

2006년 7월 집중호우에 따른 여주시점 홍수조절 효과 분석



황 필 선 |

한국수자원공사 물관리센터 물관리팀장
jesus@kwater.or.kr



박 진 혁 |

한국수자원공사 물관리센터 선임연구원
park5103@kwater.or.kr



심 명 필 |

우리학회 회장
인하대학교 사회기반시스템공학부 교수
shim@inha.ac.kr



최 승 안 |

한국개발연구원 전문위원
sachoi@kdi.re.kr

1. 서론

기후변화에 따른 이상홍수가 전국적으로 빈번하게 발생하고 있고, 홍수에 의한 피해는 과거와는 비교할 수 없을 정도로 규모가 커지고 있다.

다목적댐의 홍수조절은 홍수기 동안에 댐 상류에서 하류로 흐르는 물을 저류하여 한꺼번에 많은 양의 물이 흘러내려 하류에 피해가 발생하는 것을 방지하고, 갈수기 동안에는 미리 저류해 놓은 다목적 댐 저

수지의 물을 이용하여 댐 하류에 충분하고 원활한 용수가 공급되도록 해 주어야 한다. 이러한 댐의 홍수조절과 용수공급은 언뜻 생각하기에는 상호 독립적인 기능처럼 보이지만, 사실은 서로 밀접한 관련이 있다. 홍수기에 홍수피해를 줄이기 위하여 지나치게 저수위를 낮추게 되면 갈수기의 원활한 용수공급이 어렵게 되고, 반면에 갈수기의 충분한 용수공급을 위하여 홍수기에 지나치게 저수위를 높게 유지한다면 홍수조절능력이 떨어지게 된다. 따라서, 홍수기의 저수지 운영은 홍수피해를 최소한으로 억제하면서 홍수기 말의 저류량을 최대한으로 확보해야 하는 양면성을 가지고 있다. 따라서, 홍수기에 갈수기를 대비한 저류량의 확보에 전념하는 동시에 다목적 댐의 홍수조절 능력을 충분히 발휘하기란 쉽지가 않다. 홍수기 동안에는 유입량 특성이 매우 불확실하기 때문에 댐 운영자의 입장에선 시간적으로 매우 촉박하게 의사결정을 해야 하는 경우가 많고, 저수지의 홍수조절운영은 댐의 안전뿐만 아니라 하류의 여러 가지 상황을 종합적으로 고려해야 하기 때문에 저수지 운영에 많은 제약이 따르게 된다.

이와 같이 홍수시 물관리라는 긴박하게 의사결정을 내려야하는 현실 속에서는 기상상황, 상·하류지역 현황, 예상강우, 유입량, 댐안전 등 종합적인 상황을 고려한 판단이 요구되어 댐운영자의 입장에서는 의사결정시 많은 고민을 하게 된다. 무엇보다 신뢰성 있는 기상예측만 선행된다면 안정적인 댐운영을 할 수 있지만 기상예보가 불확실한 상황에서 고민은 더욱 커지게 된다.

특히, 태풍 및 장마전선에 따른 2006년 7월 강우는 지난 73년 관측시작 이래 강우량 중 최고치를 기록하였으며, 각 댐마다 적게는 300mm 이상, 많게는

900mm에 가까운 집중호우가 내려 남한강 여주지역과 한강하류의 범람이 우려되는 국가적인 위기상황에 직면하기도 하였다. 특히, 남한강 유역의 충주댐은 계획홍수위(EL. 145m)를 불과 0.1m를 남겨두면서 충주댐 방류량을 놓고 충북 단양군과 경기도 여주시 등 남한강 상·하류 지자체 간에 치열한 신경전이 벌어지기도 했다. 이러한 상황에서 충주댐(저수용량 27억 5천만 m^3)은 운영이후 최대인 초당 최대 22,650 m^3 의 유입홍수량에 대해 40%수준인 최대 9,050 m^3/s 만을 조절 방류하여, 충주댐유역 하류의 홍수위를 저하시켜 한강 본류의 홍수경감에 크게 기여하였다.

이에 2006년 7월 집중호우와 관련하여 한강수계 다목적댐 중에서 홍수조절에 가장 큰 영향을 주었던 충주댐을 중심으로 충주댐 하류 여주지점의 홍수조절 현황 및 경제적인 효과 등을 분석하고자 한다.

