

魚類의 走光性에 關한 研究*

— 쥐치, 붕장어, 붕어 —

梁 龍 林**

PHOTOTAXIS OF FILEFISH, CONGER EEL AND CRUCIAN CARP

Yong-Rhim YANG**

The purpose of the present study is to find the light intensity which induces maximum gathering rate and to observe the variation of the gathering rate both in daytime and at night by using three species of commercial fishes: filefish, *Stephanolepis cirrhifer* (Temminck et Schlegel), conger eel, *Astroconger myriaster* (Brevoort) and crucian carp, *Carassius carassius* (Linnaeus).

An experimental tank (360L×50W×55Hcm) was set up in a dark room. An illumination system was attached to one end of the tank to control horizontal light intensity. Six artificial light sources were prepared by combination of two light bulbs (5W, 150W) and seven filters. During the experiment water depth was maintained 50 cm level in the tank. The tank was marked into six longitudinal sections each being 60 cm long to observe the distribution of fish.

The fish were acclimatized in dark condition for 40 minutes prior to the main experiment. Upon turning on the light, the number of fish in each section was counted 40 times every 30 seconds, and the gathering rates were obtain from the average number of fish in each section.

In filefish the light intensity inducing maximum gathering rate was 0.7 lx (0.5—1.1 lx), and there was little difference between day and night. Gathering rate varied propotionally to the length of illumination time.

In conger eel the light intensities inducing maximum gathering rate were 1.9 lx (1.7-2.9 lx) in daytime and 5.2 lx (3.2—7.7 lx) at night. Thus, there was a considerable difference between day and night, but the gathering rate remained almost unchanged regardless to the length of illumination time.

In crucian carp gathering rate did not show a definite pattern but fluctuated irregularly. The gathering rate, however, was slightly higher at 16.21 lx, and there was little difference between day and night.

緒 論

빛이 魚類의 行動에 미치는 영향은 대단히 크며, 漁業分野 뿐만아니라 飼育管理分野에도 널리 이용되고 있다.

빛에 대한 魚類의 行動은 빛의 세기, 빛의 색, 또는 晝夜에 따라 다르며, 또 魚類의 成長段階나 기타 生活環境에 따라 서로 달라진다.

魚類의 行動은 빛의 세기에 따라 차이가 있으며, 集魚率이 最大가 되는 水中照도가 魚種에 따라 다르

*本 論文은 1979學年度 釜山水產大學 大學院에 : 理學博士 學位請求論文으로 提出된것임.

**釜山水產大學, National Fisheries University of Busan, Namgu, Busan, 601-01 Korea.

다는 것을 Oka(1950))는 송사리와 미꾸리에 대하여, Kawamoto and Nagata(1952)는 자주복과 송어에 대하여, Woodhead and Woodhead(1955)는 청어에 대하여, Imamura(1958, 1959)는 잉어, 전갱이와 고등어에 대하여, Imamura and Tackeuchi(1960a, b)는 멸치, 전갱이, 다랑어, 갈고등어와 고등어에 대하여, Arimoto and Inoue(1978)는 크릴에 대하여 보고한 바 있다. 또 集魚率이 最大가 되는 水中照도가 晝夜에 따라 차이가 있는가에 대하여 Kawamoto and Nagata(1952)는 자주복과 송어에 대하여, Blaxter and Parrish(1958)는 청어에 대하여, Yang(1978)은 잉어에 대하여 조사한 바 있는데, 集魚率이 最大가 되는 照도가 晝夜에 같은 魚種과 다른 魚種이 있으며, 다른 魚種은 夜間의 照도가 더 높다고 했다.

실험실에서의 白色光에 대한 魚類의 行動에 관하여 Oka(1950)는 송사리, 미꾸리와 붕어에 대하여, Kawamoto et al.(1950)은 돌돔, 쥐치, 삼치, 애꾸치, 뱀장어, 송어와 뱃에돔에 대하여, Kawamoto and Niki(1952)는 뱃에돔과 송사리에 대하여, Woodhead and Woodhead(1955)는 청어에 대하여, Imamura(1958, 1959, 1968a)는 잉어, 전갱이, 고등어, 정어리와 벤자리에 대하여, Imamura and Takeuchi(1960a, b, 1963)는 멸치, 전갱이, 갈고등어, 다랑어와 고등어에 대하여, Yang(1979)은 잉어에 대하여 연구한 바 있다.

또, 色燈에 대한 魚類의 行動에 관하여는 Kawamoto and Takeda(1950, 1951)는 돌돔, 쥐치, 애꾸치와 뱀장어에 대하여, Ozaki(1951)는 쓸종개와 뱃에돔에 대하여, Kawamoto and Konishi(1952, 1955)는 자주복, 송사리, 뱃에돔, 그물코쥐치, 쓸종개와 송어에 대하여, Kawamoto and Uno(1954)는 뱃에돔에 대하여, Imamura(1968b)는 전갱이에 대하여 조사한 결과, 빛의 세기 뿐만 아니라 색에 대한 반응도 魚種에 따라 다름을 밝혔다.

또한, 照明時間에 따라 集魚率이 변한다는 것을 Kawamoto and Nagata(1952)는 자주복과 송어에 대하여, Kawamoto et al.(1952)은 삼치, 돌돔, 쥐치와 뱀장어에 대하여, Imamura(1968a)는 고등어, 멸치와 전갱이에 대하여, Yang(1979)은 잉어에 대하여 조사한 바 있는데, 照明時間이 경과함에 따라 集魚率이 증가하는 魚種과 감소하는 魚種이 있다고 했다.

한편, Maeda(1951)는 集魚燈漁業 現場에서 얻은 자료를 이용하여, 走光性魚族을 대별하여, 항상 集魚

되는 魚種, 集魚가 잘되는 魚種, 보통 集魚되는 魚種으로 분류한 바 있다. 또, Miyazaki(1950)는 멸치와 전갱이에 대하여, Imamura(1953)는 전갱이에 대하여, Kuroki and Chuman(1958)은 멸치에 대하여, Imamura and Koike(1959)는 광치에 대하여, Verheyen(1959)은 청어에 대하여, 集魚燈에 모이는 魚群의 集魚率을 魚探으로써 조사한 바 있다.

