

## 부시리의 電氣刺戟에 대한 反應

張 鎬 榮\* · 李 秉 鎭\*

Response of Amber Fish, *Seriola aureovitta* to Electric Stimuli

Ho-Young CHANG\* and Byoung-Gee LEE\*

It is important to minimize the electric power consumption to stimulate the marine fish, for the much electric power consumption is required to induce the response.

The experiment was made to find out the threshold value for the electrotaxis or electronarcosis on amber fish, *Seriola aureovitta*(TEMMINCK et SCHLEGEL). The impulse rate and width which minimize the electric power consumption were examined. The experiment was carried out in the acryl tank(49W×175L×50Hcm) which is equipped with the two electrodes.

The results obtained are as follows:

- 1) The electric power consumption which is required to induce the electrotaxis and electronarcosis is tended to decrease as the lower impulse rate.
- 2) The mean electric power consumption for the electronarcosis is about 4.5~10 times of the electrotaxis.
- 3) The impulse width which minimize the electric power consumption is 0.5msec.

## 緒 論

고기가 든 水槽에 直流 또는 펄스電流를 통하여 電流密度를 높여 가면 고기는 여러 가지 反應을 나타내는데, 그 反應의 양상은 크게 陽極反應, 走電反應 및 電氣麻痺의 3단계로 나눌 수 있다<sup>1)</sup>.

電氣刺戟에 대한 魚類의 反應에 관하여서는 海産魚를 대상으로 岡田<sup>2,3)</sup>, 田内<sup>1,4)</sup>, 黒木<sup>5,6)</sup>, Halsband<sup>7)</sup> 및 Kreutzer<sup>8)</sup> 등이 오래 전부터 研究해 왔으며, 우리나라에서는 張<sup>9)</sup>에 의하여 처음으로 電氣漁法에 관한 文献紹介가 있었고, 그 후 李<sup>10)</sup>는 송어와 두릅상어에 관하여, 高<sup>11-13)</sup>는 보리새우에 관하여 電氣刺戟實驗을 한 바 있다. 電氣刺戟에 의한 海産魚의 誘集이나 驅集은 海水의 電氣傳導度가 너무 커서 電力消耗가 매우 많은 데 問題가 있고, 펄스電流를 쓰면 비교적 적은 電力으로서도 所期의 電氣刺戟을 줄 수 있으나 어떤 型의 펄스가 가장 合理的인가는 아직

밝혀지지 않았다.

本 研究는 우리 나라 沿近海에 널리 分布하며 定置網에 주로 漁獲되는 부시리에 대하여 衝擊周波數와 펄스幅에 따른 走電反應과 電氣麻痺를 일으키는 데 요하는 閾值를 調査하여 消費電力을 最小로 하면서도 동일한 刺戟效果를 낼 수 있는 衝擊周波數와 펄스幅을 찾고자 하였다.

## 材料 및 方法

## 1. 펄스電流 發生裝置

實驗에 사용된 펄스電流 發生裝置는 크게 나누어 整流裝置, 衝擊周波數 調整裝置, 增幅裝置 및 測定裝置의 4부분으로 구성되어 있다(Fig.1).

