

댐과 하천유역을 연계한 홍수 대응 방안 - 2020년 섬진강 홍수사상을 대상으로 -

백경오^{1*} · 이동열²

Plan for Flood Control Linked with Dam and River Basin

Kyong Oh Baek^{1*} · Dong Yeol Lee²

¹Corresponding Author

Kyong Oh Baek

Tel : +82-31-670-5141

E-mail : pko@hknu.ac.kr

Received : December 28, 2022

Revised : February 9, 2023

Accepted : April 4, 2023

Copyright©2023 by The Korean Society
of Safety All right reserved.

Abstract : In this study, a one-dimensional numerical model was constructed to propose a flood control plan linked with the dam and river basin for the flood events of the Seomjin River in 2020. The flood level reduction of the downstream river was tested based on a scenario operation of the Seomjingang Dam and was also analyzed when a storage pocket was newly constructed as one of the river basin measures. It was confirmed that Seomjingang Dam's flood control capacity would be increased if the flood limit level was drastically lowered from the current EL. 196.5 m to EL. 188.0 m. In addition, if the upper area of the (old) Geumgok Bridge (which suffered great damage due to the loss of the levee) is used as a storage pocket, it would be effective in preventing floods in the lower area of it. In the era of the climate crisis, more integrated flood management is needed and basic river management must be observed.

Key Words : flood control, Seomjin River basin, storage pocket, flood limit level

1. 서론

기후변화로 인한 여름철 강우 패턴의 변화는 그동안 우리가 경험해 보지 못한 가뭄과 홍수피해를 지속적으로 유발하고 있다. 특히, 2020년 장마기간 동안 발생한 홍수피해는 지금까지의 우리나라 홍수 대응체계의 한계를 여실히 드러낸 바 있다. 2020년 여름 장마는 6월 24일에 시작하여 8월 16일 종료됨에 따라 총 54일간 지속되었으며, 이는 기상관측이 전국으로 확대된 1973년 이후 가장 긴 장마로 기록됨과 동시에 8월에만 3차례에 걸쳐 38개 시군구, 36개 읍면동이 집중호우 특별재난지역으로 선포되었다¹⁾. 특히 섬진강의 경우 댐 하류인 남원, 곡성 등의 지역에서 500년 빈도를 초과하는 집중호우가 발생하였으며, 이로 인해 섬진강 본류 전반에 걸쳐 홍수량(100년 빈도)를 크게 상회하는 하천유량이 발생하였다²⁾.

하천 관리의 측면에서만 보면 책임의 분산 및 예산 부족 등의 이유로 제방의 연속성을 확보하지 못함으로

인해 외수 유입으로 인한 침수가 여러 지역에서 발생하였다. 댐 하류라 하더라도 도심지가 아닌 구간은 개수율이 상대적으로 저조하여 댐 방류시 주민 피해가 반복하여 발생하였고, 지자체가 위임받아 관리하는 하천의 경우, 제방 및 도로 교량 등이 설계 기준 이상으로 정비되지 못하고 방치됨으로써 홍수 피해를 유발시키는 주요 원인이 되었다. 본류 제방이 기준에 맞게 정비되었더라도 합류되는 지류의 제방이 낮은 지역에서는 피해가 다수 발생하였다. 또한 제방의 구조적 안정성에 문제가 있는 구간에서는 침투 또는 파이핑에 의한 제방 붕괴가 발생하기도 하였다²⁾.

기후위기의 시대에 반드시 지켜져야 할 이러한 기본적인 하천관리 뿐만 아니라 보다 통합적인 홍수관리가 필요한 실정이다. 선(線) 중심의 하천관리와 더불어 면(面)적인 유역 대응이 필요하다. 하류 하천의 상황을 고려한 정교한 댐 운영도 요구되는 시점이다. 본 연구에서는 댐과 하천유역을 연계한 홍수 대응방안 제안을 위해 2020년 섬진강 유역 홍수사상을 대상으로 1차원

¹한경국립대학교 건설환경공학부 교수 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hankyong National University)

²한경국립대학교 건설환경공학부 박사과정 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hankyong National University)

수치 흐름모형을 구축하였다. 구축된 모형은 관측된 홍수위 자료를 통해 검증하였다. 상류 섬진강댐의 가상 운영(시나리오를 설정)을 통해 하루 하천의 홍수위 저감을 살펴보았으며, 유역대책의 하나로 강변저류지를 신설할 경우 홍수위 저감량 또한 분석하였다.

