

“기후변화에 대응한 수공 시설물 (Infrastructure)의 계획과 설계의 필요성” 더 이상 고민이 아닌 실천 할 때!!



김 병 식 |

한국건설기술연구원
수자원·환경 본부 수자원연구실 수석연구원
hydrokbs@kict.re.kr

1. 머리말

기후변화는 이제 더 이상 진위를 따질 필요가 없는 기정사실로 인정되고 있으며 특히 전 세계적으로 기후변화로 인한 이상기후에 대한 관심이 높아지고 있다. IPCC 4차 보고서에 의하면 2020년대(지구평균 기온은 1℃상승)에는 전 세계적으로 최대 17억 명 가량이 물 부족으로 고통 받을 것이며 장기적으로 2080년대에는 해수면 상승(약 24cm)으로 해안지역의 30%이상이 유실되고 전 세계 인구의 20% 이상이 홍수로 인한 위험에 노출될 것으로 예상하고 있다. 이처럼 기후변화에 의한 문제는 수자원에 대한 문제로 귀결될 수 있 수 있으며 지금도 지구상의 많은 국가나 지역이 가뭄으로 인한 물 부족, 홍수와 같은 수자원 문제로 인해 고통 받고 있다. IPCC의 기술보고서-VI, 『Climate Change and Water(기후변화와 물)』에서는 “각종 관측기록과 여러 가지 기후전망에

의하면 (담)수자원은 대단히 취약하며 기후변화에 의해 매우 큰 영향을 받을 잠재성을 가지고 있어서 인간사회와 생태계에 광범위한 영역에 걸친 각종 영향을 초래할 것이라는 충분한 근거가 있다”라는 총괄적인 결론을 제시하였다.

지금까지의 온실가스 저감에 중점을 둔 기후변화 대응 “완화책(緩和策, mitigation)”이 시행되어 왔었다 하더라도 지구온난화의 효과는 기후의 탄력성 때문에 수세기 동안 지속될 수 있기 때문에 궁극적인 기후변화 대응책으로는 한계가 있다. 그러므로 지구온난화를 수반하는 다양한 영향에의 “적응”책(適應策, adaptation)”을 강구해 나가는 것이 “완화책”만큼이나 중요하다. 이미 선진 외국은 잠재적인 기후변화 영향을 이미 인지하고 “후회 없는(no-regrets)” 정책으로 불확실한 미래를 준비하고 있다. 여기서, “후회 없는” 정책이란 기후변화의 결과가 예상대로 발생하는지의 여부에 상관없이 실행하는 것으로 미래에 발생할 수 있는 기후변화의 위기를 적응과 완화 전략을 지원하여 기회로 삼는 것을 의미하는 것이다.

기후변화는 빠르게 변화하는 정책 분야이며 기후변화 적응을 위해서는 국가적 계획과 설계기준 수립이 필수사항이라고 할 수 있다. 그러나 아직까지 우리나라의 수자원 분야에서는 기후변화에 대한 불확실성 때문에 기후변화에 대응한 구체적 정책 수립 및

1) 기후변화 적응이란 기후변화로 인해 영향을 받는 대상(부문, 시스템)이 이에 대처해 나가는 모든 행동 및 과정을 의미

설계기준에 대한 검토를 미루고 있는 실정이다.

이에 본고에서는 외국의 기후변화에 대응한 수자원 분야의 계획 및 설계 사례를 살펴보고 이를 통해 우리나라에서의 기후변화 대응 수자원 설계 기준의 검토의 필요성을 강조하고자 한다.

2. 우리나라의 국토 분야 및 수자원 분야의 기후 변화 대응 현실(국토해양부 분야)²⁾

현재 국내에서는 기후변화 관련 국토 계획분야에 대한 연구는 교통, 에너지, 건축물 등 부문별 연구는 진행되어 왔으나, 국토계획 차원에서 종합적으로 연구되지 못하였으며, 관심과 인식의 부족으로 인해 기후변화 영향평가 및 적응대책 마련을 위한 기초 자료 구축도 미비한 실정이다.

