
K-water 수행사업 참고자료 (2권)



1. 수문조사



1 수문조사 개요

수자원이란 인간의 생활이나 경제활동 및 자연환경 유지 등을 하는데 이용할 수 있는 자원으로서의 물을 말하며 수자원 조사는 하천 및 하천유역의 기본현황 등 수자원에 관한 정보를 수집하여 분석하는 것을 말하는 것으로 수문조사, 유역조사 등으로 구분할 수 있다. 이러한 수자원 조사를 바탕으로 물관리의 기본이 되는 각종 계획을 수립하게 되므로, 물관리체계에서 가장 기본이며 중요한 업무라고 할 수 있다.

수문조사(水文調査)는 물의 순환과정을 관측하고, 규명하는 것을 말한다.¹⁾ 하천유역의 물 순환구조를 파악하고, 하천시설 설치 및 각종 구조물을 설계하기 위하여 하천·호수·늪의 수위, 유량, 유사량 및 하천유역의 강수량, 증발산량, 토양수분 함유량에 관하여 과학적인 방법으로 관찰·측정·조사·분석하는 것이라고 할 수 있다.

수문조사는 「수자원법」 등²⁾을 근거로 수행하고 있으며 수문조사 결과는 홍수·가뭄 예경보 및 대책 수립, 수자원 관련 계획 수립, 수자원시설물의 효율적인 운영 등에 필수적인 기초자료로 활용되고 있다. 따라서, 부정확한 수문자료가 생성되면 국가적인 예산 낭비와 홍수예측 오차 등의 문제가 발생할 수 있으므로 관측과 더불어 품질 관리를 통해 신뢰도 높은 자료를 생산하여야 한다.

2 수문조사 항목

수문조사는 강수량, 수위, 유량, 유사량, 증발산량, 토양수분량 총 6개 항목으로 구성되어 있다. 이 중 강수량과 수위, 증발산량, 토양수분량은 계측센서를 활용하여 실시간으로 관측하고 있으며, 유량, 유사량은 조사기준에 따라 현장조사 및 분석을 시행하고 있다.

1) 여기서 '수문(水文)'이란 물이 순환하는 일련의 과정을 말한다.

2) 수자원법 제10조(하천시설에서의 수문조사), 댐관리규정 제44조(수문자료의 관측·관리), 보 관리규정 제12조(수문현황 등 관측·보존)

1. 강수량조사

강수량이란 일정한 시간 동안에 내린 비, 이슬비, 우박, 서리, 눈, 싸락눈 등의 수량을 단위면적당 깊이로 표시한 것을 말하며 수평한 지표면에 내린 물의 깊이로 관측한다. 강설³⁾, 서리, 우박 등 고체형태로 내린 양은 액체형태의 물의 양으로 환산하여 관측하며 적설⁴⁾은 일정한 시간 동안에 내린 눈, 싸락눈 등이 지면에 내려 쌓여있는 수직 깊이를 관측한다.

2. 수위 조사

수위란 일정한 기준면으로부터 수면까지의 높이를 말하며 강, 바다, 호수 등 물의 높이로 홍수위험지역을 판단하거나 유량 및 저수량과 같은 수문량의 계산 시 기본이 되는 지표이다. 수위관측의 방법에는 수면의 높이를 사람이 직접 목측(目測)할 수 있는 표척인 기준수위표를 이용하여 직접 읽는 보통 관측과 기록장비가 설치되어 있는 자기수위계에 의해 측정하는 자기관측이 있다. 일반적으로 수위관측소에서는 자기수위계와 함께 기준수위표를 설치하여야 하며 자기수위계는 접촉식 수위계와 비접촉식 수위계로 구분한다.

3. 유량조사

유량이란 단위시간 동안 어느 횡단면을 통과하는 물의 양을 말하며 하천의 횡단면적과 이를 통과하는 물의 속도로부터 구할 수 있다. 유량은 개발된 수위-유량관계곡선식을 통해 연속유량으로 환산하여 산정할 수 있으며 물의 속도를 측정하기 위한 유속계 종류에는 크게 회전식 유속계, 전자파 표면유속계, ADCP⁵⁾ 등이 있다.

유속을 측정하는 방법으로는 도섭법, 교량법, 보트법으로 구분할 수 있다. 일반적으로 직접 하천에 들어가 유속을 측정하는 도섭법으로 유량을 측정하는데, 도섭법으로 유량 측정이 곤란한 경우에는 교량법과 보트법으로 유량을 측정한다.

3) '강설'이란 강수 현상의 한 종류로, 주로 얼음의 결정 또는 얼음 알갱이가 무거워져서 구름으로부터 지표면에 낙하하는 현상을 말한다.

4) '적설'이란 지면에 쌓인 눈을 말하며 기상관측을 할 때 관측소 주위 지면의 반 이상이 눈으로 덮여 있어야 적설이 있다고 한다.

5) ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) : 음향도플러유속계

[도표] 유속 측정방법

측 정 방 법		내 용
도섭법		• 하천에 직접 들어가서 유속 측정 • 적은 인원으로 정확한 유량측정 가능 • 유속의 흐름을 육안으로 확인
교량법		• 교량 위에서 하천 유속 측정 • 큰 하천에서 자주 이용하며 유속이 빠르거나 수심이 깊을 경우 측정
보트법		• 선박을 이용하여 하천 유속 측정 • 흐름이 안정된 곳을 수심에 상관없이 측정 가능

4. 유사량조사

유사량이란 하천의 흐름에 따라 이송되는 단위시간당 토사의 양을 말하며 토사의 입도분포⁶⁾와 이동특성을 분석하여 개발된 유량-유사량관계곡선식을 통해 산정한다.

하천의 유사량은 부유사, 소류사, 하상토로 구분할 수 있다. 부유사란 하천 또는 해안에서 물의 흐름 등에 따라 바닥에서 부상하여 수중에서 이동되는 토사이며, 소류사는 흐르는 물에 의해 하천의 바닥 부근에서 이동하는 토사이다. 그리고 하상토는 하천의 바닥을 구성하고 있는 토사를 말한다.

총 유사량은 부유사와 소류사를 합산한 값으로 정의할 수 있다. 그러나 소류사를 측정하는 것은 어려우므로, 부유사와 하상토를 측정하여 별도의 식을 이용해서 소류사의 양을 추정하고 총 유사량을 산정한다. 부유사는 부유사 채취기를 활용하여 측정하며 일반적으로 가벼운 채취기를 활용하여 직접 하천에 들어가 도섭법으로 측정하는데 도섭법으로 부유사 채취가 곤란한 경우에는 교량법으로 측정한다.

6) '입도분포'란 흙 안에 크고 작은 입자가 섞여 있는 정도를 말한다.

5. 증발산량 조사

증발산량이란 일정 시간 동안에 지면 또는 수면에서 대기로 증발되는 수증기의 양을 말하며 증발량과 증산량을 합한 양이다. 증발량은 지표, 해수면 등에 있는 액체상태의 물이 기체상태로 방출되는 것을 말하여 증산량은 식물의 뿌리로부터 흡수된 액체상태의 물이 잎의 기공을 통해 기체상태로 대기 중으로 방출되는 것을 말한다.

증발산량은 강우-유출모형의 검증, 수자원 계획 및 개발, 수자원의 손실량 산정 등에 활용한다.

증발산량은 공기역학적 방법 등을 통해서 직접 측정하는 방법과 에너지수지 방정식이나 물수지 방정식 등을 활용해서 간접 측정하는 방법이 있다.

6. 토양수분량 조사

토양수분량이란 토양에 함유된 수분의 양으로서 토양표본에 포함된 건조된 토양의 질량에 대한 수분의 질량비나 부피에 대한 수분의 질량비를 말하며 토양의 지질학 조건, 수문학 조건, 식생분포 등에 종합적으로 영향을 받는다. 따라서 생태수문학의 가장 중요한 부문 중 하나로 물 순환과정을 이해하기 위한 중요한 요소일 뿐만 아니라 생태계 연구 및 수문 및 침식 모형 산정에도 중요한 근거를 제공한다.

2. 유역조사



1

유역조사 일반

유역이란 지표에 내린 강수가 특정 하천으로 흘러드는 범위, 즉 집수구역을 말한다. 우리나라의 유역은 크게 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역으로 나눌 수 있다. 참고로 국가행정계획은 행정구역 단위로 이루어지지만, 수자원계획은 유역 단위로 이루어진다.

유역조사란 하천의 관리 및 국가개발계획의 수립 등에 필요한 하천유역의 기본현황과 이수(利水)·치수(治水)·하천환경 등 수자원의 이용·관리에 대하여 조사하는 것을 말한다. K-water는 「수자원법」에 따라 기후에너지환경부로부터 유역조사업무를 위탁받아 수행하고 있다.

유역조사는 1960년대 중반 경제개발계획의 일환으로 시작되었고, 1966년 한강유역 조사 사업을 필두로 4대강 유역에 대하여 광범위하게 시행되었다. 이후 「하천법」을 근거로 하여 2000년부터 2006년까지 한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강에 대한 대대적인 전국유역조사 사업이 실시되었고, 유역조사업무의 정례화 및 표준화를 위해 2006년에 건설교통부(現 국토교통부) 훈령으로 「유역조사 지침」이 제정되었다. 이후 하천관리와 수자원장기종합계획 등 각종 수자원 관련 계획수립에 필요한 유역 특성, 이수, 치수, 환경생태 등에 관련된 기초 자료를 매년 조사하고 있으며, 이러한 조사결과는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, Water Management Information System)을 통해 지속적으로 일반국민들에게 제공되고 있다. 과거 유역 조사가 댐건설과 같이 수자원 개발을 위한 사전조사 목적으로 시행되었다면 최근에는 수자원정보에 대한 수요가 증대되면서 정보화시대에 걸맞는 최신기법을 도입한 유역 조사사업의 필요성이 대두되고 있다.

「유역조사 지침」에 따른 유역조사의 항목은 기본현황, 이수, 치수, 환경·생태가 있다. 조사 항목별 주요내용은 다음과 같다.

[도표] 유역조사 지침에 따른 유역조사 주요내용

구 분	주 요 내 용
조사항목	기본현황, 이수, 치수, 환경생태
조사주기	1년, 5년, 10년, 수시, 특별조사(활용빈도 고려)
조사방법	문헌, 현장, GIS, RS(Remote Sensing, 원격조사) * 조사항목별 표준조사방법 선정
성과검증	성과검증위원회의 검토·승인

1. 기본현황 조사

기본현황조사는 유역의 지형·토양 등 기본적인 현황을 조사하는 것을 말한다. 구체적인 조사항목 및 세부항목은 아래와 같다.

[도표] 기본현황 조사항목 및 세부내용

항 목	세 부 내 용
유역특성	유역구분, 유역특성인자, 수치지표, 지형특성, 하천특성, 토양도, 토양특성, 지질도, 지질특성 등
인문·산업·경제조사	행정구역, 인구, 역사문화, 경제, 산업, 시설물, 관련계획
자원조사	토지, 산림, 광물, 하천골재, 담수어
기후·기상	기상관측소 제원(이력 포함), 기상요소
수문특성	기존 유출성과(홍수 등), 일 유출(실측유량, 수위-유량식, 자연유량, 유출모형), 유형, 홍수유출특성, 유역 면적 평균 강우, 유사량특성, 증발산량특성
지하수특성	지하수 이용량, 총적·암반 수리특성, 지하수 수질특성, 지하수 개발가능량
수면증발	수면증발량

자료 : 유역조사 지침요약(환경부), 2018

유역특성조사에서는 국립지리원 발간 수치지형도, 국립농업과학원의 토양도, 한국 지질자원연구원의 지질도, 기후에너지환경부 토지피복도, 산림청 임상도 등을 수집하여, 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 통해 유역별 특성인자를 추출한다.

인문·산업·경제조사에서는 유역 전반에 걸쳐 수자원 계획에 있어 기본이 되는 행정 구역, 인구, 역사, 문화, 경제, 산업, 건물 및 도로 등의 자료를 조사한다. 이를 통하여 지역 개발의 방향 설정과 대책 그리고 사회환경에 어떠한 영향을 미치는지를 판단하는 기본자료로 활용한다.

자원조사는 자연자원 및 인공자원을 총괄하여 조사한다. 유역 내 산재한 토지, 산림 등에 대한 정보를 수집·정리하여 과거부터 현재까지 시간적 변화 등을 분석하고, 유역 전반에 분포 하고 있는 광물, 골재자원 등을 조사하여 잠재되어 있는 유용 가능한 자원현황을 제시한다.

기후기상조사는 기상관측소의 기후 및 기상자료에 대한 관측기록을 수집·검토한다. 각 기후인자별로 시·공간적 변화특성을 파악하여 기후변화 경향을 분석한다. 분석 대상 기상요소는 평균기온 등 15개 항목⁷⁾이다.

유출분석은 지표를 흐르는 물을 양적으로 해석하는 것이며, 크게 장기유출과 단기유출로 구분된다. 장기유출은 특정 홍수 상황이 아닌 장기간의 수문년을 모의대상으로 하고, 유출총량·유출률·유황분석⁸⁾ 등 이수계획에 필요한 유출량을 재현하는 것을 목적으로 한다. 단기유출은 과거 또는 가상의 홍수사상을 모의대상으로 하고, 모의기간은 몇 시간 또는 며칠정도로 한다. 첨두홍수량⁹⁾·총홍수량·임계 지속시간¹⁰⁾ 등 치수계획에 필요한 유출량 재현을 목적으로 한다. 유역특성조사의 성과를 기본 자료로 하여 수위-유량곡선식이나 장·단기유출모형을 이용한 유출분석으로 유역의 지형학적 특성 등을 반영한 유출량을 산정한다.

지하수는 지표수와 마찬가지로 강우로부터 비롯되는 물 순환계통의 일부분으로 지표수 개발의 한계를 현실적으로 극복할 수 있는 중요한 수자원이다. 다만, 지하수는 지표수와 달리 일단 오염되거나 고갈되면 원상복구가 불가능하거나 회복에 상당한 시일과

7) 기후기상조사 15개 조사항목 : 평균기온, 최고기온, 최저기온, 최심적설량, 소형증발량, 평균풍속, 최대풍속, 평균습도, 최소습도, 평균이슬점온도, 평균운량, 평균해면기압, 수평면일사량, 일조시간, 강수량

8) ‘유황분석’이란 하천유량의 연간 변동 상황을 분석하는 것이다. 과거 몇 년의 연도별 평수량, 저수량 등을 평균하여 산정한다.

9) ‘첨두홍수량’이란 수문곡선상에서 첨두부의 유량, 피크유량을 말한다.

10) ‘임계 지속시간’이란 어떤 물질 또는 현상의 성질이 변화가 생기거나 그 성질을 지속시킬 수 있는 경계가 되는 상태를 지속시킬 수 있는 시간을 말한다.

비용이 소요되므로 지하수자원의 합리적인 이용을 위해서 체계적인 조사와 보전관리가 필요하다. 유역조사에서는 유역단위의 지하수 이용시설 수와 이용량을 분석하고, 수리·수질특성 및 개발가능량을 조사한다.

저수지에서의 수면증발량은 물 순환 해석에 중요한 기초자료이며, 댐 유입량, 방류량 결정 등 댐건설 및 운영을 위한 가장 기본적인 수문인자 중 하나이다. 유역조사에서는 수면증발량계를 통해 자유수면에서의 증발량을 조사하여 댐 저수지 내에서의 물 순환을 확인할 수 있는 기초정보를 제공한다.

2. 이수조사

이수(利水)란 물을 이용하는 것을 말하며, 이수조사 시에는 용수이용 현황, 이수시설 현황 및 수리권 등을 조사하여야 한다. 구체적인 조사항목 및 세부내용은 다음과 같다.

[도표] 이수분야 조사항목 및 세부내용

항 목	세 부 내 용
용수이용 현황	생활용수(상수도, 미급수, 기타이용량)·공업용수(계획입지, 자유입지업체 이용량)·농업용수 (논용수, 밭용수, 축산용수) 이용량
이수시설 현황조사	다목적댐, 발전용댐, 생공용수전용댐, 광역 및 공업용수도, 지방상수도, 전용상수도, 마을 및 소규모급수시설, 저수지, 양수장, 양배수장, 보, 집수암거, 관정, 지하댐
수리권조사	허가수리권, 관행수리권, 수리권 이용실태
가뭄	가뭄현황, 피해실적, 제한급수지역 인구, 농작물피해 등
물이동특성	광역/공업용수도, 지방상수도, 농업용 수리시설, 하수처리장에 의한 이동
하천유지유량	하천유지유량 고시현황
수력현황	전력수요 및 공급, 수력발전현황
회귀수량 표본조사	생활용수(미시적, 거시적), 공업용수(미시적, 거시적), 농업용수(신속, 지연)

자료 : 유역조사 지침요약(환경부), 2018

용수이용 현황 중 생활용수 이용량은 상수도 이용량, 미급수지역 이용량 등으로 구분하여 조사한다. 상수도 이용량은 일정규모 이상의 인구가 거주하는 지역을 대상으로 상수도시설에 의해 공급되어 이용되는 양을 말한다. 미급수 지역 이용량은 산간지역 및 농어촌의 촌락 지역 등 상수도 미급수 지역에서 지하수, 우물, 계곡표류수 등을 수원으로 한 마을 및 전용상수도, 소규모 급수시설에 의해 공급된 이용량을 말한다.

공업용수 이용량은 계획입지공단 이용량과 자유입지업체 이용량을 구분하여 산정한다. 계획 입지공단 이용량은 특정지역에 계획되어 다수의 공장들이 집단으로 입주되어 있는 산업단지와 농공단지에서 이용되는 용수량이다. 자유입지업체 이용량은 도시지역에 산재 분포된 개별 공장에서 이용되는 양이다. 농업용수 조사는 농경지 면적을 기준으로 유역별로 산정한다.

이수시설 현황조사는 이수 목적의 댐, 상수도시설물, 농업용 수리시설에 대한 제원 정보와 위치정보 등의 기초자료를 조사하는 것을 말한다. 여러 관리기관별로 산재되어 있는 시설물 정보를 종합하여 수자원계획과 관련된 사업 및 연구를 위한 시설물에 관한 정보를 제공한다. 또한 용수수요 추정, 장래 용수수급 계획 및 수자원 배분 계획수립을 위한 기초자료로도 활용한다.

수리권은 물을 이용하는 권리를 말한다. 현재 수리권에 관한 제도가 체계적으로 법제화되어 있지 않는 등의 사정으로 합리적인 물배분이 이루어지지 못하고 있다. 수리권 조사 시에는 우리나라의 수리권제도와 외국의 수리권제도를 함께 조사한다.

가뭄조사 시에는 가뭄피해 이력 및 발생현황, 피해실적, 제한급수현황, 농작물 피해 면적 등을 조사한다. 이러한 가뭄조사 결과는 유역의 갈수관리계획 수립을 위한 의사결정과 각종 이수시설계획 수립방안 검토를 위한 기초자료로 활용한다.

