

## 낙동강 하류의 유사특성과 낙동강하구둑 준설효과에 관한 수치모의 연구

Numerical Modeling for Sedimentation Characteristics of the Lower Nakong River  
and Sediment Dredging Effects at the Nakdong River Estuary Barrage

지 운\* · Julien, Pierre Y.\*\* · 박상길\*\*\* · 김병달\*\*\*\*  
Ji, Un · Julien, Pierre Y. · Park, Sangkil · Kim, Byungdal

### Abstract

The Nakdong River Estuary Barrage (NREB) was constructed in 1987 to prevent saltwater intrusion and to provide the sustainable water supply in the upstream channel. Sediment dredging has been conducted to eliminate deposited sediments in the approached upstream channel of the NREB. Fluvial changes and sedimentation problems have been continued due to urbanization and development in the watershed as well as construction of the NREB. However, the sufficient field monitoring and researches for sedimentation characteristics and bed changes have not been performed after construction of the NREB. Therefore, bed elevation changes and seasonal sediment concentration distribution were analyzed using the quasi-steady state model with historical field data in this study. The water surface elevation changes with and without sediment dredging operation were calculated using the developed quasi-steady state model and finally the sediment dredging effects were evaluated.

**Keywords :** lower nakdong river; nakdong river estuary barrage, sediment concentration, sediment dredging, numerical modeling

### 요지

낙동강하구둑은 하구둑 상류로의 염수침입을 방지하여 지속적인 용수를 공급하기 위해 1987년에 건설되었으며 이후 매년 하구둑 상류 접근수로에 퇴적되는 유사를 제거하기 위해 준설 작업이 수행되어져 왔다. 준설작업뿐만 아니라 산업 및 주거 시설의 개발사업 등의 하천 환경 변화로 인해 하구둑 상류에서의 유사 이송 및 하상 특성은 꾸준히 변화되어 왔으나 하구둑이 건설된 이 후 유사이송 및 하상변동에 대한 현장 모니터링 및 연구는 활발히 수행되지 못하였다. 이에 본 논문은 낙동강 하류의 대상구간에 대해 현장 측정 자료 및 과거 자료들을 최대한 활용하여 낙동강하류에서의 하상변동 및 계절별 유사농도 등의 변화를 분석하였으며 검증된 기초자료들과 준정상류 모형을 이용하여 하구둑 상류에 시행되고 있는 준설작업의 수행 여부에 따른 홍수 발생시 수위 변화에 대해서 수치모의를 실시함으로써 낙동강하구둑에서의 준설효과를 분석하였다.

**핵심용어 :** 낙동강 하류, 낙동강하구둑, 유사농도, 준설, 수치모의

### 1. 서 론

대한민국의 대표적인 감조하천인 낙동강은 영남지방 전역을 유역권으로 하며 그 중앙 저지대를 남류하여 남해로 흘러드는 국내 제 2의 강으로 특히 낙동강 하류지역인 부산·경남 지역의 경제, 산업, 문화 등 여러 측면에서 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 낙동강 하구 유역에서의 하구둑 건설 후 항로유지를 위한 준설사업과 낙동강 하류유역에서의 항만 개발, 유역 내 택지조성, 각종 산업시설 및 주거시설의 건설 등으로 인해 낙동강 하류에 많은 변화가 예상되었다(김경희 등, 2005). 특히 낙동강하구둑이 건설된 후에는 항로매

몰, 소형어선 통항로의 협소화, 수심저하, 수질오염 및 저질오염, 저지대 침수피해 등이 증가하고 있으며, 특히 하구둑 상류에 유사가 퇴적됨으로 인하여 홍수시 수위상승으로 인한 범람의 위험을 예상하여 이를 방지하기 위해 매년 하구둑 상류 접근수로 지역에서 준설작업이 수행되고 있다(Ji, 2006).

이처럼 낙동강 하류 유역은 인위적 또는 자연적인 외부 영향 요소로 인해 그 하천 환경 및 특성의 변화가 지속적으로 발생하고 있으며 특히 평수기와 홍수기에 각각 하구둑 상류에 유사가 퇴적되고 침식되는 현상이 반복되어 복잡한 하상 변화가 발생하고 있다. 그러나 유사 이송 및 하상 변

\*정회원 · 교신저자 · 명지대학교 공과대학 도목환경공학과 박사후 연구원 (E-mail : jiuncivil@gmail.com)

\*\*(미)콜로라도주립대학교 공과대학 도목공학과 교수 (E-mail : pierre@engr.colostate.edu)

\*\*\*전하워 · 보스턴대학 공과대학 도목공학과 교수 (E-mail : esknark@mit.edu)



그림 1. 낙동강 하류 대상구간의 위성사진

화가 끊임없이 발생하는 곳임에도 불구하고 낙동강하구둑 건설 후 이에 대한 꾸준한 정보 수집 및 연구 분석이 활발히 수행되지 않았으며 준설작업을 수행하지 않았을 경우 홍수

위가 얼마만큼 상승할지에 대한 정량적인 예측이 없었다. 이에 본 연구는 낙동강하구둑에서 상류 40 km에 위치하고 있는 삼랑진 지점까지를 대상구간(그림 1)으로 하여 수치모형을 이용하여 하상변동 및 계절별 유사농도의 변화 등을 분석고자 한다. 또한, 현재 하구둑 건설 후 하구둑 상류에서 매년 시행되고 있는 준설작업의 수행 여부에 따라 홍수위 차이가 어느 정도인지를 수치모의를 통해 평가하고 준설작업의 효과를 분석함으로써 하구둑 상류의 유지 관리 계획 재정립을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 낙동강 및 하구둑의 개요

