

형산강 수계 최적 유사량 공식 선정을 위한 연구

A Study on the Optimal Sediment Discharge Formula for Hyeongsan River

안 정 민* / 류 시 완** / 이 남 주***

Ahn, Jungmin / Lyu, Siwan / Lee, Nam Joo

Abstract

In order to determine the optimal sediment discharge formula for Hyeongsan river, some statistical approaches have been applied to analyze the simulated results of long-term bed change by HEC-6. The field measurements have been conducted to obtain the data for model calibration and verification such as sediment discharge, bed material, and channel geometry. Several sediment discharge formulae have been verified according to the bias, RMSE, RRMSE, discrepancy ratio, and S/N ratio of bed change along the thalweg. Comparing the formulae, Laursen formula(modified by Copeland) have shown the best performance to simulate the long-term bed change of Hyeongsan river.

Keywords : optimal sediment discharge formula, Hyeongsan river, HEC-6, long-term bed change

요 지

본 연구에서는 실측 유량-유사량, 하상재료, 하천측량자료들을 바탕으로 HEC-6모형을 이용한 형산강의 장기하상변동 모의결과들의 비교를 통하여 형산강유역에 적합한 최적유사량공식을 선정하고자 하였다. 이를 위하여 다양한 통계적 특성치들을 기준으로 Ackers와 White (1973), Duboys (1879), Laursen (1958), Laursen (modified by Madden, 1993), Laursen (modified by Copeland, 1989), 그리고 Yang (1973) 공식과 같은 유사량공식들을 비교·검토하였다. 각 유사량공식을 이용한 장기하상변동 모의결과의 실측치에 대한 상대오차, 평균제곱오차, 상대제곱근오차, 불일치율, 그리고 S/N비를 비교한 결과, Laursen 공식(modified by Copeland)이 대상유역에 가장 적합한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 최적유사량공식, 형산강, HEC-6, 장기하상변동

1. 서 론

하천의 하상은 장기간의 침식과 퇴적의 변화를 겪으며 안정된다. 이러한 변화에는 하천의 평면형, 종단면형, 단면형과 하상재료의 구성 등을 포함한다. 변화의 요인에는 산사태나 홍수 등 자연적인 변화 뿐 아니라 댐이나 교량,

골재채취 등 인위적인 변화에 따라 흐름이나 유사량이 변하게 되며 이런 동적변형상태를 복원하는 과정에서 침식과 퇴적이 반복적으로 일어나 대규모 하상변동이 이루어지게 된다. 여기서 인위적으로 정비된 하천이나 하천 특성상 평면 변화가 제한되는 하천에는 하상의 종단 방향만이 변화의 자유를 가진다. 특히 제방 축조 등으로 하천구

* 한국수자원공사 물관리센터 연구원 (e-mail: ahnjm80@gmail.com)
Researcher, Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

** 교신저자, 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (e-mail: siwan@changwon.ac.kr)
Corresponding Author, Associate Professor, Dept. of Civil Engrg., Changwon National Univ., Gyeongnam 641-773, Korea

*** 경성대학교 공과대학 토목공학과 교수 (e-mail: njlee@ks.ac.kr)
Professor, Dept. of Civil Engrg., Kyungsoong Univ., Busan, Korea

간 대부분이 인위적으로 정비되었거나, 평면 변화를 할 수 있는 천변 층적층 발달이 미약한 국내 하천에서는 평면형이나 횡단형 보다는 종단형의 변화가 특히 중요한 문제이다. 하천유황, 하상재료, 하도지형의 자연적 또는 인위적 변화에 의한 장·단기적 하상변동의 해석 및 예측은 단·중·장기 하천계획 및 관리를 위해 필수적이다. 하천에서의 유사입자의 이동은 그 자체의 의미도 중요하지만, 입자에 부착되어 이동하는 오염물의 영향을 고려할 때 수계의 수질관리 측면에서도 중요한 의미를 가지고 있다 (안정민, 2008).

