

옥정호 육봉형 은어 *Plecoglossus altivelis* (Pisces: Osmeridae)의 성장과 보에 따른 영향

고명훈 · 김익수 · 박종영* · 이용주¹

전북대학교 자연과학대학 생물과학부 · 생물다양성연구소

¹전주교육대학교 과학교육과

Growth of a Land-locked Ayu, *Plecoglossus altivelis* (Pisces: Osmeridae) and Weir Obstruction in Lake Okjeong, Korea

Myeong-Hun Ko, Ik-Soo Kim, Jong-Yeong Park* and Yong-Joo Lee¹

Faculty of Biological Science, College of Natural Science, Chonbuk National University,
Jeonju 561-756, Korea, Institute for Biodiversity Research, Chonbuk National University,

¹Department of Science Education, Jeonju National University of Education,
Jeonju 560-757, Korea

Fertilized eggs of *Plecoglossus altivelis* over than 1,000,000 were introduced into Okjeong, Jeollabuk-do, Korea by K-water, 2001. Since then, this lake and the neighbouring tributaries gave sufficient habitat to maintain their life cycle which are being the land-locked. A land-locked ayu of annual life is ascending and descending from Lake Okjeong to streams for spawning and growth. Among the streams, the Churyeong stream reaching about 32 km in length is a major site for growth and spawning. But the land-locked ayu was no longer seen in the upper regions of the Churyeong stream over than about 12 km distance from Lake Okjeong. Because there were 11 weirs along with the Churyeong stream, it was difficult for them to move freely up to upper regions, and it causes irregular growth condition although they must be actively growing with feeding for spawning. During three survey years (2004 to 2006), in lowest rainfall-recorded 2005, the ayu population was not able to move up actively across the weirs and just stayed around the weirs, and finally it let them grow slowly and unstably. Also although there are 11 weirs, only 3 fish ways existed. Such environmental factors will seriously affect growth, spawning and size of ayu population in this area.

Key words : *Plecoglossus altivelis*, Lake Okjeong, growth

서 론

은어 *Plecoglossus altivelis*는 대부분 하천과 바다를

오가는 양측회유형 어류이나 댐에서 적응하여 서식하는 육봉형 은어가 알려졌는데, 일본의 비와호(Shiraish and Suzuki, 1962)와 우리나라의 안동호, 진양호, 합천호에서 육봉형 은어 서식이 알려졌다(최, 1995; 이, 1996; 농림부, 1998). 옥정호의 육봉형 은어는 한국수자원공사(K-

*Corresponding author: park7877@chonbuk.ac.kr

water)가 2001년 10월에 수정란 100만립을 방류하여 출현하기 시작하였고, 현재 다수의 은어가 옥정호와 옥정호 유입하천에 서식하고 있다(고 등, 2007).

은어는 1년생 어류로 보통 9월부터 10월에 산란을 하며 부화 후 바로 연안이나 호수(육봉형)로 내려가 동물성 플랑크톤을 먹으며 성장하면서 월동한다. 이후 3~4월에 하천으로 거슬러 올라가 세력권을 형성하여 돌이나 자갈에 부착해 있는 조류를 섭식하며 8월까지 성장하게 되며 최소 70 mm 최대 300 mm까지 성장한다(한국내수면어업협회, 1987; 김 등, 2005). 또한 일본의 비와호의 육봉형 은어는 같은 곳에 서식할지라도 형태와 생태에 따라 4개의 type으로 나뉘어지며, 이중 "koayu"는 크기가 매우 작고 대부분 호수에서 서식하며 산란기만 하천에 소상을 하는 반면, "ooayu"는 크기가 크며 이른 봄에 하천에 소상을 하여 서식하는 것으로 알려져 있다(Azuma, 1973).

옥정호는 섬진강 상류의 섬진강댐(높이 64 m, 길이 344 m, 최대저수용량이 4.7억톤)의 축조로 생성된 인공호이며 주변은 대부분 산으로 둘러 싸여 있다. 옥정호의 유입하천은 크게 조원천(51 km), 옥너동천(14 km), 추령천(37 km) 등이 있으며 여러 개의 소지류가 유입된다. 이 중 추령천은 전라북도 정읍시의 내장산(해발 763 m)에서 발원하여 순창군 북흥면과 쌍치면을 거쳐 정읍시 산내면 옥정호로 유입되는 하천으로 은어의 서식 구간이 가장 길며 개체군의 크기도 가장 크다(고 등, 2007).

본 연구에서는 옥정호에 서식하는 육봉형 은어의 성장과 서식상황을 2004년부터 2006년까지 관찰하여 성장을 비교 분석하고, 보가 성장에 미치는 영향에 관하여 논의하고자 한다.

재료 및 방법

본 조사는 전라북도 순창군과 정읍시의 옥정호와 추령천에서 2004년부터 2006년까지 실시하였다. 이중 2005년은 소상과 성장을 세밀하게 조사하기 위하여 하천에 보를 고려하여 13개 지점(Fig. 1)을 선정 후 4월부터 10월까지 2주 간격으로 조사를 실시하였고, 그 외 시기는 월 1회 조사를 실시하였다. 연도별 성장 비교는 5월, 7월, 9월의 채집된 개체를 근거로 하였으며, 동서출현종은 2005년 봄, 여름, 가을로 나누어 채집하여 김 등(2005)에 따라 분류 및 동정하였다.

서식지 환경은 기온과 수온, 유속, 하폭, 수심, 하상 등을 조사하였으며, 하천형태(River type)는 可兒(1944)의 방법을, 하상구조는 Cummins(1962)의 방법을 적용하였

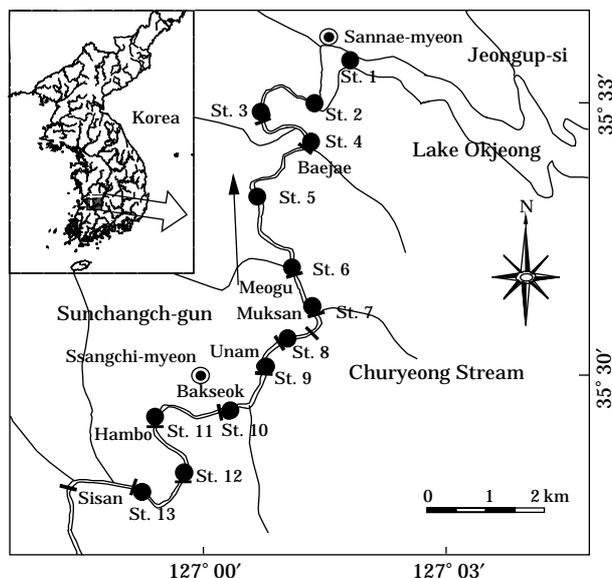


Fig. 1. Collection sites for land-locked *Placoglossus altivelis* in Churyeong Stream and Lake Okjeong. St. 1. Neunggyo-ri, Sannaemyeon, Jeongup-si, Jeollabuk-do; St. 2. Neunggyo-ri, Sannaemyeon, Jeongup-si, Jeollabuk-do; St. 3. Maejuk-ri, Sannaemyeon, Jeongup-si, Jeollabuk-do; St. 4. Maejuk-ri, Sannaemyeon, Jeongup-si, Jeollabuk-do; St. 5. Obong-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 6. Yongjeon-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 7. Yongjeon-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 8. Ssanggung-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 9. Unam-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 10. Guumpyeong-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 11. Guumpyeong-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 12. Dogo-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do; St. 13. Dogo-ri, Ssanchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do.