## (1) 整流裝置

整流에는 75A 실리콘整流器(silicon rectifier)를 브리지回路(bridge circuit)로 연결하여 全波整流하였으

\* 釜山水産大學 : National Fisheries University of Pusan

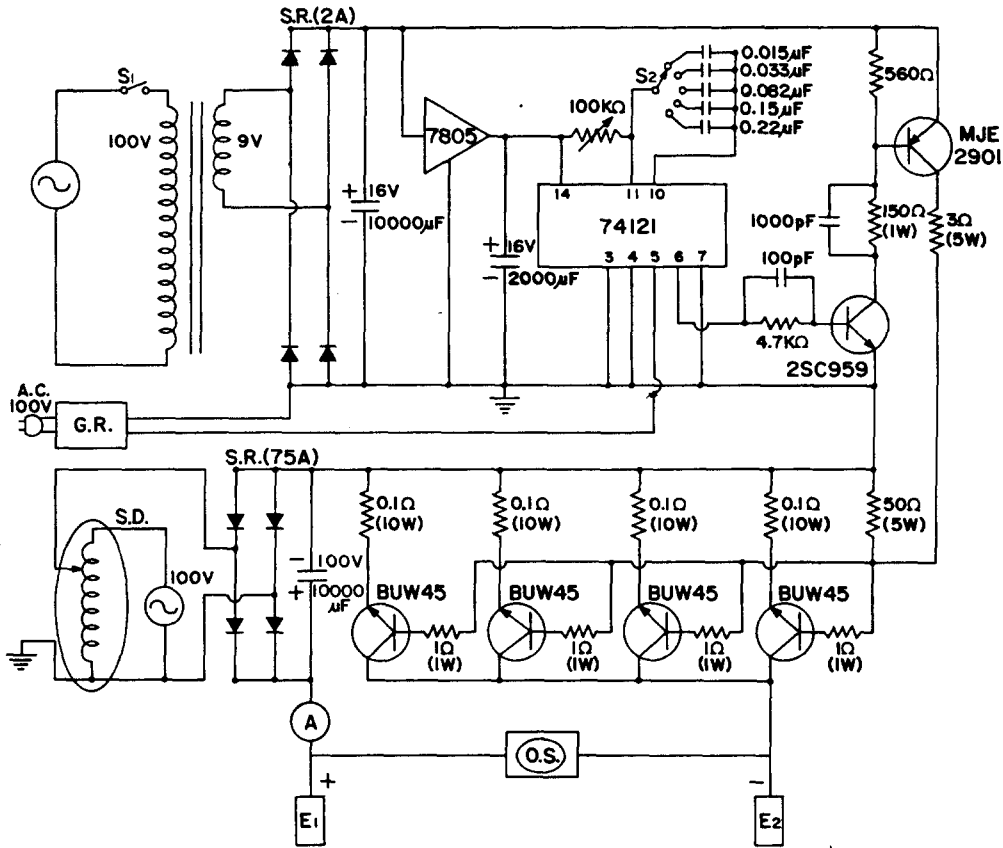


Fig. 1. Circuit of experimental equipment for direct pulse current generation.

$S_1$  : main switch       $S_2$  : selector      S.R. : silicon rectifier  
 G.R. : signal generator    S.D. : slidac      A : ammeter  
 O.S. : oscilloscope       $E_1, E_2$  : electrodes

며, 平滑回路에는 전해 콘덴서(10,000 $\mu$ F/100V)를 사용하였다.

(2) 衝擊周波數 및 펄스幅 調整裝置

衝擊周波數는 AG 202A type signal generator로서 調整하여 20, 30, 40, 50 및 60Hz로 變化시켰다. 펄스幅은 selector와 가변저항기(100k $\Omega$ )를 사용하여 이상의 각 衝擊周波數에 대하여 각각 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2.5 및 5msec로 調整하였다.

(3) 增幅裝置

IC 74121을 통하여 나오는 펄스를 먼저 transistor 2SC959와 MJE2901로서 增幅시킨 다음 power transistor BUW45(200V/20A) 4개를 병렬로 연결하여 魚體를 刺戟하는 데 필요한 出力으로 增幅하였다.

(4) 電流, 電壓 및 波形檢出裝置

電流의 測定에는 精度가 2.5%인 電流計를, 電壓

測定과 波形的 檢出에는 CS 1559A type oscilloscope를 사용하였다.

이 펄스電流 發生裝置에 의하여 發生된 波형을 oscilloscope로서 檢出した 1例는 Fig.2와 같다.

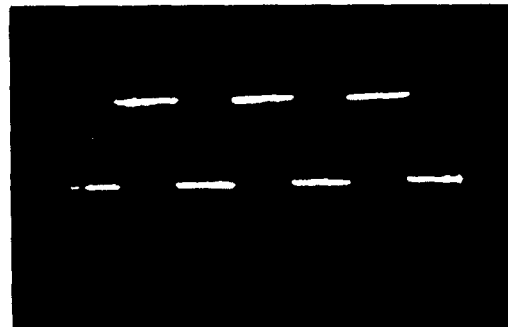


Fig. 2. Picture of pulsating voltage displayed on oscilloscope.

## 2. 實驗水槽

實驗은 魚體의 反應을 잘 관찰할 수 있도록 하기 위하여 투명한 아크릴판(두께: 0.6cm)으로 만든 直六面體形水槽(49W×175L×50Hcm)에서 실시하였다. 實驗時 水深은 35.5cm로 유지하였으며, 實驗期間中 水溫은 17~23.5°C, 鹽分은 32.75~33.54‰, 海水의 比抵抗은 0.2Ω·m였다.

## 3. 試 魚

實驗에 사용된 試魚은 자갈치와 광안리 魚販場에서 구입한 全長 21~38cm의 부시리 *Seriola aureovittata* (TEMMINCK et SCHLEGEL) 122마리였으며, 이들은 飼育水槽에서 1일 이상 適應시킨 후 實驗에 사용하였다.

## 4. 刺戟閾値의 判定基準

實驗은 水槽에서 面積 49×35.5cm<sup>2</sup>인 Al極板을 極間距離가 1.5m 되게 하고 兩極間의 電壓을 5, 10, 20, 40 및 60V로 하여 水槽內의 電位傾度を 測定한 結果 Fig. 3에 나타난 바와 같이 거의 일정하였다. 따라서, 體電位(body voltage)는 試魚가 反應하였을 때 體長에 해당하는 距離에서의 電壓을 oscilloscope의 lead로서 조정하면서 測定하였다.

