

蒸氣 이젝터의 性能特性에 관한 實驗的 研究

金京錫* · 李宗洙** · 金垣寧*** · 金京根***

An Experimental Study on the Performance Characteristics of Steam Ejector

K.S. Kim, J.S. Lee, W.Y. Kim, K.K. Kim

Abstract

Steam ejector systems are widely used for the evacuation systems because of their high working confidence and simplicity. And recently these are used as the thermo-compressors in various energy saving systems.

In this practical experiment, we have obtained the results as follows:

- (1) The velocity coefficient of the motive steam nozzle was 0.92-0.98.
- (2) The optimal area ratio was 0.0625 at pressure ratio 5.2 and expansion ratio 101.3.
- (3) The performance and efficiency of the steam ejector were mainly affected by the axial position of nozzle.
- (4) The good performance of the domestic manufactured steam ejector was confirmed in comparison with the foreign one.

And by experimental results, we have carried out the improvement of Computer Aided Design Program of steam ejector which will be helpful for systematic research into the steam ejector.

記號說明

A : 일의 熱當量
 C : 壓縮比
 d : 直徑
 E : 膨脹比
 f : 面積
 G : 重量流量
 g : 重力 加速度

h : 엔탈피
 k : 比熱比
 L : 距離
 M_g : 重量 流量比
 M_v : 面積 流量比
 p : 絕對壓力
 P_f : 吸引力
 Q : 體積流量
 R : 氣體常數

* 正會員, 韓國海洋大學 大學院
 ** 正會員, 基元產業社 研究院
 *** 正會員, 韓國海洋大學 教授

- R₁, R₂ : 面積比
- T : 絕對溫度
- v : 比體積
- W : 速度
- r : 比重量

添 字

- a : 吸入氣體
- n : 노즐 목部 (臨界點)
- m : 驅動蒸氣
- 0 : 混合室
- t : 목部
- 1 : 노즐 出口部
- 2 : 混合室入口部
- 3 : 吐出部

1. 序 論

蒸氣 이젝터란 高壓의 蒸氣를 노즐로 부터 高速 분출시켜 그 噴流 周圍의 眞空 또는 低壓氣體와의 運動量 交換에 의하여 混合氣體를 임의의 吐出壓力까지 압축하여 이송하는 기기이다.

蒸氣 이젝터는 일반 眞空펌프와 비교하여 構造가 간단하고 可動部分이 없을 뿐더러 潤滑이 필요 없고, 機械的인 振動이 적다. 또한 動力源과 분리되어 있으므로 設置 및 設備에 있어서 제약이 적으며, 操作이 간단하고 故障의 염려가 없어 維持管理 등에서 유리하다.

이상과 같이 蒸氣 이젝터는 工學的인 利點과 높은 信賴性을 갖고 있기 때문에 船舶의 Cargo Oil Pump Turbine (C.O.P.T)用 腹水器의 背壓維持裝置에 사용되며, 또한 陸上 産業用으로는 火力發電所 主腹水器에서 空氣등의 不凝縮가스의 除去 시스템, 石油精製 플랜트 및 石油化學플랜트의 眞空結晶에 의한 眞空蒸發裝置, 펄프플랜트, 食品加工플랜트 등에서의 성에너지 및 폐열이용시스템등 蒸氣使用工程에서 蒸氣 이젝터는 必需的인 기기로서 사용된다.^{1)~4)}

이러한 蒸氣 이젝터는 簡單한 構造에도 불구하고, 熱流體工學的 變化過程은 매우 복잡하여 명확

한 理論解析이 어려워, 實際의 蒸氣 이젝터의 最適設計에는 理論의解析과 實驗의 研究 및 經驗이 동시에 요구된다.

蒸氣 이젝터는 驅動노즐에서 蒸氣의 出口速度가 마하 3-4 程度이며, 吸入流體와 驅動流體의 運動量交換 時間이 짧고, 流體의 壓縮性 및 衝擊波의 影響이 크기 때문에 설계상 어려움이 많다.^{5)~6)} 따라서 작동중인 蒸氣 이젝터의 流動狀態를 예측하여, 最適의 性能을 낼 수 있는 設計技術은 아직도 어려움으로 남아 있다. 특히 國內에서는 蒸氣 이젝터에 대한 組織的인 基礎實驗實績과 실험설비가 없는 관계로, 現場試運轉 結果를 토대로 性能을 확보하는 실정이다.

