

하구둑에서의 하폭축소 방법을 이용한 퇴사저감 효과 분석

Analysis for the Effectiveness of Sedimentation Reduction Using the Channel Contraction Method at the Estuary Barrage

지 운* / 김 권 한** / 여 운 광***

Ji, Un / Kim, Gwon Han / Yeo, Woon Kwang

Abstract

In this study, the methods of sedimentation reduction for the estuary barrage were analyzed using the CCHE2D bed change model. Especially, the effectiveness of sediment dredging currently applied in the field was evaluated quantitatively and also the channel contraction method which is a substitute method was analyzed for the Nakdong River Estuary Barrage (NREB). The numerical model was calibrated and validated for the sediment transport equations and transport modes. In the NREB case, the Ackers and White formula and bed load type was the most similar to the field condition. As a results of the dredging simulation, there was the sedimentation reduction effect of 0.2 m in the bed changes. Furthermore, the analysis result of the channel contraction method represented that the sedimentation reduction effects of the average 0.4 m and the maximum 2.0 m were produced.

Keywords : nakdong river estuary barrage, CCHE2D model, sediment reduction, numerical modeling, dredging effect, channel contraction

요 지

본 연구에서는 2차원 하상변동 수치모형인 CCHE2D 모형을 이용하여 낙동강하구둑에서의 퇴사저감 방안을 분석하였다. 현재 매년 시행되고 있는 준설방법에 대한 효과를 정량적으로 분석하였으며 준설방법을 대체할 수 있는 퇴사저감 방법으로 하폭축소를 통한 퇴사저감 방안에 대해 모의를 수행하였다. 분석에 사용된 모형은 각각 유사량 공식과 유사이송 형태에 대해 모형 검보정을 수행하였으며 낙동강하구둑의 경우 Ackers and White (1973) 공식과 소류사 형태의 유사이송 방식을 수치모의 시 사용하는 것이 실제 하상변동 결과와 가장 유사한 것으로 나타났다. 검보정된 CCHE2D 모형을 이용하여 현재 시행되고 있는 준설방법에 대한 분석을 수행하였으며 그 결과, 준설이 수행된 구간에서 평균 0.2m의 퇴적량 감소를 확인할 수 있었다. 또한, 하폭축소를 통한 퇴사저감 분석 결과, 평균 0.4m의 퇴사저감 효과가 있는 것으로 나타났으며 특히 하폭이 축소된 구간에서는 축소전과 비교해 최대 2.0m 정도의 퇴사저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 낙동강하구둑, CCHE2D 모형, 퇴사저감, 수치모의, 준설효과, 하폭축소

* 명지대학교 토목환경공학과 연구교수 (e-mail: jiuncivil@gmail.com)

Research Professor, Dept. of Civil and Environmental, Engrg., Myongji Univ., Yongin-si, Korea

** 교신저자, 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 (e-mail: hyh1901@lycos.co.kr)

Corresponding Author, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental, Engrg., Myongji Univ., Yongin-si, Korea

*** 명지대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: yeo@mju.ac.kr)

Professor, Dept. of Civil and Environmental, Engrg., Myongji Univ., Yongin-si, Korea

1. 서론

하천에서의 흐름으로 인한 유사의 이동은 하상의 침식과 퇴적을 야기하고 이러한 반복된 현상으로 인해 하상변동이 발생한다. 하천에서의 하상변동은 경우에 따라 홍수위 상승, 저수지 기능 감퇴, 용수와 취수 방해, 유사에 의한 오염원 확산 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 하천 유역내의 댐이나 보 등과 같은 수리구조물의 설계 및 유지관리 그리고 수자원 계획, 개발 및 관리 시에 하상변동과 퇴사저감 방안에 대한 검토를 반드시 수행해야 한다(유권규와 우효섭, 1990). 하상변동 및 퇴사저감 분석에 대한 기술적 필요성은 여러 하천복원 사업 및 4대강 사업 등과 같은 하천 관련 사업들이 활발히 진행되면서 더 크게 부각되고 있는 실정이다. 본 논문의 대상영역인 낙동강하구둑(Nakdong River Estuary Barrage, NREB)은 홍수시 통수능 확보를 위해 매년 준설방법을 이용하여 퇴사를 제거하고 있다.

일반적인 댐이나 보 상류의 퇴사를 저감하는 방안으로는 홍수시 유입되는 유사를 방류수로 배사하는 즉시배사(Sluicing), 수위저하로 자연흐름을 유도한 후 퇴적토사를 배사하는 플러싱(Flushing), 저수지내 퇴적된 토사를 준설장비로 준설을 통해 제거(Dredging) 하는 방법 등이 있다. 퇴사저감 방안에 관한 연구는 주로 저수지와 댐에서의 강제배사에 관한 연구가 주를 이루고 있다. Liu et al. (2004)은 하천에서의 플러싱에 의한 부유사농도의 변화와 하상변동을 예측하기 위한 1차원 수치모형을 개발하였으며 일본의 Kurobe 강의 현장자료를 이용하여 모형을 검증하였다. Martin and John (2001)은 Sharpe 호수에서 HEC-6T 모형을 이용하여 플러싱을 통한 퇴사제거를 모의하였다. Howard et al (1996)은 North Fork Feather 강의 저수지에서 Fluvial-12 모형을 이용하여 Sediment-Pass-Through를 통한 침전물 제어 효과에 대해 분석하였다. 낙동강하구둑에서 현재 수행되는 준설에 대한 연구로는, Ji (2006)가 1차원 준정상류 모형을 이용하여 준설작업의 수행 여부에 따른 홍수 발생 시 수위 변화에 대한 연구를 수행하였으나, 준설효과에 대한 검증 및 정량적 분석이 부족한 실정이다. 따라서 낙동강하구둑에서 현재 수행중인 준설방법에 대한 정량적 분석 및 검증이 필요하며, 이를 대체할 수 있는 적절한 퇴사저감방안 연구도 필요하다.

