

# 4대강 살리기 사업과 홍수기 댐 운영



황 필 선 |

K-water 물관리센터 실장  
jesus@kwater.or.kr



차 기 옥 |

K-water 물관리센터 한강권물관리팀장  
cku@kwater.or.kr



허 영 택 |

K-water 물관리센터 선임연구원  
korcivil@hanmail.net

고서에도 제기되었듯이 기후변화는 현재 진행 중이며 미래에도 지속될 것이라고 확신하는 단계에 와 있으며 우리나라의 경우에도 연 강수량 증가와 변동 폭이 확대되고 호우일수의 증가, 강수량의 계절적 편차가 심화되고 있다. 이러한 기본적 인식에서 정부에서는 가뭄과 홍수 등 물 관련 재해에 대한 근원적 대책을 마련하기 위해 물 문제 해결은 물론 강 중심으로 국토를 재창조하는 4대강 살리기 사업을 시행하고 있다. 이러한 때에 금년 여름철에는 태풍 등으로 인한 강수량 증가가 전망되어 대규모 하천공사로 인한 홍수재해 위험, 하천단면 변화에 따른 홍수분석의 어려움 및 댐 수문방류로 인한 홍수 가중 우려로 댐의 정상적 운영이 쉽지 않을 것이라는 관련 뉴스들이 이슈가 되고 있다.

K-water에서는 안정적 수자원확보, 홍수재해 방지, 수질관리 등의 요구가 더욱 증가하고 있는 최근의 사회적 요구를 충족시키기 위해 물 관리 기술 및 시설을 지속적으로 개발·관리하고 있다. 우선, 구조적 방안으로 자연적 여건을 극복하고 한층 더 나아가 자연에서 얻을 수 있는 이익을 극대화하여 공익증진을 위해 전국에 16개의 다목적댐과 14개의 용수전용댐, 금년부터 본격적으로 운영되는 군남댐을 포함한 2개의 홍수조절댐 등 전체 32개 수자원 시설물을 운영 중에 있다. 비구조적 방안으로는 전국 댐의 이·치수 통합운영관리, GPS 등 각종 IT 기술을 접목한 댐 상류 수질 오염원 관리, 인공위성

## 1. 도입

우리나라는 강수량의 계절적 편차가 크고 전 국토의 약 65%가 산악지형으로 하천경사가 급하고 길이가 짧아 홍수가 일시에 유출되어 물 관련 재해에 취약한 여건을 가지고 있다. 이러한 자연환경을 극복하기 위해 정부에서는 수자원시설물 건설 및 효율적 운영을 통하여 홍수나 가뭄과 같은 재해에 대응하기 위해 지속적으로 노력해 왔다. 그렇지만 최근 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널) 제4차 평가보

을 이용한 댐 유역 우량·수위자료 수집 등 댐 운영 관리에 첨단기술을 도입하여 운영 중에 있다. 또한 기상청과 긴밀한 공조체제를 구축하고 이를 기반으로 공기업 최초로 슈퍼컴퓨터를 도입하여 금년부터 홍수조절 및 안정적인 용수공급을 위한 맞춤형 댐 유역 상세 강우예보 체계를 갖추는 등 관련 분야에 대한 연구개발도 지속적으로 진행 중이다.

여기서는 K-water의 홍수기 댐 운영과 관련된 기본적 업무를 간략하게 소개하고, 금년도 홍수관리 변화요소를 파악하여 그에 대한 체계적인 대응 전략 수립 및 추진전략에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 홍수기 댐 운영절차 및 방법

우리나라에서 전국 다목적댐 홍수조절은 하류 하천의 홍수량 및 홍수도달시간에 큰 영향을 미친다. 따라서 다목적댐의 효과적인 홍수조절을 위해서는 댐 상·하류를 연계한 댐 간, 댐-하천간의 시스템화 된 관리가 댐 관리자 입장에서 필요하게 된다. 이를 위해 K-water는 전문화된 조직으로 물관리센터(Water Resources Operations Center)를 운영하고 있으며 댐을 중심으로 한 대유역차원의 홍수분석업무에 대해 다년간의 경험을 근간으로 댐 운영 및 관리를 위한 7개의 안정화된 시스템 및 기술을 확보하고 있다.(그림 1)