수자원은 지역성이 강하므로, 해당 지역의 용수 필요량에 비해 보유 용수량이 부족한 경우에는 인접지역으로부터 공급받을 수밖에 없다. 이때 수자원개발비용이 과다한 경우에는 개발에 소요되는 비용이 비교적 낮은 다른 유역으로부터 용수공급시설을 건설하여 도수(導水)하는 경우도 있다. 물이동특성조사는 이러한 유역 간 물이동현황의 특성을 반영하여 광역·지방상수도, 공업용수도, 농업용 수리시설, 하수처리장에 의한 물 이동으로 구분하여 조사하여 국내 유역 간 물이동에 대한 흐름을 파악할 수 있도록 하는 것이다.

「하천법」에 따라 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량을 **하천유지유량**이라고 하는데, 유역조사 시 이를 산정한다. 유역조사 시 측정된 하천유지유량의 현황, 외국의 산정방법 등을 조사하고 검토하여 개선방향을 제시한다.

수력현황조사 시에는 전력수요현황과 전망, 전력산업구조(발전설비·발전량), 유역 내 수력현황(설비용량·수력발전 실적분석·전력공급 실적·운전실적)을 조사한다.

회귀수량은 물이 이용되고 다시 하천으로 회귀되어 다시 이용될 가능성이 있는 수량을 말하며, 최근 대두되고 있는 물 수요 관리측면에서 중요한 자료이다. 기존의 회귀율은 과거 수치를 관행적으로 이용하고 있으므로, 유역조사 시 현장조사를 통하여 용수 목적별 회귀율을 산정한다.

3. 치수조사

치수(治水)란 수리시설을 통하여 하천이나 호수 등의 범람이나 가뭄의 피해를 막는 것을 말한다. 치수조사 시에는 치수사업 현황, 치수시설 현황, 홍수피해 및 위험지역 등을 조사해야 하며, 구체적인 조사항목 및 세부내용은 다음과 같다.

[도표] 치수분야 조사항목 및 세부내용

항 목	세 부 내 용
치수사업 현황	연혁, 법령, 계획, 실적, 하천개수율, 고시홍수량, 하천구역, 치수사업투자비, 피해복구비
치수시설 현황	제방, 내수배제시설, 수문·통관·통문 현황, 사방댐, 홍수방어시설, 중계펌프장
홍수피해 및 위험지역조사	홍수피해현황, 피해지역, 주요 홍수사상(事象), 우심피해 횡수, 수해 상습지, 홍수관리 구역, 재해위험지역

자료 : 유역조사 지침요약(환경부), 2018

치수사업 현황조사 시에는 국토교통부, 지자체 등 치수관련 기관에서 보유하고 있는 자료를 체계적으로 수집·정리하여 사업별 시행실적과 사업시행효과 등을 제시한다. 또한, 각 하천별·유역별 하천개수율¹¹⁾ 및 고시홍수량을 제시함으로써 향후 치수관련 예산 수립 및 유역 단위의 종합적인 치수계획 수립 시 활용한다.

치수시설 현황조사 시에는 산재되어 있는 치수시설 자료를 수집하여 체계적으로 정리하고, 신뢰성이 확보될 수 있도록 검토하여 행정구역별 및 유역별로 구분한다. 이는 치수시설물의 체계적인 관리, 보전 뿐만 아니라 향후 유역단위의 종합적인 치수 계획수립 시에도 활용한다.

11) 하천개수(改修)율은 하천 정비가 필요한 구간 대비 실제 정비한 구간의 비율로 하천정비 상황을 측정하기 위한 지표이다.

홍수피해 및 위험지역 조사 시에는 과거 홍수로 인한 피해현황 및 피해원인을 조사하고 분석 하여 행정구역별, 유역별로 정리한다. 향후 수자원장기종합계획, 방재계획, 유역종합치수계획, 하천정비기본계획 등 관련계획 수립 시 기초자료를 제공하기 위한 목적으로 시행한다.

4. 환경생태

환경생태조사 시에는 하수처리시설 등 기초시설 현황 및 생태환경 등을 조사한다. 다음은 세부 조사항목이다.

[도표] 환경생태분야 조사항목 및 세부내용

항 목	세 부 내 용
환경기초시설 현황	하수처리시설, 분뇨처리시설, 축산폐수처리시설, 산업폐수처리시설, 마을하수도, 매립장
수질조사	수질측정망(하천수, 호소수, 농업용수, 공단배수, 도시관류, 지하수), 오염부하량(오염원단위, 인구·축산·산업·토지·양식장 오염 부하량)
생태환경	어류, 조류, 포유류, 양서류, 파충류, 식생, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤, 저서성 무척추 동물, 생물의 멸종
토양오염	토양측정망 제원, 오염현황
어도	어도 제원
하천공간조사	하천공간활용 조사

자료 : 유역조사 지침요약(환경부), 2018

환경기초시설 현황은 공공하수종말처리장, 분뇨(위생)처리장, 축산(간이)폐수처리장, 산업폐수처리장(산단, 농공), 마을하수도, 매립장 등의 운영현황, 시설제원 등 현황자료와 처리용량, 유입수질, 방류수질, 제거율, 슬러지 처분량, 슬러지 처분방식, 고도처리계획 등을 조사한다.

수질조사는 수질측정망조사와 오염부하량조사로 이루어져 있다. 각 유역 내 오염원과 수질 관리계획을 위한 기초자료에 대하여 조사와 분석을 수행한다. 이를 통하여 하천수질모형과 유역 비점오염원 수질모형의 보정 및 검증을 하고 하천 및 저수지의 적정관리를 위한 기본자료로 활용하는 데 그 목적이 있다.

생태환경조사는 기후에너지환경부 전국자연환경조사 자료 등의 조사보고서, 학술전문지 등을 바탕으로 생물상 조서작성 및 데이터베이스를 정리한다.

토양오염 조사는 측정망별 운영현황 및 토양오염도 분석, 국외 토양오염 관리현황을 파악한다. 측정망 수집자료는 오염원별, 토지용도별로 구분하여 정리한다.

어도조사는 어류의 이동통로를 인위적으로 개설한 어도시설물에 대한 조사를 말한다. 어도 시설물은 하천의 개발에 따른 하천 생태계 교란과 파괴를 최소화하고, 폭포나 급류와 같이 어류의 이동에 대한 장애물을 극복하게 하여 하천에서 어종의 보존이나 어류분포를 확산하기 위한 시설물을 말한다.

하천공간 조사는 수역권(식생, 수질상태, 흐름형태, 하상변화형태, 하도특성 등), 수제권(식생상태, 하천공간, 토지이용, 접근성 등), 제방권(식생상태, 호안상태, 제방유무 등)의 세 가지로 나누어 조사하고, 하천공간 활용현황, 하천특성 및 하천공간 특성인자를 조사한다.

3. 물 관련 계획



1 개요

물관련 법정계획은 총 7개 정부 부처에서 약 97개 종류¹²⁾ 관련 계획을 수립 중에 있으며 이중 기후에너지환경부 소관 물관련 계획이 17개 법률에 약 57개 종류로 가장 많이 차지하고 있다. 계획수립 주기는 대부분이 10년단위 주기이며, 수립기간은 평균 2~3년 내외가 소요되고 있다.

수립절차는 분야별로 심의절차가 다소 상이해서 수자원분야는 국가수자원관리위원회, 지역수자원관리위원회 등을 통해 수자원 관련계획 심의를 진행하고 있으며, 물환경 분야의 경우 물환경관리기본계획은 중앙환경정책위원회 심의, 수변구역관리기본계획은 수계위 심의, 나머지는 대부분 관계기관 협의 후 기후에너지환경부 장관 승인 등의 체계로 수립되고 있다. 하지만 물관리기본법이 제정·시행('19.6월)되면서 대부분의 주요 법정계획들은 기존 체계와는 별도로 국가위·유역위 심의를 거쳐야 한다.

현재 법정계획은 과도하게 분절되어 있어 계획간의 유사중복, 연계성 부족, 세부실행계획을 수립하는 자치단계의 부담으로 작용하는 경우가 많아 기후에너지환경부에서는 국가물관리 기본계획 및 유역물관리종합계획을 중심으로 법정계획 정비하는 방안을 검토중에 있다.

[도표] 주요 물관련 법정계획 체계



12) 국토종합계획, 국가환경종합계획 등 물관리와 연관된 계획은 모두 포함한 수치

1.1 국가물관리기본계획

「물관리기본법」 제27조에 의거 물 관련 법정계획들의 기준이 되는 국가 최상위 법정 계획으로 10년 단위로 수립하고 5년마다 타당성 여부를 검토하여 보완하게 되며, 국가 물관리 정책의 기본목표 및 추진방향, 물의 공급·이용·배분, 물환경 보전·관리·복원과 수자원의 개발·보전, 홍수·가뭄 재해방지 등을 포함한 통합적 추진 전략을 제시하는 물관리 분야의 국가 전략계획이다. 국가물관리기본계획은 대국민 온라인소통포럼의 국민 의견수렴 과정과 국가물관리위원회 심의·의결을 거쳐 '21년 6월 최초로 수립되었다.

- 국가 물관리 정책의 기본목표 및 추진방향
- 국가 물관리 정책의 성과평가 및 물관리 여건의 변화 및 전망
- 물환경 보전 및 관리, 복원에 관한 사항
- 물의 공급·이용·배분과 수자원의 개발·보전 및 중장기 수급 전망
- 가뭄·홍수 등으로 인하여 발생하는 재해의 경감 및 예방에 관한 사항
- 기후변화에 따른 물관리 취약성 대응 방안
- 물분쟁 조정 및 수자원 사용의 합리적 비용 분담 원칙·기준
- 물관리 예산의 중·장기 투자 방향에 관한 사항
- 물산업의 육성과 경쟁력 강화
- 유역물관리종합계획의 기본 방침 등

[그림] 국가물관리 기본계획의 비전 체계도



1.2 유역물관리종합계획

「물관리기본법」 제28조에 따라 수립되는 물 관련 유역단위 최상위 법정계획으로 10년 단위로 수립하고 5년마다 타당성 여부를 검토하여 보완하게 되어있으며, 국가 물관리기본계획의 정책 가이드라인에 따라 유역특성 분석 및 현안 진단을 통해 관리 목표를 수립하고 정책방향을 제시하는 유역 계획이다. 유역물관리위원장이 계획 수립(안)을 마련하면 중앙행정기관·지자체장 협의 및 국가·유역물관리위원회 최종 심의·의결을 거쳐 최종 확정되며 현재 한강, 낙동강, 금강, 영섬·제주 4개 유역으로 나누어 수립 중에 있다.

- 유역의 물관련 여건의 변화 및 전망
- 유역 수자원의 개발·보전·다변화와 물의 공급·이용·배분
- 유역의 가뭄·홍수 등으로 인하여 발생하는 재해의 경감 및 예방에 관한 사항
- 유역의 물환경 보전 및 관리, 복원에 관한 사항
- 기후변화에 따른 유역 물관리 취약성 대응 방안
- 유역 물관리 비용의 추계와 재원조달 방안
- 지역주민을 포함한 이해당사자의 참여 및 물문화 창달 등

1.3 수자원장기종합계획

「수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률」(약칭 수자원법) 제17조 및 동법 시행령 제15조에 따라 수립되는 수자원 관련 국가 계획으로 수자원의 안정적인 확보와 하천의 효율적인 이용·개발 및 보전을 위해 20년 단위로 계획을 수립하고 5년마다 타당성 여부를 검토하여 보완하게 되어있다. 1965년 수자원종합개발계획 수립을 시작으로 지난 50여 년간 미래 수자원 발전방향을 제시해오며 국가 경제발전과 국민복지 향상에 기여하고 있다.

- 수자원 정책의 기본목표 및 추진방향
- 수자원의 현황, 주변여건 및 전망에 관한 사항
- 수자원의 개발·공급 및 관리에 관한 사항
- 홍수 등 재해방지에 관한 사항
- 하천의 환경보전 및 다목적 이용에 관한 사항
- 수자원에 관한 조사·연구 및 기술개발
- 기후변화 대응을 위한 수자원 관리대책
- 수자원과 관련한 사회적 갈등의 발생을 예방하기 위한 주민 참여에 관한 사항
- 수자원과 관련한 산업육성, 해외진출 전략 및 국제협력에 관한 사항
- 그 밖에 수자원의 관리 및 보전에 관한 사항

[도표] 추진경위('60년대 이래 8차례에 걸쳐 수립·시행)

구 분	계획기간	수립 년도	계획 기초
- 수자원종합개발10개년계획 [1차]	1966-1975	1965	다목적댐 개발
- 수자원장기종합개발계획 [2차]	1981-2001	1980	댐개발 및 치수사업
- 수자원장기종합계획 [3차]	1991-2011	1990	수자원 개발 및 관리
· 수자원장기종합계획·수정 보완 [3차-1차수정]	1997-2011	1996	환경친화적 수자원 개발 및 관리
- 수자원장기종합계획 [4차]	2001-2020	2001	건전한 물활용과 안전하고 친근한 물환경 조성
· 수자원장기종합계획·수정 보완 [4차-1차수정]	2006-2020	2006	사람과 자연이 바라는 지속가능한 물관리
· 수자원장기종합계획·수정 보완 [4차-2차수정]	2011-2020	2011	2020 녹색국토를 위한 물강국 실현
· 수자원장기종합계획·수정 보완 [4차-3차수정]	2001-2020	2016	물 걱정 없는 행복하고 풍요로운 세상

1.4 물환경관리기본계획

“제1차 물환경관리 기본계획”은 「물환경보전법」 제24조(대권역 수질보전 기본계획의 수립)에 따른 4대강 대권역계획을 한데 묶어 기본계획으로 명명한 것과 달리, 「제2차 물환경관리 기본계획」은 ‘수질, 수량관리 및 수생태계 보전을 위한 정부 물환경관리 정책의 최상위 계획’으로서 대·중·소권역 물환경 관리계획, 오염총량관리 기본방침 및 기본·시행계획, 비점오염원관리 종합대책 등 주요 물환경 관리 대책 수립의 지침서 역할을 한다.

「물환경관리 기본계획」은 기후에너지환경부장관이 10년마다 수립하며, 이를 가이드라인 삼아 유역(지방)환경청장이 4대강 대권역계획을 수립해야 한다. 또한, 상수원으로 사용되고 있거나 수질 및 수생태계 목표에 미달하여 계획 수립이 필요한 경우, 중권역계획은 유역청장이, 소권역계획은 시장·군수·구청장이 수립한다.

[도표] 추진경위(제2차 물환경관리 기본계획(2016,환경부))

구 분	제1차 기본계획(2006~2015)	제2차 기본계획(2016~2025)
법적근거	불분명	물환경보전법 제23조의2
성 격	4대강 대권역계획의 묶음	대권역 유역관리 계획 등 관련 정책 수립시 가이드라인적 성격
계획체계	대권역(장관) → 중권역*(유역청장) → 소권역(지자체) * 전체 중권역 의무 수립	기본계획(장관) → 대권역·중권역(유역청장) → 소권역*(지자체) * 상수원, 목표미달 등 필요 시

4. 댐의 종류 및 형식



1 댐의 종류

「댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률」에 따르면 **댐(Dam)**은 하천의 흐름을 막아 그 저수를 생활 및 공업·농업·환경개선용수 등을 공급하고, 발전·홍수조절 등 그 밖의 용도로 이용하기 위한 15m 이상의 공작물을 말한다. 댐은 건설목적, 기능 등에 따라 다음과 같이 분류한다.

건설목적에 따라 용수공급, 홍수조절, 수력발전 등 여러 가지 목적 중 한 가지 목적으로 사용하기 위한 경우는 단일목적댐이라고 하며, 두 가지 이상의 목적으로 사용하기 위한 경우는 다목적댐이라 한다. 이때 댐의 기능이 어떤 목적을 갖는지는 저수지 용량배분 계획에 특정 목적을 위한 용량이 포함되는가 여부에 따라 판단한다.

기능에 따라서는 저수댐, 유역변경식댐, 자연유하식댐, 지체댐 등으로 구분한다. **저수댐(storage dam)**은 풍수기에 물을 저류하였다가 물이 부족한 시기에 공급하여 주기 위한 댐이다. 저수댐은 용수공급, 홍수조절 등 여러 용도에 사용되며 비교적 댐의 높이가 높다. 보통 댐이라고 하면 저수댐을 말한다. **유역변경식댐(diversion dam)**은 유로 변경을 목적으로 건설된 댐을 말한다. **자연유하식댐(run-of-river type dam)**은 단지 낙차를 높이기 위한 댐을 말한다. **지체댐(detention dam)**은 홍수유출을 지체시킴으로써 갑작스런 홍수로 인한 피해를 경감시키기 위한 홍수조절댐으로, 유수를 일시 저류하여 하류부의 하도통수능을 초과하지 않도록 자연방류 또는 수문조절에 의해 홍수류를 지체시키는 기능의 댐이다.

수리구조에 따라서는 월류댐과 비월류댐으로 구분한다. **월류댐(overflow dam)**은 댐체 마루 위로 유수를 월류시키는 댐을 말하며, **비월류댐(non-overflow dam)**은 댐체 마루 위로 월류되지 않는 댐을 말한다.

댐을 건설하는 재료에 따라 크게 필댐과 콘크리트댐으로 구분한다. **필댐**은 모래, 자갈, 암석 등을 쌓아 올려 만든 댐으로, 재료의 구성비율에 따라 흙댐(earth dam), 석괴댐(rockfill dam)으로 나눌수 있다. 우리나라의 대표적인 필댐에는 소양강댐·안동댐 등이 있다. **콘크리트댐**은 콘크리트를 댐 본체 재료로 하는 댐으로 충주댐·합천댐 등이 있다.

여러 가지 댐의 분류 중 축조재료에 따라 필댐과 콘크리트댐으로 구분한다. 필댐은 균일형, 존형, 코어형, 표면차수벽형의 설계형식이 있고, 콘크리트댐은 중력식, 아치식, 부벽식, 중공식의 설계형식이 있다.

1. 필댐

필댐은 콘크리트댐에 비해 단면 형상이 크고, 저폭(低幅)¹³⁾이 넓다. 따라서 단위면적에 작용하는 하중¹⁴⁾이 적고, 이에 따라 기초지반에 전달되는 응력¹⁵⁾이 적어진다. 따라서 기초지반에 대한 제약이 적으므로 비교적 지지력이 작은 기초지반에도 축조할 수 있다. 또한, 댐 지점 주위에서 얻을 수 있는 천연재료를 이용할 수 있다는 장점이 있다.

반면 필댐은 월류에 대한 저항력이 거의 없으므로 월류하지 않도록 여수로·가배수로 규모·여유고 등을 결정할 때 세심한 주의가 필요하다. 또한 침하가 불가피한 구조물이므로 여수로와 같은 구조물을 제체 위에 설치하기 어려워 통상 제체와 분리시킨다.

