

빙기 이후 황강 하류부의 지형 발달

신원정* · 김종연**

Geomorphic Development of Lower Reached of Hwanggang River Since the Last Glacial Periods

Won Jeong Shin* · Jong Yeon Kim**

요약 : 본 연구에서는 낙동강의 1차 지류인 황강 하류 구간의 빙기 및 후빙기의 지형발달과정을 고찰하였다. 황강은 해수면 변동에 따른 낙동강의 침식기준면 변화에 영향을 받은 하천이다. 지난 빙기에는 현 하상에서 약 16~19m 깊이까지 침식되었으며, 이 시기 황강 하류 구간의 하천중단곡선은 현재의 하천중단면과 평행한 형태로 나타났다. 이후 후빙기 해수면 상승으로 낙동강의 침식기준면이 상승하면서 황강에도 퇴적이 발생하였다. 황강의 퇴적층은 상류로 가면서 얇아지는 양상을 보였으며, 낙동강 하상 변화의 영향은 황강 상류 부분까지 도달하지는 못했던 것으로 추정된다. 또한 퇴적물 유입 등으로 인한 황강의 하상 고도 상승은 황강으로 유입되는 소규모 지류들에게도 영향을 주었다. 지류에서 유입된 물질들이 합류부에서 지체되거나 황강 본류가 역류하여 합류사주가 성장하였고, 이로 인해 지류와의 합류부에 퇴적이 발생하면서 습지가 형성되었다. 정양지와 박실지 같은 황강 하류의 호소성 습지들은 이러한 지형발달과정의 결과물로 볼 수 있다. 황강의 퇴적환경 변화는 황강의 유로를 변동시키면서 곡류절단 등이 발생하였고 이러한 곡류절단의 결과로 연당지가 형성되었다. 또한 일부 지류들에는 빙기의 하방침식 효과가 전파되어 경사변환점이 형성되었다.

주요어 : 하천중단곡선, 호소성습지, 경사변환점, 합류사주, 기후변화

Abstract : The geomorphic development process during the glacial and the post-glacial periods in the downstream section of the Hwanggang River, the primary tributary of the Nakdonggang River, were studied. During the last glacial period, the Hwanggang River incised its bed due to the falling sea levels, eroding the current riverbed to a depth of 16-19 meters. The river longitudinal profile of the Hwanggang formed during this period is judged to be parallel to the current river profile in the case of the downstream section. During the post-glacial period, as the channel bed of the Nakdonggang River rose due to sea-level rise, sedimentation occurred along the course of the Hwanggang River. The sedimentary layer of the Hwanggang River becomes thinner as it extends upstream, appearing very shallow near the Hapcheon Dam. This suggests that the impact of the Nakdonggang River's channel bed elevation changes did not reach the upper reaches of the Hwanggang River. The rise in riverbed elevation due to sediment inflow also affected the smaller tributaries flowing into the Hwanggang River. The valleys of these tributaries were blocked by the growth of confluence sandbars, leading to the formation of wetlands. Lacustrine wetlands in the downstream reach of the Hwanggang River, such as Jeongyangji and Bakshilji, can be interpreted as the results of this process. Changes in the sedimentary environment of the Hwanggang River caused features such as meander cutting, etc. For instance, Yeondangji appears to have formed as a result of such a cutoff. Additionally, some tributaries seem to have developed knickpoints as the effects of accelerated downward erosion during the glacial period propagated upstream.

Key Words : River longitudinal profile, Lacustrine wetland, Knickpoint, Confluence bars, Climate change

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

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

I. 연구 배경 및 목적

하천과 하천 주변의 축적 지형은 인간 거주와 주요 기반을 이루는 지형 요소로서, 하천 축적 지형의 형성과 변화는 생태·환경적 측면뿐만 아니라 인간의 생활 및 역사와도 깊은 연관성을 가지고 있다(이광률·박충선, 2020).

특히 신생대 제4기의 기후변동과 이로 인한 침식기준면의 변화는 하천 퇴적 지형의 형성과 변화에 상당한 영향을 주었다. 빙하기의 해수면 하강과 후빙기의 해수면 상승으로 인한 해진(海進)과 해퇴(海退) 과정은 대하천의 퇴적환경에 상당한 영향을 미쳤으며(류중형·리우 캄바우, 2019), 이는 대하천뿐만 아니라 지류 하천 체계에도 변화를 초래하였다. 따라서 내륙의 하천 지형 또한 해수면 변동에 따라 다양한 변화를 경험하였다고 할 수 있다.

황강은 낙동강의 지류로 낙동강의 하천 환경 변화 및 합천댐 건설로 인한 인위적인 환경 변화 등을 경험하였으며, 특히 낙동강의 침식기준면 변화에 따른 하천 체계의 변화를 경험하였다. 또한 황강 유역에는 하안단구, 하천습지 등의 여러 하천 지형이 발달해있을 뿐만 아니라, 침식분지, 선상지 등 다양한 지형이 발달해 있어 지형학적으로도 상당한 중요성을 지니고 있다. 이에 따라 황강 유역에 분포하는 초계·적중분지의 지형 발달, 대병고원의 하천 쟁탈(손일 등, 2008), 황강 중·하류부의 하천 지형 발달에 대한 연구(장동호·정근비, 2024) 등이 수행되었으며, 일부 습지 지형은 낙동강 하류의 지형들과 함께 논의 되었다(손명원·전영권, 2003).

하지만 황강 하류 지역의 경우 오랜 기간 농경지로 활용되면서 인위적인 영향을 받았으며, 특히 1960년대 이후 호소의 배수 및 농경지 개간이 적극적으로 이뤄짐에 따라 원지형이 크게 변형되었다. 이에 황강 일대의 하천 지형 발달과정을 추정하기 위한 자료 획득에는 어려움이 존재한다.

이러한 측면에서 국토교통부에서 운영하는(한국건설기술연구원 위탁운영) 국토지반정보포털시스템(www.geoinfo.or.kr)의 시추공 데이터는 지반 정보의 현황을 파악하는데 유용한 자료로 활용될 수 있다. 토지 개발 등으로 지반 상태를 직접 파악하기 힘든 경우, 시추공 데이터를 활용하여 지질 정보를 파악할 수 있으며, 심도에 따른 기반암 및 퇴적층의 정보를 비교적 정확하게 파악할 수 있다(김지성 등, 2019). 현재 국토지반정보포털시스템에는 390,197공(2023년 12월 31일 기준)의 시추공 데이터가 탑재되어 있으며, 이는 기반암의 분포 특성 등을 파악하는

연구에 활용되고 있다.

이에 본 연구에서는 황강 유역에서 획득된 시추공 데이터 가운데 하천 퇴적층의 깊이를 파악할 수 있는 자료를 활용하여 하천의 퇴적층의 두께와 특성을 분석하였다. 국토지반정보포털시스템에서 제공하는 시추 데이터를 기반으로, 합천댐에서 낙동강 본류 합류 지점까지의 종단면을 따라 총 58개의 시추 지점을 선정한 후 해당 지점에 대한 경위도 좌표를 확인하고, 이 중 퇴적층 하단까지 도달한 시추공 데이터를 대상으로 분석하였다. 경위도 좌표 확인이 어려운 23개 지점의 시추 데이터는 보조 자료로 활용하였다.

이를 바탕으로 종단곡선을 따라 나타나는 퇴적층의 심도와 각 지점의 퇴적층 특성을 파악하고, 황강 하류부의 전반적인 퇴적 환경과 지형 발달과정을 추정하고자 하였다. 또한 황강 하류부에 분포하는 다양한 지형 특성들을 정리하고, 하천 퇴적 지형 형성을 낙동강의 후빙기 하상 변동과 연관하여 고찰하였다.

II. 황강 하류부의 하천 특성

1. 황강 유역의 지형 및 지질 개관

황강은 유역면적 1,328.33km², 유로연장 114.92km에 달하는 낙동강의 1차 지류이다. 경상남도 거창군 고계면 삼도봉 남쪽 계곡에서 발원하여 거창군의 위천과 합류한 뒤 합천호로 유입되며, 이후 합천댐에서 방류되어 낙동강으로 유입된다. 합천댐에서 흘러나온 황강은 전반적으로 동쪽으로 곡류하며 흐르다가 합천군 청덕면 적포리 부근에서 낙동강에 합류한다.

황강은 합천댐을 기준으로 합천댐의 상류 구간과 하류 구간으로 구분된다. 합천댐의 상류 구간은 상대적으로 하폭이 좁고 경사가 급하며 평균 고도가 높은 반면, 합천댐 하류 구간의 경우 경사가 완만하게 나타난다(부산지방국토관리청, 2016). 이에 하천기본계획 상에서도 합천호와 합천댐을 기준으로 황강의 중류권역과 하류권역으로 구분하고 있다(부산지방국토관리청, 2019). 이러한 상류와 하류 구간은 후빙기 지형 형성 과정에서 낙동강의 퇴적 환경 변화의 영향을 상이하게 받았다고 할 수 있다. 합천댐 하류의 기반암 하곡은 경사가 급한 관계로 하류의 하천 환경 변화가 상류로 전달되는 데 한계가 있다. 이에 하류 구간을 별도로 구분하여 살펴볼 필요가 있다.

본 연구지역인 황강 하류의 경우 여러 지류들이 유입하고 있으며, 주요 지류로는 합천댐 하류의 금성천, 합천읍 일대의 우곡천과 황계천, 합천천, 아천, 울곡천, 본천천, 영전천 등이 있다. 그 외에도 초계분지에서 유입하는 산내천, 낙동강 합류부 인근의 성태천, 하회천, 미곡천 등이

황강에 합류한다(그림 1). 이 외에도 다수의 소규모 지류들이 합류하며 이들은 대부분 남류 혹은 북류하다가 황강에 유입되는 양상을 보인다.