홍수관리의 일반적인 절차는 그림 2에서와 같이 강우예보, 홍수분석, 댐 방류시기 결정 및 승인, 방류시행 및 효과분석 등이 있다. 강우예보는 국내외

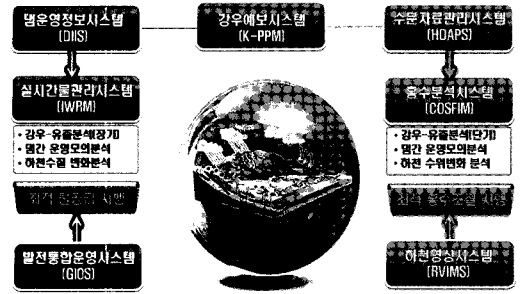


그림 1. 댐 운영 시스템 현황

기상전문기관으로부터 실시간 기상자료를 취득하고 수치예보를 기반으로 댐 유역에 대한 강우예측을 시행하고 있다. 실시간 수집된 수문자료를 토대로 저수지 홍수분석 및 하도추적을 거쳐 댐 방류규모와 시기를 결정하고 하천법에 의거 홍수통제소의 승인과정을 통한 수문방류가 시행된다. 마지막으로 승인된 방류를 실시한 후에는 댐의 홍수조절로 인한 홍수피해 경감효과 등 사후 분석을 실시한다.

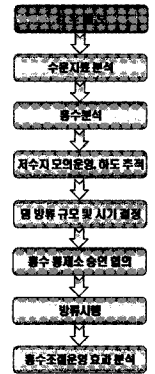


그림 2. 홍수조절절차

### 2.1 강우예보

홍수분석모형의 입력 자료인 기상관측자료를 바탕으로 예측 강우량 산정을 위하여 K-water는 자체 기상예보를 위한 전문 기상예보관을 확보하고 있다. 기상예보관은 그림 3과 같이 기상청, 일본기상청, 미국국립환경예측센터(NCEP), 유럽중기예

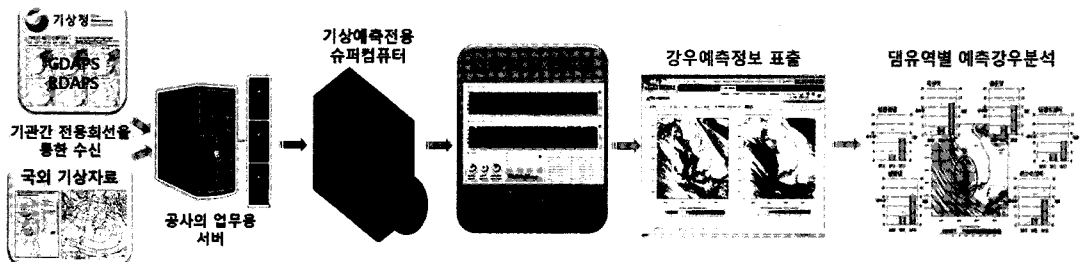


그림 3. 기상자료 분석을 통한 강우예보

보센터(ECMWF) 등 국내외 기상현업기관으로부터 수신된 여러 기상관측자료와 수치예보자료를 분석하는 객관예보과정과 예보관의 주관분석과 경험을 바탕으로 주관예보과정을 거쳐 최종적인 댐 유역 강우예보를 생산하고 있다. 최근에는 자체 수치예보시스템(K-PPM : K-water Precipitation Prediction Model)을 구축하여 상세 지형 등 댐 유역에 최적화된 수치예보모형을 운영 중에 있으며, 특히 4대강 살리기 사업 지원을 위하여 기존의 댐 유역 외에 보 지점과 건설 중인 댐 유역 등에 대한 강우예보지원도 시행중이다. 이러한 강우예측정보는 홍수기 중에는 1일 2회, 홍수상황이 발생하여 기상상황이 급변하는 경우에는 수시로 댐 유역에 대한 자체예보를 생산하여 홍수기 댐 운영에 활용하고 있다.

