

# 蒸氣 이젝터의 自動設計를 爲한 電算프로그램의 開發

金京根 · 金鎔模 · 金明煥 · 姜信丕

## A Study on the Computer-Aided Design of Steam Ejector

K.K. Kim, Y.M. Kim, M.H. Kim, S.D. Kang

### Abstract

Steam ejector is a equipment which compresses the gases to desired discharge pressure. It is widely used for the evacuation systems because of its high working confidence. And recently it is used as the thermo-compressors in the various energy saving systems.

Steam ejector is constructed of three basic parts; a suction chamber, a motive nozzle and a diffuser. The high velocity stream jet of steam emitted by the motive nozzle creates suction chamber, which draws the low pressure gases. The diffuser converts the kinetic energy of high velocity flow to pressure energy.

It is not easy to determine the dimensions of a steam ejector met to the desired design condition, because that the expected suction rates must be obtained by repeating the complicate calculation. And also such a calculation is concomitant with geometrical analysis for suction part and diffuser based on the stability of steam flow. Therefore, it is considered that the Computer-Aided Design(CAD)of steam ejector is a powerful design method.

In this paper, computer program for steam ejector design is developed based on the theoretical research and the previous experimental results. And the determinating method of diffuser inlet angle and the velocity development profile of suction gas along to the diffuser are suggested. The validity of the developed computer program is sufficiently confirmed through the comparison of the present computed results with other's for the practical design calculation of a manufactured steam ejector.

### 使用記號

$A$  : 일의 熱當量

$a$  : 加速度

$A_f$  : 驅動蒸氣의 噴流表面積

$C_p$  : 定壓比熱

$D_m$  : 디퓨저 喉直徑

$f$  : 斷面積

$G$  : 重量流量

$g$  : 重力加速度

$i$  : 엔탈피

$\kappa$  : 斷熱指數

$M_o$  : 音速

$p$  : 壓力

$P_f$  : 牽引力

- $r$  : 比重量
- $v$  : 比體積
- $w$  : 速度
- 添字
- $o$  : 노즐入口
- $1$  : 노즐出口
- $2$  : 디퓨저 縮少部
- $a$  : 吸入流體
- $c$  : 노즐목
- $d$  : 吐出部
- $m$  : 驅動蒸氣
- $t$  : 디퓨저 목

### 1. 序 論

蒸氣 이젝터(steam ejector)는, 蒸氣의 噴流에 의하여 眞空 또는 低壓의 기체를 吸入하여 임의의 吐出壓力까지 壓縮하는 펌프의 일종이다. 이러한 蒸氣 이젝터는 일반펌프와 비교하여 構造가 간단하고, 可動部分이 없어 고장의 염려가 없고, 확실한 信賴性을 갖고 있기 때문에 Fig.1에 보인 바와 같이 精油 플랜트 및 火力發電所의 主復水器(Main condenser)에서 공기 등의 不凝縮가스의 제거시스템, 선박의 C.O.P.T (Cargo Oil Pump Turbine)용 復水器의 背壓維持 시스템과 蒸氣船 主復水器의 背壓維持, 그리고 흡수식 冷凍機등에 쓰이고 있다. 최근에는 특히 省에너지와 관련하여, 製紙工場, 食品工場 비누工場등 다량의 蒸氣 사용공장에서 低壓

廢熱蒸氣를 回收하는 시스템에서 蒸氣 이젝터는 필수적인 機械要素로서 사용된다.

얼마전까지 국내에서 所用되는 蒸氣 이젝터는 그 설계상의 난해성으로 인하여, 電氣輸入에 의존하다가, 최근 K사에 의하여 주로 船舶用을 대상으로 國內供給이 시작되어, Fig.2와 같은 國內生産實績을 올리고 있다. 이 그림에 나타난 生産實績은 本 研究를 통하여 開發한 進山프로그램에 의한 것이 대부분이다. 本 進山프로그램은 아직도 外國産에 의존하고 있는 火力發電所用의 蒸氣 이젝터까지도 設計가 可能하도록 개발이 되었다.

