



# 하상변동에 따른 홍수위험도 변화를 고려한 하천의 준설 위치 및 준설량 산정

## Estimation of River Dredging Location and Volume Considering Flood Risk Variation Due to Riverbed Change

정안철\* · 김성원\*\* · 유완식\*\*\* · 김영규\*\*\*\* · 정관수\*\*\*\*\*

Jeong, Anchul\*, Kim, Seongwon\*\*, Yu, Wansik\*\*\*, Kim, Youngkyu\*\*\*\*, and Jung, Kwansue\*\*\*\*\*

### Abstract

In this study, we conducted a study on the step of recognizing the necessity of dredging in Korea which the dredging regulation is not sufficient. For this purpose, the method of selecting target area for dredging considering flood risk was suggested using freeboard criterion in river design standard of Korea. The suggested method was applied to Geum river basin where three multi-functional weirs are operated. As a result, it was found that three site did not satisfy the freeboard regulation. Among them, the Miho stream confluence site showed the greatest aggradation of the riverbed. So, the Miho stream confluence site was selected as the dredging target site, and dredging volume according to the riverbed change was estimated. Therefore, through suggested method in this study, it is expected to provide basic data and selecting method for target dredging area considering flood risk.

**Key words** : Riverbed Change, Flood Risk, River Dredging, Multi-functional Weir

### 요 지

본 연구에서는 준설의 규정이 미비한 국내를 대상으로 준설의 필요성을 인식하는 단계에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해서 하천설계기준에 제시되어 있는 여유고 기준을 이용하여 치수적 측면에서의 준설 대상지역 선정방법을 제안하였다. 3개의 다기능보가 운영되고 있는 금강을 대상으로 준설 대상지역 선정방법을 적용하였다. 그 결과, 총 3구간에서 여유고 기준을 충족하지 못하는 것으로 나타났으며, 그 중에서 하상상승이 가장 활발한 미호천 합류부를 준설 대상지역으로 선정하고, 하상변화가 진행됨에 따라 예상되는 준설량을 산정하였다. 본 연구에서 제안한 준설 대상지역 선정방법을 통해서 치수적 측면에 대한 준설의 필요성 검토 방안 및 기초자료 등을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 하상변동, 홍수위험도, 하도준설, 다기능보

### 1. 서 론

기후변화와 도시화의 영향으로 수자원 관리가 어려워지

고, 수자원 수요량은 증가하고 있다. 이러한 상황에서 전세계적으로 수자원 확보는 댐이나 보와 같은 저류시설에 많이 의존하고 있는 추세이다(Gleick, 2000).

\*정회원, 충남대학교 국제수자원연구소 연구원(E-mail: anchuly@cnu.ac.kr)

Member, Researcher, International Water Resources Research Institute, Chungnam National University

\*\*정회원, 충남대학교 토목공학과 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

\*\*\*정회원, K-water 융합연구원 선임연구원

Member, Senior researcher, K-water Convergence Institute

\*\*\*\*정회원, 충남대학교 국제수자원연구소 연구원

Member, Researcher, International Water Resources Research Institute, Chungnam National University

\*\*\*\*\*교신저자, 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-42-821-5675, Fax: +82-42-821-8957, E-mail: ksjung@cnu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

댐이나 보와 같이 하천을 횡단하여 저수지를 형성하는 수리구조물로 인해서 유사의 연속성이 차단되고, 유속 및 유사이송능력이 감소하여 저수지 퇴사를 발생시키는 단점이 있다. 저수지 퇴사는 저수공간을 유사와 공유하면서 저수용량을 감소시키고, 홍수위험도 증가, 용수공급 및 구조물 안정성 약화 등과 같은 문제 발생의 확률을 증가시키게 된다(Jeong et al., 2015). 전세계적으로 매년 약 1%의 저수용량이 퇴사현상으로 감소하고 있는 추세로 유사퇴적에 대한 지속적인 모니터링 및 관리가 필요하다(Kondolf et al., 2014).

저수지 퇴사 관리를 위해서 다양한 기법들이 제시되어 왔으나, 분사제사(sludging), 배사(flushing), 준설(dredging)의 조합이 가장 효과적이라는 연구가 보고되고 있다(Shen, 1999). 여기서, 분사제사는 홍수기와 같이 많은 양의 유량이 저수지로 유입되는 시기에 유량과 함께 유사를 저수지 하류로 배제하는 방식으로, 이미 퇴적된 유사 제거에는 비효율적이라는 단점이 있다(Ji, 2011). 배사는 강제적인 수위 강하를 통해 수류력을 증가시켜 유사를 저수지 하류로 배제하는 방식이다. 배사의 경우에는 강제적인 수위강하로 확보된 수자원을 사용해야하는 부담이 있으며(Jeong et al., 2016), 하폭이 넓은 지역에서는 배사수로를 형성하여 효율이 낮아지는 단점이 있다(Shen, 1999). 분사제사와 배사를 적용하였거나, 예상되는 효율이 낮은 경우에는 전문화된 준설의 도입을 고려할 필요가 있다.

그러나, 현재까지 국내 하천분야의 기준 및 매뉴얼에서 준설에 대한 내용을 다루고 있으나 다음과 같이 매우 미비한 수준이다. 하천설계기준(MLTMA, 2009b)에서는 준설이 적용 가능한 상황에 대한 제시가 대부분이며, 댐설계기준(MLTMA, 2011)에서는 세부 기준없이 저수용량을 회복하는 대안 중 하나로만 제시되어 있다. 하천 유지·보수 매뉴얼(MLTMA, 2012b)에서는 준설이 필요한 상황 및 준설장비 등에 대해서 서술하고 있으며, 하천공사 표준시방서(KWRA, 2007)에서는 하상정리공사 부분에서 비교적 상세하게 지침을 정하고 있으나, 대부분의 내용을 항만 및 어항공사 표준시방서(MLTMA, 2012a)를 따르도록 제시하고 있다. 항만 및 어항공사 표준시방서는 연안 및 해안의 특성에 의해서 하천에 적용하기에는 무리가 있는 기준들이 대부분인 것으로 나타났다. 하도준설지침서(K-water, 2009)에서는 준설 전·중·후에 대한 평가기법으로 준설에 대한 구체적인 시행방안은 부족한 편이다. 따라서, 하천과 저수지를 중심으로 준설에 대한 구체적인 시행방안에 대해서 연구가 필요한 실정이다.

위와 같이 준설에 대한 규정이 미비한 상황으로 인해서 준설의 필요성을 인식하는 단계에 대한 연구가 필요하다. 위와 관련된 연구로는 Wang et al. (2003)이 수치해석모형을 이용하여 동일 홍수량에 대한 하상변동 모의 전·후의 수심을 이용하여 준설지역을 선정한 연구가 있다. 그러나, Wang et al. (2003)이 제시한 방법은 수심 비율에 대한 임계치를 제시하지 못하는 한계가 있는 것으로 나타났다. Lee et al.

(2004)는 Wang et al. (2003)이 제시하지 못한 임계치를 제시하기 위해서 준설판단지수를 개발하였으며, 이를 항만 준설에 적용하였다. 준설판단지수는 오염물질의 양과 질, 생물독성도 등을 고려하여 준설깊이 및 준설방법을 선정한다. 그러나, 항만 준설에 대한 국내 기준을 기반으로 개발되어 하천에 적용하기에는 무리가 있다. USACE (U.S. Army Corps Engineers)에서는 2차원 장기하상변동 모형인 LT-FATE를 개발하여 하상고 변화를 지속적으로 예측하고, 일정 기준 이상 하상고 상승이 발생하면 하상고 실측을 수행하여 준설지역을 선정하는 것으로 알려져 있다(ARCROM, 2016). 하천 유지·보수 매뉴얼(MLTMA, 2012b)에서는 장기간 퇴적으로 인하여 통수단면의 확보가 필요한 지역의 경우 준설계획을 수립하도록 규정하고 있으나, 이에 대한 자세한 방안은 제시하지 않고 있다. 하천에 비해 상대적으로 준설이 활발한 해안·항만에서는 선박의 통항이나 항로의 매몰방지를 중심으로 준설시기를 산정하고 있으며(Choi, 2001; Kim and Gug, 2006; Chun et al., 2012), 호소 및 저수지에서는 저수용량 감소 및 수질 개선(Lee et al., 2006; Kim et al., 2013), 사방댐에서는 만사, 악취, 민원, 접근로 등의 문제 발생을 기준으로 준설지역 및 준설시기를 산정하고 있다(Park et al., 2013; Seo, 2013).