본 연구의 목적은 첫째, 한승원 (2010)에 의해 제안된 낙동강하구둑에서의 최적의 유사량공식과 유사이송형태인 Ackers and White (1973) 공식과 소류사이송 형태에 대해, 2007년 실제수문사상과 지형을 적용하여 검증함으로써 퇴사저감 모의시 활용하는데 있다. 둘째, 대상하천에서 현재 수행중인 퇴사저감 방법인 준설방법에 대해 수치

모의를 통해 그 효과를 정량적으로 분석하고 검증하는 것이다. 셋째, 현재 수행중인 준설방법의 대안으로 준설토를 이용하여, 하폭이 급격히 확대됨으로써 유속이 감소하는 구간의 하폭을 유함으로써 퇴사를 저감하는 방법에 대해 연구하고자 한다. 이러한 연구를 통해 일반적인 하천의 보나 댐 상류에서 수행되는 퇴사저감 및 퇴사제거 방법의 선정을 위한 정량적인 평가방법 및 절차를 사례 연구를 통해 제안하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 대상하천의 개요 및 수치모형 선정

2.1 대상영역의 개요

본 연구의 대상영역인 낙동강하구둑은 안동댐으로부터 하류 355 km 지점에 위치하고 있으며 바다로부터 상류 8 km 지점에 위치하고 있다. 낙동강하구둑은 낙동강 하류 부 인근 동남 해안권의 산업도시와 영남최대의 곡창지대인 김해평야에 염분 피해 없는 안정된 용수공급과 치수를 목적으로 건설되었다. 낙동강하구둑 건설로 안정적인 용수 공급은 가능하게 되었으나, 하구둑으로 인한 유속 감소에 의해 하구둑 상류에 유사가 퇴적되는 문제가 발생하고 있다. 이러한 퇴사문제를 해결하기 위해 1990년에서 2008년까지 연평균 678,523 m³에 해당되는 퇴사를 커터를 이용한 펌프 준설 공법을 이용하여 준설하고 있으며, 이는 홍수 시에 상류 수로의 통수능을 확보하여 홍수위 상승을 방지하기 위한 것이다(한국수자원공사, 2008). 본 연구에서는 이러한 퇴사 문제를 해결하기 위해 낙동강하구둑을 시점으로 하여 상류 3.8 km 구간까지를 대상영역으로 정하고 2차원 하상변동 모형인 CCHE2D 모형을 이용하여 모의를 수행하였다(Fig. 1).

2.2 수치모형의 선정 및 수치모의 조건

하상변화를 모의하기 위한 2차원 수치모형은 공학적 설계의 실행 가능성 평가나 최적화를 위한 계획과 의사결정, 단기간의 모의를 통한 장기간에 대한 영향예측 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 본 연구에 적용할 수치모형 선정을 위해 대표적인 2차원 하상변동 모형인 SED2D (Ariathurai and Krone, 1974)와 CCHE2D 모형(Wu et al. 2000)을 비교하였다. 두 모형의 가장 큰 차이점은 SED2D 모형은 부유사 이송 형태와 Ackers and White (1973) 공식만을 적용하여 모의가 가능한 것에 비해, CCHE2D 모형은 하상도 입도분포를 입력하여 모의가 가능하며 Ackers and White (1973), Engelund and Hansen (1967), Wu et al. (2000), SEDTRA Module (Garbrecht et al. 1995) 등 다양한 유사량 공식을 선정하여 모의할 수 있고 유사이송 형태는 소류사와 부유사, 총유사 이송형태에 대해서 모두



Fig. 1. Study Reach of the Lower Nakdong River

모의가 가능하다는 점이다(지운 등, 2010). 본 연구에서는 낙동강하구둑 상류 접근수로에서의 하상변동 예측을 위한 유사량 산정 공식 및 유사이송 형태의 선정을 위해 다양한 유사량 공식과 유사이송 형태가 적용 가능한 CCHE2D 모형을 활용하였다. Wu et al. (2000) 공식과 SEDTRA Module (Garbrecht et al. 1995) 공식은 CCHE2D 모형에서 총유사량 이송 형태로만 모의가 가능하기 때문에 본 논문에서는 소류사와 부유사 이송 형태 적용이 모두 가능한 Ackers and White (1973) 공식과 Engelund and Hansen (1967) 공식만을 적용하였다. 이 두 공식은 2차원 하상변동 모의시 가장 많이 이용되는 유사량 산정공식으로 Engelund and Hansen (1967) 공식은 하천의 상사이론에 기초하여 개발된 것이며 Ackers and White (1973) 공식은 일종의 에너지 개념 형태를 기본으로 개발된 공식이다.

2차원 흐름 및 하상변동 모의를 위한 지형자료는 한국수자원공사에서 홍수기 전과 홍수기 후 Echo Sounder와 E.P.S를 이용하여 단면으로 측량한 결과를 이용하였다. 측량은 20m 간격으로 균일하게 시행되었으며 수치모의 시에도 이를 반영하여 Mesh 간격을 20m 간격으로 나누어 입력하였으며 자료처리에 따른 영향을 최소화하였다. 측량된 지형 자료는 CCHE2D 상에서 사용할 수 있는 Random Interpolation 기법과 Triangulation Interpolation, Structured Interpolation 기법 중 모형의 매뉴얼 상에서 추천하는 Structured Interpolation을 사용하여 지형 자료를 보간 하였다. 모형의 Mesh 격자는 가로 32개, 세로 150개로 총 4,800개의 격자망으로 구축하였다. 모의기간은 홍수기 전 지형측량이 실시된 기간을 시점으로 하여 홍수기 후 지형측량이 실시된 기간까지를 모의하였다. 2002년의 경우 2002년 7월부터 11월까지, 2007년의 경우는 4월부터 10월까지를 모의기간으로 하여 일유량과 수위 값에

대하여, 시간간격은 60 sec로 1,440회/day를 모의하였다. 초기 지형은 2002년은 7월 측량 자료, 2007년은 4월 측량 자료를 입력하였다. 수위와 유량 자료는 삼랑진 지점의 낙동강홍수통제소 일평균 유량자료와 하구둑 지점의 수위자료를 이용하였다. 하상토 중앙입경은 구포지점의 자료(지운 등, 2008)를 이용하였으며 0.25 mm를 적용하였다. 조도계수는 2008년 낙동강하구둑 유지관리 개선방안 연구보고서(한국수자원공사, 2008)에서 분석된 Manning의 n값인 0.023을 적용하였다. 또한 유사량 자료는 1995년에 한국수자원공사에서 제시한 진동지점 유량-유사량 관계식을 활용하였다(한국수자원공사, 1995). 제시된 식은 다음의 Eq. (1)과 같으며, 이를 활용하여 해당 유량에 대한 유사량을 계산하였다.

$$Q_s = 0.224987Q^{1.71556} \quad (1)$$

여기서, Q_s (tons/day)는 유사량을 표시하며, Q (m^3/s)는 유량을 나타낸다.

