

이상홍수에 대한 남한강 유역의 홍수취약성 분석 및 방재대책

Flood Mitigation Analysis for Abnormal Flood at Namhangang River Basin

안재황*, 최창원**, 이재응***, 심재현****, 이철규*****

Jaehwang Ahn, Changwon Choi, Jaeung Yi, Jae Hyun Shim, Cheol Kyu Lee

요 지

전 세계적으로 진행 중인 지구온난화와 기후변화의 영향으로 우리나라의 강우특성이 변화하고 있다. 이에 기후변화로 인한 재해 발생요인을 감소시키기 위한 다양한 대책을 검토하고 합리적 대책을 제시하여 이상홍수에 대한 대응방안을 수립할 필요가 있다. 본 연구에서는 이상홍수에 대비한 방재대책을 수립하기 위해, 먼저 이상홍수 발생 시 댐과 같은 대규모 수공구조물의 방류로 인해 하류에 위치한 도시에 피해가 미칠 수 있는 유역을 선정하였다. 이후 선정된 시험유역에서의 이상홍수 발생 시나리오를 작성하여 각 시나리오별 이상홍수의 취약성을 평가하고, 마지막으로 시험유역에 다양한 방재대책을 적용해 적용된 방재대책의 재해저감 능력을 분석하여 적절한 방재 개선안을 도출하는 것을 목표로 하였다. 충주댐의 홍수조절 능력을 초과한 홍수발생 시 충주댐 하류에 위치한 주요 도시인 충주 및 여주에 홍수피해 발생 위험이 증가하게 된다. 본 연구에서는 2006년 7월에 발생했던 홍수사상을 분석하고, 2006년 7월의 실측 강우량보다 1.2~1.5배 큰 강우사상과 PMF가 발생할 경우에 대한 모의를 통해 남한강유역의 홍수 취약성을 분석하였다. 분석된 홍수 취약성을 기초로 충주댐 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위해 다양한 홍수저감대책을 고려하였다. 홍수저감대책 중 구조적인 방법으로는 댐 상류지역에 홍수조절지를 건설하는 방안, 신규댐을 건설하여 충주댐과의 연계 운영하는 방안, 댐 하류에 강변저류지를 설치하는 방안 및 홍수발생시 파체를 실시하는 방안을 모의하였고 비구조적인 방법으로는 충주댐의 홍수조절능력을 높여주는 가변제천수위 적용방안을 모의하였다. 그 결과 댐 사이의 연계운영이 적절하게 이루어진다면 구조적인 방법 중 하나인 신규댐을 건설하는 방안이 가장 효과적인 홍수저감대책인 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 이상홍수, 홍수취약성, 홍수저감분석, 방재대책

1. 서론

전 세계적으로 진행되고 있는 지구온난화와 기후변화의 영향으로 한국의 강우특성도 바뀌고 있다. 우리나라는 산지가 많은 지형적 특성상 대부분 하천의 유출시간이 짧기 때문에 하류 지역에 위치한 도시들은 홍수피해에 노출되어 있다. UN 개발계획(UNDP, 2004)에 의하면 한국의 홍수 위험지수는 6.85로 일본의 2.81, 미국의 2.28 등에 비해 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있다. 국내의 홍수위험 발생을 감안하여, 국내의 실정에 적합한 방재대책을 수립하여 홍수위험을 감소시키는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 홍수저감대책 중 구조적 방안에 대한 연구로는 Pilgrim and Robinson(1979)이 구조적 대책에 중점을 두어 홍수위험을 완화하는 정책 재평가를 수행 하였고, Faisal 등(1999)은 구조적 대책이 홍수피해 경감에 크게 기여한다는 것을 제시하였다. Al-Weshah 등(2000)과 Jaffe and Sanders(2001) 및 Liaw 등(2006)은 유역에 설치된 수공구조물,

