

## 태양에너지를 이용한 겨울철 미꾸라지 성장에 관한 연구

정 현 채 · 선 경 호 · 조 재 선\* · 남 상 열\*\*

경희대 부설 태양에너지 연구소, 경희대 화학과

경희대 식품가공학과\*

경희대 생물학과\*\*

### Misgurnus Anguillicaudatus Growing in Winter Season by Solar Thermal Heating

Jung, Hyun Chai · Sun, Kyung Ho · Jo, Jae Sun\* · Nam, Sang Yul\*\*

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy, Dept. of Chemistry, Kyung Hee Univ.

Dept. of Food Processing, Kyung Hee Univ.\*

Dept. of Biology, Kyung Hee Univ.\*\*

#### 요 약

태양열 온수기로부터 획득한 50~60°C의 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월은 물론 한 겨울철에도 미꾸리의 최적 성장온도를 유지시켰던 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

가. 전장 4~5cm, 체중 1~2g 정도의 미꾸리의 최적 성장수온은 18~20°C이고 5~7cm, 2~3g 인 것은 20~22°C이고 7~9cm, 4~6g 인 것은 22~24°C의 수온임을 알아냈다.

나. 1~3g의 개체는 서서히 성장하나 4~8g의 것은 성장이 빠르고 총개체수의 무게 총량은 1개월간에 약 30~50g 증가하였다.

#### ABSTRACT

We have maintained the optimum water temperature for misgurnus in winter season by solar thermal heating energy.

The optimum temperatures for the misgurnus anguillicaudatus were experimentally estimated, i.e. for the total length 4~5cm and body weight 1~2g, the optimum temperature was 18~20°C. For the total length 5~7cm, body weight 2~3g was 20~22°C and for the total length 7~9cm, body weight 4~6g was 22~24°C.

The smaller misgurnas(1~3g) grows relatively slow but the bigger one(4~8g) grows relatively fast and total average body weight increment was about 30~50g per month.

## 1. 서론

미꾸라지는 단백질의 공급원으로서 식용뿐만 아니라 양질의 가축사료로도 탁월하며 최근 원양어업의 산미끼로 우리나라뿐만 아니라 일본에서도 수입하고 있는 형편이다. 그러나 비료의 과용과 산업폐수로 인해서 수질이 오염되면서 자연 생산이 격감되어 수요를 따르지 못함으로 시장가격은 담수양식 어류 가운데 가장 비싼것의 하나로 손꼽히게 되었다. 따라서 농촌부업으로서 양식의 필요성이 점차 높아지게 되었다.

미꾸라지는 잡식성이면서 열악한 환경조건에도 잘 견딘다는 점은 있으나 온수성이라 물의 온도가 15°C 이상이 되면 식욕이 증진되고 25°C 내외가 되면 식욕이 가장 왕성하여 성장률이 최고도에 달한다는 것이다. 우리나라 기후조건으로 볼때는 미꾸라지의 성장에 필요한 25°C의 수온을 유지할 수 있는 대기온도는 여름철 한철에 불과한 것이다.

그래서 1년 내내 미꾸라지를 양식할 수 있는 시스템이 필요하게 되어 우리 태양에너지 연구소에서 새롭게 개발하여 실용화 단계에 있는 태양열 온수기로부터 얻은 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월중에는 물론 한 겨울철에도 미꾸라지의 최적 성장 온도를 유지시킬 수 있다. 따라서 미꾸라지의 수요가 가장 많은 가을과 겨울철에 수확을 거둘 수 있게 될 뿐만 아니라 기존의 양식법에서 보듯이 여름철이나 초가을에 포획한 것을 장기간 축양해야 된다는 문제점도 해결할 수 있게 될 것이다. 또 본 연구시스템을 이용하면 1년내내 출하시기를 조절할 수 있음은 물론 경제적 가치가 가장 좋은 시기를 택하여 출하함으로써 농가부업의 부가가치를 높일 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 다음과 같은 연구를 수행하려 하였다.

(1) 신개발 태양열 시스템이 실제로 양식에 적용되는 것을 확인하고 효율적인 열전달을 위한 최적설계 조건을 찾아내어 시스템을 제작한다.

(2) 외기온도와 초기 수온과의 관계를 비교

하고 미꾸라지의 최적성장 온도인 20~25°C까지 올리는데 필요한 열량을 산출하고 소모된 전기량으로 부터 태양열 의존율을 계산해 낸다.

