

뱀장어(*Anguilla japonica*) 적정 사육관리를 위한 양식기술 현황

손맹현* · 김강웅¹ · 김경덕¹ · 김신권²

국립수산과학원 양식관리과, ¹사료연구센터, ²전략연구단

State of Aquaculture Management for Optimal Rearing of Eel *Anguilla japonica*

Maeng Hyun Son*, Kang-Woong Kim¹, Kyoung-Duck Kim¹ and Shin-Kwon Kim²

Aquaculture Management Division, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea

¹Aquafeed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute,
Pohang 791-923, Korea

²New Strategy Research Center, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea

This study was conducted to investigate the production, elver stocking, rearing facilities and rearing method of eel culture to determine aquaculture management conditions for optimal rearing of eel *Anguilla japonica*. The production of eel culture was evaluated by the proportion of eels from the main inland fin fish species production in Korea. Elver stocking was assessed by the elver stocking densities of pond and recirculation culture. Rearing facilities were investigated according to the rearing tank size proportion of the pond and recirculation culture. We selected sample farms by region and by size. We visited sample farms and recorded the number of elvers stock for pond area, size of tanks, feed and feed quantity, and the size and number of harvest eels. The production capacity of Jeollanam-do and Jeollabuk-do were 71.9% and 21.3% respectively. This production quantity represented 93.2% of the total Korean eel production quantity. In Jeollanam-do, there are 236 eel farms, 202 pond farms, and 34 recirculation aquaculture facilities. The elvers' first density data by each aquaculture method revealed that elvers' first density varied more in recirculation system farms, as compared to pond aquaculture. In intensive pond farms, the elvers' first density decreased as the size of farm increased. There was a correlation between the size of tank(x) and the facility of a water wheel for dissolved oxygen in pond culture systems($y=0.022x-0.494$; $R^2=0.860$). Another strong correlation was found between the weight of eel(x) and eel density(y) in pond culture systems($y=283.5x-0.27$; $R^2=0.992$). Finally, there was a strong correlation between the length of eel(x) and the weight of eel(y) in intensive pond culture($y=0.0005x-3.2783$; $R^2=0.9775$). The final survival rate did not differ significantly among pond sizes and culture types.

Key words: Eel, *Anguilla japonica*, Stocking density, Rearing system

서 론

우리나라 수산업의 생산 동향을 살펴보면, 일반 해면어업 생산량은 2000년에 1,189천 톤에서 2009년에 1,227천 톤으로 거의 정체 현상을 보이고 있으나, 천해양식어업 생산량은 2000년 653천 톤에서 매년 지속적인 증가를 보여 2009년에 1,313천 톤으로 2배 가량 증가하였다(MIFFAFF, 2010). 이는 최근 우리나라의 수산물에 대한 수요는 확대되고 있으나, 해양환경 오염과 수산자원 남획 등으로 어업 생산량이 정체됨에 따라 양식 생산량에 대한 의존도가 점차 높아지고 있다는 것을 나타낸다. 이러한

양식 생산량은 천해 양식과 내수면 양식에서 지속적인 생산량 증가를 보이고 있으며, 그 중에서도 특히 뱀장어 양식 생산량의 증가 현상이 두드러지고 있다.

뱀장어는 극동아시아에서 가장 큰 잠재력을 가지고 있는 양식어종으로 (Liao, 2001), 뱀장어목(Anguilliformes) 어류 중에서 극동산 뱀장어(*Anguilla japonica*)와 유럽산 뱀장어(*Anguilla anguilla*)는 극동 아시아(일본, 대만, 중국 및 한국)와 유럽(주로 이탈리아와 네덜란드)의 양식 산업에서 차지하는 비중이 매우 높고(Liao, 2002). 뱀장어 양식은 이탈리아에서 시작하여 일본에서 기술 집약적 양식으로 발전한 후, 현재는 중국, 대만 및 일본 등 아시아 지역에서 주로 양식이 이루어지고 있으며, 서로 경

*Corresponding author: hyu782@nfrdi.go.kr(Tel. 051-051-2410)

쟁관계에 있다(Lee et al., 2003).

우리나라 뱀장어 양식역사를 살펴보면, 1970년대 초반까지 주로 연안에 부상하는 실뱀장어를 포획하여 평균중량 약 2 g 까지 성장시켜 중간종묘로서 일본이나 대만으로 수출하다가, 1970년대 후반에 들어와서 실내 순환여과 사육시스템으로 성장시험을 수행하였다(Kim et al., 1977). 뱀장어 양식업의 구조를 보면 1970년대까지 종묘의 중간육성 산업에 불과하던 것이 1980년대에 들어와서 국민소득의 향상과 더불어 양질의 고단백질 수요가 급증함에 따라 뱀장어 양식 선진 국가인 일본으로부터 양식 기술이 도입되어 점차 양산체제를 구축하게 되었다. 1990년대에 들어서는 중간 종묘생산 단계에서 지수식 양식 방법에 의한 성만 생산체제로 탈바꿈하게 되었고 2000년대 들어와서는 실용적인 순환여과식 시스템의 도입과 유럽산 뱀장어를 대상으로 시험양식을 실시하게 되었다.