준설 대상지역 선정과 관련된 선행연구 및 국내 기준·규정을 검토한 결과, 국내 하천분야에서는 준설 대상지역을 선정하기 위한 뚜렷한 기준이 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 준설 대상지역을 선정하기 위한 방안에 대해서 연구를 수행하였으며, 여유고 기준을 이용하여 준설 대상지역 선정 방법을 정량화하였다. 또한, 제시된 방안을 3개의 다기능보가 운영되고 있는 금강유역에 적용하여, 금강유역의 하상상승 우심지역을 분석하고, 준설지역 및 준설량을 산정하였다.

## 2. 연구방법 및 연구대상구간

### 2.1 연구방법론

하상변동에 대한 수치해석적 연구는 수치모형의 차원에 따라서 1, 2, 3차원 모형으로 구분할 수 있다. 이 중에서 2, 3차원 모형은 교각, 배사구 직상류 등 수리구조물 주변과 같이 짧은 구간에 대해서 단시간의 하상변화를 예측하는데 유용하며, 상대적으로 긴 구간에 대한 장기간의 모의에는 많은 시간과 노력이 소요되는 것이 일반적이다. 실제 2, 3차원의 수치해석모형의 검보정을 위해서 2, 3차원의 실측 자료가 필요하지만, 이러한 형태의 실측은 시간과 예산의 한계로 인해서 일부 지역에 한정되며 하도 전체적으로는 1차원 측정이 대부분이다(Ahn, 2016).

이러한 이유로 인해서 과거부터 많은 연구자들은 긴 구간에 대한 장기 하상변동은 1차원 수치해석 모형이 적합하다고 결론지었다(White, 2001; Morris and Fan, 2010; Yang and

Simões, 2008; Simões and Yang, 2008). 이러한 이유로 본 연구에서는 1차원 수치해석 모형을 이용한 장기 하상변동 모의를 수행하고자 한다.

본 연구에서 이용할 수치해석 모형은 장기 하상변동이 가능한 동시에 수문운영에 대한 고려가 함께 이루어져야 한다. 일반적으로 장기 하상변동 연구에 많이 사용되는 수치해석 모형에는 HEC-RAS, GSTARS, CCHE1D 등이 있다 (Brunner, 2016; Yang and Ahn, 2011; Wu and Vieira, 2002). 이 중에서 GSTARS와 CCHE1D는 수문운영에 대한 모의가 불가능하다는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 HEC-RAS를 기반으로 흐름 분석을 수행하여 다기능보의 수문운영 시나리오를 취득하고, 장기하상변동의 경계조건으로 이용하였다.

다음 단계에서는 하상변동 모의를 통해서 산정된 하상과 하천설계를 통해서 수립된 계획홍수량을 이용하여 계획홍수량이 도래할 경우의 홍수위와 여유고를 분석하고, 그 결과를 바탕으로 준설 대상 지역을 선정하였다. 이를 위해서 하천설계기준(MLTMA, 2009b)에 제시된 여유고 기준을 이용하여 홍수위험도를 평가하는 수식을 제안하였다. 또한, 준설 대상 지역에 대한 준설량이 준설 시기에 따른 변화량을 검토하였다.

## 2.2 연구대상구간

본 연구의 연구대상구간은 한반도 중서부에 위치하고 있는 금강유역 중에서 대청 조정지대부터 강경 수위관측소까지 약 98 km를 대상으로 하였다(Fig. 1). 해당 구간에는 상류부터 세종보, 공주보, 백제보 순으로 3개의 다기능보가 직렬로 설치되어 운영되고 있다. 세종보는 고정보 223 m, 가동보 125 m로 건설되었으며, EL. 11.8 m를 관리수위로 지정하여 운영하고 있다. 공주보와 백제보는 각각 220 m와 120 m의 고정보와 120 m, 191 m의 가동보로 구성되어

있으며, 각각 EL. 8.75 m, EL. 4.2 m를 관리수위로 지정하여 운영하고 있다(K-water, 2013). 연구대상구간에는 총 3개의 국가하천과 다수의 지방하천이 유입된다. 본류로 유입되는 3개의 국가하천은 상류부터 갑천, 미호천, 논산천으로, 본 연구에서는 국가하천만을 유입지류로 고려하였다.

## 2.3 입력자료 구축 및 수치모형의 검·보정

HEC-RAS를 통하여 하상변동 모의를 수행하고자 하는 경우에 입력자료는 크게 수리량 자료와 유사량 자료로 구분된다. 수리량 자료는 하천지형, 조도계수, 수위 및 유량으로 이루어지는 경계조건 등이며, 유사량 자료는 수온자료, 하상토 입도분포, 유사량 경계조건 등이 필요하다(Jeong and Jung, 2015). 본 연구에서는 금강수계하천기본계획(MLTMA, 2009a)에 의해서 조사된 하천지형 자료를 이용하였으며, 조도계수는 Eq. (1)과 같이 표현되는 Manning-Strickler 식 (Woo, 1995)을 이용하여 초기 값을 산정하고 검보정 후 이용하였다.

$$n = 0.034d^{1/6} \quad (1)$$

Eq. (1)에서  $n$ 은 조도계수,  $d$ 는 대표입경을 의미하며, mm 단위를 사용한다. 수리량 경계조건 중에서 상·하류단 경계조건은 대청조정지대의 방류량과 강경 수위관측소의 수위를 이용하였다. 유입지류에 대한 경계조건은 각 유입지류의 최하류단에 위치한 수위관측소에서 관측된 유량을 유량면적비를 이용하여 산정하였다. 유사량 자료 중 수온자료는 약 1주일 간격으로 측정되는 공주1 수질측정망의 자료를 내삽하여 이용하였으며(Fig. 2), 하상토 입도분포는 금강수계 하천기본계획(MLTMA, 2009a)시 조사된 자료를 이용하였다(Fig. 3). 유사량 경계조건 중 상류단 경계조건은 대청조

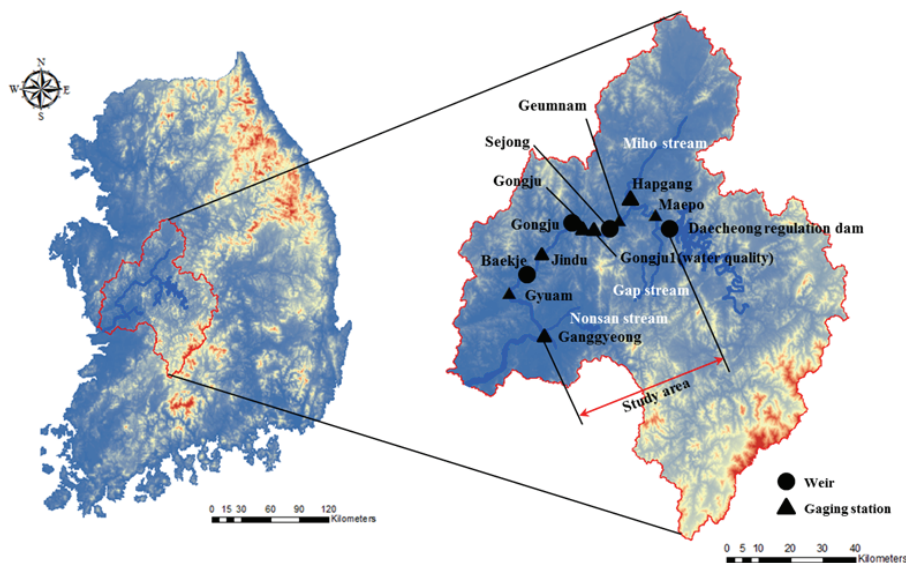


Fig. 1. Study Area

정지담의 영향으로 상류단의 유사유입은 없다고 가정하였으며, 각 유입지류는 Table 1과 같이 조사된 유량-유사량 관계곡선식을 이용하였다.