필댐은 설계형식에 따라 균일형, 존형, 코어형, 표면차수벽형 등으로 분류된다. **균일형**은 제체의 최대단면의 80% 이상을 균일재료(차수재료)가 차지하는 형식이다. **존형**은 제체의 최대단면에서 불투수성부¹⁶⁾의 최대 폭이 댐 높이와 같거나 그보다 큰 댐을 말한다. **코어형**은 제체의 최대단면에서 불투수성부의 최대 폭이 댐 높이 보다 작을 때는 이 불투수성부를 코어라 하며, 이러한 코어가 있는 댐을 말한다. 또한, 댐 중심선이 전부 코어로 포위된 것을 중심코어형 댐, 코어가 중심선에서 떨어져 있는 것을 경사코어형이라 한다. **표면차수벽형**은 제체의 상류면에 콘크리트와 아스팔트 등의 인공 차수재료에 의한 차수벽을 설치하여 댐의 차수기능을 충족시키고 그 배후는 투수성 재료를 배치하여 제체의 안전성을 확보하는 댐 형식이다. 다음은 필댐의 종류별 단면도와 내용에 관한 설명이다.

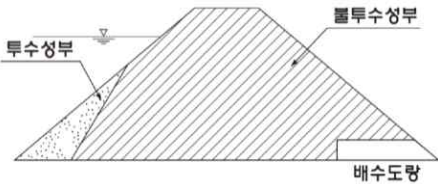
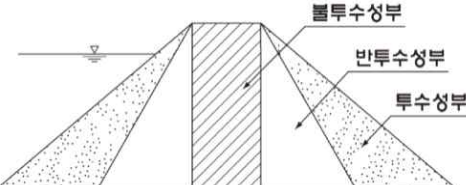
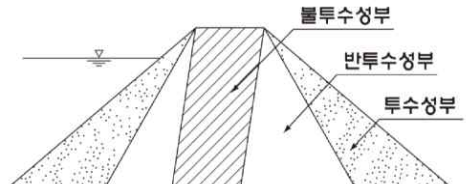
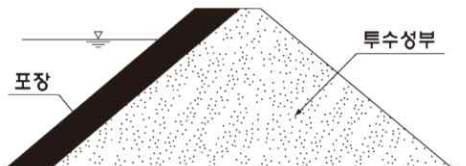
13) ‘저폭’이란 댐체의 바닥 폭을 말한다.

14) ‘하중’이란 재료에 작용하는 외력을 말한다.

15) ‘응력’이란 재료에 하중(외력)을 가했을 때, 그 크기에 대응하여 재료 내에 생기는 저항력을 말한다. 물체에 하중이 작용하면 물체 내에는 그 외력에 저항하여 내력이 생긴다.

16) 물이 스며들기 어렵거나 스며들지 아니하는 성질

[도표] 댐의 분류

명 칭	단 면 도	주 요 내 용
균일형		댐의 본체의 최대 단면에서 균일재료의 단면이 80% 이상 점유하고 있는 댐
존 형		불투수성부의 최대 폭이 댐 높이보다 큰 댐, 심벽재료의 성질이 제체의 단면에 영향을 준다
중심 코어형		불투수성부(흙 이외의 지수재료를 포함)의 최대 폭이 댐 높이보다 작고 또한 불투수성부가 댐 중심선 전체를 통함
경사 코어형		댐 내부에 있어서 불투수성부(흙 이외의 지수재료를 포함)의 최대 폭이 댐 높이보다 작고 또한 불투수성부가 댐 중심선에서 벗어나고 있는 댐
표면 차수벽형		상류 경사면을 흙 이외의 차수재 료로 덮은 댐

자료 : 댐설계기준 해설, 한국수자원학회, 2011.

2. 콘크리트댐

콘크리트댐은 설계형식에 따라 중력식, 아치식, 부벽식, 중공식으로 분류된다. **콘크리트 중력댐**은 댐의 자중으로 물의 압력을 지탱하는 댐으로 댐의 자중이 댐에 작용하는 정수압, 동수압, 풍하중, 온도하중, 양압력, 파압, 빙압, 퇴사압, 지진력 등의 외력에 대하여 안정¹⁷⁾을 유지하도록 설계한다. 또한, 구조물 자체의 하중이 크므로 견고한 지반이 필요하다.

17) 댐의 안정에 관해서는 전도, 활동, 제체 콘크리트와 기초암반의 사용응력이 이들의 허용응력을 초과하지 않는 등의 3가지 조건을 만족하여야함

콘크리트 아치댐은 댐에 작용하는 저수지로부터의 수압하중을 주로 아치작용을 이용하여 양안의 기초암반에 전달하여, 양안의 기초암반의 두께와 강도를 이용하여 수압하중에 저항하는 형식의 댐이다. 따라서 아치댐의 안전성은 기초암반 안전성에 의존하므로 그 기초암반은 하상뿐만 아니라 좌·우안 모두 견고하고 균일한 암반이어야 한다.

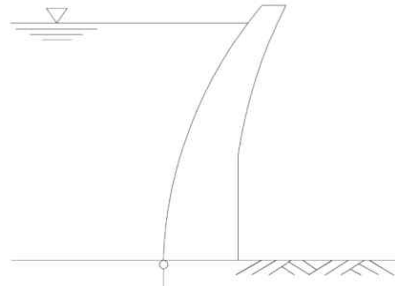
콘크리트 부벽댐은 물의 압력을 부벽을 통해 기초 지반에 전달하는 형식이다. 경사진 얇은 슬래브를 상류면으로 하여 부벽으로 받치게 한 형식이다. 콘크리트 부벽댐의 기초는 중력댐만큼 견고한 암반을 필요로 하지 않고, 콘크리트 소요량이 적은 장점이 있으나, 댐체의 내구성이 작은 단점이 있다.

중공댐은 외형은 중력댐과 유사하나, 속을 비게 하여 재료의 절약을 도모하고 역학적 세기를 유지하는 형태의 댐이다. 특별한 경우에는 설계하지 않는다. 콘크리트댐의 모형은 다음과 같다.

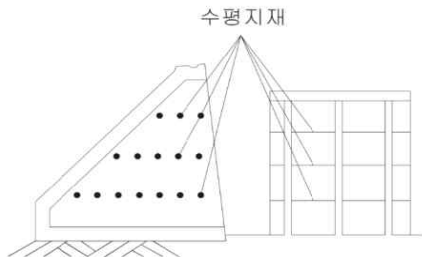
[도표] 콘크리트댐의 모형



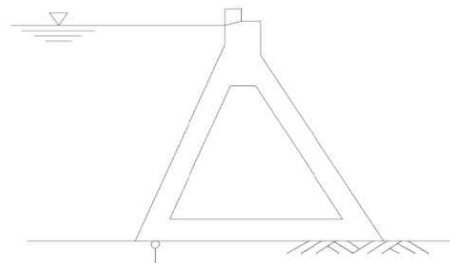
콘크리트 중력댐



콘크리트 아치댐



콘크리트 부벽댐



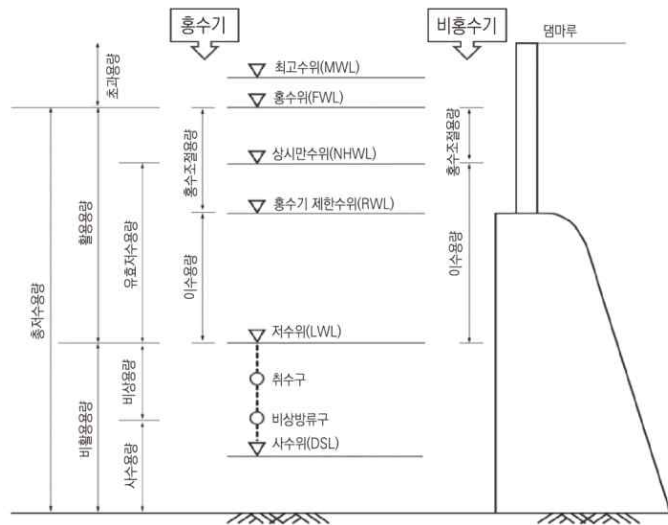
콘크리트 중공댐

자료 : 댐설계기준 해설, 한국수자원학회, 2011.

3. 이수용량 및 홍수조절용량 산정

용수공급을 위한 이수 목적의 댐을 설계할 때에는 용수공급 용도(생활·공업·농업용) 및 발전방식 등을 기초로 저수지 수위 및 용수공급량을 산정하고 용량을 배분한다. 다음은 개괄적인 저수지 수위 및 용량배분도이다.

[도표] 저수지 목적별 수위 및 용량배분도



자료 : 댐설계기준 해설, 한국수자원학회, 2011.

저수지 수위는 댐 바닥부터 사수위, 저수위, 홍수기 제한수위, 상시만수위, 홍수위, 최고수위로 나눌 수 있다.

사수위(DSL, Dead Storage Level) 는 유사¹⁸⁾ 퇴적으로 저수기능이 상실되는 상한 표고를 말하며, 100년간 퇴사량으로 결정한다. **저수위(LWL, Low Water Level)**는 댐의 저수를 이용할 수 있는 최저수위이다. 규모가 큰 댐에서는 이상가뭄 발생시 비상용수공급을 위해서 저수위와 사수위 사이에 비상용수 방류관¹⁹⁾을 설치하는 것이 일반적이다. **홍수기 제한수위(RWL, Restricted Water Level)**는 홍수조절용량을 더 확보하기 위해 홍수기에 제한하는 수위로서 일반적으로 상시만수위보다 낮다.

18) 유사란 단위시간에 물의 흐름에 의해 이동되거나 운반된 토사의 무게 또는 체적을 말한다.

19) 갈수 시 하류 쪽으로 용수 등의 공급 또는 관광을 위해 방류하거나, 댐 자체의 수리를 위해 저수지의 수위를 떨어뜨릴 수 있도록 댐에 만든 방류설비이다

상시만수위(NHWL, Normal High Water Level)는 비홍수기에 저수할 수 있는 상한 수위로 이수용량의 최대범위이다. **홍수위**(FWL, Flood Water Level)는 홍수조절을 위한 최대 유입홍수저장수위이며, 200년 빈도홍수를 기준으로 산정한다. **최고수위**(MWL, Maximum Water Level)는 가능최대홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)이 댐에 유입되었을 때를 가정한 수위이다. 최고수위에 여유고를 두어 댐 마루고를 결정한다.

이러한 수위를 기준으로 저수지 사용목적과 기능에 따라 저수지의 용량이 구분되는데 댐 바닥으로부터 댐 마루까지를 배분하여 사수용량을 포함한 비활용용량, 활용용량, 초과용량으로 나누며 활용용량은 이수용량, 홍수조절용량으로 구분한다.

비활용용량은 댐 바닥에서부터 저수위(LWL)까지의 용량으로서 평시에는 용수목적으로 쓰이지 않는 공간으로 불용용량을 뜻한다. 비활용용량은 정상적인 이용이 불가능한 비상방류구 아랫부분의 사수용량(dead storage)과 가뭄과 같은 비상시에는 이용이 가능한 비상방류구 윗부분의 비상용량으로 나눌 수 있다.

활용용량은 저수위(LWL)와 홍수위(FWL) 사이의 용량으로 이수목적의 이수용량과 홍수조절용량을 합한 공간으로서 저수지의 이용할 수 있는 유효공간을 뜻한다. **이수용량**은 저수위(LWL)와 상시만수위(NHWL) 또는 홍수기 제한수위(RWL) 사이의 이수목적으로 사용되는 저수공간을 뜻한다. 이수용량은 계절에 따라 다르며 상시만수위까지의 비홍수기 이수용량과 홍수기 제한수위까지의 홍수기 이수용량으로 구분할 수 있다. **홍수조절용량**은 상시만수위(NHWL) 또는 홍수기 제한수위(RWL)에서 홍수위(FWL)까지의 저수공간으로서 홍수조절 목적으로 사용된다. 상시만수위에서 홍수위 사이의 공간은 홍수조절 전용용량(exclusive flood control storage)이라고 한다.

초과용량은 홍수위(FWL)에서부터 최고수위(MWL)까지의 용량을 말한다. 이 용량은 설계홍수(design flood)와 여수로 방류능력 및 저수지 조작기준에 따라 결정되며 이상홍수용량이라고도 한다.

1. 보 설계 일반

보(洑)란 각종 용수의 취수·주운 등을 위하여 수위를 높이고 조수의 역류를 방지하는 하천 횡단방향의 제방의 기능을 갖지 않는 시설을 말한다. 일반적으로 보는 하천 수위를 조절하는 경우는 많지만 유량을 조절하는 경우는 드물다. 그러나 최근에는 유량을 조절하여 유수의 정상적인 기능을 유지하기 위한 보가 설치되고 있기 때문에 댐과의 구별이 쉽지 않다. 다만 일반적으로 높이, 건설목적, 양 끝부분에서 차이를 보인다.²⁰⁾ 보는 기초 지반에서 고정보 마루까지 높이가 15m 미만이며, 유수저류에 의한 유량조절을 목적으로 하지 않는다. 또한 댐의 양 끝부분이 암반 등에 고정되는 데 반해 보는 제방이나 하안에 고정시킨다. 보는 설치 목적, 구조, 형식에 따라 다음과 같이 구분된다.

[도표] 보의 종류

구 분		특 징
설치 목적	취수보	하천 수위조절을 통한 용수(생활·공업·발전 등) 취수목적 설치
	분류보	하천 홍수조절을 위한 하천 분류점 부근에 설치
	방조보	조수 역류방지를 위한 하구·감조구간 설치(하구둑 등 해당)
	유량조절보	하천 수위 및 유량(유황)조절을 위해 설치
구조	고정보	수문이 설치되지 않고 보 본체와 부대시설로 구성
	가동보	수문에 의해 수위조절이 가능한 보

자료 : 하천설계기준 해설, 한국수자원학회·한국하천협회, 2019.

보의 종류 및 형식을 계획할 때는 홍수위 변동, 저류부 퇴적, 수질개선, 생물 및 미생물의 이동, 식생보전, 하천의 자정능력 증대 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 또한 중규모 이상 하천에서는 원칙적으로 가동보 및 복합형(가동+고정) 보로 계획하여야 한다.

보를 설계할때는 계획홍수위 이하 수위의 유수 작용에 대해 안전한 구조로 하여야 한다. 보의 평면형상 및 설치방향은 홍수시 물의 흐름방향을 고려하여 결정하여야 하며, 계획홍수량이 크고 하사경사가 급하거나 하상재료의 입경이 굵은 하천구간에서 자동수문 등과 같은 전도식 수문의 설치는 신중히 검토하여야 한다. 또한, 보 상류의 관리수위가 제내지보다 높을때에는 제방의 누수 및 습윤화에 대한 방지대책을 수립하여야 한다.

20) 하천설계기준 해설(2019) 한국수자원학회·한국하천협회 참조

2. 고정보

주로 소하천에 많이 설치되는 고정보는 수문이 설치되지 않고 보본체와 부대시설로 이루어진다. 고정보의 본체는 콘크리트 구조를 원칙으로 한다. 고정보의 단면은 다음과 같으며, 월류하는 흐름에 따른 상하류 세굴방지를 위해 물받이(철근콘크리트 등) 및 바닥 보호공(사석, 돌망태 등)을 시공한다.

필요시 취수구, 배사구, 침사지, 어도, 갑문, 관리고, 수문조작 및 유지관리 시설, 하류 경보 시설 등을 설치한다. 취수구는 원칙적으로 취수보의 직상류에 설치한다. 침사지는 유입토사를 침전시켜 용수 소통 저하를 방지하기 위해 설치한다. 갑문은 하천을 주운으로 이용할 경우에 설치한다.

3. 가동보

가동보는 수문에 의해서 수위조절이 가능한 보로 경간길이²¹⁾는 아래 표 이상으로 설정한다. 물받이 및 바닥보호공은 가동보와 동일하게 설계한다. 보기둥은 상부하중과 홍수 시 수압에 안전하여야 하며, 높이는 수문조작에 충분한 높이로 여유고를 반영하여야 한다.

[도표] 계획홍수량과 경간길이

계획홍수량(m ³ /s)	경간길이(m)	배사 및 통선구간 경간길이(m)
500미만	15	12.5
500이상 2,000미만	20	12.5
2,000이상 4,000미만	30	15
4,000이상	40	20

21) '경간길이'란 보기둥의 중심선 간의 거리를 말한다.

5. 댐 및 보 운영일반



K-water는 2020년 기준으로 20개의 다목적댐과 14개의 용수전용댐 그리고 16개의 다기능보를 운영·관리하고 있다. 댐 및 보를 운영하는 데 있어서는 「댐 운영기준」 및 「보 운영기준」을 준수하여야 한다. 또한 댐의 건설목적이나 운영시기 등에 따라 중점을 두어 운영할 사항이 다르므로, 이를 고려하여야 한다.

1 댐 및 보 현황

2020년 기준 우리나라의 총 17,318개 댐·저수지가 총 213억^m의 저수용량을 가지며, 용수공급(생활·공업·농업), 홍수조절, 발전 등에 활용되고 있다. 총 홍수조절용량은 56억^m, 용수공급능력은 164억^m/년이다. 다음은 우리나라의 댐·저수지·하구둑 현황이다.

[도표 1] 국내 댐·저수지 시설 현황(2020년 기준)

구 분	총저수량 (백만 ^m)	유효저수용량 (백만 ^m)	물공급능력 (백만 ^m /년)	홍수조절능력 (백만 ^m)	발전용량 (천kW)	비 고
총 계	21,356.3	13,541.5	16,388.6	5,594.9	6,372.7	-
다목적댐	12,923.0	9,170.0	11,305.2	2,294.0	1,044.8	소양강댐 등 20개
홍수전용댐·조절지	2,980.6	-	-	2,981.6	-	평화의댐 등 5개
농업용저수지	2,971.8	2,864.8	3,125.5	19.0	23.0	예당저수지 등 17,145개
발전용댐	1,842.4	961.1	1,050.0	276.8	5,303.1	화천댐 등 21개
생공용수전용댐	638.5	545.6	907.9	23.5	1.8	운문댐 등 127개

[도표 2] 하구둑 및 담수호 현황(2018년 기준)

구 분	총저수량(백만 ^m)	유효저수용량(백만 ^m)	물공급능력(백만 ^m /년)	비 고
하구둑 및 담수호	2,529.2	1,898.7	4,010.3	낙동강하구둑 등 25개

* 자료: 제1차 국가물관리기본계획[2021-2030](관계부처 합동)

K-water는 이 중 20개 다목적댐, 14개 용수댐, 5개 홍수조절댐(조절지), 1개 하구둑을 운영·관리하고 있다. 이는 국내 전체 댐 등의 홍수조절용량의 95%, 용수공급능력의 60%에 해당한다.

이 중 다목적댐은 소양강댐, 충주댐을 비롯하여 20개이다. 용수공급댐은 운문댐, 영천댐 등 14개이며, 홍수조절용댐(조절지)은 평화의 댐, 군남홍수조절지 등 5개이다. 다음은 다목적댐의 현황이다.

