

# 지구온난화에 따른 수자원 전망과 댐유역관리



**박진혁 |**  
한국수자원공사 물관리센터 선임연구원  
park5103@kwater.or.kr



**김우구 |**  
한국수자원공사 수자원본부 본부장  
wgkim@kwater.or.kr

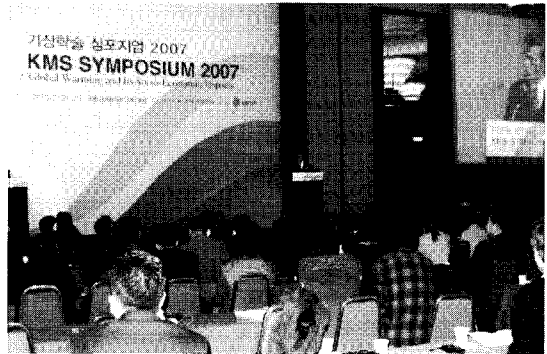


그림 1. 기상학술 국제심포지엄 현장 (기상학회, 2007)

## 1. 머리말

1980년대 이후 지구온난화는 전 세계적으로 가장 이슈가 되었던 연구주제들 중 하나였다. 1988년과 1992년 사이의 유럽 전역에 닥친 대한발과 1995년 여름 영국의 한발, 1998년 중국의 대홍수 등 잇따른 기상이변으로 인하여 지구온난화에 대한 공공의 관심이 급속히 높아지고 있으며, 지구온난화는 기상이변의 주범이 되고 있다.

이에 대하여 한국기상학회 주최로 지난 3월21일 서울 힐튼호텔에서 “지구온난화에 따른 기후변화 및 산업에 미치는 영향, 그 대응방안” 등에 관한 주제로 2007기상학술국제심포지엄이 개최되었다. 이날 심포지엄은 최근 학계와 산업계에서 기후 변화와 그에 따른 영향을 주제로 다양한 연구가 진행 중인 상황에서 지구 온난화의 원인을 탐색하고 그 대책을 논의하기 위해 마련된 것이다. 심포지엄은 기온 상승과 인류 생태의 연관성을 비롯해 2080년까지 미래 기후를 예측하는 주제 등으로 구성돼 기상학계 뿐 아니라 날

씨와 관련된 산업 종사자들까지 많은 관심을 보였다. 본 국제심포지엄에는 영국의 필 존스 교수를 비롯해 미국의 데니스 하트만 교수와 마이클 슐레진저 교수, 일본의 아키오 키토 박사 등 해외의 저명한 기상학자들이 초청 연사로 나섰다. 또한, 권원태 박사(기상청 기상연구소), 하경자 교수(부산대), 이명균 교수(계명대) 등 국내 저명한 기상학자들도 함께 해 지구온난화에 따른 기후 변화에 관해 발표하는 시간을 가졌다.

본 기고문에서는 기상학술 국제심포지엄에서 논의되었던 대략적인 내용소개와 지구온난화에 따른 수자원분야에서 특히, 전국의 다목적댐을 관리하고 있는 수자원공사의 입장에서 지구온난화에 대응하여 유역의 물관리를 위해 어떤 방안을 모색할 수 있는지 고민해보고자 한다.

## 2. 기상심포지엄 내용 요약

심포지엄에서 기조연설을 맡은 영국 이트스 앵글리아대학 기후연구소장인 필 존스 교수는 최근 50년

간(1956~2005)의 전 세계 표면 평균온도 상승률과 지구 온난화율이 지난 100년간(1906~2005)보다 거의 2배에 달한 점을 강조하며 시급한 대책 마련을 역설하였다. 지구온난화로 인한 기후변화의 구체적인 사례로 지난 100년 동안의 9.8도 상승과 지난 50년 동안의 따뜻한 밤 증가, 추운 밤 감소, 중위도 지방의 강수량 증가, 아열대 지방의 가뭄 증가, 단기간의 집중호우 증가 등을 예로 들었다. 또한, 현재까지는 1998년이 가장 더웠던 해로 기록되지만, 2007년에는 엘니뇨와 대기 온도 상승 등의 영향으로 1998년의 기록을 깨고 가장 더운 해가 될 것이라고 전망했다. 존스 교수는 또 지구 온난화 현상으로 연 평균 강수량은 줄어들고 있고 여러 나라에 극심한 폭우 현상은 늘어나고 있으며, 특히, 인도와 중국의 급속한 경제 발전은 지구온난화 및 기후 변화에 직접적인 영향을 미칠 것이라며 한반도는 이로 인한 기온 상승, 대기 오염 등에 대한 실질적인 대비책을 고민해야 한다고 주장했다.

