

# 漁撈幫浦實用化試驗 — II

## 真空式漁撈幫浦設計及其漁獲性能研究

蘇偉成

Experiments on the Practical Use of Fish Pump-III

Studies on Design of Vacuum Fish Pump and its Fishing Characteristics

Su Wei Cheng

Vacuum conveyance means the use of the pressure difference between atmospheric pressure and vacuum for conveying solids and liquids. The vacuum fish pump based on this principle is designed to reduce labor use in fishing operations.

This report analyses the theory upon which the design of the vacuum fish pump is based and describes the field test that has been carried out. The result is as follows:

1. The Windenburg and Trilling formula is reliable and convenient for determining the thickness of the cylindrical vacuum vessel with external pressure at the length less than the critical length. In addition, the working force should be five times the rupturing force, as:

$$5P = \frac{2.42E(t/D)^{2.5}}{(1-\mu^2)^{0.5} \{(L/D) - 0.45(t/D)^{0.5}\}}$$

Where,

P: Rupturing force in kg/mm<sup>2</sup>.

D: Young's modulus of material in kg/mm<sup>2</sup>.

$\mu$ : Poisson's ratio.

L: Length of vacuum vessel in mm.

D: Diameter of vacuum vessel in mm.

t: Thickness of vacuum vessel in mm.

Meanwhile, considering the corrosion of material, the corrosive value of the material should be added to the thickness.

2. Vacuum pump design is very important for the vacuum system. At first, the pressure of full water should be obtained by the principle of conservation of energy and the formula of mean value of function from the average velocity of the flow, as:

$$\bar{V} = \frac{1}{P_i - \frac{H \cdot \rho_w \cdot t \cdot 1000}{\rho_{HG}}} \int_{P_i}^{P_o} \frac{P_i}{H \cdot \rho_w \cdot t \cdot 1000} \sqrt{2g \cdot \frac{[P_o - \frac{H \cdot \rho_w \cdot t \cdot 1000}{\rho_{HG}} - P_i] \cdot \rho_{HG}}{1000 \cdot \rho_w \cdot t \cdot (f_i + f_o + f_e + f_h \cdot \frac{L}{D} + 1)}} dP_i$$

Where,

$\bar{V}$ : Average velocity in m/s.

$p_o$ : Pressure of atmosphere as 760 mmHg or Torr.

$p_i$ : Pressure of full water in mmHg or Torr.

$\rho_{Hg}$ : Density of mercury as 13.6.

$\rho_{w+f}$ : Total density of liquid containing solid.

$f_i$ : Loss coefficient of hose inlet.

$f_o$ : Loss coefficient of hose outlet.

$f_e$ : Loss coefficient of elbow of hose.

$f_h$ : Friction coefficient of hose.

$L$ : Hose length in m.

$D$ : Hose diameter in m.

$H$ : Inlet height of vacuum vessel in m.

Then, the average pumping speed of the vacuum system could be calculated by the formula of air flow balance, as:

$$S_n = 2.303 \cdot \frac{V}{t} \log \frac{P_o \cdot S_n - q_1}{P_i \cdot S_n - q_1}$$

Where,

$S_n$ : Net average pump speed in l/s.

$V$ : Volume of vacuum system in L.

$t$ : Pump-down time in sec.

$P_o$ : Atmospheric pressure in mmHg or Torr.

$P_i$ : Expecting pressure in mmHg or Torr.

$q_1$ : Leak rate in Torr · l/s

And, the suitable pump could be selected from the speed-pressure curve of the vacuum pump supplied by a manufacturer.

3. The density of mackerel could be measured by Archimede's principle and the density changed very slightly in six hours from the beginning of thawing. As, the spotted and pacific mackerels were 1.062; and the horse mackerel and amberfish were 1.067. The mixed ratio of spotted and pacific mackerels and horse mackerel and amberfish were 20% and 80%, respectively. Therefore, the total density of the mackerel was 1.066 from calculation.
4. The vacuum vessel for this experiment was 1100 mm in length and 900 mm in diameter. Therefore, the thickness of the vessel was 4 mm by the Windenburg and Trilling formula. With the addition of 2 mm in corrosive value, the vessel was made 6 mm in the thickness of mild steel. Meanwhile, the average net pumping speed of the vacuum pump was 39.7 l/s when the pressure was between 760 and 229 Torr. The average pumping speed of liquid vacuum pump at 39.9 l/s was selected for this experiment.
5. The pump-down time varied slightly with the ratio of fish to seawater. The pump-down time was about the same when the pressure was between 760 and 570 Torr for various ratio of fish and seawater. Then, the higher the ratio of fish was, the longer the time needed. This situation was more obvious after 460 Torr. in pressure. And, because of the high drag caused by friction, the full water time of

high ratio of fish was longer than the low ratio one. However, on account of the air leak in this vacuum system, the measured value of pump-down time was longer than the calculated value. Meanwhile, the leak rate between 760 and 265 Torr. in pressure was 8408 Torr·l/s in this vacuum facility.

6. In this experiment, the ratio of fish and seawater being 1:3.1, the pumping capacity of fish was 13.9 Tons/hr. It could certify the feasibility of the vacuum fish pump in Taiwan.
7. In this experiment, the average rate of fish damaged was about 0.75%.
8. The average velocity ( $\bar{V}$ ) of fish and seawater in the hose decreased while the ratio of fish (F) rose, and the relation could be illustrated by  $\bar{V}=2.302-0.056F+0.001F^2$  and  $r=0.96$ .
9. The falling time (T) of fish and seawater from vacuum vessel increased while the ratio of fish (F) rose, and the relation could be illustrated by  $T=28.268+1.047F$ , and  $r=0.97$ .

## 前 言

由於工商業的發展，對於人力資源需求與日俱增，致漁業勞力漸流向此第二、第三產業，因之漁業生產勞動力不足現象，亦日趨嚴重，更呈顯老年化情景；又因為近年來世界諸鄰近沿岸國家，相繼宣佈二百海浬經濟海域，以及受能源危機沖擊，使我國漁業的經營，不論遠洋、近海、沿岸及養殖漁業，皆面臨着重大打擊，因此漁業經營之機械省人省力化，乃為一刻不容緩的重要研究課題，期能達減少勞力，提高漁獲效率，增加漁民收益，更可促使我漁業，進入一新紀元。

為重振本省漁業，政府正積極輔導，發展高效率漁具漁法，諸如大型圍網 (Purse sene)，然其大量漁獲物起卸作業費時又費力，且每因作業時間太長，致漁獲鮮度欠佳，影響商品價值甚巨，形成漁民與國家莫大損失，因之如何使漁獲物的起卸作業，能達省人省力化的試驗研究，乃為今後發展本省漁業的重點；根據大日本水產會 (1975)，曾就日本產地市場之裝卸作業，以抄網 (Scoop net) 與漁撈幫浦作業比較之調查報告指出，漁撈幫浦確可達省人省力的效果。

漁撈幫浦的應用，早在1945年，於美國緬因洲之波特蘭 (Portland, Maine)，即用為鯧 (Herring)，及鱈 (Sardine) 由船上運送至陸上的一種裝備 (Burgoon, 1959)，後來更應用於圍網漁業海上作業 (Bobas, 1959; Bardarson, 1971)；且更配合集魚燈 (Luring Light)，先將鎖管 (Squid) 聚集於吸入口後，利用漁撈幫浦，全自動地將其由海中直接漁獲 (渡賴, 1971)。在蘇俄則使用集魚燈及電，而達到完全不用網 (Netless) 的漁撈幫浦作業，並積極做實用化開發研究 (Nikonorov, 1959 & 1963; Mal' ryavichus et al., 1971; 張, 1955)。筆者有鑑於此，為促進我漁業迅速發展，自1976年起，即致力於漁撈幫浦實用化之一連串研究，首先自行設計製造五吋口徑陸上離心式漁撈幫浦 (Volute fish pump)，於試驗池實施鮮魚 (臭肉鱈，購自民間漁船)、活魚 (吳郭魚) 之漁獲性能研究，更將其按裝於民間漁船 (新聯福 3號，16噸60馬力，澎湖籍，為捕臭肉鱈之焚寄網船)，出海實施現場揚魚試驗，初步獲得該幫浦發展的可行 (蘇等, 1977)；於1977年利用不同口徑虹吸管，在小型試驗水槽內 (長77公分×寬35公分×深35公分)，進行漁撈幫浦基礎試驗，得知其吸入口方向，對於漁獲效率並無影響，而吸力則隨與吸入口距離之增加而劇減，且利用五吋口徑陸上離心式漁撈幫浦，於試驗池，以吳郭魚為對象，在各種運速下，實施活魚運送試驗，並解剖魚體，俾瞭解活魚因幫浦抽試後致死原因，結果得知大部份係因內出血所致 (蘇, 1978)；並於1978年設計製造八吋口徑沈水式漁撈幫浦 (Capsul fish pump)，在各種不同轉速及水頭高度，完成其性能測試，結果獲知該幫浦確可發揮原設計功能，更證實漁撈幫浦在本省應用之可行性 (蘇等, 1979)；另 Kanda et al.,

(1978 & 1979) 更完成漁撈幫浦對南極蝦 (Krill) 連續作業之可能性, 此亦足以證明幫浦發展的重要。

漁撈幫浦可為分離式 (包括陸上式或固定式與沈木式), 及容積式即所謂的真空式 (包括靜止容積式與移動容積式), 前述概以離心式為主, 然真空技術的應用至為廣泛, 諸如真空乾燥 (Vacuum drying)、真空濃縮 (Vacuum condensation)、真空蒸餾 (Vacuum distillation)、真空結晶 (Vacuum crystal)、真空絕熱 (Vacuum insulation)、真空排氣 (Vacuum evacuation)、真空冶金 (Vacuum metallurgy)、真空蒸着 (Vacuum coating) 及真空輸送 (Vacuum conveying) 等, (黃, 1973; 原徹 1972); 真空式漁撈幫浦乃真空輸送之一, 係利用真空與大氣壓力的壓力差, 以達到輸送魚體的目的。粉粒體之空氣輸送 (Vacuum pneumatic conveying), 如水泥、大麥、木塊、鋸屑、黃豆等之運送, 在本省已甚為發展; 真空裝置由於其設備費用低, 所佔空間小, 且不易造成污染等優點, 在工業界被廣泛地採用, 然應用於漁業上漁獲物輸送, 在本省則迄今闕如, 為瞭解真空式漁撈幫浦在本省之可行性, 及促其早日達實用化, 本研究乃針對其設計理論, 予以剖析, 更進一步實施其漁獲性能試驗, 茲將其設計理論及試驗結果, 詳述如下, 以供將來研究與發展的參攷。

### 設計與理論解析

#### 一、真空容器設計:

真空容器大小, 並無一定設計準則, 一般係按照使用目的, 作業能量多寡, 空間大小等因素加以考量, 然而真空容器設計中, 最為重要之因子乃容器強度問題; 真空式漁撈幫浦, 係利用大氣壓力及真空之壓力差原理, 其容器乃受外壓作用, 茲就其設計基礎理論, 分述如下:

##### (1) 受外壓圓筒容器長度:

據齊木, (1967) 指出, 受外壓之圓筒, 當壓力不斷增加時, 圓筒終將招致破壞, 若圓筒容器在臨界長度 (Critical length) 以上時, 其將於圓筒材料降伏點 (Yield point) 以下之壓力而縮陷 (Rupturing), 此縮陷力與容器長度無關, 僅為圓筒直徑、厚度及材料之縱彈性係數 (楊氏率 Young's modulus) 函數爾; 然若圓筒長度或圓筒加強環 (Stiffening ring) 長度較臨界長度為短時, 則縮陷力除為前述諸因素變數外, 更應考慮圓筒長度或圓筒加強環長度。依 ASME (American standard of mechanical engineering) 圓筒臨界長度  $L_c$  可以下式表示, 即:

$$L_c = 1.73 (D \sqrt{D/t})$$

其中  $L_c$  為臨界長度 (mm),  $D$  表圓筒直徑 (mm),  $t$  圓筒厚度 (mm), 而較臨界長度為長之薄圓筒, 其縮陷力  $P$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ), 有如下規定, 即:

$$P = \frac{2Et^3}{(1-\mu^2)D^3}$$

式中  $E$  為受外壓圓筒材料縱彈性係數 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ),  $t$  表圓筒厚度 (mm),  $D$  圓筒直徑 (mm),  $\mu$  為蒲松氏比 (Poisson ratio), 上式經移項整理可得真空圓筒容器最小容許厚度  $t_{min}$ , 即:

$$t_{min} = \left(\frac{P}{2}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{1/3} \cdot D$$

另由於真空式漁撈幫浦其真空容器, 乃受大氣壓力作用, 因之  $P = 1.033 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{mm}^2$ , 可得

$$t_{min} = 0.173 \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{1/3} \cdot D$$

根據 Doughtie et al., 1964 指出, 為安全計, 一般以五倍之縮陷力為工作壓力, 予以設計真空容器強度, 因之  $t$  可以下式表示, 即:

$$t_{min} = 0.296 \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{1/3} \cdot D$$

由上式依各種不同金屬材料製成之真空圓筒容器，其直徑與圓筒壁厚關係如圖 1 所示，由圖中即可很方便地從設計容器直徑而獲知筒壁厚度；另各種材料之縱彈性係數，以其蒲松氏比值如表 I 所示。

(2)較臨界長度為短真空圓筒容器強度：

較臨界長度為短之受外壓圓筒容器，其筒壁厚度求取的近似式甚多，其中以 Windenburg 及 Trilling (齊木, 1967) 與 Senders 及 Windenburg 式 (Doughtie et al., 1964) 較為實用，分別為：

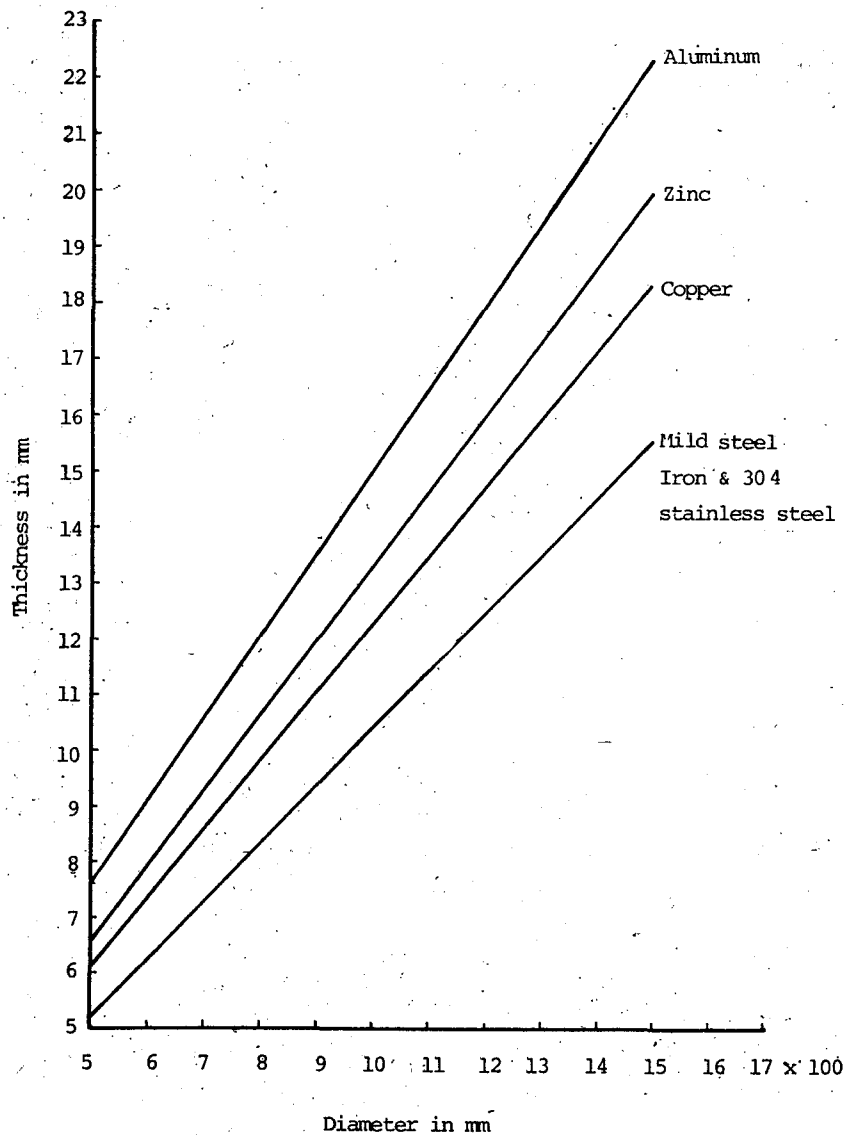


Fig. 1 Relationship between the thickness ( $t$ ) and diameter ( $D$ ) of cylindrical vacuum vessel at the length more than the critical length ( $L_c$ ) for several metal materials.