다. 또한 은어의 소상과 밀접한 관련이 있는 보는 폭, 너비, 높이, 어도의 유무 및 형태 등을 조사하였으며 어도의 종류는 한국수자원공사(2001)에 따라 분류하였다. 강수량과 수위변동은 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)의 관측소 중 본 조사구역에 있는 쌍치관측소(St. 10)의 자료를 인용하였다.

표본의 채집은 투망(망목 5×5 mm), 족대(망목 4×4 mm), 뜰채(망목 1×1 mm) 등을 사용하여 지점당 30분간 실시하였고, 자어의 채집은 직접 제작한 뜰채(망목 1×1 mm)와 족대(망목 1×1 mm), 플랑크톤네트(구경 30 cm, 길이 1.2 m, 망목 150×150 mm)를 사용하여 채집하였으며, 은어의 소상과 서식 여부를 관찰하기 위하여 수중관찰을 병행하였다. 채집된 표본은 현장에서 채장을

측정하고 대부분 방류 하였으며 일부 표본만 10% 포르말린용액에 고정하였다. 고정된 표본은 실험실로 가져와 외부형태, 체중, 생식소 등을 조사하였다.

결 과

1. 서식 환경

1) 서식지 환경

추령천의 상류와 중류는 주변지역이 논과 밭, 또는 산으로 이루어져 있고 하류는 주로 산으로 둘러 싸여 있으며, 특별한 오염원이 없어 대체로 물이 맑다. 추령천에서 은어가 서식하는 12 km 구간 중 중·상류부(St. 6~13)는 하폭이 60~140 m이고 하천형태가 Bb형으로 하상은 주로 자갈과 돌, 큰돌로 이루어져 있으며 눈에 물을 공급하기 위하여 9개 보가 설치되어 있었다(Table 1). 이중 3개의 보에 어도가 설치되어 있었으며 중류는 계단식 어도(전면 월류식)로 중앙에 1개씩 설치되어 있었고 폭은 2 m로 좁았다. St. 13에 설치된 보의 높이가 1.7 m(경사각 55°)로 은어가 더 이상 소상하지 못하였다. 하류부(St. 2~5)는 하폭이 60~100 m이고 하천형태가 Aa 또는 Aa-Bb형으로 하천경사가 비교적 급하였으며 하상은 주로 큰돌이나 암반으로 이루어져 있었다. 또한 보는 2개가 설치되어 있었으나 어도는 없었으며, 이중 St. 3의 보의 가장 하류에 위치한 보로 유량이 적을 시 은어의 소상을 제한하였으나, St. 4의 보의 길이가 18.7 m에 경사각이 10°로 낮아 은어의 소상에 지장이 없었으며 오히려 은어의 주요 섭식 장소가 되었다. 옥정

호에 속하는 St. 1은 폭이 150~200 m, 수심은 5~10 m였고 하상은 주로 진흙이나 바위로 이루어졌으며 또한 수위는 계절에 따라 변화가 심하였다.

2) 수온 및 강수량(하천수위) 변화

2004년 4월부터 2006년 10월까지 수온은 Fig. 2와 같이 변하였다. 수온이 가장 낮은 달은 1~2월로 3°C까지 내려갔으며 이후 꾸준히 상승하여 7월에 30°C까지 상승하였다. 은어는 수온이 3~10°C로 낮은 시기인 11월부터 3월까지의 옥정호 내에서 서식하였고, 수온이 10~30°C로 높게 나타나는 시기인 4월부터 10월까지의 하천에 소상하여 서식하였다. 또한 산란기인 9월 중순에서 10월 중순까지의 수온은 17~24°C였으며, 산란성기의 수온은 20~22°C였다.

강수량(하천수위)은 은어에 있어 4월부터 10월까지 하천 상류로의 소상에 있어 중요한 역할을 하게 되는데 Fig. 3과 같이 변하였다. 은어가 소상하는 시기인 4월과 5월에는 월 강수량이 100 mL 이하로 나타났으며 수위는 0.3~1 m로 낮았다. 특히 2005년에는 낮은 강수량으로 인하여 수위가 매우 낮게 나타났다. 6월 중순부터 8월까지의 장마와 태풍으로 인한 집중호우로 월 강수량이 매우 높게 나타나 일일 최대 130 mL까지 기록하였고 수위도 강수량의 변화에 따라 매우 기복이 심하였으며 최대 3.2 m까지 상승하였다. 9월은 2004년에 많은 강수량을 기록하였지만 2005년도와 2006년도는 낮은 강수량을 기록하였고, 10월은 공통적으로 강수량이 20 mL 이하로 매우 낮게 나타났으며 수위 또한 0.2~0.4 m로 매우 낮았다.

Table 1. The environmental conditions of studied stations in Lake Okjeong, Jeollabuk-do, Korea

St.	River width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	River type	Bottom structure*(%)						Weir				Fish way					
					M	S	G	P	C	B	With (m)	Length (m)	Hight (m)	Slope (°)	No.	With (m)	Length (m)	H:L**	Type	
1	150~200	150~180	100~500	Bc	90					10										
2	60~80	30~40	50~100	Aa				20	30	50										
3	70~80	60	50~100	Aa					20	80	60	3.4	1.2	48						
4	70~80	60	50~100	Aa-Bb				10	20	70	60	18.7	1.5	10						
5	80~100	60~70	50~70	Aa-Bb		5	20	50	15	10										
6	80~100	80	30~50	Bb			10	30	40	20	80	11.2	1.1	75	1	2.0	27	1:25	Pool***	
7	70~80	50~60	30~70	Bb			10	20	50	20										
8	80~100	80	30~50	Bb				30	50	20	80	12.0	1.5	50	1	2.0	27	1:18	Pool	
9	80~90	70	30~50	Bb					30	50	70	11.3	1.2	67	1	2.0	27	1:23	Pool	
10	70~80	60	50~100	Bb		10	20	30	30	20	60	10.3	1.7	60						
11	60~70	40	30~40	Bb				10	30	60	40	3.8	1.5	43						
12	60~70	45	20~50	Bb					20	80	45	2.7	1.0	53						
13	100~140	120	20~30	Bb			10	30	50	10	120	3.7	1.7	55						

*M. Mud (~0.1 mm), S. Sand (0.1~2 mm), G. Gravel (2~16 mm), P. Pebble (16~64 mm), C. Cobble (64~256 mm), B. Bolder (256 mm<)~by Cummins (1962); **Hight : Length; ***Pool type fish way~front overflow (K-water, 2001)

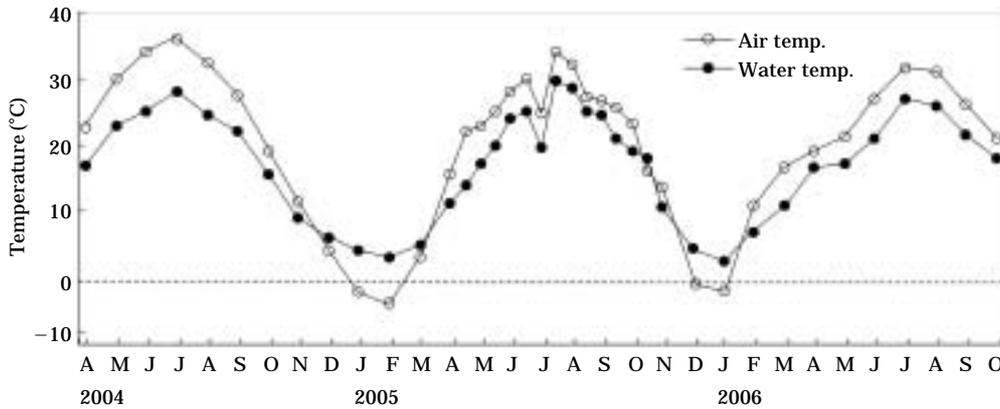


Fig. 2. Monthly changes in air and water temperature of the Lake Okjeong, Sannaemyeon, Jeongeup-si, Jeollabuk-do, Korea.