3. CCHE2D 모형의 유사량 산정공식 및 유사이송 형태 검토

본 연구에서는 CCHE2D 모형을 이용하여 Ackers and White (1973)와 Engelund and Hansen (1967) 공식을 적용하고, 유사이송 형태로는 소류사, 부유사, 총유사 이송 형태를 각각 적용하여 유량크기별 하상변동모의를 수행한 후 그 결과를 서로 비교하였다. 즉, 민감도 분석의 대상은 하상변동 결과 값이며 민감도 분석을 위한 변화 조건들은 유사량 공식과 유사이송 형태이다. 유사량공식 및 유사이송 형태에 대한 수치모형의 보정을 위해 2002년 지형 및 실제 수리·수문자료를 활용하였으며 최종 검증 과정에는

2007년 자료가 사용되었다.

3.1 유사량 공식 및 유사이송 형태 선정

한승원 (2010)에 의해 수행된 낙동강하구둑에서의 최적의 유사량공식과 유사이송형태에 대한 내용을 참고하면 유사량 공식을 다르게 적용한 유량 크기별 하상변동모의 결과, Engelund and Hansen (1967) 공식을 적용한 모의 결과에서는 상류부 경계에서 퇴적만 발생할 뿐 대상구간 전반에서 하상변동이 발생하지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 3). 반면, Ackers and White (1973) 공식을 적용한 조건에서는 전 구간에서 퇴적과 침식이 발생하였으며 이는 두 공식이 한 지점에서의 유사량 측정값과 유사한 값

을 예측하였더라도 하상변동 모의 결과는 상이한 결과를 도출할 수 있다는 사실을 증명하고 있다.

다음으로 유사이송 형태의 결정을 위해 2002년의 7월부터 11월까지 실제 수문사상 (Fig. 2)과 홍수기전 측량한 지형을 적용한 하상변동 모의 결과를 비교하였다. 모의 결과는 Figs. 4(a) and 4(b)이며 부유사이송 형태의 경우 하류에 퇴적되는 양상이 크게 나타났으며 소류사이송 형태의 경우 유사량 상류와 하류에서 부유사이송 형태 보다는 침식이 더 크게 나타나는 양상을 보였다. 대상하천에 적합한 유사이송 형태 선정을 위해 모의 결과와 실제 11월 측량된 횡단면을 50m 간격으로 비교하였다. 횡단면 비교결과, 소류사이송 형태를 적용한 하상변동 모의 결과

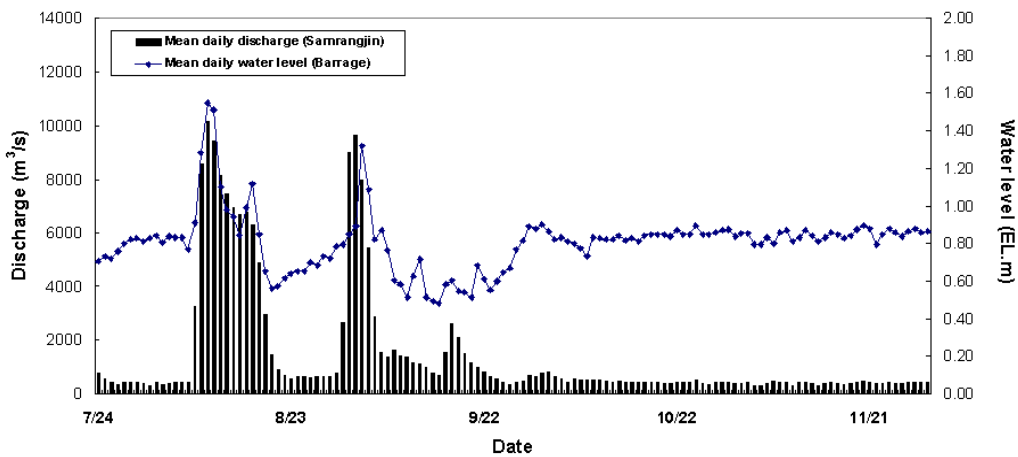
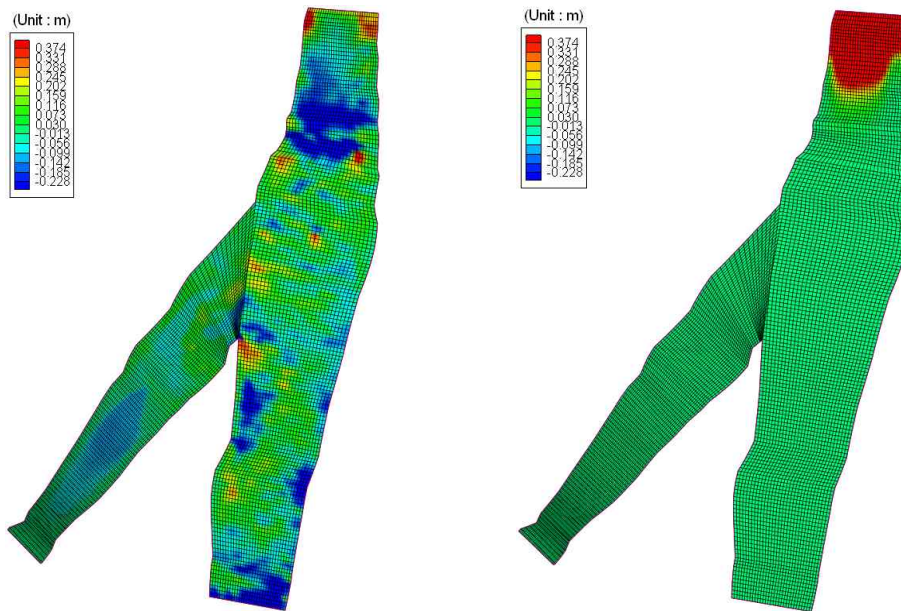
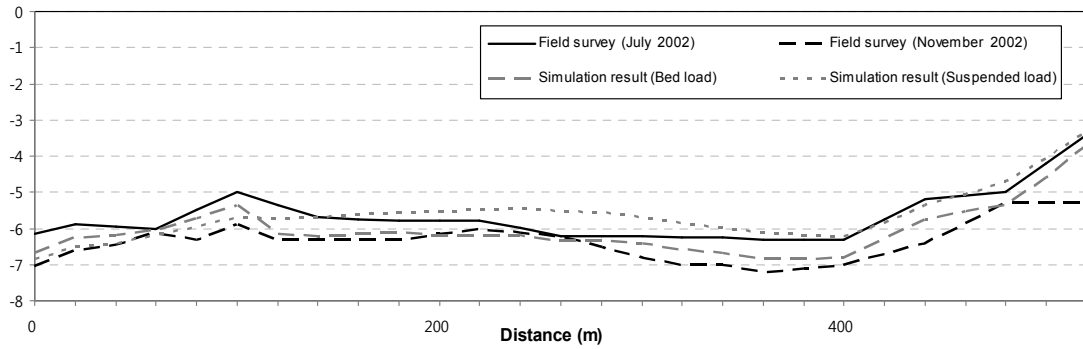


