

비와호(琵琶湖)와 요도천(淀川)

이 상 진 (충남발전연구원 환경연구부장)



지난 9월 1일부터 9월 8일까지 「푸른충남21추진협의회」 주관으로 일본의 환경보전 및 개발실태를 직접보고 체험하고자 NGO단체와 공무원이 함께 하는 기행에 참여하였다. 필자를 포함한 일행이 견문한 주요지역 및 시설은 도야마현의 광역생활폐기물소각시설, 비와호, 돗토리현의 해안사구, 수은(Hg)중독으로 널리 알려진 미나미타병 발원지, 그리고 건설과정에서 중단위기에 직면해 있는 가와베담 추진현장 등이었다.



▲ 생활폐기물 소각시설



▲ 해안사구



▲ 미나미타병 발생지 해안매립전경



▲ 가와베 담 건설 예정지

이러한 일정 중에서 지면관계상 필자가 비교적 관심 있게 살펴본, 비와호(琵琶湖)와 비와호를 포함하고 있는 요도천(淀川) 수계의 수환경 관리현황에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

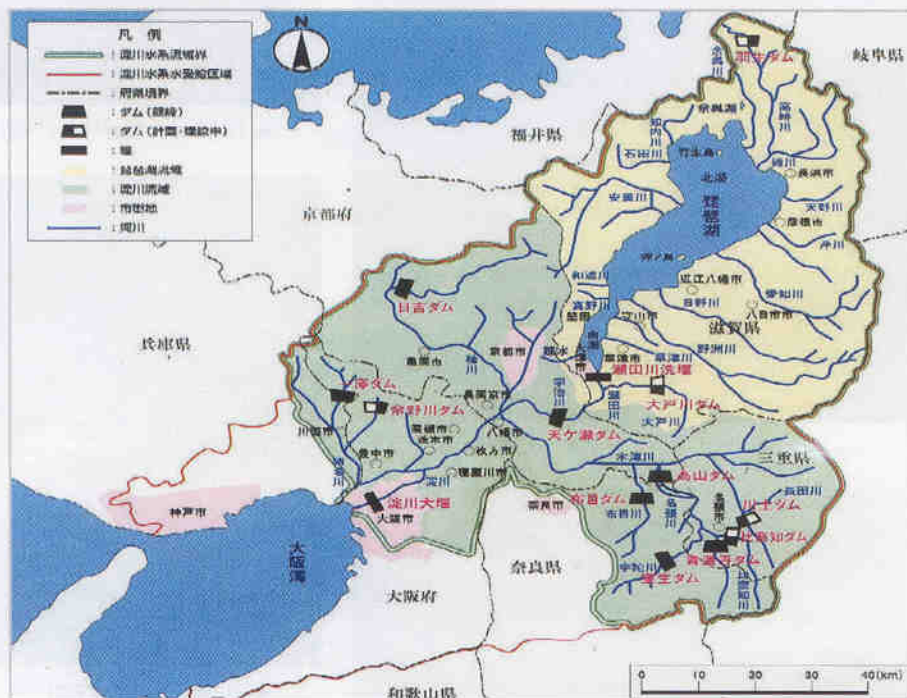


1. 수계의 개요

고대로부터 자연적으로 생성된 비와호(琵琶湖)와 오사카만(大阪灣)으로 이어지는 요도천(淀川) 수계는 수량이 풍부하고 안정된 수계의 여건으로 주변지역의 생활용수의 확보, 관개 또는 소형선박의 운송(舟運)발달을 가능케 하였다. 때로는 대홍수에 휘말리기도 하였으나, 일본의 사회·경제·문화의 중추지역 형성과 발달에 의한 근세 일본의 중심적 역할을 수행하여 왔다.

