

병성천, 감천, 황강의 두부침식 현장점검



이 남 주 |
경성대학교 토목공학과 교수
njlee@ks.ac.kr



손 광 익 |
영남대학교 건설시스템공학과 교수
kison@yu.ac.kr



류 권 규 |
동의대학교 토목공학과 교수
pururumi@deu.ac.kr

1. 현장점검의 배경 및 목적

2011년 5월 중순에, 집중호우에 의해 4대강 사업이 진행 중인 남한강의 지류하천과 낙동강의 병성천 등에서 하상보호공, 제방, 제방도로, 어도, 문화광장 등이 침식되거나 유실 또는 붕괴되는 피해가 빈발하고 있다는 기사(남중영, 2011. 5. 16; 최명애, 2011. 5. 16; 박태우 등, 2011. 5. 18)가 일부 언론을 통해서 보도되었다. 대구환경운동연합에서는 보도자료(정수근, 2011. 5. 17)를 통해 낙동강

33공구 상주보 아래의 가물막이와 임시교량 붕괴, 병성천의 하상 및 제방 침식, 구미와 칠곡, 김천 지역의 단수 사태를 지적하면서 4대강 사업의 문제점을 지적한 바 있다. 이런 기사와 보도자료에서 지적하고 있는 핵심 사항은 4대강살리기사업을 하면서 본류를 과도하게 준설함에 따라 지천에 역행침식이 발생하였고, 이로 인해 파생되는 문제점들이라는 내용이다.

4대강살리기추진본부와 국토해양부는 이와 같은 언론 보도에 대응하고, 4대강살리기사업의 문제점을 해결하기 위한 방안을 모색하고 있는 것으로 알고 있다. 이 기사의 저자들은 4대강살리기추진본부와 국토해양부로부터 언론에 보도된 현상이 낙동강 본류의 준설에 의한 두부침식(언론에서는 주로 역행침식으로 표현)인지, 하상보호공 또는 가물막이 등의 공사에 따른 국부침식인지, 아니면 자연적인 하상변동에 의한 것인지를 현장 점검해 달라는 요청을 받았다.

언론에 보도된 지류의 하상 및 제방 침식 현상의 원인을 규명하기 위한 기초자료 확보 차원에서, 언론 보도 직전의 병성천, 감천, 황강에 대한 강우 상황을 개략적으로 검토하였다. 언론보도와 관련된 2011년 5월 초순의 강우상황을 정리하면 표 1과 같다. 2011년 5월 10일부터 12일까지 상주(병성천), 김천(감천), 합천(황강) 강우 관측소의 강우량은 각각 144, 100, 142 mm로 조사되었다. 2~3일간 약

표 1. 상주, 김천, 합천 강우관측소의 일강우량

관측소 명칭	상주	김천	합천	
관측소 관할기관	국토해양부	국토해양부	한국수자원공사	
대표 유역	병성천	감천	황강	
날짜	2011. 5. 10	79	72	58
	2011. 5. 11	60	23	71
	2011. 5. 12	5	5	13
합계	144	100	142	

1) 단위: mm

2) 자료출처: 국가수자원종합정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)

140 mm의 강우는 하천의 지형을 심각하게 변화시킬 정도의 강우는 아닐 것으로 판단하였다.

2011년 5월 24일 병성천, 감천, 황강에 대한 현장점검을 수행하였으며, 낙동강 본류와 합류하는 지역에 대한 현장조사를 수행하였다. 세 지천의 공통점은 4대강살리기사업으로 건설 중인 상주보, 합천보, 구미보의 직하류로 합류하는 지천이라는 점이다. 현장점검을 통해 두부침식, 국부세굴, 자연적 하상변동 등의 관점에서 하도와 하상의 지형 변화 원인을 검토하였으며, 이 지역의 특징과 점검 결과를 고려한 대책을 제시하고자 한다.