2. 기상 및 강우현황

2.1 기상개황

기상청에 의하면 이번 장마기간 동안 내린 누적 강우량은 지난 73년 관측시작 이래 강우량 중 최고치를 기록하였다. 제3호 태풍 ‘에위니아’가 한반도에 영향

을 미치기 전까지만 해도 예년과 다를 바 없는 장마였으나 “에위니아”는 남쪽 해상에 처져 있던 장마전선을 밀어 올려 남부지방에 폭우를 쏟았다.

태풍 “에위니아(EWINIAR)”의 이동경로를 살펴보면, 7월 1일 03시경 괌 남서쪽 약 1,010km 부근해상에서 발생하였고, 7월 9일 03시경에는 오키나와 서쪽 180km 해상을 통과, 7월 10일 11시경 중심기압 980hPa, 최대풍속 26m/s, 강도 및 크기는 중형으로 커져서 전남 진도에 상륙하여 군산, 서천을 거쳐 11일 22시경 서울 동쪽 80km 부근에서 소멸되었다(그림 1 참조).

특히, 동아시아 해수면 온도가 예년에 비해 0.5~2.5 $^{\circ}C$ 높아 7월 태풍에도 불구하고 태풍세력을 유지하며 북상하였고, 태풍 북상 시 태풍 전면에 형성된 장마전선에 의한 호우와 태풍 내습에 의한 집중강우로 많은 양의 강우량을 기록하였다.

이어서 제 4호 태풍 “빌리스(BILIS)”가 7월 14일 15시경 중국 상하이 남서쪽 약 590km 부근에 상륙하여 15일 15시경 소멸되었으나 북태평양 고기압의 가장자리에서 찬공기와 수증기의 유입으로 장마전선이 지속적으로 활성화되기 시작하면서 서울경기, 강원도 일대에 집중호우의 원인이 되었다.

2.2 강우현황

2006년 7월에 내린 강우량의 전국적인 누적강우 분포는 그림 2와 같다. 태풍 전 장마(7.8~7.9)에서는 주로 낙동강유역의 다목적댐(합천, 남강, 밀양 등) 및 용수댐(대곡, 사연, 대암 등)에 많은 강우가 내렸고, 태풍기간(7.10~7.13)에서는 주로 섬진강유역의 다목적댐(섬진강, 주암, 부암) 및 용수댐(연초, 구천, 수어)에 많은 강우가 내렸다. 태풍 후 장마(7.14~7.22)에서는 주로 한강유역의 다목적댐(소양강, 충주, 횡성) 및 용수댐(광동, 달방)에 많은 양의 강우가 내렸다.

특히, 2006년 7월 중 한강수계 다목적댐 유역(소양강댐, 충주댐, 횡성댐)의 평균강우량은 898.8mm로

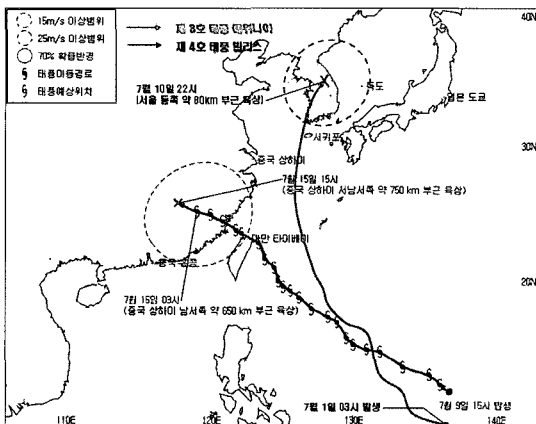
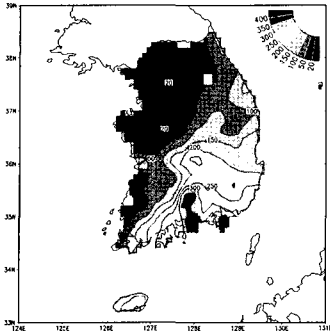
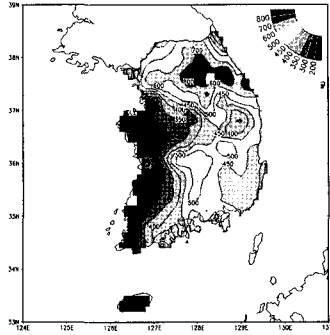