(3) 미꾸라지가 최적 성장온도에서 겨울철에 얼마나 성장하는지를 알아본다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치 설계 제작

실험장치는 Fig. 1에 보여진 바와 같이 90cm×70cm×35cm 정도의 타원형 고무수조 2개를 밑과 옆에 10cm 두께의 스티로폼로 단열했고 열손실을 최대한 줄였다. 윗쪽은 철망을 씌워 쥐(해적)의 접근을 방지했다.

고무수조 밑면에는 약 15cm 정도의 논진흙을 넣었고 지하수를 그 위로 높이 약 15-20cm 정도 채웠다. 물갈이는 거의 이틀에 한번씩 했는데 전체 물량의 1/3 정도를 윗쪽에서 떨어지게 하여 산소공급이 용이하게 했다.

방출구는 진흙면 바로 윗쪽에 설치했는데 미꾸라지가 빠져 나가지 못하도록 망을 씌웠다.

양어지의 물이 순환되도록 aeration 장치를 하여 산소공급이 용이하게 하였다.

### 2.2 태양열 시스템

본 연구소에서 새롭게 개발하여 실용화 단계에 있는 온수기는 냉매(freon R-12, R-22)의 응축과 증발열 및 압축열을 동시에 이용할 수 있

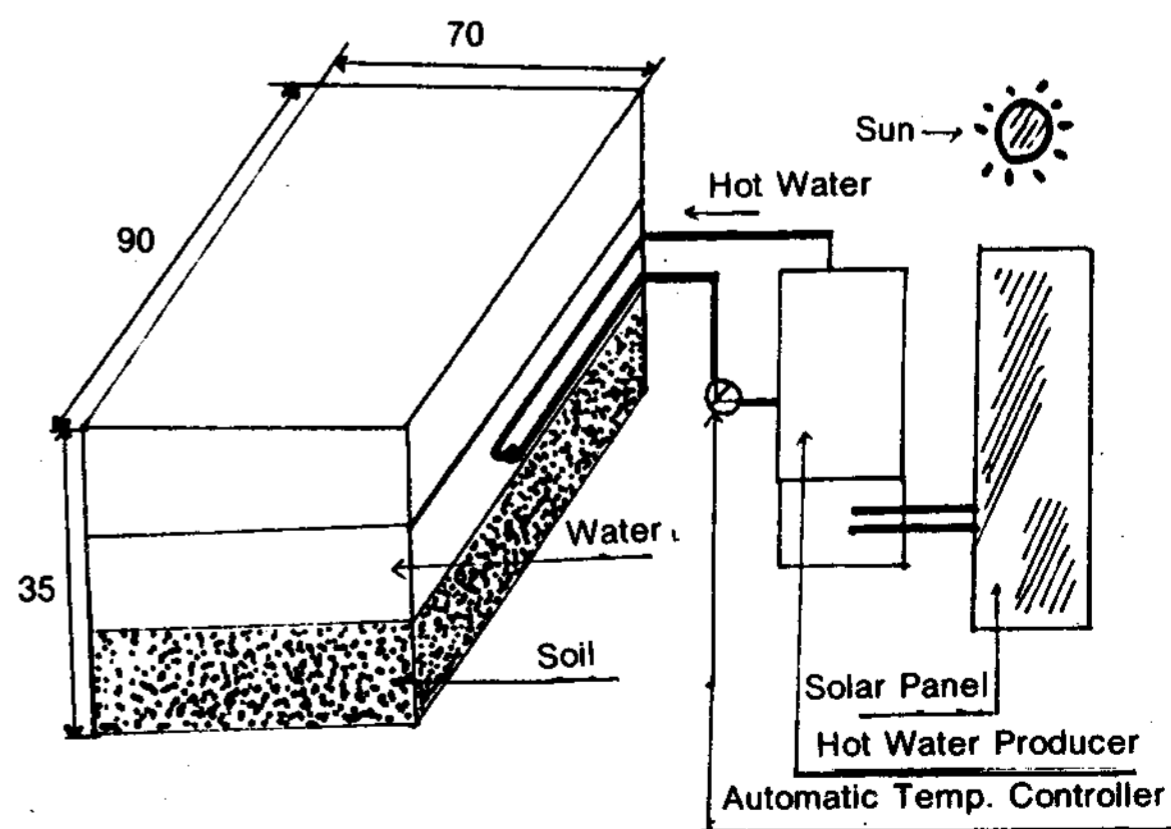


Fig.1 A schematic of experimental fish farm

는 시스템으로서 태양열 온수기나 난방시스템에서 가장 문제시되는 겨울철의 동파를 근본적으로 해결하고 비오는 날이나 겨울철에도 양식에 충분한 양의 온수를 얻을 수 있고 집열기 설치시 남쪽벽에 태양 입사각을 조절하기 위해 35°~45° 각도의 기울기로 설치해야 하는 까다로움을 탈피했다. 태양열 시스템 구성도는 Fig. 2에 제시하였다.