[도표] K-water가 관리하는 다목적댐, 홍수조절댐 및 하굿둑 현황

구 분	계	다목적댐(20)												
		소양강	충주	황성	안동	임하	합천	남강	밀양	군위	김천부향	보현산	영주	
저수용량(백만㎥)	15,903.6	2,900.0	2,750.0	86.9	1,248.0	595.0	790.0	309.2	73.6	48.7	54.3	22.1	181.1	
홍수조절용량(백만㎥/년)	5,275.6	500.0	616.0	9.5	110.0	80.0	80.0	269.8	6.0	3.1	12.3	3.5	75.0	
용수공급능력(백만㎥/년)	12,055.2	1,213.0	3,380.0	119.5	926.0	615.3	599.0	573.3	73.0	38.3	36.3	14.9	203.3	

구 분	다목적댐								홍수조절댐·조절지(5)					하굿둑
	성덕	용담	대청	보령	섬진강	주암	부안	장흥	평화	군남	한탄강	담양	화순	낙동강
저수용량(백만㎥)	27.9	815.0	1,490.0	116.9	466.0	707.0	50.3	191.0	2,630	71.6	270	2.9	6.1	-
홍수조절용량(백만㎥/년)	4.2	137.0	250.0	10.0	30.3	80.0	9.3	8.0	2,630	70.6	270	3.75	7.25	-
용수공급능력(백만㎥/년)	20.6	650.4	1,649.0	106.6	435.0	488.8	35.1	127.8	-	-	-	-	-	750

보의 현황을 살펴보면 4대강 수계 총 16개 다기능보를 운영·관리하고 있다. 관리수위 저수 용량은 626.3억㎥이다.

[도표] 다기능보 현황

구 분	계	보(16)															
		한강수계			낙동강수계								금강수계			영산강수계	
		강천	여주	이포	상주	낙단	구미	칠곡	강정 고령	달성	합천 창녕	창녕 합안	세종	공주	백제	승촌	죽산
관리수위 (EL m)	328.75	38.0	33.0	28.0	47.0	40.0	32.5	25.5	19.5	14.0	10.5	5.0	11.8	8.75	4.2	7.5	3.5
저수용량 (백만㎡)	626.3	8.7	11.3	14.3	27.4	34.7	52.7	75.3	92.3	58.6	70.0	100. 9	5.7	15.5	24.2	9.0	25.7
소수력발전 (Kw)	50,771	4,995	4,950	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,856	5,000	5,000	2,310	3,000	2,640	800	1,220

2 댐 운영

K-water는 「댐법」에 따른 댐 관리자로서 댐의 저수를 이용하여 홍수 피해를 경감하고, 효율적으로 용수를 공급할 수 있도록 댐을 적정하게 관리하여야 한다.²²⁾ 이를 위하여 연간, 분기, 월별, 홍수기 댐 운영계획을 수립하는데, 연간 운영계획은 매년 12월까지, 분기 운영계획은 다음 분기 시작일의 전날까지, 월별 운영계획은 다음 월 시작일의 전날까지, 홍수기 운영계획은 홍수기 시작일의 전날까지 수립한다.²³⁾

댐 운영은 수문 상황과 시기에 따라 우선 순위가 다르다. 홍수가 발생할 우려가 큰 홍수기²⁴⁾에는 홍수조절을 가장 우선에 두고 운영하며, 이상갈수²⁵⁾ 시에는 용수 공급을 우선에 두고 운영한다. 이때 용수공급별 순위는 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천 유지용수, 환경개선용수, 발전용수의 순으로 한다.

〈댐 운영기준〉

댐설계 시 검토된 용수공급능력 및 홍수조절능력을 기준으로, 과거 실적 및 물 사용량 등 운영여건을 반영하여 댐 운영 기준수위를 설정한다. **댐 운영 기준수위**란 댐의 저수를 효율적으로 이용하기 위하여 해당 댐의 건설 완료 고시에서 정한 댐의 기준수위를 말한다. 계획홍수위, 상시만수위, 홍수기제한수위, 저수위가 있다. 댐 운영 기준수위를 기준으로 수문상황에 따라 댐 운영에 대한 의사결정을 한다. 다음은 연중 댐 운영 기준수위에 대한 설명이다.

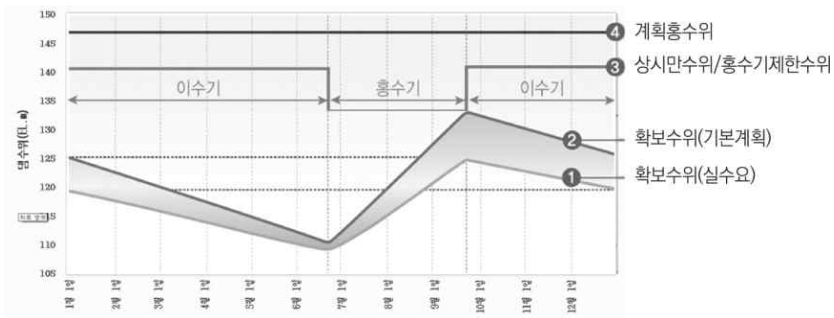
22) 댐관리규정 제5조

23) 댐관리규정 제6조, 댐운영계획은 기후에너지환경부장관에게 보고하여야 한다.

24) ‘홍수기’란 홍수가 발생할 우려가 큰 매년 6월 21일부터 9월 20일까지의 기간을 말한다(댐관리규정 제2조10호).

25) ‘이상갈수’란 해당 댐의 설계기준인 이수안전도를 초과하는 가뭄상태를 말한다.

[도표] 댐 운영 기준수위



홍수조절기준은 홍수 시 하천의 흐름을 조절하여 홍수피해를 저감할 수 있도록 관리하는 것이다. 이를 위하여 예상 강우량²⁶⁾을 시간 분포하여 홍수분석을 한다. 이를 통해 빈도 유입량 및 가능최대홍수량을 추정한다. 다음으로 댐에 설정된 홍수기 제한수위를 기준으로 빈도별 유입량 및 가능최대홍수량이 유입될 경우 댐의 안정성을 검토한다. 만약 댐 여유고가 부족할 경우에는 홍수기 대응수위를 재산정한다.

용수공급기준은 안정적으로 용수공급이 가능하도록 관리하는 것이다. 이를 위하여 과거 유입량을 기준으로 빈도분석을 실시하여 장래 월 단위 빈도별 유입량을 산정한다. 산정된 월 단위 빈도별 유입량을 적용하여 2년 연속으로 댐설계빈도 가뭄²⁷⁾이 도래할 경우에도 당초 설계 시 해당 댐에서 공급하기로 한 월별 용수공급 배분량(설계 기준)을 공급할 수 있도록 기준수위(확보수위)를 설정하여 수위를 관리한다.

3 보 운영

보는 각종 용수의 취수, 주운 등을 위하여 수위를 높이고 조수 역류를 방지하기 위해 하천 횡단방향으로 설치하여 제방의 기능을 갖지 않는 시설을 말한다. 다기능보는 용수 확보, 소수력 발전 및 도로(하천 횡단) 등 두 가지 이상의 기능을 갖는 보를 말한다. 다기능보는 준설로 인한 하천수위 저감을 방지하여 하천기능을 유지하는 기능을 한다.

26) '예상 강우량'이란 설계 시 빈도강우량을 말한다.

27) 첫째 : 20년 가뭄빈도, 익년 : 5~20년 가뭄빈도이다.

6. 저수지 수질관리



1 수질관리 일반

K-water는 「댐법」에 따른 댐 수탁관리자이면서 「물환경보전법」에 따른 저수지 수면관리자이다. 이에 따라 전국 34개 댐 및 낙동강 하굿둑의 수질을 관리하고 있다. 또한 「하천법」과 「보 관리규정」 등에 따라 하천관리청으로부터 수탁받은 16개 보 구간 수질도 관리하고 있다. 특히 4대강 사업 이후 하천 수질과 녹조에 대한 국민의 관심이 높아지면서 수질 관리의 중요성은 더욱 커지고 있다.

K-water가 관리하는 저수지는 인공적으로 조성된 것으로 수심이 얇은 하천수와는 달라 효과적인 수질관리를 위해서는 인공호수의 수질특성에 대한 이해가 필요하다. 하천은 수질 변화가 빠르고, 유속에 따라 수질 회복도 빠르다. 하지만 유속이 느리고 체류시간이 긴 저수지에서는 오염물질의 침전이 용이하고, 수심별 수질 변화도 발생한다. 이러한 저수지의 특성 때문에 발생할 수 있는 수질 문제로는 조류의 과성장에 따른 수질 악화, 탁수 및 부유물의 발생, 전도현상²⁸⁾에 따른 하층부 오염물질의 혼합으로 인한 흑수²⁹⁾ 발생 등이 있다.

수질 오염물질은 유역으로부터 유입되기 때문에 저수지 내 수질관리 대책만으로는 수질관리 및 개선에 한계가 있으므로 유역을 연계한 수질관리가 필요하다. 최근에는 수질관리 패러다임이 변화되어 과거에 중점을 두었던 점오염원³⁾ 관리와 더불어 유역 비점오염원⁴⁾ 관리를 더욱 강화하고 있다.

28) '전도현상'이란 일반적으로 봄과 가을에 표층의 수온이 변화하여 표층수의 밀도가 심층수의 밀도보다 커져서 무거운 표층수가 심층으로 이동하여 수체의 수직적인 혼합이 일어나는 현상을 말한다.

29) '흑수'란 저수지 바닥에 퇴적되어 있는 철, 망간 등의 물질이 용출되어 물빛이 검게 보이는 현상을 말한다.

3) '점오염원'이란 폐수·생활하수 등과 같이 오염물질이 배출되는 지점을 분명히 알 수 있는 오염원

4) '비점오염원'이란 도로, 논, 밭, 임야 등 불특정한 배출경로를 통해 발생하는 오염물질

댐 저수지 수질관리와 관련한 K-water의 주요업무에는 수질 및 생태환경 조사, 조류 조사 및 대응, 부유물관리, 탁수관리, 오염원 현황조사, 수질사고 대응 등이 있다.

K-water는 기후에너지환경부에서 운영하는 국가수질측정망 중 약 100여 개소를 운영하여 정기적인 저수지 수질조사를 통해 저수지 수질 변화를 상시 모니터링한다. 이러한 모니터링 자료를 바탕으로 매월 저수지의 부영양화상태를 평가하고 수질대책 수립 등에 활용한다. 또한 저수지 및 주변지역의 생태환경 변화를 파악하기 위해 5년 주기로 댐 저수지 및 주변지역에 대한 저서 무척추동물, 어류, 양서 파충류, 포유류, 조류, 동·식물 플랑크톤 등의 생태환경변화를 조사하며, 생태보전을 위하여 치어방류사업, 외래어종 퇴치 등을 지속적으로 추진하고 있다.

조류(藻類, algae) 조사 및 대응도 중요한 업무 중 하나이다. 정체된 수체인 저수지 수질관리의 최대 난제는 조류다. 조류에 대응하기 위해 조류경보제를 운영하고 있다. 이에 따라 조류 경보가 발령되면 수면관리자로서 단계별로 모니터링 횟수를 늘려 신속하게 수질현황을 파악하고 조류 제거를 위한 조치를 시행한다. 조류경보제 발령기준 및 조사주기는 다음과 같다.

[도표] 조류경보제 운영기준

상수원 구간	관심	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 1,000 세포/mL 이상 10,000 세포/mL 미만인 경우
	경계	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 10,000 세포/mL 이상 1,000,000 세포/mL 미만인 경우
	대발생	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 1,000,000 세포/mL 이상인 경우
	해제	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 1,000 세포/mL 미만인 경우
친수활동 구간	관심	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 20,000 세포/mL 이상 100,000 세포/mL 미만인 경우
	경계	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 100,000 세포/mL 이상인 경우
	해제	2회 연속 채취 시 유해남조류세포수가 20,000 세포/mL 미만인 경우
조사주기	주 1회 이상(“경계” 이상 발령 시 주 2회 이상)	

조류 발생 시 대응은 조류확산 차단, 발생된 조류 제거, 정수처리 강화로 이루어진다. 조류가 발생하기 전 물순환설비 등을 가동하고, 조류가 상시 발생하는 지역에 조류확산 방지막을 설치하여 조류확산을 사전 차단한다. 그리고 조류가 발생하여 과다하게 성장하여 스컴을 형성하면 황토살포선, 조류제거선 등을 운영하여 조류를 제거하고, 선택 취수 및 활성탄 투입 등을 실시하여 정수처리를 강화한다. 그러나 조류발생의 근본적인 원인을 차단하기 위해 평소에도 유역에서 발생하는 오염원 저감을 위해 노력하여야 한다. 유역의 산림, 농지, 비료, 축분 등에 다량 포함된 영양염류(인, 질소)가 집중호우 시 빗물과 함께 하천으로 흘러들어와 조류의 먹이로 활용되고, 강한 햇빛과 높아진 수온, 물순환 정체 등으로 조류가 성장하기 좋은 환경이 조성되면 발생하므로 유입되는 오염원 저감이 더욱 중요하다.

집중강우 발생 시 영양염류뿐만 아니라 유역에 산재된 나무, 초본류, 낙엽, 쓰레기 등이 빗물과 함께 댐 내로 유입되는데 이를 부유물이라고 한다. 부유물이 장기간 체류하게 되면 수질과 환경에 피해가 발생한다. 따라서 피해 경감을 위해 부유물 차단막 설치와 수거·운반선 등을 운영하여 신속히 부유물을 수거하고, 지자체와 협조를 통해 수거된 부유물을 원활하게 운반하고 처리한다. 또한 홍수기 전 댐 유역 내 유입이 우려되는 부유물 발생원을 조사하고 관계기관에 개선조치를 요청하고 확인하여 저수지 내 유입되는 것을 최소화하여야 한다.

태풍 및 집중호우로 댐 상류 토사가 하천으로 흘러들어와 댐에 탁수현상을 발생시킨다. 유입된 탁수가 장기화되면 수질 및 수생태에 악영향을 미치고, 정수장에도 탁질 제거를 위한 수처리 비용 증가 등 영향을 미치게 된다. 이를 예방하기 위하여 실시간 탁수를 감시하고 예측할 필요가 있다. 또한 홍수기 전 탁수 발생이 우려되는 발생원을 점검하고 관계기관에 개선조치를 요청하여 탁수 발생 저감을 위해 노력하여야 한다.

저수지 수질사고와 관련해서는 유류 유출·독극물 유입 등 돌발적이고 다양한 수질사고가 발생할 수 있다. 이러한 수질사고에 효과적으로 대응하기 위하여 정부에서는 ‘대규모 수질 오염 위기대응 매뉴얼’을 통해 사고대응 체계를 구축하고 있다. 따라서 수질사고 발생 시 이에 따라 대응한다. 주로 유류유출이나 어류폐사 등 같은 사고가 발생하고 댐별로 보유하고 있는 방제자재인 오일펜스, 흡착제 등을 활용하여 신속하게 처리한다. 사전 감시를 위해 저수지 유역별로 지역주민들이 댐 주변 청결지킴이로 활동하며 상시 수질오염행위 감시활동을 하고 있다.

저수지 내 수질관리 업무와 더불어 유역 오염원이 수질에 미치는 영향을 파악하여야 한다. 따라서 정부에서는 매년 인구, 가축, 토지이용현황, 오염 배출시설 등을 조사하여 오염 부하량을 산정하고 실제 하천으로 유입되는 오염원량을 조사하고 관리하여야 한다.

3 사전 예측·예방적 수질관리

대형 댐 및 보 등 수리 시설물의 수질에 대한 영향을 예측하기 위해서는 수체의 복잡한 물 흐름과 더불어 국부적인 수질 변동까지 고려하여야 한다. 이러한 수질관리 기술을 보다 선진화하고 수질문제에 사전에 대응하기 위해 유역-하천-저수지 수질 예측을 위한 통합수질 예측대응시스템(SURIAN, SUpercom based RIver Analysis Network)을 구축하여 운영 중에 있다.

이는 댐저수지·하천의 수질을 예보하여 수질악화가 발생할 우려가 있는 경우에 사전 대응을 가능하게 한다. 또한, 댐-보 운영에 따른 수질개선 효과를 예측하여 댐-보 운영의 의사결정에 활용한다. 아울러 수질사고 발생 시 수질악화 분석, 오염물질 유출농도 및 도달시간을 예측하는데 활용한다.

4 유역 수질관리

유역이란 지표에 내린 강수가 특정 하천으로 흘러드는 범위를 말한다. 일반적으로 강우 발생 시 침식되는 토지의 성격에 따라 저수지의 수질이 결정된다. 따라서 탁수·수생 식물·조류(藻類)발생 등 호소의 수질문제는 해당 유역의 토지이용 현황에 의해 영향을 받을 수밖에 없으므로 저수지 관리를 위해서는 반드시 유역관리가 필요하다.

1. 유역 오염원 관리

수질관리를 위한 유역관리대책은 유역 내 오염원 관리대책이라고 할 수 있다. 유기물, 질소나 인과 같은 영양염류 등의 오염물질들은 점 또는 비점오염원 형태로 유역으로부터 유입된다. 점오염원과 비점오염원의 배출원 및 특징은 다음과 같다.

[도표] 점오염원 및 비점오염원의 특징

구분	점오염원	비점오염원
배출원	• 공장, 가정하수, 공공처리장 • 축산농가 등(비점오염화)	• 대지, 도로, 논, 밭, 임야 • 대기 중의 오염물질 등
특징	• 오염물질의 유출경로와 배출지점이 명확 • 관거배출 및 수집이 용이 • 계절에 따른 영향을 적게 받아 연중 배출량이 일정 • 처리장 등 처리시설의 설계와 유지관리가 용이	• 오염물질의 유출 및 배출경로 불명확 • 수집이 어려움 • 강수량 등 자연적 요인에 따라 배출량 변화가 심해 예측 곤란 • 처리시설의 설계 및 유지관리가 어려움

2. 점오염원 관리

점오염원은 하수종말처리시설, 폐수처리시설과 같은 한정된 오염배출구 형태를 가진 오염원으로 역추적 등을 통해 배출원을 확인할 수 있다.

점오염원에 대한 대책은 하수처리시설의 확충을 통한 하수도보급률을 높이는 방법과 하수종말처리장 또는 폐수종말처리장의 방류수 농도를 규제하는 방법이 있다. 2010년 기준으로 우리나라 공공하수도의 보급률은 90% 수준으로 양호한 상태이나, 농촌지역에 대한 하수도 보급률은 상대적으로 낮으므로, 이를 향상시킬 수 있는 노력이 필요하다.

