한강 달천에서 어류 조사 및 어류 서식처에 대한 수리학적 해석

Hydraulic Simulation of Fish Habitat for Estimating the Minimum Flow Needs, Dalchon, Han River

○ 김규호*, 박성식**, 전상린***

1. 서 론

한강 달천에서 본류 3개 지점을 선정하여 각 조사 지점에서 3차에 걸친 어류상 조사와 함께 수리환경, 수질환경, 하상조건, 주변 식물상 등을 조사하였다. 우점종을 기준으로 대표어종과 대리어종을 선정하여 이에 필요한 서식처 요구 조건을 설정하였다. 유역에 대해 산정된 갈수량을 대상으로 한계 구간인 여울에서 어류 서식처의 수리학적 조건을 해석하여 필요한 유량을 산정하였다.

2. 본 론

한강 유역에 위치한 달천 유역은 유역면적이 대략 1,625.4㎢ 정도이고, 유로 연장은 약 119.3㎞로서 유역의 평균폭은 11.54㎞이며 하천변을 따라 농경지와 구릉지 산이 분포되어 있을 뿐 중상류의 대부분이 산간지로 형성되어 있다. 유역 전체적으로 볼 때, 농경지 비율이 18.1%로 다소 낮은 편이고, 유역의 평균표고는 342m로 하천 형태는 대체적으로 수지형이다. 또한 본 유역에는 하류 직할 하천과 중상류 대부분의 지방 하천인 본류와 쌍천, 음성천 등 크고 작은 26개 이상의 지류로 구성되어 있으며, 대체적인 하폭은 90~340m 정도이고, 하상재료는 한강 중하류의 다른 하천과 마찬가지로 주로 호박돌과 굵고 작은 자갈, 모래 등으로 구성되어 있으며 하천의 평균 하상경사는 1/750 정도이다. 이와 같이 달천은 유역 및 하도가 자연 상태를 유지하고 비교적 수질도 좋아 각종 어류가 서식하기에 좋은 하천을 유지하고 있다.

2.1 어류 조사

어류 조사 지점은 그림 1과 같이 달천 본류를 중심으로 3개 지점을 선정하였다. 이는 하천의 상·중·하류에 중점을 두었고, 하천 구조와 주변의 오염원, 하천 규모, 유수량과 수변 식생조사자들의 경험을 통해 대표적인 어류상을 파악할 수 있는 지점으로 선정하였다. 어류는 서식처의 수온과 유량 등 주변의 환경에 따라 산란 및 먹이 섭취, 월동 등을 위해서 서식처를 이동하는 경향이 있어 조사 시기는 계절을 고려하여 설정하였다. 먼저 봄(4~5월), 여름(5월말~6월), 그리고 가을(9월)의 3차 조사시기를 택하였고, 매번 조사시 투망은 15회와 족대는 40분간에 걸쳐서 실시하였다.

---

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
*** 상명대학교 생물학과 교수

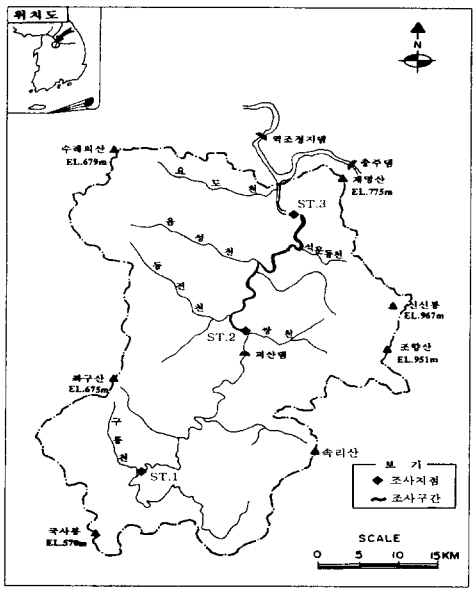

그림 1. 달천 유역 어류 조사지점 및 구간

2.2 기존 및 어류 조사 결과

현재까지 달천에 대한 기존 어류상 조사는 유일하게 손영목(1991)에 의해 이루어졌다. 이 조사는 1989년 3월부터 1991년 11월까지 비교적 많은 19개 지점에서 이루어졌고, 그 결과 9과 48종이 서식하는 것으로 보고되었으며, 남한강 지류 중에서 비교적 종이 풍부한 것으로 나타났다.

