

유지유량증가 방안에 따른 원주천 수질 및 어류서식환경 개선효과

최 흥 식^{*+}

Effect on water quality and fish habitat improvement of Wonju Cheon by instream flow increasing

Heung Sik Choi^{*+}

요약 : 현장관측에 기초한 원주천의 기준갈수량에 추가하여 수질향상과 어류서식환경의 개선을 위한 목표 유지유량을 산정하였다. 목표유지유량의 산정은 자연 생태적 기능, 친수환경, 경관을 고려한 수심과 유속을 기초로 하여 구간 또는 지점별 저수로폭을 감안하였다. 각 지점별 저수로 수면 폭에 따른 유속은 0.2m/s으로 하고 수심을 상류 0.1m에서 하류 0.3m까지로 하여 산정한 추가적 유지유량 확보량은 상류지점의 0.03m³/s에서 하류지점의 0.90m³/s이다. 목표한 유지유량의 확보를 위한 방안으로 하수도시스템의 개선에 의한 계곡수와 우수의 방류, 유역관리에 의한 기저유출 증가, 상류수원의 개발과 천변저류지 등을 검토하였다. 검토결과는 목표유량과 부합되는 0.19m³/s에서 3.42m³/s로 기준갈수량의 1.4배에서 2.5배 까지 늘릴 수 있는 가능성을 분석하였다. QUAL2E 모형의 적용을 통하여 유지유량 증가에 따른 BOD 수질개선효과를 확인하였다. 원주천 중류의 복원목표종을 갈겨니로 선정하고, 유지유량 증가에 따른 PHABSIM 모형에 의한 서식적합도는 현저히 향상되어 유량증대가 수질과 어류서식환경을 개선하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 유지유량, 하수도정비, 어류서식환경, 수질개선

Abstract : For improving water quality and fish habitat environment the targeted instream flows added to the field measurement of low flow at each reach along Wonju Cheon are calculated by depth, velocity, and the present lower channel width with considering the landscape, aquatic environment, and natural ecological function. Target instream flow increasing ranged from 0.03m³/s of upstream to 0.90m³/s of downstream according to the proposed depths of 0.10m to 0.30m and velocity of 0.2m/s. The methods for target instream flow increasing are base flow increasing by watershed management, non polluted discharge inflow from valley and combined sewer by sewerage system modification, and discharges from upstream reservoirs and detention basins near-by stream. The possible increasing flow rates are 0.19m³/s to 3.42m³/s which are 1.4 to 2.5 times of low flow to be measured which are the equivalent targeted instream flows along Wonju Cheon. The BOD-based water quality improvement are analyzed by QUAL2E. The habitat suitability indices by PHABSIM of Zacco temminckii as target species at middle stream of Wonju Cheon improve significantly by low flow increasing, which is very important to improve water quality and fish habitat.

Keywords : instream flow, sewerage system arrangement, fish habitat, water quality improvement

1. 서 론

전통적으로 하천의 관리수량은 하천의 정상적인 기능과 상태를 유지하기 위한 기준 최소한의

자연갈수량의 유지(서병하 등, 1990)에 하천 동식물의 생태계보호, 하천경관 보전, 하천 수질 및 청결한 유수의 유지, 수운 및 수상활동의 유지, 염수침입의 방지, 하구 막힘의 방지, 하천시설물

+ Corresponding author : hskchoi@sangji.ac.kr

* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 · 공학박사

의 보호, 지하수위의 유지와 같은 9가지 기능을 갖는 것을 의미한다(우효섭 등, 1995). 하천시설 기준에는 평균갈수량과 환경보전유량 중에서 큰 값을 하천 유지유량(low/instream flow)으로 취한다고 되어 있지만, 환경보전유량을 계량화 하기 위한 명확한 산정 기준이 제시되지 않아 결과적으로 기준 또는 평균 갈수량을 하천유지유량으로 산정하는 것이 보편적이다.

김규호 등(1996a)은 하천의 관리유량의 결정을 위한 하천의 유지유량의 정의를 항목별로 필요유량을 산정하여 갈수량과 비교하여 큰 값을 사용하는 것으로 정의하고, 여기에 하천의 자연 및 인위적 기능뿐만 아니라 하천수의 이용기능을 충족시킬 수 있는 유량으로 정의하였다. 김규호 등(1996b)은 산정방법을 개발하고 이의 적용 및 결과를 제시하였다. 정상만 등(2007)은 수리서식모형을 이용한 실제 대상하천에서의 어류서식에 필요한 최적유량을 산정하였고, 고익환 등(2007)은 지속가능한 하천관리를 위한 환경유량의 산정을 연구하였다. 최근에는 자연과 함께하는 하천복원 기술개발의 ECORIVER21사업단에서 하도서식처 복원을 위한 다양한 연구가 시도되고 있다(안홍규, 2007).

외국의 경우는 수상위락을 위한 유지유량 산정의 연구(Hyra, 1978)와 어류서식조건에 대한 유지유량의 산정(Bovee, 1982)이 있고, 환경유량(environmental flow) 개념으로 생물의 다양성을 유지 복원하기 위한 차원의 생태계의 물의 할당을 시도하여 실무에 널리 사용되고 있다(Arthington 등, 2000).