2. 두부침식과 역행침식

지리학이나 하천공학에서는, 하천 지반의 용기 또는 해수면(지천의 경우는 본류 수위)의 하강으로 인해 하천의 침식이 강해지고, 침식이 상류 방향으로 전파되어 가며, 하천의 연장이 길어지는 현상을 “headward erosion” 또는 “headcut”이라고 한다. 국내의 대부분의 백과사전에서는 “headward erosion”을 “두부침식”으로 번역하고 있으나, 경우에 따라 “꼭두침식” 또는 “후퇴침식”으로 번역(파란 백과사전)하는 사례도 있다.

일부 단체나 언론은 4대강살리기사업 구간에서 준설로 인해 강바닥이 낮아진 본류로 지천의 강물이 급격히 흘러 내려가면서 지천의 하상이 침식되고 제방이 붕괴되는 ‘역행침식’ 현상이 다수 발생했다고 주장한다. 최명애(2011. 5. 16) 기자는 경향신

문 기사에서 역행침식을 아래와 같이 설명하고 있다. “하천의 하류에서 상류로 거슬러 올라가며 침식이 확산되는 현상. 본류 준설→본류와 지류 강바닥 높이 차이 발생→유속 증가→물의 세기(소류력) 및 강바닥을 굽는 힘(세굴심) 증가→하천 침식 확대 순으로 진행된다. 지난 2~3월 낙동강의 경북 상주 병성천과 낙동강 합류지점 등 4대강 사업이 진행 중인 본류와 지류의 합류부에서 광범위하게 나타나고 있다.” 그렇지만, 우효섭(2011. 05. 28)은 역행침식은 국내외 어디에도 없는 말임을 지적한 바 있다. 이 글에서는 “headward erosion”을 기존에 사용하고 있는 용어로서 두부침식으로 표현한다.

하천의 흐름장에 있는 교각, 교대, 취수구 등의 구조물 등에 의해 발생하는 세굴 또는 침식 현상을 국부세굴(local scour)이라 한다. 국부세굴은 하천 또는 하도 규모로 발생하는 하상변동과는 구별되는 현상으로, 구조물 주변에서만 국한하여 발생하는 침식현상이다.

3. 병성천 현장점검

병성천에 대한 현장점검은 그림 1에 표시한 병성천 합류점, 도시가스 공사현장, 취수보 지점의 3개소에 대하여 수행하였다. 병성천은 낙동강의 우안으로 합류하며, 합류점은 상주보 직하류에 위치한다.

그림 2는 병성천 합류점 좌안에서 2011년 5월



그림 1. 병성천에 대한 현장점검 지점

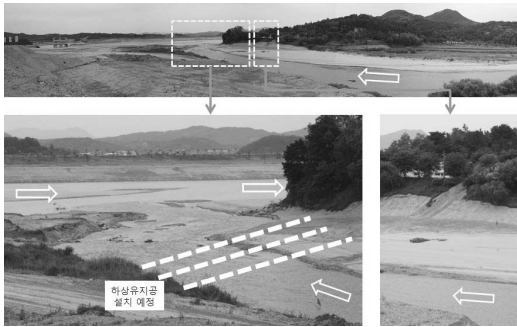


그림 2. 병성천 합류점 좌안에서 촬영한 사진

24일에 촬영한 사진이며, 왼쪽에 상주보 건설현장이 있다. 합류점 직상류의 병성천에 하상 유지공이 계획되어 있으나(그림 2 참조), 현장 답사일 현재 착공도 되어 있지 않은 상태이다. 이 지역은 2년 전 측량결과에 비교할 때, 약 3 m 가량의 하상 침식이 발생한 것으로 확인되었다. 현장점검 직전인 2011년 5월 10~12일 강우시에 추가적인 저수로 침식은 없었으며, 본류와의 합류점 주변에 광범위한 퇴적 현상이 발생한 것으로 확인되었다.

