

연구논문

다중시기 영상자료를 이용한 금강하류의 하중도 퇴적환경 변화*

홍기병** · 장동호***

공주대학교 지리정보학과**, 공주대학교 지리학과***

(2009년 5월 21일 접수, 2009년 6월 22일 승인)

Sedimentary Environment Change in Mid-channel Bar of the Lower Geum River Using Multi-temporal Satellite Data*

Ki-byung Hong** · Dong-ho Jang***

Department of Geographic Information, Kongju National University**

Department of Geography, Kongju National University***

(Manuscript received 21 May 2009; accepted 22 June 2009)

Abstract

This study aims to analyze the sedimentary environment change in mid-channel bar of the lower Geum river basin after the construction of the estuary barrage using multi-temporal satellite data and GIS. The sedimentary environment changes were observed in mid-channel bar areas. The mid-channel bar F was found to have been newly formed for 10 years(1996-2006), whereas the mid-channel bar B located between mid-channel bar A and C has disappeared by erosion during the same periods. When examined by section, the areas of the mid-channel bar in the upper stream section from the Yipo's reference point generally increased due to the prevailing sedimentary environments, and those of the downstream section decreased where corrosive environments are dominant. In terms of the centroid movement, the mid-channel bars grew up toward the downstream by switching erosion and accumulation, as sedimentation was prevailing in the downstream area of mid-channel bars and corrosion was dominant in the upper stream. Through grain size analysis, the study areas are divided into three sections according to the average grain size. In Section I, the mid-channel bars were formed as a result of sedimentary process of tides in the past. In Section II, the mid-channel bars were formed partly through the sedimentary process of rivers although the sedimentary process of tides is prevailing. In Section III, the mid-channel bars were formed mainly through the sedimentary process of rivers, even if it showed the sedimentary process of tides in the past.

Keywords : Sedimentary Environment, Grain Size Analysis, Mid-channel Bar, Centroid

* 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3115)의 지원으로 수행되었습니다.

Corresponding Author: Dong-Ho Jang, Dept. of Geography, Kongju National University, 182, Shinkwandong, Gongju, Chungnam, 314-701,

Korea Tel: 82-41-850-8421 E-mail: gisrs@kongju.ac.kr

1. 서론

하천은 오랜 기간 동안 자연환경에 적응하여 현재의 모습을 유지하였으며, 인류는 하천에서 삶의 영위에 필요한 물을 공급 받고 주거와 생산 활동의 터전인 충적평야를 제공받는다(김장수·장동호, 2009). 하지만 인류는 홍수로 인한 하천 범람과 심각한 가뭄 등으로 생활터전에 피해를 입기 시작하면서 하천을 제어하기 위해 댐이나 저수지·제방·보 등 다양한 인공구조물을 축조하였다.

국내의 하천은 계절에 따라 유량 변동이 심하며, 하도내에는 하중도나 bar와 같은 다양한 퇴적지형이 발달하였다. 이러한 퇴적지형은 갈대나 갯새 등의 식생에 의해 고착화되면서 습지와 같은 형태(사력퇴 습지)로 발달된다. 이들 습지는 하천의 수질정화와 생태계 안정에 매우 중요한 역할을 한다. 즉, 사력퇴가 지닌 다공질 환경(porous milieu)은 매우 우수한 자연 수질필터 역할을 한다. 또한 여기에 서식하는 식생은 사력퇴 공극에서 걸러진 부영양화 및 유해성 물질을 흡수해 준다. 이로 인해 육지 생태계에 반수서성(sub-aquatic), 호수성(hydrophile) 생물이 서식하면서 생태계를 더욱 풍요하고 안정되게 한다(오경섭, 2008).

금강하류의 하중도는 대부분 식생에 의해 고착화된 사력퇴 습지로서 수질정화나 생태계 안정 외에도 겨울철 철새의 월동지 및 중간기착지로서의 기능을 수행하고 있다. 연구지역에는 매년 다수의 조류 개체가 찾아들고 있으며, 전국적으로 그 도래 개체수가 손꼽히는 지역이다. 2007년도 겨울철 조류 동시센서스(환경부, 2007)에 의하면, 금강하구로부터 강경구간에서는 전국에서 가장 많은 75만여 개체가 확인되었다. 이는 2007년 전국 집계 160만여 개체수의 약 45%에 이르고, 두 번째로 많은 삼교호(8만여 개체)의 10배에 이르는 등 금강하류는 철새의 주요 도래지로서의 기능을 수행한다.

금강하구의 하구둑과 상류에 위치한 대청댐 및 인공제방 등의 구조물은 금강하류 하도내에 인위적인 퇴적환경 변화의 요인으로 작용하고 있다. 이는 단순히 하도내 퇴적지형의 변화뿐만 아니라 하구지역

의 어업생산량 감소, 수온변화, 국지적인 기상의 변화 등 부정적인 영향을 초래하기도 한다. 실제로 2009년 초 서천군은 하구둑 건설 이후 급속한 뿔의 퇴적으로 장항항이 항구로서의 기능 상실, 수질악화로 인한 담수어종의 감소 등을 거론하며 하구둑의 일부 구간을 철거하자는 주장을 내세워 군산시와 대립하기도 하였다(연합뉴스, 2009).

최근 인공구조물 건설에 따른 하도내의 인위적인 퇴적환경 변화에 대한 관심이 증대되고 있지만, 대부분의 연구들은 현장에서 실측 및 실험에 치중하고 있다. 이러한 현장연구는 시간과 공간적인 제약뿐만 아니라 높은 비용을 수반하게 된다. 따라서 현장연구의 제약에서 벗어난 퇴적환경 변화 조사와 그에 따른 분석 체계가 이루어져야 한다. 원격탐사 자료는 비교적 짧은 주기로 지구 전역을 탐사하여 일관된 질의 화상을 공급하기 때문에 하천 퇴적환경 분석에 유용하게 이용될 수 있다. 특히 위성자료와 GIS 공간분석 기법을 적용한다면 시간과 비용을 절약하면서 보다 광역적인 분석이 이루어 질 수 있을 것이다.

인공구조물 건설로 인한 하천 퇴적환경 변화에 대한 선행연구는 현장자료의 부족으로 인하여 그 중요성은 충분히 인식되면서도 체계적인 연구는 부진한 편이다. 강승삼(1980)은 인공구조물 건설에 따른 영산강의 지형변화를 구간별로 나누어 퇴적환경 변화를 분석하였으며, 손명원(1986)은 대청댐 건설 이후 금강의 퇴적변화 양상을 하상고와 하폭, 홍수위 등을 통해 규명하였다. 김종일(1994)은 영산강의 하천개수에 의한 변화를 입도분석과 최심하상고를 통해 분석하였고, 이진·손일(1998)은 남강 하류에서 대규모의 제방 건설 이후 범람원의 이용과 농업형태의 변화를 고찰하였다.