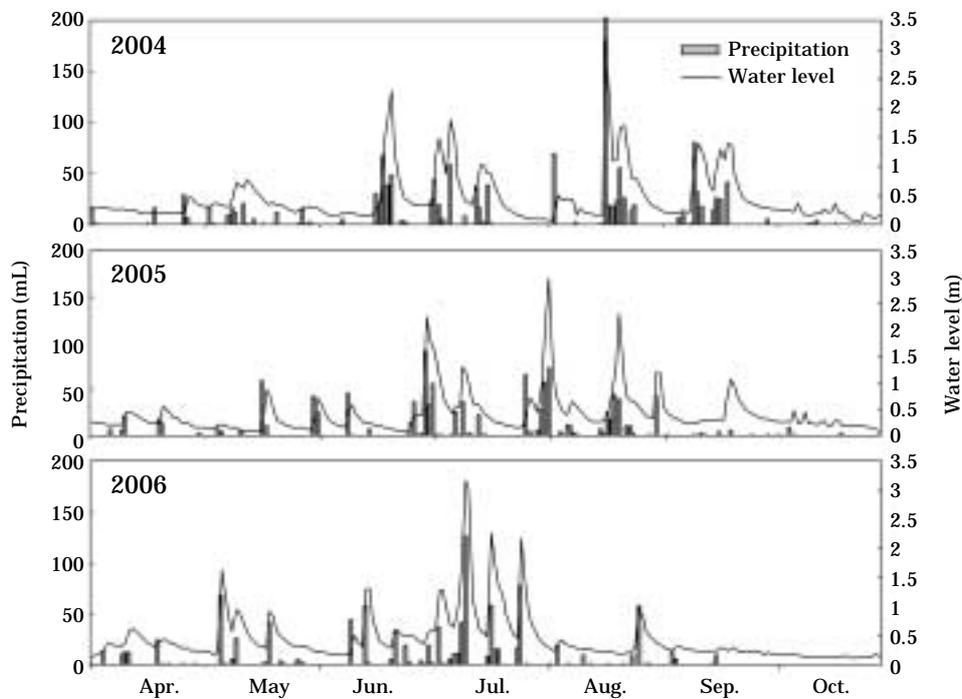


Fig. 3. Precipitation and water level precipitation in Churyeong Stream, Ssangchi-myeon, Sunchang-gun, Jeollabuk-do, Korea from 2004 to 2006 (by WAMIS).

3) 동소출현종

은어가 서식하는 구간에 동소적으로 서식하는 어류는 4목 11과 37종이었다 (Table 2). 우점종은 피라미 *Zacco platypus* (28.9%), 아우점종은 참갈겨니 *Z. koreanus* (13.7%), 은어 (11.7%), 칼납자루 *Acheilognathus koreensis* (8.9%), 치리 *Hemiculter eigenmanni* (8.5%)로 나타나고, 그 다음으로 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (6.1%), 돌고기 *Pungtungia herzi* (4.2%), 밀어 *Rhinogobius brunneus* (2.4%), 참몰개 *Squalidus chankaensis tsuchigae*

(2.1%) 순으로 우세하게 출현하였다. 고유종은 19종이었고 외래어종은 배스 *Micropterus salmoides*와 블루길 *Lepomis macrochirus*이 출현하였다.

출현어류 중 일부 어류는 수온이 낮은 겨울에 옥정호에서 월동을 하지만 봄이 되면서 산란 및 먹이섭식을 위하여 하천으로 소상을 하여 서식하였다 (Fig. 4). 은어, 치리, 누치 *Hemibarbus labeo*는 4월부터 11월까지 하천으로 소상하여 출현하였고, 참몰개, 배스, 블루길은 5월부터 10월까지 하천으로 소상하여 나타났으며, 빙어

Table 2. Fish species composition investigated at Churyeong Stream and Lake Okjeong, Korea from spring to autumn 2005

Species / Sation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	**R.A
Cypriniformes 잉어목															
Cyprinidae 잉어과															
<i>Carassius auratus</i> 붕어	2	3		3		1	2	4	2	12	6		1	36	0.51
<i>Pungtungia herzi</i> 돌고기			20	15	70	16	25	38	24	15	9	9	55	296	4.21
* <i>Rhodeus uyekii</i> 각시붕어	1	2												3	0.04
* <i>Acheilognathus koreensis</i> 칼납자루		2	32	9	45	106	12	15	230	125	6	15	25	622	8.86
* <i>Acheilognathus majusculus</i> 큰줄납자루						2								2	0.03
<i>Acheilognathus rhombeus</i> 납지리						3			23	12	3			41	0.58
* <i>Acanthorhodeus gracilis</i> 가시납지리			1						1	11				13	0.19
* <i>Coreoleuciscus splendidus</i> 쉬리		1	3	32	55	33	26	126	10	22	36	30	53	427	6.08
<i>Hemibarbus labeo</i> 누치	11	14	1											26	0.37
<i>Hemibarbus longirostris</i> 참마자			3			3	6	1	5	2	3		6	29	0.41
* <i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i> 참중고기	4	1		28	1	5	1	13					53	106	1.51
* <i>Squalidus gracilis majimae</i> 긴물개						5	2	33	6	40				86	1.22
* <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> 참물개	60	29	32			8	8	11						148	2.11
* <i>Microphysogobio yaluensis</i> 돌마자			6	11	8	14		8	7	2			22	78	1.11
<i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지								9	1					10	0.14
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어								2	2			3		7	0.10
* <i>Zacco koreanus</i> 참갈겨니		10	70	75	185	42	178	40	115	75	60	15	95	960	13.67
<i>Zacco platypus</i> 피라미	92	153	98	120	120	150	135	270	310	185	135	75	188	2,031	28.92
* <i>Hemiculter eigenmanni</i> 치리	133	380	40	12		26	2	4						597	8.50
Cobitidae 미꾸리과															0.00
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리					2									2	0.03
* <i>Iksookimia longicorpa</i> 왕종개		2	5	2	8	5	8	17	2	9			11	69	0.98
* <i>Cobitis tetralineata</i> 줄종개	2	4	4	2	6			2		9		6	1	36	0.51
Siluridae 메기목															0.00
Siluridae 메기과															0.00
<i>Silurus asotus</i> 메기								1						1	0.01
* <i>Silurus microdorsalis</i> 미유기								3	1					4	0.06
Bagridae 동자개과															0.00
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i> 동자개	1													1	0.01
* <i>Pseudobagrus koreanus</i> 눈동자개	1			1	5	4	12	5	1	1	12			42	0.60
Amblycipitidae 통가리과															0.00
* <i>Liobagrus mediadiposalis</i> 자가사리				4		6	9	20	15	10			6	70	1.00
Osmeriformes 바다빙어목															0.00
Osmeridae 바다빙어과															0.00
<i>Hypomesus nipponensis</i> 빙어	7	35												42	0.60
<i>Plecoglossus altivelis</i> 은어	10	79	155	98	3	44	10	102	150	45	60	30	32	818	11.65
Perciformes 농어목															0.00
Centropomidae 꺾지과															0.00
* <i>Coreoperca herzi</i> 꺾지						3		10	9	8		6	9	45	0.64
Centrarchidae 검정우럭과															0.00
<i>Lepomis macrochirus</i> 블루길	9	13	6											28	0.40
<i>Micropterus salmoides</i> 배스	53	46	8	3				2						112	1.59
Odontobutidae 동사리과														0	0.00
* <i>Odontobutis platycephala</i> 동사리		1	6	1	1	8	1	2	6	3	3		10	42	0.60
* <i>Odontobutis interrupta</i> 얼룩동사리			1											1	0.01
Gobiidae 망둑어과															0.00
<i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어	6	118	11	5	1	6	1	10		4			4	166	2.36
<i>Tridentiger brevispinis</i> 민물검정망둑	6	17	2											25	0.36
Channidae 가물치과															0.00
<i>Channa argus</i> 가물치	2													2	0.03
Total number of species	17	19	20	17	14	21	17	25	20	19	11	9	16	225	
Total number of individuals	400	910	504	421	510	490	438	748	920	590	333	189	571	7,024	