황강 유역 일대에는 선캄브리아기 편마암, 중생대 화강암 및 퇴적암이 분포하며, 합천댐의 상류 구간에는 주로

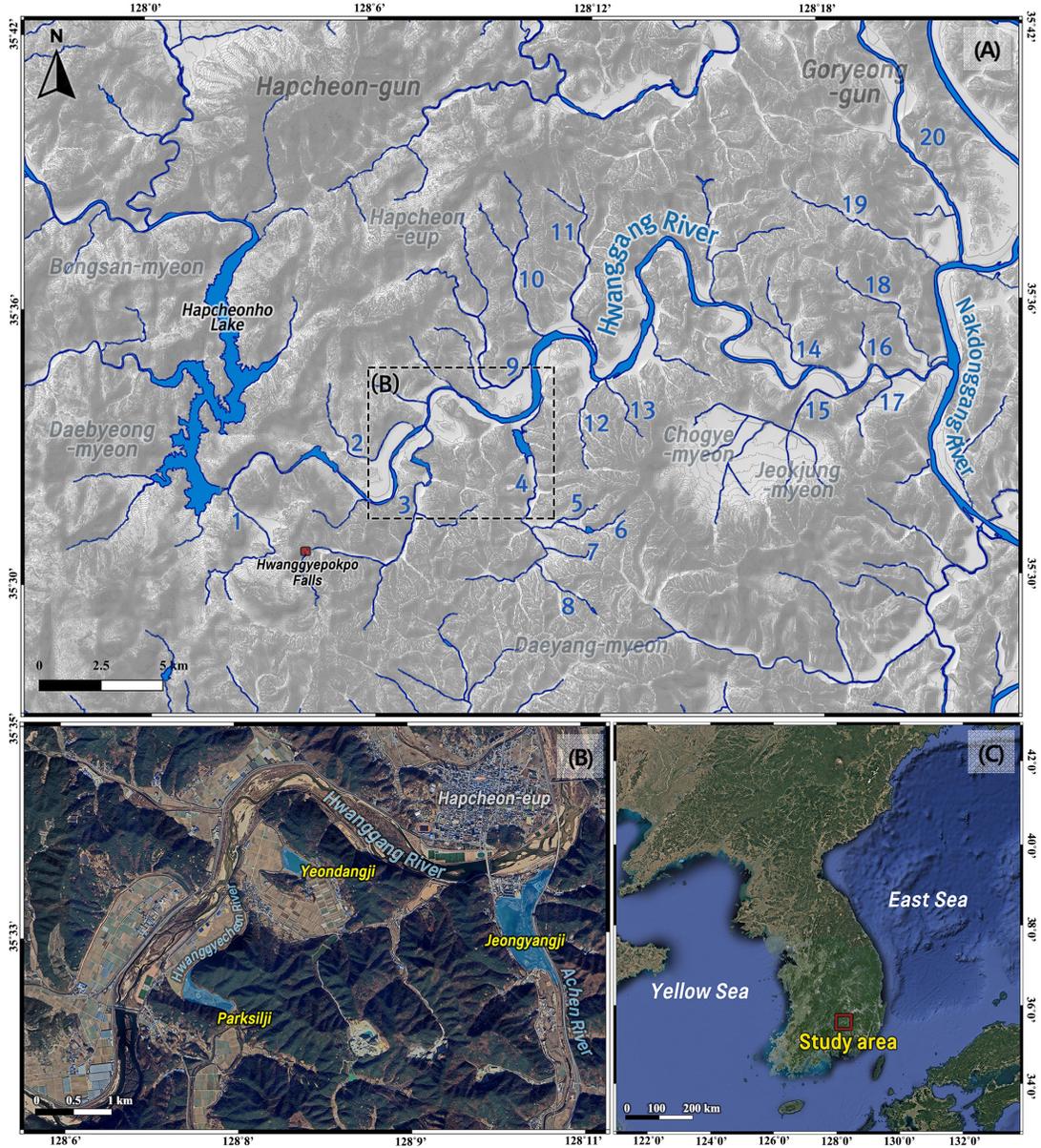


그림 1. 연구지역의 위치((A): 황강 및 황강 하류의 지류 분포, (B): 황강 지류에 형성된 주요 습지, (C): 황강의 위치)

(A) 1: 금성천, 2: 우곡천, 3: 황계천, 4: 아천, 5: 무곡천, 6: 장자천, 7: 덕암천, 8: 안금천, 9: 합천천, 10: 금양천, 11: 우곡천, 12: 본천천, 13: 영전천, 14: 성산천, 15: 산내천, 16: 성태천, 17: 하회천, 18: 미곡천, 19: 덕곡천, 20: 회천

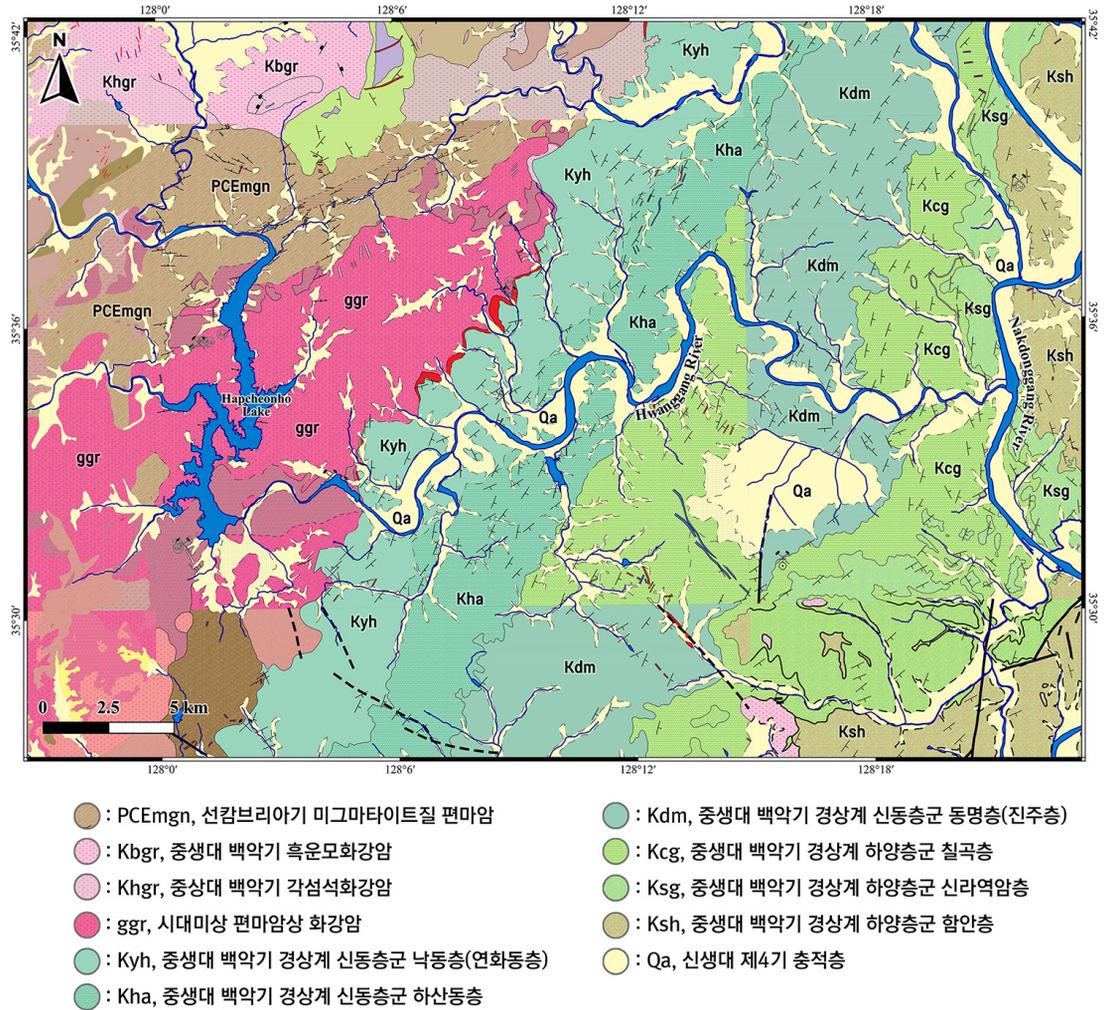


그림 2. 황강 일대의 지질 분포

화강암 및 편마암이, 하류 구간에는 퇴적암이 분포하는 양상을 보인다(그림 2). 선캄브리아기의 편마암 복합체는 영남육괴를 이루는 부분으로 퇴적암 기원의 암석이 변성된 것이며, 화강암은 주로 백악기 불국사 화강암으로 알려져 있다. 그리고 중생대 퇴적암은 경상누층군 낙동층군에 해당한다(장기홍, 1968; 강필중·박석환, 1975). 퇴적암의 경우 경상누층군 신동층군의 낙동층과 하산동층, 동명층(진주층)이 차례로 분포하며, 동쪽으로 갈수록 젊은 시기의 상부층이 나타난다. 또한 낙동강 합류부 인근에는 하양층군 칠곡층, 신라역암층, 함안층이 분포한다. 퇴적암은 전반적으로 북동-남서 방향으로 분포하는 양상을 보인다.

2. 황강 하류부의 퇴적물 분포 특성

황강의 퇴적 지형 형성에 영향을 주는 퇴적 물질량은 단위 면적당 780ton/km²로, 낙동강 본류 구간의 205ton/km²에 비해 상당히 양이 많으며, 대표적 모래 하천인 내성천의 390ton/km²보다도 월등히 높은 편이다(부산지방국토관리청, 2016). 이러한 퇴적물질의 대량 공급은 하천 지형의 역동적인 변화를 유발한다. 황강 하류의 하상은 전형적인 모래 하상 하천의 특성이 나타나며, 하천 합류부를 중심으로 다양한 형태의 퇴적 지형(bar)이 발달해 있다(그림 3(A), (B), (C)). 지류가 합류하지 않는 구간에서는 본류의 하도 구간을 중심으로 퇴적 지형이 나타난다.

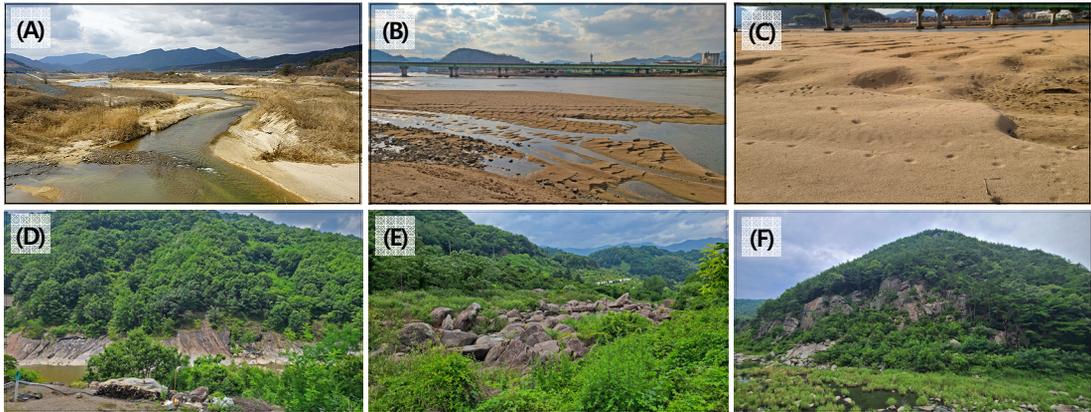


그림 3. (A), (B), (C): 황강 하류의 모래하상 지형, (D), (E), (F): 황강 상류 인근(합천댐 하류)의 기반암 하상 구간

또한 황강 본류가 화강암 지역을 통과하는 구간에서는 하상 퇴적 지형이 탁월하게 발달한 것으로 보아 황강으로 유입되는 퇴적물들은 주로 화강암 분포 지역에서 공급되는 것으로 추정된다. 반면 경상누층군이 분포하는 하류 구간과 지류 유역에는 퇴적이 제한적인 것으로 보아 퇴적암의 물질 공급 기여도는 상대적으로 낮은 것으로 보이며, 지질 조건과 같은 조건이 퇴적 특성에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

하상 구성 물질의 경우 낙동강 합류부에서 약 40km 상류 구간까지는 사질이 우세하게 나타나나, 합천댐 하류의 일부 구간과 상류 방향으로는 사면 하단부와 하상에 기반암이 노출되어 있다(그림 3(D), (E), (F)). 이러한 기반암 하상의 출현은 하류에서 발생하는 퇴적환경의 변화가 상류로 전파되는 것을 제한하는 요인이 되는 것으로 추정된다. 축적하도의 경우 퇴적환경 변화에 따라 퇴적물의 입경 및 퇴적률의 변화가 발생하게 되나, 퇴적층의 깊이가 매우 얇거나 기반암이 노출된 구간에는 이러한 변화가 일어나기 어렵다. 이 경우에는 종단곡선상 경사변환점이 나타나게 되며, 황강의 경우 하류에서 약 40~45km 구간이 이러한 변화 지점에 해당된다.