한편, 이번 조사를 통해 확인된 달천 어류상은 총 6과 30종이 출현하였고, 피라미 29.0%, 줄납자루 8.8%, 참종개 7.8%, 돌마자 7.0%, 돌고기 6.8%, 쉬리 5.5%, 납자루 5.2%, 새코미꾸리, 퉁가리, 갈겨니 등이 풍부하였고 누치, 참붕어, 모래무지, 돌상어, 동사리, 그리고 미꾸리 등은 희소하였다.

조사 지점별 우점종 및 아우점종은 달천 전지점에서 피라미가 우점종으로 출현하였고, 참종개, 쉬리, 줄납자루가 아우점종으로 출현하였다. 이와 같은 어류 출현 양상은 손영목(1991)의 조사 결과에서 우점종이 피라미로 23.3%가 출현하는 것은 과거와 큰 차이가 없으나, 아우점종으로 버들치가 10.3%, 그리고 갈겨니가 9.8%가 출현하는 것은 차이가 있다. 이는 아마도 두 조사에서 조사 지점의 수와 조사 기간 등의 차이에서 나타나는 결과로 판단된다(전상린, 1998).

2.3 대표어종과 서식 환경

기존의 대표어종 선정 기준(한국수자원공사, 1995; 김규호 등, 1996a, 1996b)에 준하여 우점종 위주로 선정한 결과, 표 1과 같이 전 조사 지점에서 대표어종은 피라미가 선정되었고, 대리어종은 상류에 속하는 지점 1에서 참종개와 납자루, 중류인 지점 2에서는 쉬리와 새코미꾸리, 하류인 지점 3에서는 줄납자루와 돌마자였다. 피라미가 대부분의 지점에서 대표어종으로 출현하였고, 대리어종은 지점에 따라 다소 차이가 있으나 여울에 주로 서식하는 종이 많았다.

표 1. 조사 지점별 대표어종과 대리어종 일람표

조사 지점	대표어종	대리어종
충북 괴산군 청천면 후평리(지점 1) : 달천강 상류	피라미	참종개, 납자루
충북 괴산군 칠성면 두천리(지점 2) : 달천강 중류	피라미	쉬리, 새코미꾸리
충북 충주시 풍동 단월취수장 하류(지점 3) : 달천강 하류	피라미	줄납자루, 돌마자

표 2는 한국수자원공사(1995)와 김규호 등(1996a)이 제시한 결과에 따라 달천에서 서식하는 주요 어종의 생태적 요구조건과 우리나라 대표어종과 대리어종의 서식처 수리 조건을 검토하여, 전상린(1998)이 다년간에 걸친 어류의 생태환경에 대한 연구 결과를 바탕으로 확인한 각 어종의 서식처에 적합한 수리 및 수질 등을 추가로 나타낸 것이다.

표 2. 선정된 대표어종과 대리어종의 습성과 생활환경(전상린, 1998)