### 2.1 낙동강 하류

낙동강의 유역면적은  $23,817 \text{ km}^2$ 이고, 본류의 유로연장은 521.5 km이다(건설교통부, 2006). 낙동강 유역의 일반적인 특성은 산지가 많으나 하류가 넓고 평탄하나 식생이 불량하여 침식이 심하고 유출이 불규칙하여 홍수와 한해의 피해가

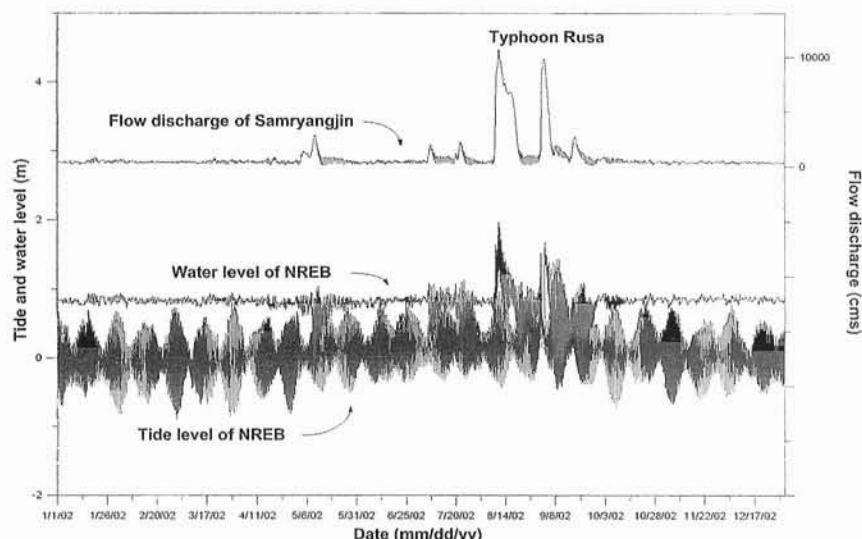


그림 2. 2002년 삼랑진 유량자료, 낙동강하구둑 수위자료 및 낙동강하구둑 하류 조위 자료(Ji, 2006)

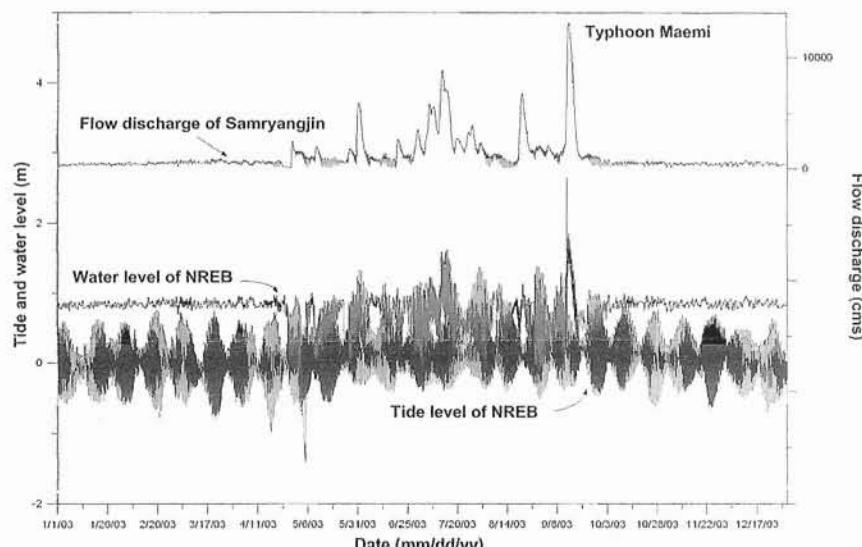


그림 3. 2003년 삼랑진 유량자료, 낙동강하구둑 수위자료 및 낙동강하구둑 하류 조위 자료(Ji, 2006)

크고 유사로 인한 하상변동이 특히 심하다. 낙동강 유역의 연평균 강우량은 1,167 mm이며 연간 총 유출량은 150.08 억 $m^3$ 이다. 낙동강 유역에는 현재 6개의 댐이 위치하고 있으며 하구에는 바다로부터 염수의 침입을 막기 위한 목적으로 하구둑이 건설되었다(지운 등, 2007). 낙동강하구둑에서의 일평균방류량은 584.35 cms이며 여기서 일평균방류량이란 월 총 방류량을 월 총시간으로 나눈 값이다(한국수자원공사, 2006). 낙동강 유역의 연평균 기온은 12°C에서 16°C이며 구포 수위 관측소 지점에서의 평균 하폭은 1450 m이고 하상 경사는 1/4095로서 매우 완만한 경사를 이루고 있다.

낙동강 하류는 매년 6월에서 9월 사이에 잦은 태풍과 홍수가 발생한다. 특히 2002년 8월 31일에 발생한 태풍 루사는 하루 동안 880 mm의 기록적인 강우를 동반하였으며 유역면적 25 km<sup>2</sup>내에서의 최대 가능 강수량인 840 mm를 초과하였다. 또한 2003년 9월 12일에 발생한 태풍 매미는 400 mm의 국지적 호우를 동반하여 낙동강 하류 유역에 막대한 피해를 가져다주었다. 태풍매미 때의 구포대교의 최대 수위는 위험홍수위를 초과한 5.06 m이었으며 이때의 최대 유량은 14,312 m<sup>3</sup>/s이었다. 태풍 매미로 인한 가장 큰 피해는 2003년 9월 14일에 발생하였으며 (구)구포대교의 19번 교각의 유실과 1.06 km의 교량 상판이 부분적으로 붕괴 되었다.

