

# 이동상 하도의 모래사주에서 토양조사를 통한

## 식생역 발달과정의 평가

A Study on Vegetation Expansion Process by Soil Survey  
in the Sand Bar of Movable Channel

이삼희\*, 옥기영\*\*

Samhee LEE, Giyoung OCK

### 요    지

본 연구에서 이동상 모래하천에서 식생의 변화과정을 연구하였다. 연구 대상 하천은 낙동강 상류 하회지구를 대상으로 하였다. 이 지역은 우리나라에서 대표적인 모래하천으로서 지형적인 요인으로 형성된 사행하천의 만곡부에 해당하고 있다. 특히 상류에 댐과 취수보 등 수자원개발시설이 건설되면서 수십 년 동안 물과 유사의 공급이 조절되어 안동시권역에서부터 하류방향으로 향하면서 점차 바뀌어 가고 있는 실정이다. 이 가운데, 이동성을 지니고 있던 사주부에 식생이 유입되고, 식생역이 확장되면서 사주가 고정화되는 경향을 보이고 있다. 이러한 이동상 하도에서 이동사주내 식생역의 발달과정을 파악하기 위하여 사주내 토양의 물리화학적 조사를 수행하였다.

연구 결과, 안동 하회지구내 모래사주에서 식생이 정착·발달·확장 되어가는 과정을 파악할 수 있었다. 하회지구의 식생역의 발달은 시기적으로 홍수기와 비홍수기의 반복적인 출현에 영향을 받고 있었다. 그리고 공간적으로는 홍수기 동안의 유사의 퇴적과 세굴과정과 밀접한 관련이 있는 것을 확인할 수 있었다. 식생역의 확장 과정은 이러한 시공간적 상황으로 인해 유발되는 토양의 물리화학적 특성과 높은 상관성이 있음을 확인할 수 있었다.

**핵심용어:** 안정식생역, 식생발달, 사주, 낙동강, 토양

### 1. 서 론

일반적으로 물과 유사의 흐름에 영향을 받고 있는 충적하천은 하천의 수리적 환경과 지형학적인 환경에 따라 반응하면서 변화한다. 특히 댐, 저수지, 보, 도시화 등과 같은 하천 및 유역의 인위적인 변화로 유발되는 유황 변화와 유사 공급의 조절이 이동상 하도에서 하도 지형의 변화를 유발하게 되는 주요 원인이 된다. 과거 오랫동안 평형을 이루면서 이동하던 사주에 영향을 미치게 되어 사주의 형태와 종류가 변화하면서 식생역의 확장을 유발하게 되는 경우가 있다. 이러한 현상은 현재 홍수관리 차원은 물론 고유 생물서식환경 등 하천환경관리상의 중요한 고려 요소가 되고 있다.

낙동강의 안동시 하회지구는 인근의 내성천과 더불어 우리나라에서 이동상 하상이 잘 발달된 하천으로서 국내에서 보기 드문 2중 만곡부를 형성한 구간이다. 이곳은 홍수와 같은 자연 교란에 따른 이동사주를 중심으로 하천 고유의 생태계가 유지되고 있다. 그러나 1990년에 접어들면서 무식생의 이동사주에서 식생이 정착하기 시작해 최근에는 식생역이 확장하고 있음이 조사되었다. 안정을 이루던 이동상 하도에서 식생역의 확장은 불안정한 하상변동의 원인이 되고, 호안세굴 등 하천시설물의

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원 E-mail : samhee.lee@kict.re.kr

\*\* 정회원·日本 京都大學校 工學研究科 박사과정 E-mail : giyoung.ock@gmail.com

안전성 문제에 저해요소가 되고 있다. 또한 이러한 현상은 지역주민을 중심으로 안동 하회마을의 고유정서인 백사장 유지, 오픈 스페이스 확보 그리고 고유 생태서식환경 보전을 하천관리자에게 요구하게 된 원인이 되고 있다.