특히 프레온 기체 특성을 이용하여 태양열을 이용하는 이 시스템은 제작 설치에 많은 문제점이 있는 태양열 집열기 대신 태양열과 대기

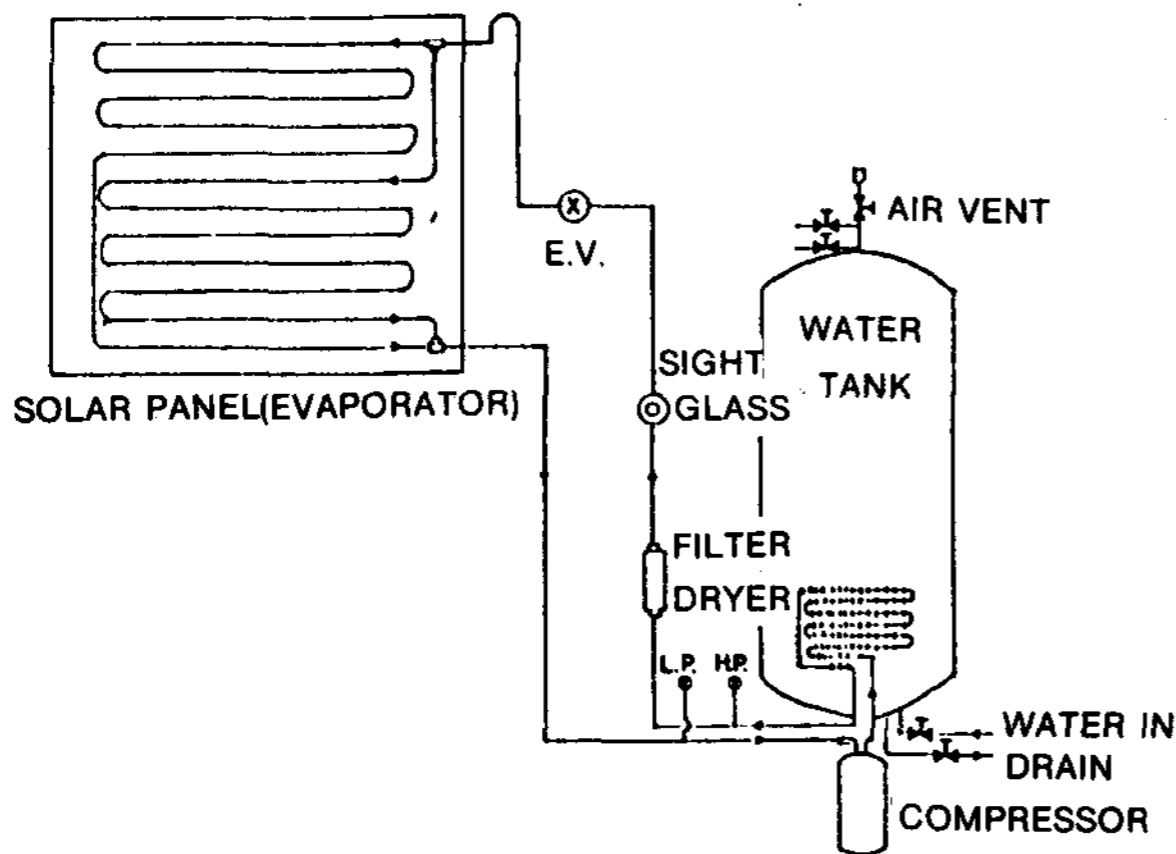


Fig.2 A schematic diagram of experimental apparatus of newly developed system

로부터 획득한 열을 흡수할 수 있는 금속흡열판을 사용하여 유리덮개나 단열재가 필요없게 되었다. 또 제작이 간편해서 제작비가 저렴할 뿐 아니라 통풍이 잘되는 곳이면 사방 어디서나 설치 가능하므로 지면에 직각으로 부착하면 되므로 설치가 용이해져 우리나라와 같이 혹한기가 있는 지역에서는 적격이다.