2. 해석모형의 구축

2020년 섬진강에 발생한 홍수사상을 1차원 수리모형인 HEC-RAS를 활용하여 부정류(unsteady flow) 모의를 통해 재현하였다. HEC-RAS 모형은 국내에서 하천 기본계획수립시 계획홍수위 산정의 도구로 활용되는 기본 모형으로 통상 부등류(non-uniform flow) 모의에 활용되나, 부정류 모의에도 정확한 결과를 도출하는 것으로 알려져 있다³⁾.

2.1 대상구간 및 경계조건

모형 내 지형자료는 섬진강 하천기본계획(MOLIT, 2021)⁴⁾의 개수 전 자료를 활용하였다. 구간은 섬진강 하구(하류단 경계는 No. 0(섬진대교) 지점의 수위자료가 부재하여 이로부터 약 15 km 상류에 위치한 하동군(읍내리) 수위 관측소를 삼음)부터 섬진강댐 직하류까지 (No. 15 ~ No. 135.200) 약 120 km이다. 주요 지류로 보성강, 요천, 오수천 등이 있는데, 보성강 포함 모든 지류 및 지천은 측방 유입(lateral inflow)하는 것으로 처리하였다. 모의기간은 2020년 8월 6일부터 8월 12일 까지이다. 섬진강 수계 모식도와 주요 수위 관측소 위치도는 Fig. 1과 같다.

이 그림의 지류 하천 중 섬진강과의 합류점 인근에 유량관측소가 있는 하천은 오수천, 경천, 옥과천, 요천, 황천천, 서시천 총 6곳이다. 유량관측소가 있는 6곳은 실측된 유량값을 측방유입으로 입력하였다. 유량관측소가 없는 하천은 갈담천, 치천, 입천, 수지천, 곡성천 총 5곳이다. 이 중 유역면적이 상대적으로 작은 수지천, 곡성천은 유량값을 입력해주지 않았다. 갈담천, 치천, 입천은 최인접 지류유역의 실측 유량을 기준으로 유역 면적비를 감안하여 유량값을 추출하였다. 예를 들어 입천의 경우에는 Fig. 1에서 보는 것처럼 가장 가까우면서 실측유량이 존재하는 옥과천을 기준으로, 입천과의 유역면적비율을 옥과천 유량에 곱하여 입천의 유량값을 산정하였다. 동일한 방법으로 갈담천, 치천의 경우 오수천과의 유역면적비로 유량값을 산정해주었다. 이상의 과정을 통해 추정된 3곳의 지천 유량을 도시하면 Fig. 2와 같다. 보성강의 유량값 또한 측방유입으로 입력해주었고, 섬진강으로부터 최인접한 보성강의

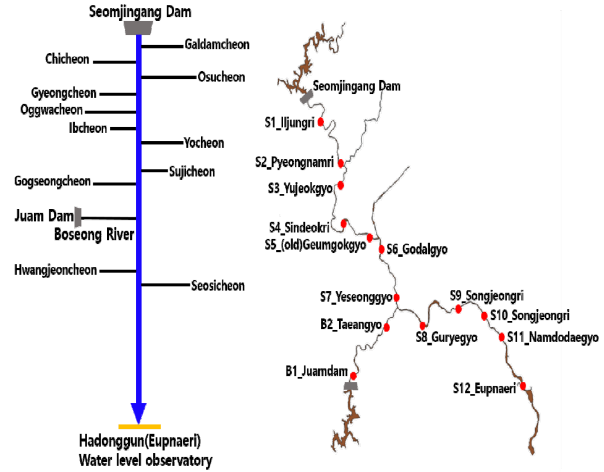


Fig. 1. Schematic diagram of Seomjin River watershed and location of water level observatories.

