

## 청계만 조석확폭에 따른 조간대 확대의 영향성 Effects of Enlargement of Tidal Flat by Tidal Amplification in Chungkye Bay

문승록<sup>1</sup>, 박선중<sup>2</sup>, 강주환<sup>3</sup>  
Seung Rok Moon<sup>1</sup>, Seon Jung Park<sup>2</sup> and Ju Whan Kang<sup>3</sup>

### 1. 서 론

청계만은 함평만, 탄도만과 함께 무안연안을 구성

하고 있으며, Fig. 1과 같이 청계만은 압해도와 내륙 사이에 위치하며 남측으로 목포해역, 서측으로 탄도만과 인접해 수로로 연결되어 있다.

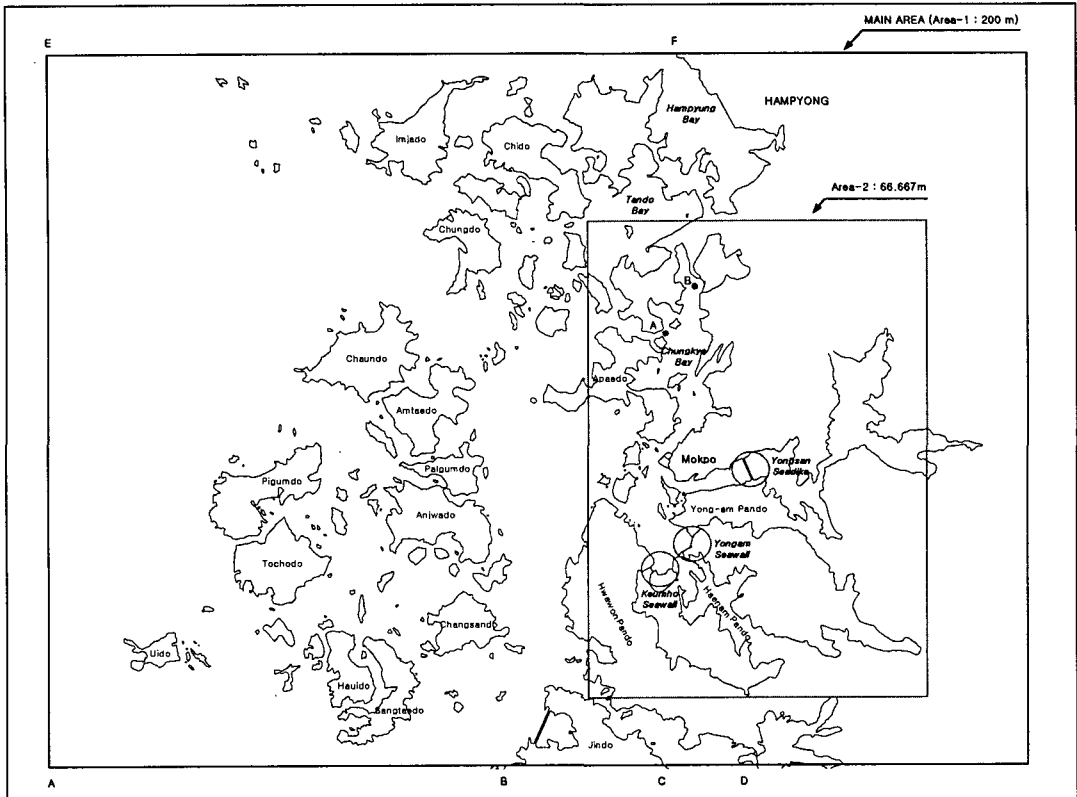


Fig. 1. 청계만 광역 및 세부해역도

- 1 목포대학교 토목공학과 박사수료
- 2 목포대학교 토목공학과 석사과정
- 3 목포대학교 토목공학과 교수

또한 청계만의 주요 특징으로 조간대가 광범위하게 발달되어 있어 낙조우세적 조류특성이 심하게 나타나고 있으며, 수로국(1983, 1994)에서 측정한 조류속 자료에 따르면 목포항 인근해역에서는 전체적으로 조류속이 하구언과 방조제 건설전에 비해 감소된 반면 청계만에 포함되는 압해도 동남쪽에서만 50% 정도 증가된 조류속을 보이고 있다. 뿐만 아니라 양식 어장에도 건설시기별 변화가 야기되고 있으며 해안 침식도 가속화되고 있다. 이처럼 영산강 하구언과 영암 및 금호방조제 건설로 인하여 청계만에 큰 변화가 나타나고 있음에도 불구하고 상대적으로 목포항 및 내부해역에 비해 관심을 받지 못하고 있다. 본 연구에서는 건설시기별 조석확폭현상이 청계만에 가져온 변화양상을 조간대와 관련하여 시기별로 고찰하여 그에 따른 영향성을 살펴보고자 한다.

