

太陽에너지를 利用한 겨울철 미꾸리 〈Misgurnus anguillicaudatus(CANTOR)〉 성장에 관한 연구(II)

정현채* · 선경호* · 백용선**

*경희대학교 부설 태양에너지 연구소

**경기도 의정부시 광동여고 교사

Misgurnus anguillicaudatus(CANTOR) Breeding in Winter Season by Solar Thermal Heating(II)

Hyun-Chai Jung* · Kyung-Ho Sun* · Yong-Sun Paek**

*Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy

**Teacher, High school of Kwang Dong, Kyung-Gi Do

요 약

본 연구에서는 실용화된 경희대 부설 태양에너지 연구소의 신 개발 태양열 온수기로부터 생산된 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월 중에는 물론 한 겨울철에도 미꾸리의 최적 성장온도를 유지시켰던 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

성장을 위한 최적수온은 체장이 7~9cm이며 체중이 4~6g인 미꾸리는 21~23°C이고 체장이 9~11cm이며 체중이 6~8g인 미꾸리는 23~25°C이고 체장이 11~13cm이며 체중이 8~10g인 미꾸리는 25~27°C이었다. 체중이 5~10g이며 체장이 8~13cm인 미꾸리의 성장속도가 가장 빠르며, 체중이 15g이상이면 성장의 둔화를 보였다. 총 개체수의 무게 총량은 1개월간에 50~80g이 증가하였다.

ABSTRACT

The optimum water temperature was maintained for *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) in winter season by solar thermal heating. The optimum temperature ranges for the *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) were experimentally estimated, i. e. for the body length 7~9cm and body weight 4~6g, the optimum temperature range was 21~23°C.

For the body length 9~11cm and body weight 6~8g, it was 23~25°C, And for the body length 11~13cm and body weight 8~10g, it was 25~27°C. The *Misgurnus anguillicaudaus*

(CATOR) with the body weight 5~10g and body length 8~15cm grew relatively fast but the bigger ones with body weight above 15g, grew relatively slow and total average weight increment was about 50~80g per month.

I. 서 론

최근 한·중수교로 한국의 농촌은 심각한 위기를 맞이하고 있다. 그 중에 하나가 중국으로부터 값싼 농산물의 수입이다. 중국산 미꾸리 값싼 대량 수입은 우리나라 시장의 담수어류 가운데 가장 비싼 것^{1),2)}의 하나인 미꾸리 가격의 폭락을 가져오게 했다. 결국 우리는 이에 대응하기 위해서는 담수어류 양식법의 개발을 서두르지 않을 수 없게 되었다. 수질이 오염되지 않은 양식장에서 무공해 양식어류를 생산해 내는 것은 물론이고 집약적이고 대량 단기생산은 필수불가결한 문제로 떠올랐다.

미꾸리가 잡식성이고 열악한 환경조건에도 잘 견딜 뿐만 아니라 온수성 담수어류이어서 수온이 15°C 이상이 되면 식욕이 증진되고 25°C 내외가 되면 식욕이 가장 왕성하여 성장률이 최고도에 달한다는 것³⁾이다. 우리나라 기후조건으로 볼 때는 미꾸리의 성장에 필요한 25°C의 수온을 유지할 수 있는 대기온도는 여름 한철에 불과한 것이다. 그래서 1년내내 미꾸리를 양식할 수 있는 시스템이 필요하게 되어 경희대 부설 태양에너지 연구소에서 신개발하여 실용화 단계에 있는 태양열 온수기⁴⁾로부터 얻은 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월 중에는 물론 한 겨울철에도 미꾸리의 최적 성장온도를 유지시킬 수 있다. 따라서 미꾸리의 수요가 가장 많은 가을과 겨울철이나 초가을에 포획한 것을 장기간 축양해야 된다는 문제점⁵⁾도 해결될 수 있음은 물론 경제적 가치가 가장 좋은 시기를 택하여 출하함으로써 농가부업의 부가가치를 높일 수 있다.⁶⁾

미꾸리의 성장률은 기르는 환경이 알맞고, 알맞지 못함과 먹이의 많고 적음 및 모든 손질 상태 등에 따라 그 성장에 큰 차이를 가져오는 것이

사실이지만 보통은 생후 만 2년이면 성어가 되어 체장은 10~14cm, 체중이 10g 정도이며 생후 1년이 지나면 암컷은 수컷보다 성장이 좋아진다. 그런데 미꾸리는 10g까지는 빨리 성장하지만 이 시기를 지나면 성장이 둔화되어서 20g이상이 크기까지 3년이 걸린다.¹²⁾ 또 암컷과 수컷은 성장률이 현저히 다르고 치어기간 동안에는 자웅을 외형적으로 구별하기 힘들지만 약 1년이 지나면 쉽게 구분이 되며 수컷보다 암컷이 크다는 것을 알 수 있다.⁵⁾ 그래서 본 실험에서는 암수구별을 하지 않았다.

기존의 양식자료에 의하며 양식장 수온은 20~25°C가 적당하며 산란수온은 25~27°C가 적당하고 미생물 번식 수온은 20~25°C가 적당하다고 한다.¹³⁾ 또 수온이 30°C 이상이면 식욕감퇴나 산소 호흡장애를 일으키며 수온이 37°C 이상이면 산소 호흡 장애로 인해 질식사하게 된다. 갑자기 수온변화 폭이 15°C 이상이 되거나 이와 가까울 때는 “코찌겔” 병에 걸리기 쉽다.

동절기에는 주로 수온이 7°C 이상일 때 미꾸리는 급이중지와 동면중지로 20~25cm 이상 땅속으로 파고 들어간다.¹³⁾ 기존의 양식 사육실험에서 1년생 이후의 미꾸리 성장을 보기 위해 약 3.2평방미터의 콘크리트 못에 평균 체장 3.1g의 1년생 40마리를 수온 25°C에 유지하고 시판하는 잉어용 배합사료(반죽먹이)와 물벼룩을 주며 4월 20일부터 5개월간 방양 사육한 사례⁵⁾가 있다.

본 연구에서는 지난 태양에너지 제11권 3호(1990)에 게재된 연구논문⁶⁾의 연재로서 전 연구내용이 미꾸리 체중영역 1~6g과 체장영역 4~11cm에서 실험을 행하였던 것과는 달리 본 연구에서는 체중영역 4~14g과 체장영역 7~17cm인 미꾸리들을 대상으로 다음과 같은 연구내용을 모색하였다.

(1) 신개발 태양열 시스템이 실제로 양식에 이용되는 것을 확인하고 효율적인 열전달을 위한

최적 설계조건을 찾아내어 시스템을 제작한다.

(2) 태양열 시스템과 전기 히터열 시스템을 비교하여 태양열 의존도를 시스템에서 소모되는 전기량으로부터 열효율을 계산한다.

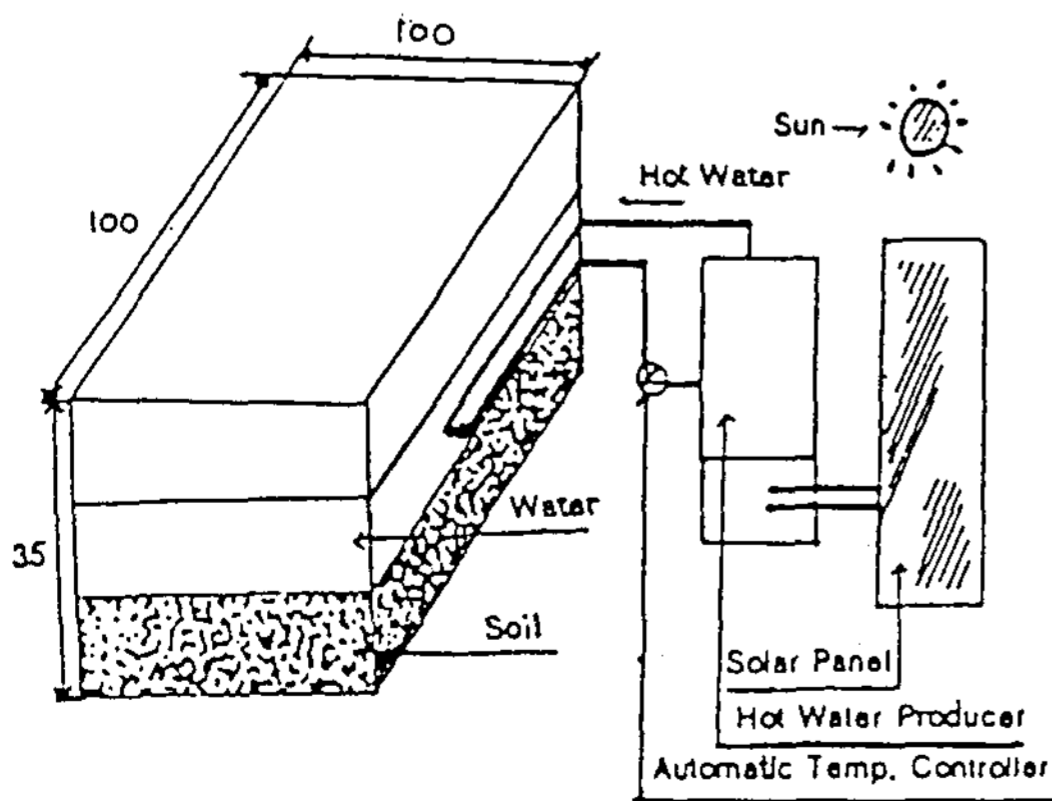
(3) 미꾸리가 최적 성장온도에서 겨울철에 얼마나 성장하는지를 알아보고 수온에 따른 미꾸리의 생태와 성장간의 관계를 관찰한다.

