

백령도 사곶해수욕장의 동역학적 특성 연구

Coastal hydrodynamics at Sagot Beach, Baekryeong Island

김효섭*, 오영민**, 정병순***, 장창환****

Hyo Seob Kim, Young Min Oh, Byung Soon Jung, Chang Hwan Jang

요 지

본 연구에서는 용기포항 동방파제 건설이 사곶 수욕장에 미치는 영향을 평판재하시험, 토질분석시험, 위성사진 자료 분석, 파랑, 조류, 수심 등의 현장관측과 파랑, 파랑류, 조류, 그리고 퇴적물 이동 등에 대한 수치모형을 통하여 사곶해수욕장의 동역학적 특성을 파악하였다. 평판재하시험과 토질분석시험 결과 기존의 사곶해수욕장 지역의 지지력 변화는 거의 없는 것으로 나타났으며, 방파제 건설로 인해 퇴적이 진행 중인 지역은 상대적으로 지지력이 낮게 나타났다. 현장관측으로 수집된 파랑, 조류, 수심의 자료는 수치모형의 입력 값으로 사용되었으며, 파랑류 수치모형결과 사곶해수욕장 부근에서 파향에 따라 약한 소규모 와류가 발생하였으며, 퇴적물이동 수치모형의 경우 국소 와류에 의한 지형변화가 발생하였으며, 남서와 북동에 약간의 퇴적이 발생하였다.

핵심용어 : 평판재하시험, 토질분석시험, 파랑, 파랑류, 조류, 퇴적물이동

1. 연구지역 개요

본 연구의 대상지역인 백령도 사곶해수욕장(천연기념물 제391호, 그림 1 참조)은 이탈리아의 나폴리 해안과 더불어 세계에서 두 번째인 천연비행장으로 길이가 약 4km이며 썰물 때에는 300m 이상의 단단한 도로가 생겨 차도로도 사용되고, 6:25때에는 군 수송기의 이착륙에 사용했었다. 해안 남서측에는 백사장이 자갈로만 구성되어 있는 콩돌해수욕장(천연기념물 제392호)이 인접해 있는 다른 지역에서는 볼 수 있는 특이한 형태를 띠고 있다. 본 연구지역의 기온 및 강수량, 바람 등에 대한 기상조건은 백령도 기상관측소(2000년 11월 가동)의 자료(기상청 홈페이지 참조)와 인천측후소의 기상자료(기상연보 참조)를 이용하였다. 바람의 경우 평균풍속은 4.1m/s, 최대풍속은 WNW, 22.2m/s이며, 계절별로 보면 한반도 기후의 전형적인 특징인 여름철의 남풍 및 겨울철의 북서, 북풍이 뚜렷이 나타났다.

2. 지질특성 조사

사곶해수욕장 백사장에 평판재하시험을 실시하여 지반의 지지력 및 침하량을 확인하였으며, 기존의 지반지지력조사결과(옹진군, 2004)와 비교·분석하였다. 평판재하실험은 2004년 9월에 실시하

* 정희원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수 · E-mail : hkim@kookmin.ac.kr

** 정희원 · 한국해양연구원 항만연안공간연구사업단 책임연구원 · E-mail : ymoh@kordi.re.kr

*** 국민대학교 건설시스템공학부 박사수료 · E-mail : bsjung@kookmin.ac.kr

**** 국민대학교 건설시스템공학부 박사과정 · E-mail : cjang@kookmin.ac.kr

였으며, 용진군 실험은 1993~2004년까지 실험한 결과이다. 침하량의 경우 용진군 실험은 6.08~9.65mm로 나타났으며, 본 실험은 8.02~15.14mm의 최종 침하량이 측정되었다. 항복하중은 대부분 100t/m² 이상, 허용지지력은 44.83~54.05t/m²로 관측되었다. 시험결과 가는실트질모래로 구성된 것으로 나타났으며, 건조밀도는 1,500~1,570g/cm³, 모래함량은 92.2~94.2%로 시간에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

대상해역의 해저 표층퇴적물 입도 구성비 파악을 목적으로 2004년 6월과 11월에 135개 지점에서 시료를 채취하였다. 그림 2는 2004년 6월에 백령도 주위의 정점에 대한 D₅₀을 제시한 것으로 C20의 4.34mm를 제외하면 0.10~0.29mm로 대부분 실트질모래로 구성되어 있다.