Fig. 2. Discharge and Water Level Data at the Lower Nakdong River in 2002

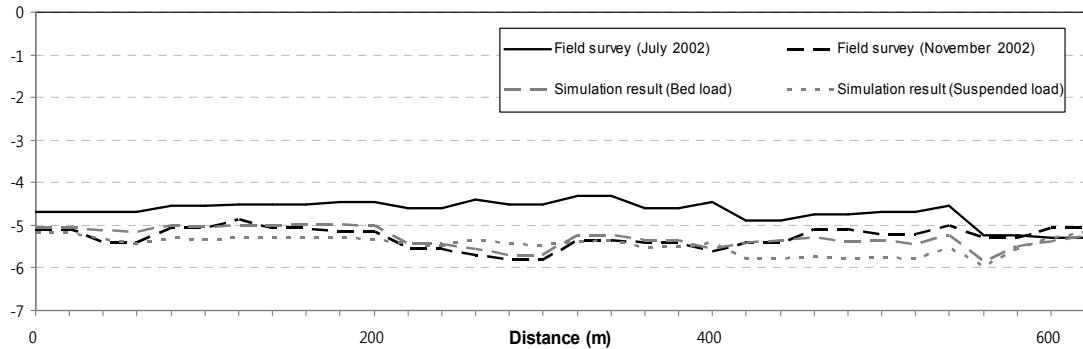


(a) Ackers and White (1973) Formula (b) Engelund and Hansen (1967) Formula

Fig. 3. Simulation Results of $Q=4,623 \text{ m}^3/\text{s}$ and Bed Load Type (지운 등, 2010)



(a) Comparison of Cross Sections in 800 m Upstream of NREB



(b) Comparison of Cross Sections in 1,950 m Upstream of NREB

Fig. 4. Measured and Simulated Results of Bed Change (2002)

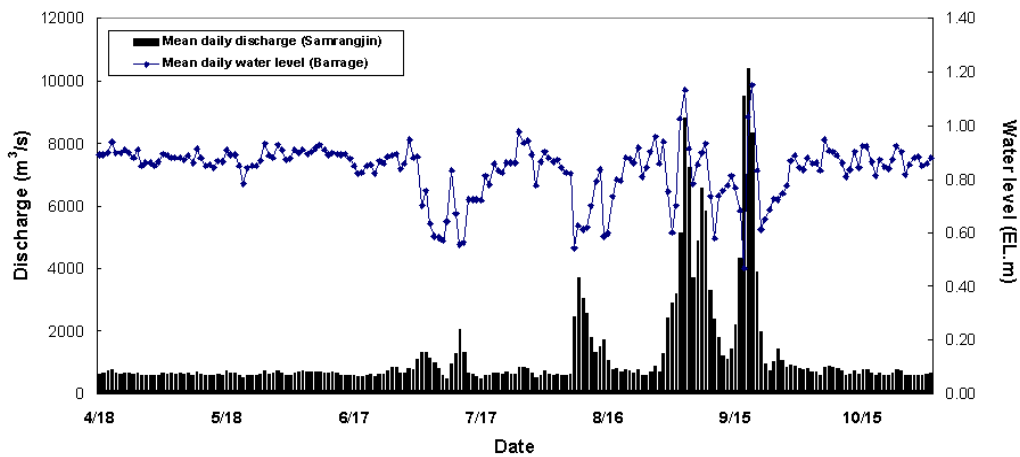


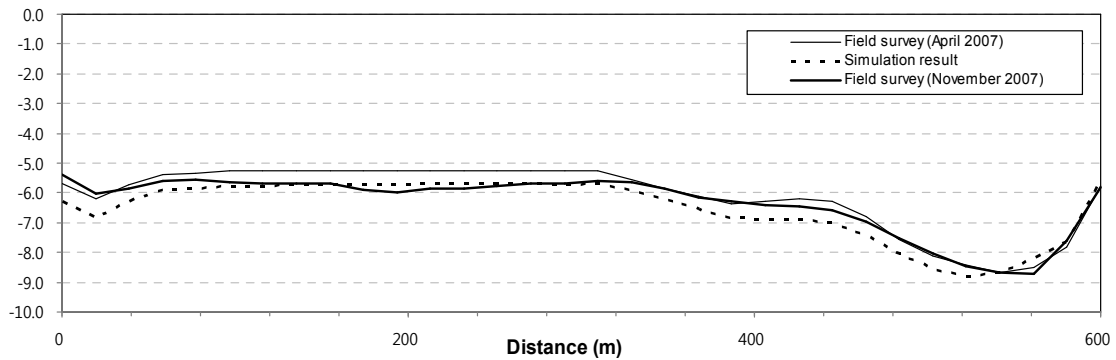
Fig. 5. Discharge and Water Level Data at the Lower Nakdong River in 2007

가 부유사이송 형태를 적용하였을 경우보다 실제 지형과 일치하는 것으로 나타났다. 부유사이송 형태를 적용한 하상변동 모의 결과는 전체적으로 침식이 적게 나타났으며 횡단면 중앙에서 퇴적이 발생하는 등 실제 현상과 다르게 나타났다.