태풍 루사가 발생한 2002년과 태풍 매미가 발생한 2003년도의 삼랑진 지점 유량과 하구둑 상류 수위 그리고 하구둑 하류 조위 자료를 수집한 결과는 그림 2, 3과 같으며 태풍 루사와 매미에 의해 홍수가 발생했을 때는 조위가 1년 중 가장 높기 시기였기 때문에 홍수에 의한 피해가 더 가중되었다. 수집된 자료들은 본 연구에서 유사이송 및 하상변동 수치모형 입력 자료로 사용되었다.

## 2.2 낙동강하구둑

낙동강하구둑은 주로 하구에서의 염수 침입을 방지하기 위한 목적으로 1983년부터 1987년에 걸쳐 건설되었으며 10개의 수문은 4개의 조절수문과 6개의 주수문으로 이루어져 있다. 하구둑 건설 전에는 염수침입이 하류로부터 상류 40 km지점 즉 삼랑진 지점까지 도달했으며 이로 인해 용수 공급에 많은 어려움이 있었으나 낙동강하구둑 준공 이후 매리취수장을 포함한 삼랑진 하류 취수장에서의 담수 공급으로 어려움이 해결되었다. 낙동강하구둑은 바닷물의 염분이 침입하는 것을 차단하기 위한 목적 이외에 상류에 지속적인 용수를 공급하기 위하여 하구둑 상류와 하류의 수위차가 0.2 m이내일 때 하구둑 주배수문과 우안배수문을 폐쇄한다.

낙동강하구둑의 건설은 염수침입의 방지라는 궁정적인 효과 외에 하구둑으로 인한 유속 감소에 의해 하구둑 상류에 유사가 퇴적되는 문제가 발생한다. 낙동강에서는 홍수시에 상류 수로의 통수능 확보를 위해 연간 619,500 m<sup>3</sup>(1998년부터 2005년까지의 평균)에 해당되는 퇴사를 수중커터와 펌프 공법을 이용하여 준설하고 있다(한국수자원공사, 2007). 낙동강 유지관리 보고서(ISWACO-NEDECO, 1987)에 의하면 하구둑 상류의 접근 수로(하구둑으로 부터 3 km까지)는 유사 퇴적고가 1 m이상 되지 않도록 유지 관리해야 한다. 퇴적높이 1 m는 175,000 m<sup>3</sup>에서 450,000 m<sup>3</sup>에 해당되는

퇴적량이다. 또한 접근수로 상류 끝에서부터 삼랑진까지 0.2 m 깊이에 해당되는 400,000 m<sup>3</sup>에서 500,000 m<sup>3</sup>의 퇴적토를 제거해야 한다고 제시하고 있다. 매년 준설되는 퇴사량은 619,500 m<sup>3</sup>에 해당되며 커터를 이용한 펌프 준설 공법을 이용하여 준설하고 있다. 철새 서식처 보호를 위해 준설 작업은 매년 4월에서 9월 사이로 제한하고 있다.

## 3. 낙동강 하류의 하상형상 및 유사량 자료 분석

### 3.1 낙동강 하류 조도계수 및 하상형상 예측

낙동강 하류의 하상토 입도는 주로 가는 모래이며 구포지점과 진동 지점에서 수집된 하상토 입도를 분석한 결과, 진동 지점에서의 중앙 입경은 0.3 mm이며 구포 지점에서의 중앙 입경은 0.25 mm로 주로 가는 모래이다.

낙동강 하류의 조도계수에 대한 연구가 많이 수행되지는 않았지만, 낙동강에 대한 과거의 보고서들에 의하면 두 가지 값이 이용되고 있다. 낙동강 하천정비기본계획(건설교통부, 1991)에 의하면 기록된 수문자료와 바다 재료, 바다 형상을 고려하여 Manning 계수  $n$ 을 0.023으로 제시하고 있으며, 낙동강하구둑의 유지 관리 보수 지침서(ISWACO-NEDECO, 1987)에서는 낙동강 하류의 배수면을 계산하는데 0.03의 Darcy-Weisbach 마찰계수( $f$ )를 사용하였다. 과거 자료에서 제시하고 있는 두 가지 조도계수 값을 Manning 계수, Chezy 계수, Darcy-Weisbach 마찰계수의 상관관계를 이용하여 검증하였으며 종속적으로 관계된 인자들인 Darcy-Weisbach 마찰계수 0.03과 Manning 계수 0.023은 같은 조도 특성을 나타내는 값임을 알 수 있었다.

검증된 Darcy-Weisbach 마찰계수 0.03을 간접적으로 현장 관측 결과와 제검토하기 위해 낙동강 하류에서의 평균 유량에 대한 배수면 곡선을 계산하고 계산된 자료를 이용하여 하상 형태를 예측하였다. 흐름저항은 하상형태에 의해서도 결정되기 때문에 예측된 하상 형태가 제시하고 있는 조도계수 범위를 이용하여 채택된 조도계수에 대한 검정도 같이 수행할 수 있다. 본 논문에서 제안된 조도계수의 적용여부를 증명하기 위하여 채택된 하상형태를 예측하는 세 가지 방법들은 Simons and Richardson(1963, 1966), Bogardi(1974), 그리고 van Rijn(1984) 방법이다. Simons and Richardson(1963, 1966)은 입자입경 함수로서의 수류력에 의한 하상형태 분류표를 제안하였으며 Bogardi(1974)는 마찰소류력( $\tau^*$ )과 입자입경을 이용하여 하상형태를 예측하였다. van Rijn(1984)은 무차원 입경( $d$ )과 이송단계변수( $T$ )를 기초로 한 하상형태 분류를 제안하였다. 세 가지 방법을 이용하여 예측된 낙동강 하류의 하상 형태 결과는 그림 4에서 보여주고 있으며 대부분의 하류 지역에서 세 가지 공식 모두 사련과 사구의 하상형태를 예측하고 있다. 현장에서 수중음파탐지기를 이용하여 2007년 6월 18일에 낙동강하구둑에서 상류 20 km 지점에서의 하상형태를 관측한 결과 그림 5에서와 같이 약 1 m에 해당되는 사구 형태의 하상을 관측할 수 있었으며 그림 4에서의 경험식을 이용한 예측 또한 상류 20 km 지점에서 세 공식 모두 사구의 형태를 보여주고 있다. 현장 관측이 실시된 시점에서의 구포지점 유량은 407 cms였다. 사구가 발생하는 하상에서의 Manning 조도계수 값은

