



하수처리수 재이용을 통한 도시하천 물순환 및 수질 개선 Urban Instream Flow Augmentation Using Reclaimed Water in Korea

지용근¹ · 안중호^{1*} · 이진희²

Jee, Yong Keun¹ · Ahn, Jong Ho^{1*} · Lee, Jin Hee²

1 한국환경정책·평가연구원 정책연구본부 물환경연구실 2 한국환경정책·평가연구원 환경평가본부 환경평가1실

(2012년 1월 27일 접수; 2012년 4월 13일 수정; 2012년 4월 14일 채택)

Abstract

Current urban stream conditions and their restoration projects were investigated by surveying the urban stream management experts in 29 cities with high population density (more than 1,000person/km²). The survey results showed that the ratio of covered urban streams decreased by 1.4% (from 14% to 12.6%) in the last 5 years through steady river restoration projects promoted by governments. Nonetheless, 36.3% of 369 urban streams surveyed still report stream depletion problems; therefore, more efforts to alleviate the problems caused by distorted water circulation of urban streams are still necessary. Water depletion in many local urban streams, unlike national rivers, is accelerated due to negligence in stream management, budget shortage, and other reasons. To prevent stream depletion, the use of reclaimed water is suggested as one of the prevention plans. When available amounts of reused sewage are estimated through actual available nationwide sewage discharges of each watershed and instream flow of stream, annual instream flow supply of 780 million m³ is expected; 4.8% reduction in the pollution load of public sewer treatment facilities is expected; and the creation of new value through water reuse service is expected. Thus, it is important for the reviews of feasibility and alternatives of water reuse projects for flow augmentation to consider not only investment budget reductions, but also environmental aspects. Also it is necessary to provide the financial support of unified government with strict water quality management policy.

keywords : Flow augmentation, Reclaimed water, Stream water depletion, Urban stream, Water quality management policy

주제어 : 물순환개선, 하수처리수, 하천건천화, 도시하천, 수질관리정책

1. 서론

우리나라의 도시화율은 다른 OECD 국가에 비하여 빠르게 진행되어 1980년 68.7%, 2000년 88.3%에서 2020년에는 92%로 증가할 것으로 예측하고 있다(환경부, 2005). 세계적으로도 도시화가 급격히

진행되어 2030년에는 총인구의 80%가 도시에 거주할 것으로 전망되고 있으며, 거대도시(Mega City) 또한 더욱 많이 형성될 것으로 예상되어 현 상태에서 신도시들이 계속 건설된다면 장래 수자원 요구(Water Footprints)는 지구상에 이용 가능한 수자원

* Corresponding Author: E-mail: ahnjh@kei.re.kr, Tel. 02-380-7741(Ahn, J.H)

총량의 3배 이상에 이를 것으로 예상되고 있다 (Rees, 1997; Daiger, 2009). 또한 최근의 극심한 홍수나 가뭄과 같은 이상기후로 인해 기후변화에 대한 관심과 경각심이 고조되고 있으며 이에 대한 대응책 마련에 대한 목소리도 높아지고 있다. 특히 태풍과 집중강우, 홍수 등은 시민의 생명과 재산을 위협하고 도시 기능 마비를 유발시키는 원인이 되고 있고, 장기적인 가뭄 현상은 물부족과 지역 간 물분배 불균형 문제를 초래할 뿐만 아니라 하천과 호소의 수질악화, 수생태계 파괴 등을 초래할 것으로 전망된다. 이와 같이 도시화와 기후변화로 인한 수자원 수요변화와 온실가스 배출에 따른 사회적·국제적인 갈등은 수자원 분야의 주요 이슈로 대두되면서 “물 재이용을 통한 미래도시 건설(Cities of the Future-Bring Blue Water to Green Cities)”의 개념이 새로운 주요 관심주제로 지속적인 논의가 진행 될 것으로 전망된다(Novotny and Brown, 2007).

우리나라의 도시하천은 수로의 기능 외에 도시 내 공원 및 휴식공간으로 활용될 수 있는 통합적인 환경자원으로 활용될 수 있음에도 불구하고, 1960년대 이후 이루어졌던 하천관리는 홍수방지 등을 위한 치수사업으로 높은 제방축조 및 하천유량의 빠른 배수를 목적으로 하였기 때문에 하천은 직선화되었고 접근성은 결여되었다. 또한 산업화가 가속되면서 도시지역을 흐르는 중소하천은 도시 과밀화 현상을 해결하는 수단으로서 도로와 주차장, 건물 등으로 전용하기 위하여 전면 혹은 부분 복개되어 하천의 형상이 사라져 버리기도 하였다. 국내 건전화 현황에 대해 조사된 내용을 살펴보면, 2003년도에 지방2급하천(현 지방하천) 3,773개 중 건전화 하천이 543개소로 14.4%를 차지하는 것으로 조사되었으며(과학기술부, 2003), 2008년에는 전국 3,876개 하천 중 482개 하천(12.4%)이 건전화가 진행 중인 것으로 분석되었다.(환경부, 2008) 이러한 도시하천 환경의 악화는 불투수면적의 증가로 지하수 함양량 감소 등을 유발하고, 지하수의 과잉 개발에 의한

지하수위 강하 등을 초래함으로써(건설교통부, 2005), 하천유량 감소를 발생시킬 뿐만 아니라 수량 부족으로 인한 수질악화와 생물 서식환경 변화를 초래하고 있다.

