

하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정 The Estimation of Ecological Flow Recommendations for Fish Habitat

성 영 두* / 박 봉 진** / 주 기 재*** / 정 관 수****

Sung, Young Du / Park, Bong Jin / Joo, Gea Jae / Jung, Kwan Sue

Abstract

The detailed interdisciplinary surveys were conducted on the pattern of habitat use of dominant fishes during the spawning and adult stage. The hydraulic parameters of the depth and velocity, discharge, substrate cover streams, and distribution of fish in the Yeonggang, WiCheon, HoeCheon, GeochangwiCheon, CheongdoCheon, DanjangCheon (the Nakdong River Basin) were measured. The Habitat Suitability Criteria was developed for the two fish species (*Zacco Platypus* and *Zacco Temmincki*) and life stages (spawning and adult), habitat conditions (depth, velocity and cover). The Physical Habitat Simulation of the Instream Flow Incremental Methodology was applied to calculate for optimal flow and the ecological flow recommendation was proposed by choosing the largest one in the optimal flow. The ecological flow recommendation was 5.0 m³/s ~ 10.0 m³/s (e.g., 6.5 m³/s in the NaeseongCheon). Also, the ecological flow recommendations were compared with the existing ecological flow and flow duration analysis.

keywords : Ecological flow recommendations, Instream Flow Incremental Methodology (IFIM), Physical Habitat Simulation System (PHABSIM), Habitat suitability criteria

요 지

금번 연구는 낙동강 유역의 영강, 위천, 회천, 거창위천, 청도천, 단장천에서 산란기와 성어기에 어류의 서식과 수심, 유속, 하상재료 등 수리학적 특성에 관한 자연과학과 공학의 학제간 상호 연계조사를 시행하였으며, 어종별(피라미와 갈겨니), 성장단계별(산란기와 성어기), 서식처조건별(수심, 유속과 하상재료) 어류 서식 적합도 기준을 작성하였다. 유지유량 증분법 개념의 물리적 서식처 모의시스템을 적용하여, 낙동강 유역의 주요 하천에서 어류서식에 적합한 유량을 산정하고, 그 중 가장 큰 유량값을 생태학적 추천유량으로 결정하였다. 금번 결정한 생태학적 추천유량은 내성천 6.5 m³/s 등 5.0 m³/s ~ 10.0 m³/s 이었다. 또한 생태학적 추천유량과 기준에 산정된 생태계 필요유량 및 유행분석 결과를 비교·검토 하였다.

핵심용어 : 생태학적 추천유량, 유지유량 증분법, 물리적 서식처 모의 시스템, 서식처 적합도 기준

* 한국수자원공사 한탄강댐건설단 공사부장

Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejeon, 306-711, Korea
(e-mail: ydsung@kowaco.or.kr)

** 한국수자원공사 조사기획처 유역조사부 유역조사과장

Korea Water Resources Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejeon, 306-711, Korea
(e-mail: bongjinpark@kowaco.or.kr)

*** 부산대학교 자연과학대학 생물학과 교수

Professor, Dept. of Biology, Pusan National University, 30 Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan 609-735
(e-mail: gjjoo@pusan.ac.kr)

**** 교신저자, 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Corresponding Author, Associate Professor, Dept. of Civil Eng., ChungNam National University, Daejeon, 305-764
(e-mail: ksjung@cnu.ac.kr)

1. 서 론

우리나라에서는 70년대 이후 급속한 산업화와 도시화로 인한 각종 용수이용의 급증과 아울러, 하천 수질 오염의 심각성이 드러남에 따라, 오염물질의 회석과 갈수량 보장 등을 목적으로 하천유지유량을 설정하여 관리하고 있다. 그러나 최근에는 사회적으로 환경문제가 크게 대두되면서 기존의 단순한 수질환경을 넘어 생태계, 경관, 수상이용, 수질 등 인간과 자연에게 있어 다양한 환경기능을 만족시키는 하천유지유량 설정이 필요하게 되었다.

미국에서는 1970년대 부터 미 내무성 산하 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)에서 유지유량 증분법(Instream Flow Incremental Methodology, IFIM)에 의한 어류의 어종별, 성장단계별, 서식처조건별 수리량을 환산하여 하천유지유량을 결정하는 연구가 심도 깊게 진행되었다(Stalnaker 등, 1995). 일본은 하천에서 유수의 정상적인 기능을 유지하기 위하여 필요한 유량을 정상유량으로 규정하고, 주문, 어업, 관광, 유수의 청결유지, 염해방지, 하구폐색방지, 하천관리시설의 보호, 지하수위의 유지, 경관, 동식물의 서식지 또는 생육지의 상황, 사람과 하천과의 접촉확보 등을 종합적으로 고려하여 하천유지유량을 산정하고 있다(國土建設省, 1992; 國土交通省, 2001).

우리나라의 하천유지유량에 관한 연구는 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용(김규호 등, 1996), 수질보전을 위한 영산강의 하천유지유량 결정(박성천 등, 1998), 하천의 경관유지 수량의 결정(홍형순 등, 2003) 등이 있으며, 어류 서식환경을 고려한 하천유지유량에 대한 연구는 금강 본류의 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량에 대한 연구(우효섭 등, 1994; 1995a; 1995b)와 달천에서의 수질·수량을 고려한 어류서식처유지에 필요한 적정유량의 산정(김규호 등, 2000) 등이 있다. 그러나 하천의 수심, 유속, 유량, 하상재료, 수질 등 수리·수문학적인 조건과 산란과 부하, 양육 등 어류의 생태환경을 복합적으로 고려한 하천유지유량에 관한 연구는 상당히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 낙동강유역의 영강, 위천, 회천, 거창

위천, 청도천, 단장천에서 수리·수문학적인 조건과 어류의 생태환경 등 공학과 자연과학의 학제간 상호 연계 조사를 시행하여 어류 서식처 적합도기준을 작성하였다. 또한 물리적 서식처 모의시스템(Physical Habitat Simulation System, PHABSIM)을 적용하여, 낙동강유역의 주요지류 하천인 내성천, 영강, 위천, 병성천, 감천, 금호강, 황강, 남강, 밀양강, 양산천의 어류서식 환경을 고려한 생태학적 추천유량을 산정하여 제시하였다.

