1.354	1.300	1.281	1.277	1.280	1.288	1.299	1.312	1.328	1.554	1.875
1.2358	-40	1.462	1.300	1.254	1.238	1.234	1.237	1.244	1.253	1.264	1.278	1.468	1.740
1.1850	-30	1.378	1.245	1.208	1.195	1.192	1.194	1.199	1.207	1.216	1.227	1.383	1.606
1.1382	-20	1.293	1.190	1.161	1.151	1.149	1.150	1.154	1.160	1.168	1.176	1.297	1.469
1.0950	-10	1.210	1.136	1.116	1.108	1.107	1.108	1.111	1.115	1.120	1.126	1.213	1.337
1.0549	0	1.126	1.082	1.069	1.065	1.064	1.065	1.066	1.069	1.072	1.076	1.128	1.202
1.0177	10	1.042	1.027	1.023	1.022	1.021	1.022	1.022	1.023	1.024	1.025	1.043	1.067
0.9829	20	0.958	0.973	0.977	0.978	0.979	0.979	0.978	0.977	0.976	0.975	0.958	0.933
0.9505	30	0.874	0.918	0.931	0.935	0.936	0.936	0.934	0.931	0.928	0.924	0.872	0.798
0.9202	40	0.790	0.864	0.884	0.892	0.893	0.892	0.889	0.885	0.880	0.874	0.787	0.663
0.8917	50	0.707	0.810	0.839	0.849	0.851	0.850	0.846	0.840	0.832	0.824	0.703	0.531
0.8649	60	0.622	0.755	0.792	0.805	0.808	0.806	0.801	0.793	0.784	0.773	0.617	0.394
0.8397	70	0.538	0.700	0.746	0.762	0.766	0.763	0.756	0.747	0.736	0.722	0.532	0.260
0.8160	80	0.454	0.646	0.700	0.719	0.723	0.720	0.712	0.701	0.688	0.672	0.446	0.125
0.7935	90	0.370	0.591	0.654	0.676	0.681	0.677	0.668	0.655	0.640	0.622	0.361	0.101
0.7722	100	0.287	0.537	0.607	0.632	0.638	0.634	0.624	0.609	0.592	0.571	0.276	0.114

第 2 表 現公式による R_z の値 $R_z = R_{15} \{1 + 0.00063 R_{15}^2 (15 - t_z)\}$

R_{15} t_z °C	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
-60	1.163	1.282	1.404	1.530	1.660	1.794	1.932	2.076	2.224	2.378
-50	1.155	1.271	1.390	1.512	1.639	1.768	1.901	2.039	2.181	2.328
-40	1.146	1.260	1.376	1.495	1.617	1.743	1.871	2.002	2.137	2.278
-30	1.138	1.249	1.362	1.478	1.600	1.716	1.839	1.966	2.094	2.227
-20	1.129	1.238	1.348	1.460	1.575	1.690	1.808	1.928	2.051	2.176
-10	1.121	1.227	1.335	1.443	1.554	1.665	1.778	1.892	2.008	2.126
0	1.113	1.216	1.321	1.426	1.532	1.639	1.746	1.855	1.965	2.076
10	1.104	1.205	1.307	1.409	1.511	1.613	1.716	1.818	1.921	2.025
20	1.096	1.195	1.293	1.391	1.489	1.587	1.685	1.782	1.878	1.975
30	1.087	1.184	1.279	1.374	1.468	1.561	1.654	1.745	1.835	1.924
40	1.079	1.173	1.265	1.357	1.446	1.535	1.622	1.708	1.792	1.874
50	1.071	1.162	1.252	1.340	1.426	1.510	1.592	1.672	1.749	1.824
60	1.062	1.151	1.238	1.322	1.404	1.484	1.561	1.634	1.706	1.773
70	1.054	1.140	1.224	1.305	1.383	1.458	1.529	1.598	1.662	1.722
80	1.045	1.129	1.210	1.288	1.362	1.432	1.498	1.561	1.619	1.672
90	1.037	1.118	1.196	1.270	1.341	1.406	1.468	1.524	1.576	1.622
100	1.029	1.107	1.182	1.253	1.319	1.380	1.437	1.487	1.533	1.571