한편, 魚類가 群을 형성할 수 있는 最低照도에 관하여 Hunter(1968)는 고등어와 전갱이에 대하여 Inoue and Arimoto(1976)는 황어와 버들치에 대하여 보고한 바 있다. 빛에 대한 魚類의 눈의 기능 및 視覺運動에 관하여, Tamura(1957)는 농어와 잉어에 대하여, Inoue and Kondo(1972)는 버들치에 대하여, Inoue and Kuroiwa(1975)는 황어에 대하여, Inoue and Arimoto(1976)는 황어와 버들치에 대하여 조사한 바 있다.

이상과 같은 연구들은 주로 稚魚의 빛에 대한 반응을 조사한 것이며, 또한 이들 실험에 있어서의 水中照度分布는 매우 밝아서 魚類들이 살고 있는 자연 환경에서는 존재할 가능성이 희박한 조건들이었다. 그러므로, 그 결과를 실제적으로 응용하기에는 어려운 것이 있다.

著者は 생태적으로 다른 세 魚種, 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*, 붕장어 *Astroconger myriaster*, 붕어 *Carassius carassius*의 人工光源에 대한 反應을 晝間과 夜間으로 구분하여 조사하고, 빛에 대한 行動의 양상을 규명함과 아울러, 集魚率이 最大가 되는 水中照도와 照明時間에 따른 集魚率의 변화를 조사하였다.

材料 및 方法

1. 材 料

본 실험에 사용한 재료는 부산 근해에서 정치망으로 어획된 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer* (Temminck et Schlegel)와 붕장어 *Astroconger myriaster* (Brevoort) 및 부산수산대학 양어장에서 사육된 붕어, *Carassius carassius* (Linnaeus) 등 세 魚種 (Table 1)이며, 이들을 循環式濾過飼育水槽에서 10日 이상 適應시킨 다음 실험에 사용하였다.

2. 裝置 및 方法

魚類를 適應시키기 위하여 5개의 循環式濾過飼育

Table 1. Fishes used in the experiment

Fish species	Body length (cm)	Water temp. (°C)
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	10.3—13.3	23.5—25.5
<i>Astroconger myriaster</i>	24.1—37.2	25.3—29.6
<i>Carassius carassius</i>	5.0—8.2	20.5—25.2

水槽(180L×30W×45Hcm)를 사용하였으며, 철저한 水質管理를 위하여 D.O. meter (Delta #1010)와 S.T. meter (Kahlsico # RS 5—3)를 사용하여 용존 산소, 염분, 수온을 조정했다.

實驗水槽(360L×50W×55Hcm)는 木材로 만든 循環式濾過水槽이며, 內面은 光澤이 없는 灰色 페인트 칠을 했다.

빛은 水槽의 한쪽 끝에 있는 투명 유리창을 통하여 水中으로부터 투과되게 하였으며, 水槽의 內部에는 가느다란 白色 페인트 선을 그어 6개의 等區間으로 나누고, 光源 쪽으로부터 第 I, II, III, IV, V, VI區間이라 정하였으며, 각 區間의 길이는 60cm 되게 했다 (Fig. 1). 實驗水槽는 暗室內에 설치하고, 수심은 50cm로 유지시켰으며 실험 수은 범위는 Table 1과 같다.

光源箱子(55L×50W×50Hcm)는 實驗水槽의 한쪽 끝 유리창 밖에 설치하고, 그 內面에 白色 페인트를 칠하였으며, 4cm 간격으로 10개의 홈을 파서 필터를 삽입할 수 있게 만들었다.

光源電球은 水槽와 마주하는 벽 중앙에 고정시켰다 (Fig. 1). 光源電球로서는 100V, 5W와 150W인 두가지 白熱燈을 사용하였으며, A.C.용 자동전압조정기 (S.C.R.형)와 D.C.용 자동전압조정기를 연결하여 電壓을 安定(100V)시켜, 빛의 세기를 일정하게 하였다

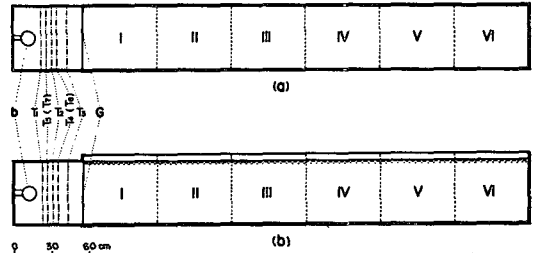


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental tank.

(a) : plan view; (b) : side view;

b : light bulb; G : glass plate ;

T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ : filters

각 電球마다 필터를 3個, 4個, 또는 5個를 걸어, 빛의 세기가 다른 여섯가지 人工光源을 만들었는데, 각각의 光源은 白色光(波長 4150~7000Å)이다. 필터(50×50cm)는 3種의 固定型(T₁, T₂, T₃)과 4種의 移動型(T₄, T₅, T₆, T₇)으로 만들었으며, 光源의 組立 방법은 Table 2와 같고, 水槽內的 水中照度는 水中照度計(Toshiba #9)로써 측정하였다.

魚類의 行動에 대한 실험은 각 실험마다 飼育水槽에서 適應된 魚類를 10마리씩 實驗水槽에 옮긴 후, 40分間 暗黑에 順應시킨 후, 點燈하는 순간에 각

Table 2. Light sources used in the experiment

Light source	Combination	
	Light bulb	Filter*
A	5W	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅
B	5W	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄
C	5W	T ₁ , T ₂ , T ₃
D	150W	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₆ , T ₇
E	150W	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₆
F	150W	T ₁ , T ₂ , T ₃

* T₁ : 2 mm glass plate (2 sheets), 0.040 mm tracing paper (1 sheet)
 T₂ : 2 mm glass plate (2 sheets), 0.040 mm tracing paper (2 sheets)
 T₃ : 2 mm glass plate (2 sheets), 0.055 mm tracing paper (2 sheets)
 T₄ : 2 mm acrylic plate (2 sheets), 0.055 mm tracing paper (5 sheets)
 T₅ : 2 mm acrylic plate (2 sheets), 0.071 mm tracing paper (4 sheets)
 T₆ : 2 mm acrylic plate (2 sheets), 0.071 mm tracing paper (5 sheets)
 T₇ : 2 mm acrylic plate (2 sheets), 0.071 mm tracing paper (3 sheets)

區間에서 발견되는 마리수로서 光刺戟을 받지 않은 상태에서의 分布를 조사한 다음 실시했다.