태양열 시스템은 태양열 온수기의 온수를 파이프를 통과시켜 진흙 상층부에서 양어장물에 열전달함으로써 수온을 원하는 수준으로 유지시켰다. 사용된 태양열집열기는 라디에타형으로서 12줄의 구리관에 직각으로 530개의 알루미늄판을 부착시켜 태양열이 직사되면 판전체에서 흡수되고 공기가 유통하면서 열교환되어 관내에 흐르는 유체로 전달하도록 한다. 또 온

수기에 사용된 부품에는 압축기, 팽창밸브, 온수자동순환펌프와 저장조가 있는데 저장조는 Polyurethane 단열재 50mm로 둘러싸여져 있는 280ℓ 용량의 원통형 구조이다.

## 2.3 재료 및 사료

### ① 재료

시중 소매상에서 구입한 주로 미꾸리, 미꾸라지, 새코미꾸리등의 종류를 대상으로 실험을 행하였다. 본 연구에서는 종류를 구분하지 않고 암수 구별이 뚜렷하지 않은 범위의 재료를 대상으로 체중에 따라 분류하여 방양하였다.

### ② 시료

처음에는 잉어 치어용 베이비 사료를 주었는데 이것은 치어의 입 크기를 고려한 것이고 아침, 저녁으로 두번 정도 주었고 대한제당사의 인공사료와 잉어 치어용 사료를 섞어 주었으며 호흡장애를 유발시킬 염려가 있어서 쌀겨나 분말사료는 급여하지 않았고 자가제 반죽먹이를 급여하였으나 먹다 남은 먹이 회수문제, 급여방법 등의 문제로 다공성 사료인 베이비 사료를 계속 주었다.

투여량은 급여후 1시간쯤으로 전부 먹어 치울 정도로 하되 거의 포식에 가깝다 생각되는 상태로 사육했다. 수온이 15℃ 때는 미꾸라지 무게총량의 1/50, 25℃ 때는 1/10 정도로 했는데 임의적으로 급여 횟수나 급여량을 조절해서 투여했다.

## 2.4 실험방법

실험 데이터는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 모든 시스템의 설계와 제작이 완료된 1990년 1월 4일부터 1990년 8월 19일 까지 약 7개월에 걸친 기간 동안 측정된 값에서 약 3개월간의 데이터인 1990년 1월 17일부터 1990년 4월 23일 까지의 데이터를 검토 분석하였다.

수온 및 수심의 조절은 원하는 온도에 고정해 놓으면 태양열 시스템은 자동적으로 온도측정 장치가 온수 자동순환펌프의 작동을 멈추게 하고 전기히터 시스템은 자동적으로 전원이 off 되어 진다.

오차범위  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  이내에서 온도조절이 되는 장치이다. 수량은 수동으로 주수구를 통해 차가운물의 유입이 되어 조절되게 되어 있다. 수

질분석은 수시로 물 소량을 떠서 pH meter로 측정했다. 성장도와 비만도 측정은 태양열 수조에는 1.9~1.0g 체중영역의 총 개체수 103마리(155.3g)를 넣고 동일 체중의 개체들이 약 3개월동안 어떻게 성장하고 분포곡선을 그리는지를 보았고 전기히터 열수조에는 3.9g 이하의 개체 94마리(190.9g)의 성장도를 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 체장과 체중의 성장

Fig. 3에서 보여진 것처럼 체장과 체중의 관계는 전구간에 거의 직선관계를 나타내고 약 1~3g 체중, 약 5~7cm 체장영역에서 급격한 성장을 보이다가 약 3~4g 체중, 약 7~8cm 체장의 영역에서는 성장속도가 둔화됨을 보이며 그 이후로는 급격한 성장속도로 성장함을 볼 수 있었다.

Fig. 4에서는 사육일수가 경과함에 따라 무게 총량의 증가를 나타내는데 태양열 수조의 것이 성장속도가 더 빠름을 볼 수 있다. 사료의 양이나 빛수, 종류등 등의 여러 인자들이 영향을 미쳤겠지만 비교적 태양열 수조의 것이 사육일수가 경과됨에 따라 점점 빠르게 성장함을 보인다.

