

물순환 연구의 필요성과 방향

-일본의 사례를 중심으로-

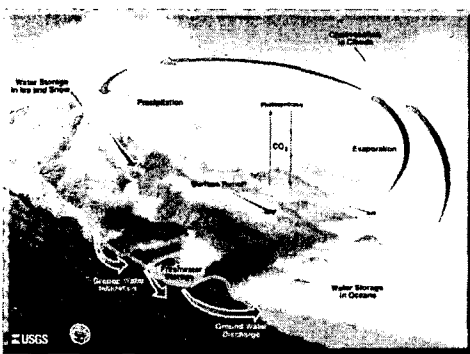
김한태 *, 김 승 **, 최선희 ***

1. 서론

지구상에는 약 14억 km³의 물이 존재하고있다고 알려져 있으며, 이 중 약 97.5%가 해수이며 담수는 대략 2.5%이다. 이 담수의 대부분은 남·북극 지역 등의 얼음으로 존재하고 있으며 지하수를 포함한 하천수나 호수의 물로써 존재하는 담수는 지구상의 물 중 약 0.8%이다. 더욱이 이 0.8%의 대부분이 지하수로 존재하고 있기 때문에 이용하는 것이 비교적 용이한 하천수나 호수의 물로 존재하는 양은 지구상의 물 중 겨우 0.01%이다. 그러나, 물은 태양에너지와 중력에너지에 의해 계속해서 지구상을 돌고 있으며 이 것을 물의 순환이라고 말한다. 바다나 육지에서 증발한 물은 구름이 되고 이것이 비나 눈이 되어 육지에 내리며 일부는 증발되지만, 나머지는 하천수나 지하수가 되어 다시 바다로 돌아간다.

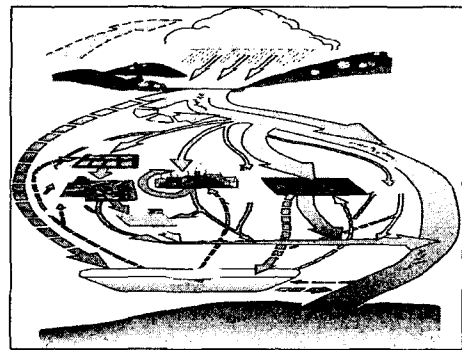
이러한 순환의 과정에서 지구상의 많은 생명이 태어나고 성장하며 적당한 기온을 유지하는 동시에, 비와 눈은 공기중의 먼지나 때 등을 씻겨내며, 流下과정에서 하천을 정화하는 기능을 가지고 있다. 그리고, 순환을 통하여 자연환경, 인간활동을 유지시키고 유역을 형성하여 크고 작은 여러 유역에 의해 국토가 형성되었다.

우리는 이러한 순환중에서 우수가 지표에 도달하여 바다로 나갈 때까지의 사이에 유역에서 여러 형태로 존재하고 있는 물을 자원으로써 생활·산업 등에 일시적으로 이용하고 물의 질을 변화시켜(오염시킴, 위치를 바꿈, 수온을 변화시킴 등) 배수를 이 순환에 되돌리는 것에 의해 생활하고 있다. 그림 1의 (a), (b)는 앞에서 설명한 자연상태의 물순환과 인간의 인위적인 활동에 의한 유역에서의 물순환과 물이용을 나타낸 것이다.



a) 자연상태의 물순환 모식도

(인용:미국 USGS 홈페이지(<http://ga.water.usgs.gov/edu/>))



b) 인위적인 활동에 따른 물순환 모식도

(인용:일본 건설교통성 수자원국 홈페이지(<http://www.mlit.go.jp/>))

그림 1 물순환의 변화

- * 수자원의 지속적확보기술개발 사업단 연구관리 팀장
- ** 수자원의 지속적확보기술개발 사업단 단장
- *** 수자원의 지속적확보기술개발 사업단 연구원

최근, 산업화와 도시화의 급속한 진행은 물의 질적, 양적인 측면에서 많은 악영향을 주고 있는 실정으로 예를 들면, 하천의 건천화, 지하수위 저하 및 수질악화, 홍수·가뭄피해의 증가 등 지구의 물순환에 많은 변화를 초래하고 있다. 이러한 수자원의 양적·질적인 위기는 세계적으로 매우 광범위하게 발생하고 있으며, 이에 따른 대책방안 마련에 많은 노력을 기울이고 있다.