어 종	구분	구역	순위	산 란 장 소	성 장 단 계(월)				수 질 환 경			수 리 환 경	
					치어	성장	동면	월동장소	수질	DO (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	수심 (cm)	유 속 (cm/sec)
갈겨니	표	중상	3	여울	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	5>	2-5	20-50	30-80
쉬리	리	중상	21	여울	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	5>	2-5	20-50	30-80
피라미	표	중	1	여울	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	3>	2-5	30-100	30-80
돌마자	리	중	5	여울	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	3>	2-5	20-50	30-60
몰개	리	중하	71	수초	7-10	4-10	11-3	p,v	3	2>	2-10	30-50	20-50
돌고기	리	중	11	돌틈	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	3>	2-5	20-50	30-50
모래무지	리	중	13	모래	7-10	4-10	11-3	g,s	2	3>	2-5	20-80	30-50
밀어	리	중하	14	여울(돌)	7-11	3-11	12-3	r,s	3	2>	2-10	20-80	10-30
줄납자루	리	중하	25	펄(조개)	7-10	4-10	11-3	p,s	2	3>	2-5	30-120	10-30
퉁가리	리	중	42	여울	7-10	4-10	11-3	r,s	2	5>	2-5	30-50	30-80
참마자	리	중	20	모래	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	3>	2-5	50-80	20-50
참종개	리	중	17	모래	7-10	4-10	11-3	g	2	5>	2-5	20-50	30-80
납자루	리	중	18	펄(조개)	7-10	4-10	11-3	p,v	2	3>	2-5	30-120	10-30
새코미꾸리	리	중	70	모래	7-10	4-10	11-3	g	2	5>	2-5	20-50	30-80
배가사리	리	중	45	여울	7-10	4-10	11-3	p,r,s	2	5>	2-5	30-50	30-80
돌상어	리	중	64	여울	6-10	4-10	11-3	r,s	2	5>	2-5	20-30	50-100

【주】 1. 구분 : 표 ⇒ 대표어종, 리 ⇒ 대리어종

2. 구역 : 중상 ⇒ 중·상류수역, 중 ⇒ 중류수역, 중하 ⇒ 중·하류수역

3. 순위 : 전국 하천에서 출현한 각 어종의 출현 빈도 순위 (최기철와 이원규, 1994)

4. 수질등급 : 수질 ⇒ 등급, DO 및 BOD ⇒ ppm 단위

5. 월동장소 : g ⇒ 모래, p ⇒ 소, r ⇒ 바위밑, s ⇒ 돌 사이, v ⇒ 수초 사이

2.4 한계구간 설정과 수리 해석

하상 구조는 일반적으로 하천에 유량이 감소하는 경우 여울(riffles)에서 수심이나 유속 등 서식처 수리조건이 먼저 한계에 달하게 되므로 한계구간은 통상 여울에 주목하여 조사하였다.

2.4.1 한계 구간 설정 및 조사

본 연구 대상 구간에서 어류 서식처와 관련된 한계 단면을 선정하기 위하여 최근에 수립된 하천정비기본계획과 하상변동조사 보고서에 나타나 있는 여울지점을 설정하였다. 지금까지 수립되어 제시된 이들 보고서에 나타난 하도 구간의 종단면도의 최심하상고와 동시(또는 일제) 관측수위를 비교하여 그 차이가 적거나 수심이 수 cm에 불과할 경우는 일단 여울로 보고 현지조사를 통해 그 특성을 조사하였다. 조사 구간은 그림 1에서 괴산댐 배수구간이 아닌 조사 지점 2 하류이다.

2.4.2 한계 구간 및 지점에서 수리·수문 조건

달천 주요 한계 구간에서 HEC-RAS에 의한 수리학적 해석을 위해 비관개기간인 1998년 10월 23일에 상하류 4개 지점(해석 구간에 속하는 지점)에서 하상 단면 측정과 동시에 유량, 유속, 수면 공간, 하상 재료를 직접 조사하여 이용하였다. 한편, HEC-RAS 프로그램의 수행을 위한 입력 자료 중에서 상하류의 경계 조건은 직접 조사한 결과, 단면자료는 하천정비기본계획에 표기된 지점을 위주로 입력하였다. 하도 구간에 대한 조도계수는 갈수기 하천 특성 조사 결과를 참고하여 HEC-RAS 매뉴얼에 제시된 조도계수를 기준으로 상하류 구간을 똑같이 0.040을 적용하였다.