2. 생태학적 추천유량산정을 위한 현장조사

생태학적 추천유량(Ecological Flow Recommendations)은 하천의 생물 및 무생물 모두가 공유하여야 할 최소비생 유량으로, 자연적인 하천의 형태와 수리·수문특성을 지배하는 유량(혹은 갈수량)과 동·식물의 생태보전유량 중에서 가장 큰 유량으로 정의하고 있다(성영두와 박봉진, 2003). 따라서 금번 연구에서는 생태학적 추천유량 산정을 위하여 대표 생물종으로 어류를 택하였다. 이것은 어류가 하천생태계 중에서 고등동물이고, 먹이연쇄의 상위에 있으며, 생태학적으로 수생곤충이나, 기타 하천에 서식하는 작은 동물은 어류와 관계가 깊고, 사회적으로 어류의 존재 및 복원 여부는 하천생태계의 중요한 지표로 여겨지고 있어 어류에 주목하여 검토하면 간접적으로 하천생태계를 고려할 수 있기 때문이다(우효섭 등, 1998).

어류서식환경을 고려한 생태학적 추천유량을 산정하기 위한 현장조사는 ① 대상하천과 조사지점의 선정 ② 하천의 종횡단측량 및 하상재료조사와 유량, 수위 측정 ③ 수리학적 모형에 의한 유속 및 수심분포도와 하상재료분포도의 작성 ④ 어류조사 ⑤ 서식처 적합도기준작성 등의 절차를 따른다(USGS, 2001).

2.1 대상하천의 선정 및 종횡단측량

금번 연구의 현장조사 대상하천은 어류현황과 조사수행 적정성을 고려하여 영강, 위천, 거창위천, 청도천, 단장천을 선정하였다. 각 선정된 하천에서 2개소의 여울구간을 표 1과 같이 선정하여 하천의 종·횡단측량과 하상재료조사, 유량과 수위 측정, 어류조사를 수행하였다.

표 1. 대상하천 및 조사지점

구분	하천명	1구간	2구간
산란기	영 강	경상북도, 문경시 불정동 불정1교 하류	경상북도, 문경시 가은읍 건능교 하류
	위 천	경상북도, 군위군 소보면 보현리	경상북도, 의성군 단밀면 단밀교 하류
	거창위천	경상북도, 거창군 거창읍 거창2교 하류	경상북도, 거창군 마리면 월계리
	청도천	경상북도, 청도군 청도읍 거연리	-
성어기	단장천	경상남도, 밀양시 단장면 태용리	-
	영 강	경상북도, 문경시 불정동 불정1교 하류	경상북도, 문경시 가은읍 건능교 하류
	위 천	경상북도, 군위군 소보면 보현리	경상북도, 의성군 단밀면 단밀교 하류
	거창위천	경상남도, 거창군 거창읍 거창2교 하류	경상남도, 거창군 마리면 월계리

2.2 수심과 유속 및 하상재료 분포도 작성

PHABSIM은 수심, 유속, 유량 등 하천의 수리·수문학적인 조건을 일차원으로 적용하지만, 수심과 유속의 분포도는 하천의 복잡한 중·횡단 특성을 충분히 반영할 수 있도록 2차원 모형을 적용하여 작성한다(Waddle, 1998). 금번 연구에서도 2차원 동수역학 모형인 RMA-2를 이용해서 수심과 유속의 분포도를 작성하였다. RMA-2 모형에 필요한 단면자료와 경계조건은 조사 대

상하천의 중·횡단측량결과와 수위, 유량 측정자료를 사용하였다. 영강의 1구간과 2구간, 위천의 1구간과 2구간에서 산란기중 수심과 유속의 RMA-2의 모의결과는 그림 1과 같다. 하상재료 조사결과는 금번 조사가 여울구간에서 시행되어 대부분 자갈이었으며, 일부 구간에서 자갈과 모래가 같이 분포하거나 수면과 접하는 일부분이 모래로 형성되어 있었지만 하상재료에 대한 분포가 하도를 따라 다양하게 나타나지는 않았다. 거창위천의 1구간과 2구간의 하상재료 분포도는 그림 2와 같다.