(4) 미꾸리의 체중과 체장에 따른 요구되어지는 최적 수온과 수심과의 관계를 알아본다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치 설계 및 제작

본 연구는 경기도 의정부 광동 여자 고등학교 과학실에 양어장을 설치하였다. 본 연구에 쓰여진 양어조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 크기 100cm×100cm×35cm인 고무수조 2개를 밀과 옆에 10cm 두께의 스티로폴로 단열했고 열손실을 최대한 줄였다. 윗쪽은 철망을 씌워 쥐 등의 접근을 방지했다.⁶⁾ 고무수조 밑면에는 약 10cm 논진흙을 넣었고 지하수를 그 위로 높이 15cm 채웠다.⁶⁾ 물갈이는 거의 이틀에 한번씩 했는데 전체 물량의 1/3정도를 윗쪽으로 떨어지게하여 미꾸리가 빠져나가지 못하도록 망을 씌웠다. 양어지의 물을



(단위 : cm)

Fig. 1 A schematic diagram of experimental fish farm.

순환되도록 aeration 장치를 하여 산소공급을 용이하게 하였다.

2. 태양열 시스템

경희대 부설 태양에너지 연구소 신개발 온수기⁴⁾는 프레온 R-12 기체의 응축과 증발열 및 압축열을 동시에 이용할 수 있는 시스템으로서 기존의 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 기울기를 설치해야 하는 까다로움을 탈피했다. 태양열 시스템 구성도는 Fig. 2에 제시하였다.

특히 프레온 기체특성에 의한 태양열 시스템은 제작설치에 많은 문제점이 있는 태양열 집열기 대신 태양열과 대기로부터 획득한 열을 흡수할 수 있는 금속 흡열판을 사용하여 유리덮개나 단열재가 필요없게 되었다. 또 제작이 간편해서 제작비가 저렴할 뿐 아니라 통풍이 잘 되는 곳이면 사방 어디서나 설치가능하므로 지면에 직각으로 부착하면 되므로 설치가 용이해져 한국과 같이 혹한기가 있는 지역에서는 적격이다.

태양열 시스템⁴⁾은 태양열 온수기의 온수를 파이프를 통과시켜 진흙 상층부에서 양어장 물에

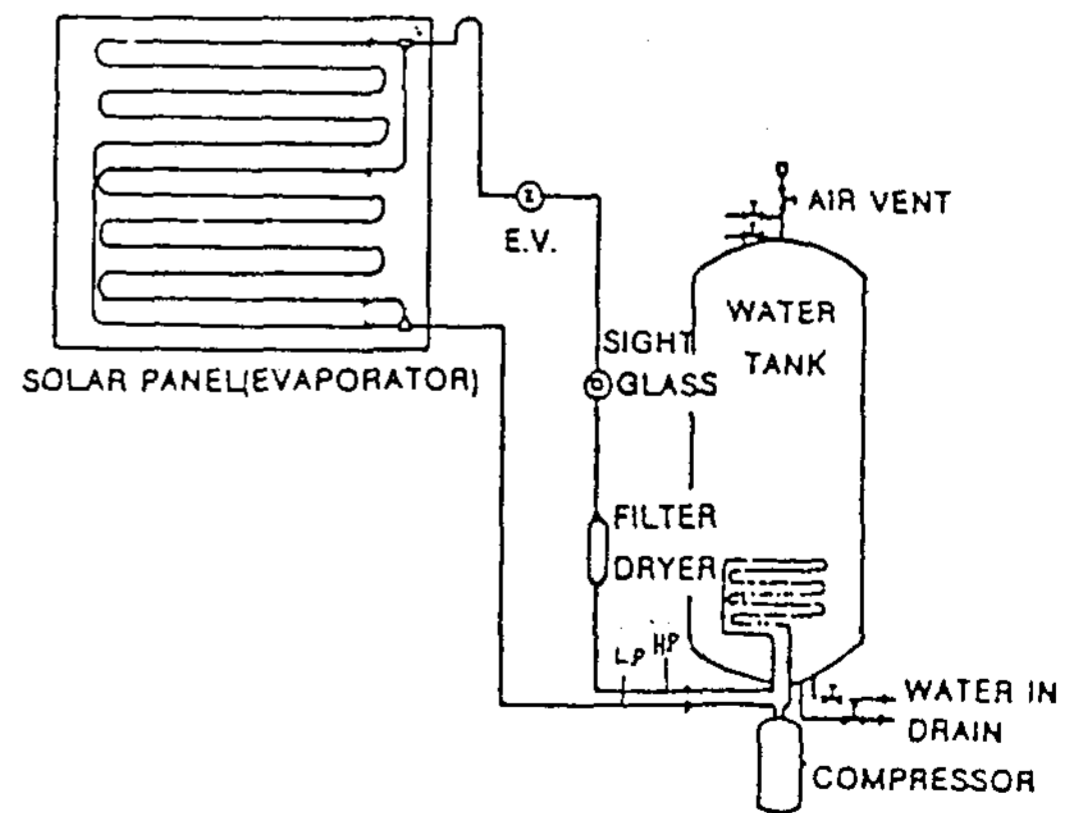


Fig. 2 A schematic diagram of experimental apparatus of newly developed system. (Produced by Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy)

열을 전달함으로써 수온을 원하는 수준으로 유지시켰다. 사용된 태양열 집열기는 라디에이터형(크기: 885mm×1,800mm)으로서 12줄의 구리관에 직각으로 530개의 알루미늄 핀을 부착시켜 태양열이 직사되면 핀전체에서 흡수되고 공기가 유통하면서 열교환되어 관내에 흐르는 유체로 전달하도록 한다. 또 온수기에 사용된 부품에는 압축기, 팽창밸부, 온수 자동 순환펌프와 축열조가 있는데 축열조는 polyurethane 단열재 50mm로 둘러싸여 있는 280ℓ용량의 원통형 구조이다.

3. 재료 및 사료

3.1 재료

시중 소매상에서 구입한 주로 미꾸리, 미꾸라지, 새코 미꾸리 등의 종류를 대상으로 실험을 행하였다. 본 연구에서는 종류를 구분하지 않고 체중이 약 4~6g인 미꾸리를 대상으로 체중에 따라 분류하여 방양하였다.

3.2 사료

쓰여진 사료는 대한 제당사의 인공사료와 잉어치어용 사료를 섞어 주었다. 미꾸리가 호흡곤란을 유발시킬 염려가 있어서 쌀겨나 분말사료를 급여하지 않았고 자가제 반죽먹이⁵⁾를 급여하였으나 먹다남은 먹이의 회수문제, 급여방법 등의 문제 때문에 시중에서 구입한 다공성 사료인 베이비 사료(세화사료 제품인 핑퐁과 취미원 제품인 맛알 동동 등)를 계속 주었다. 급여량은 수온이 15°C에서는 하루에 미꾸리의 체중이 50분의 1, 25°C전후에는 1, 30°C를 넘으면 20분의 1내지는 30분의 1정도를 줄인다. 급여량은 급이 후 1시간 쫓으면 전부 먹어 치울 정도로 하되 거의 포식에 가깝다고 생각되는 상태로 사육했다.

4. 실험방법

실험데이터는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 모든 시스템의 설계와 제작이 완료된 1991년 5월 18

일부터 1992년 5월 12일까지 약 12개월에 걸친 기간동안 측정된 값에서 약 6개월간의 데이터인 1991년 10월 15일부터 1992년 5월 12일까지의 데이터를 검토분석하였다. 태양열 시스템과 전기히터열 시스템을 각각 따로 설치하여 에너지 절약효과를 알아 낸다. 수온 및 수심의 조절은 원하는 온도에 고정해 놓으면 태양열 시스템은 자동적으로 온도측정 장치가 온수 자동순환 펌프의 작동을 멈추게 하고 전기히터 시스템은 자동적으로 전원이 off 되어진다. 오차범위 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이내에서 온도조절이 되는 장치이다. 수량은 수동으로 주수구를 통해 차가운 물의 유입이 된다. 수질분석은 수시로 물 소량을 취해 pHmeter로 측정했다. 성장도와 비만도 측정은 태양열 수조에서 미꾸리의 체장영역이 4.9~6.9g인 총개체수 41마리(205g)를 넣고 동일 체중의 개체들이 약 6개월동안 어떻게 성장하며 분포곡선을 그리는지를 보았고, 전기히터열 수조에는 미꾸리의 체중영역이 4.9~6.9g사이인 총개체수 45마리(244g)를 넣고 성장도를 조사하였다.

본 실험은 다음과 같은 실험범위 내에서 행하였다.

(1) 태양열 시스템에 의한 양식이 가능한지의 여부를 확인하고 태양열 온수기로부터 수조의 물에 효율적으로 열전달이 되는 최적 설계를 하여 양어장을 제작한다.

(2) 외기온도와 초기 수온과의 관계를 비교하고, 미꾸리의 최적 성장온도인 20~27°C까지 올리는 데 필요한 열량을 산출하고, 소모된 전기량으로부터 태양열 의존률을 계산해 낸다.

(3) 개체무게와 체장분류에 따른 최적 성장온도를 알아내고, 각 개체수와 무게 총량도 알아본다.