Tab.I Young's modulus and Poisson's ratio for several metal materials.

Material	Young's modulus E ( kg/mm <sup>2</sup> )	Poisson's ratio $\mu$	$\frac{1-\mu^2}{E}$ (mm <sup>2</sup> /kg)	$(\frac{1-\mu^2}{E})^{1/3}$ (mm <sup>2</sup> /g)
Iron	$21.5 \times 10^3$	0.3	$4.23 \times 10^{-5}$	$3.48 \times 10^{-2}$
Mild steel (C 0.12- 0.2% normal temp.)	$21.2 \times 10^3$	0.3	$4.29 \times 10^{-5}$	$3.50 \times 10^{-2}$
Hard iron (C 0.4-0.5%)	$20.9 \times 10^3$	0.3	$4.35 \times 10^{-5}$	$3.52 \times 10^{-2}$
Cast steel	$21.5 \times 10^3$	0.3	$4.23 \times 10^{-5}$	$3.48 \times 10^{-2}$
Copper	$12.5 \times 10^3$	0.34	$7.08 \times 10^{-5}$	$4.14 \times 10^{-2}$
Phosphor bronze	$1.34 \times 10^3$	0.35	$6.55 \times 10^{-5}$	$8.68 \times 10^{-2}$
Aluminum (Normal temp.)	$6.6 \times 10^3$	0.34	$1.34 \times 10^{-5}$	$5.12 \times 10^{-2}$
Zinc	$10.0 \times 10^3$	0.3	$9.10 \times 10^{-5}$	$4.50 \times 10^{-2}$
18-8 Stainless steel (normal temp. -400°C)	$21.1 \times 10^3$	0.3	$4.31 \times 10^{-5}$	$3.15 \times 10^{-2}$

$$P = \frac{2.42 E (t/D)^{2.5}}{(1-\mu^2)^{0.5} \{ (L/D) - 0.45 (t/D)^{0.5} \}} \quad (\text{Windenburg \& Trilling})$$

式中 P 為縮陷力 (kg/mm<sup>2</sup>)，E 為材料縱彈性係數 (kg/mm<sup>2</sup>)， $\mu$  表浦松氏比，D 圓筒直徑 (mm)，t 圓筒壁厚度 (mm)，L 為圓筒之長度 (mm)，另一為

$$P_{cr} = \frac{2.6 E (t/d_o)^{2.5}}{(L/d_o) - 0.45 (t/d_o)^{0.5}} \quad (\text{Senders \& Windenburg})$$

其中 P<sub>cr</sub> 為臨界壓力 (PSI)，E 材料縱彈性係數 (PSI)，L 為圓筒長度 (in)，d<sub>o</sub> 圓筒外徑 (in)，t 筒壁厚度 (in)。

由以上二式計算所得結果至為相近，今以網材 (包括軟鋼及 304 系不銹鋼) 製，其縱彈性係數 E 為  $21.2 \times 10^4$  kg/mm<sup>2</sup>，浦松氏比為 0.3，受大氣壓力 (P 為  $1.033 \times 10^{-2}$  kg/mm<sup>2</sup>) 之真空圓筒容器，其工作壓力依 Doughtie et al., (1964)，以五倍計 Windenburg 及 Trilling 式，其圓筒直徑與壁厚關係依不同之長度與直徑比，經以數值分析法 (石，1970；郭，1976) 求得結果如圖 2 所示。

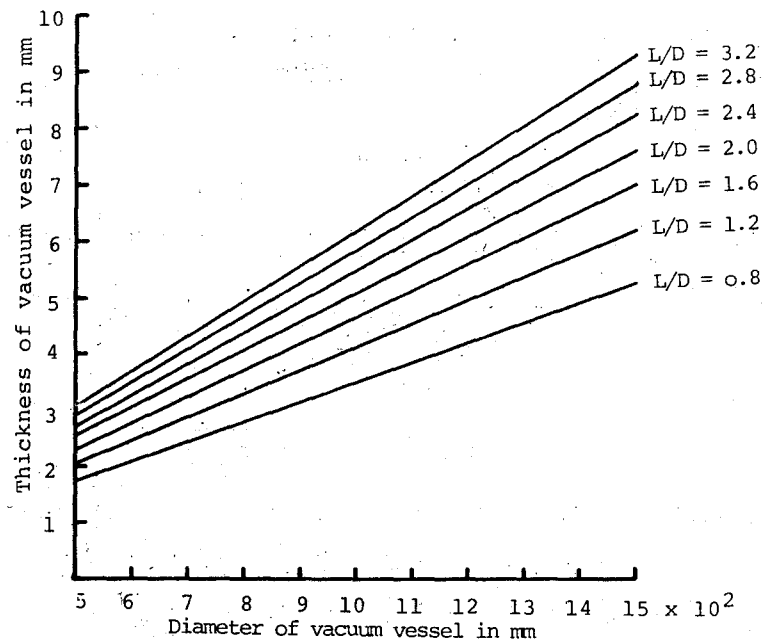


Fig. 2 Relationship between the minimum thickness ( $t$ ) and diameter ( $D$ ) of vacuum cylindrical vessel in various length by diameter with mild steel or 304 stainless steel.

另由鋼材製成之圓筒容器壁厚可依 ASME (齊木, 1967) 之一般式求取, 在 ASME 中, 其係依  $L/D$  其  $t/D$  之改變而導入縮陷係數  $K$  (Rupturing coefficient) 即:

$$P = K \cdot E \cdot (t/D)^3$$

式中  $P$  為縮陷力  $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,  $E$  表縱彈性係數 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ),  $t$  為圓筒厚度 (mm),  $D$  圓筒直徑 (mm),  $L$  表圓筒長度 (mm),  $K$  值因  $t$ 、 $D$ 、 $L$  等比值不同而異, 其變化如圖 3 所示, 而  $K = 2.2$  為較臨界長度為長之鋼材 ( $\mu = 0.3$ ) 薄圓筒縮陷係數, 因之若圓筒長度在臨界長度以內時, 則先以  $K = 2.2$  所求得之  $t$  值為標準, 根據  $L/D$  與  $t/D$  比值由圖 3 中可得材料縮陷係數  $K$ , 再以  $(K/2.2)^{1/3}$  值予以修正, 即可獲得較臨界長度為短之真空圓筒容器厚度。

然在設計真空容器厚度時, 除以上述之求法取其壁厚外, 尚必須考慮該容器之腐蝕 (Corrosion) 情形, 而支配腐蝕速率之因子, 依幡野, (1969) 指出有酸度、濃度 (水溶液時為氫離子濃度), 氧化劑之存在 (為大部份金屬腐蝕之促進劑), 金屬表面之皮膜、溫度、流速、均質度 (包括環境及金屬本身的問題, 通常均質者較佳, 然環境之濃度差則能引起金屬局部的腐蝕) 及抑制劑之存在與否; 一般鋼材在海中之腐蝕是以相當均勻的速率進行, 約為每年 0.15 毫米, 此乃實驗期間之平均值, 一般開始時之侵蝕速度較後期為大 (餅, 1977); 另按中村, (1978) 指出, 碳素鋼或低合金鋼之容器用於壓縮空氣、水蒸氣或水時, 必須另加腐蝕值 1 mm 以上。

因之在設計受外壓之真空容器, 其圓筒壁厚應為  $t + \alpha$ ,  $\alpha$  為金屬材料之腐蝕值。

## 二、排氣速率與真空幫浦設計:

依黃, (1973) 稱, 在壓力  $P$ , 容積為  $V$  的容器, 以實效排氣速度  $S_e$  的幫浦抽氣, 若於極短時間  $dt$  後, 其壓力降低  $dp$ , 則在此  $dt$  時間內之排出氣體量為:

$$M = P \cdot S_n \cdot dt$$

另外於開始時容積為V，壓力為P，其量為VP，壓力將隨(VP-M)/VP而發生變化，其新壓力為：

$$\begin{aligned} P(VP-M)/VP &= P - M/V \\ &= P - dP \end{aligned}$$

因之  $dP = -SPdt/V$ ，得  $dP/dt = -SP/V$ ，此乃表示容器之壓力隨時間而變化情形，另由上式可變為：

$$\frac{P}{dP} = -(V/S) dt$$

對P而言，假設  $S_n$  保持一定不變，依積分可得：

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{V}{S_n t}$$

式中  $P_0$  係 t 為 0 時之壓力，P 為經過 t 時間後之壓力，上述若以常用對數表示為：

$$S_n = 2.303 \cdot \frac{V}{t} \cdot \log \frac{P_0}{P}$$

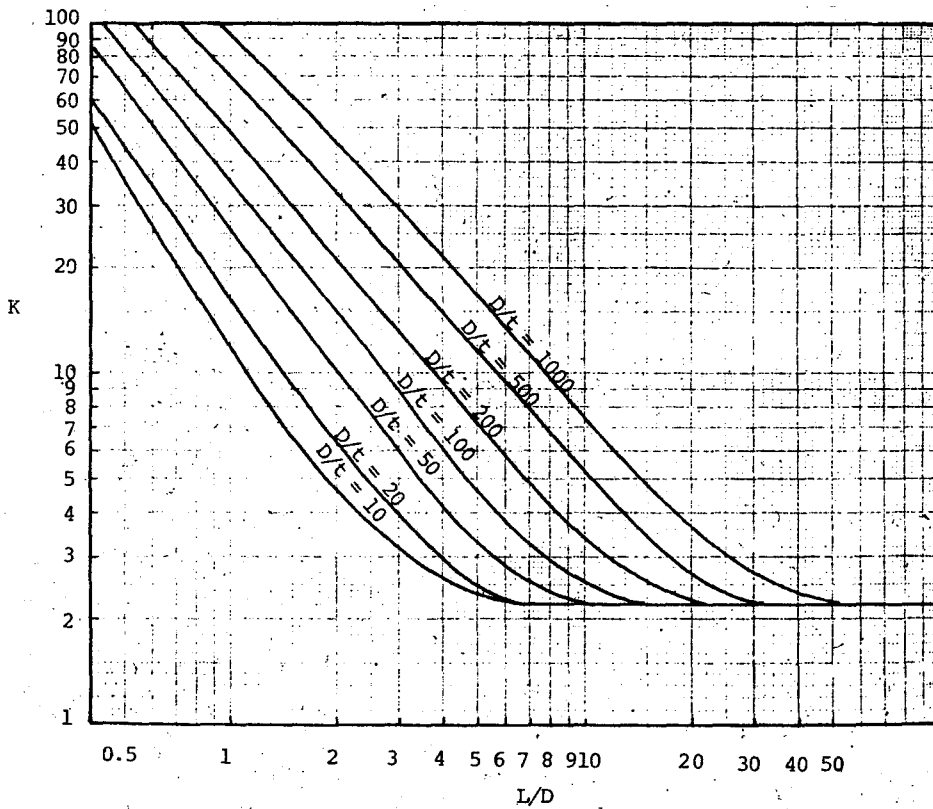


Fig. 3 Rupturing coefficient versus length diameter of vacuum vessel for several diameter by thickness of vacuum vessel.



