

魚水混合流之水力輸送及其 液壓系統效率之研究

廖學耕

Studies on fish-water mixture flow in pipe
and efficiency of its hydraulic system

S. K. Liaw

In past year, hydraulic conveying technique of solid-liquid Mixture in closed conduit had increased rapidly. Now it applies to fishery, such as MACRO'S patented "CAPSULPUMPS" it uses hydraulic power, the hydraulic power created positive water pressure to push the fish and water through the hose onto the vessel in this. We must know how much horse power does the Hydraulic system required.

In Hydraulics, we know if liquid start to flow, energy dissipation occurs which, in turn, appears in the form of a pressure drop.

The loss of energy per unit distance $\Delta h/\Delta L$, often called the head loss, is proportional to the flow velocity V^n , or

$$\frac{\Delta h}{\Delta L} \propto V^n, \text{ where } n > 1$$

Another, as liquid flows, hydrodynamic forces are exerted on the fish which on the bed of the pipe, a further increase of the flow causes an increase in the magnitude of these force, we must to know how much the minimum flow velocity required to move the fish in the specific pipe. This experiment

- (1) We design a 5" piping system to measure the head loss $\frac{\Delta h}{\Delta L}$, and calculate the value, n about 2.50.
- (2) We measure the minimum flow velocity which could move the fish in the fish in the pipe and $V_c \approx 0.24$ m/sec
- (3) We calculate the total head, Hydraulic hose power of the capsulump and the efficiency coefficient of the Hydraulic system.

前 言

漁撈泵浦之應用早在1945年於美國緬因州波特蘭即用來將鱈及鱈由船上運送至陸上之工具⁽¹⁾，後來由於圍網漁業大量漁獲之特性，漁撈泵浦便使用於圍網漁業。至目前為止使用中之漁撈泵浦，其型式計有一、陸上式漁撈泵浦如日本共榮造機201型及本所之5"泵⁽²⁾。二、MARCO之沈水式漁撈泵浦(U240型，U400型，U880型)⁽³⁾。三、使用真空泵之靜止容積型漁撈泵，如共榮造機R350型(使用真空吸引，利用自然重力排出，共榮造機R630H型(使用真空吸引，利用空氣壓力排出))。

在各種魚撈泵中均涉及魚水二相流在圓管內流動之問題。在水力輸送(Hydraulic, Convey)之領域中，大部份之研究均集中於漂沙沈澱物之輸送⁽⁴⁾，或化學工程中粉粒體之水利輸送研究⁽⁵⁾，且在此於面已有很好的之成果，其已經初步確定固液混合物流動之理論基礎，並能精確測量固液混合物在

管內流動之壓力降⁽⁶⁾，臨界流速，並使用因次分析建立壓力降和其他物理因次之關係。

本文之主要目的係利用一些簡單之試驗測量魚水二相流在 5'' 管內流動之壓力降，並觀測水力輸送中，輸送魚體所須最小之臨界流速，並以此作基礎資料推算本分所設計之 5'' 沈水式泵在各種不同過程中所須之軸馬力，及其所選用油壓馬達之排量及壓力，油泵之排量及壓力，電動機之馬力等。

理 論 分 析

魚體在管內流動時，若係活魚其具有反抗水流方向游動之傾向，因此移動魚體之淨速度，須視魚之種類及魚體之體能狀態而定，本文不擬分析活魚水力輸送之力學問題，而僅係對沈澱性之死魚作水力輸送之分析。至於在懸浮性之死魚或蝦，其魚水二相流管內摩擦係數，和只有在管內流動之摩擦係數差異很小⁽⁷⁾，其在管內各處之壓力降已可由各種表格查出⁽⁸⁾。

以下係討論沈澱性死魚，魚水二相流在管路內流動壓力降和其他物理因次之關係，在此我們係假設魚體之水利輸送中，魚之濃度甚低，流仍然被認為牛頓流 (Newtonian flow)。

設：

U_{ss} ：表死魚之沈澱速度 m/sec. .

D ：表輸送管內徑。

C ：表管內魚體體積濃度（濃度在 5% 以下，使牛頓流之特性不致破壞太多）。

h ：表 head。

單位長度之壓力降以 $\frac{\Delta h}{\Delta L}$ 表知。

$(\frac{\Delta h}{\Delta L})_1$ 表濃度 C 為零時之壓力降。

$(\frac{\Delta h}{\Delta L})_m$ 表濃度 C 不為零時之壓力降。

$$\text{定義 } \varphi_1 = \frac{(\frac{\Delta h}{\Delta L})_m}{C}$$

φ_1 可稱為壓力降之無因次數係數，簡稱壓力降係數。

φ_1 即實驗須要求出之沈澱性魚體水力輸送之一重要無因次數。

在所謂沈澱性一詞，我們亦比照 (Govier) 定沈澱速度大於 0.002 ft/sec 時即謂沈澱性，由於水力輸送中輸送魚體有強烈齊流之現象，沈澱速度原小之死魚魚體（鯉仔魚實驗值約 0.7 ft/sec）因其強烈之齊流有懸浮之現象，因此一條魚在輸送過程中時有表皮摩擦管路或整條懸浮水中之情形，其動量被管壁吸收之情形極為複雜，因此其摩擦力，摩擦係數在非常短之時間內雖變動，但其整體之平均值應驅於一定值。