2.4.3 HEC-RAS에 의한 수리학적 모의 검증

표 3과 같이 조사된 동시 유량을 이용하여 달천 하천 구간에서 미국 공병단의 HEC-RAS 프로그램의 실행 능력을 검토하기 위해 실측 수리 변수, 즉 최대 수심, 평균 수심, 최대 유속과 평균 유속 등의 수리 변수와 배수위 계산 자료를 비교하여 적합성을 확인하였다. 이를 위해 1998년 10월 23일 상하류 4개 지점에서 동시에 측정한 수위 및 유량, 수리량을 이용하여 수리학적 변수들을 모의하고, 이를 실측치와 비교하여 검증하였다. 그 결과 측정 당시의 하천 유량은 비교적 크고 풍부하여 계산된 수면표고와 최심하상고 사이가 커서 여울 형태의 한계 지점이 적게 나타났다.

표 3. 한계 구간 및 지점에서 수리량 실측치와 계산치 비교

한계 지점		최대 수심(cm)		최대 유속(cm/sec)		수면폭(m)	
		실측치	계산치	실측치	계산치(평균)	실측치	계산치
No.38	충주단월취수장 하류	62.3	77.0	87.0	169.0	119.0	50.0
No.1	팔봉교 아래	61.0	55.0	127.0	167.0	84.0	50.0
No.42	하문간이양수장 하류	-	79.0	-	69.0	-	60.0
No.53	음성천 합류전	-	72.0	-	55.0	-	150.0
No.68	신항천 합류후	63.0	62.0	102.0	51.0	73.8	80.0
No.83	오간 양수장	-	74.0	-	47.0	-	139.0
No.113	괴강교 하류	-	42.0	-	37.0	-	130.0
No.126	두천새마을교 하류	-	51.0	-	144.0	-	57.0
No.127	두천새마을교 상류	-	33.0	-	152.0	-	46.0
No.129	쌍천합류후	79.0	21.0	92.0	96.0	58.0	92.0

2.4.4 갈수량의 설정

일반적으로 어류 보전에 필요한 하천 수리 조건에서 채택하는 하천유량은 크게 일평균 유량에서 계절별 유량, 갈수기의 특정 유량과 지속기간별 갈수량 등이 이용된다(Calow and Petts, 1994; 김규호, 1996a, 1996b; 우효섭 등, 1998).

달천 수위관측소에서 최근 8개년 동안 관측된 갈수 기간의 기준갈수량은 2.8㎥/sec, 평균갈수량은 4.0㎥/sec로 산정되었으며, 그 동안의 갈수량 중 최대치는 6.6㎥/sec로 나타났다. 또한 월별로 산정된 지속기간, 3, 5, 7, 10일 연속 갈수량은 10년 빈도에서 2.8~3.0㎥/sec, 평균 개념인 2.33년 빈도에서는 5.6~6.7㎥/sec로 나타났다. 그리고 월최대 지속기간별 갈수량은 12.8~13.8㎥/sec로 상당히 큰 유량이 산정되었다. 단지, 달천 유역 상류에 위치한 발전용 괴산댐의 방류량이 이 지점의 갈수량에 상당한 영향을 미치고 있고, 불충분한 수문자료와 상하류의 유역 특성을 고려하여 미계측 지류 및 상류 각 지점에 대해 갈수량을 비유량 개념으로 산정하여 지역화하였다.

2.4.5 갈수량 규모별 수리학적 모의

하천의 서식처 제공에 적합한 최소한의 갈수량을 설정하는 것이 본 연구의 주된 목적이기 때문에 한계지점에서 각 갈수량이 대표 어종의 서식처 요구 조건을 얼마나 만족시켜는 주는 지를 수치 및 도식적으로 검토하였다. 즉, 갈수량 규모별로 계산된 한계지점의 수리변수가 대표어종의 서식처 수리조건에 적합한지를 검토하고 이때 적합한 유량을 필요유량으로 설정한다. 달천 수위관측소를 기준으로 산정된 상하류의 갈수량, 즉 기준갈수량, 평균갈수량, 그리고 빈도 2.33 및 10년, 월최대의 지속기간별 갈수량에 대한 수리 변수, 즉 최대 수심, 평균 수심, 최대 유속과 평균 유속을 HEC-RAS를 통해 달천 구간에 대해 계산하고 한계지점 값을 산정하였다.