然由於真空式漁撈幫浦係利用壓力差而吸取魚與水，而壓力差則因真空幫浦之排氣，隨時間而增加，魚與水亦隨之漸次揚上，因之真空系統氣體容積亦逐漸減小；另尚須考慮抽至壓力（真空度）為多少 Torr (mmHg) 時，真空容器之魚與水可抽滿，此首先應以魚水達真空容器入口高度的壓力為起點，再由真空箱之魚水容積，及達此容積所須時間，而求取其平均流速  $\bar{V}$ ，應用函數平均值定理 (

Mean value of function)  $\bar{V} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(p) dp$  (Protter et al., 1964) 可求得滿水之壓力，而平均流速與壓力之關係函數可由能量不減定律求取，在此因壓力差所產生之壓能，將變為位能、摩擦水頭損失能量及動能即：

$$\frac{(760-P)\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{wt}} \cdot 1000} - H = (f_1 + f_0 + f_2 + f_3 \cdot L/D + 1) \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

因之

$$\bar{V} = 2g \cdot \frac{(\frac{760-H \cdot \rho_{\text{wt}} \cdot 1000}{\rho_{\text{Hg}}} - P)\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{wt}} \cdot 1000 \cdot (f_1 + f_0 + f_2 + f_3 \cdot \frac{L}{D} + 1)}$$

故：

$$\bar{V}_1 = \frac{1}{P_1 - \frac{H \cdot \rho_{\text{wt}} \cdot 1000}{\rho_{\text{Hg}}}} \int_{\frac{H \cdot \rho_{\text{wt}} \cdot 1000}{\rho_{\text{Hg}}}}^{P_1} \sqrt{2g \cdot \frac{(\frac{760-H \cdot \rho_{\text{wt}} \cdot 1000}{\rho_{\text{Hg}}} - P_1)\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{wt}} \cdot 1000 (f_1 + f_0 + f_2 + f_3 \cdot \frac{L}{D} + 1)}} dp_1$$

式中  $\bar{V}_1$  為平均流速 (m/s)、 $P$  表大氣壓力為 760mmHg 或 Torr， $P_1$  為達滿水之壓力 (mmHg or Torr)， $H$  為真空容器入口高度 (m)， $\rho_{\text{Hg}}$  表水銀密度為 13.6， $\rho_{\text{wt}}$  表海水中含固體之總密度， $D$  為管徑 (m)， $L$  表管長 (m)， $g$  重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)， $f_1$  為管路入口損失係數， $f_0$  為出口之損失係數， $f_2$  表彎管之損失係數，此等損失係數可由損失係數表中查得 (彭等 1968；Eskinazi, 1968；廖，1977；Messina, 1976)，另  $f_3$  減管路摩擦係數可依杜蘭德 (Drand) 對於非均質液體之摩擦式 (奧田，1874) 求取，即

$$f_3 = f_v \left[ 1 + 80 \left( \frac{gD}{W^2} \cdot \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v} \right)^{3/2} \cdot \frac{C_d}{C_s^{3/4}} \right]$$

其中  $f_v$  為液體中不含固體之管路摩擦係數， $f_3$  為液體中含固體之摩擦係數， $g$  重力加速度， $D$  管路內徑， $V$  為管路內液體之平均流速， $\rho_s$  表固體密度， $\rho_v$  為液體密度， $C_s$  為固體之體積濃度 (Volume concentration of solid)， $C_d$  阻抗係數 (Drag coefficient)， $C_s$  阻抗係數可依 Condolios et al., (1976) 所指出之式求取，即

$$C_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{gD}{W^2} \cdot \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v}$$

式中除  $W$  表固體之沉降速度 (Settling velocity)，其餘符號表示與前述者相同。

由此獲知滿水之壓力後即可按上述之氣流平衡方程式求取前選用之真空幫浦的實效排氣速率  $S_a$ ，一般真空幫浦之出口側排氣速率  $S_m$  可由製造廠商之有關該幫浦排氣性能圖中得知，另關於真空系統中之管路阻抗 (Resistance)， $S_a$  與  $S_m$  間的關係，因  $Q = P_m S_m = P_a S_a$  式中  $P_m$  為出口側之壓力，由於  $Q = \frac{P_a - P_m}{W}$ ，式中  $W$  為阻抗，因之  $S_m = \frac{S_a}{1 + S_m \cdot W}$  或  $S_m = \frac{S_a}{1 - S_m \cdot W}$ ， $S_m$  即可按廠商提供之資

料選用適當之真空幫浦；阻抗 $W$ 因氣體在真空系統之狀態而異，依Roth, (1976)指出，氣體在真空系統中可分為黏性狀(Viscous state)、分子狀(Molecular state)及介於二者之間的中間狀(Intermediate state)等三種情況存在，當於非常低壓下，其氣體分子之平均自由動徑(Mean free path) $\lambda$ ，遠較封閉真空成器之尺寸為大(即 $\lambda > d$ )時，則其氣流成分子狀，而黏性流入範圍為氣壓高，氣體分子之平均自由動徑較真空室尺寸為小；在黏性流中分為亂流(Turbulent flow)及層流(Laminar flow)其界限則視雷諾數(Value of Reynold's number)而定，雷諾數 $R_e = \rho VD/\eta$ ，其中 $\rho$ 表氣體密度、 $V$ 為速度、 $\eta$ 表黏度、 $D$ 為管徑；其各種流之範圍與領域，如表II所示：

Tab.II Flow regimes.

state of gas	flow regime	condition
viscous	turbulent	$Re > 2100$ $Q > 200 D$ (air)
	laminar	$Re < 1100$ $Q < 100 D$ (air)
transition	intermediate	$1 < D/\lambda < 110$
rarefied	molecular	$D/\lambda < 1$

當氣體為分子流時，管路阻抗，可按蘇(1978)及中山(1968)所指出，在長管之情況下，阻抗 $W$ 得由 $W = 5.15 \times 10^{-5} \cdot \frac{\ell U}{A^2} \sqrt{\frac{M}{T}}$  (sec/ $\ell$ )求取之。式中 $A$ 為長管斷面積( $cm^2$ )， $U$ 表斷面周界長( $cm$ )， $\ell$ -管長( $cm$ )， $T$ 絕對溫度 $^\circ K$ ， $M$ 為分子量；若為圓形長管，在 $20^\circ C$ 內為空氣時則 $W = \frac{1}{100} \cdot \frac{\ell}{r^3}$ ，其中 $r$ 為管之半徑( $cm$ )，若為短管時，任何斷面，任何氣體，均可依下求取其管路阻抗，即：

$$W = 0.275 \left( \frac{3}{16} \cdot \frac{\ell U}{A} + 1 \right) \frac{1}{A} \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ (sec / } \ell \text{)}$$

其中之符號與單位同上，若為圓形斷面之短管，其為空氣，在 $20^\circ C$ 時之管路阻抗可以下式求取之：

$$W = \frac{3}{8} \cdot \frac{\ell}{r^3} + 1$$

當氣體為黏性流之層流時之長管得以Poiseuille式(中山, 1968; Roth, 1976)求取管路氣 $C_1$ (Conductance)，即

$$C_1 = \frac{0.5236 a^4}{\eta} \bar{P} \text{ (} \ell / s \text{)}$$

式中 $\eta$ 為氣體之黏性係數(Poise)， $P$ 為平均壓力(Torr)， $a$ 為半徑( $cm$ )， $\ell$ 管長( $cm$ )，若為 $20^\circ C$ 之空氣時則：

$$C_1 = 2877 \frac{a^4}{\ell} \bar{P} \text{ (} \ell / s \text{)}$$

又氣導 $C_1 = \frac{1}{W}$ ，故阻抗 $W = 3.48 \times 10^{-5} \cdot \frac{\ell}{a^4 \bar{P}} \text{ (} \ell / s \text{)}$

若氣體成亂流，在處理上較為煩雜，可依流體力學之摩阻方程式，即管路之壓力降求取之（狩野，1971）。

複合管路阻抗，有如電氣回路之電流、電阻與電位差關係，若為串聯時（In series），則 $W=W_1+W_2+\dots+W_n=\sum_{i=1}^n W_i$ ，為並聯時（In parallel），則 $W=\frac{1}{\frac{1}{W_1}+\frac{1}{W_2}+\dots+\frac{1}{W_n}}=\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{W_i}}$

，另據Guthrie（1963）指出，截至目前為止，尚無正確方法，可資用以求取抽氣管路中，因彎管及閥門等所產生的阻抗，然一般若為短徑彎管時，如 $90^\circ$ 之彎管，則以沿中心線，量取彎管之長度另加彎管之內徑，將此值併入長管之管長中計算；若彎管為緩和之大半徑者，則僅併加彎管沿中心線之長度即可。

### 本實驗用真空式漁撈幫浦設計

#### 一、真空容器及支架尺寸：

真空容器之大小，並無一定準則可循，一般則考慮作業場所、製作經費、漁獲量多寡、作業時間、對象漁獲物及運搬等因素，而作適當選擇。為便於操作、本設計之真空容器，直徑 900mm，長 1100mm，圓筒之下方距卸口 200mm 處，為利於漁獲物卸下，漸斜向卸魚而成錘形，圓筒則由二支 100mm×50mm 之槽形鐵（Groove steel）以電焊固定，其構成及各部如圖 4、5、6 之正面圖、背面圖及側視圖所示

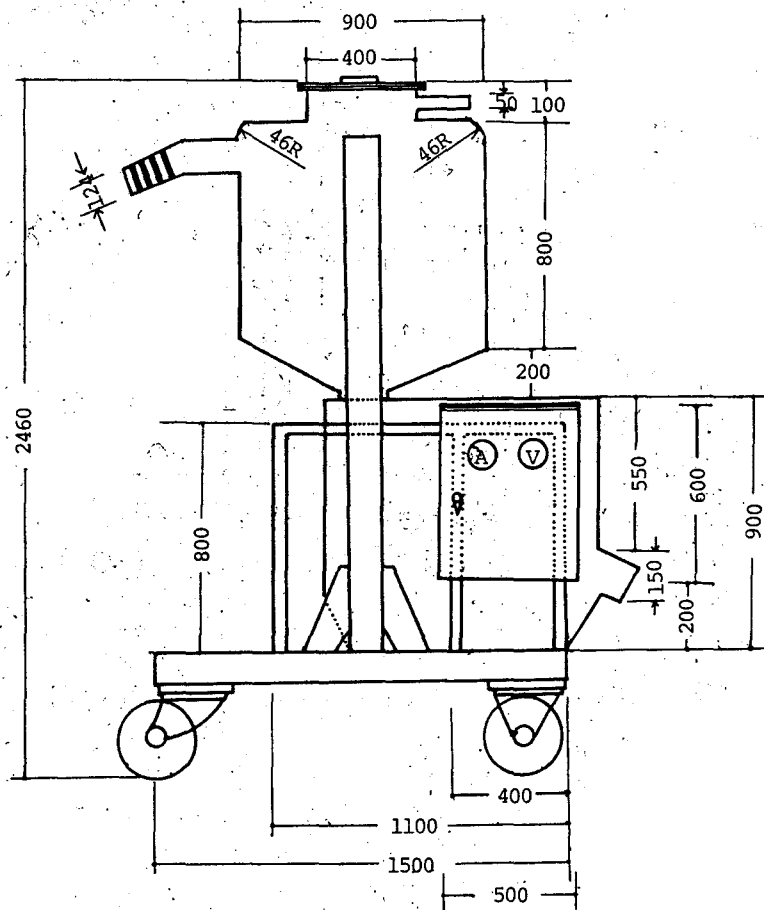


Fig. 4 Front view of vacuum vessel and frame.

，另於真空容器頂部一水位控制器 (Floatless switch)，如圖 7 之俯視圖；並於真空容器下方卸魚口裝一 5" 之逆止閥 (Check Valve) 其形狀與大小如圖 8 及照片 1 所示；底架亦由 100mm × 50mm 之槽形鐵焊接而成其尺寸如圖 9 所示，其底部包括二只活動輪及二只固定輪如照片 2，以便於移動；魚水分離器以 0.5"  $\phi$  不銹鋼管組成如圖 10，更為利於魚被吸入，於 5" PE 塑膠管之入口處另裝付一 300mm  $\phi$  之喇叭口如圖 11 及照片 3。

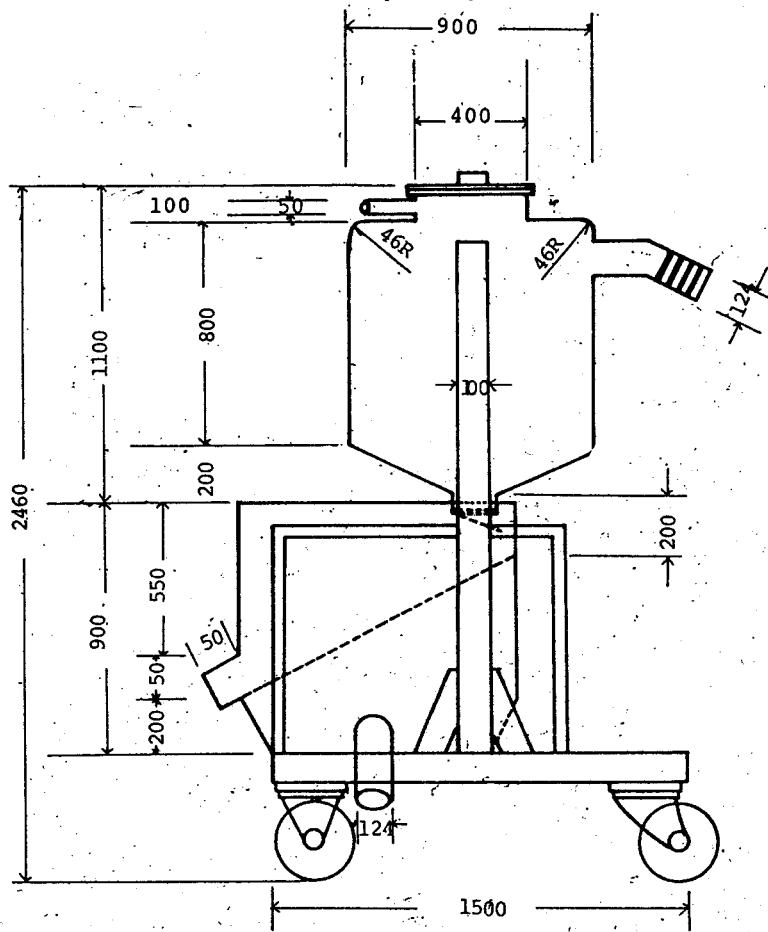


Fig. 5 Rear view of vacuum vessel and frame.

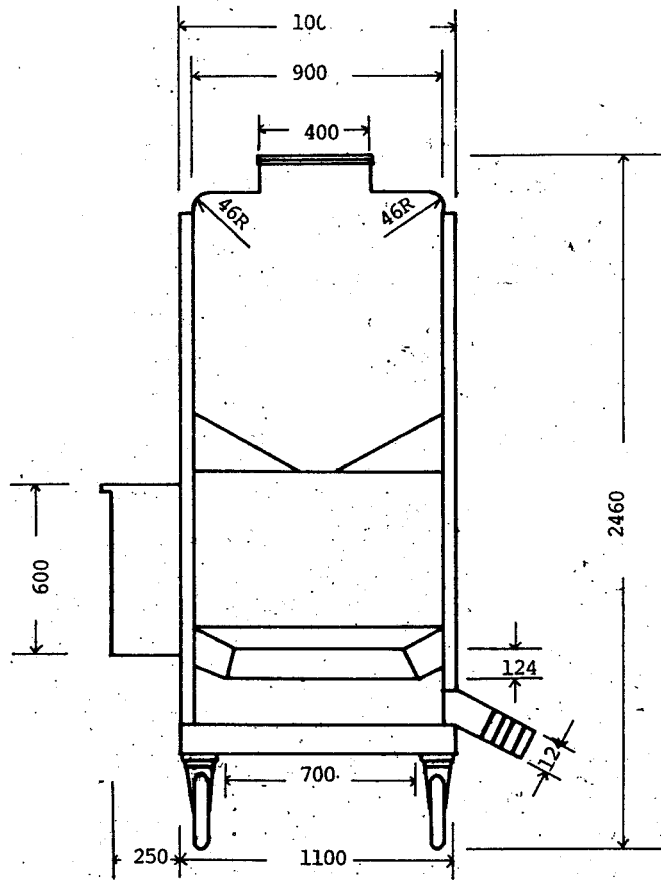


Fig. 6 Side view of vacuum vessel and frame.

