

금강하구 퇴적변화 및 통행지장에 관한 후측모의 Hind-casting Simulation of Sedimentation Changes and Passage Hindrance in Keum River Estuary

서승원*
SeungWon Suh*

요 지 : 지난 20여년간 다양한 공사가 시행된 금강하구에서 퇴적으로 인한 수로매몰을 분석하기 위하여 1988년부터 2000년까지 매 2년 간격으로 7가지 경우에 대해 단계별로 수치수동역학모형을 적용한 후측실험이 실시되어 바닥마찰응력의 변화와 상관된 퇴적을 평가가 실시되었다. 금강하구둑 건설로 최대마찰응력장이 약 1-2 N/m²에서 0.2-0.6 N/m²로 크게 줄어들고, 특히 1994년 금강하구둑의 수문 폐쇄 이후에 장항수로에서는 해저마찰응력이 한계마찰응력으로 제시된 0.4 N/m² 이하로 급감하면서 퇴적환경으로 전이되고 있는 것으로 분석되었다. 하구둑 건설은 금강 상류로 전파되는 조석에너지를 차단함으로써 조석수동역학의 급격한 변화를 초래하고 하구둑 전면에 퇴적환경이 급속도로 진행되는 직접적인 원인을 제공하고 있는 것으로 추론되었다. 소형어선의 통행지장을 겪는 장항수로의 매몰평가는 평균대조 조석을 적용하여 분석한 결과 기존에 비해 20% 이상 통행지장을 받는 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 금강하구, 수로매몰, 지장피해, 해저마찰응력, 퇴적, 후측모의

Abstract : Sedimentation changes related with bottom shear stress attenuation at JangHang channel in the Keum River Estuary, where several huge coastal constructions including an estuarine dam have been conducted for last 2 decades, were evaluated for 7 cases to figure out passage hindrance through the channel by a hydrodynamic model using hind-casting technique from 1988 to 2000 at every 2 years interval. Due to the construction of Keum River Estuary Dam, the maximum bottom shear stress rapidly lessened to 0.2-0.6 N/m² compared to 1-2 N/m² in natural status. Especially it marks below the critical shear stress of 0.4 N/m² resulting in severe siltation in the channel just after the closing of dam gates in 1994. It is concluded that the dam may block the tidal energy propagation to upstream and directly results in sedimentation environment in front of dam site. It is also revealed that at least 20% of passage hindrance of small fishing boats through the channel could be counted due to sedimentation by analysis of predicted mean spring tides.

Keywords : Keum River Estuary, siltation in channel, passage hindrance, shear stress, sedimentation, hind-cast simulation

1. 서 론

금강하구 일대에는 지난 20여년에 걸쳐 매우 다양한 공사가 진척되었다. 1983년부터 1988년까지 농어촌진흥공사에서 주관한 금강하구둑의 건설을 비롯하여 해양수산부에서 1990년부터 추진하였던 군산항 개발을 위한 북측도

류제 및 1992년에 시작된 남측도류제와 북방파제 그리고 토지공사에서 산업단지 개발을 위해 추진하였던 것으로 남측도류제와 연하여 시공된 서측호안 축조 및 매립 등의 공사가 활발하게 시행되었다. 농업기반공사에서 주관하는 새만금 방조제의 건설도 진행되는 등 매우 다양한 공사가 연속적으로 또는 동시에 시행되는 우리나라 서해안 개

*군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학전공(Department of Ocean System Engineering, Kunsan National University, Miryong, Kunsan, Chonbuk 573-701, Korea. suh@kunsan.ac.kr)

밭의 대표적인 해역으로 자리 잡고 있다. 그동안 금강하구에서는 매년 약 $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ - $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 의 준설을 실시하는 등(이석우, 1994) 항내 매몰을 방지하기 위한 종합적인 대책이 요구되어 금강하구 수리현상에 관한 수년간의 조사보고(군산지방해양수산청, 2002)가 있었고, 도류제 축조 등 퇴적을 방지하기 위한 방안이 마련되었다. 수년간 실측과 수치실험을 통하여 제시된 금강하구역의 퇴적현상을 집약하여 보고한 자료(이석우, 1994)에 따르면 금강하구역의 평균적인 해저퇴적물 입도는 수심 5 m 이상의 해역과 수로에서의 중앙입경은 0.06 mm 내외의 분포를 보인다. 퇴적에 대한 금강하구 주수로의 동적 평형을 수로의 안정성으로 평가한 결과로는 군산내외항의 최대바닥마찰용력이 각각 0.38 N/m^2 및 0.27 N/m^2 임을 제시하였다. 금강하구의 조석 및 토사이동에 관한 심층적인 연구를 초기 수행한 최병호 등(1989)은 하구둑을 막은 후에는 조류속 감소로 평형상태가 무너져 하구둑 전면에 큰 매몰현상이 일어날 개연성을 제시하고 있다. 수치모형을 동해역에 적용한 서승원(1998b)의 연구결과에 따르면, 실측과 수치실험 결과를 통하여 도출된 연구 성과로부터 금강하구역의 동적평형을 이루는 해저마찰용력은 0.4 N/m^2 로 보고되고 있다. 금강하구 일대 해역 수심은 해저마찰용력이 한계마찰용력보다 크면 세굴이 지속되고, 이보다 작으면 퇴적되는데 퇴적율은 $R = -0.37 - 0.40 \ln \tau$ 의 관계로 마찰용력과 관계가 있음을 제시하였고, 이 결과는 유사한 해역에서 침퇴적 경향 분석을 위해 유용하게 이용되고 있다.