本 研究에서는 蒸氣 이젝터의 性能 및 運轉性能에 지대한 影響을 미치는 因子들 중 먼저 吸入性能에 가장 큰 影響을 주는 因子라고 판단되는 驅動노즐의 位置와 驅動노즐의 出口에서 디퓨저 목部까지의 流動過程을 集中 분석하고, 현재 實務에 사용되는 CAD(Computer-Aided Design)와 經驗에 의한 設計 및 外國製品과 比較 실험하여, CAD의 妥當性을 확보하는데 本 研究의 目的이 있다.

2. 各部에 대한 流動解析

蒸氣 이젝터에 있어서 實際流體의 흐름은 3次元으로 매우 복잡하게 이루어지나, 本 研究에는 近似的으로 1次元으로 취급함으로써 解釋上 複雜性을 줄이고 해당흐름에 관계되는 基本的인 重要現象을 부각시켰다.

驅動노즐部에서의 蒸氣流動에 있어서, 縮小一擴大노즐을 통과하는 壓縮性 流體의 흐름을 등엔트리피 過程으로 하여 蒸氣를 理想氣體로 취급하면, 노즐入口와 出口사이에서의 流動解析은 參考文獻 5)로부터 다음과 같이 정리된다.

노즐의 出口速度 W₁과 速度係數 φ는 다음 式에서 구할 수 있다.

$$W_1 = \sqrt{2g[k/(k-1)]p_m v_m [1 - (\frac{p_1}{p_m})^{(k-1)/k}]} \tag{2.1}$$

$$\frac{A}{2g} W_1^2 = \phi^2 (h_m - h_1) \tag{2.2}$$

實際 노즐내의 蒸氣의 흐름은 非可逆의 斷熱膨

脹過程으로서 比熱比 k 의 값은 飽和蒸氣인 경우는 $k=1.135$ 이며, 過熱蒸氣인 경우는 $k=1.3$ 程度이다. 또한 連續方程式으로 부터 驅動노즐의 出口斷面積 f_1 은,

$$f_1 = G_m V_1 / \sqrt{2g[k/(k-1)] p_m v_m [1 - (\frac{p_1}{p_0})^{(k-1)/k}]} \quad (2.3)$$

노즐의 出口壓力이 臨界壓力보다 낮을 경우, 노즐 목에서는 臨界壓力狀態가 되어 목에서의 流速은 音速이 되며, 따라서 목의 斷面的 f_c 는,

$$f_c = G_m / \sqrt{[gk(\frac{2}{k+1})^{(k+1)/(k-1)} \frac{p_m}{v_m}]} \quad (2.4)$$

Fig. 1은 驅動노즐 出口 근방에서의 驅動蒸氣의 흐름모델을 나타낸다. 吸入氣體는 노즐出口의 超音速 驅動蒸氣 噴流에 의하여 흡입되어지며 디퓨저 縮小部에 끌려 들면서 가속된다. 이와 같이 高速의 驅動蒸氣 噴流과 吸入氣體 사이의 큰 速度差에 의하여 摩擦抗力이 발생하며, 이 摩擦抗力은 吸入流體를 흐름방향으로 끌려고 하는 吸引力(牽引力)으로 작용하게 된다.⁷⁾

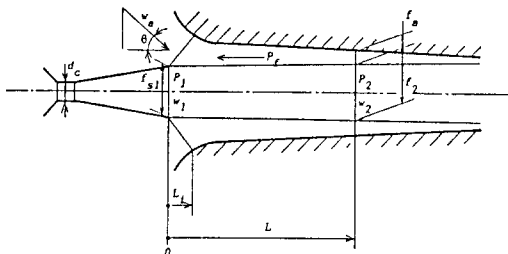


Fig. 1 Flow model near the outlet of motive steam nozzle

디퓨저 入口部를 포함한 吸入室의 壓力이 P_2 로 서 一定하고 吸入流體는 一定한 吸引力을 받아서 가속된다고 가정할 경우, 노즐出口로 부터 任意距離 (L)에서의 蒸氣噴流에 의한 吸引力 P_f 는,

$$P_f = x' (r_m / 2g) W_1^2 A_f \quad (2.5)$$

로 된다. 위 式에서 x' 는 蒸氣噴流의 吸引力係數로서, Ueda는 實驗의 結果로 부터 $x'=0.01$ 로 주고 있으며,⁸⁾ A_f 는 노즐出口로 부터 任意距離 L 까지의 驅動蒸氣의 噴流 表面積을 나타내고 있다.