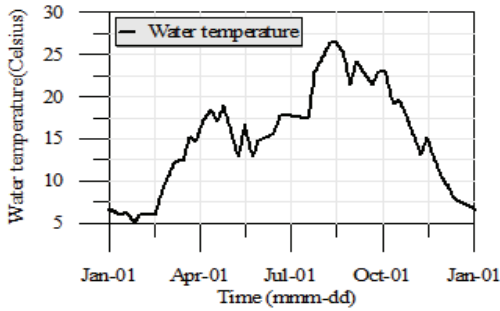


Fig. 2. Water Temperature at Gongjul Gaging Station for Water Quality

하상변동 모형의 검·보정은 고정상 모형(fixed model)과 이동상 모형(movalbe model)을 구분하여 검·보정이 이루어져야 한다. 고정상 모형의 검·보정은 2016년도의 대청조

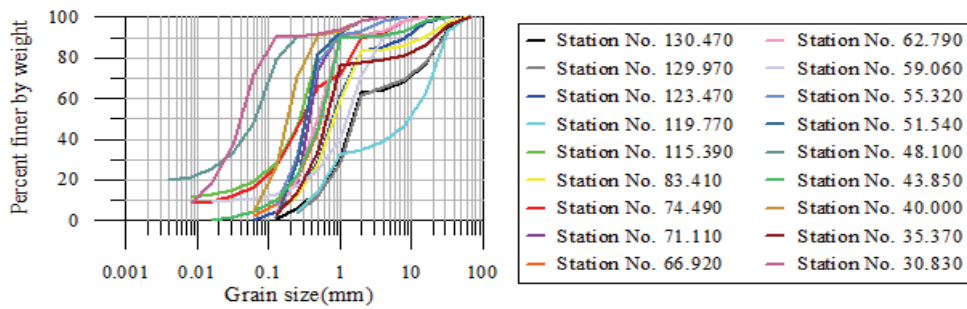


Fig. 3. Grain Size Distribution of Geum River

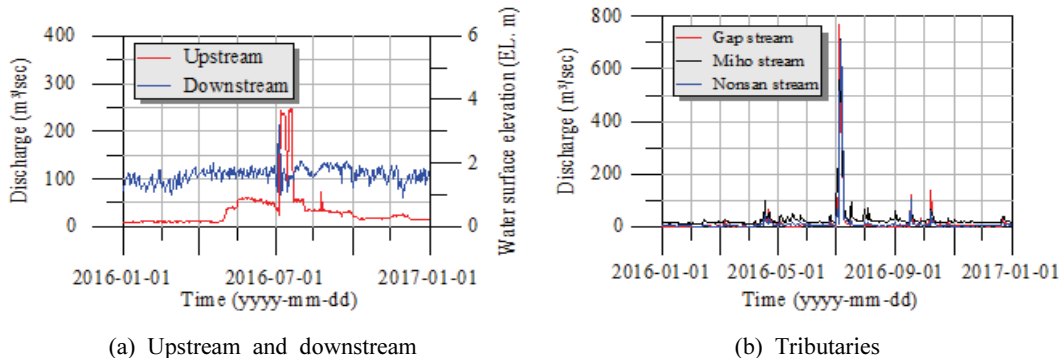


Fig. 4. Boundary Conditions for Fixed Model Verification

Table 1. Sediment Rating Curve of Tributary

Stream	Gaging station	Sediment rating curve	Reference
Gap	Hoedeok	$Q_s = 0.5986Q^{1.4933}$	MOLIT, 2014
Miho	Hapgang	$Q_s = 0.5406Q^{1.5733}$	MOLIT, 2012
Nonsan	Nonsan	$Q_s = 1.969 \times 10^{-5} Q^{1.48}$	Lee and Kim, 2016

정지담의 방류량을 상류단 경계조건, 강경 수위관측소의 수위자료를 하류단 경계조건으로 이용하였다(Fig. 4). 모형의 검·보정 단계에서 다기능보의 수문운영은 관리수위를 유지하는 조건으로 모의하였다. 세종보의 수문은 월류형(overflow type)으로, 공주보와 백제보는 배사형(slucice gate)으로 설정하였으며, 월류형은 Eq. (2), 배사형은 Eq. (3)의 공식을 이용한다(Brunner, 2016).

$$Q = CWH^{3/2} \quad (2)$$

$$Q = \begin{cases} Q = CWB\sqrt{2gy_1} & \text{if } y_3/y_1 \leq 0.67 \\ Q = CWB\sqrt{2g(y_1 - y_3)} & \text{if } y_3/y_1 \geq 0.8 \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $Q$ 는 유량( $m^3/sec$ ),  $C$ 는 유량계수,  $W$ 는 위의 폭(m),  $H$ 는 수문 상류의 에너지 수두(m),  $B$ 는 수문 개도 높이(m),  $g$ 는 중력가속도( $m/s^2$ ),  $y_1$ 과  $y_3$ 는 각각 수문 상·하류의 수심(m)을 의미한다.

고정상 모형에 대한 모의결과는 금남, 공주, 진두 관측소의 실측 수위와 비교를 통해서 검증이 수행하였다(Fig. 5). 금남 수위관측소의 11월 중순부터 오차가 발생하는 것으로 나타났으며, 관측 수위가 약 1.5 m 강하하여 지속된 것으로 보아 관측오류로 판단하였다. 그 외에는 관측치와 유사하게 모의하는 것으로 나타났으며, NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)와 RMSE (Root Mean Square Error)를 이용하여 정량적으로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 여기서, NSE는 Eq. (4)와 같이 표현되며, 관측값과 모의치 간의 정확성을 검증하는데 주로 사용되는 계수로서 1.0이 가장 이상적인 결과를 나타낸다(Yu et al., 2016). RMSE는 Eq. (5)와 같이 표현되며, 잔차의 제공급을 산술평균한 값으로 표준편차를 일반화시켜 관측값과 모의치간의 차이를 평가하는 척도이다(Jeong et al., 2016).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (5)$$

여기서,  $N$ 은 자료수,  $O$ 와  $P$ 는 관측값과 모의치,  $\bar{O}$ 는

관측값의 평균을 의미한다.

이동상 모형에 대한 검·보정은 관측 유사량 및 하상형상에 대한 시계열 자료가 존재하여 모의된 유사량 및 하상형상과 관측 유사량 및 하상형상을 비교하는 것이 가장 타당하다. 그러나 국내의 유사량 관측은 간헐적으로 이루어지고 있어 직접적으로 이동상 모형에 대한 검증을 수행하는 것에는 무리가 있다(Jeong et al., 2016). 이러한 경우에는 모형에서 제공하는 유사이송공식을 직접 계산한 결과와 간헐적으로 측정된 유사량의 실측치를 비교하여 가장 유사한 결과를 도출한 유사이송공식을 적용하는 것이 일반적이다(Ji and Jang, 2016). 본 연구에서는 Ackers-White (1973), England-Hansen (1976), Yang (1984), Laursen (Copeland and Thomas, 1989)의 유사이송공식에 대해서 2012년에 이루어진 유사측정자료를 적용하였다. 그 결과, Fig. 6과 같이 Yang 공식이 본 연구의 대상구역에 가장 최적의 유사량 공식으로 선정되었다.