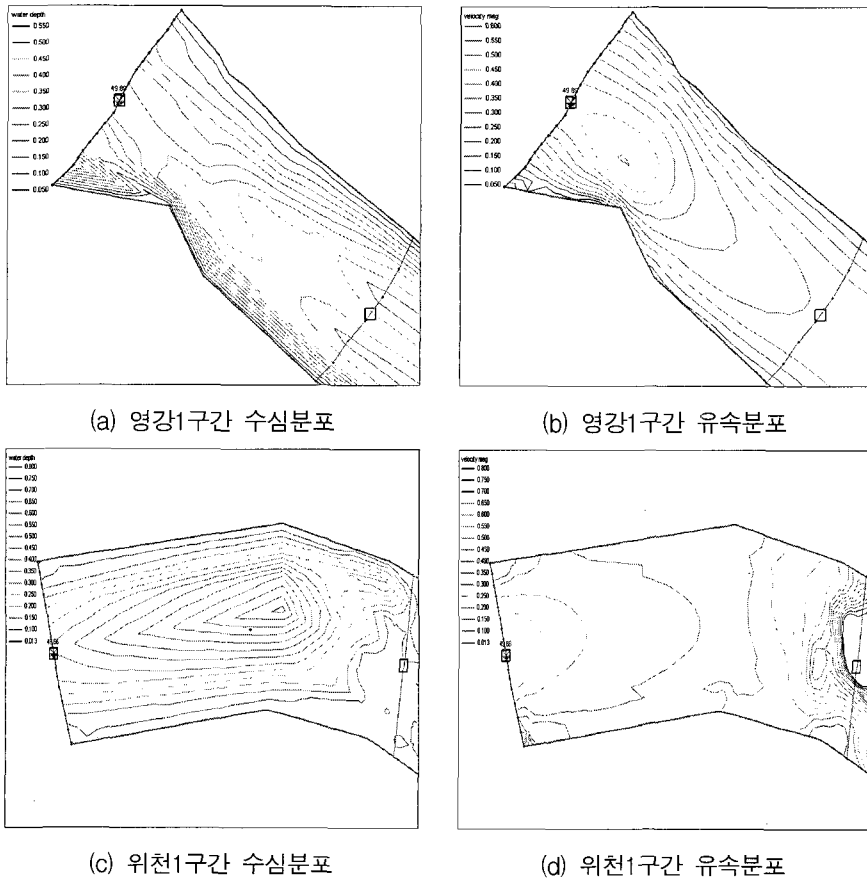


그림 1. 산란기중 수심과 유속 RMA-2 모의결과

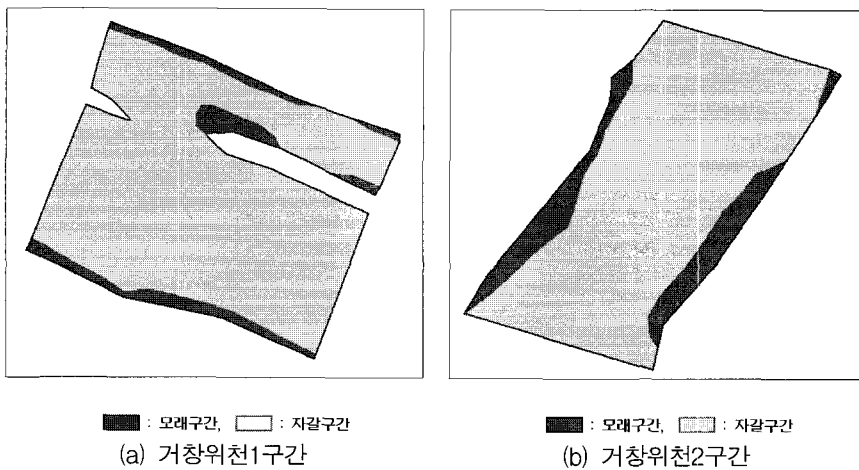


그림 2. 하상재료 분포도

2.3 어류조사

어류채집 및 현장조사는 어류의 산란기와 성장기로 나누어 총 2차례에 걸쳐서 조사를 실시하였다. 산란기 조사는 영강, 위천, 거창위천, 청도천, 단장천을 대상으로 2004년 6월 8일~10일에 1차 조사를 실시하고 2004년 6월 16일~18일 2차 조사를 실시하였으며, 성어기의 조사시기는 영강, 위천, 거창위천을 대상으로 2003년 10월 13일~15일에 1차 조사, 2003년 10월 30일~11월 2일에 2차 조사를 수행하여 총 2회에 걸쳐 조사를 실시하였다.

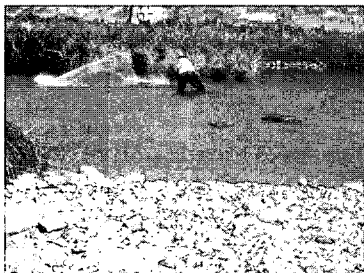
어류의 채집은 각 하천의 조사 대상 지점에서 선정된 대상 구간 내에서 이루어졌다. 채집 진행은 하류부에서 시작하여 상류부로 이동하면서 투망 (망목 5×5 mm, 투척 시 확장 최대면적 9.0 m²)을 이용하여 채집하고 투망이 투척된 지점의 수심, 유속을 측정하고, 하상 재료를 조사하였다. 투망이 1회 투척되는 지점을 하나의 세부지점으로 선정하여 채집된 어류 개체군들을 평가하였다. 투망 투척이 어류 분포에 대한 교란을 초래하지 않도록 인접지점의 투망 투척은 피했으며 일정한 시간 간격을 두고 분포조사를 실시하였다.

3. 어류 서식처 적합도 기준 작성

서식처 적합도 기준(Habitat Suitability Criteria)은 PHABSIM을 모의하는데 있어 중요한 요소이며, 생태학적 추천유량의 산정을 위해서는 어류에 대한 신뢰성 있는 자료 수집을 통하여 실제 어류 서식 환경을 반영할 수 있는 서식처 적합도 기준을 마련하여 적용하는 것이 가장 중요하다(Bovee 등, 1998; Petts와 Maddock, 1998).

어류 서식처 적합도 기준은 특정 조사지점이나 구간에서 수심, 유속, 하상재료별로 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성되며, 조사기간 동안 출현한 최대 개체수를 1.0으로 설정하고 나머지는 최대 개체수에 대한 상대비율로 설정한다.