또한 連續方程式으로 부터 $f_2 = (G_m / W_2) v_m$ 에서, 混合室 入口部 流速 W_2 는,

$$W_2 = (g / G_m) [(G_m / g) W_1 + f_1 p_2 - f_1 p_1 - P_f] \quad (2.6)$$

이며, 흐름방향 위치 L 에서의 吸入流體의 流速은,

$$W_{a1} = (G_a / f_{a1}) v_a \cos \theta \quad (2.7)$$

로 된다. 한편 吸入流路에 必要한 斷面積 f_a 는

$$f_a = f - f_2 \quad (2.8)$$

이다. 위 式에서 f 는 實際 設計된 디퓨저에서 任意距離 L 에서 흐름방향 流路의 總斷面積이며, f_2 는 驅動流體가 갖는 噴流의 斷面積을 의미한다.

또한, 式 (2.7)과 式 (2.8)에서 吸入量 G_a 를 구하면,

$$G_a = \sqrt{[f_a (g / v_a) (p_0 + P_f)]} \quad (2.9)$$

이상과 같이 驅動蒸氣의 運動量 p_0 와 吸引力 P_f 에 의하여 구해진 任意位置 L 에서 吸入가능한 吸入量은 Fig.2에서 보는 바와 같이 位置에 따라 다르게 나타나며, 等壓 條件下에서는 L_0 지점에서 最下값 G_{a0} 가 된다.

植田⁷⁾는 補正過程에서, $G_{a1} / G_{a0} > 1.35$ 와, $L = L_0 + (d/4)$ 의 지점에서, $(G_m + G_a) / (G_m + G_{a0}) > 1.02$ 의 制限條件을 제시하였다.

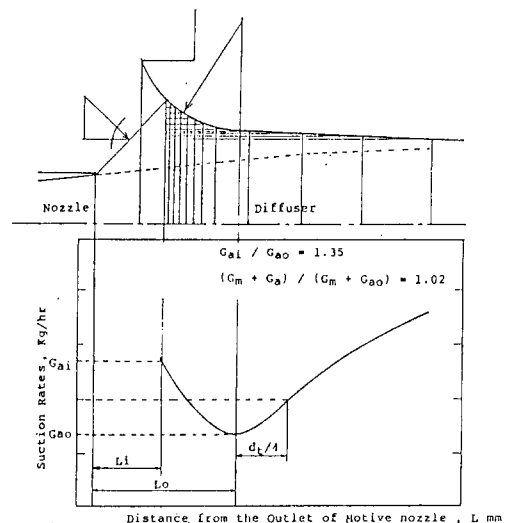


Fig. 2 Suction capacity according to the diffuser length

3. 實驗裝置 및 實驗方法

3.1 實驗裝置의 概要

Fig.3은 實驗裝置의 全體 配置圖를 나타내고 있으며, 驅動部, 實驗用 蒸氣 이젝터, 凝縮部, 蒸發部, 計測部 등으로 구성되어 있다.

蒸氣 보일러에서 발생하는 高溫, 高壓의 蒸氣는 氣水分離器와 感壓밸브를 통과하면서 良質의 蒸氣가 되어, 所定の 壓力을 유지하면서 實驗用 蒸氣 이젝터로부터 驅動밸브와 필터를 거쳐 驅動 노즐측으로 유입된다. 이 때 驅動노즐은 蒸氣의 壓力에너지를 速度에너지로 변환시킨다. 吸入氣體인 空氣는 吸入室內에 형성되는 負壓에 의하여 蒸發部에 설치된 오리피스를 통하여 大氣로 부터 유입된다.

驅動蒸氣와 空氣는 디퓨저 吸入部에서부터 점차 혼합되면서 디퓨저 縮小部, 목部, 擴大部를 지나는 동안, 速度에너지를 壓力에너지로 변환하여 이젝터로부터 凝縮部에 이른다.

凝縮部에서는 遠心펌프가 설치되어 필요한 冷却水를 공급하는 한편, 混合氣體는 凝縮水와 不凝縮가스로 분리되어 凝縮水는 별도로 제작된 저장탱크에서 流量 및 溫度가 측정되며, 不凝縮가스는

大氣로 放出된다.