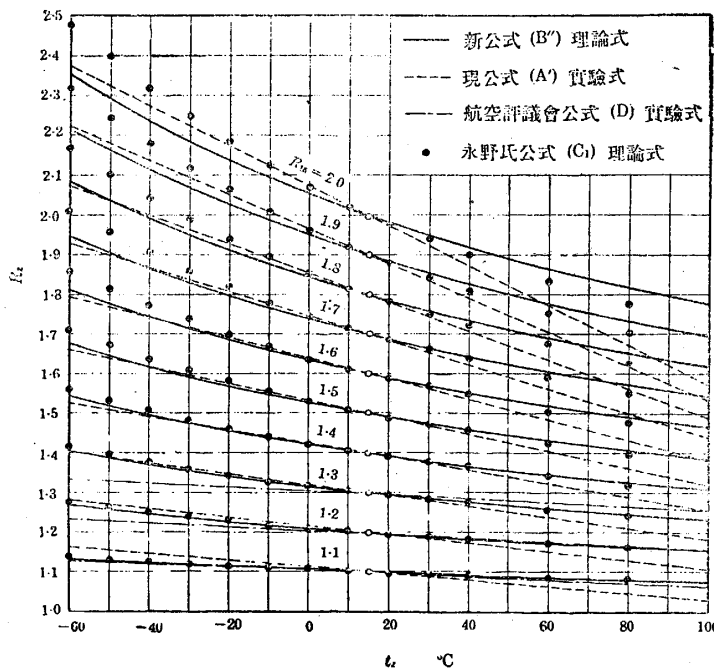
第 3 表 新公式による R_z の値 $R_z = 1 + (R_{16} - 1) \frac{288.2}{T_z}$

R_{16} $t_z^{\circ}\text{C}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3	4	5	6	7
-60	1.135	1.270	1.406	1.541	1.676	1.811	1.946	2.081	2.217	2.352	3.704	5.055	6.407	7.759	9.111
-50	1.129	1.258	1.387	1.517	1.646	1.775	1.904	2.033	2.162	2.291	3.582	4.874	6.165	7.456	8.747
-40	1.124	1.247	1.371	1.494	1.618	1.742	1.865	1.989	2.112	2.236	3.472	4.707	5.943	7.179	8.415
-30	1.119	1.237	1.356	1.474	1.593	1.711	1.830	1.948	2.067	2.185	3.370	4.555	5.740	6.925	8.110
-20	1.114	1.228	1.342	1.455	1.569	1.683	1.797	1.911	2.024	2.138	3.276	4.415	5.553	6.691	7.829
-10	1.110	1.219	1.329	1.438	1.548	1.657	1.767	1.876	1.986	2.095	3.190	4.285	5.380	6.475	7.570
0	1.106	1.211	1.317	1.422	1.528	1.633	1.738	1.844	1.949	2.055	3.110	4.165	5.220	6.275	7.329
10	1.102	1.204	1.305	1.407	1.509	1.611	1.712	1.814	1.916	2.018	3.035	4.053	5.071	6.089	7.106
20	1.098	1.197	1.295	1.393	1.492	1.590	1.688	1.786	1.885	1.983	2.966	3.949	4.932	5.915	6.897
30	1.095	1.190	1.285	1.380	1.475	1.570	1.665	1.760	1.856	1.951	2.901	3.852	4.802	5.753	6.703
40	1.092	1.184	1.276	1.368	1.460	1.552	1.644	1.736	1.828	1.920	2.840	3.761	4.681	5.601	6.521
50	1.089	1.178	1.268	1.357	1.446	1.535	1.624	1.713	1.803	1.892	2.783	3.675	4.567	5.459	6.350
60	1.087	1.173	1.260	1.346	1.433	1.519	1.605	1.692	1.778	1.865	2.730	3.595	4.459	5.325	6.189
70	1.084	1.168	1.252	1.336	1.420	1.504	1.588	1.672	1.756	1.840	2.679	3.519	4.359	5.199	6.038
80	1.082	1.163	1.245	1.326	1.408	1.490	1.571	1.653	1.734	1.816	2.632	3.448	4.264	5.080	5.896
90	1.079	1.159	1.238	1.317	1.397	1.476	1.556	1.635	1.714	1.794	2.587	3.381	4.174	4.968	5.761
100	1.077	1.154	1.232	1.309	1.386	1.463	1.541	1.618	1.695	1.772	2.544	3.317	4.089	4.861	4.633

$$\frac{R_z-1}{R_{15}-1} = 1 + \frac{0.00063R_{15}^3}{R_{15}-1}(15-t_z) \dots\dots\dots(A'')$$