各 光源에 대한 區間別分布 및 集魚率은 點燈후 各 區間에서 발견되는 마리수를 40回(20分間)에 걸쳐 30秒마다 조사한 平均마리수로서 산출하였다.

人工光源에 대한 魚類의 行動이 晝夜間에 차이를 나타내는가를 알아보기 위해서 晝夜間에 각각 조사하였는데, 이때 빛에 대한 順應을 피하기 위해 실험마다 다른 個體를 사용하며 10回 이상 조사하였다.

照明時間에 따른 集魚率의 변화는 點燈后 30秒,

1分, 1分 30秒의 3회에 걸쳐 측정된 集魚率의 平均을 1분에 있어서의 集魚率, 1分, 1分 30秒, 2分の 3회에 걸쳐 측정된 集魚率의 平均을 1分 30秒에 있어서의 集魚率 등으로 산출하였다.

3. 水中照度分布

水槽内の 水中照度分布를 조사하기 위하여 各 光源別로 측정한 光源으로부터의 거리와 水中照度와의 관계는 Table 3과 같다.

Table 3에서 水槽内の 水中照度分布는 Lambert의

Table 3. Intensities of illumination and distances from the light source

(Unit: lx)

Light source	Distance (cm)										
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	0.7	0.45	0.3	0.2	—	—	—	—	—	—	—
B	1.85	1.2	0.8	0.5	0.3	0.2	—	—	—	—	—
C	5	3.2	2.1	1.4	0.9	0.55	0.35	—	—	—	—
D	16	10.5	7	4.6	3	2	1.3	0.9	0.6	0.4	—
E	44	29	19	12	8	5.3	3.5	2.3	1.5	0.95	0.6
F	157	104	69	45.5	30	20	13	8.8	5.8	3.8	2.5

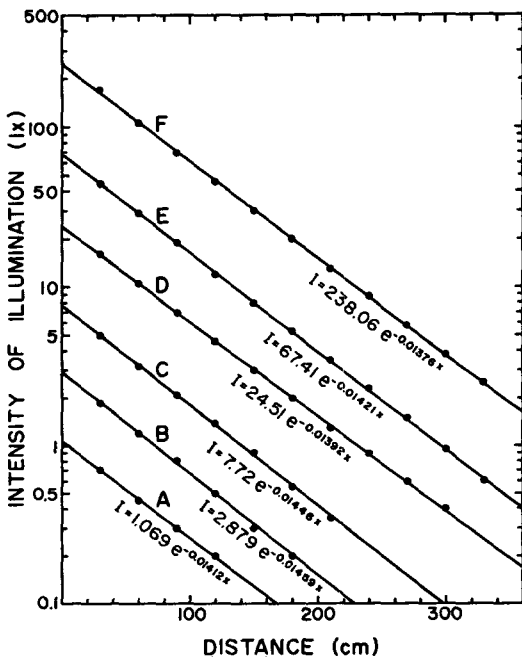


Fig. 2. Relationship between intensities of illumination and distance from the light source.

방정식 $I = I_0 \cdot e^{-\kappa x}$ 에 따르고, 최소자승법에 의하여 各 光源에 대한 I_0 와 κ 의 값을 산출하면 Fig. 2와 같다.

도 各 光源에 대한 各 區間에서의 平均水中照度는 Table 3의 측정치로부터 다음식에 의하여 산출하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

$$\bar{I}_{x-x+60} = \frac{1}{60} \int_x^{x+60} I_0 \cdot e^{-\kappa x} dx$$

Table 4. Calculated mean intensities of illumination in each section of the tank

(Unit: lx)

Light source	Section					
	I	II	III	IV	V	VI
A	0.72	0.31	0.13	0.06	0.02	0.01
B	1.92	0.80	0.33	0.14	0.06	0.02
C	5.16	2.17	0.91	0.38	0.16	0.07
D	16.62	7.21	3.13	1.36	0.59	0.26
E	45.36	19.34	8.24	3.51	1.49	0.64
F	162.00	70.98	31.08	13.61	5.96	2.61

結 果

쥐치, 붕장어 및 붕어의 세 魚種에 대하여 光刺戟을 가하기 전의 區間別分布는 Table 5와 같았고, 여섯가지 光源으로 光刺戟을 가했을 때의 세 魚種의 區間別分布는 Table 6, 7 및 8과 같았고, 分布曲線은 Fig. 3과 같았다.

여섯가지 光源에 대한 第 I 區間에서의 平均水中照度(Table 4)와 魚種別 集魚率(Table 6, 7, 8)과의 관계는 Fig. 4와 같다.

第 I 區間에서 여섯가지 光源에 대하여 30秒 간격으로 40回(20分間) 조사한 集魚率은 Fig. 5와 같았는데, 이것은 照明時間의 경과에 따른 集魚率의 變化를 나타낸다.

Table 5. Distribution rate of fishes under dark condition

(Unit : %)

Fish species	Section					
	I	II	III	IV	V	VI
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	15.63	13.75	15.31	15.63	15.94	23.75
<i>Astroconger myriaster</i>	21.25	13.50	14.15	12.10	13.75	25.25
<i>Carassius carassius</i>	12.34	19.43	15.17	16.75	16.14	20.17

Table 6. Distribution rate of *Stephanolepis cirrhifer*

(Unit : %)

Time	Light source	Section					
		I	II	III	IV	V	VI
Day	A	62.17	1.58	0.72	1.03	1.11	33.39
	B	51.83	1.85	1.30	1.13	0.95	42.95
	C	34.50	1.69	1.81	1.53	2.53	57.94
	D	31.88	2.35	1.40	2.55	1.90	59.93
	E	27.20	3.13	1.80	2.10	2.85	62.93
	F	31.92	3.67	2.28	1.31	2.94	57.89
Night	A	67.43	3.28	1.48	0.83	0.95	26.05
	B	51.23	3.58	2.95	3.20	2.45	36.60
	C	36.75	3.90	2.55	3.85	3.28	49.68
	D	25.08	5.43	4.08	4.35	5.03	56.05
	E	15.33	4.58	4.45	7.45	6.63	61.58
	F	10.10	5.03	4.85	5.08	9.95	65.00