Fig. 4는 驅動側, 吸入側, 吐出側으로 구성된 實驗用 蒸氣이젝터의 組立圖이며, 이젝터의 內部流動 狀態를 알기 위하여 吸入室 및 디퓨저 各部의 任意의 위치에 (그림에서 a, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) 直徑 1mm의 靜壓孔을 설치하여 水銀마노메터에 연결하였다. 여기서 壓力孔과 마노메터의 連結管內에서 蒸氣가 응축하게 되면 測定值에 影響을 미치게 되므로 별도의 凝縮分離器를 製作 設置하였다. 그리고 디퓨저의 목部 直徑과 길이는 參考文獻⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁷⁾을 통하여 驅動蒸氣流量과 吸入空氣流量 및 이젝터의 吐出壓力를 고려하여 直徑 18.3 mm, 73.0 mm로 하였다.

實驗用 이젝터의 노즐은 驅動노즐의 出口와 디퓨저 入口와의 間隔 變化가 이젝터의 性能에 미치는 影響을 파악하기 위하여, 축 방향으로 最高 70 mm 까지 가변할 수 있도록 설계하였다. 또한, 驅動壓力와 驅動蒸氣의 消耗量에 따라서 정해지는 노즐목部의 直徑은 4.45 mm, 5.05 mm이며, 노즐 出口直徑은 15.8 mm, 17.8 mm로 제작하여 사용하였다.

사진 1과 사진 2는 實驗裝置의 전경과 實驗用 蒸氣 이젝터의 사진이다.

