

## 새만금 내부개발과 외해역 환경변화

### Inner development and outer sea environmental changes of the Saemangeum

서승원<sup>1</sup>

SeungWon Suh<sup>1</sup>

#### 1. 서 론

우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 간척 역사상 그 유례가 없었던 새만금 사업은 지난 20여년간 우리학회의 역사와 함께 하였다. 최대라는 이름에 걸맞게 그에 상응한 해양해양공학적인 학문적 및 기술적 발전을 이루기도 하였다. 그렇지만 새만금 사업은 늘 부정적 및 긍정적 영향의 양면성이 대결하거나 공존하였으며, 공학적 및 정치 사회적인 복잡성이 상존하는 사업으로 기록된다.

해양학적 관점에서는 새만금 사업으로 인한 조석체계의 변화 및 영향이 물막이가 완공된 이전부터 광역(황해전체)과 협역(금강하구 및 전북해역)의 변화를 유발할 것이라는 다수의 연구성과가 발표된 바 있다. 해양공학적으로는 특히 공사기간 중 물막이 구간 잔여시 및 끝물막이시의 공학적 특성 등 수치모델링과 수리모형실험 등 다수의 연구실적을 양산한 성과도 있었다.

물막이 이후 현재는 상시 해수소통으로 호내부의 수리특성 변화가 있었으며 가장 눈에 띄는 변화는 인위적으로 호내부에 평균수위가 상승하는 소위 super elevation이 유발된 점이다. 환경공학적으로는 물막이 이후 내부 수질의 급격한 변화가 예견되어 상류 오염부하의 변동 및 최적관리수위와 연동된 수문 운영방안에 따른 반폐쇄 인공하구호의 수질에 대한 정확한 예측의 필요성이 대두되었고, 이에 따라 군산대학교에서는 새만금과 관련된 다수의 연구를 수행(서 등, 2005;2006;2008)한 바 있다. 새만금 외해역은 수동역학 특성이 급변하여 해저 저니토 물리환경변화가 급속히 단기간에 걸쳐 발생하였으며, 이에 따른 저서생물변화 및 서식지 변화를 초래하였다. 또한 고군산군도

인근과 신시갑문 방출로 인한 급격한 유동장이 달라졌고 고군산군도를 연결하는 연육 및 연도교 도로 건설로 기존 어장환경의 변화가 예견되어 이에 따른 대체어장 조성을 검토하게 되었다. 이처럼 새만금 사업은 시간스케일로는 단기간 및 장기간에 걸쳐, 공간적으로는 인근 전북해역 및 광역으로는 황해에 걸쳐 영향을 미치고 있으며, 복합적인 다제간 학문적 해결을 필요로 하고 있다.

내부개발이 본격화되면서 내부 방수제조성과 군산자유경제단지조성시 필요한 매립토로 외해역의 준설토 활용방안이 활발히 논의되고 있다. 군산항로 유지 준설토 활용에도 부족한 매립재는 4호 방조제 전면에서 추가 준설을 실시하여 이를 매립재로 활용하는 계획이 수립되었으며 이에 따른 장기간 해양환경변화가 예상된다.

본 고에서는 이와 같이 내부개발을 전제한 내방수제 및 매립토 확보시 이에 따른 내외측 환경변화를 살펴보고자 한다.

#### 2. 연구방법

내부 개발의 1단계로 그림1에서 보는 바와 같이 새만금 4호 방조제 동측에 경제자유구역 산업용지 1870ha에 대한 매립이 추진 중에 있다. 매립재의 일부로 4호 방조제 전면 1Km 이격된 거리에서 방조제와 8Km 평행하며, 2Km의 폭에 대하여 준설을 계획하고 있다. 본 고에서는 초기 준설계획에 대하여 준설로 인한 새만금 인근의 물리적 환경적 변화를 수치모델인 EFDC(Hamrick, 1992; Craig, 2004)를 이용하여 평가하고자 한다.