금강하구에서 수년간 연구조사한 결과가 수록된 김태인 등(2002)의 연구에 따르면, 1994년 8월 하구둑 수문을 닫음으로 인하여 서승원(1998a)이 지적한 바와 같이 군산내항과 외항의 조차가 확폭되며, 외항은 내항보다 변화 폭이 작다고 제시하고 있다. 조석수동역학에 미치는 영향은 하구둑 완공이후에 수문을 닫음으로 인하여 반일 주조인 M_2 및 S_2 분조에 대해 군산 외항은 각각 4 cm 및 5 cm의 진폭의 증가가 유발되었고, 군산 내항은 더욱 크게 확폭되어 16 cm 및 12 cm 증가로 나타났으나, 일주조인 K_1 분조에 대해서는 진폭이 1 cm 낮게 낮으나 O_1 분조는 진폭의 변동이 거의 없는 것으로 분석된 바 있다. 조류도 내항수로의 대조 최강유속이 수문작동 전의 148 cm/s 에서 80 cm/s 로 46% 감소하는 등 군장항 전체의 유속이 크게 감소함을 지적하였다. 하구둑부터 도류제 입구에 이르는 군장항 전체수역의 퇴적량은 1985-1994년에 $3540 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ 에서 1995-2002년에 $6673 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$

로 증가하고 금강하구 매몰이 하구둑부터 외항 박지에 이르는 지역에서 활발하며 도류제 사이는 전체적으로 평형을 이루고 있다. 그러나 대조기 평균 부유사 농도는 수문작동전 $100\text{-}250 \text{ mg/l}$ 에서 작동 후 $40\text{-}60 \text{ mg/l}$ 로 크게 감소하였다. 이러한 부유사 및 유속의 관측 결과를 토대로 초기 추정한 일대해역의 퇴적물 수지는 하구둑에서 $1478 \times 10^3 \text{ ton/year}$ (39%), 개아수로에서 $1140 \times 10^3 \text{ ton/year}$ (30%) 그리고 도류제 입구를 통해 $1211 \times 10^3 \text{ ton/year}$ (31%)의 토사가 유입되어 군장항으로 연간 총 토사 유입량이 $3829 \times 10^3 \text{ ton/year}$ 에 다다른 것으로 추산하였다(군산지방해양수산청, 2002).

다양한 공사가 Fig. 1에 보이는 바와 같이 추진되면서 금강하구 해역은 자연상태에 비해 급격하게 변화되는 환경의 지배를 받게 되어 하구수동역학 변화는 침퇴적 변화로 이어져 예기치 못하였던 자연환경 및 사회경제적인 환경 피해를 유발하기도 한다. 대표적인 예로는 금강하구둑 건설로 인하여 금강하구역의 수동역학과 금강 중하류

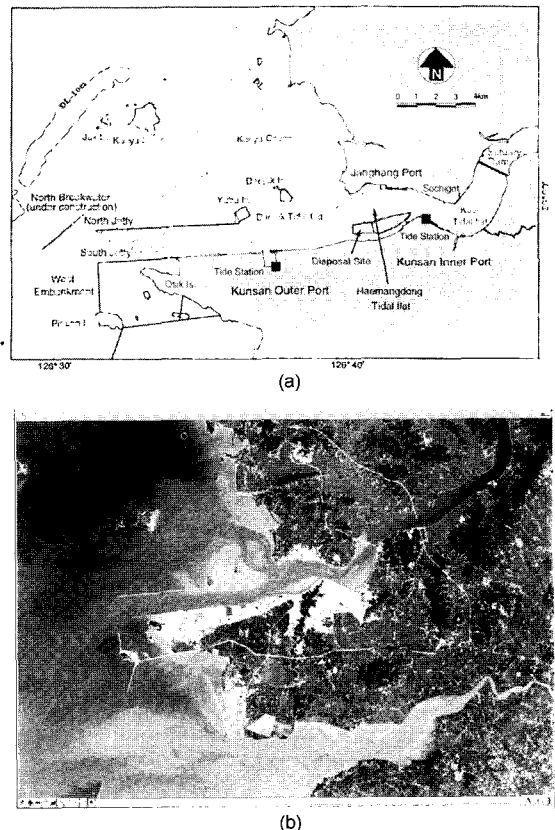


Fig. 1. (a) Map showing study area (after, Kim 2002), (b) Satellite image in 1996.

에 걸친 감소하천의 조석전파 특성이 일시에 소멸되면서 하구둑 전면을 포함한 군산내항 매몰과 이로 인한 항만 기능 상실을 초래하고 있는 것이 그것이다. 특히, 소규모 어선을 이용하여 연근해 어업에 활동하는 장항항의 어선들의 주 통행로로 이용하는 장항 개야수로 매몰은 통행 지장으로 인한 직간접적인 어민의 피해로 연결된다. 뿐만 아니라 대죽사주 등의 발달과 교호하여 나타나는 개야수로 낙조우세의 해안공학적 특성이 일시에 소멸되면서 장항수로를 통한 해수소통이 급감하고 하구둑 전면을 포함한 군산항 일대의 해수교환율이 저하되면서 수질 저하를 촉발하고 유수수송체계 교란으로 인한 침퇴적 환경변화가 매우 급속도로 발생하는 특이 환경으로 전환되는 것을 보이고 있다.

금강하구를 비롯한 하구역에서 해저질의 기작에 영향을 미치는 인자는 조류와 파랑 그리고 하천에서의 유사 공급 등이 복합적으로 작용한다. 유사와 거동은 부유사와 소류사의 복합적 거동으로 나타나게 되고, 금강하구와 같이 점착성 저질인 경우에는 더욱 복잡해져서 외력 변화와 함께 저니토 입자간 전기화학적 영향까지 고려하여 해석하여야 한다. 이처럼 복잡하게 나타나는 퇴적영향이 종국적으로는 해저지형을 변화시키며, 이에 따라 지형이 변화되기 때문에 본 논문에서는 이를 관찰한 결과를 토대로 다양한 영향이 퇴적현상 이해에 동시에 고려되도록 하였다. 즉, 일대해역에서 관측된 수심 변화와 수동역학적인 파라메타인 바닥마찰응력과의 상관관계를 이용하여 단순화함으로써 적응성을 높이도록 하였다. 세부적으로는 본 연구에서 기존 수심자료를 바탕으로 수치수동역학모형을 적용하여 하구둑 및 군산항의 남북측 도류계 건설 등 다양한 공사가 복합적으로 이루어진 군산항 일대에 대하여 금강하구둑 건설 전 단계부터 금강하구둑 건설 후 상황인 1988년부터 2000년까지 매 2년 간격으로 7가지 경우에 대해 단계별로 유동장 변화를 후측 실험하였다. 이로부터 유동실험과 연계하여 해저마찰 응력의 변화로 퇴적환경의 변화를 평가하며, 퇴적으로 인한 수심 변화를 주기적으로 살펴봄으로써 소형어선의 통행지장에 피해를 끼친 영향 정도를 살펴본다.

