

## 금강하구에서 인공 구조물에 의한 수심 변화 : GIS 기반의 시·공간 평가

이현희\* · 엄정섭\*\*

### Water Depth Change Caused by Artificial Structures in Geum River Estuary: Spatio-Temporal Evaluation Based on GIS\*

Hyun-Hee Lee\*, Jung-Sup Um\*\*

**요약** : 본 연구는 금강하구에서 인공구조물 축조로 인해 야기된 수심 변화의 시·공간분포 특성을 평가하고자 한다. 1979~2004년 해도로부터 수심 데이터를 추출하여 GIS환경에서 퇴적층의 변화추세가 평가되었다. 하구둑 전면과 장항항-군산내항 사이의 공사 중인 인공섬 복측, 개야수로 일부, 대죽사주 등 대부분의 연구지역에서 1979년에 비해 2m이상 퇴적층이 쌓이면서 수심이 얕아진 경향이 나타나 하구역이 점점 더 퇴적작용이 우세한 환경으로 변이되는 것이 확인된다. 하구둑-군산내항 수역에서 수심이 얕아진 지역이 79%, 깊어진 지역이 21%로 이 구간의 퇴적양상이 가장 문제가 되고 있다. 하구둑을 통한 하천수의 유출이 진행되는 방향에 위치하는 군산내항을 거쳐 개야수로에 이르는 하구 내측에 퇴적이 집중되고 있어 하구둑의 건설 이후에도 하천으로부터 퇴적물 공급이 완전하게 차단되지 않고 하천유로를 통해 지속적으로 공급되는 것을 확인할 수 있었다. 이 연구는 하구 둑이 건설된 이후 연구지역에서 전체적으로 침식보다는 퇴적 작용이 우세하다는 기존의 연구에서 나아가 인공구조물과 연계되어 퇴적과정이 활성화되는 지역과 그렇지 못한 지역의 공간적 변이를 규명하였다. 결국 GIS 기반의 수심환경 평가가 기존의 미시적인 데이터에 의거한 퇴적환경 연구결과를 객관화하고 정량적인 근거를 제시하는 도구로 활용될 수 있었다.

**주요어** : 인공 구조물, 수심 변화, 금강하구, GIS

**Abstract** : This paper examines the spatial and temporal variability in the water depth caused by artificial structures in Geum Estuary of South Korea. Water depth data set extracted from marine maps of 1979, 1990, 1996 and 2004 were used in a GIS to derive volumetric estimates of gains and losses of sedimentary material. Artificial structures caused above 2m in water depth to be shallow between 1979 and 2002 in the estuary system, particularly through disturbance of a natural transport in suspended sediment concentrations. The most significant change in suspended sediment transport were observed in area affected by embankment for fresh water, inducing the water depth shallower than before in almost 80% of the area. This was probably because of an continuous abundant mud supply from coastal river even after blocking the fresh water. The spatial analysis made it possible to identify area wide patterns of water depth change subject to many different type of artificial structures, which cannot be acquired by traditional field sampling. It is anticipated that this research could be used as a valuable reference to confirm the outputs from past field researches for sedimental process in more visual and quantitative manner.

**Key Words** : artificial structures, water depth change, Geum estuary, GIS

\* 경북대학교 지역정보학과 박사과정 (Ph.D. Candidate, Department of Regional Information Science, Kyungpook National University), hany725@dreamwiz.com

\*\* 경북대학교 지리학과 부교수 (Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University), jsaeom@knu.ac.kr

## 1. 연구배경 및 목적

금강하구는 1983-1988년까지 금강 하구둑 공사가 진행되었고, 1994년에 수문을 폐쇄하였다. 그 후 1990년과 1992년에 착공된 북측 도류제 및 남측 도류제 등 인위적인 환경변화로 자연성이 심각하게 훼손된 지역이다. 금강 및 근해로부터 유입되는 퇴적물의 양을 조절하기 위해 하구둑 및 남·북측 도류제가 축조되었으나 건설 전의 예측과는 달리 금강하구 내 퇴적환경은 개선되지 못한 채 여전히 주기적인 준설로 해마다 막대한 예산이 쓰이고 있는 실정이며, 이러한 인공구조물은 지형변화는 물론 조석 증가, 조류속도 감소 등의 흐름변화를 야기하고 있다.

수심은 인공구조물로 인한 환경변화에 영향을 받는 요소임과 동시에 영향을 미치는 요소이다. 다시 말해 해류, 조류, 퇴적물 등의 변화가 수심의 변화를 초래하게 되고 이는 다시 유속·유향, 조류속도 및 조차, 퇴적속도 등을 변화시킨다. 수심 변화 추세의 모니터링과 해석은 과거 해양 환경의 유추 및 퇴적물의 형성과정을 밝히는 데 있어 핵심 변수이며, 앞으로의 해양환경 및 요소들의 변화를 예측함에 있어서 중요한 정보가 된다. 또한 수심은 현재와 미래의 항로를 유지하고 수자원의 확보를 위해 선결되어야 할 매우 중요한 문제이다. 아울러 수심의 공간적인 분포는 인간의 강 하구 이용과 각종 생태현상에 직·간접적인 영향을 미친다. 따라서 수심의 공간적인 분포를 파악하는 작업은 강하구의 효율적인 자원보전 및 관리를 위해서 반드시 선행되어야 할 과제이다.

인공구조물에 기인한 수심 변화 추세를 평가하는 데 있어서는 현재 국내에서 활용목적에 따라 매우 다양한 형태로 폭넓게 수집되고 있지만 음향측심기를 이용한 국부적인 현장조사에 의존하는 것이 일반적이다. 현장 조사는 강하구에 대해 구체적이고 사실적인 정보를 제공하지만 조사 지점만의 단편적인 측정치를 보여주는 수준에 머물러 있어 연구지역 전체의 광역적인 특성 및 경향에 대한 시각적인 정보를 확보하는 데에는 상당한 한계가 있다. 하구역의 변화에 대해서 보다 효과적인 관리를 위해서는 퇴적과정이 나타나는 공간적인

양상과 차이에 대해서 분석할 필요가 있다. 보다 퇴적이 활발하게 진행되는 곳과 그렇지 않은 곳에 대한 분석이 이루어져야만 각 상황에 맞는 적절한 관리대책을 수립할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 현장 수심조사 결과를 지도화하여 GIS 환경에서 수심의 광역적인 추세나 분류결과를 직접 활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