<sup>1</sup> 발표자: 군산대학교 해양건설공학과 교수



그림 1. 새만금 과업대상지

## 2.1 격자시스템구성

수치모델에 적합한 직교격자 구성은 새만금 해역에 대해 그림2에 보이는 것처럼 만경강 하구부를 가상의 초점으로하는 방사상으로 구성하여 외해로부터 방조제 방향으로 조밀도를 자연스럽게 높여 인근역의 물리 기작 변화를 효율적으로 처리하도록 구성하였다.

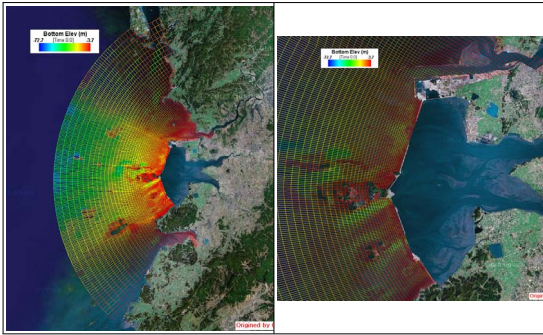


그림 2. 새만금 해역 직교격자체계

즉, 대상해역을 125° 58' ~ 126° 51'E, 35° 13' ~ 36° 29'N의 영역에 대해 직교격자 생성 프로그램인 Grid95를 이용하여 생성된 직교 곡선 격자망을 최소 190m ~ 최대 3370m로 해상하였다. 생성된 격자망은 총 245 × 83의 수평 셀로 표현되며 유효계산 격자수 9,915개에 이르고, 연직방향으로는 5개의 층으로 구분되었다.

## 2.2 모형검증

적용된 EFDC 모형의 조석 및 조류 검증을 실시한 결과 조석의 진폭(cm)은 RMS오차로 준설지역 인근 정점에서 4개 주요 분조 모두 0.1 이내로 매우 잘 일치함을 보여주었고 있으며, 조류의 진폭(cm/sec)은 RMS오차도 0.03~1.3로 적용된 모형이 새만금 전면해역의 유동특성을 잘 재현하고 있다.

## 3. 준설로 인한 외해역 변화

### 3.1 물리특성변화

4호 방조제 전면에서 증심으로 인한 조석 변화

는 거의 없지만, 조류는 다소간 변화가 예견된다. 방조제 전면에서 준설을 실시한 이후인 장래상태에서 현재의 유동과 차이를 분석하기 위해 그림3과 함께 최강류시의 벡터도와 함께 계량적으로 표시한 그림4에 따르면, 4호 방조제 전면에서의 유동은 대체로 방조제를 연한 조류가 우세하며 준설로 인한 증심(DL-7.54m)의 영향으로 현재상태 35~48cm/s에서 그 크기가 줄어들며, 준설전과 준설후의 최강 유속의 정량적인 차이는 준설지역 전면에서 10~20cm/s로 분석되었다.