## 2.2 수문자료관리

K-water는 2010년 1월 기준으로 표 1과 같이 댐 유역에 설치·운영되고 있는 371개의 수문관측 시설로부터 총 555개의 관측 자료를 관리하고 있고, IT 기술을 활용한 최적 수문관측시스템과 강우레이더 관측 자료를 연계하여 시공간적 강우량 자료 및 광범위한 지역의 수문학적 자료를 실시간으

로 제공하고 있다. 또한 유관기관에서 운영 중인 관측시설로부터 실시간 수문자료를 확보 및 활용하고 있으며, 특히 남북접경지역(북한강 평화의댐, 임진강 군남댐 상·하류)에 대해서는 실시간 하천수위 모니터링 및 자동위기경보시스템을 운영 하고 한강홍수통계소, 지자체, 군부대, 소방방재청과 연결하여 재난대응에 활용하고 있다.

다목적댐 관리에 활용되는 강우 및 수위관측 자료와 댐 운영관련 모든 자료는 그림 4와 같이 인공위성을 통해 전송되어 서버에 저장되고 실시간 수문자료 관리시스템으로 관리되고 있다.

## 2.3 홍수분석 시스템

K-water는 전국 16개 다목적댐과 14개 용수댐 및 2개 홍수조절댐의 홍수조절 의사결정을 위해 그림 5와 같이 홍수분석과 하도추적을 실시하고 그 분석결과를 이용하여 홍수조절 방류 의사결정을 진행한다. 홍수분석모형은 저류함수식에 기반을 둔 소유역별 유출해석을 수행하고 소유역 유출성분을 하도망과 연계하여 최종적으로 홍수량을 해석한다. 유역유출은 기존의 저류함수법에서 활용되는 손실면적 방법과 SCS-CN값을 통하여 유효우량을 산정하고 저류함수식을 통해 유출량을

표 1. K-water 수문관측국 세부내역

관측 자료별 현황						관측국									
계	우량	수위	경보	수질	AWS	계	우량	수위	우량 수위	수위 수질	수질	수위 경보	우량 수위 수질	우량 수위 경보	AWS
555	171	163	135	55	31	371	141	107	26	11	41	10	3	1	31