유엔 정부간 기후변화위원회(IPCC)도 올해 초 '기후변화에 관한 종합보고서'를 통해 금세기 안에 지구 표면 온도가 섭씨 1.8~4.0도 상승할 것으로 전망되며, 폭우와 해빙·가뭄·폭염·해수면 상승 현상이 앞

으로 더욱 심할 것이라고 경고한 바 있다.

기상청 기상연구소 권원태 박사는 세계기후의 미래전망에 대해 향후 온난화 현상으로 서리일은 거의 모든 지역에서 감소해 식물성장기간이 증가할 가능성이 매우 높으며, 강수량은 대체로 적도지방과 중고위도에서 증가, 아열대에서는 감소하는 반면 대륙은 가뭄이 심화되고 빙하와 적설의 감소, 해양의 산성화, 대기와 해양 순환 패턴의 변화 현상 등이 나타날 것이라고 설명했다. 권 박사는 이어 A1B 시나리오에 따르면 한반도는 21세기말에는 기온이 4.0℃ 상승하고, 강수량은 16% 증가할 것으로 예상되며 여름 고온 특이일이 증가하고 겨울 저온 특이일의 빈도가 줄어들 것이라고 전망했다.

또한, 한반도에서는 태백·소백산맥 산지를 제외한 서해안, 동해안 중부까지 향후 아열대 기후로의 변화가 예상되며, 이에 따라 대부분의 지역에서 호우의 발생 빈도가 증가할 것이나 대륙의 내부에서는 건조화 추세가 나타나 가뭄이 심화될 수 있을 것으로 지적했다. 기상연구소가 독일과 함께 기후변화 모델을 이용한 실험 결과에 따르면, 21세기 말의 동아시아 평균 기온은 최저(온난화 대응) 1.7도에서 최고(온난화 무대응) 4.3도 오르는 것으로 나타났다. 이는 세계 평균기온보다 0.9도에서 1.3도가량 높은 수치다.

일본 츠크바시 기상연구소의 아키오 키토(Akio Kitoh) 박사는 여러 기상예측 모델의 분석을 통해 동아시아 지역은 기후변화에 민감한 대륙의 영향을 많이 받아 지표면 대기 온도 상승률이 세계 평균보다 20%가량 높을 것이라고 예측했다. 또한, 향후 30년 내에 중심부근 순간 최대 풍속이 초속 70m가 넘는 슈퍼태풍이 발생할 수 있다고 경고하였다. 이는 2003년 고산지역을 강타했던 태풍 매미의 초속 60m보다 훨씬 강력한 것으로 철탑이 휘어지고 나무가 뿌리채 뽑힐 수 있는 위력이다. 일본의 초고해상도 모델 예측에 따르면, 21세기 말까지 태풍의 발생 수는 30%가량 줄어들 것으로 나타났지만, 문제는 태풍의 강도가 이전보다 훨씬 강해진다는 데 있다. 지구 온난화로 해수면 온도가 상승하면서 바다가 내뿜는

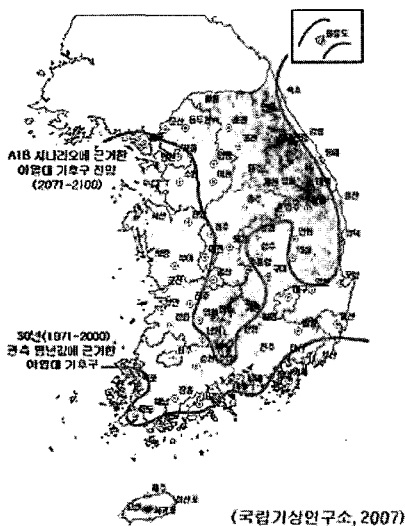


그림 2. 2071~2100년 아열대 기후구의 변화 (기상학술심포지엄, 2007)

더운 습기를 낫은 대기권에서 빨아들인 태풍이, 이를 에너지로 삼아 한반도에도 강풍과 함께 하루 1천mm 이상의 폭우를 동반한 슈퍼 태풍이 발생할 수 있을 것으로 예측되었다.

