

백열등의 광력에 따른 수중 투과특성

박성욱 · 배봉성 · 안희춘 · 이정우 · 서두옥*

국립수산과학원, *제주대학교
(2002년 8월 1일 접수)

Transmittance Characteristics by candlepower of Incandescent Lamp

Seong-Wook PARK, Bong-Seong BAE, Heui-Chun AN, Jeong-Woo LEE and Du-Ok SEO*

National Fisheries Research and Development Institute,

*Jeju National University

(Received August 1, 2002)

Abstract

The anchovy scoop net fishery is one of the important in the South sea and coastal of Jeju of Korea. They are using incandescent lamp as a fishing lamp at night to gather anchovy shoals in the water surface. Fishing lamp ($AC\ 100\ V\ 500\ W \times 2\sim 3$ or $AC\ 100\ V\ 1\ kW \times 1$) was installed at $1\ m$ ahead of the prow and $1.5\ m$ height from the water surface. The fishing lamp let anchovy shoals rise to the water surface and are attracted to bag net.

On this study, the distribution of submarine illumination of $1\ kW$ and $2\ kW$ incandescent lamp were analyzed and discussed to investigate the ability of fishing lamp which can gather anchovy shoals effectively.

The submarine illumination of incandescent lamp showed peak in wave length $690\ nm$. The relationship between submarine illumination (L) and water depth (Z) of $1\ kW$ and $2\ kW$ incandescent lamp in vertical light is

$$1\ kW : L = 3851.9e^{-1.4587Z} \quad R^2=0.9952$$

$$2\ kW : L = 8211.9e^{-1.2852Z} \quad R^2=0.9977$$

The submarine illumination of $2\ kW$ incandescent lamp of $0\sim 4\ m$ layers appeared to be 3 to 4 times higher than $1\ kW$ incandescent lamp, and in more deep layers than $6\ m$ appeared to be equal value of each lamp.

The light of incandescent lamp ($1\ kW$) pass through much better into vertical direction than horizontal, and submarine illumination of $20\ m$ layers was $1.0\ lx$. Therefore, fishing lamp power is thought that $1\ kW$ incandescent lamp is more efficient than $2\ kW$ to gather anchovy shoals in depth of $15\sim 20\ m$ to water surface.

Key words : anchovy scoop net fishery, fishing lamp, incandescent lamp

서 론

초망어업은 야간에 2~3k t 의 속력으로 항해하면서 백열등으로 멸치를 집어하고 있다. 백열등의 용량은 지역과 어업자에 따라 다르게 사용하고 있으며, 남해안에서는 AC 100 V 500 W용 전구를 2~3개를, 제주연안에서는 AC 100 V 1kW용 전구 1개를 샷갓 모양의 반사갓에 끼워서 사용하고 있다. 초망어업은 어법의 특성상 2~3k t 의 속력으로 항해하면서 저층에 분산되어 있는 멸치군을 선수 전방 표층에 유집한 후 자루그물이 투망된 곳으로 유도하기 때문에 선수 전방에 집어등을 설치하고 있으며, 또한 주광성이 약한 다른 어류는 거의 혼획되지 않는 특징을 갖고 있다. 즉 어획의 성패는 집어등으로 어군을 어느 정도 잘 제어하느냐에 달려있다.

그러나 어업자들에 의하면 어군은 저층에 있으나 집어등의 광력에 약한 반응을 보이거나 혹은 전혀 보이지 않는 경우가 있다고 한다. 이러한 현상은 한 밤중보다 초저녁과 새벽녘에, 봄철보다 가을철에, 달이 없을 때보다 밝을 때에, 그리고 조석이 바뀔 때에 두드러지게 나타난다고 한다. 따라서 어업자들은 집어등의 광량을 현재보다 2배 정도 증가시켜 조업한다면 이러한 현상은 해소되리라 생각하고 있다.