이러한 이유로 하회지구 구간의 이동상 하도를 유지 및 보전을 위한 중점적인 하천 현장 조사를 실시하였다. 현장조사와 수리실험을 통하여 만곡부에 위치한 낙동강 하회지구에서 고정사주의 지속적인 세굴 및 하상저하 현상이 관찰되고 있으며, 일부구간의 경우 하도내 식생의 활착되어 확장되어 가는 현상이 조사되었다. 본 연구에서는 상기의 연구과정에서 특히 하회지구내 식생의 경착 및 발달과정을 하도지형의 변화특성 및 토양의 생지화학적인 특성과 연계하여 조사분석하였다.

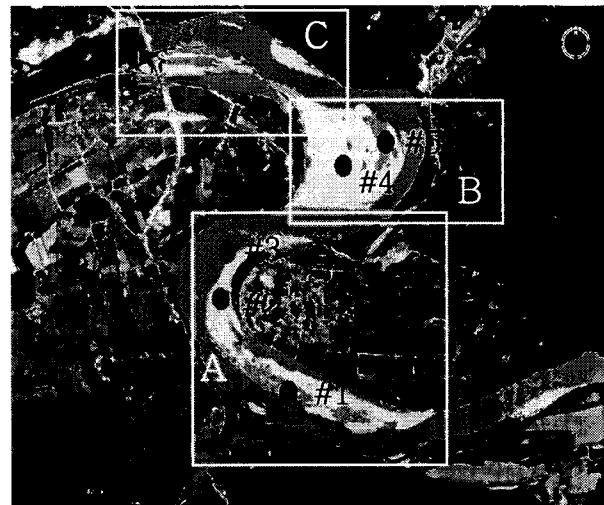


그림 1 하회지구 대상구간의 식생현황도 및 토양시료 채취 위치도

## 2. 하회지구의 식생·토양 및 유출 현황

### 2.1 연구 대상구간 및 방법

본 연구 대상지역은 하회마을 안동시 풍천면 하회리, 이른바 화회마을에 위치한 낙동강 하회지구 구간이다. 안동댐에서 하류방향으로 약 40 km의 거리에 위치하고 있다. 하회지구의 현장조사 구간은 하회마을을 중심으로 상하류 4.5 km 를 대상으로 식생조사와 토양조사를 실시하였다. 식생조사의 경우 2005년 9월과 2006년 10월에 2회 실시하였으며, 토양의 물리화학적 특성조사는 2006년 10월에 1회 식생조사와 함께 실시하였다. 현장조사에서 하도지형의 형태와 식생분포 특성을 고려하여 각각 6곳의 표토층의 토양을 채취하여 분석을 수행하였다. 채취한 토양시료로부터 토성, 유기물, 총질소, 총인, pH 등 토양의 물리·화학적 성분을 분석하였다.

### 2.2 식생분포 현황 조사

1971년 항공사진에서는 하도내 사주에서 식생의 흔적이 발견되지 않았으며, 1995년 항공사진에서는 하회지구 만곡부 점사주에서 저수로 물가와 제방비탈면에서 식생의 흔적이 발견된다. 2005년 항공사진에서 나타난 식생현황을 그림 1과 같이 구글어스(2007년 3월)에 이미지화 하였다. 식생조사를 위하여 하회지구를 그림 1에서 보는 바와 같이 하회마을 구간(A), 하회마을 하류구간(B), 광덕교 구간(C) 등 3개의 구간으로 구분하여 현장 조사를 실시하였다.

1) 하회마을 구간(A)은 점사주 구간으로서 하도의 우안구간에는 물과 인접한 사주부에서 떠 모양으로 길게 식생이 분포되어 있다. 한편, 만송정 앞과 상류 점사주의 가운데 부분은 식생피복도가 매우 낫다. 대표적인 식생은 달뿌리풀 순군락, 달뿌리풀-여뀌 군락, 달뿌리풀-갯벼들군락, 여뀌 순군락

등이 분포되어 있다. 이중 물과 인접한 수제부 근처에서는 달뿌리풀 순군락이 분포하며, 그 외는 달뿌리풀-갯벌들 군락(그림 2)이 대부분을 차지하고 있다.