금강 하구역에서도 해수 이동이나 조류의 변화가 퇴적 환경에 미치는 영향에 대한 연구가 현지조사 위주로 제시되었다(김명배, 2002; 김태인, 2002; 서승원, 2004; 신명식, 2004; 이길영 등, 2000; 지윤식, 2000; 최병호 등, 1989; 최진용 등, 1995). 현지에서 채취한 토사의 샘플을 통해 인공 구조물과 해양 퇴적 환경과의 상관성을 분석한 선행연구가 보고되고 있다(김혜진, 2002; 문정석, 2005; 신문섭 등, 2005; 안승섭 등, 2002). 외국의 경우에도, 수심변화는 해양환경을 평가하는 과정에서 현지조사 위주로 연구가 이루어지고 있다(Danika *et al.*, 2006; Ruessink, 1999; Weber, 2000). 해양환경을 보다 거시적인 차원에서 분석하기 위해 항공사진이나 위성사진을 활용한 일부 연구가 있지만(김성환, 2005; 박의준·구자용, 2003) 국내에서는 GIS를 이용하여 인공구조물로 인한 수심 변화 예측 및 수심 변화와 관련 각종 해양 퇴적 인자들과의 연관성 연구는 아직 미흡한 실정이다. 인공구조물로 항구의 존폐위기를 겪고 있는 금강하구에 대해서 GIS 기반의 수심변화 추세에 대한 연구는 보고되고 있지 않다.

GIS는 공간객체의 시·공간적 분석을 통하여 인공구조물로 인한 강하구 수심 변화를 정량적으로 평가할 수 있는 정보체계이다. 다양한 시기의 해도에서 추출된 수심 지도를 중첩하여 퇴적환경의 기복과 형태를 분석하여 분류할 수 있다. GIS 기반의 평가 방식은 넓은 지역의 data 수집시 시간과 비용 측면에서 장점이 있으며, 지리적으로 접근이 곤란한 지역의 자료 수집이 가능하므로 수심을 기초 데이터로 활용하여 방파제, 방조제, 도류제 등 인공구조물이 수심 변화에 기여하는 정도에 대해 정량적인 분석이 가능하게 할 것이다. 또한 영구적인 기록으로 저장된 데이터에서 정보를 추출하고 분석절차에 사용된 각종 기법이 명시되기 때문에 분석결과와 객관성에 대하여 근거를 제시할 수

있다. 따라서 본 연구는 1979년부터 2004년까지 금강하구의 수심자료를 GIS 데이터베이스로 구축하여 인공구조물로 인한 수심변화추세를 정량적으로 (수심별 면적의 변화량과 변화율 등) 살펴보고자 출발하였다.

## 2. 연구 방법

### 1) 연구지역 및 데이터 취득

연구지역은 충청남도과 전라북도간 경계의 일부로 서해안 중부에 위치하며(그림 1), 군산내·외항, 장항

항 등 3개의 항구와 개야도, 유부도, 대죽도 등 크고 작은 섬들이 위치하고 있다. 금강하구는 각종 인공 구조물 (표 1)로 인해 발생된 매몰토사로 인해 군산내항의 수심이 급격히 낮아져 만조시 (특히 백중 때)에는 바닷물이 역류하여 해안지역이 침수하고 있다. 항만이용자들은 매년 준설을 해달라고 요구하고 있고 이에 따라 매년 토사를 준설하고 있으나 준설만으로 문제를 해결하는 데 한계가 있다. 간조 때는 군산항 내항의 하상이 수면위로 드러나 선박의 밑바닥이 썰에 닿는 (bottom touch)현상 때문에 입출항 선박의 항해에 막대한 지장을 초래하고 있다. 조수대기 선박의 일시 입출항(병목 현상)으로 인한 해상교통 사고와 선박승양 사고가 자주 발생하고 선박대기 및 체선체화로 항만의 경쟁력에