지금까지 멸치용 집어등에 관한 연구는 오래 전부터 실시되어 왔으며, 외국의 경우, Kuroki and Chuman(1958)은 200 W 백열등 2개를 사용하였을 때의 멸치어군의 행동 특성, Kusaka (1959)는 2kW 백열등과 수은등을 사용하였을 때의 멸치어군의 유집특성, Hasegawa and Kobayashi (1990)는 500 W 수증 백열등에 유집된 멸치의 망막 운동 반응 특성 등을 연구한 바 있다. 국내의 경우, Park(1986)은 수면 상 1.5m 높이에서 1kW 백열등 1개를 점등하였을 때 멸치군의 유집특성과 방사특성, Park(2001)과 Park *et al.*(2001)은 멸치초망에서 사용하고 있는 반사갓의 반사효율에 관하여 연구한 바 있으며, Cho and Yang (1985)은 수면 상 1m 위치에서 2kW 백열등 1개, 2개, 3개를 각각 점등하였을 때의 수증 방사특성을 연구한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 초망어업에 있어서 멸치군을 집어하기 위한 수상 집어등의 광량을 구명하기 위한 방안의 일환으로서 1kW와 2kW 백열등의 방사조도 특성에 관하여 분석, 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 집어등의 구성

시험에 사용된 집어등은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 초망어업자들이 사용하고 있는 것과 동일하게 반사갓에 백열전구(한국 해성전구사) 1개를 끼웠으며, 반사갓의 규격은 Fig. 2와 같다.

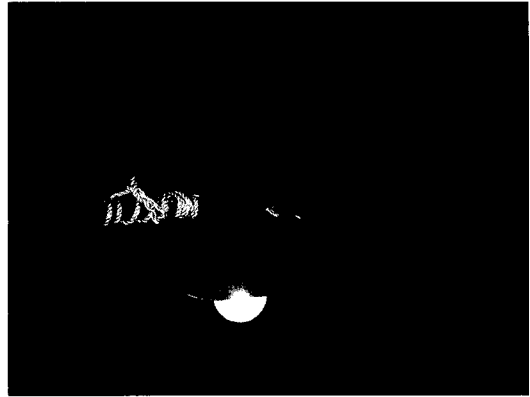


Fig. 1. Incandescent lamp and reflection plate used in this experiment.

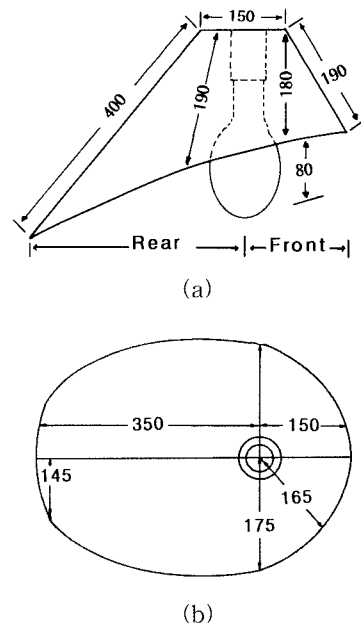


Fig. 2. Dimensions of the reflection plate used in this experiment (unit in mm).

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

반사갓의 재질은 합석이며, 두께는 2 mm이다. 반사갓의 빗변의 길이는 전, 후(전 방향이라 함은 어군을 집어할 때 전방으로 향하는 불빛을 차단하는 부분을 의미하며, Fig. 2에서 오른쪽 방향을 표시함)로 각각 190, 400 mm이었으며, 좌, 우로는 모두 190 mm이었다. 전구를 끼우는 지점에서의 높이는 180 mm이었고, 반사갓 외부로 돌출한 전구의 길이는 80 mm이었다(Fig. 2a). 전구를 중심으로 반사갓의 길이는 전, 후로 각각 150, 350mm이었으며, 좌, 우의 폭은 모두 175 mm이었다(Fig. 2b).