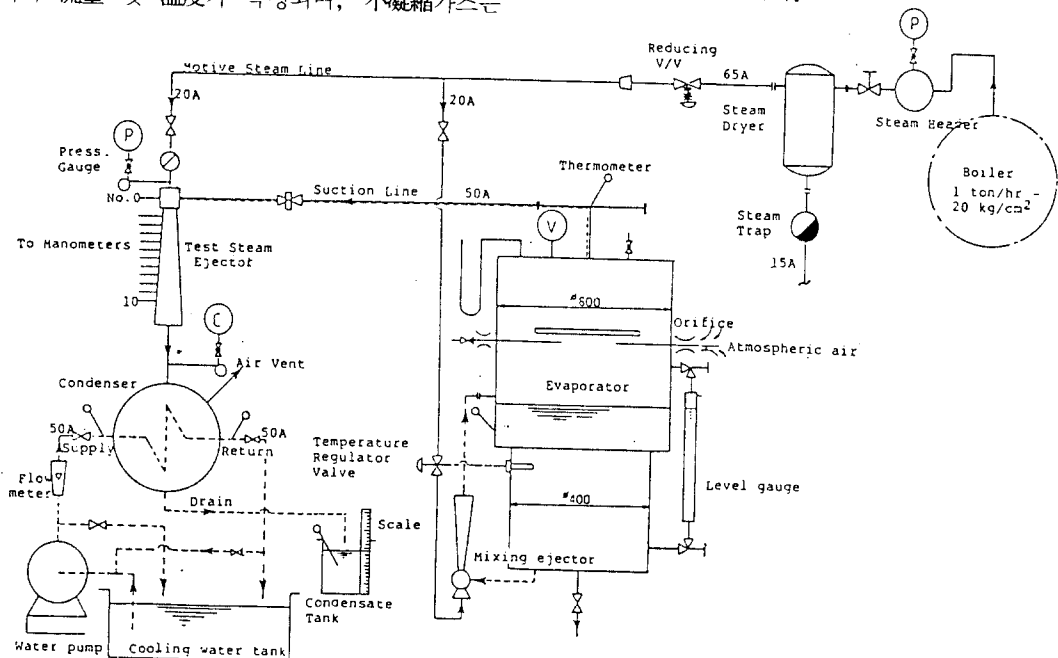


Fig. 3 Flow chart of the experimental apparatus

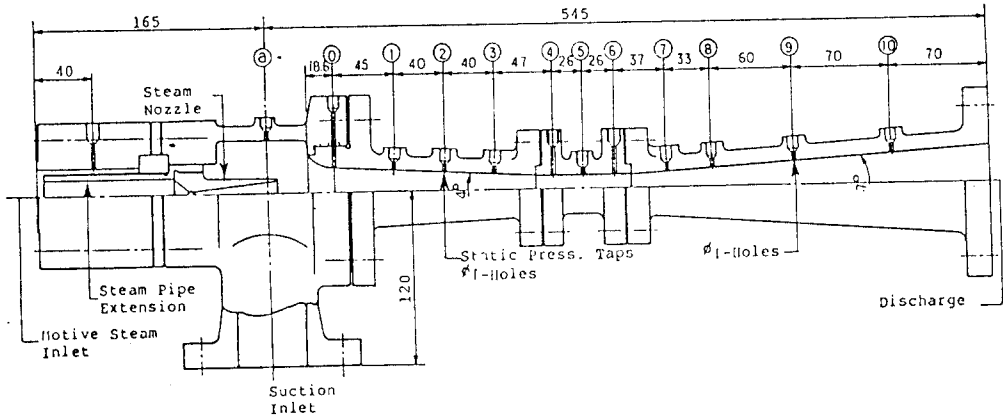


Fig. 4 Experimental steam-jet ejector

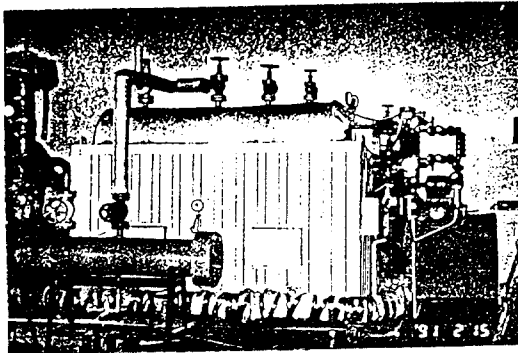


Photo 1 The experimental apparatus

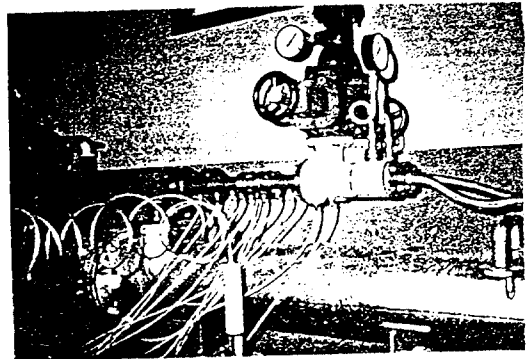


Photo 2 The steam-jet ejector

3.2 實驗方法

實驗은 Fig. 3에서 보는 바와 같이水管式 보일러에서 발생하는 蒸氣를 氣水分離器를 통과시켜 乾度 1.0의 乾飽和蒸氣로 행하였다. 實驗範圍은 驅動노즐前에서 驅動蒸氣의 壓力를 3-5 kgf/cm², 蒸氣流量을 最高 150 kg/hr 까지 제한하였다.

노즐의 流出係數를 구하기 위하여 이젝터 吸入 밸브를 닫고 驅動壓力의 變化에 따른 노즐의 通過 蒸氣量을 계측하였다. 計測方法은 凝縮部의 튜브 側에 흐르는 冷却水와 熱交換에 의한 蒸氣의 凝縮 水を 配水管을 통해 별도로 제작된 水槽에 모아서 一定時間에 대한 體積流量으로 하였다.

蒸氣 이젝터의 性能特性은 驅動노즐의 出口에서 디퓨저 縮小部 入口까지의 距離(L)를 一定히 유지 하면서, 驅動壓力의 變化에 따른 吸入 眞空度를 측정하였다. 또한 吸入流量의 調整은 空氣用 오리 피스의 斷面積을 바꾸어 吸入空氣通過斷面積을 조

절함으로써 가능하였다.

같은 方法으로 驅動노즐의 距離(L) 變換裝置를 利用하여 距離(L) 變化에 따른 이젝터의 性能特性을 분석하고 最適의 性能을 추적하였으며, 蒸氣 이젝터 各部에 미치는 影響을 밝혀내기 위하여 各部의 靜壓을 측정하여 實際內部的 流動過程을 분석하였다.

이상과 같은 一連의 實驗을 통하여 이미 開發된 電算프로그램에 의한 豫想値와 比較 檢討하고, 本 實驗中에 제작한 船舶用 蒸氣이젝터와 輸入製品과의 性能比較 實驗을 수행하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1 性能曲線

驅動노즐의 목部 直徑 dn을 4.45 mm와 5.05

mm로 一定하게 하였을 경우, 驅動蒸氣壓力의 變化에 따른 驅動蒸氣流量을 測定한 實驗結果에 의하면 驅動蒸氣의 驅動壓力變化에 따른 驅動노즐 목부의 通過效率 ϕ 는 0.92-0.98을 나타내며, 그 平均値는 약 0.96 程度임을 알 수 있었다.