정부의 1~3차 기후변화 종합대책의 내용을 살펴보면, 지금까지 추진된 정책과제의 대부분은 온실가스 저감위주의 완화대책이며, 국토해양부와 관련된 총 43개 과제 중에서 완화 분야가 절반 이상을 차지하고 있어 적응 분야의 정책과제는 상대적으로 비중이 작은 실정이다. 그러나 선진 외국의 경우 대부분은 기후변화와 관련된 재해는 계획 및 설계와 연관성이 크므로, 국토계획과 치수정책에 관한 지침을 작성하여 이를 토대로 기후변화로 인한 국토의 종합적 개발과 물 관련 재해 예방을 위한 상세설계 계획이 필

표 1. 국토해양분야 과제 추진현황(1~3차) (단위: 건,%)

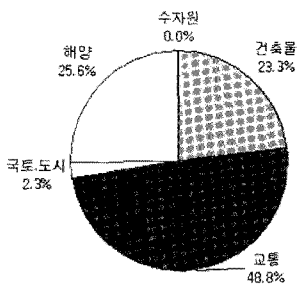
차 수	합계	분야별				대책별		
		건축물	교통	국토·도시	해양 수자원	완화	적응	영향
1차('99~'01)	9	2	7	0	0	9	0	0
2차('02~'04)	19	4	10	0	5	18	0	1
3차('05~'07)	15	4	4	1	6	12	3	0
종합	43	10 (23.3)	21 (52.4)	1 (2.2)	11 (22.1)	39 (91.6)	3 (6.7)	1 (1.8)

요함을 강조하고 있다.

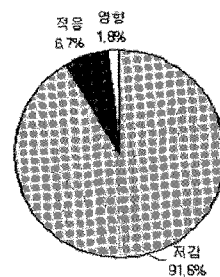
3. 기후변화가 수공구조물의 설계빈도에 미치는 영향

수공구조물 설계의 주목적은 설계홍수량을 통과할 수 있도록 시스템의 규모를 결정하는 것으로 지금까지 설계에 이용되고 있는 보편적인 방법은 기후는 변화하지 않기 때문에 과거 기후자료만으로도 미래의 상황을 충분히 반영할 수 있으며 기후자료는 시간에 따라 평균과 분산이 변하지 않는다는 정상성을 전제로 하고 있다. 그러나 불행하게도 앞에서 언급한 바와 같이 이미 사실로써 인정되고 있는 기후변화로 인해 극한 강우의 빈도와 규모가 변화하고 있고 이로 인해 홍수의 규모가 증가되고 있다. 그러므로 기존의 정상성을 가정한 설계방법은 많은 수공구조물의 파괴의 원인과 설계범위를 벗어나는 원인이라고 할 수 있다.

그림 2는 기후변화에 따른 수공구조물의 설계빈도



〈그림 1-1. 분야별〉



〈그림 1-2. 대책별〉

그림 1. 국토해양분야 분야별, 대책별 과제 추진현황(1~3차)

2) 자료) 국무조정실, 1, 2, 3차 정부종합대책 보고서, 기후변화 대응 국가마스터플랜 (KEI, 2008; 심우배)