因此設魚體之水利輸送中屬於 (Pseudohomogeneous Mixing flow)，可看成牛頓流，又壓力降可產 Darcy 之修正公式如下：

$$(\frac{\Delta h}{\Delta L})_m \frac{\gamma}{\gamma^m} = f_m \frac{\ell}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

設影響 φ_1 之因素有⁽¹⁾ pipe 之直徑 D 。(2) 魚體沈澱速度 U_{ss} (3) 魚體之特徵長度 ℓ (4) 平均流速 V (5) 魚體之比重 γ_s (6) 重力強度 g 。

$$\varphi_1 = \varphi_1 (D, U_{ss}, \ell, V, \gamma_s, g)$$

現用因次分析之方法⁽⁹⁾，將 φ_1 寫成三個無因次式之函數 $\varphi_1 = \varphi_1 (\gamma_f, \frac{V^2_{ss}}{gD}, \frac{V^2}{gD})$

) $\varphi_1, \gamma_f, U^2_{ss}/gD, V^2/gD$ 皆為無因次數，其中因係沈澱，故 $\gamma_f > 1$ ， φ_1 又可寫成

$$\varphi_1 = \varphi_1 \left(r_f - 1, \frac{U_{ss}^2}{gD}, \frac{V^2}{Dg} \right)$$

又在一般情形下魚體之沈澱速度 U_{ss} ，及比重 r_f 均一定故 $\varphi_1 = \varphi_1 \left(\frac{V^2}{gD} \right)$

因此在管路內徑 D 為一定之魚水流動中，壓力降係數 φ_1 應為 V^2 之函數。

材料與方法

試驗儀器：水力用壓力表、馬錶、油壓用壓力表、油壓用流量計、轉速表、沈水式泵及其附帶液壓系統一套。

試驗材料：5''塑膠管、6''帆布管、各式接頭、5吋、4吋、3吋節流閥1.2噸F. R. P桶、饒仔魚100kg試驗前先製作一5吋油壓式沈水式泵，如圖1—(A)，1—(B)，以作為魚水流之供應源。