* 정회원 · 아주대학교 건설교통공학과 석사과정 · E-mail : koreaace@ajou.ac.kr
** 정회원 · 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 · E-mail : itsme99@ajou.ac.kr
*** 정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 · E-mail : jeyi@ajou.ac.kr
**** 정회원 · 국립방재연구소 방재연구실장 · E-mail : shim1001@nema.go.kr
***** 정회원 · 국립방재연구소 시설연구사 · E-mail : powerful@nema.go.kr

과제를 통한 침투수위 저하, 제방 축조를 통한 유속완화 등의 구조적 대책을 홍수저감대책의 방안으로 제시하기 위한 연구를 진행하였다. 과거 사례를 분석한 연구로, Birkland 등(2003)은 구조적 대책에 중점을 둔 미국의 홍수저감대책을 분석하고 홍수피해 예방 및 친환경적 정책에 대하여 연구하였으며, Brody 등(2009)은 미국 플로리다 주에서 시행한 홍수저감 정책의 사례를 통하여 비구조적 대책을 연구하였다. 본 연구에서는 이상홍수 및 극한홍수에 대비한 방재대책을 수립하고자, 시범유역을 선정하고 시범지역에서의 이상홍수 및 극한홍수 발생 시나리오를 작성하여 홍수의 취약성을 평가하였다. 또한 시범유역에 다양한 방재대책을 적용한 방재 대책의 재해저감능력을 분석하여 적합한 방재 개선안을 도출하였다. 이상홍수 발생 시 댐과 같은 대규모 수공 구조물의 방류로 인해 하류에 위치한 도시에 피해가 발생할 위험이 있으며, 댐과 연계한 홍수저감대책을 고려할 수 있는 ‘남한강 유역’을 시범유역으로 선정하였다.

2. 이상홍수 발생 시나리오

이상홍수 발생 시나리오별 강우사상이 발생할 경우 충주댐으로 유입되는 홍수량을 추정하기 위해 HEC-HMS를 이용해 충주댐 상류 유역에 대하여 유출모형을 구축하였다. 매개변수를 추정하기 위한 방법으로 HEC-HMS의 기능 중 하나인 최적화 기능을 사용하였다. 이때, SCS 방법의 CN값과 초기 손실은 토지이용도와 정밀토양도를 이용해 직접 산정된 값을 사용하고, 집중시간, 저류상수, 감수상수, 초기 기저유량, threshold 유량 등 5개의 매개변수는 최적화 기능을 사용하여 추정하였다. 매개변수의 산정 결과, 2006년 7월 강우사상의 경우(실제 유출량과 모의된 유출량) 침투유출량은 0.01 %의 오차를 나타냈고 총 유출량에서는 약 8.7 %의 오차를 나타내 만족할 만한 모의 결과를 보였다.

이상홍수 상황을 모의하기 위해 2006년 7월 강우의 1.2~1.5 배에 해당하는 강우 발생 시 충주댐의 유입량을 모의하였다. Table 1의 각 시나리오별 침투유입량 변화를 분석해 보면 실측강우(1 배 강우사상)를 모의하였을 경우 22,652 m³/s로 실측된 침투유입량에 비해 2 m³/s 증가 한 것으로 나타나고 있어 HEC-HMS를 이용한 모의가 실제의 유입량을 잘 반영하는 것으로 판단된다. 시나리오별 강우사상에 따른 유입량은 강우량이 1.2 배, 1.3 배, 1.4 배, 1.5 배로 증가할 경우 충주댐 유입량은 1.18 배, 1.27 배, 1.36 배, 1.45 배 증가하는 것으로 나타났다.

Table 1. Calculated peak inflow based on each scenario

| | peak inflow(m ³ /S) | ratio(%) |
|----------------|--------------------------------|----------|
| observed value | 22,650 | |
| 100% | 22,652 | 0.01 |
| 120% | 26,749 | 18.10 |
| 130% | 28,798 | 27.15 |
| 140% | 30,844 | 36.18 |
| 150% | 32,927 | 45.37 |

3. 저수지 모의운영

산정된 충주댐유역의 유출량을 이용하여 충주댐의 저수지 모의운영을 실시하였다. 각 시나리오에 따른 충주댐의 저수지 모의운영 결과 1.4배의 강우사상에서 여주지점의 계획홍수량을 초과하는

것으로 모의 되었다(Table 2). 충주댐의 경우 기준 시나리오의 1.4배 이상의 강우가 발생할 경우 홍수조절 능력이 한계에 도달할 것으로 판단된다.

