

## 새만금 물막이 이후 호 내부의 수위증가 평가 Evaluation of superelevation on the Saemangeum reservoir after final closing

서승원<sup>1</sup>, 조완희<sup>2</sup>, 이화영<sup>3</sup>

SeungWon Suh,<sup>1</sup> WanHei Cho<sup>2</sup> and HwaYoung Lee<sup>3</sup>

### 1. 서 론

새만금 방조제 공사로 인하여 새만금 내부영역 및 외부 영역에서의 수리 특성 변화가 예상된다. 외해역에서는 새만금 해역 및 서해 연안 전반에 조석의 진폭이 감소하며 위상은 지체되는 등의 변화가 분석되었다(Choi, 2001). 또한 내부 영역은 560m의 배수갑문을 통한 해수소통으로 급격한 수위 변화에 따른 간사지 축소 등의 지형적 변화로 인하여 생물서식 환경 변화에 따른 서식 생물의 변화가 발생되리라 예상된다. 특히 호 내의 수리특성 변화에 따른 수질 변화는 급격하게 이루어지고 호 내의 침퇴적, 부유사 확산 및 이동 등의 변화가 발생된다. 따라서 새만금 끝물막이 이후 해수소통에 따른 영향을 파악하기 위한 수치실험이 필요하다. 또한 개방구간 2.7km의 2년여의 존치기간 동안 내·외측의 수리변화는 크지 않았으나 끝물막이 이후 0.56km의 수문을 통한 해수소통에 따른 수리체계의 변화 검토는 필수적이다.

본 연구에서는 방조제 끝물막이 공사이전의 개방구간 2.7km의 상황과 방조제 끝물막이 공사이후 0.56km의 수문을 통한 해수소통 상황에 대한 검토가 실시되었다. 끝물막이 이후 0.56km의 수문을 통한 해수소통은 인위적인 inlet의 상황으로 기존 ADCIRC 연구팀에서 수행하였던 idealized inlet에 대한 연구를(Hench and Luettich, 2003) 개선하여 수행하였다. 기존의 idealized inlet의 연구에서는 조간대 영역을 고려하지 않았지만 본 연구에서는 새만금 해역의 물리적 특성과 유사하며 조간대 영역

을 고려한 idealized inlet 연구를 수행하였다. 또한 개방구간 폭 축소에 따른 호 내부의 수리특성 변화를 검토하기 위하여 개방구간을 실제 해역과 유사한 2.7km, 0.56km의 개방구간으로 설정하였다. 향후 새만금 내부영역의 수리특성을 이용하여 새만금 현재 상황 및 장래 내부개발에 따른 생태환경을 모의할 수 있도록 3차원의 CE-QUAL-ICM모형과 ADCIRC모형을 결합하여 위하여 ADCIRC모형을 적용하였다.

### 2. 수치모형

ADCIRC(ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine waters)는 복잡한 해안경계를 정밀하게 처리를 하며 장기간 넓은 영역에서 해수순환을 모의할 수 있도록 개발된 유한요소 모형이다. 근자에는 넓은 영역을 처리하는데 있어 계산효율을 증진시키기 위해 병렬화를 구성한 접근이 이루어지고 있다(Chipada et al, 1996). 초기에 모형이 발표된 이후 현재까지 지속적인 수정보완을 거치면서 모형의 세련화와 기능의 향상이 추진되고 있는데, 본 연구에는 version 43이 적용되었다. 모형의 기본적인 서술은 국내 문헌으로 서승원·김정훈(2003), 서승원·조완희(2005)에 게재되어 있으며, 상세한 것은 모형의 이론서(Luettich et al, 1992) 또는 모형의 홈페이지에 소개된 지침서([http://www.marine.unc.edu/C\\_CATS/adcirc/adcirc.htm](http://www.marine.unc.edu/C_CATS/adcirc/adcirc.htm))를 참조할 수 있다. 본 고에서는 상세한 내용은 생략한다.