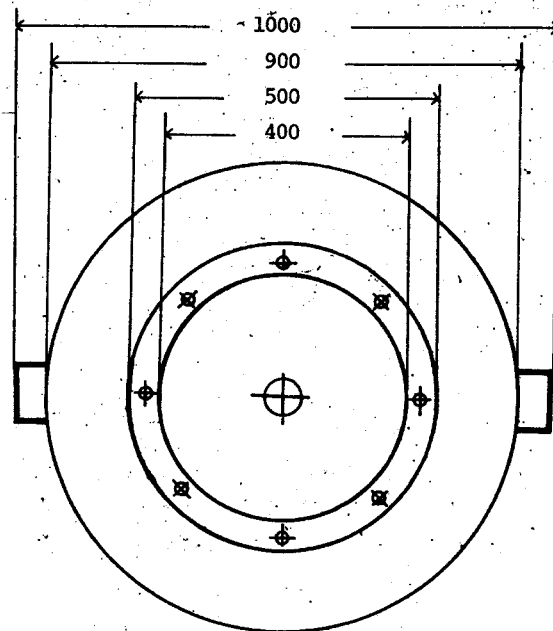


Fig. 7 Top view of the vacuum vessel.

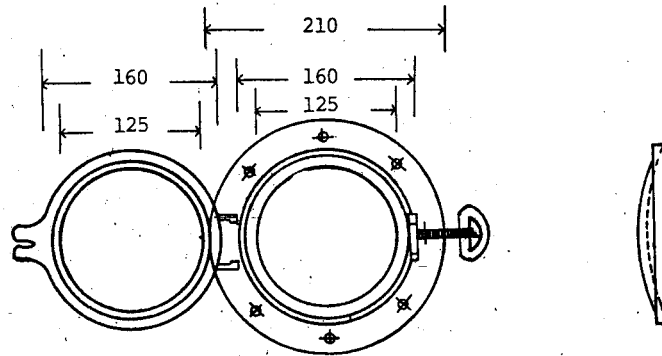


Fig. 8 Check valve

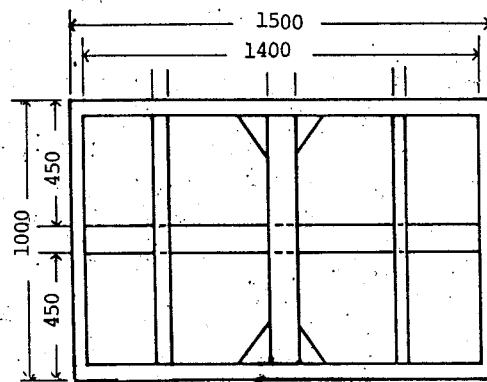


Fig. 9 Constructive diagram of underframe made of 100mm x 50mm groove steel.

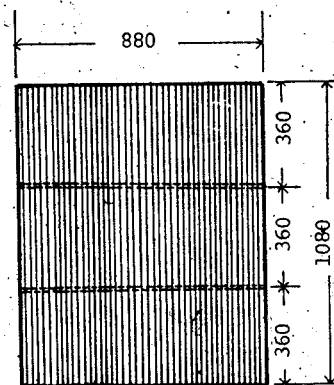


Fig. 10 Dimensions of separator.

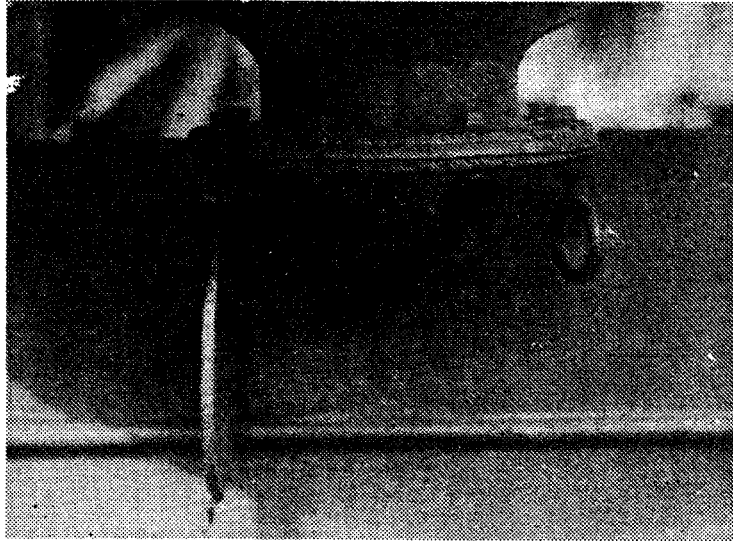


Plate 1. Check valve.

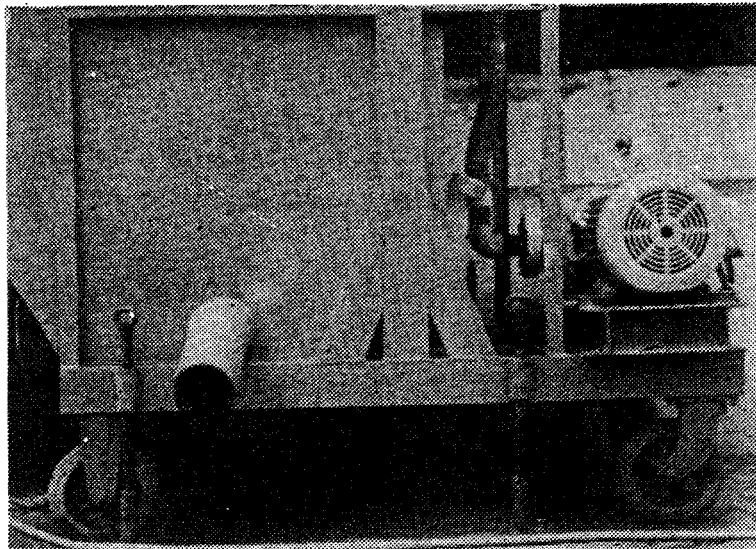


Plate 2. Underframe with 4-wheel.

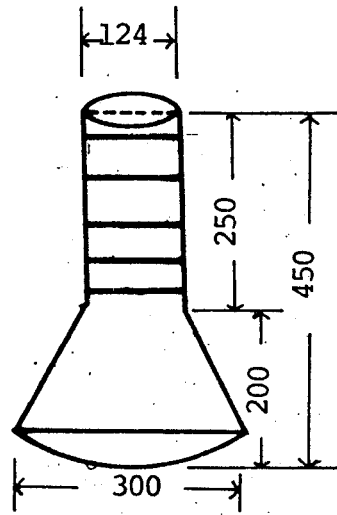


Fig.11 Dimension of suction nozzle

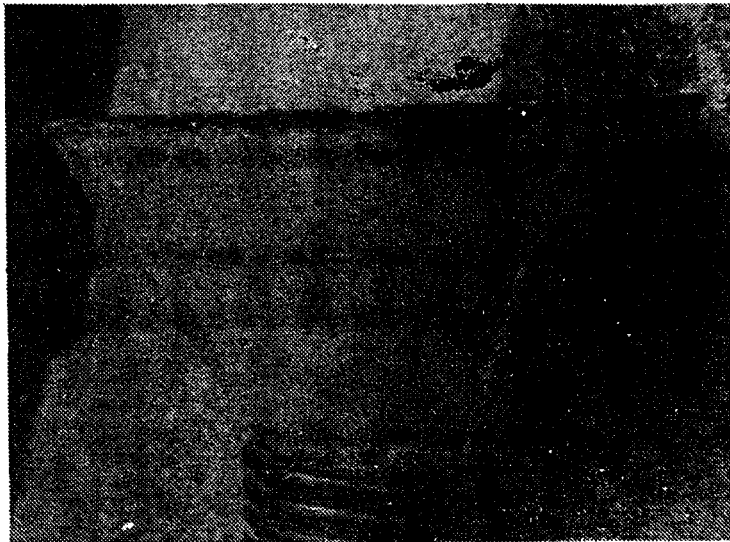


Plate 3. Suction nozzle.



## 二、真空容器厚度：

本真空圓筒容器，採用縱彈性係數  $21.2 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ ，蒲松氏比 0.3 之低碳軟鋼(Mild steel)製成，依 ASME 式  $t = \left(\frac{P}{KE}\right)^{1/3} \cdot D$ ，按上述方法得知直徑 900 mm，直較臨界長度為長之真空圓筒容器厚度為 9.3 mm，再依臨界長度求法，求得臨界長度  $L_c$  為 15316.8 mm，本設計之長度為 1100 mm，故較臨界長度為短，按前述方法由圖 3 得知其  $K$  值為 27，依  $(K/2.2)^{1/3}$  加以修正得  $t$  為 4 mm，另依據前述 Windenburg 及 Trilling 式，由圖 2 得知長度 1100 mm，直徑 900 mm 之圓筒厚度為 3.9 mm，與 ASME 式所得之值相近，由於本裝置之設計係用於抽取海水及魚，其腐蝕狀況，將較為嚴重，為安全使用計，腐蝕值取為 2 mm，因之容器之厚度應使用不小於 6 mm 之鋼板，本實驗用真空容器係以 6.2 mm 厚之軟鋼製成。

## 三、吸入管：

依寺田，(1964) 報告指出鯧、鯖、秋刀魚等體長為其幫浦口徑之三倍，在魚水比例為 1:2 之情況下可安然通過管路，另根據川田，(1961) 稱，當對象魚種如為秋刀魚、鯧、鯖等硬骨魚類，則體長為幫浦口徑 3 倍以上可順利通過管路，若為鰻等柔軟魚體，則體長為口徑之 7~8 倍乃可安然通過，如口徑 100 mm 可輸送 300 mm 體長之鯧、鯖，200 mm 則可移送 500~600 mm 之鯖。本試驗主要對象為目前大型圍網所漁獲之鯖、鯧，其體長概在 20 cm 以上，因之本試驗裝置選用 125 mm 口徑輸水管進行試驗。

## 四、真空幫浦：

整個真空系統之容積可分為三部份如圖 12 所示，一為直徑 125 mm 之蛇形管，長度為 750 cm，然該管作業中設有 20 cm 埋入海水中，故  $V_1$  為 89.6  $\ell$ ，真空容器之容積  $V_2$  為 567.6  $\ell$ ，另接於真空容器與同浦入口處之直徑 50.8 cm 蛇形管，其長度 211 cm，故其容積  $V_3$  為 4.3  $\ell$ ，固之總容積  $V$  為 661.5  $\ell$ ，又欲達每小時有 20 噸之場魚量，且假設幫浦可連續作業，則每秒鐘應漁獲 5.56 kg，今設計之漁撈幫浦滿水之容積為 445  $\ell$ ，若魚水比例按 1:3 計，則該裝置必於 20 秒抽滿，並應漁獲 111 kg 重之魚，設作業高度（即真空容器入口之高度） $H$  為 3.5 m，其相當於水銀柱高 266.4 Torr（此即所須之壓力差，使魚水達真空容器之入口），並設由 760 Torr 之大氣壓力抽至此壓力（760~266.4 Torr）所須時間為 5.5 秒，因之由 493.6 Torr（即 760 - 266.4）達滿水的壓力須時 14.5 秒，因  $V = 455 \ell$ ，故求得流量  $Q = 0.0314 \text{ m}^3/\text{s}$ ，由  $V = \frac{Q}{A}$ ，得速度  $V$  為 2.55 m/s，又吸入口使用喇叭口，其入口之損失係數  $f_1 = 0.2$ ，設本次試驗中有二處 90° 彎曲及一處 45° 彎曲，則  $f_0$  為  $2 \times 0.3 + 0.11$  即 0.71，另出口處全變為損失，故  $f_2 = 1$ ，液體中不含固體之管路摩擦係數  $f$  依達西式（彭等，1968）求得為 0.028；魚體密度  $\rho_w = 1.066$ ，海水密度  $\rho_w = 1.025$ ， $C_d$  為 0.256（按魚水比例為 1:3 計）， $C_d$  依 Hoerner，(1958) 之流體阻抗中得約為 0.95，按上述杜蘭德公式得液體中含魚體之管路摩擦係數  $f_3 = 0.03$ ，魚水混合總密度  $\rho_{w+r} = 1.035$ ；依函數平均值定理得

$$2.55 = \frac{1}{P_1 - 493.6} \int_{493.6}^{P_1} \sqrt{\frac{19.6 (493.6 - P_1) 13.6}{1035 (0.71 + 0.2 + 2 + 0.03 \frac{7.3}{0.125})}} dP_1$$

得  $P_1 = 228.6 \text{ Torr}$ ，再依前之氣流方程式，實效排氣速率  $S_a$  可由

$$S_a = 2.303 \cdot \frac{661.5}{20} \cdot \log \frac{760}{228.6}$$

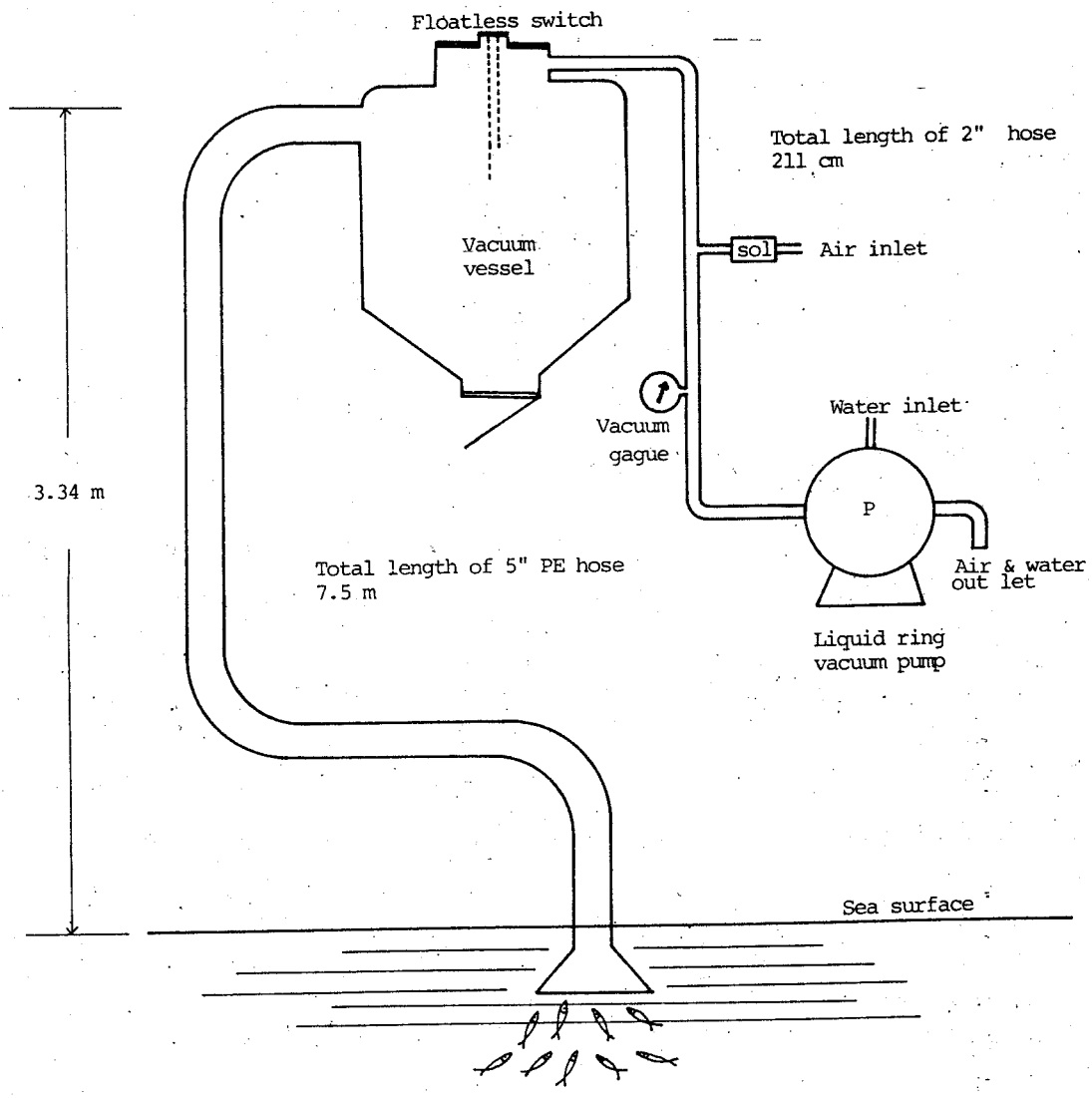


Fig. 12 Schematic diagram of vacuum fish pump used in this experiment.