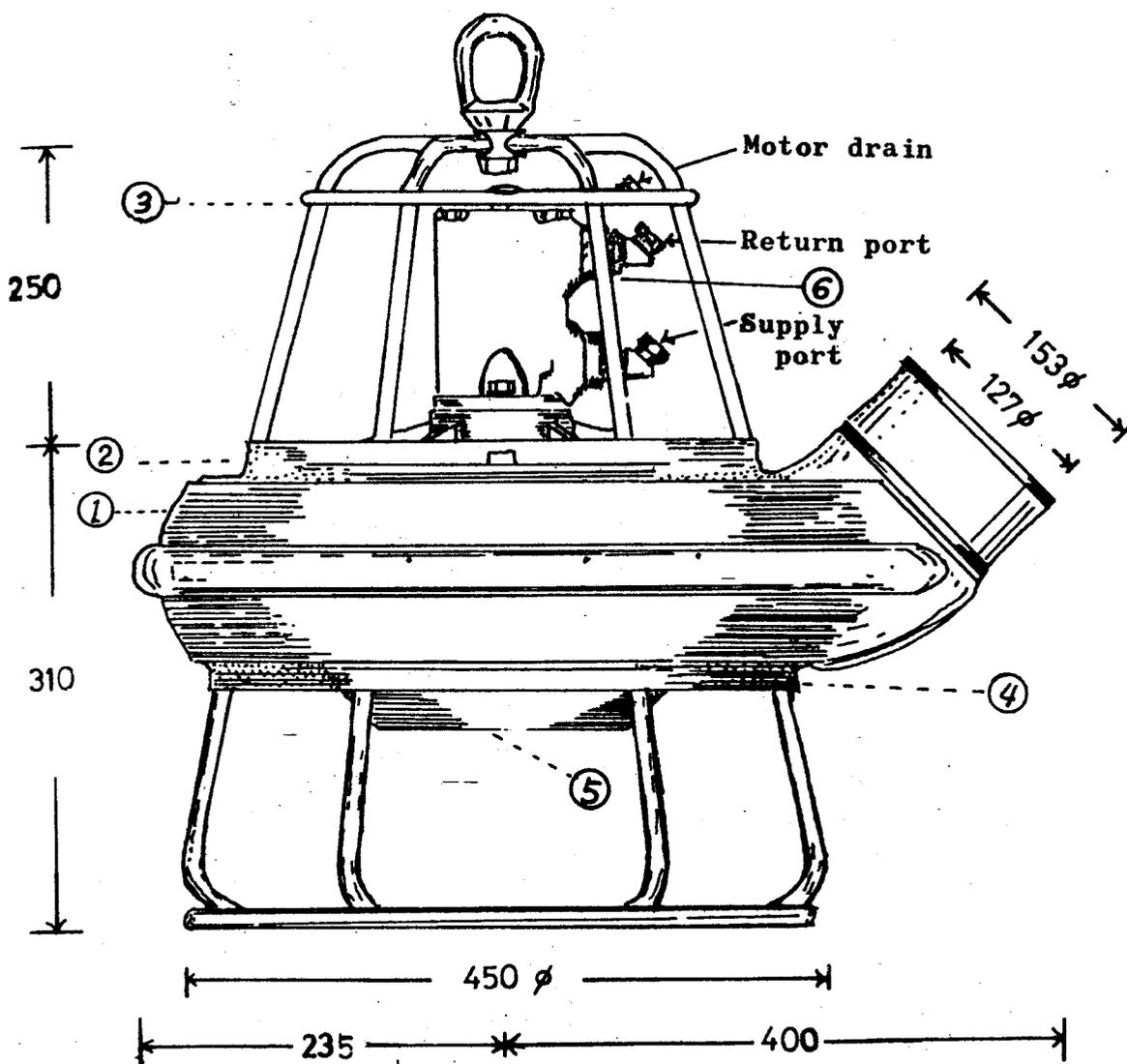
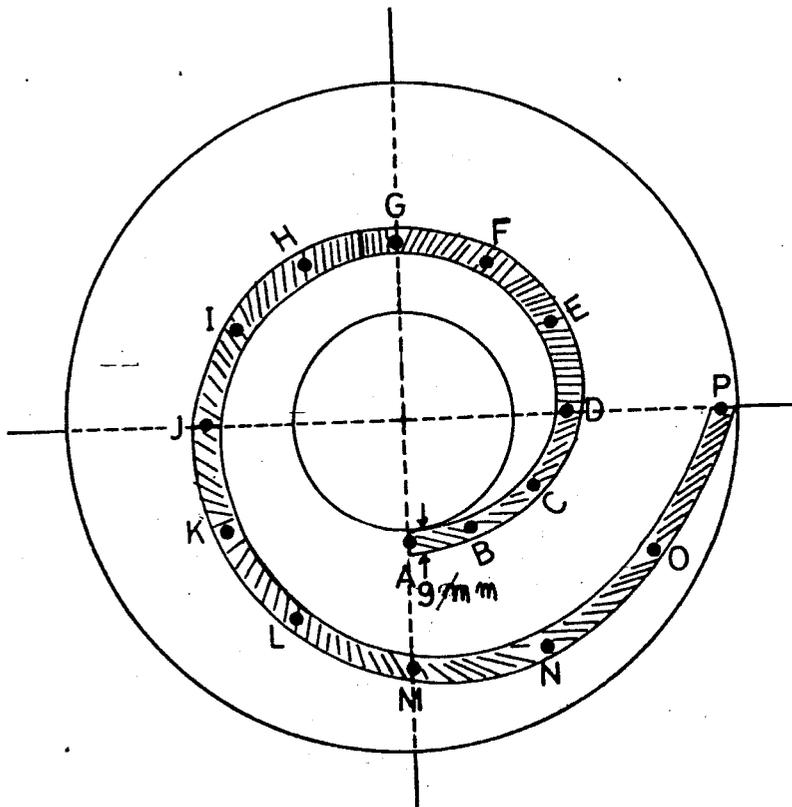


Fig. 1 (A) : Dimension and construction of the capsul fish pump.



Polar coor.	Point															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
r (mm)	64	69.2	77.2	84	90	92.8	93.2	94	96	100	110	118.4	132	142.4	147.2	164
θ (°)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450

Fig. 1 (B) : Dimension of Runner.

圖1—(A)中各部份組成如下：

- (1) 渦形室 (Pump casing)，係鋁合金鑄成，右為一5吋之出水口。
- (2) 上蓋板，亦使用鋁合金鑄成，與上面之另架用螺絲緊密拴在泵之Casing上面。上蓋板中間有軸承座，內有軸承油封及油壓馬達軸承聯結之連結器。
- (3) 上吊架 (upper hanging bracket) 係由不銹鋼焊成，上附一眼環，可讓船上之絞車吊上吊下對準魚體吸揚。
- (4) 下蓋板 (Bottom) 及底架，下蓋板亦用鋁合金，連同底架用螺絲拴在泵之Casing上面，底架亦由不銹鋼焊成，其目的在防止網，或過大型魚吸入泵內。
- (5) 轉子 (Runner)，係在鍋形室內，轉子本身無翼片或說只有一片，係由鋁合金鑄成，轉子本身除運要轉平衡以外，尚須注意出口處之角度，須盡量使水之衝擊損失減少，然亦甚難決定向樣之螺旋線才能使轉子之衝擊損失減少並降低魚體之損傷率。
- (6) 上蓋板上接一齒輪式油壓馬達。

該沈水式泵係用液壓驅動，其液壓系統之J₁₂符號迴路圖如圖(二)