최근 들어 국내에서는 원격탐사와 GIS기법을 이용한 연구가 몇몇 연구자에 의해 수행되고 있다. 장동호 등(1995)은 다중시기의 위성영상을 이용하여 금강하류의 퇴적환경변화를 정량적으로 분석하였으며, 김성환(2005)은 항공사진을 통하여 하구둑 건설 이후 낙동강 하류에 위치한 삼각주의 지형변

화를 분석하였다. 박노욱 등(2006)은 고해상도 위성영상을 이용하여 홍수나 태풍으로 인한 강릉 사천천의 퇴적환경변화를 고찰하였으며, 김장수 · 장동호(2009)는 위성영상과 지형도를 통하여 금강하구둑 건설 후 하도내의 bar들의 퇴적환경 변화를 분석하였다.

국외연구를 살펴보면, 고해상도 위성을 통하여 홍수 전 · 후의 하천 퇴적환경 변화 분석(Bryant and Gilvear, 1999; James *et al.*, 2005; Toshihiro, *et al.*, 2007)이나 GIS 공간분석 기법과의 통합을 통한 하도 변화 분석(Sandra, 2000; Paul *et al.*, 2003; Marouane *et al.*, 2005) 등이 이루어졌다. 특히 Li 등(2007)은 양쯔강 중류의 50년간 하도변화 양상을 분석하였고, Wang 등(2007)은 댐의 수위조절에 의한 하상퇴적물의 지형학적 변화를 고찰하였다. 이밖에 퇴적환경의 변화를 생태적인 측면에서 접근한 연구들도 다수 수행되었는데, 주로 과거 습지의 기능적인 측면에서의 연구에서부터 인위적 환경변화에 따른 습지생태 보존이나 복원(Henry and Amoros, 1996; Grayson 등, 1999; 정주영 등, 2000; 허위행 등, 2005) 등의 연구들이 수행되었다.

이상의 선행 연구들은 현장 중심의 연구들이 대부분이며, 원격탐사 및 GIS 연구들 역시 정량적인 퇴적환경 변화만을 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 인공구조물 건설에 따른 하도내 하중도의 정량적 · 정성적인 변화 분석을 위해 현장 입도분석 및 다중시기 원격탐사 자료를 활용하여 금강하류 유역의 하도내 하중도의 퇴적환경 변화를 GIS 분석 기법을 통하여 분석하고자 하였다.

II. 연구지역 및 방법

1. 연구지역

연구지역의 공간적 범위는 금강하구둑으로부터 강경 황산대교 남단까지의 금강하류 약 33km구간으로 행정구역상 충남 논산시 · 부여군 · 서천군, 전북 군산시 · 익산시에 해당되며, 지리적 좌표는 35°

58' 57"N~36° 10' 32"N, 126° 42' 41"E~127° 02' 42"E에 속한다(그림 1).

금강은 전라북도 진안고원 부근에서 발원하여 전라북도, 충청북도, 충청남도를 지나 황해로 유입되는 하천으로서 남한에서 세 번째로 큰 유역을 가지고 있다. 유역면적은 9,828km²로 남한의 약 1/10에 해당하며, 유로연장은 약 401km, 유로의 평균 폭은 25m이다(농어촌진흥공사, 1994). 금강 하상말단의 구배는 평균 1/2,000~1/5,000으로 상류지역은 1/500~1/1,000, 중류지역은 1/1,000~1/3,000, 하류지역은 1/5,000~1/8,000이다(농어촌진흥공사, 1994). 즉, 하상구배는 하류로 갈수록 완만해지고 있어 하구둑 갑문이 닫히기 전인 1994년 이전에는 부여군 규암면까지 갑조의 영향을 받았다. 평면 형태는 전체적으로 보아 사행하지만 넓은 범람원이나 평탄면 상을 자유사행하는 유역은 적고, 유로의 대부분은 산지 혹은 구릉지 사이를 흐르고 있다. 지형이 전반적으로 낮고 평탄하여 기복이 비교적 심하지 않아 발원지를 제외하면 전반적으로 수계밀도가 낮은 편이다.

금강유역은 선캄브리아기의 변성암류부터 고생대와 중생대의 퇴적암류, 중생대의 화성암류가 기반암을 이루고 있으며, 하천유역을 따라 제4기 퇴적층이 기반암류를 피복하고 있다. 금강 상류인 무주군과 장수군의 산악지대는 대부분 변성암류로 구성되어 있으며, 중류와 본 연구지역인 하류는 중생대

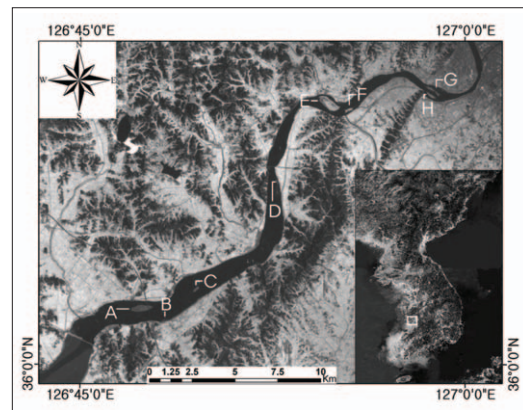


그림 1. 연구지역 및 하중도 위치도(Landsat TM; 2008. 9. 18)

화강암류가 주로 분포하고 있다. 이러한 기반암의 차이는 풍화와 침식의 정도에 따라 상류지역은 산악지대, 중류와 하류는 저구릉지대를 형성하게 만드는 원인이 되었다. 본 연구지역은 저구릉지대로 이루어진 금강하류 유역으로 전형적인 한반도 서해안의 지형특성을 보이며 하도내에 하중도 및 Bar와 같은 하상퇴적지형이 발달하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 원격탐사 및 GIS 분석기법을 이용하여 금강하구둑 건설 이후 하중도의 퇴적환경 변화를 분석하고자 하였으며, 현지조사와 퇴적물 입도분석을 병행하였다. 연구방법은 다음과 같다.

첫째, 문헌조사에서는 위성영상을 이용한 금강하류 유역의 하중도 퇴적환경 변화를 분석하기 위해 연구지역 내에 위치한 금강하구둑 내측 수위관측소의 수위자료 및 갑문 개폐시기를 수집하였으며, 이를 이용하여 위성영상 획득 시의 하구둑 내 수위를 보정하였다.

둘째, 하중도의 퇴적환경 변화를 분석하기 위해 현지조사를 실시하였다. 특히, 하중도 내의 퇴적물의 시료를 채취하여 입도분석을 실시하였으며, 이를 통하여 하중도를 구성하고 있는 퇴적물질의 조성과 그 퇴적환경을 조사하였다. 입도분석을 위한 시료는 각각 하중도의 표면 약 15~20cm 깊이에서 약 100~200g을 채취하였으며, 하중도별 면적의 차이 및 접근가능성에 따라 하중도 B를 제외한 총 7개

의 하중도에서 28개(표층)를 획득하였다. 획득한 시료는 24시간 동안 과산화수소에 반응시켜 유기물을 제거하였으며 이를 지름 2mm의 체로 걸러 미체 제거되지 못한 불순물을 제거하였다. 체질한 시료는 Mastersizer2000을 이용하여 분석을 실시하였다.