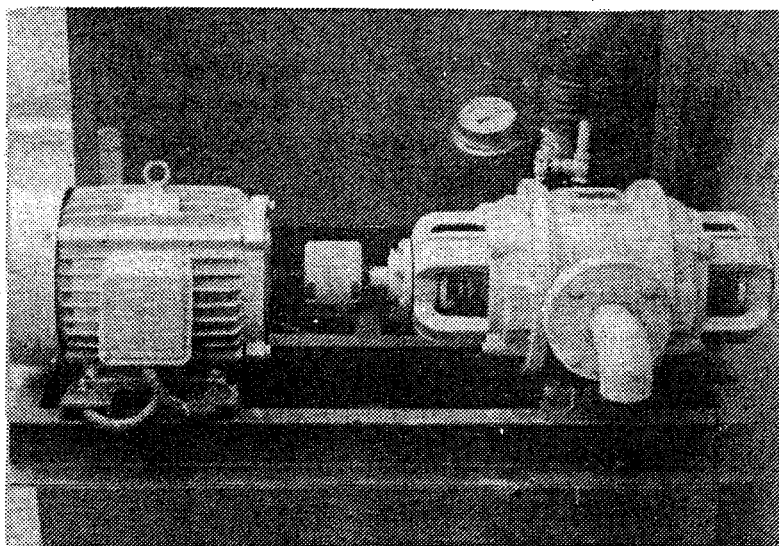


Plate 4. Electric motor and liquid ring vacuum pump.

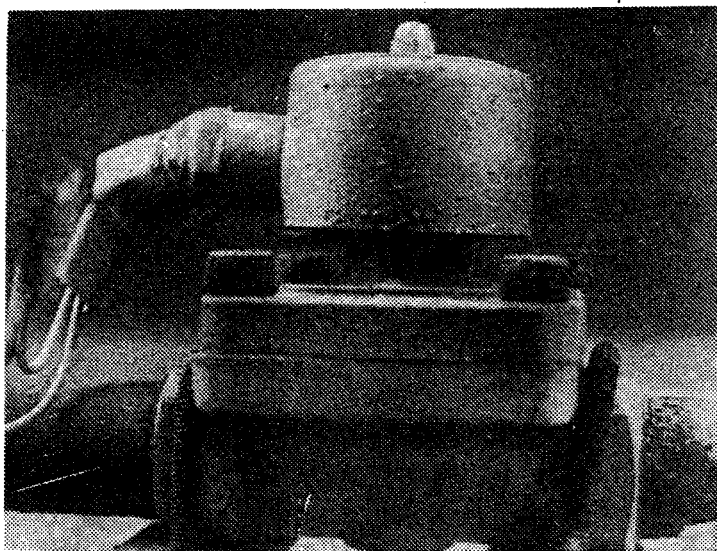


Plate 5. Electric magnetic valve.

得  $S_n = 39.7 \text{ l/s}$ ，此真空系統中之氣體雷諾可由  $R_n = \rho VD/\eta$  求取，因  $V = S_n/A = 19.6 \text{ m/s}$ ，空氣黏度  $\eta$  在  $20^\circ\text{C}$  時為  $0.000183 \text{ poise}$ ，管之直徑  $D = 50.8 \text{ cm}$ ， $\rho = 0.00121$ ，得  $R_n = 658346$ ，其大於 2100 而為黏性亂流 (Turbulent flow)，另長管之層流依 Poiseuille 式得氣體  $C_1 = 275313.1 \text{ l/s}$ ，阻抗  $W = 3.63 \times 10^{-4} \text{ s/l}$ ，此值甚為微小，根據堀越，(1976) 稱，真空系統中氣體在管路中之狀態隨真空度之增加由黏性之亂流，層流而漸次成為中間流，而分子流、氣導而隨之減小，因之本系統之阻抗將較  $3.63 \times 10^{-4} \text{ s/l}$  為小，對於整個管路之排氣速率幾無影響，可略而不計。

根據廠商提供有關真空幫浦之排氣性能資料如圖 13 所示，口徑為 2" 以 10 HP 馬達 (220 V、60 Hz 三相、四極) 轉速 1750 rpm，直接聯動之單段水封式真空幫浦，如照片 4 所示，於 760 Torr - 230 Torr 之平均排氣速率為  $39.9 \text{ l/s}$ ，較為適合，因而選用之。

##### 五、電話控制系統：

電氣回路之設計囿於真空系統材料之來源困難，以半自動控制方式，首先馬達之啟動與運轉以一 Y- $\Delta$  自動起動器控制，其包括三只電磁開關 (Magnetic switch) 及一只時間控制器 (Timer)，並於真空容器之頂端裝一水位控制器 (Floatless switch)，當水滿至上部之感應器 (Sensor)，則立即切斷電源，使馬達停止運轉，同時更接通裝於真空管路之 1" 口徑電磁閥 (Electric magnetic valve，為常時關閉型，Normal close)，如照片 5；使真空容器內恢復大氣壓力，打開底閥，魚水即可卸下，該控制回路系統如圖 14 所示。

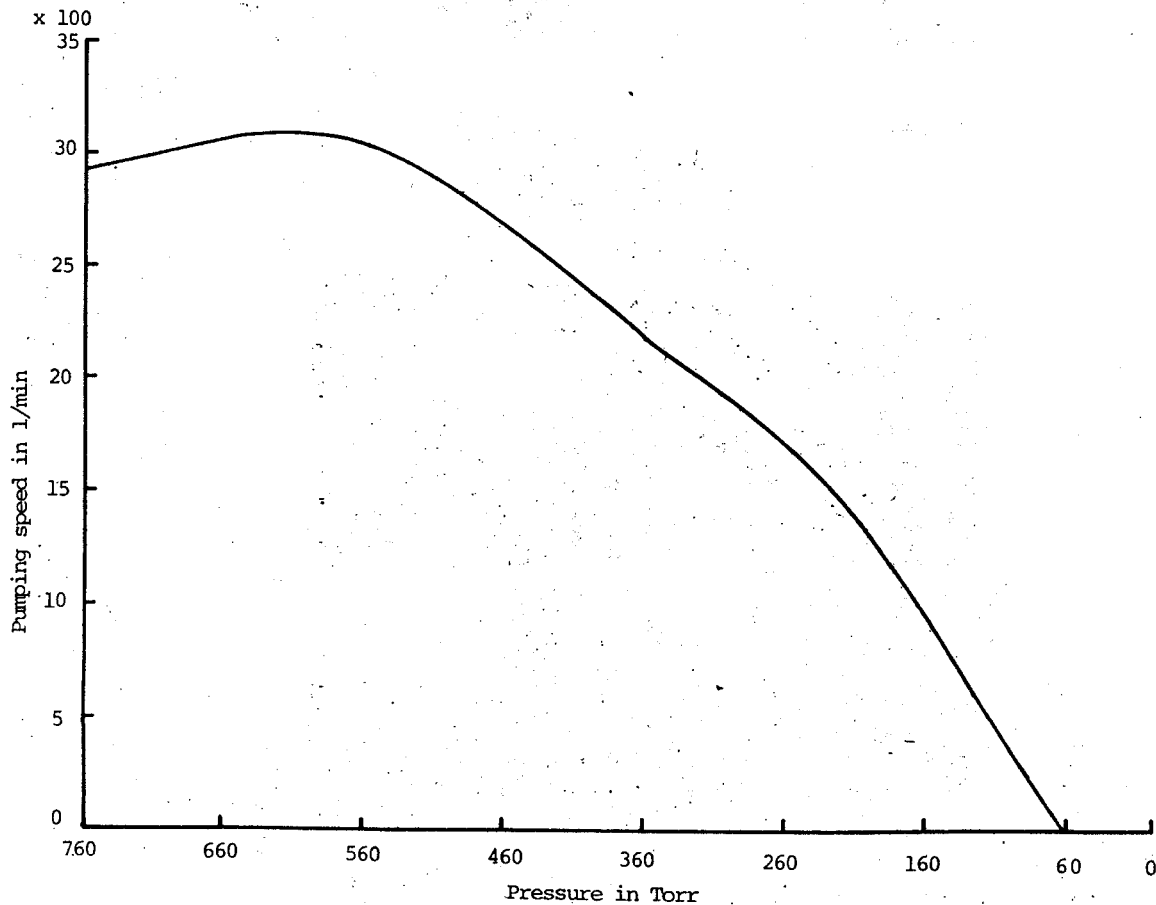


Fig. 13 Pumping speed versus pressure of water vacuum pump. (Manufacturer's data)

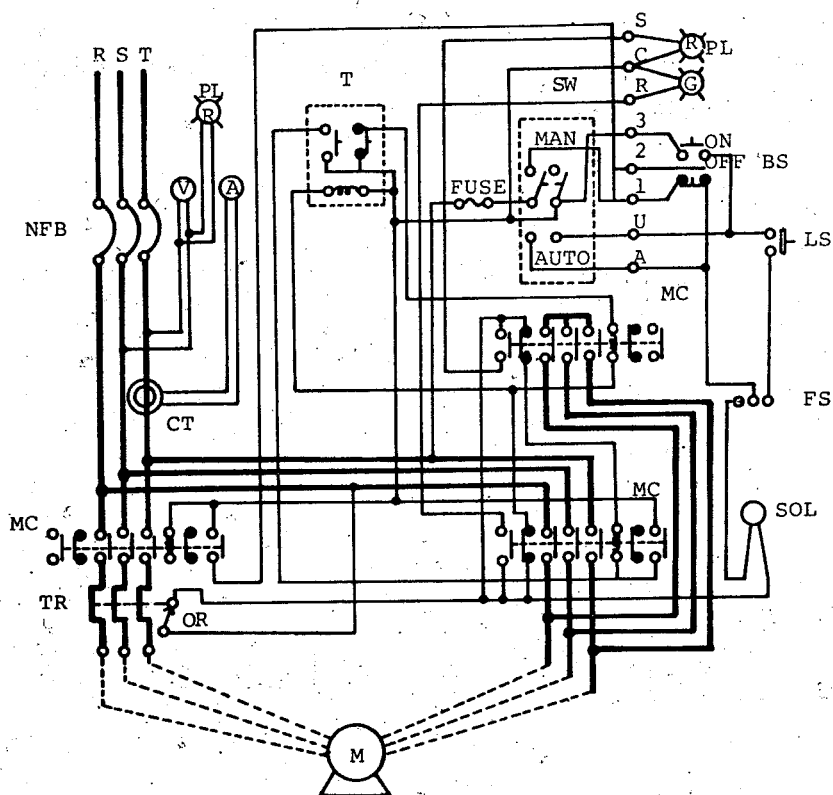


Fig. 14 Diagram of electrical controlling system for vacuum fish pump.

MC: ELECTRIC MAGNETIC CONDUCTOR  
 FS: FLOATLESS SWITCH  
 BS: BUTTON SWITCH  
 M: ELECTRIC MOTOR  
 CT: CURRENT TRANSFORMER  
 TR: THERMAL RELAY

SOL: SOLENOID VALVE SWITCH  
 LS: LIMTTED SWITCH  
 NFB: NO FUSE BREAKER  
 PL: PILOT LAMP  
 T: TIMER  
 OR: OVER LOAD RELAY

### 試驗材料與方法

#### 一、材 料：

本試驗以按上述設計而製成之真空式漁撈幫浦為根本，更以目前蘇澳大型圍網所大量漁獲之尖頭花鯖（俗名花腹鯖，學名 *Pneumatophorus tapcinscephalus*, Bleeker, 英名 Spotted mackerel）、日本花鯖（俗名扁鯖、白腹鯖，學名 *Pneumatophorus japonicus*, Houtlugn, 英文 Pacific mackerel）、真鯷（俗名巴捕，學名 *Trachurus japonicus*, Temminck & Schlegel, 英名 Horse mackerel）、圓鯷（俗名四破，學名 *Decapterus marudsi*, Temminck & Schlegel, 英名 Amberfish 或 White tapped mackerel scad）為對象，並購回鮮魚 1000 kg 用為試驗材料。

## 二、方法與步驟：

### (1) 魚體體長測定：

由 1000 kg 之鯖、鰹中，逢機取樣 96 尾，量其體全長 (Total length)，其體長之頻度分佈量測結果如圖 15 所示，本試驗用驗之平均體長為 24.3 cm。