일리노이 대학 마이클 솔레저저 교수는 미래 기후 변화의 불확실성을 이유로 온실 가스 배기량 감축 조치를 이행하지 않고 있는 것을 언급하면서 이에 대해 아무런 조치를 취하지 않는 것은 큰 문제라고 지적했다.

끝으로, 계명대학교 에너지환경계획학과 이명균 교수는 지난 50년 동안 날씨와 연관된 재앙의 숫자는 1950년대 20개에 불과했던 것이 1990년대에는 91개로 증가했고 경제적인 피해도 450억 달러에서 7040억 달러로 엄청나게 증가했으며, 재해 방지 시스템과 관련 기술이 발전하기는 했지만 기후변화의 강도와 빈도 역시 크게 증가해 왔다고 주장했다. 이 교수는 이어 기후 변화에 얼마나 효율적으로 대응하고 저탄소 혹은 무탄소 경제를 지향하는 새로운 트렌드를 어떻게 받아들이는지에 따라 업계 뿐 아니라 국가의 미래도 크게 달라질 것이라며 대응책을 촉구했다.

### 3. 지구온난화에 따른 수자원 전망

갈수록 심해지는 기상이변과 생태계 교란현상은 미래를 암울하게 한다. 올해 4월초 유엔의 정부간 기후변화위원회(IPCC)에서 발표한 보고서에 의하면, 기후변화로 가뭄, 홍수, 태풍 등의 자연재해가 자주 일어나고, 각종 병원체가 기승을 부리며 전염병이 확산될 것으로 전망했다. 또한, 물, 식량, 에너지 부족으로 국가 간 분쟁이 발생하고, 생물종이 대량 멸종될 것이라고 경고 했다.

지구온난화에 따른 온실가스 농도의 증가는 표면 복사 및 기온을 증가시키며, 표면온도의 증가는 강우와 증발산에 영향을 준다. 또한, 강우와 증발산의 변화는 유출량 및 지하수의 함양에 영향을 준다. 기온, 복사, 강우, 토양 함수비 및 이산화탄소의 농도변화는 모두 유역의 생태시스템 및 토지이용에 영향을 주

며 이는 다시 유역의 물수지에 영향을 준다. 하천수질은 온도와 유역의 토지이용, 강우 및 유출량, 해수 침투의 영향을 받는다.

지구 온난화가 수자원에 미칠 수 있는 영향은 지구상의 기후 및 물 순환의 변화에서 찾아볼 수 있다. 온난화에 따라 강수량 및 강수특성과 증발량 등이 변화하면 유역에서의 물 순환도 변하게 된다. 이러한 변화는 수자원 부존량의 변화와 홍수 및 가뭄의 빈도에 영향을 미칠 수 있다. 현재의 수자원 계획(이수 및 치수계획)은 기왕의 수문통계량에 기초하여 입안되고 있으며 기후변화에 따른 수문특성 변화 영향은 고려되고 있지 않다. 기후변화의 영향을 수자원 계획에 반영시키기 위해서는 먼저 유역규모 강수량 및 강수특성의 변화를 예측하고 이에 따른 유출특성의 변화를 예측해야 하나 많은 불확실성이 내재되어 있어 현실적으로 어려움이 따르는 문제이기도 하다.