본 보에서는 일본의 물순환계 개선을 위한 대책을 히가시카와(東川, 이하 東川)유역의 사례를 가지고, 그 과정에서 조사되는 조사항목과 물수지 분석에 사용되는 방법 등과 물순환계를 파악한 뒤에 수행되는 물순환계 개선을 위한 대책수립 과정과 방안에 대하여 소개한다.

2. 일본의 물순환계 개선을 위한 사례(東川유역)

1) 일본 물순환관련 행정의 동향

1995년도의 건설성 중점시책의 하나로서 '도시에서의 적정한 물순환계 재생으로의 시도'가 거론되어 '도시의 물순환 재생구상 책정 매뉴얼'의 작성과, 동시병행의 사례연구로서 전국 6유역을 대상으로 '각 유역의 물순환계 재생구상'의 책정이 추진되었다. '도시의 물순환계 재생구상 책정 매뉴얼'의 작성은 건설성 하천국 하천환경과, 도시국 하수도부 공공하수도과·유역하수도과가 중심이 되어서 검토위원회(위원장: 무시아케(虫明)교수, 도쿄(東京)대학 生産技術研究所)가 설치되었고, 6개 유역에 대해서는 각 지자체가 중심이 되어서 전문가를 위원장으로 하는 유역협의회가 설치되어서 각각 검토가 추진되었다.

그리고, 1998년 7월에는 하천심의회 종합정책위원회 물순환 소위원회에서 '유역에서의 물순환은 어떠해야 하는가' 라는 제목으로 중간보고를 하였다. 이 보고의 결론에는 국토관리에 물순환계의 시점을 넣어서 물순환계를 공유하는 권역별로 관계자 등으로 구성되는 조직을 설치하고, 그곳에서 종합적인 물순환계 마스터플랜을 책정해서 하천행정뿐만 아니라 관계행정과의 횡단적인 제휴를 취함으로써 유역전체에서 치수·이수·환경의 밸런스를 잡고, 건전한 물순환계의 형성에 나서야 한다고 주장되어 있다. 계속적으로 관련省廳(환경청, 국토청, 후생성, 농림수산성, 통상산업성, 건설성)이 제휴하여 건전한 물순환계의 구축에 나서기 위해 '건전한 물순환계 구축에 관한 관련省廳 연락회의'의 설치가 합의되어 1999년 10월에 중간 보고가 제시되어 있다. 이 보고에서는 '건전한 물순환계란 유역을 중심으로 한 일련의 물의 흐름 과정에서, 인간사회의 영위와 환경보전에 기여하는 물의 기능이 적절한 밸런스 하에 모두 확보되어있는 상태' 라고 정의하고 있다.²⁾

2) 물순환계 개선을 위한 과정

물순환계 개선을 위한 과정에서 선행되는 사항은 물순환의 현황 파악으로 먼저, 유역의 개요(지형·지질, 도시화의 동향)를 조사하고, 물순환과 관련된 사항(강수량, 유량, 수질, 지하수, 물의 이용과 공급, 하천, 하수도)등을 조사한다. 다음은 물순환의 문제점을 도출하기 위하여 물순환 추정법(물수지 계산법, 오염부하 계산법, 수질 추정법)을 사용하여 현재의 상황과 향후의 물순환계의 변화를 추정한다. 이러한 추정 결과로 물순환 상의 문제점(평상시 유량의 확보, 홍수제어, 수자원의 보전과 개발, 생태계에 대한 배려, 오염제어, 熱환경의 개선 등)을 도출한다. 도출된 물순환계의 문제점을 검토하여 그 유역에 적합한 물순환계 개선을 위한 기본이념을 제안하고 이에 적합한 목표를 설정한다. 목표달성을 위한 대책을 세우기 위해서는 먼저, 설정된 목표별로 평가지표와 목표값을 정하고, 개별대책 몇가지를 도출한 후, 평가지표로 개별대책의 효과를 평가한다. 이 평가결과를 기초로 기본이념에 충실한가를 검토하면서 개별대책을 조합하여 물순환계 개선을 위한 종합적인 대책을 제안한다.³⁾