#### 3.2 태양열 의존도

Table 1에서 보여준 바와 같이 태양열 의존도가 50~70%로 총획득 열량중 전기 에너지가 50% 내지 30% 정도이고 나머지 50~70%가 태양열과 대기로부터 획득한 열량으로 간주되어

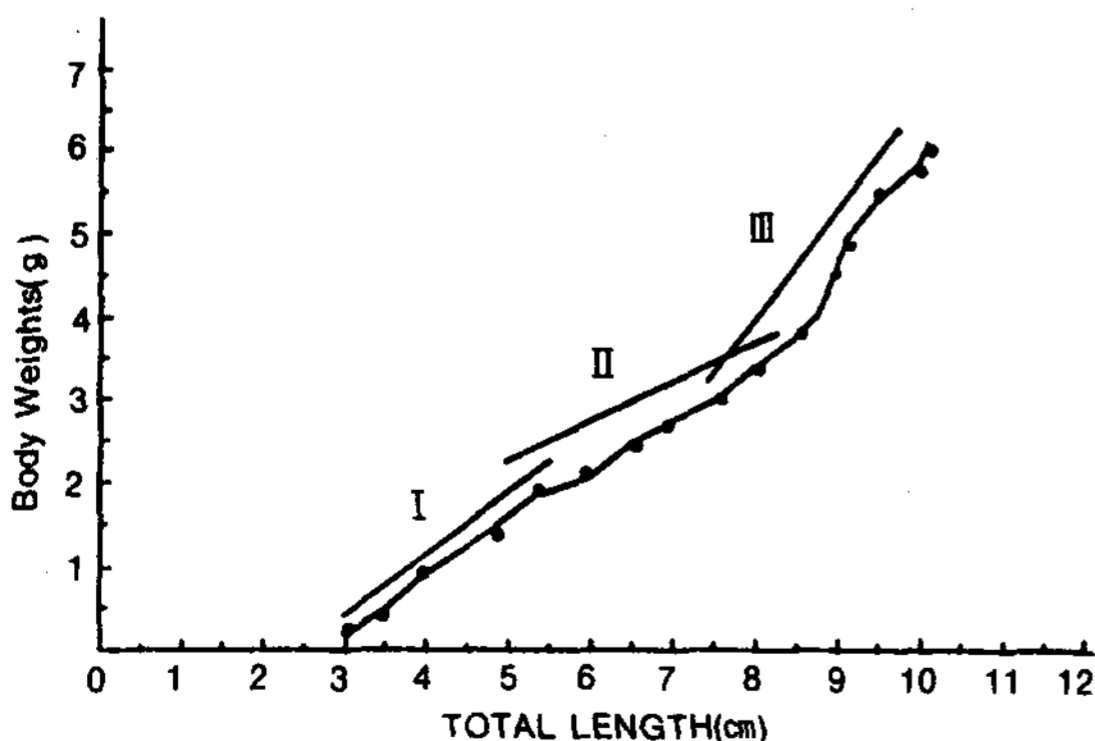


Fig.3 The relationship between length and weight, I: start, II: 26 days, III: 40 days