원주시 하수도시스템은 분류식과 합류식의 혼합 형태로 우수나 계곡수를 하천으로 보내지 않고 오수와 동시에 하수종말처리장으로 보낸다. 또한 도시화의 진전에 따른 지하수의 함양 부족과 무분별한 지하수의 개발에 의해서 기저유출의 감소로 하천유량이 현저하게 감소되었다. 하지만 원주천은 친수공간의 확보를 위한 용수, 생태계 회복 또는 복원을 위한 새로운 형태의 용수수요가 요구된다. 따라서 원주천의 유지유량은 자연갈수량을 최

소한의 기준으로 잡고, 자연 생태적 및 경관 기능에 해당되는 항목별 필요유량을 조합하여 구간 또는 지점별로 하천유지유량의 목표를 설정하였다. 각 기능에 부합할 수 있는 최소한의 수심과 유속을 정하고 기존의 하천 구간별 저수로 폭을 기준으로 한 필요유량을 산정하였다. 산정한 유량과 현재 원주천의 기준갈수량과의 차이를 유지유량의 증대로 계획하고 이의 확보를 위한 방안을 검토하였다. 이를 위해서 원주천의 기능강화를 위한 용수확보방안으로 유역관리에 의한 지하수위의 상승, 신규수원의 개발, 하수 현지처리 강화, 하도의 개선, 하수도시스템의 개선에 의한 계곡수와 우수를 원주천으로 방류, 하수처리장 처리수의 재활용 등을 검토하여 확보 가능한 유량을 산정하였다.

아울러 증가된 유지유량에 의한 어류서식환경 적합도 및 수질 개선을 PHABSIM(USGS, 2001) 및 QUAL2E 모형에 의해 수치실험하여 개선의 정도를 분석하였다. PHABSIM 모형은 주로 하천의 물리 미소서식처(physical microhabitat) 구조의 특징을 규명하고, 목표종(target species)의 생물학적 반응과 성장단계(life stage)를 반영하여 유량에 따른 물리서식처의 특징을 분석할 수 있는 모형이다. 일반적으로 PHABSIM 모형의 결과는 유량에 따른 물리 서식처의 가용성을 제시함으로써, 하천유지유량의 필요성과 연관된 연구 또는 유량 및 하천변화가 하천 생태에 미치는 영향을 분석하는 연구에 활용되어 왔다. 또한 생태계 필요유량 산정에 주로 사용되는 PHABSIM 모형은 유량, 유속, 수심 등의 수리특성의 변화에 대한 하도 구간내 성장단계별 대상어종의 물리적 서식처 변화를 예측하여 대상어종에 대한 서식처면적-유량의 관계를 통해 서식에 필요한 최적유량의 산정을 위한 것으로 하천의 지형자료, 대상어종의 서식적합도 곡선, 수리특성자료 등이 필요한 입력자료다.

2. 원주천의 현황과 갈수량

지방2급 하천인 원주천은 유로연장 25.7km 유

역면적 154.0km² 도시하천으로 원주시를 남북으로 관류하고 있다. 원주천을 지천을 가진 유역과 하수유역으로 구분하여(그림 1) 표 1에서와 같이 유역의 특성을 정리하였다. 그에 따른 수계와 하수구 모식도는 그림 2에서 보는 바와 같이 지방2급 하천 2개소, 소하천 15개소, 비교적 큰 규모의 하수구 13개소로 구성되어 있다. 작은 규모의 소류

지가 몇 개 있을 뿐이고 비교적 큰 규모의 수원은 없다. 갈수기인 2004년 2월에 조사한 유량측정결과를 원주천의 기준갈수량으로 정하였다. 그림 3 및 표 2에서와 같이 갈수량은 0.16m³/s에서 0.54 m³/s으로 건전한 생태환경을 유지하기 위해서는 수량이 부족하다.

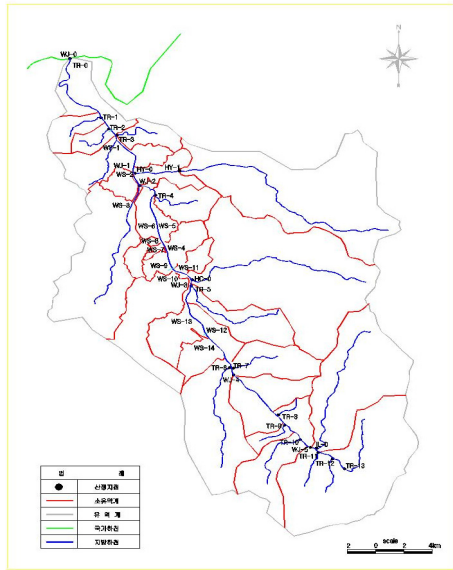


그림 1. 원주천 소유역/하수유역의 구분

표 1. 원주천 소유역/하수유역의 구분과 수리적 특성

	구분	기호	유로연장 (m)	면적(m ²)	경사
지방 2급	홍양천	HY-0	10,919	22,945,138	0.069
	화 천	HC-0	7,138	24,326,166	0.076
소 하천	잔골천	TR-1	1,588	2,033,821	0.047
	중방천	TR-2	1,670	1,210,723	0.026
	무명천	TR-3	1,970	1,972,025	0.019
	일야미천	TR-4	1,956	3,049,249	0.014
	입춘내천	TR-5	4,327	4,308,116	0.018
	신촌천	TR-6	4,861	9,482,647	0.074
	신성천	TR-7	1,927	4,016,011	0.097
	양금대천	TR-8	1,178	1,694,578	0.214
	소도시천	TR-9	1,354	889,157	0.108
	대도시천	TR-10	2,882	4,240,013	0.123
	금대천1	TR-11	1,677	4,436,807	0.157
	금대천2	TR-12	1,673	2,306,329	0.130
	금대천3	TR-13	2,868	4,130,029	0.106
막골천/무명천	TR-0	7,138	3,867,000	0.030	
일른천	IL-0	4,306	12,893,241	0.094	