*Endemic species of Korea, **Relative abundance

Table 3. Number of individuals of *Plecoglossus altivelis* at the surveyed station in Lake Okjeong, Jeollabuk-do, Korea from 2004 to 2005

Year	Station Dates/Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	Life style	
2004	04 Oct.		43												43	adult, prelarva	
	06 Nov.		11												11	post-larva	
	26 Nov.		70												70	post-larva	
2005	10 Mar.	10													10	juvenile	
	03 Apr.		18												18	juvenile	
	16 Apr.		9	16											25	juvenile	
	08 May		17	12	10				2						41	immature	
	22 May		8	210	75		25		5	35					358	immature	
	04 Jun.		6	152	88	3	8	3	3	15					278	immature	
	19 Jun.		30	170	69	2	14	12	15		1				313	immature	
	09 Jul.		34	65	76		44	5	180	75	135	80	45	19	758	immature	
	24 Jul.		54	15	12	5	41	29	18	17	9	48	8	21	277	immature	
	06 Aug.			11	30		32	8	78	49	17	4	4	35	268	adult	
	24 Aug.				7	18		34	9	62	56	8		8	23	225	adult
	09 Sep.				8	34	4	14	6	8	11				85	adult	
	25 Sep.			42	7	12									61	adult	
	14 Oct.			68	4										72	adult, pre-larva	
29 Oct.			12											12	adult, pre-larva		

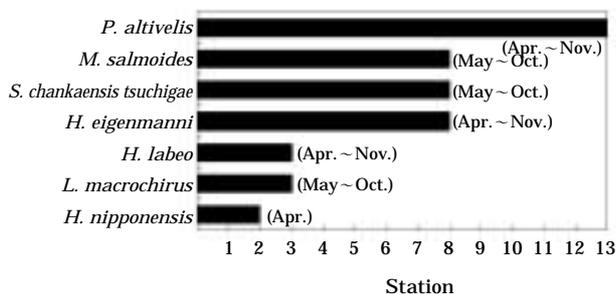


Fig. 4. Diagram of upper stream range of some fishes in Lake Okjeong to Churyeong Stream, Korea from 2005.

*Hypomesus nipponensis*는 4월만 하천으로 소상하여 산란을 하였다. 소상한계는 종마다 차이를 보였는데 은어가 St. 13까지 소상하여 가장 상류까지 소상하였고, 참물개, 치리는 St. 8까지 소상하였으며, 누치, 블루길은 St. 3까지, 빙어는 St. 2까지 소상하였다. 배스는 일부개체가 St. 8까지 소상하였지만 대부분은 St. 2~4까지 소상하여 머물렀고 대부분 300 mm 이하의 작은 개체였다. 또한 8월부터 10월까지 St. 2~4에는 100 mm 이하의 배스 치어가 다수 서식하고 있었다.

2. 은어의 생활사 및 성장

1) 시기별 소상 및 성장

은어의 정확한 소상시기와 성장도를 알아보기 위하여

2005년에 집중적인 조사를 실시하였다 (Table 3, Fig. 5). 9월이 되면서 산란기에 접어든 은어는 하류부인 St. 2~3에 내려와 자갈이 깔린 여울부에 산란을 하였다. 10월 초에 알에서 부화한 전기자어 (체장 6.1 ± 0.01 mm, $n=15$)는 산란장소에서 일시적으로 출현하였으나 성장을 하면서 하류부로 내려갔다. 10월 말부터 11월 중순까지 후기자어 (32 ± 2.8 mm, $n=81$)로 성장한 은어는 야간과 아침에 접경지역으로 내려왔으며 큰 무리를 지어 접경부의 바위나 암반이 있는 곳에 머물렀다. 하지만 수온이 내려가면서 접경부에서 무리를 지었던 은어 자어들은 곧 호수 깊은 곳으로 이동을 하였다.

호수에 내려온 은어는 계속 성장을 하여 3월에 채집된 치어 크기가 59 ± 3.6 mm ($n=10$)였다. 옥정호에서 월동하던 은어는 4월이 되면서 추령천의 하류부인 St. 2~3에 처음으로 출현하였으며 크기는 63 ± 5.3 mm ($n=43$)였다.

5월이 되면서 더 많은 은어들이 소상을 위하여 St. 2~3에 몰렸으나 St. 3의 보가 소상을 방해하여 다수의 개체가 소상하지 못하고 일부만이 이 보를 통과하여 St. 9까지 소상하였다. 일찍 소상한 개체는 보다 빠른 성장을 보였으며 보다 높은 지점으로 소상을 할 수 있었고 최대 110 mm까지 성장을 하였다. 하지만 St. 3을 통과하지 못한 개체는 60~80 mm에 분포하여 평균 80 ± 16.6 mm ($n=209$)였다. 이러한 현상은 7월 초 장마 전까지 계속되었으며 St. 3을 통과하지 못한 다수의 개체는 좁은 공간에 갇히는 결과를 가져왔으며 6월 85 ± 25.9 mm