일반적으로 뱀장어는 자연 상태에서 수온 10-25℃에서 서식하지만, 양식장에서는 빠른 성장을 위하여 비교적 고온인 수온 22-28℃에서 사육이 가능하다고 보고되었다(Seymour, 1989; Heinsbroek, 1991; Ingram et al., 2001). 그러나 양식용 뱀장어 종묘는 아직까지 인공 번식을 통해 생산된 실뱀장어를 종묘로 이용하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 자연으로부터 포획한 실뱀장어를 이용하고 있으나 자연산 실뱀장어는 매년 포획량이 일정하지 않고 집약적 포획에 의한 자원고갈 등으로 자원량이 감소하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 인공종묘생산에 관한 많은 연구들이 일본(Yamamoto and Yamauchi, 1974; Tanaka et al., 2001) 및 대만(Liao and Chang, 2001; Chang et al., 2003, 2004) 등에서 진행되고 있는데 특히 일본에서는 자성화한 암컷에서 부화자어 생산 후, 실뱀장어로의 변태에 성공하여 전장이 60 cm인 뱀장어로 성장시켰다고 보고되었다(Tanaka, 2003). 또한 국내에서도 인공종묘생산을 위한 인공성성숙 및 번식에 관한 연구가 본격적으로 이루어지고 있다(Bae et al., 2007; Kim et al., 2007; Kim et al., 2009).

우리나라 뱀장어 양식업은 최근 들어 실뱀장어 채포량 감소와 국제 원자재의 가격 상승으로 사료비, 유류비 및 자재비가 증가되고 있으며 인력난과 인건비 상승으로 양식비용이 증가하고 있는 실정으로 양식경영에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 본 연구는 국내 뱀장어 양식 여건과 환경 변화에 보다 능동적으로 대처함으로써 안정적으로 뱀장어를 생산하기 위한 체계적인 양식 방법과 기술을 제시하는데 그 목적이 있다. 따라서 전국 양만 양식 양식장 현황 및 기존 문헌자료를 바탕으로 우리나라에 적합한 뱀장어 양식기술 방법을 찾기 위해 적정 종묘 입식량, 사육시설 규모 및 양성 관리방법 등을 조사하여 분석하였다.

재료 및 방법

조사방법

본 연구는 2007년부터 2008년까지 2년간에 걸쳐 우리나라 뱀장어 양식 방법과 사육기술 현황을 파악하고자 현장조사 대상

지역을 다음과 같은 방법으로 선정하였다. 우선 우리나라 뱀장어 양식 현황 자료를 수집한 후 이를 기초로 하여, 뱀장어 주요 양식생산 지역인 전남은 영광, 함평, 나주, 화순, 강진, 장흥, 영암 및 전남기타지역, 전북은 고창, 순창, 정읍 및 전북기타지역, 충남은 논산, 부여 및 연기지역, 경남은 밀양과 창녕지역, 경기도는 김포지역으로 나누어 조사하였다. 현황 조사는 각 지역을 직접 방문하여 종묘입식, 사육시설 및 양성현황에 대해 현장조사를 실시하였다.

조사방법은 본 연구진이 뱀장어 양식장의 생산자 대표 또는 현장 소장을 대상으로 직접 면담을 실시하여 양식장 사육수면적당 종묘입식량, 사육수조 크기와 수차마력수, 사료종류, 공급량, 출하크기 및 출하량 등을 조사하였다.

지수식과 순환여과식 뱀장어 양식장의 조사 장소로서 전체 대상 양식장중 지수식 48개소, 순환여과식 11개소의 표본 양식장을 선정하여 조사를 수행하였으며, 양식장의 규모는 수면적을 기준으로 소규모는 2,000 m², 중규모는 4,000 m², 대규모는 8,000 m²로 나누어 양식장 규모의 기준을 설정하였다.

각각의 양식장을 조사한 결과를 취합한 후, 뱀장어 사육수면적과 수차마력수와 관계, 사육수조 크기와 입식밀도, 전장과 중량과의 상관관계, 중량에 따른 일간사료공급량 변화, 사육일수에 따른 체중 변화를 조사, 분석하였으며, 각 양식장에서 실시하고 있는 양식방법 간의 차이를 비교 분석하여 가장 생산성이 높은 양식방법을 제시하고자 하였다.

결과 및 고찰

뱀장어양식 생산량 및 지역

우리나라 주요 내수면 양식어종 중에서 뱀장어가 차지하는 비중을 알아보기 위해 내수면 양식어종별로 생산량과 생산액을 조사하였다(Table 1). 2009년도 내수면양식 총생산량과 총생산액은 각각 25,718톤과 2,470억 원 이었으며, 이 중에서 뱀장어 생산량과 생산액은 각각 6,766톤과 1,420억 원으로 전체 생산량과 생산액의 26.3%와 57.5%를 차지하고 있어 내수면 양식품종 중에서 가장 많은 생산량과 생산액을 차지하고 있다.