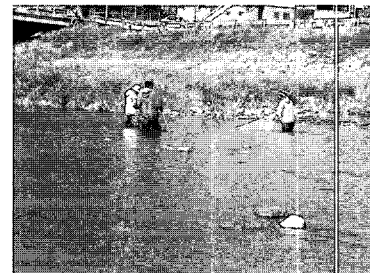
어류 서식처 적합도 기준의 곡선형태는 크게 이분법(Binary), 단일 변량 곡선법(Univariate Curve), 다변량 응답 평면법(Multivariate Response Surface)으로 적용된다(USGS, 2001). 국내에서 적용한 어류서식적합도 곡선의 형태는 김규호(1999)가 달천에 이분법을, 강정훈 등(2004)은 남한강에 단일 변량 곡선법을 적용한바 있다. 금번 연구에서 적용한 어류 서식처 적합도 기준의 곡선 형태는 수심과 유속은 이분법 보다 유연하게 어류



(a) 투망에 의한 어류채집



(b) 어류의 동정



(c) 수심과 유속 측정

사진 1. 어류조사

표 2. 어류 서식적합도조사 현황

구분	조사시기	하천명	수 심 (m)			유 속 (m/s)			어류개체수	
			평균	최대	최소	평균	최대	최소	피라미	갈겨니
산란기	2004년 6월8일~ 6월18일	영강	0.39	0.85	0.13	0.62	1.03	0.01	36	303
			0.30	0.52	0.12	0.35	0.91	0.03	134	143
		위천	0.38	0.73	0.13	0.65	1.71	0.03	136	27
			0.41	0.81	0.13	0.53	1.09	0.03	156	-
		거창위천	0.23	0.44	0.09	0.40	0.91	0.10	77	75
			0.43	1.00	0.25	0.42	0.91	0.20	42	262
청도천	0.54	0.98	0.21	0.71	1.92	0.20	163	157		
단장천	0.54	1.01	0.31	0.50	0.92	0.19	44	61		
성어기	2003년 10월30일~ 11월2일	영강	0.42	0.65	0.15	0.31	0.65	0.08	36	239
		위천	0.36	0.84	0.12	0.38	1.24	0.05	58	-
			0.35	0.88	0.19	0.48	0.89	0.07	64	-
		거창위천	0.34	0.60	0.10	0.28	0.76	0.01	134	129
			0.36	0.60	0.18	0.37	0.66	0.03	5	73

서식 적합도를 나타낼 수 있는 단일 변량 곡선법을 적용하였다. 하상자료는 현장조사 결과 대부분 자갈과 모래로 구성되어 있어, 이와 같이 특정범위가 제시되는 경우 이분법을 적용할 수 있다는 연구 결과(김규호, 1999)에 따라 이분법을 적용하였다.

금번 연구에서는 서식처 적합도 기준 작성의 대표어종을 여울구간에 서식하며 어류조사에서 채집된 어류 중에서 우점종으로 분류된 갈겨니와 피라미로 선정하였다. 여울구간에 서식하는 어종을 선정한 것은 여울에 사는 어류가 수심과 수량에 대단히 민감하게 반응하기 때문이다(김규호, 1999). 따라서 금번 어류조사도 여울 구간을 대상으로 시행하였다. 또한 우점종을 선택한 것은 개체수가 많은 어종이 서식처 적합도 기준의 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다(Bovee 등, 1998).

3.1 피라미의 서식처 적합도 기준

피라미의 산란기중 수심의 적합도 지수는 0.30~0.55 m에서 지수 1로 결정하였다. 그림 3의 점선으로 표시되는 추정치는 실측값에 비례하여 나타내었으며, 어류 포획시에 가장 깊은 수심값 1.00 m 이상을 적합도 0으로 산정하였다. 유속의 적합도 지수는 0.30~0.55 %에서 지수 1로 결정하였으며, 어류포획시에 가장 빠른 유속값 1.8 % 이상을 적합도 0으로 산정하였다. 성어기중

수심의 적합도 지수는 0.25~0.40 m에서 지수 1로 결정하였다. 일반적으로 중·상류 하천에서 수심 1.2 m 이상에서는 피라미가 거의 출현하지 않기 때문에 수심 1.2 m 이상을 적합도 0으로 정하였으며, 수심 0.8 m는 0.15 m의 값을 이용하였으며, 수심 1.2 m와 연관지어 선정하였다. 유속의 적합도 지수는 0.25~0.55 %에서 지수 1로 결정하였다. 일반적으로 중·상류 하천에서 피라미가 유속 0 %에서도 서식하기 때문에 적합도 지수를 0.1로 정하였으며 피라미가 유속 1.0 % 이상에서는 거의 출현하지 않아 적합도 지수를 0으로 결정하였다. 이렇게 산정한 적합도 지수에 따라 피라미의 산란기와 성어기의 수심과 유속에 대한 서식처 적합도 기준을 작성하였다.

3.2 갈겨니 서식처 적합도 기준

갈겨니 산란기중 수심의 적합도지수는 0.30~0.55 m에서 지수 1로 결정하였다. 추정치는 실측값에 비례하여 나타내었으며, 어류포획 시에 가장 깊은 수심값 1.0 m 이상을 적합도 0으로 산정하였다. 유속의 적합도 지수는 0.30~0.55 %에서 지수 1로 결정하였으며, 어류 포획시에 가장 빠른 유속값 1.7 % 이상을 적합도 0으로 산정하였다. 성어기중 수심의 적합도 지수는 0.35~0.55 m에서 지수 1로 결정하였다. 갈겨니는 수심 1.2 m 이상에서