장기하상변동은 경계조건의 구성에 따라서 하상변동 및 유사이송의 형태가 달라지게 되며(Chung et al., 2006), 이러한 이유로 수리 경계조건은 매우 중요한 입력자료가 된다. 일반적으로 장기하상변동의 수리 경계조건으로 많이 이용되고 있는 방법에는 대표연도 수리 경계조건이 반복된다고 가정하여 이용하는 방법(Wang and Hu, 2009; Yeon et al., 2009)과 모의하고자 하는 기간과 동일한 과거의 유량을 수리 경계조건으로 입력하는 방법(Ahn and Yang, 2015; Ahn et al., 2013)이 있다.

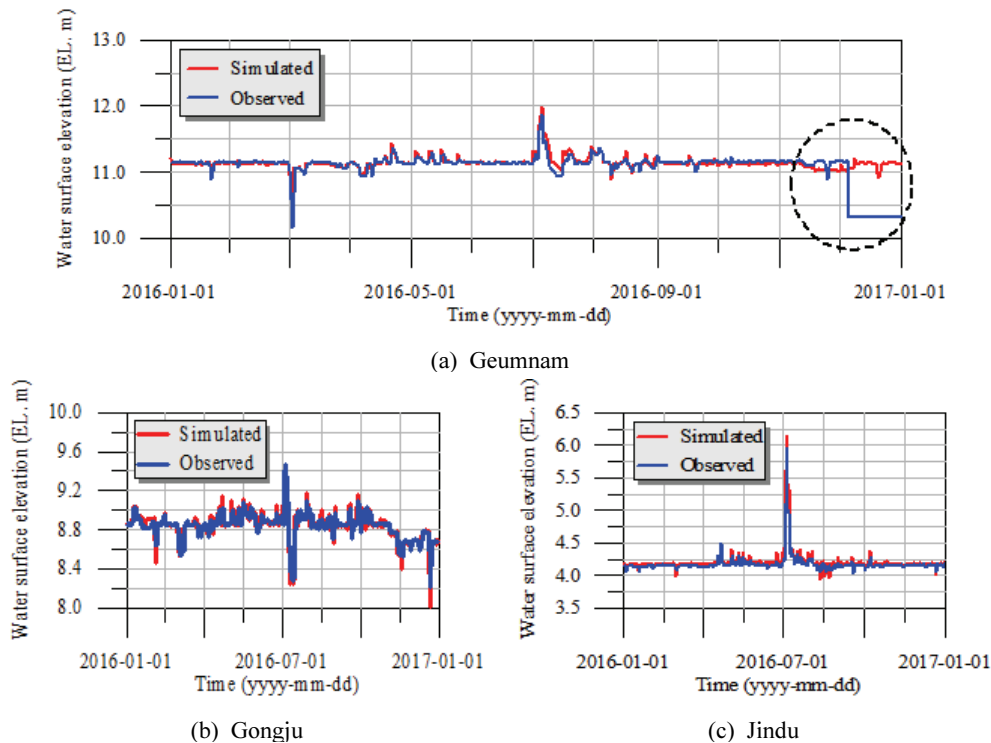
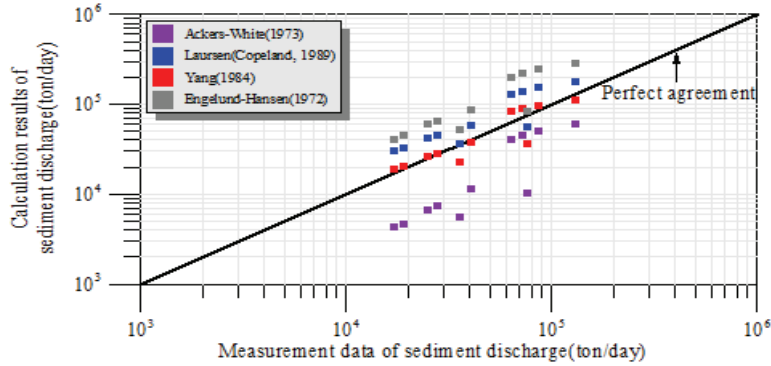


Fig. 5. Verification Results of Fixed Model

**Table 2.** Fixed Model Verification using NSE and RMSE

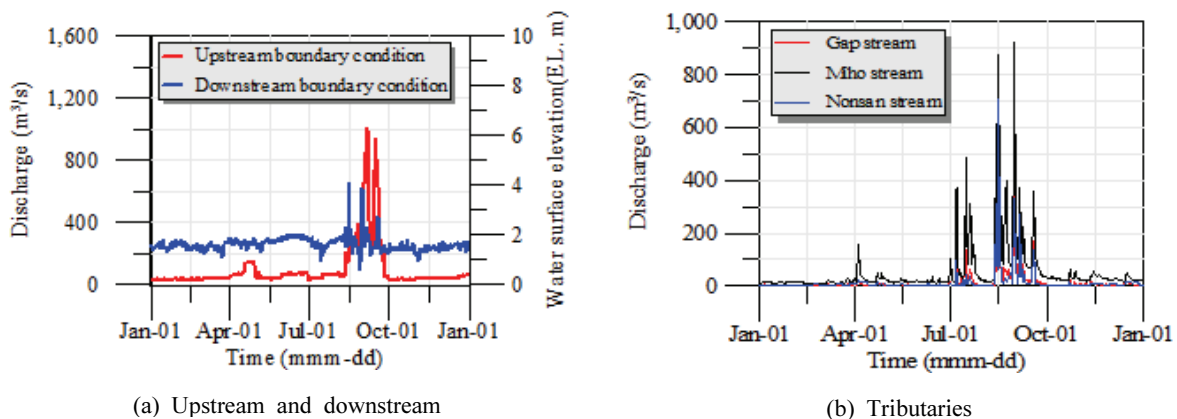
Gaging station	Geumnam	Gongju	Jindu
NSE	0.085	0.745	0.749
RMSE	0.224 m	0.067 m	0.066 m
NSE (without observation error)	0.742	0.728	0.759
RMSE (without observation error)	0.061 m	0.064 m	0.071 m



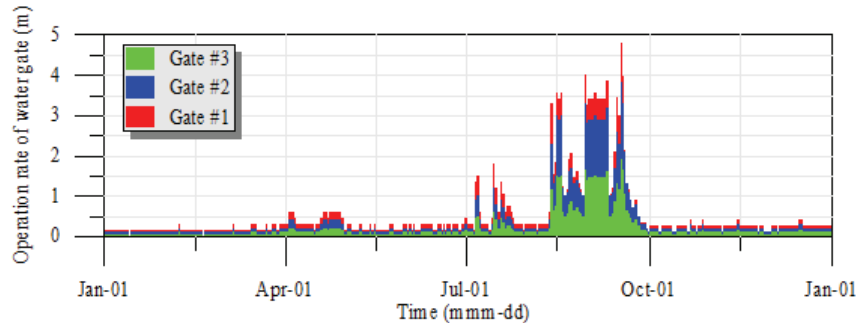
**Fig. 6.** Verification Results of Movable-bed Model

금강유역은 다기능보가 건설로 인해서 하천 유황에 많은 변화가 있었으며(Lee et al., 2014), 이러한 이유로 과거의 유량자료를 경계조건으로 이용하기에는 무리가 있다. 따라서, 변화된 하천환경을 대상으로 수리구조물의 운영이 반영된 유량자료를 이용하기 위해서 대표연도의 수리 경계조건을 이용하는 방법을 채택하였다. 다기능보가 운영되기 시작한 2012년부터 2016년까지의 대청 조정지댐의 연간 방류량을 검토한 결과, 2012년을 제외하고 방류량이 매우 낮은 것으로 확인되었다. 2013년 이후로 금강유역에서는 지속적인 가뭄과 함께 대규모 강우사상이 많지 않았으며, 이러한 이유로 2012년을 대표연도로 선정하여 장기 하상변동 모의를 수행하였다. 대표연도로 선택된 2012년의 경계조건은 Fig. 7과 같다.