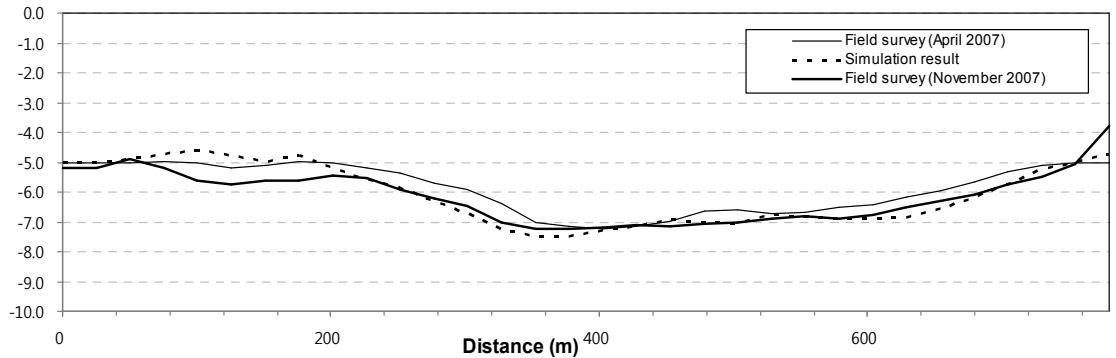
3.2 모형의 검증

모형의 민감도 분석 및 보정 과정을 통해 대상하천에서 하상변동 분석시 유사량 공식은 Ackers and White (1973)

공식을 적용하고 유사이송 형태로는 소류사이송 형태를 적용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이를 최종적으로 검증하기 위해 2007년 실제 수문사상 (Fig. 5)을 적용하고 2007년 홍수기 전 측량한 지형을 초기 하상으로 입력하여 하상변동 모의를 수행하였다. 2007년의 경우 하구둑을 기준으로 상류 1km 지점부터 2.9km 사이 구간에서 준설이 수행되었으며 수치지모의시에도 측량된 지형자료를 준설이 된 후의 지형으로 수정한 후 이를 초기 지형자료로 활용하였다. 2007년 4월부터 11월까지의 실제수문



(a) Comparison of Cross Sections in 1,400 m Upstream of NREB



(b) Comparison of Cross Sections in 2,600 m Upstream of NREB

Fig. 6. Measured and Simulated Results of Bed Change (2007)

사상을 적용한 하상변동 모의 결과와 실제 11월 측량한 횡단면 전 구간을 50m 간격으로 비교하였다 (Fig. 6). 소류사이송 형태의 이류-확산방정식을 적용하고 Ackers and White (1973) 공식을 적용한 모의 결과, 모든 구간에서 실제 측량된 횡단면과 비교적 일치하는 것으로 나타났다. 예를 들어 하구둑으로부터 1,400 m 떨어진 지점의 경우, 하상변동 모의 결과와 실제 측량된 횡단면의 최대 침식이 각각 -8.93m, -8.78m인 것으로 나타났으며 두 값의 차이는 0.15m인 것으로 나타났다.

4. 준설을 통한 퇴사저감

본 연구의 대상영역인 낙동강하구둑 상류의 경우 높은 조위와 큰 홍수가 동시에 발생할 경우를 대비해서 유사퇴적 높이가 1m 이상이 되지 않도록 매년 준설을 시행하고 있다. 본 연구에서는 현재 수행중인 준설효과를 분석하기 위해 앞서 선정된 유사량 공식과 유사이송 형태의 조합을 2002년 수문사상에 적용하였다. 2002년의 경우 낙동강하구둑을 기준으로 상류 1km에서 1.5km 사이 구간과 2km에서 2.5km 사이 구간에서 준설이 수행되었으며 준설을 고려한 모의시에는 준설 구간 내 지형을 준설 후 지형으로 수정한 후 이를 초기지형으로 적용하여 모의하였다.

준설효과 분석을 위해 Fig. 7과 같이 준설을 실시하지

않았을 경우와 준설을 실시하였을 경우의 수치모의 결과를 비교하였다. 비교 결과, 전체적인 하상변동 양상은 비슷하였으나 준설을 고려한 경우에는 준설이 수행된 1km에서 1.5km와 2km에서 2.5km 구간에서 퇴적량이 감소하였으며 준설구간 외에서도 전체적으로 퇴적량이 감소함을 알 수 있었다. 준설구간 내 횡단면비교에서는 실제 측량된 횡단면과 모의 결과가 비교적 일치하는 것으로 나타났으며 준설을 수행하지 않았을 경우 준설을 수행한 모의 결과에 비해 준설구간 뿐만 아니라 모의구간 전체에서 퇴적량이 증가하는 것으로 나타났다.

하구둑으로부터 1.4km 떨어진 지점의 경우, 준설을 고려한 수치모의 결과가 준설을 고려하지 않은 수치모의 결과에 비해 하천의 중앙과 우안부분이 최대 1.1m 이상 퇴적되는 것으로 나타났다 (Fig. 8(a)). 또한 2km 떨어진 지점의 경우 준설을 고려하지 않은 모의 결과는 우안과 중앙 부분에 최대 1m 이상 퇴적되는 것으로 나타났다 (Fig. 8(b)).

5. 하폭축소를 통한 퇴사저감 분석

하구둑으로부터 상류 2.5km에서 3.3km 구간은 하폭이 급격히 확대되는 구간으로 유속이 감소되는 현상이 발생하며 이로 인해 유사가 가장 많이 퇴적되는 구간이다.