蒸氣 이젝터의 컴퓨터 支援設計는 液體用 이젝터의 컴퓨터 支援設計와 比較<sup>1)</sup>하여 다음과 같은 工學上의 어려움이 있다. 첫째, 驅動노즐에서 高溫高壓의 蒸氣가 流入하여 大氣壓 이하까지 膨脹하고 出口速度가 마하 3~4정도인 점, 둘째 高速이므로 吸入流體와 驅動流體의 운동량 교환 시간이 짧은 점, 셋째 유체의 壓縮性을 고려하여야 하며 衝擊波의 영향이 큰 점등이다. 따라서 이러한 蒸氣 이젝터의 各部 損失 및 엔탈피의 변화등을 精確히 理論的으로 예측하여, 주어진 設計條件에서 蒸氣 이젝터가 最高效率를 유지할 수 있도록 각부의 主要寸수를 결정하고, 나아가 제작된 蒸氣 이젝터의 作動性能曲線을 事前에 예측하는 것은 상당한 노력을 요한다. 이러한 이젝터의 設計를 위하여 필요한 각부의 熱流體 工學的 손실에 관한 해석은 이론만으로 불가능하며 實驗的 結果의 뒷받침을 필요로 하는데, 實

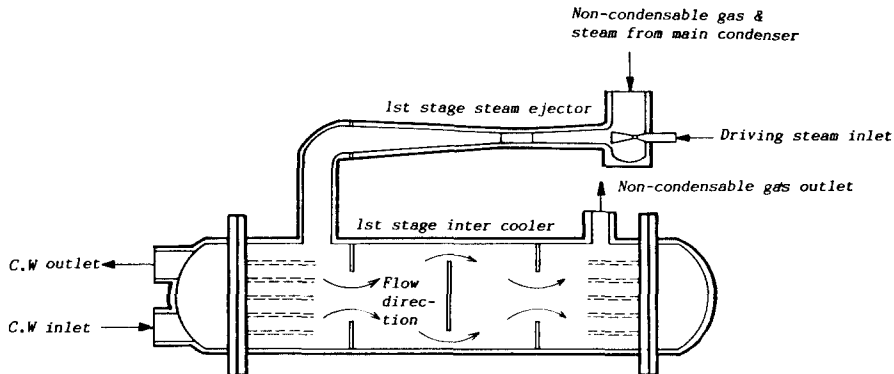


Fig.1 Deaerating system for main condenser

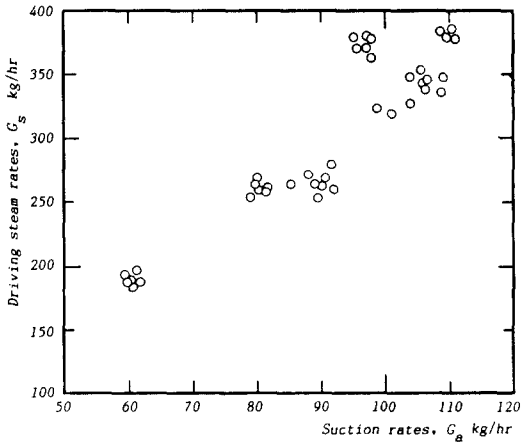


Fig.2 Recent products of steam ejector(KI-WON Ind. Co.)

驗裝置가 방대한 규모로 되는 問題點이 있다.

本 研究에서는 위와 같은 이유 때문에, 蒸氣 이젝터에 關於하여 처음으로 研究結果를 發表한 Ueda의 理論 및 기존의 實驗的 研究結果와<sup>2-9)</sup> K사가 造船所에 納品한 제품의 運轉成績<sup>12)</sup>을 토대로 하여 蒸氣 이젝터 컴퓨터 支援設計用 전산프로그램을 開發하였다. 본 프로그램이 갖는 특징으로서, 基本的으로 반복계산을 요하는 蒸氣 이젝터의 設計計算時間이 매우 단축된 점, 주어진 設計仕樣에 대하여 항상 定常作動時 最高의 效率를 維持하도록 각 부의 치수가 결정되는 점, 事前에 性能曲線을 제시함으로써 전체 시스템과의 匹配성을 더욱 높일 수 있다는 점이며, 現實적으로 國產代替가 가능하게 된 점도 중요하다고 하겠다.