기존의 다양한 층적하천 모형들은 각기 개발 목적이 다르고 모형 개발에 이용된 방법들이 서로 다르다. Dawdy and Vanoni (1986)는 층적하천 모형들을 흐름 조건, 유사량 산정, 장갑화 모의, 하천 마찰, 강턱 침식, 계산의 안정성 등으로 나누어 평가하였다. 그 결과, 기존의 모형들은 유사 이송을 모의하기 위해 다양한 유사량 공식들을 이용할 수 있도록 하였으나 각 하천에 적절한 유사량 공식들의 선정 기준을 제시하지 못하고 있다고 하였다. 따라서 각 수계에 적절한 유사량 공식을 결정하고 입력 자료가 정확하게 입력된다면 모형의 종류에 관계없이 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있다. 우효섭과 유권규 (1991; 1993)는 HEC-6 모형을 이용해서 대청댐 하류 하상변동 예측을 수행하였으며 실제 현상을 비교적 잘 모의하는 모형으로 평가하였기 때문에 본 연구에서는 널리 검증되었고 장기간의 하상변동 예측에 적합한 모형으로 알려진 HEC-6를 국가하천 형산강 구간에 적용하여 하상변동 모의시 중요한 부분을 차지하는 유사량 공식을 어떻게 적용할 것인가에 대해 다양한 통계적 기법을 활용하여 검증하였다. 형산강 국가하천 구간 (36 km)에 대하여 2006~2007년에 걸쳐 실측한 유량-유사량, 하상도, 하천측량자료를 HEC-6 모형에 적용하여 형산강에 적합한 유사량 공식을 선정 하였다. 수위표 지점인 형산교, 강동대교, 국당2교, 신형산교를 내부경계조건으로, HEC-RAS모의를 통하여 조도계수 값을 보정하였으며 유량값은 유허곡선을 통하여 연간유입량을 각 날짜별로 구성하였다. 형산강에 적합한 유사량 공식을 선정하기 위하여 Laursen, Laursen(modified by Madden), Laursen(modified by Copeland), Duboy, Yang, Ackers & White공식을 적용하여 Bias(상대오차), RMSE(평균제곱근오차), RRMSE(상대제곱근오차), Discrepancy Ratio(불일치율), Signal to Ratio(S/N 비)로 분석하였다.

2. 대상구간 및 현장측정

2.1 대상구간

형산강은 차슬령(울산광역시 울주군)에서 발원하여

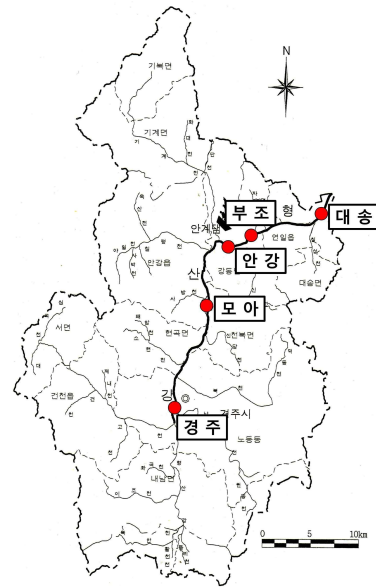


Fig. 1. Basin of Hyeongsan River

경주시를 거쳐 동해의 영일만으로 유입하며, 유역면적은 1,139.99 km², 유로연장은 57.38 km², 유역평균폭은 19.73 km²로서 남북으로 긴 형태의 형상을 띠고 있다 (Fig. 1). 형산강본류의 하상경사는 상류부는 약 1/230~1/640, 하류부는 1/1,960~1/6,500 정도로 형성되어 있으며, 형산강 본류 및 지류의 연안은 대부분이 층적평야를 이루고 있어 농경지가 발달되어 있다 (건설교통부, 1979; 1997).

2.2 현장측정

하천단면 측량은 관측소의 현황과 측정지점의 선정방법을 고려한 측정지점 위치 및 횡단측선을 설정하고, 하천의 형태학적 및 수리학적 특성, 즉 하상변동, 하상경사, 단면 통제, 하도통제 등에 주안점을 두고 실시하였다. 측정지점은 형산강 국가하천구간 내에 위치하는 수위관측소이자 유사량 측정지점인 모아(신형산교), 안강(강동대교), 부조(국당2교), 대송(형산교)이며 각 측정지점별로 횡단측량을 실시하였다. 횡단측량은 규정을 넘지 않는 범위에서 등간격으로 하였으며 수면을 기준으로 측정하고 측정위치는 기점에서의 거리로 나타내었다. 측정 이동의 오차가 누적되어 영향이 다른 측점에 미치는 점에 대해서 특히 주의 하였으며, 측정 종료 후 곧 오차가 허용범위 안에 있는지를 확인하고 오차범위를 초과하면 다시 측량을 실시하였다. 횡단측량은 수위변동이 적은 기간에 실시하였다.