梁 龍 林

Table 7. Distribution rate of *Astroconger myriaster*

(Unit: %)

Time	Light source	Section					
		I	II	III	IV	V	VI
Day	A	28.28	9.53	10.93	10.35	11.95	28.98
	B	30.19	13.06	8.17	10.06	9.92	28.61
	C	16.63	8.78	8.83	13.90	15.45	36.43
	D	14.18	6.88	7.98	13.73	16.03	41.23
	E	11.25	5.30	9.35	12.03	14.98	47.10
	F	10.68	4.58	6.70	9.68	11.93	56.45
Nigh	A	30.50	11.16	9.97	8.09	12.22	28.06
	B	30.36	8.86	9.18	9.29	12.86	29.46
	C	32.43	7.89	9.07	11.86	7.93	30.82
	D	21.28	8.09	10.38	9.75	11.13	39.38
	E	21.39	6.64	10.25	9.89	12.14	39.68
	F	21.34	4.88	8.06	9.91	16.72	39.09

Table 8. Distribution rate of *Carassius carassius*

(Unit: %)

Time	Light source	Section					
		I	II	III	IV	V	VI
Day	A	19.58	10.93	9.90	10.33	12.43	36.85
	B	22.55	8.70	8.38	9.83	12.75	37.80
	C	21.45	6.63	9.28	8.98	12.43	41.25
	D	19.53	9.70	7.68	8.25	12.10	42.75
	E	15.50	5.80	7.53	6.53	10.88	53.78
	F	12.68	5.43	6.45	6.33	9.73	59.40
Night	A	10.85	10.43	13.38	12.60	14.65	38.10
	B	12.65	6.23	8.70	10.90	13.70	47.83
	C	15.03	6.00	8.58	11.65	13.83	44.93
	D	23.00	7.30	5.90	11.00	13.10	39.70
	E	15.35	9.28	7.13	8.75	12.48	47.03
	F	6.45	6.20	4.93	8.45	10.83	63.15

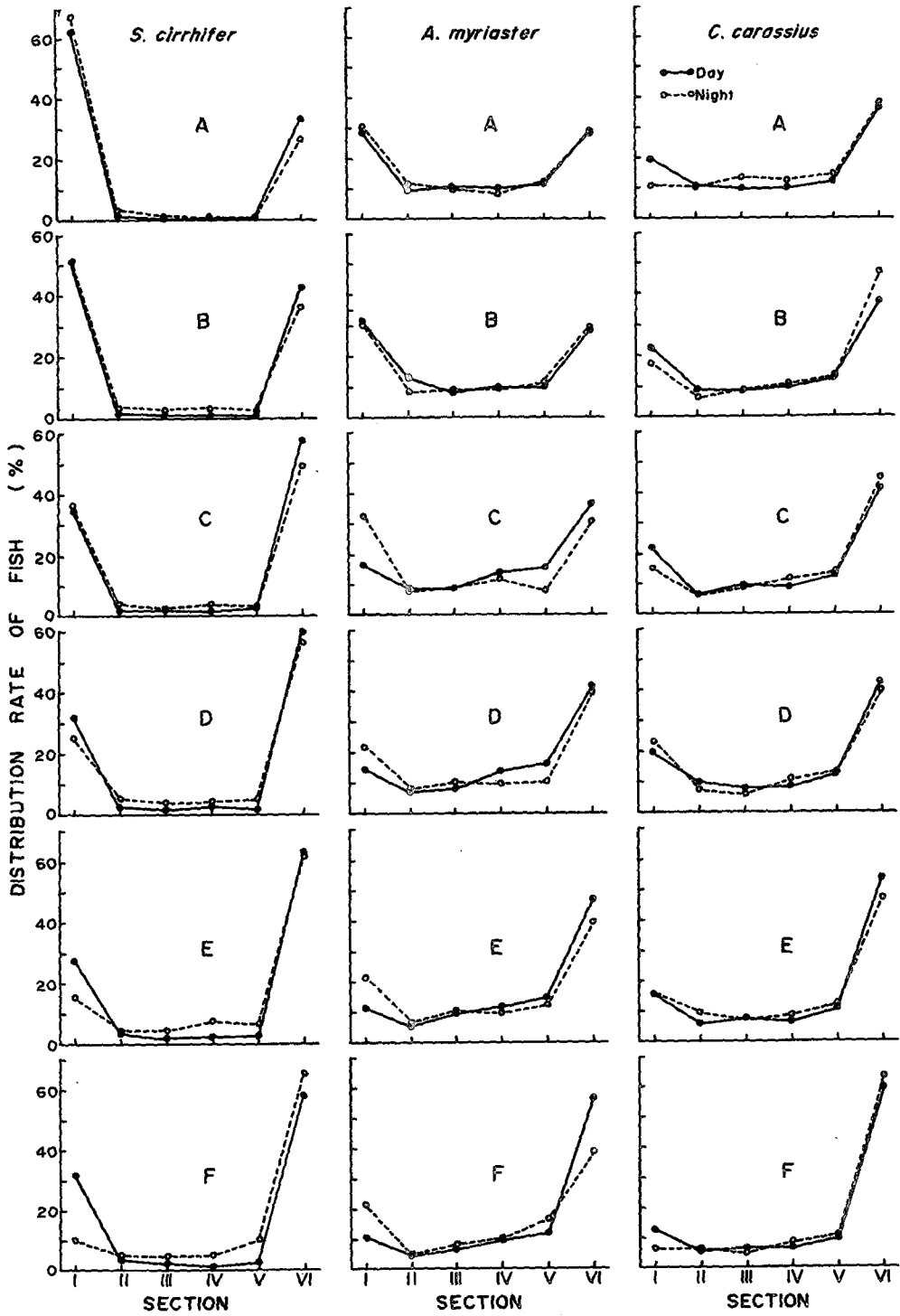


Fig. 3. Distribution rate of fishes in each section of the tank exposed to the various light source.