Fig.5와 Fig.6은 蒸氣 이젝터의 性能曲線을 나타낸다.

本 實驗에서는 驅動壓力를 一定히 유지하고 디퓨저의 出口壓力를 大氣壓으로 유지하였으며, 노즐의 위치는 디퓨저 入口를 基準으로 한 距離(L)을 10 mm와 -10 mm의 두가지 경우에 대하여 吸入空氣量의 變化에 대한 影響을 고찰하였다.

그림에서 실선은 먼저 開發된 CAD에 의한 理論的 豫想性能曲線을 나타낸다. L이 10 mm일 때 CAD에 의한 結果와 實驗結果는 근접한 값을 나타내고 있으며, 吸入流量이 0일 때 最高眞空度 745 mmHg까지 나타남을 알 수 있다. 그러나 같은 條件에서 L이 -10 mm일 때는 CAD에 의한 結果와 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 驅動蒸氣가 驅動노즐에서 분사되어 디퓨저에 音速以上の 速度로 유입할 때 벽면과의 衝突(吸入空氣와의 衝突도 포함)에 의한 壓力上昇이 발생하여 디퓨저 목부에서 音速이하의 흐름상태가 됨으로써, 混合室에 背壓이 작용하여 吸入室을 低眞空狀態로 만들기 때문이다.

本 實驗에서 距離(L)에 대한 實驗結果는 實驗範圍內에서 從來의 實驗傾向과 잘 一致됨을 알 수 있다. Fig. 6은 驅動蒸氣壓力의 變化에 대한 吸入眞空度を 나타내며, 吸入空氣量이 증가할수록 眞空度は 점차 떨어짐을 알 수 있다.

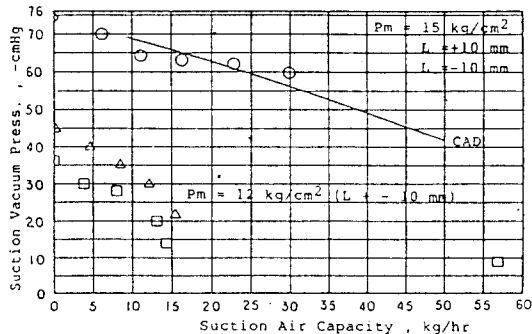


Fig. 5 Performance curves according to the capacity of suction air

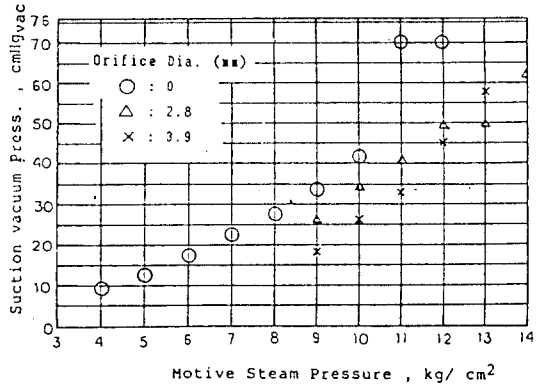


Fig. 6 Performance curves according to the pressure of motive steam

4.2 디퓨저內의 壓力變化

Fig.7은 吸入空氣를 동반하는 경우의 디퓨저 各部의 靜壓分布를 나타낸다. 그림의 a部는 混合室의 狀態를 나타내며, 디퓨저 縮小部의 斷面 0, 1, 2, 3은 驅動蒸氣의 噴流과 吸入流體가 혼합하는 것이다. 0部가 a部보다 높게 되는 것은 驅動蒸氣가 노즐에서의 狀態 0의 壓力까지 팽창되고, 이 때 混合室의 流體도 狀態 a에서 狀態 0까지 팽창하고 있다고 판단된다. 또한 實驗에서 高眞空과 低眞空의 流動過程의 분포는 매우 다르게 나타나는데, 高眞空은 디퓨저 縮小部와 목부까지 서서히 壓力이 증가되다가 擴大部 入口에서 부터 급격히 壓力이 상승하는 擴大部의 일반적인 壓力分布를 나타낸다. 그림에서와 같이 平行목부에서의 壓力이 일