호소 주변에는 아름다운 자연경관과 사적·명승·문화재 등 관광자원이 풍부하여 예로부터 명승지로 알려져 왔고, 가장 먼저 국정공원으로 지정되었다. 오늘날에도 비와호의 호소수는 시가(滋賀)현¹⁾은 물론 하

류지역 1,400만명의 식수원이면서 농업용수, 공업용수 및 발전용수의 기능으로 여전히 중요한 위치를 차지하여 상류지역인 비와호 유역에서는 두드러진 경제발전과 함께 높은 토지이용을 도모해 가고 있다. 또한, 중류지역에서는 교토시(京都市)를 중심으로 도시기능의 높은 집적도를 이루어가고 있고, 하류지역에서는 오사카시(大阪市)를 중심으로 칸사이(關西)지방의 지역발전에 중추적 기능을 담당하고 있다.



[그림 1] 비와호 및 요도천 수계도

1) 일본 혼슈(本州) 중서부에 있는 내륙현으로 면적은 4,016.36㎢, 인구는 약 128만(1997)이다. 현청 소재지는 오쓰시(大津市)이며 7시(市) 42정(町) 1촌(村)으로 구성되었고, 현의 주위는 동부의 이부키산(伊吹山, 1,377m)이 최고봉이고, 이부키·스즈카 산지 사이에 예로부터 교통의 요충이 되어 온 세키가하라(關ヶ原)의 협애부(狹隘部)가 있다. 비와호의 동안(東岸)은 야스천(野洲川)·히노천(日野川)·에치천(愛知川)·아네천(姉川) 유역의 평야지대를 형성하고 서안(西岸)에는 아도천(安曇川) 유역 평야 외에는 산지가 호안(湖岸)에 인접하고 있다. 기후는 전반적으로 내륙성기후를 이루며 연평균 기온은 13.9℃이다. 강수량은 평균 1,696mm이나 겨울철 북부에 강설량이 많아 연평균 강수량 2,500mm이고 남부는 1,500mm로 남북의 차가 크다.

1) 비와호(琵琶湖)

비와호는 일본 혼슈(本州) 긴키(近畿)지방의 시가(滋賀)현 중앙부에 있는 호소로서 요도천(淀川) 수계의 상류 지역에 위치하며, 인공적인 호소가 아닌 자연적으로 생성된 단층함몰(斷層陷沒)호소로서 일본에서 가장 큰 내륙호소이다. 수면적은 시가현 면적(4,016.36km²)의 1/6에 이르는 670.33km²로서, 이는 천안시 면적(636.4km²)보다 큰 수면적이다. 수변의 길이는 63.5km이고 최대수심은 103.6m에 이르고 있으며 유역면적은 충청남도 면적(8,597.9km²)의 약 45%에 해당하는 3,848km²로서 거의 대부분 시가현이 차지하고 있다.

2) 요도천(淀川) 수계

요도천은 혼슈(本州)의 오사카(大阪)를 관류하는 강으로 유역면적은 8,240km², 길이가 75km에 이르며 비와호

(琵琶湖)에서 유출된 직후의 상류를 세타천(瀬田川), 중류를 우지천(宇治川)이라 한다. 그리고 교토부(京都府)지역에서 유입되는 카츠라천(桂川)과 미에(三重)현, 나라(奈良)현에서 유입되는 키츠천(木津川), 효고(兵庫)현에서 유입되는 이나천(猪名川)등과 합류하는 하류지역의 강을 요도천이라 하며, 요도천은 최종적으로 해역인 오사카만(大阪灣)으로 유출된다.

비와호를 포함하고 있는 요도천의 수계의 행정구역은 총 2부4현에 걸쳐있고, 요도천 수계의 전체유역면적은 충청남도 면적과 거의 비슷하다(약 96%). 요도천 수계의 각 유역점유율은 비와호가 가장 넓은 47%이며, 다음으로 키츠천(木津川)이 19%, 카츠라천(桂川)이 13%, 요도천 본류(淀川本流)가 10%, 우지천(宇治川)이 6%, 그리고 이나천(猪名川) 5% 순으로 구성되고 있다