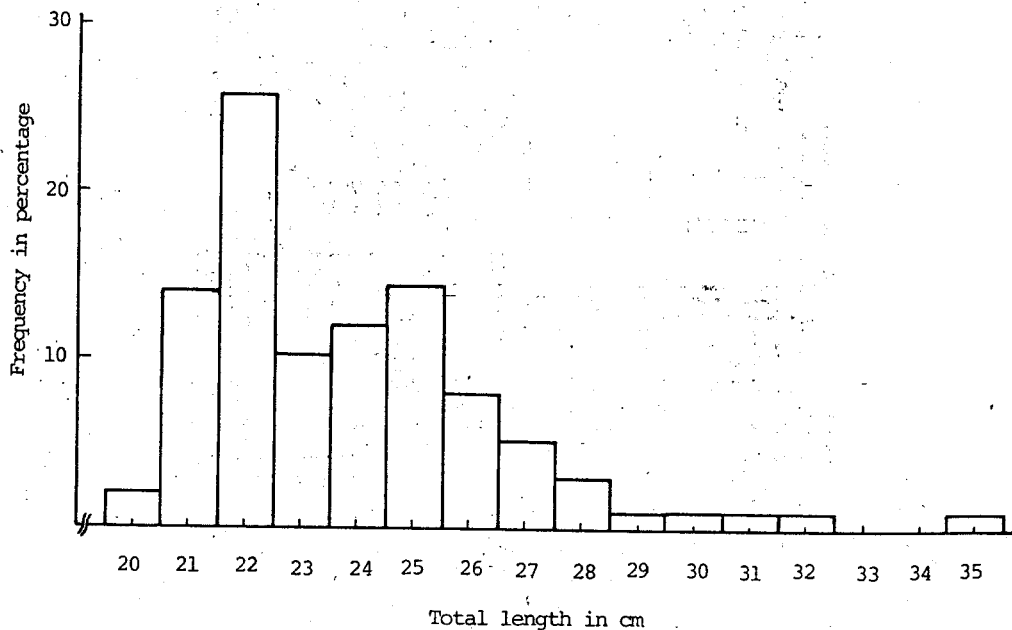


Fig. 15 Total length frequency distribution of mackerel in this experiment

### (2) 魚體密度測定：

將購回之魚按魚種別，依阿基米德原理 (狩野, 1971) 測定每小時之魚體密度變化，其法為設魚體在空氣中及海水中之質量，分別為  $m_s$ 、 $m_w$ ，則浮力  $f = (m_s - m_w)g$ ，因浮力  $f = V_s \rho_w g$ ，此為於密度  $\rho_w$  中體積為  $V_s$  之魚體浮力由此二式比較魚體積  $V_s = (m_s - m_w) / \rho_w$ ，另設魚體密度為  $\rho_f$ ，則  $\rho_f = m_s / V_s$ ，另加入空氣密度  $\rho_a$  之浮力必修正得

$$\rho_f = \frac{m_s}{m_s - m_w} (\rho_w - \rho_a) + \rho_a$$

其  $\rho_a$  可由  $P = \rho RT$  求得，其中  $P$  為壓力 (mb)， $T$  為絕對溫度 ( $^{\circ}K$ )， $R$  為氣體常數 ( $mb \cdot cm^3 / g \cdot ^{\circ}K$ ) (能沢, 1968)。因而測定當時溫度為  $22^{\circ}C$ 。壓力  $P$  為 1022 mb，氣體常數為  $2870 mb \cdot cm^3 / g \cdot ^{\circ}K$ ，得知  $\rho_w = 0.0012154$ ，據此而求得鯖之密度為 1.062，鰹為 1.067，且經六小時之連續測定每小時密度之變化，結果獲知其變化甚微，本試驗以第一次計測值為準。

### (3) 試驗步驟：

將設計製作之真空式漁撈幫浦，按裝於海富試驗船上，其配置情形如照片 6，其真空容器之入口，經測得距海平面高度為 3.34 m，另並試驗魚置入固定於船艙之網袋內而沈入海中，並將 5' 蛇管放入，俾抽試之用，如照片 7 所示；再利用裝於真空式漁撈幫浦上真空計 (Vacuum gauge)，如照片 8 及馬錶 (Stop Watch)，用以計測真空容器內之壓力隨抽氣時間之變化情形，及魚水抽滿之壓力及時間，魚水被吸上之各壓力高度變化，如照片 9；另並將輸水管之吸入口用橡皮予以封閉，計測容器壓力隨時間變化情形，依氣流平衡方程式，用以求取該裝置之漏氣量，並測定各種不同魚水比例之真空容器壓力與時間變化，流速變化，魚體損傷率、漁獲效率、以及魚水自真空容器內卸下所需時間比較。

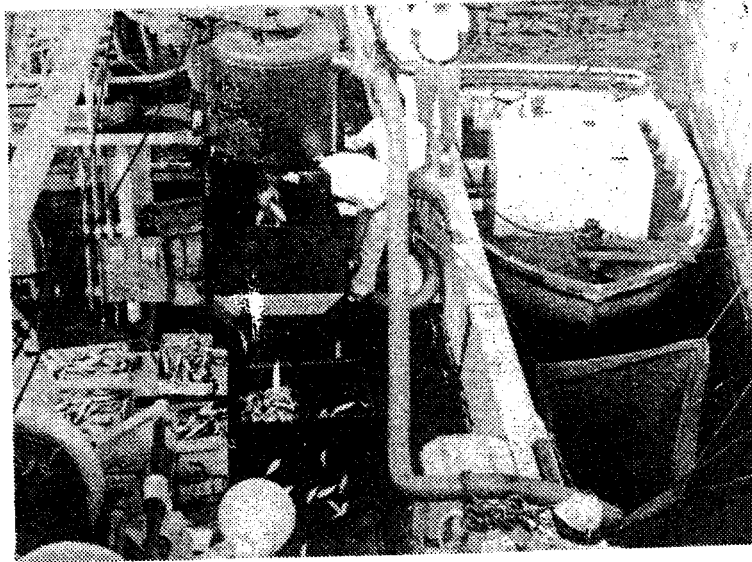


Plate 6. Arrangement of the vacuum fish pump for this experiment.

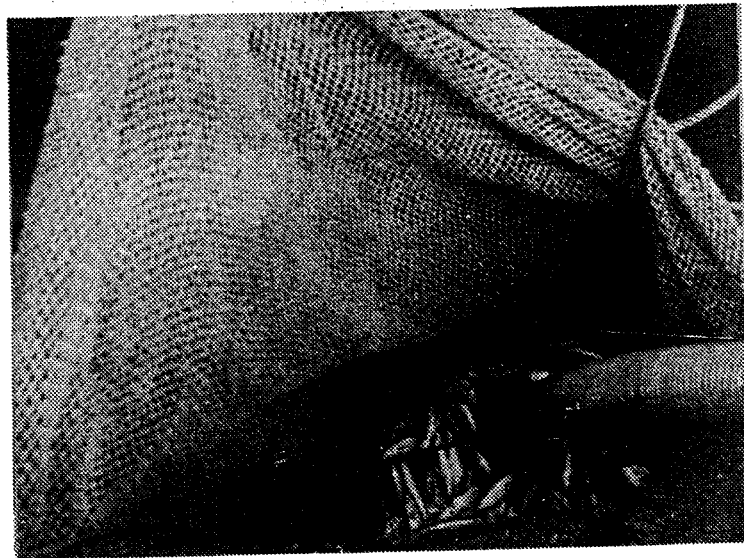


Plate 7. Suction hose and sampling fish in the net.

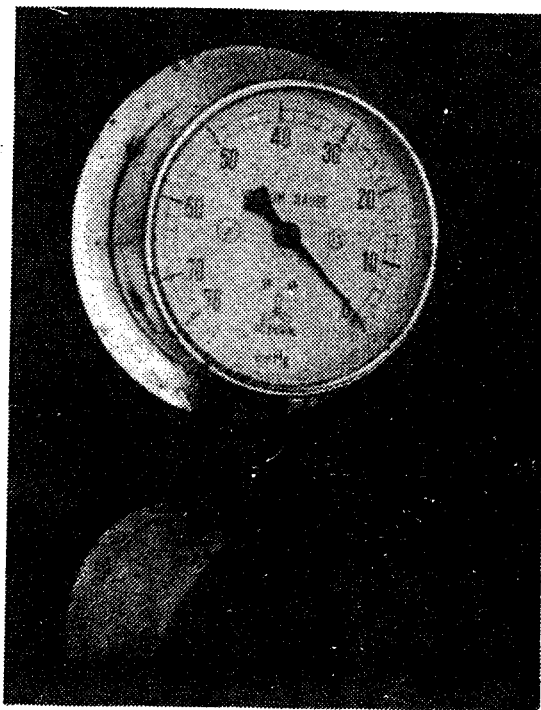


Plate 8. Vacuum gauge.

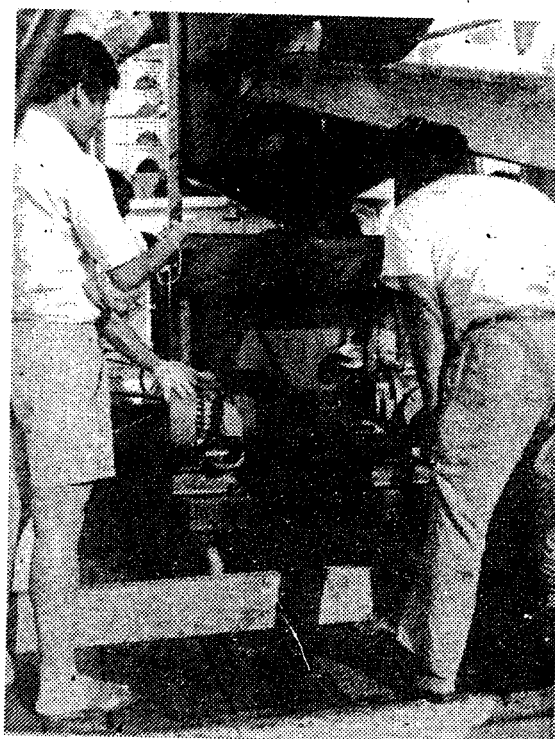


Plate 9. Measuring pumping time  
and pressure.



## 結果與討論

### 一、魚體密度：

經以阿基米德原理測得試驗用魚之密度，分別為鯖 1.062、鯷 1.067，再依據寺田，(1975)，對於二種以上不同密度之複合固定體粒體混合水比重求法，求取其混合總密度，則：

$$\frac{1}{\delta_m - 1} = \frac{P_1}{100} \cdot \frac{1}{\delta_1 - 1} + \frac{P_2}{100} \cdot \frac{1}{\delta_2 - 1}$$

因之

$$\delta_m = \frac{(\delta_1 - 1)(\delta_2 - 1) + P_1\%(\delta_2 - 1) + P_2\%(\delta_1 - 1)}{P_1\%(\delta_2 - 1) + P_2\%(\delta_1 - 1)}$$

式中  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  分別表固體粒群之比重， $P_1$ 、 $P_2$  分別為其所佔之比率，本次試驗用魚之鯖鯷所佔比例分別為 20% 及 80%，按上式求得其混合總密度為 1.066，又海水密度為 1.025，因此各種不同魚水比例混合後之總密度，如表 III 所示。

Tab. III Density of seawater and mackerel fish.

fish/seawater ( in volume )	density of fish	density of seawater	density of sea- water and fish
1:14.2	1.066	1.025	1.028
1:13.1	1.066	1.025	1.028
1:11.4	1.066	1.025	1.028
1:10.1	1.066	1.025	1.029
1:6.9	1.066	1.025	1.030
1:6	1.066	1.025	1.031
1:5.5	1.066	1.025	1.031
1:3.8	1.066	1.025	1.034
1:3.5	1.066	1.025	1.034
1:3.3	1.066	1.025	1.035
1:3.1	1.066	1.025	1.035

### 二、抽氣速率、壓力與時間之變化：

試驗結果，在不同魚水比例，其壓力變化與到達某一真空所須時間，如圖 16 所示，由圖中顯示，當魚水比例不同，如魚水比例為 1:3.1 ~ 1:3.8，其變化情形大致相同，由 760 Torr 抽至 660 Torr，需要 4 秒，660 Torr ~ 560 Torr，需時 4 秒，560 ~ 460 Torr，需時 5 秒，460 ~ 360 Torr 需時 6.2 秒，而抽至 265 Torr 水滿，共需時 28.5 秒；魚水比例 1:5.5 ~ 1:6.9，其變化亦大致相同，760 ~ 660 Torr 需時 4 秒，660 ~ 560 Torr 需時 3.9 秒，560 ~ 460 需時 4.5 秒，460 ~ 360 Torr

需時 5.7 秒，抽至 275 Torr 水滿，計需時 26.3 秒；魚水比例 1:10.1 時，760 ~ 660 Torr 需時 4 秒，660 ~ 560 Torr 需時 3.9 秒，560 ~ 460 Torr 需時 4.6 秒，460 ~ 360 Torr 需時 4.9 秒，抽至 280 Torr 水滿計需時 23.5 秒；魚水比例 1:11.4 ~ 1:14.2，由 760 Torr 抽至 660 Torr 需時 4 秒，660 ~ 560 Torr 需時 3.9 秒，560 ~ 460 Torr 需時 4.1 秒，460 ~ 360 Torr 需時 4.5 秒，抽至 285 Torr 水滿，共需時 22.5 秒；即於開始時，不論魚水比例之多寡，由 760 Torr 抽至 560 Torr，所需時間大致相同，推

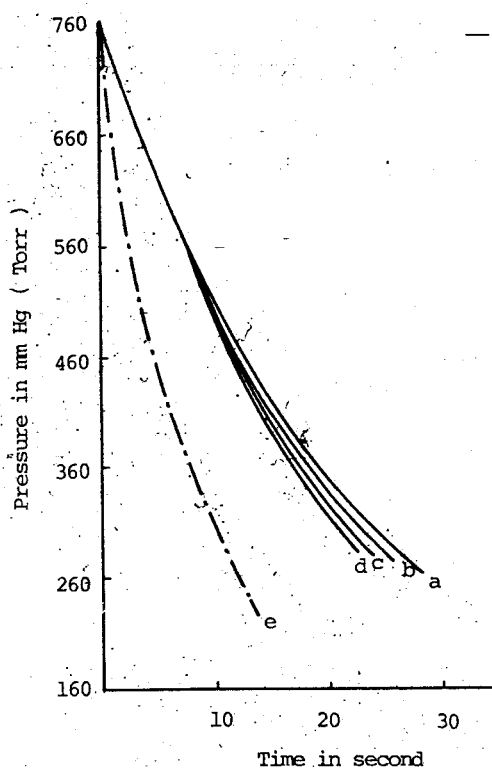


Fig. 16 Relationship between the pressure and the pump-down time of measured and compare with that of the calculated value at no air leak.

- a: Measured value at the ratio of fish and seawater between 1:3.1 and 1:3.8
- b: Measured value at the ratio of fish and seawater between 1:5.5 and 1:6.9
- c: Measured value at the ratio of fish and seawater at 1:10.1
- d: Measured value at the ratio of fish and seawater between 1:11.5 and 1:14.2
- e: Calculated value at no air leak.