1 군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학과 교수

2 발표자: 군산대학교 대학원 해양산업공학과 석사과정

3 군산대학교 대학원 해양산업공학과 석사과정

### 3. 수치실험

새만금 끝물막이 이후 개방구간의 축소에 따른 새만금호 내부의 수리특성을 파악하기 위하여 idealized inlet과 real inlet으로 나누어 수치모의 하였다. 실제 새만금 해역의 개방구간 축소에 따른 평가에 앞서 idealized inlet으로 I-1, I-2로 개방구간의 폭을 달리하여 모의 하였다. idealized inlet의 물리적 특성은 본 연구대상 영역인 새만금 해역의 물리적 특성에 유사하게 가로 28km, 세로 14km로 설정하였으며, inlet 흐름의 영향 인자인 바닥 경사는 새만금의 바닥경사  $8 \times 10^{-4}$ 도와 유사하게  $6 \times 10^{-4}$ 도로 설정하였다. 새만금 해역의 조간대 영역을 유사하게 해상하여 wet-dry 조건을 설정하여 모의하였다. R-1, R-2는 real inlet으로 개방구간 2.7km인 상황과 끝물막이 이후 수문을 통한 개방구간 0.56km인 상황으로 나누어 모의 하였다. R-1, R-2는 동일하게 경계조건과 물리특성을 설정하였고 개방구간의 폭과 면적만이 차이가 난다. Fig. 1에 보이는 바와 같이 idealized inlet은 6개의 정점을 선정하여 분석하였으며, real inlet은 신시와 가력의 개방구간과 수문을 중심으로 각각 6개의 정점을 선정하여 분석하였다.

Table 1. Physical characteristic changes for considering cases.

inlet	case names	bay volume(m <sup>3</sup> )	channel width(km)	bay mean depth(m)
idealized	I-1	$11.8 \times 10^8$	2.7	5
idealized	I-2	$11.8 \times 10^8$	0.6	5
real	R-1	$11.8 \times 10^8$	2.7	4.2
real	R-2	$11.8 \times 10^8$	0.6	4.2

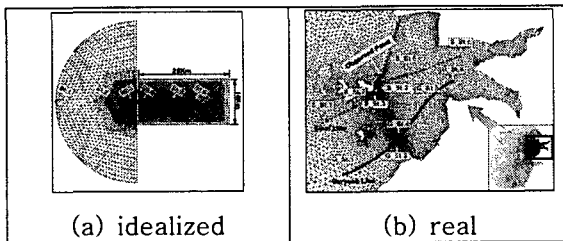


Fig. 1. FEM grids and reference stations.

#### 3.1 inlet의 수리특성

자연적인 inlet에서의 수리특성은 만의 형상, 폭,

지형, 바닥 경사, 비조석력, 조석의 크기, 바람, 강의 유입 등에 의해서 지배된다. 외조위의 상승과 하강에 의한 조석력이 가장 크게 작용한다(Walton, 2002). inlet에서의 흐름은 inlet에 강한 유속이 발생하며 inlet 입구 주변에는 와류가 발생한다. 또한 inlet에서는 일반적으로 조석의 비대칭 현상이 발생한다. 비대칭성(asymmetry)에 의해 창조우세(flood dominant)나 낙조우세(ebb dominant)가 발생된다. 끝물막이 이후 새만금 내부영역에서는 개방구간의 축소로 인하여 새만금 외해역의 창조우세보다 강한 창조우세 현상이 나타나고 있다. 또한 창조우세 현상으로 인하여 새만금호 내부에서는 superelevation이 나타난다.

일반적인 만에서의 superelevation은 한달이나 일년 동안 외해의 평균 수위보다 만내의 평균 수위가 상승하는 현상을 의미한다. 만내의 superelevation의 발생원인은 만의 입구, 지형, 외조위, 바람, 염분, waves, runoff 등의 요소 등이 충분히 작용할 경우 발생된다는 연구결과(Mehta, 1990)를 제시하였다. 본 연구에서는 수치모의 실험의 superelevation을 발생시키는 요소는 inlet 폭 축소만을 고려하였다. 모의결과 inlet 폭 축소로 인하여 superelevation이 발생하였으며, superelevation의 영향으로 호 내부의 수리체계가 변화되었다. 특히 방조제 공사 이전 새만금 해역의 넓은 조간대 지역의 급격한 변화가 발생되었다. 조간대 지역의 변화 모식도를 Fig. 2(a)에 도시하였다. Fig. 2(a)에 보이는 바와 같이 방조제 공사 이전에는 M.S.L.을 기준으로 넓은 조간대 지역이 발생하지만 끝물막이 공사이후 새만금호 내부영역에서는 superelevation의 발생으로 M.S.L.보다 상승한 M.W.L.을 기준으로 조간대 지역이 발생된다. 이 결과로 인하여 새만금호 내부영역에서는 조간대 지역에서 Always Dry Zone이 발생하게 되며, 이와 반대로 조간대 지역에서 Always Wet Zone이 발생하게 된다. idealized inlet의 경우 inlet 폭 축소로 인하여 수면적당 조간대 지역은 13.1%감소하며, Always Dry Zone은 9.2%증가하였으며, Always Wet Zone은 3.9%로 증가하였다. real inlet의 경우 inlet 폭 축소로 인하여 수면적당 조간대 지역은 21.7%감소하며, Always Dry Zone은 18%증가하였으며, Always Wet Zone은 3.5%로 증가하였다. inlet 폭 축소로 인하여 새만금호 내부영역은 지형적인 변화가 발생하는 것으로 판단된다.