합천댐 상류에서 공급되던 사질 퇴적물질은 댐으로 인해 대부분 차단되었으며, 이로 인해 1983~2016년 동안 황강 하상 물질의 입도에 변화가 있었다. 조정지땀 하류에서는 하상 물질의 평균 중앙값(D_{50})이 1983년 1.07mm에서 2003년 5.72mm로 증가해, 구성 물질이 모래에서 자갈로 바뀌었다(신영호, 2009). 조정지땀 하류 5km 구간의 평균 입경은 댐 건설 이전 약 2.16mm에서 댐 건설 이후 44mm로 크게 증가했으며(신영호, 2009), 이는 하상압주

화(channel armouring)가 일어난 것으로 해석된다. 조정지땀 하류 20km 지점에서는 하상이 약 2.6m 침식되었고 하천 폭도 감소하였다. 그러나 낙동강과 합류하는 구간의 하상 구성 물질 입자 크기는 크게 변화하지 않은 것으로 연구되었다(신영호, 2009).

댐으로 인한 퇴적물질의 차단 외에도 유량 특성 또한 변화하였다. 황강의 연평균 최고 유량(mean annual peak discharge)은 $654.7\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 $126.3\text{m}^3/\text{sec}$ 로 크게 감소하여, 댐 건설 이후(1989~2005년)의 유량은 건설 전(1969~1981년)의 약 16% 수준에 불과하였다. 만수위 유량(bankful discharge) 역시 댐 건설 전의 17% 수준에 머물렀으며, 댐 준공 후(1989~2005)의 방류량은 준공 전의 19.3%로 감소하였다. 이는 댐 건설 이후 인위적 준설로 인해 퇴적물이 세립화되고, 댐에 의해 퇴적물 공급이 차단되면서 조립화가 진행된 것으로 해석되었다(부산지방국토관리청, 2016). 한편 2019~2022년 사이에는 모래 퇴적으로 사력 퇴적지의 면적이 약 56% 증가했으며, 이는 황강의 수위 저하 및 추가적인 물질 공급과 관련된 것으로 연구되었다(장동호·정근비, 2024).

III. 황강 하류 지류하천의 종단곡선 특성

1. 하천종단곡선의 변화 요인

본류와 지류의 하천 종단곡선에서 본류의 하상 고도 변화는 다양한 방식으로 지류의 종단곡선에 영향을 미친다. 유수가 지닌 침식 에너지, 하상의 침식 저항력, 그리고

퇴적물 수지(퇴적물의 유입과 유출 균형) 등에 따라 종단 곡선의 형태가 달라진다. 기반암의 기복이 지배적인 영향을 미치거나 기반암이 노출된 경우에는 침식률이 종단 곡선 형성에 중요한 요인이 되는 반면, 충적 하상의 경우 퇴적물질의 양과 입도 특성 등이 종단곡선 형성에 영향을 미치게 된다.

일반적으로 하류로 갈수록 유량 증가에 따라 침식력이 증가하지만 이는 하상 경사 변화에 따라 보다 복잡한 유형으로 나타날 수 있다. 예컨대 충적 하상 하천의 경우 하류로 갈수록 평균 입경이 감소하고 퇴적물의 양이 증가하며 공간적인 분급이 나타남에 따라, 종단곡선의 경사가 하류 방향으로 점차 완만해지는 양상이 나타난다. 한편 지류의 침식기준면이 되는 본류의 하상이 낮아질 경우, 지류의 하류로부터 침식력이 강해져 경사변환점이 형성된다. 경사변환점 상류에는 과거의 침식기준면에 대응하는 하상이 남아있게 되며, 하류에는 새로운 침식기준면에 대응하는 하상이 형성된다. 이에 따라 종단곡선상의 경사변환점은 장기적인 하천환경을 반영하는 단서로 활용된다.

2. 황강 하류의 종단곡선 변화

황강의 경우 지난 빙기 이후 침식곡이 매적되면서 전반적인 종단곡선의 형상이 변화한 것으로 추정된다. 이를 파악하기 위해 황강의 시추 주상도를 활용하여 풍화대와 퇴적층 경계 지점의 해발고도를 현재의 하천종단곡선에 맞추어 도시하였다(그림 4). 황강의 종단곡선은 1983년, 2005년, 2016년의 하천정비기본계획 자료를 활용하여 작성하였다. 또한 주요 지류의 합류부 특성을 파악하기 위해 최심하상선의 종단곡선을 작성하였으며, 주요 지류의 종단곡선은 부산지방국토관리청의 2019년 자료를 활용하였다(그림 5).

그 결과 황강의 최하류 즉, 낙동강과의 합류부에서 황강의 하상 높이는 1983년 해발고도 약 5.33m에서 2005년에는 6.57m, 2016년에는 2.37m으로 변화하였는데(그림 4(A)), 이는 낙동강의 하상 변화에 따라 변동되는 것으로 볼 수 있다. 부분적으로는 황강에서의 골재 채취도 영향을 준 것으로 보인다. 또한 합천댐과 조정지댐 건설이

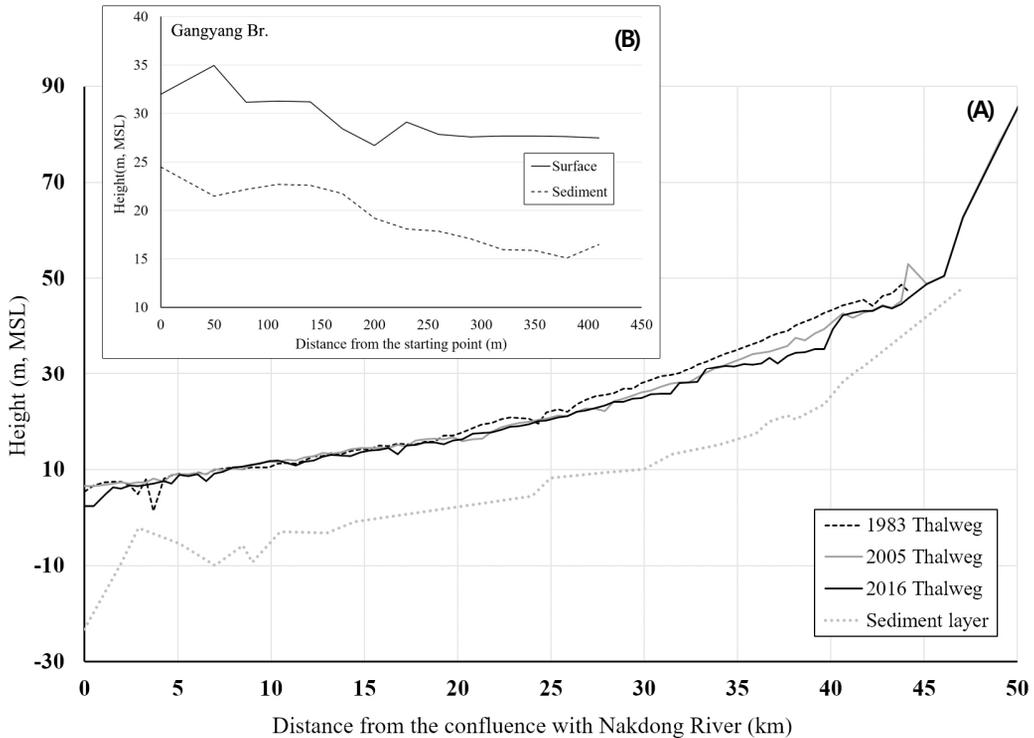


그림 4. 황강의 하천 및 퇴적층의 종단면도(A)와 횡단면도(B) (강양교 지점)

출처 : 건설부, 1983; 부산지방국토관리청, 2016.

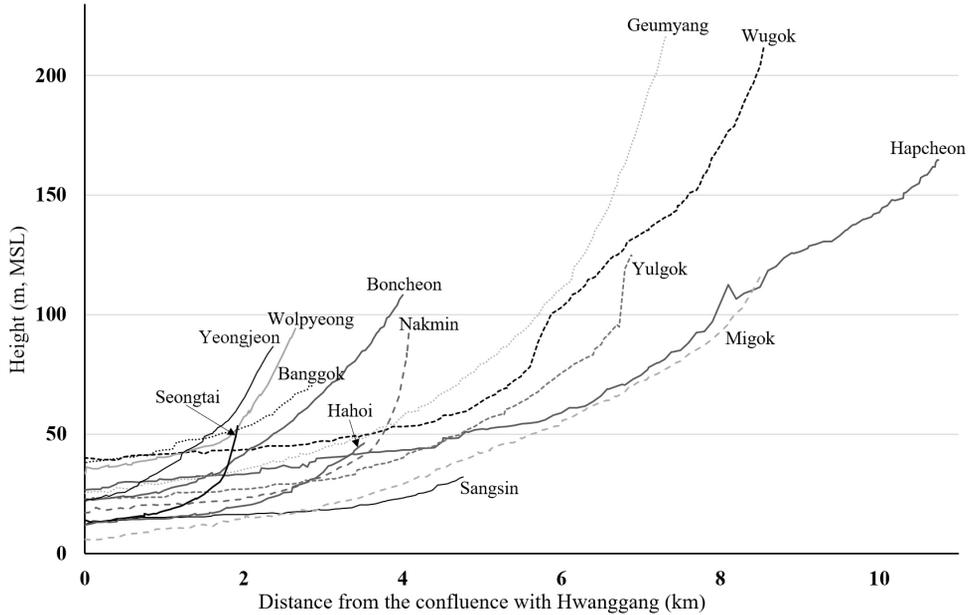


그림 5. 황강 주요 지류의 종단곡선

출처 : 부산지방국토관리청, 2019.

1982~1989년이므로, 1983년의 하천 종단곡선은 합천댐 건설 이전의 특성을 반영한다고 할 수 있다. 황강의 하류 부 즉, 낙동강 합류 지점에서 약 15km 구간까지는 1983년 이후로 큰 변화가 관찰되지 않으나, 상류 구간의 경우 1983년 이후 하상 고도가 저하되는 특징이 나타난다.

황강의 전반적인 종단면 및 횡단면으로 볼 때, 낙동강 합류점으로부터 약 45km 지점까지는 완만한 경사를 보이다가 이후 경사가 급격히 증가하는 특징이 나타나며, 퇴적층의 깊이 역시 이러한 특성을 반영한다. 낙동강 합류부에서는 퇴적층의 심도가 28.5m로 가장 두껍게 나타나는데, 상류로 갈수록 약 16~19m 정도의 두께를 유지하는 경향을 보인다. 특히 황계천과 아천 합류점 등 일부 지점에서는 다른 곳보다 퇴적층이 두껍게 분포하는 특징이 나타난다. 전반적으로 퇴적층의 분포 형상은 현재의 하천 종단곡선과 평행한 양상을 보이며, 퇴적층의 깊이는 약 40km 지점부터 급격히 감소하는 양상을 보인다.