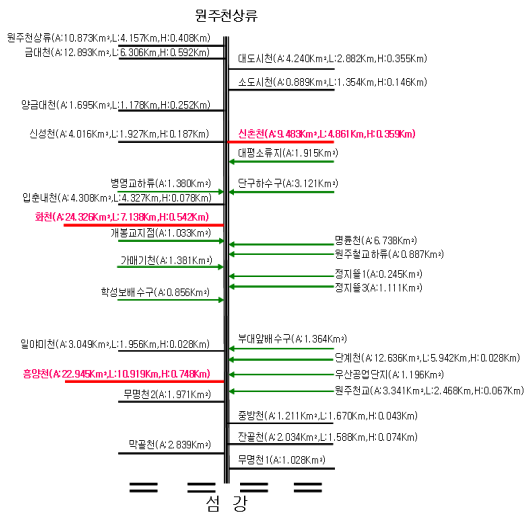


그림 2. 원주천 수계의 하천 및 하수구 모식도

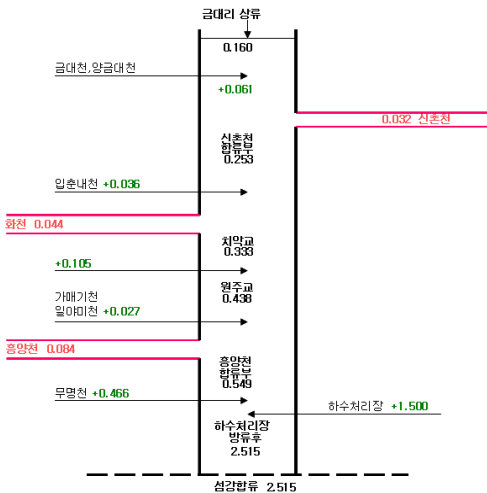


그림 3. 원주천의 지점별 유량측정 (2004. 2. 28)단위 : m³/s

표 2. 지점별 기준갈수량

지점	금대리 상류	신촌천 합류후	치악교	원주교	홍양천 합류	비고
기준갈수량(m/s)	0.16	0.25	0.33	0.44	0.55	

3. 수량확보 방안

3.1 수량확보 기본방향

원주천의 자연 생태적 기능강화를 위해서는 추가적인 용수확보가 필수적이며 용수확보방안은 유역관리에 의한 지하수위의 상승, 신규수원의 개발, 하수현지처리 강화, 하도의 개선, 하수도시스템의 개선에 의한 계곡수와 우수를 원주천으로 방류, 하수처리장 처리수의 재활용 등으로 원주천 유지유량 증대계획의 장단점을 검토해 보면 표 3과 같다.

3.2 하천유지유량 산정

하천의 정상적인 기능과 건전한 상태라 함은 최소한의 자연갈수량 유지, 하천생태계 보호 등이

며, 그 외에 도시하천으로서의 기능유지를 위한 용수로는 하천경관 보전, 청결한 흐름의 유지, 수상 활동 유지, 하천 시설물 보호와 같은 기능을 말한다. 도시하천에서의 건천화 방지용수는 하천의 최소한의 생태계유지를 위한 용수를 필요로 하므로 하천의 생태기능 유지와 건천화 방지를 위한 필요유량은 동일한 개념으로 보아도 무리가 없고 이와 같은 바탕 위에서 하천유지유량은 각 하천기능에 적합한 수면폭, 유속, 수심에 의해 정해지며 구체적인 산정기준은 다음과 같다.

하천 어류서식지 해석과 필요유량 산정 및 평가방법은 4가지 방법이 있다. 첫째는 경험적인 방법으로 과거 관측유량의 유흡분석을 통해 어류 서식에 적합한 일정비율의 유량을 결정하는 방법이다. 둘째는 현지 실측방법으로 하천에서 조사구간을 정해 어류와 수리·수문 변수간의 관계를 개발

표 3. 원주천 수량관리 계획(원주시, 2005)

구 상	방 안	검 도	
		장 점	단 점
신규수원 개발	상류에 저수지 축조	하천수질개선 하천기능유지 (생태, 경관)	공사비 건교부와의 협의
	지하수 개발	하천수질개선시 단독추진가능 비용저렴	지하수 고갈에 따른 하천 갈수량 저하
	수중보 또는 고무댐 건설	시 단독추진가능 비용저렴	수질문제 선 해결 필요
하수처리수 재이용	무실하수처리장 방류수 상류 수송	하천수질개선 시 단독추진가능	추가처리 필요 주민의 거부감 해소
	상류에 마을단위 소규모 고도 하수처리장 건설	하천수질개선 원주시의 노력	하수종말시스템과 연계 부족
우수/ 계곡수의 유입확대	분류식 하수관거 정비와 토출구 개량	하천수질 개선 하천기능개선(생태, 친수, 경관) 하수처리장안정화	비용과다와 시간적 제약 2016년 하수도정비 시스템
침투력증가 등 유역관리	우수침투 증진, 불투수층 제거 등	갈수기 유량증대 수질 개선	유역관리 가시적 효과 미미

하여 산정하는 방법이다. 셋째는 서식처 모의에 의한 방법(안홍규, 2007; 정상만 등, 2007)으로 유량에 따른 물리적 서식처의 변화와 대상어종이 이동하는 서식처 선호도와 하천유량 정보를 결합하는 방법이다. 넷째는 간편법으로 일부지점에 대해 어류가 유량과 조화를 이루어 대상어종이 서식하는 하천 공간 시스템이 아닌 하도부분의 대상어종의 이동수로 역할만을 검토하는 방법이다. 즉, 하천공간 시스템에 대한 전반적인 해석이라기보다는 특정구간 및 지점에서 어류의 이동에 필요한 수리·수문 조건을 산정하는 방법이다.

원주천의 경우 생태계를 보전하는데 필요한 유량산정 방법은 네 번째 방법인 간편법을 이용하였고, 절차는 원주천에서 서식하는 대표어종의 선정, 서식처 수리조건의 결정, 지점 및 구간 설정, 그리고 필요유량의 산정 등의 절차를 통해 수행하였다(최준길 등, 2006). 한국의 대표어종과 원주천의 어류조사 결과(최준길 등, 2000), 주로 출현 빈도가 높고 원주천을 대표할 수 있는 어종으로 상류에서는 독중개 또는 버들치, 중류에서는 갈겨니, 하류에서는 피라미 또는 붕어로 선정하였다(표 4).