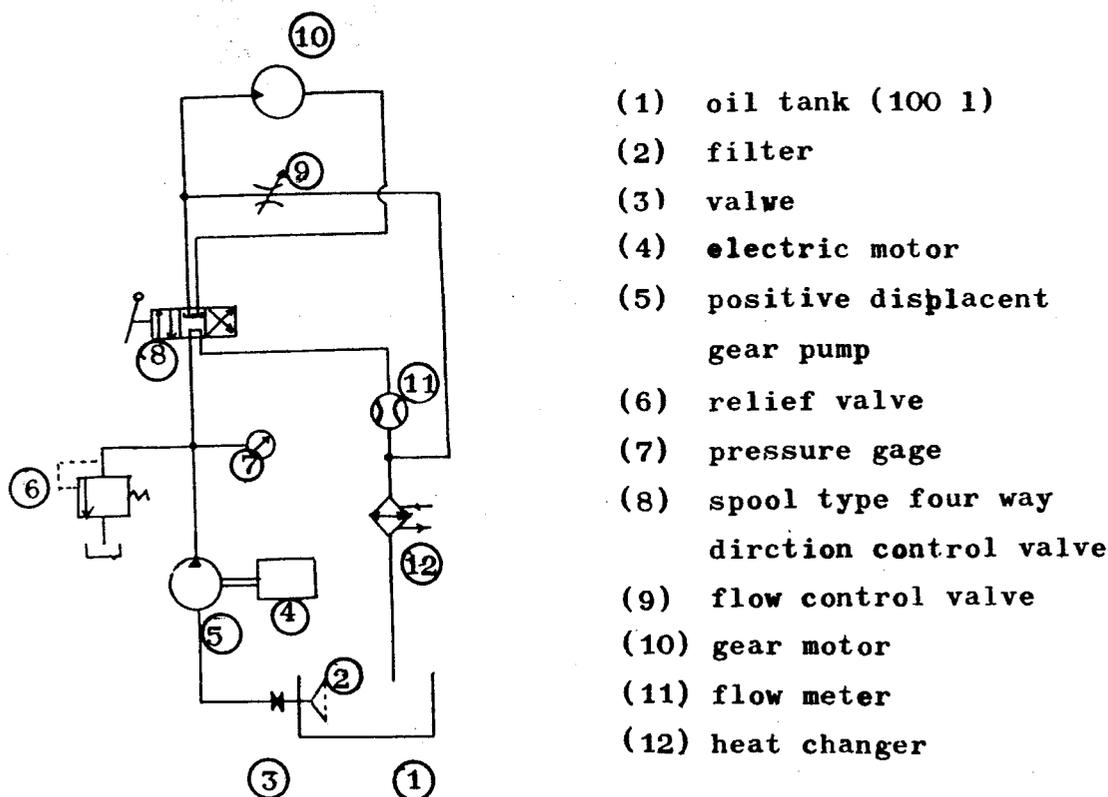


Fig. 2 : Hydraulic system of capsul fish pump.

在圖(二)中

- (1)為油箱容積100ℓ，內裝有隔板，使回油不致被泵立即吸取，油箱內有60 Mesh之吸口濾器，油箱上亦附有呼吸器。
- (2)節流閥，泵起動時必須開啓，平常用鎖拴住使其全開，避免意外關住時，泵無油而燒燬。
- (3)定排量式齒輪泵，每迴轉理論排量1.55in³，最高轉速3000rpm，額定壓力2000PSI
- (4)卸載閥 (Relief Valve) 可設定壓力值，超過該壓力值油可由此洩回油箱
- (6)壓力表
- (6)手動式四口三位方向變換閥
- (7)旁路 (by pass) 之可變節流閥，用以控制進入油壓馬達之流量。
- (8)油壓馬達，每迴轉須36cc之油，油壓220kg/cm²時其扭力8.5kg-m
- (9)涼油器

