

한강 하류 고수부지 형성 이력에 관한 분석 및 평가

A Study on the Development of the High Water Channel in the Lower Han River

이삼희*, 황승용**, 류영훈***

Samhee LEE, Seung-Yong HWANG, Younghoon RYU

요 지

하천 지형은 흐름과 유사거동에 의한 세굴 또는 퇴적에 의하여 끊임없이 변한다. 이 연구에서는 최근 하천 지형의 변화가 크게 일어나고 있는 한강 신곡수중보 직하류 우안의 고수부지 형성 이력에 대한 조사 및 분석을 실시하였다. 조사결과, 1981년 이전까지 하중도(제주초도)가 안정된 형태로 존재하였으나, 1980년대 중반을 거치면서 하중도는 소멸되었고 1990년대 중반 이후부터 우안에 비슷한 규모의 고수부지가 생성되었음을 알 수 있었다. 이 고수부지의 형성과정을 평가하면 다음과 같다.

- 1) 초기단계(흐름 변화에 따른 이동사주의 정지): 1995년 이전까지는 하천 내 자연적/인위적 교란에도 불구하고 이열사주 형태의 이동상이 유지되다가 1995년 이후 1988년 준공된 신곡수중보의 직·간접적인 영향을 받는다. 이로 인한 하중도의 소멸이 가중되면서부터 신곡수중보 직하류 우안의 이동사주가 정지 하기에 이른다.
- 2) 성장단계(조석에 따른 부유사 반복 퇴적): 이동상 사주가 정지된 뒤 매일 2회씩 반복되는 조석의 영향을 받은 고농도의 부유사가 정지된 사주 위에 반복되어 퇴적되는 양상이 일어난다.
- 3) 정착단계(정지사주의 고수부지화): 정지사주에서 부유사가 퇴적하고 갈대와 같은 초본류 식생이 활착하게 되면서 부유사 퇴적은 가중되어 간다. 이러한 과정에서 1999년과 같은 대홍수 때 부유사의 고수부지 내 퇴적이 결정적이었을 것이다.
- 4) 확장단계(고수부지 확장단계): 대홍수 때 고수부지의 퇴적과 아울러 산재하던 버드나무가 교란을 받아 고수부지에서 새로운 버드나무 군락의 터전을 이루어 밀생하게 된다. 향후 고수부지가 잠기는 규모의 홍수가 빈발할 경우 퇴적층의 유실보다는 부유사 퇴적이 많아져 고수부지는 확장단계에 접어들게 된다.

핵심용어 : 한강 하류, 고수부지, 하상변동, 하천유사, 퇴적, 하상재료, 식생

1. 서 론

하천의 흐름에 의해 유사(砂)가 이송되고 국부적으로 세굴 또는 퇴적 현상이 일어나 하천의 지형은 끊임없이 변한다. 변화된 하천 지형은 거꾸로 하천 흐름이나 유사이송 특성에 다시 영향을 미친다. 따라서 하천 내에서 흐름과 하상구조 사이에서 일어나는 작용(Impact)과 반응(Response)에 대한 동태를 파악하는 것이 안전한 하천관리는 물론, 하천생물 서식환경을 평가하는데 중요하다(藤田光一 등 2003). 대표적 지형변화 사례로서, 최근 하천지형 변화가 크게 일어나고 있는 한강

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : samhee.lee@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : syhwang@kict.re.kr
*** 정회원·국무조정실 임진강유역홍수대책특별위원회 사무관·E-mail : ryh0603@moct.go.kr

신곡수중보 직하류 우안의 고수부지를 들 수 있다. 하천 내 자연적/인위적 교란에도 불구하고 이 열사주 형태의 일부였던 하중도가 1995년 이후에 소멸되고 고수부지가 나타나기 시작했다.