어류서식 환경은 여울과 웅덩이 등의 하천 상

대, 어류와 관련된 유속, 수심, 하상재료, 어류의 이동, 하천 수질조건으로 수온, 용존산소, PH, 생물화학적 산소요구량 등이 고려되어야 하나, 수량과 가장 관계가 있는 유속과 수심 조건만 고려하였다. 따라서 수심과 유속측면에서 이들 어류의 서식을 위해 갈수기에도 최소한 0.1m의 물의 흐름이 필요하기 때문에 각 대표지점에서 수심 0.1m에서 0.3m까지의 유지가 되도록 유지유량을 설정하였다(표 5).

경관을 고려한 수면폭은 한국건설기술연구원과 일본 건설성 등에서 제시한 방법인 수면폭(W)과 하폭(B)의 비($W/B \geq 0.2$)를 기준으로 하였다. 수심은 급격한 경관 변화가 일어나지 않도록 주요 하상재료가 수면으로 드러나지 않는 수심을 확보하도록 고려하였고, 특히 하도가 이미 개수되어 있는 경우 또는 자연형 하도로 개조코자 하는 경우도 이 수준을 고려하고, 피라미 등의 담수어가 잘 살 수 있는 수심 0.1m를 기준 0.3m까지로 하였다. 유속은 대상 구간의 하천의 형태 및 특성, 지역특성 그리고 사회·문화적인 특성을 고려하여 필요시 하천의 이미지에 부합하는 유속을 고려하여야 하나, 중소하천의 경우 경관적인 차원에서 흐름이 0.2m/s이내가 좋고, 이 정도는 완만하게 흐

표 4. 대리어종과 원주천의 대표어종(우효섭, 1995; 최준길 등, 2000)

구 분	대표어종	대리어종	하천유형	원주천 대표어종
열목어	독중개	열목어, 산천어	산지계류형	독중개
버들치	버들치	금강모치, 종개, 버들개	산지계류형	버들치
갈겨니	갈겨니	참마자, 쉬리, 꺾지, 통가리, 은어, 배가사리, 자가사리	중간계류형	갈겨니
피라미	피라미	돌마자, 긴물개, 돌고기, 모래무지, 똥사리, 누치, 끄리	중류형	피라미
붕어	붕어	참붕어, 왜물개, 치리, 송사리, 잉어	평지 하류형	붕어
응어	밀어	꼭지구, 응어, 검정망둑	기수 구역형	해당없음

표 5. 생태계를 고려한 하천유지용수량 산정기준(안양시, 2001)

구 분	유 지 용 수 량 산 정 기 준
수 면 폭	하천경관에 필요한 수면폭을 적용한다.
유 속	어느 정도 흐름을 확보할 수 있는 0.2m/s를 적용한다.
수 심	피라미 등이 살 수 있도록 최소 0.1m는 보장이 필요하다.

*자료 : 한국수자원공사, 1995, 하천유지유량 산정 방법의 개발 참고

표 6. 대표지점별 하천유수용수 산정

지 점	기 능	유지용수량 산정				기준 갈수량 (m ³ /s)	확보량 (m ³ /s)	방 법
		수면폭 (m)	유속 (m/s)	수심 (m)	유량 (m ³ /s)			
금대리 상류	상태/자연	9.5	0.2	0.1	0.19	0.16	0.03	유역관리 (저수지)※
신촌천 합류	경관	11.5	0.2	0.2	0.46	0.25	0.21	유역관리 (저수지)※
치약교	경관/친수	14.8	0.2	0.2	0.59	0.33	0.26	유역관리 하수도정비
원주교	경관/친수	20.3	0.2	0.2	0.81	0.44	0.37	유역관리 하수도정비
홍양천 합류부	생태/경관/친수	34.8	0.2	0.2	1.39	0.55	0.84	유역관리 하수도정비
하수종말 처리장	상태/경관	57.0	0.2	0.3	3.42	2.52	0.90	유역관리 하수도정비

※ 개발가능성 (섬강수계 유역치수 종합계획, 건교부, 2004. 5)

를 느끼는 유속이다. 이에 따른 추가적 유량확보량은 표 6과 같이 갈수량에 상류지점의 0.03m³/s에서 하류지점의 0.9m³/s이다.

3.3 하천유지유량 확보방안

3.3.1 일반

유지용수 확보방안을 위해서 1차 방안은 분류식 및 토출구 개량의 하수시스템의 정비와 식생도입 및 우수저류시설의 유역계획을 실시하고, 2차 방안에는 섬강수계(전천, 원주천) 유역종합치수계획(건교부, 2004)에서 제시된 상류에 저수지 건설 방안을 고려하였다.

3.3.2 분류식 및 토출구 개량에 의한 하천수 증대

기존의 분류식 하수관거의 재정비와 토출구의 개량에 의해 오수는 차집관거로 우수와 계곡수는 하천으로 유입할 경우 하천유량 기여량은 소유역별로 0.01m³/s에서 0.18m³/s으로 표 7에서와 같다. 이는 실제 하수관거에서의 우수량을 측정된 결과를 토대로 하수구역별 면적비로 환산한 값이다. 표 8은 섬강수계 유역치수종합계획(건교부, 2004)에 의한 천변 저류지계획으로 정지뜰 1과

정지뜰 2, 그리고 군지사 부대하수구와 조합하여 유량을 확보할 수 있는 계획으로 유수의 우회, 식생정화, 침전 등에 의한 수질정화 효과를 얻을 수 있고, 기여량은 약 0.16m³/s이다.