또한 호소나 하천의 부영양화의 주원인물질인 인(P)성분을 제어하기 위하여 방류수 수질기준을 대폭 강화하여 적용하고 있다. 방류수 기준은 「하수도법」에 따라 용량에 따라 구분하여 적용하고 있으며 특히 수질보전의 중요성이 큰 수변구역이나 상수원 관리지역의 경우 0.2mg/L 이하로 관리하고 있다. 이를 위하여 4대강 사업 시행 시 공공하수 처리시설에 총인(P)처리시설을 추가하여 관리 중에 있다.

3. 비점오염원 관리

비점오염원은 불특정한 오염원으로 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원이다. 일정한 지점에서 배출되어 관리가 상대적으로 용이한 점오염원과는 달리 강우 시에 도시, 도로, 농지 등 토지에서 빗물과 함께 불특정한 경로로 배출되어 비가 올 때 흐르는 흙탕물이 바로 비점오염원에 의해 발생한 것이다. 비점오염원에는 다량의 수질오염물질(영양염류, 유기물질, 박테리아와 바이러스, 토사, 살충제, 협작물, 기름과 그리스 등)이 포함되어 있어 하천과 호수로 유입되면 수질을 악화시킬 수 있다.

현재 점오염원으로부터 발생하는 오염물질의 감소로 비점오염원에서 기여하는 오염물질의 수계 오염기여도가 높아지고 있다. 전체 비점오염원 중에 총인 기준으로 축산계가 49.2%, 토지계 48.6%순으로 비중이 높고 넓은 유역을 전면 관리하기는 어려움이 있다. 특히 최근 기후변화와 도시화, 가축분뇨가 다시 퇴·액비화 되어 농지에 살포되는 등 관리여건이 보다 녹록치 않은 실정이다. 정부에서는 관계부처 합동으로 ‘제3차 강우유출 비점오염원관리 종합대책’을 마련하여 추진하고 있다.

토지이용형태별 발생하는 주요 비점오염원은 다음과 같다.

[도표] 토지이용형태별 비점오염원

구 분	비점오염원
도시지역	• 건축물, 지표면 및 공업지역 등 불투수면 퇴적물, 하수관로월류수(CSOs) 등
도 로	• 대기오염 강하물질, 자동차 배출가스, 타이어 및 브레이크패드 마모물질 등 노면에 축적되는 중금속을 포함한 오염물질, 공사시 발생하는 토사 등
농업지역	• 농지에 살포된 농약, 비료, 퇴·액비, 축사 및 주변의 가축분뇨, 고령지 토양침식 및 객토된 토사 등의 유출
산림·하천	• 임도, 절성토 사면, 산불지역의 토사, 벌목·간벌에 따른 잔재물 등 유출 • 하천 영농행위, 골재채취, 호안정비, 하천 둔치부 주차장 조성 등

비점오염원은 해당 유역의 토지이용현황을 고려하여 일시적으로 저류하거나 일정한 처리 공정을 통해 관리하고 있다. 자연형 시설로는 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설 등이 있으며, 장치형 시설로는 여과형 시설, 소용돌이형 시설, 스크린형 시설, 응집·침전 처리형 시설, 생물학적 처리형 시설 등이 있다. 또한 도시분야의 비점오염저감을 위해서는 하천으로 유입되는 미처리 하수 월류수 관리 확대, 그린 빗물인프라 조성사업 등이 있으며, 농촌분야는 흙탕물 저감을 위한 토양유실 저감형 밭 정비, 농업 최적관리기법 보급 등과 가축분뇨 관리 선진화가 있다. 산림·하천·댐은 수변생태벨트 조성, 쓰레기 정화사업, 비점오염저감시설 도입, 소하천 정비사업, 발 주변 정리사업과 숲가꾸기, 토사유출 예방사업 등이 있다.

수질모델링이란 호소 내 수체(water body) 내부에서 일어나는 복잡한 현상을 이론적 방법을 통해 단순화하고, 컴퓨터를 이용하여 수치해³⁰⁾ 구하는 일련의 작업을 말한다.

수질모델링은 수질현상 해석, 수질변화 예측, 수질개선대책 평가 및 의사결정 지원 등 분야에서 활용된다.

수질현상 해석(Fate analysis for Water quality)은 수질자료를 근거로 하여 현재 상황에 대한 수체 변화를 도식적으로 또는 동영상과 같은 미디어 기능을 이용하여 재현하는 기능이다. 이러한 재현기능을 통해 현재 상황으로 나타나는 탁수현상 등을 과학적으로 이해하고 이에 대한 대처방안을 수립할 수 있다.

수질변화 예측(Prediction and Forecasting)³¹⁾은 수질현상 해석을 통하여 향후 변화를 예측하는 기능이다. 현재와 과거자료를 기반으로 거동패턴을 이해한 후 강우량 변화, 오염원의 변화 등 유입자료의 변화를 예측하여 미래의 수질변화를 정량화하여 예측할 수 있다.

수질개선대책의 평가 및 의사결정 지원은 다양한 수질개선대책, 예를 들어 수중폭기 설비의 설치나, 조류저감을 위한 Flushing 방류³²⁾ 등에 대한 효과를 평가하고 타당성을 검토하는 기능이다. 특히 다양한 시나리오를 가정하여 최적의 효과를 보이는 시나리오를 채택하여 시 행논리를 결정하는 데 수질모델링이 활용되고 있다.

30) ‘수치해(numerical solution)’란 미분방정식의 해를 컴퓨터를 이용해 근사적으로 구하는 해를 말한다.

31) Prediction과 Forecasting의 차이 : 일반적으로 Prediction은 모델링에서 시나리오를 확정(오염원 저감률 20, 15, 10% 삭감했을 경우 등)하여 각 시나리오별 변화를 예측하는 것을 말하여, Forecasting은 일기예보와 같이 각각 입력자료를 사전 예측(강우량, 오염원 변화율 등)하여 시행하는 예측을 말한다.

32) ‘Flushing 방류’란 댐 방류를 통해 오염된 물을 밀어내는 조치를 말한다.

7. 수력발전



댐이 가지고 있는 기능 중의 하나가 수력발전을 통해 청정에너지를 생산하는 것이다. 따라서 수력발전이 어떤 원리로 이루어지는지와 주요설비를 이해하는 것이 중요하다.

1 수력발전의 원리

수력발전은 하천 또는 호소 등에서 물이 가지고 있는 위치에너지를 수차를 이용하여 운동 (기계)에너지로 변환시켜서 발전기를 통해 전기를 생산하는 발전방식이다.

2 수력발전소의 분류

수력발전소는 수차를 원동기로 하는 발전소를 말하며, 발전소의 운용방식, 낙차를 얻는 방식 등에 따라 다음과 같이 다양하게 구분할 수 있다.

[도표] 수력발전소 분류

구 분	종 류
발전소의 운용방식별 분류	유입식, 저수지식, 조정지식, 양수식
낙차를 얻는 방식별 분류	댐식, 수로식, 댐수로식
수차 배치상 분류	입축, 횡축, 사축

1. 발전소의 운용방식별 분류

유량을 조절할 수 있는 댐이나 호수가 없이 자연유하량의 범위에서 발전하는 형식을 유입식(run-of-river)이라고 한다. 주로 기저부하³³⁾를 담당하고, 저수지의 규모가 크지 않아 계절변화에 따른 유량의 조절이 불가능하고 하천의 상류나 소계곡에 건설되는 소수력에 사용된다.

33) ‘기저부하’란 시간적 또는 계절적으로 변동하는 전체 발전부하 중에서 가장 낮은 경우의 연속적인 수요발전용량을 말한다.

저수지식(reservoir type)은 우기에 저수를 하고 건기에 저장된 물을 공급하여 연중 발전이 가능한 방식을 말한다. 저수지식 발전소가 상류에 건설되면 하류에 있는 발전소까지 유량 조절효과가 있다. 이 형식은 주로 첨두부하(尖頭負荷)³⁴⁾ 발전용으로, 대형 발전소에서 사용 한다.

조정지식(regulation type)은 전력수요의 변화에 대응하기 위한 것이다. 전력수요가 적을 때는 물을 저장하였다가 단시간 내 전력수요가 많이 발생하는 때에는 수력발전을 하는 발전소를 조정지식 발전소라고 한다. 이 방식은 작은 저수지의 댐에 사용하며, 매일 단시간의 첨두부하 시 발전하는 방식이다. 조정지식 발전소에서 첨두부하 시 방류되는 유량 변동에 대해 하류에 조정지를 설치하여 일정 유량으로 방류하는 경우 이러한 발전소는 역조정지(re-regulation type)라고 한다.

양수식(pumped storage)은 상부 저수지, 하부 저수지, 수로 및 발전소로 구성된다. 저수지 식과 마찬가지로 첨두부하를 담당하는 발전소이다. 주로 주간에 저수지의 물로 발전을 하고 야간에 전력수요가 적을 때 하부 저수지의 물을 상부로 양수하는 방식이다.

2. 낙차를 얻는 방식별 분류

댐식(dam type)은 하천에 높은 댐을 설치하여 낙차를 얻는 방식이다. 최근에는 주로 이 방식으로 발전소를 건설한다. 이때 발전소는 댐에 근접해서 건설하며, 일반적으로 하천 경사가 느린 중·하류로 유량이 풍부한 곳이 적합하다. 이 방식에 따를 때 시설물은 일반적으로 댐·취수구·수압관로·발전소·방수로·하천의 방수구순으로 배치한다.

수로식(waterway type)은 하천을 따라 완경사 지역에 수로를 설치하고, 급경사와 굴곡 등을 이용하여 낙차를 얻는 방식이다. 일반적으로 하천 경사가 급한 상·중류에 적합하다. 이 방식은 댐이 없기 때문에 유입량의 조절이 불가능하고 유입량에 따라 출력이 좌우된다.

댐수로식(dam and water-way)은 댐식과 수로식을 혼합한 형태로 댐식과 수로식의 장점을 활용하여 경제적인 설계가 되는 경우가 많다.

34) ‘첨두부하’란 시간적 또는 계절적으로 변동하는 발전부하 중 가장 높은 경우(최대 수요전력)의 연속적인 수요발전용량을 말한다.

3. 수차 배치상 분류

수차 배치에 따라 입축, 횡축, 사축방식으로 구분할 수 있다. 입축방식은 발전기와 수차의 주축이 일직선이며, 수직으로 접속되어 있는 방식을 말한다. 저낙차 또는 중낙차의 발전소에 넓게 채용되는 방식이다. 다만, 고낙차용 입축 펄튼수차가 개발됨에 따라 고낙차 발전소에도 많이 채용되고 있다. 횡축방식은 수차와 발전기가 동일 기초상에 설치되어 주축이 일직 선상으로 접속되어 있는 방식이다. 저낙차 발전소 및 펄튼수차에 널리 채용되고 있다. 사축 방식은 저낙차의 발전소에 튜블라 수차를 채용하여 수력에너지 이용률을 높이기 위해 주축이 경사지게 설치하는 방식이다.

8. 수도사업 계획



1 우리나라 수도관리 현황

우리나라 최초의 상수도는 1908년 영국 회사인 조선수도회사가 설치한 뚝도정수장이다. 뚝도정수장의 생산능력은 12,500m³/일 규모였다. 1910년대 개항 등으로 서울, 인천, 평양, 부산, 목포 등에 1일 32,395m³을 공급할 수 있는 근대식 상수도가 설치되었다. 그리고 도시와 인구 증가에 따라 상수도는 점진적으로 확대되었다. 상수도가 보급된 초기에는 인구의 도시 집중화와 경제 규모의 성장으로 용수수요가 급증하여 양적 공급을 위한 상수도정책이 중심이었다. 1990년대 들어서는 인구 증가추세가 둔화되고 용수수요도 안정기에 접어들었다.

1989년 수돗물 오염과동으로 상수도 공급정책은 양적 확대에서 수질개선으로 방향을 전환하게 되었다. 2000년대 이후 국민의 의식 수준 향상으로 점차 맛있는 물에 대한 요구가 증가되고, 전 국민이 균형적인 상수도 혜택을 받을 수 있도록 복지 차원의 물 공급 필요성이 제기되는 등 물관리 패러다임은 변화하고 있다.

수도란 관로·그 밖의 공작물을 사용하여 원수 또는 정수를 공급하는 시설의 전부를 말한다. 다만, 일시적인 목적으로 설치된 시설과 농업생산기반시설은 제외한다. 「수도법」 제3조에 따라 수도는 일반수도, 공업용수도 및 전용수도로 구분되며, 일반수도는 다시 광역상수도³⁵⁾, 지방상수도³⁶⁾, 마을상수도³⁷⁾로 구분되고, 전용수도는 전용상수도³⁸⁾와 전용공업용수도³⁹⁾로 구분된다.

35) ‘광역상수도’란 국가·지방자치단체·한국수자원공사 또는 기후에너지환경부장관이 인정하는 자가 둘 이상의 지방자치단체에 원수나 정수를 공급하는 일반수도를 말한다.

36) ‘지방상수도’란 지방자치단체가 관할 지역주민, 인근 지방자치단체 또는 그 주민에게 원수나 정수를 공급하는 일반수도로써 광역상수도 및 마을상수도 외의 수도를 말한다.

37) ‘마을상수도’란 지방자치단체가 대통령령으로 정하는 수도시설에 따라 100명 이상 2천500명 이내의 급수인구에게 정수를 공급하는 일반수도를 말한다.

38) ‘전용상수도’란 100명 이상을 수용하는 기숙사, 임직원용 주택, 요양소 및 그 밖의 시설에서 사용되는 자가용의 수도와 수도사업에 제공되는 수도 외의 수도로서 원수나 정수를 공급하는 수도를 말한다.

현재 광역상수도 및 지방상수도는 이원화되어 관리된다. 광역상수도는 「수도법」 및 「한국수자원공사법」에 따라 대부분 K-water가 설치하고 운영한다. 반면, 지방상수도는 전국 특·광역시 및 시·군이 일반수도사업자로서 관할구역 내 수요자에게 수돗물을 공급하기 위해 설치하고 운영한다.

광역상수도사업의 경우 다목적댐이나 국가 하천 등 광역상수원을 개발하여 취수 및 도수 시설을 통해 원수를 공급한다. 이 원수는 그대로 지자체 등에 공급되거나, 광역상수도 통합정수장을 통해 정수처리된 후 공급된다. 이후 각 수용가에 수돗물이 공급될 때까지의 과정은 지방상수도 고유영역으로 각 지자체에서 담당하고 있다.

광역상수도 송수관로는 관말 지자체인 경우는 원칙적으로 시군경계지점까지 설치하고, 2개 이상의 읍·면·동을 단일급수구역으로 하여 통합배수지를 운영하는 경우나 최대 수요 지자체인 경우는 통합배수지 입구까지 설치한다. 송수관로가 통과하는 중간경유 지자체의 경우에는 그 지자체가 필요로 하는 지점의 송수관로에 용수구만 설치한다.

공업용수도 송수관로는 당해 공단 사업지구 경계지점까지 설치하며, 당해 사업지구 용수를 공급하는 배수지가 그 사업지구 외곽에 위치하는 경우에는 당해 배수지 입구까지 설치한다.

2 상수도시설현황

우리나라의 상수도시설현황에 대해 살펴보기 위한 자료는 상수도보급률과 시설용량이 있다.

상수도보급률은 총인구 중 상수도를 보급받고 있는 급수인구의 비율을 의미한다. 환경부의 ‘2019 상수도통계’에 따르면 우리나라의 총인구는 53,122천명이고, 광역 및 지방상수도 급수인구는 51,667천명이다. 이에 따라 급수인구를 총인구수로 나눈 상수도보급률은 97.3%이다.

또한 ‘2019 상수도통계기준’에 따르면 전국 상수도 취수시설용량은 공업용수를 포함해서 33,022천m³/일이다 이 중 광역상수도는 42.6%(14,076천m³/일), 지방상수도는 57.4% (18,946천m³/일)이다.

39) ‘전용공업용수도’란 수도사업에 제공되는 수도 외의 수도로서 원수 또는 정수를 공업용에 맞게 처리하여 사용하는 수도를 말한다.

K-water는 광역상수도(공업용수 포함)를 관리하고 있으며, 일부 지방상수도를 지방자치 단체로부터 수탁받아 운영하고 있다. 2020년 기준, K-water가 관리하는 광역상수도시설개수는 35개 시설이며, 공업용수도는 13개 시설이다. K-water에서 수탁 운영 중인 지방상수도는 23개 시설이다.

3

수도사업 계획수립

수도사업과 관련한 주요계획에는 크게 수도정비기본계획과 전국수도종합계획, 물수요관리 종합계획이 있다.

수도정비기본계획은 일반수도 및 공업용수를 적정하고 합리적으로 설치·관리하기 위해 기후에너지환경부장관과 특·광역시장, 시장, 군수가 수립하는 수도정비에 관한 종합적인 기본계획이다. 기후에너지환경부장관은 국가 또는 K-water가 설치·관리하는 광역상수도 및 공업용수도에 관한 기본계획을 수립하고, 특·광역시장, 시장, 군수는 각 지자체가 관리하는 일반수도 및 공업용수도에 관한 기본계획을 수립한다. 원칙적으로 10년마다 수립하며 고시한 후 5년이 지나면 타당성을 재검토하여 보완한다. 목표연도는 20년 후로 하고 5년마다 구분된 4단계로 계획을 수립한다.

수도정비기본계획을 기후에너지환경부장관이 수립하는 경우 우선, 수도정비기본계획(안)을 수립하여 시·도지사 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관과 협의를 거친다. 지자체가 수립하는 경우에는 수도정비기본계획(안)을 기후에너지환경부에 승인 요청하면, 기후에너지환경부장관이 승인 고시한다. 수도정비기본계획에 반영된 수도사업에 대해서만 수도사업인가가 가능하다. 따라서 수도사업을 신규로 추진할 때에는 수도정비기본계획에 해당사업이 포함되도록 하여야 한다.

전국수도종합계획은 국가 수도정책의 체계적 발전, 용수의 효율적 이용 및 수돗물의 안정적 공급을 위하여 수도정비기본계획을 바탕으로 하는 전국수도종합계획을 기후에너지환경부장관이 10년마다 수립하여야 한다.

물수요관리종합계획은 수도사업의 효율성을 높이고 수돗물의 수요 관리를 강화하기 위하여 1인당 적정 물 사용량 등을 고려하여 시·도지사가 관할 시·군·구별 물 수요관리 목표를 정하고 이를 달성하기 위한 종합적인 계획을 5년마다 수립하여 기후에너지환경부장관의 승인을 받아야 한다.

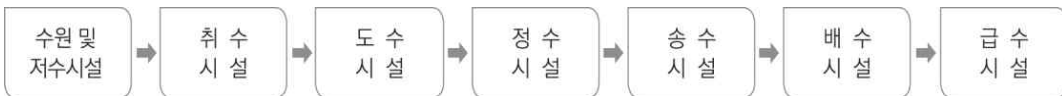
9. 수도시설 설계



1 수도 공급체계

수원에서 취수한 원수는 도수시설을 통해 정수시설로 이송되며 정수시설을 통해 처리된 물은 송수·배수·급수시설을 통해 각 가정 및 산업체 등에 공급된다.