한강 하류에 대한 연구는 구간이 민통선 내에 위치하여 제한적이었으며, 특히 이동상에 대한 연구는 건기연(2002, 2003)의 보고 외에는 거의 없는 실정이다. 이 연구는 ‘한강하류부 하상변동조사 연구(건교부, 2005)’의 일환으로 한강 하류 우안의 고수부지 형성이력에 대한 상세 조사를 실시하고 이를 토대로 고수부지의 형성과정을 평가한다.

2. 한강 하류 하천지형의 변화

그림 1의 항공사진(국토지리정보원 제공)에서 보는 바와 같이 중규모 하상과의 일종인 이열사주에서 나타나는 하중주(제주초도)가 1981년까지 분명하게 형성되어 있다. 1995년 항공사진을 살펴보면, 가동보(좌안) 및 고정보(우안)를 갖춘 신곡수중보가 1988년 완공되면서 하중도의 크기는 급격히 축소됨과 동시에 신곡수중보 직하류 우안의 고수부지가 형성됨을 볼 수 있다. 이때는 1990년 일산제 붕괴와 1991년부터 건설자재의 수요가 급증했던 인근 신도시 건설이 진행되던 시기와의도 일치한다. 하천 형태는 이열사주에서 단열사주의 모습을 보이기 시작하는데, 이는 신곡수중보의 준공과 하천 개발에 의한 유심선(流心線)의 변화가 그 주된 원인일 것으로 추정된다. 2000년에 접어들어 하중도가 완전히 소멸되고 신곡수중보 직하류 우안에는 고수부지가 생성되어 식생이 활착하는 등 안정된 모습을 보이게 된다. 하천도 단열의 형태를 이루고 있다.

한강 하류의 평면적 변화를 정리하면, 1981년까지 상류의 유황변화가 하천 변화를 주도하였고, 1985년 전후는 하천 개발이나 하천 정비 등 인위적인 교란에 의해 하천 형태가 크게 바뀌었다고 볼 수 있다. 1995년 이후는 신곡수중보의 설치와 하천 개발이 하천 변화에 크게 영향을 미쳤고 아울러 양안의 하안 정비 역시 간접적인 영향을 끼쳤을 것으로 추정된다.

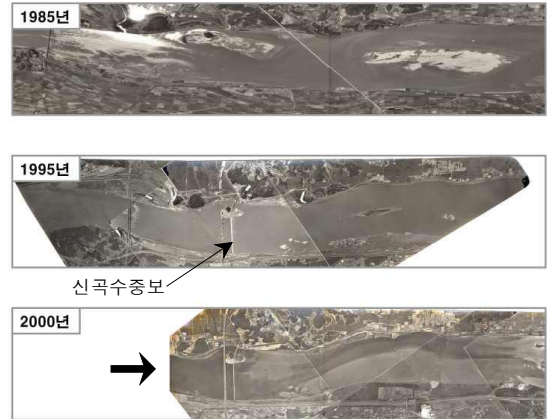


그림 1. 한강 하류 하중도의 소멸과 고수부지의 형성

3. 고수부지 퇴적층 조사 및 분석

3.1 현장 조사

고수부지의 퇴적층을 조사하기 위하여, 시추조사, 굴삭조사, 식생조사를 실시하였다. 신곡수중보 직하류 우안에 존재하는 고수부지에서 5개 지점(측선 No. 34, No. 39, No. 41, No. 44, 그리고 No. 47에 위치)을 선정하였다(그림 2 참조). 시추기를 이용하여 주로 층적층 전반에 대해 조사하였으며, 표준관입시험도 병행하였다. 굴삭조사는 시추조사 지점 중 3개 지점을 선정하여 표 1에서 보는 바와 같이 각 지점마다 각각 2곳에서 굴삭기를 이용하였다. 또한 하반기 주요 식생의 수령 파악을 위해 No. 39-1, No.