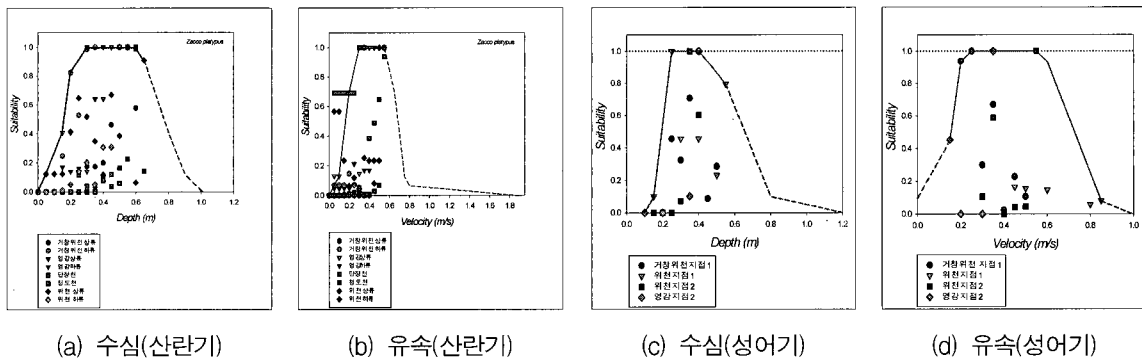


그림 3. 피라미의 서식처 적합도 기준

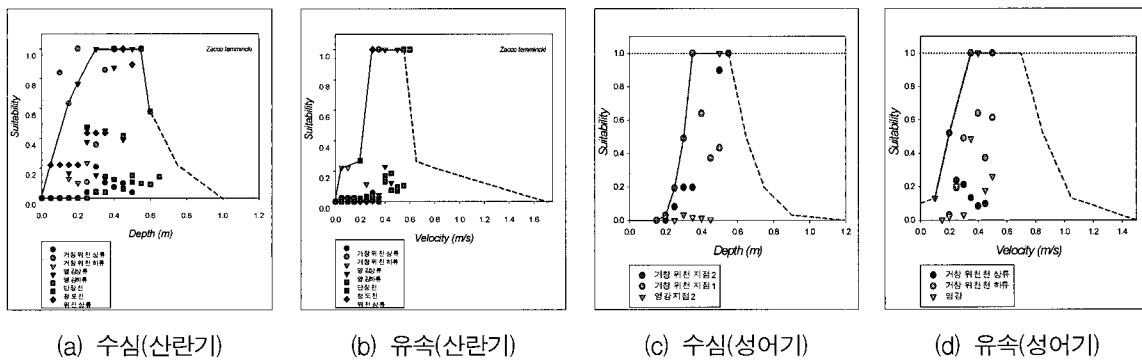


그림 4. 갈겨니의 서식적합도 지수

거의 나타나지 않아 1.2 m 이상을 적합도 지수 0으로 결정하였으며, 수심 1.2 m 값과 연계하여 수심 0.75 m에서 실측치 0.3 m의 값을 이용하였고, 0.9 m에서 실측치 0.2 m의 값을 이용하여 중형의 적합도 지수를 산정하였다. 유속의 서식적합도 지수는 0.35~0.70 %에서 지수 1로 결정하였다. 일반적으로 중·상류 하천에서 갈겨니가 유속 0 %에서도 서식하기 때문에 적합도 지수를 0.1로 정하였고 또한, 갈겨니가 유속 1.5 % 이상에서는 거의 출현하지 않으므로 적합도 지수를 0으로 하였다. 일반적으로 갈겨니의 최적 유속 범위가 0.3-0.8 % 정도로 조사된 사례를 감안하여 지수가 떨어지는 점을 0.7 %로 정하였다. 0.85 %의 적합도 지수를 0.2 %의 실측치에 맞추었으며, 1.05 %는 0.1 %의 실측치에 맞추어 중형의 적합도 지수를 산정하였다. 이렇게 산정한 적합도 지수에 따라 피라미의 산란기와 성어기의 수심과 유속에 대한 서식처 적합도 기준을 작성하였다.

3.3 하상재료의 서식처 적합도 기준

현장조사에서 나타난 하상재료는 모래와 자갈 두가지 형태가 대부분이었으며, 대상 어종들이 모래와 자갈에서 모두 출현하는 것으로 조사되었으나 이들 자료만으로 대상어종들의 서식처 적합도 지수를 마련하기에는 곤란하였다. 금번 연구의 대상어종들은 일반적으로 여울구간에서 서식하는 어종들로써 유속과 수심에 가장 민감하게 반응하며 여울구간을 섭식과 생활을 위한 공간으로 활용 하지만, 모래구간에서도 휴식과 피난을 위한 은신처의 공간으로써 함께 활용하는 것으로 알려져 있다. 그러나 조사지점의 하상재료가 자갈층에서 대부분의 대상어종이 채집된 것을 감안하여 자갈층에서 서식처 적합도 지수를 1.0으로 모래에서 0.5를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되었다. 이렇게 결정한 적합도 지수에 따라 하상재료에 대한 서식처 적합도 기준을 작성하였다.

4. PHABSIM에 의한 생태학적 추천유량의 산정

PHABSIM은 흐름특성(유량-유속, 수심 등)의 변화에 대한 하도구간내 성장단계별 대상어종의 물리적 서식처 변화를 예측하여 대상어종에 대한 가중된 가용면적서식처면적(WUA)-유량 관계를 통해 서식에 필요한 최적유량을 산정할 수 있다(Petts와 Maddock, 1998; Stalnaker 등, 1995).

PHABSIM은 모형내에서 수위-유량관계회귀분석(Stage-Discharge Analysis Using Regression, STGQ)

과 수면표고계산(Water Surface Profile, WSP)과정을 연계하여 유량에 따른 수면표고와 유속의 변화를 수리학적으로 계산하고, 수심, 유속과 하상재료의 서식처 적합도 기준과 결합하여 가중된 가용면적(Weighted Usable Area, WUA)과 유량과의 관계를 산정하여 곡선으로 제시한다. 이때 가중된 가용면적은 식(1)과 같이 산정한다(USGS, 2001).

$$WUA_{Q,s} = \sum_{i=1}^n (a_{i,Q}) (csi_{i,Q,s}) \quad (1)$$

여기서, $WUA_{Q,s}$ 는 어종 s에 대한 유량 Q에서의 가중된 가용면적(WUA)이고, $a_{i,Q}$ 는 유량 Q에서의 셀 i의 표면적, $csi_{i,Q,s}$ 는 어종 s에 대한 유량 Q에서 셀 i의 조합된 적합도지수이다.