〈표 1〉 일본의 주요호소 현황

호 소 명	수면적 (km ²)
비와호(Biwa Lake)	670
가수미가우라호(Kasumigaura Lake)	168
사로마호(Saroma Lake)	150
이나와시로호(Inawashiro Lake)	103
나카노우미(Nakanoumi)	87
쿠샤로호(Kussharo Lake)	79
신지호(Shinji Lake)	79
시코츠후호(Shikotsu Lake)	78
토야호(Toya Lake)	71
하마나호(Hamana Lake)	65

〈표 2〉 요도천 수계의 유역면적비

유역명	유역면적(km ²)	역면적비(%)
비와호(琵琶湖)	3,848	47
우지천(宇治川)	506	6
키즈천(木津川)	1,596	19
카츠라천(桂川)	1,100	13
요도천본류(淀川本流)	807	10
이나천(猪名川)	383	5
요도천(淀川)수계	8,240	100

2. 수질 현황

1) 비와호의 수질

비와호 유역의 수질오염부하량은 일일 COD_{Mn} 57.7ton, T-N 22.3 ton, T-P는 1.36ton 이다. COD_{Mn}의 경우 자연계가 약 39.2%로 가장 많고, 가정계 27.9%, 공업계 19.9%, 농업계가 약 13.0%를 차지하고 있으며, T-N의 경우 자연계가 43.6%로 가장 많고, 가정계 25.6%, 공업계 및 농업계가 각각 15.4%의 순이다. 그리고 T-P의 경우 가정계가 38.3%로 가장 많고, 공업계 27.2%, 자연계 21.6%, 농업계 12.9%의 순이다.

비와호는 수면적이 매우 넓어 호소의 북쪽부분을 북호(北湖)라 하고, 남쪽부분을 남호(南湖)라 구분하고 있다. 비와호는 남호지역을 중심으로 1955년대 후반부터 부영양화현상이 보이기 시작했으며, 1977년도에 담수적조가 처음으로 관측되었다. 이후, 특정 년도(1986, 1997, 1998) 등을 제외하고 담수적조현상은 해마다 발생하고 있는 실정이다. 수질관리목표로 화학적산소요구량(COD_{Mn})은 1mg/L이하, 총질소(T-N) 0.20mg/L이하, 총인(T-P)은 0.01mg/L이하로 설정하고 있다.



[그림 2] 비와호의 수질오염부하량 비율

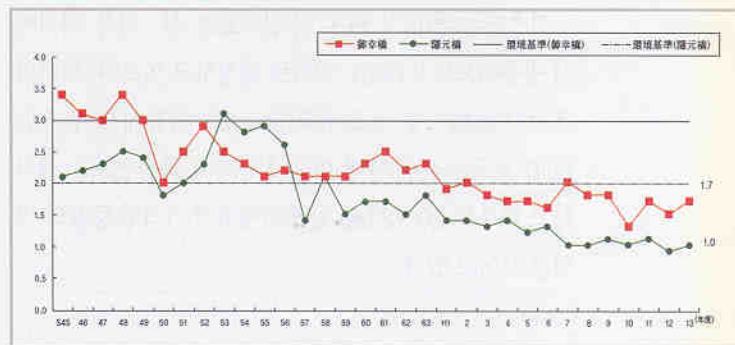
북호와 남호지역의 수질을 비교할 때, 상류수역인 북호에서 하류수역인 남호 지역 보다 수질상태가 비교적 양호하다. 북호의 수질은 투명도가 5m 전·후이며, BOD는 70년대 초부터 1.0mg/L를 지속적으로 유지하고 있는 반면, COD_{Mn}는

1978년~1980년도에는 2.4mg/L 정도였으나, 오염부하 삭감 대책을 실시했음에도 불구하고 지속적으로 증가하여 최근에는 2.7mg/L 수준으로 목표수질을 크게 상회하고 있는 것에 주목하고 있다. T-N의 경우에서도 마찬가지로 0.3mg/L 전후의 추이를 보이고 있어 목표수질을 크게 상회하고 있는 실정이다. 그러나 T-P는 0.01mg/L 범위로 목표수질에 근접한 상태를 유지하고 있다.

