

# 목포해역의 조류특성 변화 및 소류사 이동에 미치는 영향성

## Changes of Tidal Currents Characteristics and their Effects on Bed Sediment Transport near the Mokpo Coastal Zone

강주환\* · 문승록\*\* · 박선중\*\*\* · 고진석\*\*\*\*

Ju Whan Kang · Seung Rok Moon · Seon Jung Park · Jin Seok Ko

### 요 지

영산강하구언과 영암 및 금호방조제 건설에 의해 목포해역에서는 조석확폭현상이 발생하여 만조위가 상승함에 따라 저지대에 침수피해를 야기시킨 바 있다. 이는 목포구의 'tidal choking effect' 기능이 상실됨에 기인한다는 결론을 선행연구(강주환, 1996)에서 얻은 바 있다. 본 연구에서는 선행연구에 비해 전체 영역이 확대되었으며 격자크기가 작아졌을 뿐 아니라 관심영역에는 세부역을 도입하여 더욱 세밀한 격자체계를 구성하였다. 이에 따라 조간대 처리가 한층 정밀해졌으며, 천해조 경계조건 부여와 함께 낙조우세를 실제에 가깝게 재현시킬 수 있게 되었다. 또한 방조제 건설후 낙조우세가 심화되는 과정을 모의할 수 있게 됨에 따라 소류사 이동양상의 변화된 패턴 역시 파악할 수 있었으며, 만조위 상승에 따른 침식유발 효과와 더불어 인근 해역의 침식 원인을 부분적으로 규명할 수 있었다.

**핵심용어** : 조석확폭현상, 천해조, 낙조우세, 하구언 / 방조제, 소류사

### 1. 서 론

최근 지구온난화 및 계절적 변화요인에 따른 평균 해수면 상승과 각종 연안구조물 건설에 따른 만조위 상승, 무분별한 골재채취 등의 연안개발과 태풍 및 폭풍해일 등 기후조건 변화가 연안 침식의 원인으로 작용되고 있다. 이에 따라 연안 저지대 및 습지의 범람과 갯벌자원의 축소, 강이나 지하수로의 해수유입에 의한 수자원 오염, 조석과 파동의 변화에 의한 기존 연안 시설물의 설계조건 변화 및 퇴적물 이동의 변화로 인한 연안 지형변화 등이 발생하고 있다. 오재경 등(2002)은 서남해안과 같이 조석이 우세한 연안에서 조석은 해안의 지형과 퇴적환경에 영향력을 발휘하는 주요한 요소로서, 특히 만조시에는 자연방파까지 해수면이 상승하는 지역에서 여름철의 태풍이나 겨울철의 강한 바람에 의한 파랑이 직접적으로 해안선에 영향을 미치게 된다고 하였다. 따라서 건설에 따른 조석확폭현상과 함께 소류사 이동 양상을 파악하고자 본 연구에서는 심한 낙조우세를 보이는 청계만을 포함하는 목포해역을 대상해역으로 하였다.

선행연구에서 영산강 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포해역 조석환경변화(강주환, 1996; Kang, 1999)와 '창조우세' 및 '낙조우세'가 각각 매우 극명하게 대비되고 있는 금강하구와 영산강하구 모형에서 소류사(강주환 등, 2002a)와 부유사 이동(강주환 등, 2002b)을 규명한 바 있다. 수치모의시 천해조를 경계조건에 포함시키는 것이 매우 중요하다는 연구 결과를 토대로 관심영역에 대한 세부역을 도입하여 조간대 처리가 한층 정밀해지도록 세밀한 격자체계를 구성하였고 적절한 천해조 경계조건 부여로 낙조우세를 실제에 가깝게 재현하였다. 또한 하구언 및 방조제 건설후 낙조우세가 심화되는 과정을 모의함에 따라 소류사 이동 양상의 변화된 패턴을 동수역학적 특성과 함께 파악하고, 건설로 인한 조위 상승에 따른 침식유발 효과와 더불어 인근 해역의 침식 원인을 부분적으로 규명하고자 하였다.