上述之液壓系統係使用價廉之閥控制型 (Valve control system) 其效率較低，油溫上升快，致須加裝涼油器

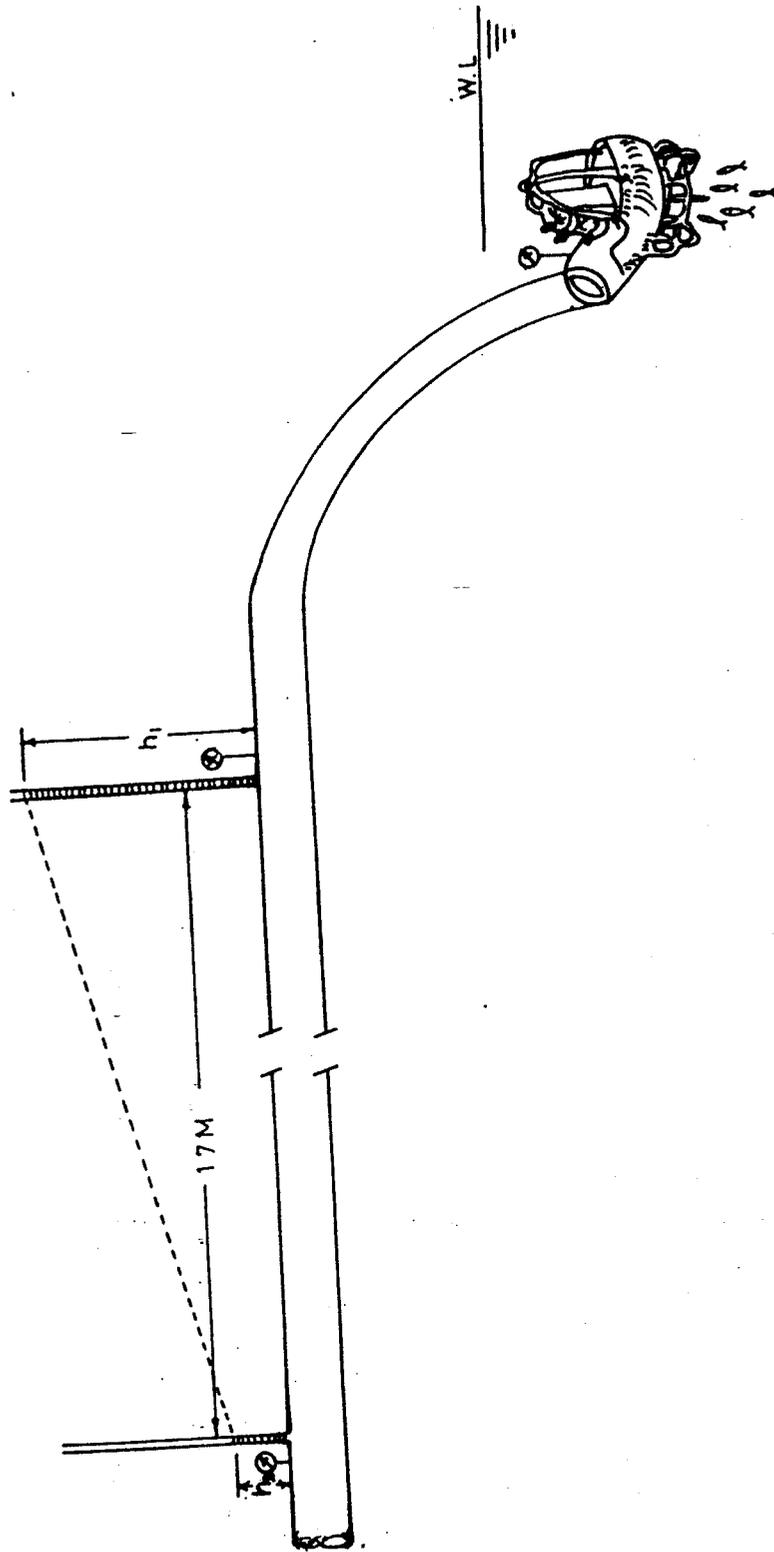


Fig. 3 : E xperiment pipping.

試驗方法

於本分所白沙養殖場按裝一5吋試驗管路如圖(白)，試驗管為內徑5吋長17公尺之南亞塑膠管，二端各接一壓力表，友觀測水頭之透明塑膠管，透明塑膠管旁各立標尺，以觀測壓頭 (pressure head) 之高度。

試驗管之魚水源係由沈水式泵供應，沈水式泵係浸於一 1.2噸F. R. P桶內，桶內充滿試驗之鱒仔魚，試驗管路右邊置一 1噸之F. R. P桶，以收集排出之魚水。並計測每次試驗之排水量，排水量及秒數。

試驗前將 5吋試驗管內充滿水，並讓水靜止，使透明管內之水位成靜止之狀態，再刻劃標尺之零點。

試驗時調整沈水式泵油壓馬達之進油量，使沈水式泵之渦卷得到各種不同之轉速，其轉速由 430 rpm變到 780rpm，因此可使5吋塑膠管內得到各種不同之魚水混合流平均流速 V 。再於試驗管二端量取不同流速時之各壓力降，且於每次試驗時同時測量。

- (1)油壓馬達之出口，入口壓力差。
- (2)油壓馬達之進油量。
- (3)泵出口壓力。
- (4)泵之排水量。

試驗結果

(1)90°彎管處之壓力降約1m/2m水柱高度

(2)油壓馬達各種不同之進油量 q 及對應之油壓馬達進出口壓力差 Δh ，泵之轉速 N ，泵出口壓力 P ，泵之排水量 Q ，及測試管二端之壓頭 (pressure head) h_1 h_2 ，魚體濃度 C ，及壓力降係數 ϕ_1 均如表(一)內所示。