2. 측정방법

조도측정은 실내수조와 해상에서 실시하였다. 실내수조에서의 조도측정은 국립수산과학원의 사각수조(L 5.0×B 2.0×D 1.5 m, 콘크리트)를 이용하였으며, 해수의 수심은 1.3 m였다. 실내수조에는 실험환경에 끼칠 외적 환경요인을 차단시켰으며, 측정은 21:00~23:00시에 행하였고, 백열등의 용량은 AC 100 V 1 kW와 AC 220 V 2 kW 각각 1개씩이었다. 집어등과 수면과의 연직거리는 1.5 m이었다. 수중조도는 집어등의 연직방향으로 심도 0.1, 0.5, 1 m층에 대하여 Table 1에 나타난 수중광도계(미국 LICOR사, LI-1800UW)를 이용하여 W/cm²/nm 단위로 각각 5회씩 측정하여 평균하였다.

Table 1. Main specifications of the submarine spectro-radiometer used in this experiment

Item	Specifications
Wave length range	350~1,100 nm in air 350~850 nm in submarine
Wave length accuracy	2 nm
Wave length drive interval	1, 2, 5 or 10 nm
Scanning speed	20~40 nm/sec
Calibration accuracy	5% in 1,100 nm
Maximum depth	200 m
Size and weight	H 28 × D 32 cm, 25 kgf

해상시험은 2000년 5월 29일(음력 4월 26일), 제주도 함덕항에서 동쪽으로 5마일(33° 34' N, 126° 43' E) 떨어진 해역에서 멀치초망어선(신일호, 6.09톤)을 이용하여 21:00~23:00시에 행하였다. 백열등의 용량은 AC 100 V 1 kW 1개를 사용하였다. 조도측정은 수중광도계(미국 LICOR사,

LI-1000)를 사용하여 μmol/s/m² 단위로 측정된 후 lx로 환산하였으며, 집어등의 설치 및 측정방법은 전보에서 한 것과 같다(Park at al., 2001).

결 과

백열등의 용량에 따른 수상 백열등의 수중 방사조도 특성을 조사하기 위하여 실내수조에서 1 kW와 2 kW 백열등 1개를 각각 반사갓에 끼워 수면 상 1.5 m 높이에서 방사할 때, 집어등 직하인 심도 0.1, 0.5, 1 m층에서의 방사조도는 Fig. 3~5와 같다.

Fig. 3에서 심도 0.1 m층에서의 1 kW와 2 kW 백열등의 수중 방사조도는 파장 812 nm에서 모두 최대치를 나타내었으며, 이 파장에서의 2 kW 백열등의 수중 방사조도는 10,490 W/cm²/nm로서 1 kW 백열등보다 192 % (5,463 W/cm²/nm) 밝게 나타났다. Fig. 4에서 심도 0.5 m층에서는 파장 690 nm에서 모두 최대치를 나타내었으며, 이 파장에서의 2 kW 백열등의 방사조도는 4,183 W/cm²/nm로서 1 kW보다 237 % 밝게 나타났다. Fig. 5에서 심도 1 m층에서의 방사조도는 심도 0.5 m층과 동일하게 파장 690 nm에서 모두 최대치를 나타내었으며, 이 파장에서의 2 kW 백열등의 방사조도는 916.9 W/cm²/nm로서 1 kW보다 230 % 밝게 나타났다.

따라서 2종의 백열등(1 kW와 2 kW)은 수중에서 690 nm의 파장에서 최대치를 보이는 것으로 보아 심도 1 m 보다 깊은 수층에 입사되는 파장은 주로 690 nm일 것으로 예측된다.

2가지 백열등의 690 nm 파장에 대한 심도별 수중 방사조도는 Fig. 6과 같고, 이들의 관계식은 (1), (2)와 같다.

$$1 \text{ kW} : L = 3851.9e^{-1.4587Z} \quad R^2=0.9952 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$2 \text{ kW} : L = 8211.9e^{-1.2852Z} \quad R^2=0.9977 \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서, L는 방사조도(W/cm²/nm)이고, Z는 심도(m), R²는 중상관계수이다.