최근의 도시지역 하천복원사업은 하천의 생태계 보전은 물론 물 문화 회복, 레크리에이션 환경 조성 등을 위한 수량과 수질이 확보된 수자원의 안정적인 공급을 통한 하천환경이 강조되고 있다. 안정적인 하천유지유량을 확보하는 방법으로는 인근 하천수 직·간접 취수, 용출지하수, 빗물 재이용, 기존 수리시설물 활용, 하수처리수 재이용 등의 방안이 강구되고 있다. 이충성 등(2004)은 우이천을 대상으로 건전화 원인을 분석하여 장기간에 걸쳐 도시화가 진행된 유역의 경우에는 강제적인 방식으로 하천유지유량을 확보하는 것이 하천의 건전화 원인을 찾아 제거하는 것보다 효과적이라는 결론을 얻었으며, 이길성 등(2005)은 PCSWMM 모형을 이용하여 학의천 유역의 건전화 방지를 위해 유지용수로 공급되고 있는 용출지하수, 하수처리수 재이용수, 상류의 저수지 방류수의 효과를 비교하였으며, 하수처리수 재이용수의 하천유지유량으로서의 기여도가 가장 높은 것으로 분석하였다.

도심 내에서 발생하는 하수처리수는 수량적으로 안정된 수자원으로서 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 여러 가지 용도로 재이용 할 수 있으므로 그 활용가치가 크다고 할 수 있다. 외국의 하수처리수 재이용 현황을 살펴보면 물부족이 매우 심각한 중동 및 북아프리카 지역의 이스라엘, 이집트, 이란, 요르단, 쿠웨이트, 리비아, 카타르 등의 국가들은 80%이상의 높은 재이용률을 보이고 있으며, 싱가포르, 호주, 미국의 캘리포니아와 플로리다, 유럽의 스페인, 이탈리아, 독일 등의 국가들은 하수처리수 재이용률이 10% 이상인 것으로 나타났다(환경부, 2010). 재이용수의 용도를 살펴보면 대부분의 국가들이 농업용수로 가장 많이 사용되고 있으며, 일본, 미국 플로리다와 캘리포니아, 호주의 경우는 도시

관개용수의 활용이 높은 것으로 나타났고, 미국 플로리다와 캘리포니아, 유럽 및 이스라엘 국가들은 지하수 충진을 통한 간접응용수원 확보, 해수침투 및 지하수위 저하 방지 등의 목적으로도 활발히 사용되고 있다. 이에 반해 국내의 경우 2008년 기준으로 하수처리수의 재이용량은 757,475m³/일(장내 재이용은 제외)로 재이용율이 4.4%의 낮은 수준에 머물러 있으며, 이 중 49%인 37만 3,235m³/일이 하천유지용수로 공급되고 있다(환경부, 2010).

본 연구에서는 도시의 하천을 대상으로 하천복개 및 건천화 현황 등을 살펴보고, 물순환 회복을 위한 하천유지유량 확보방안으로 하수처리수 재이용 가능량을 평가하고 이를 위한 잠재적 효과를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 도시하천 현황 및 건천화 조사

전국 도시지역 하천의 건천화 정도, 물순환 개선 사업 현황, 유지용수 확보방안 등을 조사하기 위해 인구밀도가 1,000명/km²이상인 고밀도 도시 29개를 선정하여 현장조사 및 설문조사를 실시하였다. 조사된 고밀도 도시의 하천은 총 516개소(하천연장 1,737km)로 한국하천일람(국토해양부, 2010a)에서 조사된 전국 하천 대비 하천 개소비로는 13.1%, 연장비로는 5.7%에 해당된다(Table 1). 시도별 도시하천의 연장비율을 살펴보면 서울이 55%로 가장 높고 6대 광역시의 경우 14%에서 36%의 분포를 나타내어 서울 및 6대 광역시의 평균 도시하천 연장 비율이 29%를 차지했다. 반면 지방도의 경우 전체 평균 4%이하로 대도시에 비해 월등히 낮았으나, 경기도와 제주도의 경우 각각 16%와 13%로 상대적으로 높게 나타났다.

설문조사는 2011년 6월 28일부터 9월 28일 사이에 각 지자체 하천관리 담당공무원을 대상으로 실시되었으며, 사전에 설문지를 전자우편을 통하여 전송

Table 1. The status of urban streams in Korea

	Whole country ¹⁾		Urban Area (over 1,000 per km ²) ²⁾			
	Number of stream	Total length (km)	Number of urban stream	Ratio of Number (%) ³⁾	Length of urban stream (km)	Ratio of length (%) ⁴⁾
Total	3,932	30,242.9	516	13	1,737	6
Seoul	39	248.0	34	87	137	55
Pusan	50	262.6	27	54	94	36
Daegu	27	277.9	14	52	67	24
Gwangju	34	213.2	20	59	59	28
Daejeon	29	216.0	18	62	59	27
Ulsan	102	490.5	26	26	69	14
Incheon	31	125.0	14	45	41	33
Gyeonggi-do	515	3,489.9	138	27	555	16
Gangwon-do	253	3,578.1	23	9	57	2
Chungcheongbuk-do	174	2,352.4	15	9	50	2
Chungcheongnam-do	536	3,037.0	49	9	122	4
Jeollabuk-do	472	3,257.7	37	8	100	3
Jeollanam-do	561	3,236.5	12	2	31	1
Gyeongsangbuk-do	365	4,629.3	20	6	69	2
Gyeongsangnam-do	684	4,220.5	49	7	146	4
Jeju-do	60	608.4	20	33	81	13

1) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2010a),
2) Questionnaire result of local government (MLTM, 2010b)
3) Number of total stream / Number of urban stream × 100,
4) Total stream's length / Urban stream's length × 100

한 후, 직접 면담 또는 전화나 전자우편을 통해 설문내용에 답하도록 하였다. 설문내용은 관할 도시하천의 복개현황 및 건천화 정도, 도시하천 정비 및 복원사업 현황, 하천유지유량 확보방안 등으로 구분하여 작성토록 하였다. 특히, 하천 건천화에 대한 설문은 건천화 정도에 대한 명확한 정량적 기준이 없기 때문에 기존의 건천화 연구(국토해양부, 2010b)를 참조하여 “건천화를 하도 내 물이 말라 관찰되지 않거나 물이 있어도 연결되어 흐르지 않는 상태”로 정의하고 다음과 같은 기준에 의해 건천화 정도를 ‘우려-심각-매우심각’의 3단계로 구분하여 하천관리담당자가 주관적으로 선택하도록 설문하였다.