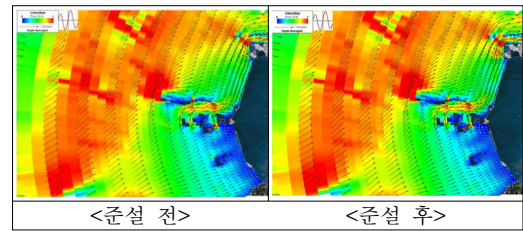


그림 3. 최강 창조 유속분포

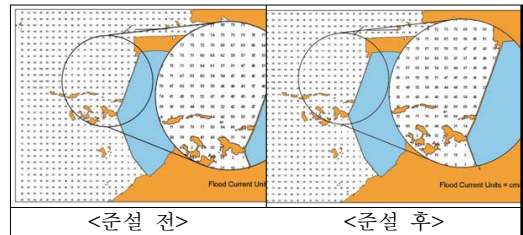


그림 4. 외해역의 조류변화

### 3.2 침퇴적변화

물리특성의 장기적인 변화는 방조제 전면에서의 침퇴적 성향 변화를 유발하며 이로 인한 생태 환경까지 영향을 미치게 된다. EFDC 모형에 현재 조사된 저니토 물성 특성을 공간적으로 표현하여 준설에 의한 장기적인 침퇴적 성향을 파악이 고려된 조건에서 검토하였다. 정성적 비교결과 현재상태에 비해 준설로 인한 공간적인 침퇴적 변화가 준설 사업지역을 벗어나서는 뚜렷하게 나타나지 않지만, 준설구역에서는 퇴적성향이 우세하게 진행되는 것을 알 수 있다(세하게5). 준설구역은 대체적으로 3-9cm/월의 퇴적환경으로 전이되는 것으로 실험되었다. 아울러 계절적인 파랑의 효과가 고려되어도 준설구역에서는 파랑에 의한 전단응력의 증가 영향이 조류에 의한 응력에 비해 크게 나타나지 않기 때문에 그 영향이 크지 않지만 새만금 외해역에서는 계절적인 파랑의 영향이 나타날 수 있는 것으로 분석되었다.

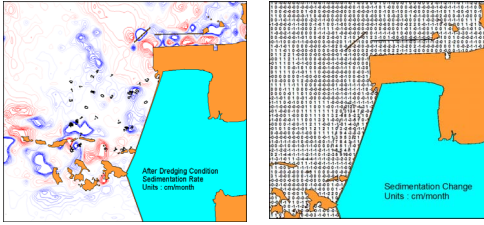
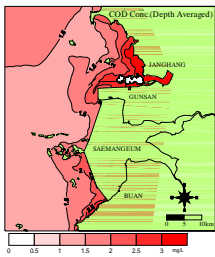


그림 5. 침퇴적 성향

### 3.3 환경특성변화

새만금 4호 방조제 전면에서 준설이 실시된 이후 해양환경의 변화를 살펴보기 위하여 수질항목 COD, DO, T-N, T-P를 중심으로 수치 모의하여 부영양화 등 수질변화에 대한 평가를 실시하였다. 실험에 사용된 모형은 EFDC 모형의 수질 모듈이며, 계산 영역은 새만금 방조제 전면 준설예정 구역을 포함하는 일대해역으로, 모형의 공간적 범위는 앞에서 언급한 해수유동 모형과 동일하다.

모의결과 중 일부를 그림6에 COD 항목에 대해 제시하였는데, 기존 금강하구에서의 부하와 새



만금 수문을 통한 현재상태의 현황이 제시되고 있다. 그러나 외부의 오염부하가 일정한 상태에서 준설로 인하여 수역의 수질이 변화될 수 있지만 그 영향은 크게 나타나지 않고 또한 준설초과 저니로부터의 용출에 의해 단기간에 걸쳐 변화가 나타나지만 장기적으로는 준설로 인한 수질의 영향은 크지 않을 것으로 분석되었다. 모형실험에서는 당 해역이 하계에 부영양화의 위험성에 노출되어 있어 이에 대한 집중적인 평가를 실시하였다. 저층에 퇴적된 유기물은 수질오염을 심화 및 장기화 시키는데, 시화호 저질의 영향을 CE-QUAL-ICM 모형을 이용하여 평가한 연구(서와 김, 2003)에서와 같이 부분적으로 폐쇄된 하구호 등에서는 수체-저질간의 2상(phase)에 대한 상호작용 이해가 연안해역 수질해석에 중요하다. 본 연구에 적용한 모형은 새만금호 내부 기본개발 방향에 따라 관리수위별 수문작동과 연계하여 저니토의 용출 등을 고려한 수질변화에 만족스럽게 적용되고 수질반응 변수의 검보정을 완료하여(서와 이, 2008) 모형적용의 신뢰성 및 타당성이 있는 것으로 평가된다. 부영양정도를 Carlson 등의 분류방법에 따라 평가하면 중영양정도에 속하고 있는

것으로 분석되었다(그림 7 및 그림 8).