## 2. 理論設計

Fig. 3은 蒸氣 이젝터의 基本構造 및 各部의 名稱을 나타낸다. 蒸氣 이젝터의 作動原理는 驅動 蒸氣가 驅動노즐을 通過함으로써 保有하고 있는 熱에너지가 速度에너지로 變換하게 되며, 이에 따라 吸入室內에 負壓을 형성시켜 流體를 흡입하게 된다. 驅動流體와 吸入流體는 디퓨저 入口부에서 양 유체의 速度差에 의한 마찰항력이 발생하기 때문에 그에 따라 牽引力이 생기며, 디퓨

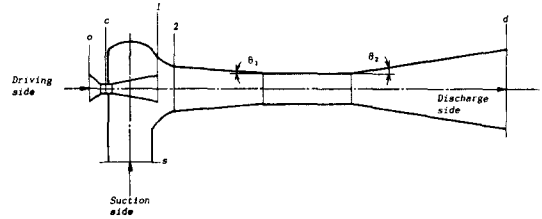


Fig.3 Schematic diagram of steam ejector

저 목부에서는 兩 流體가 완전히 混合되어 디퓨저 擴大部에 이른다. 디퓨저 擴大部에서는 속도 에너지의 일부가 압력에너지로 變換됨으로써 吸入流體의 托출이 가능하게 된다.

### 2.1 노즐내 蒸氣의 流動

노즐은 蒸氣의 熱에너지를 運動에너지로 變換시켜서 그 운동에너지를 이용하여 混合室의 유체를 흡입하는 중요한 역할을 한다.

收縮-擴大 노즐을 통과하는 壓縮性 流體의 흐름을 등엔트러피 變換過程으로 간주하고, 蒸氣를 理想氣體로 취급함으로써 다음과 같이 노즐내 蒸氣流動을 解析한다. 먼저 노즐입구 엔탈피  $i_0$ 와 출구 엔탈피  $i_1$ 는

$$i_0 = C_p T_0 \quad (1)$$

$$i_1 = C_p T_1 \quad (2)$$

또한 노즐 입구와 출구 에너지式으로부터

$$i_0 - i_1 = \frac{A(w_1^2 - w_0^2)}{2g} \quad (3)$$

式(1), (2)를 式(3)에 代入하여 풀면

$$\begin{aligned} \frac{A(w_1^2 - w_0^2)}{2g} &= C_p(T_0 - T_1) \\ &= -\frac{A\kappa}{\kappa - 1}(p_0 v_0 - p_1 v_1) \end{aligned} \quad (4)$$

또한 노즐내에서의 흐름을 斷熱膨脹으로 가정하면, 식(4)에서 노즐출구속도  $w_1$ 은

$$w_1 = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_0 v_0 \left\{ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right\} + w_0^2} \quad (5)$$

여기서 입구속도  $w_0$ 은  $w_1$ 에 비하여 매우 작으므로 이를 생략하면

$$w_1 = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa - 1} p_0 v_0 \left\{ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right\}} \quad (6)$$

식(6)은 驅動蒸氣의 노즐出口速度를 나타내는

식으로서, 출구속도는 驅動蒸氣의 압력과 比體積 그리고 노즐 出口壓力에 따라 變하게 됨을 알 수 있다. 여기서 斷熱指數  $\kappa$ 의 실제값은 飽和壓氣인 경우는 1.135이며 過熱蒸氣인 경우는 1.3 정도이다. 또한 連續의 方程式으로부터 노즐出口 斷面積을 구하면,

$$f_1 = \frac{G_m v_1}{w_1} \quad (7)$$

따라서 驅動蒸氣量이 決定되면 식(6)을 식(7)에 대입하여 노즐 出口斷面積을 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$f_1 = \frac{G_m v_1}{\sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} p_0 v_0 \left\{ 1 - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right\}}} \quad (8)$$

노즐 목에서의 蒸氣의 유동은 노즐 出口壓의 영향을 받는다. 즉, 노즐 出口壓이 臨界壓보다 낮을 경우에는 노즐목의 압력은 臨界壓力으로 되고 그때의 蒸氣速度  $w_0$ 는 마하 1을 가지게 된다.