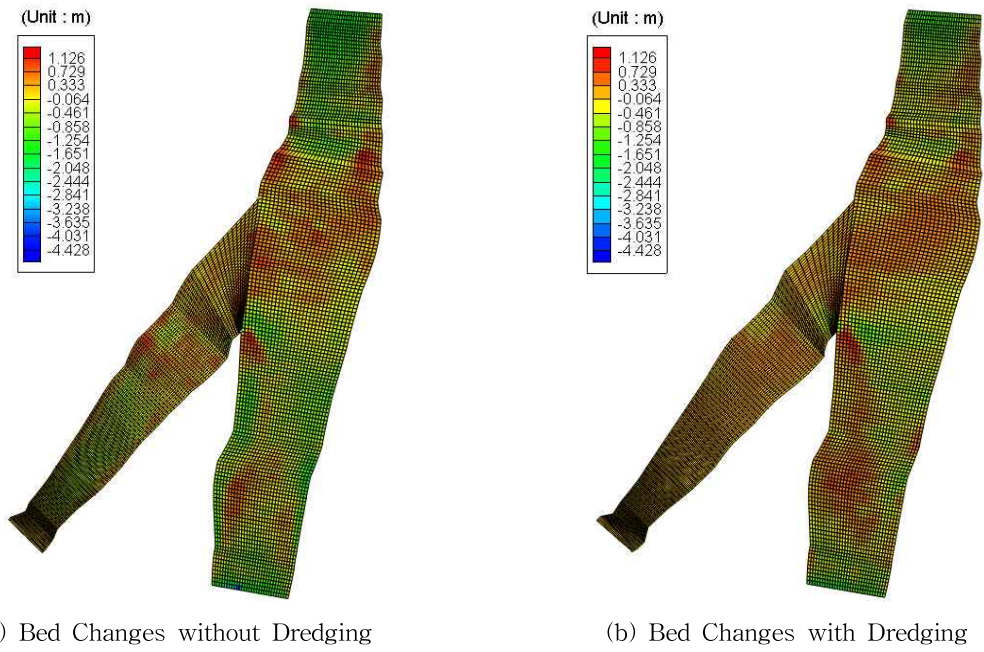
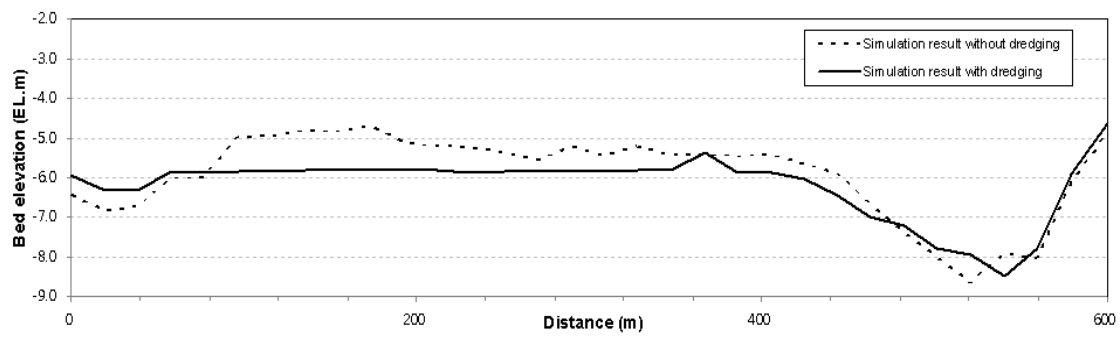
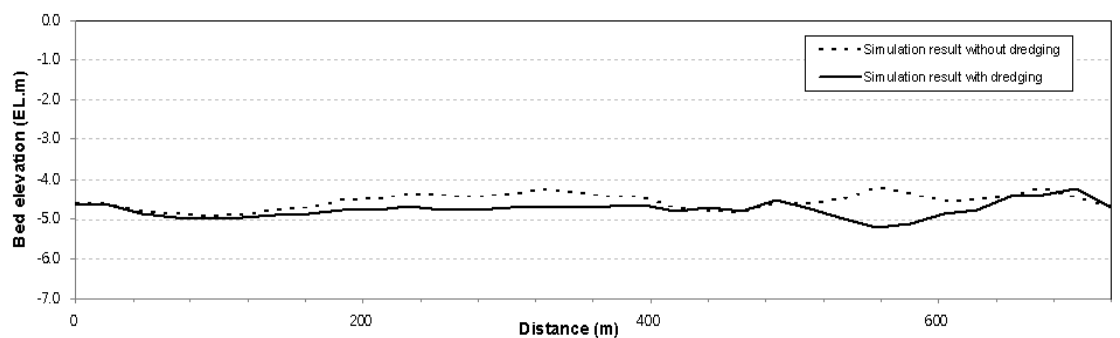


Fig. 7. Simulation Results of Bed Changes with and without Dredging (2002)



(a) Comparison of Cross Sections in 1,400 m Upstream of NREB

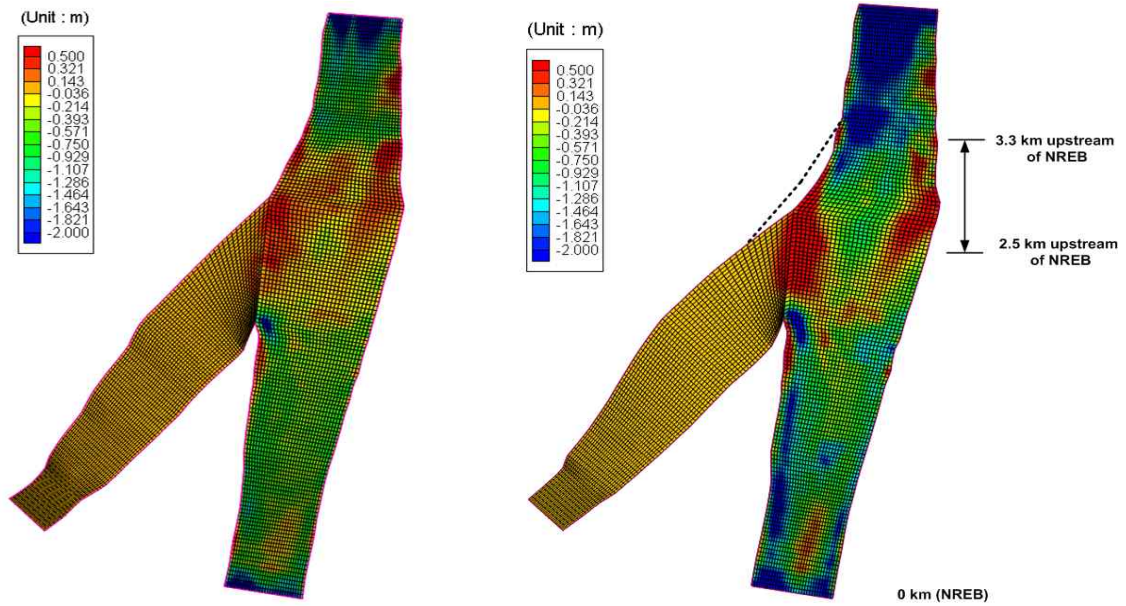


(b) Comparison of Cross Sections in 2,000 m Upstream of NREB

Fig. 8. Measured and Simulated Results of Bed Change (2002)