## 2. 조석확폭에 따른 조간대 규모 확대

군산과 목포해역에서의 하구언 및 방조제 건설에 따른 평균해수면과 평균고조위 및 평균저조위의 변화를 보면, 군산내항의 경우 금강 하구언 건설에 따라 평균저조위는 별 변화없이 평균해수면과 평균고조위는 상승하였다. 반면 목포항의 경우는 영산강하구언과 영암 및 금호방조제 건설로 평균고조위는 상승, 평균저조위는 하강하였으며 평균해수면은 큰 변화를 보이지 않는 등 조석확폭현상이 발생하고 있다.

하구언과 방조제 건설에 따른 조석확폭이 발생한 범위 및 크기를 파악하기 위해 청계만 및 목포해역을 포함한 영역에서 수치실험을 실시하였다. 대상영역은 동서로는 영산강 일부와 나주군도까지 100km, 남북으로는 진도로부터 함평만까지 96km 영역으로 광역모형의 격자수는 x와 y방향 각각 500개와 480개이며 공간격자간격은 양방향 모두 200m이고, MIKE 21의 'nested grid 기능'을 활용하기 위해 청계만에서는 광역모형 격자간격의 1/3(66.67m)로 세부역을 추가함으로써 좀더 정확한 조간대 모의를 도모하였다. 대상해역의 수심도는 전자해도를 바탕으로, 조간대상의 수심자료는 연안해역도 및 기타 실측자료로 보완하여 다음과 같은 방법을 통하여 생성하였다. 전자해도는 각 해도별로 수록하고 정보에 따라 수많은 Layer로 구성되어 있는데, 지점의 수심은 SOUNDG\_, 등수심선은 DEPCNT 그리고 육지경계선은 종류에 따라 각각 COALNE\_, SLCONS, DAMCON\_ 등의 Layer로 구분되어 있다. 수심생성에 필요한 Layer만 표시한 후 육지경계가 폐합이 아닌 곳은 폐합이 되도록 해서 자료 내삽시에 오류를 방지하고, Explode 명령을 실행

하여 등수심선과 육지경계와 같이 연결된 요소를 분해하여 개개의 도면 요소들로 변환시킨다. 이 과정을 통해 육지 경계 곡선의 재현을 최대화 할 수 있으며 내삽 자료의 수가 증가하므로 보다 정밀한 수심도 생성이 가능하게 된다. 목포해역은 조간대가 발달된 해역으로 조간대상의 수심자료가 충분하지 않아 보안을 위해 국립지리원의 연안해역도 정보를 활용하고, 수정된 전자해도에 실측된 조간대 수심을 입력하는 등의 방법을 활용하였다. 보안 과정을 거쳐 .DWG 또는 .DXF 형태의 확장자로 저장된 전자해도는 다양한 프로그래밍 언어를 활용하여 수심자료로 변환이 가능하다. 본 연구에서는 DXF 파일을 수심자료로 변환하는 방법을 이용하였는데, DXF 파일은 text 형태로 자료가 표현되므로 Rearrange 과정만으로 파일 자체에서 수심도 생성에 필요한 자료의 추출이 가능하였다. 그 밖에 시간간격은 15 sec로서 Courant 수는 2.12로 설정하였고, 경계조건 등의 주요입력자료와 광역 모형의 검증은 강주환 등(2004)에 수록된 동일한 방법으로 실시하였다.

Fig. 2(생략)는 영산강하구언 건설이후와 현재 상황인 금호방조제 건설이후에 대한 진폭의 변화를 나타낸 것으로서 목포항을 중심으로 서쪽으로 목포구, 북쪽으로는 압해도 북단을 지나서 변화 양상이 급격히 둔화됨을 보이고 있다. 청계만을 포함한 목포구 내부해역은 전체적으로 조석확폭의 영향이 크게 나타나고 있다.

목포해역은 하구언과 방조제 건설에 따라 조석확폭이 발생하여 고조위는 상승하고, 저조위는 하강하였는데, 특히 조간대가 발달된 청계만에서는 이러한 조석확폭현상에 의해 조간대 규모가 확대되었을 것이고 이로 인해 시기별 낙조우세가 심화되었을 것으로 판단된다. 그러나 청계만 내부에서의 관측자료는 매우 미미하여 각 건설시기별 낙조우세의 정량적 검증은 매우 어려운 상황이므로 기존 관측자료(강주환, 1998), 그리고 낙조우세와 조간대 규모의 관계(강주환 등, 2004)로부터 유추하고자 한다.