셋째, 다중시기 영상자료 분석은 다음과 같은 방법을 통하여 이루어졌다. 먼저, 위성영상 획득 시 발생한 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여 1:25,000 수치지형도를 이용하여 기하보정을 실시하였다. 또한 영상의 질을 향상하기 위해 휘도증폭을 실시하였다. 다음으로 하도내의 경계는 수치지형도에 표현된 하천 관련 레이어를 이용하여 추출하였고, 이를 이용하여 각 연도별 영상자료에서 하도외의 지역은 마스킹 처리하였다. 또한 처리된 자료는 다시 감독분류(Supervised Classification)를 실시하여 수역(water)과 육역(sand)으로 분류하였다.

마지막으로 분류된 클래스는 래스터자료이므로 벡터기반의 자료 분석을 위해 GIS 기법을 이용하여 벡터로 변환하여 하중도의 경계를 선형화하였다. 또한 각 연도별 하중도의 면적을 산출하여 퇴적환경 변화를 추출하였다. 특히 본 연구에서는 각 클래스별 변화를 정량적으로 평가하기 위해 수위가 비슷한 영상들을 비교하였으며, 각 연도별 하중도의 무게중심점을 추출하여 그 변화과정을 분석하였다. 무게중심점 이동분석은 각 하중도의 퇴적 및 침식의 변화 방향성을 파악할 수 있고, 향후 퇴적환경 변화에 따른 퇴적량 산출에 유용하게 이용될 수 있다.

본 연구에 사용된 다중시기 위성영상은 각기 다른 시기(1996년~2008년)의 Landsat TM 9 scene과 ASTER VNIR 1 scene으로 총 10 scene이며, PCI Geomatica 7.1, ArcMap 9.2, ArcView 3.2를 이용하여 영상분석 및 GIS 자료처리를 하였다.

III. 하중도의 퇴적환경 변화분석

1. 사용자료의 표준화

본 연구에서는 최근 몇 해 동안 급격히 변화하고 있는 금강 하류 유역의 하도내 하중도의 퇴적환경

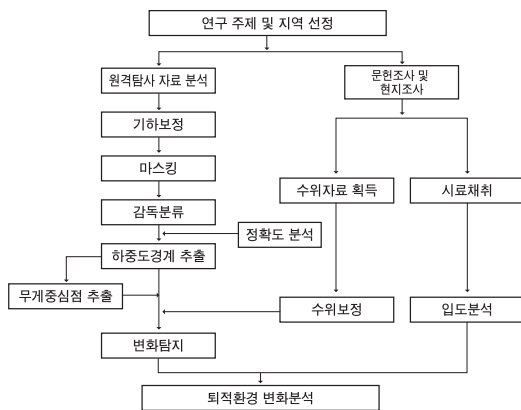


그림 2. 연구흐름도

표 1. 연구에 사용된 위성영상자료

Acquisition Date	Platform	Sensor	Path/Row
1996.09.01	Landsat-5	TM	116-35(B)
1997.06.16	Landsat-5	TM	116-35(F)
1998.11.26	Landsat-5	TM	115-35(F)
1999.10.20	Landsat-5	TM	115-35(F)
2000.05.07	Landsat-5	TM	116-35(B)
2001.09.16	Landsat-5	TM	115-35(F)
2003.02.01	Landsat-5	TM	115-35(F)
2004.08.31	Landsat-5	TM	115-35(F)
2006.10.07	ASTER	VNIR	-
2008.09.18	Landsat-5	TM	116-35(F)

변화를 분석하기 위해 시기별/연도별 지표변화에 대한 자료처리가 가능한 다중시기 원격탐사 자료를 이용하였다. 사용된 위성영상은 관측연도가 달라도 관측시기가 비슷한 시기에 주사된 것이 이상적이다. 그러나 위성영상은 위성의 수명, 관측주기 및 기상 등의 요인 때문에 동일한 조건의 관측자료를 취득하기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 Landsat TM을 근간으로 자료를 획득하였으며, TM 자료의 취득이 어려울 때는 ASTER VNIR로 보완하였다.

위성자료의 표준화를 위해서는 먼저 위성 통과시의 정확한 수위를 측정할 필요가 있다. 즉 수위가 동일한 조건 하에서 위성영상을 시계열적으로 분석한다면 하상 변화 및 하천의 하도내 퇴적환경 변화를 정량적으로 분석할 수 있다. 본 연구에서는 수위에 영향을 미칠 수 있는 인자를 댐 방류량 및 강수량과 같은 상류에서의 유입량과 하구둑 갑문에서 측정된 수위 등 크게 2가지로 나누어 수위보정을 실시하였다.

먼저 각 연도별 위성 통과 전 3일을 기준으로 대청댐 하류의 조정지댐 방류현황을 살펴본 결과, 1999년과 2004년을 제외하고는 대부분 비슷한 방류수준을 보이고 있다(한강홍수통제소, 1996~2008). 하지만 실제 방류량이 더 많았던 2004년의 수위가 그보다 적었던 1998년의 수위보다 낮게 측정되어 대청댐의 방류량 외에 수위에 영향을 미치는 인자가 있는 것으로 나타나 대청댐의 방류량은

수위보정에 사용하지 않았다.

강수량 자료는 위성 통과 일주일 전까지의 대전·부여·군산 지역의 강수 통계자료를 수집하였다. 세 지역들의 일주일 선행강수량을 수집한 결과 1996년을 제외하고 대부분 20mm 내외이거나 10mm 이내로 나타났다. 강수량이 압도적으로 많은 1996년의 수위와 그 외 년도의 수위 역시 큰 차이를 보이지 않아(김장수 외, 2009) 강수량 자료 또한 본 연구에 사용된 위성영상 획득일의 수위에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하여 수위보정에 사용하지 않았다.

금강은 1994년 하구둑 배수갑문의 폐문 이후 조류의 영향에서 배제 되었다. 실제로 1993년 유역상류에 호우 및 대청댐 방류 등으로 인하여 홍수가 예상되어 저조시를 이용, 배수갑문을 닫았을 때, 유역의 수위변화를 관측한 결과 입포와 강경은 배수갑문 개문상태에서는 역류한 조수로 인하여 하천수위가 일시적인 상승현상이 현저하게 나타났다. 폐문 시에는 조수의 역류차단으로 일정수준을 유지하며, 규암지점까지 수위상승의 영향권에 드는 것으로 알려져 있다. 금강호의 홍수위는 EL 4.62m (100년 빈도 홍수위)이며, 이때 담수호의 용적은 242.16만 톤이다. 1993년 7월 22일 홍수방지를 위해 배수갑문 폐문 시 내수위 상승량은 시간당 20~25cm정도를 보인 것으로 나타났다(금강사업단, 1994).