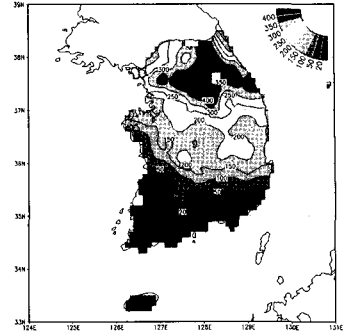
그림 1. 제 3호 태풍 ‘에위니아’와 제 4호 태풍 ‘빌리스’ 이동경로



(a) 7.8~7.10일 누적강우(mm)



(b) 7.14~7.17일 누적강우(mm)



(c) 7.14~7.22일 누적강우(mm)

그림 2. 7월 전국 누적강우량

예년 322.3mm에 비해 279%나 많았다. 한강수계 다목적댐 유역의 강우는 7월 10일~7월 22일 기간에 집중적으로 발생하였으며 이 기간 동안의 유역평균 강우량은 충주댐의 경우 619mm로 예년대비 337%나 많았다.

3. 충주댐 집중호우기간 댐운영

최근 급증하고 있는 기상이변에 따른 홍수기 집중호우에 대비하여, 기존의 고정형 홍수기 제한수위를 2006년부터 가변제한수위로 낮추어 시범운영하기로 함에 따라 충주댐의 경우, 태풍 “에위니아”의 접근 기상예보에 따라 우리나라에 영향을 미칠 것으로 예상되는 7월 10일까지 홍수기제한수위인 EL. 138.0m 보다 15.5m 더 낮은 EL. 122.5m의 수위를 유지하여 홍수조절효과를 최대한 발휘하도록 하였다.

당시 급박했던 한강하류 상황을 살펴보면, 수문방류가 가능한 EL. 126.0m의 수위가 유지된 7월 12일 이후 당시 장마전선의 영향으로 댐 하류인 서울·경기·강원지역 일대에 약 200~400mm의 비가 내려 잠수교의 수위가 13일 10시에는 이미 잠수교 기준치인 6.5m를 훨씬 초과한 7.39m까지 상승하여 그림 3과 같이 잠수교가 완전 잠수되었다.

당시 한강하류의 수위는 7월 12일 서울, 경기, 북

한강 지역에서 내린 집중호우로 7월 13일까지 잠수교가 완전히 침수되는 등 하류상황이 상당히 불안정한 상태였다. 13~14일에도 태풍예보에 의한 집중호우(150~200mm이상)가 예측된 상황에서 수자원공사 자체적으로 개발한 홍수분석모형을 이용하여 예측 강우량과 한강하류상황의 제약 상황 등을 조건으로 수차례 다양한 시나리오를 가정하여 검토한 끝에, 7월 12일 11시부터 7월 14일 16시까지는 당시 댐 수위에서 방류될 수 있는 최대 수량(발전방류 700m³/s)으로 방류량을 조절하여 하류의 수위 상승을 억제하고 피해를 최소화하기로 결정하였다.

이러한 결정에는, 충주댐의 방류능력도 고려되었다. 충주댐의 여수로 월류정의 표고는 EL. 126.0m로 여수로의 방류능력으로 보면 문비를 완전히 개방했다고 하더라도 댐수위와 월류정의 수위차에 의해 유입량이 방류능력보다 크게 되면 수위는 자동적으로 증가하게 된다.

이후 잠수교의 수위가 점차 하강상태를 보임에 따라 7월 16일에 댐방류량을 3,000m³/s로 증가하여 방류하였고, 7월 17일 댐 안전 확보와 댐 상·하류 피해를 최소화하기 위하여 방류량을 허용치인 16,200 m³/s보다 훨씬 낮은 9,050m³/s로 유지하여 그림 4와 같이 충주댐 최고수위는 계획홍수위 EL. 145m보다 1m 보다 더 낮게(0.9m) 지나면서 위급상황을 벗어났다.