$$w_0 = \sqrt{g \kappa p_0 v_0} = M_0 \quad (9)$$

또한 식(9)와 連續의 方程式을 이용하여 노즐 목의 단면적을 구하면

$$f_0 = \sqrt{\frac{G_m}{p_0 v_0 g \kappa \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}} \quad (10)$$

### 2.2 吸入性能 計算法

吸入室 유체의 흐름은 마하 3~4에 가까운 고속의 驅動蒸氣와 吸入流體가 混合하는 과정으로서 이 두 종류의 기체는 완전히 다른 성질을 갖는데, 고속의 驅動蒸氣와 吸入氣體와의 큰 속도차에 의해 摩擦抗力이 발생하며, 이 摩擦抗力은 흐름방향으로 吸入流體를 牽引하려는 牽引力으로서 作用하게 된다.

蒸氣 이젝터의 性能 계산을 위해서는 이러한 牽引力의 해석을 行한 후, 吸入流體의 速度發達過程을 理論적으로 고찰하고, 또한 驅動蒸氣와 吸入流體의 安定性を 고려하여 吸入室과 디퓨저의 形狀을 결정하여야 한다.

Fig. 4는 驅動노즐 출구 近處의 詳細를 나타낸

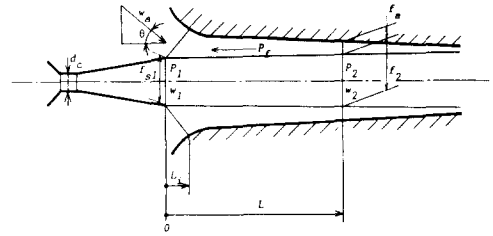


Fig. 4 Flow model near the outlet of driving nozzle

것이다. 디퓨저 입구부의 壓力과 吸入室의 壓力은  $p_2$ 로서 일정하며 흡입유체는 牽引力을 받아 加速된다고 가정할 境遇, 노즐 출구로부터 임의의 거리  $L$ 에서 驅動蒸氣의 運動量 方程式은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{G_m}{g} w_1 + f_1 p_1 = \frac{G_m}{g} w_2 + f_1 p_2 + P_f \quad (11)$$

여기서  $P_f$ 는 驅動蒸氣와 吸入流體와의 속도차에 의한 牽引力으로서 前述한 바와 같이 일종의 마찰항력에 의한 압력 손실에 상당하는 힘으로 나타낼 수 있다. 따라서  $P_f$ 는

$$P_f = x \int_0^L \frac{r_s}{2g} (w_1 - w_0)^2 dA_f \quad (12)$$

여기서  $w_0$ 는  $w_1$ 에 비하여 대단히 작으므로  $w_0$ 를 무시하면 식(12)는

$$P_f = x \frac{r_s}{2g} w_1^2 A_f \quad (13)$$

상식에서  $x$ 는 牽引力係數로서 실험적으로 求하는데, Ueda는 實驗結果로부터  $x=0.01$ 를 提示하고 있다. 또한  $A_f$ 는 노즐 출구로부터 임의의 거리  $L$ 까지의 驅動蒸氣의 噴流 斷面積을 나타내고 있다.

또한 驅動노즐 출구와  $L$  사이에서 吸入流體에 관한 運動量 方程式은 다음과 같다.

$$\frac{G_a}{g} w_{a1} + P_f = \frac{G_a}{g} w_a \quad (14)$$

식(14)에서  $P_0 = \frac{G_a w_{a1}}{g}$ 라고 假定하고, 連續의 方程式  $f_a = \frac{G_a v_a}{g}$ 으로부터 吸入流量을 구하면