한편, 남호의 수질은 투명도가 2m 전·후이며, COD_{Mn}은 1984년도 이후 지속적으로 증가하는 경향으로 최근에는 3.2mg/L로 북호보다 높을 뿐만 아니라 목표수질을 크게 상회하는 실정이다. T-N의 경우에도 1975년도에 0.5mg/L 범위, 1988년도 이후는 0.4mg/L, 최근에는 0.32mg/L로 개선되었으나 여전히 목표수질을 초과하고 있다. 또한, T-P는 1986년도 이후에 0.020~0.025mg/L 수준이었고, 최근에는 0.019mg/L로 개선되는 경향을 보이고 있으나, 목표수질은 만족하지 못하고 있는 실정이다.

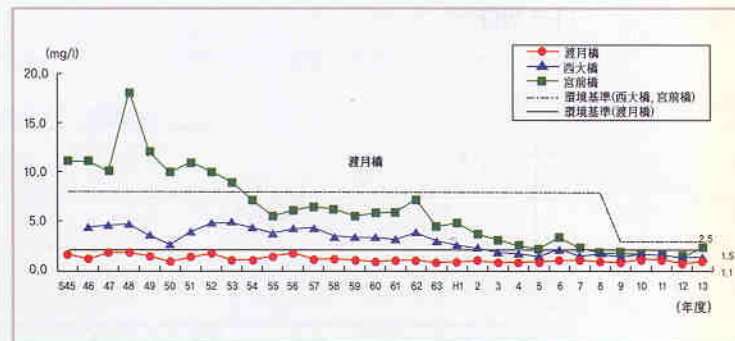
2) 요도천 수계의 수질

우지천(宇治川)의 상류부분인 인젠교(隱元橋) 지점에서 BOD는 수질목표는 2.0mg/L 이하, 하류부분인 고코우교(御幸橋) 지점의 수질목표는 3.0mg/L 이하로 설정하고 있다. 1985년 이전에 인젠교 지점에서 목표수질을 초과하였으나, 이후 하수도 정비사업 등을 실시하여 목표수질을 만족시키고 있다. 현재 인젠교와 고코우교 지점의 BOD는 각각 1.0mg/L 및 1.7mg/L의 수질을 유지하고 있는 상태이다.



[그림 3] 우지천의 연도별 BOD 변화

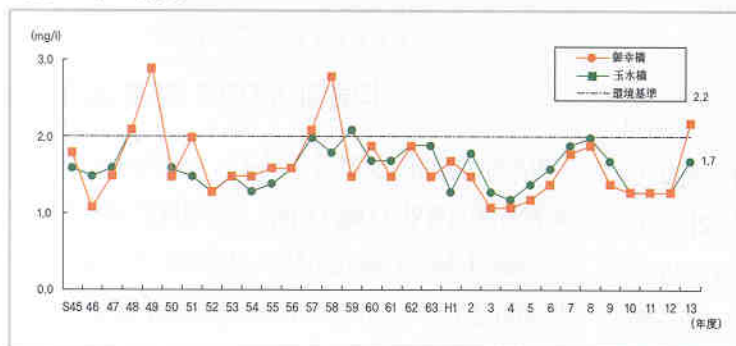
카츠라천(桂川) BOD 수질목표는 상류지역인 토게츠교(渡月橋)지점인 1.0mg/L 이하, 하류지역인 미야마에교(宮前橋)에서는 8.0mg/L 이하로 설정하여 관리하여오다가 1997년도부터 2.5mg/L 이하로 변경하여 설정하고 있다. 상류위치인 토게츠교 지점에서는 1.0mg/L 범위로 목표수질 범위를 유지하고 있으며, 미야마에교 지점에서는 1978년까지는 BOD가 10mg/L 이상을 상회하는 수질을 보였으나, 이후 점진적 수질상태가 개선되어 최근에는 새로이 설정된 수질목표에 근접하는 2.5mg/L 정도의 수준이다.