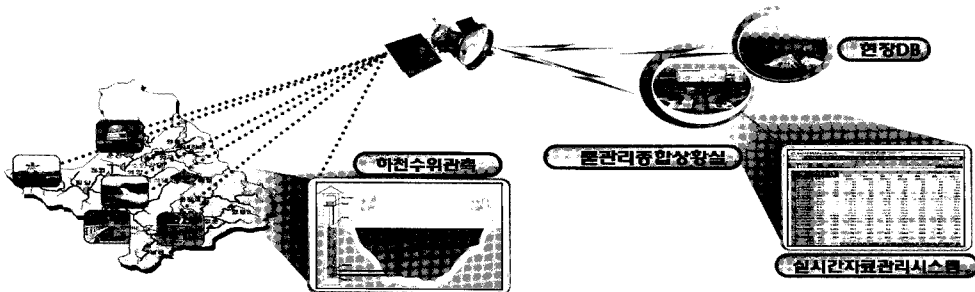


그림 4. 실시간 수문자료 관리시스템

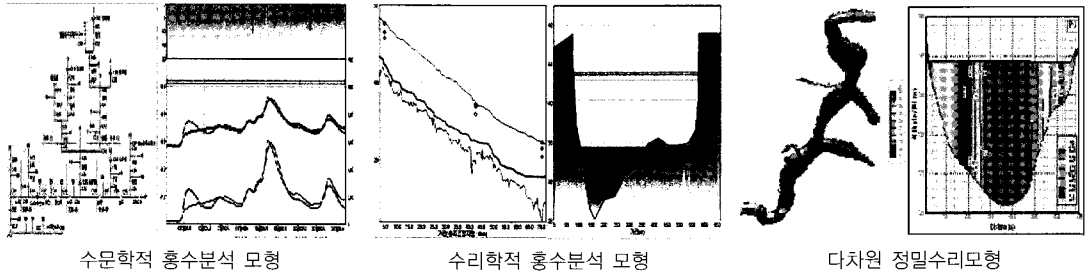


그림 5. 홍수분석 시스템

계산하는 방법을 선택적으로 적용하고 있으며, 하도 추적은 저류 함수식, Muskingum, Muskingum-Cunge 등 다양한 방법을 선택적으로 적용하도록 구성되어 있다. 또한 댐 직하류에서 하구부까지 하천 전구간의 수위와 유량을 실시간으로 분석할 수 있도록 FLDWAV모형을 이용하여 활용하고 있다. 최근에는 보다 정확한 홍수분석 및 조절을 위해 댐 간 홍수조절연계운영시스템을 구축하여 활용하고 있고 향후 다양하고 정밀한 분석을 위해 분포형 강우-유출모형과 다차원모형(EFDC)을 이용한 분석기능 추가 등 지속적으로 시스템을 개선·보완하고 있다.

### 2.4 댐 방류규모 결정

홍수수문분석을 통한 홍수조절을 위한 방류량의 의사결정은 그림 6과 같이 방류규모별로 단계적으로 검토 후 시행하고 있으며 구체적인 방법은 다음과 같다. 첫째, 하천 제어지점의 홍수조절 제약유량을 설정하는데, 이는 과거의 홍수조절 실적이나 하천

정비기본계획상의 설계홍수량에 대한 제방설계 제약사항을 반영하여 설정한다. 둘째, 제어지점의 홍수조절 여유량을 산정한다. 여유량은 조절점 상류의 홍수조절 가능 댐들이 홍수조절방류를 하지 않는다는 가정 아래 댐 유역 이외의 잔여유역에서 유출되는 자연유량 값을 조절점 제약 유량에서 차감하여 산정한다. 셋째, 홍수조절댐들에 대한 홍수조절 여유량을 배분한다. 배분방법은 홍수조절 시점에 상류댐들의 저류 가능 능력을 고려한 등가 저수지 개념을 적용하여 저류가능 능력이 부족한 댐에 우선적으로 홍수조절 여유량을 배분한다. 넷째, 댐별 배분된 홍수조절 여유량에 대한 자체 홍수조절 계획을 반영한다. 댐의 설계 및 운영제원을(홍수조절을, 수위대 방류능력, 초기 수문방류 개시 유량 및 저수위 등) 고려한 시간별 수문 및 발전방류량을 산정하되, 여기에는 하루 조절점의 침투유량을 최소화 하는 관점에서 반복 계산에 의한 최적 홍수조절 계획을 수립한다.