그림 2에서 병성천 합류점과 그 우안측 사면을 보면, 낙동강으로 합류하는 지점은 급경사로 인해 흐름이 급한 것으로 판단된다(그림 2 좌하 사진 참조). 병성천 합류점 우안에 화장장이 있으며, 사면 복토 및 배수로 2개가 있었다. 윤성호(2011. 5. 17)의 병성천 두부침식 관련 기사에서 지적한 화장장(상주승천원) 사면(그림 3 참조)은 그림 2 우하의 사진과 같이 포장을 씌워서 임시로 정리된 상태였다. 병성천의 우안은 기존 치수사업으로 호안공(돌망태)이 시공되어 있었으나, 현재는 상당한 길이의 하안 사면이 유실된 상태이다(그림 2 위 사진 참



그림 4. 병성천 합류점 상류



그림 3. 상주 승천원 앞 사면 붕괴(윤성호, 2011. 5. 17)

조). 그림 2를 종합해 살펴 볼 때, 병성천 합류점 직상류는 하안 사면과 하상이 상당히 침식되어 있는 상태인 것으로 생각된다.

그림 4는 병성천 합류점에서 1.3 km 정도 떨어진 병성교까지 하안 상황을 보인 것이다. 좌안에는 낙동강에서 준설한 토사가 약 15 m 이상의 높이로 길게 성토되어 있으며, 우안의 저수로 하안은 약 2 m 이상 급하게 붕락되어 있다. 이것은 두부침식이 적어도 병성천 합류점에서 병성교 정도까지 영향을 미쳤기 때문으로 보인다. 그러나 대부분의 침식은 저수로 하안에 국한되어 있으며, 합류점 직상류의 우안에 100여 m 정도만 제방 사면이 침식되었다. 나머지 구간에서는 제방 비탈끝에까지 침식이 된 곳은 발견되지 않았으며, 이에 따라 병성천의 제방이 두부침식에 의해 총체적인 위협에 처하거나 그런 상황은 아닌 것으로 보인다.

그림 5는 병성교 직하류의 도시가스 공사현장을 촬영한 것으로 국부침식 현상이 나타나고 있다. 현장점검 직전인 2011년 5월 10~12일 강우시 도시가스 공사현장에서 설치한 가물막이에 의해 우안 쪽



그림 5. 도시가스 공사현장



그림 6. 취수보 지점 현황

으로 하도절반이 차단됨에 따라 좌안으로 흐름이 발생하였으며, 이 흐름으로 인하여 좌안측 제방이 침식되고 공사장 직하류의 매설물이 드러났다.

그림 6은 병성교의 도시가스 공사현장에서 1.5 km 정도 상류에 위치한 취수보 지점의 현황을 촬영한 것이다. 이 지점은 병성교 지점의 병목현상에 의한 수위 상승 및 배수효과가 발생하여 하상 변동은 나타나지 않은 것으로 보인다. 그렇지만, 도시가스 공사가 완료되어 가물막이가 제거되면, 수충부가 해소될 뿐만 아니라 배수효과 역시 나타나지 않을 것으로 판단된다. 따라서, 취수보 하류까지는 두부침식이 발생할 가능성이 있을 것으로 판단된다. 다만, 고속도로교 횡단지점(병성천교)을 중심으로 하상의 장감화 현상이 일부 관찰됨에 따라 고속도로교 상류방향으로의 두부침식 전진 현상은 다소 완화될 것으로 판단된다.

병성천의 경우 합류점 부근은 일부 두부침식이 발생한 것으로 판단된다. 강우 전 본류 측 준설이 완료된 상황으로 낙동강과 병성천의 하상고 차가 커 두부침식이 진행된 것으로 판단되며, 강우 이후 합류부 주변에 퇴적현상이 나타났다. 현재는 두부침식 현상은 초기에 비해 다소 완화된 것으로 판단되나, 여전히 본류와 지류 하상의 낙차가 존재하므로 당분간 두부침식 현상은 진행될 것으로 판단할 수 있다. 2011년 5월 24일 현재 두부침식은 합류점 상류 1.3 km 에 위치한 병성교 지점에 이른 것으로 보이나, 이 지점의 상황 변화에 따라 이보다 상류로 전달될 가능성도 있는 것 같다. 이럴 경우 취수보의 보강대책이 필요하다. 따라서, 병성천 합류점 직상류에 조속히 하상보호공을 설치할 필요가 있으며,

병성교 교각에 대한 보강이 되어야 할 것이다.