2) 하류구간(B)에서 식생이 정착하여 번무하는 곳은 하류 점사주의 제방측과 저수로와 인접한 점사주의 정점부로서 조사구간 가운데 식생피복도와 식생밀도가 높으며 출현식물종의 수도 가장 많다. 특히 식생피복도가 높은 곳은 전형적인 퇴적지형으로서 주변보다 표고가 1.5~2 m 가량 높은 특성을 보이고 있다. 수제부에 달뿌리풀과 환삼덩굴이 분포하고, 저수로의 배후에 형성된 비교적 높은 퇴적부에서는 강아지풀-망초 군락(그림 3)과 같은 초본류가 우점하고 있다.

3) 광덕교 구간(C)에서 하도 좌안의 사주부에 선형의 갯벌들-달뿌리풀 군락(그림 4)이 늘어서 있으며, 제방사면에는 개망초와 달맞이꽃이 우점하고 있었다.



그림 2 A구간:  
달뿌리풀-여뀌 군락



그림 3 B구간: 사주와  
강아지풀-망초군락



그림 4 C구간: 갯벌들 -  
달뿌리풀 군락

### 2.3 하회지구의 토양특성 조사

#### 2.3.1 토성조사 위치 및 특징

하천에서 하도내의 토양은 물리적, 그리고 화학적으로 식물이 정착하고, 성장하는 데는 매우 중요한 요소이다. 표 1은 하회지구 내의 토양 채취지점의 위치와 이유에 대하여 요약한 것이다.

‘하회 2’와 ‘하회 4’의 토양시료의 경우 하회지구를 대표하는 이동사주의 토양시료(그림 5)라고 할 수 있다. ‘하회 1’의 토양시료는 하회지구 상류의 점사주에서 저수로 배후에 일렬로 분포되어 있는 ‘갯벌들-달뿌리풀 군락’에서 채취한 토양시료로서 하회지구내 식생이 자라는 토양의 대표성을 지닌다. ‘하회 5’의 토양시료는 하회지구내에서 퇴적이 가장 활발하고 식생이 안정화 단계에 있는 조사구간 B에서 채취한 것이다. ‘하회 3’은 비교적 풍부한 유량과 이송되던 washload가 퇴적하여 얇은 박리층(그림 6)을 형성한 것으로, 이동상 하도에서 ‘매트릭스’라 일컫는다. 이러한 매트릭스에서 또 다른 교란이 없을 경우에 수분조건이 갖추어지면 선구식물이 발아를 시작한다.

#### 2.3.2 토성조사 결과

전체적으로 일반적인 하회지구의 토양(하회 2, 하회 4)은 모래의 비율이 90% 이상으로 토양분류상 사질토(sand)에 속한다. 이는 저수로 수제부와 사주 그리고 제방부도 마찬가지로 하천 횡단적인 유의성은 없다고 판단된다. 그러나 식생이 자라는 갯벌들-달뿌리풀군락(하회 1)과 강아지풀-망초군락(하회 5)의 경우에는 미사질과 점토의 비율이 12 %-19 % 까지 포함되어 토양분류상 양질사토

표 1 토양 샘플링 지점과 특징

구분	위치	세부위치	식생유무 및 구분	특징
하회 1	A우안	사주부	달뿌리풀-갯벌들군락	식생 정착지
하회 2	A우안	사주부	없음	이동사주 대표토양
하회 3	A우안	수제부	없음	매트릭스
하회 4	B좌안	사주부	없음	이동사주 대표토양
하회 5	B좌안	수제부	강아지풀-망초군락	대규모 식생정착지

(loamy sand)와 사질양토(sandy loam)에 해당한다. 이것은 매우 유의미한 결과로서 사주부에 식생이 활착하여 군락을 이루면 구조적으로 실트와 점토의 비율이 높아졌음을 알 수 있다. 즉, 하천 토양에 식생이 도입되고 정착되면서 토성의 변화가 발생하였음을 의미한다. 식생이 없고 매트릭스가 존재하는 사주부(하회 3)의

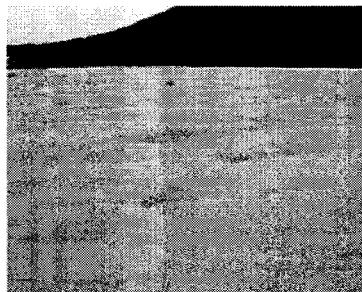


그림 5 이동사주  
대표토양(#2, #4)