走電反應(electrotaxis)은 供試魚가 +極으로 유영하여 兩極間의 중앙선을 통과하였을 때 極을 바꾸어

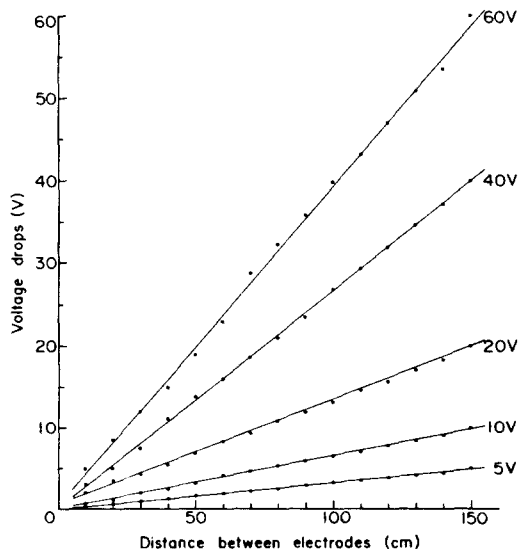


Fig. 3. Voltage drops between the two electrodes in the experimental tank.

주면 魚體가 다시 +極으로 轉向하여 유영하는 동작을 계속해서 두 번 이상 되풀이할 수 있는 狀態로서, 電氣麻痺(electroanesthesia)은 魚體가 뒤집혀지거나 鉛直으로 서서 일시적으로 유영할 수 없는 狀態로서 판단하였다.

또한, 衝擊周波數와 펄스幅의 變化에 따른 走電反應과 電氣麻痺의 閾値(threshold value)는 水槽에 試魚를 한 마리씩 넣고 電壓調整器로서 電壓을 서서히 높였을 때의 反應을 5마리의 供試魚에 대하여 되풀이한 값의 平均으로서 判定하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 衝擊周波數에 따른 反應

부시리가 走電反應과 電氣麻痺을 일으키는 데 요하는 電極間의 閾値는 Table 1과 같으며, Fig. 4는 電流, 體電位 및 消費電力과 衝擊周波數 사이의 關係를 나타낸 것이다. 여기서, 體電位와 消費電力은 單位體長當의 값으로 구하였다.

走電反應에 있어서 펄스幅이 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2.5 및 5msec로 각각 일정할 때 電流는 대체로 衝擊周波數가 높아짐에 따라 점차 증가하였으나, 體電位는 30~40Hz에서 最大가 되고 그 이상으로 衝擊周波數가 높아지면 오히려 감소하였다. 消費電力은 衝擊周波數가 높아짐에 따라 급격히 증가하여 40Hz에서는 20Hz에서의 약 3배가 되고 50Hz에서는 極小值를 나타내었다(Fig. 4, left).

한편, 電氣麻痺에 있어서 電流는 走電反應의 경우와 같이 衝擊周波數가 높아짐에 따라 점차 증가하였으나, 體電位는 거의 일정하였다. 消費電力은 衝擊周波數가 높아짐에 따라 계속 증가하여 60Hz에서는 20Hz에서보다 약 2배 증가하였다(Fig. 4, right).

또한, 각 衝擊周波數에 따라 電氣麻痺을 일으키는 데 요하는 平均電力은 走電反應의 그것의 약 4.5~10배가 필요하였다.

이상의 結果에서 消費電力은 대체로 衝擊周波數가 낮을수록 감소하였는데, 黒木<sup>14)</sup>는 生理學上 筋肉에 完全收縮을 일으키게 하는 最小刺戟周波數를 20Hz 이하로 간주하였으며, Halsband<sup>7)</sup>와 Kreutzer<sup>15)</sup>가 각각 體長이 23~26cm인 넙치와 중간 크기의 대구에 대하여 電氣麻痺을 일으키기 위한 衝擊周波數 閾値로서 구한 것이 30Hz와 25Hz였다. 따라서, 本實驗에서 消費電力이 最小로 되는 衝擊周波數는 20Hz 정도일 것으로 생각된다.