목포해역 광역 모형의 결과로부터 그림 1에 광역과 함께 도시된 청계만 세부역 모의에 필요한 자료를 획득하여 조간대 모의가 가능한 'flooding and drying' 기능을 활용하여 각 시기별 조위가 평형상태를 나타내는 시점까지 모의를 실시하였다. 광역 외해경계조건에 대표조석 M2분조와 천해조인 M4분조를 함께 부여하여 실제해역에서와 같이 낙조우세도 재현되도록 하였다. 모의 결과로부터 각 건설시기별 조간대 규모의 증감을 파악하기 위해 시기별로 구분하여 고조위와 저조위에 해당하는 조위를 확인한 후 청계만

에서 고조위의 wet-depth를 보이는 격자 수에서 저조위의 wet-depth를 보이는 격자 수를 감하여 표 1(생략)과 같이 하구언과 방조제 건설에 따라 청계만에서 조간대 규모가 증가하였음을 알 수 있다.

### 3. 건설시기별 낙조우세 심화

청계만에서 조간대 유·무에 따라 조간대를 모의하는 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 낙조우세 경향이 심화된다(강주환 등, 2004)는 결과를 반영하면, 청계만에서 건설시기별 조간대 규모가 증가하게 되므로 하구언과 방조제 건설로 청계만에서는 낙조우세가 점차 심화되었을 것으로 예상된다. 그림 3은 건설시기에 따른 청계만 내부의 두 지점(그림 1)의 낙조지속시간을 보인 것으로, 예상한 것과 동일하게 건설에 따라 A, B지점에서 낙조우세 경향이 발전되고 있음을 알 수 있다. 관측자료에 의하면 금호방조제 건설후에 A지점은 4.87h, B지점은 4.56h의 낙조지속시간을 보이고 있다.

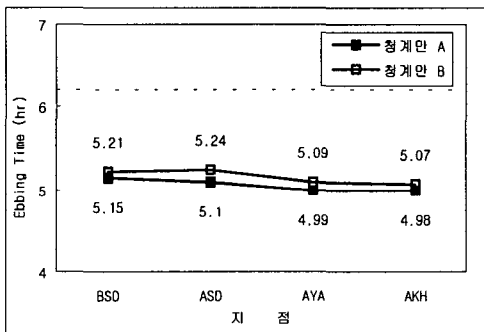
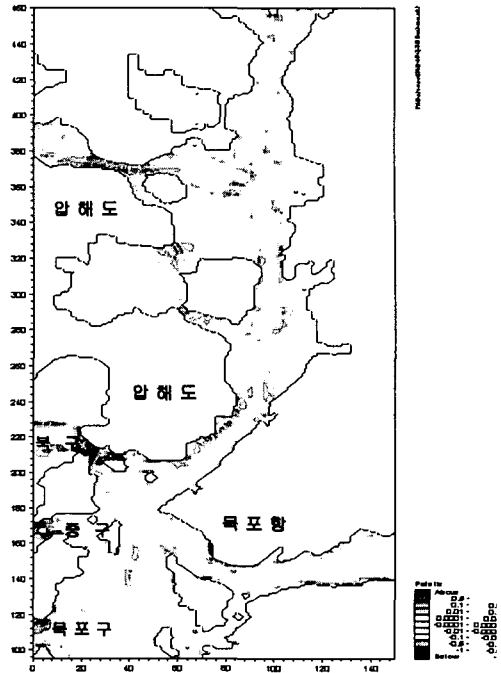


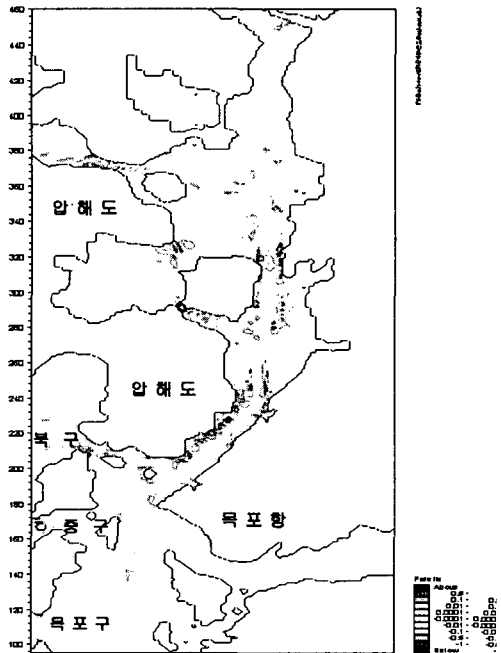
Fig. 3. 청계만 A, B지점의 건설시기별 낙조지속시간(hr)