결과적으로 본 연구지역의 수위에 영향을 미친 인자는 배수갑문의 수위로 판단하였으며, 갑문의 수위측정 시기와 위성영상 획득시기가 일치하지 않아 영상 획득 전·후의 수위자료를 수집하여 수위보정을 실시하였다. 보정결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 위성영상획득시의 하구둑의 수위 (단위:m)

영상획득일	수 위	영상획득일	수 위
1996.09.01	1.36	2001.09.16	1.46
1997.06.16	1.56	2003.02.01	1.52
1998.11.26	1.52	2004.08.31	1.02
1999.10.20	1.80	2006.10.07	1.27
2000.05.07	1.63	2008.09.18	1.70

2. 위성영상을 이용한 하중도별 면적변화 분석

생물 서식지의 변형이나 질의 하락은 하도내의 생물 군집 구조에 주요한 스트레스 요인으로 작용한다(Karr *et al.*, 1985). 특히 금강 하류부의 하중도 면적 변화는 이곳에서 월동하는 철새들의 서식지에 큰 영향을 미치게 된다. 하중도의 면적이 증가한다면 철새 서식지가 확대되겠지만, 인위적인 개발에 의한 침식면의 변형에 따른 하중도의 면적 감소나 유로의 변형에 의한 하상비고의 저하는 월동 철새들의 생존과 직결되는 문제이다. 따라서 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 하중도의 면적변화를 분석하여 생물 서식지로서의 하중도의 퇴적환경 변화를 고찰하였다.

위성영상을 이용한 하중도의 면적변화 분석은 2차원적인 분석으로 변화에 관한 정확한 규모나 침식·퇴적량을 알아보기 힘들지만 적어도 침식·퇴적의 여부와 그 변화 범위를 분석할 수 있다. 본 연구에서는 하중도의 퇴적환경 변화를 시계열적으로 분석하기 위해 다중시기 영상분석을 실시하였다. 다중시기 영상분석에 사용된 자료는 총 10개의 영상 중 2004년과 2008년을 제외한 총 8개의 영상을 사용하였다. 2004년과 2008년 영상은 금강하구둑이 건설된 후 보정된 수위에서 전·후 연도에 비해 상대적으로 큰 편차를 보이기 때문에 제외하였다.

각 하중도별 면적변화를 살펴보면 표 3과 같으며, 그림 3은 1996년에서 2006년 사이의 하중도별 면적 변화를 지도화한 것이다. 먼저, 하중도 A는 서해안고속국도 금강대교 아래에 위치하고 있으며, 연구지역의 하중도 중 금강 하구와 가장 가까운 곳에 위치한다. 1996년~2006년 사이의 연간 침식량은 0.718ha 정도이며 침식이 우세하게 진행되었다. 그림 3(A)에서 보는 것처럼, 본 하중도에서의 지형 변화는 하중도의 남측은 침식, 북측은 퇴적작용이 더 강하게 나타나고 있다. 이는 금강하구둑 갑문의 위치에 의해 주 유로가 본 하중도의 남측으로 통과함으로써 나타나는 현상으로 판단된다. 실제 본 지역에 대한 수심측정 결과 북측은 수심이 얇고 완만한 반면에 남측은 수심이 깊고 급하다.

하중도 B는 하중도 A로부터 상류방향으로 약 1.5km지점에 위치했던 하중도로 현재는 그 모습을 찾아 볼 수 없다. 하구둑 건설 전에는 상당한 규모의 하중도였지만(장동호 등, 1995), 하구둑 건설 공사와 동시에 그 면적이 점차 감소하여 현재는 수면 아래에 분포한다. 이러한 지형변화는 하구둑 축조로 인해 변경된 주유로 상에 하중도 B가 위치하게 되어 빨라진 유속에 의해 침식 작용이 활발했음을 알 수 있다. 전체적으로 1996년~2006년 사이의 연간 침식량은 2.466ha 정도여서 연구지역의 하중도 중 가장 침식작용이 활발하게 나타났다.

하중도 C는 하중도 B로부터 상류방향으로 약 3km정도 떨어진 곳에 위치하며, 분석 기간 동안 급격한 면적 감소가 일어났다. 특히 유속의 영향을 가장 많이 받는 하중도 전면부에서 침식의 정도가 심하게 나타났으며, 일부 퇴적이 이루어진 구역은 주유로의 반대쪽에 해당되는 북쪽 면이다. 전체적으로 1996년~2006년 사이의 연간 침식량은 연간 1.095ha로 침식이 우세하며, 하중도 A와 마찬가지로 남측은 침식, 북측은 퇴적작용이 더 강하게 나타난다.

하중도 D는 하중도 C로부터 상류방향으로 약 8km정도 떨어져 있으며, 입포대교 남단에 위치한다. 본 연구대상 하중도 중 면적 변화가 가장 심하였으며, 분석 기간 동안 성장 및 쇠퇴를 반복하였다. 본 하중도는 과거 인공제방의 안쪽에 위치한 bar의 형태를 취하고 있었으며 인공제방과 연결되었다가 주유로에 해당하는 동쪽면의 침식으로 현재와 같은 하중도로 변화하였다. 하중도 D의 말단부는 수심이 매우 얇아 선박을 이용한 접근이 용이하지 않으며 다만 수심이 깊은 북측을 통해서만 접근이 가능하다. 전체적으로 1996~2006년 사이의 연간 침식량은 0.265ha 정도이며, 앞선 하중도 A, B, C와는 다르게 N-S방향으로 분포하고 있다.

하중도 E는 하중도 D로부터 상류방향으로 약 7km정도 떨어져 있으며, 연구지역에서 가장 큰 면적을 차지한다. 하중도 내부는 경작지로 이용되고 있으며, 시기에 따른 면적의 변화는 있지만 전체적

으로 육화된 하중도이다. 본 하중도의 특징은 유수의 영향을 직접 받는 남동쪽 전면부에서는 침식작용이 강하게 나타나며, 말단부에서는 퇴적작용이 활발하게 나타난다. 전체적으로 1996~2006년 사이의 연간 퇴적량은 2.223ha 정도이며, 비교적 많은 퇴적이 이루어졌던 것으로 판단된다.

하중도 F는 하중도 E로부터 상류방향으로 약 1km정도 떨어진 곳에 있으며, 하구둑 건설 전에는 존재하지 않았던 하중도이지만 하구둑 건설 후 새롭게 형성되었다(장동호, 1995). 하중도의 면적은 점점 증가하고 있으며, 그 형태는 금강 유향을 따라 평행하게 성장하고 있다. 전체적으로 1996~2006년 사이의 연간 퇴적량은 0.716ha정도이며, 현재의 하중도 말단부의 퇴적량 증가로 판단한다면 향후 지속적으로 성장할 것으로 판단된다.

하중도 G는 하중도 F로부터 상류방향으로 약 6km정도 떨어진 곳에 있으며, 면적 변화가 심하게 일어났다. 하구둑 건설 전에는 규모가 크지 않다가 하구둑의 건설 이후 그 면적이 증가하였으며, 현재는 상류 쪽으로 하중도의 성장이 관찰된다. 이러한 현상은 하구둑 건설로 인하여 조석의 영향이 사라지고 새로운 유로가 만들어지면서 퇴적환경 변화에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 본 하중도는 현재 bar와 면한 지역은 침식이 진행되고 있으며, 침두부와 말단부에서는 퇴적이 진행되고 있다. 전체적으로 1996~2006년 사이의 연간 퇴적량은 0.077ha 정도이다.