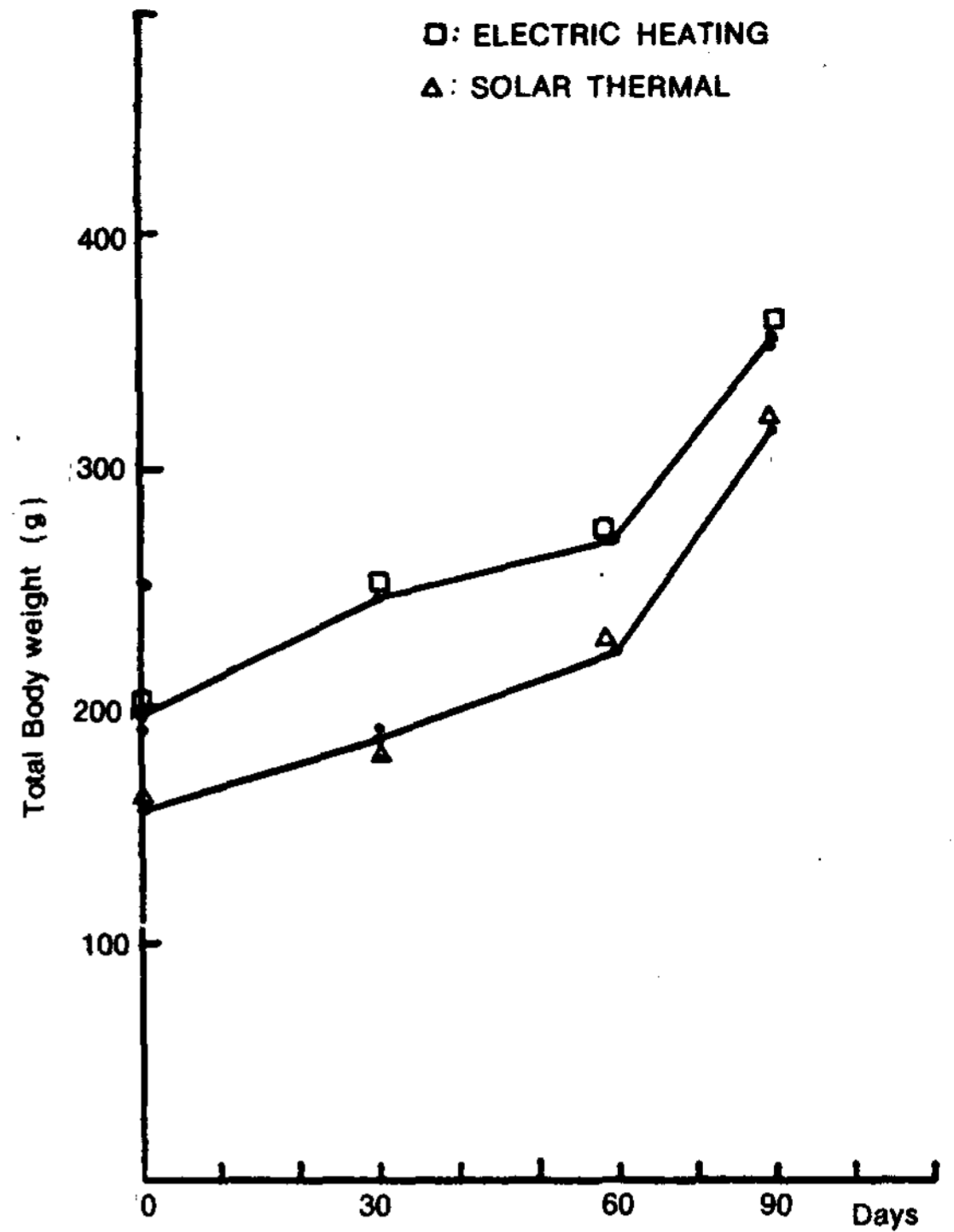


Fig.4 Comparison of solar thermal heating with electric heating aquarium as total body weight variations during reared days

Table 1 Consumed electric power in kcal and solar thermal fraction according to weather conditions.

(The total heat to raise the aquarium water( $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ) in assumed to be 24kcal)

실험 구분	월일	대기 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )	초기 수온 ( $^{\circ}\text{C}$ )	소모된 전력량 (kcal)	태양에너지 부분 (kcal)	%
1	90.1.17	-12.0	10.0	12.0	12.0	50.0%
	1.24	-7.0	10.0	12.0	12.0	50.0%
	1.30	-12.0	9.5	12.48	11.52	48.0%
	2.14	-1.0	11.0	10.8	13.2	55.0%
2	2.21	7.0	10.4	11.52	12.48	52.0%
	2.22	10.0	11.9	9.6	14.4	60.0%
	3.1	13.0	12.0	9.6	14.4	60.0%
	3.20	15.0	12.4	8.88	15.12	63.0%
3	4.18	18.0	14.8	7.44	16.56	69.0%
	4.19	20.0	15.0	7.2	16.8	70.0%

질수가 있다. 태양열 온수기의 온수의 열량이 양어수조의 물에 100% 열전달이 되고 완전한 단열상태로 가정하여 계산한 것이다. 양어조의 단면적을 1m<sup>2</sup>으로 보고 수심을 15, 20, 25, 30, 35cm로 할때의 물용량을 온도 10℃ 올리는데 소요되는 시간과 그때 소모된 전기량을 기록한다. 태양열 부분은 기준시간을 12시간으로 잡아서 물 0.2ℓ를 10℃ 올리는데 필요한 열량을 24kcal에서 사용된 전기량을 kcal단위로 환산해서 삭감해 주면 집열 시스템이 태양열과 대기에서 획득한 열량이 산출된다.