병성교 직하류의 도시가스 공사장 직하류의 매설물이 드러난 현상은 도시가스 공사현장 가물막이에 의한 하도의 우안 측 절반이 차단됨에 따라 좌안 측 제방이 침식된 국부침식 현상으로 판단된다. 결론적으로 병성천의 경우, 제방의 침식과 같은 대규모 침식은 합류점 직상류의 우안 100여 m 정도에 국한되며, 나머지 구간에서는 저수로 하안의 침식에 머물고 있다. 이에 따라 병성천의 제방이 두부침식에 의해 총체적인 위험에 처하거나 그런 상황은 아닌 것으로 보이며, 조속한 보강 공사와 대책의 시공으로 문제를 최소화시킬 수 있을 것으로 보인다.

4. 감천 현장점검

감천에 대한 현장점검은 감천 합류점 좌안과 우안에서 수행하였다(그림 7, 8 참조). 감천은 낙동강의 우안으로 합류하며, 합류점은 구미보 직하류에 위치한다. 감천에는 2011년 5월 24일 현재 합류점 상류 100 m 지점에 하상 유지공이 좌안측 절반에 시공중(그림 9)이며 유로는 우안측에 우회되어



그림 7. 감천에 대한 현장점검 지점



그림 8. 감천 합류점 우안에서 촬영한 사진



그림 9. 하상유지공 시공 상황

있다. 하상유지공의 최종 형태는 호안과 하상유지공을 연결하여 시공(연결부에 문제가 발생할 우려가 가장 큼) 중에 있는 상황이다(그림 9 참조). 목재방틀 상부에 콘크리트 말뚝을 시공하여 하상유지공을 보호하고 있다. 하상유지공 하류단 지속적인 준설을 실시하였으나, 계속적으로 퇴적층이 형성되어 현재는 다시 준설하지 않고 방치하여 하상안정화를 유도하고 있다.

감천 우안측에 발생한 하상침식은 그림 10과 같다. 이 지점의 직상류에 가물막이 교량의 배수관이



그림 10. 감천 합류점 우안측 국부 세굴



그림 11. 인터넷한겨레 사진 (김성만, 2011. 5. 24)

위치하고 있다. 김성만(2011. 5. 24)의 인터넷한겨레 기사에 실린 그림 11과 최지용(2011. 5. 20)의 오마이뉴스 기사에 실린 그림 12는 두부침식이 아니라 구조물 설치와 수로 축소로 인한 국부침식으로 판단된다.

전체적으로 볼 때, 감천은 두부침식에 의한 문제는 상대적으로 미약한 편이다. 이것은 현재 설치되어 있는 하천을 횡단하는 차량 통행로가 통제 단면 역할을 하여 두부침식이 상류로 전파되는 것을 임시로 차단하고 있는 것으로 보인다. 따라서, 이 차량 통행로가 차단된 후에는 하상 유지공이 완공되기 전에 어느 정도 상류까지 두부침식이 진행될 것으로 예상된다. 이런 점에서 합류점 직상류에 설치하고 있는 하상유지공을 조속히 완공할 필요성이 있다.

5. 황강 현장점검

황강에 대한 현장점검은 그림 13에 표시한 황강 합류점, 청덕교, 만곡부의 3개소에 대하여 수행하였다. 황강은 낙동강의 우안으로 합류하며, 합류점은 합천보 직하류에 위치한다.