2007년도 우리나라 시도별 뱀장어 생산량 비율을 산정하면 전라남도와 전라북도가 각각 71.9%와 21.3%로 전체의 93.2%를 차지하고 있다(Fig. 1). 그 중에서도 양식 생산량이 가장 많은 전라남도의 시군별 뱀장어 양식장 분포 현황을 살펴보면, 전라남도에 총 236개의 양식장이 있으며 그 중 지수식 양식장이 202개로 86%를 차지하고 있고 순환여과식 양식장이 34개로 14%를 차지하고 있다. 지수식 양식장은 영광지역에 43개로 가장 많으며, 그 다음에 함평지역에 31개가 있다. 순환여과식 양식장은 함평지역에 12개가 있으며, 그 다음으로 영광지역에 6개가 있다. 그리고 전남지역의 뱀장어 양식장의 사육수면적은 총 866,878 m²이며, 그 중 영광지역이 151,427 m²로 가장 많고, 그 다음이 나주지역으로 149,826 m²이다(Table 2). 이와 같이 전남 지역에서 뱀장어 양식장이 많은 것은 뱀장어 양식에 있어 가장

Table 1. The production and price of inland finfish aquaculture in Korea

		Years					
		2000	2001	2003	2005	2007	2009
Fish species							
Eel	Amount	2,739	2,661	4,332	5,810	10,597	6,766
	Price	36,284	32,406	50,090	88,946	134,616	141,976
Catfish	Amount	2,966	2,669	1,708	2,575	2,266	3,869
	Price	10,534	7,162	5,695	6,953	9,184	12,455
Trout	Amount	2,808	2,834	3,521	3,320	2,882	2,737
	Price	14,695	12,173	16,099	17,418	14,680	21,420
Crucian carp	Amount	2,432	2,065	1,107	1,321	1,495	2,636
	Price	9,597	8,364	5,666	6,500	7,010	12,674
Common carp	Amount	1,716	1,325	1,137	1,640	1,094	2,001
	Price	6,648	4,746	4,000	6,164	4,757	7,815
Israel carp	Amount	1,838	1,222	920	975	800	930
	Price	7,643	4,590	3,148	3,860	3,298	4,692
Loach	Amount	644	644	974	1,953	798	506
	Price	3,463	3,253	4,500	8,648	4,956	3,752
Tilapia	Amount	788	609	717	268	325	336
	Price	4,037	2,309	2,484	1,290	1,482	1,788
Mullet	Amount	343	472	543	1,002	331	1,171
	Price	1,303	1,910	1,430	2,341	855	3,112
Others	Amount	3,342	2,431	2,440	2,896	2,836	4,766
	Price	17,355	15,593	14,878	19,371	23,284	37,068
Total	Amount	19,616	16,932	17,399	21,760	23,424	25,718
	Price	111,559	92,506	107,990	161,491	204,122	246,752

(Unit: metric ton, million won).

중요한 요인인 지하수가 다른 지역에 비해 풍부할 뿐만 아니라 이 지역에는 생산자단체가 구성되어 있어 종묘, 사료, 기자재 등의 구입시 어업인들 간의 상호정보 교환 및 공동 구매 등으로 생

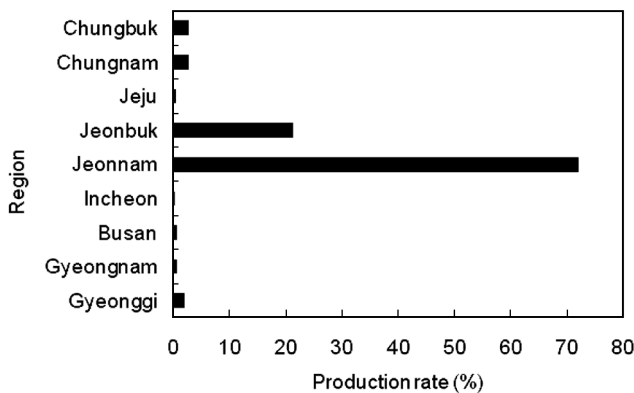


Fig. 1. The production of eel *Anguilla japonica* culture system by regional groups in Korea 2009.

Table 2. Status of eel *Anguilla japonica* culture in Jeollanam-do by intensive pond system and recirculation culture system in 2008

Region	Number	Pond culture	Recirculating system	Building site (m ²)	Water surface (m ²)	Possibility (M/T)	Production (M/T)
Mokpo	1	1		1,395	1,284	20	5
Yeosu	3			27,409	20,882	32	16
Suncheon	3	2	1	48,104	30,384	335	135
Naju	24	22	2	293,862	149,826	2,473	1,754
Damyang	9	9		96,200	46,276	372	161
Gokseong	7	7		82,035	48,078	955	140
Gurye	2	2		6,534	6,124	37	10
Goheung	3	1	2	13,395	7,710	115	6
Boseong	5	5		21,181	12,415	110	26
Hwasun	8	5	3	57,712	32,939	910	28
Jangheung	15	15		52,450	47,755	1,007	
Gangjin	12	11	1	63,272	48,708	450	162
Haenam	17	16	1	112,520	89,869	357	
Yeongam	16	13	3	108,824	55,248	1,795	493
Muan	14	13	1	37,121	31,719	855	131
Hampyeong	43	31	12	96,834	76,730	3,690	1,355
Yeonggwang	49	43	6	195,424	151,427	4,180	6,321
Jangseong	1	1		2,205	2,205	12	5
Wando	1		1	4,990	1,130	20	
Shinan	3	1	2	4,951	6,169	235	32
Total	236	202	34	1,326,418	866,878	17,960	10,780

(Data: Provided Jeollanam-do).