- 하천의 물이 흐르지 않는 기간(갈수기간)이 5~10일 이상일 경우

- 하천의 물이 흐르지 않는 구간이 총 하천연장 대비 10~30% 이상일 경우
- 하천의 물이 흐르지 않는 구간의 길이가 1~2 km이상일 경우
- 하천의 물이 과거(또는 갈수량)에 비하여 10~30%의 유량감소가 발생한 경우

2.2 하수처리수의 하천유지용수 재이용 가능량 평가

하천유지유량은 생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등의 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량으로 정하고 있으며(하천법 제51조), 하천유지유량과 별도로 환경개선용수는 사회 환경(관광, 문화행사, 물놀이 및 친수공간 등)개선을 위해 하천의 일부구간 또는 일부지역에 필요한 수량으로 정의 되고 있다(건설교통부, 2007). 하천법에서는 하천유지유량을 고시하기 위해서는 중앙하천관리위원회의 심의를 거쳐야 하고 하천관리청은 하천유지유량의 확보를 위하여 노력하여야 한다고 명시되어 있다. 현재 하천법에 의해 고시된 하천유지유량은 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강의 본류구간 위주로 되어 있어, 지방하천의 하천유지유량에 대해 평가는 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 환경부 오염총량단위유역에 대하여 국토해양부의 하천유지유량이 고시되지 않은 댐유역과 하류지점을 제외한 5대강유역에 대하여 환경부 유량측정 자료를 기반으로 하천유지유량 확보 여부를 검토하였다. 환경부 오염총량관리단위유역의 유량 측정 자료는 국토해양부의 하천유지유량 고시지점과 상이하여 고시된 지점을 기준으로 유역면적비로 환산하였다. 다음으로 환산된 하천유지유량을 이용하여 5대강 유역 내 하천유지유량의 부족빈도를 총 유량 측정횟수 대비 유량부족 횟수의 비로 산정하고, 평균 부족량은 부족 시 필요한 유량의 평균값으로 산정하였다. 다음으로 해당유역의 하수처리수의 공급 가능량과 유지용수 부족유량과의 수급관계를 고려

하여 10,000m³/일 이상의 하수처리 재이용수의 공급이 가능한 대상 하수처리장과 하천유지용수 공급량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 도시하천 복개 현황

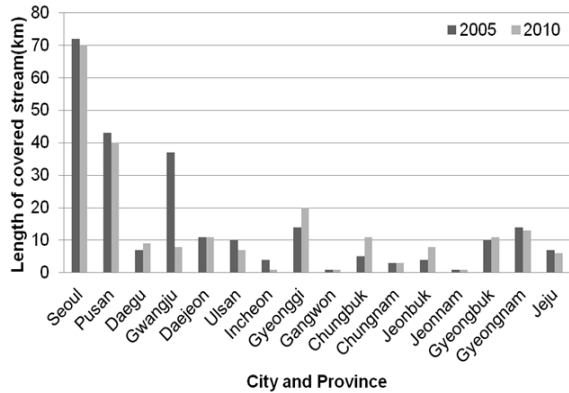
하천복개는 하천 상부가 콘크리트 등으로 덮여지는 것으로 복개된 상부는 도로망 확장, 주차장, 상가 등으로 활용할 수 있어 도시발달과 함께 도시계획에 자주 사용되어 왔다. 특히 도시 내의 복개하천은 하부가 밀폐된 지하공간으로서 복원이전 청계천과 같이 대부분 하수도 역할을 담당하고 있어 하천관리가 어려울 뿐만 아니라 하천환경의 문제까지 제기되고 있다. 최근에는 하천 및 도시 환경개선을 위해 복개하천의 복원이 추진되고 있으나, 복개하천의 상부는 도로, 주차장 등으로 활용되어 도시지역의 주차·교통문제, 심지어 건축물과 밀접한 관련이 있기 때문에 하천 생태복원사업에 상당한 비용 소요 및 주민이주 등의 어려움이 따르고 있다.