황강에는 두부침식을 방지하고자 합류점 500 m 상류에 널말뚝을 횡단으로 시공하고 돌망태를 채운 형태의 하상유지공이 시공되었다. 현장 답사시 하상유지공의 하류 쪽 꼬리 부분은 사석이 일부 유실된 상황이었다(그림 14와 그림 15 참조). 붕괴 이후



그림 12. 오마이뉴스 사진 (최지용, 2011. 5. 20)



그림 13. 황강에 대한 현장점검 지점

현재 호안을 돌망태로 추가로 시공하고 있으며, 흐름 직각방향으로 우안 8 m, 좌안 4 m의 매트를 설치(사질토 부분)하고 있었다. 이런 면에서 볼 때, 황강의 하상 유지공은 황강의 규모와 유황에 견주어 상당히 과소 설계된 것으로 보인다. 황강의 하상 유지공이 과소 설계되었다는 것은 합류점 약 1.5 km 지점에 있는 청덕교 지점에서도 하상 침식이 진행되고 있다는 점에서도 확인된다.

청덕교 부근부터 상류로 약 4 km 지점까지 하상토 덩어리가 상승(회오리처럼 점토질이 끓어 오름)하는 현상이 발생함을 확인하였다(그림 16 참조). 이것은 이런 현상은 하상 경사가 급해짐에 따라 유속이 커짐에 따라 나타는 것으로 판단되며, 안정하상에 도달할 때까지는 지속될 것으로 판단된다.

황강의 경우는 두부침식이 진행되고 있다고 판단된다. 수심이나 하폭에 해당하는 큰 규모의 흐름이



그림 14. 황강 합류부 전경



그림 15. 황강 합류부 하상보호공

수 많은 작은 와로 발전되고, 이 작은 와들은 유체의 점성에 의해 소멸되는 전형적 난류흐름 현상을 보이고 있다. 하상토의 전도(turn-over) 현상은 고수류영역(upper flow regime)에 해당하는 하상형태와 소규모 와동(vortex)의 복합적 흐름에 의한 것으로 판단되나, 수심과 하상형태 등에 대한 구체적인 조사하지 않은 현 상황(육안 관찰)에서 단언하기는 곤란한 상황이다. Nezu와 Nakagawa(1993)의 책에 제시된 제1종 비등와동(boil vortex)으로 보인다. 제1종 비등은 하상에 있는 사구, 대규모 사련, 인공의 하류 방향 단차 뒤에서 발생하며, 높은 농도의 부유사를 수면으로 이송할 수 있는 특징이 있다. 이것은 2011년 5월 25일과 같은 평수시에도 황강의 하상에서는 활발한 유사 이송이 일어나고 있다는 증거로 보이며, 추후에도 지속적인 하상 침식이 우려된다.

황강의 경우는 두부침식(특히 하상 침식)이 활발히 진행되고 있다고 판단된다. 황강 합류점 직상류에 있는 하상 유지공의 확대 및 보강이 필요하다. 현재 시공되어 있는 하상 유지공은 규모가 작아 황강 하폭 전체를 덮지 못하고 저수로 부분에 국한되어 있으며, 따라서 고수부까지 확대할 필요가 있다. 황강은 감천이나 병성천과 비교하여 유역 및 유량 규모가 크고 합류부의 경사도 상당한 것으로 보이며, 따라서 현 하상 유지공의 상류 쪽에 추가적인 하상 유지공 설치(예를 들어 청덕교 지점)나 교각 보호공을 검토할 필요가 있다.