낙동강 합류부에서 약 40km 지점은 용주교 인근으로, 이곳은 기반암 계곡을 따라 흐르던 황강이 폭 200m 이내의 좁은 골짜기를 벗어나면서 모래 중심의 퇴적지형이 발달하기 시작하는 지점이다. 이 구간에서는 계곡의 폭이 1km 이상으로 넓어지며 황강이 곡류하기 시작하는 부분이다. 좁은 계곡을 따라 운반되던 퇴적물은 계곡을 벗어

나면서 다량으로 퇴적되고, 다수의 하천 퇴적 지형을 형성한 것으로 추정된다.

하천종단면에 나타나는 퇴적층의 하단 깊이는 빙기 동안 침식된 황강의 침식곡을 나타내는 것으로 볼 수 있으며, 그 상부의 층은 낙동강의 침식기준면 변화의 영향을 받은 퇴적물로 추정된다. 즉, 빙기의 침식기준면 하강은 낙동강 합류부로부터 상류 방향으로 약 40km 지점까지 영향을 준 것으로 보이며, 이후 퇴적환경이 변화함에 따라 퇴적이 발생하면서 침식곡이 매적된 것으로 해석된다. 물론 빙기의 황강 유로가 현재와 어느 정도 차이를 보이는지는 명확하지 않다. 다만 시추 자료에 나타나는 계곡 단면을 살펴보면, 합천읍 강양교 부근의 퇴적 단면에서 퇴적층과 풍화대 경계(그림 4(B)의 Sediment 부분)의 전반적이 형태가 현재의 하천 횡단면과 상당히 유사한 것으로 확인된다. 따라서 황강 유로의 평면적인 형상은 빙기에도 현재와 유사했을 가능성이 있다.

3. 황강 지류들의 종단곡선 특성

황강 하류로 유입되는 하천들은 크게 초계·적중분지에서 유입되는 산내천과 인근 지류들, 그리고 기타 지류들로 구분된다. 이 중 초계·적중분지를 유역으로 하는 산내

천을 제외한 나머지 지류들의 종단곡선을 분석한 결과 황강 분류 인근에서는 대체로 완만한 경사가 나타난다. 해당 구간에서는 황강의 배후습지를 통과하는 것으로 보이며, 황강 합류부 인근의 퇴적층 깊이 역시 황강의 퇴적층 깊이와 유사한 값이 나타난다. 또한 산지 지역으로 갈수록 지류들의 경사가 증가하며 전형적인 오목형 종단곡선이 나타난다(그림 5).

특히 우곡천의 경우 황강 합류에서부터 약 5km 상류 지점에 경사변환점이 나타나며, 경사변환점이 나타나는 곳은 화강암과 퇴적암의 경계 인근이다. 따라서 지질 특성으로 인한 경사 변화의 가능성을 고려해볼 수 있으나, 현장 조사 결과 암석 경계에서 발달하는 기반암 하상이나 암석 차이로 인한 지표 특성 차이는 확인되지 않았다. 또한 단층선 통과 등의 구조적 요인도 확인되지 않아 우곡천의 경사변환점은 다른 원인에 기인하는 것으로 판단된다. 이 외에 다른 지류들에서 나타나는 소규모의 경사변환점들은 낙차공 등의 인공 구조물에 의한 것으로 확인되어 이에 대한 추가 분석은 실시하지 않았다.

한편 각 지류들이 황강과 합류하는 지점의 최심 하상 고도와 인근 황강 본류의 하상 고도를 비교해본 결과, 대부분의 지류에서 황강 합류 직전 최심 하상 고도가 합천댐 건설 이전인 1983년 황강 본류 인근 지점의 최심 하상 고도보다 낮은 것으로 나타났다(그림 4(A), 그림 5). 그러나 영전천, 본천천, 성태천, 하회천은 현재 지류 유출부의 최심 하상 고도가 1983년 황강 하상 고도보다 높은 것으로 확인되었는데, 이 중 하회천과 성태천은 합류부에 배수문이 조성되어 있어 하상 고도에 인위적인 영향이 작용한 것으로 보인다. 영전천의 경우 하류 지역이 복개되어 있으며, 본천천은 측량 지점이 황강 합류부보다 약 650m 상류에 위치한 구릉 인근 지점이다. 한편 산내천의 경우 최심 하상 고도가 황강의 과거 하상 고도보다 낮은 편이지만, 초계·적중분지에서 유출되면서 약 2km 길이의 좁은 곡지를 통과하기 때문에 황강 하상 변동의 영향은 산내천 하류부에 국한되는 것으로 보인다.

이러한 지류들은 과거 인위적인 영향이 없던 시기에 황강 본류보다 하상 고도가 낮아, 황강의 범람 시뿐만 아니라 평수시에도 유수의 역류가 빈번했을 것으로 추정된다. 이는 해수면 변동과도 무관하지 않는데, 지류의 하류부가 황강의 후빙기 해수면 상승의 영향을 받았다는 점은 퇴적층의 깊이를 통해 확인할 수 있다. 황강으로 합류하는 대부분의 지류 하류부 퇴적층은 황강의 퇴적층 깊이와

유사하며, 낙동강 본류에 가까운 하류 지천들에서는 시추 단면도 상에서 저습지 퇴적층이 확인된다. 해당 저습지들은 현재 존재하는 하천 습지와 마찬가지로 황강의 후빙기 침식기준면 상승의 결과로 추정된다. 그리고 이러한 저습지와 곡지는 빙기의 침식을 통해 풍화대의 대부분이 제거되고 산지 사면이 깊게 침식되면서 형성된 것으로 보인다.

한편 아천과 그 지류의 종단곡선에서는 경사변환점이 나타나지 않으며, 이는 아천의 지류인 안금천, 덕암천, 장자천, 그리고 장자천의 지류인 무곡천에서도 동일하게 나타난다. 아천의 경우 종단곡선 상에서의 경사변환점 형성보다는 침식기준면 변동에 대한 반응으로 하천 하류에 습지가 발달한 것으로 추정된다. 초계·적중분지를 유역 분지로 하는 산내천과 그 지류에서도 퇴적층으로 구성된 곡지와 인공시설물로 인한 경사 변화 외에는 특별한 경사변환점이 나타나지 않는다. 산내천은 황강 하류에 위치하여 본류의 침식기준면 변화의 영향을 받기에 상대적으로 유리한 환경에 있지만, 산내천 유출부가 좁은 곡지를 통해 황강과 연결되어 있어 다른 하천들과는 달리 하상 변화의 영향이 상류까지 쉽게 전파되지 않은 것으로 보인다.

IV. 황강 하류부의 지형 특성

황강 하류부에는 합천천, 울곡천, 성태천 등을 비롯하여 다수의 지류들이 유입한다. 이러한 지류들은 황강 본류의 침식기준면 변화에 영향을 받으며, 이에 따라 종단곡선의 변화 및 하류부의 지형 변화가 발생할 수 있다. 지류로부터 퇴적물 유입이 많은 곳에서는 습지가 빠르게 매몰되어 소멸되었으며, 현재 남아있는 대표적인 습지로는 정양지, 박실지, 연당지가 있다. 이 중 정양지와 박실지는 지류의 유출부에 위치하며, 연당지는 황강의 구하도에 위치하는 습지이다.

1. 황강 하류부 습지에 대한 논의

낙동강과 같이 대하천의 지류에 발달하는 자연 습지의 형성과정에 대해, 초기에는 유역 분지 내 산림 남벌로 인해 하천으로 유입되는 퇴적물질이 증가하면서 하상이 상승하고, 이로 인해 본류로 유입되는 지류의 하류부 등에 습지가 형성된다고 보았다. 그러나 이후 연구에서는 빙기의 해수면 하강과 그 이후의 해수면 상승에 따른 하천의

침식과 퇴적 과정이 지류의 습지를 형성하는 원인으로 제시되었다(권혁재, 1976).

정양지의 형성과정에 대하여 Oya(大矢雅彦)(1971)는 황강의 하상 고도 상승으로 인해 과거에 농경지로 이용되던 지역 주변에 자연제방이 형성되고, 황강과 아천의 합류부 일대에 배수가 불량해져 저습지가 되었다고 하였다. 그 근거로 정양지를 흐르는 아천의 퇴적물질 양이 많지 않고 하상에 존재하는 퇴적물의 양도 미미하다는 점을 제시하였다. 또한 박실지 역시 과거에는 논이었던 곳이 습지로 변한 것이라고 보았다. 그러면서 남벌로 인해 황강 본류 구간의 하상이 상승하면서 지류의 유수와 퇴적물이 본류 하도로 배수되지 못하고 유로가 차단되어 배후습지 지역이 침수된 것으로 설명하였다(권혁재, 1976).

그러나 1910년대에 작성된 지도에 정양지와 박실지가 이미 나타나는 것으로 보아, 과거에 논이었다가 습지가 된 것이라는 주장은 근거가 부족한 것으로 보인다(그림 6(A)). 특히 1737년 간행된 것으로 알려진 '광여도(廣輿圖)'(그림 6(B))에 나타나는 혈암담(穴岩潭)의 경우, 아천과 황강 합류 지점에 있는 것으로 보아 정양지를 나타낸 것으로 추정된다. 역사 기록에 따르면 아천은 조선 후기까지 '도천'이라 불렸으며, 정양은 과거 합천의 지명이므로(이만도, 1916), 정양지는 합천에 있는 연못이라는 의미에서 유래된 것으로 보인다. 해당 문헌은 1916년에 간행되었으나 사후 후손에 의해 출간된 것이므로, 실제 작성 시기는 이 기록이 수록된 문집 '향산집'의 다른 자료들과 유사하게 1870년대로 보아야 할 것이다. 따라서 정양지는 조선시대부터 자연 호소성 습지로 인식되었을 가능

성이 크다.

이렇게 황강과 지류의 합류부에 형성된 습지들은 빙하기의 하방침식으로 형성된 지류의 곡지가 합류사주(Confluence bar)의 성장으로 인해 차단되면서 호소화되었다고 할 수 있다. 빙기의 침식기준면 저하로 형성된 황강 지류의 곡지가 후빙기 해수면 상승으로 인해 매적되면서, 지류와의 합류부를 중심으로 저습지가 형성된 것으로 보인다. 후빙기에 황강 본류의 하상 퇴적이 빠르게 진행되면서 하상고도가 상승하고, 지류로부터 유입된 퇴적물이 유출되지 못해 합류사주가 성장한 것으로 추정된다. 또한 홍수 시뿐만 아니라 평수 시에도 황강의 유수와 퇴적물이 지류의 침식곡을 따라 역류하면서 지류 퇴적물과 혼합되어, 사주의 성장을 빠르게 촉진하고 호소성 습지를 형성한 것으로 보인다.