하중도 H는 하중도 G의 남단 약 200m정도 거리

에 위치하며, 형태는 초승달 모양을 하고 있다. 전체적인 하중도의 면적은 감소하고 있으며, 특히 하중도 말단부를 제외한 전면에서 침식이 진행 중이다. 본 하중도는 높이가 약 2m이상으로 하구둑 건설 전에는 매우 큰 크기의 하중도였으나, 하구둑 건설 이후 그 크기가 감소하여 현재에 이르렀다. 전체적으로 1996~2006년 사이의 연간 침식량은 0.457ha 정도이다.

종합해보면 본 연구지역에서 하중도는 부여군 양화면 입포리를 기준으로 하류에서는 침식작용이, 상류에서는 퇴적작용이 우세하게 나타나고 있음을 분석할 수 있었다. 총 8개의 하중도 중 그 면적이 증가하거나 새로 만들어진 하중도(F)가 있는 반면에, 침식에 의해 수면 아래로 사라져버린 하중도(B)도 나타난다.

3. 무계중심점 이동분석을 통한 퇴적환경 분석

무계중심점은 질량중심점이라고도 하며 GIS 공간분석 과정에서 유용하게 사용된다. GIS 프로그램에서 무계중심점 분석과정을 제공하는 방식은 일반적으로 Feature to point, Mean center, Central feature, Zonal geometry 등이 있다(황재홍 외, 2005). 네 가지 방법은 각기 다른 결과 값을 산출하지만, 그 오차범위는 크지 않은 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 단순히 폴리곤을 이용하여 하중도의 중심점을 찾는 Feature to point 방식을 사용하였다.

본 연구에서는 무계중심점의 이동분석을 위해 수

표 3. 하중도별 면적변화 (단위:ha)

년도 \ 하중도	A	B	C	D	E	F	G	H
1996	38.8	24.7	15.5	3.3	49.7	-	9.8	12.0
1997	38.8	26.3	14.9	1.4	50.6	-	11.8	11.9
1998	40.1	14.5	10.1	3.2	60.4	10.5	12.1	15.9
1999	35.0	8.9	7.3	2.3	53.9	3.8	9.6	10.9
2000	34.7	9.2	8.4	2.1	54.7	4.9	8.7	10.9
2001	35.9	5.5	6.5	1.4	54.4	4.9	6.5	9.1
2003	38.7	3.5	7.8	3.2	64.0	9.7	14.3	10.7
2006	31.6	0.0	4.5	0.7	52.6	7.2	10.5	7.5
연간 침식 · 퇴적량	-0.718	-2.466	-1.095	-0.265	0.223	0.716	0.077	-0.457

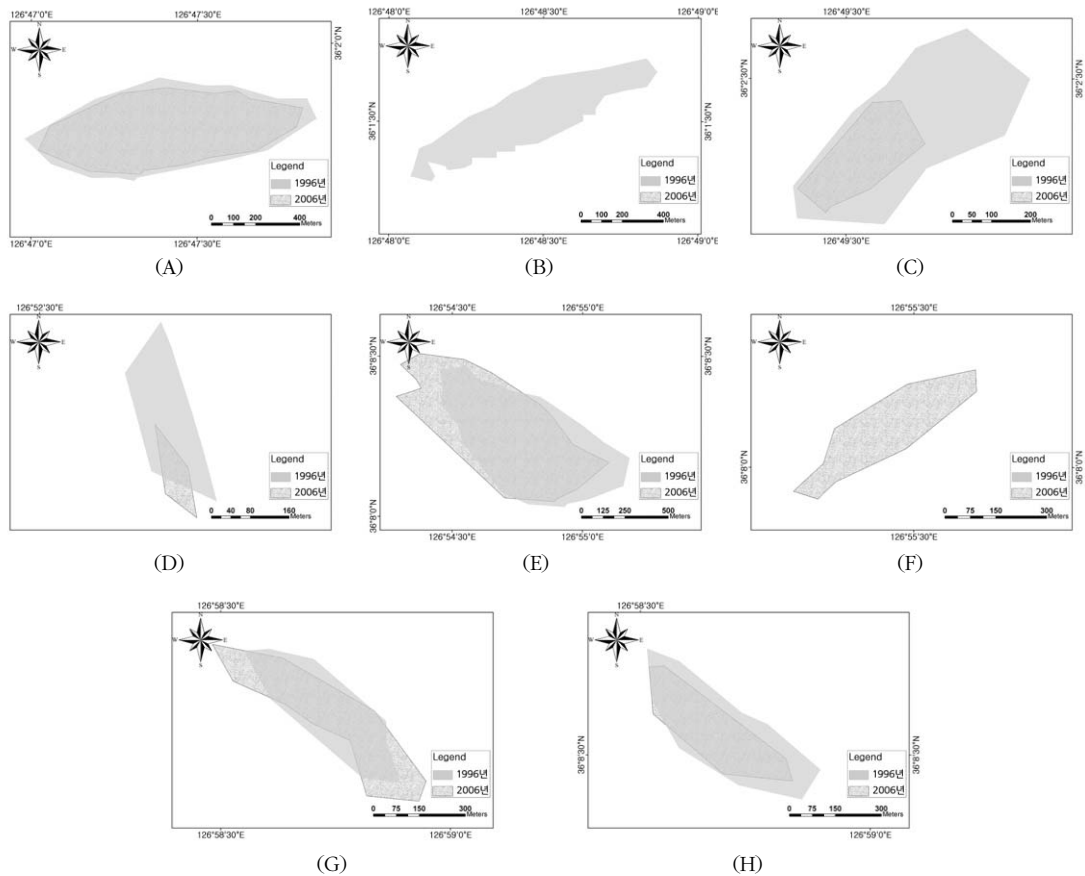


그림 3. 1996년~2006년 사이의 하중도별 면적변화(A~H)

위가 비슷한 1996년과 2006년, 1998년과 2003년, 1999년과 2008년 등 3개의 그룹으로 나누어 비교·분석하였으며, 그 결과 그림 4와 같이 하중도의 성장방향을 분석할 수 있었다. 연구지역의 하중도들은 대체적으로 유로를 따라서 강의 상류에서 하류로 침식·퇴적되어 이동하고 있으며, 일부 하중도에서는 성장 방향이 하안으로 향하고 있기도 하였다.

하중도 A와 하중도 G를 제외한 나머지 6개의 하중도에서는 무계중심점이 강의 상류에서 하류로 이동하고 있음을 분석할 수 있었다. 즉, 하중도 B, C, D, E, F, H는 금강의 주유로에 위치하고 있어 공격사면이 침식되고 보호사면이 퇴적되어 무계중심점이 점차 하류로 이동하고 있는 것으로 분석되었다. 이에 반해 하중도 A와 G의 경우 무계중심점의 이동

이 다양한 방향으로 나타나는데, 이는 하구둑 건설로 인한 유속의 감소와 주유로의 변경으로 기인한 것으로 판단된다.