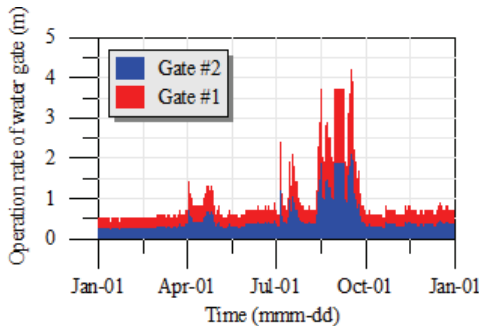
HEC-RAS에서는 모의 대상에 따라서 수문운영에 대한 경계조건을 입력하는 방식에 차이가 있다. 부정류 모의의 경우에는 하나의 단면을 지정하여 지정된 단면의 수위를 기점으로 수문을 운영하는 방식과 수문운영 룰을 스크립트로 직접 작성하는 방식, 수문운영 시계열 자료를 직접 입력하는 방법으로 구분된다. 반면에 하상변동 모의에서는 수문운영 시계열 자료를 직접 입력하는 방법만 제공한다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 7의 경계조건을 이용하여 부정류 모의를 수행하였으며, 부정류 모의 시 수문운영은 수문의 직상류 단면의 수위를 관리수위로 유지하도록 구성하여 1년 동안의 수문운영 시계열을 취득하였다(Fig. 8). 상기의 방법으로 취득된 수문운영 시계열 자료를 하상변동 모의시 수문운영에 대한 경계조건으로 이용하였다.



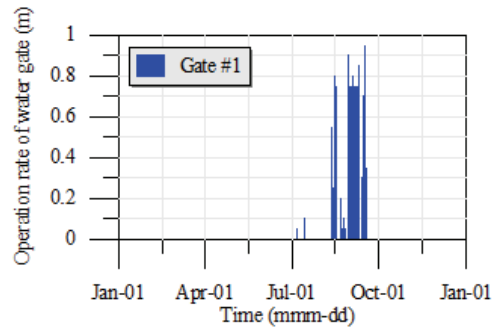
**Fig. 7.** Boundary Conditions for Morphodynamics Simulation



(a) Sejong weir



(b) Gongju weir



(c) Baekje weir

Fig. 8. Time Series Data for Water Gate Operation

#### 2.4 홍수위험도 및 준설량 산정방법

하상 변동이 홍수위험도에 미치는 영향은 하상상승에 의해서 수위가 상승하는 경우에 해당된다. 하천설계기준 (MLTMA, 2009b)에서는 하상상승과 같이 하천에서 발생할 수 있는 여러 가지 불확실한 요소들에 의해서 하천설계 과정에서는 안전치로서 여유고 기준을 제안하고 있다. 여유고는 제방 및 교량 등의 수공구조물에 주어지는 여분의 높이로 Table 3과 같이 홍수량 규모에 따라서 부여하고 있다(MLTMA, 2009b).

여유고 기준을 이용하여 홍수위험도를 분석하는 경우에는 여유고 기준을 만족하는 경우와 여유고 기준을 만족하지 않지만 범람 가능성이 있는 경우, 여유고 기준을 만족하지 못하여 범람이 발생할 가능성이 높은 경우로 구분할 수 있다. 이러한 관계는 홍수위와 제방고, 여유고 기준을 이용하여 Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$FRI = \frac{LH - DFS}{F} \quad (6)$$

여기서,  $FRI$ 는 홍수위험도,  $LH$ 는 제방고(EL. m),  $DFS$ 는 홍수위(EL. m),  $F$ 는 Table 3의 여유고 기준치를 의미한다. 따라서, 제방고가 홍수위보다 높고 여유고 기준을 만족하는 경우에는  $FRI$ 가 1.0 이상이 되는 반면, 제방고가 홍수위보다 높지만 여유고 기준을 충족시키지 못하는 경우에는  $FRI$

는 0.0~1.0 사이에 분포하게 된다. 홍수위가 제방고보다 낮은 경우에는  $FRI$ 는 음의 값을 가지게 된다. 이러한 홍수위험도를 이용하여 위험등급을 Table 4와 같이 분류하였다. 홍수위험도는 계획홍수량을 기반으로 정상류 모의를 통해 평가하였다.

Table 3. Freeboard Standard by Design Flood (MLTMA, 2009b)

Design flood (m <sup>3</sup> /s)	Freeboard (m)
under the 200	0.6 and above
200 ~ 500	0.8 and above
500 ~ 2,000	1.0 and above
2,000 ~ 5,000	1.2 and above
5,000 ~ 10,000	1.5 and above
10,000 and above	2.0 and above

Table 4. Classification of Flood Risk Rating by Risk Index Range

Range of risk index	Situation	Flood risk rating
under the 0.0	Flooding	I
0.0 ~ 1.0	Freeboard standard dissatisfaction	II
1.0 and above	Freeboard standard satisfaction	III

하천설계기준(MLTMA, 2009b)에서는 현재의 횡단형상

을 최대한 유지하는 방향으로 하도계획을 수립하도록 정하고 있다. 따라서, 준설은 하상변동 이전의 횡단면 형태까지 수행하는 것으로 가정하여 준설량을 산정하였으며, 준설량은 하상변동 모의 후의 횡단면적에서 하상변동 모의 이전의 횡단면적을 제거한 면적을 중심으로 양단면 평균법을 적용하여 산정하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 하상상승 우심지역의 분석

총 10년간 하상변화를 모의한 결과, 최심하상고의 변화는 Fig. 9와 같이 산정되었다. 대부분의 하상변동은 세종보 상하류를 중심으로 발생하는 것으로 나타났으며, 그 외의 구간에서는 하상변동이 미비한 것으로 나타났다. 세종보 상류에는 갑천과 미호천이 합류하며, 지류의 합류로 인해서 증가된 유사량이 세종보의 저류구간에서 퇴적되는 것으로 판단된다. 또한, 세종보의 운영으로 분사제사가 이루어지지만, 하류에 재퇴적되면서 세종보 하류에도 하상상승이 발생하는 것으로 판단된다. 공주보 상류에서도 일부 하상상승이 발생하는 것으로 모의되었으나, 하상상승량은 상대적으로 작게 나타났다. 백제보 상류에서는 다른 다기능보와는 다르게 하상상승이 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. Fig. 8(c)에 의하면 백제보의 가동보는 약 2개월을 제외하고 수문 운영을 하지 않는 것으로 모의되었으며, 이는 상류에서 전달되는 유량이 관리수위를 유지하기 위한 유량에 충분히 도달하지 못하였기 때문이다. 위와 같은 이유로 백제보 주변에서 하상변동이 미비한 것으로 모의된 주된 이유로 판단된다.

하상상승이 가장 크게 발생한 지점(Station No. 108.200)에 대해서 각 연도별 하상상승량을 정량적으로 표현하면 Table 5와 같다.

모형 결과에 대한 추가적인 검증을 위해서 미호천 합류부를 모의한 선행 연구 및 하천측량 자료와 비교·검토를 수행하였다(Fig. 10). 선행 연구에서도 동일한 지역에 대한 하상상승을 예측하는 것으로 나타났다. 다만, 사용한 수치해석 모형 및 경계조건이 상이한 이유로 하상상승량에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 하천측량 자료에서는 2002년에서 2009년에 상대적으로 작은 규모의 하상상승이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 2006년까지 미호천 합류부에서 수행된 골재채취의 영향으로 상대적으로 작은 하상상승량을 나타낸 것으로 판단된다(NAACC, 2009).