이러한 일련의 물순환계 개선을 위한 과정을 요약하여 그림으로 제시하면 그림 2와 같으며 그 과정을 단계별로 요약하였다

(1) 물순환의 현황과 향후의 전망 파악

물순환계 개선을 위한 과정중 선행되어야할 1단계는 물순환의 현황과 향후의 전망을 파악하는 것으로서 크게 일반사항과 물순환 관련 사항 2가지로 나눌 수 있다.

①일반사항(유역의 개요) : 물순환을 개선하고자 하는 유역이 결정되면 가장 먼저 실시하는 사항으로 그 항목은 다음과 같으며, 물순환 개선대책을 마련하는 데 기본적으로 고려할 사항으로 중요한 의미를 가지고 있다.

- 유역의 위치 및 제반사항 : 위치, 지리적 요건, 면적, 관류하천의 연장 등
- 지형 및 지질 : 상·하유역의 지형경사, 하천경사, 지질단면 등
- 도시화의 동향 : 현재인구, 향후의 인구증가 추세
- 토지이용 : 과거(1930년대)로부터 현재까지 토지이용(도시화율)의 변이
- 유역의 역사적 배경 및 사회·문화적 기반요소

②물순환 관련 사항 : 물순환계의 문제점을 파악하는 데 기초적인 자료이며 동시에 물수지 계산에 필요한 자료로서 매우 중요한 조사항목 이다.

- 강수량, 기온 : 기본적으로 과거 5년간 월별 자료, 홍수 및 갈수 자료
- 유량 : 유역의 일유량의 추정에 필요한 유량 및 수위 관측자료(홍수, 평시, 갈수 유량)
- 수질 : 과거 8년간의 월 1회 측정값(BOD); 東川의 사례
- 지하수 : 과거 굴착정의 자료로 지하수위 추정, 하천으로의 지하수 유출 추정
- 물이용 : 과거 5년간의 급수인구와 有收수량 자료를 바탕으로 1인당 사용수량을 산정하여 물이용의 추이를 추정
- 물공급 : 과거 5년간의 縣水(縣에서 운영하는 水道) 水受量과 지하수 취수량의 자료, 즉 실적공급량을 가지고 물공급의 추이를 추정
- 하천 : 유역하천의 범람기록과 침수피해, 대책등을 조사, 치수안전도 평가에 의한 치수대책의 효과분석
- 하수도 : 현재의 하수도 정비상황과 우수의 유출경로, 향후 하수도 계획 조사
- 기타 : 유역의 공공·공익 시설에 대한 저류, 침투기능(면적, 양)과 향후 물순환 개선을 위한 추진사업의 계획 등을 조사

(2) 물순환의 문제점 도출

2단계는 1단계에서 조사된 내용을 기초로 물순환의 문제점을 도출하는 과정으로 이를 위해서는 그림 3과 같은 절차가 필요하다.