[그림 4] 카츠라천의 연도별 BOD 변화

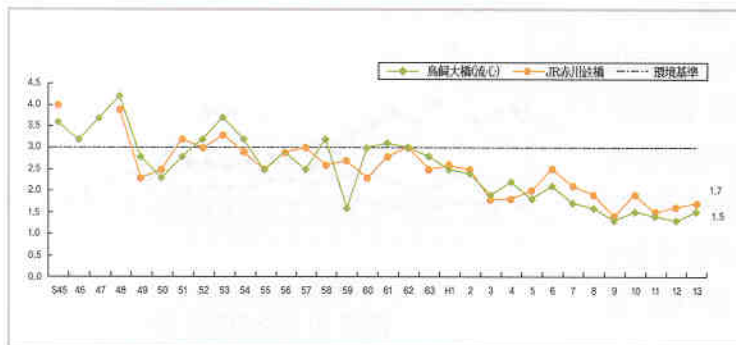


키츠천(木津川)의 BOD 수질목표는 상·하류 지역에서 공통적으로 2.0mg/L 이하로 설정하고 있으며, 타마미즈교(玉水橋) 및 고코우교(御幸橋) 지점에서 관측된 BOD 농도는 1970년대 이후 최근까지 특정연도를 제외하고 대부분 1.0~2.0mg/L 범위에서 주기적인 증감의 변화를 보이고 있다.



[그림 5] 키츠천의 연도별 BOD 변화

요도천(淀川)하류의 BOD 수질목표는 3.0mg/L 이하로 설정하고 있으며, 1980년대 중반 이전에는 3.0mg/L 범위정도였으나, 1980년대 후반으로 접어들면서 점차 개선되어 최근에는 1.5~2.0mg/L 정도로 유지하고 있으며, COD_{Mn}의 경우에는 3.0~6.0mg/L범위의 수준으로 나타나고 있다.



[그림 6] 요도천의 연도별 BOD 변화

3. 수질보전의 노력

비와호는 1962년 제초제인 펜타클로로페놀이 흘러들어 은어가 폐죽음을 당하기도 하였으나, 처음으로 오염 정보가 올린 것은 1977년 5일간 9개 수역에서 담수적조

가 발생하면서였다. 적조를 가져 온 부영양화가 주로 생활 하수에 포함된 인(P)에 의한 것으로 확인되면서 인이 포함된 합성세제를 사용하지 말자는 주민운동이 확산되었고, 1980년에는 합성세제의 판매와 매입, 사용을 금지한 부영양화 방지조례가 제정되었다. 1992년에는 탁월한 정화 기능이 확인된 갈대 군락을 보호하

기 위한 조례가 만들어졌다.

현재 비와호의 수질보전 대책으로 오염원에 따라 공업계, 생활계 그리고 농업계로 구분하여 각종 법률과 시책을 추진하고 있으며 분야별 주요 대책내용은 다음과 같다.

〈표 3〉 비와호 수질보전 대책의 주요내용

구 분	주 요 대 책
공 업 계	<p>(중앙정부)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수질오염방지법제정(1970년) <p>(현 정부)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 상위법에 의한 조례제정(1972년) : 법률보다 2~10배 엄격한 기준 • 부영양화방지조례(1979년) : 질소·인의 배수규제에 의해 공장으로부터의 오염부하를 대폭감소. • 수질오염방지법에 의한 조례제정(1972년) 및 개정(1996년) : 하루평균배수량 10m³ 이상의 사업장까지 배수기준을 적용하여 규제 강화
생 활 계	<p>(중앙정부)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 하수도정비는 기본계획 수립+수질오염방지법 개정(1990년) <p>(현 정부)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 부영양화방지조례(1979년) : 인을 포함한 가정용합성세제의 사용금지 등 여러 가지 가정배수대책의 전개 • 생활 오·폐수대책추진 요강제정(1990년) • 현지역내 전역을 생활배수대책중점지역으로 지정(1991년) • 각 시·정·초에서 생활배수대책추진계획을 책정 • 생활배수대책 추진에 관한 조례시행(1996년) : 합병처리정화조설치의 의무화
농 업 계	<p>(축산, 수산대책)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수탁법·현의 관련조례에 의해 배수규제 • 호소수질보전특별조치법에 기초한 축사, 수산양식시설의 구조및사용방법에 관한 기준 등 <p>(농업용지대책)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시비법의 적정화, 논 표면수 관리의 적정화가 이루어지도록 계발(啓發)활동 전개