3. 수치모형 실험

본 연구의 대상해역인 사곶해수욕장 및 부근의 주요 퇴적물 성분이 모래이므로 모래이동에 관한 수치모형실험을 수행하였으며, 서해안의 특징인 왕복성 조류에 의하여 이동하는 파랑류에 의한 미세한 퇴적물(이토와 실트)의 이동에 관해서도 실험을 하였다. 본 대상해역은 조석과 파랑이 모두 강한 해역으로 이러한 해역의 흐름장을 파랑주기내의 변화까지를 포함하여 재현실험을 수행하는 것이 불가능하다. 그래서 파랑의 경우 단주기 파랑변형에 관하여 계산하였으며, 조류와 파랑이 복합적으로 지형변화를 유발하는 과정을 수치모의하기 위하여 먼저 파랑에 의하여 복합적으로 발생하는 파랑류와 파랑자체가 지형변화를 유발하는 과정을 수치모의 하였다. 조류와 파랑류는 공히 장주기의 반 정상상태의 흐름이므로 흐름장을 합하여 퇴적물이동을 모의하는 것이 이상적이지만, 조류와 파랑이 중첩되는 위상이 매우다양하고 조류와 파랑의 분포와 중첩하여 고려하기 위하여 조류와 파랑류를 별도로 계산하여 퇴적물이동을 계산하였다.

파랑자료는 전해역의 심해파랑 산출자료, 인천-백령도 항로상 해상상태지원을 위해 소청도에 2000년 11월부터 2003년 10월까지 운영한 자료, 본 연구를 위해 측정된 파랑관측(2003년 4월, 2004년 2월, 5월, 7월, 9월) 자료를 이용하여 대표적인 파랑 들을 정하였다. 평상파는 1.03m, 5.1초, SE를 적용하였으며, 폭풍파는 여름철과 겨울철로 나누어 5.6m, 12.0초, S파, 3.6m, 10.0초, SE파와 4.5m, 11.0초, NNW 파랑에 대하여 실험을 수행하였다. 바람에 대해서 최대풍속 19.3m/s, S, 21.0m/s, E, 20.0m/s, NNW와 평균풍속 4.1m/s, SE 풍향을 적용하였다.

3.1 파랑 실험결과

불규칙파 모형인 SWAN 모형을 적용하여 대상해역에 전파되는 파랑을 구하였다. 격자망은 백령도, 대청도 및 소청도를 대상으로 하는 격자망과 사곶해수욕장 주변의 세부역으로 구분하여 수치실험을 수행하였다. 대표적으로 여름철과 겨울철의 실험결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

실험결과 여름철에 우세한 S 파향의 경우 대·소청도에 의하여 파랑이 회절되어 본 대상해역으로 SE 파향으로 변형되어 진입하는 것으로 나타났다. 파고비도를 보면 바람이 없는 경우 0.2, 바람이 있는 경우 0.3 정도로 상당히 감소되어 파랑이 침입하였으며, 콩돌해수욕장 남측에 파랑이 집중하는 것은 대청도에 의하여 파랑이 회절되어 양쪽에서 중첩되는 것으로 판단된다. 겨울철에 우세한 NNW 파향은 본 대상지역이 백령도의 동측에 위치한 관계로 파가 직접 전달되지 않으며, 바람의 영향 또한 거의 없는 것으로 나타났다. 사곶해수욕장과 콩돌해수욕장의 파고를 비교해 보면 사곶해수욕장에 비하여 콩돌해수욕장이 파고가 더 강한 것으로 나타났다.

3.2 파랑류 및 퇴적물 이동 실험

파랑은 심해에서 해안을 향해 전파되면서 굴절·회절·쇄파·반사가 발생하며, 이로 인해 평면적으로 균일하지 않은 파랑장이 생성된다. 이러한 파랑 방사응력의 공간적 경사가 파랑류를 발생시키는 기인력 역할을 하며 이렇게 발생하는 파랑류에 의하여 퇴적물 이동도 발생한다. 본 실험에서는 KU-WIFLOW(국민대) 모형을 이용하여 파랑영향으로 일어나는 대상해역의 파랑류 분포를 구하였다. 퇴적물 이동에 대해서는 van Rijn의 분류상의 전단응력형 모형 중 하나로서 KU-BATH(Kim, 1993) 수치모형을 적용하였다. KU-BATH는 기본방정식에 따라 Nicholson(1988)의 수치기법 일부와 새로운 수치기법을 합한 형태이며 모형 내의 관련식은 van Rijn(1993)의 접근 방식과 Kim(1993, 2001)이 제시한 이론을 채택한 모형이다. 대표적으로 여름철 실험결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

파랑류의 경우 S 파향 결과를 보면 사곶해수욕장 전면에서는 국소적인 와류가 일부 발생하였다. 이는 파고와 파향 분포가 미세하게 균형을 이루며 바뀔 때마다 파향이 바뀌는 것으로서 파랑류의 불안정성을 나타낸다고 할 수 있다. 콩돌해수욕장 전면에서는 북동쪽으로 약한 파랑류가 발생하는 것으로 나타났다. NNW 파향시는 북쪽에서 파랑이 진입하기 때문에 사곶해수욕장 부근은 흐름이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 퇴적물 이동 실험결과 S 파향의 경우 사곶해수욕장의 좌측부분인 방조제 북쪽 부근에서 최대 0.6mm 정도의 세굴이 발생하며, 좌·우측에 약간의 퇴적이 일어나는 것으로 나타났다. NNW 파향의 경우 사곶해수욕장 부근에서 파랑류가 거의 없었던 관계로 퇴적물 이동이 없었다.