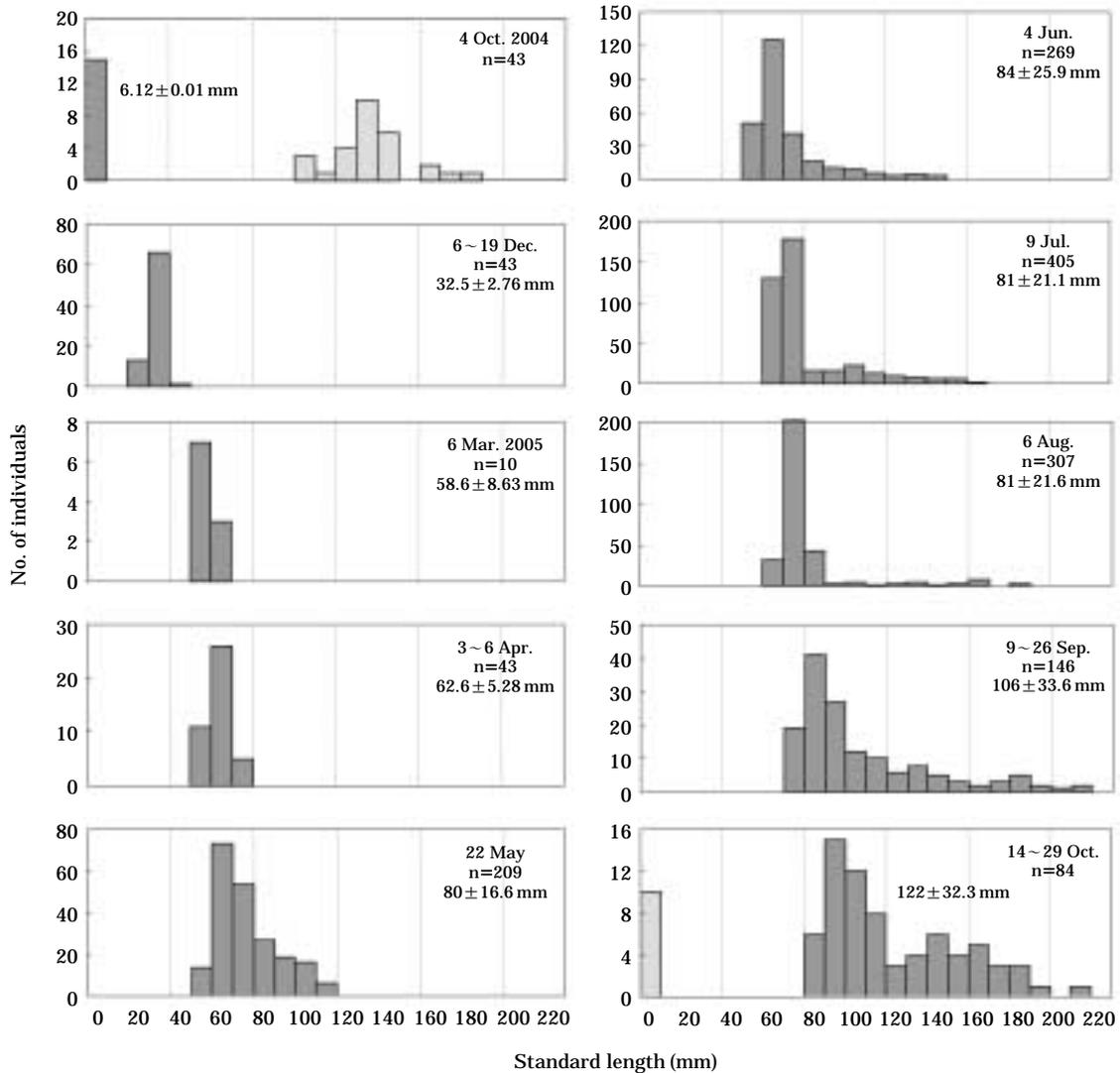


Fig. 5. Histograms showing standard length frequency distribution of *Plecoglossus altivelis* at Lake Okjeong, Korea from Oct. 2004 to Oct. 2005.

(n=269), 7월 81 ± 21.1 mm (n=405)로 5월과 비슷한 값을 보였다. 상대적으로 5월과 6월에 St. 3을 통과한 개체들은 St. 10까지 소상하였으며 크기 또한 급격히 성장을 하여 최대 6월은 140 mm, 7월에는 160 mm까지 성장을 하였다.

7월의 장마로 수위가 올라가면서 St. 3 안에 갇혀 있던 은어가 위쪽으로 소상을 할 수 있었으며 최대 St. 13까지 소상하면서 넓게 나뉘어져 분포하게 되었다. 하지만 상류로 소상한 은어들은 또한 각 구간에 설치된 보로 인하여 소상을 일부 제한받았다.

8월 말까지 St. 13까지 넓게 분포하던 은어는 9월이 되면서 하류로 이동하기 시작하여 9월 말에는 St. 2~4에 모두 내려 왔으며 산란을 시작하였다. 9월에 채집된

은어의 크기는 106 ± 33.6 mm (n=146)이었으며 체장분포 범위가 70~210 mm로 매우 넓은 분포를 보였다.

2) 지점별 체장분포

은어가 하천으로 소상하면서 시기 및 지점별로 체장 차이를 보였다 (Fig. 6). 4월부터 소상한 은어는 5월 초까지 지점별로 큰 차이는 보이지 않았다. 하지만 5월 22일에 채집된 것을 살펴보면 St. 2는 4월부터 올라와 자리를 잡고 성장한 은어 (114 ± 2.6 mm, n=4)와 막 올라온 은어 (68 ± 4.0 mm, n=4)가 섞여 분포하여 2개의 그룹으로 나뉘어졌으며, St. 3은 61 ± 3.2 mm (n=210)의 작은 개체들이 큰 무리를 이루고 있었고, St. 4, 6, 8, 9로 올라갈수록 개체크기가 74 ± 7.5 mm, 88 ± 9.3 mm, 96 ± 8.1