考 察

1. 初期條件

光刺戟을 가하기 전의 水槽內에서의 個體分布는 Table 5와 같이 區間에 따라 다소 차이가 있으며, 兩端이 中央部보다 다소 크다. 이것은 水槽의 길이 가 한정되므로 水槽의 兩端에서는 障壁의 영향으로 다소 많이 모이기 때문인 것 같다.

만약 이런 영향이 없다면 6개의 等區間에 均일하게 16.67%씩 分布할 것이다. 이 값과 세 魚種의 區間別分布率(Table 5)과의 사이에는 차이가 있는데, 그값은 Table 9와 같다.

그런데, 光刺戟을 가할 때의 세 魚種의 區間別分布率에 Table 9의 값들을 가감하여도 그 分布曲線의 형태에는 큰 변화가 없다. 따라서, 여기에서는 光刺戟을 가하기 전의 區間別分布의 차이는 고려에 넣지 않기로 했다.

2. 各 光源에 대한 個體分布

여섯가지 光源으로 光刺戟을 가할 때의 個體分布는 Fig. 3과 같이 兩端의 區間에 많이 모여, 分布曲線은 대체로 U字型이 되었다.

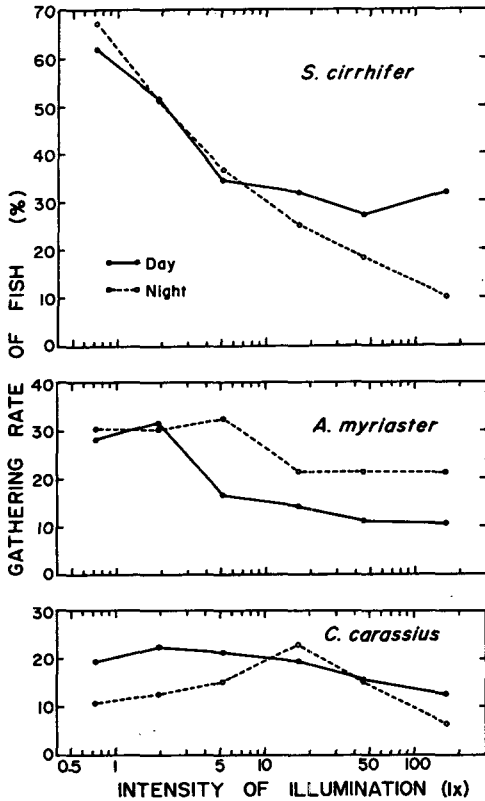


Fig. 4. Relationship between gathering rate of fishes and intensity of illumination in the 1st section of the tank.

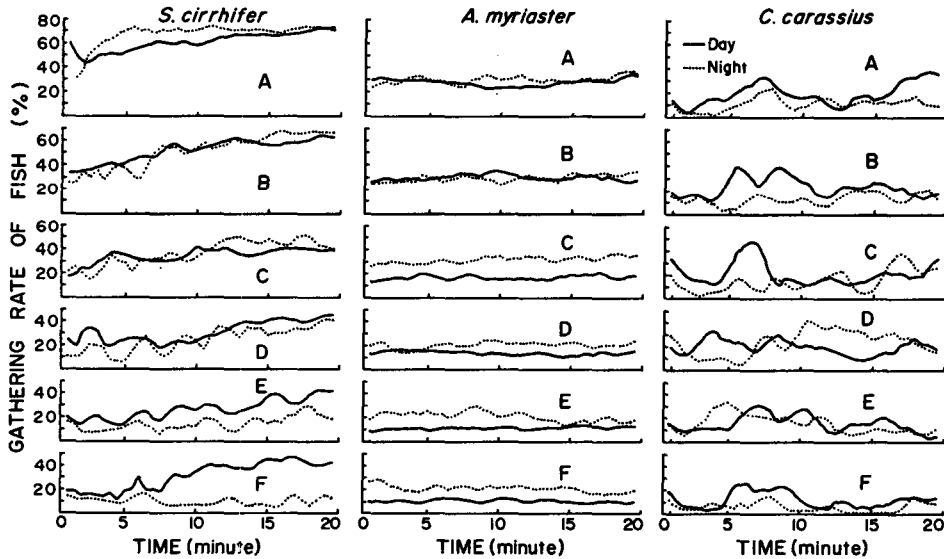


Fig. 5. Variations of gathering rate in the 1st section of the tank as illuminating time elapse.

Table 9. Difference between the mathematical mean of the distribution of fish in each sectionf (16.67%) and the values in table 5

Fish species	Section					
	I	II	III	IV	V	VI
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	+3.02	-1.82	-1.20	-1.20	-1.82	+3.02
<i>Astroconger myriaster</i>	+6.58	-3.05	-3.55	-3.55	-3.05	+6.58
<i>Carassius carassius</i>	-0.42	+1.12	-0.73	-0.73	+1.12	-0.42

魚種別로는, 쥐치는 빛의 세기가 약한 光源(A,B) 하에서는 第 I 區間에 많이 모이고, 빛의 세기가 강할수록 第 IV 區間에 많이 모이는 경향을 보였다.

붕장어는 빛의 세기가 약한 光源(A,B,C)하에서는 兩端區間에 거의 같게 分布했지만, 빛의 세기가 강한 光源(D,E,F)하에서는 第 I 區間에는 적었고, 第 VII 區間에는 많이 모이는 경향을 보였다. 붕어는 어느 實驗光源에서도 第 VII 區間에 많이 모이고, 강한 光源 일수록 第 VII 區間에 더 많이 모이는 경향을 보였다.

또 晝夜間의 分布를 비교하면, 쥐치는 빛의 세기가 약한 光源(A,B,C)하에서는 晝夜間의 分布曲線이 거의 일치하여 晝夜에 따른 차이가 거의 없었으나, 第 I 區間에서는 夜間에 다소 높았다. 그러나, 빛의 세기가 강한 光源(D,E,F)하에서는 晝夜間에 다소의 차이가 있었고, 第 I 區間에서는 晝間에 더 높았다. 붕장어는 빛의 세기가 약한 光源(A,B)하에서는 晝夜間의 分布曲線이 거의 일치하여 晝夜에 따른 차이가 없었으나, 강한 光源(C,D,E,F)하에서는 第 I 區間에서 夜間에 더 높았다. 붕어는 晝夜間의 分布曲線이 거의 일치하나, 第 I 區間에서는 D,E 光源의 경우를 제외하고는 夜間에 더 높았다.