강수량의 증가는 토양수분의 증가를 초래하고 따라서 동일 강수량에 대해서도 더 큰 홍수가 발생할 수 있다. 또한 늘어난 홍수량 때문에 과거의 홍수빈도해석에 따른 홍수량이 달라질 수 있다. 온도와 토양수분의 변화는 식물의 증발산에 큰 영향을 미칠 수 있고, 강수량의 변화에 대한 유출량의 변화 폭이 크므로 강수량이 조금 감소해도 유출은 상대적으로 많이 줄게 되어 용수부족이 심화될 수 있으며, 강수량의 증가에 따른 유출의 증가 때문에 더 많은 홍수에 노출될 수 있다. 겨울철의 강수 및 온도의 증가로 적설은 줄어들고 유출이 늘어날 것이며, 지역적으로 기상 및 수문특성이 변함에 따라 물이 남는 지역과 부족한 지역이 심화될 수 있다.

한반도의 강우패턴을 예측한 기상전문가들의 의견에 따르면, 향후 지구온난화가 심화됨에 따라 여름철, 특히 7월에서 9월 사이에 집중되는 전통적인 우리나라의 강우패턴이 빨라지거나(봄철) 아니면 오히려 늦어지는(가을철) 현상이 생길 수 있다고 예측한 바 있다. 이러한 현상이 실제로 발생하게 될 경우, 앞으로 우리는 담유역 홍수관리체계의 종합적인 재검토가 필요하게 될 것이다.

#### 4. 유역관리를 위한 기상기술 활용 방안

우리나라는 기후 및 지형적인 영향으로 해마다 홍수 및 가뭄이 반복되고 있으며, 최근에는 지구온난화 등에 의한 기상이변으로 더욱 심화되고 있다. 더구나 최근 호우의 추세를 살펴보면 국지성 돌발홍수의 빈번한 발생으로 인해 물관리를 하는 측면에서는 사전 예측과 대비에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이처럼 계절라성 집중호우에 의한 돌발홍수는 통상 몇 분 또는 몇 시간에 걸쳐 발생하는 극단적인 호우에 의해 발생하는 것으로 그 위험을 인지할 수 있는 시간 또한 매우 제한되어 있으므로 그 피해와 위험성이 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 국지성 돌발홍수에 대응해서 초단기 강우예측의 신뢰성을 확보하기 위하여 여러 선진국에서는 레이더 강우자료와 분포형 수문모형을 실무에서 정량적 강수와 홍수예측분야에서 활용하고 있고 이와 관련된 연구도 활발하게 진행하고 있다.

신뢰성 있는 홍수기 저수지 유입량 예측을 통한 안정적인 댐 운영을 모의하기 위해 최근 미국이나 일본 등 주요 기상 선진국들은 레이더 등의 최첨단의 입체 기상감시체계 구축 및 컴퓨터 기술과 정보통신기술을 접목하여 기상기술을 획기적으로 증진시키는데 역점을 두고 있다. 우리나라는 지난 10여 년간 기상장비 현대화사업 추진과 더불어 수치예측기술 등 선진기술의 전수, 기상용 슈퍼컴퓨터의 도입 등을 통하여 기상 기술력을 크게 신장시켜왔으나 외형적인 성장과 발전에도 불구하고 돌발성 집중호우 등 기상현상에 대한 예보능력은 아직까지 국민들의 기대 수준에 미치지 못하고 있는 실정이다.

유역의 물관리를 하는 측면에서 보다 구체적으로는, 기상청은 유역별이 아닌 일반 지역에 대한 예측을 제공하기 때문에 유역별 정량 강수 예측을 위해서는 기상청 실황예보를 활용하여 유역의 강수 실황예보를 할 수 있는 체계 구축이 필요하다. 중장기적으로는 기상청의 디지털 예보 자료의 신뢰도가 상당히 발전할 것으로 기대된다. 그리고 디지털 자료는 단기와 초단

기 유역 강수량 예측에 쉽고 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 다만, 강수량 예보와 산악 지역에서의 기상예측은 상대적으로 정확도가 떨어질 것으로 예상되며, 대부분의 유역이 산악을 포함하고 있으므로, 디지털 예보자료에 대한 유역별 검증을 통해 문제점을 파악하고 보완을 한다면 대단히 유용한 자료가 될 것이다. 특히, 상세 지형의 효과가 수치 모델 자료에 미흡할 수 있기 때문에 지형효과를 유역별로 평가하고 보완 방법을 찾아야 할 것으로 생각된다.