한편 하천 충적 지형과 관련하여, 홀로세 해수면 상승 이후 해수면이 현재 수준에서 안정되면서 상류로부터 운반된 퇴적물들에 의해 침식곡이 매적(filling)되고, 하상 경사가 점차 완만해지면서 넓은 충적평야가 형성되기도 한다(조화룡, 1987; 황상일·조화룡, 1995). 그러나 황강의 경우 해수면과 인접한 대하천의 하류부가 아닌, 낙동강 중류부에 위치한 하천으로서, 해수면과의 거리, 하천의 규모 등을 다각적으로 고려해야 할 것으로 보인다. 황강 하류 지역은 모래 하상 하천으로, 하천 규모에 비해 운반되는 퇴적물 양이 많아 사주와 같은 퇴적 지형이 발달하기 쉬운 반면, 지류의 경우 비교적 유량이 적어 퇴적물 공급이 많지 않다. 따라서 이러한 하천 특성으로 인해 지류 합류부를 중심으로 저습지가 발달할 수 있었던 것으로 보인다.

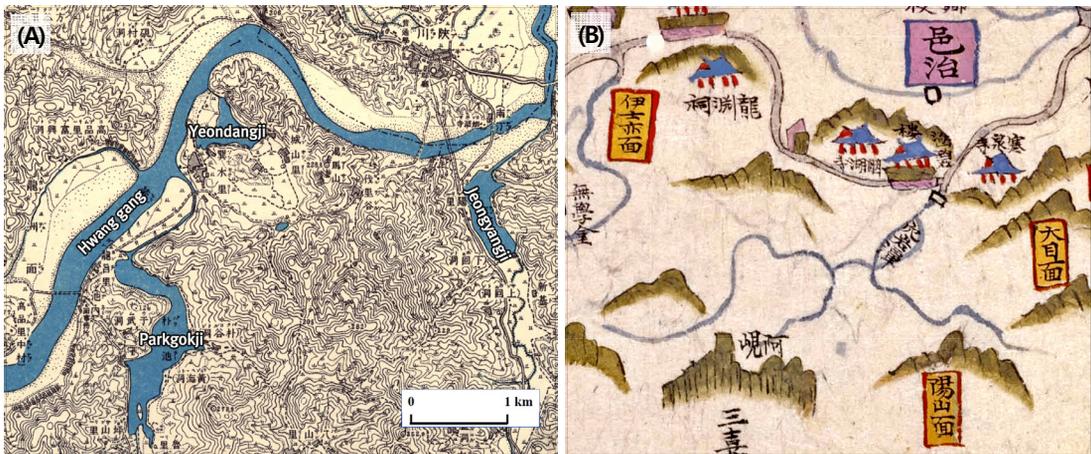


그림 6. (A): 일제시대 지형도상의 황강 주요 습지, (B): 고지도(광여도)에 나타난 아천 연못

2. 아천 하류의 습지: 정양지

정양지(정양습지/정양늪)는 유역면적 42.74km², 평균 깊이 0.7m, 최대 깊이 1.4m의 습지로(낙동강유역환경청, 2022), 황강과 아천의 합류부 인근에 형성된 호소성 자연 습지(소택지)이다(그림 7). 아천이 황강에 합류하는 곳에서 상류 방향으로 약 1km 지점에 정양지가 위치하는데, 아천의 최하류부 1km 구간에는 황강으로 유입되는 도수

로가 위치한다.

정양지의 종단곡선을 분석한 결과 2019년에는 인위적으로 조성된 배수로에 비해 정양지의 고도가 약 1m 내외로 더 높게 나타났으나, 1994년 자료에서는 배수로의 하상이 정양지 하류부보다 약 1m 이상 높은 것으로 나타났다(그림 8). 당시 황강의 하상고도는 배수로와 유사한 수준으로, 1983년에는 약 30.97~32.7m, 2005년에는 28.2~30.2m, 2016년에는 28.15~31.16m에 달하였다. 이러한

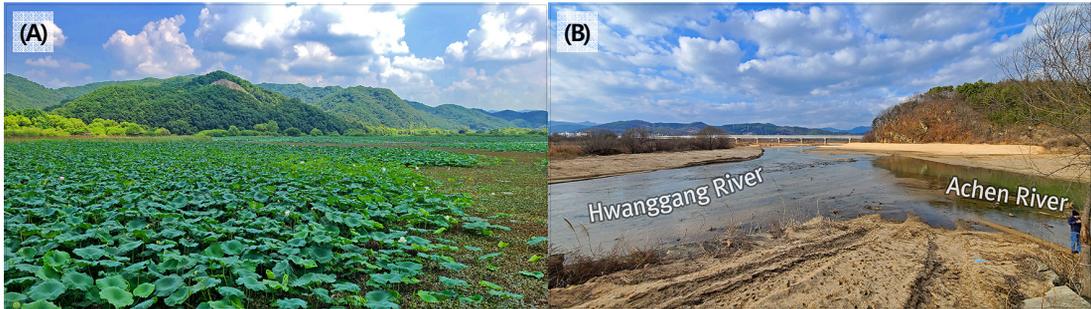


그림 7. 황강 하류 일대의 경관. (A): 정양지의 전경, (B): 아천과 황강의 합류부

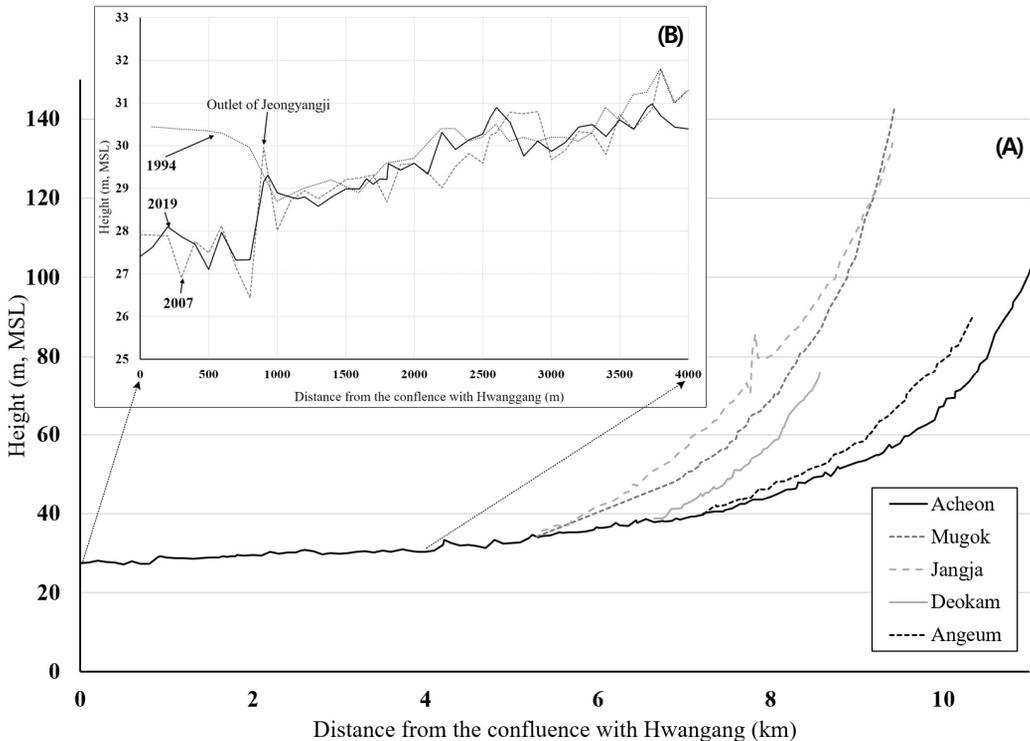


그림 8. 아천과 정양지의 종단곡선((A): 아천 및 아천 지류들의 종단곡선, (B): 아천 하류 종단곡선의 시계열적 변화)
출처 : 부산지방국토관리청, 2019.

황강 및 배수로의 고도 저하는 하상 준설에 의한 것으로 알려져 있으며, 합천댐 건설 이후의 침식도 영향을 준 것으로 보인다(부산지방국토관리청, 2019). 이러한 인위적 요인들을 고려할 때 자연 상태의 황강 하상은 아천 하류부 약 4km 지점까지 지류보다 높았던 것으로 보이며, 이러한 특성은 황강으로 유입되는 다른 지류 합류부에서도 확인된다.

또한 정양지 구성 물질의 경우 황강과의 합류 지점에서는 자갈 5.3%, 모래 87%, 실트 및 점토 4.6%가 나타나는 반면, 정양지 하류부에서는 모래 21.8%, 실트 및 점토 78.2%의 비율이 나타난다. 정양지 상류의 하천 유입 부분은 모래 8.4%, 실트 및 점토 91.6%로, 상류로 갈수록 점차 세립질의 비율이 증가하는 양상을 보인다. 정양지에서 상류 약 7km 구간까지는 자갈은 관찰되지 않으며, 모래가 80~90%를 차지하는 모래 하천의 성격이 나타나다가 최상류 구간으로 가면서 자갈의 비율이 점증하는 양상이 나타난다(부산지방국토관리청, 2019).

아천과 황강의 합류부(합천대교)에서 하상 물질에 대한 자료는 없으나, 이보다 하류 지점에서는 모래 90.34%, 실트 및 점토 9.63%의 비율이 나타난다. 보다 상류인 합천읍으로 유입되기 직전 지점에서는 자갈 9.12% 모래 84.38% 실트 및 점토 6.5%의 특성이 조사된 바 있다(합천군, 1996). 실제 정양지 인근 지점의 퇴적물 입도분석 결과 평균입경 약 24 μ m에서부터 약 1,251 μ m까지 조립 실트

에서부터 극조립 모래로 나타났으며, 전반적으로 정양지 하류부와 황강 합류부에서는 모두 모래의 비율이 높은 반면, 정양지의 상류부에서는 실트의 비중이 눈에 띄게 증가하여, 합천군(1996)의 조사 결과와 유사한 결과를 보였다.

이처럼 정양지 하류 즉, 아천과 황강의 합류부는 모래가 80~90%를 차지하는 모래 하천의 성격이라고 할 수 있으나, 상류는 세립질의 함량이 증가하여 상·하류 지점 간 구성 물질의 차이가 나타난다. 이는 아천이 정양지로 유입되면서 유속 감소로 인한 정체가 반영된 것으로 볼 수 있다.

3. 황강 구하도 습지: 연당지

연당지는 황강의 구하도에 위치한 저습지로, 지난 빙기 낙동강의 하각작용에 의해 곡류절단이 발생하면서 형성된 구하도의 일부이다(손일·전영권, 2003). 현재는 '연당소류지'로 불리며, 성산 1리의 구하도와 곡류핵 부근에 남아 있다(그림 9(A), (B)).