(4) 태양열 시스템과 전기히터열 시스템에 대한 소모 전기량으로부터 에너지 절약효과를 확인한다.

III. 결과 및 고찰

1. 개체 무게분류에 따른 각 개체수와 무게총량

태양열 수조와 전기히터열 무게분류에 의한 개체들의 각 무게총량의 변화를 Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9에 표시하였다.

무게 분류의 기준점은 구간의 중간점을 잡고 표시하였으며 실험데이터 Table 1에 나타나 있다. 두 수조 모두 시일이 경과됨에 따라 중앙점의 값들이 많아지다가 무게가 무거운 것들의 데이터가 많이 나타나는데 이것은 아마 성장속도가 느린 미꾸리들의 사망률이 높아졌기 때문인 듯 싶다. 태양열 수조는 동일한 개체들로 시작하였으나 분포영역이 넓어짐을 볼 수 있어 능력있는 개체가 더 빨리 성장함을 간접적으로 볼 수 있다.

한편 Fig. 10은 사육일수가 경과함에 따라 무게총량의 증가를 나타냈는데 태양열 수조의 것이 성장속도가 더 빠름을 볼 수 있다. 사료의 양이나 회수, 종류 등의 여러 인자들이 작용되었지만 비교적 태양열 수조의 것이 사료일수가 경과됨에 따라 점점 빨라지는 성장율을 보인다.

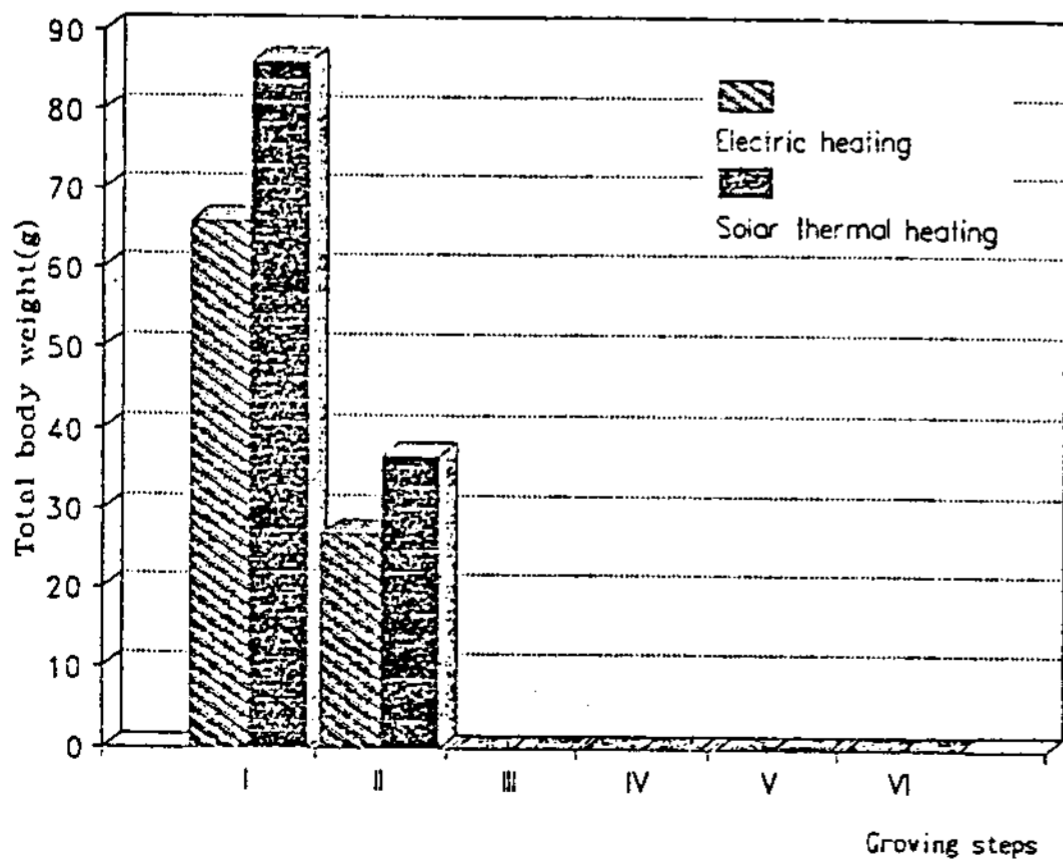


Fig. 3 Total body weights below 4.9g vs. growing steps. (40day/steps)

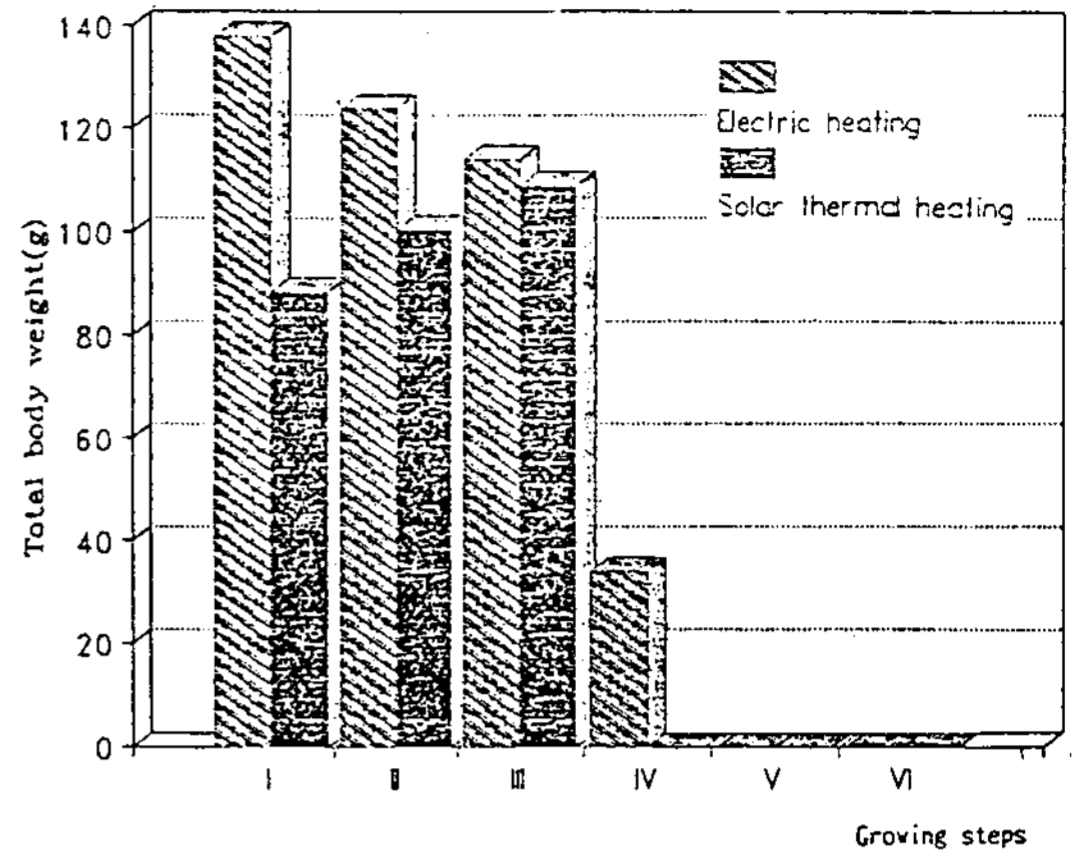


Fig. 4 Total body weights below 5.0~6.9g vs. growing steps. (40day/steps)

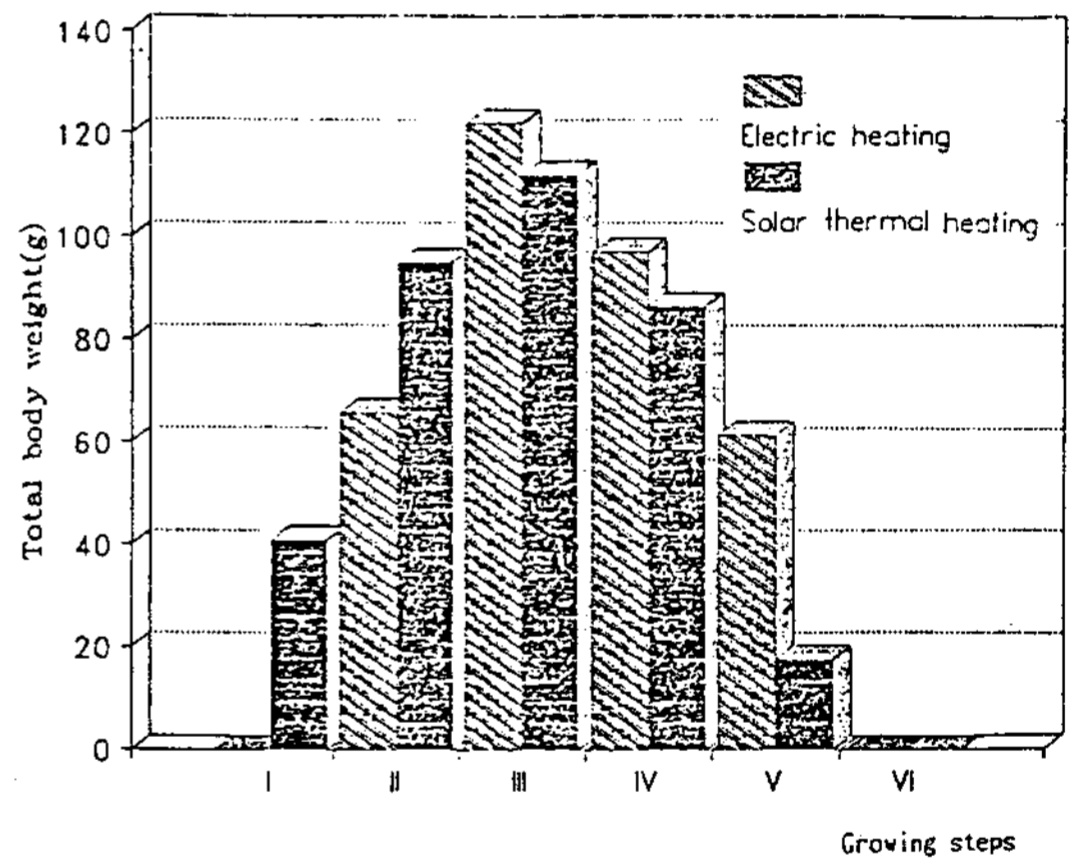


Fig. 5 Total body weights below 7.0~8.9g vs. growing steps. (40day/steps)