현재의 기상과학은 단기를 넘어서 중기(3~7일)에 대한 예측 능력 확보 단계로 진입하고 있다. 다만, 강수 예측의 정확도는 여전히 개선이 쉽지 않은 부분이나, 현재의 기술발전 추세로 볼 때 이 부분에서도 개선이 가능한 여지가 있으며, 이는 향후 기상 기술의 발전에 지속적인 관심을 가지고 해결 할 과제이다.

#### 5. 결론 및 제언

최근 온난화 등에 의한 이상기후의 영향으로 댐 및 하류하천의 홍수량이 점차 증가하고, 과거 설계시의 계획홍수량을 초과하는 상황이 발생하는 등 홍수에 대한 위험성이 커지고 있는 반면 홍수조절용량 확보를 위한 신규댐 건설이 어려워져 물관리를 둘러싼 여건이 갈수록 악화되고 있는 실정이다. 따라서 이미 확보된 수자원 시설물을 최대한 활용하여 공평성, 효율성, 환경적 지속가능성을 통합적으로 고려한 보다 합리적인 유역단위의 물이용, 배분을 위한 비구조물적인 수자원관리 기술향상 노력이 절실한 형편이다.

현재 지구온난화로 인한 기후변화에 대비하여 수자원공사에서는 중장기적인 대응책을 추진 중이다. 온실가스 저감을 위해서 청정 수력에너지 생산 및 신재생에너지(조력, 소수력, 풍력, 태양광) 등 기후변화협약 대응을 위한 친환경 청정개발체제사업을 적극 추진하고 있다. 이상 가뭄에 대비하기 위해서는 기존 댐 연계운영 및 신규 댐 건설로 용수공급능력을 증대하는 한편, 광역상수도의 확충과 권역별 광역 급수체

계 구축에도 힘쓰고 있다. 돌발적이고 국지적인 집중 호우로 인한 이상 홍수 대비를 위해서는 댐안정성 확보를 위한 치수능력증대사업 등이 시행 중에 있다.

앞으로 지구온난화에 따른 기상상황의 불확실성을 고려한다면 현재 탄력적으로 운영할 수 있도록 하는 홍수기 댐 가변제한수위의 재검토 등 홍수관리 체계에 대한 전면적인 재검토가 필요할 것으로 사료된다. 아울러, 여름철에 물을 가두어서 갈수 시에 물을 이용하는 패턴에서 연중 물의 저수량을 확보함으로써, 필요한 시점에 효율적으로 배분할 수 있는 체계로 전환을 검토해야 할 것이다.

무엇보다도, 지구온난화 등에 의한 기상이변으로 더욱 심화되고 있는 국지성 돌발홍수의 빈번한 발생에 대응하여 레이더강우 및 강우수치예보자료 등을 활용한 강우예측의 신뢰성을 확보하기 위한 노력이 필요한 시점이다.

국제기관들은 '물 부족'과 '지구온난화'가 새 천년의 지구촌에서 가장 중요한 환경과제가 될 것이라고 지적하였다. 전 세계적으로 물 위기가 닥쳐올 것이고 지구상의 많은 사람들이 물 부족으로 고통 받을

것을 우려하고 있다. 세계적인 기상이변 현상과 심각한 물 문제는 우리나라 역시 예외가 될 수는 없다. 이상기후가 심화되고 돌발홍수에 대한 대응이 늦어진다면, 이는 산업 및 경제적 피해뿐만 아니라 생태계와 환경파괴로 이어질 수 있으며 인류의 건강과 보건까지 위협할 수 있기 때문에 우리는 기상재해에 대한 경각심을 가지고 적극적으로 대처해 나가야 할 것이다.

### 참고문헌

- 건설교통부, 수자원계획의 최적화 연구(IV), 2000.  
 김희정, 머니투데이 2007.3.21 기사, “기상학술 심포지엄 2007 열려...전방위적 대응책 촉구”  
 대전일보사, 2007. 3.27 기사, “혹독한 기상재앙 온다”  
 이태영, “한반도의 강수시스템 및 정량적 강수예측 현황과 한계”, 수자원정보, 가을호, 2006.  
 한국건설기술연구원, 기후변화가 한국의 수자원에 미치는 영향, 1994. 