2. 해석방법 및 분석

전술한 바와 같이 금강하구 일대는 매우 급진적으로 공사가 진척되면서 자연환경 변화를 촉발하였으나, 당시에는 충분한 연속적인 현장관측이 부실하였고 제한적으로

이루어졌다. 퇴적변화 평가와 함께 소형 어선의 지장피해 평가가 실시되는 장항수로 일대 해역은 선행연구(서승원과 김정훈, 2003)에서 ADCIRC 모형(Luetlich, 1992)과 TIDE3D 모형(Walters, 1987)을 적용하여 간사지 유무가 수동역학에 미치는 영향이 검토된바 있으며, 제시된 결과에 따르면, 개야수로를 통과하는 단면에서는 낙조량이 현저히 크게 나타나고 창조시 최강 유속이 낙조시 최강 유속보다 크게 나타나지만 전체적으로 창조 시간보다 낙조 시간이 길게 나타난다. 이와 같은 결과는 금강하구 수리현상조사를 보고한 자료(군산지방해양수산청, 2001)의 결과와 유사하게 금강하구 해역이 낙조 우세임을 보이고 있다.

금강하구 해역에 대해서는 향후 변화될 수 있는 환경에 대한 충분한 정보를 확보하기 위해 가능한 한 다량의 실시간 자료의 획득과 함께 현황과 장래의 상황을 동시에 모의할 수 있는 nowcasting-forecasting 방법이 적용되어야 하지만 여러 가지 제한사항으로 아직까지 국내에서 이와 같은 접근은 활발하지 못하다. 대안으로 채택할 수 있는 방법은 본 고에서 접근하는 것처럼 사후의 시점에서 과거를 재현해보고 이를 토대로 향후의 변화 가능성에 대해 모의를 하면서 부정적인 영향이 나타나게 되면 이에 대한 저감방안을 수립하는 것이 효과적일 수 있다. 따라서 본 연구는 현재의 시점에서 지나간 과거의 상황을 재현해 볼 수 있는 방법으로 수치모형을 이용한 후측(hindcasting) 방법을 이용하여 퇴적변화와 통행지장에 대한 평가를 심층적으로 다룬다.

적용하는 수치모형은 이미 국내외에서 다양한 조건에 적용되어 그 신뢰성이 입증되고 선행연구(서승원, 1998b)에서 이미 동일 해역에 대해 관측자료와 비교검증이 완료된 모형으로 본 경우와 같이 불규칙한 해역에 적용하는데 뛰어난 유한요소모형으로 비선형의 조석을 모의하는 TEAnI 모형(Baptista *et al.*, 1989)을 적용한다. 이 수동역학모형을 적용하여 변화되는 환경에 대한 유속 및 해저마찰응력 등 수동역학적 변화를 정량적으로 가늠하면서 서승원(1998b)이 제안한 $R = -0.37 - 0.40 \ln \tau$ 의 관계를 토대로 장항수로 일대의 퇴적환경변화를 해석한다.

2.1 실험개요

본 연구에 사용된 TEAnI 모형은 당 해역 이외에 이미 국내에서 다수의 현장 적용경험이 있는 모형으로 조류운동을 묘사하는 지배방정식은 수심 평균화된 형태의 Navier-Stokes 방정식으로서 천수해역에서 조석전파를 만

Table 1. Modeling scenarios for sedimentation simulation

Scenarios		Finite element system		Remarks
cases		No of elements and nodes		
case-0	1988년 이전	7958, 4242		· 금강하구둑 건설 전
case-1	1990년 상황	8035, 4267		· 북측도류제(639 m) · 군산외항호안공사(4,716 m)
case-2	1992년 상황	8029, 4269		· 군산외항호안공사완공 · 북측도류제(2,087 m)
case-3	1994년 상황	8020, 4287		· 금강하구둑 수문폐쇄 · 북측도류제(3,798 m) · 남측도류제(530 m)
case-4	1996년 상황	8016, 4325		· 북측도류제완공(7,100 m) · 남측도류제(1,700 m) · 서측호안(1,605 m)
case-5	1998년 상황	8077, 4379		· 남측도류제(2,912 m) · 서측호안(2,248 m) · 새만금4호방조제(1,900 m)
case-6	2000년 이후	7560, 4079		· 북방파제 완공 · 남측도류제와 서측호안 체질 · 새만금4호방조제(2,840 m)

족스럽게 설명한다. 본 논문에서는 모형의 이론에 대해 재 기술하지 않으며, 선행연구(서승원, 1998b)의 내용을 참조한다. 후측 수치실험은 Table 1에 설정한 실험안과 같이 1988년 이전 상황부터 매 2년 간격으로 하구둑 건설, 도류제 건설 등으로 인한 금강하구의 유동 변화와 함께 해저마찰응력장 변화를 모의하고 그 결과를 비교분석 한다.