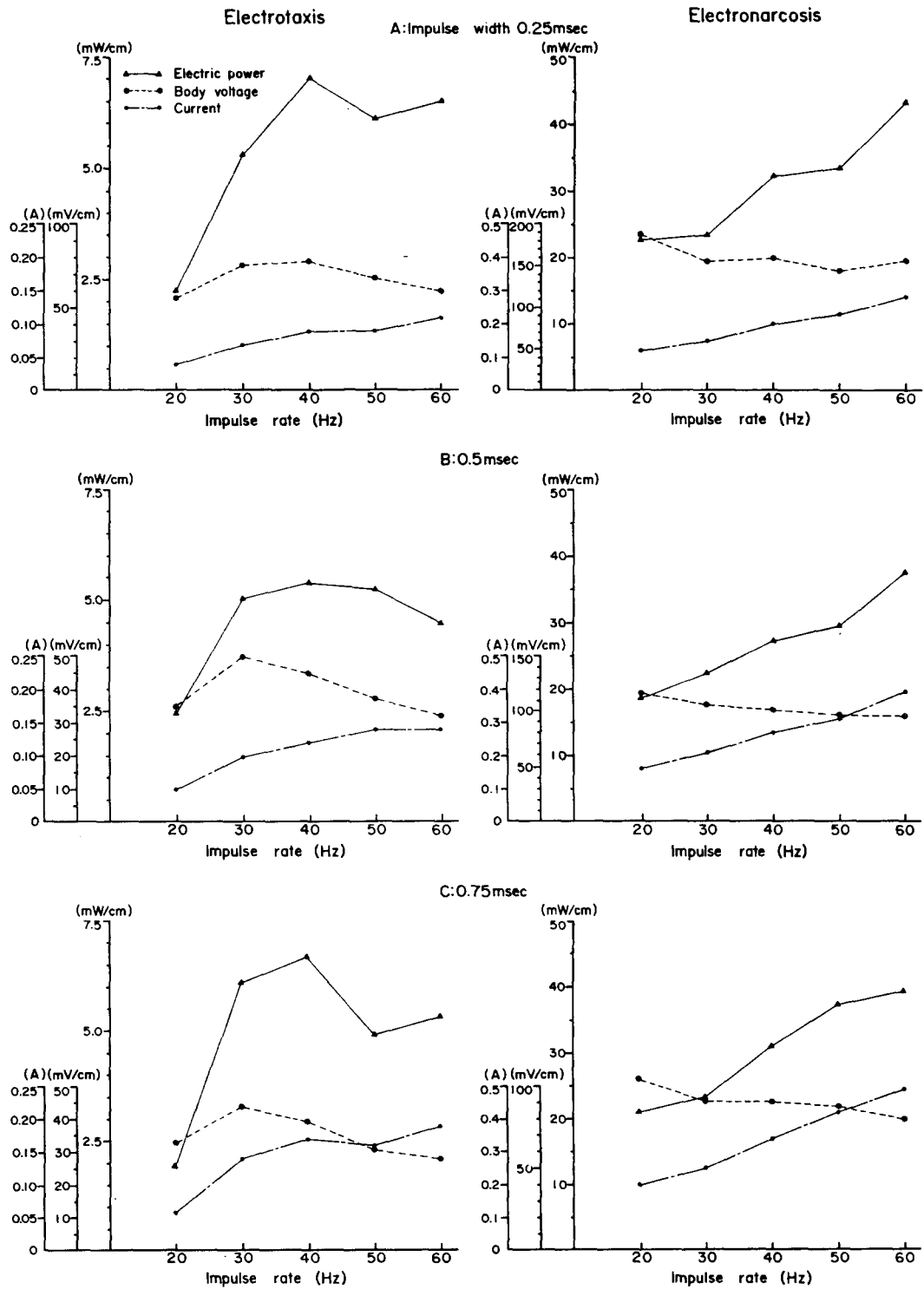


Fig. 4-1.