PHABSIM에서 csi는 곱셈법(Standard Calculation), 기하학적 평균법(Geometric Mean), 최소치 방법(Lowest Limiting Factor)중 선택하여 계산하도록 되어 있으며(USGS, 2001), 금번 연구에서는 곱셈법을 적용하였다.

4.1 하도구분 및 대표지점 선정

하도구분은 하천 지형학적 특성인 지류의 합류점을 우선 고려하고, 유량관리의 기준이 되는 하도를 기준으로 구분한다. 동일구간내의 특성이 유사하도록 구분하고, 댐상류는 하도구분에서 제외한다. 대표지점은 하천의 유황을 대표하고, 수문자료를 장기간에 걸쳐 얻을 수 있는 지점을 선정한다. 또한 어류는 수심과 유량에 대단히 민감하게 반응하기 때문에 일반적으로 하천에 유량이 감소하는 경우 여울에서 수심이나 유속등 서식처 수리조건이 먼저 한계에 도달하는 지점을 선정한다. 따라서 금번 생태학적 추천유량의 산정지점은 낙동강유역에서 기존의 하천유지유량 산정지점을 기준으로(건설교통부, 1997) 제일 가까운 여울구간(한계구간)을 조사하여 대표지점으로 선정하였다. 금번 연구의 생태학적 추천유량산정을 위한 대표지점은 낙동강 유역의 유황 등에 큰 기여를 하고 있는 내성천(월포), 영강(점촌), 병성천(가장), 위천(용곡), 감천(김천), 금호강(금호), 황강(죽고), 남강(정암), 밀양강(밀양2), 양산천(양산)이다.

4.2 생태학적 추천유량의 산정

생태학적 추천유량의 산정은 수위, 유량, 하상단면, 하상재료분포 등의 현장조사 결과와 금번 연구에서 작성한 서식처 적합지수로 PHABSIM을 적용하여 어종별(갈겨니, 피라미) 시기별(성장기, 산란기) 가중된