\* 정회원 · 목포대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jwkang@mokpo.ac.kr

\*\* 정회원 · 목포대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : smugman@mokpo.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 목포대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : sjpark@mokpo.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · (주)헤이인엔씨 대표이사 · E-mail : kojs@hyein.com

## 2. 목포해역의 해수유동 특성

목포인근해역에서 천해조 경계조건 부여에 따른 조석비대칭 현상을 시기별 낙조우세 변화 양상과 함께 재현하고, 이에 따른 유사 이동 양상의 변화를 파악하기 위하여 하구언 및 방조제 건설시기별로 영산강 하구언 건설이전(1961~1981, BSD), 영산강 하구언 건설이후부터 영암방조제 건설이전(1981~1991, ASD), 영암방조제 건설이후부터 금호방조제 건설이전(1991~1994, AYA), 금호방조제 건설이후(1994~현재, AKH)로 구분하여 해석하였다. 그림 1 (a)와 같이 동·서로는 영산강 일부와 나주군도까지 100km, 남·북으로는 진도로부터 함평만까지 96km 영역으로, 광역모형의 격자수는 x와 y방향 각각 500개와 480개이며 공간격자간격은 양방향 각각 200m이고 시간간격은 15 sec로서 Courant 수는 2.12로 설정하여 수치모의를 실시하였다. 그리고 MIKE 21의 nested grid 기능을 이용하여 그림 1 (b)와 같이 광역 격자간격의 1/3인 67m 격자간격의 세부역을 추가하여 각 건설시기별 수치모의를 통해 청계만의 조간대가 낙조우세에 미치는 영향과 이러한 조류특성이 목포인근해역에 미치는 영향을 파악하였다. 시행착오로 얻어진 경계조건으로 금호방조제 건설후인 현재상황을 재현하여 선행연구(강주환, 1996)와 동일한 주요지점에서 조위를 비교한 결과 선행연구에 비해 크게 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 특히 주관심대학지점인 목포항에서는 건설시기별로 1cm 이내 오차를 나타내고 있다.

