

蒸氣噴射冷凍系の 부우스터 이젝터와 에어 이젝터의 設計條件比較에 關한 研究

李 昌 植*

A Study on the Comparison of Design Conditions between Booster Ejector and Air Ejector in the Steam-Jet Water-Vapour Refrigeration Cycle

Chang Sik Lee

Abstract

This paper presents the experimental study on the design conditions of pressure between booster ejector and air ejector in the steam-jet water-vapour refrigeration system.

In this experiment, the motive steam of booster ejector and air ejector was dry saturated from 5 ata to 8 ata and flash chamber pressure were about 10~540 mmHg higher than mixing section in booster ejector.

The investigation of air on the pressure of booster ejector was performed by changing the condenser pressure.

The experimental results show that flash chamber vacuum and condenser pressure of steam-jet refrigeration cycle increased in accordance with the increase of motive steam pressure. Among the several nozzle sizes tested, No.4 nozzle were best in term of evaporator vacuum under the constant operating conditions of air ejector in condenser.

〈記 號 說 明〉

η_n : nozzle efficiency

w : Steam velocity, m/s

J : Mechanical equivalent of heat kg-m/kcal

η_e : entrainment efficiency

η_c : compression efficiency

h : enthalpy of steam, kcal/kg

w : weight of motive steam kg/kg of flashed vapour

p_0 : motive steam pressure, kg/cm²

p_c : condenser pressure, kg/cm²

p_f : mixing chamber pressure, kg/cm²

p_e : evaporator pressure, kg/cm²

k : ratio of specific heat

η : ejector efficiency

G_s : mass flow rate of motive steam, kg/h

G_v : mass flow rate of vapour, kg/h

w_m : mean velocity of mixture, m/s

g : acceleration due to gravity, m/s²

* 正會員, 亞洲工科大學

I. 序 論

蒸氣噴射冷凍機는 蒸氣이젝터를 使用하여 低壓을 만들고 이 低壓의 蒸發室에서 물 또는 브라인을 蒸發시켜 低溫을 얻는 裝置로서 野菜의 貯藏, 粘性液體 및 腐蝕性液體의 冷却, 結晶의 析出 等에 使用되어 왔다. 特히 發電所에서는 廢蒸氣를 利用한 배어링油의 冷却에 이 眞空方式을 使用하였으며, 船舶用 空氣調和裝置, 프레온 가스를 利用한 太陽熱蒸氣噴射冷凍機에도 使用된 바 있다.

蒸氣噴射冷凍機는 冷媒로 물을 使用하므로 毒性이 없고, 系外로 漏洩되어도 無害하며, 循環 펌프 以外의 運動部分이 없으므로 機械의 故障이 없고 構造가 簡單한 利點을 가지고 있다.

그러나 이젝터 効率が 낮고, 0°C 以下의 低溫을 얻기 어렵고, 復水器의 冷却水耗이 많아지는 등의 問題點이 提起되어 왔다.

蒸氣噴射冷凍 사이클에 關한 研究傾向을 살펴 보면 Elliot Spencer의 蒸氣眞空冷凍機에 關한 研究¹⁾를 비롯하여 蒸氣이젝터 關한 研究^{2,3)} 등이 있으며, 特히 最近에는 이젝터 設計에 關한 研究⁴⁾와 空氣이젝터에 關한 研究^{5,6)} 등이 있다.

本論文은 蒸氣噴射冷凍사이클에서 驅動蒸氣의 壓力을 5kg/cm²에서 1kg/cm²로 變化시켰을 경우 蒸發器와 凝縮器의 性能을 最大로 하는 壓力條件과 노즐 치수의 影響을 實驗的으로 比較檢討한 것이다.

本實驗의 경우 蒸氣이젝터 노즐의 치수는 부우스터 이젝터에서는 4種으로, 이에 附屬되는 에어 이젝터는 3種으로 變化시켜 使用하였다.

II. 蒸氣噴射冷凍 사이클의 이젝터性能

2-1 부우스터 이젝터의 効率

本實驗에 適用될 蒸氣噴射-水蒸氣이젝터 사이클의 h-s 線圖 및 蒸氣噴射冷凍 사이클의 T-s 線圖는 Fig.1 및 Fig.2와 같다.