Table 2. Simulation results

| | Chungju Reservoir | | Yeoju | | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|--------|
| | maximum water level (EL.m) | margin of level (m) | maximum discharge (m ³ /s) | margin of discharge (m ³ /s) | |
| design food level / flood discharge | 145 | - | 15,600 | - | |
| observed value | 144.01 | 0.99 | 12,199 | 3,401 | |
| scenario | 100% | 140.76 | 4.24 | 14,249 | 1,351 |
| | 120% | 142.21 | 2.79 | 14,797 | 803 |
| | 130% | 143.18 | 1.82 | 14,876 | 724 |
| | 140% | 144.09 | 0.91 | 15,804 | -204 |
| | 150% | 144.41 | 0.59 | 17,692 | -2,092 |

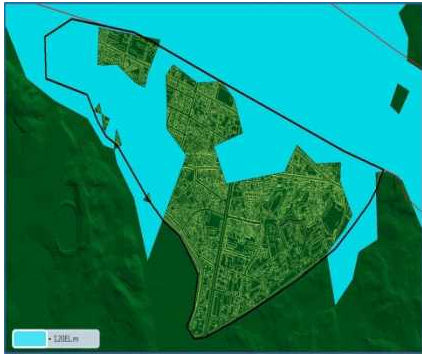
4. 홍수 저감대책의 비교

시험구역의 홍수저감대책을 고려하고 각 저감대책에 따른 홍수조절효과를 비교하기 위해 극한 홍수사상(PMF)을 중심으로 연구를 수행하였다. 홍수저감을 위한 구조적 대안으로 충주댐 상류에 신규댐이나 홍수조절지를 건설하는 방안과 충주댐 하류에 강변저류를 건설하거나 홍수 시 제방을 파괴하는 파제를 고려하였고, 비구조적 방안으로는 충주댐의 홍수기 운영에 가변제한수위를 사용하는 방법을 고려하였다. 홍수저감대책에 따른 홍수조절효과 분석을 위해 저수지 모의운명을 통해 산정된 충주댐의 방류량과 지류유입량은 하도추적을 실시하여 충주지점과 여주지점의 홍수량을 산정하고 GIS 자료를 활용하여 홍수범람모의를 통해 여주와 충주시까지의 침수면적을 산정하였다. Table 3은 주요지점의 홍수범람면적을 나타낸다. 구조적 대안 중 강변저류지, 홍수조절지, 파제의 방제대책은 여주의 경우 침수면적을 기준으로 23~25 % 내외의 침수면적비율을 나타냈으며, 가변제한수위를 적용한 경우는 이보다 많은 25~37 %의 면적이 침수되는 것으로 나타났다. 이에 비해 신규댐을 건설할 경우 여주의 경우 침수면적은 전체면적의 7.3 %에 불과한 것으로 모의되었다. 산정 결과 본 연구를 통해 고려한 홍수저감대책 중 신규댐을 건설을 통한 홍수조절 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

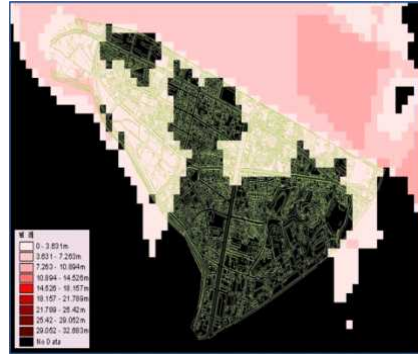
Table 3. Flooded area at main locations caused by PMF