아울러, 홍수조절 의사결정을 위해 K-water는 댐관리단과 연계하여 매년 홍수기 전 댐별 홍수조

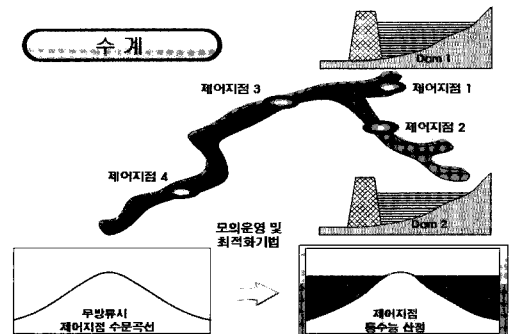
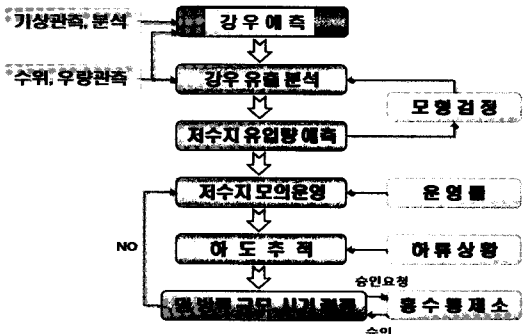


그림 6. 홍수조절 의사결정 과정

절 유의사항 조사를 실시하고 있다. 또한 수문방류에 따른 하류 상황을 보다 현실적으로 파악하고 보여주기 위해 침수범람 예측시스템을 개발하여 운영 중에 있다.

### 2.5 홍수조절효과 분석

다목적댐의 홍수조절효과는 댐의 홍수조절에 대한 적정성 평가와 하류 홍수조절에 대한 평가로 구분하여 수행되고 있다. 댐의 홍수조절 평가대상은 예비방류와 홍수조절방류로 구분할 수 있는데, 예비방류는 그 시기와 양에 대하여 댐의 홍수조절 영향을 평가하고, 홍수조절 방류시에는 조절율, 저류량, 저수공간 활용량 및 방류율에 대한 평가지수를 표 2와 같이 활용하고 있다.

하류 홍수조절 평가대상으로는 침투홍수량의 감소효과, 주요지점의 수위저하효과를 산정하고 수위저하에 따른 수위-홍수피해액 곡선으로부터 홍수조절전후의 피해저감액을 효과로 계량화하고 있으며, 하류지점의 침수피해가 발생하는 침수 단축시간에 대해서도 고려한다. 그림 7은 한강수계에 발생한 홍수량을 기준으로 분석한 홍수조절효과를 검토

표 2. 홍수조절방류시의 댐의 역할 평가항목

평가항목	산정과정	비고
조절율(%)	(침투홍수량 - 침투방류량)/침투유입량	
저류량(백만 m³)	총유입량 - 총저류량	
저수공간 활용량 (백만 m³)	최고저수량 - 최저저수량	
방류율(%)	총방류량/총유입량	

토한 결과이다.

### 3. 4대강 관련 홍수기 댐 운영

4대강살리기사업은 범 정부차원의 물 문제 해결은 물론 강(江) 중심의 녹색국토를 재창조하는 종합 프로젝트로서 사업추진에 따라 물 관리 측면에서 과거와는 다른 다양한 변화가 발생하고 있다. 이에 K-water에서는 사전 홍수관리체계의 완비가 절대적으로 요구되고 있는 시점에서 금년도 홍수관리 변화요소를 사전에 파악하고, 이에 대처 가능한 전략을 마련하여 집중적으로 추진하고 있다.

#### 3.1 변화 요소

금년도 4대강 살리기 사업과 관련한 홍수관리 변화요소를 기상, 하천, 홍수관리 그리고 대응체계 등 4개의 부분으로 나눠 검토하였다. 첫째, 신규댐 및 보 건설 지점 등을 대상으로 충분한 강우예보 선행시간 확보 및 예측자료의 신뢰도 향상이 절대적으로 필요하다. 둘째, 하천단면의 물리적 환경변화로 홍수분석 신뢰도가 저하되어 변화된 환경을 고려한 신속한 수위-유량 곡선식의 개선이 필요하다. 셋째, 표 3과 같이 댐 하류 하천에 16개 보 공사를 포함하여 전체 170여 개소에서 하천공사가 시행되고 있어 홍수관리 요소가 증가하였다. 넷째, 금년도 발생 가능한 홍수에 대해 각종 변화요소를