부우스터 이젝터 노즐에서 狀態變化는 A→B'이며, A→B는 等엔트로피의 變化이므로 노즐

効率 η_n 은 다음 式으로 表示된다.

$$\eta_n = \frac{h_A - h'_B}{h_A - h_B} \quad (1)$$

노즐로부터 噴出되는 蒸氣의 實際速度 w_1 은

$$w_1 = \sqrt{2gJ(h_A - h_B) \cdot \eta_n} = 91.5\varphi_n \sqrt{h_A - h_B} \quad (2)$$

여기서 $\varphi_n = w_1/w_{1th}$ 이다.

한편 노즐의 乘流効率 η_e 는

$$\eta_e = \frac{h_A - h_D}{h_A - h_B'} \quad (3)$$

吸引되는 發生蒸氣는 蒸發室에서 點 C로부터 디퓨저 縮小部入口까지 膨脹하여 부우스터 이젝터의 驅動蒸氣와 混合되어 D'로 된다. 混合室에서 驅動蒸氣 B'와 吸引蒸氣 D'가 混合되어 狀態 m으로 되므로 mE'에 따라 凝縮壓力까지 斷熱壓縮된다.

이 때 吸引蒸氣 1kg 當 驅動蒸氣 wkg 이 非可逆斷熱膨脹할 때 (1+w)kg 이 mE에 따라 狀態

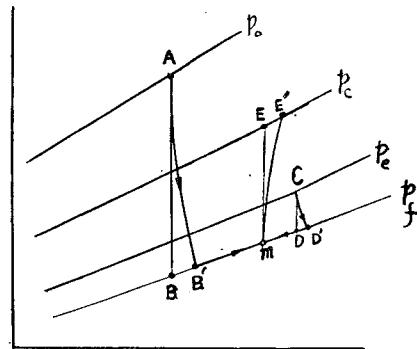


Fig. 1. Mollier diagram for experimental steam-ejector

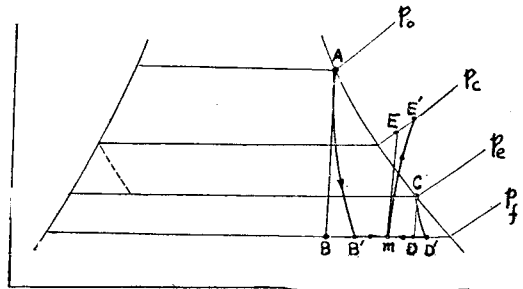


Fig. 2. Steam-jet water-vapour refrigeration cycle

變化이므로 이젝터 效率 η 는 다음 式으로 表示 된다.

$$\eta = \frac{G_s + G_v}{G_s} \cdot \frac{h_E' - h_m}{h_A - h_B}$$

$$= \frac{(1+w)}{w} \cdot \frac{1}{\eta_n \eta_c} \cdot \frac{h_E - h_m}{h_A - h_B} \quad (4)$$

混合蒸氣의 엔탈피를 h_m 이라 하면

$$(G_s + G_v) \left(h_m + \frac{A}{2g} w_m^2 \right) = G_s \left(h_B + \frac{A}{2g} w_1^2 \right) + G_v \left(h_0 + \frac{A}{2g} w_2^2 \right)$$

$$= G_s h_A + G_v h_c \quad (5)$$

따라서

$$h_m = \frac{G_s h_A + G_v h_c}{G_s + G_v} - \frac{A}{2g} w_m^2 \quad (6)$$

여기서

$$w_m = \frac{G_s w_1 + G_v w_2}{G_s + G_v} \quad (7)$$

2-2 蒸氣消費量

蒸氣噴射冷凍系の 蒸氣噴出量을 G_s kg/h, 吸引蒸氣量을 G_v kg/h, 給水의 엔탈피를 h_w kcal/kg, 吸引蒸氣의 엔탈피를 h_c kcal/kg 이라 할때 蒸氣消費量 G kg/h·RT 는 다음 式으로 表示 된다.

$$G = \frac{3320 \times (G_s + G_v)}{h_c - h_m} \quad (8)$$

III. 實驗裝置 및 實驗方法

3-1 實驗裝置

Fig. 3 및 Fig. 4는 本實驗에 使用한 實驗裝置의 構成을 나타낸 것이다. 本實驗에 使用한 蒸氣보일러는 相當蒸氣量이 200kg/h인 複合보일러이고, 使用最高壓力은 8kg/cm² 이고, 蒸發器인 flash chamber의 容量은 0.081m³, 凝縮器의 容量은 0.162m³ 로 設計製作하였다.