연당지는 갈마봉(232.67m)의 능선을 경계로 황강 본류와 분리되어 있으며, 성산 1리 마을이 위치하는 구릉은 황강의 곡류핵 부분에 해당한다(그림 9(C)). 연당지는 계곡의 폭으로 볼 때 독립적인 지류가 아닌 황강 본류의 곡류절단으로 형성된 것으로 보인다. 곡류핵을 이루는 구릉지 하단에는 풍화된 기반암이 노출되어 있으며, 일부 풍

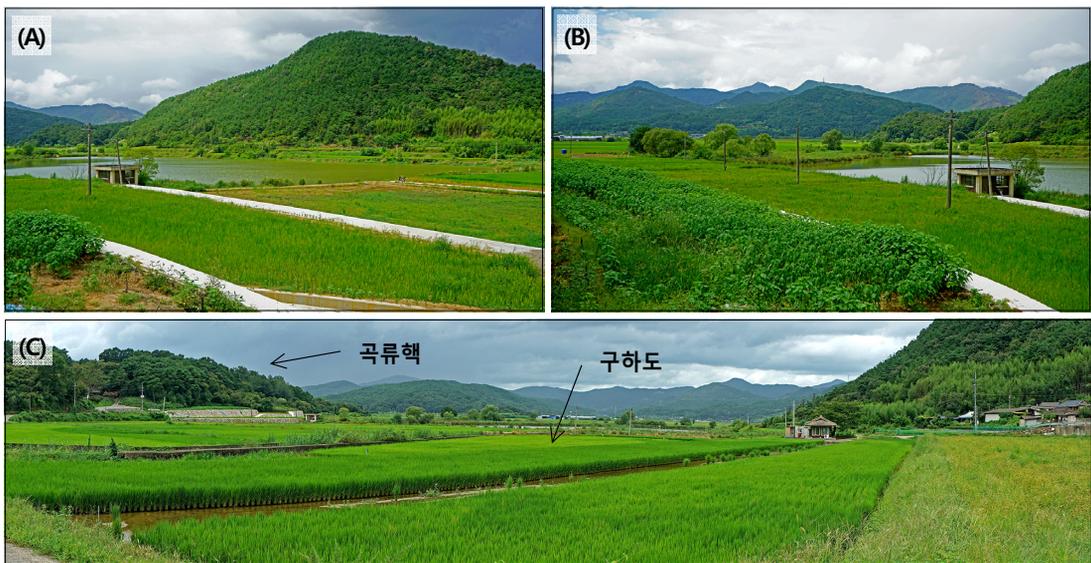


그림 9. 연당지 인근의 지형((A): 곡류핵 쪽에서 본 연당지, (B): 연당지 하류부의 황강 구하도, (C): 곡류핵과 황강의 구하도)

화된 퇴적물이 관찰되기는 하나 기원지는 불분명하다. 또한 곡류해 정상부는 평탄한 면으로 나타나며, 구하도 내에는 과거의 공격사면 부분에 단구상의 지형이 좁게 나타난다.

즉 연당지는 황강의 구하도가운데 고도가 낮은 부분이 자연제방에 의해 막히면서 호소가 되었다고 할 수 있다. 이후 규모가 점차 축소되고 황강에 면한 저습지 부분이 농경지로 개간된 것으로 보인다. 일제강점기 지형도에는 연당지가 황강과 연결된 상태로 나타나며, 이후 연당지와 연결된 수로들이 직선화되면서 현재의 모습이 된 것으로 추정된다.

4. 황계천의 박실지와 황계폭포

박실지는 황계천에 발달한 습지로 황강 하구에서 약 36km, 낙동강 하구에서 약 170km 떨어져 있으며, 황계천과 황강의 합류 지점으로부터는 약 1.7km 지점에 위치한다(그림 10(A), (B)). 박실지는 황강 지류에 발달한 습지 중 가장 상류에 위치할 뿐만 아니라, 해수면 변동의 영향으로 형성된 낙동강의 하천 습지 중에서도 가장 상류에 해당한다(손명원·류태일, 2002). 박실지의 습지 길이는 약 1km, 최심하상선의 고도는 약 40m이며, 면적은 약 0.288 km²로 정양지에 비해 규모는 작으나 생태적 가치가 높은

지역으로 평가된다(이수동·김미정, 2010). 박실지로 인해 황계천 하류에는 완경사 구간이 나타나며, 실제 박실지에서 황강 합류부까지의 평균 경사는 0.0045(m/m)로 매우 평탄하다(그림 11).

과거 박실지의 규모는 둘레 5.5km, 길이 1.8km, 폭 550m, 면적 0.399km²에 달했으나, 합천댐 완공 이후의 수량 감소와 주변 농경지의 개간으로 인해 퇴적물 유입이 증가하면서 규모가 크게 축소된 것으로 알려져 있다(공달영 등, 2013). 박실지는 현재 소택지로 유지되고 있는데, 이러한 소택지의 경우 지류의 규모가 커 분류에서 역류한 퇴적물이 지류 하도를 채우지 못하거나, 소택지 주변에서 공급되는 퇴적물 양이 적어 매립되지 않을 때 형성된다(권현재, 1974).

황계천의 경우 황강 유입부의 최심 하상은 34.61m, 박실지 하류 유출부의 고도는 37.2m, 상류부 고도는 37.95m 인데 비해, 황강의 하상고도는 약 40~42m로(1983년 합천댐 건설 이전) 황계천의 하상에 비해 상당히 높았던 것으로 추정된다. 그러나 박실지의 하류 경계에는 황강의 범람원이 맞닿아 있어 황강의 수위 변동은 주로 범람원에 영향을 준 것으로 보인다(그림 10(C)). 또한 박실지는 황강 합류 지점에서 약 1.7km 상류에 위치하므로 매립되지 않고 소택지로 유지될 수 있었던 것으로 추정된다.

한편 황계천과 황강 합류부에서부터 약 10km 상류 지

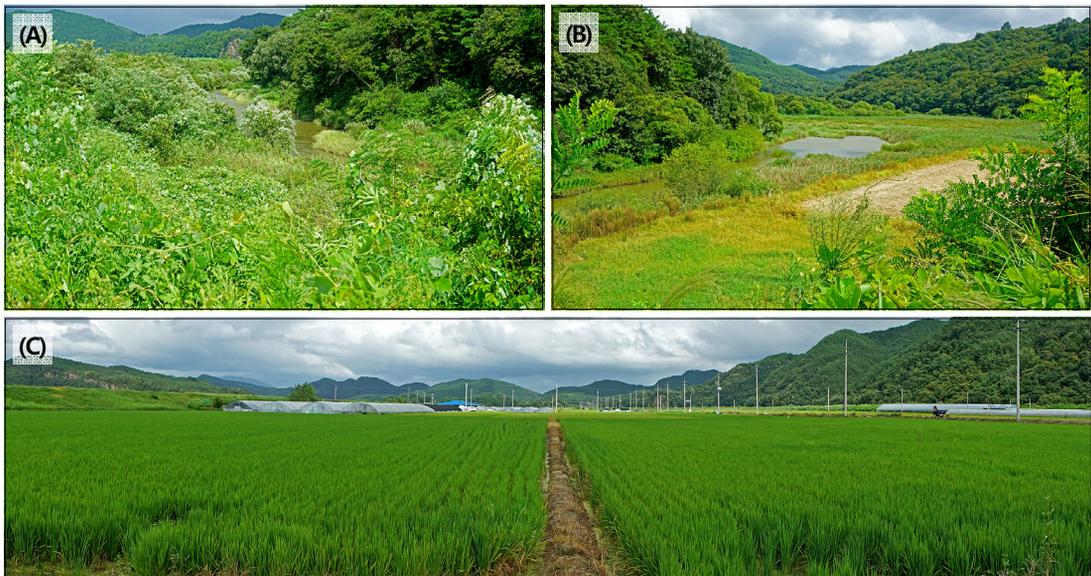


그림 10. 박실지와 황강 유입부의 간척 농지. (A): 박실지에서 황강으로 유입되는 도수로(B): 박실지 하류부, (C): 박실지와 황강 사이의 범람원)

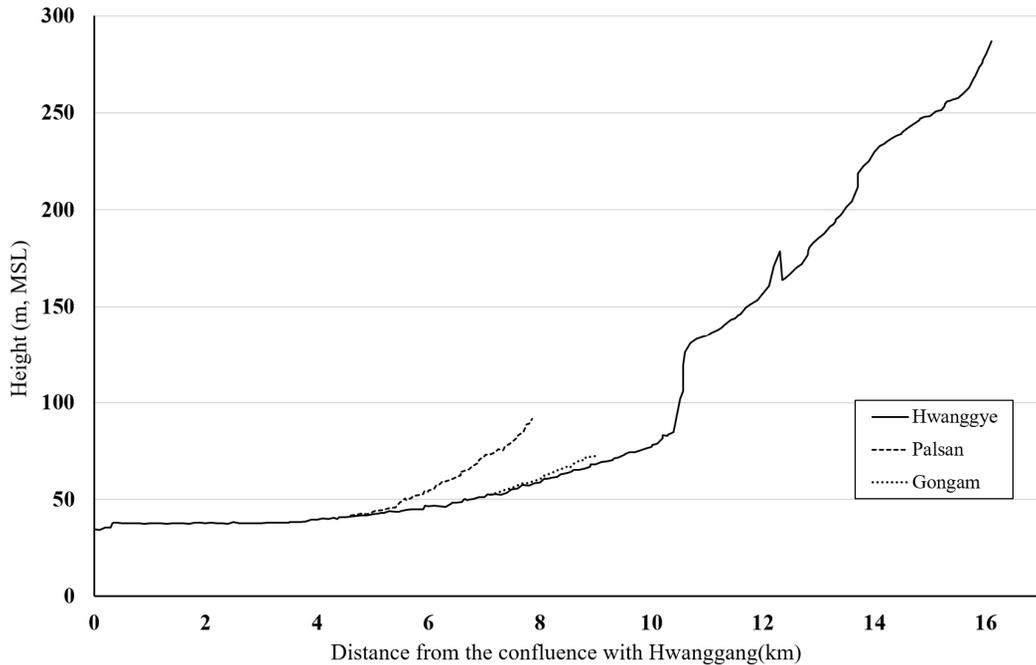


그림 11. 황계천과 주요 지류의 하천 종단곡선

출처 : 부산지방국토관리청, 2019.

점에는 황계폭포가 분포한다. 하천종단곡선을 바탕으로 살펴본 결과 황계폭포보다 하류 지점인 박실저수지-벽계교 구간은 하천 경사가 0.0109m/m인데 반해, 황계폭포가 있는 택계교-제2택계교 사이의 구간에서는 1.1382m/m로 경사가 급격히 증가한다(그림 11). 보다 상류 구간인 택계2교-저수지 구간은 0.0206m/m으로 하류부에 비해서는 경사가 급하지만, 일반적인 하천 경사와는 큰 차이를 보이지 않아, 황계폭포가 황계천의 주요한 하천경사변환점이 되고 있다.

기존 연구에 의하면 황계천에는 2개의 경사변환점이 존재하며, 이 중 하류의 경사변환점이 황계폭포이고 상류에는 금성천의 유로를 쟁탈한 경사변환점이 나타나는 것으로 논의되었다(손일 등, 2008). 따라서 과거 기후 변동으로 인해 황계천의 침식기준면인 황강의 하상이 저하되면서 그 영향이 상류 방향으로 전달되고, 그러한 황계천의 침식력 증가가 이러한 경사변환점 형성에 영향을 주었을 가능성이 존재한다. 그러나 황계폭포의 형성 및 하천 쟁탈에 대해서는 대빙고원의 해체 과정과 관련되었을 가능성도 배제할 수 없으며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

V. 황강 하류의 지형형성과정

1. 황강 하류의 퇴적층 심도 변화

황강은 낙동강의 1차 지류로 두 하천의 합류부는 낙동강의 하상 고도 상승에 따른 영향을 직접적으로 받았다고 할 수 있다. 빙기·후빙기의 해수면 변동 영향으로 낙동강의 하상이 변동하고, 이로 인해 황강의 침식기준면이 승강함에 따라 종단곡선 상의 변화가 발생한 것으로 보인다. 실제 낙동강은 빙기의 해수면 하강으로 인해 하방침식을 강화하였으며, 후빙기에는 해수면 상승에 따라 퇴적층 두께가 증가한 것으로 연구되었다(조화룡, 1987). 낙동강 하구에서 약 160km 떨어진 고령교 지점의 경우 현 하상의 해발고도는 약 10~15m이고, 하상의 기반암 면은 해발고도 -10m 내외로 알려져 있으며, 퇴적층의 총후는 약 20~25m로 추정되었다(조화룡, 1987).