우리나라 도시하천의 복개현황을 살펴보면(Fig. 1, Table 2), 2005년도 조사(건설교통부, 2005)에서는 전국의 복개된 도시하천이 177개소(하천연장 243km)로 전체 도시하천 516개소의 약 34.3%를 차지하였으며, 복개로 인해 생태계 훼손은 물론 수질 악화, 악취발생 등 하천의 구조와 기능을 상실한 상태인 것으로 조사되었다. 또한 2010년 조사결과에서는(국토해양부, 2010b) 복개하천 개소수는 153개소로 2005년 조사결과에 비해 4.6%감소한 29.7%를 나타냈으며 하천연장은 1.4% 감소한 12.6%로 조사되었다. 도시규모에 따른 특성을 살펴보면, 2005년도 서울과 6대 광역시의 하천복개 연장비는 평균 35%를 나타냈으며, 특히 서울, 부산, 광주시가 45%이상으로 매우 높은 비율로 나타났다. 이에 반해 같은 해 도별 도시하천의 경우 복개하천 평균

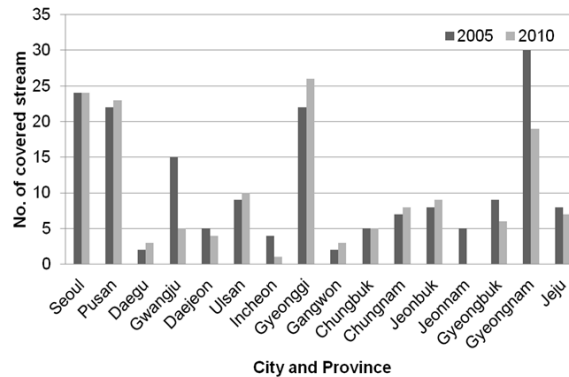
연장비는 5%로 서울과 6대 광역시 도시하천 복개 연장비보다 1/7 수준으로 낮아 도시규모와 도시화의 진행 정도에 따라 복개율의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 2010년 조사결과를 살펴보면, 서울과 광역시의 복개하천 연장비의 경우는 평균 28%로 2005년도 대비 7.2% 감소한 것으로 조사되었으며, 광주시의 경우는 49%의 높은 감소율을 나타냈다. 한편, 도별 도시하천의 경우는 1% 증가한 평균 6%의 복개하천 연장비를 나타냈으나, 12% 증가한 충북지역(조사 자료의 오류에 기인 된 것으로 추정)을 제외하면 통계적으로는 거의 변화가 없는 것으로 조사되었다.

	(%)	stream	(%)	(%)	stream	(%)		
Total	243	14	177	34	219	13	153	30
Seoul	72	53	24	71	70	51	24	71
Pusan	43	46	22	82	40	43	23	85
Daegu	7	10	2	14	9	13	3	21
Gwangju	37	63	15	75	8	14	5	25
Daejeon	11	19	5	28	11	19	4	22
Ulsan	10	15	9	35	7	10	10	39
Incheon	4	10	4	29	1	2	1	7
Gyeonggi-do	14	3	22	16	20	4	26	19
Gangwon-do	1	2	2	9	1	2	3	13
Chungcheongbuk-do	5	10	5	33	11	22	5	33
Chungcheongnam-do	3	3	7	14	3	3	8	16
Jeollabuk-do	4	4	8	22	8	8	9	24
Jeollanam-do	1	3	5	42	-	0	-	0
Gyeongsangbuk-do	10	15	9	45	11	16	6	30
Gyeongsangnam-do	14	10	30	61	13	9	19	39
Jeju-do	7	9	8	40	6	7	7	35

1) Ministry of Construction and Transportation(2005),
2) Questionnaire result of local government (MLTM, 2010b)



a. Length of covered stream



b. Number of covered stream

Fig. 1. Status of covered urban streams in Korea

Table 2. Status of covered urban streams in Korea

2005 ¹⁾				2010 ²⁾			
Length (km)	Ratio of length	Number of	Ratio of Number	Length (km)	Ratio of length	Number of	Ratio of Number
243	14	177	34	219	13	153	30

3.2 도시하천 건천화 현황

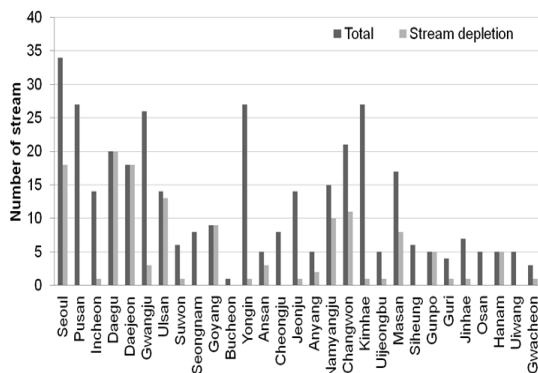
전국 총 369개소 도시하천 중에서 36.3%인 134개소 도시하천이 건천화가 우려되는 것으로 조사되었다. 건천화된 하천이 많은 지역은 서울, 대구, 대전, 울산, 고양, 남양주, 창원, 마산 등으로 나타났고, 건천화율이 50%이상으로 높은 도시로는 서울, 대구, 대전, 고양, 안산, 남양주, 창원, 군포, 하남 등으로 조사되었다(Table 3). 기존의 전국대상의 건천화 조사결과와 비교 해보면 건천화율이 평균 15%이하로 조사되어(과학기술부, 2003; 환경부, 2008; 국토해양부, 2009), 현재의 도시하천 건천화 정도가 더욱 심각함을 알 수 있다.