이들 실험식에 의하면, 심도 2 m와 4 m층에서 2 kW 백열등의 수중 방사조도는 각각 631, 48 W/cm²/nm로서 1 kW보다 각각 303 %, 436 % 밝게 나타난 반면 심도 6 m층보다 깊은 수층부터는

각각 거의 같은 밝기를 나타내었다.

따라서 2kW 백열등의 수중 방사조도는 심도 4m 층보다 얇은 수층에서는 1kW 백열등보다 3~4배 높게 나타났지만 심도 6m층부터는 동일한 밝기를 나타내었다.

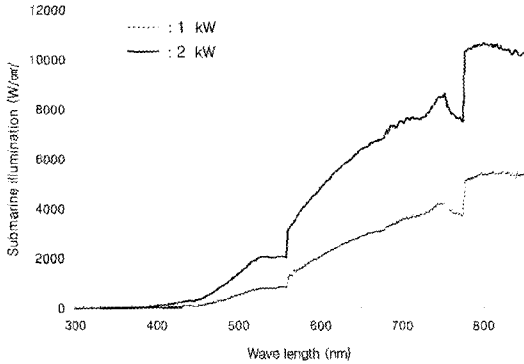


Fig. 3. The submarine illumination by the wave length of the incandescent lamp power which located at the height 0.1m above water surface in the water tank.

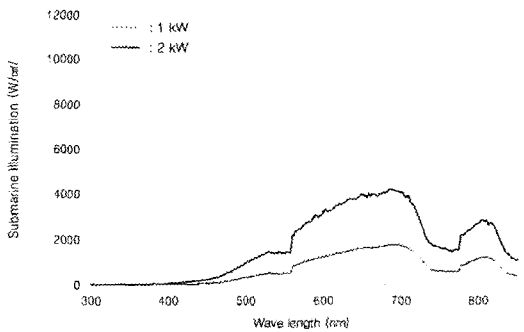


Fig. 4. The submarine illumination by the wave length of the incandescent lamp power which located at the height 0.5m above water surface in the water tank.

해상실험에서 1kW 백열등 1개를 반사갯에 끼운 후 수면 상 1.5m 높이에서 방사했을 때 조사된 심도에 따른 정황거리별 수중조도는 Table 2와 같다.

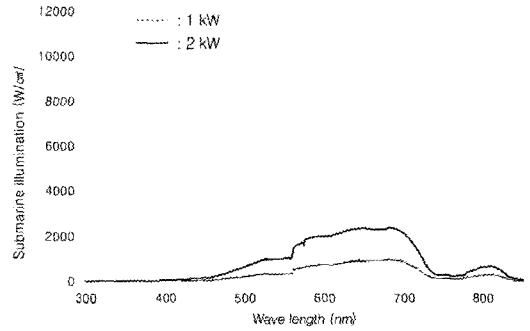


Fig. 5. The submarine illumination by wave length of the incandescent lamp power which located at the height 1.0m above water surface in the water tank.

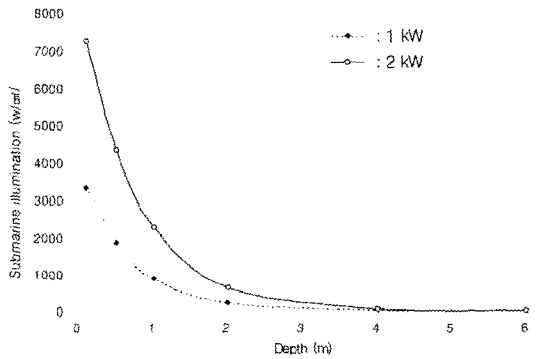


Fig. 6. The submarine illumination by water depth of the incandescent lamp power which located at the height 1.5m above water surface in the water tank.