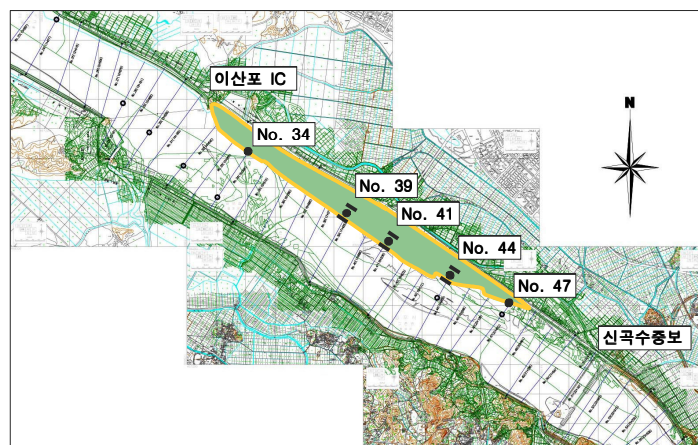


그림 2. 한강 하류 고수부지 퇴적층 조사 위치도

41-2 지점의 버드나무 줄기도 채취하였다. 현장조사와 실내시험은 2005년 4월 11일부터 5월 13일에 걸쳐 이루어졌다.

표 1. 굴삭조사 세부 위치

조사 지점	세부 위치	대표수목
No. 39	-1 시추 지점에서 상류 쪽으로 5 m	버드나무
	-2 No. 39-1 지점에서 하안 쪽으로 15 m	버드나무
No. 41	-1 시추 지점 인근(2 ~ 3 m 이내)	버드나무
	-2 시추 지점에서 하안 쪽으로 8 m	버드나무
No. 44	-1 시추 지점에서 제방 쪽으로 5 m	버드나무
	-2 시추 지점에서 하안 쪽으로 50 m	버드나무

3.2 분석 및 결과

3.2.1 시추조사에 따른 층구조 해석

시추조사 결과는 그림 3과 같이 종합적으로 고수부지의 층구조를 표시하였다. 여기에서 한강 하류 충적하상의 최저층인 하단부(풍화토와 풍화암), 충적 하천의 기저층을 이루는 중간부(모래질/자갈층), 이동층인 상층부(점토질/실트층)로 나눌 수 있다. 특히 지층의 중간부인 모래질 자갈층 상단의 표고를 살펴보면, No. 34 지점(-5.8 m)과 No. 39 지점(-4.2 m)에서 다소 낮으나 거의 수평을 이루고 있음을 알 수 있다. 상층부인 점토질 실트층에서 자갈질 모래층 또는 모래층이 혼재한다는 사실은 이동상이 활발하게 진행했거나 진행하고 있음을 시사하고 있다. 시추지점의 대표적인 층에서 채취한 시료에 대해 실내 토질시험을 거쳐 얻은 중앙입경(d_{50})의 연직 분포는 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시추지점 별 차이는 있지만, 포괄적으로 보면 표층은 0.02 ~ 0.03 mm의 점토질 실트층이 지배하고, 그 하부에는 0.4 ~ 0.7 mm의 조립질 모래 또는 중립질 모래로 구성되어 있는데, 이는 고수부지 층구조의 상단부에 해당한다. 그리고 고수부지 층구조의 중간부에 해당하는 구간에서는 3.4 ~ 18 mm로 세립질 자갈보다 큰 하상재료가 분포하고 있음을 알 수 있다. 풍화토 및 풍화대에 속하는 하단부에서는 다시 0.85 ~ 1.5 mm의 조립질 모래 또는 극조립질 모래가 분포하고 있다.