부우스터 이젝터 및 에어 이젝터에 使用한 노즐의 크기는 Table 1과 같다.

驅動蒸氣의 質은 絞縮熱量計를 設置하여 測定하였고, 凝縮器는 蒸氣噴射凝縮方式을 採擇하

Table 1. Ejector nozzle

ejector	Nozzle No.	throat diameter (mm)
Air ejector	No. 1	7.1438
	No. 2	6.3500
	No. 3	5.5563
Booster ejector	No. 4	4.7625
	No. 5	3.9688
	No. 6	3.1750
	No. 7	2.7781

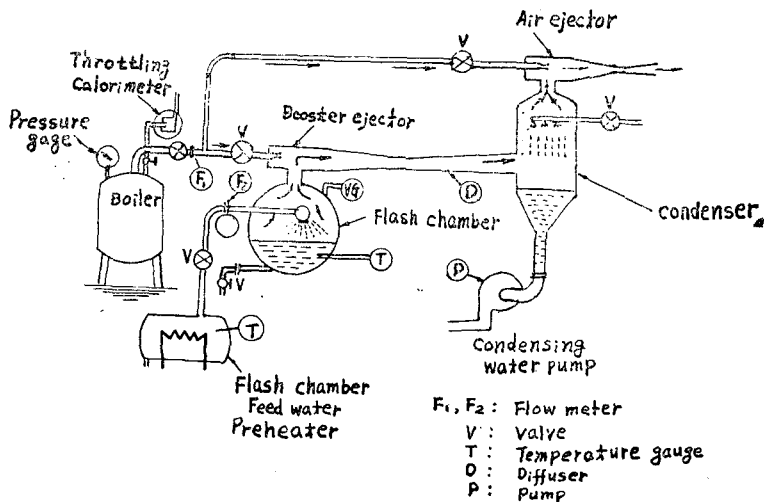


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus

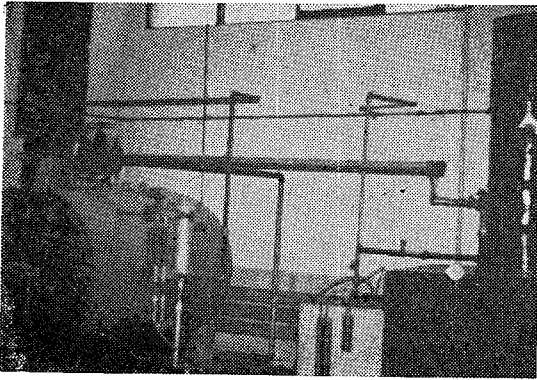


Fig. 4. Photographic view of experimental apparatus

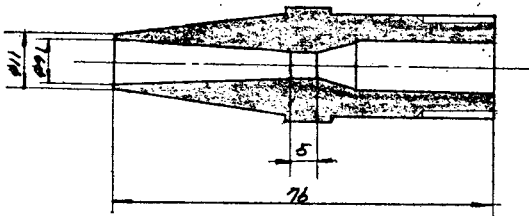


Fig. 5. Ejector nozzle

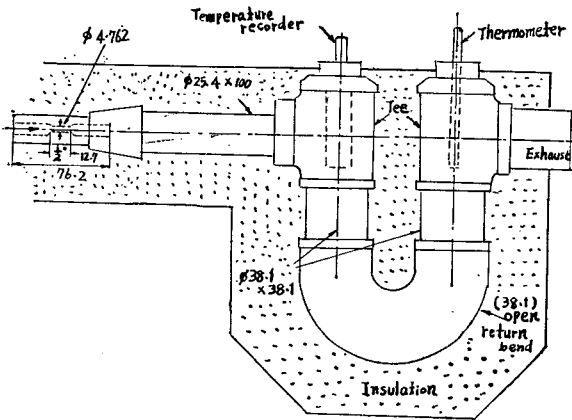


Fig. 6. Throttle steam calorimeter

였다.

Fig. 5는 이젝터 노즐의各部치수를 나타낸 것이다.

이젝터의 디퓨저의 치수는 速水惠次²⁾의 文獻을 參考로 하여 製作하였다.

3-2 實驗方法

蒸氣噴射冷凍系の 부우스터 이젝터와 에어 이젝터 사이의 最適壓力設計條件을 求하기 위하여

驅動蒸氣의 壓力을 5, 6, 7, 8kg/cm² abs의 4段階로 變化시키고, 各 驅動蒸氣壓에 對한 이젝터 노즐을 부우스터 이젝터에는 No. 4~No. 7까지 4種으로, 에어 이젝터는 No. 1~No. 3까지 3種으로 變化시켜서 實驗하였다.