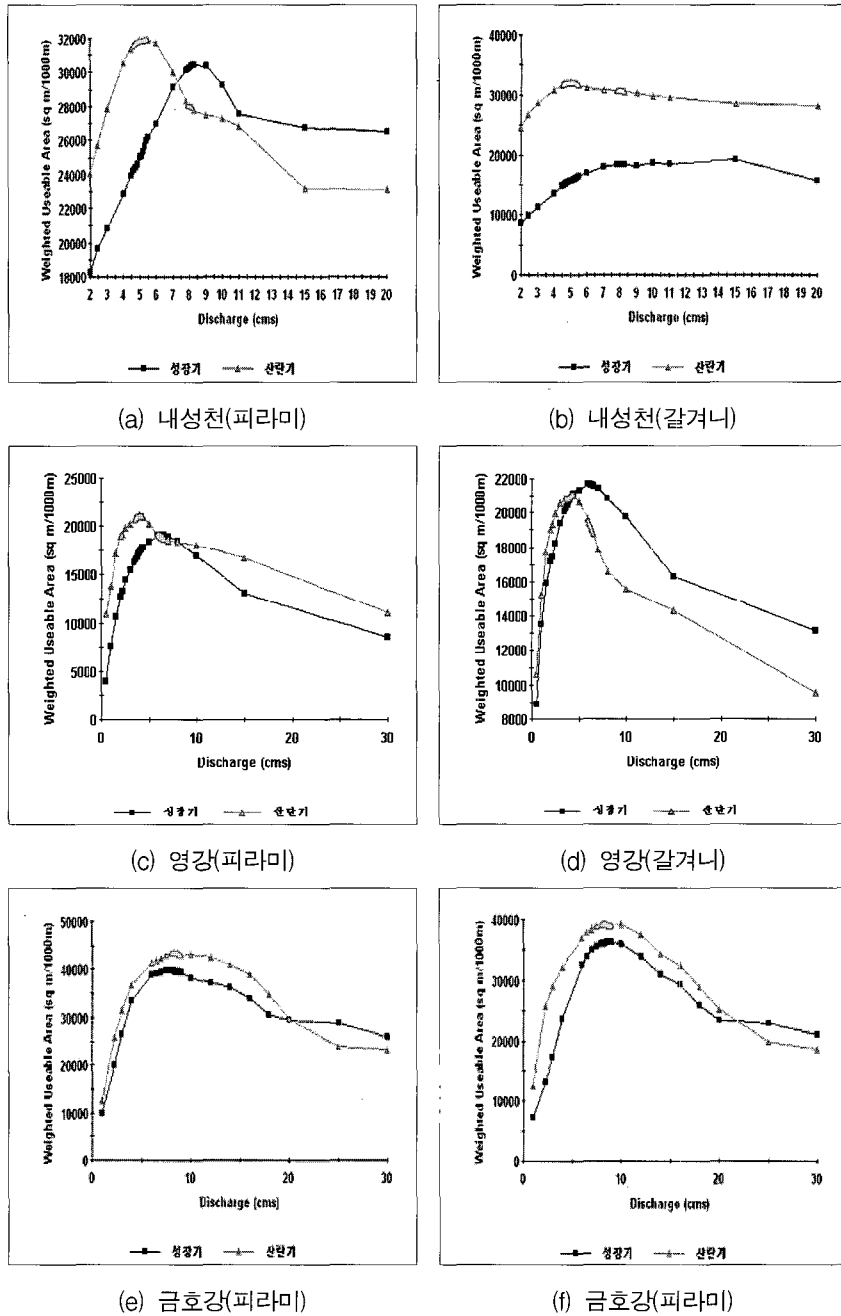


그림 5. WUA-유량 관계곡선

가용면적(WUA)-유량관계곡선을 작성하였다. 금번 작성한 가중된 가용면적-유량관계곡선에서 어종별(갈겨니, 피라미) 시기별(성장기, 산란기) 가중된 가용면적이 최대가 되는 유량을 어류 서식에 적합한 유량으로 결정하고, 이중 가장 큰 유량 값을 생태학적 추천유량으로 표 3에 제시하였다. 대표지점의 WUA-유량관계곡선은 그림 5와 같다.

4.3 기존 생태계 필요유량과의 비교 검토

낙동강 유역내 하천의 생태계 필요유량에 관한 기존의

연구 성과는 낙동강 수계 하천수 사용실태조사 및 하천 유지유량 산정(건설교통부, 1997)이 있다. 본 연구에서는 갈수기의 유량측정성과를 이용하여 한계단면의 수심-유속-유량 관계곡선식을 작성하고 대표어종에 요구되는 수리조건에 맞는 유량을 성장단계별로 산정하여 생태계 필요유량으로 제시한 바 있다(건설교통부, 1997).

따라서 생태학적 추천유량과 생태계 필요유량은 그 산정방법이 상이하여 정량적으로 비교 검토할 수는 없지만, 본 연구에서 산정한 생태학적 추천유량과 낙동강 수계 하천수 사용실태조사에서 산정하여 제시한 생태계

표 3. 생태학적 추천유량 산정결과

하천명	대표지점	대표어종	어류서식처 필요유량(m ³ /s)		생태학적 추천유량(m ³ /s)
			산란기	성어기	
내성천	월 포	피라미	5.3	6.5	6.5
영 강	점 촌	갈겨니	4.0	6.2	6.2
병성천	가 장	피라미	3.5	5.0	5.0
위 천	용 곡	피라미	4.8	6.1	6.1
감 천	김 천	피라미	5.2	7.9	7.9
금호강	금 호	피라미	8.2	7.7	8.2
황 강	죽 고	피라미	10.0	9.8	10.0
남 강	정 암	피라미	6.2	5.1	6.2
밀양강	밀양2	피라미	7.4	8.3	8.3
양산천	양 산	갈겨니	3.5	5.4	5.4

표 4. 기존 생태계 필요유량과의 비교

하천명	대표지점	유역면적(km ²)	생태학적 추천유량(m ³ /s)	낙동강수계 하천수사용실태조사(m ³ /s)		유 황(m ³ /s)			
				생태계 필요유량	하천유지유량	풍수량	평수량	저수량	갈수량
내성천	월 포	1,159	6.5	8.5	8.5	17.4	7.5	4.1	2.2
위 천	용 곡	1,314	6.1	2.9	3.4	19.7	8.5	4.6	2.4
황 강	죽 고	1,330	10.0	3.0	9.0	19.9	8.6	4.7	2.5
밀양강	밀양 2	1,293	8.3	4.0	8.7	19.4	8.3	4.6	2.4

필요유량, 하천유지유량을 산정지점이 동일한 내성천, 위천, 황강, 밀양강을 대상으로 상호 비교 검토하였다.

생태학적 추천유량과 생태계 필요유량의 비교 검토에서는 내성천을 제외하고, 위천, 황강, 밀양강 모두 생태학적 추천유량이 비교적 많은 것으로 분석되었다. 또한 하천유지유량과 비교 검토에서는 내성천과 밀양강은 생태학적 추천유량이 더 많은 것으로, 위천과 황강 하천유지유량이 더 많은 것으로 분석되었다.

유황곡선은 하천유량의 변동성을 함축적으로 나타낸다. 따라서 금번 연구에서는 낙동강유역조사에서 진동수위지점에서 상류 댐건설전에 산정한 유황분석결과(건설교통부, 2004)를 이용하여 비유량으로 각 대표지점의 유황을 산정하였다. 금번 산정 제시한 생태학적 추천유량과 유황을 비교 검토한 결과, 생태학적 추천유량이 내성천, 위천, 밀양강은 모두 평수량과 저수량 사이에 분포하였으며, 황강은 풍수량과 평수량 사이에 분포하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 미 내무성 산하 어류 및 야생동물국에서 제시한 유지유량증분법의 PHABSIM을 적용하여, 어류의 어종별, 성장단계별, 서식처조건별 어류 서식에 필요한 유량을 산정하고, 그중 가장 큰 값을 하천의 생물 및 무생물 모두가 공유하여야 할 비소비성 유량인 생태학적 추천유량으로 제시하였다. 금번 연구 성과를

정리하면 다음과 같다.