測此乃由於魚之密度較海水為大，剛開始因壓力差小，僅海水被漸次吸上而已，然 560 Torr 以後，則所佔比率較高者，所須時間較長，且達水滿之時間亦較久，此乃由於其摩擦阻力較大所致。

另依前述理論式，按區分計算法（黃，1973），求得真空容器之壓力變化與時間關係，亦如圖 16 所示，其不論魚水比例多少（1:3.1 ~ 1:14.2），其壓力變化與時間關係大致相同，如由 760 Torr 抽至 660 Torr，須時 1.2 秒，660 ~ 560 Torr 需時 2 秒，560 ~ 460 Torr 需時 1.2 秒，460 ~ 360 Torr 需時 3.3 秒，360 ~ 260 Torr 需時 4.3 秒，抽至 220 Torr 水滿，共需時 13.8 秒；其與實際測定值相差頗大，此現象與中山，（1969）所述之情況相同，其可能係由於本裝置系統之漏氣，及未考慮魚水被吸至真空容器入口時之摩擦阻力所致。為確知開始至魚水抽至真空容器入口高度，管路因摩擦之水頭損失及實際魚水之高度與壓力關係，筆者曾測定壓力變化與其實際水柱高度情形，結果如圖 17 所示，當壓力由 760 Torr 至 570 Torr 時，由於此時壓力差小僅海水被吸上，故不論魚水比例為何，大致壓力變化與實際高度皆一致，然在 570 Torr 以後，由於魚水比例高者，其摩擦阻力亦較高，致於同一壓力下其實際水柱高度較魚水比例小者為低。

### 三、漏氣率與壓力變化、抽氣速率及時間：

為瞭解本裝置之漏氣情況，將輸水管之入口處封閉，如此整個系統之容積為 663 l，並測定壓力變

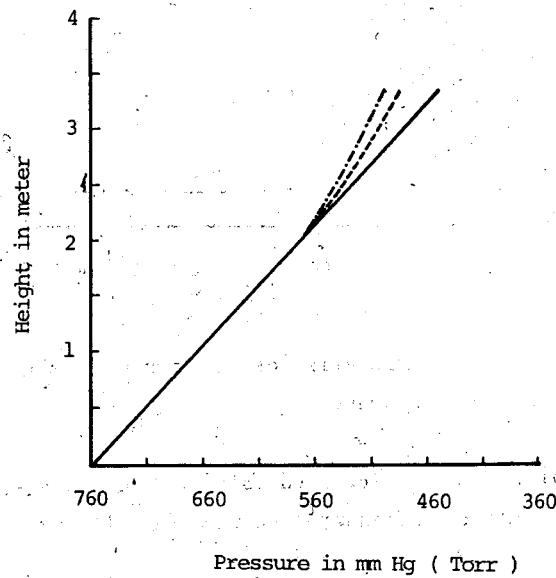


Fig. 17 Relationship between actual height of water column and pressure in this experiment.

- At ratio of fish and seawater between 1:3.1 and 1:3.8
- At ratio of fish and seawater between 1:5.5 and 1:6.9
- · - · - At ratio of fish and seawater between 1:10.1 and 1:14.2

化與時間之關係，其實測與計算值如圖 18 所示，實測值時間較計算值為長，此乃由於裝置之漏氣所致，且實測值當壓力降至 100 Torr 時排氣速率變為 0，壓力無法繼續下降；另應用真空系統之平衡方程式（蘇，1978；堀越，1976），以求取漏氣率  $q_1$  (Torr · l/s) 即：

$$t = 2.303 \cdot \frac{V}{S_a} \cdot \log \frac{P_0 - \frac{q_1}{S_a}}{P - \frac{q_1}{S_a}}$$

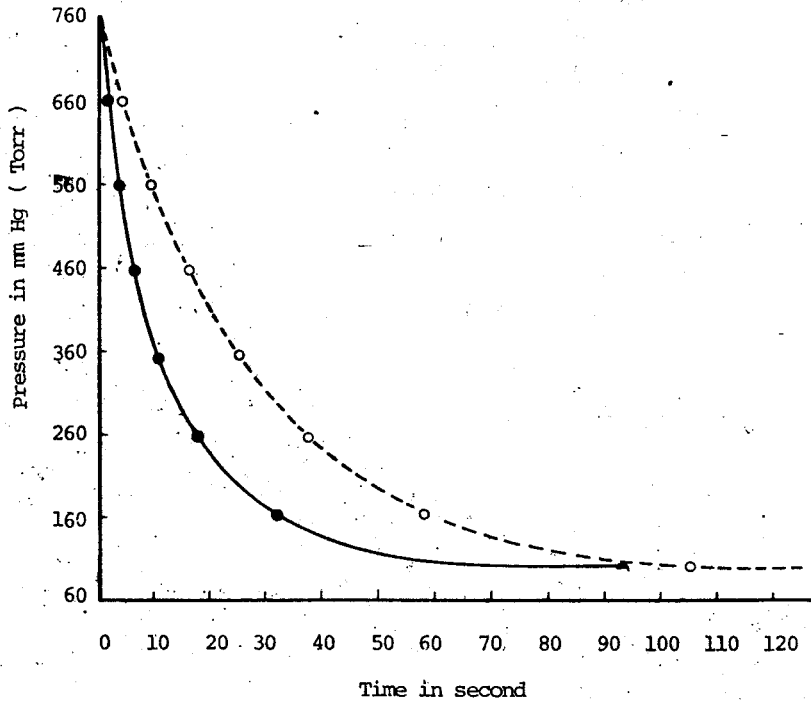


Fig. 18 Degassing characteristics of vacuum fishing pump system in this experiment.

Solid line : Calculated value at no air leak.

Broken line : Measured value at air leak.

得知本真空系統之漏氣率，隨壓力差增加而銳減，如圖 19 所示，於 760 ~ 660 Torr 漏氣率為 18938 Torr · ℓ/s，660 ~ 560 Torr 為 14680 Torr · ℓ/s，560 ~ 460 Torr 為 11048.1 Torr · ℓ/s，460 ~ 360 Torr 為 6275 Torr · ℓ/s，360 ~ 260 Torr 為 4510.7 Torr · ℓ/s，260 ~ 160 Torr 為 1402.3 Torr · ℓ/s，而 760 ~ 265 Torr 經計算，其漏氣率為 8408 Torr · ℓ/s，此乃由於本裝置漏氣之發生，主要係因為接縫（如塑膠管與真空管容器之連接處）及閥門之不緊密所致，且該塑膠蛇管係套於真空容器之鋼管外，逆止閥又為向外掀，因之壓力差較大，將使其更為緊密，漏氣率亦隨之減小。目前尚無低真空系統（Coarse vacuum System，760 ~ 1 Torr）之漏氣率文獻可資比較，然就本裝置言，若再加以部份改善，如真空箱卸魚口之逆止閥（Check Valve），改以電磁閥（Electric magnetic valve），當即可大大地減低漏氣率，提高排氣性能。

由漏氣率應考慮管路之摩擦阻力因素，且應用能量不滅定律，求取因壓力差之變化各段魚水所佔之容積，作為真空系統之容積因魚水被吸上而減少的修正，按區分計算法，及上述之平衡方程式，求得壓力與抽氣時間之關係分別如圖 20、21、22 所示，其與上述實際計測略同，尤其壓力在 760 至

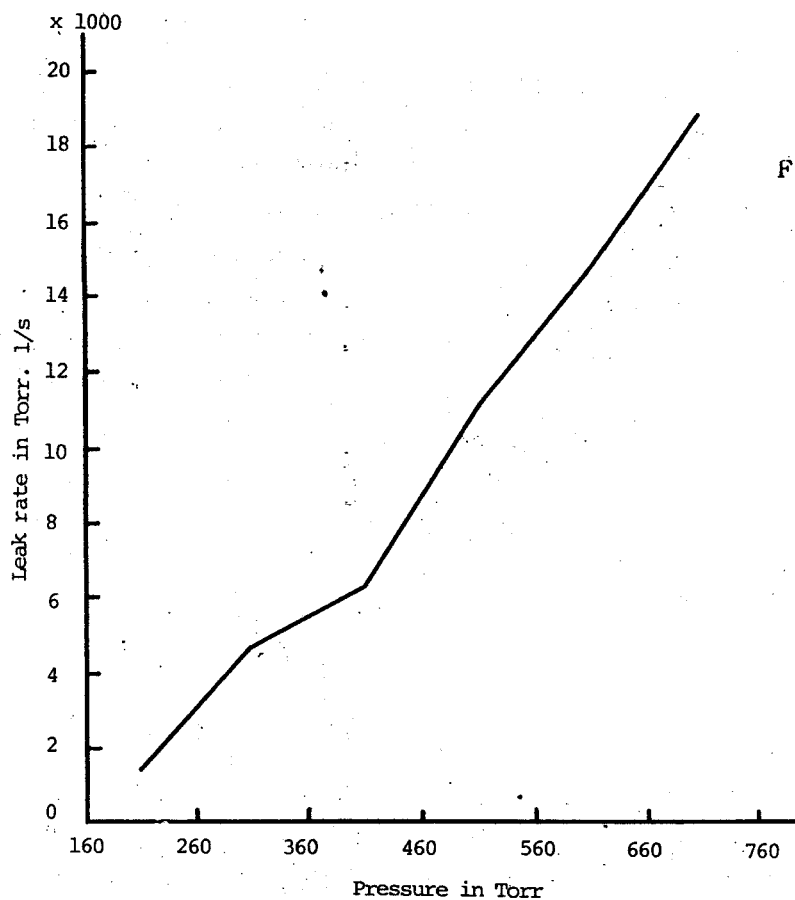


Fig. 19 Relation between the leak rate ( $q_l$ ) and the pressure ( $p$ ) for vacuum system in this experiment.

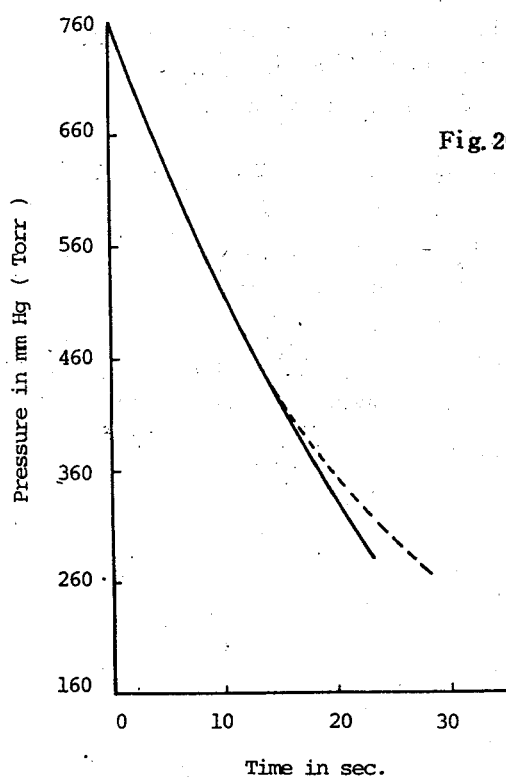


Fig. 20 Relationship between the pressure and the pump-down time of measured and calculated value.

Solid line: Calculated value at the ratio of fish and seawater between 1:3.1 and 1:3.8  
 Broken line: Measured value at the ratio of seawater and fish between 1:3.1 and 1:3.8

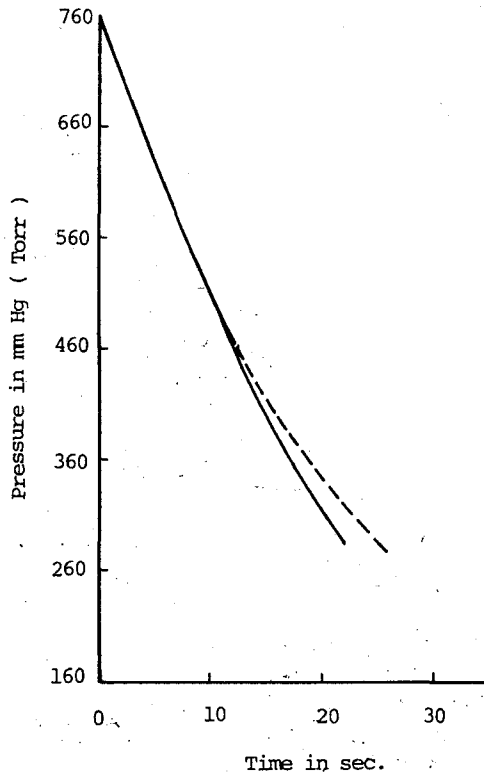


Fig. 21 Relationship between the pressure and pump-down time for measured and calculated value.

Solid line : Calculated value at the ratio of fish and seawater 1:5.5--1:6.9  
 Broken line : Measured value at the ratio of fish and seawater 1:5.5--1:6.9

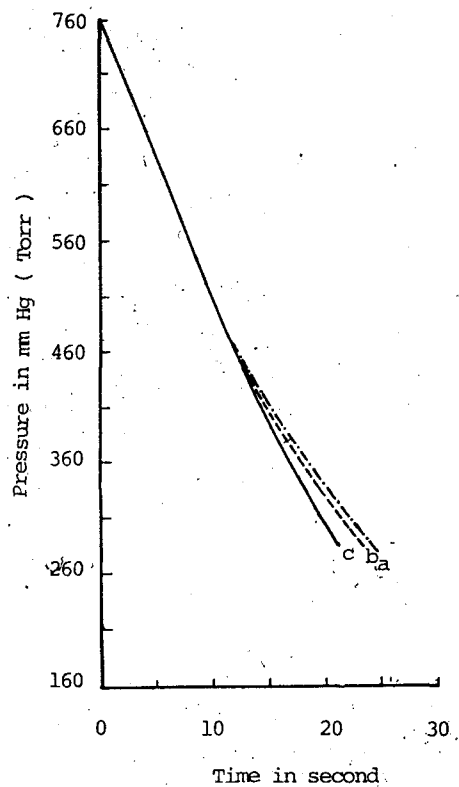


Fig. 22 Relationship between the pressure and pump-down time of measured and calculated value.

a: Measured value at ratio of fish and seawater at 1:10.1  
 b: Measured value at ratio of fish and seawater between 1:11.4 and 1:14.2  
 c: Calculated value at ratio of fish and seawater between 1:10.1 and 1:14.2

360 Torr, 完全吻合, 但壓力差增大時, 則實測值較計算值略高, 此推測乃由於魚水在輸送中魚所佔比例增加, 又部份魚體觸及入口, 管路等而成橫送, 使摩擦阻力加大所引起。此若將吸入管之口徑加大些許, 並減少管路之彎曲, 當可獲得改善, 並提高漁獲效率。若不改善本裝置之漏氣情形, 為達預期之效果, 則排氣速率應另加 39.8% 之餘裕率。

#### 四、漁獲效率及損傷率：

由本次試驗結果, 揚魚速率曾於 28.8 秒漁獲 111.1kg 之鯖、鯷, 若以此速率而連續作業, 則每小時可達 13.9 噸之漁獲, 較添田, (1964) 以同為 10 馬力之離心式漁撈幫浦試驗結果, 漁獲體長 18~24cm (平均 20.7cm) 在 780~790 rpm 轉速下之揚水量 66.7 kg/min 大甚多, 且與川田 (1961) 所稱 130 mm 口徑之漁撈幫浦揚魚量每小時 9.38~14.25 噸, 亦毫無遜色, 據此足以證實該真空式漁撈幫浦之高, 更可確證其可應用於本省之大型圍網, 用以揚起漁獲物, 提高漁獲效率及魚體鮮度, 對於繁榮漁村經濟有莫大助益。