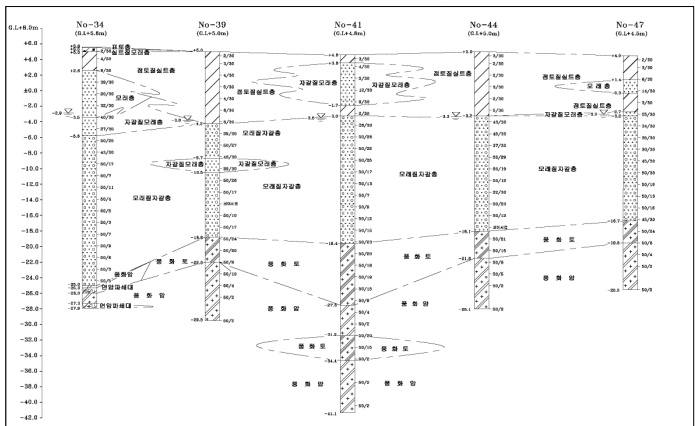


그림 3. 한강 하류 우안 고수부지의 층구조

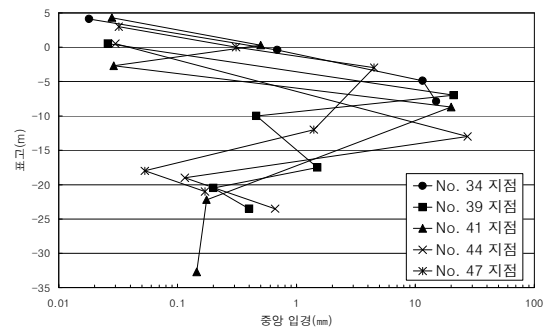


그림 4. 고수부지 시추시료에 대한 중앙입경의 연직분포

2002년 한강 하류에서 실시한 저수로 하상 시추조사(건기연, 2002)와 동일한 측선에 해당하는 지점(No. 34, No. 44, 그리고 No. 47)에 대해 중앙입경의 연직분포를 비교해 보았다(그림 5 ~ 7 참조). 그림에서 보이는 바와 같이 각 시추지점에서 중앙입경의 연직분포 양상은 고수부지와 저수로에서 유사함을 알 수 있다. 이는 저수로의 층구조나 고수부지의 층구조는 원래 동일한 조건의 이동상 하천 형태였음을 시사한다. 저수로의 하상에서 30 ~ 50 cm 정도 굴삭한 뒤 채취한 하상재료의 입도분포가 0.03 ~ 0.2 mm이라는 사실(건기연, 2002)로 미루어 볼 때 상층부가 이동상에서 주요소임을 알 수 있다.

3.2.2 굴삭조사에 의한 고수부지 표토층의 성인(成因)

고수부지 상층부의 형성과정을 명확히 규명하기 위하여 표 1과 같이 시추조사 지점 인근에서

굴삭기를 이용한 굴삭조사를 실시하였다. 각 지점에서 육안으로 보아 층서가 명확한 층리를 대상으로 각 층의 두께를 측정하고 입도변화가 확연한 층에서 시료를 채취하여 입도분포를 조사하였다. 각 층리에 대한 입도분석 결과는 그림 8에서 보는 바와 같이 저수로 하안 절리에 해당하는 No. 44-2 지점의 7번째 층(중양입경, 0.22 mm)을 제외하면 모든 시료가 점토질 실트에 해당되는 0.02 ~ 0.03 mm의 범위에 있다. 이는 부유사 구성 물질인 점토질 실트와 동일한 재료로 확인되었다(건기연, 2002).

특히, 그림 9에서 보이는 바와 같이 No. 41-1 지점에서 나타난 미세한 층은 퇴적학에서 정의되는 ‘평행 엽리(Parallel lamination)’와 유사하게 약 1 mm 정도의 미세한 층들로 구성되어 있어 그 명칭을 차용하였다. 흐름의 양상이 바뀌면서 이동상 사주가 정지된 뒤 반복되는 조석의 영향을 받은 고수부지 성장 초기 단계의 퇴적양상으로 보인다.