驅動蒸氣의 乾度는 Fig. 6과 같은 絞縮熱量計를 使用하여 測定하였다.

本實驗은 主로 蒸氣噴射冷凍系の 부우스터 이젝터와 에어 이젝터 사이의 眞空度를 크게 하는 노즐치수를 相互比較하는 데 그 目的을 두고 있으므로 부우스터 이젝터와 에어 이젝터 노즐의 목지름과 蒸發室內의 蒸發壓力과의 關係를 比較檢討하였다.

IV. 實驗結果 및 考察

4-1 驅動蒸氣壓이 蒸發壓力에 미치는 影響

Fig. 7 및 Fig. 8은 驅動蒸氣壓力을 5ata에서 8ata까지 4段階로 變化시켰을 경우 蒸發器內의 眞空度變化를 圖示한 것이다.

부우스터 이젝터가 設置된 蒸發器內의 蒸發壓力은 驅動蒸氣의 壓力이 增加할수록 顯著히 低下하는 傾向을 나타내었다.

蒸發器內의 壓力變化를 살펴보면 에어 이젝터에 No. 1 노즐을 使用하였을 경우 부우스터 이젝터 No. 4 노즐에서 가장 眞空度가 높았으며 No. 3 노즐이 가장 壓力低下가 낮았다.

노즐 지름의 影響을 살펴보면 부우스터 이젝터의 노즐 치수가 클수록 眞空度는 높아졌으며 에어 이젝터가 設置된 凝縮器內의 壓力은 驅動蒸氣壓이 一定할 때 부우스터 이젝터 노즐 지름이 작아질에 따라 低下하는 傾向을 나타내었다. 特히 에어 이젝터에 No. 3 노즐을 使用하였을 경우에는 부우스터 이젝터의 노즐의 지름이 작아질수록 凝縮器의 壓力降下는 極히 不良하였으며, 부우스터 이젝터의 壓力도 No. 1, No. 2 노즐을 使用하였을 때보다 높게 計測되었다.

同一한 運轉條件에서 에어 이젝터의 노즐 지름이 클 때 蒸發壓力降下가 큰 것은 凝縮壓力을 낮게 維持할 수 있으므로 부우스터 이젝터의 노즐部の 蒸氣噴流가 이젝터를 通過할 때 노즐 및

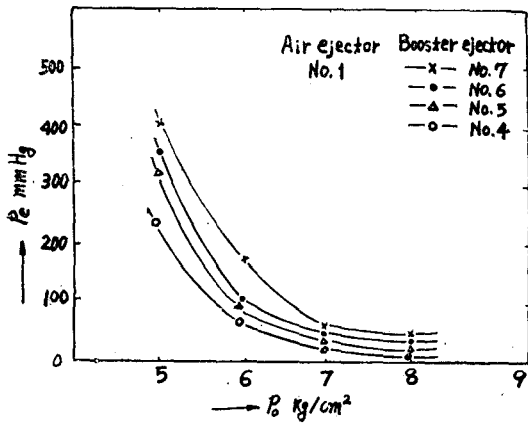


Fig. 7. Relation between motive steam pressure and evaporator pressure (Air-ejector nozzle No. 1)

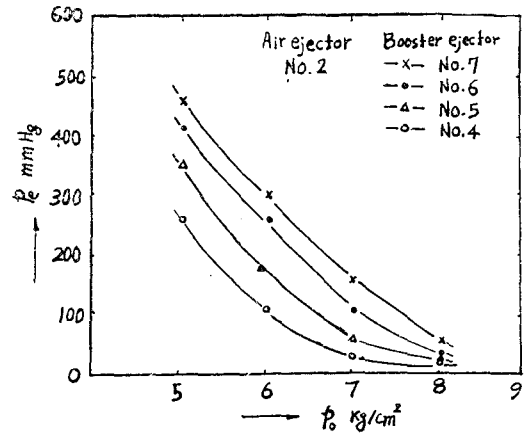


Fig. 8. Relation between motive steam pressure and evaporator pressure (Air ejector nozzle No. 2)