산 비용을 줄이고 출하량 조절 등으로 판매가격을 높여 양식장 수익을 높일 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

종묘 입식 현황

양식장에 실뱀장어 종묘의 주요 입식시기는 현장 조사결과로부터 12월부터 익년 5월까지인 것으로 나타났다. 대부분의 양식어업인들은 대만, 중국 등에서 12월이나 1월에 채포한 종묘를 유통업자가 국내에 이식하여 양식장에 입식하여 사육할 경우 성장이 빠르고 질병에 강하여 우량종묘라고 생각하고 이 시기에 입식을 희망하고 있지만, 이 시기에는 종묘가격이 비싸기 때문에 일반적으로 국내 종묘를 채포하는 판매하는 3월 중순 이후부터 5월말에 종묘 가격하는 시기에 주로 종묘를 양식장에 입식하는 것으로 조사되었다.

국내 양식장에 입식하는 뱀장어 종묘 중에서 수입산 종묘는 중국이나 대만에서 주로 채포된 종묘는 홍콩을 통해 수입되고 있다. 일부 양식업자는 유통업자로부터 극동산 종묘인 *Anguilla japonica*인줄 알고 매입하여 입식하였으나, 동남아시아산 종묘인 *Anguilla bicolor pacifica*가 혼합된 사례가 있었으며, 동남아

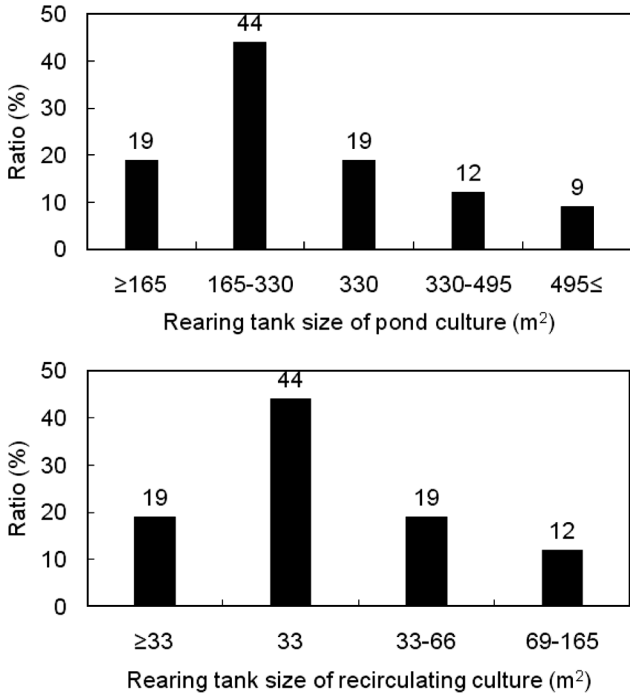


Fig. 2. The ratio of size by intensive pond system(upper) and recirculation culture system(down) for eel *Anguilla japonica* culture.

Table 3. Region elvers stocking densities and survival rate by intensive pond system and recirculation culture system

Intensive pond culture system			Intensive pond culture system		
Region	Stocking density (fish/m ²)	Survival rate(%)	Region	Stocking density (fish/m ²)	Survival rate(%)
Yeonggwang	82.2	87.5	Hampyeong	703.6	84.8
Naju	89.7	80.3	Yeonggwang	789.1	81.5
Hwasun	78.8	81.8	Gyeonggi	505.1	89.6
Gangjin	66.9	77.4			
Jangheung	78.8	86.3			
Yeongam	61.5	83.0			
Gochang	106	82.5			
Chungnam	117.2	73.5			
Gyeongnam	85.3	86.3			

(Data: Surveyed in 2008).

시아산 종묘는 극동산 종묘에 비해 성장부진 및 대량폐사로 이어져 막대한 경영손실을 초래한 양식장도 다수 있는 것으로 확인되었다.

지수식 뱀장어 양식장에 있어서 2007년도 지역별 종묘 입식 밀도를 조사한 결과, 사육수면적 m²당 영광, 나주, 화순, 강진, 장흥, 영암, 고창, 충남 및 경남지역에서 각각 82, 90, 79, 67, 79, 62, 106, 117 및 85 마리로 조사되어 충남지역이 가장 입식밀도가 높고, 그 다음이 고창지역으로 나타났다. 반면 영암지역과 강

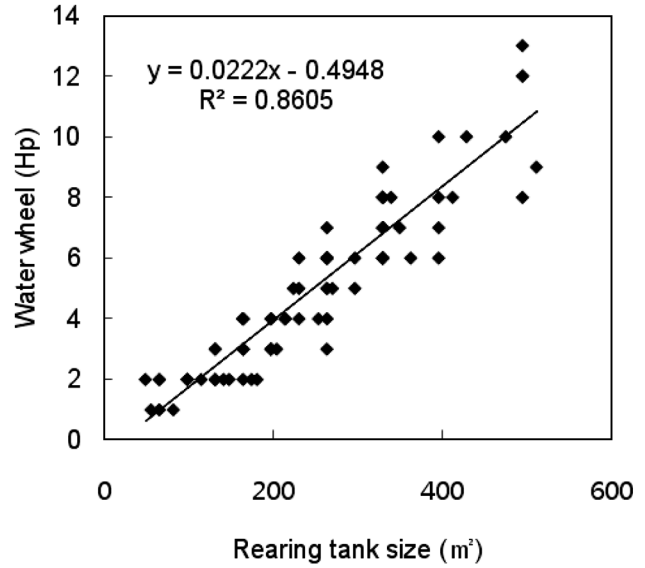


Fig. 3. The relationship between rearing tank size and water wheel in intensive pond for eel *Anguilla japonica* culture.