3. 集魚率의 最大가 되는 水中照度

第 I 區間에서의 集魚率이 最大가 되는 平均水中照度は, Fig. 4에서 보면, 쥐치는 0.7 lx(0.5~1.1 lx)로서 晝夜間에 같았다. 붕장어는 晝間에 1.9 lx(1.2~2.9 lx), 夜間에 5.2 lx(3.2~7.7 lx)였고, 붕어는 晝間에 1.9 lx(1.2~2.9 lx), 夜間에 16.6 lx(10.6~24.5 lx)로서 각각 夜間에 더 높았다.

여섯가지 光源에 대한 第 I 區間에서의 集魚率을 비교하면, 쥐치는 水中照도가 높을수록 集魚率이 낮아졌다. 붕장어는 晝間에는 1.9 lx 이상, 夜間에는 5.2 lx 이상이 되면, 集魚率이 낮아지는 경향을 보였다. 붕어는 夜間에 16.2 lx 정도에서 集

魚率이 약간 높은 경향을 보였으나, 대체적으로 晝夜間 다 같이 照度에 따른 集魚率의 변화가 뚜렷하지 않았다.

이들 결과를 Oka(1950), Kawamoto and Nagata(1952), Imamura (1958) 및, Yang(1979)등의 연구 결과(Table 10)와 비교하면, 쥐치는 숭어 *Mugil cephalus* (Kawamoto and Nagata, 1952)의 경우와 같이 集魚率이 最大가 되는 照도가 晝夜間에 같았다. 붕장어와 붕어는 자주복 *Fugu rubripes* (Kawamoto and Nagata, 1952)과 잉어 *Cyprinus carpio* (Yang, 1979)의 경우와 같이 集魚率이 最大가 되는 照도가 晝夜間에 각각 달랐으며, 夜間에 더 높았다.

본 실험에 사용한 세 魚種이 Oka(1950)와 Kawamoto and Nagata(1952)가 실험한 魚種보다 集魚率이 最大가 되는 照도가 낮은 것은 後者가 稚魚를 사용했기 때문이라고 생각된다.

4. 照明時間에 따른 集魚率의 變化

Kawamoto et al. (1952)은 同種의 魚類일지라도 照度和 照明時間에 따라 集魚率이 변한다고 보고한 바 있다.

Fig. 5에서 照明時間에 따른 쥐치의 集魚率의 변화를 보면, 照明時間이 경과함에 따라 集魚率이 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 晝夜間의 차이는 晝間보다 夜間에 集魚率의 변화가 심했고, 夜間에는 빛의 세기가 약한 光源(A,B,C)하에서의 集魚率이 다소 높았으나, 晝間에는 빛의 세기가 강한 光源(D,E,F)하에서 더 높았다. 光源을 點燈한 후 時間의 경과에 따른 集魚率의 변화를 보면, 5~7분까지는 변화가 심했고, 7~12分 사이에는 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 이 魚種의 稚魚(Kawamoto et al., 1952)의 경우와 비슷하다. 붕장어는 照明時間에 따른 集魚率의 변화가 세 魚種중 가장 적었으며, 集魚率은 빛의 세기가 약한 光源(A,B)하에서는 晝夜間의 集魚率이 비슷했으나, 강한 光源(C,D,

Table 10. Intensity of illumination which caused the maximum gathering rates by both the previous workers and the present author

Fish species	Body length(cm)	Intensity of illumination(x)	Authors
<i>Aplocheilus latipes</i>	1.5	24.5-44.5	Oka(1950)
<i>Misgurnus auguilicaudatus</i>	6.7	44.5-60.5	Oka(1950)
<i>Carassius auratus</i>	2.4	30.0-60.5	Oka(1950)
<i>Mugil cephalus</i> (in day)	3.5	54.83	Kawamoto and Nagata(1952)
<i>Mugil cephalus</i> (at night)	3.5	54.83	Kawamoto and Nagata(1952)
<i>Fugu rubripes</i> (in day)	2.0	14.11	kawamoto and Nagata (1952)
<i>Fugu rubripes</i> (at night)	2.0	87.33	Kawamoto and Nagata(1952)
<i>Cyprinus carpio</i>	6.7	0.2-20	Imamura(1958)
<i>Cyprinus carpio</i> (in day)	10-13	3.813	Yang (1979)
<i>Cyprinus carpio</i> (at night)	10-13	6.292	Yang(1979)
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (in day)	10.3-13.3	0.7(0.5-1.1)	Author
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (at night)	10.3-13.3	0.7(0.5-1.1)	Author
<i>Astroconger myriaster</i> (in day)	24.1-37.2	1.9(1.2-2.9)	Author
<i>Astroconger myriaster</i> (at night)	24.1-37.2	5.2(3.2-7.7)	Author
<i>Carassius carassius</i> (in day)	5.0-8.2	1.9(1.2-2.9)	Author
<i>Carassius carassius</i> (at night)	5.0-8.2	16.6(10.6-24.5)	Author

E, F;)하에서는 晝間보다 夜間에 더 높았다. 봉어는 照明時間중 集魚率은 일정한 增減추세를 보이지 않았고, 계속 不安定하게 변동했다.

5. 數學的 考察

본 실험에 사용한 세 魚種의 區間別分布曲線(Fig. 3)은 대체적으로 U字型인데, 이 중 봉장어에 대한 區間別平均集魚率을 I, II, III區間과 IV, V, VI區間の 것으로 나누어, Fig. 6과 같이 2개의 曲線 P, N으로 서, 水槽內의 分布狀態를 나타내면, P는 走光性反應을, N은 反走光性反應을 나타낸다고 볼 수 있다. 이 중 走光性反應은 魚類가 光源에 가까운 第I區間 쪽으로 보이는 것을 의미하고, 反走光性反應은 魚類가 光源의 반대쪽인 第VI區間 쪽으로 보이는 것을 의미한다.