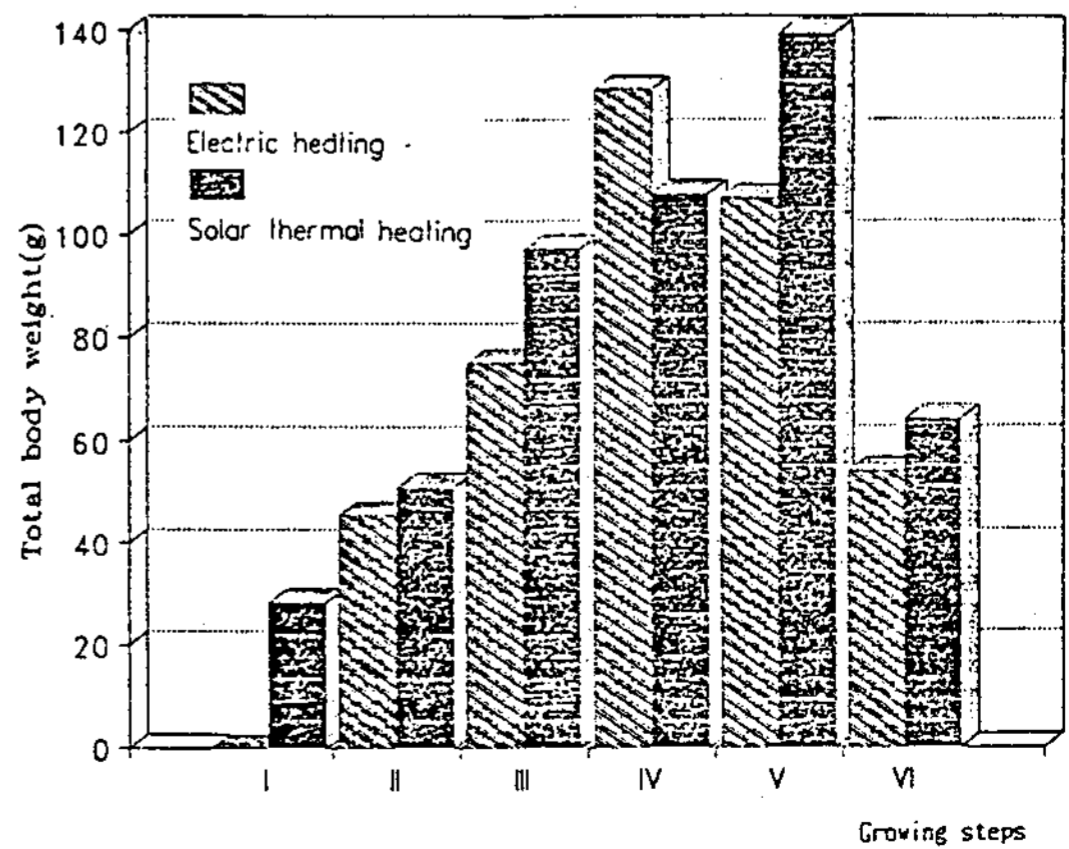


Fig. 6 Total body weights 9.0~10.9g vs. growing steps. (40day/steps)

Table 1. Total body weight and number of individuals under the classified regions.

Experiment steps	Kind of aquarium	Number of individuals	Total body weight (g)	Total body weight and number of individuals under the classified region(g)													
				4.9 below		5.0~6.9		7.0~8.9		9.0~10.9		11.0~12.9		13.0~14.9		15.0 beyond	
				No.	Total weight	No.	Total weight	No.	Total weight	No.	Total weight	No.	Total weight	No.	Total weight	No.	Total weight
Step 1 (91. 10. 15~)	Solar thermal heating	41	201	15	66.0	26	139.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Electric heating	45	244	29	86.1	17	88.4	5	41.0	3	28.5	-	-	-	-	-	
Step 2 (91. 11. 29~)	Solar thermal heating	39	262.1	6	27.0	20	124.0	8	65.6	5	45.5	-	-	-	-	-	
	Electric heating	42	306.2	8	36.8	15	100.4	12	94.8	5	51.0	2	23.2	-	-	-	
Step 3 (92. 1. 5~)	Solar thermal heating	38	310.6	-	-	17	113.9	14	121.8	7	74.9	-	-	-	-	-	
	Electric heating	42	368.9	-	-	16	108.9	13	112.0	9	97.2	4	50.8	-	-	-	
Step 4 (91. 2. 19~)	Solar thermal heating	38	384.2	-	-	5	35.0	11	96.8	12	128.4	10	125.0	-	-	-	
	Electric heating	41	424.5	-	-	-	-	12	86.4	11	107.8	8	92.8	7	91.9	3	
Step 5 (91. 3. 26~)	Solar thermal heating	37	44.26	-	-	-	-	7	61.6	10	107.0	11	140.8	9	133.2	-	
	Electric heating	39	477.5	-	-	-	-	2	17.4	14	139.5	7	79.1	9	118.8	8	
Step 6 (91. 2. 19~)	Solar thermal heating	37	521.8	-	-	-	-	-	-	5	54.0	8	101.6	13	192.4	11	
	Electric heating	39	536.8	-	-	-	-	-	-	6	64.2	9	112.0	10	145.0	14	

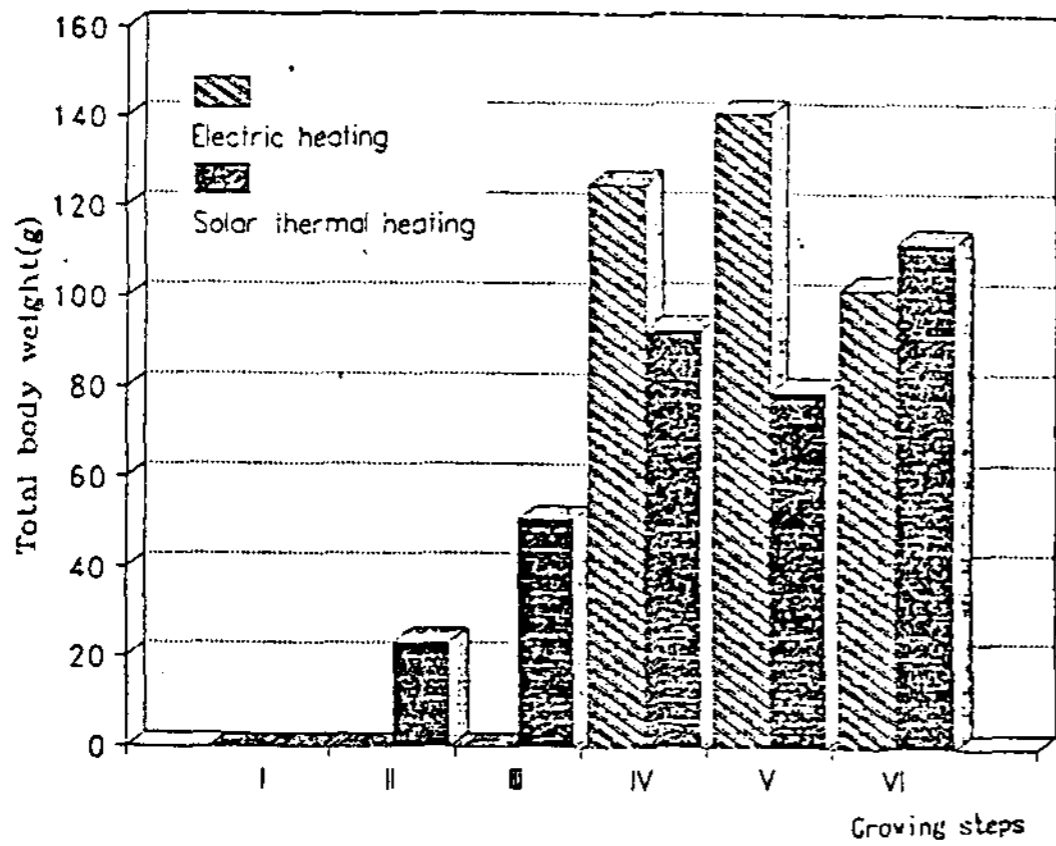


Fig. 7 Total body weights 11.0~12.9g vs. growing steps. (40day/steps)