하상재료조사는 총 2회 (2006년, 2007년 4월) 수행하였고 하천 종단방향 1 km마다 하상재료를 채취하여 과업구간연장 36 km에 대해 총 37개 단면에 대한 하상재료 조사를 수행하였다. 그 기준은 하천측량성과를 통하여 설치된 표석으로 하였으며, 하천구간의 특성에 따라 채취가 불가

능하거나, 난침식층이 존재하는 구간에서는 현장여건을 고려하여 조사간격을 적절하게 조정하였다. 중규모 하상파로 표현되는 이동시주가 노출되는 구간을 중심으로 주로 채취하였으며, 사주가 발달하지 않은 곳은 저수로 하안부에서 채취하였다. 부피채취 (volumetric sampling)를 통한 채분식의 경우 자갈 하상재료의 경우에는 대표시료의 채취 자체도 어렵고 채분식을 한다는 것도 많은 문제를 안고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해소하고 자료로서의 가치를 제고하기 위하여 하상재료의 구성물질이 모래 이하의 입경인 경우와 자갈 이상인 경우로 구분하여 채취방법을 달리하였다. 하상재료의 구성물질이 모래 이하의 입경인 경우 부피채취 방법에 따라 표층에서 대략 30cm 정도를 걷어내고 일정 부피의 시료를 채취하였고 자갈 하상재료는 표층채취인 경우 격자채취 (grid sampling), 면적채취 (areal sampling), 그리고 횡단채취 (transect sampling)를 하였다 (안정민 등, 2008).

유량-유사량 측정은 형산강 수계의 수위관측소 현황을 조사하여 각 관측소에 대한 현황과약을 통해 유사량 측정의 가능성을 진단하고, 그 결과를 바탕으로 모아 (형산교), 안강 (강동대교), 부조 (국당2교) 그리고 대송수위관측소 (신형산교) 4개소를 유사량 측정지점으로 선정하였다. 부유사 채취는 점적분부유사채취기 (P-61)를 이용하여 하천단면을 일정한 간격으로 측정선을 정하는 등간격법으로 수심적분방법을 통하여 모아, 안강, 부조에서 실시하였으나 안강수위관측소 (강동대교)에서는 교통안전문제로 간편법

중에서 하폭의 1/4, 1/2, 3/4 지점에서 채취하는 삼선법으로 교각의 영향을 피할 수 있는 지점들을 선택하여 수행하였다. 총유사량 분석에서 실험실이나 소규모 하천과 같이 유사량 전체를 실측하기가 비교적 쉬운 곳은 측정된 부유사와 소류사의 양을 더하여 산정하는 것이 이상적이지만 대규모 하천에서는 움직이는 하상에서 수면까지 전체 유사량을 정확히 실측하는 것은 사실상 불가능하다. 또한, 소류사 채취는 비교적 어렵고 정확도가 떨어지기 때문에 채취한 부유사량으로 수정 아인쉬타인 방법 등을 이용하여 총유사량을 추정하는 것이 일반적이다 (우효섭, 2001).

총유사량 산정에 널리 이용되는 수정 아인쉬타인 공식의 경우 모래가 주를 이루는 충적하천에 그 적용이 제한하는 것이 바람직하다고 제안된 바가 있다 (우효섭과 유권규, 1989; 우효섭과 유권규, 1990). 대상하천인 형산강에서의 유사량 측정 결과, 부유사의 대부분이 점토나 이토로 구성되어 있고 중·상류 부분은 대부분의 하상재료가 호박돌이나 암반으로 구성되어 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 대상하천인 형산강에서의 총유사량 산정에 있어서 수정 아인쉬타인 공식의 적용은 문제가 있는 것으로 판단하고 부유사량을 총유사량으로 간주하여 모의하였다. 부유사 시료 분석법으로 증발법과 여과법이 있으나 일반적으로 농도가 10,000 ppm 이하인 경우 여과법이 효과적인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 채취한 부유사 시료들의 경우 2,000 ppm 이하의 저농도 시료였으므로 여과법을 이용한 부유사 농도 분석이 적절한 것으로