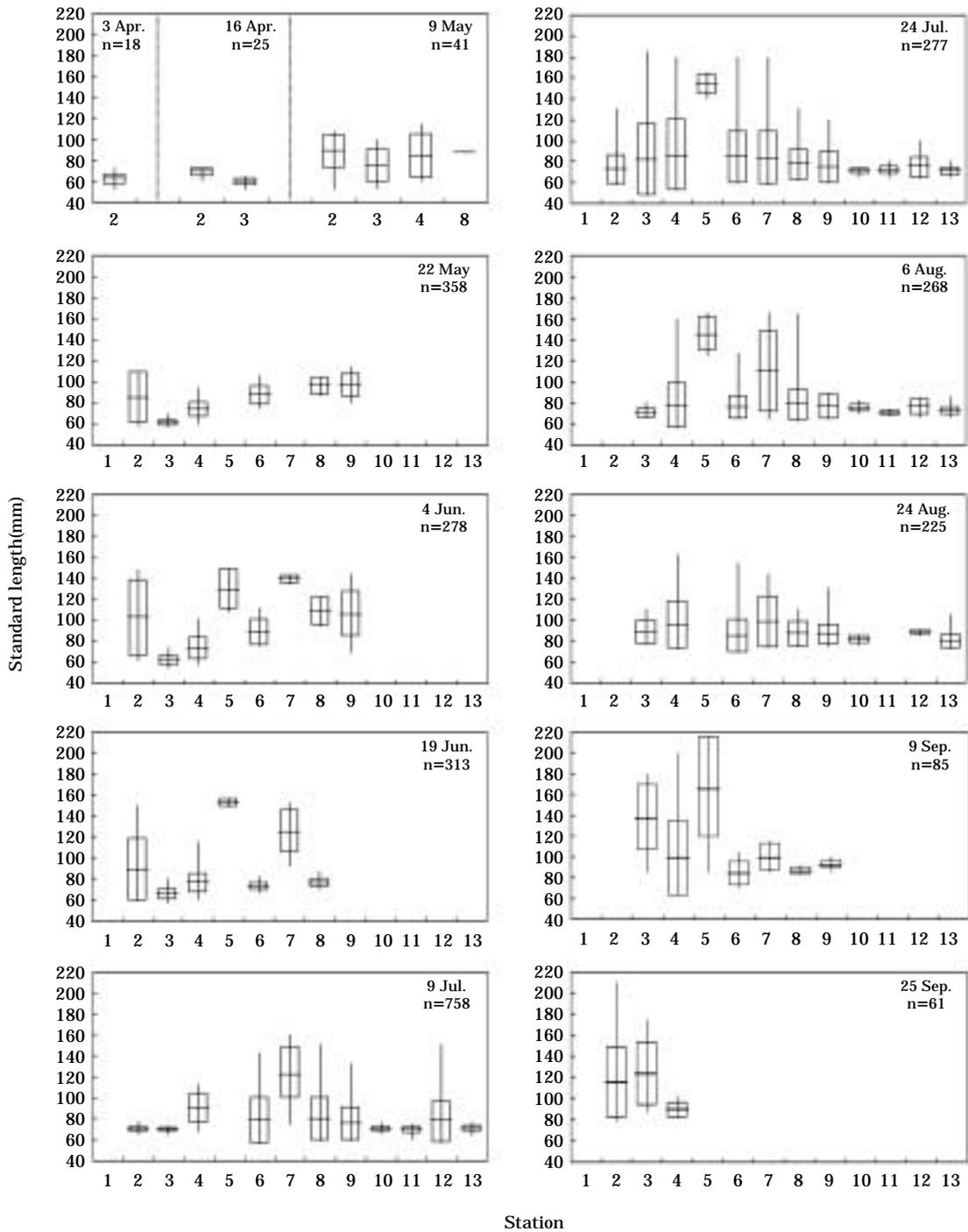


Fig. 6. length distribution of *Plecoglossus altivelis* by stations in Lake Okjeong from 2005. The diagrams indicate the mean (horizontal line), standard deviation (empty rectangle) and range (vertical line).

mm, 97 ± 11.0 mm로 크게 나타났다. 이것으로 초기 소상에 있어서는 일부 개체가 서식 환경이 좋은 하류(St. 2)에 머무르기도 하지만 대부분은 상류로 소상을 하며 이때 크기가 큰 개체가 보다 상류까지 소상하는 경향을 보이고 있었다.

이후 2주가 지난 6월 4일을 살펴보면 St. 2는 70 ± 6.9 mm (n=3)의 크기가 작은 집단과 134 ± 14.9 mm (n=3)의 크기가 큰 집단으로 뚜렷이 나누어지는 경향을 보였으며 이러한 경향은 6월 말까지 지속되었다. St. 3은 62 ± 4.6 mm (n=152)로 작은 개체들이 채집되었고 St.

4~9에서는 채집된 개체수는 적었지만 개체크기는 매우 큰 집단이었으며 St. 4, 6, 8, 9로 올라 갈수록 개체 크기가 74 ± 10.6 , 89 ± 12.5 mm (n=8), 109 ± 1.3 mm (n=3), 107 ± 21.4 mm (n=15)로 커지는 경향을 보였다. 또한 St. 5와 7의 경우는 보가 없고 큰돌과 암반의 비율이 낮아 소수의 개체가 서식하였지만 크기는 130 ± 19.6 mm (n=3), 139 ± 4.0 mm (n=3)로 매우 컸다. 따라서 초기에 소상한 개체들은 충분한 서식지를 확보하여 급격한 성장을 보이고 있었다.

장마 후 7월에 채집된 개체군은 St. 3 아래에 갇혀 있던 작은 은어들이 St. 13까지 소상하면서 나뉘어져 분포하여 체장 평균값이 대부분 70~80 mm를 형성하였다. 또한 기존에 소상하여 성장한 큰 은어들은 여전히 St. 4~9에 세력권을 형성하며 분포하고 있었다. 이러한 양상은 8월 말까지 지속되었으며 9월이 되면서 하류로 이동을 하여 St. 2~4지역에 모두 내려와 있었다. 이때 St. 2~3은 비교적 넓은 체장범위를 보인 반면 St. 4는 80~100 mm의 작은 체장 범위를 보여 차이를 보였다.

3. 연도별 은어의 성장

2004년부터 2006년까지 5월, 7월, 9월의 표본을 채집하여 성장을 비교하였다 (Fig. 7). 5월에 채집된 개체들의 체장 크기는 2004년 80 ± 11.3 mm (n=13), 2005년 79 ± 16.8 mm (n=209), 2006년 82 ± 12.0 mm (n=122)로 크기와 체장분포가 매우 비슷한 경향을 보였다. 하지만 7월과 체장분포가 매우 비슷한 경향을 보였다. 하지만 7월에 채집된 개체들은 2004년 108 ± 28.6 mm (n=89), 2005년 79 ± 21.3 mm (n=276), 2006년 122 ± 17.4 mm

(n=152)로 2006년이 가장 큰 성장을 보였고 그 다음으로 2004년 이었으며 2005년은 가장 낮은 성장을 보였다. 성장을 마치고 산란기에 접어드는 9월에 채집된 개체들의 크기는 2004년 143 ± 29.3 mm (n=61), 2005년 106 ± 33.6 mm (n=146), 2006년 150 ± 20.9 mm (n=124)로 2006년이 가장 컸으며 그 다음으로 2004년이 두 번째로 컸고 2005년도 개체군은 2006년과 2004년도에 비해 개체크기가 매우 작게 나타났다. 또한 체장 분포대에 있어서 2004년과 2006년은 평균값이 비교적 높고 안정된 분포를 보였지만 2005년은 체장 70~100 mm에 많은 개체들이 출현하여 불안정한 빈도를 보였다.

4. 수위 변화와 St. 3 보의 형태

St. 3 위로의 은어의 소상과 쌍치관측소의 수위와의 상관관계를 조사한 결과 쌍치관측소의 수위가 0.5 m 이상이 되면 은어가 상류로 소상할 수 있었다. 2004년부터 2006년까지 하천수위 변화를 고려할 때 은어의 소상에 결정적으로 작용하는 4월부터 장마가 시작되는 6월까지 수위가 0.5 m 이상인 일수를 계산하여 보면 2004년 4월에 0일, 5월에 7일, 6월에 6일이었고 장마는 6월 중순부터 시작되었다. 2005년은 4월에 2일, 5월에 2일 6월에 2일이었고 장마는 7월 초부터 시작되었다. 2007년은 4월에 4일, 5월에 11일, 6월에 11일이었고 장마는 6월 중순부터 시작되었다.

본 조사 기간 중 은어의 소상에 가장 장애가 된 보는 St. 3의 보였다. St. 3의 보는 추력천의 가장 하류에 위치한 보로 폭 60 m, 세로 4 m, 높이 1.2 m, 경사각 45°로

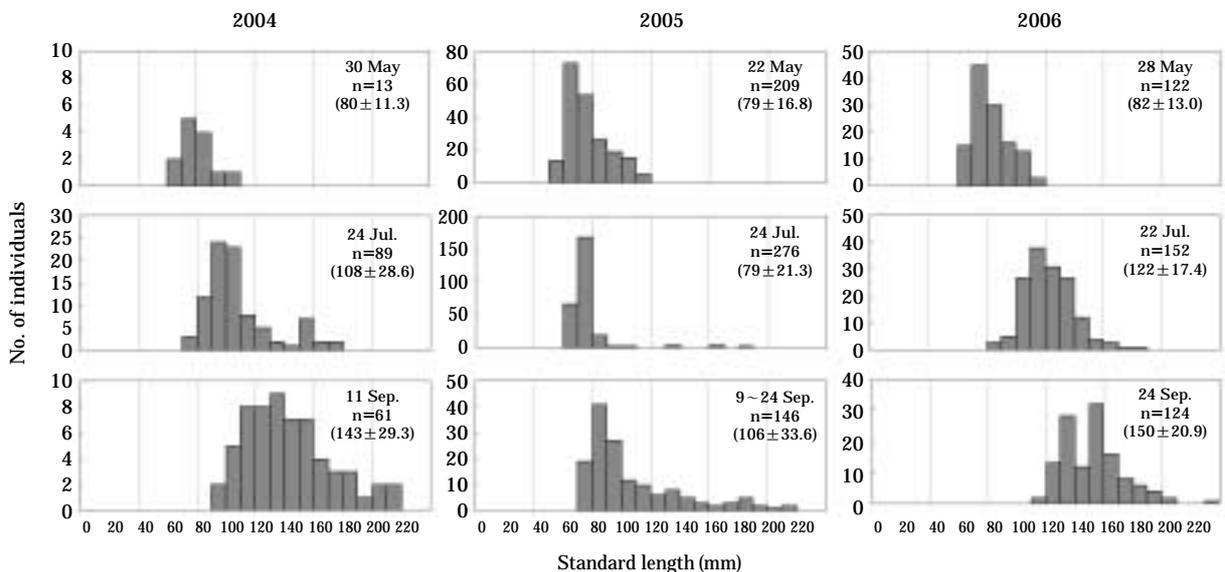


Fig. 7. Standard length frequency of *Plecoglossus altivelis* in Lake Okjeong from 2004 to 2006.