[도표] 수도 공급체계



자료 : 상수도시설기준, 한국상하수도협회, 2010.

수원이란 음용·공업용 등으로 제공하기 위하여 취수시설을 설치한 지역의 하천·호소·지하수·해수 등을 말한다. 원수(原水)란 음용·공업용 등으로 제공되는 자연 상태의 물이다. 취수시설은 상수원에서 물을 각 용도에 맞게 처리하기 위해 정수장으로 보낼 수 있도록 설치한 취수탑·취수문 등을 말한다. 도수시설은 상수원에서 정수장까지 원수를 공급하는 관로 및 구조물이다. 정수시설은 원수를 음용·공업용 등의 용도에 맞게 처리하는 시설을 말한다. 송수시설은 정수장에서 배수지까지 정수를 공급하는 관로 및 구조물이다. 배수시설은 배수지와 배수탱크 등으로 구성된다. 배수지는 정수장에서 정수된 물을 일정시간 체류시켜 사고 등 비상시에도 용수를 공급할 수 있도록 만든 물탱크이다. 급수시설은 각 수용가로 물을 공급하는 시설이다.

2 정수처리공정

정수처리공정은 먹는물 수질기준에 적합한 수돗물을 안정적으로 공급하기 위하여 원수 수질, 정수 수질의 관리목표 등에 따라 적합한 정수처리공정 선정이 필요하며 일반적으로 표준정수처리공정에 고도정수공정을 조합하여 적용할 수 있다.

1. 표준정수처리공정

표준정수처리공정은 착수정, 혼화지, 응집지, 침전지, 여과지, 정수지의 과정을 거친다.

착수정은 정수장에 유입되는 원수의 흐름을 안정시키고 원수량을 조절하는 수조이다. 다음에 연결되는 약품주입, 침전, 여과, 등 일련의 정수작업을 처리를 고려하여 설계하여야 한다.

혼화지는 원수 중 미세물질을 제거하기 위해 응집제를 주입하고 물과 섞는 수조이다. 응집제의 종류는 원수량, 수질, 여과 및 배출수 처리방식을 고려하여 선정하며, 응집약품이 순간적으로 원수에 균일하게 혼화될 수 있는 지점과 방법을 고려하여 설계하여야 한다.

응집지는 약품과 미세물질을 반응시켜 크고 무거운 덩어리(플록)를 만드는 수조이다. 이때 플록형성시간은 계획정류량에 대하여 20~40분간을 기준으로 교반기 주변속도 15~80cm/s, 지(池) 내부에 단락부나 정체부가 생기지 않는 구조로 충분히 교반되도록 설계하여야 한다.

침전지는 혼화, 응집지에서 무겁게 만들어진 플록을 중력에 의해서 가라앉히기 위한 수조이다. 2개 이상의 지(池)를 설치하고 각 조에 균등한 물량이 유입되도록 설계한다. 조의 형상은 직사각형 형태로 길이는 폭의 3~8배, 유효수심은 3~5.5m로 슬러지 배제가 편리하도록 배수구를 향하여 경사진 형태로 설계하여야 한다. 침전지의 주요 종류에는 횡류식 침전지(단층식, 다층식, 경사판식), 고속응집침전지(슬러지순환형, 슬러지블랑키트형, 복합형)가 있다.

여과지는 침전지에서 제거되지 않은 미세탁질을 다공질 여재(모래, 활성탄 등)를 통과시켜 제거할 수 있도록 만든 시설이다. 완속 여과지는 가는 모래를 사용하는 여과지로 모래층 표면에 증식한 생물막에 의해 수중의 불순물을 제거하는 방법으로 주로 소규모 정수장에 적용된다. 급속 여과지는 비교적 굵은 모래를 사용하는 여과지로 미세한 탁질을 체거름과 부착작용에 의해 제거하는 방법으로 주로 대규모 정수장에 적용한다.

정수지는 정수처리의 마지막 공정에 필요한 시설이다. 정수처리시설 운전 시 발생할 수 있는 여과수량과 송수량 간의 불균형을 조절하는 역할(저류)과 수질변동 발생 시 대응하는 역할(완충)을 한다. 또한 염소를 주입하여 관로 이송 중에 미생물이 번식하는 것을 방지(소독)하는 역할도 한다. 따라서 정수지를 설계할 때는 침두 수요에 대처할 수 있고 소독접촉 시간(2시간 이상)을 확보할 수 있는 용량을 고려하여 계획하여야 한다.

2. 고도정수처리공정

고도정수처리공정은 표준정수처리공정을 통해 제거하기 어려운 원수의 냄새물질, 색도, 미량유기물질, 소독부산물의 전구물질⁴⁰⁾ 등을 제거하는 공정이다. 제거하려는 대상물질의 종류에 따라 오존처리시설, 활성탄처리시설, 막여과 공정 등을 단독으로 또는 조합하여 설계할 수 있다.

오존처리는 전구물질을 저감시키는 전처리산화제로는 물론이고 염소보다 훨씬 강력한 오존의 산화력을 이용하여 미량의 맛, 냄새 물질 및 색도의 제거, 소독부산물의 저감을 목적으로 적용하며 일반적으로 활성탄처리와 병행하여 설계하여야 한다.

활성탄은 목재, 톱밥, 야자껍질, 석탄 등을 원료로 하여 탄화와 활성화 과정을 거쳐 생산된 흑색 다공성 탄소질 물질로서 기체와 액체 중의 미량유기물질을 흡착하는 성질이 있다. 이러한 활성탄을 활용하여 맛냄새 원인 물질, 합성세제, 페놀류 등의 유기물 제거를 위하여 설계하여야 한다.

막여과 공정은 기존 여과방식과 다르게 미세한 공극을 가진 막(membrane)을 통과시켜 원수 중에 불순물질을 분리제거하고 깨끗한 여과수를 얻는 정수방식이다. 정수처리, 해수담수화와 초순수 제조공정에 주로 사용되고 있으며 활용목적에 적합하도록 적용하여야 한다.

40) ‘전구물질(前驅物質)’이란 화학반응을 통해 특정물질을 생성하는 원인물질을 말한다.

10. 표준정수처리



표준정수처리공정이란 댐·하천 등 수원에서 원수를 취수하여 응집제 등 약품을 첨가하여 혼화·응집·침전 후 모래 등으로 구성된 여과지를 통해 불순물을 제거하고, 소독 처리하여 음용·공업용⁴¹⁾ 등 용도에 맞게 처리하는 과정을 말한다.

표준정수처리공정의 처리대상물질은 입자성 물질 및 병원성 미생물이다. 농약·유기화학 물질·냄새물질·트리할로메탄 등 소독부산물 전구물질⁴²⁾, 색도 유발물질 등은 표준정수처리공정으로 제거되지 않으므로 이들의 처리를 위해서는 활성탄 및 오존처리 시설 등의 고도정수 처리가 추가로 필요하다. 표준정수처리공정은 일반적으로 착수정, 혼화지, 응집지, 침전지, 여과지, 정수지의 프로세스로 이루어진다.

[도표] 표준정수처리시설 주요 공정 개요 및 역할



41) 공업용수의 경우 통상 침전까지 과정을 거쳐 생산한다.

42) ‘소독부산물 전구물질’이란 염소와 반응하여 소독부산물을 만드는 물질을 말한다.

주요공정	주요 역할
착수정	취수시설에서 정수시설로 들어오는 원수를 받아 유량을 조정하여 후속 공정의 유량부하를 안정시킴
혼화지	탁질물질 제거를 위하여 필요한 약품(응집제)을 원수에 주입하고 혼합하여 미소 플록(floc) ⁴³⁾ 을 형성시킴
응집지	약품 혼화지에서 형성된 미소플록을 서로 뭉쳐 중력에 의해 침전이 가능한 큰 입자들로 성장시킴
침전지	혼화·응집과정에서 커진 입자를 침전시켜 원수로부터 분리
여과지	침전지에서 침전되지 않은 미세플록을 모래나 자갈 등을 이용하여 최종 제거
소독시설 및 정수지	원수에서 탁질을 제거한 후 수인성 미생물을 사멸시켜 위생적으로 안전한 음용수를 생산하고, 물을 배수지 및 가정에 보내기 전 양을 조절하고 보관

1 표준정수처리공정

1. 혼화·응집

원수의 탁질 중에서 입경이 10^{-2} mm 이상인 것은 보통 침전이나 여과로 제거가 가능하다. 하지만 입경이 10^{-3} mm($1\mu\text{m}$) 이하인 물질⁴⁴⁾은 대부분이 음전하를 띠기 때문에 자기들끼리 반발하여 자연적인 방법으로는 침전하기 어렵고, 여과로도 제거되지 않는다.

따라서 이와 같은 탁질을 효과적으로 제거하기 위해서 반대전하인 양이온의 금속이온(응집 제)을 인위적으로 넣어 입자의 표면전하를 양전하 금속으로 중화시켜 주면 입자 간 상호인력이 작용하여 플록⁴⁵⁾이 성장하게 되며 결국은 중력에 의하여 침전하게 된다. 이러한 과정을 혼화·응집이라 한다.

혼화·응집공정의 처리과정은 응집제를 첨가해서 탁질을 플록으로 생성시키는 단계와 생성된 플록을 크게 성장시키는 단계로 구분할 수 있다. 이 두 단계의 기능을 분리하여 전 단계를 혼화, 다음단계를 응집(플록형성)이라 한다.

혼화공정은 응집제를 주입하고 응집제와 콜로이드성 입자들이 충분히 혼합되도록 급속 교반⁴⁶⁾시켜 플록을 형성하는 과정을 말한다.

43) ‘미소플록’이란 크기가 작은 플록(덩어리)을 말한다.

44) 일반적으로 콜로이드성 입자라고 총칭한다.

45) ‘플록’이란 물속의 현탁물질이나 유기물, 미생물 등의 미립자를 응집제로 응집시킨 큰 덩어리를 말한다.

46) ‘교반’이란 물리적 또는 화학적 성질이 다른 2종 이상의 물질을 외부적인 기계에너지로 사

이 단계에서는 원수의 상태를 고려하여 적절한 약품(응집제)을 선택하고, 최적의 주입률로 주입하여 급속하게 교반시켜 주는 것이 중요하다. 응집제로는 PAC(polyaluminium chloride)가 많이 사용된다. 원수의 수온, pH, 알칼리도, 탁도 등 다양한 수질인자에 따라 최적 응집제 종류 및 주입률을 선택한다. 응집제 선정 및 주입률을 결정할 때는 자테스트(Jar-test)를 활용하는 것이 일반적이다.

응집과정은 혼화과정에서 생성된 미세한 플록들을 서로 결합하여 침전이 용이한 큰 입자로 만드는 과정을 말한다. 응집과정의 교반방식에는 기계식(수직형, 수평형) 교반 방식과 우류식 교반방식이 있다. 대부분의 경우 기계식을 사용하고 있다.

혼화 및 응집과정 단계에서 교반강도는 체류시간과 속도구배에 영향을 받는다. 응집과정에서 큰 플록을 만들기 위해서는 플록 입자가 작은 초기에는 강한 교반을 하고, 플록이 크게 성장함에 따라 단계적으로 교반강도를 낮추어 가는 점감식 플록형성(tapered flocculation) 방식을 채택하는 것이 바람직하다. 점감식 플록형성방식에 따를 때 플록 형성 후반기에 교반 강도를 낮추는 방법은 기계식 교반과 우류식 교반이 다르다. 기계 에너지에 의한 기계식 교반인 경우에는 회전속도를 낮추어서 교반장치의 주변속도를 느리게 하면서 교반강도를 줄여가는 방식을 채택하는 경우가 많다. 수류에너지를 이용하는 우류식 교반인 경우에는 플록형성 후반기에 수로폭 등을 확대하여 평균 유속을 느리게 하는 것이 좋다.

2. 침전

침전공정은 혼화·응집의 과정을 거쳐 크고 무겁게 성장한 플록의 대부분을 중력에 의해 침전·분리시키는 공정을 말한다. 정수처리에서 침전공정의 기능은 완충기능, 침전기능, 슬러지 배출기능의 세 가지가 있다.

침전공정을 통하여 후속 여과공정의 부담을 경감시킬 수 있는데, 이러한 기능을 완충 기능이라 한다. 침전기능은 플록을 침전시키는 기능을 말하는데, 침전지에서 침전효율을 나타내는 가장 기본적인 지표에는 표면부하율(surface loading)⁴⁷⁾이 있다. 이는 침전지 바닥으로 침전하는 입자들의 최저 침강속도를 의미한다. 침강속도가 표면부하율보다 큰 플록은 침전공정에서 100% 제거되지만, 침강속도가 표면부하율보다 작은 경우에는 전부 제거되지 않는다. 이러한 입자들은 후속공정인 여과공정에서 제거된다.

용하여 균일한 혼합상태로 만드는 것을 말한다.

47) 침전지에서 유입되는 유량을 Q, 침전지 표면적을 A라 하면 표면부하율 V_0 는 $V_0 = Q/A$ 로 나타낸다.

침전지에서 플록의 제거효율을 높이기 위해서는 침전지의 침강면적을 크게 하고, 플록의 침강속도를 높이고, 유량을 적게 하여야 한다. 이를 위하여 다층 침전지나 경사판 설치 등을 사용하기도 한다.

침전지에서는 혼화·응집과정으로 커진 플록은 중력에 의해 침전되어 제거되는데, 이를 **슬러지**라 한다. 슬러지는 침전지 하부에서 제거되어 배출수 처리계통에서 처리된다. 침전지 바닥으로 침강된 슬러지 제거를 위해 침전지 하부에는 슬러지 수집기를 설치한다. 슬러지 배출이 원활하게 이루어지지 않으면 침전지 기능을 정지시켜야 하므로, 슬러지 배출기능은 침전지의 중요한 기능 중 하나이다.

3. 여과공정

여과공정은 모래 등의 여재에 물을 통과시켜 입자성 물질을 제거하는 공정이다. 여과에서는 체거름, 침전 및 충돌, 차단, 부착 및 응집 등의 매커니즘이 작용한다.

[도표] 여과공정의 원리

공정단계	내 용
체거름	• 입자의 크기가 여재의 비어 있는 공간의 크기보다 커서 입자를 포획
침전 및 충돌	• 유속이 낮은 지역에서 일부 입자는 침전에 의해 제거 • 나머지 입자들은 여재와 충돌하고, 여재에 부착됨
차단	• 여재 가까이에서 형성되는 유선을 따르는 입자는 여재와 닿게 되고 여재에 의해 차단되어 제거
부착 및 응집	• 여재와 입자 간의 화학적 결합, 인력(引力), 응집에 의해 제거 • 여재와 접촉한 입자는 화학적 결합력과 물리적 인력에 의해 여재의 표면에 부착

여과공정에는 완속여과와 급속여과가 있다.

완속여과는 모래층 등 여재를 통하여 원수를 완속(4~5m/일)의 속도로 통과시켜 원수에 있는 탁질을 제거한다. 또한 여재 표면에 증식된 미생물군에 의해 유기물질 등을 산화하고 분해시켜 제거한다.

급속여과는 원수 중 탁질을 약품(응집제)에 의해 플록화하고, 급속(120m/일 이상)의 속도로 여재에 여과하여 물을 정화하는 것을 말한다. 따라서 급속여과공정 전에 약품 주입공정이 반드시 필요하다. 약품 전처리 없이 급속여과를 실시하면 수중의 음전하를 띤 입자들이 음전하를 띤 여재 표면에 부착하지 못하고 여재의 하층부까지 침투하게 된다. 대용량 정수장에서는 주로 급속여과공정을 활용한다. 다음은 완속여과와 급속여과의 비교표이다.

[도표] 완속여과와 급속여과 비교

항 목	완속여과	급속여과
주 기능	여재(모래층)에 의한 물리적 여과작용 및 여재 표면에 증식된 미생물군에 의한 유기물질 등 산화 분해	여재(모래, 모래+안트라사이트 등)에 의한 물리적 여과작용
여과속도	4~5m/day	120~150m/day

자료 : K-water교육교재, 상수도 시설기준(2010) 내용 재구성

여과공정은 탁질 등 미세입자를 제거할 수 있는 최종단계이다. 따라서 여과공정에서는 정수 처리기준에 적합한 여과수를 얻을 수 있는 정화기능, 탁질을 역류하는 기능, 수질과 수량의 변동에 대한 완충기능, 충분한 역세척 기능을 갖추어야 한다. 플록이 작게 형성되면 침전공정 단계에서 침전수의 탁도가 좋지 않고, 여과공정에 부하가 발생하여 여과지속시간이 짧아지게 된다. 따라서 효율적인 여과를 위해서는 침전지 유출수의 탁도나 플록의 크기 등을 계속 측정하고 관찰하여 그 결과를 약품 주입, 응집·침전 작업에 반영하는 등 전처리 효과를 높여야 한다.

급속여과공정을 중심으로 여과지 구성을 살펴보도록 하겠다. 급속여과지는 여재, 하부집수장치, 역세척장치, 유량조절장치 등으로 구성된다.

하부집수장치는 여재를 지지하고 여과수를 집수(集水)하며, 역세척수를 균등하게 배분한다. 하부집수장치 기능 중 가장 중요한 것은 역세척 시 균등한 유량배분이다. 역세척을 할 때 유량의 분배가 균일하지 않으면 세척이 불충분한 부분이 발생하여 여층의 부분적 폐쇄가 서서히 발생할 수 있다.

여과가 진행되면 여과지의 공극에 이물질 등 탁질이 쌓이고, 이러한 상황이 일정 한도를 초과하여 지속되면 여층 내 부압이 형성되고, 수중에 용존되어 있던 공기가 여과층 내 기포로 유리(遊離)되어 여과사 공극을 메우게 된다. 이러한 여재 사이에 역류되어 있거나 부착되어 여과효율을 저해시키는 물질을 제거하는 공정을 **역세척**이라고 한다.

역세척은 여과지 하부로부터 물 또는 공기를 공급하여 소용돌이 등을 일으켜 여재 상호 간 충돌 등으로 여재에 부착되어 있는 탁질을 떨어뜨려 배출시키는 방식이다. 최근에는 물과 공기 역세척을 병행하는 추세이다.

4. 소독공정

소독공정은 소독제를 이용하여 병원성 미생물을 사멸시키는 것을 말한다. 다만, 소독은 수중의 병원균 등을 무해화하는 것이지 세균을 완전히 죽이는 멸균을 의미하지 않는다.

소독제로는 염소를 많이 사용한다. 염소는 소독효과가 우수하고, 가격이 저렴한 편이어서 대용량 정수장에서 주로 사용한다. 소독공정에서는 소독제의 농도뿐만 아니라, 소독제와 처리할 물의 접촉시간을 늘려주는 것이 중요하다. 이 두 값의 곱을 **소독능**이라 한다. 소독능을 높이기 위하여 소독제 농도를 높이고, 정수지 또는 배수지 규격을 늘리거나, 정수지의 수위를 적정하게 유지하는 것이 필요하다.