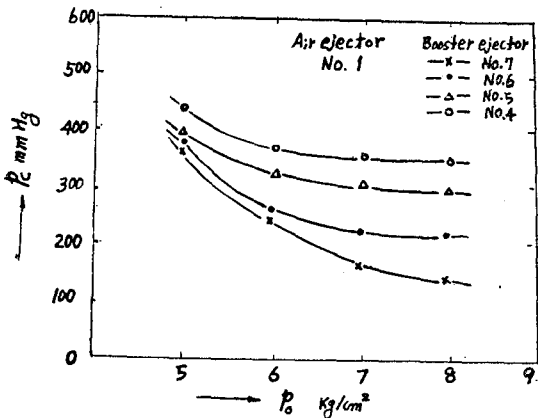


Fig. 9. Effect of nozzle diameter on Condenser Pressure (Air ejector nozzle No. 1)

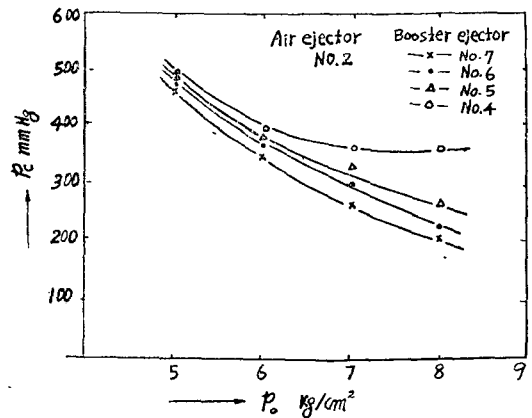


Fig. 10. Effect of nozzle diameter on Condenser pressure (Air ejector nozzle No. 2)

디퓨저 平行部 등에서의 衝突 및 反射에 의한 損失이 減少되어 流速이 增加하기 때문인 것으로 생각된다.

4-2 이젝터 노즐 치수가 凝縮壓力에 미치는 影響

Fig. 9 및 Fig. 10은 노즐 치수와 凝縮壓力과의 關係를 나타낸 것이다.

凝縮器의 壓力은 에어 이젝터의 노즐 치수가 一定할 경우 부우스터 이젝터 노즐 치수가 커질수록 凝縮壓力은 높아지는 傾向을 나타내었으며 부우스터 이젝터 노즐 번호가 No. 7일 경우 凝

縮壓力은 가장 낮았다.

이것은 에어 이젝터 노즐 치수가 클수록 노즐을 通過하는 蒸氣流量이 많아지므로 에어 이젝터에서의 殘留蒸氣의 吸引作用이 좋아지기 때문이라고 생각된다. 따라서 凝縮壓力은 低下하고 에어 이젝터를 通過하는 蒸氣에 의한 吸引量은 많아진다. 特히 凝縮壓力은 驅動蒸氣壓力이 最大値에 達하였을 때에 가장 낮은 壓力을 나타내었다.

4-3 凝縮壓力과 蒸發壓力과의 關係

Fig. 11은 驅動蒸氣과 蒸發器 및 凝縮器의 壓

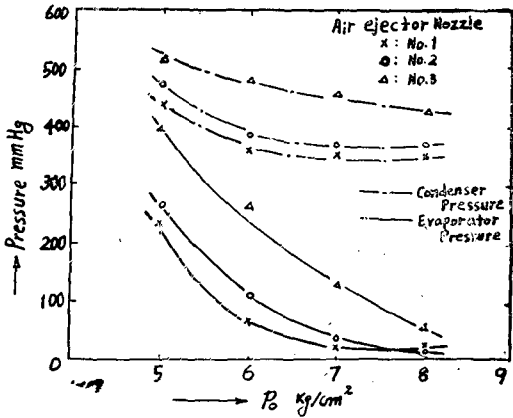


Fig. 11. Effect of motive steam pressure on evaporator and condenser pressure

力變化를 나타낸 것이다. 이 線圖에서 알 수 있는 바와 같이 이젝터로 噴出되는 驅動蒸氣의 壓力이 높아질수록 凝縮壓力과 蒸發壓力은 低下하였으며 蒸發壓力의 降下는 더욱 큰 것으로 測定되었다. 蒸發壓力에 對한 에어 이젝터 노즐의 影響은 No.1 노즐의 경우가 가장 性能이 優秀하였고, No.3 노즐의 경우는 대단히 높은 壓力을 보여주었다.

부우스터 이젝터 노즐을 通過하기 直前의 驅動蒸氣壓力이 使用最高壓力일 때 蒸發器內의 壓力은 부우스터 이젝터 노즐 No.4, 에어 이젝터 노즐 No.1에서 約 15mmHg 인데 비하여 驅動蒸氣壓力이 5kg/cm²에서는 240mmHg 로서 約 230 mmHg 가 높았다.