2.2 실험결과 및 분석

수로의 퇴적변화실험은 대상해역에서의 지형변화에 따른 유동장 변화로 인한 퇴적변화를 가늠하기 위하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 대상해역에서 수로구간을 포함하는 주요 4개의 정선을 설정하여 실시한다. 먼저 관심이 집중되는 장항수로를 중심으로 위치한 곳에 정선-A를 선정하였고, 주수로 부분을 중심으로 하여 정선-B를, 그리고 내항 준설토 투기장 부분에 정선-C를 선정하였다. 소형 어선의 주 출입로로 이용되는 개야수로 매물로 인한 통행지장 평가를 위해 정선-D를 선정하였다. 이 정선-D에서는 응력변화와 함께 수심 변화를 평균대조시 1개월을 설정하여 조위변화에 따른 통행가능 일수의 평가를 실시한다. 정선-A, B, C에 대해서는 앞서 설정한 매 2년간의 수심변화, 유속변화 그리고 해저마찰응력 변화를 산정하여 평가하도록 하였으며 이로부터 장항수로 퇴적환경 변화추이를 분석한다.

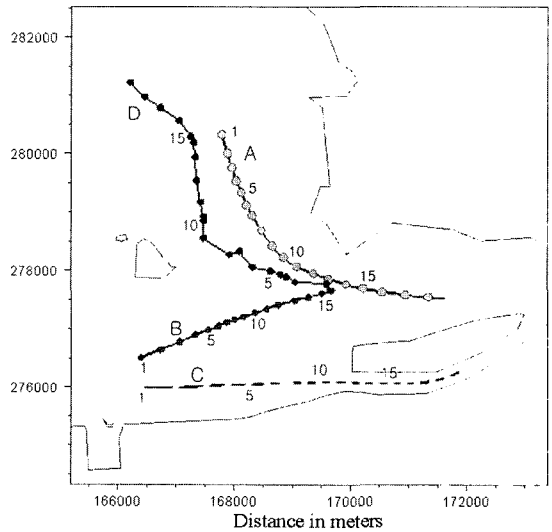


Fig. 2. Four reference lines along stations for comparison of sedimentation in the channel.

수치 수동역학모형을 적용한 결과를 분석하면 금강하구둑 건설전인 자연상태의 대조시 창조시에는 유부도와 장항 사이의 수로에서는 0.6-1.5 m/s 내외의 왕복성 유동장이 형성되고 있으며, 장항과 인공섬 사이 수로에서는 1.0-1.8 m/s의 강한 유동장을 나타내고 있다. 그러나 1990년 이후 상황은 금강하구둑 건설로 인한 금강상류 방향으로 조석전파가 차단되고, 지형적인 변화로 인하여 유부

도와 장항 사이와 장항과 인공섬 사이 수로에서는 0.3-0.6 m/s 정도로 과거의 유동장에 비해 현저히 낮은 유동장을 나타내고 있다.

유부도와 장항측 사이 수로지역에서는 금강하구둑 수문폐쇄 전·후에 급격한 유속 변화가 나타나고 있으며 특정 지역에서는 0.6-0.9 m/s의 유동장이 0.2-0.3 m/s로 급격하게 변화된다. 해저마찰응력의 상세한 변화에 대해서는 균장항 일대를 포함한 결과가 그림으로 Fig. 3에 유한요소 격자시스템과 함께 제시되고 있다. 균산외항과 장항 사이 주수로 사이도 개야수로와 유사하게 금강하구둑 수문폐쇄 전인 1988년부터 1992년 상황과 수문폐쇄 후 상황인 1994년부터 2000년 상황에서 최대마찰응력장이 약 1-2 N/m²에서 0.2-0.6 N/m²로 크게 감소된다. 균산외항과 가호안 균산측 사이의 지역 역시 유사한 경향이 나타나고 있다. 특히 정선-A에 대해 수치실험에 의해 1988년부터 매 2년단위로 산출된 평균해면으로부터 해저까지의 수심 그리고 평균유속 및 해저마찰응력이 제시된 Table 2와 Fig. 3을 토대로 분석한 바에 따르면 과거 상황과는 달리 1994년 금강하구둑의 수문 폐쇄 이후에 대부분의 장항수로 정점에서는 해저마찰응력이 일대해역의 한계마찰응력으로 제시된 0.4 N/m² 이하에 속하게 됨으로써 퇴적환경으로 급속도로 전이되고 있음이 확인하다. 특히 유부도와 장항측 사이의 수로지역에서는 하구둑 건설 영향으로 0.4-0.6 N/m²의 최대마찰응력장이 0.2 N/m²으로

크게 변화됨을 알 수 있다.

퇴적변화 및 수로매물 평가를 위해 설정한 정선-A, 정선-B, 정선-C에 대한 해저마찰응력 변화를 후측모의하여 비교한 Fig. 4에서 살펴보는 바와 같이, 1988년 이전의 상황은 모든 정선의 정점에서 해저 마찰응력이 1-2 N/m²로 동적평형 한계로 보고된 0.4 N/m² 이상으로 상당히 양호한 환경을 유지하고 있었음을 알 수 있다. 그러나 하구둑이 건설되기 시작하면서 일부 정점에서는 한계응력으로 표시한 0.4 N/m²선 이하로 떨어지면서 수로의 매물 가능성이 점차 야기되는데, 이러한 추이는 정선-A에 속한 10번 정점까지인 즉, 장항수로 일대에서 확연하게 나타난다. 그러나 균산항 주수로 구간에 접어드는 이후의 정점과 기타 정선-B에서는 동적평형 한계치에 근접하면서 퇴적과 세굴이 교호 발생함을 제시한다. 내항가호안과 주수로 구간에 설정한 정선-C에 속한 정점들에서는 대부분의 응력이 한계응력 이상의 값을 보이면서 수로매물과는 무관한 경향을 보이고 있는 것으로 평가되었다.