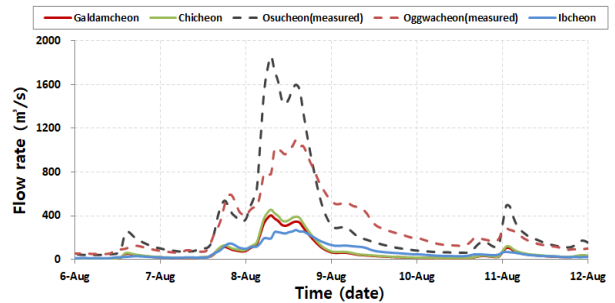


Fig. 2. Established tributary flow rate as lateral inflow.

유량관측소에서 실측된 유량값을 사용하였다.

2.2 홍수위 모의

구축된 모형을 기반으로 2020년 관측된 섬진강댐의 방류량을 상류 유입유량으로 할당하여 홍수위를 모의하였다. 입력된 섬진강댐의 방류량, 유입량, 댐수위는 Fig. 3과 같다. 각 구간별 조도계수의 미세조정을 통해 실측 수위를 재현하였다. 또한 섬진강댐 방류량의 지점별 홍수위 기여도를 확인하기 위해 댐 유입량을 댐 방류량 대신 입력한 경우(scenario_1)와 댐 방류량이 없다고 가정하고 아예 부여하지 않는 경우(scenario_2)를 추가하여 모의를 수행하였다. 주요 지점의 관측 수위(measured), 모의 수위(calculated)를 비교하면 Fig. 4와 같다. 주요 지점별 관측수위 대비 모의수위의 차이를 Table 1에 정리하였는데, 모형이 관측 침투치를 비교적 잘 재현하고 있다. 그리고 Fig. 4에서 보듯이 댐 조절없이 댐유입량이 하도로 유입되는 경우(scenario_1)의 수위 상승치가 댐 유역이 아예 없는 경우(scenario_2)의 수위 하강치보다 훨씬 큼을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 하도저류효과로 하류로 갈수록 그 차이가 감소

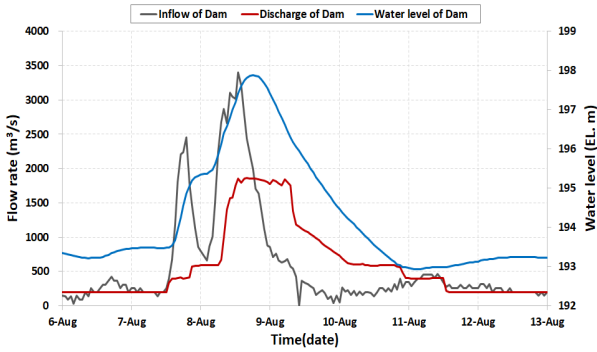


Fig. 3. Inflow, discharge and water level of Seomjingang Dam during flood season in 2020.

Table 1. Difference between measured and calculated water levels at each major location

Location	Observatory	Flood level in 2020 (EL. m)	Calculated water level (EL. m)	Water level difference (m)
S1	Ijungri	121.22	121.09	-0.13
S2	Pyeongnamri	85.59	85.54	-0.05
S3	Yujeokgyo	81.25	81.21	-0.04
S5	(old)Geumgokgyo	56.81	57.05	0.24
S6	Godalgyo	54.51	55.28	0.77
S7	Yeseonggyo	43.03	42.96	-0.07

하는 경향을 보이기는 하지만, 당시 섬진강댐의 홍수 조절효과가 있었음을 보여주는 그림이라 할 수 있다.