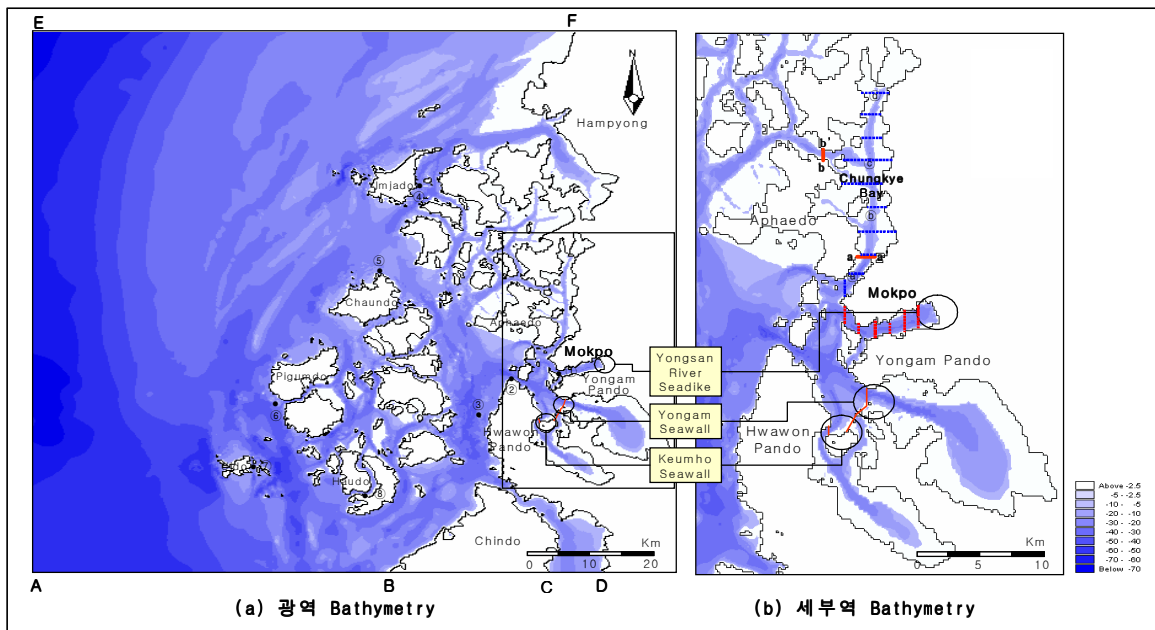


그림 1. 목포해역의 수심도

검증된 경계조건에 천해조의 포함여부에 따른 목포항에서의 낙조지속시간의 변화를 표 1에 나타내었는데 천해조를 포함한 경우 낙조우세가 심화되고 있으며 실제 관측값과도 동일한 경향을 나타낸 반면, 그렇지 않은 경우 낙조우세가 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이는 기존연구(강주환 등, 2001)에서 밝힌 바와 같이 실제 해역의 수치 해석시 경계조건에 천해조의 포함여부가 조석비대칭 재현에 반드시 필요함을 알 수 있다. 표 2는 청계만 내부해역에서의 창·낙조시 조량을 나타낸 것으로 목포항쪽 수로(a-a')의 경우 영산강하구언 건설 이전에 비해 금호방조제 건설이후 창·낙조시 29.3%와 19.2%의 조량 증가를, 시하해쪽 출구인 압해도 북단 수로(b-b')의 경우는 창·낙조시 29.1%, 31.5%의 조량 감소를 보이고 있다. 이처럼 하구언 및 방조제 건설로 인해 a-a' 단면은 조량과 조류속 모두 창·낙조시 상당히 증가한데 반해 b-b' 단면은 오히려 감소하였다. 이러한 변화는 청계만 해역의 해수유통이 하구언 및 방조제 건설에 따라 하구언 건설이전과는 달리 목포항쪽으로의 영향이 증대됨에 따라 청계만 해역의 낙조우세적 조류특성이 목포항에 직접적인 영향을 미치게 되었

음을 알 수 있다. 이러한 해수유통의 변화는 목포항쪽 수로로부터 청계만 해역으로의 해수 유·출입을 억제 하던 목포구의 'tidal choking effect'의 소멸에 따른 것으로 강주환(1996) 및 Kang(1999)의 내용과 일치하고 있다.

표 1. 건설시기별 목포항에서의 낙조지속시간(hr)

구 분		ASD	AYA	AKH
관 측 값		5.46	5.40	5.33
계산값	천해조 포함	5.43	5.28	5.27
	천해조 무시	6.02	6.07	6.17

표 2. 건설시기별 조량비교(m<sup>3</sup>/s/m)

단면	BSD		ASD		AYA		AKH	
	창조시	낙조시	창조시	낙조시	창조시	낙조시	창조시	낙조시
a-a'	556.62	693.71	609.16	720.22	688.20	803.45	719.84	827.19
b-b'	457.82	359.31	396.43	299.40	345.68	264.92	324.61	246.15

### 3. 건설시기별 소류사 이동양상

목포해역은 하구언 및 방조제 건설에 따라 낙조우세는 심화되고 있으며, 이러한 조석곡선의 비대칭성에 따라 최강창조류와 최강낙조류 간에 차이가 발생하게 된다. 소류사의 움직임은 유속의 6승에까지 비례함 (Ackers and White, 1973)을 감안하면 창·낙조시 토사의 이동량에는 적지 않은 차이가 발생하게 되었을 것이다. 이에 목포해역의 조류특성의 변화에 따른 소류사 이동 양상의 변화를 파악하고자 경계조건에 천해조를 부여한 경우의 해수유통 수치실험 결과를 토대로 ST 모듈에 적용·모의하였다. 사용된 소류사량 산정공식은 선행연구(강주환등, 2002a)에서 영산강과 금강 표준모형에 활용된 바 있는 Engelund & Hansen 공식을 선택 하였다.

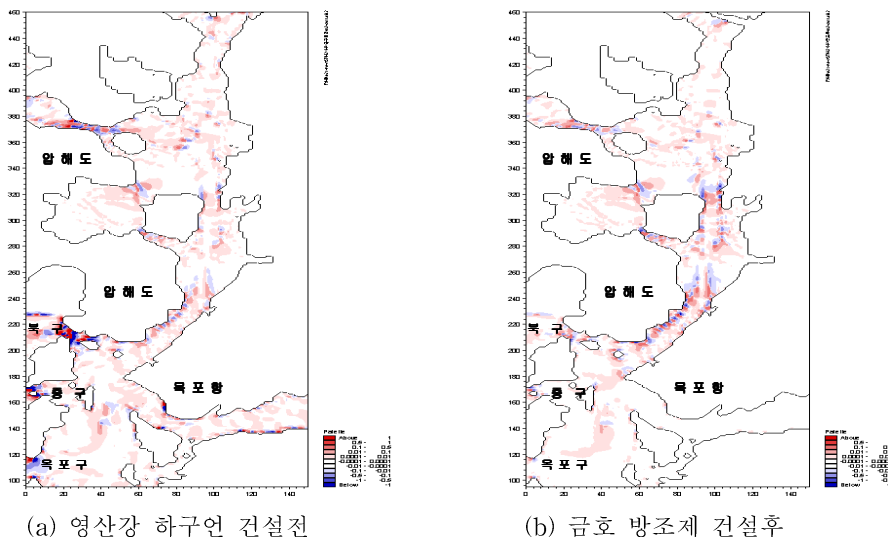


그림 2. 건설시기별 하상 변동률(m/day)

그림 2는 건설시기에 따른 목포항 및 청계만 전 영역에서의 하상변동률(m/day)를 도시한 것으로 각 건설 시기별로 목포항, 목포구, 중구, 북구 및 압해도 북단에서는 침식 및 퇴적량이 감소 양상이 확연히 나타나고 있다. 이러한 양상은 하구언 및 방조제 건설로 인한 목포구의 'tidal choking effect'의 소멸(강주환, 1996)에