(B'')に見る如く $\frac{R_z-1}{R_{15}-1}$ は新公式では T_z のみの函数であるが (A'') では t_z 及び R_{15} の函数である。(第1表参照)

第2表は現行式(A')による R_z , 第3表は新公式(B'')による R_z を示すものである。第1圖はこの兩者の外に, 更に永野氏公式(C₁)なる理論式及び航空評議會公式(D)なる實驗式を一括圖示比較したものである。その結果を總括すれば



第1圖 各公式による R_z の比較

溫度係數は常に一定である爲, R_{15} の如何に關せず直線の傾は一定である。

従つて壓縮比 1.2 以上に於ては現行式又は他の諸公式のいづれに比較しても $t_z < 15^\circ\text{C}$ 以下では R_z は著しく低く $t_z > 15^\circ\text{C}$ では著しく高く出る。

$R_{15} = 1.15$ 以下の低壓縮比の場合に限り (D) 式は成立するのであつて, この公式を高壓縮比の範圍まで擴張することに對しては多大の疑問がある。

- (iv) 現行式 (A') は $R_{15} = 1.1$ 以下の如き低壓縮比に對しては $t_z < 15^\circ\text{C}$ に於ては R_z を大きく與へ過ぎ, $t_z > 15^\circ\text{C}$ では小さく與へ過ぎるのではないかと推定される。
- (v) 永野氏式 (C₁) は新公式と $R_{15} = 1.5$ 以下に於ては $t_z = -60^\circ \sim +100^\circ\text{C}$ の範圍に於て比較的よく一致する。 $R_{15} > 1.5$ に對しては $t_z < 15^\circ$ では永野式の方が新公式 (B'') よりも又現公式 (A') よりも R_z は大きく出る。 $t_z > 15^\circ\text{C}$ では永野式の方が新公式よりも小さく, 現行式よりは大きく出る。
- (vi) $t_z = 30^\circ\text{C}$ 以上では新公式は現行式よりも R_z は可成り大きく出る。永野式とはこの範圍では比較的よく一致する。

- (i) 新公式 (B'') は $t_z = +20^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$ $R_z = 1.2 \sim 2.0$ の範圍に於ては最大 1% の誤差範圍内で現公式 (A') に一致する。(第2, 3表太線欄内)
- (ii) 一般に $t_z < 15^\circ\text{C}$ では新公式 (B'') の R_z の方が現公式 (A') よりも低く出る。 $t_z > 15^\circ$ のときは逆に大きく出る。
- (iii) 航空評議會の實驗式 (D) は $R_z = 1.15$ 以下の場合には新公式 (B'') 及び永野氏式 (C) によく一致するが現公式 (A') とは一致しない。但し (D) 式は $\frac{R_z}{R_{15}}$ が溫度のみの函数で R_{15} を全く含まず

4. 結 言

以上は $R_{15} \leq 2.0$ の場合について單に各式を比較検討したに留り、いづれの式が最も正しいかは更に今後の精密なる實驗に待たねばならない。現公式は英國の實驗式であるらしく出所もあまり明瞭でなくその適用範圍も不明である。 $R_{15} = 2.0$ 以上の高壓縮に對しても現用式(A')がその儘適用し得るや否やは疑しい。 $R_{15} = 2$ 以上の高壓縮比では R_z の溫度傾度は R_{15}^2 の項の影響を受け、新公式に比して非常に大きくなり、かゝる高壓縮比域までの擴張適用は疑はしい。

新公式はこれに反して前述の二條件の満足される限りかゝる高壓縮比の場合に對しても適用し得るものと考へられ、今後の正確なる實驗に依り一般式

$$\frac{R_z - 1}{R_0 - 1} = \left(\frac{T_0}{T_z} \right)^k$$

の常數 k を決定するなれば、より正確に表はし得るのではないかと考へる。兎に角現在の主なる實用範圍に於ては

$$\frac{R_z - 1}{R_0 - 1} = \frac{T_0}{T_z} \quad \text{又は} \quad \frac{R_z - 1}{R_{15} - 1} = \frac{288.2}{T_z}$$