부시리의 電氣刺戟에 대한 反應

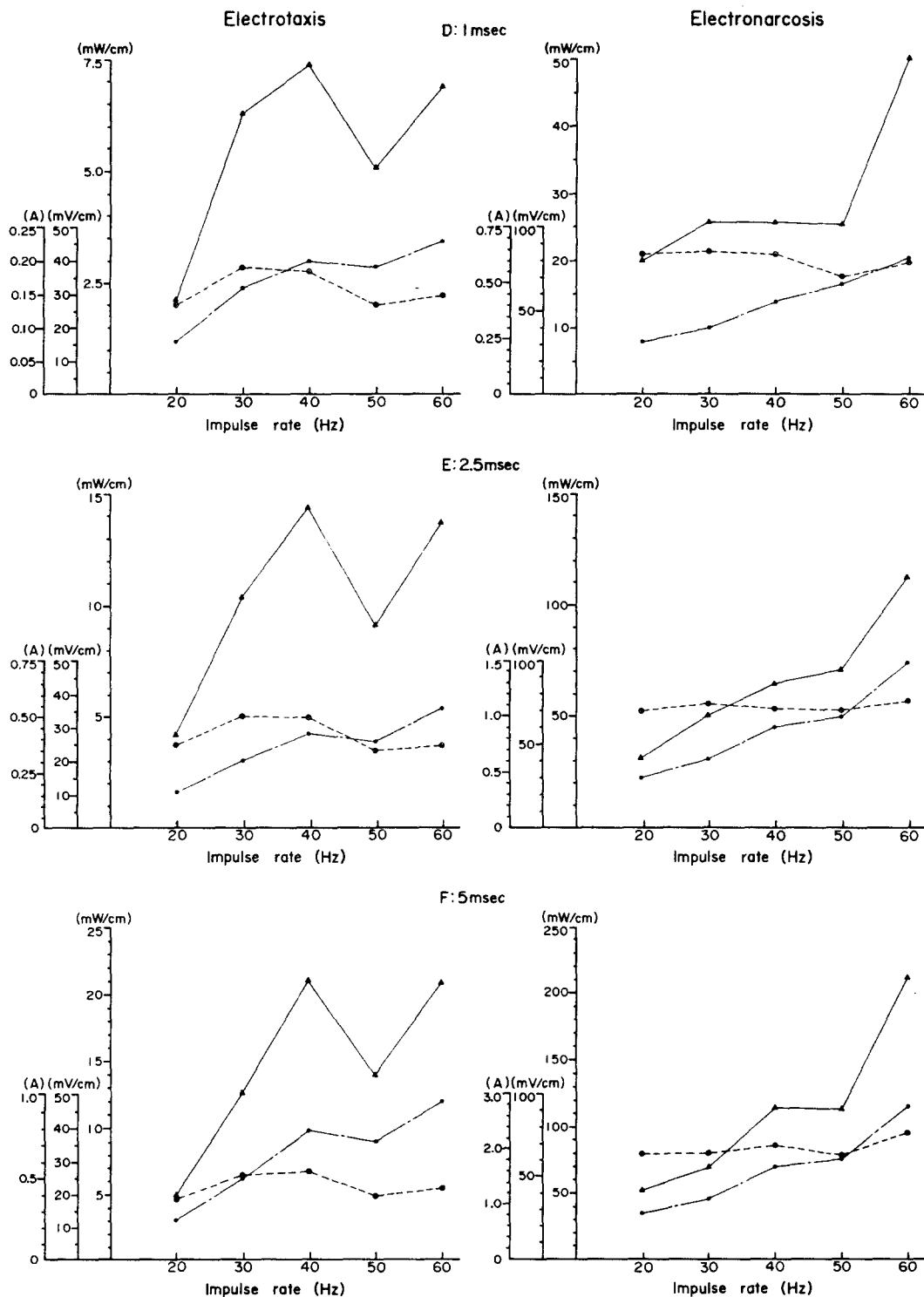


Fig. 4-2.

Fig. 4. Relationship between current, body voltage, electric power and impulse rate for the electrotaxis and electronarcosis on amber fish.

Table 1. Threshold values of the electrotaxis and electronarcosis on *Seriola aureovitta*

Type of pulse \ Response		Electrotaxis				Electronarcosis				Mean total length (cm)
Impulse rate (Hz)	Impulse width (msec)	Current (A)	Effective voltage (V)	Body voltage (mV/cm)	Electric power (mW/cm)	Current (A)	Effective voltage (V)	Body voltage (mV/cm)	Electric power (mW/cm)	
20	0.25	0.04	8.6	56.7	2.2	0.12	28.2	185.1	22.2	30.4
	0.5	0.05	5.6	36.7	1.8	0.16	17.7	118.0	18.4	31.4
	0.75	0.06	5.0	32.5	2.0	0.20	15.5	103.7	20.5	30.4
	1	0.08	4.1	26.6	2.1	0.24	12.4	82.5	20.0	29.8
	2.5	0.17	3.6	25.1	4.4	0.46	10.5	69.9	31.9	31.0
	5	0.25	2.8	19.4	4.9	0.82	9.2	63.7	52.2	31.4
30	0.25	0.07	11.3	75.8	5.3	0.15	23.4	159.8	24.3	25.0
	0.5	0.10	7.6	49.3	5.0	0.21	15.9	105.4	22.1	35.6
	0.75	0.14	6.7	46.0	6.6	0.25	13.1	89.8	22.5	27.4
	1	0.16	5.4	39.3	6.1	0.30	12.4	86.3	26.0	28.8
	2.5	0.31	4.8	32.9	10.3	0.68	10.8	73.4	50.2	32.6
	5	0.50	4.0	27.5	13.9	1.10	9.4	63.3	69.6	31.3
40	0.25	0.09	10.5	76.6	6.6	0.20	23.0	154.3	30.3	24.2
	0.5	0.12	6.9	46.2	5.7	0.27	15.4	101.4	27.3	35.6
	0.75	0.17	6.3	41.1	6.9	0.34	13.4	90.9	30.6	33.0
	1	0.20	5.9	37.7	7.5	0.42	12.7	83.7	35.3	27.0
	2.5	0.43	5.0	34.2	14.7	0.91	10.8	71.8	65.6	26.8
	5	0.79	4.4	27.8	22.1	1.66	10.4	68.7	144.4	26.2
50	0.25	0.09	10.2	69.6	6.5	0.23	21.6	144.7	33.9	23.4
	0.5	0.14	5.7	38.0	5.2	0.31	14.1	94.0	29.3	29.4
	0.75	0.16	4.4	29.6	4.7	0.42	13.3	88.1	37.0	22.6
	1	0.19	3.7	25.2	4.9	0.50	10.6	70.8	35.1	22.4
	2.5	0.39	3.6	24.8	9.8	1.00	10.0	69.9	69.8	25.6
	5	0.72	3.3	19.2	13.9	1.82	9.2	62.1	113.4	25.6
60	0.25	0.11	9.1	60.7	7.0	0.28	23.5	156.2	44.4	25.2
	0.5	0.14	4.9	33.4	4.9	0.39	14.4	95.9	37.6	24.8
	0.75	0.19	4.7	31.2	6.0	0.49	12.8	85.1	42.6	23.3
	1	0.23	4.4	29.7	7.0	0.62	12.0	80.8	50.5	23.3
	2.5	0.54	3.8	25.1	13.6	1.48	11.7	76.9	114.2	23.7
	5	0.96	3.5	22.5	21.6	2.78	11.1	74.4	207.1	27.6

Note: 1) Tank size 49W×175L×50Hcm, water depth 35.5cm.  
 2) Electrodes 1mm thick, 49×35.5cm<sup>2</sup> aluminum plates, the distance between two electrodes 1.5m.  
 3) Water temperature 17~23.5°C, salinity 32.75~33.54‰ and the specific resistance of sea water 0.2Ω·m.