3.3.3 유역관리 향상을 통한 유량확보

상류에 댐 등 유량공급시설이 없는 경우 갈수기 때 하천에 흐르는 물은 대부분이 기저 유출량으로 하천생태계 유지에 중요한 역할을 한다. 기저 유출량을 증가시키고 하천의 수질을 개선시키는 방법은 유역에서 다양한 관리기법을 통해 이루어지며 이에선 침투력 증진 등을 통한 투수포장과 식생조성, 우수유출 저감시설의 설치, 상류지역의 식생복원 등이 있다.

우수유출억제 시설 중 하나인 침투집수정의 유출억제 효과를 분석하고, 이를 기초로 하여 침투력 증진 등을 통한 투수포장과 식생조성, 우수유출 저감시설의 설치, 상류지역의 식생복원 등과 연계 운영하였을 때의 종합적인 효과를 모의하였다(안양시, 2001). 도시유역에 우수유출 저감시설을 설치하였을 경우 최고 15.5%~30.5%까지 유출량이 저감될 수 있으며, 이는 기저유출로 나타나기 때문에 건기시 하천유지용수확보에 큰 도움

표 7. 하수구별 우수량 방류에 의한 유지유량 추가 확보방안

하수구	기호	유역면적 (km ²)	유량증대 (m ³ /s)	비고
원주천교	WS-1	3.341	0.047	
우산공업단지	WS-2	1.196	0.031	
단계천	WS-3	12.636	0.183	
가매기천	WS-4	1.381	0.015	
학성보 배수구	WS-5	0.856	0.016	
군지사 부대앞	WS-6	1.364	0.160	천변 저류지 계획 포함 (건교부,2004)
정지뜰1	WS-7	1.111		
정지뜰3	WS-8	0.245		
원주철교 하류	WS-9	0.887	0.012	
명륜천	WS-10	6.738	0.094	
개봉교 지점	WS-11	1.038	0.014	
병영교 하류	WS-12	1.380	0.019	
단구 하수구	WS-13	3.121	0.044	
대평 소류지	WS-14	1.915	0.016	

표 8. 원주천 천변 저류지 계획(건교부, 2004)

하천명	지점	위치	집수유역	대안	규모			비고
					A(m ²)	h(m)	V(m ³)	
원	1지점	관설동	원주천	2,3	107,600	2.8	300,000	
	2지점	행구, 봉산, 단구, 개운동	화천	1,4	183,000	3.5	640,000	
주	2-1 지점	행구, 봉산, 단구, 개운동	화천	5	86,000	3.6	315,000	
	3지점	학성, 우산동	원주천	1,2,3,4	286,000	3.0	850,000	정지뜰
천	4지점	호저면 주산리	원주천	1,2,3,4	246,000	2.85	700,000	

이 된다. 따라서 원주천에 우수유출저감시설을 전 유역적으로 설치하였을 경우 50mm이상의 강우는 연 평균 430mm이므로 최소유출율 15.5%를 설정할 경우에 66.65mm 유출억제가 되고, 이중 상당 부분은 기저유출로 나타난다. 그러나 이 기저유출량은 연 균일하게 유출된다고 가정할 경우 일 0.183mm 유출에 해당하며 이를 하천별로 배분하였다. 우수유출저감 및 지하침투촉진, 상류지역의 식생조성, 저류지 등을 도입하여 증대되는 유량은 원주천의 비유역면적에 의한 산정기준을 기초로 한 갈수량 0.0025m³/s/km²을 증가시키는 양이다. 유역계획에 의해 소유역별로 증대되는 유량은 표 9와 같이 0.002m³/s에서 0.061m³/s이다.

3.3.4 저수지 축조

표 10의 섬강수계(전천, 원주천) 유역종합치수 계획(건교부, 2004)에서 원주천 홍수 조절지로 A 지점은 원주천 상류부 치악산 국립공원내에 위치하고, 유역이 작은 단점이 있으나, 홍수시 토석류 발생으로 인한 상류 토사유입 방재효과도 기대할 수 있는 지점이다. 홍수조절지 B지점은 협곡부로서 구조물 규모를 작게 할 수 있으나 유역 상류부에 위치하여 홍수 유입량 및 조절 규모가 작다. 홍수조절지 B-1은 홍수조절지 B지점 하류부에 위치하게 되며, B지점에 비해 저류용량이 크고 이에 따른 홍수조절 용량이 크다. 따라서 신촌리는

표 9. 유역계획에 의한 추가 유량증대

지 권	유역면적 (km ²)	침투에 의한 증가량		유역식생 (m ³ /s)	유역계획 증가량 (m ³ /s)	비고
		m ³ /일	m ³ /일			
지방2급 하천	24.326	4.452	0.051	0.010	0.061	
홍양천	22.945	4.199	0.049	0.008	0.057	
소화호 금대리상류	10.873	1.990	0.023	0.004	0.027	
금대천	12.893	2.359	0.027	0.005	0.032	
대도시천	4.240	776	0.009	0.002	0.011	
소도시천	0.889	163	0.002	-	0.002	
양궁대천	1.695	310	0.004	-	0.004	
신성천	4.016	735	0.009	0.001	0.010	
신촌천	9.483	1.735	0.020	0.004	0.024	
입춘내천	4.308	788	0.009	0.002	0.011	
일야미천	3.049	558	0.006	0.002	0.008	
무명천	1.972	361	0.004	0.001	0.005	
중방천	1.211	222	0.003	-	0.003	
막골천+ 잔골천+ 무명천	5.901	1.080	0.012	0.003	0.015	

표 10. 검토대상 홍수조절지 개요(건교부, 2004)

번호	위 치	하천명	저수 면적 (km ²)	댐체 높이 (m)	저수 용량 (천m ³)	개략 사업비 (백만원)	유량 기여량 (m ³ /s)
A지점	원주시 관부면 금대리	원주천/일른천	0.118	40	1,480	14,827	0.10
B지점	원주시 관부면 신촌리	원주천/신촌천	0.063	40	1,170	12,709	0.08
B-1지점	원주시 관부면 신촌리	원주천/신촌천	0.174	40	2,920	110,387	0.20

B-1지점에 저수지를 축조하는 계획으로 검토하여 원주천의 갈수기 유지유량확보를 위한 방안으로 저수량을 갈수기인 180일에만 유하시키는 조건으로 산정한 유량 기여량은 각각 0.1m³/s와 0.2m³/s이다.