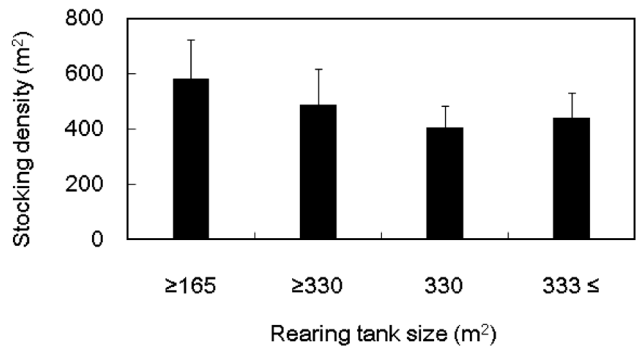


Fig. 4. The relationship between rearing tank size and initial stocking density in intensive pond eel *Anguilla japonica* culture.

진지역은 다른 지역에 비해 종묘 입식밀도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 종묘의 입식밀도는 성장과도 연관이 있는 것으로 조사되었다.

한편, 지수식 뱀장어 양식장의 사육수면적 m² 당 종묘 입식량을 각 규모별로 비교하면 소규모, 중규모 및 대규모에서 각각 m² 당 100마리, 90마리 및 68마리씩으로 양식장 규모가 클수록 사육수 면적 m² 당 종묘 입식량이 적어지는 것을 알 수 있다. 이는 양식장 규모가 클수록 종묘구입 비용의 부담이 크기 때문이기도 하지만, 규모가 클수록 단위수면적당 밀식을 하지 않고 사육하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

각 지역별 순환여과식 양식장의 뱀장어 종묘 입식밀도는 사육수면적 m²당 함평, 영광 및 경기지역 양식장에서 각각 704, 789 및 505 마리로 조사되어 순환여과식 양식장은 지수식 양식장에 비해 양식장별로 입식밀도에 있어서 차이가 큰 것으로 나타났다(Table 3). 상기 자료를 바탕으로 지수식과 순환여과식 뱀장어 양식장의 사육수면적 m²당 종묘 입식량을 비교하면 지수식