(3) ϕ_1 值和平均流速 V 之關係如圖(四)所示，由該圖可知 ϕ_1 和 $V^{2.5}$ 成比例，此和理論分析「 V^2 」成比例，頗為一致。

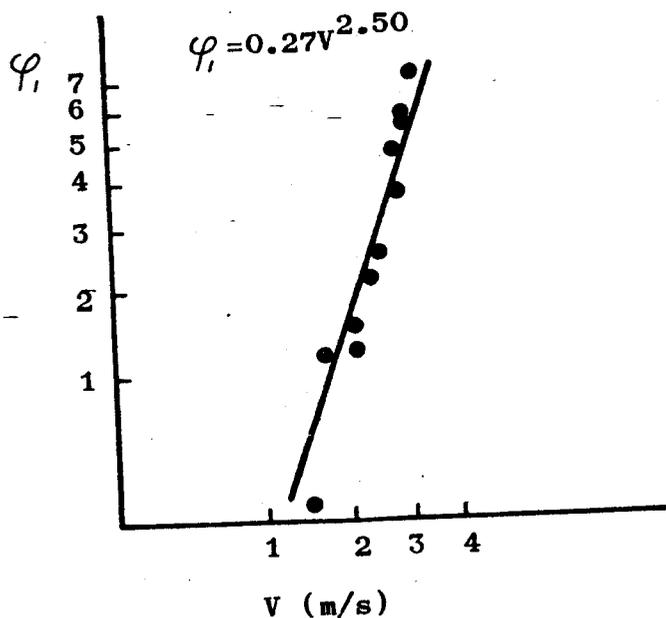


Fig. 4: Relationship between the ϕ_1 and the average current velocity in 5" pipe.

表 1 :

油壓馬達 液油流量	油壓馬達 進口壓力差	油壓馬達 轉速 (轉速)	油壓馬達 輸入之理 論馬力	泵出口 壓力	泵排水量	水馬力	泵全 效率	5' 管內 平均流速	試驗管前 端壓力高 度	試驗管後 端壓力高 度	魚水流 度	魚體濃度 (質量)	體積濃度	壓力降 係數	全水頭
符號	q	N	L_m	P	Q	L_w	η	v	h_1	h_2	$(\frac{\Delta h}{\Delta L})_{mix}$	C_1	C_2	φ	H
單位	1/min	r.p.m	HP	kg/cm ²	m ³ /sec	HP	%	m/sec	cm	cm	$\frac{mm}{m}$	$\frac{kg}{m^3}$	1	1	M
1	15	420	0.85	0.028	0.021	0.78	91	1.57	80	75	2.94	36	3.42	0.85	2.93
2	15.5	430	0.94	0.029	0.022	0.85	90	1.73	85	70	8.82	7.46	7.10	1.24	3.00
3	18	500	1.97	0.029	0.028	1.08	55	2.21	85	60	14.71	9.56	9.10	1.62	3.15
4	19	530	2.66	0.030	0.027	1.08	41	2.13	95	75	11.76	9.32	8.87	1.33	3.18
5	21	580	3.54	0.033	0.031	1.36	38	2.45	125	85	23.52	10.82	10.28	2.28	3.55
6	21	580	3.54	0.033	0.032	1.41	40	2.53	125	80	26.47	10.46	9.96	2.66	3.62
7	22	600	3.94	0.035	0.035	1.63	41	2.77	135	75	35.24	10.00	9.52	3.70	3.89
8	23	640	4.33	0.037	0.038	1.87	43	3.00	175	75	58.54	10.98	10.45	5.60	4.21
9	24	670	5.77	0.036	0.038	1.82	32	3.00	170	80	52.94	9.44	8.99	5.89	4.21
10	24	670	5.77	0.036	0.035	1.68	29	2.77	165	80	50	10.52	10.00	5.00	4.04
11	28	780	6.80	0.038	0.040	2.02	30	3.15	180	80	58.82	8.40	8.000	7.35	4.30

(4) 泵之全水頭 (total head) 和轉速之關係如圖(5)所示，據無限翼瓣數離心泵之理論給水高度和轉速之二次方成比例，但本文所製作之液壓式沈水泵無法達此。

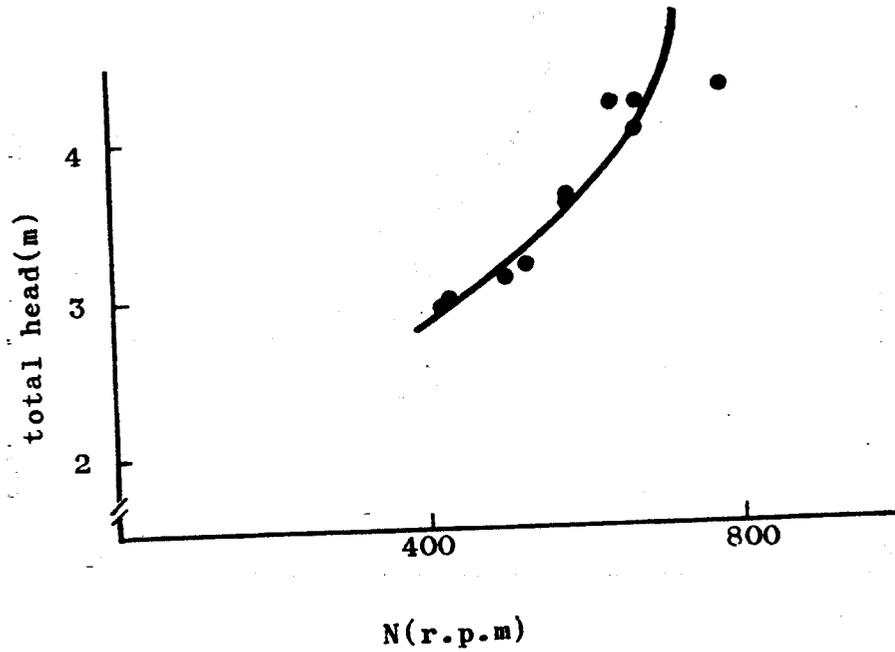


Fig. 5 : Relationship between the total head and the runner revolution.