$$G_a = \sqrt{f_a \frac{g}{v_a} (P_0 + P_f)} \quad (15)$$

상식에 의한 吸入量은  $P_0$ 를 임의의 係數로 假定했을 때의 吸入量으로서, 計算된 흡입량이

가정된  $P_0$ 를 滿足하여야 하는가를 確認하여야 한다. 또한 吸入流體의 吸入斷面積  $f_a$ 는

$$f_a = f - f_2 \quad (16)$$

로서,  $f$ 는 이미 설계된 디퓨저의 斷面積이며,  $f_2$ 는 驅動蒸氣가 노즐로부터 噴流되었을 때 노즐로부터 임의의 거리  $L$ 에서의 斷面積이다. 따라서 驅動蒸氣의 디퓨저 입구부 流路斷面積  $f_1$ 는 식(11)로부터 구할 수 있다. 즉 식(11)를  $w_2$ 에 관하여 풀면

$$w_2 = \frac{g}{G_s} \left( \frac{G_m}{g} w_1 + f_1 f_1 - f_1 P_2 - P_f \right) \quad (17)$$

따라서 連續의 方程式으로부터  $f_2$ 를 구하면

$$f_2 = \frac{G_m v_2}{w_2} \quad (18)$$

이상의 방법으로 구하여진 吸入流量은, 驅動蒸氣와 吸入流體와의 흐름방향으로 發生된 牽引力에 의한 吸入量으로서 식(15)에서와 같이 길이방향의 위치에 따라 변화하게 된다.

Fig. 5는 蒸氣 이젝터에 있어서 노즐出口로부터 길이방향의 위치에 따른 吸入流量의 變化를 概念的으로 표현한 것이다. 吸入室의 壓力은 거의 일정하므로, 실제로 가능한 吸入流量은 (b)와 같은 경우 길이방향에 있어서의 最少流量으로 결정된다. 그러나 Fig. 5의 (c)와 같은 경우에는 極少值가 없게 된다. 이는 디퓨저 縮少部에 있어서 驅動蒸氣의 擴散으로인하여 흡입은 거의 없게 된다. 또한 (a)의 境遇는 디퓨저내로 噴出した 驅動蒸氣가 박리되고 있는 상태로서, 驅動流體의 牽引力은 대부분이 박리에 의한 渦流

損失로 作用하고 있다. 따라서 이 때의 흡입 성능은 顯著히 低下하게 된다.

### 2.3 디퓨저 縮少部 形狀

디퓨저 縮少部는 흡입유체가 고속의 驅動蒸氣의 牽引力에 의하여 가속되는 부분으로서 吸入流體의 流路는 흡입유체의 가속된 상태의 따라그의 縮少角度를 決定하여야 하며, 전술한 바와 같이 吸入流體의 渦流防止를 고려하고 吸入流體의 통로로서의 精確한 形狀을 갖추어야 한다. 이러한 形狀決定은 驅動蒸氣의 牽引力으로부터 吸入流體의 速度分布를 解析함으로써 可能하다.

吸入流體 및 驅動流體의 흐름 해석과 디퓨저 縮少부의 形狀 설계를 위하여 다음과 같은 假定을 한다.

- (1) 驅動蒸氣는 노즐 출구후 擴散이 없으며,
- (2) 縮少部 각부의 壓力은 一定한다.
- (3) 縮少部에서 吸入流體가 占有하는 體積에 대한 吸入流體의 질량은 정지상태 때와 같다.

디퓨저 縮少部 임의의 위치에 있어서 微少體積을 점유하는 吸入流體의 質量  $m_a$ 가 牽引力을 받아 가속된다고 하자. 이때 吸入流體가 받는 힘은 식(12)에서와 같이

$$P_f = \int_0^L \frac{r_s}{2g} (w_1 - w_a)^2 dA_f \quad (12')$$

여기서  $dA_f$ 는 微小區間에서 驅動蒸氣와 吸入流體와의 接觸面積이다.