| | Yeoju | | Chungju | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------|-------|
| | inundation area (m ²) | rate (%) | inundation area (m ²) | rate (%) | |
| total area | 1,390,613 | - | 11,642,174 | - | |
| 120 EL.m | 566,684 | 40.75 | 2,011,933 | 17.28 | |
| change of flood control level | 119 EL.m | 520,257 | 37.41 | 1,991,183 | 17.10 |
| | 118 EL.m | 371,305 | 26.70 | 1,968,786 | 16.91 |
| | 117 EL.m | 356,322 | 25.62 | 1,952,145 | 16.76 |
| | 116 EL.m | 348,096 | 25.03 | 1,945,238 | 16.71 |
| new reservoir | 101,460 | 7.30 | 1,611,090 | 13.84 | |
| off-side channel storage | 356,291 | 25.62 | 2,011,933 | 17.28 | |
| flood control reservoir | 323,785 | 23.28 | 1,913,802 | 16.44 | |
| levee break | 355,608 | 25.57 | 2,011,933 | 17.28 | |

Figure 1(a)~(b)에 방재대책을 고려하지 않았을 경우에 극한홍수사상에서 여주지점의 홍수범람도와 침수심도를 나타내었고, Figure 2(a)~(b)에 충주댐 상류에 신규댐을 건설하여 충주댐과의 연계운동을 통하여 홍수조절을 실시할 경우 여주지점의 홍수범람도와 침수심도를 도시하였다.



(a) Inundation Map of Yeosu



(b) Inundation Depth of Yeosu

Figure 1. Flooded area and inundation depth without disaster prevention



(a) Inundation Map of Yeosu



(b) Inundation Depth of Yeosu

Figure 2. Flooded area and inundation depth by new reservoir construction

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 시나리오에 따른 이상홍수가 발생할 경우 남한강 유역에 홍수피해가 예상됨을 확인할 수 있었다. 또한 이상홍수 및 극한홍수 발생 시 충주댐의 홍수조절능력이 한계에 도달할 것으로 판단된다. 홍수피해를 저감하기 위한 방재대책 중, 구조적인 방안으로 신규댐, 홍수조절지, 강변저류지의 건설과 파제를 고려하였고, 비구조적인 방안으로 충주댐의 가변제한수위 도입에 대해 검토하였다. PMF 발생 시 각각의 홍수저감대책을 적용할 경우 충주댐의 상류에 신규댐을 건설하고 충주댐과 연계운동을 실시할 경우 홍수저감 효과가 가장 큰 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Al-Weshah, R., El-Khoury, F.(2000) Flood risk mitigation using watershed management tools: Petra area (Jordan), Proceedings of the 9th United Engineering Foundation Conference on Risk-Based Decisionmaking in Water Resources - Risk-Based Decisionmaking in Water Resources IX 306, pp. 164-172
2. Birkland, T.A., Burby, R.J., Conrad, D., Cortner, H., Michener, W.K.(2003) River ecology and flood hazard mitigation, Natural Hazards Review 4 (1), pp. 46-54
3. Brody, S.D., Zahran, S., Highfield, W.E., Bernhardt, S.P., Vedlitz, A.(2009) Policy learning for flood mitigation: A longitudinal assessment of the community rating system in Florida, Risk Analysis 29 (6), pp. 912-929
4. Faisal, I.M., Kabir, M.R., Nishat, A.(1999) Non-structural flood mitigation measures for Dhaka City, Urban Water 1 (2), pp. 145-153
5. Jaffe, D.A., Sanders, B.F.(2001) Engineered Levee breaches for flood mitigation, Journal of Hydraulic Engineering 127 (6), pp. 471-479
6. Liaw, C.-H., Tsai, Y.-L., Cheng, M.-S.(2006) Assessing flood mitigation alternatives in Shijr area in metropolitan Taipei ,Journal of the American Water Resources Association 42 (2), pp. 311-322
7. Pilgrim, D.H., Robinson, D.K.(1979) Toward a Flood-Hazard mitigation polisy for Australia, Institution of Engineers, Australia, Civil Engineering Transactions CE 21 (2), pp. 63-68
8. UN(2004), UNDP Annual Report 2004