### 4. 건설시기별 소류사 이동양상

목포해역의 하구언 및 방조제 건설에 따라 낙조우세는 심화되고 있으며, 이러한 조석곡선의 비대칭성에 따라 최강창조류와 최강낙조류 간에 차이가 발생하게 된다. 이에 목포해역의 건설시기별 조류특성의 변화에 따른 소류사 이동 양상의 변화를 파악하고자 해수유동 수치실험 결과를 토대로 ST 모듈에 적용·모의하였다. 사용된 소류사량 산정공식은 선행연구(강주환 등, 2002)에서 영산강과 금강 표준모형에 활용된 바 있는 Englund & Hansen 공식을 선택하였다.

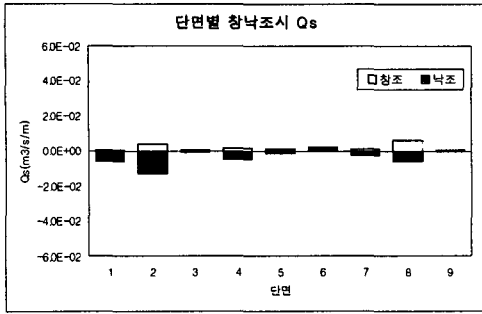


(a) 영산강 하구언 건설전

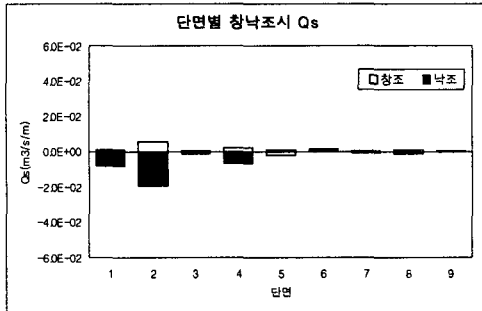


(b) 금호 방조제 건설후

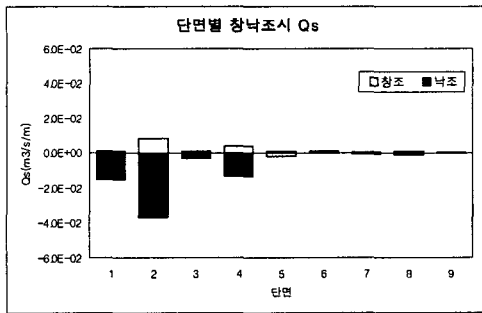
Fig. 4. 건설시기별 하상 변동률(m/day)