### 3.3 수심 및 수온, 전장 및 체장과의 관계

Table 2에 의하면 전장 4~11cm, 체중 1~8g의 범위내에서 수심과 수온에 따라 최적의

Table 2 Comparison of water temperature of the aquarium and water depth with total length and body

수온℃	전장cm	체중g	수심cm	전장cm	체중g
15~17	-	-	10~15	-	-
17~19	4~5	1~2	15~20	4~6	1.9이하
19~21	5~7	2~3	20~25	6~8	2.0~3.9
21~23	7~9	4~6	25~30	8~10	4.0~5.9
23~25	9~11	6~8			

생활환경을 가질 수 있고 전장과 체중에 따라 다른 수심과 수온을 요구하고 그때의 수심과 수온이 최적의 성장온도임을 알 수 있다. 또 수온과 수심이 증가하면 할수록 체장과 체중이 계속 증가하고 있음을 확인했고 그외 범위에서는 현재 더 많은 변화를 주어 실험중에 있다.

### 3.4 성장 및 비만도 측정

1~3g 미꾸라지는 서서히 성장하나 4~8g의 미꾸라지는 빠른 성장율을 보였고 비슷한 체중의 미꾸라지를 넣으면 능력있는 개체가 다른 체중의 미꾸라지를 넣으면 무거운 것일수록 더 증가함을 확인하였다. 총 개체수의 무게총량은 1개월간에 약 30~50g 증가하였고 이렇게 증가한다면 5개월만에 10g 이상의 경제성이 있는 미꾸라지를 얻을 수 있음을 확인했다. 또

사료효율은 급이한 사료의 몇 퍼센트가 고기의 비후에 도움이 되었는가를 나타내는 것으로 다음과 같이 계산해 보면

$$\text{사료효율} = \frac{\text{포획중량} - \text{방양중량}}{\text{양어기간중의 총급이량}} \times 100 \text{식}$$

에서

첫번째 실험의 결과는 40%이고 두번째는 60%였다. 그리고 증육계수는 늘어난 양의 몇 배의 사료를 고기에 주었는가를 나타내는 것으로 다음과 같이 계산하면

$$\text{증육계수} = \frac{\text{양어기간중의 총급이량}}{\text{수확중량} - \text{방양중량}} \text{식에서}$$

계수 2.0과 3.0를 얻었다.

한편, 생존률은 잡아올렸을 때의 마리수를 방사시 마리수로 나누어 100을 곱한다. 값은 70~80% 정도였다. 비만도는 최적의 10~13 정도인데 비만도 공식을 이용해서 계산해 보면

$$\text{비만도} = \frac{\text{몸무게}}{(\text{몸길이})^3} \times 1,000 \text{ (혹은 100) 식에서}$$

5g, 7cm인 미꾸라지는 12이고, 2g, 3cm인 경우 9.3이다. 대체적으로 비만도가 높게 나타남을 보았다.

### 3.5 수질분석

대개 알려진 바로는 진흙의 산도가 알카리성일 때보다는 중성이나 약산성일때 미꾸라지의 성장이 좋은 것으로 보고되어 있고 본 실험에서는 pH 6.5이었다. 한편 COD는 4.2ppm이고 BOD는 방출수의 경우 5.04ppm으로 비교적 오염되어 있지 않은 수질이었다. 그러나 물갈이를 제때에 하지 못하고 에어폴기를 시동걸지 않으면 물색깔이 진갈색으로 변하든지 탁해져 이들 수치들이 커짐을 보게 된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 우리 연구소에서 새로 개발하여 실용화 단계에 있는 태양열 온수기로부터 얻은 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월 중에는 물론 한 겨울철에도 미꾸리의 최적 성장온도를 유지시켰던 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전장 4~5cm, 체중 1~2g 정도의 미꾸라지 최적 성장 수온은 18~20°C이고 5~7cm, 2~3g 인 것은 20~22°C이고 7~9cm, 4~6g 인 것은 22~24°C의 수온임을 알아냈고 수심은 1~3g의 미꾸라지는 15~20cm정도, 4~6g은 20~30cm정도의 최적 조건을 찾았다.

(2) 0.5~2.5g, 3~6cm의 영역의 미꾸라지는 성장 속도가 2.5g, 6~8.5cm의 것보다 빠르고 5g 이상, 8.5cm이상의 것이 가장 빠르며 급격한 성장속도를 보였다.