3.3 해수유동 및 퇴적물 이동 실험

대상해역의 조석 및 조류변화와 조류에 의한 퇴적물 이동에 대하여 평면 2차원 모형인 KU-TIFLOW와 KU-BA2D 모형을 이용하여 결과를 분석하였다. 대표적으로 잔차류 및 최대저면 전단응력에 대하여 그림 7과 그림 8에 제시하였다.

해수유동 실험결과 창조시 북쪽 및 육지쪽으로 조류가 흐르며, 낙조시는 남쪽으로 향하는 전형적인 왕복성 흐름 형태로 나타났다. 세부적으로 보면 창조시 남측에서 진행해 오던 조류가 콩돌해수욕장을 지나 백령도를 시계방향으로 흐르는 흐름과 사곶해수욕장 및 용기포항을 거쳐 북쪽으로 향하는 흐름으로 나뉘어진다. 낙조시는 반대로 서측과 북측에서 내려오던 흐름이 남측에서 합쳐져 흐르는 것으로 나타났다. 퇴적물 이동 수치모형 실험결과 대상해역인 사곶해수욕장은 $0.5N/m^2$ 이하로 전단응력이 작게 나타났으며, 이는 이 지역이 침식구역이 아닌 것으로 판단된다.

4. 결 론

연구대상지역인 사곶해수욕장은 해빈의 경사가 평균해수면 근방에서 대체적으로는 1/50 정도이므로 완만한 경사를 고려할 때 단기간에 이러한 변동이 반복되는 정도를 중·장기적으로는 평형 상태에 이른 것으로 볼 수 있다. 또한 백령도 동측에는 봉우리의 높이가 DL -2~-3m 정도, 길이가 약 10km인 사주가 발달되어 있다. 이 백령주는 장기간 현재의 위치에 있어왔으며 1977년 해도의 수심과 본 연구시 수행한 수심측량 자료의 백령주 북단의 수심을 비교하여 본 결과 충분히 안정되어 있는 것으로 보인다. 백령주와 같이 외해에 사주가 형성되어 있는 경우 이의 평형정도 또는 장기 변화에 관하여서는 여러 외력의 미세한 균형에 관한 문제이므로 예측하기가 매우

어려운 것으로 알려져 있다.

백령도 인근의 퇴적물의 총량과 입출량은 장기적으로 볼 때에는 아주 느린 속도로 증가하고 있다고 할 수 있다. 주변의 지형이 안정되어 있고, 특별한 충격이 없는한 백령도 해안의 절벽이 풍화되어 토사를 공급할 것이며, 백령도내의 소하천에서 퇴적물을 해문으로 공급할 것이다. 주변 조류속은 상당히 강하고, 해저에 작용하는 전단력이 커 해저퇴적물이 매우 활동적인 상태에 있는 것으로 보인다. 그러나, 낙조시 백령도가 하나의 장애물 역할을 하여 백령도 배후(남동부)에서는 잔차류가 상당 크기로 발달하여 잔차류가 해안을 따라 북향된다. 실제로 조류장 계산결과에서 조류가 조시에 따라 변화하면서 백령도 남동해안 전면에서 분리점(남서류와 북동류)이 한점에 위치하지 않고 계속 이동하는 모습을 볼 수 있다. 따라서 백령도 남동부의 퇴적물은 총량의 변화가 없다고 하는 경우에도 북동에서 남서까지 조류를 따라 상당히 활발히 이동하는 것으로 판단된다. 잔차류의 크기의 강도에 따라 모래질의 이동방향이 달라질 것이므로 사곶해수욕장 전면에서는 북동방향으로의 총 이동량이 많다. 이러한 이동을 거의 일방향으로만 작용하는 파랑류에 의하여 퇴적물이 평형상태의 형태를 유지하고 있는 것으로 보인다.

자연환경요소의외에 인근해역에서 해사채취 또는 준설작업과 같은 해저지형변화에 직간접적으로 영향을 미치는 다른 인위적인 충격을 가하는 경우에 사곶해수욕장의 지형과 지질에 변화를 유발할 수 있으므로 주위를 기울여야 할 것이다. 예를 들어 백령사주가 조금이라도 침식이 되면 그 영향으로 침입파의 에너지가 증가하여 사곶해수욕장의 평균입경을 변화시킬 우려가 있다.