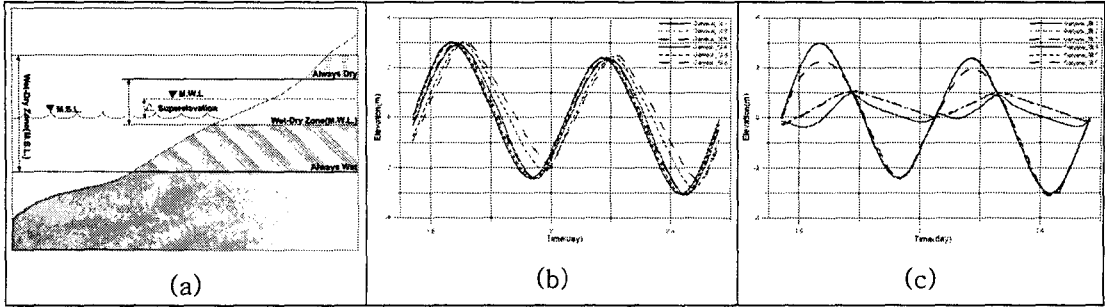


Fig. 2. (a) Schematic diagram of tidal flat changes as a result of superelevation due to lessening of inlet width. Water surface elevation changes on Garyeok reference stations in case of inlet width is (b) 2.7km and (c) 0.56Km.

#### 4. 결과 분석 및 토의

새만금 방조제 끝물막이 공사이후 수리특성 변화를 검토하기 위하여 대조구로 개방구간 2.7km인 상황을 상호 비교 하였다. 또한 새만금호 내부영역의 수리특성을 분석하기 위하여 단순화된 만의 inlet 폭에 따른 수리특성을 분석하여 실제해역인 새만금호의 수리특성을 판단하기 위한 수치실험을 모의하였다. Fig. 2(b)에 보이는 바와 같이 개방구간 2.7km인 R-1의 상황에서는 새만금호 내부의 수위 변화는 외조위와 비교하여 크게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 새만금호 끝물막이 이후와 이전인 개방구간 2.7km인 상황을 비교하면 호 내부의 수위, 유속, 지형, 조석 체계 등 전반적인 수리특성의 급격한 변화를 보인다. inlet 폭은 79.3% 감소하고 면적은 91.5% 감소하는 물리적 특성에 의해 발생하는 것으로 평가된다.

idealized inlet 및 real inlet 폭 축소에 따라서 만내의 수위 변화가 확연하게 모의 되었으며, 만내의 수위는 tidal prism의 감소로 인한 결과로 판단된다. 외조위가 만내부로 전파되면서 만 내부에서 조위 크기가 감소하였으며, 만 입구에서 상류로 전파되면서 조위의 크기 및 위상 차이가 발생하였다. 만 내부의 조위 변화는 만 내부의 수심 감소와 공간적 위상 차이로 인하여 발생하는 것으로 판단된다. 또한 만내부에서는 조석의 비대칭성이 더 크게 나타나고 있다. 대조시에는 만 내부의 수위가 두 조석동안 평균수면보다 항상 상승하는 것으로 나타났다. 단면적이 감소함에 따라서 만 내부 조석의 크기가 감소하며 조석의 비대칭성이 급격하게 나타나는 것으로 판단된다. 외해의 평균 수위 보다 만 내부의 평균 수위가 상승하는 superelevation 현상은 유입기간과 배출기간 관계로부터 나타남을 알 수 있었다. 또한

tidal prism을 비교해 보면, inlet 폭의 축소로 인하여 창조시와 낙조시의 tidal prism의 차이가 발생하며, inlet 폭의 축소로 인하여 차이가 증가하고 있다. R-1의 경우 창·낙조시에 유입 배출되는 양은 크기가 거의 동일하지만 R-2의 경우 창·낙조시에 유입 배출되는 양의 크기가 창조시가 낙조시보다 약 2배의 차이를 보이고 있다. 이 결과는 inlet 폭 축소로 인하여 창조우세가 더욱 강하게 발생하는 것으로 판단된다. idealized inlet과 real inlet의 조화 분석결과 inlet의 내부 영역에서는 m2분조는 I-1, I-2, R-2의 분석결과 inlet의 외부 영역보다 크기가 감소하였다. 또한 inlet 폭의 감소로 인하여 m2분조의 감소는 증가함을 알 수 있었다. inlet의 내부 영역에서의 m4분조와 항류 성분은 외부 영역에서는 0에 근접하지만 inlet의 입구부와 내부 영역에서 inlet의 폭의 감소로 인하여 급격하게 증가함을 알 수 있다. R-1의 경우는 inlet의 내부 영역에서의 감소는 미미하였으며, 분조의 변화는 inlet 폭의 감소로 인한 영향 보다는 지형, 수심 감소 및 바닥 마찰에 의한 영향으로 판단된다. 각 정점에서 m2분조가 차지하는 비중은 inlet 폭 축소로 인하여 영향력이 감소하였다. m4분조와 항류 성분의 경우는 inlet 폭 축소로 인하여 영향력이 증가하였으며, 특히 항류 성분의 영향력은 급격한 증가를 보였다. inlet 내부에서는 외해의 반일주조성향이 inlet 내부로 전파되면서 급격한 변화가 발생하여 반일주조 혼합조 성향으로 조석 체계가 변화되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 수치모의 실험의 superelevation을 발생시키는 요소로 inlet의 폭 축소만을 고려한 결과, 끝물막이 이후 새만금 내부영역에서는 개방구간의 축소에 따라서 급격한 조석의 비대칭 현상으로 인하여 새만금 외해역의 창조우세보다 강한 창