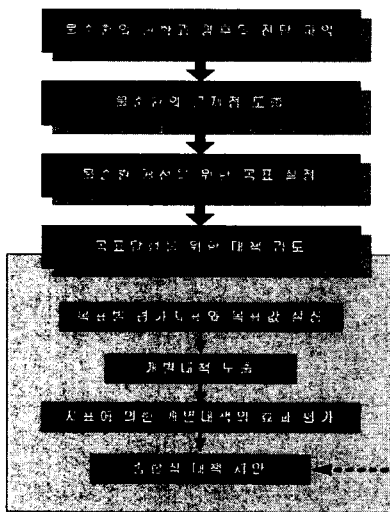


그림 2 물순환계 개선을 위한 과정의 흐름도

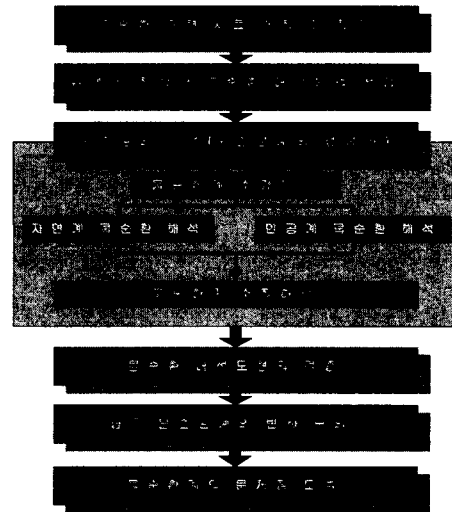


그림 3 물순환 문제점 도출을 위한 과정의 흐름도

① 먼저, 물순환 관련 자료를 수집하여 해석방법의 입력자료로 사용할 수 있게 적합한 형식으로 정리·구성한다. 그 다음에는 유역의 특성에 적합한 물순환 해석방법을 선정하는 과정으로써 국내는 물론 국외의 물순환 해석방법을 비교·검토하여 선정하는 것이 바람직하다.

② 선정된 물순환 해석방법을 사용하여 물순환계를 정량화 하기 위하여 물순환계를 자연물순환계와 인공물순환계 2가지로 나누어 그 구조를 파악하는 것이 필요하다.

③ 물순환의 문제점 도출을 위한 네 번째 단계는 ②에서 구성된 모형을 다른 유역에 적용하여 구동시켜 얻은 계산값과 실측값을 비교하는 것으로서 그 결과가 만족스러운 경우에만 다음 단계를 진행할 수 있다.

④ 전 단계에서 만족한 결과를 얻었다면 그 모형을 사용하여 현재 물순환계를 정량화하고 향후 5년 또는 10년의 물순환계를 모의한다. 단, 향후 모의는 물순환 개선대책을 고려하지 않은 상태에서 구동하는 것이 일반적이다.

⑤ 물순환의 문제점 도출을 위한 마지막 단계는 ④에서 얻은 현재결과와 향후의 결과를 비교·검토하여 평시유량확보, 홍수제어, 수자원의 보전과 개발, 오염제어 등에 대하여 문제점을 제시한다.⁵⁾

(3) 물순환 개선의 기본이념, 목표설정 및 달성을 위한 대책의 검토

전 단계에서 도출한 물순환계의 문제점을 검토한 다음, 유역에 적합한 물순환 개선의 기본 이념을 정립하고 그것을 근거로 목표를 설정한다. 마지막으로 선정된 목표를 달성하기 위한 대책을 검토한다. 이러한 과정을 일본 東川유역의 실제 사례를 가지고 설명한다.

① 東川유역 물순환계 개선 구상

東川은 狹山구릉지 내의 狹山湖 부근에서 시작되어서, 시가지부를 관류하고, 所澤市 坂の下지점에서 柳瀬川에 합류하는 유역면적 18km², 연장 12.6km의 1급 하천이다.

고도성장기 이후 시가지의 확대에 의해, 우수가 양호하게 침투하고 있었던 지표가 콘크리트 등으로 덮였으므로 홍수유량이 증가할 뿐만 아니라, 평시유량을 감소시켰다. 所澤市의 중심시가지부에서는 국부적인 침수피해가 빈발하고 있다. 그래서, 1995년도에 사이타마현, 所澤市의 관계부국을 위원으로 한 東川유역 협의회를 발족시켜서 東川유역의 물순환계 개선에 대한 기본방침 검토하여 '東川유역 물순환계 개선구상서'를 발표하였다.

② 기본이념·계획목표

협의회에서는 물순환계를 개선해 가는 데 있어서의 다음과 같은 기본적인 이념을 근거로 표 1과 같은 계획목표를 설정하였다.

- 물순환계 전체에 대해서 균형잡힌 개선을 할 것
- 많은 과제에 대해서 효과가 미치는 대책에 배려할 것.
- 대책의 종합성(다면적인 대책을 강구할 것)에 배려할 것.