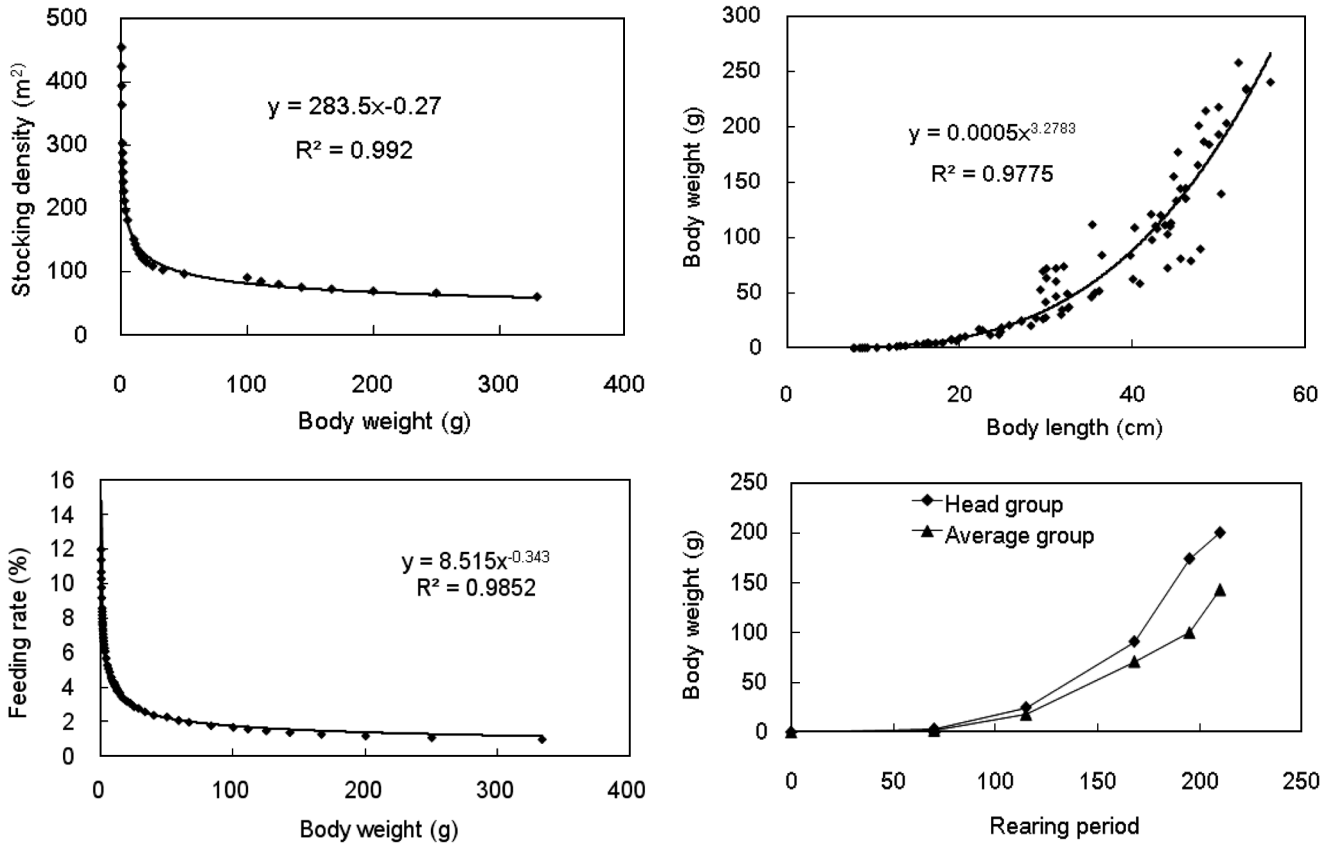


Fig. 5. The relationship between body weight and stocking density(left-upper), body weight and body length(right-upper), body weight and daily feeding rate(left-down), rearing period and growth of body weight(right-down) in intensive pond eel culture.

의 경우 62-117 마리/m², 평균 85±17.6 마리/m²인데 비하여 순환여과식의 경우 281-704 마리/m², 평균 577±196.8 마리/m²로 지수식과 비교하여 순환여과식 양식장이 약 7배 정도 높게 입식하고 있는 것으로 나타났다.

지수식 양식장과 비교하여 순환여과식 양식장의 입식밀도가 높은 것은 지수식은 사육수내 별도의 여과시설이 없어 자정작용에 의존하지만 순환여과식의 경우 사육지 외에 여과장치가 구비되어 있어 사육수 내에 뱀장어가 내놓는 질소 배설물을 지속적으로 정화시키기 때문에 입식밀도를 높게 유지할 수 있기 때문으로 이는 무지개송어의 경우 집약적 양식장에서 암모니아 농도는 성장과 생존에 있어 크게 영향을 주는 것으로 보고하고 있다 (Soderberg et al., 1983).

사육시설 현황

지수식과 순환여과식 양식장의 사육수조 크기별 구성 비율을 조사한 결과, 지수식의 경우 사육수면적 165-330 m²(50-100 평)의 크기가 44%로 가장 많았고 165 m² 이하 크기와 330 m² 크기가 19%, 333-495 m² 크기가 12%, 495 m² 이상 크기가 9%로 나타났고, 순환여과식 양식장의 경우 사육수면적 33 m² 크기가

44%로 가장 많았고 33 m² 이하 크기와 36-66 m² 크기가 19%, 69-165 m² 크기가 12%로 나타났다(Fig. 2). 일반적으로 사육수조 크기는 치어의 경우는 크기가 작고 미성어로 갈수록 크기가 커진다. 이는 치어의 경우 사육관리에 있어서 육안적인 관찰이 용이하고 수조의 청소가 용이한 작은 수조가 유리하기 때문이고 미성어의 경우 사육수 면적에 대비하여 사육어의 입식량을 증가시키기 위해서는 큰 수조가 유리하기 때문이다.

지수식 뱀장어 양식장에 있어서 사육지의 용존산소 농도를 높이기 위해 수차를 사용하는데 사육수면적과 수차마력수와의 상관관계를 조사한 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같이 사육수면적(x)과 수차마력수(y)는 정의 상관관계를 가지고 있으며, 이에 대한 상관관계식은 $y=0.022x-0.494(R^2=0.860)$ 이다.

사육수조 안에서 용존산소 증가는 넙치의 사육밀도와 성장에 직접적으로 영향을 미치며(Duan et al., 2011), 특히 사육수의 보충이 적은 뱀장어 양식장의 경우 용존산소를 높이기 위한 방법으로 수차를 이용하는데, 이러한 수차는 사육수의 용존산소 공급뿐만 아니라 사육수를 회전시켜 어류가 내놓은 배설물을 가운데로 모이게 하는 역할도 하고 있다.

지수식 뱀장어 양식에 있어서 사육수조 크기와 입식밀도와

의 상관관계를 조사하기 위하여 단위 수면적 m^2 당 실뱀장어 최초 입식밀도를 조사한 결과, 평균 실뱀장어 최초 입식밀도는 404-581마리로 나타났다. 사육수면적과 입식밀도와와의 정의 상관관계는 성립되지 않았으나, 330 m^2 인 사육 수조크기에서 수면적 m^2 당 입식밀도는 404 ± 78 마리로 가장 낮게 입식하고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 4). 따라서 수조 크기가 작을수록 높은 밀도로 사육하고 있음을 알 수 있었다.