2.5 어류 성장 단계별 적정 유량

갈수량 규모별로 모의된 결과를 달천의 대표어종인 피라미가 서식하기 위한 수심과 유속에 대한 수리 조건과 한계지점별 계산치를 비교하여 나타내면 각각 그림 2 및 그림 3과 같다. 이 그림에서 명확하게 선정할 만한 수리조건이 나타나지 않지만, 대표어종 피라미의 산란기인 4월과 5월 사이에는 기준갈수량 이상, 치어기인 여름과 가을철에도 평균갈수량 이상, 어류가 성장하고 활동하는 성어기인 봄과 가을에는 2.33년 빈도 7일 갈수량 이상이 필요한 것으로 판단된다.

그러나 수심에 대한 조건보다 유속 조건이 크게 산정되었는데, 이는 하천정비기본계획상에 제시된 저수로 횡단면의 상하류 거리가 200m 이상 떨어져 있어 수리조건이 정확한 여울(조사 결과 보통 60~100m가 이어짐)에서 계산되지 못하고, 한계 지점 상하류에 위치한 교량이나 급격한 협수로에서 계산되었기 때문이다. 저수로 단면의 불확실로 사실상 현재 저수로에 대한 해석 결과로서 의미를 부여하기에는 미흡하다. 앞으로 상하류 구간에서 종횡단으로 조밀하게 측정된 저수로 단면 자료가 확보된다면 보다 정확한 해석 결과를 유도해 낼 수 있을 것이다.

한편, 각각의 한계 여울 지점에서 달천의 대표어종인 피라미가 서식하는 데 필요한 생태적 서식 조건 중에서 어류 성장 단계별로 필요한 한계 수심 및 유속 조건을 충족시키는 유량은 달천 수위관측소를 기준으로 기준갈수량은 2.80㎥/sec, 평균갈수량은 4.00㎥/sec, 그리고 2.33년 빈도 7일 연속 갈수량은 6.20㎥/sec에 해당한다.

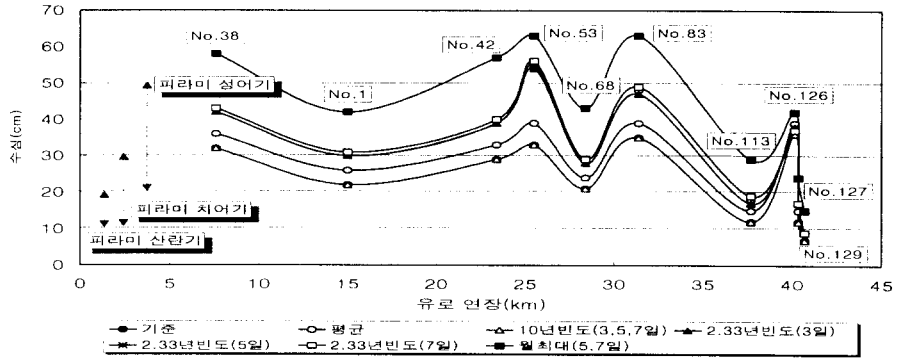

그림 2. 한계지점에서 어류 서식 조건과 갈수량별 모의치 비교(수심)

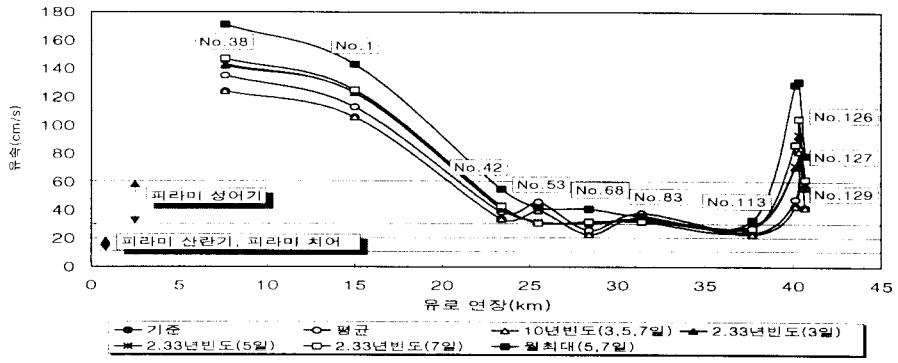

그림 3. 한계지점에서 어류 서식 조건과 갈수량별 모의치 비교(유속)