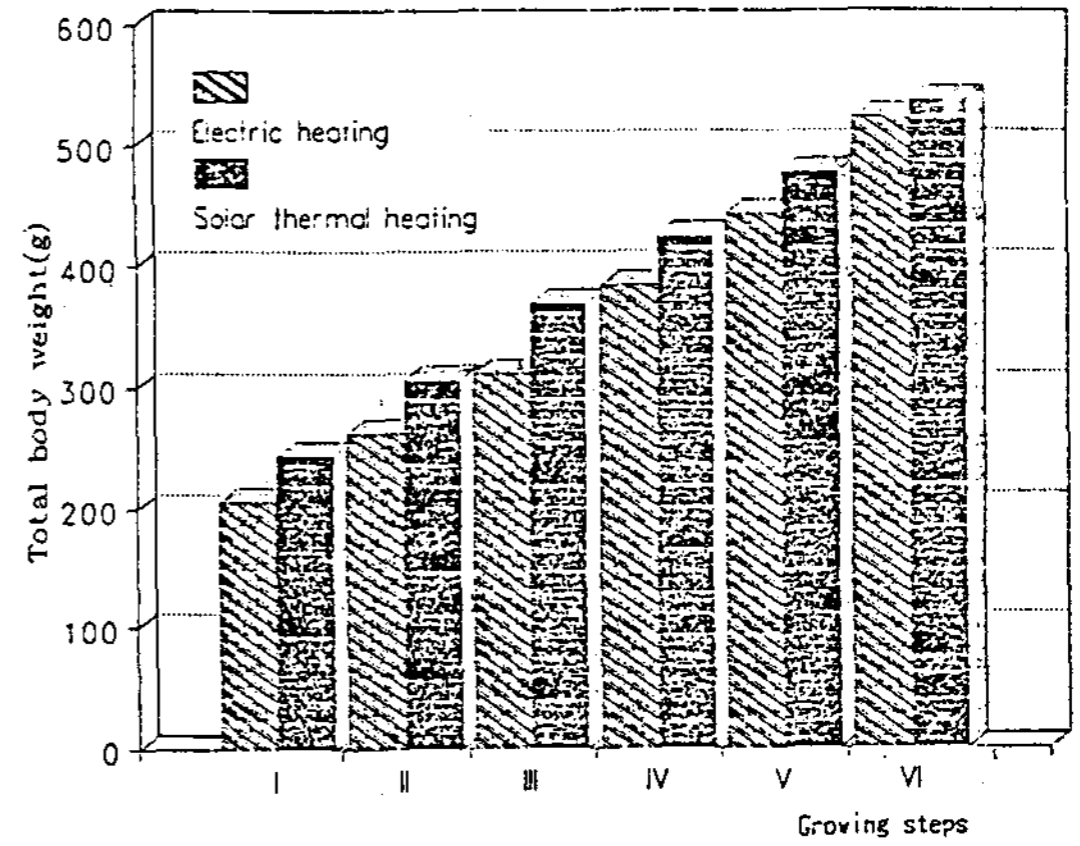


Fig. 10 Comparison of solar thermal heating with electric heating aquarium as total body weight variations during growing day.

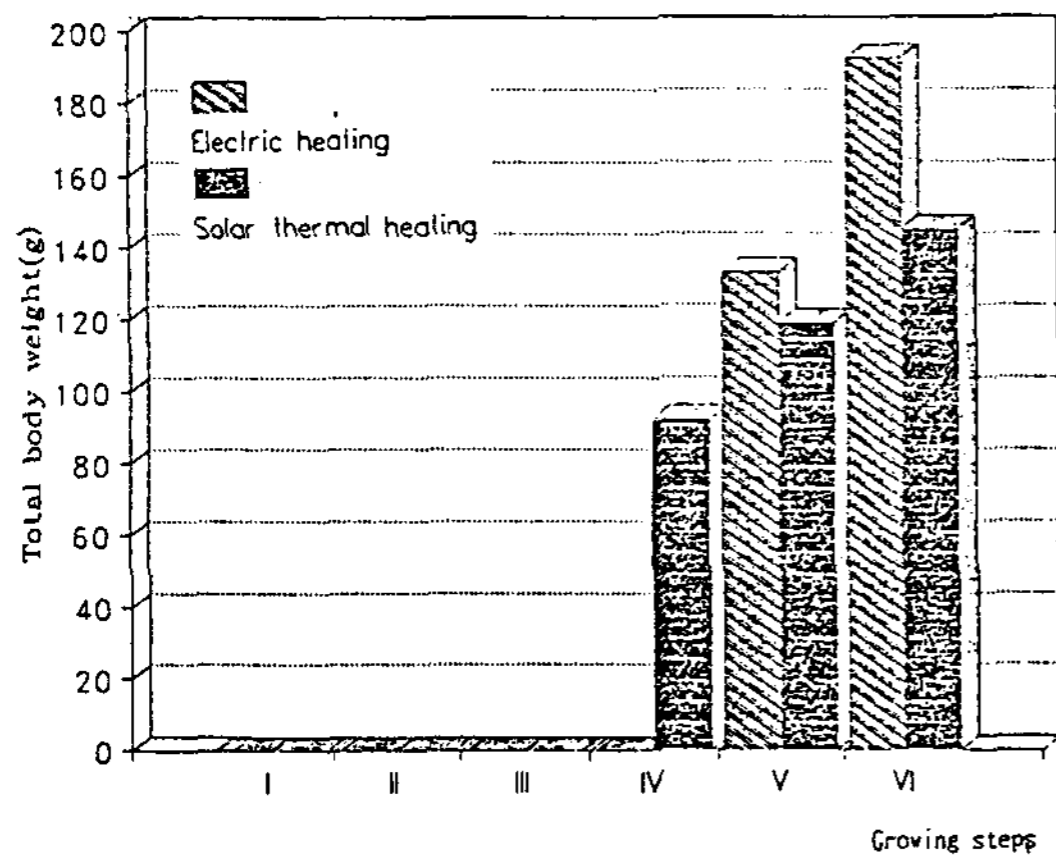


Fig. 8 Total body weights 13.0~14.9g vs. growing steps. (40day/steps)

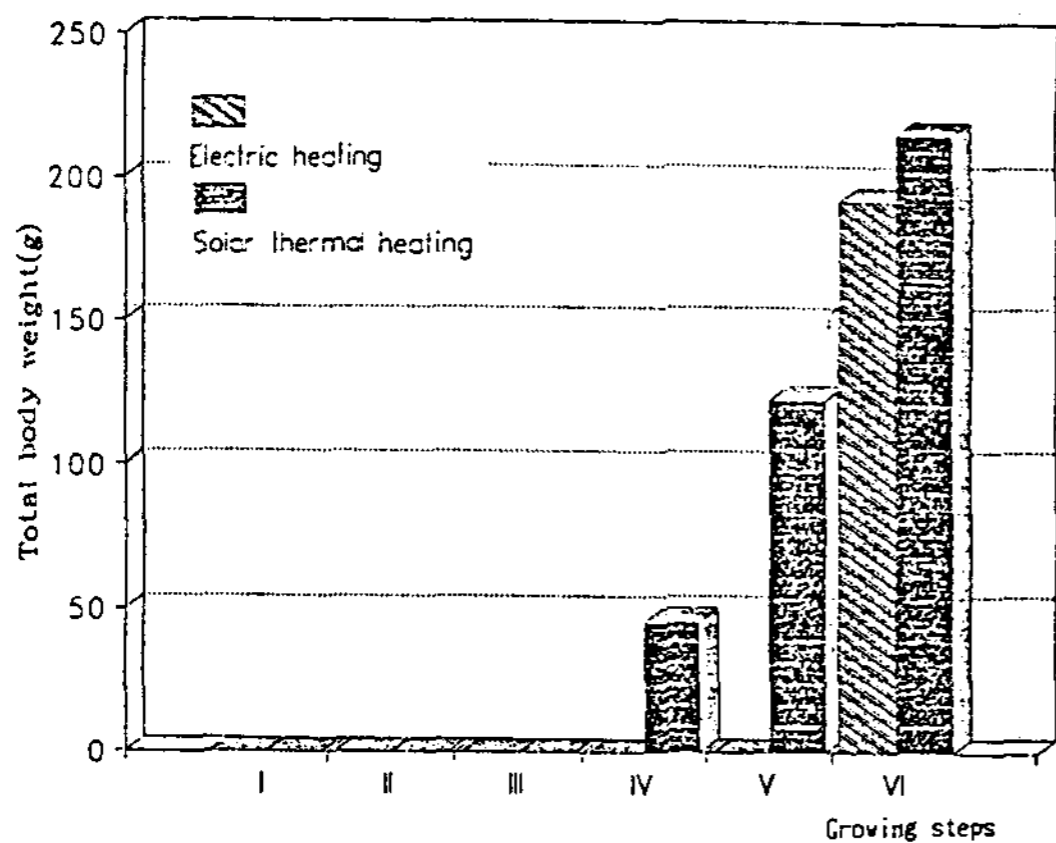


Fig. 9 Total body weights beyond 15.0g vs. growing steps. (40day/steps)

2. 체장과 체중의 성장

2.1 체장 성장

수조의 결과는 Fig. 11에 나타나 있고 사료일수의 경과에 따라 빈도 가중치를 고려한 성장범위의 폭을 수직선으로 표시했고 점으로 표시한 것은 상대적 비교에 의한 것이다.¹⁵⁾ 여기서 초기에 한 영역에만 국한된 개체들이 사육일수의 경과에 따라 다양한 분포로 존재하다가 점차 분포영역이 좁아지고 평균체장의 변화 추세는 I 구역보다 II 구역의 기울기가 급경사를 이루고 III, IV, V 구역의 기울기는 비슷하게 증가하고 있다. 전기히터열 수조와 태양열 수조의 차이는 초기의 영역 분포만 조금 다른 뿐 나중에는 거의 같은 형태를 취했다.