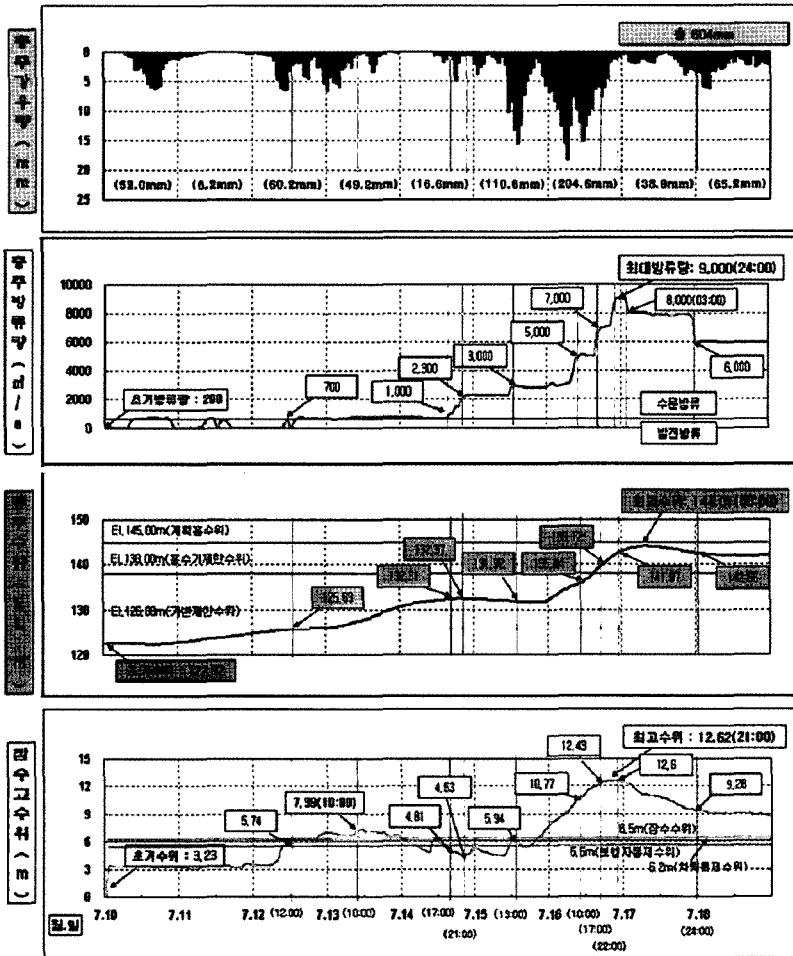


그림 3. 충주댐 방류량 및 잠수교 수위그래프

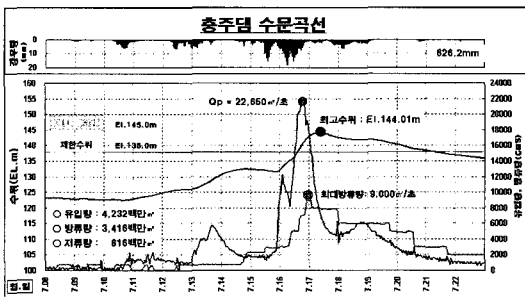


그림 4. 침투홍수시 충주댐 수문곡선

4. 여주지점 홍수조절효과 분석

4.1 홍수조절효과 평가

다목적댐의 홍수조절효과는 댐의 홍수조절에 대한 적정성 평가와 하루 홍수조절에 대한 평가로 구분할 수 있다. 댐의 홍수조절효과는 표 1과 같이 댐의 관점에서 유입홍수량을 얼마나 줄여서 하루로 방류하였는가를 나타내는 홍수조절률과 얼마만큼의 홍수량을 댐에 저류하였는가를 나타내는 저류율 등으로 표시할 수 있고 댐 하류하천의 홍수조절효과는 댐의 조절된 방류로 인해 댐 하류하천의 수위와 홍수량을 얼마나

저감하였는가로 나타낼 수 있다.

홍수조절효과는 자체 개발한 Kwater홍수분석모형을 이용하여 충주댐의 조절된 방류로 인해 댐하류 하천의 수위와 홍수량을 얼마나 저감하였는가를 분석하였다. Kwater홍수분석모형은 저류함수라는 해석 기법을 근간으로물관리센터에서 지난 1985년부터 지금까지 지속적으로 개발, 보완하여온 홍수분석시스템이다.

2006년 7월 장마로 인한 집중호우로 한강유역에는 팔당댐 기준으로 약 81억^m의 물이 유입되었고 이중 북한강수계는 약 40억^m의 물이 유입되었는데, 소양강댐으로 유입된 12.6억^m의 물 중 2.1억^m만 하류로 흘려보내고 나머지 10.5억^m을 저류하였다.