2. 펄스幅에 따른 反應

衝擊周波數를 20, 30, 40, 50 및 60Hz로 각각 일정하게 하고 펄스幅을 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2.5 및 5msec로 변화시켰을 때 電流, 體電位 및 消費電力과 펄스幅 사이의 關係를 나타낸 것은 Fig.5와 같다.

電流 I와 펄스幅 t 사이의 關係를 보면 대체로  $I = a_1 + b_1 t$  ( $a_1, b_1$ 은 상수) .....(1)

라는 直線的인 關係가 있었으며, 體電位 V와 펄스幅 사이에는

$$V = a_2 + \frac{b_2}{t} \quad (a_2, b_2 \text{는 상수}) \dots\dots\dots(2)$$

라는 雙曲線的인 關係가 있었다<sup>5)</sup>.

따라서, 單位體長當 消費되는 電力 P를 t의 函數로 표현하면,

$$\begin{aligned} P &= I \cdot V \\ &= (a_1 + b_1 t) \cdot \left( a_2 + \frac{b_2}{t} \right) \\ &= a_1 a_2 + b_1 b_2 + a_2 b_1 t + \frac{a_1 b_2}{t} \end{aligned}$$

인데, 이것에서 P가 最小로 되는 條件은

부시리의 電氣刺戟에 대한 反應

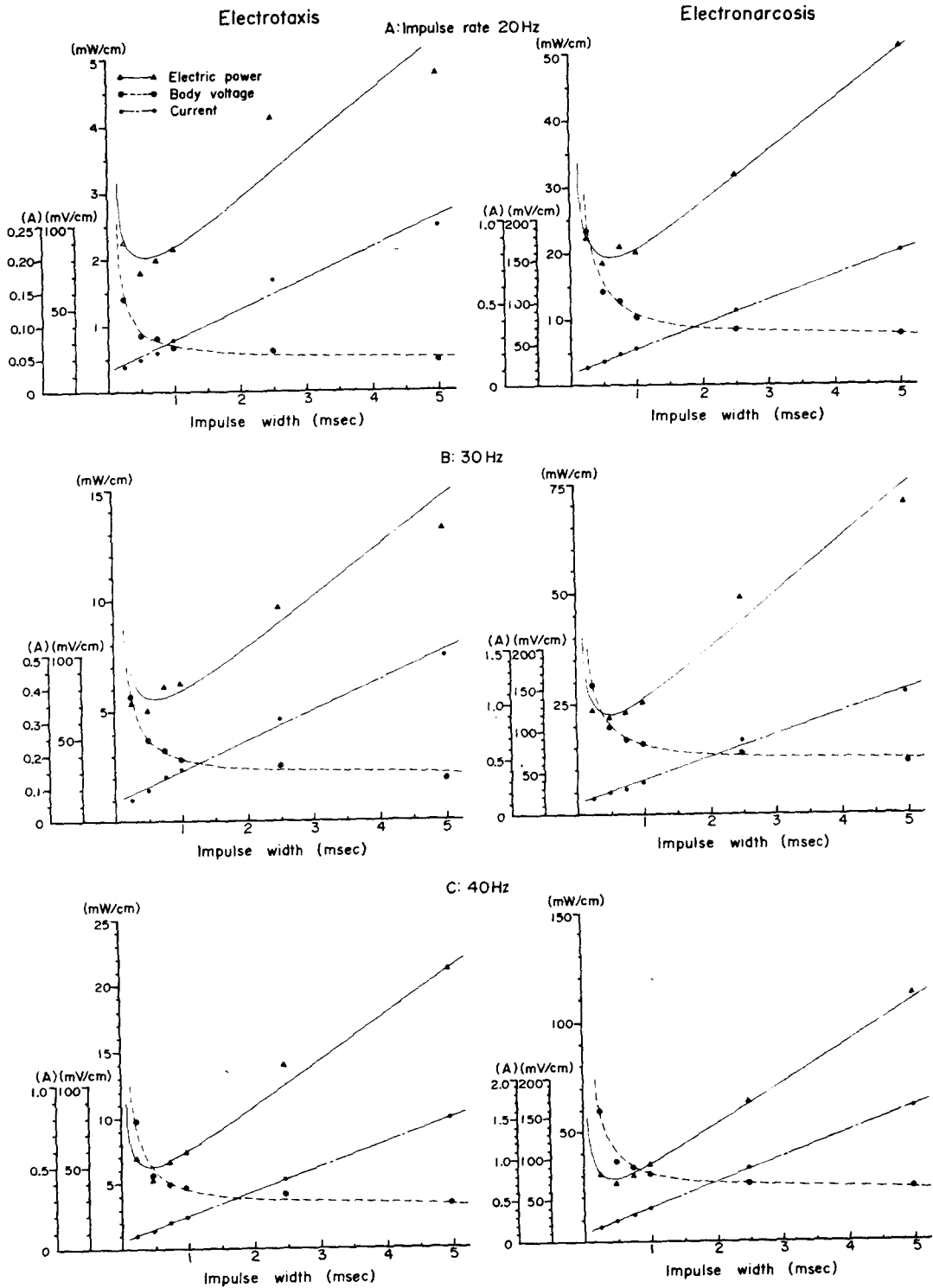


Fig. 5-1.