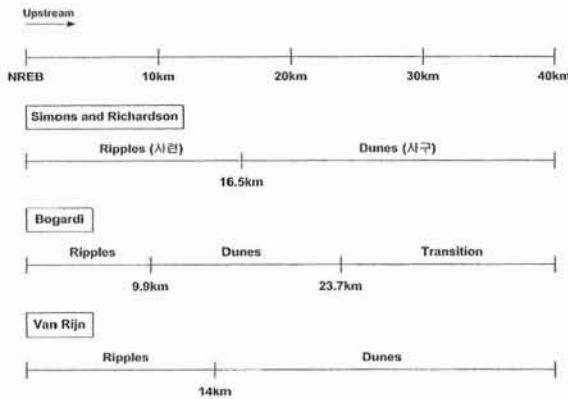


그림 4. 낙동강 하류의 하상형태 계산 결과

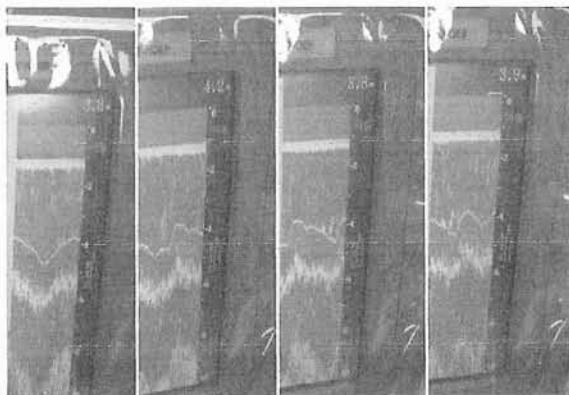


그림 5. 낙동강 하류 사구형태 (한국수자원공사, 2007)

보통 0.02에서 0.04의 범위(Julien, 1998)에 해당되며 낙동강 하류 지점에서의 Manning 조도계수 값 0.023은 이 범위 안에 속한다.

### 3.2 총유사량 공식 비교

낙동강 하류의 과거 유사자료로는 한국수자원공사에서 1995년에 낙동강하구둑과 진동 지점에서 측정한 부유사 자료가 있으며 보고서에는 자료수집과 함께 진동지점에서의 총유사량을 산정한 자료가 있으며 하구둑 지점에 대해서는 총유사량을 산정하지 않았다(한국수자원공사, 1995). 본 연구에서는 낙동강하구둑에서 측정한 부유사 자료를 이용하여 낙동강하구둑 지점에서의 총유사량도 추가적으로 산정하였다. 하구둑 지점에서의 총유사량을 산정하기 위하여 측정된 부유사 자료와 수정아인슈타인 공식(Colby and Hembree, 1995)이 사용되었다. 현재 많이 사용되고 있는 점적분 또는 수심적분 유사 채취기는 전체 수심에 대해 측정이 불가능하기 때문에 측정되지 않는 영역의 유사량은 수정아인슈타인 공식을 이용하여 총유사량에 추가되어 전체 유사량을 예측할 수 있다. 낙동강하구둑에서의 총유사량 계산을 위해 Bureau of Reclamation Automated Modified Einstein Procedure (BORAMEP)을 사용하여 총유사량을 계산하였다.

한국수자원공사에 의해 산정된 진동 지점의 유량-유사량 자료는 다른 총유사량 공식과 비교하였으며 그림 6과 같다. 본 연구에서 수정 아인슈타인공식에 의해 계산된 총유사량은 현장 자료에 의해 산출된 측정된 총유사량으로 간주하였