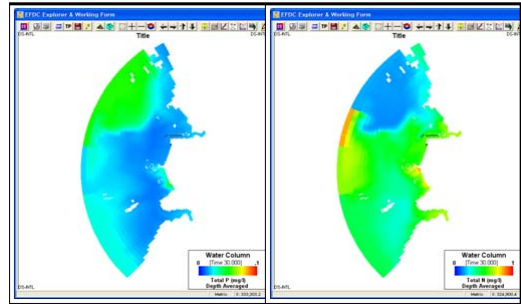


그림 7. 수질의 평면적 분포

■ 부영양화 지수 (Trophic State Index, TSI) 녹색: 군산 및 전주포 연안, 빨간색: 전주포 연안, 검정색: 군산연안

| TSI, Carlson(1977) |              |            | TSIm, Aizaki(1981) |            | TSIc, 김재만(1991) 한국형 부영양화 지수 |            |
|--------------------|--------------|------------|--------------------|------------|-----------------------------|------------|
| 상태                 | Chl-a (ug/L) | T-P (mg/L) | Chl-a (ug/L)       | T-P (mg/L) | Chl-a (ug/L)                | T-P (mg/L) |
| 0                  | 0.04         | 0.00075    | 0.1                | 0.00041    | 0.1                         | 0.00004    |
| 10                 | 0.12         | 0.0015     | 0.3                | 0.00091    | 0.26                        | 0.00019    |
| 20                 | 0.34         | 0.003      | 0.7                | 0.00203    | 0.66                        | 0.00082    |
| 30                 | 0.94         | 0.006      | 1.6                | 0.0045     | 1.64                        | 0.00349    |
| 40                 | 2.6          | 0.012      | 4.1                | 0.00997    | 4.1                         | 0.01486    |
| 50                 | 6.4          | 0.024      | 10.3               | 0.02213    | 10.25                       | 0.06407    |
| 60                 | 20           | 0.048      | 25.6               | 0.04909    | 25.63                       | 0.27588    |
| 70                 | 56           | 0.096      | 64.1               | 0.10889    | 64.07                       | 1.17615    |
| 80                 | 154          | 0.196      | 160.2              | 0.24156    | 160.17                      | 5.06444    |
| 90                 | 427          | 0.384      | 400.4              | 0.53586    | 400.43                      | 21.37549   |
| 100                | 118.3        | 0.768      | 1001.1             | 1.18874    | 1001.08                     | 92.98701   |

• 하계 8월에 대한 영양상태를 TSI로 평가한 결과 중영양상태로 평가됨

그림 8. 부영양화지수 산정

## 4. 내부개발

기존의 내부개발을 전제하고 호내부의 관리수위별 수문운영에 따른 다각적 연구(서와 조, 2005)에 따르면 연속적이고 지속적인 내부개발 및 수문 운영에 의한 내외해역의 물리적 환경적 변화가 초래되는 것이 호 내외부에 걸쳐 발생함을 알 수 있다.

그렇지만 전술한 바와 같이 새만금 사업의 특성상 확정적인 개발 방안이 지속되지 못하고 경제사회적 요인에 의해 유동적이어서 재해석의 필요성이 대두된다.

최근 제시된 내부의 용지별 개발방안(국무총리실, 2009)은 새만금이 동북아 경제중심지로서의 역할을 수행하고 경쟁력을 갖추 수 있도록 그림9에서 보이는 바와 같이 ① 산업용지 ② 관광-레저용지 ③ 국제업무용지 ④ 생태-환경용지 ⑤ 과학-연구용지 ⑥ 신재생에너지용지 ⑦ 농업용지 ⑧ 도시용지8가지 용도로 구분하고 있다.

그러나, 내부개발시 호내부 수리특성 및 수질을 고려한 방수제의 규모 및 제원의 미확정과 동진강 하류부에서 국무총리실에서 논의되는 내부개발방

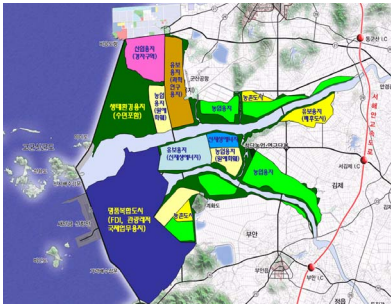


그림 9. 새만금 내부 개발방안

안(국무총리실, 2009)에 의한 명품복합도시를 제시한 그림10과 같은 미확정적인 다수의 안은 내부개발의 평면적인 배치 및 디자인만을 고려한 것으로 기존 검토되었던 수동역학 및 수질환경 연계된 심층적 연구 배려가 없었다. 따라서 이와 같은 내부개발을 고려하기 위해서는 전회의 연구(서와 조, 2005; 서 등 2006)에서와 같이 호관리수위 및 수문방류의 영향과 내부개발을 연계한 심층적 연구가 호내외부의 환경특성 이해 및 그 부정적 영향을 최소화하기 위한 필수적이다.