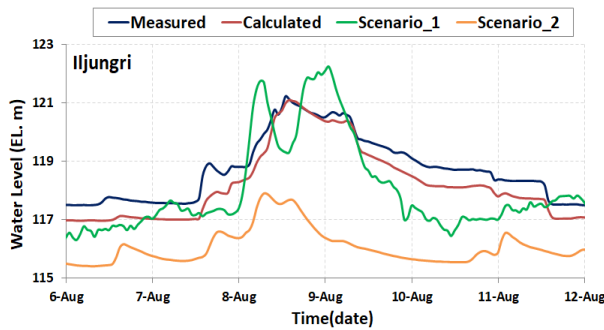
수치모형은 섬진강 하구까지 구축하였으나, 그림에서 보듯이 섬진강댐이 영향을 크게 미치는 구간은 보성강 합류 이전이고, 보성강의 홍수량은 주암댐에서 조절되므로 이를 변수로 감안하면 보성강 합류 이후는 분석에 더 많은 주의를 기울여야 한다. 본 연구에서는 섬진강댐의 운영 조건 변경만 고려하므로 보성강 합류 이전 구간의 피해상황을 대상으로 대응방안을 중점적으로 살펴보았다.

3. 댐 운영과 유역 대책을 통한 홍수 대응

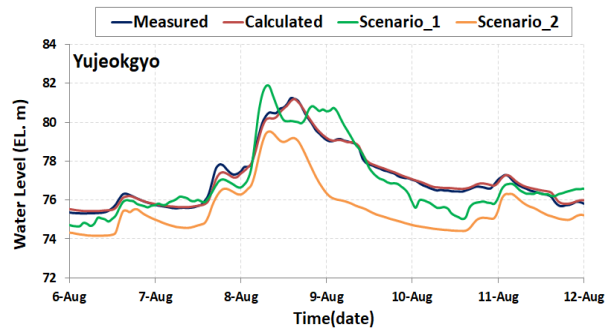
구축된 수치모형을 기반으로 첫 번째 섬진강댐 운영 개선을 통한, 특히 홍수기제한수위 변경을 통한 홍수대응방안과 두 번째 유역대책, 특히 저류지를 신설하여 대응하는 방안 등 두 가지에 대한 분석을 수행하였다.

3.1 댐 대책; 섬진강댐 홍수기제한수위 변경

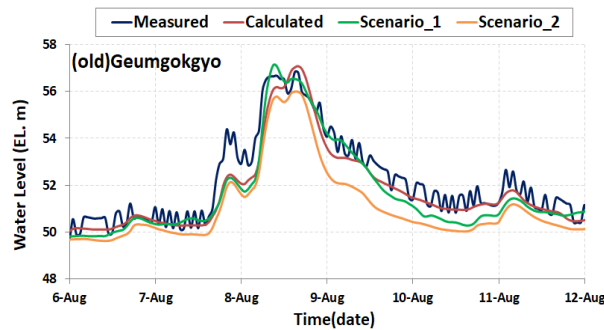
본 연구에서는 댐관리규정⁵⁾에서 적시하고 있는 기존 홍수기 제한수위 EL. 196.5 m 대신 관개용수 공급을 위한 3월말 확보 수위 EL. 188.68 m를 홍수기 제한수위로 새롭게 설정해 보았다. 농업용수 공급기간을



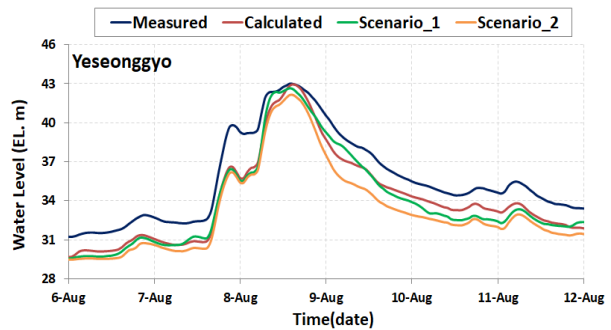
(a) Measured and calculated water levels at location S1



(b) Measured and calculated water levels at location S3



(c) Measured and calculated water levels at location S5



(d) Measured and calculated water levels at location S7

Fig. 4. Measured and calculated water levels at major locations during the flood season in 2020.

4월 1일부터 9월 30일까지로 정하고 있고, 이 기간 동안 수위가 EL. 188.68 m를 유지하면 이수용수(농업용수) 공급에 문제가 없을 것이므로 이 값을 홍수기 제한수위의 하한치로 설정할 수 있다. 참고로 댐 관리규정에서 섬진강댐은 용수공급량으로 농업용수(연간 350 백만 m^3)만을 지정하고 있다.

홍수기 제한수위 변경으로 증가된 댐 홍수용량이 2020년 홍수사상시 하류 홍수관리에 얼마나 효과적일 수 있는지 구축한 HEC-RAS 부정류 모형을 기반으로 홍수위를 모의해 보았다. 이때 섬진강댐의 방류 실적을 가정하기가 매우 까다롭기 때문에 ‘댐하류 수해원인 조사보고서 섬진강댐’ 부록(ME, 2021)²⁾을 참고하였다. 이 보고서 부록 5.3 댐 시나리오 검토 편에서는 총

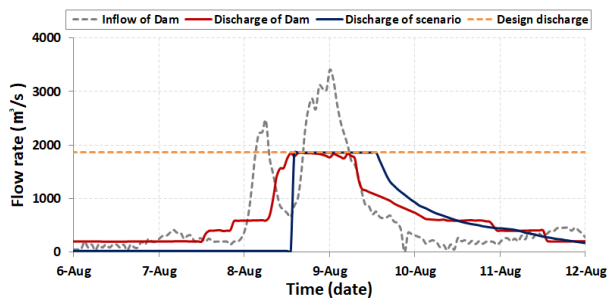
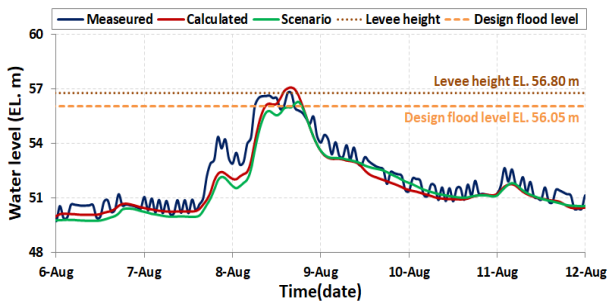
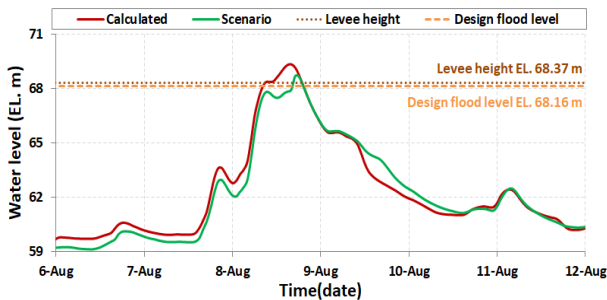


Fig. 5. The actual discharge of Seomjingang Dam and the discharge of scenario No.23.



(a) Change in water level at (old)Geumgokgyo



(b) Change in water level at Jewolri

Fig. 6. Change in water level at flood affected areas when the discharge of scenario No. 23 was applied.

37개의 가상 시나리오를 검토하였으며, 본 연구에서는 이 중 No. 23을 준용하여 댐 방류실적으로 가정하였다 (Fig. 5 참조). No. 23 시나리오를 선택한 이유는 사전 방류량에 대한 전제조건 없이 초기수위를 EL. 188 m로 가정하였고, 상시만수위까지는 담수, 그 이상일 때는 계획홍수위 준수, 계획방류량 준수 등의 조건을 따랐기 때문이다(오직 초기수위만을 변수로 가정했기 때문).

상기 방류 시나리오를 입력 자료로 하여 부정류 모의했을 경우, 본류 월류 지점 두 곳 ((구)금곡교 지점과 곡성군 제월리)의 홍수위를 Fig. 6에 도시하였다. 이 그림에서 보듯이 No. 23 시나리오의 경우, (구)금곡교에서 홍수위는 제방고를 넘지 않았고, 제월리에서는 제방고를 상회하였다. 이 결과는 제한수위 하향 운영으로 2020년 홍수사상 발생시 제한수위가 만약 EL. 188 m이었다면(scenario) (구)금곡교에서 월류는 발생하지 않았으며, 제한수위의 변경이 홍수방어 효과를 발휘할 수 있음을 간접적으로 보여주는 하나의 사례라 할 수 있겠다. 환경부에서는 2021년 섬진강댐 홍수기 제한수위를 1 ~ 2.5 m 하향하여 운영하는 시범사업을 시행한 바 있는데, 제한수위를 보다 과감하게 하향 설정하여 적극적으로 홍수조절용량의 확대를 시도할 필요가 있어 보인다.

3.2 유역 대책; 강변 저류지의 신설

2020년 홍수와 같은 대규모 홍수에 대한 대비는 다목적댐의 저류능력만으로 방어할 수는 없으며, 유역내 다양한 저류시설과 하천을 포함한 유역차원의 체계적인 관리가 필요할 것이다. 한국수자원학회는 다목적 저류지 시범사업(‘24~’25년)을 제안하면서 ‘20년 집중호우로 인한 홍수피해 지역(섬진강, 용담댐 하류) 중 사업효과, 지역 희망여부 등을 종합적으로 고려하여 강변저류지를 선정, 추진해야 함을 강조한 바 있다⁶⁾. 물론 과거 연구들^{7,8)}에서 저류지가 홍수위 저감에 크게 효과적이지는 논쟁이 있었으며, 최적지점 선정과 최적의 제원설계가 필수적임이 강조된 바 있다^{9,13)}.

본 연구에서는 하나의 예시로 HEC-RAS 내 storage 기능을 활용하여 저류지를 신설할 경우 저감되는 홍수위를 분석해 보았다. 저류지로 가정한 지역은 두 지역인데, Fig. 7과 같이 (구)금곡교 직상류 남원시 신월리와 고달교 상류 곡성군 동산리이다. 저류지 면적은 각각 약 2 km^2 로 가정하였다. 이외 저류지 제원을 가정하기 위해 남한강에 설치된 여주저류지¹⁴⁾를 참고하였다. 여주 저류지의 넓이는 2.2 km^2 , 유입위어 길이는 300 m, 바닥고는 평균지반고 기준 6~8 m 절토를 하였다. 이를 참고하여 본 모의에서 유입위어 길이는 300 m,

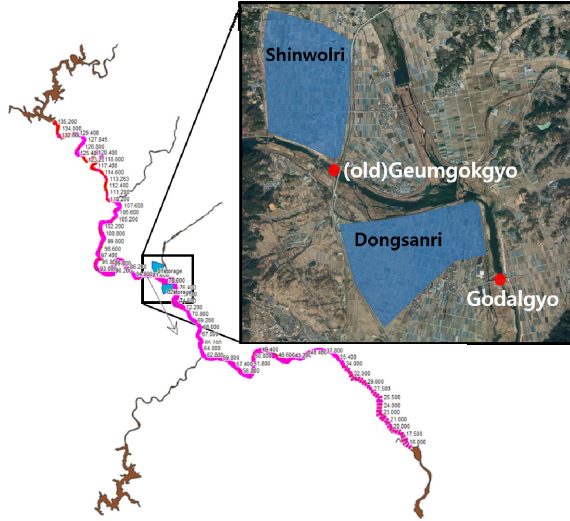


Fig. 7. Location of preliminary storage pockets.

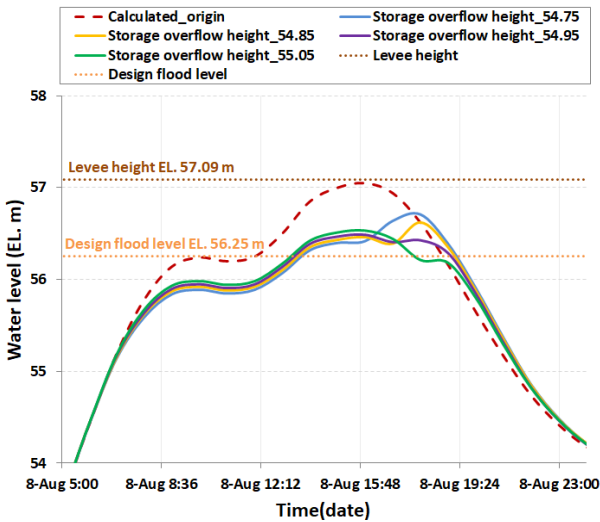


Fig. 8. Change in water level at a location directly downstream of the storage pocket depending on overflow height at (old)Geumgokgyo.

바닥고는 제내지 평균 지반고 기준 5 m 절토를 가정하였다.

먼저 상류 저류지((구)금곡교) 하나만을 대상으로 모의를 통해 2020년 홍수시(실제 댐방류량을 따름) 수위 저감효과가 가장 크게 나타나는 최적의 월류고를 찾아 보았고, 월류고의 변화에 따른 저류지 직하류 지점의 수위를 Fig. 8에 도시하였다. 이 그림에서 보듯이, 월류고가 EL. 54.95 m일 때 수위 저감효과가 가장 크게 나타났다. 이 경우(월류고 EL. 54.95 m) (구)금곡교 지점의 홍수위를 Fig. 9에 도시하였다. 그림에서 보듯이 (구)금곡교 상류에 저류지 신설시 홍수위가 제방고를 넘지 않았으며 2020년 홍수위는 0.56 m 저감되었다.

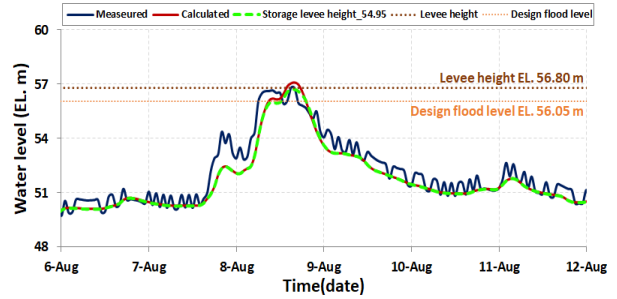


Fig. 9. Change in water level at (old)Geumgokgyo when a storage pocket was constructed.

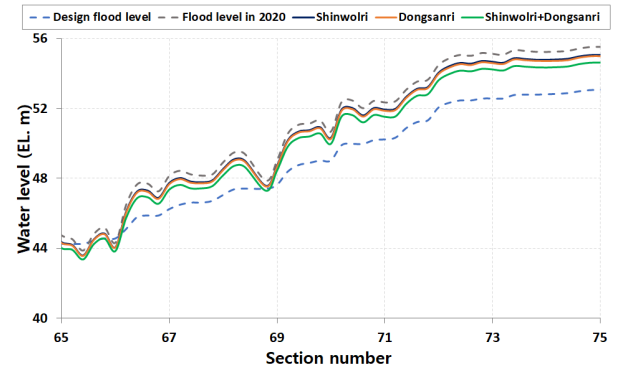


Fig. 10. Change in water level according to the construction of storage pockets.

저류지가 특정지역의 홍수방어에 효과가 있음을 보여주는 결과이다. 특히 Fig. 8에서 보듯이 저류지의 월류고에 따른 수위저감 효과가 0.34 m~0.56 m에 이를 정도로 편차가 있으므로, 선행연구들의 지적처럼 저류지 제원의 최적 설계가 필요해 보인다.

복수의 저류지를 설치할 경우, 추가적인 홍수위 저감효과 또한 모의를 통해 분석하였다. (구)금곡교 상류뿐만 아니라 고달교 상류에 유사한 규모의 저류지를 설치한 결과를 Fig. 10에 도시하였다. 이 그림에서 보듯이 단수보다는 복수의 저류지를 설치할 경우 홍수위 저감량이 커짐을 알 수 있다. 소규모이지만 복수의 강변저류지를 분산형으로 조성하는 것이 홍수조절에 효과가 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

2020년 여름 섬진강 중류 지역에서 500년 빈도를 초과하는 집중호우가 발생하였으며, 이로 인해 섬진강 본류 전반에 걸쳐 홍수량(100년 빈도)를 크게 상회하는 하천유량이 발생하였다. 이러한 기후위기의 시대에 기본적인 하천관리뿐만 아니라 보다 통합적인 홍수관리가 필요한 실정이다. 선(線) 중심의 하천관리와 더

불어 면(面)적인 유역 대응이 필요하다. 하류 하천의 상황을 고려한 정교한 댐 운영도 요구되는 시점이다. 본 연구에서는 댐과 하천유역을 연계한 홍수 대응방안 제안을 위해 2020년 섬진강 유역 홍수사상을 대상으로 1차원 수치모형을 구축하였다, 이를 기반으로 상류 섬진강댐의 가상 운영(No. 23 시나리오)시 하류 하천의 홍수위 저감을 살펴보았으며, 유역대책의 하나로 저류지를 신설할 경우 홍수위 저감량 또한 분석하였다. 섬진강댐의 홍수기제한수위를 현행 EL. 196.5 m에서 EL. 188.68 m로 대폭 하향하면 홍수조절능력 또한 향상됨을 확인 할 수 있었다. 그리고 단수보다는 규모가 크지 않더라도 복수의 저류지를 최적의 위치에 설치하면 하류지역의 홍수발생 예방에 효과적일 것이라 사료된다.

Acknowledgement: This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2022 (본 연구는 한경대학교 2022년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임).

References

- 1) Yonhapnews, “<https://www.yna.co.kr/view/AKR20200813126300001>”, Retrieved on 12.26.2022.
- 2) Ministry of Environment, “Investigation of the Cause of Flood Damage Downstream of the Dam”, 2021.
- 3) US Army Engineering Center, “HEC-RAS user’s Manual”, 2022.
- 4) Ministry of Land, “Infrastructure and Transport, Seomjingang River Basic Plan”, 2021.
- 5) K-water, “Regulation of Dam Management”, 2015.
- 6) Korea Water Resources Association, “Policy and Technology Proposals to Preoccupy the Global Water Management Standard in the Era of Great Transformation”, 2021.
- 7) K. S. Jun, “Computational Model for Flow in River Systems with Storage Pocket and Lateral weir Overflow”, In Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 89-93, 2006.
- 8) K. S. Jun, “Analysis of Flood Control Effects in Storage Pocket”, Water and Future, Korea Water Resources Association, Vol. 40, No. 4, pp. 27-32, 2007.
- 9) C. W. Baek and T. J. Ahn, “Determination of optimal Location of Washlands Considering Design Frequency”, Journal of KWRA, Vol. 42, No. 7, pp. 559-569, 2009.
- 10) T. J. Ahn, D. H. Kim and C. W. Baek, “Determination of Installation Priority of Washlands using Multi-dimensional Scaling Method”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 44, No. 7, pp. 565-576, 2009.
- 11) S. J. Kim, S. Hong, B. Yoon and U. Ji, “Feasibility Analysis of HEC-RAS for Unsteady Flow Simulation in the Stream Channel with a Side-weir Detention Basin”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 45, No. 5, pp. 495-503, 2012.
- 12) S. J. Kim, S. Kim and B. Yoon, “Determine the Length of the Side-weir of Side-weir Detention Basin Considering the Uncertainty of the Water Level in River”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 48, No. 8, pp. 673-683, 2015.
- 13) S. Kim, B. Yoon, D. Kim and S. Kim, “Accuracy Analysis of HEC-RAS for Unsteady Flow Simulation Considering the Flow Pattern Variations Over the Side-weir of Side-weir Detention Basin”, Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 49, No. 1, pp. 29-39, 2016.
- 14) Ministry of Land, “Infrastructure and Transport Hangang River Basic Plan”, 2011.