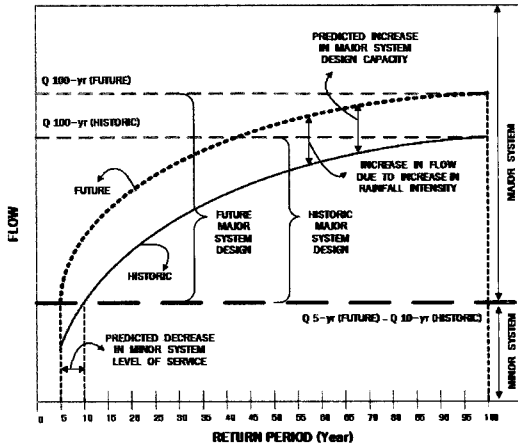


그림 2. 기후변화에 따른 수공구조물의 설계 빈도곡선의 변화 곡선 변화를 개념적으로 나타낸 것으로 파랑색 실선은 과거자료만을 이용한 설계빈도곡선이며 빨강색 점선은 미래의 설계빈도곡선을 나타낸 것이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 과거 10년 빈도 설계홍수량은 미래에는 5년 빈도 설계홍수량으로 줄어들게 되며, 또한 100년 빈도 설계홍수량의 경우에도 미래에는 과거에 비해 증가된다는 것을 보여 주는 것으로 기후변화로 인해 기존 수공 구조물의 홍수방어 능력이 감소하게 되어 홍수 관리의 어려움이 증가될 수 있음을 알 수 있다. 기후변화는 수공시설물을 설계하는 데 있어 가장 중요한 변수인 극한 수문사상을 변화시키기 때문에 수공관련 기반시설의 서비스 수준을 변화시킬 것이며 수공구조물설계를 위한 계획에 이용되는 설계 방법론의 변화를 필요로 한다.

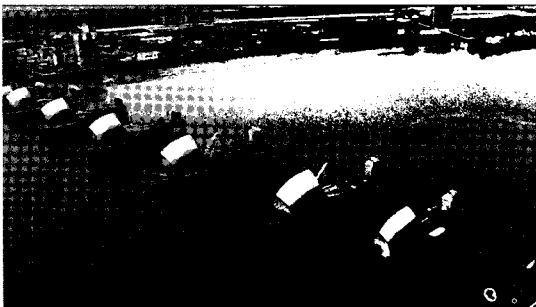


그림 3. 템즈강 수문 증고계획 (해수면 상승 대비)

4. 외국의 기후변화 대응 계획 및 설계 사례

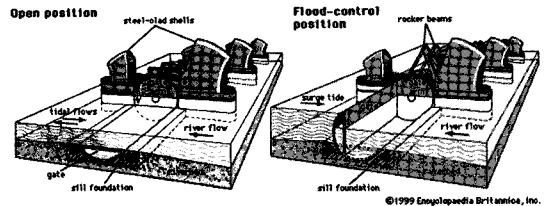
외국의 여러 국가들이 기후변화 관련 수자원 정책을 수립하고 있지만 기후변화에 대비해 수공구조물을 실제로 설계한 경우는 영국과 네덜란드가 유일하다고 할 수 있다. 이에 본 절에서는 이 두 나라의 기후변화 대응 사례를 소개하였다.

(1) 영국

영국에서는 최근의 기후변화로 인한 해수면 상승과 급속한 택지 개발의 영향으로, 폭풍해일에 대한 치수안전도가 1000년 빈도에서 100년 빈도까지 낮아질 것으로 예측하고 있다. 이에 영국은 Thames 강의 홍수를 방지하기 위해 건설된 Thames Barrier에 대한 설계 강화를 추진하였다. Thames Barrier는 당초 1000년 빈도의 치수안전도 확보 목표로 건설하였으나 기후변화로 인해 100년 후에는 치수안전도 수준이 100년 빈도를 밑돌 것으로 예측됨에 따라 현재 폭풍해일대책을 2009년 10월에 수립하였다.³⁾

또한 기후변화에 대하여 2100년을 목표로 런던을 중심으로 한 "Flood risk management in the Thames Estuary looking ahead 100 years" project을 수립하여 미래의 런던시의 홍수방어 전략을 수립하였다(그림 4 참조).

이를 위해 영국은 국토계획에서 있어 홍수방어 최상위 정책지침으로 PPS-25⁴⁾의 '개발과 홍수위협



3) 현재보다 2m 수문을 증고 하여 미래의 홍수 대비 계획 수립

4) PPS-25(Planning Policy Statement-25) ; PPS는 국토계획과 관련된 여러 계획을 담고 있으며 특히 #25는 미래의 잠재적 기후변화의 영향에 대비하여 국토종합계획과 치수계획을 어떻게 연계하여 수립할지에 대한 내용을 담고 있음.