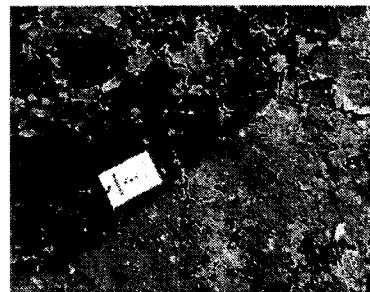


그림 6 홍수후 퇴적된  
매트릭스(#3)

토성도 대부분 모래로 판명되었다. 일반적으로 안정화된 산림토양의 경우 양토(loam)와 사양토(sandy loam)로서 모래의 비율이 40-60 %이며, 하회지구의 토양에서는 모래의 비율이 매우 높은 것을 알 수 있다.

표 2 하회지구 토양유기물 및 토양영양염류 분석 결과

### 2.3.3 토양유기물 및 영양염류 조사 결과

하천토양의 경우 식생이 정착하여 활착하기 위해서는 토양유기물과 영양염류의 공급이 필수적이다. 토양유기물과 토양수분조건이 충족되었을 때 점성을 가지면서 토양의 일차적인

구 분	토 성 (soil texture)				유기물 및 화학적 특성			
	모래질 (%)	실트질 (%)	점토질 (%)	토성분류	유기물 (%)	T-N (g/kg)	T-P (g/kg)	pH
하회1	87.6	4.0	8.4	loamy sand	0.58	32.10	0.35	7.31
하회2	93.1	0.1	6.8	sand	0.01	5.50	0.15	7.48
하회3	90.2	5.3	4.5	sand	0.67	54.90	0.23	7.10
하회4	91.7	0.1	8.2	sand	0.01	6.30	0.15	7.45
하회5	80.6	5.8	13.6	sandy loam	0.55	31.80	0.28	6.73

구조에서 2차 구조인 입단을 형성할 수 있기 때문이다. 토양이 이러한 입단구조를 가져야만 종자의 발아조건과 발아후 뿌리의 지지력을 갖으며, 영양생장후 영양분을 공급할 수 있다. 하회지구 토양은 표 2에서 보는 바와 같이 사질토양으로 유기물 함량이 낮고 토양수분의 보유력이 약해 일반적으로 입단형성이 어렵다. 하회 2와 하회 4의 경우 유기물함량이 0.01 %로서 거의 없다고 할 수 있다. 그렇지만 식생의 활착이 이루어진 하회 1과 하회 5, 하회 6의 경우 토양유기물의 함량이 0.58-1.37 %로서 상대적으로 상당히 높은 상태이다. 하회지구내 모래질 토양을 고려할 때 높은 유기물 함량이라고 할 수 있다. 또한 하회 3의 경우 매트릭스를 지니는 토양에서의 유기물 함량이 0.67 %, 총질소(T-N) 가 54.90 gN/kgSoil, 총인(T-P) 0.23 gP/kgSoil 등 가장 높은 함량을 포함하고 있다.

## 2.4 유출량 현황

상류 본류에서 1975년 12월에 담수를 시작한 안동댐과 반면천지류에서 1991년 12월부터 담수를 시작한 임하댐에 의해 유량과 유사량이 조절되고 있는 전형적인 구간이라고 할 수 있다. 그림 7은 하회지구의 유출경향을 파악하기 위하여 국가 수자원관리 종합정보시스템에서 제공되는 하회