真空漁撈幫浦係利用壓力差原理, 將魚水吸上, 與離心式漁撈幫浦應用轉子 (Runner) 轉動之離心力將魚水揚上不同, 雖然後者係使用無葉片 (Bladeless) 轉子 (蘇等, 1977), 但魚體在經過此處, 一則由於沖擊, 再則因轉子之摩擦, 易使魚體受損, 而真空式者, 因無轉子, 若魚不摩擦管路, 應可順暢通過, 而不受損; 而本次試驗, 魚水比例不同, 魚體損傷率計測結果如圖 23 及表 IV 所示, 由資料顯示, 魚水比例高低與魚體損傷率, 並無很明顯的相關係性存在, 但仍顯示當魚所佔之比率較高時, 損傷率有增大跡象, 如魚水比例為 1:10.1~1:14.2 時損傷率為 0~0.94%, 1:5.5~1:6.9 為 0.36~1.3%, 而 1:3.3 時為 1.03~1.25%, 1:3.1 時為 1.42%, 平均之損傷率 0.75%, 較蘇等 (1977) 之陸上離心式者對於臭肉鯷 (Round herring) 吸取鮮魚之 4.9%, 及死魚在魚水比例 5~15% 於適當轉速 710 rpm 下之損傷率 7.6% 為小; 而招致此次魚體損傷之主因, 推測係由於魚水抽滿後, 由於魚之比重較海水為大, 而沈於真空箱底部, 當打開底部逆止閥時, 由於魚體摩擦卸魚口所致, 另則由於魚體摩擦管路, 及被魚水分離器 (Separator) 所擦傷; 又由於此次試驗用魚購回後, 先經冷凍後再行解凍供試, 其鮮度較差, 魚體鬆軟, 易於損傷。此可由加大卸魚口, 並改善魚水分離裝置, 如以輸送帶兼用等, 當可減低其損傷率, 更可提高魚水比率, 增大揚魚效率。

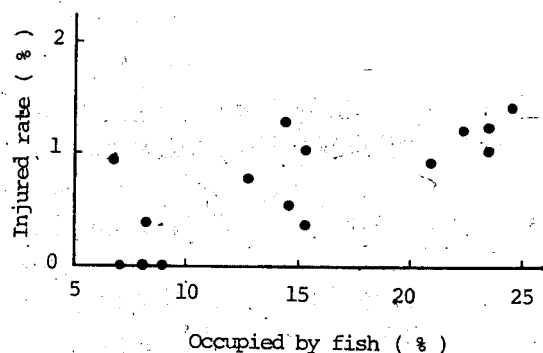


Fig. 23 Relationship between occupied by fish and injured rate of fish after pumped by vacuum fish pump.

Tab.IV Injured rate for various occupied fish in this experiment.

fish/seawater ( in volume )	occupied fish ( % )	total catch in number	uninjured in number	injured in number	injured rate ( % )	remarks
1:3.1	24.4	918	905	13	1.42	average injured rate 0.75%
1:3.3	23.3	865	857	9	1.04	
1:3.3	23.3	881	870	11	1.25	
1:3.5	22.2	816	806	10	1.23	
1:3.8	20.8	771	764	7	0.91	
1:5.5	15.4	582	576	6	1.03	
1:5.6	15.2	561	559	2	0.36	
1:5.8	14.7	552	449	3	0.54	
1:6	14.3	537	530	7	1.30	
1:6.9	12.7	515	511	4	0.78	
1:10.1	9.0	274	274	0	0	
1:11.4	8.1	245	244	0	0.41	
1:11.4	8.1	221	221	0	0	
1:13.2	7.0	214	214	0	0	
1:14.2	6.6	212	210	2	0.94	

#### 五、揚量與流速：

真空式漁撈幫浦之揚量與流速，隨壓力差之增加而增大，與離心式者，其流速與轉速成比例增加的情況迥異，由試驗結果得知，魚水揚量與平均流速（ $V$ ）有隨魚水比例（ $F$ ）增加而減小之勢，並得以  $V = 2.302 - 0.056 F + 0.001 F^2$  表示，其相關係數  $r = 0.96$ ，如圖 24 及表 V，由圖顯示，當魚水比例在 1 : 3.1 ~ 1 : 3.8 時，平均流速為 1.55 m/s，揚量為 1.15 m<sup>3</sup>/min，1 : 5.5 ~ 1 : 6.9 時平均流速為 1.7 m/s，揚量為 1.26 m<sup>3</sup>/min，1 : 10.1 ~ 1 : 11.4 時，平均流速為 1.88 m/s，揚量 1.39 m<sup>3</sup>/min，而於 1 : 14.2 時，平均流速為 1.97 m/s，揚量為 1.45 m<sup>3</sup>/min，較蘇等（1977），揚程 2.2 m，吸入管長 10 m，揚水管長 5 m，管徑 125 mm 之離心式者稍小，而與添田（1964）之試驗結果（吸入口為 200 mm，排出口為 150 mm，於 780 ~ 790 rpm）之揚量 1.5 m<sup>3</sup>/min 略同。



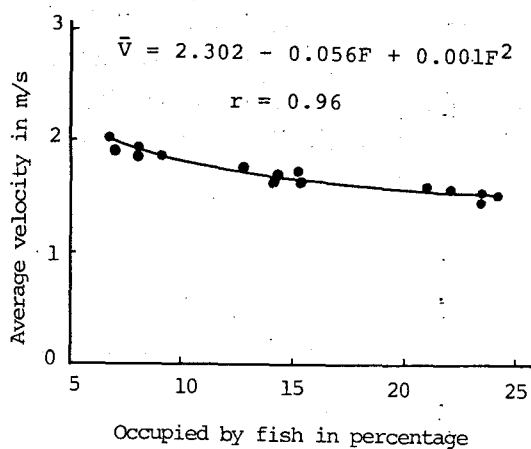


Fig. 24 Relationship between average velocity in the sucking hose and occupied by fish.

Tab.V Flow, average velocity and falling time for various occupied fish.

fish/seawater ( in volume )	occupied fish ( % )	flow ( m <sup>3</sup> /min )	average velocity ( m/s )	falling time from vacuum vessel ( sec )
1:3.1	24.4	1.13	1.53	55
1:3.3	23.3	1.14	1.54	56
1:3.3	23.3	1.09	1.48	52
1:3.5	22.2	1.17	1.58	49
1:3.8	20.8	1.20	1.63	50
1:5.5	15.4	1.21	1.64	45
1:5.6	15.2	1.29	1.75	44
1:5.8	14.7	1.24	1.68	47
1:6	14.3	1.22	1.65	45
1:6.9	12.7	1.31	1.78	41
1:10.1	9.0	1.39	1.88	38
1:11.4	8.1	1.36	1.84	36
1:11.4	8.1	1.42	1.92	37
1:13.2	7.0	1.43	1.94	51
1:14.2	6.6	1.51	2.05	35

### 六、魚水卸下所需時間：

魚與海水於真空容器內，當打開底部逆止閥時，即開始卸下，各種不同魚水比例，卸完魚水所需時間，25 如圖及表 V 所示，由圖中顯示，當魚所佔比例 (F) 較高時，所需時間亦稍長，並得以  $T = 28.268 + 1.074F$  表示之，其相關係數  $r = 0.97$ ；雖然如此，若將卸魚口再行加大，並減緩真空容器下方之斜度，則卸下時間更可縮短，且魚體損傷率亦可大幅度地減少。

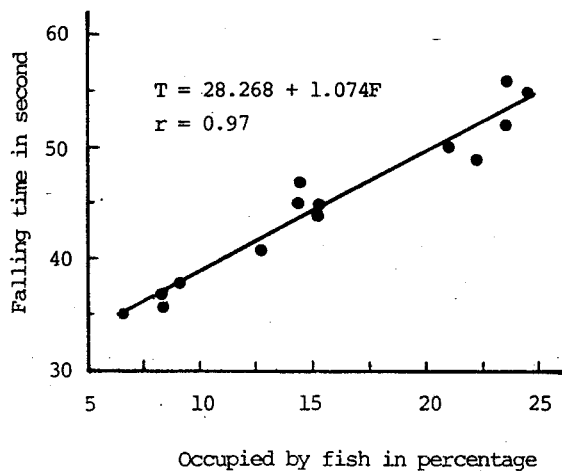


Fig. 25 Falling time from vacuum vessel versus occupied by fish.

### 摘 要

真空技術在科學上的應用至為廣泛，其中真空輸送乃係利用真空與大氣壓力之壓力差，以達輸送粉粒體或液體；真空式漁撈幫浦即應用此原理，期達到漁撈作業之機械省人省力目的，俾用以挽救當前之漁業危機。

為促進真空式漁撈幫浦之實用化，筆者就其設計理論加以解析，並實施其漁獲性能之實際試驗 (Field test)，茲將其結果摘要如下：

1 受外壓之真空圓筒，其長度較臨界長度為短者，可依 Windenburg 及 Trilling 式，並將縮陷力 (Rupturing force) 加五倍安全工作係數，以求取筒壁厚度，即：

$$5P = \frac{2.42 \cdot E \cdot (t/D)^{0.8}}{(1-\mu^2)^{0.8} \{ (L/D) - 0.45(t/D)^{0.8} \}}$$

式中  $P$  為縮陷力 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )，若係大氣壓力則為  $1.033 \times 10^{-2} \text{ kg}/\text{mm}^2$ ， $E$  為材料縱彈性係數 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )， $\mu$  表泊松式， $D$  為圓筒直徑 ( $\text{mm}$ )， $L$  圓筒長度 ( $\text{mm}$ )， $t$  為筒壁厚度 ( $\text{mm}$ )；另為考慮材料使用之腐蝕，設計上應加上腐蝕值  $\alpha$  ( $\text{mm}$ )，故實際真空圓筒厚度  $T$  ( $\text{mm}$ ) 應為  $T = t + \alpha$ 。

2 真空幫浦的選用，首先應由求得之平均流速，依能量不滅定律及函數平均值公式，求取魚水抽滿之到達壓力，即：

$$\bar{V} = \frac{1}{P_1 - \frac{H \cdot \rho_{w+t} \cdot 1000}{\rho_{Hg}}} \int_{P_1}^{P_0} \frac{P_i}{H \cdot \rho_{w+t} \cdot 1000} \sqrt{2g \cdot \frac{[P_0 - (\frac{H \cdot \rho_{w+t} \cdot 1000}{\rho_{Hg}}) - P_i] \rho_{Hg}}{1000 \cdot \rho_{w+t} (f_1 + f_0 + f_s + f_s \cdot \frac{L}{D} + 1)}} dP_i$$

其中  $\bar{V}$  為平均流速 (m/s),  $P_0$  表大氣壓力為 760 mm Hg 或 Torr,  $P_1$  為到達滿水之壓力 (mm Hg or Torr),  $\rho_{Hg}$  水銀密度為 13.6,  $\rho_{w+t}$  為液體中含有固體之總密度,  $g$  重力加速度 (m/s<sup>2</sup>),  $H$  為真空容器入口高度 (m),  $D$  表管徑 (m),  $L$  為管長 (m),  $f_1$  為管路吸入口之損失係數,  $f_0$  為管路出口損失係數,  $f_s$  表管路彎管損失係數,  $f_s$  為管路之摩擦係數。

然後再依真空系統之氣流平衡方程式, 求取實效平均排氣速率, 而選用適宜的幫浦, 即:

$$S_n = 2.303 \cdot \frac{V}{t} \cdot \log \frac{P_0 S_n - q_1}{P_1 S_n - q_1}$$

式中  $S_n$  為實效排氣速率 (ℓ/s),  $t$  為達希望壓力所需時間 (Sec),  $P_0$  表原來壓力 (mmHg or Torr),  $P_1$  為希望之壓力 (mmHg or Torr, 即滿水之真空度)  $q_1$  表漏氣率 (Torr · ℓ/s)。

3. 鯖、鰻魚體密度, 依阿基米德原理, 測得在開始解凍至六小時內, 其變化甚微, 鯖為 1.062, 鰻為 1.067, 且其混合比例, 鯖佔 20%, 鰻佔 80%, 求得混合後總密度為 1.066。

4. 本次設計之真空圓筒長度為 1100mm, 直徑 900mm, 經依 Windenburg 及 Trilling 式計算, 得筒壁厚度約為 4mm, 另加 2mm 腐蝕值, 因之應選用 6mm 之軟鋼製造; 真空幫浦平均實效排氣速率, 經計算由 760 Torr 抽至 229 Torr 為 39.71/s, 本試驗選用平均排氣速率為 39.9 ℓ/s (760 ~ 229 Torr) 水封式真空幫浦。

5. 魚水比例不同, 抽真空所需時間亦稍異, 一般在 760 ~ 560 Torr, 所需時間略同, 560 Torr 以後, 則魚所佔比例高者, 所需時間亦稍長, 至 460 Torr 以後更為顯著, 且達水滿之時間亦較長, 此乃由於魚水比例高, 其摩擦阻力較大之故; 又因該真空系統之漏氣, 致實測達到真空度所需時間, 較計算高值為高, 本裝置由 760 ~ 265 Torr 之漏氣率為 8408 Torr · ℓ/s。

6. 本試驗, 在魚水比例 1:3.1 時, 每小時之揚魚量達 13.9 噸, 足證該真空漁撈幫浦之實用可行性。

7. 該項裝置對魚體損傷率, 雖有因魚所佔比較高, 而有稍高的跡象, 然並不顯著, 平均約為 0.75%, 然若再稍加改善部份裝置, 可將損傷率減為零。

8. 管內平均流速 ( $V$ ) 隨魚所佔比例 ( $F$ ) 之增高而緩減, 並得以  $V = 2.302 - 0.056 F + 0.001 F^2$  表示之, 其相關係數  $r = 0.95$ 。

9. 魚與海水由卸魚口, 卸下所需時間 ( $T$ ), 亦隨魚所佔比例 ( $F$ ) 之增加而加長, 並可以  $T = 28.268 + 1.047 F$  表示之, 其相關係數  $r = 0.97$ 。

## 謝 辭

本研究承蒙本所所長季燦然博士之督促、鼓勵與指導, 及國立台灣海洋學院教授周耀休與國立台灣大學副教授黃博治先生悉心教導及核稿, 得以順利完成, 謹誌衷心謝誠; 試驗期間又蒙海洋漁業系同仁劉燈城、林俊辰、謝日豐、陳守仁等及海富試驗船船長謝進卿及全體船長之鼎力協助, 在此一併致謝。

## 參 考 文 獻

Badarson, H. R. (1971) Deck equipment for purse seining. Modern Fishing Gear of the World III, pp. 286-287. Edited by H. Kristjonsson, published by Fishing News(