(3) 총 개체수의 무게 총량은 1개월간에 30~50g 증가하였고, 이렇게 증가한다면 1개월만에 경제성이 있는 15g 미꾸라지를 얻을 수 있음을 확인했다.

### 후 기

이 연구는 1990년도 문교부 학술 연구조성비의 지원에 의하여 수행되었음을 밝히며 관계자 제위께 감사의 뜻을 표한다.

### 참 고 문 헌

1. 강수원, "최신담수어학", 선진문화사, 1977
2. 내수면어업보호회편, "미꾸라지 송어(뱀장어)", 내외출판사, 1989
3. 의정부 농촌지도소편, 미꾸라지 양식교재, 1988
4. 오성출판사 편집부편, "최신 미꾸라지양식", 오성출판사, 1985
5. 주간 새마을사편집부, "미꾸라지 양식의

- 비결", 주간새마을사, 1973
6. 농촌기술 연구회, "미꾸라지 기르는 법", 한국출판협동조합, 1962
7. 국립수산진흥원, "미꾸라지 양식", 국립수산기술 훈련소, 1972
8. 이관순, "뱀장어, *Anguilla japonica*, 이석에 나타나는 하루주기 성장선과 초기성장, 충남대 해양학과 석사논문, 1985.8
9. 전상린, "한국산 담수어의 분포에 관하여", 중앙대 생물학과 동물학전공 박사논문, 1980.5
10. 김익수, "한국산 기름종개속 어류의 계통분류학적 연구", 중앙대 생물학과 동물학전공 박사논문, 1980.7
11. 한선자, "실내사육에 의한 각시붕어의 생활환경에 관한 연구", 부산대 석사논문, 1984.2
12. 나대성, "미꾸라지의 영양학적 연구", 전남대 의대 논문, 1974
13. 정대석, "수수미꾸리의 형태와 생태에 관한 연구", 전북대, 1986
14. 이완옥, 백천(전북)에 서식하는 참종개 개체군의 형태 및 생태에 관한 연구, 전북대, 1984
15. 정현채 외, 태양열과 프레온 압축열 복합 온수기 개발, 동자부 연구보고서, 1990.2
16. 정현채, 태양에너지 이론과 실제, 경희대출판국, 1980
17. Eugene. P. Odum, Fundamentals of Ecology(Third Ed.), pp.179-183, W.B. SAUNDERS Co., U.S.A., 1971



Simulation model for thermal environments of solar collector was developed to investigate the effect of solar radiation and airflow rate on thermal performance.

## Experimental Studies for Solar Drying System of Agricultural Products(Ⅱ)

— Solar drying characteristics for rough rice —

**Koh, Hak-Kyun · Kim, Yong-Hyeon\* · Song, Dae-Bin\*\* · Park, Jae-Bok\*\*\***

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ.

Institute of Agricultural Science & Development, Seoul National Univ.\*

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ. Graduate\*\*

Korea Food Research Institute\*\*\*

In-bin grain drying experiments were performed to investigate the drying characteristics between natural air and solar heated-air drying system of rough rice. A computer simulation model for solar drying system of rough rice resulted in a good agreement between the experimental and predicted moisture content.

In order to save the electric energy consumption of fan, airflow rates control system using inverter was developed and resulted in the effect of energy saving.

## Misgurnus Anguillicaudatus Growing in Winter Season by Solar Thermal Heating

**Jung, Hyun Chai · Sun, Kyung Ho · Jo, Jae Sun\* · Nam, Sang Yul\*\***

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy. Dept. of Chemistry, Kyung Hee Univ.

Dept. of Food Processing, Kyung Hee Univ.\*

Dept. of Biology, Kyung Hee Univ.\*\*

We have maintained the optimum water temperature for misgurnus in winter season by solar thermal heating energy.

The Optimum temperatures for the misgurnus anguillicaudatus were experimentally estimated, i.e. for the total length 4~5cm and body weight 1~2g, the optimum temperature was 18~20°C. For the total length 5~7cm, body weight 2~3g was 20~22°C and for the total length 7~9cm and body weight 4~6gr was 22~24°C.

The smaller misgurnus(1~3g) grow relatively slow but the bigger ones(4~8g) grow relatively fast and total average body weight increment was about 30~50g per month.

## A Performance Study on Direct Gain Passive Solar School Buildings

**Lim, Sang Hoon · Lee, Nam Ho · Lim, Bok Kyu\***