3.3.5 유지유량 확보 방안

1) 1차 방안 : 하수관거/유역계획에 의한 유량 증대효과

유역계획과 더불어 하수관거의 재정비에 의한 우수와 오수의 철저한 분리는 물론 초기 우수를 차단할 수 있는 우수저류조를 포함한 우수의 하천 방류와 오수만을 차집할 수 있는 토출구 구조의 개량 또는 개선을 통해서 얻을 수 있는 유량개선 효과는 표 11에서와 같이 신촌천 합류후는 0.36

m³/s으로 당초 유량 0.25m³/s대비 로 약 1.4배 증가, 치악교 지점은 0.59m³/s으로 당초 0.33m³/s보다 약 1.8배, 원주교 지점은 0.81m³/s으로 당초 0.44m³/s의 1.8배, 홍양천 합류부는 1.39m³/s으로 당초 0.55m³/s의 약 2.5배로 늘어날 수 있다. 이는 원주천의 목표유량에 적합한 유량이다.

2) 2차 방안 : 하수관거/유역계획/저수지계획에 의한 유량증대효과

1차방안에 의해서 원주천에서의 유지유량의 증대는 충분하다. 그러나 섬강 수계 유역치수종합계획(건교부, 2004)에 의한 저수지용수량의 확보를 포함해서는 각 지점별로 0.10m³/s에서 0.30m³/s까지 추가로 늘릴 수 있어 이에 따른 수질과 어류서식환경의 개선을 검토하였다. 2차 방안에 따른 증대된 유량은 신촌천 합류후는 0.66m³/s으로 당초

유량 0.25m³/s대비 약 2.6배 증가, 치악교 지점은 0.89m³/s으로 당초 0.33m³/s보다 약 2.7배, 원주교 지점은 1.11m³/s으로 당초 0.44m³/s의 2.5배, 홍양천 합류부는 1.69m³/s으로 당초 0.55m³/s의 약 3.1배로 늘어날 수 있다(표 11).

표 11. 주요지점별 유량증대량

지 점	기준 갈수량 (m³/s)	하수도+ 유역계획 (m³/s)	하수도+ 유역계획 + 상류저수지 (m³/s)
금대리 상류	0.16	0.19	0.29
신촌천 합류부	0.25	0.36	0.66
치악교	0.33	0.59	0.89
원주교	0.44	0.81	1.11
홍양천 합류부	0.55	1.39	1.69
하수처리장	2.52	3.42	3.72

4. 유량증대에 따른 수질 및 어류서식환경 개선

4.1 유지유량 증가에 따른 수질개선

조사된 갈수량은 0.16m³/s에서 2.52 m³/s으로 원주천은 저수로 폭에 비해 유량이 작은 것으로 갑작스런 오염원의 투입시 수질악화가 우려된다.

표 12. 유량증가에 따른 단계별 BOD의 변화추이

지 점	유량증가 이전(현재)		1차 방안 유량증가 후		2차 방안 유량증가 후		기타
	유량(m³/s)	BOD(ppm)	유량(m³/s)	BOD(ppm)	유량(m³/s)	BOD(ppm)	
금대리상류	0.16	0.61	0.19	0.6	0.29	0.58	
신촌천 합류부	0.25	0.73	0.36	0.68	0.66	0.56	
치악교	0.33	0.99	0.59	0.83	0.89	0.58	
원주교	0.44	0.96	0.81	0.78	1.11	0.53	
홍양천 합류부	0.55	1.06	1.39	0.82	1.69	0.59	
하수처리장	2.52	3.57	3.42	2.94	3.72	2.49	

안전한 수질의 확보와 원주시민의 휴식 및 친수공간을 위해서는 갈수량의 증대를 도모해야한다. 이를 위해서는 1차 방안에서는 0.19m³/s에서 3.42 m³/s까지의 유지유량의 증대가 가능하다. 아울러 2차 방안에서는 1차 방안에 추가하여 상류에의 저수지 건설에 의해 0.29m³/s에서 3.72m³/s까지의 유지유량의 확보가 가능하다(표 12, 그림 4). 아울러 QUAL2E 모형의 적용을 통하여 BOD 0.61ppm에서 3.57ppm을 1차 방안에서는 0.60ppm에서 2.94ppm까지의 수질향상을 가져왔고, 2차 방안에서는 0.53ppm에서 2.49ppm까지의 수질향상을 가져왔다(표 12, 그림 5).

4.2 유지유량 증가에 따른 어류서식환경의 개선

유량의 증대에 따른 서식환경 개선을 분석하기 위해 원주천의 수중생태의 건전화 깃대종으로 선택된 어종을 PHABSIM모형을 사용하여 서식 적합도를 분석하였다. 어류를 대상으로 한 적합도 기준의 곡선형태는 이분법(binary), 단일변량곡선법(univariate curve), 다변량응답평면법(multivariate response surface)으로 구분되고(USGS, 2001), 금회 적용한 어류서식적합도 곡선의 형태는 낙동강 수계에서 어류조사를 통한 어류서식환경을 고려한 생태학적 추천유량의 산정결과(성영두 등, 2005)인 수심과 유속에 대해서 단일변량곡선법(그림 6)을 하상재료에 대해서는 이분법을 적용하여 자갈에서는 1.0과 모래에서는 0.5의 서식적합도 지수를 사용하였다.