3.2.3 고수부지 대표 하반립과 홍수이력

항공사진 관독에 의하면, 1985년 이후부터 한강 하류 우안의 고수부지(신곡수중보 직하류 ~ 이산포 IC)가 크게 발달하기 시작하면서 식생이 정착한 것으로 보인다. 2005년 6월 국지적으로 행한 상세조사 결과, 대표식생은 버드나무류-갈대 군집이었으며, 버드나무류는 주로 교목인 버드나무가 우점하는 것으로 확인되었다(그림 10 참조). 특히, 추정 수령이 10년 이상인 버드나무는 하안에서 멀어지는 고수부지 안쪽에 국부적으로 산재하였다. 한편, 일정공간에서는 동일 수령의 유목(幼木)이 번무하고 있었는데, 이들은 고수부지에서도 하안 쪽으로 치우쳐 분포하였다.

1985년 이후 한강 하류 우안의 고수부지가 발달하기 시작하면서 식생이 정착한 것으로 보인다. 고수부지에 활착하고 있는 비교적 어린 버드나무의 활착 및 정착시기를 파악하기 위하여 어린 버드나무가 널리 분포하고 있는 지역인 No. 39-1 지점과 No. 41-2 지점을 대상으로 수령 조사를 실시하였다. 육안으로 검사한 결과, No. 39-1 지점에 분포하는 버드나무의 수령은 대략 6년(최소 5년, 최대 9년)이며(그림 11 참조), No. 41-2 지점에 분포하는 버드나무의 수령은 나이테 식별이 불분명하지만 최소 4년 이상인 것으로 추정되었다. 천변의 선구식물인 버드나무는 홍수와 같은 주기적·비주기적 입지교란이 진행되는 하천 환경에서 우점할 수 있는 적응력을 가지고 있다. 따라서 버드나무 생육환경의 기반이 된 고수부지의 하상변동(퇴적)에 큰 영향을

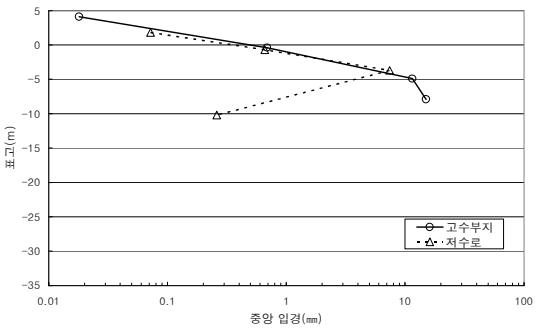


그림 5. 고수부지와 저수로에서 중양입경의 연직분포 비교(측선 No. 34)

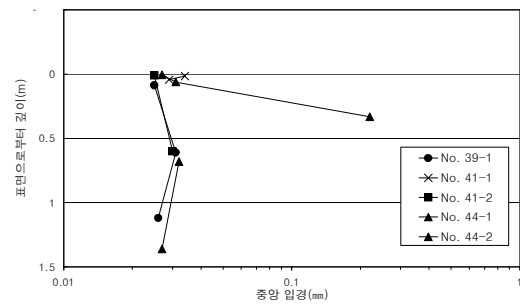


그림 8. 고수부지 굴삭시료에 대한 중양입경의 연직분포

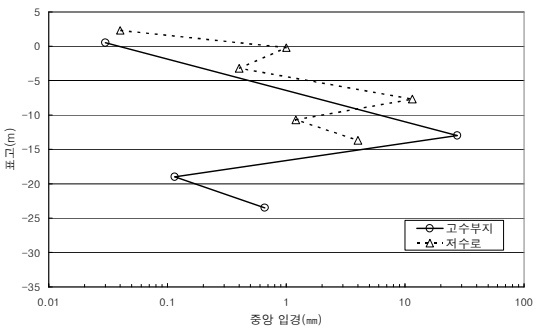


그림 6. 고수부지와 저수로에서 중양입경의 연직분포 비교(측선 No. 44)