따라서 微少質量이 받는 加速度  $a$ 는

$$a = \frac{g P_f}{m_a} \quad (19)$$

식(19)의 右邊을 길이 방향에 대하여 積分하면 흡입유체의 平均加速度는 다음과 같이 된다.

$$\bar{a} = \frac{g P_f}{m_a} \quad (19')$$

여기서  $m_a$ 는 吸入流體가 占有하는 체적에 대한 吸入流體의 假想的 停止狀態의 質量을 나타내며,  $P_f$ 는 식(12)에서 구한 牽引力이다. 그러므로 디퓨저 縮少부 출구속도  $w_{a1}'$ 는

$$w_{a1}' = L \sqrt{\frac{2g P_f}{m_a}} \quad (20)$$

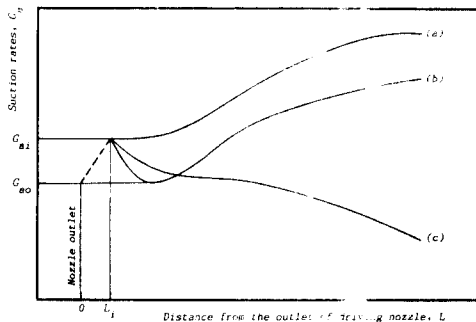


Fig. 5 Principle diagram of possible suction rate variations along the distance from the outlet of driving nozzle

식(20)의  $w_{a1}$ '는 디퓨저 축소부 입구에서의 吸入流體의 流入速度가 0이라고 가정하였을 때의 축소부 출구에서의 速度이다.

그러므로 디퓨저 축소부에 入口流速  $W_{a1}$ 을 고려한 임의 위치  $L$ 에서의 吸入流體의 平均流速  $W_a$ 는 식(20)을 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$w_a = w_{a1} + L \sqrt{\frac{2g P_f}{m_a}} \quad (21)$$

따라서 이 식에서  $L$ 에 대한 각 위치의 吸入流體의 速度를 구하고, 이것에 따라 連續의 方程式으로부터 각 위치의 단면적을 결정한다.

### 2.4 목부의 直徑決定과 驅動蒸氣量의 決定

蒸氣 이젝터의 성능을 가름하는 또 하나의 중요한 要素인 디퓨저 목부의 直徑 및 길이이다.

먼저 목부의 直徑은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$D_m = 0.16 \sqrt{\frac{(18/M)G_a + G_m}{P_d}} \quad (22)$$

위 식에서  $P_d$ 는 이젝터의 托출압력이다.

또한 목길이는 실험적으로  $4 \cdot D_m$ 으로 주어지고 있다. 托出壓力과 吸入流體의 壓力 및 驅動蒸氣量을 결정하는 데는 주로 參考文獻<sup>14)</sup>에서와 같은 실험적인 결과를 이용한다. Fig. 6은 한 예로

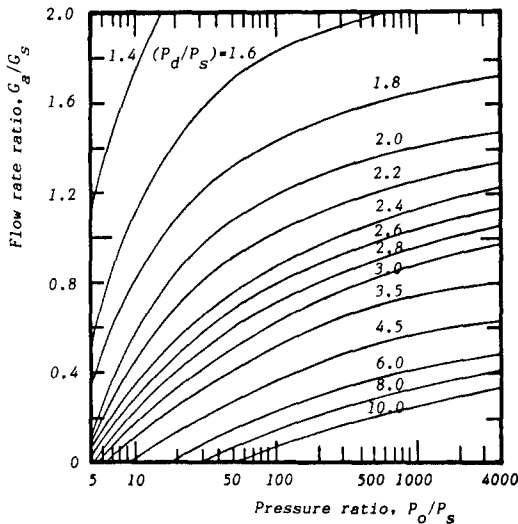


Fig. 6 Determination of driving steam rates from "Heat Exchanger Design Handbook"

서 驅動蒸氣量을 결정할 수 있는 관계 그래프를 보여준다.

### 3. 設計用 電算프로그램

Fig. 7은 以上の 結果를 토대로 하여 本 研究에서 開發된 電算프로그램의 플로우차트를 나타내고 있다. 本 프로그램에는 노즐부에서 蒸氣의 流動狀態를 把握하기 위해서 過熱蒸氣 및 飽和蒸氣의 物性值<sup>15-18)</sup> 副프로그램으로 입력되어 있다. 그리고 吸入性能에 매우 중요한 吸入部의 形狀은, 노즐출구와 디퓨저 벽간의 最短거리 및 吸入部의 形狀에 관한 幾何學的 圖形解析을 數值的으로 함으로써 決定할 수 있게 하