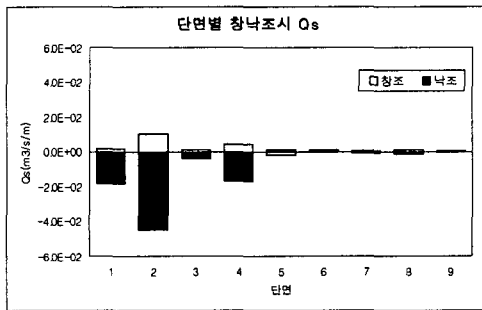
(a) 영산강 하구언 건설전



(b) 영산강 하구언 건설후



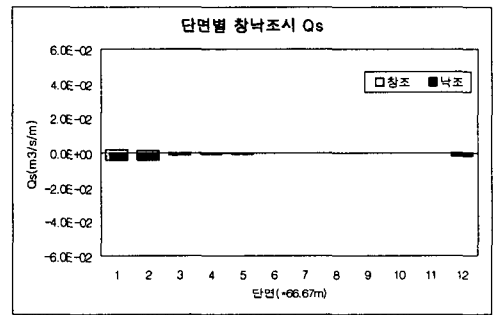
(c) 영암 방조제 건설후



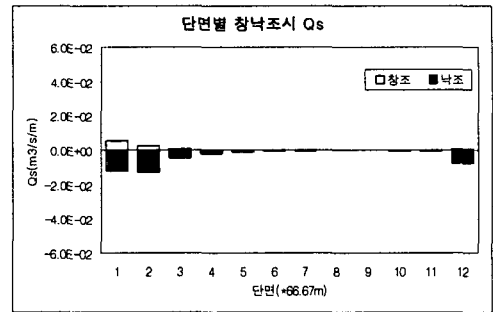
(d) 금호 방조제 건설후

Fig. 5. 건설시기별 청계만 해역의 소류사 이동양상

Fig. 4는 영산강 하구언 건설전과 금호방조제 건설 후 목포항 및 청계만 전 영역에서의 하상변동률 (m/day)을 도시한 것으로 각 건설 시기별로 목포항, 목포구, 중구, 북구 및 압해도 북단에서는 침식 및 퇴적량의 감소 양상이 확연히 나타나고 있다. 이러한 양상은 하구언 및 방조제 건설로 목포구를 비롯한 압해도 북단 해역에서의 조류속 급감 및 조량 감소에 의한 것이다. 반면, 청계만 내부 해역에서는 하구언 및 방조제 건설에 따라 전술한 조류특성 변화에 기인하여 청계만 중류 해역에서는 비교적 약한 침식 및 퇴적의 증가 양상이 나타나고 있으며, 특히 방조제 건설이후 하류단면인 압해도 동남쪽 해역에서는 침식 및 퇴적의 증가 양상이 뚜렷이 나타나고 있다.



(a) 영산강 하구언 건설전



(b) 금호 방조제 건설후

Fig. 6. 건설시기별 청계만 수로 (단면 2)의 소류사 이동양상

각 건설시기별 청계만의 상류방향 단면별 주 흐름 방향(Qs)에 대한 Fig. 5와 같은 창·낙조시 유사 이동량(m³/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 건

설로 점차 심화되었는데, 금호방조제 건설이후 청계만 입구에서는 낙조시 유속의 증가로 인해 여타의 단면에 비해 크게 이동량이 증가함을 보이고 있다. 이는 조간대와 천해조가 발달되어 있지 않은 일반 하구 또는 감소하천에서는 수심이 비교적 깊은 하류 부근에서는 낙조우세, 그와 반대인 상류 부근에서는 창조우세가 형성되는 경향이 있어, 하천유량을 감안하지 않을 경우 소류사 이동도 이에 따라 하류 부근에서는 하류방향, 상류 부근에서는 상류방향을 향하게 된다 (Kreeke, 1996)는 연구와 부합되는 것이다.

Fig. 6은 건설시기별 크게 이동량이 나타나고 있는 단면 2의 중단면에 대한 각 시기별 소류사 이동 양상을 나타낸 것으로 수로중심부분에 비해 조간대가 소류사 이동에 큰 기여를 하고 있음과 낙조우세 경향에 따라 조간대상에서 창조시에 비해 낙조시에 이동량이 훨씬 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 청계만을 중심으로 각 건설시기별 수치모의를 통해 청계만 및 목포항에서의 낙조우세 심화 경향을 재현하였고, 조석비대칭 및 조석확폭이 목포해역의 소류사 이동에 미치는 영향을 천해조가 발달된 하구에서의 소류사 이동에 관한 결과(강주환 등, 2002)를 토대로 수치모의를 실시하였다.

건설에 따른 조석확폭 영향 범위가 목포항부근 뿐만 아니라 목포인근해역에 넓게 분포되어 있음과 함께 청계만에서는 조석확폭으로 인해 조간대 규모가 건설시기별로 증가하게 되었음을 수치실험을 통해

확인할 수 있었다. 이러한 조간대 규모의 증가는 낙조우세와 조간대 규모의 관계(강주환 등, 2004)로부터 청계만의 낙조우세 심화에 크게 기여하고 있음을 알 수 있었다. 또한 각 건설시기별 소류사 이동 양상을 통해 청계만 주 수로방향이 변함에 따라 나타나는 현상과 청계만 각 단면의 유사이동량을 분석하여 중심 수로보다 조간대상에서의 유사량 이동이 크고, 낙조시 유사량의 이동이 크게 증가됨을 파악할 수 있었다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- 강주환, 문승록, 박선중. (2004). 해수유동모형에서 조간대 모의의 필요성. 대한토목학회논문집, 제24권 제3-B호, 259-265
- 강주환, 문승록, 박형섭. (2002). 천해조가 발달된 하구에서의 소류사이동 특성. 대한토목학회논문집, 제22권 제4-B호, 531-538
- 강주환, 송재준, 오남진. (1998). 낙조우세와 관련된 목포해역의 조류특성 분석. 대한토목학회논문집, 제18권, 제II-2호, 185-193.
- 수로국. (1983). 수로기술연보. 150-178.
- 수로국. (1994). 수로기술연보. 107-149.
- van de Kreeke, J. (1996). Net transport of fine sediment in a homogeneous tidal channel. in Coastal and Estuarine Studies, C. Pattiaratchi ed., American Geophysical Union, Vol. 50, 361-373.