한편, 비와호(琵琶湖)와 요도천(淀川)수계의 수질개선을 과학적으로 추진하기 위한 노력의 일환으로 국토건설성, 시가현, 수자원개발공사가 공동으로 설립하고 ‘(재)비와호·요도천수질보전기구’에서 운영하고 있는 실험센터가 있다. 이 실험센터는 비와호의 남호지역에 유입하는

대표적인 하천인 하야마천(葉山川)의 하구부 우측에 비와호를 매립하여 조성된 약 50,000m²중 1/2에 해당하는 면적(25,000m²)에 위치하고 있으며, 1997년에 조성이 완료되었다.



[그림 7] 비와호·요도천수질정화공동실험센터 평면도

센터의 주요기능은 수질정화기술의 연구, 수질정화를 위한 각종기관이나 각 분야 연구자의 연구활동의 장, 그리고 수질정화사업의 홍보 또는 환경학습의 장으로서의 역할을 담당하고 있다. 이러한 수질개선 연구사업을 위하여 센터 내에 계획되고 있는 시설은 수로형(水路型)정

화시험시설, 침지형(深池型)정화시험시설, 천지형(淺池型)정화시험시설, UF막여과시험시설, 토양정화시험시설, 자연순환방식정화시험시설, 비와호형시험지, 자연형수로시험시설 등이며, 대부분 설치가 완료되어 실험중에 있으나, 일부 실험시설은 공사중에 있다.



〈 실험센터 전경 〉



〈 호소수 유입수 〉



〈 수질정화식물 재배지 〉



〈 정화 후 유출수 〉



〈 토양정화시설 시공 〉



〈 토양정화시설 완공 〉

[그림 8] 수질정화 실험시설

또한, 비와호는 1993년에 일본의 쿠시로에서 열린 람사협약²⁾ 5차 당사국 회의에서 람사지구로 지정되었으며, 일본내 람사협약에 의한 지정된 총 10개 람사지구의 한 곳이기도 하다.

일본의 최대 호수인 비와호(琵琶湖)를 공업화 이전의 수질로 되돌리려는 거대한 환경 실험이 세계의 주목

을 받고 있다. 2000년 3월에 수립된 '마더 레이크(Mother Lake) 21 계획'은 2020년까지 비와호의 수질을 1970년 수준으로 되돌리고 2050년에는 공업화 이전의 수질을 회복하겠다는 야심찬 내용을 담고 있으며, 주변의 삼림 보호와 하천 정화, 생활 양식의 변화 등 복합 과제를 설정, '지속가능한 개발'을 보장하는 인간과 자연의 공생을 모색하고 있다.

2) 람사협약은 자연자원과 서식지의 보전 및 현명한 이용에 관한 최초의 국제협약으로서 습지 자원의 보전 및 현명한 이용을 위한 기본방향을 제시한다. 이 협약의 정식명칭은 “물새 서식지로서 국제적으로 중요한 습지에 관한 협약(the convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat)”으로 1971년 2월 2일 이란의 람사(Ramsar)에서 채택되었고, 물새 서식 습지대를 국제적으로 보호하기 위한 것으로 1975년 12월에 발효되었다. 1997년 7월 28일 우리나라는 101번째로 협약에 가입을 했고, 2000년 1월 기준으로 117개국, 1,011개소, 전체면적 약 71,800,000 ha의 습지가 리스트에 올라 있다. 협약 가입시 1곳 이상의 습지를 람사습지 목록에 등재하도록 하고 있는데 우리나라는 강원도 인제군 대암산 용늪이 첫 번째로 등록되었고, 두 번째 등록 습지로 경남 창원군 우포늪이 등재되어있다.