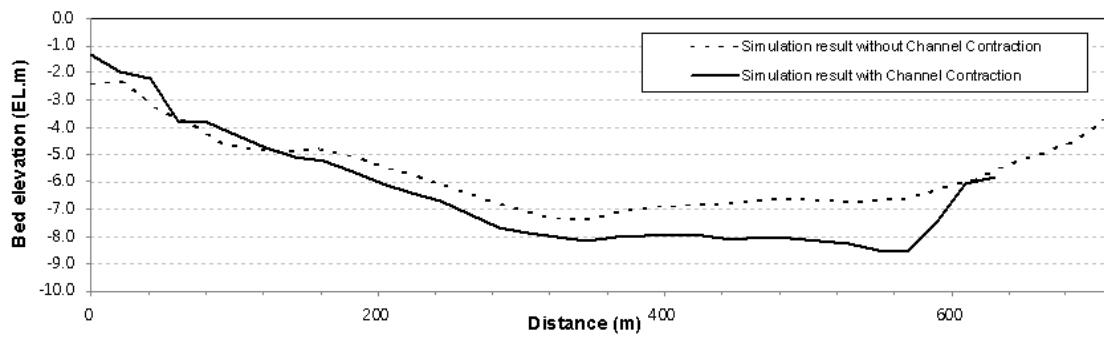
이 구간은 매년 준설이 수행되고 있는 구간이며 만약 매년 준설되는 토사를 Fig. 9(b)에서와 같이 이 구간의 우안에 매립한다면 하폭축소를 통한 유속감소와 퇴사저감 효과를

도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 수치 모의에서 적용된 가상의 축소된 면적은 약 54,000 m²로 하폭 축소 전보다 최대 약 11% 정도 하폭이 축소된 경우가

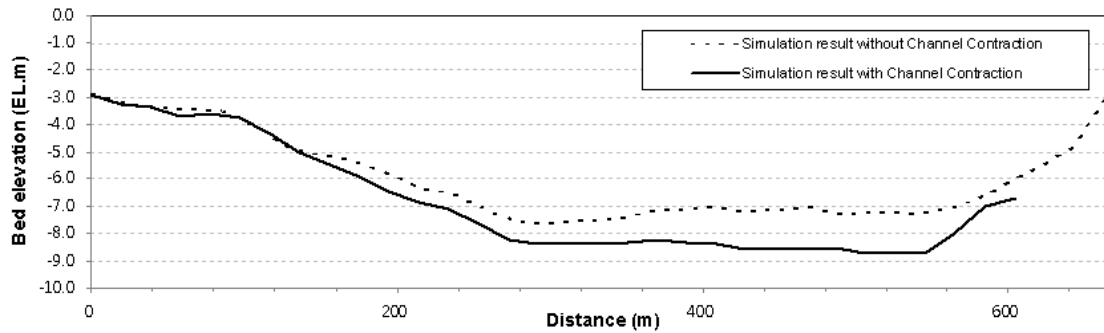


(a) Bed Changes without Channel Contraction (b) Bed Changes with Channel Contraction

Fig. 9. Bed Changes with and without Channel Contraction of Nakdong River (2007)



(a) Comparison of Cross Sections in 2,800 m Upstream of NREB



(b) Comparison of Cross Sections in 2,900 m Upstream of NREB

Fig. 10. Simulated and Channel Contraction Simulated Results of Bed Change (2007)

다 (Fig. 9). 하폭축소를 통한 퇴사저감 방안 분석을 위해 4장 준설효과 모의에서 적용된 조건과 동일하게 2007년 실제 수문사상 (Fig. 5)과 Ackers and White (1973) 공식, 소류사이송 형태를 적용하여 하상변동 모의를 수행하였다.

하폭축소 전 모의 결과에서는 단면의 급확대로 유속이 감소하는 2km에서 3km 구간에서 초기하상에 비해 0.5 m 이상의 유사가 퇴적되는 양상이 나타났으나 하폭축소 후 모의 결과에서는 초기하상에 비해 하폭축소 구간 중앙

Table 1. Maximum and Average Sedimentation Reduction Effect

Distance from the NREB	Channel Contraction Rate	Bed elevation without channel contraction (El.m)	Bed elevation with channel contraction (El.m)	Maximum sedimentation reduction effect	Averaged sedimentation reduction effect
3,600 m		-9.7 m	-11.6 m	-1.9 m	-0.9 m
3,400 m		-9.0 m	-10.5 m	-1.5 m	-0.7 m
3,200 m	1.5 %	-8.5 m	-9.8 m	-1.3 m	-0.6 m
3,000 m	6.5 %	-7.3 m	-9.1 m	-1.8 m	-0.9 m
2,800 m	11 %	-6.6 m	-8.6 m	-2.0 m	-0.7 m
2,600 m	7.9 %	-5.7 m	-7.0 m	-1.3 m	-0.4 m
2,400 m		-5.7 m	-6.4 m	-0.7 m	-0.1 m
2,200 m		-5.2 m	-6.0 m	-0.6 m	-0.1 m
2,000 m		-5.6 m	-6.0 m	-0.4 m	-0.1 m
1,800 m		-6.3 m	-7.0 m	-0.7 m	-0.1 m
1,600 m		-8.3 m	-9.5 m	-1.2 m	-0.3 m
1,400 m		-8.7 m	-9.3 m	-0.6 m	-0.3 m
1,200 m		-6.0 m	-7.5 m	-1.5 m	-0.4 m
1,000 m		-7.8 m	-8.9 m	-1.1 m	-0.3 m

에서 0.4m 이상 침식되는 것으로 나타났다. 또한, 하폭축소가 적용되지 않은 하류와 상류 구간에서도 퇴적량이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