이상의 수치실험에 의한 과거 자료와의 비교 결과 유부도 수로 매물은 금강하구둑 건설 후 수문을 닫은 1994년 말을 기준으로 매물이 확연하게 급속히 진행되고 있음을 알 수 있다. 실제의 자료분석 뿐만 아니라 앞서 실험한 해저마찰응력 변화를 분석한 결과에서도 동일하게 나타난다. 더욱이 1996년 이후에는 수로 기능을 상실할 수 있는 정도로 매물이 진행되고 있는 바 이러한 영향은 하

Table 2. Changes of hydrodynamic parameters affecting sedimentation along line-A in Fig. 2

No	X-coord	Y-coord	Depth(m)								Velocity(m/s)								Max bottom shear stress(N/m ²)							
			1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000			
1	166398.6	276502.2	3.84	3.38	2.64	3.58	3.69	2.56	2.56	0.61	0.78	0.65	0.27	0.30	0.28	0.28	0.40	0.22	0.20	0.21	0.18	0.21				
2	166734.5	276637.8	3.74	0.63	1.55	3.35	3.84	1.31	1.31	0.64	0.75	0.63	0.24	0.28	0.24	0.24	0.43	0.19	0.15	0.16	0.17	0.15				
3	167063.0	276772.8	3.62	0.26	1.68	3.05	3.69	1.54	1.54	0.69	0.76	0.62	0.24	0.27	0.25	0.25	0.47	0.20	0.14	0.16	0.15	0.17				
4	167327.7	276888.2	3.62	0.06	1.83	2.95	4.01	1.96	1.96	0.76	0.79	0.70	0.24	0.27	0.24	0.24	0.57	0.19	0.15	0.14	0.15	0.16				
5	167545.1	276972.1	3.62	-0.51	1.81	3.20	4.43	2.16	2.16	0.80	0.82	0.73	0.25	0.26	0.26	0.25	0.61	0.23	0.16	0.18	0.13	0.18				
6	167717.1	277038.1	3.62	-0.17	2.00	3.59	4.35	2.62	2.62	0.85	0.82	0.79	0.27	0.26	0.25	0.25	0.68	0.19	0.17	0.20	0.14	0.18				
7	167867.2	277097.2	3.62	0.29	1.55	3.80	4.22	2.41	2.41	0.94	0.91	0.80	0.28	0.28	0.25	0.25	0.80	0.22	0.18	0.22	0.16	0.18				
8	168002.0	277146.7	3.62	0.76	0.83	4.29	4.01	3.44	3.44	1.10	0.98	0.90	0.26	0.32	0.28	0.27	1.08	0.24	0.21	0.20	0.21	0.23				
9	168157.5	277201.7	3.63	1.48	3.70	4.36	3.69	2.09	2.09	1.28	1.06	1.01	0.25	0.37	0.30	0.29	1.42	0.28	0.25	0.17	0.30	0.27				
10	168349.1	277267.2	4.10	4.41	4.20	3.91	3.69	2.41	2.41	1.44	1.19	1.31	0.35	0.42	0.35	0.34	1.92	0.32	0.40	0.36	0.39	0.37				
11	168559.5	277334.7	4.41	4.88	5.89	5.18	3.69	2.94	2.94	1.57	1.46	1.51	0.43	0.48	0.39	0.38	2.39	0.51	0.52	0.51	0.49	0.46				
12	168754.4	277399.7	4.54	5.58	5.09	5.48	3.69	4.27	4.27	1.75	1.68	1.67	0.43	0.62	0.46	0.45	3.12	0.69	0.68	0.55	0.83	0.64				
13	169032.5	277472.4	4.63	5.05	5.13	5.57	5.25	6.43	6.43	1.76	1.82	1.54	0.38	0.64	0.55	0.55	3.25	0.83	0.51	0.38	0.86	0.65				
14	169269.0	277532.1	5.85	5.61	7.20	7.03	7.24	6.14	6.14	1.61	1.49	1.57	0.41	0.56	0.53	0.53	2.13	0.47	0.50	0.33	0.50	0.48				
15	169489.9	277589.2	3.94	5.06	4.52	5.09	5.95	3.91	3.91	1.05	1.16	1.03	0.20	0.49	0.11	0.23	1.01	0.22	0.18	0.12	0.46	0.12				
16	169653.6	277641.2	2.67	3.69	3.43	3.32	3.69	3.15	3.15	0.97	1.19	0.87	0.11	0.42	0.26	0.26	1.13	0.22	0.11	0.07	0.41	0.19				