本實驗에서 冷凍系의 性能을 最大로 하는 이젝터 노즐은 부우스터 이젝터에서는 No.4 노즐이었고, 에어 이젝터에서는 No.1 노즐이었다. 이 경우 最高吸引眞空과 노즐前의 蒸氣壓力과의 關係는 速水惠次²²의 實驗結果의 傾向과 거의 一致하는 傾向을 나타내었다.

4-4 驅動蒸氣壓力과 부우스터 이젝터 效率

Fig. 12는 부우스터의 노즐 直前의 壓力과 부우스터 이젝터 效率과의 關係를 나타낸 것이다. 여기서 이젝터 效率은 McNalty²⁷에 依한 이젝터의 效率 關係式(4)를 使用하여 計算하였다.

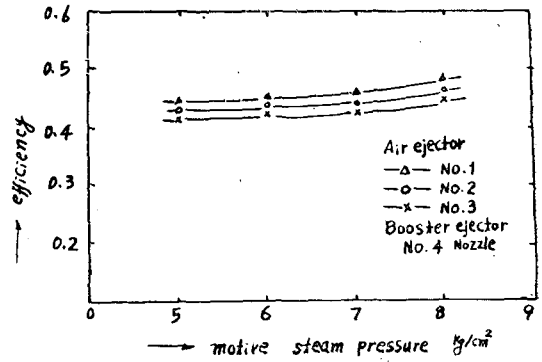


Fig. 12. Relation between motive steam pressure and ejector efficiency

부우스터 이젝터의 效率은 에어 이젝터의 노즐 지름이 클 때 가장 높았으며, 驅動蒸氣壓力이 높아짐에 따라 이젝터 效率은 向上되는 傾向을 나타내었다. 이것은 McNalty에 依한 이젝터 效率 0.4~0.5의 값에 거의 一致하는 變化이며 노즐 直前의 蒸氣壓力이 最高壓力에 達한 경우 이젝터 效率 η의 값은 No.4 노즐에서 約 0.48 程度로 가장 높았다.

특히 驅動蒸氣壓力이 低下할수록 이젝터 效率이 낮아지는 것은 노즐 前後의 壓力差가 작기 때문이라고 생각되며, 本實驗에 使用된 보일러 容量으로 가장 效率 좋게 運轉되려면 부우스터 이젝터에 No.4 노즐을 使用할 때임이 確認되었다.

V. 結 論

本實驗에서 얻은 結果로부터 얻은 結論은 다음과 같다.

1. 이젝터 노즐의 지름이 一定할 때 蒸發壓力은 驅動蒸氣壓力이 增加할수록 低下하는 傾向을 나타내었다.

2. 에어 이젝터 노즐의 치수가 一定할 때 蒸發器의 吸引眞空度는 No.4 노즐을 使用할 때 가장 높았으며, 이젝터의 效率도 No.4 노즐이 가장 높았다.

3. 에어 이젝터 노즐의 지름이 一定할 때 凝縮器壓力은 부우스터 이젝터에 No.7 노즐을 사

용할 경우 가장 낮았으며, 驅動蒸氣壓이 높을수록 壓力降下는 顯著하였다.

引 用 文 獻

1. Elliot Spencer: "New development in Steam vacuum Refrigeration" ASHRAE Trans., Vol. 67. 1961, p. 139.
2. 速水惠次: "蒸氣エビクタ의 特性と その 設計法に就て" 日本機械學會論文集 7-28(昭 16-8), pp. 11~16.
3. 植田辰洋: "蓄氣エ젝タに 關する研究" 日本機械學會論文集 118-67, pp. 97~102.
4. J.H. Keenan, E.P. Neumann, and L. Lus-Werk: "An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment" Journal of Applied Mechanics, Vol. 17, 1950, p. 299.
5. Nobuguki Kamo: "An Experimental Research on Air Ejector" Journal of the Society of heating, Air Conditioning and Sanitary Engineers of Japan. Vol. 147. No. 9, pp. 11~23.
6. 山本富士夫: "マルチノズル超音速エビワタの實驗的研究" 空氣調和衛生工學 第49卷 第6號 pp. 97~102.
7. 大西復治: "蒸氣噴射冷凍機" 冷凍工學 演習, 産業圖書(1959).