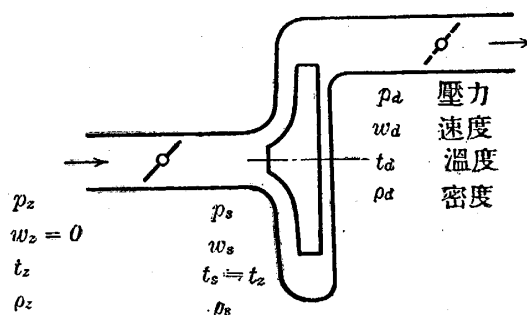
の形式が現行式よりも遙に簡単な形であるにも係らず現用式と略々一致した數値を與へ、且 $R_{15} = 1.1$ 以下の低壓縮比及び $R_{15} = 2$ 以上の高壓縮比の場合、並に $t_z = 20^\circ\text{C} \sim +100^\circ\text{C}$ の如き高溫度の場合に於ても、現公式よりも正しい數値を與へるのではないかと考へられるので敢て提示する次第である。

附 記

壓力比の定義に就いて

遠心型過給機の壓力比として今日使用されてゐる定義には次の如き種々のものあり、人によつて區々である。現在のところいづれも壓力比と稱してゐるが便宜上こゝでは次の如く稱することとする。

- (i) 靜壓力比 $R_s = \frac{P_a}{P_s}$
- (ii) 大氣靜壓力比 $R_{zs} = \frac{P_a}{P_z}$
- (iii) 全壓力比 $R_T = \frac{P_a + \frac{\rho_a w_a^2}{2g}}{P_s + \frac{\rho_s w_s^2}{2g}}$
- (iv) 大氣全壓力比 $R_{zT} = \frac{P_a + \frac{\rho_a w_a^2}{2g}}{P_z}$



第 2 圖

吸込側に絞弁がなく且 pipe が短く Friction Loss, Bend Loss が neglect 出来るときは $R_T \doteq R_{zT}$ である。

今日主として使用してゐるのは (i) 又は (ii) の定義に従ふものであつて、一般に $R_s > R_{zs}$ である。過給機の目的が静圧力の上昇にあることより考へれば、この様に静圧力比を採ることも合理的であるが、これでは P_a, P_s を測定する點に關する一般規格を作るか又は同時に兩點の速度 w_s, w_a も實測して置くことを要する。

R_T 又は R_{zT} は Velocity head も含めてある故、他の状態に換算する場合はこの方が便利であり、又 Velocity head の一部は發動機に入る迄に更に静壓に變換し得ることも考へれば、この表はし方も一理がある。本論文の壓力比は主として (i) の定義に従つて解いたものであるが、他の定義に従つても Dimensional Relation は同様に成立ち $P_a - P_z, (P_a - P_s) + \frac{1}{2g}(\rho_a w_a^2 - \rho_s w_s^2), (P_a - P_z) + \frac{\rho_a}{2g} w_a^2$ はいづれも近似的に回轉數 n の二乗に比例する故、新公式も亦近似的に成立するものと考へてよい。(昭和15年12月)

9) 文獻 4) p. 153 参照

10) 文獻 3) p. 665 参照

11) 證明

$$P_a - P_s = k_1 n^2$$

又 (7) 式より

$$v \propto n$$

であるから吸込側、吐出側の pipe の面積 A_s, A_a 夫々一定なれば

$$w_s^2 = k_2 n^2 \quad w_a^2 = k_3 n^2$$

依つて

$$P_a - P_z = P_a - P_s + \rho_s \lambda \frac{l_s}{d_s} \frac{w_s^2}{2g} = k_1 n^2 + k_2' n^2 = (k_1 + k_2') n^2$$

$$P_a - P_s + \frac{1}{2g}(\rho_a w_a^2 - \rho_s w_s^2) = k_1 n^2 + k_3'' n^2 - k_2'' n^2 = (k_1 + k_3'' - k_2'') n^2$$

$$(P_a - P_z) + \frac{\rho_a}{2g} w_a^2 = (k_1 + k_2') n^2 + k_3'' n^2 = (k_1 + k_2' + k_3'') n^2$$