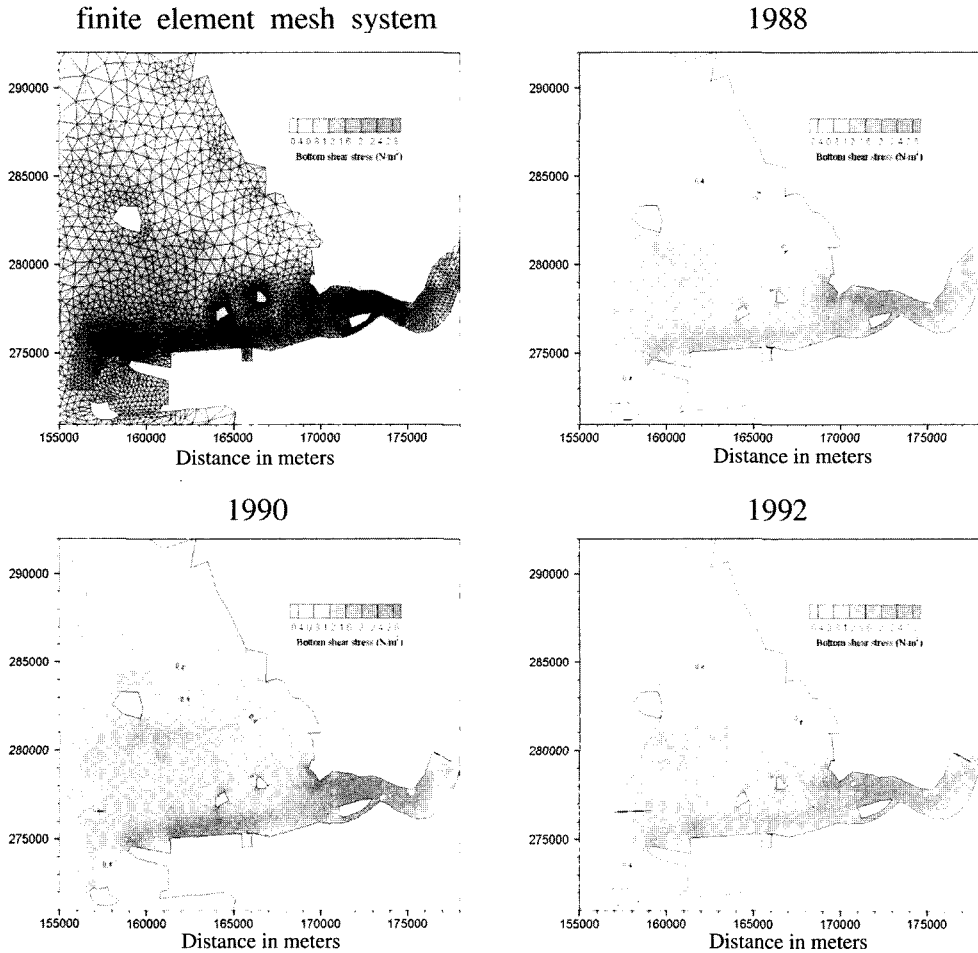


Fig. 3. Finite element mesh system and bottom shear stress changes at every 2 years from 1988 to 2000.

구독 축조로 인하여 금강 상류로 전파되던 조석에너지가 이 일대 해역에서 정체되고, 복측도류제가 유부도까지 연장되면서 가일층된 것으로 평가할 수 있다.

2.3 통행지장평가

수로매몰로 인한 통행지장 피해평가를 위해 장항 선적 소형 어선들의 충남해역으로의 주 출입로로 이용되는 정선-D를 따라서 설정한 정점들에 대해서 과거 수심 변화와 함께 가상의 조석 조건인 평균대조시의 1개월에 대한 조위변화를 검토함으로써 지장피해에 대한 평가를 정량적으로 수행하도록 하였다. 대표정점으로 정선-D의 정점 6을 취하였다. 과거 2년 간격의 수심변화를 검토한 결과인 앞서의 Fig. 3의 응력장 변화를 분석하면, 1988년 이전에는 자연상태의 세굴과 퇴적이 교대로 일어나면서 퇴적환

경이 다소 우세한 상황이 보인다. 이후에는 장항수로 일대에 준설이 실시되어 1990년, 1992년에는 통행의 지장을 초래하는 수심 이상으로 개선된 상황으로 전환되었다. 그러나 수치실험결과에 따르면 금강하구독의 수문이 닫힌 1994년 상황 재현 결과는 동일 정점에서 퇴적환경으로 전이되면서 수로 매몰이 야기되고, 이전의 상황에 비해서 통행에 지장을 받는 날이 많아지는 것을 예견하게 한다. 계속된 실험 결과는 하구독 수문이 닫힌 이후에 이러한 추세는 더욱 심화되면서 소형어선 통행에 필요한 수심인 2.5m의 확보가 어렵게 된다. 따라서 수로매몰로 인한 통행지장 피해를 정량적으로 평가하기 위하여 수치모형에서 도출된 평균대조시 1개월간의 조위변화를 정선-D의 정점에서 바닥표고와 함께 도시하여 Fig. 5에 제시하였으며, 여기서 보듯이 후측을 통한 모의 결과에서는 예를 들어

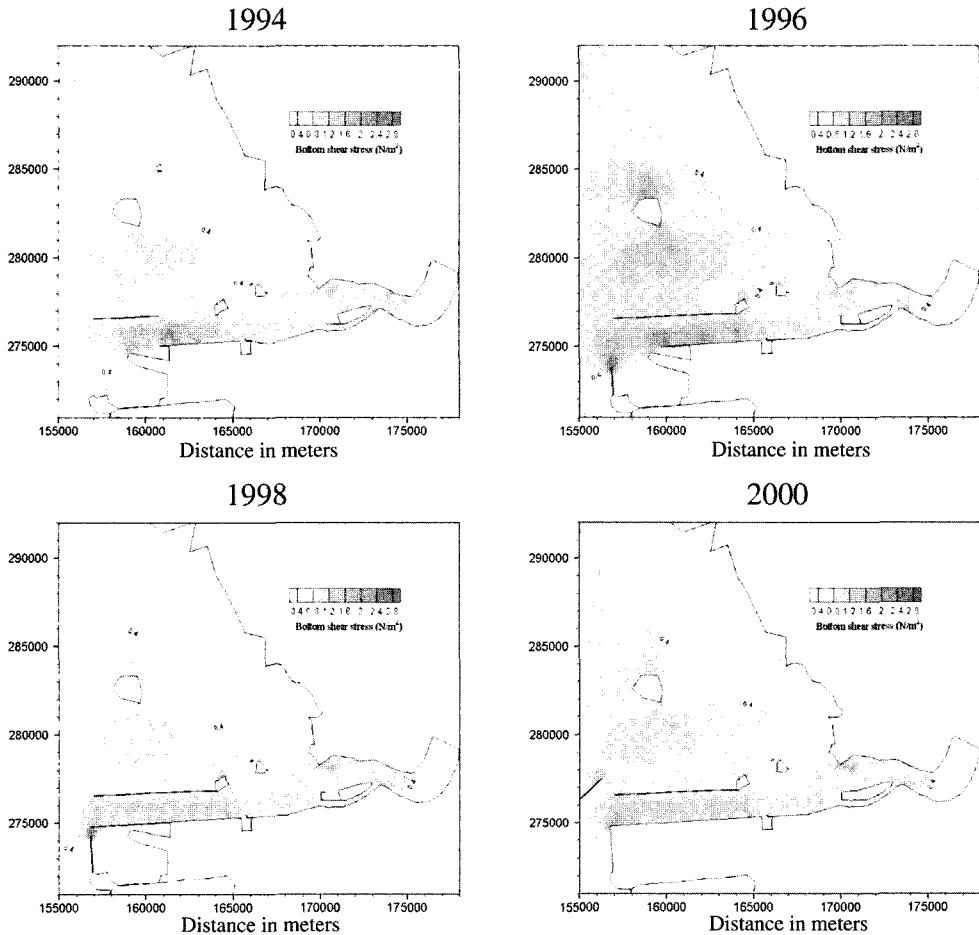


Fig. 3. Continued.