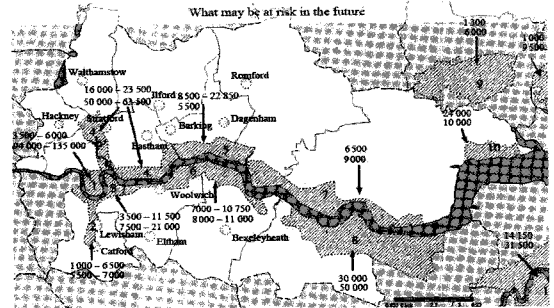


그림 4. 미래의 Thames Estuary의 홍수범람 모의 및 위험지역의 제시

(Development and Flood Risk)' 수립하여 국토의 공간계획수립에 기후변화 대비 홍수위험성을 고려하여 보다 안전하고 지속가능한 개발을 달성하고자 하였다. PPS-25은 기후변화 영향을 고려하기 위한 침투강우강도의 가중치와 해수면 상승에 대한 여유치(contingency allowance) 권고하고 있다.

표 2. 영국의 기후변화 영향을 고려한 강우 등에 대한 가중치 권고안

구분	1990-2025년	2025-2055년	2055-2085년	2085-2115년
침투 강우강도	+5%	+10%	+20%	+30%
침투 하천홍수량	+10%	+20%		
내륙지역 풍속	+5%		+10%	
극한 파고	+5%		+10%	

자료) UK Dept. of Communities and Local Government, PPS 25(2006)

표 3. 영국의 기후변화를 고려한 해수면 상승에 대한 비상 허용치 권고안

구분	1990년과 비교한 순해수면 상승(mm/년)			
	1990-2025년	2025-2055년	2055-2085년	2085-2115년
영국 동부, 동중부, 런던, 영국 남동부	4.0	8.5	12.0	15.0
남서부	3.5	8.0	11.5	14.5
영국 북서부 및 북동부	2.5	7.0	10.0	13.0

자료) UK Dept. of Communities and Local Government, PPS 25(2006)

(2) 네덜란드

네덜란드는 국토 대부분이 해수면보다 낮아서 기후변화 적응대책으로 2006년 9월 홍수위험관리 계획 「Room for the River」를 수립하였다.⁵⁾ 네덜란드는 기후변화에 대응하여 다음의 21세기 신 홍수 관리⁶⁾의 원칙을 수립하였다.

- 방재와 감재를 병행하여 더 높은 제방은 더 높은 위험을 초래한다는 개념으로 자연하천(홍수터, 범람원)을 복원.
- 네덜란드 라인강의 기후변화를 대비한 홍수방어 능력 증대 및 하천환경 개선을 감안한 치수대책 수립.
- 2015년 이후 10년 동안의 기후변화에 대처할 수 있는 별도의 공간 확보

또한 네덜란드는 기후변화로 인해 미래 50년 동안 해수면 상승에 대비할 수 있도록 렉강(River Lek) 하구에 마에스란트 방벽(Maeslant Storm Surge Barrier)을 건설하였다. 마에스란트 방벽은 1953년 수준재해대비와 건설당시 100년간 30cm를 감안하여 시설내용연수 50년간 15cm설정을 예상하여 설계 시공하였으나 강화되는 시설은 50년 후 해수면상승은 25cm-50cm를 예상하여 설계되었다.(마에스란트

5) 라인강의 유량 증가에 대처하기 위해 총 7,000ha에 달하는 강변저류지를 확보한다는 계획.