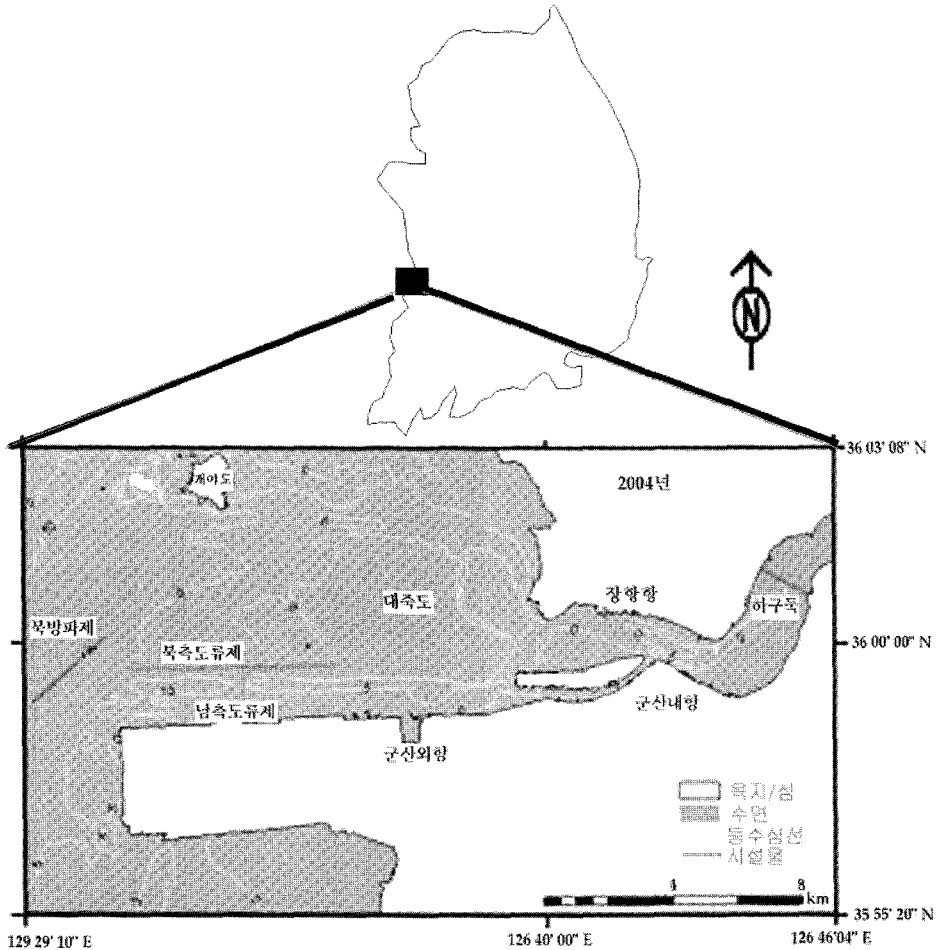


그림 1. 연구 지역 위치도

심각한 문제로 작용하고 있다. 외항선들은 인천항에서 일단 화물을 꺼내고 배의 무게를 가볍게 한 후 군산항으로 다시 입항하고 있다. 전라북도내는 물론 인근 충청권의 무역업계는 이 때문에 인천항에서 하역한 화물을 육로를 통해 다시 반입해야 하는 등 보다 많은 물류 비용을 감수해야 함으로써 군산항을 기피케 하는 주된 요인이 되고 있어 어선주들이 대정부 손해배상청구 사태를 야기하고 있다. 그리하여 금강하구 해수역 군산, 장항항내 수로는 항구 및 항로폐기의 위기를 맞고 있다 (안봉호, 2005).

금강하구의 수심데이터는 1979년, 1990년, 1996년, 2004년에 각각 국립해양조사원에서 발행된 1:30,000 축척의 해도(No.305)를 수치화하여 확보하였다. 해도는 연안의 지형과 지물 및 해면 하의 형상을 정확하게 표현한 바다의 지도이다. 해도를 작성하기 위한 측량을 수로측량이라 하며, 해안선의 형상, 연안의 지형, 지물, 암초의 위치 및 높이, 수심, 해저지형, 저질의 분포, 해수의 간만과 유동상태, 각 지점의 위치 등을 조사하고 측량하여 제작한다. 1979년은 앞에서 언급한 인위적인 요소가 발생하기 이전 상태의 해도이고, 1990년은 하구둑이 완공된 이후의 상황을 반영하는 해도이다. 1996년은 남·북측도류제 건설, 서측호안 매립공사, 하구둑 수문 폐쇄 등과 같은 다양한 인위적인 활동이 진행되고 있는 상황의 해도이다. 2004년은 하구둑 폐쇄 후 10여년 동안에 나타난 변화와 남·북측

도류제의 완공, 북방파제 건설, 서측호안의 지속적인 매립 등의 인위적인 영향이 반영된 해도이다. 이 해도 내에서 개야도, 북방파제, 금강 하구둑 등 인공 구조물을 경계로 연구지역(그림 1)의 범위를 정하였다(동경 126° 29' 10" - 126° 46' 04", 북위 35° 55' 20" - 36° 03' 08").

데이터의 가공 및 공간분석을 위해 사용된 소프트웨어는 AutoCAD MAP 2000과 ArcGIS이다. 연도별로 제작된 해도를 스캐닝(scanning)하여 해안선, 지점별로 입력되어 있는 수심 값과 등수심선을 벡터라이징하여 수치화 작업을 수행하였다. 벡터지도를 래스터(raster) 형식으로 전환하기 위해 거리에 반비례하여 가중치를 부여하는 IDW (Inverse Distance Weighted) 알고리즘을 적용하였다. 경위도 좌표 값은 서부원점 (위도 38°, 경도 125°)을 기준으로 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환하는 등 전형적인 GIS 데이터베이스 구축과정이 적용되었다. 연구지역에서는 1979년부터 현재까지 군장국가공단 조성사업으로 매립지가 지속적으로 형성되어 육지면적은 증가한 반면 해양면적은 감소하고 있다. 시기별 수심이 변화된 면적을 산출하는 과정에서 해도가 제작된 시기의 연구지역 면적에 대비하여 해당 수심이 차지하는 면적을 백분율로 환산하여 비교하였다.

표 1. 연구에 사용된 해도와 해도 제작시기 관련 주요공사이력

해도 발행년도	해도 측량년도	제작시기별 주요 공사 이력
1979년	1978년	개발 사업 이전의 자연 상태
1990년	1989년	'79년~'92년 군산외항-오식도간 군산서측호안 매립 '83.11~'88.12 금강하구둑 착·완공
1996년	1989 ~1995년	'90.08~ 북측도류제 건설중 '92.11~ 남측도류제 건설중 '93.05~ 군산산업단지 서측호안 매립확장공사중 '93 군장국가공단 조성사업의 일환으로 가도, 비응도 등을 연결한 매립지 건설 '94.8.31 금강하구둑 수문 작동
2004년	1989~ 2003년	'97.10 북측도류제 완공 '98.02~ 북방파제 건설중 '98.12 남측도류제 완공

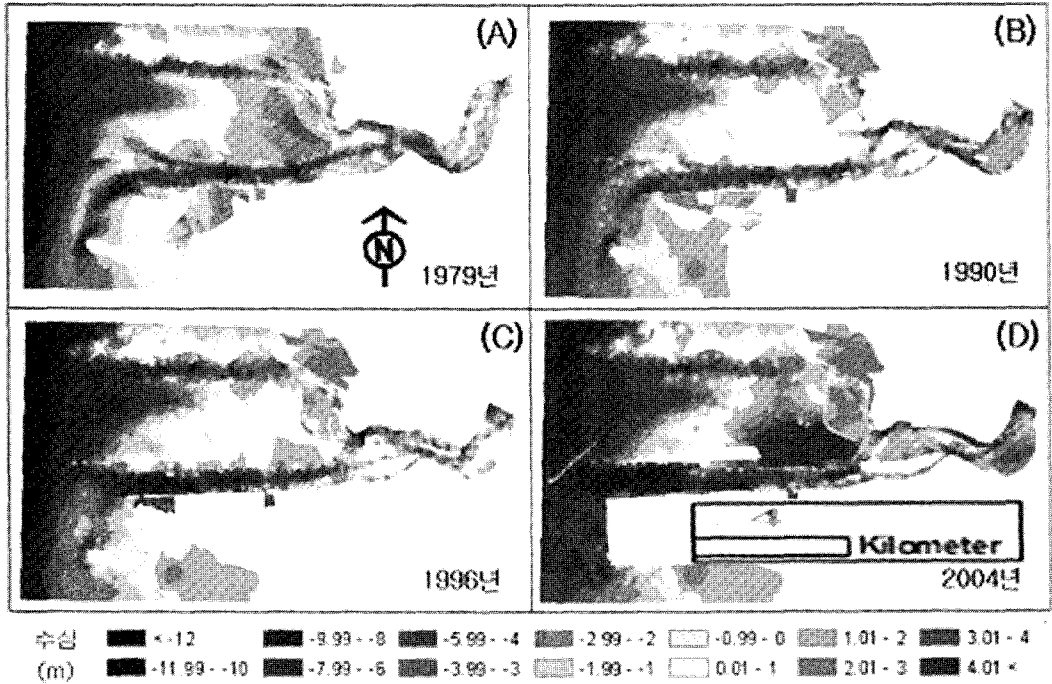


그림 2. 개별 연도별 수심도 (1979, 1990, 1996, 2004)