P는 光源으로부터의 거리에 따라 指數函數적으로 감소한다고 보면, 走光性集魚率은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$P = P_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

여기서 P는 光源에서 거리 x만큼 떨어진 점에서 集魚率이고, P₀는 x=0에서의 集魚率, α는 走光

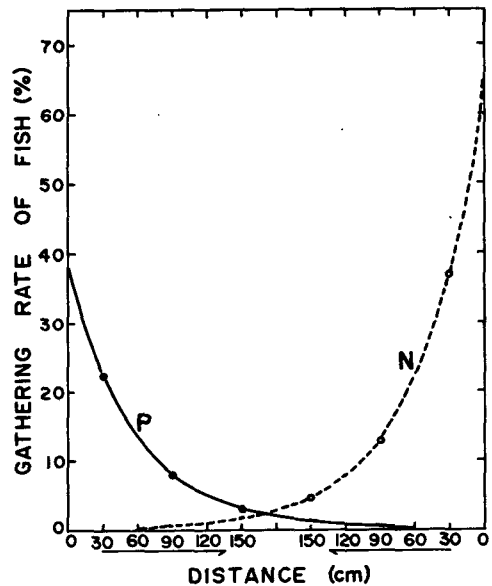


Fig. 6. Graphs depicting the positive and negative gathering rates of *Astroconger myriaster* in the tank. P: mean positive phototaxis N: mean negative phototaxis

Table 11. The values of coefficients in the equations (1) and (2), calculated from Table 7

Time	Light source	P_0	α	N_0	β
Day	A	48.73	0.0181	45.14	0.0148
	B	45.91	0.0140	48.59	0.0177
	C	22.89	0.0106	55.95	0.0143
	D	20.36	0.0121	66.13	0.0157
	E	16.39	0.0125	83.53	0.0191
	F	16.31	0.0141	122.83	0.0259
Night	A	50.43	0.0168	42.53	0.0139
	B	56.21	0.0205	44.60	0.0138
	C	65.76	0.0236	60.77	0.0226
	D	34.52	0.0161	74.09	0.0211
	E	38.40	0.0195	71.75	0.0197
	F	44.64	0.0246	59.78	0.0142

性減少係數이다.

같은 방식으로 反走光性集魚率은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$N = N_0 e^{-\beta x} \quad (2)$$

이때 N 는 光源의 반대쪽(VI區間) 끝에서 光源 쪽으로 거리 x 만큼 떨어진 점에서의 集魚率이고, N_0 는 $x=0$ 일 때의 集魚率, β 는 反走光性減少係數이다. 第 I, II區間에서는 N 의 영향은 거의 없고, 第 V, VI區間에서는 P 의 영향이 거의 없으므로, (1)(2)식의 계수 P_0, α 및 N_0, β 를 최소자승법에 의하여 산출하면 Table 11과 같다.

走光性反應을 보인 個體數는 (1)식을 x 에 관하여 0부터 ∞ 까지 적분한 식

$$\int_0^{\infty} P dx = \int_0^{\infty} P_0 e^{-\alpha x} dx = \frac{P_0}{\alpha} \quad (3)$$

에 의하여, 反走光性反應을 보인 個體數는 (2)식을 적분한 식

$$\int_0^{\infty} N dx = \int_0^{\infty} N_0 e^{-\beta x} dx = \frac{N_0}{\beta} \quad (4)$$

에 의하여 구할 수 있다.

따라서 水槽內的 總個體數는

$$\int_0^{\infty} P dx + \int_0^{\infty} N dx \quad (5)$$

에 의하여 구할 수 있고, 走光性集魚率 p 는 다음 식으로 산출할 수 있다.

$$p = \frac{\int P dx}{\int P dx + \int N dx} \quad (6)$$

이 식에 각 光源에 대한 자료(Table 11)를 대입하여 얻은 集魚率 p 의 계산치는 Table 12와 같다.

이 p 값과 각 光源에 대한 水槽內的 第 I區間에서의 平均水中照度와의 관계는 Fig. 7의 a, b와 같고, 實驗에서 第 I, II, III區間에 모인 것을 합한 集魚率은 Fig. 7의 c, d와 같은데, a는 c와, b는 d와 거의 일치한다. 따라서 集魚率이 指數函數의으로 변한다고 한 假定이 실제와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

Table 12. Behavioral patterns and gathering rates computed by the mathematical model

Time	Item	Light source					
		A	B	C	D	E	F
Day	P_0/α	2,692	3,279	2,159	1,683	1,311	1,157
	N_0/β	3,050	2,745	3,913	4,212	4,373	4,742
	p	0.4688	0.5443	0.3556	0.2855	0.2307	0.1961
Night	P_0/α	3,002	2,742	2,786	2,144	1,969	1,815
	N_0/β	3,060	3,232	2,689	3,511	3,642	4,210
	p	0.4952	0.4590	0.5089	0.3791	0.3509	0.3012

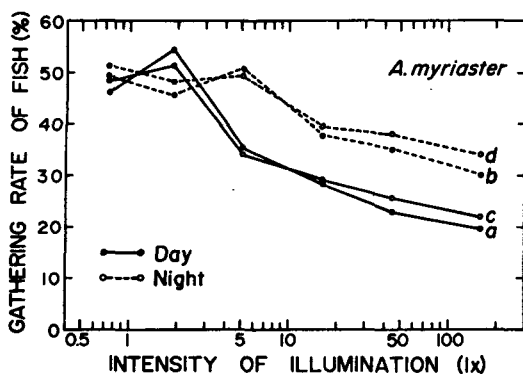


Fig. 7. Gathering rate of *Astroconger myriaster*.
 a, b: values calculated by equation(6);
 c, b: observed value (sum of the value
 in the 1st, 2nd and 3rd sections
 in Table 7)

要 約

빛에 대한 魚類의 行動을 조사하기 위하여, 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*, 붕장어 *Astroconger myriaster*, 붕어 *Carassius carassius*에 빛의 세기가 서로 다른 여섯가지 人工光源으로 光刺激을 주어, 그에 대한 反應을 晝夜에 각각 조사한 결과는 대략 다음과 같다.

1. 제한된 實驗水槽內에서의 光刺激에 대한 區間別分布는 세 魚種이 모두 兩端區間에 많이 모여 分布曲線은 대체로 U字型이 되었다.

2. 쥐치는 빛의 세기가 강할수록 光源으로부터 멀리 떨어진 곳에 많이 모이는 경향을 나타냈다. 集魚率이 最大가 되는 平均水中照度는 0.7 lx (0.5-1.1 lx)로서 晝夜間에 같았다. 照明時間이 경과함에 따라 集魚率이 증가하는 경향을 나타냈다.