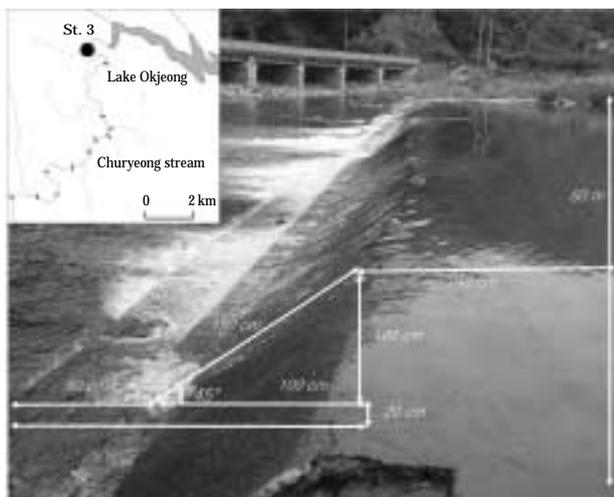


Fig. 8. Photograph of station 3 in Churyeong Stream, Maejuk-ri, Sannae-myeon, Jeongeup-si, Jeollabuk-do, Korea.

물이 전 구간을 넘쳐서 흘러내린다(Fig. 8). 이 보는 수량이 적을시 경사진 곳의 물의 두께가 2 cm 이하로 되기 때문에 은어를 비롯한 어류의 소상을 제한하였다. 하지만 강수량의 증가로 수위가 올라가면 은어를 비롯한 많은 어류들이 이곳을 통과하여 상류로 올라갈 수 있었다.

고찰

은어는 보통 9월부터 10월에 산란을 하며 부화된 자어는 연안이나 호수(육봉형)로 내려가 월동을 하면서 성장을 한다. 이후 3~4월에 하천으로 거슬러 올라가 섭식세력권을 형성하며 8월까지 성장하게 되는데, 이때 소상하는 하천의 길이나 유량, 세력권의 크기, 서식환경에 따라 성장률의 차이를 보이며 최소 70 mm, 최대 300 mm까지 다양한 성장을 보인다(한국내수면어업협회, 1987; Iguchi and Hino, 1996; Iguchi and Abe, 2002; Katano *et al.*, 2004; 김 등, 2005). 옥정호의 육봉형 은어는 4월부터 하천으로 소상하였으며 소상시 하천에 설치된 보는 장애물로 작용하였다. 특히 소상을 시작하는 4월부터 장마전의 6월까지는 비교적 강수량이 적어 은어의 소상에 많은 제약이 되었다.

옥정호에서 육봉형 은어의 성장을 관찰한 결과 2004년과 2006년은 비교적 안정된 성장과 체장분포를 보였지만 2005년은 불균등한 성장과 불안정한 체장분포를 보였다. 이러한 2005년도 성장의 가장 큰 원인으로 추령천 하류에 설치된 St. 3의 보와 적은 강수량(4월~6

월)으로 인한 낮은 수위가 은어의 소상을 제한하였기 때문으로 판단된다. St. 3 위로의 은어 소상과 쌍치관측소의 수위와의 상관관계를 조사한 결과 쌍치관측소의 수위가 0.5 m 이상이 되면 상류로 소상할 수 있었다. 따라서 2004년부터 2006년까지 4월부터 6월까지의 쌍치관측소의 수위가 0.5 m 이상인 날을 계산하여 보면 2004년에 13일, 2005년에 6일, 2006년에 26일로 나타났다. 2004년의 경우 수위가 0.5 m 이상인 날이 5월 초에 7일 연속으로 나타나 이때 많은 개체가 상류로 소상했을 것으로 추측되며 또한 장마도 6월 중순에 일찍 시작되었고, 2006년은 4월과 5월, 6월에 수위가 0.5 m 이상인 날이 각각 4일, 11일, 11일로 나타나 은어의 소상에 큰 지장이 없었을 것으로 생각되어 진다. 하지만 2005년은 4월부터 6월까지 수위가 0.5 m 이상인 날이 6일에 불과하며 또한 3차례에 2일로 나뉘어져 있기 때문에 장마 전까지 많은 수의 은어 개체가 St. 3을 소상하지 못한 것으로 판단된다. 이로 인해 옥정호와 St. 3 사이의 짧은 구간에 많은 은어들이 밀집되면서 충분한 먹이공간을 확보하지 못하게 되어 세력권을 형성하지 못할 뿐만 아니라 과도한 경쟁을 유발시킨 것으로 보인다. 그러므로 성장(체장)이 5월 22일 80 ± 16.6 mm, 6월 4일 84 ± 25.9 mm, 7월 9일 81 ± 21.1 mm, 8월 6일 81 ± 21.6 mm로 시간이 지남에 따라 거의 증가하지 못하였고 오히려 일부 기간에서는 감소하는 경향까지 나타났다. 결국 산란기인 9월의 체장이 106 ± 33.6 mm로 나타나 2004년의 143 ± 29.3 mm, 2006년의 150 ± 20.9 mm에 비해 매우 작은 성장을 보인 것으로 사료된다.

이와 같은 현상은 기아시의 어류에 나타나는 현상과 매우 유사한데, 기하시의 어류는 생화학적 방법, 생리학 적 방법 그리고 행동학적 방법으로 기아를 극복하고 견딜 수 있으나 체내 조직의 내성적 축적이 에너지를 소모하게 되어 결국 성장감소로 이어지게 되며, 뿐만 아니라 형태적, 생화학적, 조직학적 변화를 동반하는 것으로 알려져 있다(Weatherley and Gill, 1981, 1987; 명 등, 1990; 명 등, 1992; 이 등, 1999; Park *et al.*, 2001; 박, 2004).