다른 것으로 목포구를 비롯한 압해도 북단 해역에서의 조류속 급감 및 조랑 감소에 의한 것이다. 반면, 청계만 내부 해역에서는 하구언 및 방조제 건설에 따라 진술한 조류특성 변화에 기인하여 청계만 증류 해역에서는 비교적 약한 침식 및 퇴적량의 증가 양상이 나타나고 있으며, 특히 방조제 건설이후 하류단면인 압해도 동남쪽 해역에서는 침식 및 퇴적량의 증가 양상이 뚜렷이 나타나고 있다.

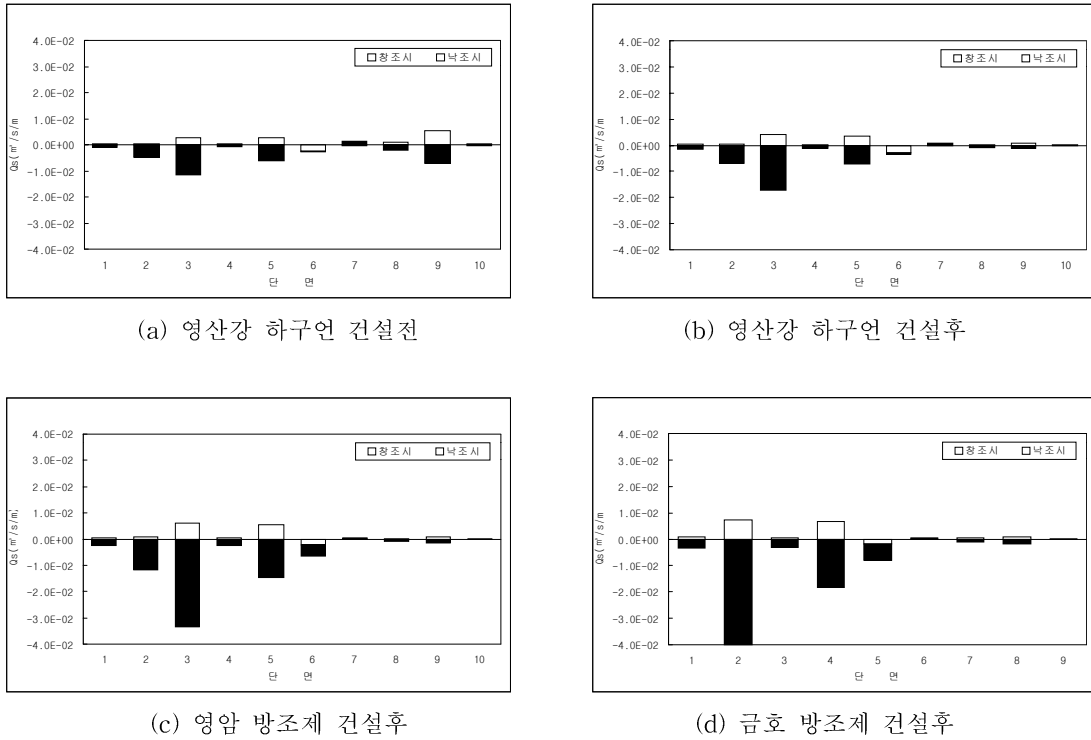


그림 3. 건설시기별 청계만 해역의 소류사 이동양상

각 건설시기별 청계만의 상류방향 단면별 주 흐름방향( $Q_s$ )에 대한 그림 3과 같은 창·낙조시 유사 이동량( $m^3/s/m$ )을 살펴보면 하구언 건설이전에는 낙조시의 이동량은 목포항 인근의 청계만 입구에서 약간의 우세를 보이며 상류방향으로는 창조시와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 하구언 건설후 낙조시의 유사 이동량의 변화가 증가하기 시작하였으며 방조제 건설로 점차 심화되었는데, 금호방조제 건설이후 청계만 입구에서는 낙조시 유속의 증가로 인해 여타의 단면에 비해 크게 이동량이 증가함을 보이고 있다. 이는 청계만 해역의 낙조우세적 조류특성의 심화에 직접 기인한 것으로 낙조우세가 형성된 해역에서는 전구간에 걸쳐 소류사가 하류방향으로 이동되는 양상을 나타내어 Lanzoni 등(1998), 선행연구(강주환등, 2002a)의 결론과도 일치하고 있다.