이로 볼 때 낙동강 하구는 빙기 초기에는 해수면이 하강하면서 침식이 활발해져 계곡 바닥의 풍화산물층은 제거되고 기반암이 노출된 것으로 보인다. 이후 인근 사면에서 기계적 풍화작용으로 생성된 물질들이 계곡 하부를 채

운 것으로 추정된다. 그리고 후빙기에는 해수면 상승과 함께 하천의 유량이 증가하여 하천 주변에 침식이 발생하고, 침식된 물질들이 하구 부분에 모래 퇴적층을 형성한 것으로 보인다(양재혁·조국래, 2011).

본 연구 결과 황강 합류부 지점의 낙동강 하상 고도는 2016년 기준 약 2.37m로 나타났으며, 1983년에는 5.33m, 2005년에는 6.57m까지 상승했다가 이후 하강한 것으로 파악되었다. 이는 4대강 살리기 사업의 일환으로 진행된 하상 준설과 하천 정비 사업의 영향으로 보이며, 해당 지점의 퇴적층 심도는 해발 -23.2m, 퇴적층 두께는 약 26~39m로 확인되었다. 낙동강 하류의 구포 일대는 기반암의 심도가 약 -52~-55m, 하상 비고는 해발고도 0m 내외로, 퇴적층의 총후가 약 50m 이상인 것으로 나타났다. 이처럼 낙동강의 상류로 갈수록 퇴적층 두께가 점차 얇아지는 경향이 나타났다.

황강의 경우 낙동강과의 합류부 주변에 넓은 저습지가 형성되어 있으며, 황강 본류를 따라 퇴적층이 발달해 있다. 낙동강 합류 지점에서의 퇴적층 심도는 약 28.53m에 달하고, 황강 하류 구간에서는 약 16~19m의 심도를 유지하며 현재의 하천중단면과 평행한 모습을 보인다. 본 연구 결과 황강의 퇴적층은 상류로 갈수록 얇아지며 합천댐에 가까워질수록 상당히 얇아지는 특성을 보인다. 퇴적층의 심도를 기반으로 빙기 당시 황강의 종단곡선을 추정해보면 현재의 하천 경사와 유사한 특성이 나타나며, 이후 퇴적환경 변화로 인해 퇴적이 진행되면서 지형 변화가 발생한 것으로 볼 수 있다.

2. 배후습지성 호소의 형성

낙동강 하상 고도의 변화는 황강 유로를 따라 상류로 전달되며, 황강으로 유입되는 소규모 지류들 또한 이에 영향을 받게 된다. 정양지와 박실지, 그리고 현재 규모가 축소되고 논으로 이용되는 다수의 습지들이 이러한 영향을 통해 형성된 것으로 보인다.

일반적으로 배후습지는 자연제방 배후의 범람원에서 배수 불량으로 인해 반복적으로 침수되는 구역을 의미하나, 우리나라의 낙동강과 같은 대하천의 하류 구간에서는 지류의 유로를 중심으로 '배후습지성 호소'가 나타난다. 배후습지성 호소는 일반적인 배후습지와 몇 가지 차이점이 있는데, 호소의 위치가 지류의 유로 내에 위치한다는 점, 유로의 일부가 배수되지 않고 습지로 변환 환경이라는 점,

후빙기 해수면 상승의 영향으로 형성되었다는 점 등이 특징이라고 할 수 있다. 일반적인 배후습지는 하천 범람이 주요한 요인인 반면, 배후습지성 호소는 해수면 상승으로 인한 침식기준면 상승이 중요한 요소로 작용한다.

황강 하류 역시 지류와의 합류부를 중심으로 배후습지성 호소가 발달해 있으며, 이는 침식기준면의 변동과 관련이 깊은 것으로 보인다. 저(低)해수면기에는 하천이 하방침식을 진행하다가, 해수면 상승으로 하천 하구가 막히고 유수가 역류하면서 배후습지성 호소가 형성된다. 일반적으로 해수면이 상승하면 1차적으로 하천 하구의 삼각주성 퇴적층에 변화가 발생하는데, 해수면 상승에 따라 하천 유로가 단축되면서 새로운 유출부를 중심으로 삼각주성 퇴적층이 형성된다. 이러한 퇴적에 의해 하천 경사가 감소하면서 하천의 운반능력은 감소하게 되고, 해수면 상승이 지속되면 삼각주성 퇴적층은 해양 쪽으로 성장해 가게 된다. 결과적으로 이는 하천 하류부에 퇴적을 유발하며 하상 고도를 상승시킨다.

또한 이러한 변화에 따라 하천 중·하류부에 형성되는 자갈-모래 하천의 경계부는 상류 방향으로 이동하게 되며, 하천 주변에는 범람으로 인해 저평한 평야가 형성된다. 본류 하상의 고도 상승으로 인해 지류 하천의 하류부가 차단되어 다수의 호소가 형성되며, 주로 낙동강과 섬진강 하류부에서 이러한 현상이 확인된다. 특히 낙동강의 경우 하구에서 약 50~170km 상류 구간에서 호소가 나타나며, 특히 토평천의 우포늪과 섬진강의 동정호 등이 이에 해당된다고 할 수 있다(손명원, 2012).

토평천은 낙동강의 지류로 해수면 변동에 의해 낙동강의 하상 고도가 상승하면서 유로가 제한되고, 하천 하류부에 침수가 유발되면서 습지가 형성되었다. 이와 같이 토평천과 화포천 하류에 발달한 습지를 '기후습지'로 규정하기도 하는데(손명원·전영권, 2003), 이러한 습지는 본류 하도 인근의 고도가 상대적으로 높고, 지류를 따라 갈수록 고도가 전반적으로 낮아지는 특징을 보인다.

이와 같이 본류와 지류의 합류부에서 유수의 차단으로 형성되는 호소는 지류의 관점에서 '계곡 차단 호소(blocked-valley lake)'로 분류할 수 있다. 계곡 차단 호소는 빙하 분포 지역에서 지류 빙하의 말단 부분이 모래인 등과 같은 퇴적 지형에 의해 차단되는 경우에 가장 빈번하게 형성되는 것으로 알려져 있다. 하지만 빙하 지역이 아닌 곳에서는 후빙기 해수면 상승으로 인해 본류의 하천체계가 변화하는 경우, 본류 하천의 범람원 및 하상 고도 상

승으로 지류의 곡지가 차단되면서 습지가 만들어지는 것으로 논의되었다(Parker *et al.*, 2008a; 2008b). 그리고 이러한 지류 하천 하류에 만들어지는 호소는 본류로부터 멀어질수록 퇴적물이 낮아지고, 퇴적물은 점차 세립화되는 특징을 보인다. 퇴적은 주로 지류에서의 물질 유입과 본류의 범람에 의해 발생하며, 시간이 지나면서 호소의 규모는 점차 축소된다(Grenfell *et al.*, 2010)(표 1).

3. 합류 사주의 발달

황강 하류부의 습지 형성과정에서 합류사주(Confluence bar)의 발달에 대해 고려해볼 수 있다. 본류와 지류의 합류부에서 형성되는 합류사주는 지류의 차단 과정에서 중요한 요인으로 작용하게 된다. 일반적으로 본류와 지류가 합류하는 경우, 각 하천의 유량 및 퇴적물 공급 특성으로 인해 두 하천의 하상 깊이는 차이를 보이게 된다. 통상적으로 본류는 수심이 깊고 지류는 수심이 얕으며, 두 하천의 규모가 유사한 경우에는 수심 차이가 상대적으로 크지 않다(Kennedy, 1984). 또한 지류의 규모가 작을 경우 지류의 유입으로 인해 본류 하상에 나타나는 지형 변화는

크지 않으며, 다만 본류 하류의 2차류의 강도 등에서 변화가 나타나는 것이 일반적이다.

지류에서 운반된 퇴적물질의 경우 본류로 혼입되거나, 하천 하구를 중심으로 퇴적되면서 퇴적층을 형성한다. 이 퇴적층은 유입부의 상·하류 방향 모두에서 관찰되며, 하류에서는 합류로 인한 침식 와지(scour hole)가 형성되기도 한다. 침식 와지는 두 하천의 규모 차이가 큰 경우에 본류의 유수가 지류로 역류하면서 형성되며(Biron *et al.*, 1993), 이 때 침식 와지와 합류부 사이 즉, 지류의 상류 방향으로 퇴적 지형이 발달한다. 이러한 퇴적 지형은 점차 합류 사주로 성장하며, 지류 유입부를 중심으로 상류에서 하류 방향으로 성장해간다(Moradi *et al.*, 2019). 합류사주는 시간이 경과하면서 포인트 바(point bar)와 유사한 형태로 본류 하도를 따라 하류 방향으로 확장되기도 하며, 일부는 본류와 지류의 합류부에서부터 성장하기도 한다. 그 결과 기존의 지류 유출부는 차단되어 호소성 습지가 형성되고, 지류는 소규모의 우회 유로를 형성하여 본류와 평행하게 흐르는 양상이 나타난다(그림 12).

이러한 지형 변화는 정양지를 형성한 아천과 황강의 합류점뿐만 아니라, 우곡천, 황계천의 하구에서도 유사하

표 1. 본류-지류간의 관계 및 본류와 지류간의 다양한 지형 변수 관계의 연속체에 대한 개념도

		본류 지배적		지류 지배적	
	호소성 (Lacustrine)	일시 호소* (Palustrine)	하성 (Fluvial)	일시 침수 (Palustrine)	호소성 (Lacustrine)
형성과정/ 상호작용	지류 계곡 침수	지류의 부분적인 운반능력 감소	본류 하도의 평면 형상 혹은 특성 변화	본류의 부분적인 운반능력 감소	본류 계곡의 침수
지형 특성	호수	곡저 습지, 지류의 차단	급류, 하폭 변화, 하도 패턴 변화	흑수(black water)**, 호수와 체류 홍수	호수
		낮음		높음	
지류의 상대적인 유역 경사 (Relative catchment slope of tributary) 지류의 상대적인 퇴적물 공급 (Relative sediment supply of tributary) 지류 유입부분의 상대적인 적평형률 (Relative rate of aggradation at tributary mouth)					

* Cowardin *et al.*, 1979의 분류에 따름.

** 흑수: 부유 하중의 비중은 낮고 높은 유기물질의 함량을 지니는 담수(Meyer, 1990).

출처 : Grenfell *et al.*, 2010을 수정함.