몇몇 하중도를 살펴보면, 하중도 A는 본 연구지역의 하중도 중 최하류부에 위치하고 있어 유속이 현저하게 감소한 상태로 도달하지만, 갑문 방류시에는 유속이 급격히 증가한다. 이로 인해 하구둑 건설 후 주유로에서 벗어나 있는 서천군 지역으로 퇴적이 집중되고 있고, 주유로에 해당하는 군산 지역은 침식이 증가하고 있는 것으로 나타났다. 무계중심점의 이동방향이 일정하지 않은 것은 분석 그룹간의 수위 차이 및 계절적 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

하중도 G는 하중도 A와 반대로 본 연구지역의 최상류부에 위치하고 있으며 무계중심점의 이동방향

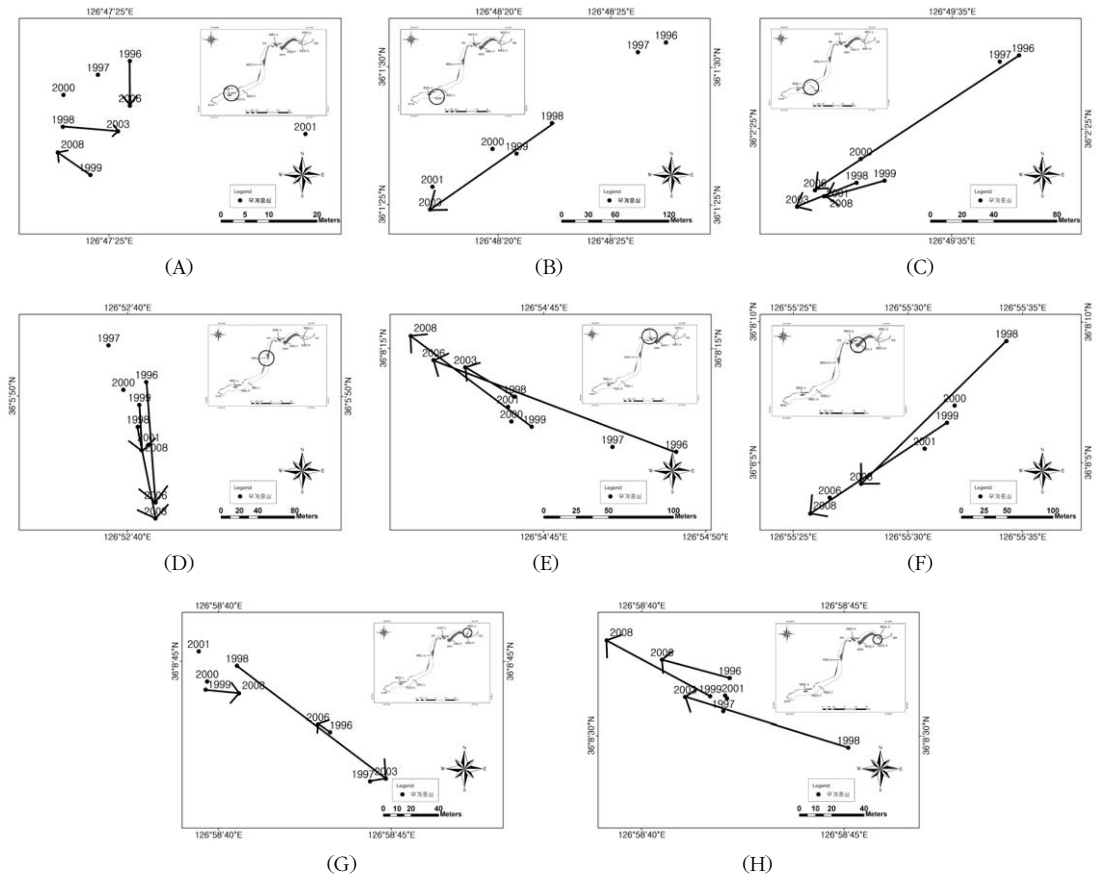


그림 4. 하중도별 무게중심점 이동(A~H)

이 상류로 향하고 있는 것으로 나타났다. 또한 섬의 북측으로 새로운 퇴적지형이 형성되고 있음이 확인되었는데, 하구둑 건설로 인한 유로 및 유속의 변화와 관련이 있는 것으로 판단된다. 일부 하중도에서는 성장방향이 하안으로 향하고 있기도 하였는데, 하중도 E가 대표적인 예이다. 하중도 E는 본 연구 지역의 하중도 중 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 섬의 하류부측으로 퇴적이 진행되고 있어 현재와 같은 추세로 간다면 하천제방과 연결 될 것으로 판단된다.

4. 입도분석을 통한 퇴적환경 분석

본 연구에서는 다중시기 원격탐사 자료를 이용하여 하중도의 면적변화 분석을 통해 하중도의 침식과 퇴적양상을 분석하였다. 하지만 이는 단순한 2차원

적 분석으로 하중도의 생성메커니즘을 규명하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 하중도의 퇴적물 입도분석을 통해 입도조성을 밝혀내고 퇴적 과정에 영향을 미친 퇴적환경에 대해 분석하였다.

표 4는 표층 퇴적물 입도분석 결과이다. 하중도 A의 평균입도는 5.5470로 퇴적물의 구성성분은 극세·세·중·조립질 실트가 우세하게 나타나며, 실트 성분이 대부분(75.5%)을 차지하였다. 하중도 C는 평균입도가 5.0490로 퇴적물의 구성성분은 하중도 A와 마찬가지로 극세·세·중·조립질 실트가 우세하게 나타나며, 실트성분이 67.6%를 차지한다. 또한 하중도 D는 평균입도가 5.3740로 퇴적물의 구성성분 역시 극세·세·중·조립질 실트가 우세하게 나타나며, 실트가 72.6%를 차지하였다. 따라서 퇴적물 입도조성을 분석한 결과, 이들 하중

표 4. 하중도별 표층 퇴적물 입도분석 결과

하중도 (시료수)	평균입도 (ϕ)	분 급	왜 도	Silt(%)	Sand(%)	Clay(%)	Sum
A(6)	5.547	1.761	0.058	75.5	22.7	1.8	100
C(3)	5.048	1.781	0.137	67.6	31.3	1.1	100
D(2)	5.374	1.766	0.148	72.6	26.1	1.4	100
E(6)	4.586	1.724	0.295	54.8	44.2	1.0	100
F(3)	3.323	1.742	0.373	26.7	72.8	0.5	100
G(6)	2.905	1.355	0.297	27.8	71.8	0.4	100
H(2)	3.714	1.719	0.267	37.3	62.2	0.6	100

도는 주로 과거 조석의 영향을 받아 형성된 하중도이다.

하중도 E는 평균입도가 4.586 ϕ 이며 퇴적물의 구성성분은 세·중·조립질 실트와 극세립질 모래가 우세하게 나타나며, 실트성분이 54.8%, 모래성분이 44.2%정도로 하천 및 조석의 영향을 받아 형성된 하중도이다. 하중도 F는 평균입도가 3.323 ϕ 로 퇴적물의 구성성분은 극세·세·중립질 모래가 우세하게 나타나며, 모래성분이 72.8%로 주로 하천의 퇴적작용에 의해 형성된 하중도이며, 하중도 G의 평균입도는 2.095 ϕ 로 세·중립질 모래가 우세하게 나타나며, 모래성분이 71.8%로 하천의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도이다. 하중도 H 또한 평균입도 3.714 ϕ 로 극세·세·중립질 모래가 우세하게 나타나고 있으며, 모래성분이 62.2%로 하천의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도이다.