2.2 체장 성장

Fig. 12에 보여준 바와 같이 성장하는 기울기가 점점 상승하는 경향이고 전기히터열 수조보다 태양열 수조의 개체들이 훨씬 빠른 성장속도를 나타냄을 볼 수 있다.¹⁵⁾ 전체적인 분포영역은 초기에 시작한 값들이 다름에도 불구하고 결국에는

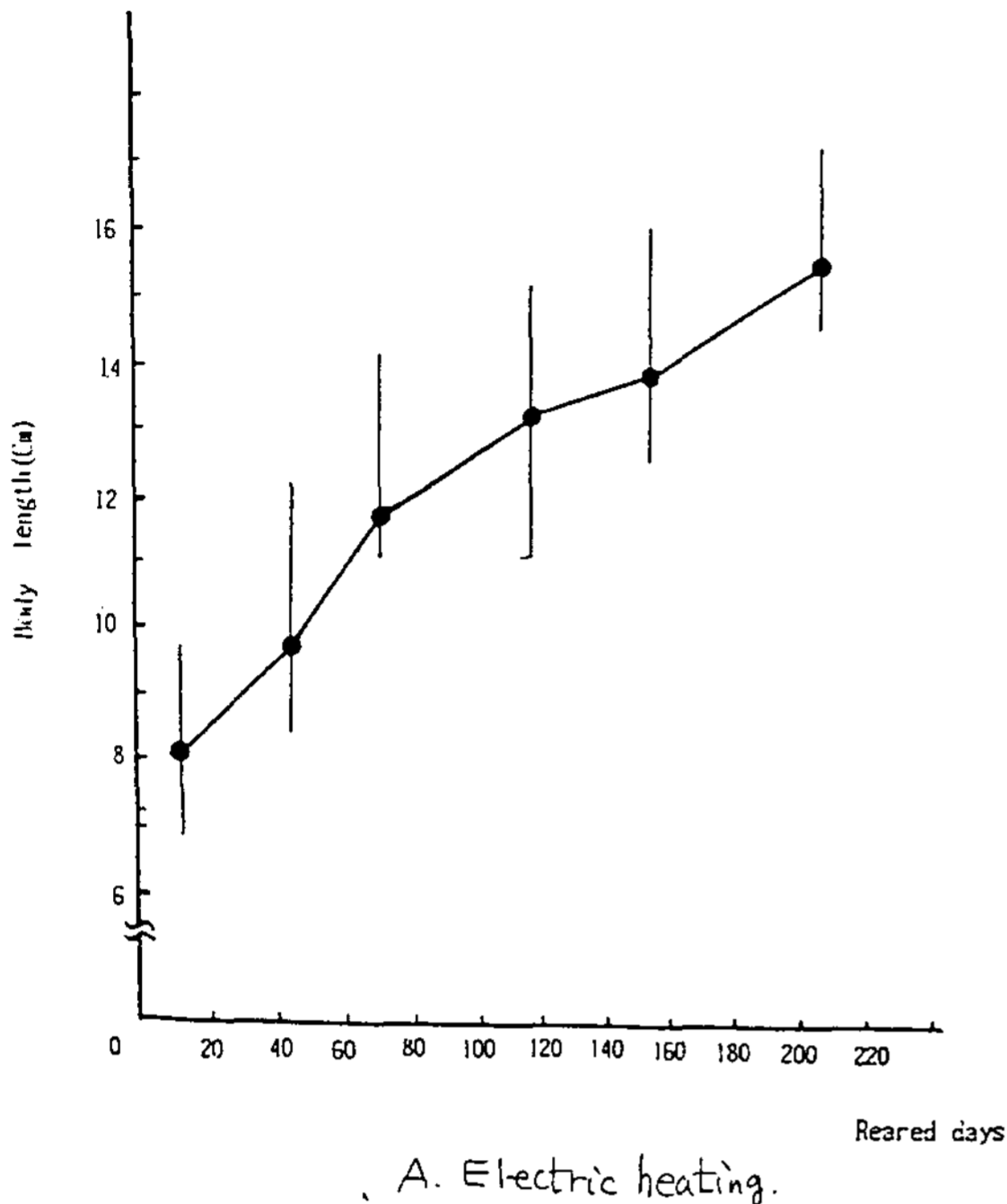


Fig. 11 Body lengths versus reared days in a aquarium, but represent average body lengths and perpendicular bars indicate the deviations.

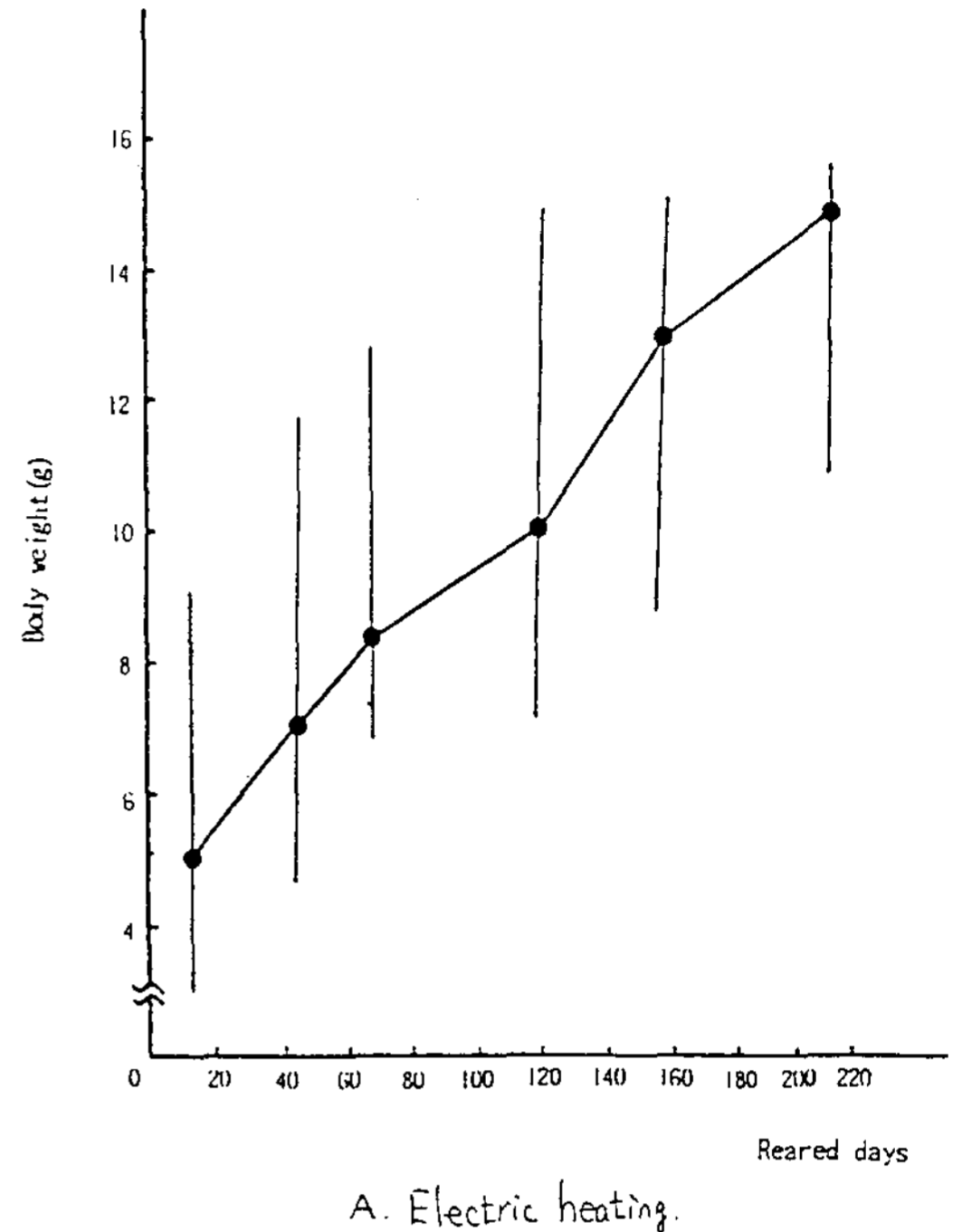


Fig. 12 Body weights versus reared days in a aquarium, but represent average body lengths and perpendicular bars indicate the deviations.

비슷한 분포를 나타내므로 빈도의 변화율은 비슷하다. 그러나 태양열 수조에서 빈도가 높은 점들의 변화는 특이하게 III, IV구역에서만 급격하게 변화함을 볼 수 있다.

2.3 체장과 체중이 비교

체장과 체중의 관계식은 $Y=aX^n$ 에 적용시켜 알아볼 수 있다. 여기서 Y : Body weight, X : Body length이다.¹⁶⁾ 여기서 관련된 그림은 Fig. 13에 그려져 있는데 전 구간에 거의 직선관계를 나타내고, 체장 11~13cm, 체중 9~12g까지의 기울기 가장 급경사를 이루며 체장 16cm이상, 체중 15g이상의 기울기는 완만하게 나타났다.