조우세 현상이 나타나고 있다. 또한 창조우세 현상으로 인하여 새만금호 내부에서는 superelevation이 나타나고 있다. inlet 폭이 감소함에 따라서 superelevation은 상승하였으며, superelevation의 영향으로 조석체계가 변화되었다. 특히 방조제 공사 이전 새만금 해역의 넓은 조간대 지역의 급격한 변화가 발생되었다. inlet 폭 축소로 인하여 새만금호 내부영역은 지형적인 변화가 발생하는 것을 판단된다. 간사지의 물리적 변화에 따라서 생물서식환경의 변화가 유발되어 서식생물의 변화 또한 예상된다. 이에 대한 분석 및 검토가 수행되어져야 할 것으로 판단된다. 새만금호 내부영역은 superelevation의 영향으로 인하여 수질향상의 긍정적인 측면도 예상될 수 있으나, 내·외측의 방조제의 안정성과 조간대 영역의 축소, always dry zone의 확대 등의 부정적 측면도 발생할 것으로 예상된다. 따라서 배수갑문을 운영할 경우 내부 관리 수위 유지 및 수문조작과 환경관리에 대한 평가가 필요하다고 판단된다.

끝물막이 이후 배수갑문을 운영하지 않을 경우 본 연구 결과와 같은 tidal inlet의 영향으로 인하여 지속적인 superelevation의 영향이 발생하여 지형, 호 내의 순환, always dry zone의 확대, 창·낙조시토사, 부유사, 부유유기물의 이동, 저염수의 확대, 수질변화 등 물리적, 수리적, 수질적인 변화에 따른 영향의 문제점을 분석 및 판단이 이루어져야 할 것으로 예상된다. 따라서 초기 수행된 본 연구의 결과는 향후 내부 영역의 수리, 환경, 내제방공사 등을 위한 기초 자료로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 집중적인 연구와 동적인 수질모의가 이루어진다면, 사회적으로 큰 관심을 받고 있는 새만금호의 친환경적인 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 새만금 방조제 끝물막이 이후 해수소통에 따른 수리특성 변화를 분석하기 위하여 inlet 폭을 각각 0.56km, 2.7km로 나누어 ADCIRC 모형을 적용하여 해석하였다. 모의 결과 inlet 폭이

2.7km일 경우는 수리특성 변화가 미미하였으나, inlet 폭 축소로 인하여 수리특성의 급격한 변화를 통하여 superelevation 현상이 모의 되었다. superelevation은 물리적 특성 변화에 의해 발생되며, 새만금 해역의 inlet 폭 감소는 superelevation의 주요한 발생 요소로 작용되는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 새만금환경연구센터(SERC)의 연구지원, 해양수산부 2006 KSGP 지원에 의해 수행되었기에 심심한 사의를 표한다.

## 참고문헌

- 서승원, 김정훈 (2003). 급격한 저니토 교란이 인공 하구호 수질에 미치는 영향. 한국해양해양공학회지, 15(1), 39-50.
- 서승원, 조완희 (2005). 홍수전파와 배수갑문 운영에 따른 새만금호 내부 수리특성의 동적응답. 한국해양해양공학회지, 17(4), 269-279.
- Mehta, A.J. (1990). Significance of Bay Superelevation in Measurement of Sea Level Change. Journal of Coastal Research, 6(4), 801-813.
- Chippada, S., Dawson, C.N., Martinez, M.L. and Wheeler, M.F. (1996). Parallel computing for finite element models of surface water flow. Computational Methods in Water Resources XI, 2.
- Byung Ho Choi, (2001). Effect of Saemangeum Tidal Barriers on The Yellow Sea Tidal Regime. Asian and Pacific Coastal Engineering.
- Walton T. L. Jr. (2002). Tidal Velocity Asymmetry at Inlets. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS., ERDC/CHL CHETN IV-47.
- Hench, J.L. and R.A. Luettich, Jr., (2003). Transient tidal circulation and momentum balances at a shallow inlet. Journal of Physical Oceanography, 33(4), 913-932.