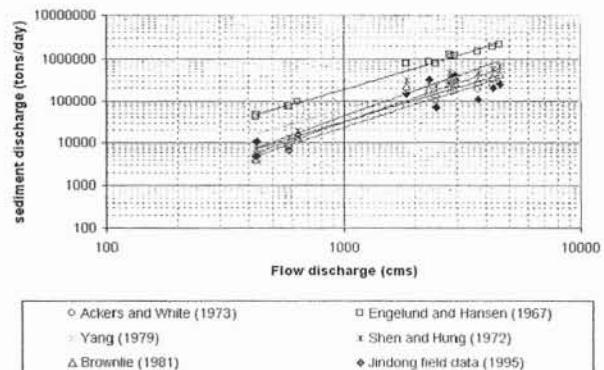


그림 6. 진동 지점에서의 유사 이송공식 비교

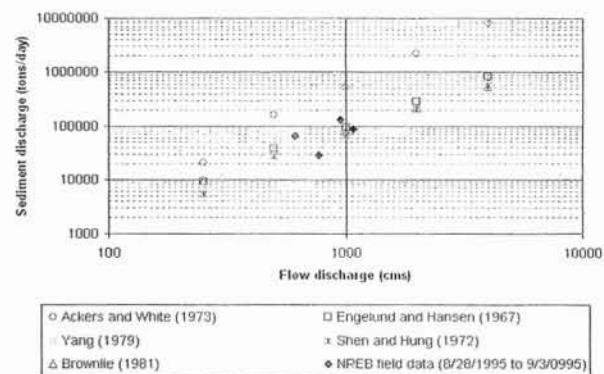


그림 7. 낙동강하구둑에서의 유사 이송공식 비교

다. 비교 결과, 진동지점에서는 Engelund and Hansen (1967) 방법에 의해 산정된 총유사량은 현장 측정된 결과와 비교하였을 때 과다산정된 것으로 보였고 Shen and Hung (1972), Ackers and White(1973), Yang(1979), 그리고 Brownlie(1981) 공식들은 현장자료와 일치됨을 보였다.

낙동강하구둑의 계산된 유량-유사량 자료 또한 여러 가지의 총유사량 공식들과 비교하였으며 그림 7과 같다. Julien(1998)은 작은 입경의 모래로 구성된 하상의 유사이송을 예측할 때 Ackers and White의 공식(1973)이 비교적 과다 산정하는 경향이 있다고 지적하였다. 그림 7에서도 볼 수 있듯이 하상재료가 가는 모래로 구성된 낙동강 저면에서 Ackers and White 방법이 총유사량을 비교적 과다산정하고 있음을 보여주고 있다. 반면, Engelund and Hansen(1967), Yang(1979), Shen and Hung(1972) 그리고 Brownlie(1981) 공식들은 낙동강하구둑 현장자료와 매우 유사하였다. 본 연구에서 활용한 준정류 수치모형에는 총유사량 공식 중 Brownie(1981) 공식이 적용되었다.

### 4. 낙동강 하류 수치 모의

#### 4.1 1차원 준정류 모형

본 연구에서 사용된 1차원 준정류 모형은 낙동강하구둑 상류에서의 유사 퇴적을 모의하기 위해 Colorado State University에서 Ji(2006)에 의해 개발된 프로그램으로써 하구둑의 조위와 하구둑 상류 수위 차이를 계산하여 새로운 경계조건의 설정이 가능하도록 하였다. 배수면 곡선 계산을 위

한 지배방정식으로는 준정류 형태의 변형된 St. Venant 공식이 이용되었으며 유사 연속방정식과 총유사량 예측 공식인 Brownlie(1981) 공식을 이용하여 각 단면의 유사 이송량을 산정하였다. 각 단면에서의 유사 이송량을 산정한 후에는 하상 침식과 퇴적에 의한 변화를 계산하기 위해서 다음과 같은 하상변동 연속방정식을 적용하였다.

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{T_{Ei}}{(1-p_0)W\partial x} \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (1)$$

$$T_{Ei} = 1 - e^{(\Delta tw)/q} \quad (2)$$

여기서,  $p_0$ 는 하상토의 공극률,  $Q_s$ 는 유사량,  $W$ 는 하폭,  $T_{Ei}$ 는 유사 포착효율을 나타내며  $w$ 는 침강속도,  $q$ 는 단위 폭 당 유량을 나타낸다.

수치 계산은 유한차분 양해법을 사용하였고 계산의 안정성은 동수역학 조건과 유사이송산정공식의 종류에 따라 달라지며 개발된 1차원 준정류 모형에서는 가중계수를 이용하여 안정적인 계산을 수행할 수 있도록 하였다. 모형 검정 및 검증은 각각 낙동강 하류의 삼랑진과 하구둑에서의 2002년과 2003년 수위, 유량, 조위 자료를 이용하여 수행하였다(Ji, 2006).

#### 4.2 유사 퇴적에 의한 수위 상승 및 계절적 유사이송 특성 분석

하구둑 상류 퇴사량 계산을 위해 하상변동 조건은 단순히 자연적인 하천의 흐름에 의해서만 변화한다는 조건으로, 준설 작업으로 인한 홍수전기의 하상고 저하 등은 고려하지 않았다. 갈수기에 하구둑 상류에 퇴사가 쌓이는 형태를 모의하기 위해서 0.25 mm의 구포 지점의 하상토 중앙입경( $d_{50}$ ), 1,000 m<sup>3</sup>/s의 유량(Q), 5 m의 하류단 수위( $h_d$ ) 그리고 134 일 동안의 모의 시간 등을 설정하였으며 그 결과 그림 8과 같이 하구둑 상류에 유사가 퇴적되는 하상 형태가 발생하였다. 모의 결과는 낙동강 하류에서 갈수기와 평수기에 약 1 m 이하의 퇴사가 발생하는 현장 관측 결과 및 과거 횡단면 측량 자료(최병습, 1996) 등과 유사하게 퇴적고는 60 cm로 나타났으며 퇴적량은 약 2,660,000 m<sup>3</sup>으로 나타났다. 따라서 유사 퇴적 모의를 통해 얻은 퇴적된 형태의 하상고는 다음 장에서 설명하게 될 준설 가·부에 따른 하상변동으로 인한 홍수위 변화를 모의하는데 있어 준설을 실시하지 않았을 때의 초기 하상고로 활용하였으며 준설을 실시한 후의

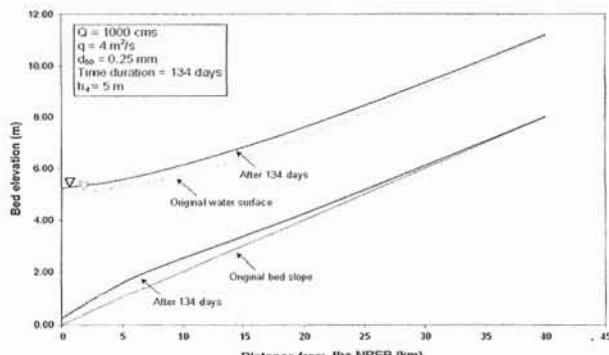


그림 8. 준정상류 모형을 이용한 퇴사량 산정 결과(Ji, 2006)

홍수위 변화를 모의하는 데는 퇴사가 발생하지 않은 상태의 원래 하상고를 초기 하상 조건으로 하여 수치모의를 실시하였다.