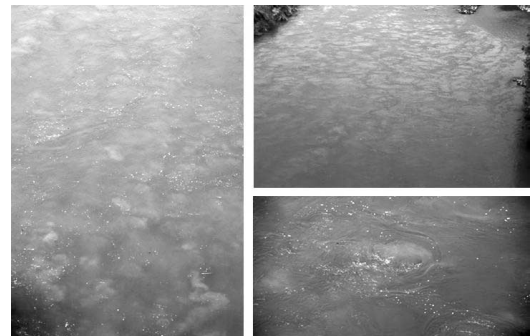


그림 16. 비등와동에 의한 하상토 상승 현상

황강 합류점의 경우 강우 전 낙동강 본류 측 준설이 완료된 상황으로 본류와 지류의 하상고 차가 커 두부침식이 진행된 것으로 판단된다. 강우에 의해 상류로부터 약 50~60만 m³의 유사가 합류부 주변에 퇴적되어 강우 종료 후 황강 하류지점의 하상은 원 하상과 준설 하상의 중간 높이 정도로 상승된 상태로 보인다. 따라서 현재는 두부침식 현상이 완화된 것으로 판단되나, 여전히 본류와 지류 하상의 낙차가 존재하므로 당분간 두부침식 현상은 진행될 것으로 예상할 수 있다. 그렇지만, 합류부로부터 지류 하상유지공 사이의 하상을 준설하지 않고 퇴적되는 상태로 존치한다면 하상은 안정상태로 접근할 것으로 사료된다.

6. 맺음말

금회 현장을 점검한 세 하천(황강, 감천, 병성천)은 모두 4대강 사업으로 건설 중인 보(합천보, 구미보, 상주보) 직하류로 합류하는 하천이다. 세 지역 모두 하상 굴착으로 인해 본류와 지류의 하상고 차이(대부분 3 m 정도)가 심하게 발생하였다. 세 하천 모두 낙동강 본류의 하상 저하로 인한 두부침식의 개연성이 있다. 그렇지만, 적절한 하상유지공을

시급히 설치하면 두부침식의 진행을 방지(또는 완화)할 수 있을 것으로 판단된다. 세 하천 모두 홍수기 이전에 합류부에 하상유지공 설치 공사를 완료하여야 한다. 특히 황강의 경우는 현재 시공되어 있는 하상유지공의 확대 및 보강이 시급한 것으로 보인다.

합류점 상류에 있는 교량들에 대해서는 교각의 안전성에 대한 상세한 검토와 대책을 마련할 필요가 있는 것으로 보인다. 낙동강 본류는 지천에서 유입된 토사로 인해 퇴매움 현상이 발생하였다. 지천의 두부침식을 저감하기 위해서 본류에 퇴매워진 하상토는 하상보호공 설치 이전까지는 준설하지 않는 것이 바람직하다. 다만, 지류의 제방이 침식이나 세굴에 의해 붕괴와 총체적인 위협에 처했다는 직접적인 증거는 금번 현장 조사에서는 발견되지 않았다.

감사의 글

이 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. ☺

참고문헌

1. 국가수자원종합정보시스템: <http://www.wamis.go.kr>
2. 김성만 (2011. 5. 24). "낙동강에 폭포도 협곡도 생겼다." 인터넷한겨레(<http://www.hani.co.kr/>).
3. 남종영 (2011. 5. 16). "남한강·8개 지천, 제방 붕괴되고 강바닥 침식." 한겨레신문, 1면, 6면.
4. 박태우, 김정훈, 최명애 (2011. 5. 18). "지천 침식으로 낙동강 본류에 새 '모래톱'... 준설 '하나마나' ." 경향신문, 3면.
5. 우효섭 (2011. 5. 28). "4대강 사업 정확히 알고 멀리 내다 봐야." 한국일보, 33면.
6. 우효섭 (2002). 하천수리학, 구미서관.

7. 윤성효 (2011. 5. 17). “강물의 역습...가물막이-교량 붕괴, 역행침식.” 오마이뉴스 (<http://m.ohmynews.com>).
8. 정수근 (2011. 5. 17). “병성천의 무서운 역행침식 현상, 대재앙의 전조.” 보도자료. 대구환경운동연합 (<http://www.kfem.org>)
9. 최명애 (2011. 5. 16). “강둑마다 움푹움푹 생채기 실핏줄 터진 ‘수도권 젓줄’.” 경향신문, 5면.
10. 최지용 (2011. 5. 20). “비 올까 '털털털', 4대강 '너 떨고 있니?'” 오마이뉴스 (<http://www.ohmynews.com>).
11. 파란 백과사전: <http://dic.paran.com>.
12. Nezu, I. anda, H. (1993). Turbulence in Open-Channel Flows, A. A. Balkema, Rotterdam.