하폭축소를 통한 퇴사저감 효과를 보다 정확히 확인하기 위해 대상하천에서의 횡단면 비교를 실시하였다. Fig. 10(a) and (b)에서 확인할 수 있듯이 전체적으로 하천의 좌안에서는 하폭축소전보다 평균 0.2m의 퇴사저감이 나타났다. 중앙과 우안에서 평균 0.5m의 퇴사저감 효과가 발생하였고 우안이 좌안에 비해 퇴사저감이 더 큰 것으로 나타났다. 횡단면 비교결과, 전체적으로 하폭축소후 침식이 더 크게 발생하여 퇴사저감 효과가 있는 것으로 나타났으며 특히 하폭이 축소된 구간은 축소전과 비교해 최대 2.0m 이상 침식이 일어났다. Table 1은 수치모의 결과를 각 구간별로 분석한 내용으로 하폭축소전과 축소후의 최대 침식높이와 각 구간별 최대 저감 높이 및 평균 저감 높이를 나타낸 것이다. 하폭축소가 최대인 2,800m 지점에서 최대 퇴사저감 효과가 발생하였음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 낙동강하구둑에서의 퇴사저감 방안에 대한 수치모의 분석을 위해 CCHE2D 모형을 이용하여 유량크기별 하상변동 민감도 분석과 실제 수문사상을 적용한 하상변동 모의를 수행하였다. 또한 현재 시행되고 있

는 준설효과에 대한 분석과 함께 하폭축소를 통한 퇴사저감 방안에 대해 수치모의를 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

첫째, 유사량 공식 및 유사이송 형태에 대한 민감도 분석과 2002년 수문사상을 적용한 모의 결과, 낙동강하구둑 상류 접근수로에서는 Ackers and White (1973) 공식을 적용하고 유사이송 형태는 소류사 형태를 적용하는 것이 적절한 것으로 나타났으며 이는 2007년 지형과 수문사상을 적용한 수치모의를 통해 검증되었다.

둘째, 낙동강하구둑에 현재 수행중인 준설효과를 분석하기 위해 2002년 수문사상과 지형자료를 적용하여 2차원 수치모의를 수행하였다. 준설을 고려하지 않은 모의 결과에 비해 준설이 수행된 구간에서 평균 0.2m 퇴적량 감소를 확인할 수 있었으며 실제 측량된 횡단면과 모의 결과가 평균 0.1m의 차이를 보였다. 준설을 수행하지 않았을 경우, 준설 구간내 횡단면 비교 시 초기하상에 비해 최대 1.1m 이상 퇴적되는 것으로 나타났으며 준설구간뿐만 아니라 모의 구간 전체에서 퇴적량 증가가 나타났다.

셋째, 준설방법의 대안으로 준설토를 이용하여 하폭축소를 통한 퇴사저감 방법을 수치 모의한 결과, 하폭 축소전 모의 결과에서는 단면의 급 확대로 유속이 감소하는 2.5km에서 3.3km 구간에 초기하상에 비해

0.5 m 이상의 유사가 퇴적되는 양상이 나타났으나 하폭축소후 모의 결과에서는 하폭축소 구간 중앙에서 초기하상에 비해 평균 0.9 m의 퇴사저감 효과를 확인할 수 있었다. 하폭축소전과 하폭축소후 모의 결과 비교시, 하폭축소후 최소 0.1 m에서 최대 0.9 m의 퇴사저감이 나타났으며 하폭축소후 침식이 더 크게 발생하는 것으로 나타났다.

낙동강하구둑 상류 접근수로의 퇴사저감 방법 선정을 위한 수치모의 연구결과, 준설로 인한 유사퇴적량 감소를 확인할 수 있었으며 매년 준설되는 토사를 활용하여 하폭의 최대 단면을 축소시키는 방법을 적용한다면 준설을 대체할 수 있는 방안으로 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2010-004786)입니다.

참고문헌

유권규, 우효섭 (1990). “하천 유사량 공식들의 비교평가.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제10권, 제4호, pp. 67-75.

지운, 여운광, 한승원 (2010). “낙동강하구둑 상류 접근수로에서의 유사량 공식 및 유사 이송형태에 따른 하상 변동 수치모의에 관한 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제6호, pp. 543-557.

지운, Julien, P.Y., 박상길, 김병달 (2008). “낙동강 하류의 유사특성과 낙동강하구둑 준설효과에 관한 수치모의 연구.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제 4-B호, pp. 405-411.

한국수자원공사 (1995). **낙동강하구둑 퇴사 거동 특성에 관한 연구**.

한국수자원공사 (2008). **낙동강하구둑 유지관리 개선방안 연구보고서**.

한승원 (2010). **CCHE2D 모형을 이용한 유사량 산정 공식 및 유사이송 형태에 따른 하상변동 수치모의에**

관한 연구. 석사학위논문, 명지대학교, pp. 37-49.

Ackers, P., and White, W.R. (1973). “Sediment transport new approach and analysis.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Div. ASCE, Vol. 99, HY 11, pp. 2041-2060.

Ariathurai, R., and Krone, R.B. (1974). “Finite element mode for cohesive soils.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Div. ASCE, Vol. 104, HY2, pp. 279-283.

Engelund, F., and Hansen, E. (1967). *A monograph on sediment transport to alluvial streams*. Copenhagen, Teknik Forlag, Copenhagen, Denmark.

Garbrecht, J., Kuhnle, R.A., and Alonso, C.V. (1995). “A sediment transport capacity formulation for large channel networks.” *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 50, No. 5, pp. 527-529.

Howard, H.C., Larry, L.H., Wing, L., and Scott, T. (1996). “Numerical modeling for sediment-pass-through reservoirs.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 7, pp. 381-388.

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, pp. 47-59.

Liu, J., Minami, S., Otsuki, H., Liu, B., and Ashida, K. (2004). “Prediction of concerted sediment flushing.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 130, No. 11, pp. 1,089-1,096.

Martin, J.T., and John, I.R. (2001). “Lake sharpe sediment flushing analyses.” *World Water Congress 2001*.

Wu, W., Wang, S.S.Y., and Jia, Y. (2000). “Nonuniform sediment transport in alluvial river.” *Journal of Hydraulic Engineering, Research*, IAHR, Vol. 38, No. 6, pp. 427-434.

논문번호: 10-092	접수: 2010.11.04
수정일자: 2010.12.17/12.29	심사완료: 2010.12.29