미국 EPA National Water Quality Inventory-2000 보고서(U.S. EPA, 2003)에 의하면 호수나 저수지 그리고 하구의 퇴사는 하천이나 강에서의 침식 및 유사 공급으로 인한 것이며 유사 발생의 정도는 유사 농도, 발생 기간, 하상토 입자 크기 등의 합수로 나타낼 수 있다. 유사 농도는 다른 오염원을 대표하는 매우 중요한 지표이며 유사 입자의 이송은 환경적 수질 문제와 매우 깊은 관련성을 내포하고 있다. 퇴도는 주로 마시는 물의 상태나 일반적인 수질 상태를 평가할 때 가장 많이 사용되며 유사농도와 직접적인 연관성을 갖고 있다.

그림 9와 10은 각각 2002년과 2003년에 대해 1차원 준정류 모형을 이용하여 낙동강하구둑 지점에서의 각각 1년 동안의 총유사의 농도 변화를 모의한 결과이다. 2002년 2003년의 유량자료에서도 확인할 수 있듯이 빈번한 홍수가 5월과 9월 사이에 발생하며 2000 m<sup>3</sup>/s 이상의 유량이 발생할 시에는 유사 농도 분포가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 모의 결과에 의하면 가장 높은 유사 농도는 항상 가장 큰 홍수 때 발생하는 것은 아니며 1000 m<sup>3</sup>/s 이상의 유량을 갖는 홍수가 연중 처음으로 발생했을 때 상대적으로 높은

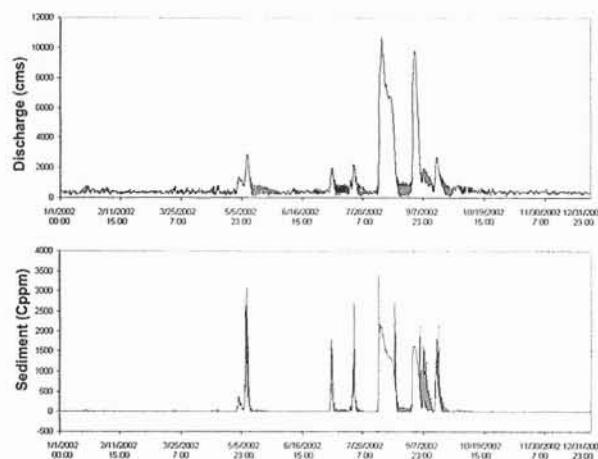


그림 9. 낙동강하구둑에서의 시간별 유사농도 변화 결과(2002년)

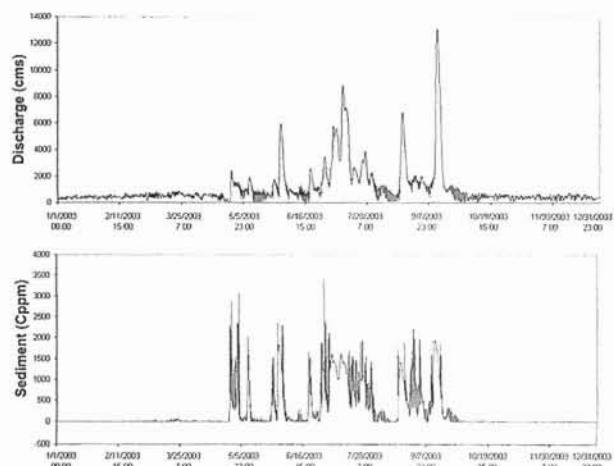


그림 10. 낙동강하구둑에서의 시간별 유사농도 변화 결과(2003년)

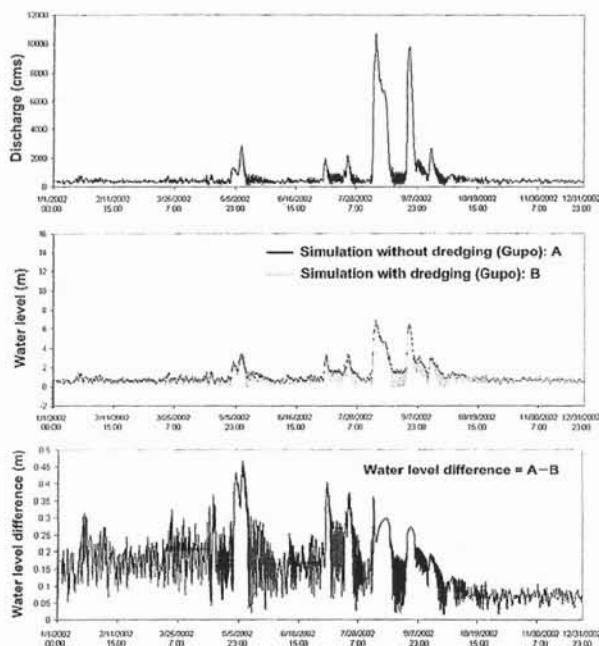


그림 11. 준설 가·부에 따른 구포대교에서의 수위변화 및 수위차 (2002년)