그림 1. 대상지역의 지리적 위치



그림 2. 대상해역의 해저퇴적물의 D₅₀과 등입경도 (2004년 6월, 단위:mm)

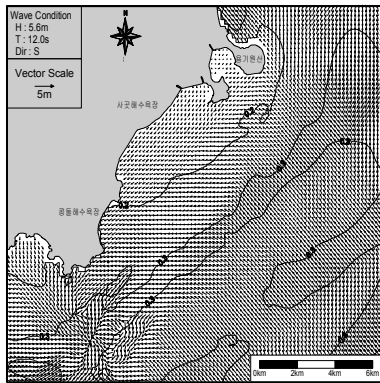


그림 3. 파고벡터 및 파고비도(여름철, 바람효과×)

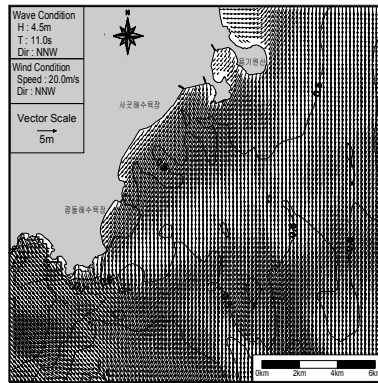


그림 4. 파고벡터 및 파고비도(겨울철, 바람효과○)

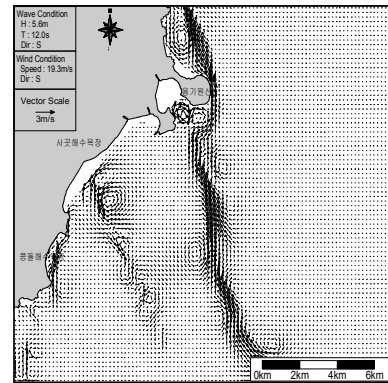


그림 5. 파랑류 실험결과 (여름철, 바람효과○)

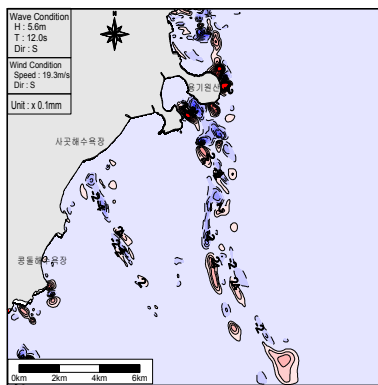


그림 6. 퇴적물이동 실험결과 (여름철, 바람효과○)

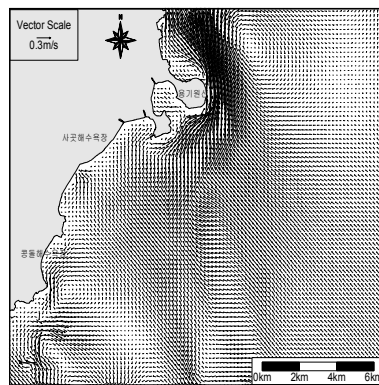


그림 7. 해수유동 실험결과 (잔차류, 평균대조)

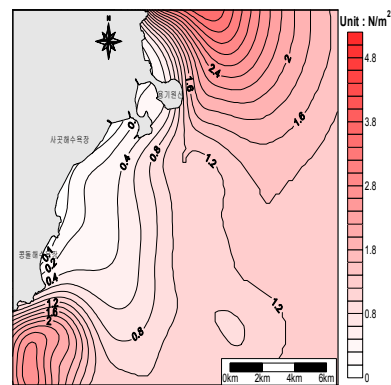


그림 8. 최대저면전단응력 분포도 (평균대조)

참 고 문 헌

1. 기상청, 1979-1998, 기상연보
2. 인천지방해양수산청 인천항건설사무소, 2003.7, 용기포항 건설사업 환경영향평가서.
3. 웅진군, 2004. 12, 진촌지구 간척지개발사업 환경영향조사보고서.
4. Kim, Hyoseob, 1993, Three Dimensional Sediment Transport Model, Thesis of Dr., Univ. of Liverpool
5. Kim, Hyoseob, O'connor, B.A., Park, I. B., Lee, Y. K., 2001, Modeling effect of intersection angle on near-bed flows for waves and currents, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 6, pp. 308-318.
6. O'connor, B.A. and Nicholson, J. 1988. A three-dimensional model as suspended particulate sediment transport. Coastal Engineering, Vol. 12, pp. 157-174
7. van Rijn, L.C. 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Department of Physical Geography, Univ. of Utrecht, Netherland.