표 3. 건설시기별  $dz/dt$  변화

대상영역	시기	영역합계 $dz/dt$ $\Sigma$ (m/day)	전체영역 격자 수	침식 격자 수	영역평균 $dz/dt$ (m/day)
청계만	BSD	-32.692	10,170	7,852	-4.16E-03
	ASD	-32.457	10,170	7,924	-4.10E-03
	AYA	-52.200	10,170	7,945	-6.57E-03
	AKH	-59.906	10,170	8,117	-7.38E-03
압해도 북단	BSD	-11.872	2,989	827	-1.44E-02
	ASD	-6.135	2,989	827	-7.42E-03
	AYA	-3.281	2,989	828	-3.96E-03
	AKH	-2.529	2,989	829	-3.05E-03

표 3은 그림 1 (b)의 세부역에서 청계만 내부와 압해도 북단의 수로의 영역에 대하여 각 건설시기별 침식에 따른 하상변동률을 비중 2.65, 중압입경 0.2mm의 입자를 대상으로 수치모의한 결과이다. 하구언과 방조제 건설로 인한 조위상승으로 시기별 동일영역의 침식되는 격자수가 증가하는 양상을 보이며, 압해도 북단 영역은 건설로 인하여 유속이 감소했다는 관측과 부합되어 하상변동률이 다소 감소하였고, 청계만은 목포항 부근의 청계만 입구의 유속이 증가하여 영역 전반에 크게 기여하고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 MIKE 21의 nested grid 기능을 이용하여 각 건설시기별 수치모의를 통해 청계만 및 목포항에서의 낙조우세 심화 경향을 재현하였고, 조석비대칭 및 조석확폭이 목포해역의 소류사 이동에 미치는 영향을 파악하였다. 경계조건에 천해조를 포함한 경우 낙조우세가 심화되는 경향과 함께 목포해역에서의 낙조 지속시간도 재현이 가능하였다. 반면 천해조를 고려하지 않을시는 상반된 결과를 보임으로 선행연구(2001, 강주환 등)에서 하구모형에 적용된 결과와 동일하게 실제해역에서도 조간대 발달이 두드러진 해역에서는 수치실험시 경계조건에 천해조의 고려여부가 매우 크게 작용함을 알 수 있다.

하구언 및 방조제 건설로 인한 목포구의 'tidal choking effect'의 소멸은 목포구, 중구, 북구를 비롯한 압해도 북단 해역에서의 조류속 급감 및 조량 감소를 가져왔으며 동시에 조위상승을 야기하였다. 이러한 해수 유동의 변화는 건설시기별 목포항 내부수역과 압해도 북단수로에서의 하상변동률 감소로 나타나고 있으며, 청계만 해역의 낙조우세 심화로 인해 청계만 중류 해역에서는 비교적 약한 침식·퇴적량 증가를, 청계만 입구의 압해도 동남쪽 해역에서는 뚜렷한 증가 양상이 나타나고 있다. 해안 침식 및 유사이동 등의 고찰을 위해 주요 변화지점에 대한 지속적인 모니터링과 함께 소류사 뿐만 아니라 부유사 이동 등에 대한 수치모의를 실시하여 전지구적 관심인 해수면상승등의 해수면 상승과 연계하여 다양한 연구가 수반되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10164-0) 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. 강주환(1996). 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포해역의 환경변화, **대한토목학회 논문집**, 제16권 제II-6호, pp. 611-619
2. 강주환, 문승록(2001). 천해조가 발달된 하구에서의 조석과 전파특성, **한국해양·해양공학회지**, 제13권 제1호, pp. 56-60
3. 강주환, 문승록, 박형섭(2002a). 천해조가 발달된 하구에서의 소류사이동 특성, **대한토목학회논문집**, 제22권 제4-B호, pp. 531-538
4. 강주환, 문승록, 안성모(2002b). 천해조 및 조간대가 발달된 하구에서의 부유사이동 특성, **한국해양·해양공학회지**, 제14권 제3호, pp. 201-208
5. 오재경 등(2002). 대조차환경 침식연안의 퇴적학적 특성, **한국지구과학회**, 제 23권 제7호, pp. 565-574
6. Ackers, P. and White, W.R.(1973). Sediment transport: new approach and analysis. *J. of the Hydraulics*, ASCE, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041-2060.
7. Lanzoni, S. and Seminara, G.(1998). On tide propagation in convergent estuaries. *J. of Geophysical Research*, Vol. 103, no. C13, pp. 30793-30812.
8. Kang, J. W.(1999). Changes in tidal characteristics as a result of the construction of Sea-dike/Sea-walls in the Mokpo coastal zone in Korea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.48, No.4, pp. 429-438