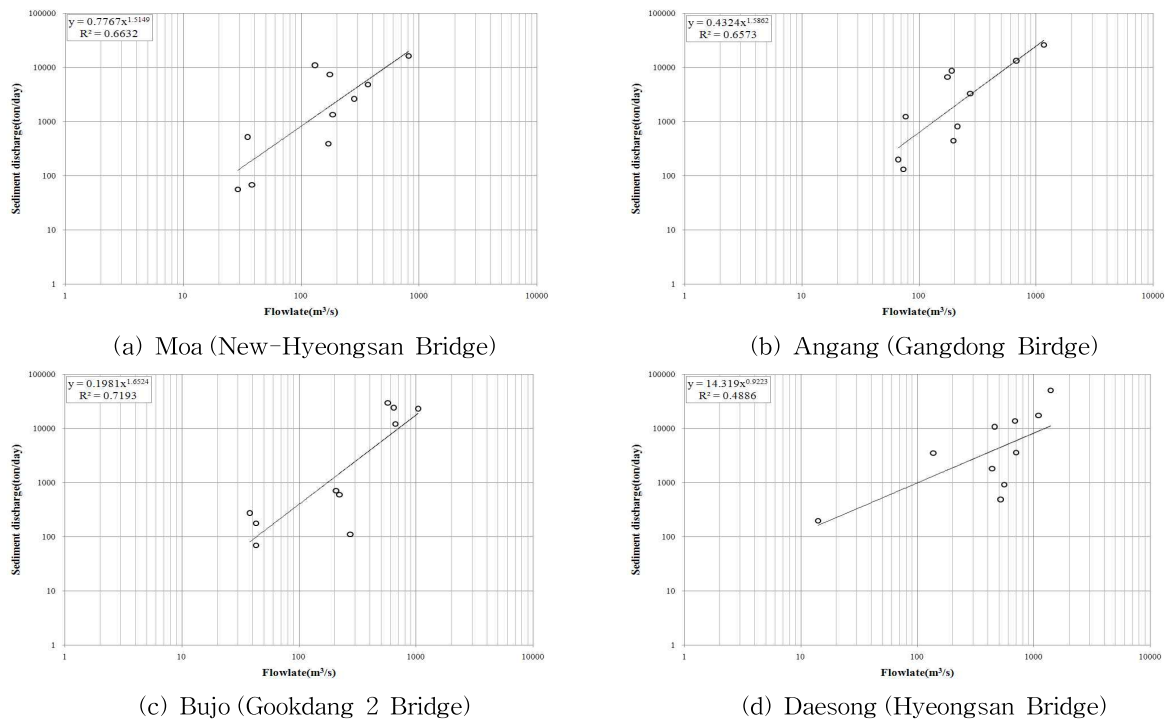
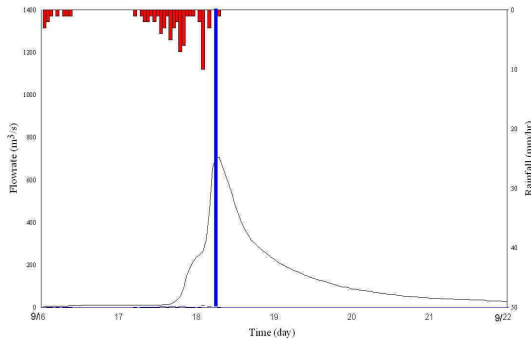
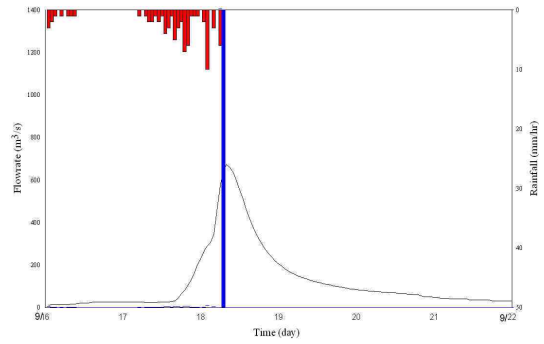