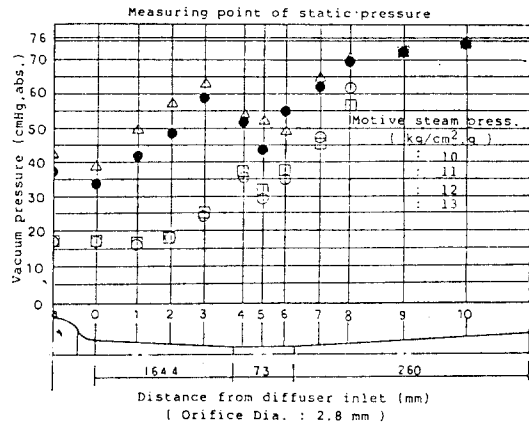


Fig. 7 Distribution of static pressure in diffuser

정하지 않은 現象을 植田은 2重眞空現象이라 정의 하였다.⁸⁾ 이러한 現象은 高眞空의 경우에는 平行 吸口(4)에서 急激한 壓力의 상승이 일어나고 低眞 空의 경우는 縮小部(3)에서 壓力이 극대점을 만들 어 平行吸口(5)에 이를 때까지 壓力降下하는 흐름 이 된다. 즉 音速以下의 흐름이 되며 平行吸口에 서 노즐과 같은 作用을 하게 되는 現象을 말한다. 이와 같은 2 重眞空現象은 實際의 蒸氣이젝터의 性能에 가장 중요한 影響을 미치는 要因으로 알려 져 있다.

4.3 蒸氣 이젝터의 性能比較

Fig. 8은 本 實驗의 結果에서 얻은 각종 係數를 이용하여 제작한 市販用(A)蒸氣 이젝터의 性能을 나타낸다. 驅動壓力은 最低 12 kgf/cm²(最高 14 kgf/cm²)이며, 驅動蒸氣 消耗量 560 kg/hr, 要求 眞空度 600 mmHg, 吸入量 113 kg/hr(乾空氣 30.5 kg/hr 包含), 吐出壓力 1.1 kgf/cm²abs.의 計 算條件으로 제작되어 實際 船舶에 탑재된 C.O.P. T 배압유지용 蒸氣 이젝터이다.

그림에서 驅動노즐 吸口와 디퓨저 吸口와의 斷 面積比 ($R = A_n/A_t$)는 0.0625와 0.09이며, $R = 0.0625$ 일 때는 만족한 성능을 보여주고 있으나 $R = 0.09$ 인 경우에는 低眞空을 나타내며, 驅動壓 力 10 kgf/cm²의 最高의 眞空度 390 mmHg에서 점차 驅動壓力이 증가하면 오히려 眞空도가 떨어 지는 경향을 나타낸다. 이것은 驅動壓力이 증가할 수록 驅動蒸氣量이 증가하고, 또 디퓨저 出口는 대개 大氣壓과 同一하여 디퓨저 吸口의 일정 斷面 積에서 통과할 수 있는 流量이 한정되므로, 混合 室이 배압의 영향을 받게되어 斷面積比에 대한 最 高 眞空도를 얻는데 影響을 받기 때문이다.

Fig. 9는 H 造船의 시리즈船에 탑재되는 設計條 件으로 제작된 市販用(B)의 性能과 日本 S 社에 서 輸入한 蒸氣 이젝터의 性能을 비교한 것을 나타 낸다.

그림에서 驅動壓力이 점차 증가할수록 두 製品 의 吸入 眞空壓力이 비슷한 경향으로 증가하고 있 으며, 驅動壓力이 증가할 때 점 A에서 점 B로 急變하는 것은 驅動노즐의 非定常膨脹過程과 디퓨 저內의 流動狀態의 變化 때문이라고 생각된다.