파란색은 해면이 가장 낮아지는 상태인 저조시에 해수면 아래에 놓이는 지역이고 붉은색은 대기 중에 노출되는 지역이다. 푸른색으로 갈수록 수심이 깊어지는 것을 나타내고, 붉은색으로 갈수록 수심이 얇아지는 것을 의미<sup>1)</sup>.

표 2. 하구둑-군산외항 수심 변화 추세 비교 (면적별 백분율)

수심차 (m)	하구둑-군산내항				군산내항-군산외항			
	79-90	90-96	96-04	79-04	79-90	90-96	96-04	79-04
< -3	10	2	2	6	8	5	3	7
-2.99 ~ -2	5	2	2	5	6	6	5	4
-1.99 ~ -1	7	9	6	3	10	11	9	9
-0.99 ~ 0	17	34	10	7	21	30	15	15
소계 (수심이 깊어진 비율)	39	47	20	21	45	52	31	35
0.01 ~ 1	25	20	11	7	20	27	30	20
1.01 ~ 2	12	13	23	10	15	12	16	11
2.01 ~ 3	13	8	21	8	13	5	8	8
3.01 <	11	12	25	53	7	4	15	26
소계 (수심이 얇아진 비율)	61	53	80	79	55	48	69	65

## 2) 수심도 중첩분석 및 단위수역구분

하구역 관리는 단위사업 또는 지역적 입장보다는 대

상 지역 전체를 대상으로 문제를 파악하고 대책을 수립해야 하기 때문에 개별년도의 수심도(그림 2)는 현황에 대한 객관적인 자료와 문제의 우선순위를 파악할

수 있는 과학적인 도구로 역할을 할 것이다. 하지만 단일 시기의 수심주제도는 다양한 시기별 수심 변화 추세에 대한 정보를 제시하지 못하기 때문에 한계를 가지고 있다. 비교대상시기 (1979년, 1990년, 1996년, 2004년)별로 수심변화 추세를 파악하기 위해 개별 연도별 수심 주제도를 중첩한 공간분석을 시도하였다(그림 3).

금강하구 내에서 인공구조물에 따라 수심변화가 다양한 양상으로 나타나므로 인공구조물이 설치된 지역과 인공구조물로 인해 수심이 영향을 받는 수역(개야수로, 대죽사주)을 기준으로 아래와 같이 6개의 세부지역(그림 3)으로 구분하였다: (A) 하구둑에서부터 군산내항, (B) 군산내항에서 군산외항, (C) 개야수로, (D) 대죽사주, (E) 도류제, (F) 서측호안

### 3. 단위 수역별 수심변화 추세평가

연구지역의 수심 변화양상은 도류제 사이를 제외한 금강 하구둑 전면, 군산내항과 장항항 사이의 공사 중인 인공섬 북측, 개야수로, 대죽사주, 서측호안 매립지 남측 부근 등 연구지역 대부분의 지역이 점진적으로 수로가 매몰되면서 수심이 얕아지는 것이 가시적으로 확인되었다(그림 2). 특히, 금강 하구둑 전면과 대죽사주는 1996년에 0~1m의 수심이 2004년에는 2m 이상으로 얕아진 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 연도별 평균수심은 1996년에 -2.5m, 그 외에는 -2.4m로 거의 동일하나 최고 수심과 최저 수심 간의 차이가 1979년에 -19.5~4.1m, 1990년에 -21.8~2.9m, 1996년에 -21.5~5.8m, 2004년에 -14.0~6.1m로 1990년 이후로 수심이 점점 얕아지는 경향을 나타내고 있다.

하구둑-군산내항 지역의 수심의 변화를 살펴보면, 수심차가 1979-1990년 사이에는 0.01~1m, 1990년-1996년 사이에는 -0.99~0m, 1996-2004년 사이에는 1m이상인 부분이 많은 면적을 차지하였다(그림 3, 그림 4, 표 2). 1979-2004년까지의 전체적인 수심변화를 볼 때 3m이상의 수심차를 보이는 곳이 53%에 이를 정도로 과거에 비해 수심이 얕아진, 곧 퇴적이 많이 이

루어진 양상을 볼 수 있다. 특히, 1979년에서 2004년 사이에 수심이 얕아진 지역이 무려 79.7%를 차지하여 퇴적작용이 우세하게 나타났음을 보여주고 있다(표 2).

군산내항-군산외항 지역은 1979-1990년, 1990-1996년 사이에는 -0.99~1m, 1996년에서 2004년 사이에는 0.01~1m의 수심차가 비교적 넓게 분포하며 1979-2004년간은 0.01~1m, 3m이상의 수심차가 높은 값을 보인다(그림 3, 그림 4, 표 2). 수심이 깊어진 지역과 얕아진 지역의 면적을 비교해볼 때, 1990-1996년 사이에는 수심이 깊어진 지역의 면적이 다소 높게 나타나고 있으나 그 외 기간동안은 수심이 얕아진 면적이 높게 나타남으로써 군산내항-군산외항 지역 역시 퇴적작용이 우세하게 나타났음을 보여주고 있다.

개야수로 지역은 1979-1990년 사이에는 -0.99~0m, 1990-1996년, 1996-2004년 사이에는 0.01~1m의 수심차가 높게 나타나고 있으며, 1979-2004년까지의 전체적인 수심변화를 볼 때 0.01~1m와 3m이상의 수심차를 보이는 곳이 각각 30%, 27%에 이르고 있다(그림 3, 표 3). 1979-1990년 사이에는 수심이 깊어진 지역이 다소 더 넓게 존재하는 것으로 나타났으나 1990년 이후부터는 수심이 얕아진 지역이 월등히 높은 값을 보이면서 개야수로 역시 퇴적작용이 우세하게 일어난 지역으로 분류되어진다. 외해에서 장항항으로 들어오는 길목이라 할 수 있는 개야수로와 군산내항-군산외항 지역의 얕아진 수심은 어선의 통행에 지장을 초래하며(서승원, 2004) 장항항과 군산내항이 항구로서의 역할을 수행하는 데 커다란 장애요소이므로 준설이 불가피한 대안임이 확인된다(지윤식, 2000).