건천화가 우려된다고 조사된 134개 도시하천에 대한 건천화 정도에 대한 설문결과를 살펴보면, 건천화된 도시하천의 55.2%가 '우려 (Concerned)' 수준으로, 14.7%가 '심각 (Somewhat Serious)' 수준으로, 그리고 30.1%가 '매우 심각 (Very Serious)' 수준으로 나타났다. 대도시와 중소도시의 건천화 정도를 인식하는 정도는 중소도시(Fig. 3(c))가 서울과 6대 광역시(Fig. 3(b))에 비해 건천화에 대한 우려수준이 큰 것으로 나타나, 대도시 지자체의 경우가 보다 체계적인 도시하천 관리를 통해 건천화 방지를 모색하고 있다는 인식을 가지고 있기 때문인 것으로 판단

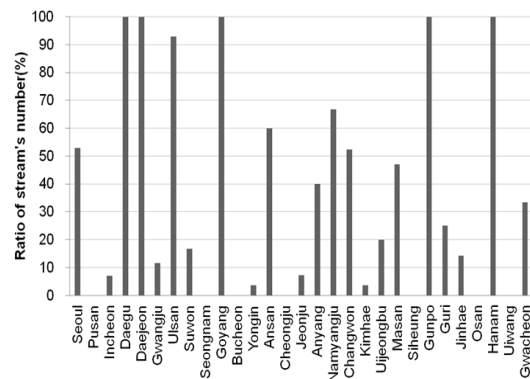
Table 3. Status of urban stream depletion

	City	Number of Stream	Length (km)	Stream depletion			City	Number of Stream	Length (km)	Stream depletion	
				Number	Ratio(%)					Number	Ratio(%)
1	Seoul	34	137	18	53	16	Anyang	5	26,9	2	40
2	Pusan	27	94	0	0	17	Namyangju	15	67,5	10	67
3	Incheon	14	69	1	7	18	Changwon	21	77,3	11	52
4	Daegu	22	67	20	91	19	Kimhae	27	142,4	1	4
5	Daejeon	18	59	18	100	20	Uijeongbu	5	19,7	1	20
6	Gwangju	20	59	3	15	21	Masan	17	88,9	8	47
7	Ulsan	26	69	13	50	22	Siheung	6	36,4	0	0
8	Suwon	6	40,5	1	17	23	Gunpo	5	14,6	5	100
9	Seongnam	8	55	0	0	24	Guri	4	51,6	1	25
10	Goyang	9	65,1	9	100	25	Jinhae	7	22,8	1	14
11	Bucheon	1	8,9	0	0	26	Osan	5	13,7	0	0
12	Yongin	27	175,8	1	4	27	Hanam	5	23,6	5	100
13	Ansan	5	29,4	3	60	28	Uiwang	5	28,7	0	0
14	Cheongju	8	47,5	0	0	29	Gwacheon	3	9,8	1	33
15	Jeonju	14	60,4	1	7		Total	369	1660,5	134	36

된다. 또한 대도시뿐만 아니라 중소도시의 하천에서도 건천화가 지속적으로 진행되고 있음을 나타내는 것으로 판단된다. 실제 일부 도시에서는 하천의 기능을 상실하거나 건천화 정도가 심각한 하천의 경우는 하천 말소처리를 통해 하천을 폐기하는 경우도 있는 것으로 조사되고 있다. 한편 도시하천 건천화를 정도에 따른 건천화에 대한 인식을 비교하여 보면 도시하천 건천화율이 50% 이상으로 높은 도시들에 대한 건천화에 대한 인식 정도가 상대적으로 건천화율이 낮은(건천화율이 50% 미만) 도시들에 비하여 높은 우려를 나타내는 것으로 조사되었다.



a. Number of water depletion streams



b. Percentage of water depletion streams

Fig. 2. Distributions of urban water depletion streams in major cities, Korea

3.3 하천유지유량 확보

건천화된 하천의 물순환 개선을 위한 하천유지유량 확보 방안에는 인근 하천수를 직·간접적으로 취수하는 방법, 지하철 등의 용출지하수를 활용하는 방법, 하수처리수를 재이용하는 방법, 빗물을 재이용하는 방법 등이 대표적이다. Fig. 4는 국토해양부와 환경부의 재정지원을 통해 추진되어온 도시하천 복원사업에 대하여 하천유지유량을 확보하는 방안을 조사한 결과이다. 그 결과, 국토해양부에서 추진하는 하천복원사업의 하천유지유량 확보방안으로 인

근 하천수를 직접 취수하는 방안이 전체 조사대상 도시하천 복원사업 하천유지유량 확보방안 중 70%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 그 외에는 보나 저수

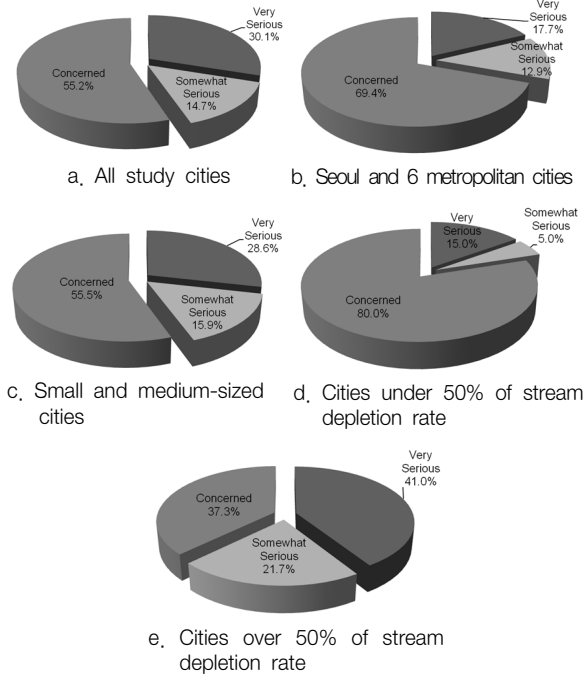


Fig. 3. Survey results on the estimation of urban stream depletion

지의 기존 수자원을 활용하는 방안이 20%, 하수처리수를 재이용하는 방안 10%인 것으로 조사되었다. 한편 환경부에서 추진하고 있는 도시하천 복원사업의 경우, 하천유지유량 확보를 위해서 가장 많이 적용하는 방안은 인근하천수를 직접 취수하여 유지용수를 확보하는 방안이 46%로 가장 높고, 다음으로는 하수처리수 재이용 방안 31%를 적용하고 있는 것으로 조사되었다(Fig. 4(b)). 그리고 일부 사업에서는 빗물이용(8%)이나 용출지하수 이용(7%), 물의 소순환(8%) 등의 방안을 고려하고 있는 것으로 조사되었다.