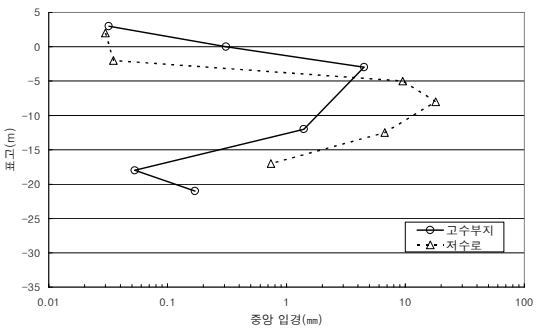


그림 7. 고수부지와 저수로에서 중양입경의 연직분포 비교(측선 No. 47)

끼쳤을 작용, 즉 큰 홍수가 대략 4~5년 전에 발생했음을 짐작할 수 있다(李參熙 등, 1999). 이 시기는 1999년 8월의 한강 및 임진강 유역에서 발생한 큰 홍수 시기와 일치한다. 따라서 한강 하류 우안의 고수부지에서 버드나무 번무의 시작은 1999년 8월 홍수에 기인했다고 추정할 수 있다.



그림 10. 고수부지 버드나무 군집 상황(No. 41-2 지점)



그림 11. 버드나무 나이테(No. 39-1 지점)



그림 9. No. 41-1 지점의 염층

4. 고수부지 형성과정에 대한 평가(결론)

한강 하류부 신곡수중보 직하류 우안에 위치한 고수부지의 형성과정은 다음과 같이 평가할 수 있다.

- 가. 초기단계(흐름 변화에 따른 이동사주의 정지): 1981년까지는 상류 수자원개발 시설에 의한 유황변화가 하중도(제주초도)의 변화를 주도하였고, 1985년 전후는 하천종합개발 또는 하천정비 등 인위적인 교란에 의해 하천지형이 크게 바뀌었다. 1995년 이후는 신곡수중보와 하천개발이 하천변화에 크게 영향을 미쳤고, 아울러 양안의 하안정비 역시 간접적인 영향을 미치게 된다. 이에 따라 하중도의 소멸이 가중되고 신곡수중보 직하류 우안의 이동사주가 정지하게 된다.
- 나. 성장단계(정지사주에서 조석에 따른 부유사 반복 퇴적): 이동사주가 정지된 뒤 매일 2회씩 반복되는 조석의 영향을 받은 고농도의 부유사가 정지된 사주 위에 반복되어 퇴적하는 양상이 일어난다.
- 다. 정착단계(정지사주의 고수부지화): 정지사주에서 부유사가 퇴적하고 갈대와 같은 초본류 식생이 활착하면서 부유사 퇴적은 가중되어 간다. 이러한 과정에 '99년과 같은 대홍수 때 부유사의 고수부지 내 퇴적이 결정적인 역할을 하였을 것이다.
- 라. 확장단계(고수부지의 고정 및 확장): 대홍수 때 고수부지의 퇴적과 아울러 산재하던 버드나무는 홍수의 작용으로 고수부지에서 새로운 버드나무 군락의 터전을 이루어 밀생하게 된다. 이 단계 이후 고수부지가 잠기는 규모의 홍수가 빈발할 경우 퇴적층의 유실보다는 부유사 퇴적이 많아지게 되고, 고수부지는 확장단계에 접어들어 하천관리가 어려워질 수 있다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 서울지방국토관리청(2005), 한강하류부 하상변동조사 연구보고서.
2. 한국건설기술연구원(2002), 한강하류부 하상변동분석 연구.
3. 한국건설기술연구원(2003), 지속가능한 하구부 이용·보전 방안의 분석 및 평가 모형 개발.
4. 藤田光一, 李參熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也(2003), "扇状地れき床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション." (日本)土木学会, 土木学会論文集, 747卷, 2-65号, 41~60頁. (일본어)
5. 李參熙, 藤田光一, 山本晃一(1999), "礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ -多摩川上流部を対象にした事例分析より." (日本)土木学会, 水工学論文集, 43卷, 977~982頁. (일본어)