양성 현황

우리나라 뱀장어 양성 방법은 지수식과 순환여과식으로 크게 나눌 수 있다. 뱀장어 양성 유형을 판매형태별로 살펴보면 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째로 1년 이내 사육 후 판매하는 유형은 실뱀장어 입식 후 1년 이내에 양성하여 판매하는 유형이다. 이러한 유형은 대체로 12월이나 1월에 종묘를 입식하여 11월에서 12월 초순까지 판매를 종료하고 성장부진 뱀장어는 처분하는 형태이다. 둘째로 1년-1년 6개월 사육 후, 판매하는 유형은 실뱀장어 입식 후 1년 이상 양성하고 판매를 시작하여 1년 6개월 정도까지 양식하고 판매하는 유형이다. 이러한 유형은 주로 3월 이후에 종묘를 입식하여 다음 해 5월경에 주로 출하를 하고 가을이면 판매를 종료하는 형태이다. 셋째로 2년 이상 사육 후, 판매하는 유형으로 실뱀장어를 과밀하게 입식하여 2년 이상 양성하며 성장이 빠른 개체를 선별하여 판매하는 유형이다. 이러한 경우에는 밀식으로 인하여 질병도 많이 발생하고 성장도 부진하지만, 종묘가격이 저렴한 시기에 대량 입식함으로써 종묘 구입단가가 낮아서 채산성은 높다.

지수식 양식장에 있어서 어체중 증가에 따른 사육밀도의 변화에 대한 상관관계를 Fig. 5에 나타냈으며, 이를 상관관계식으로 나타내면 $y=283.5x-0.27(R^2=0.992)$ 이다. 상기 상관관계식으로부터 평균중량 0.2, 20, 50, 100 및 200 g 크기에서 수면적 m^2 당 사육밀도는 각각 438, 126, 99, 82 및 68 마리로서 이를 단위 수면적(m^2)당 무게로 환산하면 0.9, 2.5, 6.3, 12.6 및 25.2 kg이다. 또한 뱀장어 양식에 있어서 사육밀도와 수질오염은 밀접한 관계가 있는데 사육밀도가 낮으면 오염은 적고, 사육밀도를 높이면 수익성은 높다. 순환여과식과 같은 집약적 사육시스템에서는 미섭취사료에 의한 사육 시스템내 용존된 암모니아를 빠르게 배출시키고 용존산소를 추가할 수 있는 사육 시스템의 설계가 필요하다(Liu et al., 2009).

양식산 뱀장어의 평균 전장(x)과 평균 중량(y)과의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었으며, 이에 관한 상관관계식은 $y=0.0005x-3.2783(R^2=0.9775)$ 이다. 실뱀장어 사료유형별 공급현황을 조사한 결과 지역, 규모 및 판매방법에 따라 현격한 차이점은 없었다. 다만 양식업체에 따라 사료 유형별로 공급량에 있어서 차이가 있는 것으로 나타났다. 사료 유형별 공급형태와 공급량은 입불임사료의 경우, 전기사료는 어체중의 0.5-3배, 후기사료는 어체중의 2-8배를 공급하고 있으며, 이후 백자사료는 어체중의 4-8배를 공급하고, 흑자사료는 어체중의 50-180배 정도를 공급하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 자료들을 바탕으로 실제

양식장에서 실뱀장어를 입식한 이후에 뱀장어 사료 유형별로 어체중 대비 사료의 공급량을 추정할 수 있다. 뱀장어 양식업체에 따라 흑자사료를 조금 공급하고 치만 사료를 공급하는 경우가 있으며, 또한 성만사료 대신에 성만이 될 때까지 치만사료를 공급하는 경우도 있다.

지수식 뱀장어 양식장에 있어서 평균중량 증가에 따른 일간 사료공급률의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 뱀장어 양식사료는 그동안 일본산 사료의 품질이 우수하여 많이 사용되었으나, 최근 환율상승에 의해 사료가격이 높아져 많은 뱀장어 양식업체에서 국산 사료로 전환하고 있다. 입불임사료는 국내와 일본 사료업체 생산품을 병행하여 사용하고 있으며, 백자사료는 국산사료가 없어 모두 일본산사료를 사용하고 있었고, 흑자사료와 성만사료는 양식원가 비용절감을 위해 대부분 국산사료를 사용하고 있었다. 그러나 국산 성만사료의 낮은 품질 때문에 성장부진개체 비율이 높게 발생하는 뱀장어 양식업체도 다수 있었다.

지수식 뱀장어 양식장에 있어서 실뱀장어 입식 후, 사육일수 경과에 따른 선두그룹과 중간그룹의 평균 체중 증가 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 선두그룹(전체 생산량의 약 10% 이내)은 입식 7개월 후에 평균 체중이 200 g, 중간그룹(전체생산량의 약 60%)은 입식 7개월 후에 평균 체중이 143 g 정도 성장하는 것으로 조사되었다.

지수식과 순환여과식 뱀장어 양식장의 지역별 생존율을 조사한 결과를 Table 3에 나타내었다. 지수식 양식장의 생존율은 영광지역이 87.5%로 가장 높고, 그 다음이 강진 및 경남지역으로 86.3%이며, 가장 낮은 지역은 충남지역으로 73.5%에 불과한 것으로 나타났다. 순환여과식 양식장의 경우 함평, 영광, 경기에서 각각 84.8%, 81.5%, 89.6%로 경기지역이 가장 생존율이 높은 것으로 조사되었다. 한편 양식장 크기에 따라 종묘 입식 후부터 출하까지 생존율은 소규모, 중규모, 대규모에서 각각 80.9%, 83.6%, 82.4%로 사육 규모별로는 차이는 거의 없는 것으로 조사되었다.