남한강수계에도 약 40억^m의 물이 유입하였는데, 충주댐으로 유입된 28억^m의 물중 13억^m을 하류로 흘려보내고 15억^m을 저류하였다(그림 5참조). 이로 인해 그림 6과 같이 충주댐유역 하류 여주지점의 홍수위를 3.05m 저하시킬 수 있었다. 표 2는 여주지점에서 한강수계 다목적댐의 홍수조절효과를 나타낸 것이다.

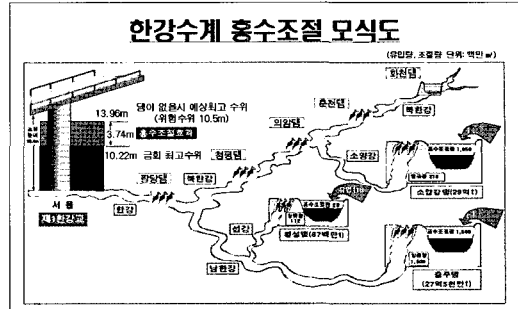


그림 5. 한강수계 홍수조절 모식도

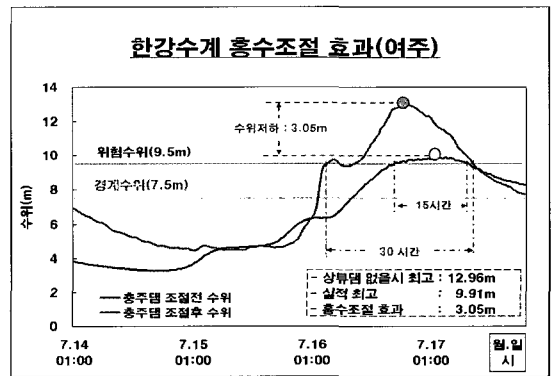


그림 6. 한강수계 홍수조절효과(여주)

표 1. 댐의 홍수조절효과 평가방법

평가항목	산출 방법
홍수조절률	$\frac{\text{첨두유입량} - \text{최대방류량}}{\text{첨두유입량}} \times 100$
저수공간 이용률	$\frac{f_{\text{저수량}}(\text{최고수위}) - f_{\text{저수량}}(\text{제한수위})}{f_{\text{저수량}}(\text{계획홍수수위}) - f_{\text{저수량}}(\text{제한수위})} \times 100$
방류율	$\frac{\text{총방류량}}{\text{총유입량}} \times 100$
저류율	$\frac{\text{총저류량}}{\text{총유입량}} \times 100$ or $100 - \text{방류율}$

표 2. 한강수계 다목적댐의 홍수조절효과(7.10~7.22)

(단위: m³/s)

하류지점	구분	소양강	충주	횡성	전체	
여주	첨두 홍수량	실측	-	15,059	15,059	15,059
		댐없을시	-	29,835	15,488	29,901
		차이	-	14,776	429	14,842
	첨두 수위	실측	-	9.91	9.91	9.91
		댐없을시	-	12.94	10.02	12.96
		차이	-	3.03	0.11	3.05

4.2 홍수피해 절감량 산정

기존의 홍수분석에서 적용된 수문학적 홍수추적기법은 하천 임의지점에서의 침수수위 계산이 곤란하므로 수리학적 홍수추적기법의 도입이 필요하다. 여기서는 미 육군공병단이 개발한 하천수리해석모형인 HEC-RAS모형을 이용하여 댐하류의 홍수수위를 구하고 홍수위(조절수위, 홍수위, 임계수위)에 따른 홍수피해절감량을 산정하는 방법을 제시함으로써 댐의 홍수조절효과를 경제적인 측면에서 나타내고자 하였다. 구체적으로는, 댐의 홍수조절에 의한 직접 홍수피해 절감량 산정방법으로 해당구역의 조절수위(댐이 있는 경우의 조절된 수위), 홍수위(댐이 없을 경우의 수위), 임계수위(댐하류의 제방고 또는 설계홍수위)에 대한 관계를 기초로 세가지 상황(잠재안전, 상대위험, 절대위험)의 평가지표에 따라 잠재피해절감량, 가상피해절감량, 실제피해절감량을 추정하여 댐 홍수조절 효과분석을 실시하였다(한국수자원공사, 2006a).