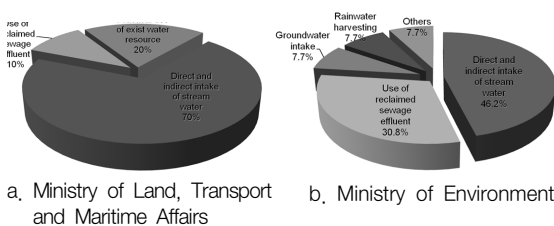


Fig. 4. Instream flow augmentation alternatives for ecological urban stream restoration projects

3.4 하수처리수 재이용 가능량 평가

최근 기후변화 등으로 인하여 우리나라 수리·수문학적 특성은 장마기의 불규칙한 국지성 집중호우의 증가로 인해 댐 저수량 부족에 따라 가뭄에 취약한 상황이 유발될 것으로 예상되고, 가뭄강도와 빈도의 증가는 용수공급 불균형 및 하천유지유량 감소를 초래할 것으로 전망된다(한국환경정책·평가연구원, 2010). 이로 인하여 갈수기 및 홍수기에 하천 관리의 어려움이 증가하고 수자원의 안정적인 공급에 대한 위험도가 높아지게 되어, 겨울과 봄의 상수도 급수 문제가 증가하고, 여름철의 비점오염 위험성이 증가하며, 가을과 겨울의 갈수기시 하천의 수질 악화와 도시 환경용수 부족문제가 심화될 것으로 분석되고 있다. 따라서 도시하천 환경개선과 건천화 방지를 위한 하천유지유량은 도시지역 물순환 건전성, 하천수질개선, 오염부하량 저감, 지속가능성 등의 관점에서 확보방안이 논의되어야 하며, 이러한 관점에서 하수처리수 재이용 방안은 물순환 건전성, 하천 수질개선의 효과뿐만 아니라 하천유지유량으로 적합한 하수처리를 통해 점오염 배출부하량의 저감효과도 있음을 알 수 있다.

전국에 하천유지유량으로 이용가능한 잠재적인 하수 재이용수량을 추산해 보았다. 하천유지유량 부족량 산정을 위해 고시된 하천유지유량자료(국토해양부)의 해당 수질오염총량관리 단위구역별 분할을 통해 해당 구역의 유지유량을 환산하여, 유량 실측 자료의 유지유량 초과 여부를 검토하고 부족비율 및 부족유량을 산정하였다. 다음으로 해당구역이 하수처리수 공급 가능량과 수급관계를 고려하여 10,000m³/일 이상의 하수처리수 공급이 가능한 대상 하수처리장과 하천유지용수 공급량을 산정하였다. 검토결과, 2008년 기준으로 하천유지용수 재이용량은 213,537천m³/년으로 58개 하수처리장에서의 하수처리수 564,403천m³/년을 추가로 하천유지용수로 재이용하면, 총 777,940천m³/년의 하천유지용수 공급량을 확보할 수 있는 것으로 조사되었다. 하천

유지유량이 부족한 지역은 주로 낙동강 중하류 지역에 많이 분포하고 있는 것으로 평가되었고, 유역별 이용 가능한 하수방류량과의 수급 관계를 살펴보면 하수재이용수의 공급가능량이 많은 지역은 낙동강 중하류지역과 남한강, 한강하류, 금강 상류, 영산강 중하류지역 등으로 조사되었다. Fig. 5는 고시된 하천유지유량 대비 부족한 하천유지유량(Fig. 5(a))과 이에 대한 하천유지유량으로 활용할 수 있는 하수처리수 재이용 가능량을 나타낸 것이다. 또한, 재이용 가능한 대상 하수처리장의 방류수 BOD 측정 자료를 근거로 재이용을 통해 저감될 수 있는 배출부하량을 산정해 보면 잠재적으로 공공하수처리시설의 총 배출오염부하량에 대해 약 4.8%의 삭감효과가 발생될 것으로 추산되며 직·간접적 국내 물산업시장의 창출 효과도 기대된다.