2000년도의 평균조석이 적용되는 임의의 한달 30일 중 통행이 가능한 시간이 80%로 급격히 줄어들게 되고, 주야간의 시간대별로 활동가능한 시간이 줄어드는 것을 고려하면 소형어선의 주 출입로로 이용되는 장항수로 퇴적으로 인한 통행지장 피해는 심화됨을 알 수 있다.

3. 결과고찰 및 결론

금강하구에서 지난 20여년간 매우 다양한 공사가 이루어졌고 또 현재에도 진행되고 있어 이에 따라 일대 해역의 수동역학이 변화가 불가피하고 이에 연유하여 기존 수로의 퇴적으로 여러 가지 부정적인 영향을 초래 받고 있다. 본 연구에서는 이러한 과거의 현상을 후측하는 방법으로 수동역학 수치모형을 적용하여 그 변화추이를 분석할 수 있었으며, 관심이 집중되는 장항수로에서의 퇴적변

화 원인과 현상에 대해 면밀하게 살펴볼 수 있었다. 수치실험에 따르면 군산항과 장항항 사이의 주수로 구간도 개야수로와 유사하게 금강하구둑 수문폐쇄 전인 1988년부터 1992년 상황과 수문폐쇄 후 상황인 1994년부터 2000년 상황에서 최대마찰응력장이 약 1-2 N/m^2 에서 0.2-0.6 N/m^2 로 크게 줄어들고, 1994년 금강하구둑의 수문 폐쇄 이후에 대부분의 장항수로 정점에서는 해저마찰응력이 일대해역의 한계마찰응력으로 제시된 0.4 N/m^2 이하에 속하게 됨으로써 퇴적환경으로 급속도로 전이되고 있는 것으로 분석되었다. 이와 같은 응력장의 변화와 퇴적 관계는 선행연구(서승원, 1998b)에서 군산항 일대해역에서 조사 연구한 결과와도 상관성이 있으며, 퇴적환경 변화를 분석하기 위해서는 응력변화를 검토하는 것이 효과적일 수 있음을 알 수 있다.

본 고에서는 상세하게 언급하지 않았지만, 수치실험 이

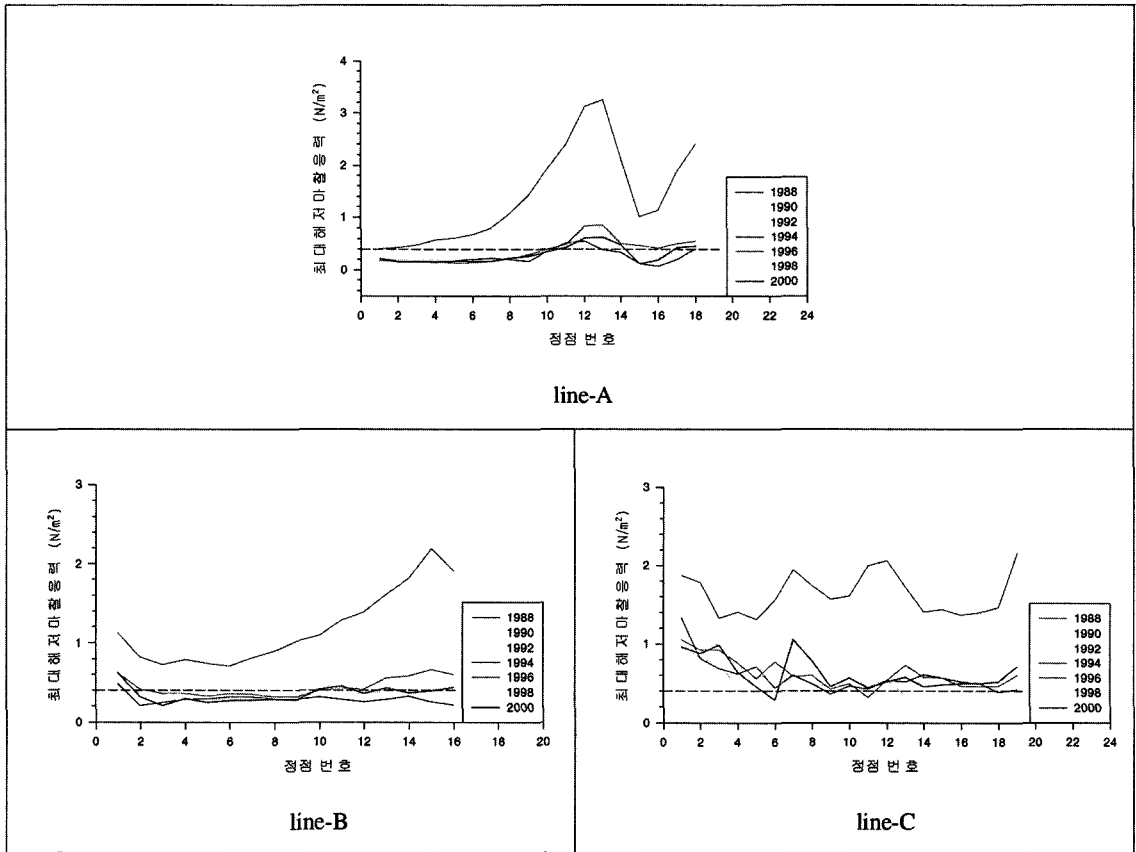


Fig. 4. Variation of maximum bottom shear stresses along line-A, B and C in Fig. 2.