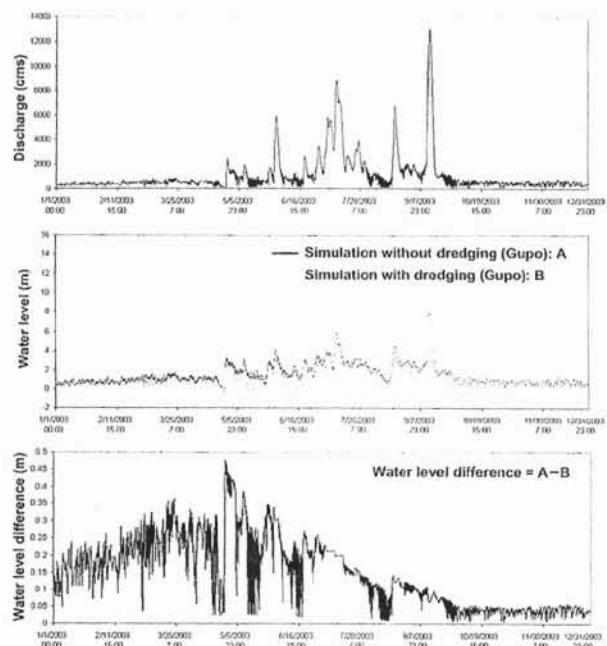


그림 12. 준설 가·부에 따른 구포대교에서의 수위변화 및 수위차 (2003년)

유사 농도를 발생시키는 것으로 나타났다. 2002년의 경우에는 9월 2일에 태풍 루사에 의한 최고 홍수량이 발생했을 때가 아닌 연중 첫 홍수가 발생했을 때의 유사 농도가 일년 중 가장 높은 것을 알 수 있었다. 2003년의 경우도 마찬가지로 태풍 매미 때의 최대 홍수량이 발생했을 경우와 최대 유사 농도가 발생하는 시기가 일치하지 않음을 수치 모형 분석을 통해 알 수 있었다. 이는 수치 모의 과정에서 각 단면에서 계산된 유사 이송량의 차이에 의해 하상 변동이 발생하고 이는 곧 하상경사가 매 계산 시간 단계마다 변화하는 것을 의미하며 결과적으로 같은 유량 조건에서도 하상경사 차이에 의해 동수역학적인 조건들(유속, 수심, 에너지 경사 등)이 시간에 따라 바뀌게 되므로 종유사량 공식에 의해 산정된 특정 단면의 유사 농도는 단순히 유량이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 형태가 아닌 하상경사 변화에 의한 다른 동수역학적 조건들의 변화로 인해 유사 농도 차이가 발생하는 것이다. 그러므로 향후 낙동강 하류 및 하구둑에서의 유사가 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 주요한 큰 홍수가 발생하는 시기보다는 초기 홍수가 발생하는 시기에 초점을 맞춰야 할 것으로 판단된다.

#### 4.3 준설작업의 수행 여부에 따른 하상변동으로 인한 홍수위 변화

1987년 낙동강하구둑 준공 이후 앞서 설명된 바와 같이, 홍수시 하구둑 상류의 통수능을 확보하기 위하여 연간 619,500 m<sup>3</sup>/s에 해당하는 퇴사를 커터를 이용한 펌프 준설 공법을 이용하여 준설하고 있다. 낙동강 유자관리 보고서 (ISWACO-NEDECO, 1987)에 의하면 하구둑 상류 3 km까지의 접근 수로에서 유사 퇴적 높이가 1 m 이상 되지 않도록 유지하기를 권고하고 있다. 이는 태풍 매미 때와 같이 조위가 높을 때 큰 홍수가 동시에 발생할 경우, 하구둑 상

류의 수위가 상승하여 홍수 범람의 위험을 초래할 수 있으므로 이를 최소화하기 위한 것이다. 따라서 본 연구에서는 개발된 1차원 준정류 모형을 이용하여 준설을 실시하지 않았을 때의 1년 동안의 하상변화에 따라 홍수위가 얼마나 상승하는지를 계산하였으며 준설을 실시하였을 경우의 홍수위 산정 값과 비교하였다. 수위 변화를 비교한 지점은 구포지점이며 수치모의에 적용된 실제 수위, 유량, 조위 자료는 2002년과 2003년 자료를 이용하였다.

준설 가·부에 따른 수치모의 결과는 그림 11과 12이며, 두 조건의 모의 결과 준설작업을 수행하지 않음으로서 발생하는 수위 상승이 갈수기보다는 홍수기 때 더 작은 것으로 나타났다. 수위차의 평균값은 유량이 10,000 m<sup>3</sup>/s 이상 일 때, 2002년의 경우 27.6 cm이고 2003년의 경우 6.8 cm이었다. 최대 수위차는 2,000 m<sup>3</sup>/s 이하의 적은 유량일 경우에 발생하였으며 2002년에 46.8 cm, 2003년에 47.8 cm가 발생하였다. 수치모의 결과에 의하면 준설 작업은 홍수기 때보다는 2,000 m<sup>3</sup>/s 이하의 적은 유량일 때 수위 상승을 방지하는데 더 효과적임을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 낙동강하구둑 및 하류 유역에서의 유사 특성 및 계절별 유사농도 그리고 하상변동 및 준설 여부에 따른 홍수위 변화 등을 현장 자료 분석 및 수치 모의를 통해 검토하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 구포 지점과 진동 지점에서 하상토 입도 분포를 조사하고 과거 문헌에서 제시하고 있는 조도계수 값들의 일관성을 검토하고 Simons and Richardson(1963, 1966), Bogardi(1974), van Rijn(1984) 방법들을 이용하여 하상 형태 분석을 통해 재 검정하였다. 하구둑에서 상류 40