대죽사주 지역은 1979-1990년 사이에는 -0.99~0m, 1990-1996년, 1996-2004년 사이에는 0.01~1m의 수심차가 높은 값을 나타내며, 특히 1990-1996년 사이에는 0.01~1m의 수심차가 전체 면적의 66.1%를 차지하고 있다(그림 3, 그림 4, 표 3). 1979-1990년 사이에는 수심이 깊어진 지역이 85%에 달하나 1990년 이후부터는 수심이 얕아진 지역이 더 많은 면적을 차지하면서 대죽사주 지역 또한 퇴적작용이 우세한 것으로 나타난다.

도류제 지역은 앞에서 언급한 4개 지역과는 달리 1979-1990년, 1990-1996년 사이에는 0.01~1m의 수

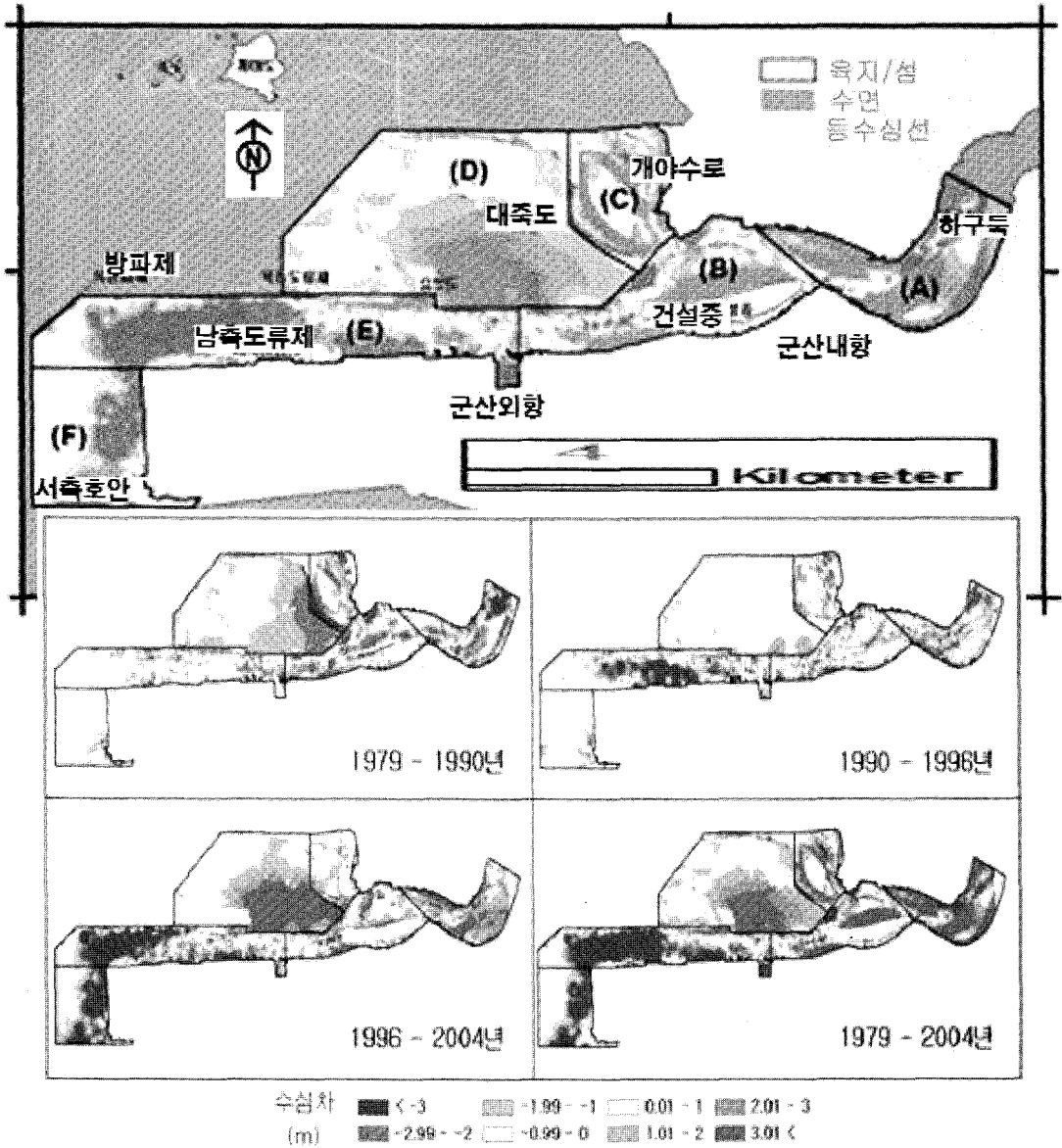


그림 3. 수심조사 단위지역 구분 (위)/ 지도 중첩을 통한 수심변화 추세평가 (아래)

초록색 계열로 표시된 부분이 과거에 비해 수심이 깊어진 지역을 의미하며, 붉은색계열로 표시된 부분은 수심이 얕아진 지역을 의미한다. 즉 초록색으로 갈수록 수심이 깊어지는 폭이 큰 것을 나타내고, 붉은색으로 갈수록 수심이 얕아지는 폭이 큰 것을 의미한다.

심차가 넓은 면적을 나타내지만, 1996-2004년 사이에는 -3m미만의 면적이 상당히 높게 나타나고 있다(그림 3). 1979-1990년 사이에는 수심이 얕아진 지역이 조금 우세하게 나타났으나 1990-1996년 사이에서부터 수심이 깊어진 지역의 면적이 61%로 점차 증가하고

있는 것으로 나타난다.