댐에 의한 직접홍수피해절감량 산정방법으로는 「치수사업 경제성분석 방법연구」(건교부, 2004)에서 제시한 하천 홍수위에 따라 침수예상지역의 침수에 따른 예상피해액을 추정하는 다차원 홍수피해산정방법(Multi-dimensional Flood Damage Analysis: MD-FDA)을 이용하였다.

다차원 홍수피해산정방법(MD-FDA)이란 하천에서 홍수범람이 발생할 경우 범람지역내 침수에 의해 예상되는 경제적 피해액을 여러 가지 차원(수위, 유량, 빈도, 피해 관계식 등)에서 직·간접적으로 산정하는 기법을 말한다.

표 3은 분석지점인 여주지점의 유량별 홍수위, 조

표 3. 여주지점의 유량별 홍수위, 조절수위, 임계수위

구 분	홍수분석모형		하천수리해석모형		
	유량(m ³ /s)	수위(m)	유량(m ³ /s)	수위(m)	
조절수위(다목적댐 조절 후 수위)	15,059	9.91(실측치)	14,685	9.80(추정치)	
임계수위(계획홍수위 : 제방높이)	15,600	10.06	15,600	10.06	
충주댐 없을시	홍수위(다목적댐 조절 전 수위)	29,835	12.94	25,101	12.60
	200년빈도 홍수시	24,000	11.90	24,000	12.50

절수위, 임계수위를 나타내고 있으며, 이에 따라 여주지점을 분석지점으로 한 충주댐 하류 남한강수계에 대한 수위-침수피해 곡선식(Flood-Damage Curve)을 적용한 결과, 충주댐 하류 하천변 378ha(1백만평)의 침수피해를 방지하였고, 이를 통해 약 2조 1천억원의 홍수피해를 저감시킨 것으로 나타났다(그림 7참조).

여기서, 조절수위는 댐에 의해 조절된 하류수위, 홍수위는 댐이 없을 경우의 여주지점수위, 임계수위는 댐하류의 제방고 또는 설계홍수위를 말한다.

5. 결론 및 제언

홍수에 의한 피해를 경감시킬 뿐만 아니라 홍수관리에 중요한 역할을 담당하고 있는 댐 사업은, 수해로 인한 인명과 재산을 보호하고 삶의 질을 향상시키는데 필수적인 공공사업이라 할 수 있다. 이러한 댐 건설의 비용과 효과를 분석하여 계획단계에서부터 경제적 효율성을 평가하고 사업의 타당성 여부를 결정하는 경제성분석을 실시하여, 이를 바탕으로 투자 사업에 대한 정책을 결정하게 된다.

태풍 및 장마전선에 따른 2006년 7월 강우는 지난 73년 관측시작 이래 강우량 중 최고치를 기록하였으며, 각 댐마다 적개는 300mm이상, 많게는 900mm에 가까운 집중호우가 내려 남한강 여주지역과 한강하류의 범람이 우려되는 국가적인 위기상황에 직면하기도 하였다. 특히, 남한강 구역의 충주댐은 계획홍수위(EL. 145m)를 불과 0.1m를 남겨두면서 충주댐 방류량을 놓고 충북 단양군과 경기도 여주시 등 남한강