#### 3.2 홍수위험도 분석

Eq. (6)을 이용하여 계획 홍수량에 대한 홍수위험도를 평가한 결과는 Fig. 11 및 Table 6과 같다. 3구간에서 여유고를 전혀 확보하지 못하는 홍수위험도 I 등급이 존재하는 것으로 나타났다.

Site A의 경우에는 대청조정지댐 직하류로서 장갑화 현상이 발생하는 지역으로 알려져 있다(Jang and Woo, 2009). 따라서, 하상변화가 홍수위험도에 영향을 미칠 것으로 판단되지는 않으며, Fig. 9에서 하상변화가 발생한 것은 하상변동 모형에서 이러한 장갑화 현상을 충분히 재현하지 못한 것이 원인으로 판단된다. 또한, 대청조지정지댐의 운영으로 인해서 홍수량을 조절하기 때문에 직하류의 홍수피해는 없을 것으로 판단된다.

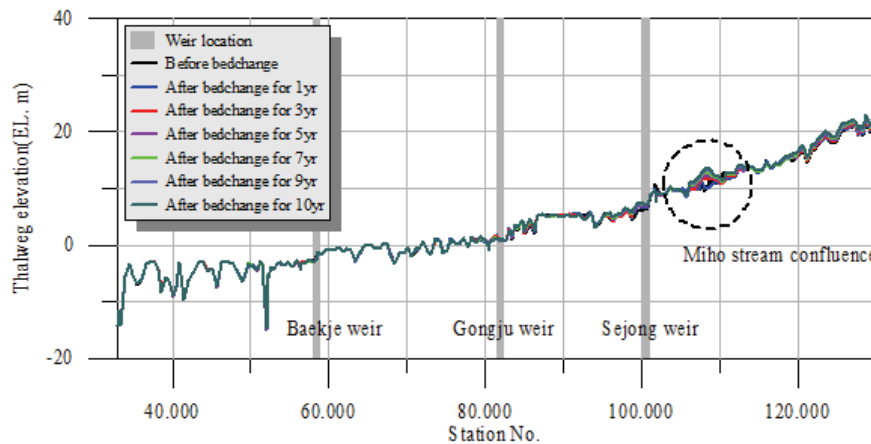


Fig. 9. Thalweg Elevation of River Morphodynamics Simulation Results

Table 5. Comparison of Thalweg Elevation for Aggradation at Station No. 108.200

Classification	Initial	1yr	3yr	5yr	7yr	9yr	10yr
Thalweg elevation (EL, m)	9.45	9.94	11.88	12.40	12.85	13.25	13.45
Aggradation ratio (%)	0.00	5.19	25.71	31.22	35.98	40.21	42.33



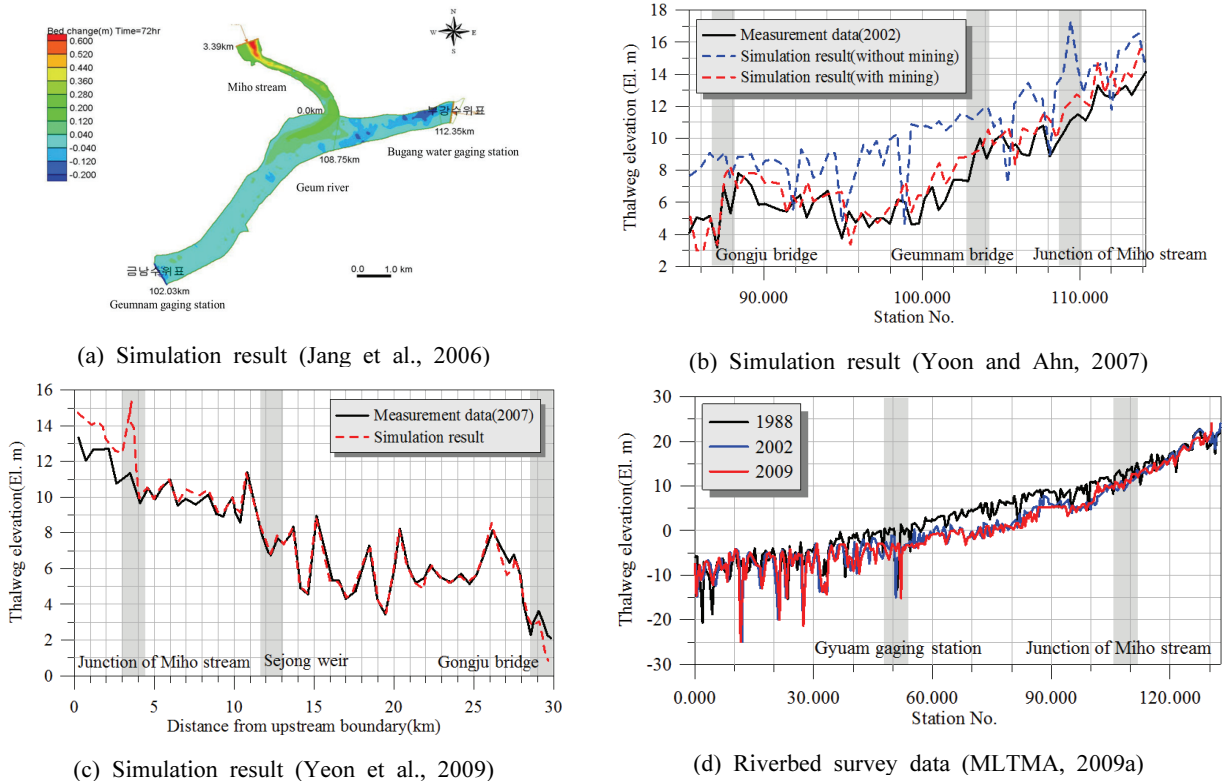


Fig. 10. Simulation Results and Survey Data at Miho Stream Confluence

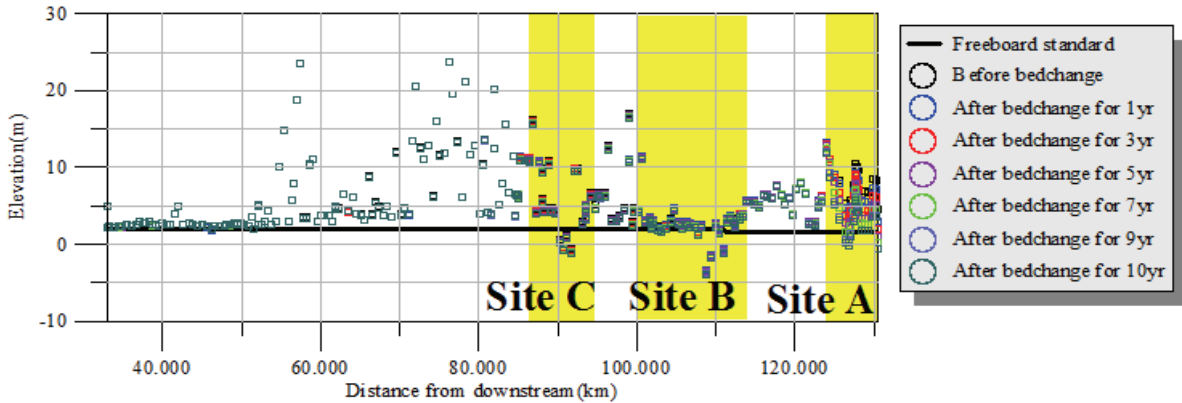


Fig. 11. Freeboard Analysis Results for Design Flood

Table 6. Flood Risk Assessment Results

Case	Number of cross-sections per flood risk index		
	I	II	III
Before bedchange	5	28	276
After bedchange for 1yr	5	29	275
After bedchange for 3yr	5	30	274
After bedchange for 5yr	5	30	274
After bedchange for 7yr	5	33	271
After bedchange for 9yr	6	35	268
After bedchange for 10yr	8	34	267