서측호안 지역은 1979-1990년에는 -0.99~1m, 1990-1996년 사이에는 0.01~1m의 수심차가 넓은 면적을 나타내지만, 1996-2004년 사이에는 0m미만의 수심차가 대부분의 면적을 차지하고 있음을 볼 수 있

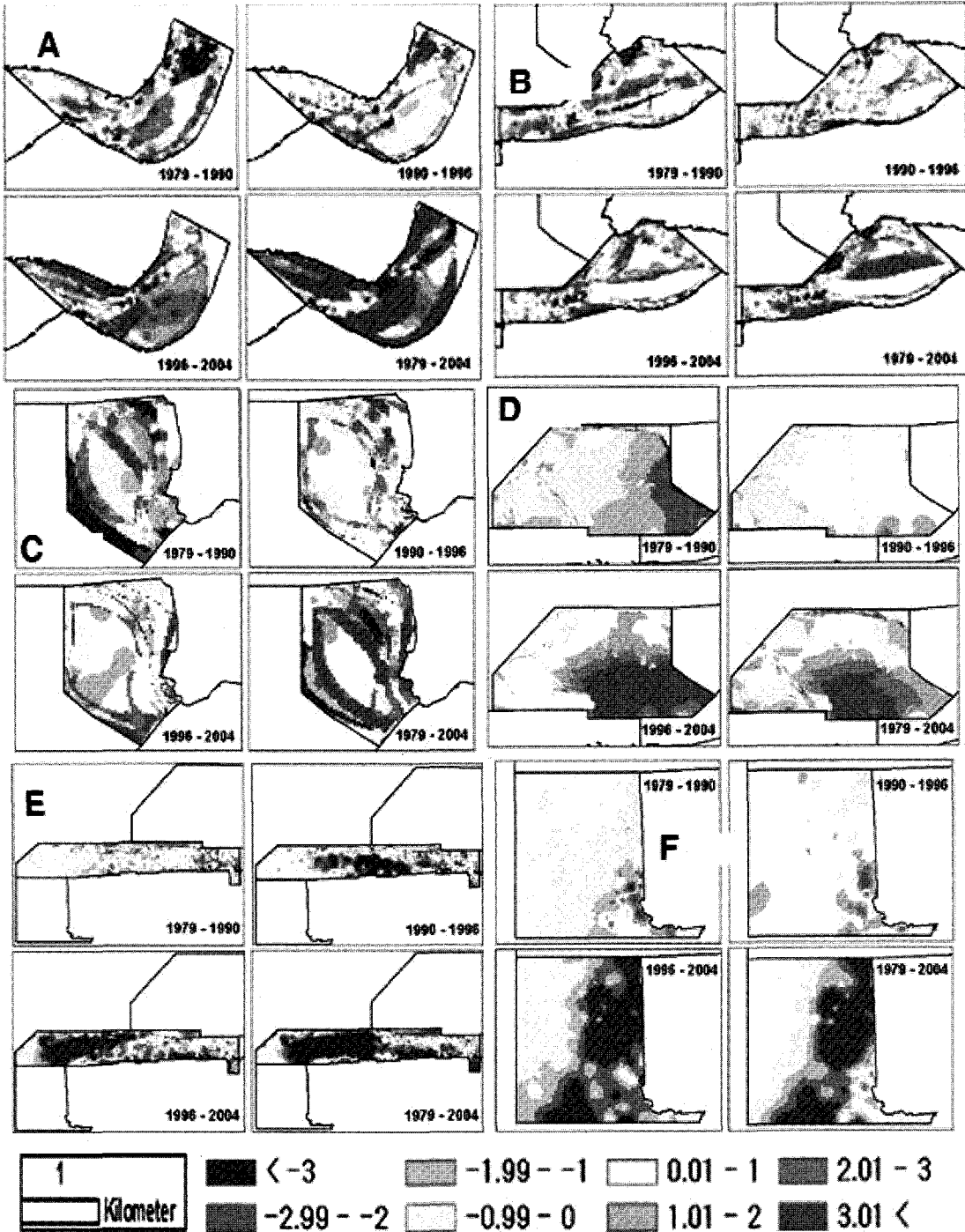


그림 4. 단위 지역별 수심 변화 추세

(A) 하구둑-군산내항 (B) 군산내항에서 군산외항 (C) 개야수로 (D) 대죽사주 (E) 도류제 (F) 서측호안

초록색 계열로 표시된 부분은 전년에 비해 후년의 수심이 깊어진 지역을 의미하며, 붉은색 계열로 표시된 부분은 수심이 얕아진 지역을 의미한다.



표 3. 개야수로-대죽사주 수심 변화 추세 비교 (면적별 백분율)

수심차 (m)	개야수로				대죽사주			
	79-90	90-96	96-04	79-04	79-90	90-96	96-04	79-04
< -3	16	2	1	8	1	0.2	0.0	0.2
-2.99 ~ -2	6	3	2	2	12	0.1	0.0	0.2
-1.99 ~ -1	8	5	4	7	28	1.0	0.2	7.3
-0.99 ~ 0	22	22	19	6	44	26.9	5.0	18.6
소계 (수심이 깊어진 비율)	52	32	27	23	85	28.2	5.3	26.2
0.01 ~ 1	15	43	41	30	11	66.1	42.4	27.2
1.01 ~ 2	16	11	16	10	3	5.2	15.9	18.7
2.01 ~ 3	10	9	6	10	1	0.4	8.0	12.1
3.01 <	7	5	10	27	0	0.1	28.4	15.8
소계 (수심이 얕아진 비율)	48	68	73	77	15	71.8	94.7	73.8

다(그림 3, 그림 4). 수심이 얕아진 곳과 깊어진 곳의 면적은 1979-1990년 사이에는 수심이 깊어진 곳의 면적이 조금 더 넓게 나타나고 1990-1996년에는 수심이 얕아진 곳의 면적이 월등히 높게 나타나며 1996-2004년에는 수심이 깊어진 지역의 면적이 월등히 넓게 분포하는 것으로 나타나면서 시기별로 교차되는 양상을 보이고 있다.

#### 4. 결과 고찰 및 논의점

1979-1990년의 수심변화 추세지도에서 군산외항에서 군산내항으로 이어지는 남수로와 매립이 한창 진행 중이던 서측호안의 수심이 얕아진 반면 대죽사주의 수심은 깊어진 것이 가시적으로 확인된다(그림 3, 그림 4). 1994년에 금강 하구둑 수문 폐쇄가 있었지만 1990-1996년 사이의 수심변화가 심하지 않는 것은 하구둑 수문 폐쇄가 단기간에 수심에 영향을 미치지 않았던 것으로 확인된다. 하구둑 수문 폐쇄 등 다양한 인위적 활동이 동시다발적으로 진행되었던 1996-2004년 사이에는 하구둑 전면과 대죽사주의 수심이 얕아진 것과 남·북측도류제 사이와 서측호안의 수심이 깊어진 것 등 수심의 변화가 가장 뚜렷하게 나타나고 있다.