③ 대책안의 설정

계획목표를 달성하기 위한 종합적인 대책으로서 우수저류시설의 보급, 수자원의 순환이용, 우수침투시설의 보급, 자연지의 보전, 하수도의 정비(분류식하수도의 정비), 하천의 정비를 설정하고 이것들을 효과적으로 조합한 대책안을 설정하였다. 여기서 설정한 대책은 물순환계를 통해서 서로 영향을 미치고 있는데, 지하수 유출량의 변화에 가장 크게 영향을 준다.

東川유역에서는 각 목표에 적합한 다수의 물순환계 해석모형을 적용하여 각종 대책의 복합적인 효과를 평가하였으며, 각 각의 대책에 대하여 복수의 지표를 가지고 그 효과를 평가하였다. 그리고, 최종적으로 종합적인 시책으로서 표 2와 같은 대책안이 책정되었다.²⁾

표 1 東川에서의 물순환계 개선 계획목표(인용 : 都市域における水循環系の定量化手法)

과제	계획목표	
	단기목표(21세기 초반)	장기목표(21세기 중반)
홍수제어	東川の 잠정계획(1977년 9월 홍수를 대상)으로 분류되어 있는 2차 하천 및 조절지 등의 정비를 추진한다.	東川の 잠정계획(1977년 9월 홍수를 대상)으로 분류되어 있는 2차 하천 및 조절지 등의 정비를 완료한다.
평상유량의 확보	무사시노의 정서가 풍요롭게 남아 있던 昭和 30년대 무렵의 자연계 유량(상류지점 0.004, 중류지점 0.018, 하류지점 0.036m ³ /s)의 확보를 지향한다.	지역의 심볼로서, 경관에 배려한 수면폭을 확보하고 또, 친수성에 배려한 유량(중류지점에서 0.162m ³ /s)의 확보를 지향한다.
수자원의 보전과 개발	우수와 하수처리수의 이용을 촉진하거나, 물을 낭비하지 않도록 절수에 신경을 써서 갈수와 지진시의 비상용수원 확보를 도모한다.	
생태계의 보전과 복원	생물의 서식·생육에 적합한 지역을 보전하고 신규 개발과 도시기반정비를 하는 경우에는, 최대한 생태계에 배려하여 실시한다.	
오염제어	가장 시가화가 많이 진행된 중류지점에서 경관·친수성을 배려한 수질(BOD 3.0mg/ℓ)까지의 개선을 지향한다.	東川전 구역에서, 경관·친수성을 배려한 수질((BOD 3.0mg/ℓ)까지의 개선을 지향한다.

표 2 東川에서의 물순환계 개선 대책일람(인용 : 都市域における水循環系の定量化手法)