종합적으로 기존의 양식자료나 문헌에 의하면, 체중이 약 1~3g, 체장이 약 5~7cm인 영역에서는 미꾸리가 급격한 성장을 보이다가 체중이 약 3~4g, 체장이 약 7~8cm인 영역에서는 성장 속도는 둔화됨을 보였고 또 다시 체중이 8~12g, 체장이

12~14cm에서는 급격한 성장속도를 보이다가 체장이 16g 이상, 체장이 17cm이상부터는 점차 둔화됨을 볼 수 있다. 이러한 경향은 본 연구의 결과 역시 성장곡선이 전체적으로 S자형을 그리며 이것은 위에서의 문헌치와 비교하면 거의 흡사한 값들을 나타내고 있는 것이다. 결론적으로 영역을 네 부분으로 나누면, I 영역은 4.9~7.0g, 8~11cm, II 영역은 7.0~9.0g, III 영역은 9.0~12.0g, 12~15cm, V 영역은 그 이상이다.

3. 태양열 의존도

Table 2에서 보여준 바와 같이 태양열 의존도가 10, 11월과 3, 4월에 약 50~70%로서 총 획득열량 주에서 전기에너지 50% 내지 30% 정도이고 나머지 50~70%가 태양열과 대기로부터 획득한 열량으로 간주될 수 있다. 그러나 겨울철의 태양열 의존도는 대체적으로 30~40%로 낮게 나

Table 2 Consumed electric power in kcal and solar thermal fraction according to weather conditions.(The total heat to raise the aquarium water ($\Delta T=12.5^{\circ}\text{C}$) is assumed to be 39kcal)

Experiment steps	Date (month. day)	Ambient temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Water temp. ($^{\circ}\text{C}$)	consumed electric power in kcal	Solar thermal fraction in kcal	Dependence on solar thermal heating(%)
I	91. 10. 15	17.5	13.0	13.80	16.20	54.0
	10. 22	14.5	14.5	11.40	18.40	62.0
	11. 02	11.2	13.0	13.80	16.20	54.0
	11. 12	9.5	11.8	16.68	13.32	44.4
	11. 26	13.0	12.0	16.20	13.80	46.0
II	12. 06	5.0	11.5	17.28	12.72	43.0
	12. 13	-1.0	11.0	18.28	11.72	40.0
	12. 23	-4.5	10.5	19.28	10.72	36.0
III	92. 01. 07	-9.0	10.0	20.80	9.20	33.0
	01. 30	-11.2	9.5	21.28	8.72	30.0
	02. 14	-1.5	11.0	18.28	11.72	40.0
IV	02. 28	12.0	11.8	16.68	13.32	44.4
	03. 07	13.5	12.5	15.00	15.00	50.0
	03. 14	15.0	12.8	14.28	15.72	52.4
	03.20	16.0	13.0	13.80	16.20	54.0
V	04. 01	16.0	13.5	12.60	17.40	58.0
	04. 08	16.5	14.3	10.68	19.32	64.4
	04. 15	10.0	13.0	13.80	16.20	54.0
	04. 22	15.0	14.0	11.40	18.60	62.0

타냈다. 표에서 나타난 태양열 온수기에 얻은 온수열량 데이터는 양어조의 물에 100% 열전달이 되고 완전히 양어조를 단열했다고 가정하고 계산 것이다. 양어조의 단면적을 1m^2 으로 보고 수심을 20cm로 조절할 때의 물용량 0.2ℓ 로 고정한다. 이 물량이 하루에 12시간동안 미꾸리의 성장을 최적수온 약 $21\sim 27^{\circ}\text{C}$ 을 유지한다고 가정하면 물 2.4ℓ 를 온도변화 12.5°C 상승시키는데 필요한 열량인 30kcal에서 사용된 전기량을 kcal단위로 환산해서 삭감해 주면 집열기 시스템이 태양열과 대기로부터 획득한 열량이 산출된다.

4. 수온, 체중 및 체장과의 관계

Table 1와 4에서 나타난 것처럼 실험단계(여

섯단계)마다 얻어진 데이터를 종합 분석한 결과 성장도와 비만도를 계산하고 그 다음 실험단계의 수온과 수심을 결정하여 양어조의 환경을 재조성하였다. 환경변화를 달리한 조건에서 미꾸리의 성장도와 비만도를 측정된 결과 Table 4에서 보면 최종 실험측정 단계에서 비만도가 14.8과 13.0의 매우 좋은 데이터를 얻었다. 또 다섯번째의 비만도 측정 데이터가 급격하게 낮아진 이유는 너무 높은 수온(약 30°C)을 제공했기 때문이다. 결국 세번째의 측정 비만도 데이터가 최고 기점으로 하강하는 것으로 보아 표 1에서의 데이터에 의하면 주로 체중 $5\sim 8\text{g}$ 과 체장 $6\sim 10\text{cm}$ 의 미꾸리들이 약 $23\sim 27^{\circ}\text{C}$ 범위의 수온의 조성하에서 성장속도가 빠름을 알 수 있었다. 이상과 같은 종합분석에 의하여 Table 3과 같이 정리한 것이다.

Table 3을 보면 미꾸리 체중과 체장에 따라 최적 성장 수온이 다르게 요구되어짐을 알 수

Table 3 Water temperature of the aquarium versus body length and body weight

Water temp. (°C)	Body length (cm)	Body weight (g)
21 ~ 23	7 ~ 9	4 ~ 6
23 ~ 25	9 ~ 11	6 ~ 8
25 ~ 27	11 ~ 13	8 ~ 10
27 ~ 29	13 ~ 15	10 ~ 12
29 ~ 31	15 ~ 17	12 ~ 14

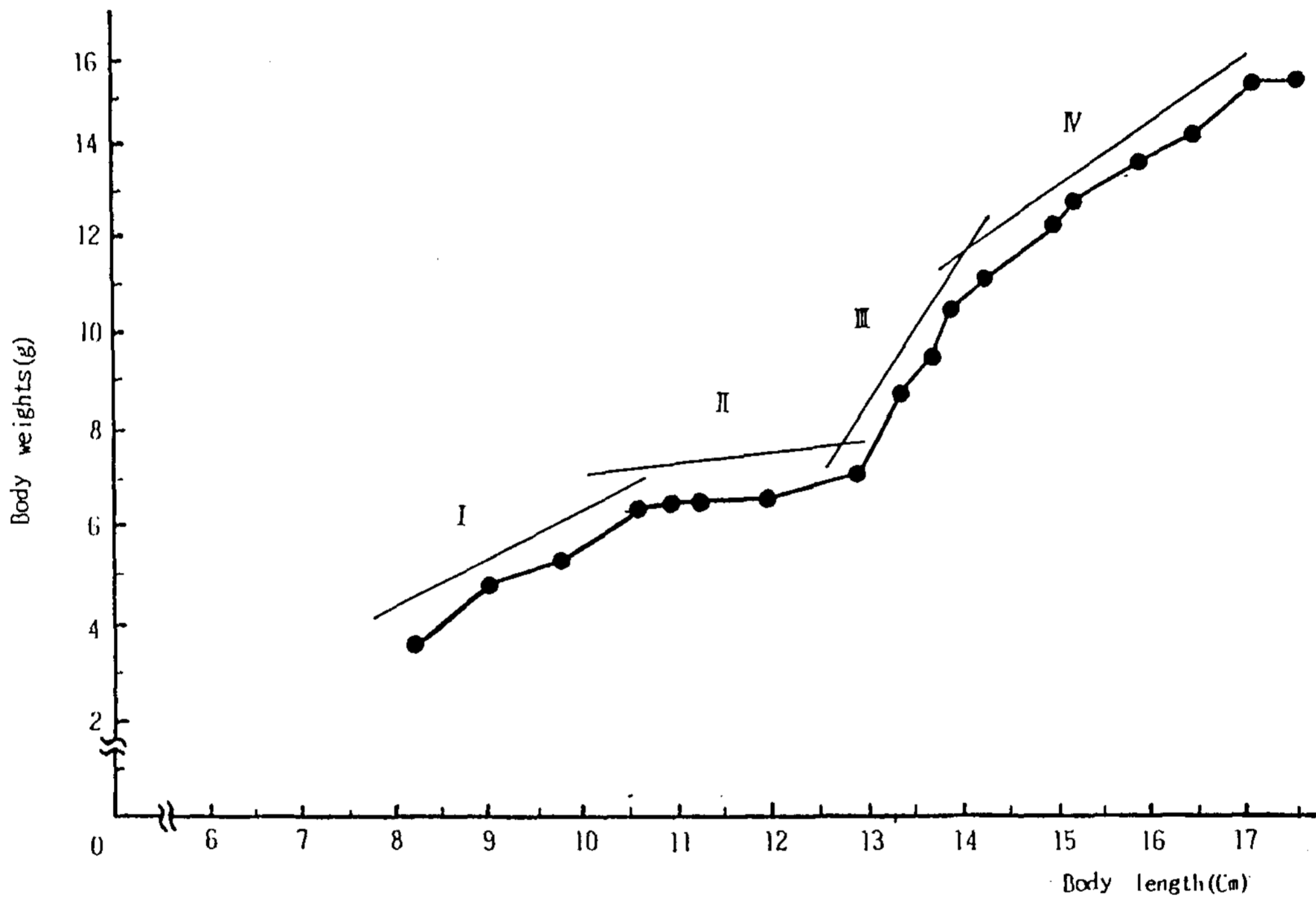


Fig. 13 Body weights versus body lengths,

있었다. 무거운 미꾸리일수록 가벼운 것보다 성장을 위한 최적수온이 더 높게 나타났다.