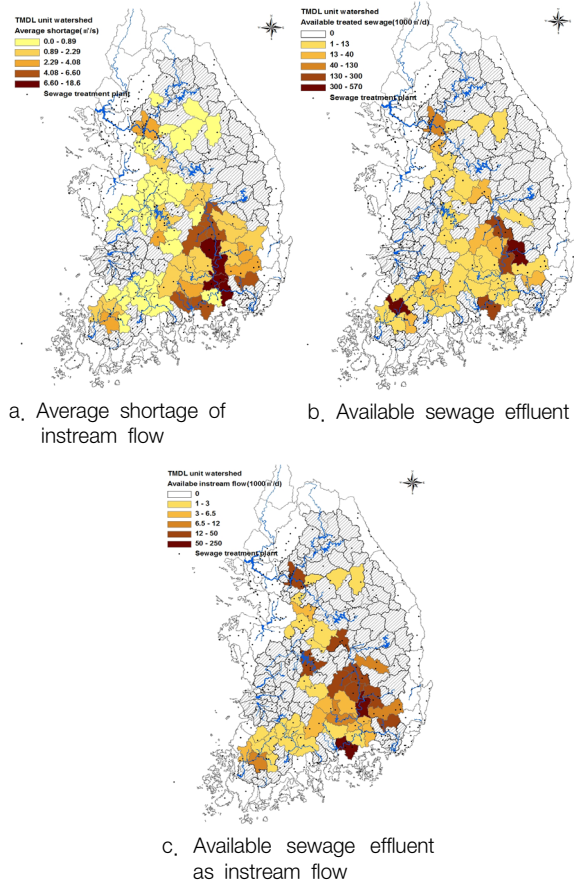


Fig. 5. Available treated sewage effluent as instream flow

3.6 도시하천 물순환 개선을 위한 물재이용 정책 방향

도시하천의 물순환 개선을 위해서는 도시하천 복원사업 중 하천유지유량의 확보 필요성이 있는 경우 재이용수의 공급이 가능한지 타당성 검토가 우선적으로 실시되도록 하는 것이 필요하다. 이를 위해서 하천복원사업에 대한 국고보조 타당성 검토 시 하천유지유량 확보 방안에 대한 타당성 검토를 반드시 고려하도록 하고, 적절한 여건을 만족하는 경우 다양한 용수공급대안에 대한 물재이용 대안이 우선 적용되도록 의무화하는 방안이 필요하다. 이를 위해서는 대상지역 내 하천의 주요지점에 대한 지속적이고 체계적인 유량관측시스템의 구축과 더불어 지속적인 유역 물이용 및 순환 현황 조사 및 모니터링 시스템 구축이 선행되어야 일관되고 지속성 있는 체계적인 유역 내 물수지 분석과 수요관리에 기반을 둔 합리적인 하천유지유량 공급계획의 수립이 가능하다.

또한, 유지용수 공급을 위한 재이용수의 철저한 수질관리가 무엇보다 중요하다. 현재 재이용수와 관련된 수질기준을 살펴보면 환경부(2009)에서 유지용수에 대한 수질기준 권고안을 제시하고 있고, 2010년 “물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률”의 제정에 따라 2013년 6월부터 법적 적용될 예정이다. 하지만 현재 하천유지유량으로 재이용되고 있는 전국 15개 하수처리장의 하수처리 재이용수에 대한 수질분석 결과를 살펴보면(Fig. 6), 총대장균, BOD, 총인 등의 수질기준에 대하여 유지용수 재이용 수질기준을 만족하지 못하는 처리장이 여전히 많은 실정이다. 더구나, 현재 설정된 유지용수를 위한 재이용수 수질기준은 우선적으로 점차 강화되고 있는 공공하수처리시설 방류수 수질기준을 반영하는 것이 필요하다. 2011년 1월 1일부터 공공하수처리시설 방류수 수질기준에 독성물질이 추가되었으므로 하수처리수 유지용수 수질기준도 최소한 동일한 기준(1TU 이하)을 적용해야 할 것으로 판단되며,

2012년부터 강화되는 인 방류수 수질기준을 고려하여 I, II지역에서는 T-P 수질기준을 0.3 mg/L이하로 강화할 필요가 있다. 또한, 하천수질관리를 위해 유지유량 공급 사업 타당성 검토시 중요하게 고려되어야 할 원칙은 유지유량 공급을 위한 재이용수 수질기준에 대한 최소한의 목표달성과 함께 대상하천에 대한 하천의 수질특성을 충분히 고려하여 하천의 수질악화를 유발하지 않을 수준(Anti-Degradation Policy)의 적절한 목표수질을 적용하는 것이다.

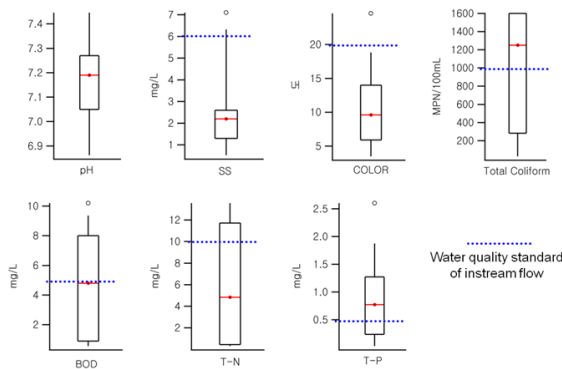


Fig. 6. Water quality of reclaimed sewage effluent as instream flow (Ministry of Environment, 2011)

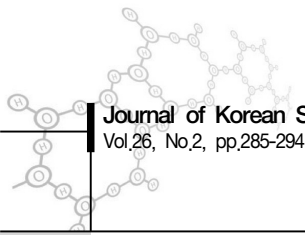
마지막으로 도시하천 물순환 개선을 위한 하수재이용은 정부주도의 전략적 정책추진으로 물산업 활성화를 위한 도구로 활용해야 한다. 도시하천 물순환 개선사업에 대한 국고지원 사업을 대폭 확대하고, 하천유지유량 확보방안 등에 대한 평가의 합리적, 경제적, 환경적 평가기준을 설정하여 물산업 성장 동력으로서 물 재이용이 발전될 수 있도록 유도하는 것이 필요하다. 이를 위해 정부의 재정 지원 정책과 더불어 한편에서는 철저한 수질악화금지원칙을 적용하고 엄격한 수질 기준을 적용하는 등 물 재이용정책에 대한 규제와 지원의 양면의 정책적 드라이브로 기술개발과 관련 시장의 형성에 기여할 수 있는 물산업기반 구축 정책전략이 필요하다. 더불어 주관부처 단일화를 통한 도시하천 복원사업의 체계적 추진 및 재정지원이 필요하다. 국토해양부와

환경부, 행정안전부로 나뉘어 시행되는 하천복원사업 업무추진은 수량과 수질, 생태를 종합적으로 고려해야 하는 하천복원사업의 특성상 어느 하나의 목적으로 주관부처를 결정하는 데 한계가 있다. 하천 복원사업이 하천유지유량 확보계획이 반영된 체계적 추진을 위해서는 단일화된 주관부처를 통한 국고지원 사업의 타당성 검토 및 전문성 확보가 중요하다.