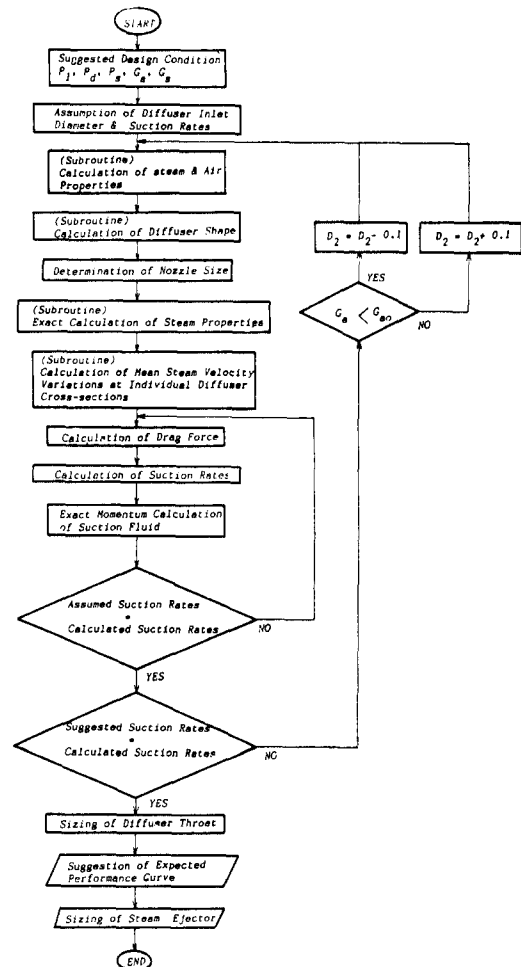


Fig. 7 Flow chart for the design of steam ejector

었다.

本 연구에서 개발된 蒸氣 이젝터 CAD용 전산 프로그램은, 이젝터의 運轉條件이 제시되면 蒸氣흐름의 安定性을 기초로 하여 蒸氣 이젝터 각부의 컷수 및 흡입부의 形狀을 결정한 다음, 豫想性能曲線까지도 出力하도록 되어 있다.

本 프로그램을 이용한 실제의 研究結果 例를 Fig. 8에 나타낸다.

먼저 (a)는 Ueda의 研究結果<sup>2)~9)</sup>와 本 研究結果를 비교하기 위해서 計算對象으로 채택된 蒸氣 이젝터의 주요컷수를 나타내고 있으며, (b)는 Ueda의 解釋結果와 本 프로그램에 의한 解

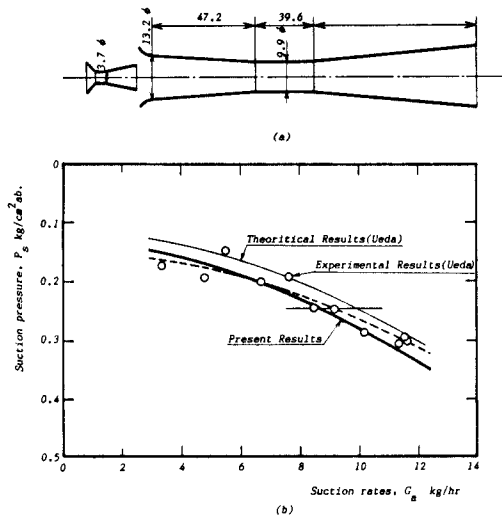


Fig. 8 Comparison of present results with Ueda's results

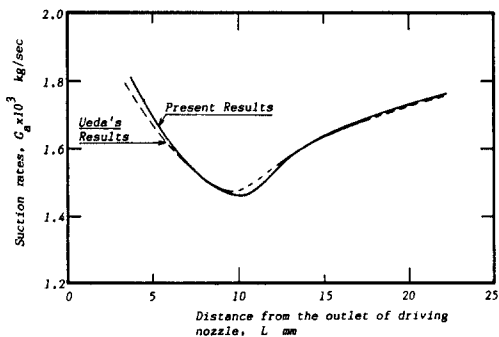


Fig. 9 Comparison of present suction rate variations with Ueda's Results(for Fig. 8(a))

釋結果를 비교한 것으로서 그림중의 ○표시는 Ueda에 의한 實驗結果를 나타내고 있다.