2

배출수처리공정

정수장은 「물환경보전법」에 따른 폐수배출시설이다.⁴⁸⁾ 따라서 폐수배출시설 허가를 받거나, 신고를 하고, 수질오염 방지시설을 설치하여야 한다. 또한, 배출수 처리 시에는 방류수 수질 기준 및 배출허용기준을 준수하여야 한다.

정수장에서 발생하는 폐수(배출수)는 주로 침전지에서 발생하는 슬러지와 여과지의 역세척 과정에서 발생하는 폐수이다. 배출수처리공정은 일반적으로 조정, 농축, 탈수, 건조, 처분(반출)의 과정으로 처리한다.

48) 역세척을 실시하는 1,000m³/일 이상의 수도사업시설은 폐수배출시설에 해당한다.

11. 고도정수처리



1 고도정수처리 일반

정수처리공정 시 제거해야 할 목표물질에는 입자성 물질과 용존성 물질이 있다. 입자성 물질인 탁질은 앞에서 살펴본 표준정수처리공정으로 제거할 수 있다. 하지만 유기물질이나 중금속 등 물속에 녹아 있는 상태로 존재하는 용존성 물질은 표준정수처리공정에서 효과적으로 제거되지 않는다. 이러한 오염물질의 효과적인 제거를 위해 사용하는 정수처리 방법이 고도 정수처리공정이다.

고도정수처리공정 방법에는 활성탄처리, 오존처리, 고도산화 및 생물처리 등이 있다. 막여과 공정도 넓은 의미에서는 고도정수처리에 속한다고 볼 수 있다. 최적의 고도정수처리공정을 선정하는 것은 고도정수처리 시설의 도입에서 매우 중요한 문제이다. 각 정수장에서 도입할 경우에 지역적인 특성에 대한 검토가 이루어져야 한다. 다음은 고도정수처리의 대상물질과 처리 가능한 공정이다.

[도표] 고도정수처리의 대상물질과 처리 가능한 공정

고도처리 대상물질	처리 가능한 고도처리공정
맛, 냄새	오존, 활성탄, 고도산화, 막
암모니아성 질소	생물처리 ⁴⁹⁾ , 막, 생물활성탄 ⁵⁰⁾
질산성 질소	이온교환, 막, 생물처리
황산이온	막, 이온교환
불소이온	역삼투막, 연수화 ⁵¹⁾
합성세제성분(ABS)	오존, 활성탄, 고도산화, 막, 생물처리
휘발성 유기물(VOCs)	탈기, 활성탄, 고도산화, 막
합성유기물(SOCs)	활성탄, 고도산화, 막
THM 생성능(THMFP)	오존, 활성탄, 고도산화, 막
중금속	이온교환 ⁵²⁾ , 연수화

자료 : 고도상수처리, 이성우, 2003. 요약인용

49) ‘생물처리’란 미생물의 유기물질 분해능력을 활용하여 수 처리하는 방법을 말한다.

50) ‘생물활성탄’이란 입상활성탄 표면에 미생물이 성장하여 유기물질을 분해할 수 있는 능력이 생긴 활성탄을 말한다.

51) ‘연수화’는 칼슘 등의 물의 경도를 제거하는 것을 말한다.

52) ‘이온교환’이란 제거하고자 하는 이온물질을 같은 전하를 띤 다른 이온으로 교체하는 것이다.

12. 수도수질관리



수도사업자인 K-water는 「수도법」 등 관련 법 등에 규정된 수질기준과 정수처리기준 등을 준수하여 수돗물을 생산하고, 공급하여야 한다. 수질과 관련된 법규에는 「수도법」, 「먹는물 관리법」, 「상수원관리규칙」, 「먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」, 「먹는물 수질감시 항목 운영 등에 관한 고시」, 「불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정」 등이 있다.

1 정수처리기준

정수처리기준은 수질관리측면에서 정수장운영기준이다. 정수처리는 바이러스·지아디아 포낭·크립토스포리디움 난포낭과 같이 소독내성이 강한 병원성 미생물을 제거하는 데 목표를 두고 있다. 정수처리를 통해 바이러스 99.99% 이상, 지아디아 포낭 99.9% 이상, 크립토스포리디움 난포낭 99% 이상을 제거하면 병원성 미생물로부터 안전성이 확보되었다고 할 수 있다. 일정 수준의 여과 탁도⁵³⁾를 달성하면 병원성 미생물의 일정 부분이 제거되며, 이를 제외한 병원성 미생물 등 나머지 부분을 소독공정에서 제거하면 된다.

2 수질검사

수질검사항목은 「수도법」, 「먹는물관리법」, 「먹는물 수질감시항목 운영 등에 관한 고시」 등에 따라 먹는 물의 안전성 확보를 위하여 지속적 감시가 필요한 일정 항목을 말한다.

안전한 수돗물을 공급하기 위하여 원수부터 수도관까지 공급 전과정에서 수질검사를 시행한다. 상수원수 수질검사는 「상수원관리규칙」의 ‘원수의 수질검사기준’에 따라 실시한다. 다음 [도표]는 하천수(복류수)의 검사항목 및 검사주기이다. 호소수의 경우는 하천수(복류수)와 검사항목 및 검사주기는 거의 일치하며, 매월 1회 이상 검사항목인 생물화학적 산소요구량 대신 화학적 산소요구량을 측정한다.

53) 매월 측정된 시료수의 95% 이상이 0.3NTU 이하이고 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0NTU 이하(15분 간격 측정)

[도표] 하천수(복류수) 상수원수 검사항목 및 검사주기

측정횟수	측 정 항 목	측정시기
매월 1회 이상 (6항목)	수소이온 농도, 생물화학적 산소 요구량, 부유물질량, 용존산소량, 대장균군 (총 대장균군, 분원성 대장균군)	매월
분기마다 1회 이상 (25항목)	카드뮴, 비소, 시안, 수은, 납, 6가크롬, 음이온 계면활성제, 유기인, 폴리크로리네 이티드비페닐, 불소, 셀레늄, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 카바릴, 1,1,1-트리 클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 페놀, 사염화 탄소, 1,2-디 클로로에탄, 디클로로메탄, 벤젠, 클로로포름, 디에틸헥실프탈레이트(DEHP), 안 티몬	3월 6월 9월 12월

자료 : 상수원 관리규칙, 재구성

정수장 수질검사는 「먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」에 따라 정수장에서 생산된 정수의 수질기준 준수여부를 확인하기 위해 주기적으로 실시한다. 다음은 정수장 수질 검사항목 및 검사주기이다.

[도표] 정수장 수질 검사항목 및 검사주기

구 분	측 정 항 목
매일 검사(6항목)	냄새, 맛, 색도, 탁도, 수소이온 농도, 잔류염소
매주 검사(8항목)	일반세균, 총대장균군, 대장균, 분원성 대장균군, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 과망간산칼륨 소비량, 증발잔류물
매월 검사 ⁵⁴⁾ (60항목)	미생물 4항목, 건강상 유해영양 무기물질 11항목(납, 불소 등), 건강상 유해영양 유기물질 17 항목(페놀, 다이아지논 등), 소독제 및 소독부산물 11항목(잔류염소, 총트리할로메탄 등), 심미적 영향물질 16항목(경도, 구리 등)

자료 : 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙, 재구성

수질검사는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 따른 먹는물 수질공정시험기준에 따라 실시한다. 정수장과 수도꼭지의 시료 채취는 가급적 동일 날짜에 실시하여 검사 결과의 연계성을 확보한다. 특히 잔류염소의 경우 체류시간 증가에 따라 측정농도가 변할 수 있으므로 반드시 현장 측정한다. 시료 채취 및 분석과정에서 오류가 발생할 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 확인실험 절차를 거쳐 수질 적합 여부를 결정한다.

54) 매월 검사 60항목 중 소독부산물(7항목은)은 분기별로 검사 가능하나, K-water는 매월 검사 실시한다.

급수과정별 시설에서의 수질검사는 지자체 해당사항이다. 대상지점은 정수장으로부터 물을 공급받는 주배수지를 기준으로 하여 급수구역별로 주배수지 전후, 급수구역 유입부, 급수구역 내 가압장 유출부, 광역 및 외부수수계통의 수수지점, 정수계통이 다른 계통과 합쳐지는 지점, 급수구역 관말 수도꼭지다.

수도관 수도꼭지에서 수질검사는 지자체 해당사항으로 국민이 직접 이용하는 수도꼭지 수질 이상 여부를 검사하기 위하여 실시한다. 「먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」에 근거하며, 수질검사 항목은 다음과 같다.

[도표] 수도관 노후지역 수도꼭지 수질 검사항목

미생물관련(4)	소독관련(1)	급수관 재질 관련(4)	하수유입 관련(2)
일반세균, 총대장균군, 대장균 또는 분원성 대장균군	잔류염소	철, 동, 아연, 망간	암모니아성 질소, 염소이온

자료 : 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙

먹는물 감시항목 조사는 먹는물 수질기준항목 이외에 안전성 확보를 위하여 함유 실태 조사 등의 감시가 필요한 항목에 대한 조사이며, 「먹는물 수질감시항목 운영 등에 관한 고시」에 따라 5만m³/일 이상의 정수장을 대상으로 실시한다. 조사항목은 상수원수(부식지수, 조류 독소) 및 정수(유해영향물질, 소독부산물, 미생물, 심미적 영향물질, 유해영향물질)이다.

3 배출수 수질관리

역세척을 실시하는 1,000m³/일 이상의 수도사업시설은 폐수배출시설에 해당된다. 따라서 「물환경보전법」에 따라 방류수 수질기준 및 배출허용기준을 준수하여야 한다.

방류수란 공공하수도에서 하천이나 그 밖의 공공수역 또는 해역으로 흘려 보내는 물을 말한다. 방류수 수질기준은 생물화학적 산소요구량, 화학적 산소요구량, 부유물질, 총질소, 총인, 총대장균군수, 생태독성 등 7항목이 있다. 배출허용기준은 폐수배출시설에서 배출되는 수질 오염물질의 허용기준을 말한다. 배출허용기준은 방류수 수질기준을 포함하는 총 52항목이다.

13. 수변사업 일반현황



1 단지개발 현황

수변사업은 자연상태(전·답·임야 등)의 미개발 토지를 손실보상 등을 통해 취득하여 사업목적에 부합한 토지이용계획을 수립하고 이에 맞는 기반시설공사(연약지반처리, 전기, 상·하수도, 도로 등)를 완료하여 조성된 토지를 수요자에게 공급하는 사업이다. K-water는 1973년부터 온산·구미·창원·여수·반월·시화 등의 국가산업단지와 안산·시화 등의 배후 주거단지 조성사업을 수행하였다. 2016년 12월 기준으로 K-water가 조성을 완료한 사업은 국가산업단지와 특수지역을 포함하여 약 181km²이다.

[도표] K-water가 조성한 산업단지 현황

구 분	계	국가산업단지				특수지역 개발	
		온산	창원	구미	여수	반월	시화
면적(km ²) (만평)	180.7 (5,466)	9.07 (274)	21.52 (651)	14.15 (428)	20.13 (608)	59.22 (1,791)	56.61 (1,712)
사업기간	1974~2013	1974~1999	1974~2002	1977~2010	1974~2013	1977~1993	1986~2010
준공년도	2014년	1999년	2002년	2011년	2014년	1993년	2010년
사업비(억원)	69,606	2,230	3,902	8,527	10,648	23,490	20,809
입주기업 수	19,663	123	1,399	815	109	7,060	10,157
주요 유치업종	-	금속 제련	기계, 공업	전자, 컴퓨터, 반도체	석유화학 연관산업	기계, 전자	기계, 전자

이와 함께 4대강 사업 이후 강 주변지역의 난개발을 방지하고 지속 가능한 발전을 도모하기 위하여 부산 에코델타시티·나주 노안·부여 규암지구 등 친수구역 조성사업을 시행하고 있다. 또한 정부의 그린뉴딜 정책에 부응하고 기후변화에 대응하고자 수열 에너지와 데이터가 어우러진 강원도 수열에너지 클러스터와 자연환경 및 기후탄력적 도시환경을 구축하기 위한 스마트 그린도시 조성사업을 상주시, 장수군, 장흥군 등 3개 지자체로부터 위탁받아 시행하고 있다.

K-water가 시행하고 있는 수변사업은 강, 하천, 호수 등 수변공간을 활용하여 개발하는 특징을 갖고 있다. 시화지구 개발사업인 시화MTV 및 송산그린시티의 경우 시화호 수변을 활용하여 주민들이 쉽게 물과 접근하도록 하는 수변공간을 조성하는 계획을 도입하여 사업을 진행하고 있다. 또한, 부산 에코델타시티의 경우에는 낙동강 수변공간을 주민들이 직접 접할 수 있도록 계획하고 있고, 강원도 수열에너지 클러스터는 소양강댐 심층수를 활용한 수열에너지 테스트베드로 조성될 예정이다.

[도표] K-water 수변사업 진행현황 (2021년 6월 기준)

사 업 명	사업기간	사업면적(천㎡)	총사업비(억원)	비 고
계		90,196	221,920	
반월특수지역 개발사업		65,624	124,833	
- 시화 멀티테크노밸리	'02~'23	9,980	36,021	첨단산업, 해양레저
- 송산 그린시티	'07~'30	55,644	88,812	관광레저, 생태주거
친수구역 조성사업		11,985	66,587	
- 부산 에코델타시티	'12~'23	11,770	66,051	친수공간 스마트 수변도시 첨단산업, 국제물류, R&D
- 나주 노안지구	'12~'21	105	287	문화·생태·전원 수변마을
- 부여 규암지구	'12~'21	110	249	문화·생태·관광 수변마을
국가산업단지 조성사업		11,802	27,460	
- 구미 확장단지	'08~'22	2,476	8,133	구미4단지 등 배후지원 기능
- 구미 하이테크밸리	'09~'22	9,326	19,327	전자·정보, 탄소산업 신소재
지역개발사업		785	3,040	
- 강원도 수열E 클러스터	'20~'27	785	3,040	데이터센터, 스마트팜

2 연혁

K-water는 수자원개발을 목적으로 1967년 ‘한국수자원개발공사’로 출발하였다. 이후 국가 경제개발계획의 일환으로 추진한 중화학공업 육성정책에 따른 산업단지 조성을 위해 1973년 ‘산업기지개발공사’로 개편되어 온산·구미·창원·여수·반월·시화 등의 국가산업단지와 안산·시화 등의 배후 주거단지 조성사업을 수행하였다.

1980년대에 들어서면서 정부의 공기업 정책의 변화로 1988년 ‘한국수자원공사’로 개편하면서 기존에 시행 중인 지역에 한정하여 수변사업을 시행하도록 사업범위가 제한되었다.

1997년 「기업활동 규제완화에 관한 특별조치법」이 개정되어 수변사업 시행범위에 대한 제한은 사실상 해제되었으나, 정부정책에 따라 기존 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 신규사업은 시행하지 않고 있다. 다만, 2010년 「친수구역 활용에 관한 특별법」이 제정되어 부산·나주·부여 등에서 친수구역 개발사업을 진행하고 있다. 최근에는 「지역개발 및 지원에 관한 법률」에 따라 지역개발사업에도 참여하고 있다.

3

수변사업의 미래방향

K-water는 지난 40여 년 동안 국가 경제성장을 견인할 수 있도록 대규모 국가산업단지와 배후 주거단지 개발을 주요 목적으로 수변사업을 시행해 오고 있다. 1990년대부터 지방공기업들이 택지개발사업에 참여할 수 있게 되어 공공택지개발에 공공기관들의 업무영역이 중복된다는 사회적인 분위기가 형성되었다. K-water는 관련 법률에 따라 신규 수변사업을 추진하는 데 제약은 없으나, 기존에 수행하던 지역에 한정하여 제한적으로 수변사업을 수행하고 있다. 따라서 타 공공기관들과 사업영역 중복을 최소화하면서 독자적인 수변사업 영역을 구축하고 있다.

2014년 정부는 주택보급률이 100%를 상회함에 따라 일시적으로 도시 외곽지역의 대규모 신규택지개발을 억제하고, 공급물량이 특정시기에 집중되지 않도록 조정하는 정책을 발표하면서 신도시와 같은 대규모 개발시스템을 민간주도의 소규모 개발시스템으로 전환하는 등 개발사업의 패러다임 변화를 시도하였다. 그러나 공공택지 공급 축소로 주택가격이 폭등하고 주거 양극화가 더욱 심화시키는 부작용을 초래함에 따라 정부는 다시 공공주도 공공주택 공급으로 정책을 변화시키면서 수도권에 양질의 저렴한 주택을 공급하기 위해 3기 신도시 건설을 추진하고 있다.

그동안 우리나라의 수변공간은 산업화 과정에서 오염되고, 격리된 공간으로 소홀히 다뤄져 왔다. 하지만 최근에는 수변공간의 활용성에 대한 시각이 점점 진화하고 있으며 미래에는 친환경성과 더불어 다양하고 복합화된 수요가 수변공간에 요구될 것이다. 따라서 앞으로는 사회·경제·문화적 환경이 집약된 수변공간(waterfront)으로서의 잠재적 가치를 인정하는 인식의 전환이 필요하다.

이러한 관점에서 볼 때, K-water는 댐과 호수, 강과 보, 그리고 항구와 운하, 시화호 등 많은 수변공간(waterfront) 자원을 활용할 필요가 있다. 대외적인 환경변화와 수변공간의 잠재적 가치를 고려하여 K-water의 수변사업도 물 전문기업으로서 축적된 경험을 바탕으로 수변공간에 4차산업, 탄소중립, 환경복원, 에너지자립을 융합시켜 차별화된 창의적인 공간으로 조성하는 노력을 하여야 한다.

이와 더불어 전 세계는 제4차 산업혁명 시대의 도래로 스마트시티로의 전환을 모색하고 있다. 스마트시티란 국가별로 조금씩 상이하나 공통적으로 기존 개별 컨트론타워에 의해 운영되는 기존 도시와 다르게 도시 전체가 하나의 플랫폼으로서 물리적 시설 및 공간에 대한 정보와 서비스, 데이터를 실시간 제공하는 도시라고 정의할 수 있다. K-water는 부산에코델타시티에 4차 산업혁명의 각종 첨단단기기술을 집약한 미래형 스마트시티 선도모델로서 시범도시를 조성하고 있고, 향후 수변사업은 스마트시티로의 전환이 가속화 될 전망이다.