외에 간접적인 해석방법으로 Fig. 1에 보이는 바와 같은 인공위성 영상 및 항공사진자료에 의한 과거 자료와의 비교 결과, 유부도의 수로 매몰은 금강하구둑 건설 후 수문을 닫은 1994년 말을 기준으로 매몰이 확연하게 급속히 진행되고 있음을 알 수 있었다. 더욱이 1996년 이후에는 수로의 기능을 상실할 정도로 매몰이 진행되고 있는 바, 이러한 영향은 하구둑 축조로 인하여 금강 상류로 전파되던 조석에너지가 이 일대 해역에서 정체되고, 복측도류제가 유부도까지 연장되면서 가일층 된 것으로 분석할 수 있다. 수로 매몰로 인한 통행지장의 정도를 분석하기 위하여 평균대조 1개월간 조석을 적용하여 분석한 결과는 소형어선이 기존 수로를 이용하는데 20% 이상의 상당한 지장피해를 받으며, 장항항을 출발하여 충남해역으로 조업을 하기 위해서는 도류제를 따라 군산 내외항을 거쳐 외해역으로 진출해야 하므로 시간과 경비의 낭비 요소이외에 군산외항에서 대형선박의 입출항의 안

전에 위해요소로 작용할 수 있는 등 부정적인 효과가 예상된다.

금강하구 일대 해역에서 시행된 각종 공사는 금강 상류로 전파되는 조석에너지를 차단함으로써 조석수동역학의 급변적인 변화를 초래하고 금강하구둑은 조석에너지가 전파되지 못함으로써 하구둑 전면에서 퇴적환경이 급속도로 진행되는 직접적인 원인 제공을 하고 있는 것으로 분석되었다. 특히, 장항수로 매몰도 하구둑의 수문 닫음 이후에 급속히 진행되고 있는 것이 수치모형을 이용한 후측을 통해 밝혀졌다. 후측모의를 통해 수립된 본 수동역학 수치모형을 실시간 현장관측과 연계된 nowcasting-forecasting과 연계하여 활용한다면 장항수로를 포함한 금강하구 일대의 수동역학적 변화와 퇴적환경 변화 추이를 정밀도 높게 예측함으로써 부정적인 자연환경의 변화를 사전에 예방하고 사회경제적인 기대효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

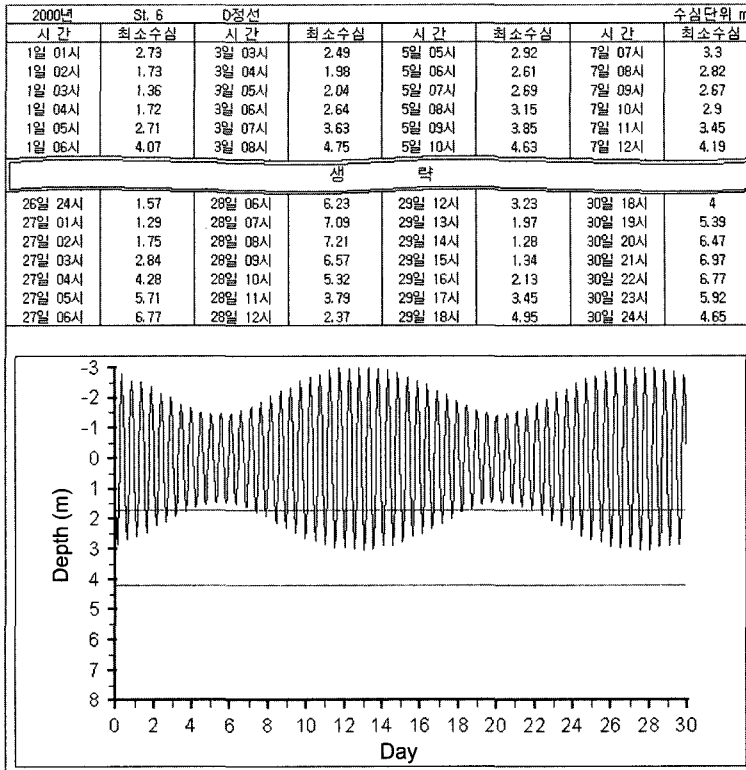


Fig. 5. Hourly tidal elevation variations at st. D-6 for mean spring tide and plotted tidal ranges for a month with bottom elevation and depth for small boat passage.

감사의 글

본 연구는 연구진흥을 위한 해양개발연구소 2003년 특별연구사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

군산지방해양수산청 (2002). 금강하구 수리현상변화조사 보고서.
 김태인 (2002). 금강하구의 해수유동과 퇴적과정. 박사학위 논문, 성균관대학교.
 김태인, 조준성, 이석우, 김도연 (2002). 군장항의 매물현황과 원인. 군장수로 매물저감을 위한 workshop, 5-23.
 서승원 (1998a). 금강하구역의 수동역학적 변화(1) -관측자료를 중심으로-. 한국해양해양공학회지, 10(1), 10-17.
 서승원 (1998b). 금강하구역의 수동역학적 변화(2) -수치실험을 중심으로-. 한국해양해양공학회지, 10(1), 18-26.
 서승원, 김정훈 (2003). 조석수동역학 모의에서 조건대 침

수-노출 고려효과 비교연구. 한국해양·해양공학회지, 15(2), 97-107.

이석우 (1994). 한국항만수리지. 집문당.
 최병호, 강경구, 이석우 (1989). 금강하구의 조석 및 토사이동. 한국해양·해양공학회지, 1(1), 31-43.
 Baptista, A.M., Westerink, J.J. and Turner, P.J. (1989). Tides in the English Channel and Southern North Sea. A frequency domain analysis using model TEA-NL, Adv. Water Resources, 12, 166-183.
 Luetlich, R.A., J.J. Westerink. and N.W. Scheffner (1992). ADCIRC: an advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts and estuaries. Dredging Research Program Technical Report DRP-92-6, 137 p.
 Walters, R.A. (1987). A model for tides and currents in the English Channel and southern North Sea. Advances in Water Resources, 10, 138-148.

Received September 3, 2004
 Accepted December 9, 2004