산란기 개체의 크기는 포란수와 직접적으로 연관되는데, 2004년 옥정호의 육봉형 은어의 포란수는 110~140 mm가 15,000~30,000개, 140~160 mm는 25,000~40,000개, 180~220 mm는 50,000~90,000개로 체장이 증가 할수록 포란수가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다(고 등, 2007). 또한 2004년도에는 거의 출현하지 않았지만 2005년도에 가장 많은 출현빈도를 보인 70~110 mm 개체들의 포란수는 70~80 mm가 2,000~3,000개, 80~90 mm는 2,500~6,000개, 90~110 mm는

5,000~12,000개로 나타났으며 80 mm 이하의 일부 개체는 생식소가 미성숙하였다. 따라서 전체적인 개체 크기의 감소는 포란수의 급격한 감소로 이어져 다음세대 개체군의 크기에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

현재 섬진강 수계에 설치된 보의 수는 약 1,000여개에 달하며 어도가 설치된 보는 81개뿐으로 대부분 용수 확보 및 유속조절용으로 설치되었다. 하지만 보의 설치로 유속의 정체를 유발시켜 정수역을 확대하면서 하천 자연정화기능을 상실시키고 오염물질의 퇴적현상으로 하천 부영양화 현상까지 유발시키며 연어, 은어와 같은 회유성 어류의 이동을 차단시킨다(윤, 2004). 이러한 부작용을 해결하기 위해 어류의 이동이 가능한 어도 설치를 수산자원보호령으로 해당 지자체에 강력하게 권고하고 있으나, 국내에 설치된 어도들은 하천 및 어도의 수리적 특성을 고려하지 않고 무분별하게 도입함으로써 어도의 본 기능을 발휘하지 못하고 있다. 본 연구지인 추령천에 설치된 보의 수는 약 25개이며 이중 어도가 설치된 보는 3개에 불과하다. 모두 계단식 어도(전면 월류식)이며 폭이 불과 2 m에 불과하고 가운데에 1개의 어도만이 설치되어 있으며 수량이 적을 경우 물이 흐르지 않아 어류의 이동이 원활하게 이루어지지 않는다. 또한 장마로 수량이 증가할 시에는 어도보다도 어도 옆의 보로 많은 어류가 몰리게 되면서 소상하려는 어류의 남획 장소로 이용되기도 한다.

따라서 강수량과 관계없이 은어의 안정된 성장을 위해서는 St. 3을 비롯한 서식구간에 있는 보에 하천의 수리적 특성과 은어를 비롯한 다양한 어류의 특성을 고려한 어도의 설치가 꼭 필요하다고 생각되며, 또한 St. 13을 비롯한 상류지역의 보에도 어도를 설치한다면 은어의 서식구간이 상류 순창군 북흥면 낙덕저수지 아래까지 약 10 km가 더 확장될 것으로 생각된다.

적 요

한국수자원공사(K-water)는 은어 수정란 100만립을 2001년 전라북도 옥정호에 방류하였다. 이후 이들은 옥정호와 유입하천에 적응하여 육봉화되었다. 육봉형 은어는 1년생 어류로 산란과 성장을 위하여 옥정호와 하천을 회유한다. 옥정호의 지류인 추령천은 32 km의 하천으로 은어의 성장과 산란의 중요한 장소이다. 옥정호로부터 12 km 구간 이상은 하천에 설치된 보로 은어가 더 이상 소상하지 못하였고, 12 km 구간 안은 11개의 보가 설치되어 있어 상류로의 소상을 방해하여 성장에 영향을 주었다. 특히 3년의 연구기간(2004~2006) 중 2005

년의 개체군은 다른 년도와 비교하여 성장이 느리고 불안정한 성장률을 보였다. 2005년은 평년 보다 낮은 강수량으로 보를 통한 상류로의 소상을 제한하였으며, 이로 인해 대부분의 개체들이 상류로 소상하지 못하고 보 아래에 머무르게 되면서 성장과 산란에 큰 영향을 주었다.

인 용 문 헌

- 고명훈 · 김익수 · 박종영 · 이용주. 2007. 옥정호 육봉형 은어 *Plecoglossus altivelis* (Pisces: Osmeridae)의 서식분포와 생태. 한국어류학회지, 19(1) : 24~34.
- 국가수자원관리종합시스템(WAMIS) 수문기상 쌍치관측소. <<http://www.wamis.go.kr/>>. (30 Nov. 2006)
- 김익수 · 최윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사, 615 pp.
- 농림부. 1998. 담수에서의 은어 종묘생산 기술 개발. 국립수산진흥원 진해내수면 연구소, 169 pp.
- 명정구 · 김종만 · 김용익. 1990. 참돔, *Pagus major*, 자어의 기아시 형태 변화. 한국어류학회지, 2(2) : 138~148.
- 명정구 · 김형선 · 김병기 · 김용익. 1992. 넙치, *Paralichthys olivaceus* 자어의 기아시 형태변화. 한국어류학회지, 4(1) : 20~28.
- 박인석. 2004. 버들치, *Rhynchocypris oxcephalus* (Sauvage and Dabry) 기아시 일부형질에서의 효과: 개관. 환경생물, 22(3) : 351~368.
- 윤창호. 2005. 섬진강유역 어도 설치현황 조사 및 어도 설치방안에 대한 연구. 전남지역 환경기술개발센터, 214 pp.
- 이계안. 1996. 한국산 은어, *Plecoglossus altivelis*의 생물학적 특성 및 영양생리. 부산수산대학원 박사학위논문, 144 pp.
- 이근광 · 김용호 · 박인석. 1999. 기아시 버들치, *Rhynchocypris oxcephalus*의 일부 영양 조건에서의 효과. 1. 생화학적, 조직학적 변화 특징. 한국어류학회지, 11 : 33~41.
- 최기철. 1995. 봉화군 일대에서 서식하는 육봉형 은어의 생태조사. 봉화군 용역보고서, pp. 5~6.
- 한국내수면어업협회. 1987. 담수어양식. 한국내수면어업협회, pp. 125~143.
- 한국수자원공사. 2001. 대댐에서의 어족보호방안 연구(2차년도). 수자원연구소, pp. 213~242.
- Azuma, M. 1973. Studies on the variability of the landlocked ayu-fish, *Plecoglossus altivelis* T. ET S., in Lake Biwa. VI. Consideration on the grouping and features of variability. Japan. J. Ecol., 23 : 255~265. (In Japanese)
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Am. Midl. Nat., 67 : 477~504.
- Iguchi, K. and T. Hino. 1996. Effect of competitor abun-

- dance on feeding territoriality in a grazing fish, the ayu *Plecoglossus altivelis*. Ecol. Res., 11 : 165~173.
- Iguchi, K. and S.I. Abe. 2002. Territorial defense of an excess food supply by an algal grazing fish, ayu. Ecol. Res., 17 : 373~380.
- Katano, O. and K. Iguchi. 1996. Individual differences in territory and growth of ayu, *Plecoglossus altivelis* (Osmeridae). Can. J. Zool., 74 : 2170~2177.
- Katano, O., K. Uchida and Y. Aonuma. 2004. Experimental analysis of the territorial establishment of ayu, *Plecoglossus altivelis*. Ecol. Res., 19 : 433~444.
- Park, I.S., J.H. Im, D.K. Ryu, Y.K. Nam and D.S. Kim. 2001. Effect of starvation on morphometric changes in *Rhynchocypris oxcephalus* (Sauvage and Dabry). J. Appl. Ichthyol., 17 : 277~281.
- Shiraish, Y. and N. Suzuki. 1962. The spawning activity of ayu-fish, *Plecoglossus altivelis*. fresh water an annual report, 12(1) : 83~107. (In Japanese)
- Weatherley A.H. and H.S. Gill. 1981. Recovery growth of following periods or restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J. Fish Biol., 18 : 195~208.
- Weatherley, A.H. and H.S. Gill. 1987. The biology of fish growth. 4. Protein, lipid and caloric contents. academic press London, pp. 139~146.
- 可兒隈吉. 1944. 溪流昆蟲の生態. 研究士, 東京

Received: May 14, 2007

Accepted: June 4, 2007