6) 네덜란드 치수사업의 특징

- 기후변화에 대처한 중앙정부 차원의 신속한 패키지 대책
- 선제적 예방투자를 통한 홍수피해 경감 노력
- 치수사업에도 반드시 하천환경 고려

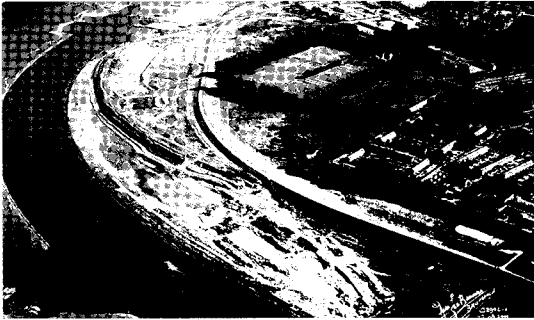


그림 5. 라인강의 제방후퇴 및 홍수터 준설

방벽은 25cm중고 예상).

5. 기후변화를 고려한 설계방법의 제안

1991년 World Climate Conference에서는 “과거의 기후나 수문현상의 기록은 더 이상 믿을 만한 미래에 대한 지침이 아니며 수자원에 대한 구조적 비구조적 설계와 관리는 기후변화에 의한 가능성을 고려해야한다”라고 하였으며 IPCC는 수자원 관리자들에게 수자원 시스템의 설계범위, 운영 룰, 비상 계획, 그리고 물 배분 정책에 대한 체계적인 재검토와 기후변화에 대한 불확실성에 대응하기 위한 방안으로써 물수요 관리와 제도개선을 강력하게 권고한 바 있다.

기후변화에 대한 적응(adaptation)이란 이익을 최대한으로 하고 기후변화의 부정적 영향을 최소화 하고자 하는 노력으로써 기후변화가 수공구조물에 미치는 영향에 대한 적응은 증가되는 홍수위험을 막고 시설물의 서비스를 유지하는 것이라고 할 수 있다. 그러므로 우리나라의 경우에도 앞에서 언급한 바와 같이 지금까지 적용하고 있는 과거 기록에 근거한 수자원의 계획 및 설계 방법에 대해서 재고할 필요가 있다. 이미 일부 현실화되어 나타나고 있는 미래의 기후변화 영향을 고려할 수 있는 방안을 시급히 연구 개발하고 이를 실무에 사용 할 수 있도록 노력해야 한다. 특히, 이제까지 우리가 적용해 왔던 순이익을 최대화하기

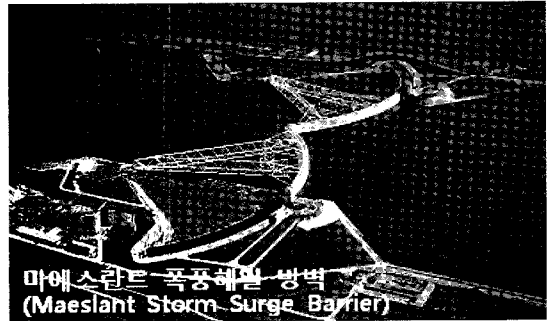


그림 6. 네델란드의 마에스란트 방벽⁷⁾

위한 최적설계 방식보다는 정책적으로 결정된 극한 조건을 만족하기 위한 최적설계를 채택하는 것으로 설계방식을 전환할 필요가 있다. 만일 기후변화로 인해 홍수피해의 원인이 될 수 있는 강우강도의 발생빈도가 계속하여 증가된다면 현재 설계기준을 유지함으로써 절약되는 비용보다 미래의 기후변화로 인해 발생하는 피해비용이 커지게 될 것이다.