- km까지의 하상형태 예측 결과 현장에서 관측한 결과와 매우 유사한 양상을 보여 주었다.
2. 하구둑의 조위와 하구둑 상류 수위 차이를 계산하여 새로운 경계조건의 설정이 가능하도록 개발된 Ji(2006)의 준정 상류 모형을 이용하여 하구둑 상류에서의 유사가 퇴적되는 현상을 모의하였으며 계산된 하상고는 준설을 수행하지 않았을 때의 하상변동에 의한 수위 변화를 모의하는데 초기 하상조건으로 활용하였다.
  3. 2002년과 2003년의 계절별 유사농도의 변화를 모의하였으며, 낙동강 하류 및 하구둑에서의 유사농도 변화는 큰 홍수가 발생하는 시기보다는 2000 cms 내외의 일년중 초기 홍수가 발생하는 시기에 유사농도가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 같은 유량 조건에서도 하상경사 변화에 의해 동수역학적인 조건들(유속, 수심, 에너지 경사 등)이 시간에 따라 바뀌게 되므로 유사 농도는 단순히 유량이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 형태가 아닌 하상경사 변화에 의한 다른 동수역학적 조건들로 인해 유사 농도 차이가 발생한다.
- 마지막으로, 준설 가·부에 따른 하상변동으로 인한 홍수 위 변화를 모의하였으며 그 결과 준설을 실시하지 않았을 때의 수위 상승은 홍수기 때 보다  $2,000 \text{ m}^3/\text{s}\text{이하의 적은 유량일 때}$  더 크게 나타났으며 준설 작업은 홍수기 때 보다는  $2,000 \text{ m}^3/\text{s}\text{이하의 적은 유량일 때}$  수위 상승을 방지하는데 더 효과적임을 알 수 있었다.
- 본 연구에서 도출된 낙동강하구둑 및 하류 유역에서의 유사 특성 및 계절별 유사농도 그리고 하상변동 및 준설 여부에 따른 홍수위 변화 등의 결론들은 향후 낙동강하구둑의 보다 효과적인 유지관리 계획 수립 및 재정립에 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 건설교통부(2006) 낙동강수계 본류(구포 등 3개소) 유량측정조사.  
 건설교통부(1991) 낙동강 하천정비기본계획(보완)(하구둑·밀양강 합류부).  
 김경희, 이인철(2005) 낙동강 하구역의 입자성 부유물질 수지에 측. 2005년도 공동학술대회 논문집, 한국해양과학기술협의회, pp. 1995-2001.  
 지운, 박상길, Julien, P.Y., 이원민(2007) 낙동강 하류의 하상

- 형태의 분석 및 총유사량 공식 산정에 관한 연구. 2007년도 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 4165-4168.  
 최병습(1996) 낙동강하구둑 근처의 수리학적 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 부산대학교.  
 한국수자원공사(2007) 낙동강하구둑 종합관리를 위한 유지관리 개선 연구.  
 한국수자원공사(2006) 낙동강하구둑 관리연보.  
 한국수자원공사(1995) 낙동강하구둑 퇴사 거동 특성에 관한 연구.  
 Ackers, P. and White, W.R. (1973) Sediment transport: New approach and analysis. J. Hyd. Div. ASCE, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041-2060.  
 Bogardi, J. (1974) *Sediment Transport in Alluvial Streams*. Budapest: Akademiai Kiad.  
 Brownlie, W.R. (1981) Prediction of flow depth and sediment discharge in open-channels. Report no. KH-R-43A. Pasadena, California Institute of Technology, W. M. Keck Laboratory.  
 Engelund, F. and Hansen, E. (1967) A Monograph on Sediment Transport to Alluvial Streams. Copenhagen, Teknik Forlag.  
 ISWACO-NEDECO (1987) *Nakong River Estuary Barrage and Reclamation Project: Operation Manual*. Republic of Korea Industrial Sites and Water Resources Development Corporation and Netherlands Engineering Consultants, Busan, Korea.  
 Ji, U. (2006) *Numerical model for sediment flushing at the Nakdong River Estuary Barrage*, Ph.D. dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, U.S.A.  
 Julien, P.Y. (1998) *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.  
 Shen, H.W. and Hung, C.S. (1972) An engineering approach to total bed-material load by regression analysis. Proc. sedimentation Symposium, ed. H.W. Shen. Berkeley, Calif.: Water Resources Pub.  
 Simons, D.B. and Richardson, E.V. (1963) Form of bed roughness in alluvial channels. Trans. ASCE, Vol. 128, pp. 284-323.  
 Simons, D.B. and Richardson, E.V. (1966) *Resistance to flow in alluvial channels*. Professional Paper 422-J. Washington, D.C., U.S. Geological Survey.  
 EPA, U.S. (2003) Developing water quality criteria for suspended and bedded sediments (SABS), Office of Water. U.S.  
 van Rijn, L.C. (1984) Sediment transport, Part III: Bedforms and alluvial roughness. J. Hyd. Div. ASCE, Vol. 110, No. 12, pp. 1733-1754.  
 Yang, C.T. (1979) Unit stream power equation for total load. J. Hyd. Div. ASCE, Vol. 40, pp. 123-138.

(접수일: 2008.3.20/심사일: 2008.5.10/심사완료일: 2008.6.30)