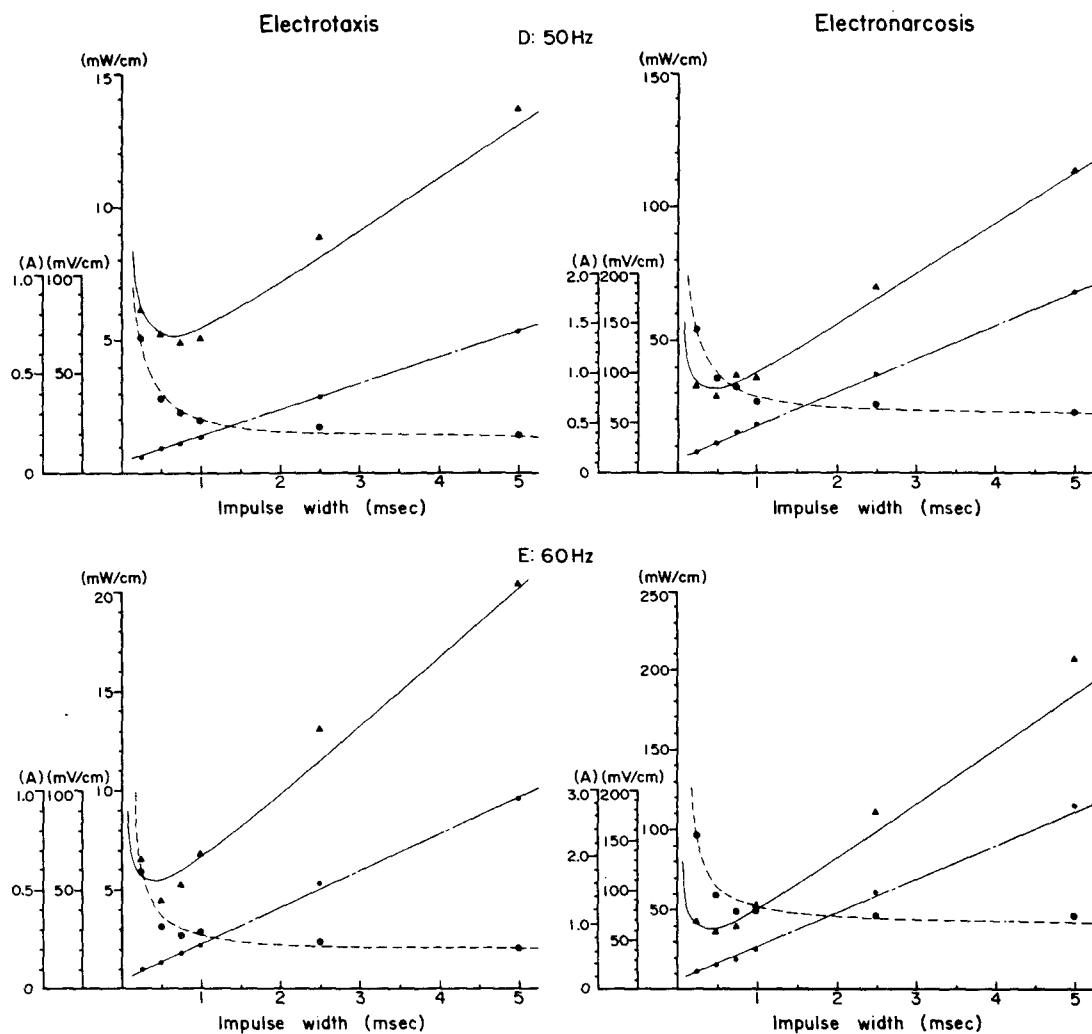


Fig. 5-2.

Fig. 5. Relationship between current, body voltage, electric power and impulse width for the electrotaxis and electronarcosis on amber fish.

Table 2. Coefficients of the regression equations (1) and (2) between current, body voltage and impulse width required to induce the electrotaxis and electronarcosis

Impulse rate (Hz)	Electrotaxis				Electronarcosis			
	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>
20	0.02	0.06	18.87	9.38	0.09	0.15	56.05	32.08
30	0.06	0.09	26.99	12.18	0.11	0.20	59.80	24.54
40	0.05	0.15	25.77	12.20	0.12	0.31	61.67	22.48
50	0.06	0.13	15.09	12.97	0.16	0.33	56.43	21.38
60	0.06	0.18	19.34	9.69	0.12	0.53	62.75	21.59

$$\frac{dP}{dt} = a_2 b_1 - \frac{a_1 b_2}{t^2} = 0$$

즉,  $t = \sqrt{\frac{a_1 b_2}{a_2 b_1}}$ 이며, Fig. 5의 結果로부터 回歸直線式으로 각 係數  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  및  $b_2$ 를 구한 것은 Table 2

와 같다. 여기서, 走電反應과 電氣麻痺의 各 衝擊周波數에 따른 係數  $a_2$ 의 값들은 各 體電位의 基電壓(rheobase)에 해당한다.