이를 위해서는 지금까지는 기후변화가 어느 정도 수공구조물의 침투홍수량과 규모에 영향을 미치는 지에 대해서만 주로 평가되고 있으나 앞으로는 건설 투자에 증가되는 비용과 서비스 수준별(빈도)의 이익을 비교하여 분석되어야 할 것이다. 기후변화가 수공설계에 미치는 잠재적 영향을 정량화하는 것은 대기순환모형(GCM) 또는 지역기후모형(RCM)으로 부터의 정보를 이용하는 것이 가장 현실성이 있다. 비록, 기후변화 시나리오에 따라 기후모형에 따라 그 결과들

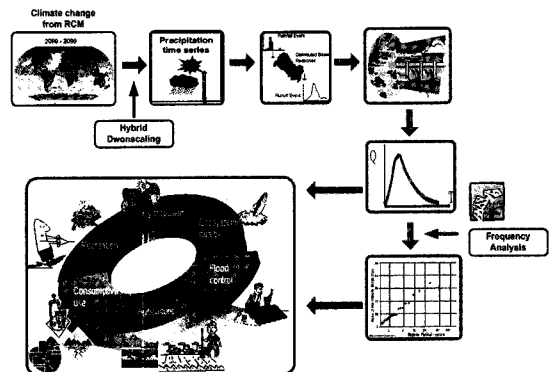


그림 7. 기후변화를 고려한 수공구조물의 설계 개념

7) 출처 ; 네델란드 Ministry of Transport, Public Works and Water Management

이 다르고 불확실성이 내포되어 있다 하더라도 설계 실무자들은 기후변화로 인한 수공시스템의 불확실성에 대비를 해야만 한다.

6. 맺음말

우리나라의 경우, 기후변화가 가장 크게 영향을 미치는 부분이 수자원 분야이기 때문에 기후변화 영향을 평가하고 재해에 대비함으로써 국민의 생명과 재산을 보호해야 한다. 그러나 아직까지 국내의 경우 기후변화에 대한 영향평가에 관련된 여러 연구들이 완료 되었거나 진행되고 있음에도 불구하고 "기후변화 사실에 대한 부정적 견해" 및 시기상조, 결과에 대한 불확실성을 내세워 아직까지도 계획이나 설계에 반영하는 것을 꺼리고 있는 실정이다. 본 저자는 본고에서 다음을 발언하고 싶다.

"기후변화 대응은 국가의 의무이며 정책이다." 만

일, 단 한 번의 기후변화로 인한 부정적 영향의 가능성이 조금이라도 있다면 정책적으로 대비해야 한다. 우리가 일상생활에서 들고 있는 자동차 보험이나, 생명보험을 한 예로 들어 강조하고 싶다. 우리 어느 누구도 자동차 사고나 생명을 위협받는 사고가 나기를 바라지 않을 것이다. 그러나, 단 한번의 만약에 대비하여 이러한 보험을 드는 것이다. 조금 확대 해석일 수도 있지만 국가적 차원에서 본다면 기후변화에 대한 정책적 대응은 바로 "보험"과 같은 것이다. 만일, 이러한 기후변화에 대한 대비를 경제적 최적화의 관점에서 평가한다면 비효율적일 수 있다. 그러나, 이제는 기후변화의 사실을 인정하고 이에 대비할 수 있는 대책을 정책적으로 수립해야한다. 이러한 의미에서 수자원 분야의 기후변화 대응전략 수립을 위한 연구관련 투자확대가 요구되는 시점이라고 하겠다. 이러한 노력을 통해서만이 우리나라도 기후변화 관련 선진국인 영국 등과 같이 기후변화 관련 연구 성과를 실제 수공구조물 설계에 반영할 수 있는 기술을 확보할 수 있을 것으로 생각된다. ☘

참고문헌

1. 환경부 (2008). "국가기후변화적응 마스터플랜 수립 연구"
2. 국토해양부 건설교통부(2007;2008;2009) "기후변화대비 국가물안보 확보 방안"
3. UK Communities and Local Government (2006). "Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk"
4. UK Communities and Local Government (2006). "Development and Flood Risk: A Practice Guide Companion to PPS25 'Living Draft'"
5. UK Communities and Local Government (2006). "Planning Policy Statement: Planning and Climate Change, Supplement to Planning Policy Statement 1(Consultation)"
6. UK Defra/Environment Agency(2005). "Flood Risk Assessment Guidance for New Development Phase 2(FD2320)"