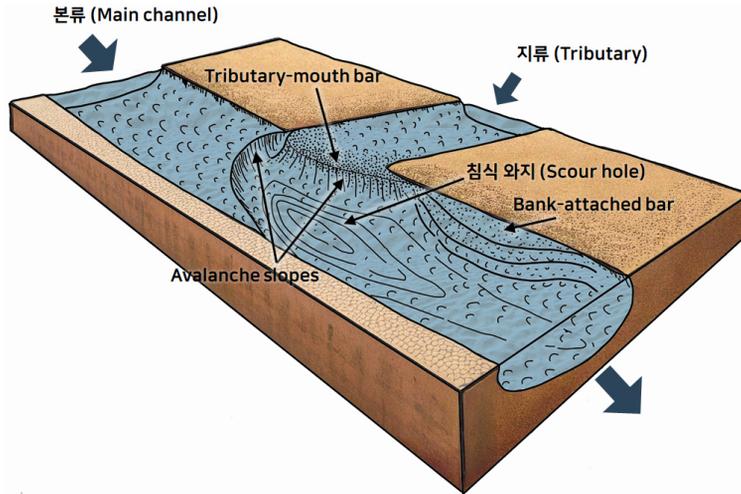


그림 12 지류와 본류의 합류부에서의 하상 지형

출처 : Bristow *et al.*, 1993을 수정함.

게 나타난다. 이들은 공통적으로 황강 합류부 인근에서 유로가 굽어지면서 본류와 평행하게 흐르는 양상을 보인다. 따라서 황강 하류부의 지형발달과정에는 이러한 합류사주의 성장이 영향을 준 것으로 보이며, 합류사주에 의해 지류의 유입이 차단되면서 습지가 형성될 수 있었던 것으로 추정된다.

VI. 결론

황강은 합천군 일대를 곡류하여 낙동강으로 유입하는 하천으로 합천댐 하류에서부터 기반암 계곡을 따라 흐르며 다양한 하천 지형들을 형성하였다. 특히 황강 하류 지역은 해수면 변동에 따른 낙동강의 하상 고도 변화에 영향을 받은 것으로 추정된다. 이에 본 연구에서는 황강 하류 지역을 대상으로 퇴적층의 심도와 특성, 하천중단곡선을 분석하여 하천 지형의 발달 및 변화 과정을 파악하고자 하였다. 특히 해수면 변동으로 인한 퇴적물 공급 및 하상 고도 변동이 황강 본류와 지류에 미친 영향을 규명하고자 하였다.

후빙기 해수면 상승으로 인해 낙동강 하류부 또는 낙동강과 황강의 합류부 주변에 수력학적 변화가 발생함에 따라, 황강의 퇴적력이 증가되었다. 현재 낙동강과의 합류 지점의 퇴적층 심도는 약 28.53m에 이르며, 황강 하류 지역의 퇴적층 심도는 약 16~19m로 일정하게 유지된다. 황강 하류의 퇴적층 심도 분포는 현재의 하천중단면과 평행하게 나타나며, 실제 황강 하류 지역에서는 계곡의 폭이

증가하면서 모래 퇴적층이 발달해 있는 양상이 나타난다. 황강의 퇴적층은 상류로 가면서 점차 얇아지고 특히 합천댐에 가까워질수록 두께가 현저히 감소하는 특성을 보이며, 퇴적층의 기저에는 기반암 풍화대가 나타난다. 이러한 점을 고려할 때 황강은 지난 빙기 동안 저하된 침식기 준면에 적응하며 하방침식을 진행하고, 그 결과 황강의 중단곡선이 현재와 유사한 경사를 지니게 된 것으로 추정된다. 이후 후빙기의 기후변화 및 해수면 상승으로 인한 퇴적물 공급 과정에서 황강의 하상 고도가 상승한 것으로 보인다.

황강의 하상 고도 변동은 황강으로 유입되는 소규모 지류의 유동과 퇴적 양상에도 영향을 주었다. 황강의 하상 고도 상승으로 인해 지류에서 유입된 유수와 퇴적물들이 합류부에서 지체되거나, 황강 본류가 역류하는 현상이 유발되었다. 이러한 과정에서 합류사주의 성장으로 지류 하구가 차단되고 호소화(湖沼化)가 가속화되었다. 황강 하류에 위치하는 정양지와 박실지 같은 호소성 습지가 이러한 퇴적환경 변화의 결과물이라고 할 수 있다.

한편 황강의 퇴적환경 변화는 유로 변동을 초래하여 곡류 절단 등이 유발되었으며, 연당지가 곡류절단의 결과물이라고 할 수 있다. 또한 황강의 일부 지류들에서는 빙기의 하방침식 효과가 전파되면서 경사변환점이 형성된 것으로 보인다. 다만 이들의 곡류 절단 시기와 경사변환점의 형성 시기, 그리고 이로 인한 하천 쟁탈 등에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

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

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(NRF-2021S1A5A2A01069889)

참고문헌

- 강필중·박석환, 1975, 『지질도폭설명서 삼가(1:50000)』, 서울: 국립지질광물연구소.
- 건설부, 1983, 『낙동강(황강) 하천정비기본계획』, 건설교통부.
- 공달영·김태형·정승호·유영완, 2013, 『한국의 지질다양성(서부경남편)』, 대전: 국립문화재연구소.
- 권혁재, 1974, “한국의 하천과 충적지형,” 고려대학교 교육논총, 1, 75-92.
- 권혁재, 1976, “낙동강 하류의 배후습지성 호소,” 대한지리학회지, 14, 1-8.
- 김지성·임현수·남옥현, 2019, “도심지질학적 접근을 통한 3차원 도심지질모델,” 지질학회지, 55(3), 333-342.
- 낙동강유역환경청, 2022, 『2021년 낙동강청 관할 호소환경 및 생태조사』, 낙동강유역환경청.
- 류중형·리우 캄바우, 2019, “멀티프록시를 이용한 홀로세 후기, 루이지애나 주 미시시피강 담수습지 환경 복원,” 한국지리학회지, 8(3), 419-428.
- 부산지방국토관리청, 2016, 『황강하류권역 하천기본계획 [변경](국가하천 황강) 보고서』, 세종: 건설교통부.
- 부산지방국토관리청, 2019, 『황강하류권역 하천기본계획 [변경](금성천, 성천, 용지천, 우곡천, 황계천, 공암천, 팔산천, 방곡천, 월평천, 아천, 암금천, 덕암천, 장자천, 무곡천, 합천천, 외곡천, 계림천, 금양천, 내곡천, 울곡천, 본천천, 영전천, 낙민천, 상신천, 사양천, 성산천, 상포천, 산내천, 원당천, 유하천, 누하천, 상부천, 옥두천, 성태천, 하회천, 미곡천) 보고서』, 세종: 건설교통부.
- 손명원, 2012, “토평천 하류구간의 지형발달,” 한국사지리학회지, 22(1), 97-105.
- 손명원·류태일, 2002, 『내륙습지정밀조사보고서(낙동강(정양지)-지형, 지질, 경관, 수리, 수문, 유역특성)』, 3-14.
- 손명원·전영권, 2003, “낙동강 하류 연안 자연습지의 자연지리적 특성,” 한국지역지리학회지, 9(1), 66-76.
- 손일·탁한명·박경, 2008, “합천 대병고원의 하천 쟁탈에 관한 연구,” 한국지형학회지, 15(3), 35-47.
- 신영호, 2009, “합천댐 하류 하천지형 변화 예측 및 흐름파가 수리기하 변화에 미치는 영향,” 한국수자원학회 논문집, 42(7), 579-589.
- 양재혁·조국래, 2011, “낙동강 하구 만입지의 지형발달,” 한국지역지리학회지, 17(6), 649-665.
- 이광률·박충선, 2020 “우리나라 중소도시 충적지형 분포와 시가지 변화,” 한국지리학회지 9(2), 253-264.
- 이만도(김성혜 역), 1916, 『도천정기(향산집 별권 3)』, 서울: 한국고전번역원.
- 이수동·김미성, 2010, “하천 : 내륙습지의 관리우선순위 선정을 위한 생태계 평가 항목 제안 연구,” 한국환경생태학회 학술대회지, 20(1), 89-92.
- 장기홍, 1968, 『지질도폭설명서 합천(1:50000)』, 서울: 국립지질조사소.
- 장동호·정근비, 2024, “다중시기 항공 정사영상을 활용한 합천댐 하류부의 황강 하도 내 퇴적환경 변화 연구,” 경관과 지리, 34(1), 69-86.
- 조화룡, 1987, 『한국의 충적평야』, 서울: 교학연구사.
- 합천군, 1996, 『황강하천정비기본계획보고서』, 건설교통부.
- 황상일·조화룡, 1995, “사포해안 충적평야의 Holocene 퇴적 환경변화,” 한국지형학회지, 2(1), 1-8.
- Biron, P., Roy, A., Best, J.L., and Boyer C.J., 1993, Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels, *Geomorphology*, 8, 115-129.
- Bristow, C.S., Best, J.L., and Roy, A.G., 1993, Morphology and Facies Models of Channel Confluences, in Marzo, M. and Puigdefabregas, C., eds., *Alluvial Sedimentation*, Wiley, pp. 91-100.
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., and LaRoe, E.T., 1979, Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., 131.
- Grenfell, S.E., Ellery, W.N., Grenfell, M.C., Ramsay, L.F., and Flügel, T.J., 2010, Sedimentary facies and geomorphic

- evolution of a blocked-valley lake: Lake Futululu, northern Kwazulu-Natal, South Africa, *Sedimentology*, 57(5), 1159-1174.
- Kennedy, B.A., 1984, On Playfair's laws of accordant junctions, *Earth surface processes and landforms*, 9, 153-173.
- Meyer, J.L., 1990, A blackwater perspective on riverine ecosystems, *BioScience*, 40(9), 643-651.
- Moradi, G., Vermeulen. B., Rennie, C.D., Cardot, R., and Lane, S.N., 2019, Evaluation of aDcp processing options for secondary flow identification at river junctions, *Earth surface processes and landforms*, 44, 2903-2921.
- Parker, G., Muto, T., Akamatsu, Y. Dietrich, W.E., and Lauer, J.W., 2008a, Unravelling the conundrum of river response to rising sea-level from laboratory to field. Part I. Laboratory experiments, *Sedimentology*, 55, 1643-1655.
- Parker, G., Muto, T., Akamatsu, Y. Dietrich, W.E., and Lauer, J.W., 2008b, Unravelling the conundrum of river response to rising sea-level from laboratory to field. Part II. The Fly-Strickland River system, Papua New Guinea, *Sedimentology*, 55, 1657-1686.
- 大矢雅彦, 1971, 韓国の自然, 地理, 16-11, 28-34.
- 국토지반정보포털시스템, <https://www.geoinfo.or.kr>
- 교신 : 김종연, 28644, 충청북도 청주시 서원구 충대로1, 충북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: terraic@cbnu.ac.kr)
- Correspondence: Jong Yeon Kim, 28644, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea, Department of Geography Education, Chungbuk National University (Email: terraic@cbnu.ac.kr)

투고접수일: 2024년 11월 29일

심사완료일: 2024년 12월 13일

게재확정일: 2024년 12월 20일