5. 성장 및 비만도 측정

Fig. 13에서 보는 바와 같이 체장이 8~12g, 체장이 12~14cm인 미꾸리는 급격한 성장속도를 보이다가 체중이 16g이상, 체중이 17cm 이상부터는 점차 둔화됨을 볼 수 있다.

Table 4에서 보여준 바와 같이 사료효율은 급이한 사료의 몇 퍼센트가 미꾸리의 비후에 도움이

되었는가를 나타내는 것^{5),12)}으로 다음과 같이 계산해 보면 태양열에서는 60.6%, 60.3%, 61.3%이고 전기히터열에서는 56.4%, 62.7%, 48.3%, 44.9%였다. 증육계수¹²⁾는 늘어난 양의 몇 배의 사료를 미꾸리에 주었는가를 나타내는 것으로 계수가 1.7, 1.8로 처음에는 상당히 좋은 결과를 얻었으나 다섯번째 측정할 때 전기열수조가 2.2로 조금 높은 계수를 보였다. 생존률은 잡아올렸을 때의 마리수를 방양시 마리수로 나누어 100을 곱한다. 결과는 대체적으로 약 7개월동안 95~100%를 유지했다. 비만도는 최적이 10~13 정도인데 6~10의 값들도 있지만 대체적으로 12~14로서 비

Table 4. Food efficiency and actual yield.

Experiment steps	Kind of aquarium	Dead fish		Yield		the released		Food weight (g)	Food efficiency (%)	Coeff. of food efficiency (%)	Actual production (%)	Fatness
		No.	Weight (g)	No.	Weight (g)	No.	Weight (g)					
I	Solar thermal heating	-	-	-	-	41	205.0	-	-	-	-	-
	Electric heating	-	-	-	-	45	244.0	-	-	-	-	-
II	Solar thermal heating	2	9.6	39	262.1	41	205.0	110	60.6	1.7	95.1	6.5
	Electric heating	3	11.1	42	306.2	45	244.0	130	56.4	1.8	93.3	6.4
III	Solar thermal heating	1	5.8	38	310.6	39	262.1	90	60.3	1.7	97.4	14.5
	Electric heating	-	-	42	368.9	42	306.2	100	62.7	1.6	100	12.6
IV	Solar thermal heating	-	-	38	384.2	38	310.6	120	61.3	1.6	100	13.6
	Electric heating	1	7.2	41	424.5	42	368.9	130	48.3	2.0	97.6	10.7
V	Solar thermal heating	1	7.5	37	442.6	38	384.2	120	54.9	1.8	97.4	7.2
	Electric heating	2	14.4	39	477.5	41	424.5	150	44.9	2.2	95.1	6.8
VI	Solar thermal heating	-	-	37	521.8	37	442.6	100	79.2	1.3	100	14.8
	Electric heating	-	-	39	536.8	39	477.5	90	65.9	1.5	100	13.0

만도가 높게 나타났고 마지막 측정에서는 태양 열의 경우 14.8, 전기열의 경우 13.0으로 매우 좋은 데이터를 얻었다.

5. 수질분석

pH 산도는 6.7~7.4⁵⁾가 적당하며 물이 썩으면 산도가 높아지므로 수질변화 척도를 맞추어 주는 것이 좋으므로 수시로 물갈이를 하여주고, 양어장의 물 소량을 취해 pH를 측정한다.¹³⁾ 본 실험에 사용된 지하수는 7.3으로 약알카리성이었다. 그러나 시간이 경과됨에 따라 중성 혹은 약산성으로 변함으로써 최적의 성장조건으로서의 진흙의 산도는 pH 6.5이었다.²⁾ 한편 COD는 4.2ppm이고 BOD는 방출수의 경우 5.04ppm으로 비교적 오염되지 않은 수질이였다. 그러나 물갈이를 제때에 하지 않으면 물색깔이 진갈색으로 변하거나 탁해지고, 산소공급 장치를 시동하지 않으면 이 수치들이 커짐을 보게 된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 실용화된 경희대 부설 태양에너지 연구소의 신개발 태양열 온수기로부터 얻은 온수를 이용하여 수온이 낮은 3, 4, 10, 11월 중에는 물론 한 겨울철에도 미꾸리 최적 성장온도를 유지시켰던 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 성장을 위한 최적수온은 평균적으로 체장이 7~9cm이며 체중이 4~6g 정도의 미꾸리는 21~23°C이고 체장이 6~8g인 미꾸리는 23~25°C이고 체장이 11~13cm이며 체중이 8~10g인 미꾸리는 25~27°C이었다.

(2) 평균적으로 체중이 5~10g이며 체장이 8~13cm인 미꾸리의 성장속도가 가장 빠르며, 체중이 15g 이상이 되면 성장의 둔화를 보였다.

(3) 총 개체수(41~45마리)의 목총량은 1개월 간에 50~80g 정도 증가하였고, 이런 증가속도를 계속 유지한다면 4개월만에 약 체중 6g의 미꾸리가 경제성이 우수한 체중이 15g인 미꾸리로 성장될 수 있음을 확인했다.

후 기

이 연구가 의정부시 광동여고의 과학실습 연구비에 의해 수행되었음을 감사하게 생각하고 본 실험장치 제작 및 제공 등에 많은 도움을 주신 경희대학교 부설 태양에너지 연구소에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 오성출판사 편집부편, "최신 미꾸라지 양식", 오성출판사, pp.36~110, 1985.
2. 강수원, "최신 담수어학", 선진문화사, pp. 337~338, 1989.
3. 국립 수산 진흥원, "미꾸리 양식", 국립 수산 기술 훈련원, pp.16~76, 1972.
4. 정현채 외, "태양열과 프레온 기체 압축열 복합온수기 개발", 태양에너지, Vol.10, No.2, pp.18~27, 1990.
5. 내수면 어업연구소편, "미꾸라지, 송어(뱀장어)", 내외출판사, pp.56~235, 1989.
6. 정현채, 신경호, 조재선, 남상열, "태양에너지를 이용한 겨울철 미꾸라지 성장에 관한 연구", 태양에너지, Vol.11, No.3, pp.31~36, 1991.
7. 이완옥, "백천에 서식하는 참종개(*Cobitis koreensis* KIM) 개체군의 형태 및 생태에 관한 연구", 전북대 석사논문, p.10, 1984.
8. 전상린, "한국산 담수어의 분포에 관하여", 중앙대 박사논문, pp.13~57, 1980.
9. 나대성, "미꾸리의 영양학적 연구", 전남대의대논문(소아과 제17권 제3호)
10. 김익수, "한국산 기름종개속 어류의 계통 분류학적 연구", 중앙대 박사논문, pp.23~24, 1980.
11. 정재석, "수수미꾸리 (*Niwaella multifasciata* (QAKKIUA et MORI))의 형태와 생태에 관한 연구", 전북대 석사논문, pp.1~19, 1986.
12. 주간 새마을사 편집부, "미꾸라지 양식의 비결", 주간 새마을사, pp.20~85, 1973.
13. 의정부 농촌지도소편, "미꾸라지 양식교재",

- pp.15~15, 1989.
14. E. P. Odum, Fundamentals of Ecology(Third Ed.), W. B. SAUNDERS, Co., U. S. A., pp. 179~183, 1971.
 15. 이관순, “뱀장어, Auguilla Japonica, 이석에 나타나는 하루주기 성장선과 초기 성장”, 충남대 석사논문, pp.14~19, 1985.
 16. 한선자, “실내사육에 의한 각시붕어(Pseuoperilampus uyetil(MORI))의 생활환에 관한 연구”, 부산대 석사논문, pp.28~36, 1984.

investigated. As a result, the best location of the heat source to make the active heat transfer is 0.075[m] from the left wall on the floor. The trends observed are also discussed in terms of heat removal from practical systems such as electric circuitry.

The R&D of hot water production by the combination of solar thermal and a large-sized flower cooling system(I)

Jung, Hyun Chai · Kim, Ki Sun · Sun, Kyung Ho

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy

Solar assisted heat pump with freon circulating system has been developed. Revising the cool chamber (flower storage) with the solar thermal hot water producing system, the more amount of hot water can be produced, which can be even used for room panel heating. The compressor was cooled by water jacket instead of air cooled so that the system energy efficiency was improved quite well.

Misgurnus anguillicaudatus(CANTOR) Breeding in Winter Season by Solar Thermal Heating(II)

Hyun-Chai Jung* · Kyung-Ho Sun* · Yong-Sun Paek**

**Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy*

***Teacher, High school of Kwang Dong, Kyung-Gi Do*

The optimum water temperature was maintained for *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) in winter season by solar thermal heating. The optimum temperature ranges for the *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) were experimentally estimated, i. e. for the body length 7~9cm and body weight 4~6g, the optimum temperature range was 21~23°C.

For the body length 9~11cm and body weight 6~8g, it was 23~25°C, And for the body length 11~13cm and body weight 8~10g, it was 25~27°C. The *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) with the body weight 5~10g and body length 8~15cm grew relatively fast but the bigger ones with body weight above 15g, grew relatively slow and total average weight increment was about 50~80g per month.

An experimental study on solidification of binary mix-ture

Han-Sung Cho* · Hie-Tak Choi* · Jai-Suk Yoo**

**Graduate School, Ajou University*

***Department of Mechanical Engineering, Ajou University*