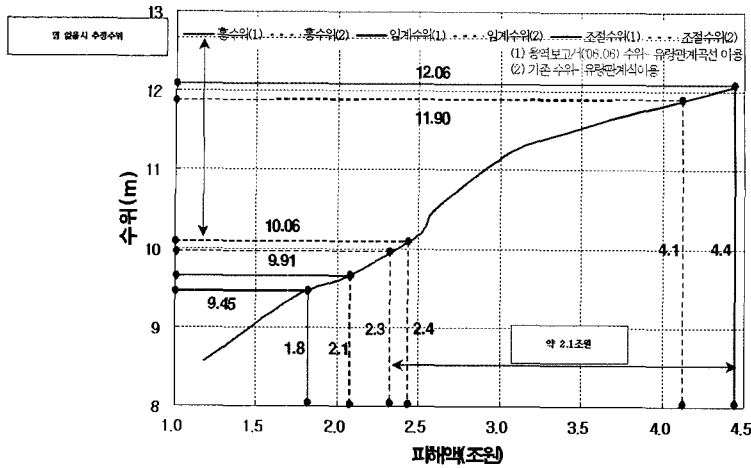


그림 7. 여주수위-남한강유역 피해액 관계곡선

상·하류 지자체 간에 치열한 신경전이 벌어지기도 했다. 이러한 상황에서 충주댐(저수용량 27억 5천만 m^3)은 운영이후 최대인 최대 22,650 m^3/s 의 유입홍수량에 대해 40%수준인 최대 9,050 m^3/s 만을 조절 방류하여, 충주댐유역 하류의 홍수위를 저하시켜 한강 본류의 홍수경감에 크게 기여하였다.

이러한 홍수조절효과는 저류함수법을 기반으로 수자원공사에서 자체 개발한 Kwater홍수분석모형을 이용하여, 충주댐의 조절된 방류로 인해 댐하류하천의 수위와 홍수량을 얼마나 저감하였는가를 분석한 결과에 따른 것이다. 결과적으로 충주댐으로 유입된 28억 m^3 의 물 중 13억 m^3 을 하류로 흘러 보내고, 15억 m^3 을 저류하여, 충주댐유역 하류 여주지점의 홍수위를 3.05m 저하시킬 수 있었다.

댐 홍수조절 효과분석 기법은 댐 유무에 따른 하류 대상지점에 대한 수위저감효과를 정량화 시키는 방법으로서 분석 대상지점에 대하여 결정된 홍수위, 조절수위, 임계수위의 관계에 따라 잠재안전, 상대위험, 절대위험의 3개 상황으로 구분하고, 각 경우에 대해서 수위저감효과, 위험도 경감효과, 피해경감량과 같은 댐 홍수조절 효과지표를 제시하였다.

2006년 7월 집중호우에 대하여 충주댐 하류 남한강수계를 대상으로 1차원 하천수리해석모형인 HEC-RAS모형과 다차원 홍수피해산정방법을 이용

하여 수위-유량, 수위-피해, 빈도-유량, 빈도-피해 관계곡선을 산정하였다. 다음에 남한강수계의 대표분석지점으로 여주지점을 선정하여 수위조건을 바탕으로 상대위험상태를 결정하고 이에 따라 수위저감효과, 위험도 경감효과, 피해경감량에 대한 값을 제시하였다. 여주지점을 분석지점으로 한 충주댐 하류 남한강수계에 대한 수위-침수피해 곡선식(Flood-Damage Curve)을 적용한 결과, 충주댐 하류 하천변 378ha(1백만평)의 침수피해를 방지하였고, 이를 통해 약 2조 1천억원의 홍수피해를 저감시킨 것으로 나타났다.

여기에서 제시한 댐홍수조절 효과분석 방법론은 범람범위 추정, 피해액과 위험도분석을 위한 전처리 과정 및 산정과정의 다소 복잡하여 조사 분석방법의 일관성 및 정확성을 높이고 실무에서 손쉽게 사용하기 위해서는 통일된 실무지침 및 지표설정이 필요하다고 생각된다.

범람범위의 추정을 위해서는 적정 수리, 수문 모형에 의한 침수위 설정에서 적정 공간정보모형에 의한 침수구역 설정에 이르는 일련의 과정을 시스템화하여 기상이변이나 유역특성변화와 같은 환경변화가 발생되었을 때, 보다 손쉽게 효과를 제시할 수 있도록 해야 한다. 또한, 향후에는 직접 피해평가로 국한된 범위를 가능한 고려할 수 있는 간접피해평가까지 그 범

위를 확대하여 댐 홍수조절에 의한 보다 구체적인 효과를 계량화할 수 있는 방법론을 연구할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- 건설교통부 (2004). 치수사업 경제성분석 방법 연구. pp. 61~93.
- 한국수자원공사 (2006). 댐의 홍수조절 효과분석 기법 및 적용 연구용역 보고서. pp. 129-155.
- 한국수자원공사 (2006). 2006년 집중호우에 따른 한강수계 다목적댐 홍수조절 현황 및 분석, 수자원정보화지, pp. .
- 이충성, 최승안, 심명필, 김형수 (2006). “GIS기반의 분포형 홍수피해산정 기법.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제3B호, pp. 301~310. ㉸