- 1) 영강, 위천, 회천(대가천), 거창위천, 청도천, 단장천을 대상하천으로 선정하고 각 하천별 2개의 여울구간을 대상으로 유량측정, 단면측량 및 어류분포 조사를 시행하여 어종별(피라미, 갈겨니), 성장단계별(산란기, 성어기), 서식처조건별(수심, 유속, 하상재료) 어류 서식 적합도 기준을 작성하였다.
- 2) 미 내무성 산하 어류 및 야생동물국에서 제시한 유지유량증분법의 PHABSIM을 적용하여 대표하천인 내성천, 영강, 위천, 병성천, 위천, 감천, 금호강, 황강, 남강, 밀양강, 양산천을 대상으로, 어류서식에 필요한 유량을 산정하여, 그중 가장 큰 유량값을 생태학적 추천유량으로 제시하였다.
- 3) 생태학적 추천유량의 산정결과는 내성천의 월포지점에서 6.5 m³/s 이었으며, 영강의 점촌지점에서 6.2 m³/s, 병성천의 가장지점에서 5.0 m³/s, 위천의 용곡지점에서 6.1 m³/s, 감천의 김천지점에서 7.9 m³/s, 금호강의 금호지점에서 8.2 m³/s, 황강의 죽고지점에서 10.0 m³/s, 남강의 정암지점에서 6.2 m³/s, 밀양강의 밀양2지점에서 8.3 m³/s, 양산천의 양산지점에서 5.4 m³/s으로 산정되었다.
- 4) 본 연구에서 산정한 제시한 생태학적 추천유량과 기존에 산정하여 제시된 생태계 필요유량과 하천

유지유량, 유형분석 결과와 비교 검토를 하였다.

금번 연구는 어류의 생태환경과 수리·수문학적인 조건 등 이학과 공학의 학제간 상호 연계 조사를 시행하여 어류 서식적합도 기준을 작성하였고, 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량으로 제시함으로써 향후 하천의 생태계 보전을 위한 객관적인 하천유지유량 산정에 많은 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 전국유역조사의 일환으로 시행되었으며, 본 연구가 시행될 수 있도록 지원하여 주신 건설교통부 수자원정책과에 깊이 감사드립니다. 또한 유역조사단의 낙동강유역 조사팀과 부산대학교 생물학과의 조사 및 분석 등의 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 강정훈, 이은태, 이주현, 이도훈 (2004). “어류의 서식처 조건을 고려한 하천의 필요유량 산정에 관한 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제11호, pp. 915-927.
- 김규호, 조원철, 전병호 (2000). “수량·수질 모의치를 이용한 어류 서식조건 유지에 필요한 적정유량 산정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제1호, pp. 3-14.
- 김규호 (1999). **하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정**. 박사학위논문, 연세대학교.
- 김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭 (1996). “하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용 : I. 산정방법.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제29권, 제4호, pp. 161-176.
- 김규호, 김선미, 이삼희, 우효섭 (1996). “하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용 : II. 적용 및 결과.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제29권, 제5호, pp. 185-202.
- 박성천, 강성후, 이관수 (1998). “수질보전을 위한 영산강의 하천유지유량 결정.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-1호, pp. 1 - 11.
- 성영두, 박봉진 (2002). “자연이 가져야할 수리권-자연의 수리권.” **수자원정보**, 한국수자원공사, Vol. 8, No. 4, 통권28호, pp. 43-48.
- 안태진, 심명필, 이상호, 김진홍 (2002). “일본에서의 정상유량 검토의 지침(안)”, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제35권 제3호, pp. 124-138.
- 우효섭, 이진원, 김규호 (1998). “물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발 : 금강 본류에의 적용.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-4호, pp. 339-350.
- 우효섭, 이진원, 김규호, 김화수 (1995a). “물고기 서식처를 고려한 하천유지유량의 결정(I) : 모형의 개발.” **대한토목학회 학술발표논문집**, 대한토목학회, pp. 213-216.
- 우효섭, 이진원, 김규호, 신흥섭 (1995b). “물고기 서식처를 고려한 하천유지유량의 결정(II) : 금강에의 적용.” **대한토목학회 학술발표논문집**, 대한토목학회, pp. 217-220.
- 우효섭, 이진원, 김규호 (1994). “하천 어류서식처를 위한 유지유량 결정방법의 비교·검토.” **수공학연구 발표논문집**, 한국수문학회, pp. 153-158.
- 홍형순, 이주현, 정상만 (2003). “하천의 경관 유지수량의 결정.” **한국조경학회논문집**, 한국조경학회, Vol. 30, No. 6, pp. 17-25.
- 건설교통부 (2005). **낙동강유역조사, 제III권 수리·수문조사보고서, 제3편 강우 및 유출분석**. 한국수자원공사.
- 건설교통부 (1997). **낙동강 수계 하천수 사용실태조사 및 하천유지유량 산정**, 부산지방국토관리청.
- 한국수자원공사 (1995). **하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용**. IPD-95-2, 연구보고서.
- Bovee, K.D., B.L. Lamb, J.M. Bartholow, C.B. Stalnaker, J. Taklor and J. Henriksen (1998). *"Stream Habit Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology."* Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD/ 1998-0004, U.S. Geological Survey, Fort Collins, Colorado.
- Petts, G. E., Maddock (1998). "Flow Allocation for In-River Needs." *The River Handbook Hydrological and Ecological Principles Volume 2*, Oxford Blackwell Scientific Publication, pp. 289-307.
- Stalnaker C.B., Berton L. Lamb, Jim Henriksen, Ken Bovee, John Bartholow (1995). *"The Instream Flow Incremental Methodology A Primer for IFIM."* Biological Report 29, U.S. Department of the Interior National Biological Service, Washington, D.C. 20240.
- USGS (2001). *PHABSIM for Windows - User's Manual and Exercises*, Midcontinent Ecological

Science Center.
Waddle T. (1998). "Development of 2-Dimension
Habitat Models." *Hydroecological Modelling
Research, Practice, Legislation and
Decision-Making*, U.S. Geological Survey,
Biological Resources Division, The Mid-Continent
Ecological Sciences Center Fort Collins, T.G.

Masaryk Water Research Institute Praha, pp. 19-22.
國土交通省 (2001). **정상유량 검토의 지침(안)**, 하천국
하천환경과.
國土建設省 (1992). **정상유량검토(안)**, 건설성 하천국
하천환경대책실.

(논문번호:05-49/접수:2005.3.23/심사완료:2005.06.14)