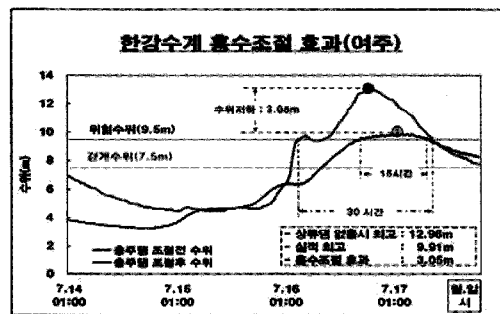
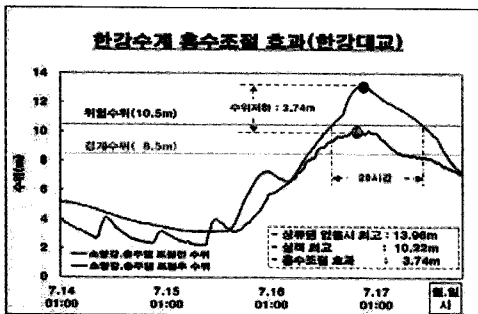


그림 7. 한강수계 홍수조절 효과분석 자료

표 3. 수계별 4대강살리기 사업현황

구분	계	한강	낙동강	금강	영산강	섬진강
하천정비	170	27	92	28	17	6
보 건설	16	3	8	3	2	-

고려하여 최악의 상황을 가정한 대응체제 정비가 필요하다. 특히 사업기간이 단기간에 집중되고 하천공사 특성상 홍수기 풍수해 방지를 위해 상기의 변화요소에 대한 신속한 개선 대책 마련이 요구되고 있다.

### 3.2 홍수기 대응전략

#### 3.2.1 물관리 강우예보시스템(K-PPM) 강화

K-water는 작년 자체 강우예보체제 강화를 위하여 슈퍼컴 기반의 5개 양상별 강우예측모형을 구축·운영중(K-PPM)에 있다. K-PPM은 전국을 3km×3km 격자로 나누어 댐 유역의 상세 지형 등 물리적 환경에 최적화된 72시간 정량적인 강우예측정보를 생산한다. 올해 2월부터는 전국 댐유역 및 보지점, 건설현장 등을 중심으로 57개 구역의 강우예보를 시행 중이다. 향후에는 K-PPM의 성능검증을 통하여 GTS, AWS, 위성, 레이더 등 관측 자료의 동화기법 적용을 통한 모형 신뢰도 개선과 72시간 이상의 강우예측시간 확대 등을 계획 중이다. 이와 함께 단시간에 성장하여 소멸하는 돌발성 국지강수의 예측을 위한 초단기 예보 개발 및 도입을 추진하여 물관리 강우예보시스템 강화에 노력하고 있다.

#### 3.2.2 수계별 댐군 홍수조절 연계운영 시스템 개선

변화된 물관리상황에 대처하기 위하여 기존의 4대강 수계에 구축되어 있는 홍수분석시스템을 영산강 유역을 포함 5대강 수계로 확장하고, 보 건설현장과 주요 지류하천 및 6개의 신규댐(군남 홍수조절지, 한탄강 홍수조절지댐, 영주댐, 성덕댐, 군위댐, 부항댐)을 고려하여 유역과 하도를 추가 구축하는 등 홍수분석지점을 기존 124개소에서 164개소로 40개소 확대하였다. 강우유출모형의 정확도를 향상시키기 위해 강우예보시스템과 자동 연계하여 보다 신뢰도가 높은 홍수분석이 가능하도록 개선하였고, 수위-유량 곡선식의 정확도 향상을 위하여 수시로 현장과 연계하여 자료를 수집하고 유량조사사업단의 성과를 이용하여 검·보정을 수행하였다. 하도추적모형은 댐 하류하천을 대상으로 '10년 6월까지의 4대강 살리기 공사계획 단면과 수리시설물을 반영하여 개선하였고 사업추진 일정에 따라 지속적인 모형개선을 수행하고 있다.