집어등 직하인 수면에서의 수중조도는 146.0 lx 이었으며, 심도 5m층과 10m층의 수중조도는 각각 23.0 lx, 3.6 lx 이었고, 심도 19~20m층의 수중조도는 0.1lx 이었다. 그리고 집어등 직하의 수면을 기준으로 정황방향으로 4, 8, 10m지점의 수면조도는 각각 22.3, 1.3, 0.2lx 이었다. 따라서 현재 밀치초망어업에서 사용되고 있는 1kW 백열등의 빛은 정황방향보다 연직방향 쪽으로 많이 투과되고 있으며, 심도 20m층보다 깊은 수층에는 도달하지 않는다고 생각된다.

Table 2. The submarine illumination of the incandescent lamp (AC 100 V, 1 kW) which located at the height 1.5 m above sea surface

(Unit : lx)

Depth (m)	Horizontal distance (m)					
	0	2	4	6	8	10
0.1	146.0	72.1	22.3	7.2	1.3	0.2
1	100.9	49.7	15.6	4.9	0.9	0.1
2	69.7	34.3	10.9	3.4	0.6	0.1
3	48.1	23.7	7.7	2.3	0.4	0.1
4	33.2	16.3	5.4	1.6	0.3	0.0
5	23.0	11.3	3.8	1.1	0.2	0.0
6	15.9	7.8	2.6	0.8	0.1	0.0
7	11.0	5.4	1.8	0.5	0.1	0.0
8	7.6	3.7	1.3	0.4	0.1	0.0
9	5.2	2.6	0.9	0.2	0.0	0.0
10	3.6	1.8	0.6	0.2	0.0	0.0
11	2.5	1.2	0.4	0.1	0.0	0.0
12	1.7	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0
13	1.2	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0
14	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0
15	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
16	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
17	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
18	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

고 찰

초망어업은 우리 나라 남해안과 제주연안에서 매우 중요한 연안어업이며, 그 대상 어종은 멸치이다. 초망어업에서는 분산되어 있는 어군을 보다 좁은 범위로 축소시켜 최소의 노력으로 최대의 어획이 가능하도록 하기 위한 어법으로서 야간에 집어등을 이용하여 멸치를 유집, 어획하고 있다. 이 어업은 어법의 특성상 2~3k/t의 속력으로 항해하면서 저층에 분산되어 있는 멸치군을 선수 전방 표층에 유집한 후 자루그물이 투망된 곳으로 유도하기 때문에 선수에서 1m 전방으로 집어

등이 돌출되도록 설치하고 있다. 집어등은 백열전구(AC 100 V 500 W×2~3개 또는 AC 100 V 1 kW×1개)를 반사갓에 끼워서 구성하며, 집어 시에는 항해하면서 빛을 수면에 방사시켜 저층에 있는 멸치어군을 유집하고 있다.

Arakawa *et al.*(1996)은 태양광의 파장을 412, 443, 490, 510, 555 및 665 nm로 구분하여 수면에 방사된 조도를 100%라 보고, 이 조도가 수중에서 1%로 감쇠되었을 때의 파장별 심도를 측정된 결과, 665 nm의 파장은 심도 10m층 부근에서 거의 흡수되었고, Choi *et al.*(1996)은 412, 443, 490, 510, 555, 625, 670, 683 nm의 파장을 조사한 결과, 625 nm 이상의 파장은 심도 15m 층보다 얇은 수중에서 거의 흡수되었다고 보고하고 있다. An and Choo(1993)는 메탈할라이트등의 방사조도를 파장 300~1,100 nm까지 2 nm 간격으로 측정된 결과, 546 nm 부근의 파장에서 최대치를 보였다고 보고하고 있으며, Arakawa *et al.*(1996)은 메탈할라이트등인 경우 490~510 nm의 단파장의 방사특성을 갖고 있기 때문에 665 nm의 방사특성을 갖고 있는 할로겐등보다 깊게 투과한다고 보고하고 있다. 이 연구에서 백열등은 690 nm에서 최대치를 보이고 있어 단파장의 특성을 갖고 있는 메탈할라이트등이나 할로겐등보다 수중 투과 성능은 낮은 것으로 생각된다. 그리고 해상에서 AC 100 V 1 kW의 백열등 1개를 수면 상 1.5m에서 점등하였을 때 집어등 직하인 0, 12, 13m층에서의 수중조도는 각각 146, 1.7, 1.2 lx이었으며, 수면에 방사된 수중조도를 100%라 할 때 이 조도가 수중에서 1%로 감쇠되어지는 심도는 12~13m 층으로서 상기의 여러 연구 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