1979-2004년까지의 전체적인 변화를 살펴보면 다소 깊어진 양상을 보이는 일부 수로를 제외한 하구둑 전면과 장항항-군산내항 사이의 공사 중인 인공섬 북측, 개야수로 일부, 대죽사주 등이 1979년에 비해 2m이상 퇴적층이 쌓이면서 얕아진 경향을 나타낸다. 이에 반해 남·북측도류제 사이와 서측호안은 3m이상 깊어진 지역이 넓게 분포하고 있다.

단위 기간별 수심 변화추세는 1979-1990년 사이는 -0.99~0m가 가장 넓게 분포하고, 1990-1996과 1996-2004년 동안에는 0.01~1m의 수심차가 가장 넓은 면적을 차지하고(그림 3, 그림 4, 표 4) 있어 개발활동의 존재 여부에 따라 수심이 변화하고 있다는 것이 확인되고 있다. 1979-2004년까지 -0.99~2m의 수심차가 연구지역의 67% 가량을 차지하고 있어 1990년 이후 수심이 얕아진 지역의 면적이 깊어진 지역에 비해 점차 넓어지고 있다는 가시적으로 확인된다. 1979-2004년까지의 전체적인 변화를 볼 때 수심이 깊어진 지역은 전체면적의 45.2%, 얕아진 지역은 54.8%로, 금강하구는 전반적으로 침식보다 퇴적작용이 우세한 지역이 더 넓게 분포하며 이러한 지역이 점진적으로 증가하는 추세임을 파악할 수 있다.

1985-2003년 사이에 약  $8.5 \times 10^7 \text{m}^3$ 의 퇴적물을 준설한 것을 고려할 때(군산지방해양수산청, 2003) 금강하구의 퇴적작용은 본 연구의 결과보다도 더 활발히

표 4. 연구지역 전체 수심 변화 추세 비교 (면적별 백분율)

수심차 (m)	79-90	90-96	96-04	79-04
< -3	2.2	2.3	5.3	7.4
-2.99 - -2	3.9	2.0	3.0	3.7
-1.99 - -1	10.3	3.6	4.8	7.8
-0.99 - 0	36.2	33.4	26.3	26.3
소계 (수심이 깊어진 비율)	52.5	41.3	39.4	45.2
0.01 - 1	30.5	50.4	41.5	27.7
1.01 - 2	8.8	5.6	7.3	12.7
2.01 - 3	4.7	1.5	3.9	5.4
3.01 <	3.6	1.3	7.8	9.1
소계 (수심이 얕아진 비율)	47.5	58.7	60.6	54.8

진행되고 있는 것이다. 이는 1994년 8월에 수문이 폐쇄된 하구둑, 1997년 10월 및 1998년 12월에 각각 완공된 북측, 남측도류제, 1998년 2월에 착공을 시작한 북방파제, 지속적인 서측호안 매립 등이 복합적으로 작용하여 금강하구는 1996년 이후 대체로 퇴적작용이 우세한 환경으로 변화된 것이 가시적으로 확인된다. 예외지역에 해당되는 남·북측도류제와 서측호안의 경우 이 지역이 매립 초기에는 하구의 직접 영향권에서 다소 떨어진, 근해에 가까운 환경이었다가 매립이 진행되면서 하구의 영향권으로 변이되는 과정에서 수심이 점점 얕아진 것으로 보인다. 그 이후 협수로에 기인한 조류속의 증가(신명식, 2004)와 매립공사에 사용하기 위해 2000-2003년 사이에 이 지역 부근의 토사를 상당히 많이( $7.7 \times 10^6 \text{m}^3$ , 군산지방해양수산청, 2003) 준설하게 되어 수심이 깊어진 것으로 추측된다.

금강 하구역은 지난 25년 동안 인간의 간섭에 의한 영향을 받아왔다. 해양 수심의 변화는 동시다발적인 간섭에 의하여 반응해 나가는데, 이런 수심 변화를 현지조사를 통해 거시적으로 관찰하기에는 쉽지 않다. 수심 변화 추세평가에 다시기 해도를 활용함으로써 기존의 현장조사 등에서 제공하던 정보에 비해 다양한 구조물의 축조 시기별로 다르게 나타나는 퇴적환경의 모자이크가 정량적이고 가시적으로 확인되었다.

도류제 안쪽, 서측호안 등을 제외한 하구둑 전면과 대죽사주 지역은 저조시 해저면이 4m이상 대기에 노

출되고 하구둑-군산내항, 군산내항-군산외항, 개야수로, 대죽사주 지역은 점점 수심이 얕아져 퇴적이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타났으며 이 경향은 내륙 쪽에 가까울수록 현저하게 나타난다. 금강하구둑 축조 및 수문 폐쇄로 인해 퇴적환경이 동력학적으로 하구둑 수문 폐쇄 이전의 활동적인 고에너지 상태에서부터 폐쇄 후 저에너지 상태의 환경조건으로 변이되어 육상 또는 바다로부터 공급, 운반되는 세립질 부유퇴적물의 퇴적작용이 급속히 진척되고 있음을 가시적으로 확인할 수 있었다.

서승원(2004)은 금강하구의 해저마찰응력장 변화 모의를 통해 퇴적변화를 고찰하였으며 금강하구둑 건설로 금강 상류로 전파되던 조석에너지가 이 일대에서 정체되고 최대마찰응력장이 현저히 줄어들었으므로 퇴적환경으로 전이된 것으로 밝히고 있다. 이 연구에서 제시된 금강하구의 해저마찰응력장의 변화와 본 연구에서 제시된 수심도의 변화는 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 이 연구는 현지 조사 기반의 연구와 지리 정보에 근간을 둔 연구결과를 연계시켜 금강 하구역에 대해 차별화되고 적절한 관리대책을 수립하는데 필요한 중요한 정보를 제공하고 있다.