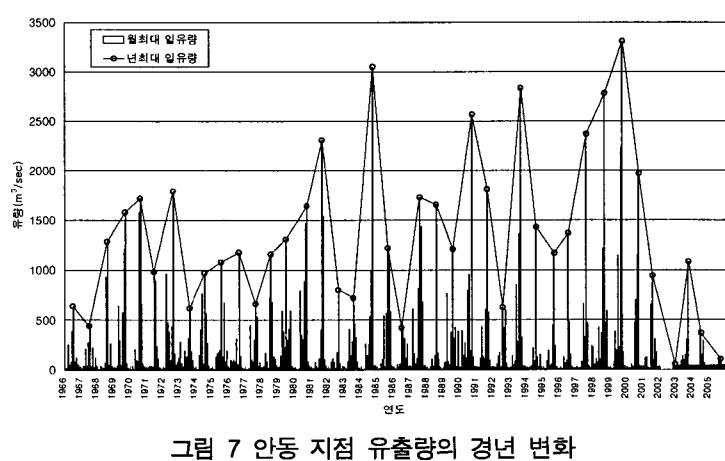


그림 7 안동 지점 유출량의 경년 변화

지구 상류에 대한 유출자료 중 안동댐과 임하댐 직하류 일유출 자료를 이용하여 재구성한 결과이다. 평균연최대 홍수량은 안동수위표 지점에서 최근 10년간 연최대 홍수량을 평균한 값에 안동수위표와 하회지구 사이에 유입되는 지천인 송야천 합류 전·후 계획 홍수량의 비율을 고려하여  $1,730 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 산정하였는데 이는 하류 점사주의 관수한계에 해당한다.

### 3. 결 론(종합평가)

식생이 정착하고 있는 하회 1과 하회 5에서는 특별한 교란이 없는 한, 식생이 점차 확장할 수 있는 토양조건임을 알 수 있었다. 그러나 하회 2와 하회 4와 같은 활발한 이동사주의 토양시료에서는 선구식물이 활착이 토양조건상 어려울 것으로 추정할 수 있다. 한편, 현재 식생이 형성되지 않은 매트릭스로 구성된 하회 3은 식물의 성장에 필요한 토양유기물 및 영양염류가 존재하므로, 또 다른 교란이 없을 경우 저수로변에서는 충분히 선구식물의 발아가 가능할 것으로 보여진다. 하회지구에서 점사주의 관수빈도량에 해당하는  $1,730 \text{ m}^3/\text{s}$ 보다 큰 유량이 과거보다 현재가 더 빈번하다는 사실에서 유량규모가 현재의 식생활착이 결정적인 요인으로 보기는 어렵다.

따라서 안동하회지구에서 식생발달과 토양조건과의 상관성을 볼 때, 식생활착의 초기 원인은 이동사주가 그 이동성이 둔화되면서 사주의 형태에 변화가 생기고, 초기 영양번식이 가능한 토양조건인 매트릭스에 식물종자가 유입하면서 식생이 정착한 것으로 판단된다. 매트릭스내 선구식물의 발아 초기에는 일정기간의 비홍수기의 출현이 필요하다. 특히 이동사주의 둔화와 사주의 형태의 변화는 홍수시 유사량의 이송량과 직접적인 관계가 있다. 일단 정착이후 식생의 저항효과로 인하여 사주의 이동과 교란이 크게 둔화되면서 의미있는 홍수가 발생하게 되면 사주내 미세립토의 퇴적이 가중되면서 사주는 점차 성장하게 된다. 이후로는 사주의 성장과 식생성장은 상호관계에 놓이게 되어 식생역이 크게 발달한다.

결국, 안동하회지구에서 식생 출현시기에 사주의 이동성과 사주형태에 변화를 야기할 상류역의 환경변화가 있었다. 즉 상류 수자원개발시설물, 산림녹화 등 유사차폐로 인한 유사의 이송량이 감소하면서 그림 7에서 보는 바와 같이 일정기간 비홍수기가 간헐적으로 있었다. 따라서 안동하회지구에서는 식생발달과 유사의 이송량 감소와 비홍수기의 출현이 결정적인 원인이 되고, 이후로는 지배유량 규모 이상의 홍수로 인하여 식생역은 크게 확장된 것으로 판단된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 건설교통부에서 낙동강 하회지구의 하상변동 특성을 규명하기 위하여 한국건설기술연구원에 의뢰함에 따라 수행하게 되었다. 현장조사에 참여한 한국건설기술연구원의 이동상수리연구팀의 연구진들에게 감사드린다.

### 참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원 (2000), 하도식생에 의한 하도수리특성 예측모형 개발, 건기연 2000-094
2. 李參熙, 藤田光一, 山本晃一 (1999), “자갈상 하도에서의 안정식생역 확대의 시나리오-다마천 상류를 대상으로 한 사례분석”, 일본토목학회, 수공학논문집, 43권 pp 977-982
3. 건설교통부, 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>), 수문자료 참고
4. Rogen D. (1996), *Applied River Morphology*, Hilton Lee Silvey, USA