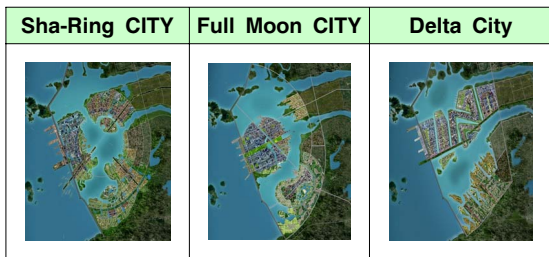


그림 10. 새만금 명품복합도시 3개 안

## 5. 결 언

장기간 지연된 방조제 공사가 완공된 이후 새만금 사업은 현재 내부개발 논의가 본격화되고 있다. 그러나 경제사회적 요인에 의하여 기본 개발방안이 제도 수정을 거듭하면서 기존 수립된 개발방안을 위주로 모의되었던 내외해역의 물리적 환경적 변화는 재검토할 필요성이 대두되고 있다. 특히 단지조성에 필요한 매립재로 외해역의 준설토 확보 등은 장단기적으로 해역의 특성 변화를 유발할 것으로 예견되어 심도 있는 평가가 수반되어야 한다.

일련의 연속사업 중 새만금 내부개발의 첫 단계로 4호방조제 동측의 자유경제구역 조성에 필요한 매립토는 군산항로 준설토를 활용하지만 부족한 양은 방조제 전면에서 추가 준설을 계획하고 있다. 본 고에서는 당초 계획된 준설량과 이에 상응한 심도변화가 장

단기간 인근해역에 미치는 영향을 평가하고자 EFDC 모형을 이용하여 모의하였다.

모의 결과 증심에 따라 해당구역에서 유속의 감소가 나타나고, 준설이후 준설구역은 퇴적 우세환경으로 변화되는 것으로 평가되었다. 공사중 일시적인 저니토 교란에 따른 단기간 수질변화가 나타나지만 장기적으로는 해역의 외부에서 유입되는 오염부하에 의해 지배적 영향을 받으며 부영양화 지수는 중영양에 속하는 것으로 분석되었다.

## 감사의 글

본 연구는 호남 SeaGrant 사업단의 지원을 받아 수행되었음.

## 참고문헌

- 국무총리실 새만금 사업추진기획단(2009) 새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획(안).
- 서승원, 김정훈(2003) 급격한 저니토 교란이 인공하구호 수질에 미치는 영향, 한국해양·해양공학회지, 한국해양·해양공학회, 제15권, 제1호, pp. 39-50.
- 서승원, 이화영(2008) 새만금호 완공에 따른 수질 변화 모의, 대한토목학회논문집, 28권, pp.79-94.
- 서승원, 하운창, 이화영(2008) 새만금 완공 후 침퇴적의 경향과 수질변화모의, 한국해양·해양공학회 춘계학술대회 발표논문집.
- 서승원, 조완희(2005) 홍수전과와 배수갑문 운영에 따른 새만금호 내부 수리특성의 동적응답. 한국해양·해양공학회지, 한국해양·해양공학회, 제17권, 제4호, pp. 269-279.
- 서승원, 조완희, 유경선(2006) 새만금호 수문 개방에 따른 내측의 혼합수송 및 외해역의 방류영향모의. 한국해양·해양공학회지, 한국해양·해양공학회, 제18권, 제1호, pp. 43-52.
- Craig, P.M. (2004) *User's manual for EFDC\_Explorer : A pre/post processor for the environmental fluid dynamics code.*
- Hamrick, J.M. (1992) *A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects*, SRAMSOE #317. The College of William and Mary, Gloucester Point, VA.