(5) 圖(6)為泵之實際水馬力 L_w ($P \times Q \times 10^6 / 75$) 和轉速 N 之關係， L_w 約和轉速 N 之 1.83 次方成比率。

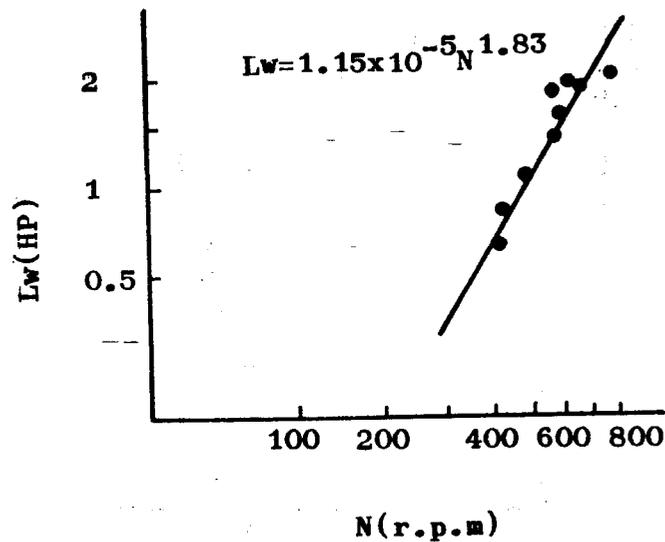


Fig. 6 : Relationship between the hydraulic horse power and the runner revolution

(6) 圖(7)為泵全效率 η ($\frac{L_w}{L_m}$) 和轉速 N 之關係圖，顯然效率隨轉速之增高而降低。

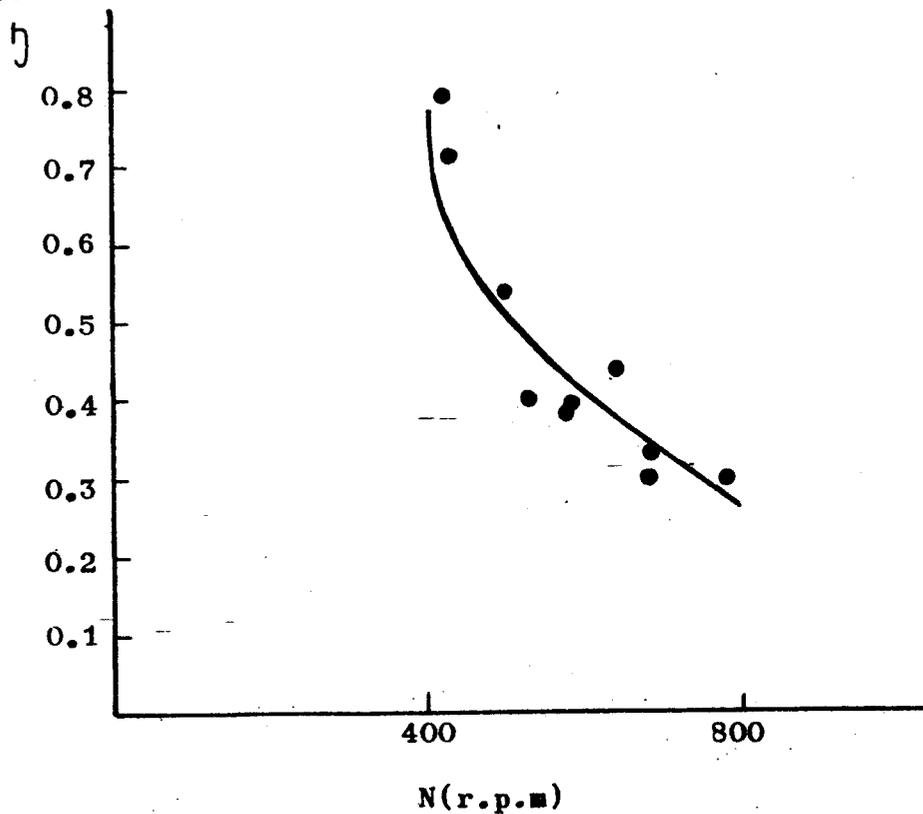


Fig. 7 : Relationship between the η and the runner revolution.
 (7)圖(η)為泵所須要之動力 L_m ($h \times q / 457$) 和轉速 N 之關係, L_m 約和 N 之 3.29次方成比例。