그리고 백열등의 광력에 따른 심도별 수중조도는 2kW 백열등인 경우, 심도 6m층보다 얇은 수층에서는 1kW 백열등보다 3~4배 높게 나타난 반면, 심도 6m층부터는 동일하게 나타났으며, 이는 Cho and Yang(1985)이 수면 상 1m 위치에서 AC 220 V 2kW 백열등 1개와 2개를 각각 점등하였을 때 심도 9m층에서의 수중조도는 모두 5 lx 정도로 같았고, 1개와 3개의 집어등인 경우도 심도차가 1m 내외였다고 보고한 결과와도 비슷한 것으로 보아 수중 투과 성능은 광량을 증가시켜도 심도 6~9m층보다 깊은 수층에서는 동일하다고 판단된다.

멸치의 유영수심과 집어등에 의한 집어 심도는 계절, 시각, 해황, 기상요인 등에 따라 변화한다고

보고되어 있는데, Inoue and Ogura (1958)에 의하면 멸치의 유영심도는 주로 10~20 m층이라고 보고하고 있다. Chang *et al.* (1980)에 의하면 멸치는 봄이 되면 수심이 얇은 연안에 들어 왔다가 가을이 되면 외해로 이동하고, 주로 심도 20 m층 이내의 대륙붕 해역에 분포하며, 낮에는 심도 10 m층, 저녁에는 거의 표층에, Lee (1974)와 Sohn (1988)은 심도 10~20 m층의 범위에 멸치가 서식한다고 각각 보고하고 있다. 그리고 Park (1986)은 제주도 연안에 서식하는 멸치를 대상으로 1 kW의 백열등 1개를 사용할 때 심도 15~20 m층에 있는 어군이 심도 0~6 m층까지 부상한다고 보고하고 있다.

집어등에 유집된 멸치어군의 행동에 관하여, Kuroki and Chuman (1958)은 어선을 해·조류에 따라 이동하게 한 후 200 W 수상 집어등 2개로 집어하였을 때, 멸치는 상당한 속도로 집합·이산하여 활발한 행동을 행하는 것을 어군탐지기로 관찰하였으며, Kusaka (1959)는 2 kW 수은등 1개로 집어하였을 때 집어등 직하인 역원추형의 범위에는 멸치가 보이지 않았고, 그 외측반경 20~60 m 범위에 어군이 탐지되었으며, 2 kW 백열등 1개인 경우도 수은등과 마찬가지로 집어등 직하에는 멸치가 보이지 않았지만 그 외측반경 10~40 m의 범위에는 멸치가 탐지되었다고 각각 보고하고 있다. Park (1986)은 2~3 k/t의 속력으로 항해하면서 1 kW 백열 수상등 1개로 어군을 집어했을 때의 멸치는 어선의 속력과 동일한 속도로 선수부근에 집합한 후 이산하였으며, 이러한 행동은 수회 반복되었다고 보고하고 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 심도 15~20 m층에 있는 멸치군을 표층으로 부상시켜 선수 부근에 유집시키기 위해서는 전력 소모량이 적은 1 kW 백열등이 2 kW 백열등보다 효율적이라고 판단된다.

요 약

초망어업에 있어서 멸치군을 집어하기 위한 집어등의 광량을 구명하기 위한 기초연구로서 1 kW와 2 kW 백열등의 방사조도 특성을 계측하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 백열등의 수중방사조도는 파장 690 nm에서 최대치를 보였고, 2가지 백열등의 수중 방사조도 $L(W/cm^2/nm)$ 와 심도 $Z(m)$ 와의 관계식은,

$$1 kW : L = 3851.9e^{-1.4587Z} \quad R^2 = 0.9952$$

$$2 kW : L = 8211.9e^{-1.2852Z} \quad R^2 = 0.9977$$

이었다.