4. 요약 및 결론

지난 5년여 간 도시하천의 복개율은 정부주도의 꾸준한 복원사업을 통해 하천연장기준으로 과거 14.0%에서 12.6%로 1.4% 감소하였다. 하지만 조사 대상 369개소 도시하천 중에서 36.3%인 134개소 도시하천이 여전히 건천화가 우려되는 것으로 조사되었고, 특히 건천화 도시하천 중에서도 30.1%는 건천화정도가 매우 심각한 것으로 나타났다. 또한 대도시와 중소 도시의 건천화에 대한 인식정도 비교할 때, 중소도시가 서울과 6대 광역시에 비해 건천화 정도에 대한 우려수준이 큰 것으로 나타나 도시발달이 상대적으로 늦은 중소 도시의 하천에서도 건천화가 진행되고 있고 심각한 수준에 이르는 것으로 판단된다. 따라서 도시하천의 환경개선을 위해서는 복개하천의 복원도 중요하지만 하천 건천화방지 및 친수성 증진을 위한 하천유지유량의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

정부 재정 지원으로 추진되고 있는 하천복원사업의 하천유지유량 확보방안을 조사한 결과, 인근의 하천수를 직·간접적으로 취수하여 도수하는 방법이 가장 많이 적용되고 있고, 단순한 용수확보 시설투자에 대한 경제성 논리와 이수 및 치수관리와 친수공간의 제공에 치우쳐 지속가능한 물 순환형 미래도시에 대한 고민이 부족한 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 도시하천의 하천유지유량 확보를 위한 하수처리수 재이용은 물순환 건전성, 하천 수



질 개선의 효과 뿐만 아니라, 하천유지유량에 적합한 하수처리를 통해 점오염 배출부하량의 저감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 실제 전국의 유역별 이용 가능한 하수처리수 방류량과 지류하천의 하천유지유량 부족량과의 수급 관계를 통해 하천유지유량으로 이용 가능한 하수 재이용수량을 추산해보면 연간 총 7억 8천만톤의 하천유지용수 공급량을 확보할 수 있을 것으로 예상되며, 이에 따라 공공하수처리시설의 총 배출오염부하량에 대해 약 4.8%까지 부하량삭감 효과가 발생될 것으로 추산된다.

도시하천의 건천화 방지 및 물순환 개선을 위한 방안으로서 하수처리수 재이용 방안은 물순환 건전성, 하천 수질개선 효과와 더불어 하천유지유량에 적합한 하수처리를 통해 점오염 배출부하량의 저감 효과 등을 기대할 수 있다. 또한 하수 재이용 관련 물산업 뿐만 아니라 물 재이용 서비스를 통한 새로운 가치창출 및 지속가능한 물산업의 성장 동력으로 발전될 수 있을 것이다. 따라서 물 재이용 활성화를 위한 정부의 적극적인 지원정책과 함께, 환경보전을 위한 효율적인 규제를 통하여 물 재이용 산업 활성화를 도모하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 한국환경정책·평가연구원 연구과제(과제번호: RF2011-12)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부 (2005) 도시하천 환경개선 계획.

- 건설교통부 (2007) 자연·사회환경 개선을 위한 하천유지유량 산정방안 보고서.
- 경기개발연구원 (2002) 경기도내 하천의 건천화 방지에 관한 연구.
- 과학기술부 (2003) 지속적인 하천수 개발 기술.
- 국토해양부 (2009) 하천건천화 평가 및 개선방안 연구.
- 국토해양부 (2010a) 한국하천일람.
- 국토해양부 (2010b) 물순환형 수변도시조성 기본계획 수립 연구.
- 이길성, 정은성, 박선배, 진락선 (2005) 학의천 유역의 토지 이용변화에 대한 유출량 및 수질의 변화. 2005년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 664-668
- 이상호, 박종표, 이정민, 우한주 (2003) 청도천의 건천화 원인분석. 2003년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, pp. 2472-2477
- 이충성, 최승안, 김형수, 심명필 (2004) 우이천의 건천화 원인분석. 2004년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 753-758
- 정관수, 조효섭, 김정엽, 심명필 (2003) GIS를 이용한 건천화 하천의 특성분석. 한국수자원학회논문집, 36(6), pp. 1083-1095.
- 환경부 (2005) 국가환경종합계획.
- 환경부 (2008) 수생태복원 정책추진방향 2008. 생태하천복원 및 비점오염원관리 연찬회 발표자료.
- 환경부 (2009) 하수처리수 재이용 가이드 북.
- 환경부 (2010) 물재이용 기본계획 수립을 위한 연구.
- 환경부 (2011) 하수처리수 재이용 법정 수질기준의 합리적인 적용방안 마련을 위한 연구.
- 한국환경정책·평가연구원 (2010) 물관리 취약성과 물안보 전략 II.
- Daigger, G. T. (2009) Evolving urban water and residuals management paradigms: Water reclamation and reuse, decentralization, resource recovery. *Water Environment Research* 81(8), pp. 809-823.
- Novotny, N., P. Brown (2007) *Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. IWA Publishing, ISBN: 1843391368.
- Rees, W.E. (1997) Urban ecosystems: the human dimension. *Urban Ecosystems*, pp. 163-175.