Fig. 9는 Fig 8에서 驅動蒸氣량이 37.7kg/hr이고 吸入壓力이 0.21kg/cm<sup>2</sup>a일 때의 Fig. 5(b)에 상당하는 경우에 대한 길이방향의 實際로 吸入 가능한 流量變化에 대한 研究結果를 비교한 것이다. 이에 關한 本 研究에서 開發된 프로그램에 의한 結果도 Ueda의 研究結果와 매우 좋은 一致를 보여 주고 있음을 알 수 있다.

### 5. 結 論

蒸氣 噴流를 利用하여 低壓蒸氣 및 空氣등을 吸入하는 蒸氣 이젝터에 關한 컴퓨터 支援設計用 電算프로그램의 開發過程을 通하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

- (1) 蒸氣 이젝터의 吸入流量을 보다 效率的으로 計算할 수 있는 方法을 提示하였다.
- (2) 디퓨저 縮少部の 形狀決定에 매우 重要한 縮少角度를 決定할 수 있는 方法을 提示하였다.
- (3) 實際 이젝터의 設計에 必要한 各部의 컷수에 있어, 本 프로그램의 結果와 Ueda의 研究結果는 매우 좋은 一致性을 보여 줌으로써 本 CAD용 프로그램의 信賴性이 충분히 확인되었다. 따라서 本 研究에서 開發한 蒸氣 이젝터 CAD용 電算프로그램은 今後 船舶用 뿐만 아니라 廢熱回收用을 포함한 陸上用의 各種 蒸氣 이젝터의 國産化에 매우 有用하리라고 생각한다.

끝으로 本 研究는 社團法人 産學協同財團과 基元産業社의 研究費分擔(1986年度)에 의하여 遂行되었음을 밝히며, 이에 심심한 謝意를 表하는 바이다.

### 參 考 文 獻

- 1) 金京根·金鎔模, 船舶用水 이젝터의 自動設計를 위한 電算프로그램의 開發, 韓國船舶機關學會誌, 10-1, 74-84(1986)
- 2) Ueda Tatuhiro, 蒸氣이젝터에 關한 研究(第 1, 2報), 日本機械學會誌, 18-67, 98-112

- (1952)
- 3) Ueda Tatsuhiro, 蒸氣 이젝터에 관한 研究 (第3報), 日本機械學會誌, 18—72, 56—60 (1952)
- 4) Ueda Tatsuhiro, 蒸氣 이젝터에 관한 研究 (第4報), 日本機械學會誌, 19—80, 31—37 (1953)
- 5) Ueda Tatsuhiro, 蒸氣 이젝터의 性能特性에 관한 研究, 日本機械學會誌, 26—165, 737—744(1960)
- 6) Ueda Tatsuhiro, 蒸氣 이젝터의 性能特性과 性能計算法에 對한 研究, 日本化學工學會, 24—5, 244—273(1960)
- 7) Gobayashi, 蒸氣 이젝터에 관한 實驗, 東京大學大學院論文集(1956)
- 8) Nakano, 蒸氣 이젝터에 관한 實驗, 東京大學大學院論文集(1956)
- 9) Miyayama, 蒸氣 이젝터에 관한 實驗, 東京大學大學院論文集(1958)
- 10) Standard for Steam Jet Ejectors, Heat Exchanger Institute Inc. (1980)
- 11) 에너지管理工團, 蒸氣工程의 에너지節約 (1986)
- 12) 基元産業社提供 設計資料(1987)
- 13) R.G. Cunningham, Gas Compression with the Liquid Jet Pump, Trans. ASME, 96—3, 203—215(1974)
- 14) Ohana, 熱交換器設計 핸드북, 工學圖書, 1169—1178 (1977)
- 15) Kuzman-Raznjevic, Handbook of Thermodynamic Table and Chart, McGraw-Hill(1985)
- 16) 流體 物性值集, 日本機械學會(1985)
- 17) C.A. Meyer et al, ASME Steam Table, ASME 4th Ed.(1979)
- 18) 傳熱工學資料集 改定3版, 日本機械學會(1975)