3. 결 론

하천 수질과 함께 하천 생태계에서 유량의 변화는 어류뿐만 아니라 하천의 모든 생물에 큰 영향을 미친다. 특히 어류의 서식처, 산란장, 산란한 알 등에는 유량의 변화가 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 이와 같은 필요성과 목적에 따라 달천 본류의 3개 지점을 선정하여 어류상과 함께 수리환경, 하상 조건, 그리고 수질환경을 조사하고, 대표어종과 대리어종을 선정하여 성장단계별 서식처 요구조건을 설정하여 필요한 유량을 산정하였다.

(1) 달천 상하류를 고려하여 선정된 3개 지점에서 봄(4~5월), 여름(5월말~6월), 그리고 가을(9월)에 3번에 걸쳐 어류상을 조사한 결과, 달천에서 출현한 어종은 총 6과 30종이었고, 이 중에서 피라미 29.0%, 줄납자루 8.8%, 참종개 7.8%, 돌마자 7.0%, 돌고기 6.8%, 쉬리 5.5%, 납자루 5.2%, 새코미꾸리, 퉁가리, 갈겨니 등이 풍부하였다. 이에 따라 달천에서는 대표어종으로 피라미가 선정되었다.

(2) 어류 서식처 제공을 위한 대상 갈수량(기준갈수량, 평균갈수량, 그리고 빈도 2.33 및 10년, 월 최대의 지속기간별 갈수량 등)에 대해 미국 공병단의 HEC-RAS 프로그램을 이용하여 수리 변수, 즉 최대 수심, 평균 수심, 최대 유속과 평균 유속을 계산하고 한계지점 값을 산정하였다. 산정된 결과를 달천의 대표어종 피라미(Zacco platypus)가 성장단계별로 서식하는데 필요한 수리 조건, 주로 수심과 유속을 비교하였다.

(3) 달천의 대표어종 피라미가 서식하기에 적합한 수리 조건을 충족시키기 위한 갈수량은 피라미의 산란기인 4월과 5월 사이에는 기준갈수량 이상, 치어기인 여름과 가을철에도 기준갈수량 이상, 어류가 성장하고 활동하는 성어기인 봄과 가을에는 2.33년 빈도 7일 갈수량 이상이 필요한 것으로 판단된다. 그러나 이 갈수량들은 정확하게 수심과 유속 조건을 모두 충족시키지는 못한 바, 조밀하게 측정된 저수로 단면자료가 확보된다면 보다 정확한 해석 결과를 유도하여 이용할 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭(1996a), "하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용: I. 산정 방법," 한국수자원학회 논문집 제29권 제4호, pp. 161-176.

김규호, 김선미, 이삼희, 우효섭(1996b), "하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용: II. 적용 및 결과," 한국수자원학회 논문집 제29권 제5호, pp. 185-202.

손영목(1991), 충청북도산 담수어류, 서원대학교 기초과학연구논총, 5: 1-38.

우효섭, 이진원, 김규호(1998), "물고기 서식처를 고려한 하천 유지유량 결정방법의 개발-금강 본류에의 적용-,"대한토목학회 논문집 제18권 제II-4호, pp. 339-350.

전상린(1998), 한강 유역 하천생태계(어류) 및 서식 환경 조사, 한국건설기술연구원.

한국수자원공사(1995), 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용, 조사계획처 연구보고서, 한국건설기술연구원, 대전.

Calow, P. and G. E. Petts(1994), The Rivers Handbook : Vol 2. Hydrological and Ecological Principles, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.

HEC(1995), Users Guide of HEC-RAS, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.