이상의 결과를 요약하면, 우리나라 시도별 뱀장어 생산 비율을 산정하면 전라남도와 전라북도가 각각 71.9%와 21.3%로 전체의 93.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 그 중에서 전라남도의 뱀장어 양식장 분포 현황의 경우 총 236개의 양식장이 있으며, 이중 지수식 양식장이 202개로 86%를 차지하고 있고 순환여과식 양식장이 34개로 14%를 차지하고 있는 것으로 조사되어 지수식 양식장이 대부분을 차지하고 있다. 양식방법별로 입식밀도를 조사한 결과, 순환여과식 양식장은 지수식 양식장에 비해 양식장별로 입식밀도에 있어서 차이가 큰 것으로 나타났으며, 지수식의 경우 양식규모가 클수록 사육수면적 m^2 당 종묘 입식밀도가 낮은 것으로 조사되었다. 지수식 양식장에 있어서 용존산소 공급을 위한 사육수면적과 수차마력수와의 상관관계를 조사한 결과, 사육수면적과 수차마력수는 정의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 실뱀장어 입식부터 출하시까지 양식장 규모와 양식 방식에 따른 생존율은 차이가 없는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(양식산업의 표준화연구, RP-2011-AQ-041)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참고문헌

- Bae JY, Kim DJ, Lee JU, Son SG and Lee JK. 2007. Correlationship between Artificial Maturation Season and Reproduction Coefficient in the Cultured Eel *Anguilla japonica*. J Aquaculture 20, 219-225.
- Chang SL, Kou GH and Liao IC. 2003. Salinity adaptation and subsidence attributes in the early stages of Japanese eel(*Anguilla japonica*). Acta Zoologica Taiwanica 14, 33-44.
- Chang SL, Kou GH and Liao IC. 2004. Temperature adaptation of the Japanese eel(*Anguilla japonica*). Zoological Studies 43, 571-579.
- Duan Y, Dong X, Zhang X and Miao Z. 2011. Effects of dissolved oxygen concentration and stocking density on the growth, energy budget and body composition of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*(Temminck et Schlegel). Aquaculture Research 42, 407-416.
- Heinsbroek LTN. 1991. A review of eel culture in Japan and Europe. Aquaculture and Fishries Management 22, 57-72.
- Ingram BA, Gooley GJ, De Silva SS, Larkin BJ and Collins RA. 2001. Preliminary observations on the tank and pond culture of the Australian eel, *Anguilla australis Richardson*. Aquaculture Research 32, 833-848.
- Kim DJ, Kang EJ, Bae JY, Park MW and Kim EO. 2007. Development of the Eggs and Pre-Leptocephalus Larvae by Natural Spawning of Artificially-Matured Japanese Eel, *Anguilla japonica*. J Aquaculture 20, 160-167.
- Kim DJ, Kim YC, Choi YK, Son MH, Lee JU, Park MS and Heo YS. 2009. Effects of Rearing Condition of Cultured Female Eel, *Anguilla japonica*. Dev Reprod 13, 35-41.
- Kim IB, Kim YU and Jo JY. 1977. Rearing of the eel *Anguilla japonica* in recirculating aquariums. J Kor Fish Soc 10, 115-124.
- Lee WC, Chen YH, Lee YC and Liao IC. 2003. The competitiveness of the eel aquaculture in Taiwan, Japan, and China. Aquaculture 221, 115-124.
- Liao IC. 2001. A general review on aquaculture in Asia: a focus on *Anguilla* eel, Keynote Addresses: 5th and 6th Asian Fisheries Forums. AFS Special Publication, vol. 11. AFS, Manila, Philippines, pp. 39-54. Liao IC(compiler).
- Liao IC. 2002. Aquaculture development strategies in Asia for the 21st. In: Oliver, R.A.R.(Ed.), Report of the APO Study Meeting on Sustainable Fishery Management, Sustainable Fishery Management in Asia, Asia Productivity Organization, Tokyo, Japan, 85-102.
- Liao LC and Chang SL. 2001. Induced spawning and larval rearing of Japanese eel, *Anguilla japonica* in Taiwan. Journal of Taiwan Fisheries Research 9, 97-108.
- Liu H, Chen J, Ni Q and Xu H. 2009. Design of a recirculating aquaculture system based on mass balance. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Sositety of Agricultural Engineering 25, 161-166.
- Seymour EA. 1989. Devising optimum feeding regimes and temperatures for th warm culture of eel, *Anguilla anguilla* L. Aquaculture and Fisheries Management 20, 311-323.
- Soderberg RW, Flynn JB and Schmittou R. 1983. Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static water culture. Transactions of the American Fisheries Society, 112, 448-451.
- Tanaka H, Kagawa H and Ohta H. 2001. Production of leptocephali of Japanese eel(*Anguilla japonica*) in captivity. Aquaculture 201, 51-60.
- Tanaka H. 2003. Techniques for larval rearing. In: Eel Biology. Aida K, Tsukamoto K and Yamauchi K. eds, Springer-Verlag Toyko, Japan, 427-434.
- Yamamoto K and Yamauchi K. 1974. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. Nature 251, 220-222.
- MIFAFF, 2010. Statistic database for fishery production survey. Retrieved from <http://www.mifaff.go.kr/main.jsp>.

2011년 5월 27일 접수

2011년 6월 29일 수정

2011년 7월 28일 수리