Site B는 미호천 합류부로 하상상승이 지속적으로 발생하는 구간이다. 해당구간은 하상상승의 영향으로 여유고 기준을 충족하지 못하는 구간이 점차 확대되는 것으로 나타났다. 하상상승으로 인해 증가되는 홍수위험도를 완화하기 위해서 전술한 분사제사 및 배사의 적용은 힘들 것으로 판단된다. 분사제사 및 배사를 수행하기 위해서는 수문조작이 필요하지만, 세종보의 수문조작 영향은 미호천 합류부까지 미치지 못하는 것으로 알려져있다(Jeong and Jung, 2015). 따라서, 해당구간의 홍수위험도를 완화하기 위해서는 적절한 준설이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Site C는 공주보로부터 상류측으로 약 7 km 정도에 위치한 구간으로 하상변동 모의 결과에 의하면, 초반에는 여유고 기준을 충족하지 못하다가 하상변화에 의해서 여유고 기준에 근접해가는 것으로 나타났다. 이것은 하상상승이 아니라 하상저하가 발생하는 구간으로 해석할 수 있다. 따라서, 해당구간은 여유고 기준을 충족하지 못하여 홍수위험도가 큰 구간이지만 하상상승의 영향이 아니기 때문에 준설 등의 고려는 필요치 않을 것으로 판단된다.

Fig. 12는 여유고 기준을 충족하지 못하는 3구간 중에서 준설이 필요할 것으로 판단되는 Site B의 항공사진을 나타낸 것이다. Site B 구간에는 합강습지(E1, E2)가 위치하고 있는 것으로 나타났다. 하도습지는 지속적으로 유사가 퇴적하게 되는 경우에는 습지로서의 기능을 상실할 우려가 있는 것

로 알려져 있다(NIER, 2015). Site B에서는 1988년부터 2006년까지 연평균 3.7백만톤의 골재채취가 이루어져왔다(NAACC, 2009). 2006년 이후로는 골재채취가 이루어지지 않았으나, 추후 준설이 이루어지게 되는 경우에는 합강 습지의 보전을 고려하여 저수로를 준설하고 합강 습지의 수위를 낮추어 자연유하를 통한 생태정화 습지로 유도해야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 준설량 변화 분석

홍수위험도 분석을 통해서 준설이 필요할 것으로 판단되는 Site B의 구간 및 해당 구간에 상응하는 거리와 준설량을 산정한 결과는 Table 7과 같다.

준설대상 구간은 하상변동이 진행됨에 따라서 점차 길어지는 것으로 나타났으며, 이와 유사하게 준설량도 증가하는 것으로 나타났다. 준설 대상구간의 거리와 목표 준설량의 변화에 따라서 준설시기를 선정하는 것은 하도관리의 경제성에 많은 영향을 주기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. Site B의 경우에는 준설구간이 초기에 증가하다가 그 경향이 미비해지는 것으로 나타났다. 반면에 준설량은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. Site B에서는 유사퇴적이 합류부 부근의 한정적인 구간에서 발생하여 위와 같은 결과를 도출한 것으로 판단된다.



Fig. 12. Aerial Photograph of Site B(<http://map.daum.net/>)

Table 7. Station No., Distance, and Volume for Dredging at Site B

Case	Station No.	Distance (km)	Volume (m <sup>3</sup> )
After bedchange for 1yr	110.900~107.700	3.2	9,344.02
After bedchange for 3yr	110.900~103.160	7.74	21,176.50
After bedchange for 5yr	110.900~103.160	7.74	29,244.03
After bedchange for 7yr	110.900~102.610	8.29	36,955.70
After bedchange for 9yr	110.900~102.610	8.29	43,865.22
After bedchange for 10yr	110.900~102.610	8.29	47,363.37

## 4. 결 론

본 연구에서는 수문운영과 홍수위험도를 고려하여 준설 구간을 선정하고, 선정된 구간의 준설량을 검토하였다. 연구 대상구역은 금강유역으로 약 98 km에 해당하는 구간을 중심으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서 고려해야 될 사항들을 적절히 고려할 수 있는 수치해석 모형을 선정하였으며, 선정된 수치해석 모형의 고정상 및 이동상 모형의 검·보정을 수행하였다. 이를 기반으로 10년 간의 하상변동을 모의하였으며, 모의결과와 본 연구에서 제시한 홍수위험도 평가 기준을 이용하여 하상상승 우심지역 및 홍수위험도를 검토하였다. 또한, 하상상승 우심지역의 준설량 변화를 검토하였다.

하상상승 우심지역을 검토한 결과, 미호천 합류부에서 지속적인 하상상승이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 영향으로 홍수위험도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 홍수위험도가 증가하는 구간은 미호천 합류부 외에도 2구간이 더 존재하는 것으로 나타났다. 그러나, 하상저하가 지속적으로 발생하는 구간이거나 수치해석 모형의 한계로 인해서 장갑화 현상을 모의하지 못한 영향으로 판단되는 2구간은 준설대상 구간에서 제외하였다. 최종적으로 선정된 준설대상 구간인 미호천 합류부는 하상변화가 지속됨에 따라서 준설대상 구간의 길이가 초반에는 증가하다가 그 경향이 미비해지는 것으로 나타났다. 반면에 준설량은 지속적으로 증가하기 때문에 경제, 사회·환경 등을 종합적으로 고려하여 준설시기를 선정하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 연구대상 구간에 위치한 다기능보가 고시된 관리수위를 유지하는 조건으로 모의를 수행하였다. 그러나, 수질 보호 등의 목적으로 펄스방류(pulsed flow)를 시행하거나 일부 다기능보에서는 현행보다 낮은 수위로 관리수위를 변경 고시하는 일이 발생하고 있다. 따라서, 추후 연구에서는 다양한 수문 운영 시나리오와 경제조건에 대해서 검토를 수행하고, 준설대상지역 및 하상변동양상이 변화되는지 추가적으로 분석해보고자 한다.

현재 국내의 하천 설계 및 관리에 대한 기준 등에서는 준설에 대한 기준이 다소 미비한 상태이다. 이러한 상황에서 본 연구에서 제시한 방법은 준설 필요성에 대한 정량적인 검토 방안 및 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

## References

Ackers, P., and White, W.R. (1973) Sediment Transport: New Approach and Analysis. *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041-2060.

- Ahn, J. (2016) GSTARS for Semi-two Dimensional Riverbed-level Variation Model and Sediment Transport Theory. *Water for Future*, Vol. 49, No. 6, pp. 52-62. (in Korean)
- Ahn, J., and Yang, C.T. (2015) Determination of Recovery Factor for Simulation of Non-equilibrium Sedimentation in Reservoir. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 30. No. 1, pp. 68-73.
- Ahn, J., Yang, C.T., Boyd, P.M., Pridal, D.B., and Remus, J.I. (2013) Numerical Modeling of Sediment Flushing from Lewis and Clark lake. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 28, pp. 182-193.
- ARCROM (Advanced Research Center for River Operation and Management) (2016) *The Structural/Non-Structural Management Guidelines for Channel Stabilization Considering the Watershed Erosion*. (in Korean)
- Brunner, G.W. (2016) *HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 5.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Choi, S. (2001) Dredging Practice and Policy Implications at European Prots. *Oceans and Fisheries*, Vol. 202, pp. 86-93. (in Korean)
- Chun, H.S., Kim, Y.S., Ryu, C.R., and Kim, H.T. (2012) A Study on the Waterway Burying Characteristics and Maintenance Dredging in the Incheon Port. *Proceedings of the Society of Naval Architects of Korea Conference*, pp. 2021-2024. (in Korean)
- Chung, S.Y., Park, B.J., and Jung, K.S. (2006) A Study on the Applicability of GSTAR-1D to the Riverbedlevel Variation in the Geum River. *Proceeding of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1611-1615. (in Korean)
- Copeland, R.R., and Thomas, W.A. (1989) *Corte Madera Creek Sedimentation Study: Numerical Model Investigation*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. TR-HL-89-6.
- Engelund, F.A., and Hansen, E. (1967) *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag.
- Gleick, P.H. (2000) A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water International*, Vol. 25, No. 1, pp. 127-138.
- Jang, C.L., Kim, J., and Ko, I.H. (2006) Numerical Simulation of Flow and Bed Change at the Confluence of the Geum River and Mihocheon. *Journal of Korean Wetlands Society*, Vol. 8, No. 3, pp. 91-103. (in Korean)