	기본시책	종합적 시책 내용
21세기 초반	합병정화조의 보급	시가화 조정구역에서, 하수도정비가 되기까지는 정화조의 보급에 노력한다. (대상인구는 현재, 변소치기의 약 500명분 정도로 하되, 내역은 약 1할을 합병정화조, 나머지 약 9할이 단독정화조로 한다.
	우수저류시설의 보급 (조절지의 환경용수 용량확보)	계획중인 조절지 및 학교·공원의 지하 등을 이용한 시설에 치수용량과는 별도로 이수용량을 확보한다.(그 양은 치수용량의 30% 정도로 한다.)
	우수침투시설의 보급 (우수침투통의 설치)	현황부터 21세기 초두까지 증가할 것으로 예상되는 주택 약 3천6백호의 70% 정도에 침투통을 설치한다. 현황에서 기존주택 중 설치 가능한 주택 약 2만 4천호 중 4천호에 침투통을 설치한다.
	(보도의 침투대책 실시)	도시계획 도로 신규축조의 보도 부분은 침투대책을 실시한다.
	자연지의 보전 (생산녹지의 보전)	東川구역내의 생산녹지 약 38ha를 최대한 보전하고, 개발된 경우에 대해서는 종전의 기능을 확보하도록 대책을 실시한다.
	하수도의 정비 (분류식 하수도의 정비)	시가화 구역 내에서 급후 정비할 구역에 대해서는 약간의 구역을 제외하고, 분류식 하수도로 정비한다.
21세기 중반	하천의 정비 (2차하천 등의 정비)	東川の 잠정계획으로 자리 매겨져 있는 2차하천 및 조절지(합계용량, 약 54만m ³ 정도) 등의 정비를 추진한다.
	우수저류시설의 보급 (조절지의 환경용수 용량확보)	계획중의 조절지 및 학교·공원의 지하 등을 이용한 시설에 치수용량과는 별도로 이수용량을 확보한다. (그 양은 치수용량의 30% 정도로 한다.)
	수자원의 순환이용 (하수처리수 등의 하천으로의 환원)	東川の 여울을 부활하기 위해, 하수처리수 등 수자원의 유효이용을 도모한다.
	우수침투시설의 보급 (우수침투통의 설치)	현황부터 21세기 중기까지 증가할 것으로 예상되는 주택 약 9천백호 전부에 침투통을 설치한다. 현황에서 기존주택 중 설치 가능한 주택 약 2만4천호 전부에 침투통을 설치한다.
	(보도의 침투대책 실시)	도시계획도로를 포함한 간선도로의 보도부분은, 신규축조 및 개수시에 침투대책을 실시한다.
	자연지의 보전 (생산녹지의 보전)	東川구역내의 생산녹지 약 38ha를 최대한 보전하고, 개발된 경우에 대해서는 종전의 기능을 확보하도록 대책을 실시한다.
하수도의 정비 (분류식 하수도의 정비)	東川구역 전역을 분류식 하수도로 정비한다.	
하천의 정비 (2차하천 등의 정비)	東川の 잠정계획으로 자리 매겨져 있는 2차하천 및 조절지(합계용량, 약 54만m ³ 정도) 등의 정비를 완료한다.	

3. 물순환계 해석에서의 과제

본 장에서는 일본의 물순환계 개선을 위한 과정 중에서 물순환계 해석에서 도출된 문제점에 대하여 요약한다

①관측의 필요성

해석에 있어서는 관측자료로부터 모형을 구동하는 것이 전제되기 때문에 물순환계를 모니터링 하는 것이 중요하다는 것은 말할 필요도 없지만, 해석 모형의 구축시와 평가시에도 광범위하고 다양한 유역정보·수문관측 정보의 축적이 필요하게 되어 있다. 그런데, 일반적으로 도시하천 유역에서는 수문관측 체계가 미정비된 경우가 대부분이어서 해석자체가 곤란한 상황이다. 건설성 수문·수질 데이터 베이스 등의 정비 추진이 요망된다.

②수량해석에서의 과제

관측자료가 한정되어 있는 유역에 대하여 물순환계 해석을 실시하는 경우, 파라미터를 조정하면 많은 모델에서 모두 양호한 재현결과를 얻을 수 있는데, 장래 예측의 결과는 모델에 따라 큰 차이를 보이는 경우가 있다. 이것은, 어떤 방법으로 한정된 검증 데이터를 재현할 수 있었다고 해도 그것이 장래예측 시뮬레이터로서의 절대 타당하다고는 할 수 없다는 것을 말하고 있다.

각각의 모델은 독특한 가정을 내포하고 있으며 그 중 몇 가지는 특정 유역의 상황에서 괴리하고 있을 가능성은 부정할 수 없다. 이와 같은 것이 원인이 되어서 장래예측의 오차를 무시할 수 없을 정도까지 크게 될 위험성이 있다. 해석의 결과를 여러 측면에서 검토해서 정밀도 향상에 노력할 필요가 있다. 예를 들면, 관측자료를 장기간 취득 가능한 경우에는 어느 기간을 모델 파라미터의 조정기간으로 하고 이것과는 다른 기간을 검증기간으로서 설정하거나 하여, 서로 다른 기간에 걸쳐서 재현성이 있다는 것을 확인하는 등의 방법이 있다.

물순환계 해석작업의 한 가지 특징은 많은 종류의 정보를 정리해서 해석한다고 하는 점이다. 그런데, 필요한 데이터 중에는 지금까지 충분히 계측되어 있지 않은 것이 적지 않다. 따라서 신규로 계측을 해야 하는 항목이 나온다. 또한, 다른 종류의 정보는 관할조직 별로 분산되어 있기 때문에 수집의 절차가 번잡한 경우가 많다. 이와 같은 상황 때문에 실무에서 데이터의 입수(관측과 자료수집을 포함)는 상당히 중요한 부분을 차지하게 되었다.