#### 3.2.3 365일 24시간 상시 물감시 및 예경보 체계 운영

16개 보 실시간수문자료관리 및 비상대응체제 유지를 위하여 K-water는 365일 24시간 상시 물감시 시스템을 구축·운영하고 있다. 보와 상류 2개 보조수위표 지점의 강우, 수위, 유량 정보에 대한 실시간 표출 및 자동 알람기능을 구축하고 보조수위표 수위별 위기단계를 4단계로 설정(관심, 주의, 경계, 심각)하여 웹메일, SMS, MMS를 통한



그림 8. 홍수대비 종합모의훈련

경보자동통보체계와 16개 보 현장 실시간 하천영상 표출을 위한 시스템을 구축하였다. 4대강 사업공사 현장 재난예방과 공정관리 지원을 위해 보 및 하천 정비 공사현장에 대하여 강우예보자료는 운영 중인 댐 및 보 건설 지점을 중심으로 하고, 하천수위-유량은 유역특성 및 수위관측소를 고려하여 기상·수문예측·댐방류 정보알림을 시행하고 있다. 아울러 발생 가능한 홍수재해 최소화를 위해 홍수기전 3차레에 걸쳐 보 건설현장 단계별 임무 숙지 및 연락체계 점검, 댐과 보 건설현장을 연계한 위기대응 능력 평가 등 종합모의훈련 수행으로 개선된 홍수분석모형 활용능력 향상과 댐-보 홍수예경보 전달체계를 속달하도록 하였다.(그림 8)

### 3.2.4 홍수기 댐운영계획 수립 및 시행

금년도 홍수기 댐운영은 강우 및 수문상황에 따라 댐운영 기준수위를 토대로 수계별 댐별 특성에 맞는 맞춤형 연계운영으로 댐 하류 홍수량 최소화 및 최대발전 및 예비방류를 통한 공용량 확보 그리고 안정적 용수공급을 위한 저수량 확보를 목표로 댐운영계획을 수립하여 시행하고 있다.

## 4. 정리

최근 관심을 모으고 있는 기후변화로 인한 수자원 환경 변화와 4대강살리기사업으로 인해 새롭게 발생하는 물관리 변화여건들을 고려할 때 금년에는 수자원의 효율적이고 안정적 확보와 4대강 살리기 사업의 성공적 추진을 위해서 진술한 부분들을 포함하여 더욱 세밀하고 광범위한 검토와 준비가 필요하다.

K-water는 지난 30년간 안정적인 용수공급과 홍수피해 최소화를 위해 심혈을 기울여 왔다. 오랜 경험을 통해 미흡하나마 체계적 수자원관리시스템을 구축해 왔고 이를 이용하여 실제 물관리에 적용할 뿐만 아니라 끊임없이 개선하고 있다. 그러나 최근 커져가는 자연의 예측불확실성과 늘어나는 시대적 요구로 그 어느 때 보다 어려운 현실을 맞고 있는 것도 사실이다. 이러한 현실을 극복하기 위해서는 앞으로 수많은 과제를 만나게 되고 난관에 부딪치기도 하겠지만 K-water는 어떠한 상황에도 안정적인 대처가 가능하도록 홍수대응체제를 보다 완벽하게 갖추어 성공적인 미래를 만들기 위해 끊임없이 노력할 것이다. ☘

## 참고문헌

1. 건설교통부(2006), 한강수계 댐군 홍수조절 연계운영시스템 구축
2. 한국수자원공사(2003), KOWACO 홍수분석모형 개발 보고서
3. 한국수자원공사(2009), 댐운영 종합보고서
4. 한국수자원공사(2009), 댐유역 강우확률예보 기술개발연구(1차년도)
5. 한국수자원공사(2010), 2009 홍수예경보시스템 연간 운영보고서
6. 4대강 살리기 추진본부(<http://www.4rivers.go.kr/>)
7. IPCC (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK