

# 미호강 유역의 하천 특성이 2023년 홍수 발생에 미친 영향 연구\*

신원정\*\* · 김종연\*\*\*

## A Study on the Effect of Geomorphic Characteristics in the Mihogang River Channel on the 2023 Flood Event\*

Won Jeong Shin\*\* · Jong Yeon Kim\*\*\*

**요약 :** 본 연구에서는 미호강 유역의 하천중단곡선과 유량 및 수위 변동 자료를 분석하여 미호강 및 주요 지류의 하도 경사 변화, 지류 합류부의 지형 특성, 퇴적층 깊이 분포 등을 파악하고, 미호강의 지형 특성을 바탕으로 2023년 홍수 사례를 살펴보았다. 연구 결과 급경사의 병천천에서 유입된 다량의 퇴적물이 미호강 본류의 완경사 구간에 퇴적되어 하상 고도가 상승하고, 지류 합류부 주변에는 망류하도가 형성되는 등의 지형 변화가 유발되는 것으로 나타났다. 병천천 합류부 인근에서는 퇴적층의 두께가 증가하는 경향이 나타났으며, 이는 과거 병천천 유입으로 인한 침식 작용과 그 이후 퇴적환경 변화에 따른 퇴적물 집적의 결과로 해석되었다. 현재 병천천 합류부 주변에 축조된 인공 제방은 홍수 시 하폭 확장을 제한하여, 수위 상승과 제방 침식의 위험을 증대시키는 요인으로 작용하였고, 이로 인해 병천천 합류부 일대에서는 제방 붕괴와 내수 범람이 발생한 것으로 분석되었다. 한편 미호강 하류는 청주시의 시가화 구역 확대 및 개발 활동 증가로 인해 토지 이용 변화가 활발하게 이루어지고 있는 지역으로, 향후 기후변화에 따른 유량 및 수위 변동이 크게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 향후 유역 분지 및 범람원 지역의 수해를 예방하기 위해서는 퇴적물 관리와 지형 특성을 고려한 통합적인 하천 관리가 필요하며, 저류시설 확충과 내수 범람 피해 방지를 위한 종합적인 대책 마련 등이 요구된다.

주요어 : 미호강, 병천천, 기후변화, 범람, 내수침수

**Abstract :** In this study, the longitudinal profiles of the Mihocheon River and its tributaries, along with discharge and water level variation data, were analyzed to examine changes in channel slope, the geomorphic characteristics of tributary confluences, and the depth distribution of alluvial deposits. Based on the geomorphic features of the Mihocheon watershed, the 2023 flood event was also investigated. The results indicate that a large volume of sediment transported from the steep-gradient Byeongcheon Stream was deposited in the low-gradient sections of the Mihocheon main channel, leading to an overall rise in channel bed elevation. Additionally, braided channel features were observed near the confluence zones. The thickness of the alluvial deposits tended to increase near the Byeongcheon confluence, which is interpreted as the result of past fluvial incision followed by sediment accumulation under changing depositional conditions. Currently, artificial levees constructed around the confluence area constrain the expansion of channel width during flood events, thereby increasing the risk of water level rise and levee erosion. Consequently, the 2023 flood event in this area appears to have been exacerbated by levee failure and pluvial flooding near the confluence zone.

\*이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021 S1A5A2A01069889).

\*\*충북대학교 교육개발연구소 박사후연구원(Post Doctorial Researcher, Education Development Institute, Chungbuk National University, shjles2995@naver.com)

\*\*\*충북대학교 사범대학 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Chungbuk National University, terraic@chungbuk.ac.kr)

The lower Mihocheon area, where urban expansion and development in Cheongju City are actively underway, is expected to experience significant fluctuations in discharge and water levels due to future climate change. Therefore, to mitigate flood risks in the watershed and floodplain areas, it is essential to implement integrated river management that considers sediment dynamics and geomorphic characteristics, along with expanding retention facilities and adopting comprehensive measures to prevent pluvial flooding.

Key Words : Mihogang River, Byeongcheoncheon stream, Climate change, Flood, Inland flood

## I. 연구 배경 및 목적

하천은 유역 내 지형 및 지질 특성, 기후, 식생, 인위적 이용 등과 같은 다양한 요소의 상호작용을 반영한다. 특히 도시의 팽창, 인공 구조물의 개입 등과 같은 인간 활동은 하천 지형과 수문 환경에 직·간접적인 영향을 미치며, 이에 따른 퇴적층 분포 변화와 유량 및 수위 변동 등은 지역 사회의 재해 위험과도 밀접히 연관된다. 또한 최근 기후 위기로 인해 집중호우의 빈도와 강도가 증가하고 있는 상황에서, 하천 유역에 설치된 인공 구조물은 유수의 흐름을 제약하고 범람을 가중시키는 원인이 되기도 한다.

이러한 측면에서 미호강은 최근에 이루어진 도시화와 기후 변화로 인해 하천 환경의 변화가 두드러지게 나타나는 지역이라고 할 수 있다. 미호강은 충청북도와 세종시를 관통하여 금강으로 유입되는 하천으로, 모래를 중심으로 한 충적층이 광범위하게 분포한다. 미호강에는 병천천, 무심천, 석남천, 초천 등의 여러 지류가 유입되며, 각각의 지류들은 서로 다른 하상 경사와 유역 특성을 지닌다. 미호강과 각 지류의 합류부에서는 유량 및 하상 고도 차이 등으로 인해 퇴적이 집중되거나 유료가 분기되는 등의 양상이 나타나며, 하상에는 다수의 충적지형이 특징적으로 발달해있다. 이러한 특성은 자연적인 요소뿐만 아니라 제방 축조, 도로 확장 등과 같은 인위적인 토지 이용 변화와도 관련이 있으며, 이는 2023년 여름, 집중호우로 인한 미호강의 범람 피해로 더욱 부각되었다.

2023년 7월, 미호강의 범람으로 인해 청주시 오송읍 금평2지하차도가 침수되어 14명의 인명 피해가 발생하였으며, 강내면을 비롯한 인근의 범람원 일대에서도 광범위한 침수 피해가 보고되었다. 사고 발생 지점은 미호강의 중·하류 구간으로, 미호천교(미호강교) 교량 부설 작업 구간의 제방 붕괴가 사고의 직접적인 원인으로 지적되었다(국무조정실, 2023). 이와 같은 재해는 집중호우와 같은 기상 요인과 함께 미호강 유역의 수리적 특성, 하천

지형 특성, 인위적인 영향 등이 복합적으로 영향을 미쳤을 가능성이 높다.

하지만 그동안 홍수 및 재해 예방에 관해서는 주로 수문자료 분석과 제방 관리에 초점이 맞추어졌으며, 하천 지형의 특성이나 퇴적 환경에 대해서는 상대적으로 체계적인 연구가 이루어지지 못하였다. 미호강 지역에서는 주로 화강암 풍화대와 관련한 물질 공급 측면의 연구, 미호강의 전반적인 하천 지형 분포에 관한 연구, 답사 장소로서의 교육적 활용에 대한 연구 등이 이루어져 왔으며(이민부 등, 2014; 김종연, 2016; 김영래, 2021), 하천 충적 지형의 특성이나 퇴적층 분포, 하천 범람 특성 등에 대해서는 논의가 거의 이루어지지 못하였다.

이에 본 연구에서는 미호강 유역의 지형적 특성을 분석하고, 미호강의 하천 특성을 바탕으로 2023년 수해의 원인을 파악하고자 한다. 이를 위해 먼저 미호강 유역의 하천종단곡선 변화를 시계열적으로 분석하여 하상 고도와 경사의 변동 양상을 파악하고, 병천천을 비롯한 주요 지류의 하상 경사 특성을 고찰하였다. 또한 지류 합류부의 하폭 변화와 지형 특성, 퇴적층의 분포 등을 분석함으로써 미호강 유역의 특성을 체계적으로 파악하고자 하였다. 그리고 이러한 미호강의 지형학적 특성을 바탕으로 2023년에 발생했던 미호강 범람의 원인을 규명하고, 나아가 재해 예방을 위한 하천 관리의 방향성을 제시하고자 하였다.

## II. 미호강의 유역의 지형 및 지질 특성

미호강은 금강의 1차 지류로, 경기도 안성군 일죽면과 충청북도 음성군 삼성면의 마이산에서 발원하는 하천이다. 미호강 유역 분지의 평균 고도는 130.14m, 평균 경사는 0.00176(m/m)이며, 유역면적은 1,855.35km<sup>2</sup>에 달한다(대전지방국토관리청, 2009). 미호강은 진천군, 청주

시, 세종특별자치시 조치원을 일대를 흐르며, 청원구 북이면에서 보강천과 합류한 후 전반적으로 남서 방향으로 흐르는 양상을 나타낸다. 청주시 청원구 오창읍에서는 성암천과 석화천이, 원평동에서는 무심천이 합류하며, 청주시 흥덕구 옥산교 인근에서는 석남천이, 오송읍 궁평리에서는 병천천이 미호강에 유입된다. 또한 세종특별자치시 일대를 흐르며 노송천, 국촌천, 봉암천, 연기천이 합류한 후, 미호강은 세종동 일대에서 금강에 합류된다. 본 연구에서는 범람이 발생했던 미호강의 하류 구간 즉, 보강천이 미호강으로 합류하는 지점에서부터 금강과의 합류부까지를 연구 지역으로 설정하였다(그림 1).

미호천 유역의 지질 특성을 살펴보면 유역 분지 북쪽은 퇴적암 지역으로, 백악기 신라층군에 속하는 초평층군이 남북 방향으로 길게 분포하고 있다(그림 2). 유역 분지 동쪽은 하천의 중류 및 상류부에 해당하며 경기편마암복합체의 편상편마암이 분포하고 있다. 초평층군은 다시 초평층과 백야리층으로 구분되는데, 초평층은 적색 및 회

색의 각력암과 셰일이 주를 이루고, 백야리층은 적색의 암석이 협재하는 특성을 보인다. 이들은 경기편마암복합체의 편마암을 부정합으로 피복하고 있다. 또한 유역의 중앙 부분과 동측 일부 지역에는 쥐라기의 편마상화강암 및 흑운모 편마암이 나타나며, 부분적으로 조립질 화강암이 산출된다.

하천의 하도를 중심으로 보면 미호강 중·하류부에는 주로 화강암이 분포하며, 화강암의 풍화·침식으로 형성된 청주분지를 따라 유로가 발달해있다. 반면 지류인 연기천, 조천, 무심천의 상류 일대는 경기편마암복합체에 속하는 선캄브리아기의 화강암질 편마암이 분포하며, 그 외 대부분의 구간에서는 중생대 쥐라기의 반상 화강암이 출현한다(강필중·임주환, 1974). 미호강의 지류인 병천천 일대의 경우, 가장 하류 구간에 대보 화강암으로 분류되는 쥐라기 흑운모 화강암이 분포하며, 중류 구간부터 호상편마암을 비롯한 편마암류가 나타나고 하천은 산지 사이를 곡류하는 양상을 보인다. 이후 병천천의 최상류

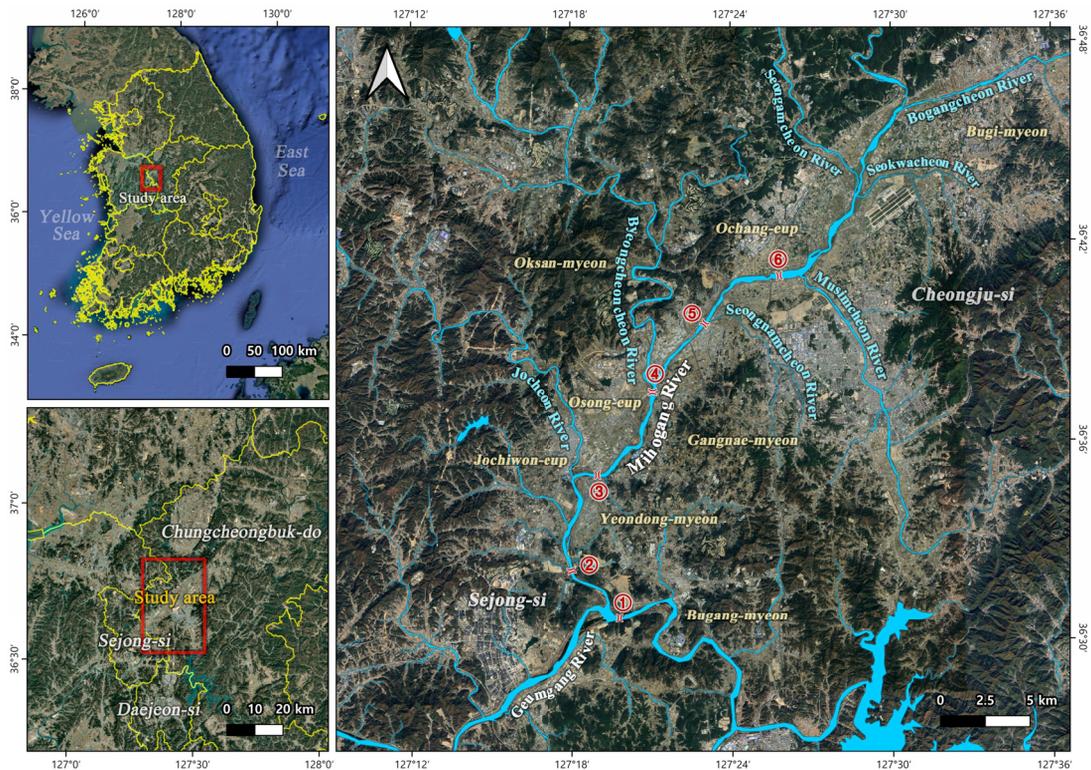


그림 1. 연구지역의 위치

\* ①: 아람찬교, ②: 보름교, ③: 미호교, ④: 미호천교(미호강교), ⑤: 옥산교, ⑥: 남촌교

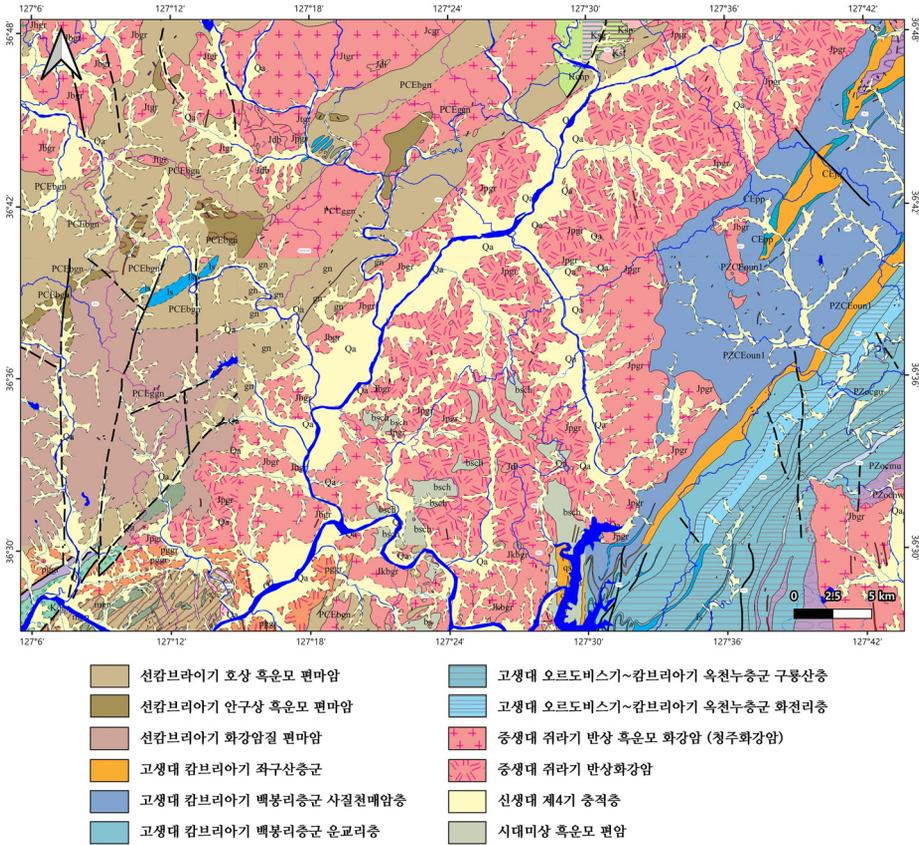


그림 2 연구지역 일대의 지질 분포

출처 : 지오빅데이터 오픈플랫폼, data.kigam.re.kr

에서는 다시 화강암이 출현한다(권영일·진명식, 1974).

미호강 중·하류부에는 낮은 구릉지가 분포하고 있으며, 이들은 주로 화강암 및 변성암의 풍화 산물로 이루어져 있다. 이러한 구릉지들은 미호강을 경계로 하여 서로 다른 양상으로 분포하는데, 청주 일대의 미호강 북서부 구릉대는 배후산지를 따라 구릉이 좁고 길게 발달한 반면, 남동부 구릉대는 배후산지와 구릉의 배치 방향이 일치하지 않고 선상의 구릉 열이 폭넓게 분포하는 특징을 보인다. 이러한 구릉들은 원래의 기반암과 화학적 조성에서 큰 차이를 보이지 않으며, 화학적 풍화의 진행 정도가 느린 것으로 보아 지난 빙기 및 홀로세의 기계적 풍화작용에 의해 형성된 것으로 추정되었다(김영래, 2021). 또한 미호강의 유로와 주변 저지대는 주요 구조선을 따라 곡지가 형성되었으며, 특히 여러 구조선이 교차하는 지점에서는 풍화가 빠르게 진행되면서 전반적인 분지 지형

이 형성된 것으로 보인다(손미선, 2009).

한편 미호강의 하상과 범람원에는 주로 신생대 제4기의 하천 퇴적층이 분포하며, 일부 구간에서는 국지적으로 고기 하성층이 나타난다. 일부 구릉지 주변으로는 기계적 풍화작용으로 파쇄된 물질이 운반·퇴적된 붕적층이 존재한다. 또한 구릉지에서는 풍화된 적색의 토양층, 화강암 풍화토 기반의 마사토층, 핵석 등이 관찰되며, 이러한 구릉지와 배후산지에서 공급되는 풍화 산물이 하천 퇴적물의 대부분을 차지한다.

### III. 연구 방법

본 연구에서는 미호강의 하천 환경 변화 과정을 파악하기 위해 1960년대 이후의 중단곡선을 시계열적으로 비

교, 분석하였다. 구체적으로는 1963년, 1977년, 1988년, 2009년, 2018년의 측량 자료를 활용하여 시기별 변화 양상을 비교하였다. 미호강의 하상고도는 1963년의 「한국수문조사서 부도판」에 ‘미호천 최고홍수위 연결도’가 수록되어 있으며(건설부, 1963), 해당 홍수위 자료에 나타난 하천의 최심하상선도를 330m 간격으로 추출하여 분석하였다. 다만 이 자료들은 1988년 이후의 자료들과 측량 시작 지점이 달라 각 자료에 표시된 시설물(교량)과 하천 합류점의 위치에 따라 위치를 보정하였다. 1977년의 하상 자료는 최심하상 값이 기록된 1988년 조사 부도로부터 고도를 추정하였다(건설부, 1988). 1988년의 최심하상곡선은 1988년의 「금강수계하천정비기본계획」의 하천 측량 성과를 활용하였고, 2009년의 자료는 「금강수계하천기본계획(변경)」의 측량 성과를 이용하였다(대전지방국토관리청, 2009). 또한 미호천이 국가하천으로 편입됨에 따라, 2018년의 하상곡선은 별도로 작성된 「미호천하천기본계획(변경)」 보고서의 자료를 활용하였다(대전지방국토관리청, 2018). 하천 종단곡선 외에도 각 시기의 하폭 자료를 참고로 이용하였으나, 제방 축조 등으로 인해 자연 상태의 하폭을 정확히 파악하는 것은 한계가 있었다. 따라서 제방의 높이가 100년 또는 50년 주기의 홍수 수위를 기준으로 축조된 점을 고려하여, 인위적으로 조성된 제방의 폭을 중심으로 하폭을 추정하였다.

또한 2023년 범람 당시 미호강의 유량과 수위 특성을 파악하기 위하여 미호강의 홍수 시 수문 곡선 변화와 지형 특성을 함께 분석하였다. 이를 위해 유역 내에 위치한 청주기상대의 강수량 자료와 미호강 주요 지점의 하천 자료를 활용하였으며, 구체적으로는 미호강 본류 내의 팔걸교(Palgyeol), 미호천교(Mihocheon), 미호교(Miho-Sejong)의 하천 수위 및 유량 자료를 이용하였다. 이 중 팔걸교는 석화천의 합류 지점 인근으로 금강 합류부로부터 약 32km 상류에 해당하며, 수위의 기준 고도는 30.12m이다. 해당 지점은 측정 자료가 있는 미호강 본류 구간 가운데 가장 상류에 해당한다. 미호천교(미호강교)의 경우 금강 합류부로부터 16km 상류 지점으로 기준 고도는 19.64m이다. 또한 미호교는 세종시 예양면 연동리에 위치한 곳으로 금강 합류부로부터 9km 지점이며 기준 고도는 18.25m이다. 이 외에도 미호강의 지류로 무심천과 병천천의 자료를 활용하였으며, 각각 흥덕교(기준 고도 36.43m)와 병천천(기준 고도 31.48m)의 수위 자료를 수집하였다(환경부, 2023).

마지막으로 미호강의 하상 및 범람원에 분포하는 하천 퇴적층의 깊이 및 분포를 파악하기 위하여 국토지반정보 DB포털시스템(www.geoinfo.or.kr)에서 제공하는 청주시 및 세종시 미호강 범람원 내 시추 정보를 분석하였다.

## IV. 미호강의 하천종단곡선 분석

### 1. 미호강 유역의 시기별 하천종단곡선 변화

하천의 종단곡선은 하천의 수리 및 하상 구성 물질, 그리고 퇴적물의 공급과 유출에 따른 최심 하상부의 고도 변화를 나타내는 자료로, 하천의 다양한 환경 변화를 반영하는 중요한 지표이다. 따라서 하천종단곡선에 대한 분석을 통해 침식 및 퇴적이 우세한 구간이나 하천 구조물의 영향, 하천 지형의 특성 변화 등을 파악할 수 있다. 이에 본 연구에서는 하천종단곡선의 시계열적 변화를 분석하여 미호강 유역의 하천 환경 변화 과정을 파악하고자 하였다.

분석 결과 미호강의 종단곡선은 전반적으로 금강 합류점으로부터 약 15~25km 지점을 경계로 하여 변화 양상이 서로 다르게 나타났다(그림 3). 하천종단곡선 상에서 최심하상고가 급격히 낮아지거나 높아지는 지점들이 확인되었으며, 이는 주로 하천에 설치된 하천 종단 시설물의 영향에 의한 것으로 판단된다(우효섭 등, 2022).

금강 합류점으로부터 약 15km까지의 구간은 병천천 합류부의 하류 구간에 해당하는데, 1963년에 비해 1970년대와 1980년대에 해당 구간의 하상 고도가 상승한 것으로 나타났다. 전반적으로 고도가 일정 수준 상승하면서 경사가 완만해지는 경향을 보이는데, 이는 지류로부터의 퇴적물 공급 변화가 반영된 것으로 판단된다. 또한 하상 높이 변화는 미호강을 횡단하는 다수의 시설물 건설과도 관련이 있는 것으로 보인다. 1960년대 이전에는 미호강을 가로지르는 시설로 청주와 조치원 사이의 국도 교량과 충북선 교량 정도가 있었으나, 이후 경부고속도로의 교량이 건설되면서 인위적인 영향이 이전보다 더 증가하게 되었다(그림 4). 2000년대 이후에는 미호강의 전반적인 하상 고도가 하강하였으며, 이는 금강 본류에서 시행된 ‘4대강 살리기 사업’과 함께 진행된 하상 정비 및 개발의 영향으로 파악된다(대전지방국토관리청, 2018).

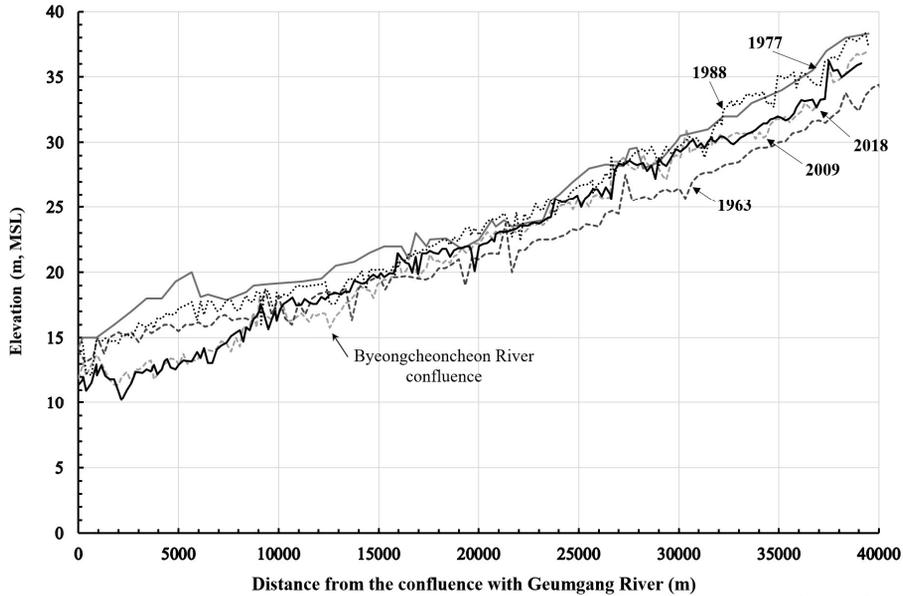


그림 3. 미호강의 종단곡선 변화

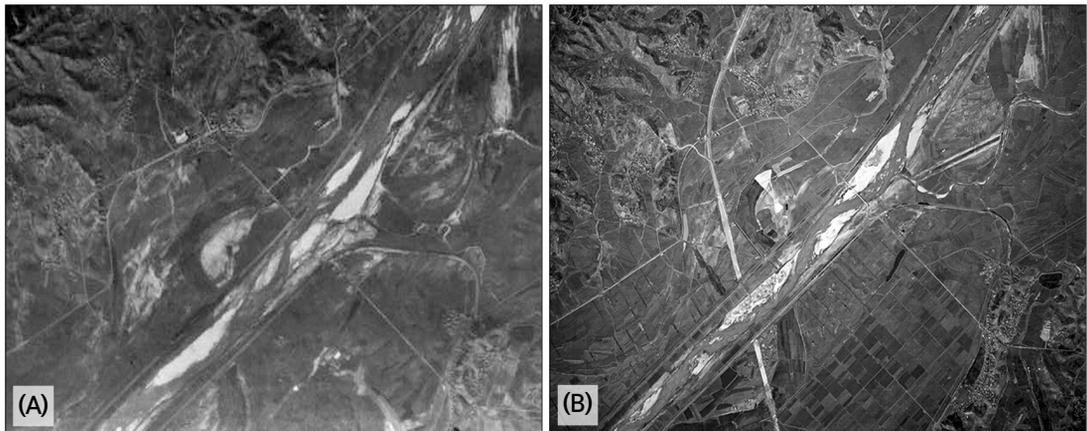


그림 4. 경부고속국도 미호강교 주변의 미호강의 항공사진(A: 1954년, B: 1968년)

출처 : 국토지리정보원, [www.ngii.go.kr](http://www.ngii.go.kr)

이에 비해 금강 합류점에서부터 상류 방향으로 약 15~25km 사이에 해당하는 구간은 미호강의 종단곡선 내에서도 상대적으로 경사가 완만하게 나타나며, 하상 고도의 상승과 하강이 혼재된 양상을 보인다. 반면 이보다 상류인 약 25~40km 구간에서는 하류부와 유사한 변화 양상이 나타나는데, 즉, 1970년대에는 하상 고도가 상승하고 2000년대 이후에는 하강하는 패턴이 나타난다. 상류부 구간에서의 하천종단곡선 변화의 원인에 대해서는 인

위적인 준설과 하천 개발 활동의 결과로 추정되나, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 2. 미호강 주요 지류들의 하천종단곡선 특성

하천의 경사는 하천의 퇴적물질과 유량 변화에 영향을 미치는 주요 요인으로, 이는 유입되는 지류 특성에 따라 달라질 수 있다. 이에 미호강으로 유입하는 지류 가운

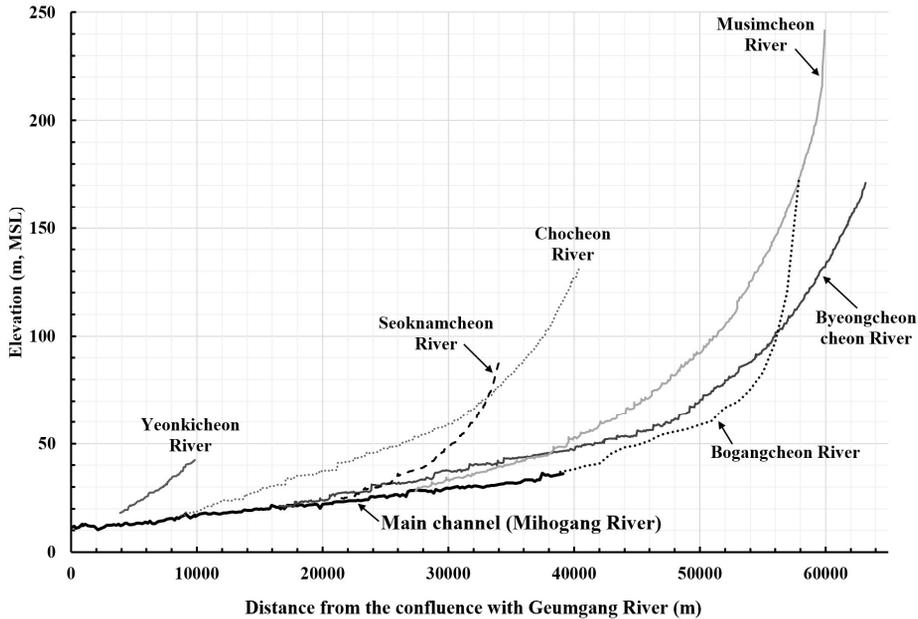


그림 5. 미호강과 주요 지류들의 종단곡선

데 보강천, 무심천, 병천천, 석남천, 조천의 하천종단곡선을 분석하여, 각 하천의 하상 경사 특성을 파악하고자 하였다.

그 결과 미호강 본류와 지류 간에 하상 경사 차이가 확인되었으며, 특히 미호강과 병천천 사이의 하상 경사 차이가 크게 나타났다(그림 5). 연구지역 내 미호강의 하상 경사는 상류에서 매우 완만한 경사를 보이다가(0.00043), 무심천과 합류하는 부분부터 상당히 급해지는 특성을 보인다(0.00087). 이후 보다 하류에서 병천천과 합류하면서 다시 완만해졌다(0.0005), 조천과 만나 금강으로 유출되는 구간에서는 다소 증가하는 양상이 나타난다(0.00056).

이에 비해 병천천의 경우 상류부에서 급경사를 보이다가 하류부에서 완만해지는 특성이 나타난다. 병천천 상류의 하상 경사는 미호강 합류부에서 상류로 약 36km 지점인 매송교 부근에서 0.0111~0.0059로, 경사가 급한 산지 하천의 특성을 보인다. 반면 병천천 하류부는 미호강과 합류하는 범람원을 통과하면서 하상 경사가 0.0043~0.0010으로 감소하며 평지 하천의 특성을 보인다. 하지만 평지 하천임에도 불구하고 본류인 미호강 합류부(0.0005)에 비해서는 경사가 가파른 편이다. 특히 미호강으로 유

입하기 약 2~3km 이전 구간에서는 0.002 내외의 비교적 급한 경사가 나타난다.

이러한 하상 경사의 변화는 유역분지의 지질 특성과 관련이 있는 것으로 추정된다. 하천의 유로는 주로 지질구조선을 따라 형성되는 것이 일반적이지만(손미선, 2009), 기반암 종류에 따른 침식 저항도의 차이가 하천 유로 특성에 영향을 주기도 한다. 병천천을 제외한 다른 미호강의 지류들은 하천 하류부가 화강암 지역을 통과하는데 반해, 병천천은 미호강 본류와 마찬가지로 변성암과 퇴적암 분포 지역을 흐른다. 병천천은 미호강에 유입하기 전까지 변성암 지역을 감입곡류하기 때문에, 화강암 지역을 관류하는 미호강 본류나 다른 지류들에 비해 좁은 하곡을 지니고 있다(이민부 등, 2014). 이로 인해 상대적으로 좁은 하도에 많은 유량이 흐르게 되며, 그 결과 하천의 유량, 유속 등 전반적인 에너지 조건이 높아져 미호강 본류보다 퇴적물 운반 능력이 커지게 된다. 이와 같이 급경사구간을 통과한 하천 유수와 퇴적물이 상대적으로 경사가 완만한 미호강 본류로 유입되면서 에너지가 급격히 감소하고, 물질 운반이 지체되어 퇴적이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

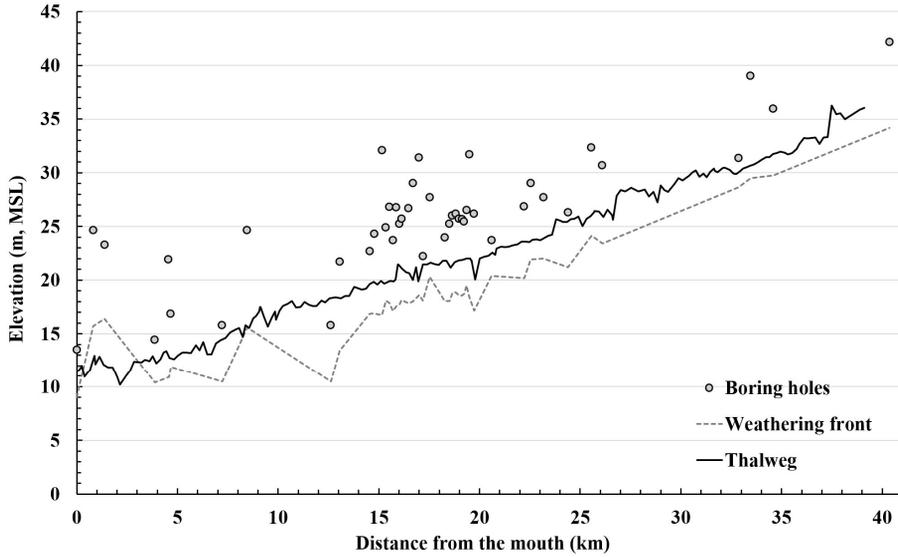


그림 6. 현재(2018년) 미호강의 종단 곡선과 풍화대, 시추 조사 지점의 고도

### 3. 현재 미호강의 종단면 특성

미호강의 하천퇴적층의 깊이와 분포 특성을 파악하기 위해 국토지반정보DB포털시스템에서 제공하는 시추 자료를 분석하여 하천종단곡선 상에 도시하였다(그림 6). 시추 지점들의 조사 정보를 바탕으로 풍화대의 위치와 깊이를 파악한 후 이를 바탕으로 퇴적층의 깊이를 추정하였다. 그림 6의 각 지점에서 퇴적층의 깊이는 시추 지점의 지표면에서부터 풍화로 인해 형성된 연암이 나타나는 곳까지의 깊이를 의미하며, 점선으로 표시된 풍화전선 하부에는 풍화대 혹은 기반암이 분포한다. 대부분의 경우 제방이나 범람원 상에서 시추가 이루어져 시추 지점이 현 하상보다 높은 고도를 나타내지만, 일부 지점의 경우 하천의 하상에서 시추가 진행되어 일부 자료에서는 2018년의 하상 고도보다 낮은 값이 나타나기도 한다. 또한 분석된 자료 중 일부는 하천에서 다소 거리가 떨어진 지점에서 수집된 지점들이 포함되었으며, 이 경우 현 하천 고도보다 높은 값이 나타날 가능성이 있다.

이러한 점들을 모두 고려하더라도 전반적으로 풍화대의 깊이는 하천을 중심으로 일정한 깊이를 유지하는 것으로 판단된다. 종단곡선 분석 결과 풍화대의 전반적인 분포 형태는 2018년 현재의 하천 종단면과 전체적으로 유사한 형태를 나타내었으며, 이로 보아 2025년 현 하상의 풍화대 깊이도 이와 유사할 것으로 추정된다. 풍화대

의 깊이는 미호강-금강 합류부에서 약 13~15km 구간 부분에서 가장 깊게 나타난다. 이는 병천천이 합류하는 지점(약 15km 지점)과 일치하며, 병천천의 합류로 인해 유량이 증가하면서 하천의 침식력이 강화된 것으로 해석된다. 또한 하천 침식으로 인해 곡지가 형성된 이후에는 미호강 본류와 병천천에서 공급된 퇴적물이 쌓이면서 현재의 하천 지형이 형성된 것으로 보인다.

시추 지점을 기준으로 퇴적층의 분포 특성에 대해 살펴보면, 가장 상류부에 해당하는 40km 지점의 경우 퇴적층의 깊이가 약 8m에 달하며, 약 33km 지점에서는 다소 급감하는 양상을 보인다. 그러나 전반적으로 퇴적층은 약 8m 정도의 두께를 유지하면서 약 20km 지점까지 이어진다. 하지만 약 20km 지점 이후로는 하류로 갈수록 퇴적층의 깊이에 큰 변동이 나타나며, 이에 비해 하상 고도는 비교적 안정적인 양상을 나타낸다.

### V. 2023년 미호강 홍수시의 유량 및 수위 특성

일반적으로 습윤 기후 지역에서는 하천의 하류로 갈수록 유량이 증가하면서 하폭, 수심, 경사가 함께 증가한다 (Leopold and Moddock, 1953). 그러나 미호강의 경우, 하류의 일부 구간은 유량 증가와 하폭, 수심 변동이 제한

되는 특성이 나타난다. 특히 미호강을 따라 조성된 제방은 하폭을 제한하는 요인이 되며, 이로 인해 수심이 증가하여 홍수 발생에도 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되었다(대전지방국토관리청, 2018).

2023년 여름, 집중호우로 인해 미호강 본류의 범람으로 오송읍 궁평리 일대와 강내면 북부 일대가 침수되었다. 이 중 강내면의 침수는 내수 범람으로 인한 피해로 여겨지는데, 내수 범람은 본류의 수위 상승으로 인해 지류 하천의 유수가 배출되지 못하고, 합류부와 인근 저지대에 침수를 유발하는 현상을 말한다. 2023년 미호강 범람에는 퇴적물의 공급과 운반, 하천 합류부의 지형 특성, 미호강과 인근 범람원의 전반적인 지형 특성이 모두 영향을 준 것으로 보이며, 이에 미호강의 홍수 자료를 이용하여 홍수 시 수문 곡선 변화를 분석하고, 지형 특성이 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## 1. 범람 당시의 유량 변동 특성

미호강 범람 당시의 자료를 분석한 결과, 2023년 7월 10일~7월 20일 사이의 누적 강우량은 497mm로 측정되었다(그림 7A). 강우는 주로 7월 14일~15일 사이에 집중되었으며, 7월 15일 오전 최고 강수량이 기록되었다. 이러한 집중 강우는 곧 수문 반응으로 이어져 미호강 유역에 급격한 유량 증가가 발생하였다.

홍수가 발생한 미호천교 일대에서는 2023년 7월 15일 오전 10시경 7,212m<sup>3</sup>/s의 유량을 기록하였으며(그림 7B), 이는 10년 주기 홍수 유량(3,527m<sup>3</sup>/s)의 2배 이상이자 100년 주기 홍수 유량(5,525m<sup>3</sup>/s)을 초과하는 수치였다(대전지방국토관리청, 2018). 100년 주기 홍수를 기준으로 계획 홍수의 수준을 초과한 시간대는 7월 15일 오전 7시부터 오후 2시 이후까지 이어졌으며, 당일 흥덕교와 미호천교에서는 각각 오전 3시 30분과 5시에 홍수 경보가 발령되었다. 이를 10년 주기 홍수 기준으로 확장하면 오전 5시에서 오후 8시까지 약 15시간에 이르며, 이는 실제 미호강의 범람으로 침수 피해가 발생한 시기와 상당히 일치한다.

미호천교(청주시) 하류의 미호교(세종시)의 경우, 최대 홍수 유량은 오전 11시에 12,523.95m<sup>3</sup>/s로 전체 유역에서 가장 높게 나타났으며, 오전 8시~오후 3시에 걸쳐 10,000m<sup>3</sup>/s 이상의 유량을 유지하였다. 이 지점의 100년 주기 홍수 유량은 5,880m<sup>3</sup>/s, 10년 주기 홍수 유량은

3,767m<sup>3</sup>/s로, 범람 당시의 유량은 이를 상당히 초과하는 양이 측정되었다. 즉 홍수 유량의 경우 최대 피해가 발생한 미호천교보다 가장 하류인 미호교에서 약 1.7배 더 많았던 것으로 확인된다.

## 2. 범람 당시의 수위 변동 특성

하천 수위의 경우 유량과는 변동 패턴이 다르게 나타난다. 7월 15일 09시~11시 사이에 청주시 미호천교에서는 10.06m, 10.08m, 10.02m의 수위를 기록하였으나, 하류의 세종시 미호교에서는 같은 시간대에 8.37m, 8.52m, 8.54m, 8.50m의 비교적 낮은 수위가 관측되어 유량과는 반대되는 양상을 보였다. 이러한 수위 변동의 차이는 하폭을 비롯한 하천 특성의 영향에 따른 것으로 판단된다.

당시 수해 발생 구간의 수위를 살펴보면, 2023년 홍수에서 가장 높은 수위가 기록된 곳은 월산교 지점으로 10.96m였으며, 미호천교에서도 10.08m의 수위가 관측되었다(그림 7C). 미호천교의 경우 수심 기준면의 높이가 해발고도 19.64m로, 홍수 당시 수위는 해발 29.72m까지 상승한 것으로 나타났다. 이는 범람 피해가 발생한 범람원의 고도(28.65m)보다 높은 수준이지만, 인근 미호강의 제방 고도(31.8m)보다는 낮은 수치이다(대전지방국토관리청, 2011). 즉, 홍수 발생 당시 미호강의 수위가 가장 높았던 지점은 제방에 의해 유수가 제한된 상태였던 것으로 볼 수 있다. 반면 미호강으로 유입되는 수석천의 고도는 약 23~25m로 미호강 수위보다 낮은 값을 보이며, 고도 특성으로 볼 때 당시 수석천은 자연적인 배수가 불가능한 상태가 되어 유수가 역류했던 것으로 추정된다. 실제 2023년 범람 당시 강내면의 농경지 69.93ha와 주택 및 상가 173곳(20.74ha)이 침수되었고, 수석천이 미호강에 합류하는 하류부를 중심으로 범람이 발생하였다(청주시, 2023). 따라서 2023년 강내면 일대에 발생했던 미호강의 홍수는 지류의 유수가 배수되지 못해 발생한 내수 범람으로 판단된다.

한편 하천의 수위는 홍수 유량과도 밀접한 관련이 있다. 미호강의 10년 주기 홍수 유량(기본 홍수량)을 살펴보면 상류에서 하류로 가면서 홍수량이 점차 증가하며, 가장 최하류인 금강 합류부에서 약 4,007m<sup>3</sup>/s 수준을 나타낸다. 실제 미호강의 홍수 유량은 조천의 합류로 약 171m<sup>3</sup>/s, 병천천의 합류로 약 773m<sup>3</sup>/s, 무심천 합류로 약

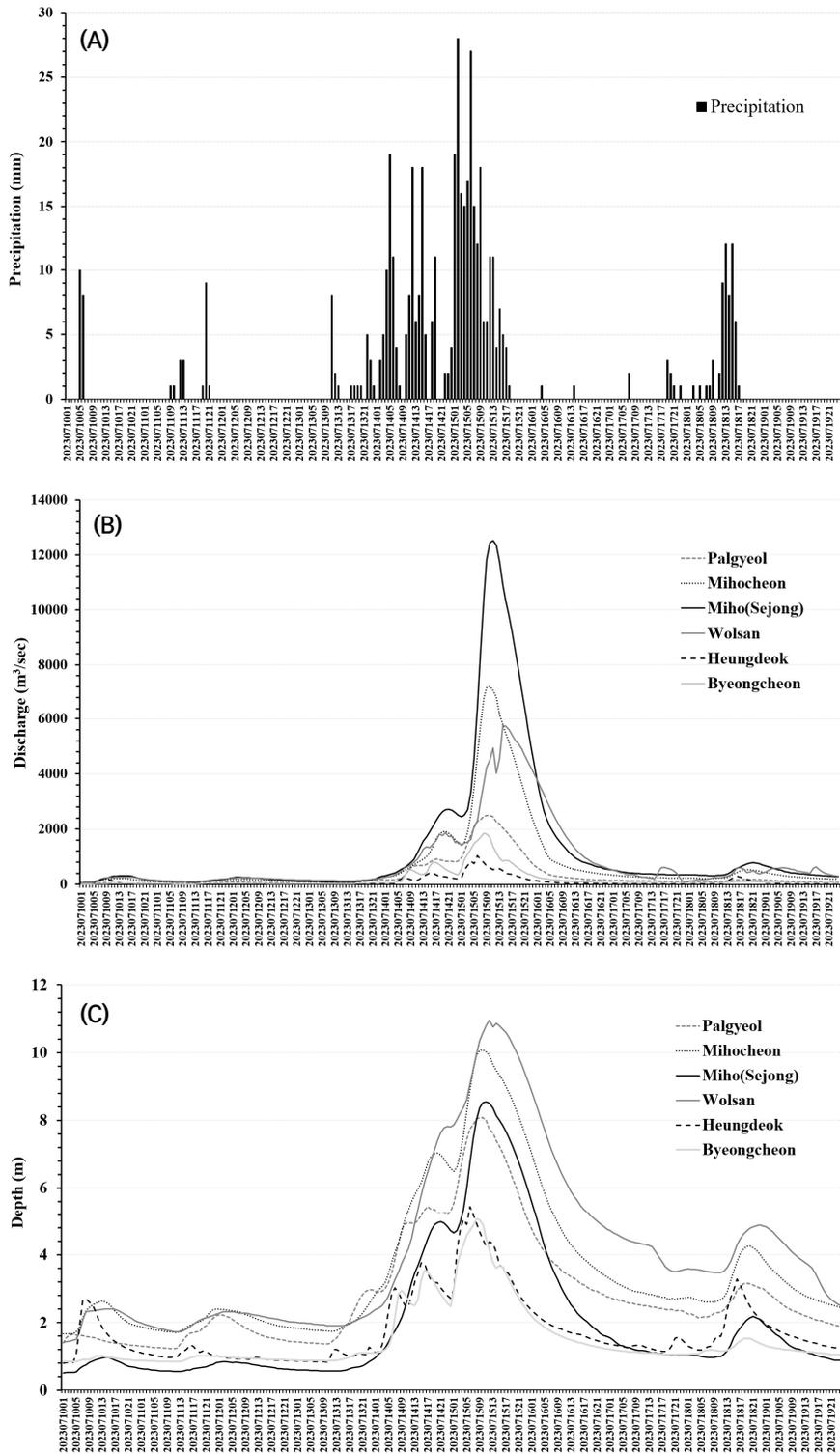


그림 7. 미호강과 주요 지류의 기상자료 및 수문자료(2023.07.10.~2023.07.19.)

473m<sup>3</sup>/s씩 증가하는데, 특히 병천천의 합류로 인한 홍수 유량 변화는 병천천 합류 이전에 약 2,754m<sup>3</sup>/s에서 병천천 합류로 약 28.1%가 증가하여 총 3,527m<sup>3</sup>/s가 된다(대전지방국토관리청, 2018). 이러한 유량 증가에 대응하기 위해서는 자연적으로 하천의 하폭과 수심이 증가해야 하지만, 하천의 수심은 그 변동 폭이 제한되므로 홍수 시 유량을 감당하기 위해서는 하폭의 증가가 요구된다. 그러나 미호강 하류부 일대는 하폭의 확장이 제한되어, 홍수 시 유량이 증가하게 될 경우 하폭 증가를 넘어 수위가 상승하는 양상이 나타나게 된다.

또한 유수의 수위 상승은 제방에 상당한 수압을 가하여 침식을 유발하기도 한다. 2023년 미호강 홍수는 강내면뿐만 아니라, 청주시 흥덕구 오송읍 궁평리 지역에도 범람 피해를 초래하였는데, 당시 범람의 주요 원인으로 청주-오송 간 도로 확장 공사로 인한 제방 붕괴가 지적되었다. 특히 임시로 조성된 물막이용 간이 제방에서 침식이 발생하면서 제방이 붕괴된 것으로 추정되었다. 하천조사 보고서에 따르면 미호천교 인근에서 미호강의 하폭은 360m, 하류의 병천천 합류 이전 지점에서는 340m로 나타났다(대전지방국토관리청, 2018). 반면 병천천 합류 이후에는 하류로 갈수록 하폭이 증가하여 조천 합류 지점에서는 635m, 월하천 합류 지점에서는 645m를 기록하였고, 최하류 지점에서는 490m가 측정되었다(대전지방국토관리청, 2018). 이러한 하폭의 변화 특성은 유량의 증가와 차이를 보였고, 미호천교와 병천천 합류부 사이의 구간에서 하폭이 비교적 제한되는 것으로 나타났다.

실제 미호천교의 계획홍수위는 해발 29.02m, 하폭은 619m로 수립되어 있으며, 2011년 금강수계 하천기본계획과 2018년 미호천 하천기본계획에서 하폭을 기존의 360m에서 620m로 확장할 것을 계획하였다. 이처럼 미호천교 인근의 경우 유량을 감안할 경우 하폭이 약 620m에 달해야 하나, 계획되었던 하폭 확장은 추진되지 못하였고 실제로는 그 절반 수준에 불과하였다. 따라서 이러한 하폭의 제한이 홍수위의 상승을 초래하는 것으로 판단된다. 실제 2023년 범람 당시에도 병천천과의 합류부 인근에서 제방이 붕괴되었으며, 하폭 확장이 제한됨에 따라 미호강 본류의 범람이 발생하면서 궁평리 일대가 침수되었다고 할 수 있다.

## VI. 논의

### 1. 미호강 유역의 퇴적환경 변화 특성

오늘날 기후 변화는 강우 강도와 강우 발생 주기의 변화를 유발하고 있으며, 이에 따라 100년 빈도 주기의 홍수 발생 가능성이 증가할 것으로 예측되고 있다(Rentschler et al., 2022). 이러한 변화는 하천의 유량뿐만 아니라 사면에서 하천으로 공급되는 퇴적물 특성의 변화도 함께 수반하며, 이는 유역 분지의 불평형 상태를 초래한다(Willett et al., 2014). 홍수와 관련하여 기존에는 주로 하천의 유량 변동을 중심으로 논의되었으나, 기후 변화로 인한 유역분지 전반의 변화는 유량뿐만 아니라 여러 요소들의 복합적인 변화를 유발하게 된다. 실제 기후 변화는 퇴적물의 양과 최대 입경을 변화시키는 것으로 연구되었으며(Willett et al., 2014), 공급되는 퇴적물 양의 변화는 상류에서 토사재해를 유발하고, 중·하류 지역에서는 하상 지형의 역동적인 변화를 초래할 수 있다.

이러한 측면에서 미호강 유역은 자연적 요소와 인위적 요소의 복합적인 작용으로 인해 퇴적환경이 변화해왔던 것으로 보인다. 하천중단곡선의 변화를 바탕으로 할 때 1960년대 이전에는 인공 시설물 건설 등에 따른 하상 고도의 인위적 변화가 제한되었던 것으로 보이나, 1970~1980년대에 다수의 시설물들이 건립되면서 하상 고도가 상승하고 이로 인해 하천 경사가 완만해진 것으로 추정된다. 이러한 경향은 병천천과 미호강이 합류하는 구간을 중심으로 나타나며, 이러한 하상 경사 감소는 퇴적이 우세한 환경을 조성하였을 가능성이 크다. 2000년대 이후에는 금강 본류에서 시행된 4대강 사업의 영향과 함께 전반적으로 하상 고도가 저하된 것으로 보이며, 하상 준설 및 하천정비사업에 따른 영향이 함께 작용하였다고 할 수 있다.

또한 미호강 유역의 하천퇴적층은 상류에서는 비교적 일정한 깊이로 현 하상과 유사한 형태를 보이며, 전반적으로 약 8m 내외의 두께를 나타낸다. 그러나 하류로 갈수록 깊이의 변동 폭이 증가하는 양상을 보이는데, 이는 자연적인 침식 및 퇴적 조건의 변화 외에도 제방 건설, 하상 준설, 하천 정비 등과 같은 인위적 요인이 작용한 것으로 보인다. 하천퇴적층은 특히 병천천과의 합류부에서 가장 깊은 깊이를 나타내는데, 이는 과거 병천천 유입에 의한 유량 증가로 하상에 활발한 침식이 진행되어 곡지가 형

성되고, 이후 하상경사 변화 등과 같은 퇴적 환경의 변화로 인해 다량의 퇴적물이 집적된 결과로 보인다.

한편 미호강 유역의 선행 연구에 따르면 정복 토성 인근 오창읍 소로리 일대에서는 범람원 하부에 자갈층이 분포하고, 하천에서 멀어질수록 해당 자갈층이 썰기상으로 얇아진다. 하천에서 멀어짐에 따라 퇴적층 하단에는 자갈층 대신 모래층이 나타나고, 그 상부로는 수직 방향의 균열이 발달한 점토층이 분포한다. 또한 자갈층의 경계 부분에서 측정된 퇴적 연대는 약  $13.65 \pm 2.04ka$ , 그 상부의 범람원 층은 약 4천 년 전에 퇴적된 것으로 연구되었다(김종연·성정용, 2016). 이로 보아 퇴적층 하부의 풍화대는 약 13,000년 이전의 시기 즉, 마지막 최대 빙하기의 낮은 해수면 시기에는 퇴적층에 피복되지 않았던 것으로 추정된다. 즉, 마지막 빙하기에는 풍화대를 침식하는 곡지가 형성되고, 이후 기저 자갈층이 퇴적되었으며 그 상부에 모래층이 쌓인 것으로 추정된다. 또한 빙기에 풍화대를 침식한 미호강의 곡지는 현재의 미호강과 유사한 종단 경사를 지니고 있었던 것으로 보인다. 과거 인공 제방 등이 건설되지 않은 상태에서 미호강은 자유 곡류하며 다수의 퇴적 지형을 형성했을 것이나, 이후 인간의 하천 이용과 도시화가 진행되면서 전반적으로 오늘날과 같은 환경이 된 것으로 보인다.

## 2. 미호강과 병천천 합류부의 지형 특성

미호강의 경우 병천천 합류부를 중심으로 풍화대와 퇴적층의 깊이 변화가 두드러지게 나타나며, 병천천과의 합류부는 미호강 유역 내 퇴적환경 변화가 발생하는 주요 지점이라고 할 수 있다. 2023년의 미호강 범람 역시 병천천 합류부를 중심으로 발생하였으며, 이는 해당 지점의 하천 특성과 관련이 있는 것으로 판단된다. 이에 미호강과 병천천 합류부 일대의 지형 특성을 살펴보고자 하였다.

하천종단곡선 분석 결과, 병천천의 경우 상류에서는 상대적으로 급경사를 나타내며 보다 강한 침식력을 지니지만, 하류로 오면서 경사가 점차 완만해지는 특성을 나타낸다. 이러한 종단곡선상의 특성은 상류에서 운반된 퇴적물이 하류부 즉, 미호강과의 합류부에 퇴적을 유발하는 것으로 판단된다. 병천천과 미호강의 합류각은 약 90° 내외로, 본류의 유역 분지 규모에 비해 상대적으로 크고 경사가 급한 지류가 유입되기 때문에, 병천천과 미호강

의 합류부에는 다량의 퇴적물 공급이 이루어지게 된다. 그리고 이는 하도 지형의 특성으로 나타난다. 저수위 시기, 병천천 합류부 주변의 미호강 하류 일대는 다수의 하중 사력퇴와 측면 사력퇴에 의해 하도가 여러 개로 분기되는 형태를 보인다. 이러한 하도의 분리 현상은 미호강 본류의 완만한 경사, 화강암 분지에서 공급되는 다량의 모래 퇴적물, 병천천 합류로 인한 유량 증가, 그리고 다양한 인위적 요인들이 복합적으로 작용한 결과로 볼 수 있다. 즉, 화강암 기원의 퇴적물이 다량 공급되지만, 환경사의 본류 구간에서는 운반 효율이 낮아 퇴적물이 하류로 원활히 유출되지 못하고 다양한 퇴적 지형을 형성하는 것으로 보인다.

이와 같이 미호강 본류, 특히 병천천과의 합류부 주변에는 하도가 여러 개로 분기되는 특성이 나타난다. 일반적으로 하천의 유수가 여러 갈래로 나뉘는 하도는 크게 망류하도와 다분기하도로 구분되는데, 이는 주로 퇴적물의 크기와 하상 지형의 안정성에 따라 결정된다. 망류하도의 경우 저수위 시에는 하중 및 하안에 분포하는 다수의 사력퇴 퇴적층과 이들 사이에 형성된 단축하도들로 인해 유수가 여러 갈래로 분기되나, 홍수 시에는 수위가 상승하면서 하나의 단일 유로를 이루게 된다. 반면 다분기 하도는 하중도에 의해 항구적으로 분리되는 하천으로, 저수위나 홍수시 모두 갈라진 유로가 유지되는 특성을 보인다(Bridge, 1993).

주로 사력퇴를 포함하는 하상의 다양한 저항 요소는 망류하도의 형성을 유도하며, 특히 지류의 합류부를 중심으로 형성되는 다양한 하중 퇴적 지형은 망류하도의 특성을 더욱 강화시킨다(Smith *et al.*, 2019). 반면 망류하도의 하도 내에서 발생하는 사력퇴의 침식과 퇴적은 하도의 형태를 변화시키기도 한다. 하도 바깥 부분의 경우 하천이 자연 제방을 침식하면서 범람원 내에 새로운 유로를 형성하는 변위가 발생하기도 하며, 이러한 변위 과정은 하도의 측방을 강하게 침식하면서 유로의 전반적인 방향을 변화시키기도 한다. 또한 망류하도는 환경사의 하도 특성으로 인해 유량과 퇴적물 공급량의 변화에 따라 유로의 평면 형태가 활발하게 변화하는 것으로 알려져 있다.

최근 하도의 평면 유형 변화에 가장 크게 영향을 미치는 것은 인간 활동으로 인한 퇴적물 운반의 가속화로 알려져 있으며(Piégay *et al.*, 2006), 인위적으로 하도 폭이 제한되는 경우에도 하도 변위 과정이 제한되면서 지류와 범람원 지역의 침수 위험이 가중되기도 한다(Slingerland

and Smith, 2004). 이 외에도 인위적 개입으로 인해 본류와 지류 간 하상 고도 차이가 발생할 수 있는데, 우리나라의 경우 준설이나 보 건설 등이 주로 영향을 주게 된다. 이때 본류의 하상 고도 저하로 인해 본류와 지류 간의 고도 차이가 발생할 경우, 지류의 합류부 즉, 고도차가 형성된 부분에서는 본류 하상으로부터 용승류가 발생하기도 한다. 이러한 하부 용승류의 존재는 합류점 하류 방향에 형성되는 전단대의 길이를 감소시키며, 유속의 증가 역시 제한되게 된다. 또한 본류의 하상 고도가 저하되면 지류 합류부에서는 본류와 고도 차로 인한 단상의 지형이 형성될 수 있으며, 이에 따라 유수의 특성이 변화할 수 있다. 결과적으로 미호강 본류에서 발생하는 하상 저하는 망류 하도의 특성을 변화시키는 요인으로 작용할 수 있다.

### 3. 미호강의 홍수 특성

2023년 여름의 집중호우는 단기간 미호강 유역의 유량 증가로 인한 홍수 피해를 유발하였다. 특히 7월 15일 오전에는 시간당 25mm를 초과하는 강우가 반복되었으며, 이는 단시간 내 미호강 유역의 강한 유출을 유발하였다. 홍수가 발생한 미호천교 일대의 당시 유량(7,212m<sup>3</sup>/s)은 100년 빈도 홍수 유량(5,525m<sup>3</sup>/s)을 초과하는 수준이었으며, 하류의 미호교(세종시)에서는 같은 날 8시부터 15시까지 10,000m<sup>3</sup>/s 이상의 고유량 상태가 약 7시간 이상 지속되었다.

수위 특성으로 볼 때 동일 시점(7월 15일 오전) 기준으로 미호천교에서는 최대 수위 10.08m, 월산교에서는 10.96m가 기록되었으나, 하류의 미호교에서는 비교적 낮은 8.54m의 수위가 측정되었다. 하류 구간의 경우 상대적으로 하폭이 넓은 데 반해, 미호천교 인근 구간의 경우 제방으로 인해 하폭 확장이 제한되었기 때문에 수위가 상승한 것으로 해석된다. 또한 당시 미호천교 인근의 수위는 해발고도 약 29.72m에 달해 주변 범람원의 고도(28.65m)를 초과하였지만, 제방 고도(31.8m)보다는 낮았다. 따라서 제방 내 월류는 발생하지 않았으나, 부분적인 유량 집중에 따른 제방 붕괴 가능성이 존재했던 것으로 판단된다. 이처럼 미호천교 일대는 구조적으로 하폭의 확장이 제한된 구간으로, 하폭이 일정 기준 이상으로 증가하지 못할 경우 수위 상승으로 이어지는 구조적 취약성을 갖는다고 할 수 있다.

또한 미호천교가 위치하는 곳은 병천천이 미호강에 합

류하는 부분과 거의 동일한 지점으로, 병천천 합류로 인한 하천 특성 역시 홍수에 영향을 주었다고 할 수 있다. 병천천 합류 지점의 하류 부분은 미호강에서 범람 피해가 자주 발생하는 곳으로, 병천천-미호천교 사이의 구간에서는 하폭 확장이 미비하여 범목 구간이 형성되고, 이는 지형적으로 유량의 집중과 수위 상승을 유도하여, 범람 및 제방 침식의 위험을 증가시키는 주요 요인으로 작용하게 된다.

또한 병천천의 하상 경사와 암석 특성 역시 하천 환경에 영향을 미친다고 할 수 있다. 병천천은 지질 특성에서 미호강 본류나 다른 지류와 차이를 보이며, 전형적인 산간 곡류의 특징을 나타낸다. 특히 병천천의 중상류 구간은 미호강 본류에 비해 상대적으로 급한 하도 경사를 지닌다. 물론 하천 중단곡선에서 표현되는 병천천의 경사는 하천을 횡단하는 다수의 하중보와 하상 보호공의 영향을 일부 받은 것으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 시설들이 주로 유속이 빠르고 침식이 활발한 지점에 설치된다는 점을 고려하면, 인공구조물 건설 이전에도 병천천의 하상 경사는 급했을 것으로 추정된다.

병천천의 이러한 특성은 합류부 일대의 홍수 발생에 영향을 미치게 된다. 병천천의 지형 특성상 홍수 발생 시 병천천의 유수는 급한 경사를 따라 빠르게 미호강으로 유입된다. 병천천을 통해 유입되는 퇴적물은 상대적으로 유속이 느린 미호강을 만나면서 합류점을 중심으로 퇴적 지형을 형성하는 것으로 보인다. 결과적으로 병천천 합류 하류부에 해당하는 미호강의 본류 하상에서는 다수의 사력퇴가 형성되면서 망류하도의 특성이 나타나게 된다. 그리고 이는 하천의 운반 능력을 초과하는 다량의 퇴적물 질 공급으로 인해, 하도 성격의 변화가 수반되는 것으로 볼 수 있다. 한편 단일 유로의 하도가 여러 개의 유로를 지닌 하도로 변화할 경우, 동일한 유량 조건에서도 하폭이 넓어지며 하천 유수에 의한 측방 침식이 강화되는 경향이 나타난다. 또한 하천의 운반 능력을 초과한 퇴적물은 하도 내에 임시로 저장되며, 이 과정에서 다양한 퇴적 지형이 형성된다. 따라서 미호강의 하천 관리 및 홍수 대비 방안에서 지류의 지형 특성에 따른 퇴적물 유입과 하도 변화 양상 등을 종합적으로 고려해야 한다.

한편 수석천이 미호강에 합류하는 강내면 일대의 경우 내수범람에 의해 침수가 발생한 지역으로, 공평2지하차도의 침수보다 앞서 침수 피해가 발생하였다. 수위 자료 분석 결과 수석천 합류부의 고도(23~25m)는 당시 미호

강의 수위보다 낮았던 것으로 나타났으며, 이로 인해 자연배수가 불가능한 상황이 조성되었던 것으로 보인다. 이에 수석천의 유수가 미호강 본류로 유출되지 못하고 합류부 일대에 정체되면서 인근의 저지대를 중심으로 광범위한 침수가 발생한 것으로 해석된다. 즉, 강내면의 내수 범람은 미호강의 급격한 수위 상승과 함께 지류 하천의 배수체계 미비 등이 주된 요인이었던 것으로 보인다.

#### 4. 미호강 유역의 하천 관리 방안 재고

##### 1) 하천 특성을 반영한 홍수 예방 필요

그동안 미호강 유역에서는 홍수 방지를 위해 제방고를 높이는 방안이 주로 논의되었으며, 하천의 폭을 일정하게 유지하는 방향으로 관리되어 왔다. 미호강은 지류에서 유입되는 다량의 퇴적물로 인해 하상 지형이 역동적으로 변화함에도 불구하고, 하천 관리 측면에서는 이러한 변화가 충분히 고려되지 못하였다. 하지만 미호강 상류로부터의 퇴적물 유입과 유량 증가, 그리고 급경사 지류로부터의 퇴적물 유입량 증가는 하상 변화에 복합적으로 영향을 미치게 된다. 특히 급격한 퇴적물 양의 증가는 하상 고도의 상승을 초래하며, 이에 따라 제방 내부의 유량은 계획과는 무관하게 감소하게 된다. 그리고 이는 미호강의 수위 상승으로 이어져, 주변의 소규모 지류의 유입 지점에서는 배수 불량과 역류 문제가 발생하게 된다. 또한 제방이 파괴 혹은 붕괴될 경우 농경지로 활용되고 있는 제내지로 홍수가 급격히 유입되면서 범람원의 침수를 유발하게 된다. 2023년에 발생한 구평2지하차도 침수 사건은 이러한 미호강 유역에서의 급격한 침수 사례로 볼 수 있으며, 강내면 일대의 범람은 지류의 배수 불량과 미호강 역류에 의한 침수 사건이라 할 수 있다.

오늘날 기후 변화 대응을 위한 대부분의 수자원 계획에서는 하천의 유량 변동에 따른 홍수 피해를 방지하기 위해 제방 증고와 같은 구조적 대책을 수립하고 있다. 제방의 증고는 하천의 유량 통과 단면을 확보하여 주변 지역의 침수 피해를 저감하는 효과가 있다(Thapa *et al.*, 2024). 그러나 제방 증고와 같은 홍수 대응 방안은 주로 하천의 유량을 방어하는 것에 초점이 맞춰져 있어, 유수와 함께 이동하는 퇴적 물질의 영향 등은 상대적으로 고려되지 못하는 문제가 있다. 유수에 의해 운반되는 다량의 퇴적물은 제방 내에 퇴적되면서 하상 지형의 변동을 유발할 수 있으며, 이로 인해 제방 일부 구간에 유수가 집

중되면 제방 붕괴의 위험이 증가하게 된다. 실제 제방이 설치된 경우 하류로 운반되는 퇴적물의 양은 동일 규모 홍수 대비 약 32% 이상 증가하는 것으로 연구되었으며, 제방이 설치된 하도에서 퇴적물 운반을 고려할 경우 25년 빈도 홍수의 침수면적이 5배 증가하는 것으로 조사되었다(Thapa *et al.*, 2024).

따라서 하천의 하상 변화에 대한 관측이 정밀하게 이루어지지 않은 상태에서는 기존 제방의 홍수 대응 능력 변화에 효과적으로 대응하기 어렵다고 할 수 있다. 특히 제방 내 수위가 일정 수준으로 유지되면서 하상 고도가 점차 상승하면 지류 합류점을 중심으로 유수의 범람과 지류의 역류 가능성이 증가할 수 있다. 그러므로 기후 변화에 따른 홍수 피해를 예방하기 위해서는 제방 중심의 구조물 설치뿐만 아니라 퇴적물 관리 및 하상 지형의 역동적인 변화 등이 함께 고려되어야 한다.

##### 2) 토지 이용 변화에 따른 영향 고려

기후 변화 이외에도 홍수의 빈도와 강도는 토지 이용의 변화와 다른 인위적 활동에 의한 영향을 받는다(Arnell and Gosling, 2016). 특히 도시화가 진행되는 지역의 경우 유수의 유출 및 강수 저장 시스템에 변화가 발생하게 된다. 미호강 유역의 경우 청주시 북부 지역 및 오창읍 일대에 산업단지가 조성되고 택지 개발이 이루어지면서 유출 특성이 크게 변화하였다고 할 수 있다. 실제 미호강 유역(1854.3km<sup>2</sup>)의 시가화 면적은 1980년 26.89km<sup>2</sup>(1.45%)에서 1990년 79.34km<sup>2</sup>(4.28%), 2000년 103.58km<sup>2</sup>(5.59%), 2018년에는 172.77km<sup>2</sup>(9.32%)로 급격히 증가한 반면, 농경지의 면적은 1980년 788.71km<sup>2</sup>(42.54%)에서 1990년 711.08km<sup>2</sup>(38.36%), 2018년 635.18km<sup>2</sup>(34.26%)로 점차 감소하였다(대전지방국토관리청, 2018).

유역 분지의 도시화는 하천의 유출 곡선을 변화시키며, 특히 도시화가 진행된 구간의 위치에 따라 유출 곡선은 서로 다른 양상이 나타난다. 특히 범람원 구간의 개발은 유출 곡선 변화에 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다(우효섭 등, 2022). 일반적으로 범람원의 배후습지는 홍수 시 유수를 일시적으로 저장하는 자연적인 유수지가 되며, 유역 분지에서 공급되는 지중수와 유수의 저장 기능을 수행한다. 이는 유수의 배출을 지연시켜 유출 곡선의 정점을 완화시킨다. 결과적으로 범람원은 홍수 시 홍수 유량을 저감하는 역할을 수행하게 된다.

그러나 도시 개발로 인해 범람원의 자연적인 유수지 기

능이 상실될 경우 하천의 홍수 유량이 급격히 증가하는 문제가 발생한다. 또한 범람원의 도시화는 퇴적물의 공급과 순환 과정에도 변화를 유발한다. 범람원은 부유하중의 일시적 저장 기능을 수행할 뿐만 아니라 하천의 측방 이동과 관련한 조립 물질의 순환에도 중요한 역할을 수행하는데(Jackson *et al.*, 2014), 범람원이 매립되고 도시적인 토지 이용이 증가하면 물질 순환의 기능이 저하되면서 하류로 공급되는 퇴적 물질의 양이 변화하게 된다.

홍수는 유역 분지의 규모와 경사, 기후 등 다양한 요인에 의해 그 빈도와 강도가 결정되는데, 최근의 기후 변화는 홍수의 빈도와 강도뿐만 아니라 발생 시기까지 변화시키고 있다. 특히 2000년대 이후에 발생한 대규모 홍수의 발생 빈도와 규모 변화는 전 지구적 기후 변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 논의되었다(Bertola *et al.*, 2024). 한편 동일한 홍수 조건에서도 토지 이용에 따라 피해 양상은 다르게 나타난다. 농경지 지역은 주로 농작물의 손실로 인한 경제적인 피해가 발생하는 반면, 도시화 지역의 침수는 인명 피해와 도시의 여러 기반 시설의 피해를 수반하여 실제 피해액의 규모가 증가하는 측면이 있다. 그러므로 미호강 유역에서는 홍수 시 유량 그래프의 변동 등에 대해 시기별 토지이용 변화와 함께 분석할 필요가 있다.

또한 자연 상태의 하천을 인위적으로 활용하기 위해서는 하폭을 확대하거나 제방을 구축하고, 준설을 통해 수심을 깊게 변화시키거나 식생을 제거하는 등의 작업을 하는 것이 일반적이다. 이 과정에서 하천의 길이는 변화하고 하도 경사가 급해지며 직강화가 이루어지기도 한다. 이러한 인위적인 하천의 변형은 하천 내 침식과 퇴적 작용에 광범위한 영향을 미치며, 공사가 진행된 구간의 상·하류에도 다양하게 영향을 미친다. 이러한 변화는 지형학적인 측면 외에도 생물학적, 생태학적인 측면에서 서식지 변화에 상당한 영향을 미치게 된다. 따라서 인위적인 하천의 변형 과정에서 발생할 수 있는 부정적인 영향을 최소화하기 위해서는 현재 하천의 유량과 퇴적물 특성, 생태계의 특성뿐만 아니라, 하천과 유역 분지의 변화 과정을 면밀히 검토하고 고려할 필요가 있다(Wohl, 2004).

## VII. 결론

본 연구에서는 미호강 유역의 하천중단곡선과 유량·

수위 변동 자료 등을 분석하여, 미호강 하류 및 주변 지류의 하도 경사 변화와 지류 합류부의 지형 특성, 퇴적층 깊이 분포 등을 종합적으로 파악하고, 2023년 여름 발생한 미호강 범람의 원인을 규명하고자 하였다. 그리고 이를 바탕으로 향후 하천 관리의 방향성을 제시하고자 하였다.

연구 결과 미호강 본류는 전반적으로 완경사의 특성을 나타내나, 주요 지류인 병천천의 경우 하상 경사가 비교적 급한 특성을 보였다. 병천천은 미호강의 지류들 중 유역 분지의 규모가 크고 유량 기여도가 높으며, 약 90°에 가까운 각도로 미호강 본류에 합류한다. 따라서 병천천과 같은 급경사 지류로부터 유입되는 다량의 퇴적물이 미호강 본류의 완경사 지형과 만나면서 하상 고도 상승을 유발하고, 이것이 하도 내 사력퇴 형성과 망류하도 발달 등의 지형 변화로 이어지는 것으로 나타났다. 또한 미호강 유역에는 약 8m 깊이의 하천 퇴적층이 분포하며, 병천천 합류부 인근에서는 퇴적층의 두께가 증가하는 경향이 나타났는데, 이는 과거 병천천 유입으로 인한 침식 작용과 그 이후 퇴적환경 변화에 따른 퇴적물 집적의 결과로 해석되었다. 그러나 현재 병천천 합류부 주변에 축조된 인공 제방은 홍수 시 유량이 증가하는 과정에서 하폭 제한을 유발하는 것으로 나타났으며, 이는 홍수 시 수위 상승과 제방 침식의 위험을 증대시키는 요인으로 작용하였다. 또한 강내면 일대에서는 본류의 수위가 상승한 상태에서 제방 고도보다 낮은 지류 합류부의 배수가 원활히 이뤄지지 않게 되고, 이로 인해 내수 범람에 따른 홍수 피해가 발생한 것으로 추정되었다.

이처럼 미호강 유역은 지류로부터 다량의 퇴적물이 유입되며 하상 지형이 역동적으로 변화하고 있음에도 불구하고, 기존의 하천 관리는 주로 제방의增高와 하폭 유지를 중심으로 이루어져 왔다. 또한 미호강 하류부는 청주시의 시가지 구역 확대와 각종 개발 사업으로 인해 토지 이용 변화가 활발하게 일어나는 지역으로, 향후 기후 변화로 인한 유량과 수위 변동이 크게 일어날 것으로 예상된다. 특히 범람원 지역에서의 도시 개발은 자연적 유수지 기능을 감소시켜 홍수 유량 조절이 어려워지고 하류의 침수 위험이 증가하게 된다. 현재에도 그 영향이 나타나고 있으며, 현재 시행 중인 제방 높이 증가와 같은 치수 대책만으로는 수해 방지에 한계가 있을 것으로 보인다.

따라서 미래의 기후 변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 미호강의 퇴적물 유입 및 하상 변화의 역학적 특성,

지류 합류부의 지형 조건, 홍수 시 수문 반응과 도시화의 영향을 통합적으로 분석하여 하천 관리 방안을 재정립할 필요가 있다. 즉, 하천과 유역 분지의 지형 특성을 고려한 통합적인 토지 이용 관리, 저류시설 확충, 내수 범람 피해 예방과 같은 종합적인 수해 방지 전략이 필수적이라고 할 수 있다.

## 참고문헌

강필종·임주환, 1974, 「지질도폭 설명서 광정(Sheet-6623-IV) 1:50000」, 국립지질광물연구소.

건설부, 1963, 「한국수문조사서 부도편」.

건설부, 1988, 「금강수계종합정비계획(I)」.

권영일·진명식, 1974, 「지질도폭 설명서 청주(Sheet-6623-I) 1:50000」, 국립지질광물연구소.

김영래, 2021, “화강암 분지를 흐르는 미호천의 지형학적 특색,” 한국지형학회지, 28(3), 1-11.

김종연, 2016, “충청북도의 하천 지형 연구에 대한 고찰,” 한국지리학회지, 5(1), 35-49.

김종연·성정용, 2016 “미호천 퇴적층의 매물연대에 대한 연구: 정북동 토성과 범람원의 물질을 대상으로,” 한국지리학회지, 5(2), 121-131.

대전지방국토관리청, 2009, 「금강수계하천기본계획(변경)」, 국토해양부.

대전지방국토관리청, 2011, 「금강수계 하천기본계획: 금강, 미호천, 갑천, 유등천 보고서」, 국토해양부.

대전지방국토관리청, 2018, 「미호천 하천기본계획(변경) 보고서 [미호천(국가하천)]」, 국토교통부.

손미선, 2009, “청주 분지의 지형 환경,” 한국교원대학교 석사학위논문.

우효섭·장창래·지운·김진관, 2022, 「하천변화와 적응」, 교문사.

이민부·김정혁·최훈, 2014, “자연지리 답사를 통한 지역화 교육 프로그램의 개발과 운영: 미호천 유역 하천 지형을 사례로,” 한국지형학회지, 21(4), 53-67.

청주시, 2023, 「강내 빗물펌프장(신설) 개선복구 계획서(요약)」, 청주시.

환경부, 2023, 「2023 수문연보」.

Arnell, N. W. and Gosling, S. N., 2016, The impacts of climate change on river flood risk at the global scale,

*Climatic Change*, 134(3), 387-401.

Bertola, M., Castellarin, A., Viglione, A., Valtancoli, E., and Blöschl, G., 2024, Frequency and spatial variability of European record floods, *Water Resources Research*, 60(10), e2023WR036767.

Bridge, J. S., 1993, The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers, in Best, J. L. and Bristow, C. S., eds., *Braided Rivers*, Geological Society Special Publication, 75, 13-71.

Jackson, C. R., Thompson, J. A., and Kilka, R. K., 2014, Wetland soils, hydrology, and geomorphology, in Batzer, D. P and Sharitz, eds., *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*, University of California Press, 23-60.

Leopold, L. B. and Moddock, T. Jr., 1953, The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications, *USGS Professional Paper*, 252, 1-57.

Piégay, H. Grant, G., Nakamura, F., and Trustrum, N., 2006, Braided-river management: From assessment of river behaviour to improved sustainable development, in Smith, G. H. S, Best, J. I., Bristow, C. S., and Petts, G. E., eds., *Braided Rivers: Process, Deposits, Ecology and Management*, International Association of Sedimentologists, 257-275.

Rentschler, J., Salhab, M., and Jafino, B. A., 2022, Flood exposure and poverty in 188 countries, *Nature Communications*, 13(1), 3527.

Slingerland, R. and Smith, N. D., 2004, River avulsions and their deposits, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 32, 257-285.

Smith, G. H. S., Nicholas, A. P., Best, J. L., Bulls, J. M., Dixon, S. J., Goodbred, S., Sarker, M. H., and Vardy, M. E., 2019, The sedimentology of river confluences, *Sedimentology*, 66, 391-407.

Thapa, S., Sinclair, H. D., Creed, M. J., Alistair, G. L. Borthwick, A. G. L., Watson, C. S., and Muthusamy, M., 2024, Sediment transport and flood risk: Impact of newly constructed embankments on river morphology and flood dynamics in Kathmandu, Nepal, *Water Resources Research*, 60(10), e2024WR037742.

Willett, S. D., McCoy, S. W., Perron, J. T., Goren, L., and Chen, C. Y., 2014, Dynamic reorganization of river basins, *Science*, 343, 1248765.

Wohl, E. E., 2004, *Disconnected Rivers: Linking Rivers to Landscapes*, Yale University Press.

금강유역환경청 수위정보, [www.geumriver.go.kr](http://www.geumriver.go.kr)

국무조정실, 2023, “오송 궁평2지하차도 침수사고 감찰조사 결과,” 보도자료.

국토지리정보원, [www.ngii.go.kr](http://www.ngii.go.kr)

국토지반정보 통합 DB시스템, [www.geoinfo.or.kr](http://www.geoinfo.or.kr)

지오빅데이터 오픈플랫폼, [data.kigam.re.kr](http://data.kigam.re.kr)

교신 : 김종연, 28644, 충청북도 청주시 서원구 충대로 1, 충북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: [terraic@cbnu.ac.kr](mailto:terraic@cbnu.ac.kr))

Correspondence: Jong Yeon Kim, 28644, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, South Korea, Department of Geography Education, Chungbuk National University (Email: [terraic@cbnu.ac.kr](mailto:terraic@cbnu.ac.kr))

투고접수일: 2025년 3월 4일

심사완료일: 2025년 5월 9일

게재확정일: 2025년 6월 2일