③수질해석에서의 과제

오염원으로서 취급되는 것은 농지의 비점오염원, 도시의 강하매진퇴적, 생활배수, 공업배수 등인데 이러한 배출부하를 토지이용별 부하원단위에서 평가하는 경우, 생활배수와 대표적 작물을 제외하고 이러한 원단위를 정밀하게 산정하는 것은 쉽지 않다.

부하의 流下에 대해서는 침강, 토양의 흡·탈착 작용 등의 과정을 고려하는데 계수를 설정하는 것이 어렵다. 그 때문에 각 요소를 종합적으로 평가하여 부하저감율, 자정율 등으로 표현하는 방법이 취해지고 있는 경우도 있다.

오염물질은 물과 함께 이동하므로 수질현상의 해명은 물 경로별 수분이동의 기구해명에 의존한다고 할 수 있다. 따라서, 유역 물순환계의 시점에서 수질현상을 파악하기 위해서는 충분한 정밀도를 가지는 수량해석모델이 필요하다.²⁾

4. 고찰 및 제언

국내에는 하천정비기본계획, 수자원계획 등에 수자원을 평가하고 이에 대한 대책을 세우기 위해서 물 수지 방법이 이용되고 있으나 이에 대한 충분한 검토 및 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있으며, 그럼에도 불구하고 여러 가지 물 수지 방법 및 해석이 도출되고 있는 실정이다.⁴⁾ 이에 본 발표에서는 일본의 물순환계 개선을 위한 일련의 과정을 중심으로 물순환의 정량적 해석방법

과 대책 등에 대하여 고찰하였다.

현재, 국내 물순환계 해석에서의 문제점은 일본의 그것과 별로 다르지 않을 것이다. 그러나, 일본과 가장 큰 차이점은 물순환계에 대한 관련연구가 매우 미흡하다는 점이며, 그 연구수행이 매우 시급한 실정이다. 이미 많은 부분이 붕괴되어 그 개선에 장기간이 소요될지도 모를 국내 물순환계를 더 이상 방치해서는 안된다고 생각하며 몇가지 제언하고자 한다.

○ 물순환 관련 조사항목의 표준화 및 정밀화 : 강수량, 유량, 수질, 지하수, 물의 이용과 공급, 하천, 하수도 등의 조사항목에 대하여 표준이 되는 기준과 방법, 그 정밀도의 향상에 대한 방안을 제시한다.

○ 물순환 해석을 위한 연계방안 마련 : 물순환은 지표수, 지하수, 인공계 순환으로 구성되어 있으므로 그 해석에는 각 분야별 연계가 필수이며, 연계방법을 도출하기 위해서는 각 분야 전문가의 정기적인 상호 정보교환 및 교류가 필요하다.

○ 물순환계 정량화 방법의 도출 : 국내에 적합한 물수지 계산법, 오염부하 계산법, 수질 추정법 등을 도출하여 범용적인 물순환 모형을 구축한다.

○ 물순환 개선을 위한 대책방안 제시 : 국내 실정에 적합한 물순환 개선대책의 마련이 시급하므로 이에 대한 연구가 동시에 이루어져야 한다.⁵⁾

◎ 참고문헌

- 1) 水資源工學 基礎土木工學シリーズ〈12〉, 赤井 浩一, 森北出版, 2001. 1.
- 2) 都市域における水循環系の定量化手法, ‘都市小流域における雨水浸透, 流出機構の定量的解明’ 研究會, 2000. 12.
- 3) 都市域の水循環改善への提言, ‘都市の水循環改善’ 研究會, 1995. 6.
- 4) 물 수지 분석방법의 평가, 김 남원, 물·현안 연구성과, 한국건설기술연구원, 2001. 10.
- 5) 물의 순환과 지속가능한 수자원 관리, 물순환 워크샵/토론회, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2002. 3.

※ 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호# 1-0-1)에 의해 수행되었습니다.