이상의 입도분석 결과, 본 연구지역은 평균입도와 퇴적물의 구성 비율에 따라 하중도 A와 C, D가 속한 하구둑~입포 구간(I구간), 하중도 E가 속한 입포~성당리 구간(II구간), 하중도 F, G, H가 속한 성당리~강경구간(III구간) 등 총 세 구간으로 나눌 수 있었다. I구간은 평균입도가 약 5.323 ϕ , 분급은 양호하게 나타났으며, 퇴적물의 구성 비율은 실트가 70%이상을 차지하고 있었다. 따라서 본 지역의 하도내 하중도는 과거 하구둑을 막기 전 조류의 퇴적작용에 의해 형성된 것들이 대부분을 차지하였다. II구간은 평균입도가 약 4.586 ϕ , 분급은 양호하며, 퇴적물의 구성 비율은 실트가 약 55%, 극세립질 모래가 약 44%를 이루고 있다. 이 구간은 과거 조류

의 퇴적작용이 우세하였지만 부분적으로 하천의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도들이다. III구간은 평균입도가 3.314 ϕ , 분급은 불량하게 나타났으며, 퇴적물의 구성 비율은 극세립질 모래가 약 70%를 이루고 있다. 이 구간은 과거 조류의 퇴적작용도 나타났지만 주로 하천의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도들이다.

결과적으로 하구둑이 건설되기 이전의 본 연구지역의 하중도들은 금강의 하류 구역에 해당되어 하상계수가 낮은 국내 하천의 특성에 따라 하천의 유속 감소와 조석의 영향을 받아 퇴적작용이 활발히 진행되어 형성되었다. 그 후 하구둑의 건설로 조석의 영향이 완전히 배제되고 하천수위 상승과 주 유로의 이동 등으로 하류구간의 하중도는 침식작용이 우세하면서 그 면적이 축소되었고, 입포 상류 구간에서는 하천 유속에 영향을 많이 상류 쪽에서 공급된 조립질퇴적물이 지속적으로 퇴적되고 있음을 분석할 수 있었다.

그림 5와 그림 6은 하중도 E와 H에 나타난 퇴적물 노두로서 하중도의 퇴적환경 변화를 분석할 수 있다. 두 개의 노두를 살펴보면, 표층으로부터 60~70cm 기저에서는 모두 fine sand가 나타나며, 그 상부에는 점차 세립화 경향을 보인다. 그러나 최상부에서는 전혀 다른 입도분포 특성이 나타나는데, 하중도 E는 지속적으로 세립화 경향을 보이지만, 반면에 하중도 H는 다시 조립화 경향으로 변화하였다.

이러한 원인은 하구둑 건설이후 퇴적물질이 지속적으로 공급되지만 하구둑에 가까운 하중도 E는 유

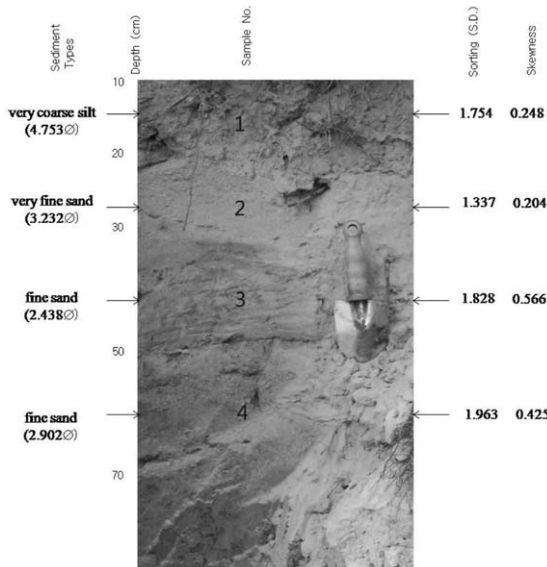


그림 5. 하중도 E 노두

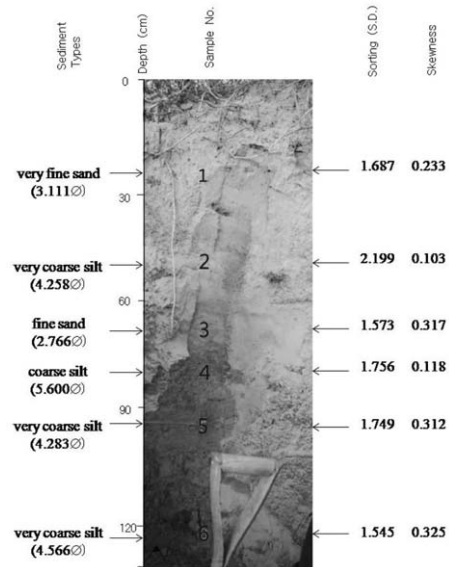


그림 6. 하중도 H 노두

속 감소와 기존 하중도에서 침식을 받아 공급된 세립질 퇴적물질들이 퇴적되면서 세립화 경향을 보이는 것으로 판단된다. 이에 반해 상류 쪽에 분포하는 하중도 H는 세립화 경향을 보이다가 다시 조립화 경향을 보이는데, 이는 하구둑 건설 이후 하천의 주유로 변경에 따른 유속 증가와 상류 쪽의 하천 기원 퇴적물질이 공급되면서 조립화 경향을 보이는 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 이들 노두층에 나타나는 유기물층에 대한 연대측정을 통하여 퇴적환경 변화의 시기를 가늠하고자 한다.

IV. 결론

동·식물 등 종다양성과 관련된 하도내 수공간은 도시화·산업화가 빠르게 진행되고 있는 현재의 상황에서 각종 생물의 서식지 역할로서 매우 중요하다. 금강하구둑과 같은 인공구조물은 하중도의 퇴적환경에 변화를 주고, 이러한 서식지 변화는 그곳에서 서식하는 동·식물에게 스트레스로 작용한다. 본 연구에서는 원격탐사 자료의 퇴적환경 변화 분석의 적용 가능성을 검토하기 위해 하구둑 건설 이후 금강하류 유역의 하중도 퇴적환경 변화를 다중

시기 위성영상을 이용하여 정량적·정성적으로 해석하고, 또한 퇴적물의 입도분석을 실시하여 퇴적환경 변화를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 다중시기 위성영상을 이용한 하중도의 면적 변화를 통해서 본 퇴적환경의 변화는 1996~2006년 동안에 하중도 F가 새롭게 형성되었으며, 하중도 A와 C사이에 위치한 하중도 B는 침식을 받아 그 자취를 감추었다. 결론적으로 입포를 기준으로 상류 구간은 퇴적환경이 우세하여 대체로 하중도의 면적의 증가하였으며, 하류 구간은 침식환경이 우세하여 면적의 감소가 나타났다.