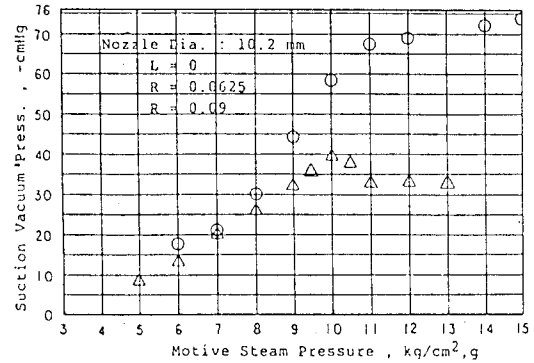


Fig. 8 Performance of the domestic manufactured steam ejector

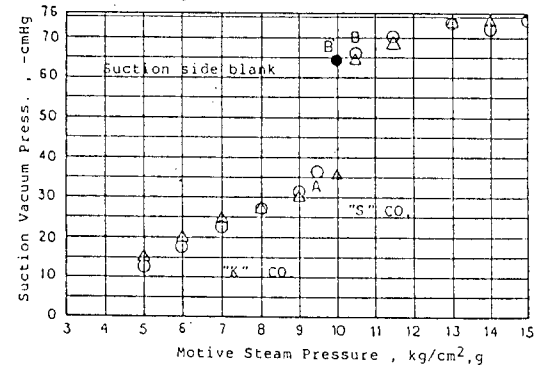


Fig. 9 Comparison of the domestic manufactured steam ejector with foreign one

5. 結 論

蒸氣 이젝터의 吸入性能에 가장 큰 影響을 미치 는 要因이라고 생각되는 驅動노즐의 形狀과 驅動 노즐 出口에서 디퓨저 入口까지의 거리, 디퓨저 內部の 流動過程에 관한 實驗을 수행하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1) 本 研究過程을 통하여 제작된 實驗裝置는 單 段 및 多段 시스템의 蒸氣이젝터를 실제와 같은 條 件下에서 實驗可能케 하였다.

2) 驅動노즐에서 入口 速度係數는 0.92-0.98이 며, 熱落差係數는 0.85-0.96 程度임을 알 수 있었 다.

3) 驅動노즐의 入口에서 부터 디퓨저 入口까지 의 間隔에 관하여는, 驅動노즐의 位置에서 48-54° 附近의 경우 直徑이 디퓨저 平行吸口 直徑 $\sqrt{2}$ 배

程度에서 最適의 效率을 유지하였으며, CAD에서 제시한 거리와는 차이가 있었다.

4) CAD에서 제시하는 豫想性能曲線은 實驗値와 잘 일치하였다.

5) 驅動노즐의 목部 斷面積과 디퓨저의 목部 斷面積의 比가 吸入性能에 影響을 미치며, 本 實驗에서는 壓縮比 5.2, 膨脹比 101.3일 때 面積比 0.0625가 最適狀態임을 알았다.

6) 本 實驗을 통하여 제작한 市販用 蒸氣 이젝터는 輸入品과 비교하여 同等한 性能을 유지함이 확인되었다.

本 研究는 蒸氣 이젝터의 性能特性에 대한 基礎的 實驗이며, 蒸氣 이젝터의 電算 프로그램의 完벽한 보안을 위하여 더욱 體系的이고 具體的인 反復實驗이 요구된다.

끝으로 本 研究는 科學技術處의 特定研究開發課題에 의하여 수행되었음을 밝히며, 實驗裝備와 研究費 一部를 지원한 基元産業社에 심심한 謝意를 표한다.

參考文獻

1) R. Royds and E. Jonson, The fundamental principles of the steam ejector, Proceeding institution of mechanical engineers, Vol. 145, pp. 193-209(1941)

2) L.F. Whitney, The mercury ejector refrigerator, Refrigerating engineering, Vol. 24, pp. 143-146(1932)

3) S.S. Eichacker and H. Hoge, Jet-compression efficiencies as influenced by the driving gases, Journal of the aerospace sciences, Vol. 27, pp. 636-7(1960)

4) J.H. Keenan, E.P. Neumann, and F.Lustwerk, An investigation of ejector design by analysis and experiment, Journal of applied mechanics, Vol. 17, pp. 299-309(1950)

5) 金京根, 金容模, 金明煥, 姜信丕, 蒸氣 이젝터의 自動化 設計를 위한 電算 프로그램의 開發, 韓國舶用機關學會誌, 第11卷, 第3號, pp. 219-226(1987)

6) 金京根, 金容模, 金明煥, 姜信丕, 吳炳周, 蒸氣 이젝터의 컴퓨터 支援設計用 電算프로그램의 開發, 大韓機械學會, 第8卷, 第12號, pp. 717-720(1987)

7) 植田辰洋, 蒸氣 이젝터의 性能特性과 性能設計法에 관한 研究, 日本化學工學會, 第24卷, 第5號, pp. 263-273(1960)

8) 植田辰洋, 蒸氣 이젝터의 性能特性에 관한 研究, 日本機械學會誌, 第26卷, 第165號, pp. 737-744(1960)

9) 金京根, 大型 蒸氣 凝縮機用 高眞空 維持시스템의 開發, 科學技術處, 8921-0400-008(1990)