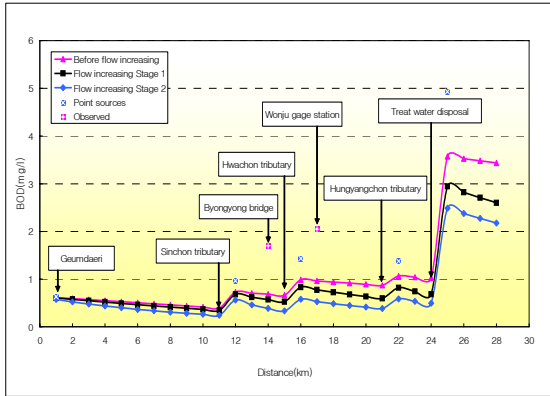


그림 4. 각 Reach 유량증가량에 의한 유량변화

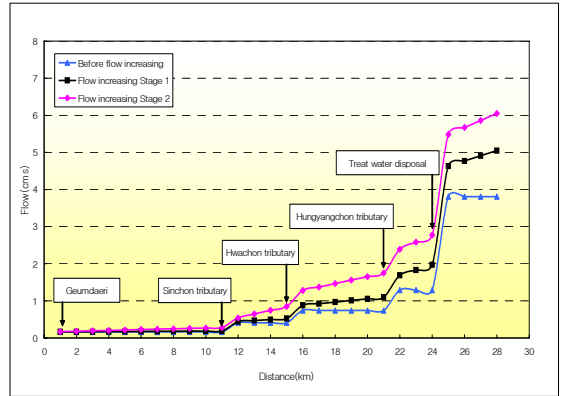


그림 5. 각 Reach 유량증가량에 의한 BOD의 변화

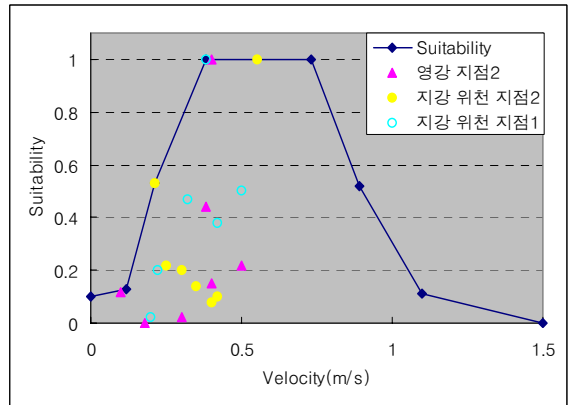
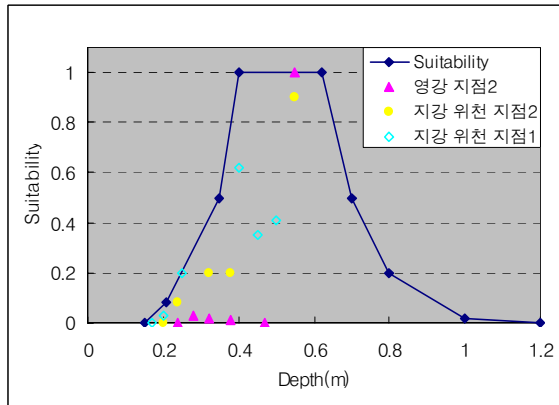


그림 6. 갈겨니에 대한 수심과 유속별 서식적합도(성영두 등, 2005)

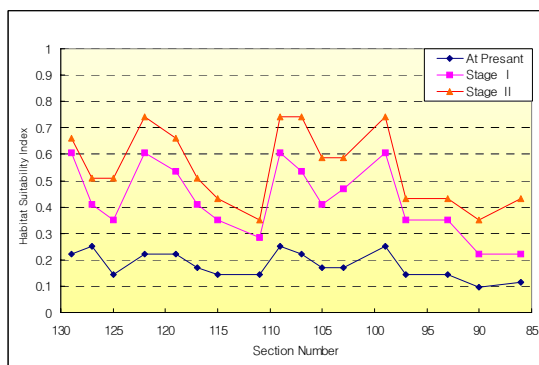


그림 7. 유량증가에 따른 서식적합도

대상 수역은 원주천의 중류 신촌합류점(No. 129)에서 원주수위표(No. 86) 까지의 약 4.25km 이고, 이 지역은 자갈과 모래로 구성된 여울 구간

으로 과거 갈겨니가 우점종으로 나타나 이를 복원 목표종으로 선택함은 개체수가 많은 어종이 서식 적합도 기준의 신뢰성을 높일 수 있기 때문 (Bovee et. al, 1998)이다.

단계별 유량 증대에 의한 갈겨니의 서식적합도는 그림 7에서와 같이 당초 서식적합지수 0.1에서 0.25의 값을 1차 방안에서는 0.22에서 0.61까지 향상시키고, 2차 방안에서는 0.35에서 0.74까지 증대시킬 수 있어 유량의 증대가 서식환경이 개선이 현저하게 나타났다.

5. 결 론

원주천의 자연적 생태기능과 경관하천으로의 복

원을 위한 용수확보방안을 마련하기 위하여 원주천 유역을 지류하천과 하수관거 유역으로 구분하여 수리, 수문특성을 분석하고, 실측을 통한 기준 갈수량의 산정과 하수구내의 유량을 측정하였다. 따라서 현장관측에 기초한 원주천의 갈수량을 최소한의 기준으로 잡고 친수환경과 자연 생태적 기능과 경관을 고려한 수심과 유속을 산정하고 구간 또는 지점별 저수로 폭을 기준으로 하여 필요유량을 산정하여 하천관리유량의 목표를 설정하였다.

수심은 0.1m를 기준 0.3m까지로 하였으며, 유속은 대상 구간의 하천의 형태 및 특성, 지역특성 그리고 사회·문화적인 특성을 고려하여 필요시 하천의 이미지에 부합하는 유속을 고려하여야 하나, 중소하천의 경우 경관적인 차원에서 완만한 흐름을 느끼는 0.2m/s로 하였다. 그 결과 기준갈수량에 추가적 유량확보량은 상류지점의 0.03m³/s에서 하류지점의 0.9m³/s이다.