2. 무게중심점 이동분석을 통해 하중도의 성장방향을 살펴보면, 하중도의 하류부는 퇴적이 우세하고, 상류부는 침식이 우세하게 나타나고 있어 대체로 강의 하류 쪽으로 침식·퇴적되어 이동하고 있다. 특히 입포 하류구간에서는 금강의 남쪽 하안을 따라 침식이 매우 활발히 진행되고 있는데, 이는 금강하구둑 내의 배수갑문의 위치에 따른 금강 주유로의 변경으로 인한 유속의 변화에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 하구둑 건설 이후 유속 감소와 유로 변경 등으로 인하여 일부 하중도에서는 성장방향이 하안으로 향하고 있는 것으로 나타났다. 이밖

에 상류지역의 하중도의 성장 방향은 모두 하안의 북쪽과 하류를 향하고 있는데, 이는 본 연구지역의 퇴적환경이 금강하구둑의 건설로 인하여 조류의 영향은 배제되고 단지 하천류에 의해서만 지배되고 있음을 분석할 수 있었다.

3. 입도분석 결과, 본 연구지역은 평균입도와 퇴적물의 구성 비율로 보아 크게 세 구간으로 나뉘볼 수 있다. 하구둑~입포 구간은 대부분 과거 조류의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도이다. 입포~성당리 구간은 과거 조류의 퇴적작용이 우세하지만 부분적으로 하천의 퇴적작용을 받은 것으로 볼 수 있다. 성당리~강경 구간은 과거 조류의 퇴적작용도 나타나지만 주로 하천의 퇴적작용을 받아 형성된 하중도들이다. 결과적으로 하구둑이 건설되기 이전의 본 연구지역의 하중도들은 하천의 유속 감소와 조석의 영향을 받아 퇴적작용이 활발히 진행되어 형성되었다. 그러나 하구둑의 건설 이후 하천 수위 상승과 주 유로의 이동 등으로 하류구간의 하중도는 침식작용이 우세하여 그 면적이 축소되었고, 입포 상류 구간에서는 하천 유속에 영향을 받아 상류 쪽에서 공급된 조립질퇴적물이 지속적으로 퇴적되고 있음을 분석할 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때, 다중시기 위성영상은 하천의 하중도 퇴적환경 변화 분석에 유용한 자료이다. 다만, 하천 퇴적지형의 정확한 변천 규모 및 침식량과 퇴적량을 분석하기 위해서는 동일한 수위조건을 가진 자료를 중첩 비교하는 것이 이상적이나 축적된 위성영상 자료의 한계로 개략적인 퇴적환경 변화만을 관찰 할 수 있었다. 또한 중·저 해상도의 공간분해능력으로 인해 소규모로 진행되는 하천내의 지형변화를 분석하기에는 한계가 있었다. 하중도의 정확한 면적변화를 분석하기 위해서는 구간별 수위측정, 하도단면 측량 자료 등과 같은 여러 하천 자료들을 데이터베이스화하여 3차원적 하천환경 변화를 분석해야 하는데, 이는 추후연구로 미루었다.

참고문헌

- 강승삼, 1980, 한국 하천지형의 변화 -영산강을 중심으로-, 지리학연구, 5, 229-249.
- 농어촌진흥공사, 1994, 금강(1)지구 대단위 농업종합개발사업 사후환경영향조사 결과보고서(상반기).
- 금강사업단, 1994, 92' · 93' 금강하구둑 관리연보, 농어촌진흥공사.
- 김성환, 2005, 하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화, 대한지리학회지, 40(4), 416-427.
- 김장수, 장동호, 2009, 하구둑 건설 후의 금강하류 유역의 하도내 퇴적환경 연구, 한국지형학회지, 16(1), 1-15.
- 김종일, 1994, 영산강 곡류 절단부에서의 하도변화에 관한 연구, 한국지형학회지, 1(1), 41-59.
- 박노옥, 장동호, 지광훈, 2006, 태풍 루사에 의한 강릉 사천천 주변 퇴적 환경 변화: 다중시기 원격탐사 자료를 이용한 정보 분석, 한국지구과학회지, 27(1), 83-94.
- 손명원, 1986, 댐건설로 인한 하도형태의 변화 -대청댐 하류구간을 사례로-, 지리학, 33, 37-44.
- 오경섭, 2008, 정부운하 건설·유지를 감당할 수 없는 한국 하천지형 조건, 한반도 대운하와 지형환경 두 번째 심포지엄, 23-27.
- 연합뉴스, 2009, 서천군 “금강하구둑 일부 철거 건의”, 2009,02,11 뉴스.
- 이 전, 손 일, 1998, 남강 하류 범람원의 토지이용과 농업형태 변화에 관한 연구, 한국지역지리학회지, 4(2), 31-47.
- 장동호, 지광훈, 이봉주, 1995, Landsat 자료를 이용한 금강하류의 축적주 환경변화에 관한 연구, 대한원격탐사학회지, 11(2), 59-73.
- 정주영, 이만우, 조강현, 최병희, 2000, 인천 논현동 일대 염습지의 식물다양성과 보존방안, 환경생물학회지, 18(3), 337-345.
- 한강홍수통제소, 1996~2008, 한국수문조사연보.

- 환경부, 국립환경과학원, 2007, 2007년도 겨울철 조류 동시센서스.
- 황재홍, 정원석, 나기창, 2005, GIS를 이용한 남한의 지질 및 지리적 중심에 관한 연구와 조사, 한국지구과학회지 추계학술발표회 논문집, 437-445.
- 허위행, 이우신, 임신재, 2005, 시화호 인공습지 조성 후 조류군집의 변화, 한국환경생태학회지, 19(3), 279-286.
- Bryant, R. G. and Gilvear, D. J., 1999, Quantifying geomorphic and riparian land cover changes either side of a large flood event using airborne remote sensing: River Tay, Scotland, *Geomorphology*, 29, 307-321.
- Henry, C. P. and Amoros, C., 1996, Restoration ecology of riverine wetlands. III. Vegetation survey and monitoring optimization, *Ecological Engineering*, 7(1), 35-58.
- Grayson, J. E., Chapman, M. G. and Underwood, A. J., 1999, The assessment of restoration of habitat in urban wetlands, *Landscape and Urban Planning*, 43(4), 70-83.
- James, P. M. S., Albert, J. K., Anna, C. and Bruce, W. N., 2005, Tributary channels and their impact on sediment dispersal, *Marine Geology*, 222, 75-94.
- Karr, J. R., Heifinger, R. C. and Helmer, E. H., 1985, Sensitivity of the index of biotic integrity to changes in chlorine and ammonia levels from wastewater treatment facilities, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 57, 912-915.
- Luqian Li, XiXi Lu. and Zhongyuan Chen, 2007, River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach, *Geomorphology*, 85, 185-196.
- Marouane, T., Rovert, L., Francois, B. and Naira, C., 2005, Flood monitoring over the Mackenzic river basin using passive microwave data, *Remote Sensing of Environment*, 98(15), 344-355.
- Sandra, J. W., 2000, Medium and short-term channel platform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland, *Geomorphology*, 34, 195-208.
- Toshihiro Sakamoto, Nhan Van Nguyen, Akihiko Kotera, Hiroyuki Ohno, Naoki Ishhitsuca, and Masayuki Yokozawa, 2007, Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery, *Remote Sensing of Environment*, 109, 295-313.
- Zhao-Yin Wang, Baosheng Wu. and Guangqian Wang, 2007, Fluvial processes and morphological response in the Yellow and Weihe Rivers to closure and operation of Sanmenxia Dam, *Geomorphology*, 91, 65-79.