4 단지개발사업의 종류

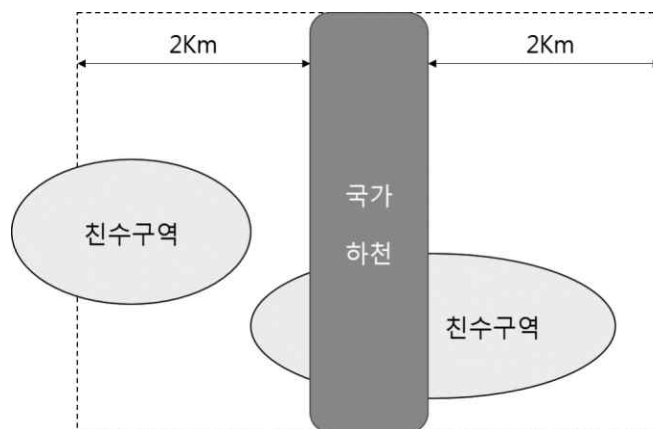
우리나라는 산업용지나 택지를 공급하기 위해 토지를 개발하는 경우에는 그 목적에 따라 다양한 법률이 적용된다. 대표적으로 쾌적한 도시환경을 조성하기 위한 「도시개발법」과 산업용지의 공급을 목적으로 하는 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 등이 있다.

이 외에도 대규모 택지를 공급하기 위한 「택지개발촉진법」과 외국인 투자유치를 위한 「경제자유 구역의 지정 및 운영에 관한 법률」, 국가 하천 주변지역의 체계적 이용과 개발을 위한 「친수구역 활용에 관한 특별법」, 지역개발 활성화를 위한 「지역 개발 및 지원에 관한 법률」 등이 있다.

K-water의 단지사업은 주로 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따라 시행하여 왔다. 단지사업은 사업형태로 보면 ‘국가산업단지사업’과 ‘특수지역 개발사업’으로 구분할 수 있으며, 최근 4대강 사업 이후 국가 하천의 지속 가능한 이용을 위해 「친수구역 활용에 관한 특별법」이 제정되며 ‘친수구역 조성사업’이 추가되었고, 현재는 지역의 다양한 개발 수요에 K-water만의 물 관련 기술을 결합한 ‘지역개발 사업’도 참여하고 있다.

특히, 친수구역 조성사업은 4대강 사업 등 국가하천의 정비·복원 등으로 친수여건이 형성되는 주변지역을 지속 가능한 친수공간으로 조성하는 사업이다. 친수구역은 국가하천의 경계로부터 양안 2km 이내의 지역을 50% 이상 포함하여 친수구역을 지정하여 개발할 수 있으며, 그 규모는 10만㎡ 이상을 원칙으로 한다. 낙후지역은 3만㎡까지 지정할 수 있고, 국가·지방자치단체·K-water·한국토지주택공사·지방공사가 시행할 수 있지만, 개발이익의 대부분은 하천유지보수 등의 하천정비에 재투자하기 위한 하천관리기금으로 환수할 수 있도록 하였다. 한편, 「친수구역 활용에 관한 특별법」은 2018년 폐지 권고를 받음으로써 신규사업은 중단된 상태이다. 다음은 친수구역의 개념도이다.

[도표] 친수구역 개념도



14. 신재생에너지 사업 일반



1

신재생에너지 사업현황

신재생에너지란 「신에너지 및 재생에너지 이용·개발·보급 촉진법」에 따라 신에너지와 재생에너지로 구분된다. 이 법에 따를 때 신에너지는 연료전지·석탄액화가스화·수소 에너지로 3개 분야이고, 재생에너지는 태양에너지·바이오매스·지열·폐기물 에너지·풍력·수력·해양에너지·수열로 총 8개 분야이다. 이 중 K-water는 수력, 해양에너지(조력)·풍력·태양광(육상 및 수상태양광)·수열 사업을 추진하고 있다.

2025년 12월 기준 K-water가 보유하고 있는 신재생에너지 설비는 1,448MW로, 국가 전체 설비(41,452MW)의 3.49%에 해당한다. 특히, 수력발전 설비는 1,093MW로 국가 전체 수력 설비(1,815MW)의 60%를 차지하고 있다.

2

신재생에너지 공급의무화 제도

신재생에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable energy Portfolio Standard)는 500MW 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 일정량의 신재생에너지 공급을 의무화하는 제도를 말한다. 공급의무자는 K-water, 한국전력공사 발전 자회사 등이 있다.

이 제도에 따르면 신재생에너지 공급의무자는 일정한 의무량을 할당받는데, 신재생에너지 공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate)를 정부에 제출하여 이러한 의무의 이행사실을 증명해야 한다. 공급인증서(REC)는 신재생에너지 생산을 통해 자체조달하거나 외부에서 구매할 수 있다.

의무공급량은 에너지원에 따른 구분은 없으나, K-water는 태양광에너지 의무공급량만 있어 자체 건설과 외부구매로 의무이행하고 있다. 비태양광 REC는 외부에 판매하여 수익을 달성하고 있다.

「전기사업법」에 따라 발전사업을 하기 위해서는 기후에너지환경부장관으로부터 전기사업 허가를 받아야 한다.

허가를 받게 되면 전기설비 공사계획을 신고한 후 설비를 건설하고, 검사를 거쳐 상업운전을 개시한다. 최종적으로 발전사업 개시 신고 후 전력시장에 공급한다. 발전사업 추진 시 관련 법령에 따라 인·허가를 받아야 한다.

15. 에너지원별 개발 및 관리



1 소수력

소수력(Small hydro power)이란 소규모의 수력발전을 의미하는데, 통상 10,000kW 이하의 경우 소수력이라고 한다. 소수력발전은 대수력에 비해 침투부하에 대한 기여도가 적고, 초기 투자 부담이 크다는 단점이 있다. 반면, 건설기간이 비교적 짧고, 환경훼손을 최소화할 수 있으며, 상시 발전이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 선진국에서도 활발하게 개발사업을 진행하고 있다. 다음은 개괄적인 소수력발전의 시스템이다.

[도표] 소수력발전시스템 개요



소수력은 기존시설물의 이용 여부에 따라 일반 하천을 이용한 소수력과 기존시설물을 이용한 소수력으로 구분할 수 있다. 일반 하천을 이용하는 경우는 설비용량은 큰 편이나 물의 운반, 저장 등에 소요되는 건설비용이 많아 이용률은 적은 편이며, 수로식·댐식·댐수로식이 있다. 기존시설물을 이용하는 경우 토목공사비가 저렴하고 유황이 안정적이며 유지관리가 용이하여 최근 경제성이 높은 분야로 각광 받고 있다.

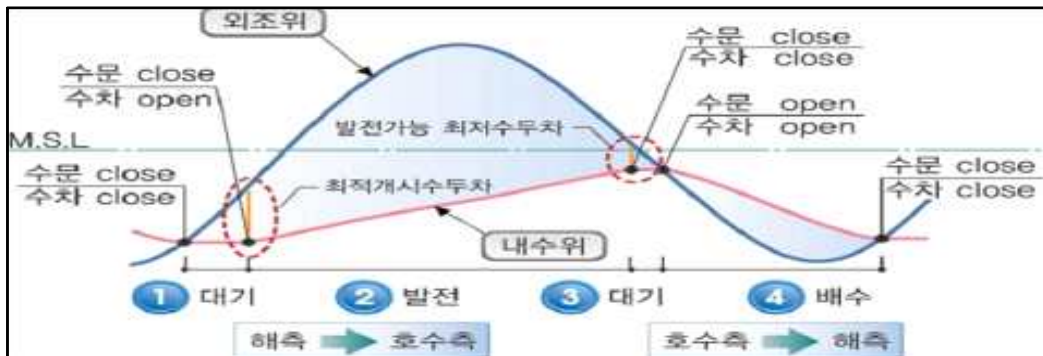
2 조력

조력발전은 밀물과 썰물 때 발생하는 수위 차(조석간만의 차)가 큰 하구나 만에 방조제(둑)를 막아 호수를 만들어 바다와 호수의 수위차를 이용하여 전기를 생산하는 발전 방식이다. 조력발전은 조석현상을 이용한 발전이므로 무한한 에너지를 활용한 전기 생산이 가능하며, 조석현상으로 인해 변화하는 해면의 높이를 예측할 수 있어 예상시간에 예정된 양의 전기 생산이 가능하다는 특징이 있다.

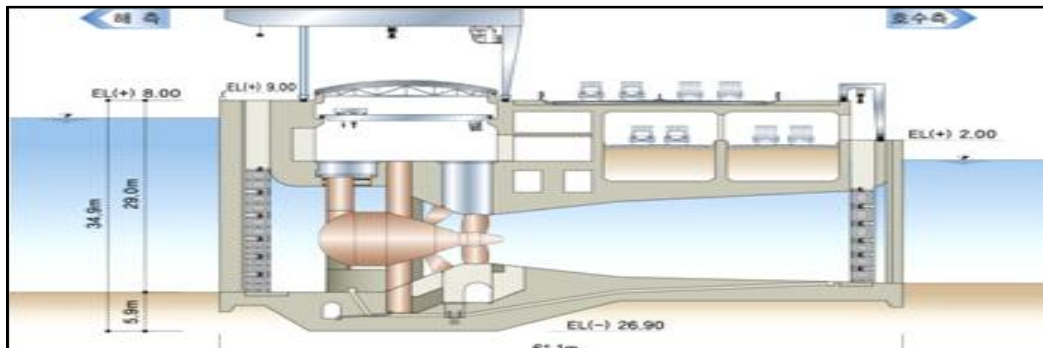
조력발전은 한쪽으로만 발전하는 **단류식**과 양쪽으로 발전하는 **복류식**이 있다. 단류식은 다시 창조식과 낙조식으로 나눌 수 있다. **창조식 발전**은 밀물이 되었을 때 높아진 바다와 호수의 수위차를 이용하여 바닷물을 유입시켜 전기를 생산하고, 썰물 때 낮아진 바다로 호수의 물을 내보내는 발전방식이다. 반면에 **낙조식 발전**은 밀물 때 호수를 채운 후, 썰물 때 호수와 외해의 수위차를 이용하여 발전하는 방식이다.

시화호 조력발전은 호수 측 관리 수위가 높지 않기 때문에 낙차가 확보되기 어려워 단류식 창조발전을 채택하여 발전하고 있다. 다음은 단류식 창조발전의 원리이다.

[그림] 조석변화에 따른 조력발전 운영 방법



[그림] 조력발전 운영 단면도



3

풍력

풍력발전기는 바람의 운동에너지를 기계적 운동을 거쳐서 전기에너지로 변환하는 장치이다.

풍력발전기는 바람을 받아들이는 로터, 축회전을 제동하기 위한 기계-전기적 브레이크, 저속의 로터블레이드 회전을 고속으로 증가시키는 증속기, 전단축(고속축), 전기를 발생시키는 발전기로 구성된다. 풍력발전은 로터가 바람을 받아 회전하면 주축, 증속기 등을 거쳐 회전력이 발전기에 전달되어 전기를 생산하는 원리이다.

풍력발전과 관련하여 세계 기술은 변화하고 있다. 풍력터빈 크기가 증대되고 있고, 적용기술의 다변화로 모델의 다양화, 영구자석 발전기의 채택, 새로운 개념의 발전기 개발 등 다양한 시도가 진행되고 있다. 또한, 단지화와 해상 풍력으로의 전환을 보이고 있다. 대형 단지화의 추세는 타 에너지원과 비교하여 발전단가의 경쟁력 확보 면에서 필수적이다. 또한, 유럽의 육상 풍력단지의 포화에 따른 건설부지 부족현상과 소음, 조망권 침해 문제로 인해 풍력단지가 육상에서 해상으로 전환되고 있다.

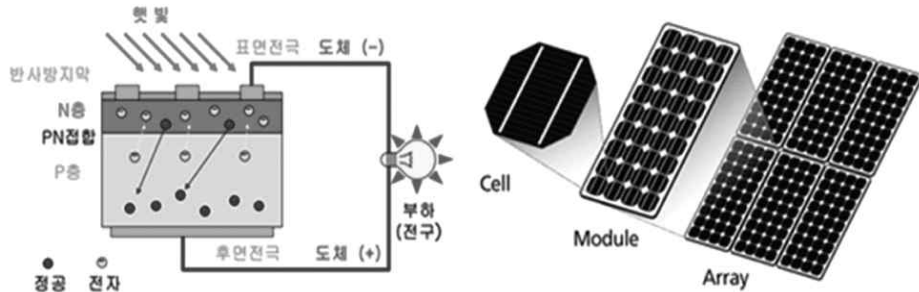
풍력발전기의 회전축 방향에 따라 분류하면 수평축과 수직축으로 크게 구분한다. 바람이 불어오는 방향에 대하여 로터의 회전축 방향이 평행하게 설치되면 수평축 풍력발전기(horizontal axis wind turbine), 수직하게 설치되면 수직축 풍력발전기(vertical axis wind turbine)이다. 또한, 로터 블레이드의 회전수에 따라 분류하면 정속운전과 가변속 운전 방식으로 구분된다. 정속운전(fixed rotor speed)방식은 풍속에 관계없이 로터의 회전속도가 일정하며, 가변속운전(variable rotor speed)방식은 풍속의 변화에 대하여 로터의 회전속도를 연속적으로 받아들인다.

4

태양광

태양광은 태양으로부터 얻은 빛을 에너지로 활용하는 방식이다. 태양전지는 태양광선의 빛 에너지를 전기에너지로 바꾸는 장치이다. 대표적인 태양전지인 실리콘 태양전지의 경우 실리콘에 붕소를 첨가한 P형 반도체와 인을 첨가한 N형 반도체로 구성되어 있다. 빛을 비추면 반도체 내 전자가 자유로이 이동하는 상태가 되어 P형과 N형에 전위차가 생기게 되는 원리를 이용한 것이다.

[도표] 태양광 발전원리



실리콘계 결정질 태양광모듈은 일사량이 낮을수록 전지에서 발생하는 전압과 전류 값이 줄어들어 출력이 줄어든다. 또한, 주변온도가 높을수록 전류는 약간 증가하지만, 전압은 보다 크게 감소하여 출력은 줄어든다.

태양광발전시스템은 태양전지(CELL)를 여러 개 연결한 모듈, 모듈을 연결한 어레이, 모듈을 케이블로 연결한 접속함, 직류를 교류로 변환하는 인버터, 계통연계를 위한 시스템 등으로 구성된다.

K-water에서는 육상태양광 뿐만아니라 수상태양광을 개발·운영관리 하고 있다.

수상태양광은 태양광의 발전원리와 댐 수면위의 냉각효과 등을 이용하여 높은 발전 효율을 얻을 수 있으며, 산림훼손 없이 댐 수면을 활용하기 때문에 산지에 설치되는 태양광을 대체할 수 있는 친환경 신재생에너지발전설비로 조명받고 있다.

또한, 수상태양광을 지역주민 참여형 사업모델로 발전시킴으로써 지역주민과 이익을 공유하는 등 물의 새로운 가치를 창출하고 있다.

5 수열에너지

1. 수열에너지의 원리

수열에너지는 수온과 대기의 온도차를 이용하여 에너지를 생산하는 것을 말한다. 즉, 하천수, 댐 호소수, 해수 등 물이 보유하고 있는 열을 열펌프를 통해 에너지로 변환시키는 원리이며, 건축물의 냉난방에 주로 이용한다.

수열에너지는 자연적으로 재생되는 에너지원으로, 열에너지 생산 시 전력 절감을 통해 온실가스를 감축할 수 있다. 그리고 하천수 등을 활용하므로, 연중 안정적으로 에너지를 공급할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기존 냉난방 시 필요한 냉각탑 사용에 따른 소음, 진동, 냉각수 오염 등이 발생하지 않는다.

2. 열펌프

수열에너지는 물이 보유하고 있는 열을 열펌프(heat pump)를 이용해 에너지를 생산하는 원리이므로, 구성기기 중에서 열펌프의 역할이 중요하다. 열펌프는 열을 저온에서 고온으로 끌어올리는 역할을 하는 기기이다.

열은 항상 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동을 한다.⁵⁵⁾ 그리고 펌프는 물(유체)을 낮은 곳에서 높은 곳으로 끌어올리는 기계이다. 즉, 열펌프란 열을 저온에서 고온으로 끌어올리는 역할을 한다. 열펌프는 화재나 폭발의 우려가 없이 안전성이 높고, 설치공간이 작고, 원격제어·감시가 용이하다는 장점이 있다. 열펌프의 기본동작은 냉매를 증발, 압축, 응축, 팽창, 증발하는 과정을 반복하는 것이다.

55) 열역학 제2법칙

16. 환경영향평가



1 환경영향평가 체계

환경영향평가는 사업계획을 수립할 때 환경에 미칠 영향을 종합적으로 예측하고 분석하여 환경보전방안 등을 마련하고, 이를 통하여 친환경적이고 지속가능한 발전을 도모하기 위한 제도로서 「환경영향평가법」에 따라 시행한다.

「환경영향평가법」에서는 전략환경영향평가, 소규모 환경영향평가, 환경영향평가를 묶어 ‘환경영향평가 등’으로 정의하고 있다. 준공 후에 시행하는 사후환경영향조사 역시 넓은 의미에서 환경영향평가에 포함된다.

전략환경영향평가는 사업의 계획단계에서, 환경영향평가 및 소규모 환경영향평가는 사업의 설계 단계에서 이루어진다. 전략환경영향평가의 주 내용은 계획의 적정성과 입지의 타당성 등의 검토이며, 환경영향평가 및 소규모 환경영향평가의 주 내용은 해당 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 환경보전방안을 마련하는 것이다.

모든 개발사업은 사업규모 결정 등 대략적인 설계가 이루어지기 때문에 초기에 수립하는 전략환경영향평가에 따라 후속 개발사업의 환경영향평가의 주요 항목도 결정된다고 볼 수 있다.

[도표] 환경영향평가 주요항목 및 평가내용

평가분야	평가항목	주요 평가내용
자연환경	기상	기온, 일조시간 등 기상변화 예측 및 대책
	지형·지질	지형변화, 토지·사면의 안정성, 지반침하 여부
	동·식물상	동·식물상의 변화, 주요 동·식물 서식지·자생지 훼손 등
	해양환경	해양수질 오염도, 해저지형 및 수심 변화
	수리·수문	수량변화 및 급수계획, 유지용수량, 유출계수 변화
생활환경	토지이용	주변 토지이용 상황을 고려한 입지분석, 완충녹지 설치계획
	대기질	배출원별 오염물질 저감방안, 연료사용계획, 비산먼지 저감대책 등
	수질	오·폐수 처리계획, 용수공급계획, 하천 및 지하수 오염방지대책 등
	토양	오염물질에 의한 토양오염 발생 및 방지대책
	폐기물	쓰레기 발생량 예측 및 처리대책, 폐기물처리시설의 입지 검토
사회·경제 환경	소음·진동	소음·진동발생원 및 완충녹지, 방음벽 등 저감대책
	인구	인구밀집에 따른 환경영향 및 대책
	산업	산업구조변화, 피해예측 및 대책
	공공시설	공공시설의 분포·규모 등 수용용량 분석 및 대책
	교통	교통량 변화, 교통량·차선용량 등 분석 및 대책
	문화재	문화재에 미치는 영향 및 보호대책