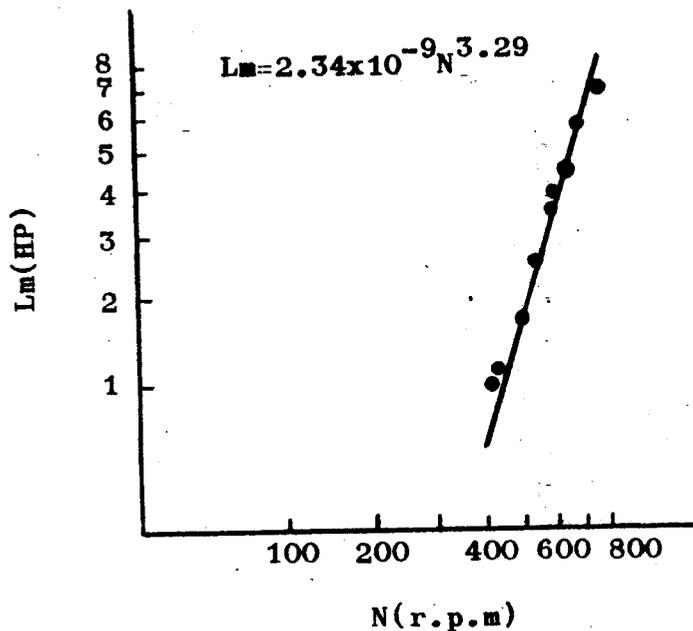


Fig. 8 : Relationship between L_m and the runner revolution.
 (8)用透明管觀測, 推動魚之臨界流速 $V_c \sim 0.24m/sec$

驗結果之討論

- (1) 本實驗於低濃度魚流試驗中，初步指出魚水二相流在圓管內之壓力降係數約與平均流速 V 之2.5次方成比例，此與理論上之二次方成正比接近。
- (2) 沉水式泵之全效率 η 隨泵轉速之增高而降低，轉速至 780rpm時，其效率 η 只有30%，設液壓馬達之效率為90%（原製造廠商提供之資料），則原轉速於 780R. P. M時其泵全效率以輸入軸馬力 L 為入準，亦只有34%，此時其全水頭為 4.3m。因此在兼顧不傷魚體之下如何改進轉子之形狀，及其出水口和Casing所成之角度以力求減少沖擊損失，提高效率仍為以後研究之重點。
- (3) 本實驗因限於魚之來源不易，無法作高密度流（魚水各佔50%）之壓力損頭試驗，因此壓力降和只有水流動之單相流壓力降差異不大。據MARCO過去製造沉水式泵之經驗，謂在12吋之圓管內，魚水各佔50%時，流速0.3m/sec時，每公尺管路之壓力降達0.33m水柱高度，其摩擦損失非常之大。
- (4) 如同理論中因次分析所指出，壓力降係數不僅與平均流速 V 之平方相關，亦與管之直徑 D ，魚體特徵之長度 l 有關，本實驗僅作於 5吋管內，特徵長度 l 約15公分之鱈仔魚作特殊情形之初步實驗。因此以後宜須對不同之材料（不同之管內糙度），不同之內徑，不同之魚種及魚體長度作廣泛之試驗，以求作成各種情況之壓力降，以為魚體水力輸送機械設計上之參考，以進一步加速漁撈機械化作業。

謝 辭

本報告承蒙本所李所長之鼓勵及校正表由衷之謝意。又對蘇主任偉成慷慨提供其訂製之沈水泵及胡分所長對本試驗之支持表由衷之感謝，另外對陳芳松、徐良明幫忙器材搬運及試驗進行，李技佐錫珍幫忙繪圖亦深表謝意。

參 考 文 獻

- (1) Burgoon, D. W. (1959): The use of fish-pump in the U.S.A. Modern Fishing Gear of the word Vol 1, P 414-416.
- (2) 蘇偉成、鄭廣輝 (1977)：漁撈泵浦實用化試驗—I，臺灣省水產試驗所67年工作成果報告。
- (3) MACRO (1975): MACRO CAPSULPUMPS U 240, U400, U880 Fish pump.
- (4) Graf, W. H. (1971): Hydraulics of Sediment Transport, Mc Graw-Hill, New York.
- (5) Newitt, D. M., et al. (1955)：Hydraulic conveying of Solid in Horizontal Pipes, Trans, inst. chem. Engrs, Vol. 39/2
- (6) Weisman, R. N. and Graf. W. H. (1968): Measuring solid - Liquid Mixture in closed conduits, Proc, Am. soc. civil Engrs., Vol. 94, no ww4.
- (7) 廖順澤 (1977)：利用水利輸送中層拖網磷蝦漁獲至魚艙可行性研究。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- (8) CRANE CO. (1942): Elow of fluid through Valve, Fittings, and pipe.
- (9) IPSEN, D. C. (1960): Units, Dimensons, and Dimensionless Numbers., Mc Graw-Hill, New York.