- Jang, C.L., and Woo, H. (2009) Analysis of Bed Material Changes by Flushing Flow from Daecheong Dam. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 10, pp. 845-855. (in Korean)
- Jeong, A., and Jung, K. (2015) Analysis of Long-term Riverbed-level and Flood Stage Variation due to Water Gate Operation of Multi-functional Weirs at Geum River. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 5, pp. 379-391. (in Korean)
- Jeong, A., Kim, S., Kim, M., and Jung, K. (2015) Environmental Windows Setting Method for Environmental-Friendly River Dredging in Nakdong River Basin. *Journal of Environmental Policy*, Vol. 14, No. 4, pp. 45-61. (in Korean)
- Jeong, A., Kim, S., Kim, M., and Jung, K. (2016) Analysis on the Sediment Sluicing Efficiency by Variation of Operation Water Surface Elevation at Flood Season. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 12, pp. 971-980. (in Korean)
- Ji, U. (2011) *Numerical Analysis of Bed Change Prediction and Sedimentation Reduction Methods at the Upstream Channel of the Dam or Weir*. Industry and Academia Cooperation Foundation, Myongji University. (in Korean)
- Ji, U., and Jang, E.K. (2016) Numerical Analysis of Lateral Geomorphology Changes by Channel Bed Deposition and Bank Erosion at the River Confluence Section. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 5, pp. 391-398. (in Korean)
- Kim, E.S., Sim, K.B., and Kal, B.S. (2013) Analysis of Water Quality Improvement by Lake Dredging. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 2, pp. 327-336. (in Korean)
- Kim, J.-H., and Gug, S.-G. (2006) Safe Navigation Plan for Dredging Operations to Build Sunken Tunnel for Access Road Between Busan-Geoje. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 30, No. 10, pp. 825-831. (in Korean)
- Kondolf, G.M., Gao, Y., Annandale, G.W., Morris, G.L., Jiang, E., Zhang, J., Cao, Y., Carling, P., et al. (2014) Sustainable Sediment Management in Reservoirs and Regulated Rivers: Experiences from Five Continents. *Earth's Future*, Vol. 2, No. 5, pp. 256-280.
- K-water (2009) *A Study on Riverbed Topography and Environment Change by River Dredging*. (in Korean)
- K-water (2013) *Dam Operational Practices Handbook*. (in Korean)
- KWRA (Korea Water Resources Association) (2007) *River Construction Standard Specifications*. (in Korean)
- Lee, C.-W., Kwon, Y.-T., and Yun, J.-H. (2004) Development of Dredging Index for the Rational Remediation of Polluted Coastal Sediments. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 70-74. (in Korean)
- Lee, D.-R., Hong, J.-S., Back, K.-S., and Bae, K.-H. (2006) Improve of Reservoir Dredging Ability Using GPS/GPR. *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 14, No. 1, pp. 57-65. (in Korean)
- Lee, J.-S., and Kim, C.-G. (2016) *Characteristics of Sediment Transportation of Small and Medium Rivers in Geographical Areas*. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 5, pp. 325-332. (in Korean)
- Lee, K.S., Ryu, J.-K., and Ahn, S.J. (2014) Change of Regime Coefficient due to Dredging and Dam Construction. *Journal of Korean Environmental Dredging Society*, Vol. 4, No. 1, pp. 30-38. (in Korean)
- MLTMA (Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs) (2009a) *Geum River Basin Master Plan (Changed)*. (in Korean)
- MLTMA (Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs) (2009b) *Standard and Commentary of River Design*. (in Korean)
- MLTMA (Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs) (2011) *Standard and Commentary of Dam Design*. (in Korean)
- MLTMA (Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs) (2012a) *Port and Fishing Port Construction Standard Specifications*. (in Korean)
- MLTMA (Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs) (2012b) *River Maintenance Manual*. (in Korean)
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2012) *Korea Annual Hydrological Report*. (in Korean)
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2014) *Korea Annual Hydrological Report*. (in Korean)
- Morris, G.L., and Fan, J. (2010) *Reservoir Sedimentation Handbook (Electronic ver.)*. McGraw-Hill.
- NAACC (National Agency for Administrative City Construction) (2009) *Monitoring Survey Report of River Environment at Happy City*. (in Korean)
- NIER (National Institute of Environmental Research) (2015) *Guideline for Ecological Restoration of Inland Wetland*. (in Korean)
- Park, B., Jun, S., Um, J., Cho, K., and Yoo, N. (2013) Characteristic Analysis of Dredging and Sedimen-

- tation Debris Control Facilities in Inje, Gangwon. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 14, No. 1, pp. 15-22. (in Korean)
- Seo, J.-P. (2013) *Assessment of Topographical Changes in a Dredged Area of a Debris Barrier by Using Terrestrial LiDAR*. Master's thesis, Yeungnam Univeristy, Gyeongsan, Korea. (in Korean)
- Shen, H.W. (1999) Flushing Sediment Through Reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 37, No. 6, pp. 743-757.
- Simões, F.J.M., and Yang, C.T. (2008) GSTARS Computer Models and Their Application, Part II: Applications. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 23, No. 4, pp. 299-315.
- Wang, Z.B., Jeuken, M.C.J.L., and Kornman, B.A. (2003) A Model for Predicting Dredging Requirement in the Westerschelde. *International Conference on Estuaries and Coasts*, pp. 429-435.
- Wang, Z.-Y., and Hu, C. (2009) Strategies for Managing Reservoir Sedimentation. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 24, No. 4, pp. 369-384.
- White, R. (2001) *Evacuation of Sediments from Reservoirs*. Thomas Telford.
- Woo, H. (1995) Friction Factor of Rectangular Open Channel Flow. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 28, No. 5, pp. 235-243. (in Korean)
- Wu, W., and Vieira, D.A. (2002) *One-dimensional Channel Network Model CCHE1D Version 3.0-Technical Manual*. National Center for Computational Hydroscience and Engineering, The University of Mississippi, Oxford, MS.
- Yang, C.T. (1984) Unit Stream Power Equation for Gravel. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110, No. 12, pp. 1783-1797.
- Yang, C.T., and Ahn, J. (2011). *User's Manual for GSTARS4*. Hydroscience and Training Center, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Yang, C.T., and Simões, F.J.M. (2008) GSTARS Computer Models and Their Application, Part I: Theoretical Development. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 197-211.
- Yeon, K.S., Jeong, S.M., Yun, C.Y., Lee, J.H., and Shin, K.S. (2009) A Riverbed Change Prediction by River-crossing Structure: Focused on the Major River Reaches of the Multifunctional Administrative City. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 9, No. 1, pp. 107-113. (in Korean)
- Yoon, Y.S., and Ahn, K.S. (2007) Prediction of River-bed Change Using River Channel Characteristics and a Numerical Model. *Journal of Korean Wetlands Society*, Vol. 9, No. 3, pp. 51-61. (in Korean)
- Yu, W., Moon, H., Jeong, A., Kim, S., and Jung, K. (2016) Assessment of Rainfall and Flood Forecasts Using Numerical Weather Prediction Data. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 6, pp. 83-94. (in Korean)

---

<b>Received</b>	February 12, 2018
<b>Revised</b>	February 19, 2018
<b>Accepted</b>	February 27, 2018