1차 방안인 유역계획과 더불어 하수관거의 정비에 의한 우수와 오수의 철저한 분리는 물론 초기 우수를 차단할 수 있는 우수저류조를 포함한 우수의 하천방류와 오수만을 차집 할 수 있는 토출구 구조의 개량 또는 개선을 통해서 얻을 수 있는 유량개선효과는 신촌천 합류후는 0.36m³/s으로 당초 유량 0.25m³/s의 약 1.4배 증가, 치악교 지점은 0.59m³/s으로 당초 0.33m³/s보다 약 1.8배, 원주교 지점은 0.81m³/s으로 당초 0.44m³/s의 1.8배, 홍양천 합류부는 1.39m³/s으로 당초 0.55m³/s의 약 2.5배로 늘어날 수 있다. 1차 방안 계획에 의하여 원주천의 목표유량의 확보가 가능하였다.

아울러 2차 방안은 1차 방안에 추가적인 저수지계획에 의한 유량증대효과는 각 지점별로 0.10m³/s에서 0.30m³/s까지 추가로 늘릴 수 있다. 그에 따른 증대된 유량은 신촌천 합류후 당초 유량 0.25m³/s대비 0.66m³/s으로 약 2.6배 증가, 치악교 지점은 0.89m³/s으로 당초 0.33m³/s보다 약 2.7배, 원주교 지점은 1.11m³/s으로 당초 0.44m³/s의 2.5배, 홍양천 합류부는 1.69m³/s으로 당초 0.55m³/s의 약 3.1배로 늘어날 수 있다.

조사된 갈수량은 0.16m³/s에서 2.52 m³/s으로

1차 방안에서 0.19m³/s에서 3.42m³/s까지의 유지유량의 증대가 가능하다. 아울러 2차 방안에서는 0.29m³/s에서 3.72m³/s까지의 유지유량증가가 가능하다. 그에 따른 QUAL2E 모형의 적용을 통하여 BOD 0.61ppm에서 3.57ppm을 1차 방안에서는 0.60ppm에서 2.94ppm까지의 수질향상을 가져왔고, 2차 방안에서는 0.53ppm에서 2.49ppm까지의 수질향상을 가져왔다.

단계별 유량 증대에 의한 PHABSIM 모형에 의한 원주천 중류의 복원 목표종인 갈겨니의 서식적합도는 당초 서식적합지수 0.1에서 0.25의 값을 1차 방안은 0.22에서 0.61까지 향상시키고, 2차 방안에서는 0.35에서 0.74까지 증대시킬 수 있어 유량의 증대가 수질과 어류 서식환경을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 상지대학교 교내 연구비에 의해서 수행되었다.

참고 문헌

- 건설교통부 (2004) 섬강수계 유역단위치수 종합 계획.
- 고익환, 김정곤, 김기형 (2007) 지속가능한 하천관리를 위한 환경유량 산정 연구, **2007 하천 환경학술심포지움논문집**, 인천지역환경기술센터, RRSG하천복원연구회.
- 김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭 (1996a) 하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용: I. 산정방법, **한국수자원학회는논문집**, 제29권, 제4호, pp. 161-176.
- 김규호, 김선미, 이삼희, 우효섭 (1996b) 하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용: II. 적용 및 결과, **한국수자원학회는논문집**, 제29권, 제5호, pp. 185-202.
- 서병하, 정상만, 박상진 (1990) **한강 하천유지유량 조사연구 보고서**, 한국수자원공사.

성영두, 박봉진, 주기재, 정관수(2005) 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정, **한국수자원학회지** Vol. 38, No. 7, pp. 545-554.

안양시 (2001) **2001안양천 살리기**.

안홍규 (2007) **생태하천조성의 올바른 방향-하도 서식처 복원을 위하여 - ECORIVER21**, 자연과 함께하는 하천복원기술개발연구단, 호남대학교 산학협력단.

우효섭, 김규호 (1995) **하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용**, 연구보고서, IPD-95-2, 한국수자원공사,

원주시 (2005) **원주천 살리기 기본계획수립용역**.

정상만, 이주헌, 김도희, 오국열 (2007) 1차원 및 2차원 수리서식 모형을 이용한 어류서식조건 유지에 필요한 최적유량 산정, **2007 하천환경 학술심포지움논문집**, 인천지역환경기술센터, RRSG하천복원연구회.

최준길, 변화근, 석형근 (2000) 원주천 어류군집 동태, **한국육수학회지**, 제33권, 제3호, pp. 274-281.

최준길, 최홍식 (2006) 원주천 어류군집 건전화를 위한 하천구조개선 방안, **2006대한토목학회 학술발표논문집**.

Arthington, A.H., Grizga, S.O., Choy, S.C., Kennard, M.J., Mackey, S.J., McCosker, R.O., Ruffni, J.L., and Zalucki, J.M. (2000) *Environmental flow requirements of the*

Brisbane River downstream from Wivenhoe Dam, South-east Queensland Water Corporation and Centre for Catchment and In-stream Research, Griffith University, Brisbane.

Bovee, K.D. (1982) A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, *Instream Flow Information Paper No. 12*, FWS/OBS-82/26, Co-operative Instream Flow Group, US Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services.

Bovee, K.D., B.L. Lam, J.M. Bartholow, C.B. Stalnaker, J. Taklor, and J. Henriksen, (1998) *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*, Biological Resources Division Information and Technology Report, USGS/BRD/1998-0004, USGS, Fort Collins, Colorado.

Hyra, R. (1978) Method of assessing instream flows for recreation, *Instream Flow Information Paper No. 6*, FWS/OBS-78/34, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins, Colorado.

USGS (2001) *PHABSIM for Windows-User's Manual and Exercises*, Midcontinent Ecological Science Center.