이상의 結果에서 走電反應과 電氣麻痺를 일으키는



## 부시리의 電氣刺戟에 대한 反應

데 소요되는 電力이 最小인 펄스幅은 대체로 0.5msec 였으며, 이 때 體電位閾値는 基電壓의 약 2배였다. 이것은 黑木<sup>14)</sup>가 體長 9cm인 붕어에 대하여 走電反應을 일으키는 最適 펄스幅으로서 구한 0.3msec 보다는 다소 길었으나, Bary<sup>15)</sup>와 Halsband<sup>15)</sup>가 중간 크기의 능성어와 송어에 대하여 각각 구한 最適 펄스幅인 0.5msec 및 0.6msec와는 거의 일치하였다. 또한, 黑木<sup>16)</sup>는 基電壓의 2배의 電壓으로 刺戟할 때 電氣 에너지가 最小로 소요된다고 하였으므로 펄스幅 0.5 msec를 時值(chronaxy)로 간주하여도 무방할 것으로 생각된다.

## 要 約

우리 나라 沿近海에 널리 分布하며 定置網에 주로 漁獲되는 부시리 *Seriola aureovitta* (TEMMINCK et SCHLEGEL)에 대하여 消費電力을 最小로 하면서도 동일한 走電反應이나 電氣麻痺를 일으킬 수 있는 衝擊周波數와 펄스幅을 찾고자 電氣刺戟實驗을 행하였다.

走電反應과 電氣麻痺를 일으키는 데 요하는 閾値를 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 走電反應과 電氣麻痺를 일으키는 데 요하는 電力은 대체로 衝擊周波數가 낮을수록 감소하였다.
2. 電氣麻痺를 일으키는 데 요하는 平均電力은 走電反應의 약 4.5~10배였다.
3. 走電反應과 電氣麻痺를 일으키는 데 요하는 電力이 最小로 되는 펄스幅은 0.5msec 였다.

## 謝 辭

本 研究를 위해 많은 助言을 아끼지 않으신 高冠瑞, 尹甲東 教授와 實驗을 도와준 學生諸位께 感謝를 드리는 바입니다.

## 文 獻

- 1) 田内森三郎(1932) : Electric Fish Screen / --型式,

水産講習所研究報告, 27(1), 33~41.

- 2) 岡田光世(1929) : 電流ニ依ル魚群ノ指導. 東京水産講習報, 24(5), 153~160.
- 3) 岡田光世(1929) : 電流ニ及ボス作用ニ就イテ, 魚群ノ進行ヲ阻止スル作用. 同誌, 25(1), 1~8.
- 4) 田内森三郎・安田秀明(1932) : Electric Fish Screenニ斷續電流ヲ用フルコト. 水産講習所研究報告, 27(2), 51~59.
- 5) 黑木敏郎(1952) : 電氣漁網の研究-IV.  $10^{-4}$ 秒程度의 衝擊電力による魚體感電について. 日水誌, 18(1), 25~29.
- 6) KUROKI, T.(1959) : Electrical Fishing in Japan. Modern Fishing Gear of the World- I, p.581~582.
- 7) Halsband, E.(1959) : The effect of pulsating electric current on fish. *ibid.*, p.575~580.
- 8) Kreutzer, C.(1964) : Utilization of fish reaction to electricity in sea fishing. Modern Fishing Gear of the World- II, p.545~550.
- 9) 張志元(1956) : 電氣漁法의 研究. 耕洋 第一輯, 25~35.
- 10) 李秉鎭(1969) : 海産魚의 電氣刺戟에 대한 反應의 研究. 釜山水大研報, 9(1), 32~40.
- 11) 高冠瑞・金尚漢(1970) : 물리적 자극에 대한 브리새우의 행동과 어구설계. 同誌, 10(1), 51~58.
- 12) 高冠瑞・金尚漢・尹甲東(1972) : 브리새우의 電氣漁法. 韓水誌, 5(4), 115~120.
- 13) 高冠瑞(1972) : 브리새우의 그물어구 및 전기자극에 대한 반응과 어획효과. 釜山水大海洋研究所研報, 5, 1~20.
- 14) 黑木敏郎(1950) : 電氣漁網の研究- I. 有效周波數의 選定に就て. 日水誌, 16(4), 165~170.
- 15) Meyer-Waarden, P.F.(1957) : Electrical Fishing. FAO, Rome, pp.78.
- 16) 黑木敏郎(1955) : 電氣漁法. 技報社, 東京, pp.175.