공간 객체와 수심 변화의 상관성에 대한 분석을 통해 퇴적환경의 실상을 쉽게 이해할 수 있도록 하는 것이 본 연구의 중요한 목적의 하나이다. 강하구에 건설된 다양한 다양한 구조물에 대한 수심 정보제공 기능

은 광역퇴적환경의 공간변이의 실상을 그래픽 효과를 이용하여 보다 쉽게 전달할 수 있다는 객관적 사례를 제시하였다. 이것은 연구지역내 매물 토사와 수심변화의 상관관계를 규명하여 다른 지역에서 인공구조물에 따른 매물 토사의 행동을 예측하는 도구로 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

## 5. 결론

본 연구에서 제시된 GIS를 이용한 금강하구의 수심 변화의 시·공간 특성 평가는 지금까지 시도된 현장조사 기반의 퇴적환경평가 대한 상대적인 개념으로 GIS 기반의 평가 결과의 타당성을 제시하였다는 데 큰 의의가 있을 것이다. 본 연구가 후속 연구에 시사점을 제공하고 강하구 인공 구조물로 인한 수심변화 추세에 대한 정보 수요자들에게 작은 길잡이 역할을 할 수 있다면 연구의 가치가 있다고 할 것이다. 연구 결과는 서해안 강하구 퇴적환경 차이를 비교하는 자료로 이용될 수 있으며, 향후 강하구 인공구조물 관리체계의 설계를 위한 정보로서 활용될 수 있을 것이다. 또한 하구지형 변형으로 인한 해안지형 변화가 문제시되고 있는 해안지역 관리에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

GIS를 이용한 강하구 퇴적환경의 변화에서 개별 구조물이 해저마찰 응력장에 미치는 영향 또는 퇴적시기에 대한 논의는 이제 막 걸음마 단계에 있다고 해도 과언이 아니다. 강하구에 설치되는 인공 구조물은 급속히 늘어나고 있으며 구조물의 설치 기술, 방법 등 여러 가지 측면에서 많은 변화를 보이는 분야이기 때문에 GIS를 이용하여 이를 평가하기 위한 체계적인 이론이나 완성된 연구결과가 부족한 것이 사실이다. 본 연구에서 제시된 결과는 보완을 거쳐 객관적이고 효과적인 퇴적환경 평가시스템으로 활용 가능할 것으로 기대된다. GIS 기술이 기존의 토목, 해양 등 현지조사 위주의 학문에서 축적된 이론과 접목되게 됨으로서 차원 높은 강하구 퇴적환경 평가의 도구로 자리 매김하는 데 큰 역할을 할 수 있을 것이라 생각한다.

## 註

- 1) 칼라로 제작된 지도가 본 논문에서 흑백으로 출력되어 있으나 논문에서 칼라 지도에 의거 설명이 이루어지고 있어 칼라 지도를 보고자 하는 독자는 저자의 홈페이지 (<http://bh.knu.ac.kr/~jsaeom/>)를 참고하기 바람

## 文獻

- 군산지방해양수산청, 2003, 금강하구 수리현상 변화조사 보고서, (주)한국해양과학기술.
- 김명배, 2002, 금강하구 해수역의 흐름변화 특성에 관한 연구, 대전대학교 대학원 석사학위논문.
- 김성환, 2005, “하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화,” 대한지리학회지, 40(4), 416-427.
- 김태인, 2002, 금강하구의 해수유동과 퇴적과정, 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 김혜진, 2002, 인공 구조물이 해안 지형 형성에 미치는 영향: 포항 송도 해안 지역을 대상으로, 이화여자대학교 석사학위논문.
- 문정석, 2005, 해안구조물 주변의 해안선변화에 대한 연구, 관동대학교 석사학위논문.
- 박의준·구자용, 2003, “위성영상을 이용한 해안습지 지형경관 변화 분석의 효율성 평가,” 대한지리학회지, 38(5), 822-834.
- 서승원, 2004, “금강하구 퇴적변화 및 통행지장에 관한 후속도의,” 한국해양·해양공학회지, 16(4), 224-232.
- 신문섭·이동주·김재형, 2005, “하구둑 축조에 따른 흐름 특성에 관한 연구,” 공업기술연구, 5, 503-507.
- 신명식, 2004, 금강하구의 지형과 조류변화에 관한 연구, 군산대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 안봉호, 군산항 무엇이 문제인가, 전북일보, 2005년 4월 29일.
- 안승섭·최윤영·이수식, 2002, “수공구조물이 하천환경에 미치는 영향에 관한 연구,” 한국환경과학회지, 11(4), 309-317.
- 이길영·지윤식·한천규, 2000, “금강하구 해양퇴적에 관한 연구,” 대전대학교 산업기술연구소 논문집, 19, 57-73.
- 지윤식, 2000, 금강하구 표사이동 및 퇴적에 관한 연구, 대

전대학교 대학원 석사학위논문.

최병호 · 강경구 · 이석우, 1989, "금강하구의 조석 및 토사 이동," 한국해양 · 해양공학회지, 1(1), 31-43.

최진용 · 최현웅 · 서만석, 1995, "하구연 갑문폐쇄 후 금강 하구의 물리, 퇴적학적 특성변화," 한국해양학회지, 30(4), 262-270.

Danika, P., Robin, G.D., Davidson, A., and Jeff, O., 2006, Controls on spatial patterns of sediment deposition across a macro-tidal salt marsh surface over single tidal cycles, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69(1-2), 64-86.

Ruessink, B. G., Houwman, K.T., and Hoekstra P., 1999, Medium-term frequency distributions of cross-shore suspended sediment transport rates in water depths of 3 to 9 m, *Coastal Engineering*, 38, 25-46.

Weber, M. E., Stackelberg, U., Marchig, V., Wiedicke,

M., and Grupe, B., 2000, Variability of surface sediments in the Peru basin, dependence on water depth, productivity, bottom water flow, and seafloor topography, *Marine Geology*, 163, 169-184.

교신: 엄정섭, 702-701, 대구광역시 북구 산격동 1370, 경북대학교 사회과학대학 지리학과 부교수(이메일: jsaeom@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5229)

Correspondence: Jung-Sup Um, Associate Professor, Department of Geography, College of Social Sciences, Kyungpook National University, 1370, Sankyeok-dong, Buk-ku, Daegu, 702-701, South Korea(e-mail: jsaeom@knu.ac.kr, phone: 053-950-5229)

최초투고일 07. 1. 12.

최종접수일 07. 3. 14.