2. 2 kW 백열등의 수중 방사조도는 심도 4 m층보다 얇은 수층에서는 1 kW 백열등보다 3~4배 높게 나타났지만 심도 6 m보다 깊은 수층부터는 동일한 밝기를 나타내었다.
3. 1 kW 백열등의 빛은 정황방향보다 연직방향 쪽으로 많이 투과되었으며, 집어등의 연직방향에 있어서 심도 20 m층의 수중방사조도는 0.1 lx이었다.

참 고 문 헌

- 1) An, H. C. and Choo, H. D. (1993) : Fishing Efficiency of Squid Jigging in Relation to the Variation of Fishing Lamp Power, Bull. Nat. Fish. Dev. Inst., 48, 179~186.
- 2) Arakawa, H. Y., Choi, S. J., Arimoto, T. F. and Nakamura, Y. H. (1996) : Underwater Irradiance Distribution of Fishing Lights Used by Small-type Squid Jigging Boat, Nippon Suisan Gakkaishi, 62(3), 420~427.
- 3) Chang, S. D., Hong, S. U., Park, C. K., Chin, P., Lee, B. G., Lee, T. L., Kang, Y. J. and Gong, Y. (1980) : Studies on the Migration of Anchovy *Engraulis japonica* in Korean Waters, Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Univ. Pusan, 12, 1~38.
- 4) Cho, K. D. and Yang, Y. R. (1985) : Environment of the Purse-seiner Fishing Ground in the Tsushima Current, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 21(1), 41~61.
- 5) Choi, S. J., Arakawa, H. Y., Nakamura, Y. H. and Arimoto, T. F. (1996) : Transmittance Characteristics of Fishing Light According to the Optical Water type in the Squid Jigging Ground of the Sea of Japan, Nippon Suisan Gakkaishi, 64(4), 650~657.
- 6) Hasegawa, E. and Kobayashi, H. (1990) : Retinomotor Response of the Fish Concentrated around an underwater Lamp, Nippon Suisan Gakkaishi, 56(2), 367.
- 7) Inoue, M. and Ogura, M. (1958) : The

- Swimming Water Depth for Anchovy Shoals in Tokyo Bay, Nippon Suisan Gakkaishi, 24(5), 311~316.
- 8) Kuroki, T. and Chuman, M. (1958) : An Example of Three-dimensional Records of Fish-school attracted by Underwater Lamps, Fac. Fish., Kagoshima Univ., 6, 77~81.
- 9) Kusaka, T. (1959) : Fish Gathering Effects and Submarine Illumination of the Incandescent and Fluorescent Mercury-vapour Lamps, Nippon Suisan Gakkaishi, 25(1), 17~21.
- 10) Lee, B. G. (1974) : On the Vertical Distribution of Anchovy *Engraulis japonica* HOUTTUYN in the Vicinity of Chungmu, Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Univ. Pusan, 14(1), 20~27.
- 11) Park, S. W. (1986) : Phototaxis of Anchovy Aggregated by Fishing Lamp of Scoop net in the Surrounding Waters of Jeju Island, Master's thesis, Jeju Nat. Univ., 1~37.
- 12) Park, S. W. (2001) : A Basic Study on the Labor-saving System for Anchovy Scoop Nets in the Coastal Area of Jeju Island in Korea, Ph. D. thesis, Jeju Nat. Univ., 36~103.
- 13) Park, S. W., Bae, B. S., An, H. C. and Seo, D. O. (2001) : Transmittance Characteristics of Fishing Lamp in the Anchovy Scoop Fishery, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 37(2), 117~123.
- 14) Sohn, T. J. (1988) : Study on the Gathering Effects of Anchovy Scoop Net in the Neighboring Waters of the Jeju Island, Bull. Korean fish. Soc., 21(3), 184~192.