3. 붕장어는 水中照度가 어떤 값보다 높아지면 光源에서 멀리 떨어지는 경향을 보였고, 集魚率이 最大가 되는 平均水中照度는 晝間에 1.9 lx (1.2-2.9 lx), 夜間에 5.2 lx (3.2-7.7 lx)로서 夜間에 더 높았다. 集魚率은 照明時間의 경과에 관계없이 거의 일정하였다.

4. 붕어는 어느 實驗光源하에서도 第Ⅵ區間에 많이 모였고, 강한 光源일수록 第Ⅵ區間에 더 많이 모이는 경향을 보였다. 夜間에는 16.2 lx 정도에서 集魚率이 약간은 높은 경향을 보였으나, 대체로 晝夜間다 같이 水中照度에 따른 集魚率의 변화가 뚜렷하지 않았다. 照明時間 중 集魚率이 일정한 增減추세를 보이지 않고, 不安定하게 변동했다.

謝 辭

본 研究는 文敎部 學術研究助成費의 補助로 이룩된 것입니다.

그리고 본 研究를 수행함에 있어 指導敎授 李秉鎭 博士님과 釜山水産大學 敎授님들의 지도와 조언이 있었음니다.

實驗을 도와 준 安永一, 崔允彰, 辛榮太, 邊貴南 군과 원고정리를 도와 준 朴明慈 양의 노력이 있었음니다.

끝으로 이 研究가 끝나도록 협조해 준 가족들에게 감사드립니다.

文 獻

Arimoto, T. and K. Inoue (1978): Study concerning phototaxis and mesh selection for *Euphausia pacifica*. Trans. Tokyo Univ. Fish. 2, 45-51.

Blaxter, J. H. S. and B. B. Parrish (1958): The effect of artificial lights on fish and other marine organisms at sea. J. Mar. Res. 2, 1-21.

Hunter, J. R. (1968): Effects of light on schooling and feeding of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*. J. Fish. Res. Bd. Canada 25, 393-407.

Imamura, Y. (1953): Study on the disposition of fish towards the light (1). J. Tokyo Univ. Fish. 39, 223-229.

_____ (1958): Study on the disposition of fish towards the light (2). *ibid.* 44, 75-89.

_____ (1959): Study on the disposition of fish towards the light (4). *ibid.* 45, 185-193.

_____ (1968a): Etude de l'effet du feu dans la pêche et de son operation (I). La Mer 6, 17-43. (In Japanese)

_____ (1968b): Etude de l'effet du feu dans la pêche et de son operation (II). *ibid.* 6, 136-147. (In Japanese)

_____ and A. Koike (1959): Study on the disposition of fish towards light (3). J. Tokyo Univ. Fish. 45, 179-183.

- Imamura, Y. and S. Takeuchi (1960 a): Study on the disposition of fish towards light (5). *ibid.* 46, 133-148.
- _____ and _____ (1960 b): Study on the disposition of fish towards light (6). *ibid.* 46, 149-155.
- _____ and _____ (1963): Study on the disposition of fish towards light (7). *ibid.* 49, 33-39.
- Inoue, M. and T. Arimoto (1976): The role of the optomotor reaction in the schooling of fish. *ibid.* 62, 67-81. (In Japanese)
- _____ and T. Kondo (1972): On the optomotor reaction of fish relevant to fishing method. *ibid.* 58, 9-16. (In Japanese)
- _____ and H. Kuroiwa (1975): The effect of symmetrical stimuli on the optomotor reaction of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 41, 1219-1227. (In Japanese)
- Kawamoto, N. Y. and J. Konishi (1952): The correlation between wave length and radiant energy affecting phototaxis. *Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie* 1, 197-208.
- _____ and _____ (1955): Diurnal rhythm in phototaxis of fish. *ibid.* 2, 7-17.
- _____ and S. Nagata (1952): On the relation between light gradient and fish behavior. *ibid.* 1, 151-173.
- _____ and T. Niki (1952): An experimental study on the effect of leading fish by fish attraction lamps. *ibid.* 1, 175-186.
- _____ H. Ozaki and M. Takeda (1950): Fundamental investigations of the fish gathering method (1). *J. Fish. Res. Inst.* 3, 153-188. (In Japanese)
- _____ H. Ozaki, H. Kobayashi, J. Kowishi and U. Uno (1952): Fundamental investigations of the fish gathering method (2). *ibid.* 4, 263-291 (In Japanese)
- Kawamoto, N. Y. and M. Takeda (1950): Studies on the phototaxis of fish. *Japn. J. Ichthy.* 1, 101-115. (In Japanese)
- _____ and _____ (1951): The influence of wave lengths of light on the behavior of young marine fish. *Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie* 1, 41-53.
- _____ and K. Uno (1954): Studies on the influence of the moonlight upon efficiency of the fish lamp. *ibid.* 1, 355-364.
- Kuroki, T. and M. Chuman (1958): An example of three-dimensional records of fish-school attracted by underwater lamps. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 6, 77-81. (In Japanese)
- Maeda, H. (1951): Synecological studies on marine lamp-communities. *Japn. J. Ichthy.* 1, 349-360. (In Japanese)
- Miyazaki, T. (1950): On the shoal of fishes crowding toward a lamp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 16, 235-238. (In Japanese)
- Oka, M. (1950): An experimental study on attraction of fishes to light. *ibid.* 16, 223-234. (In Japanese)
- Ozaki, H. (1951): On the relation between the phototaxis and the aggregation of young marine fishes. *Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie* 1, 55-66.
- Tamura, T. (1957): On the relation between the intensity of illumination and the shifting of cones in the fish retina. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 22, 742-746. (In Japanese)
- Verheyen, F. J. (1959): Attraction of fish by the use of light. *Modern Fishing Gear of the World* 1. Fishing News Ltd. 548-549.
- Woodhead, P. M. J and A. D. Woodhead (1955): Reactions of herring larvae to light: a mechanism of vertical migration. *Nature* 176, 349-350.
- Yang, Y. R. (1979): Phototaxis of fish(1). *Bull. Korean Fish. Soc.* 12, 79-86. (In Korean)