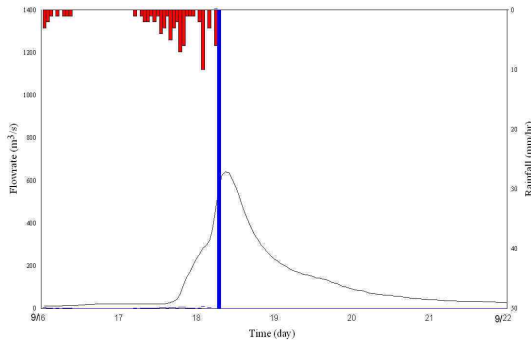
Fig. 2. Sediment Rating Curve of Watermark Point



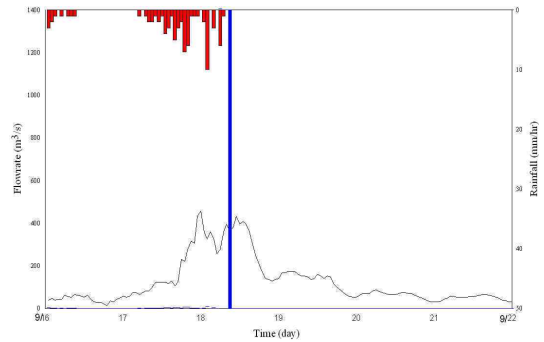
(a) Moa (New-Hyeongsan Bridge)



(b) Angang (Gangdong Birdge)



(c) Bujo (Gookdang 2 Bridge)



(d) Daesong (Hyeongsan Bridge)

Fig. 3. Hydrological Curve of Watermark Point (Blue vertical line : measure time)

사료된다. Fig. 2는 유량-유사량 측정지점들에서 측정된 유량-유사량 관계를 도시하고 있으며 Fig. 3은 유량-유사량을 측정한 시점의 실측한 수문곡선이다. Fig. 3에서 파란색 세로선은 실측한 시점을 나타낸다.

3. 모형적용

HEC-6모형 모의에 필요한 입력자료는 수리량과 유사량 자료로 이루어지며, 수리량 자료는 하천지형자료, 조도계수, 흐름특성, 유량과 수위자료로 이루어진다. 유사량 자료는 동점성계수 산정을 위한 수온자료, 유사량 산정을 위한 공식, 상류경계에서 유입되는 유사량 수문곡선, 하상재료에 관한 자료 등으로 구성된다 (HEC, 1993). 수위-유량 자료로는 모이수위관측소 (신형산교)에서의 관측된 일수위-유량자료를 이용하여 일 유량자료를 도출하여 사용하였다. Manning n값은 흐름과 유사운동을 지배하는 가장 중요한 인자로 하천정비기본계획 (건설교통부, 1979)에 제안되어 있는 값을 초기 경계조건으로 입력하고 모형을 수행하여 실측수위와 비교를 통해 세밀하게 조정하였으며 시행착오법으로 오차가 가장 작게 발생하는 수위에서의 조도계수 값을 채택하였다. 수온은 유사의 운동 및 물의 점성 등에 상당한 영향을 미치는 중요한 인자로서 형산강 유역에서의 월평균기온에 근거한 월별 평균수온

자료를 도출하여 사용하였다. 적용구간의 유입 유사량은 Fig. 2 (a)에 도시된 바와 같이 형산강 국가하천 구간 내의 모이수위관측소 지점에서 2006~2007년에 걸쳐 취득된 실측자료를 통해 도출한 Eq. (1)과 같은 유량-부유사량과의 관계식을 사용하였으며 하상재료 자료는 하상재료분석 결과를 활용하였다.

$$Q_s = 0.7767Q^{1.5149} \quad (1)$$

여기서, Q_s 는 유사량 (ton/day), Q (m^3/sec)는 유량

4. 최적공식 선정

4.1 Bias, RMSE and RRMSE

본 연구대상 수계의 최적 하상변동 공식을 선정하기 위해 2006년부터 이후 14년간의 형산강의 장기하상변동을 모의하였다. 초기 지형자료로는 1979년 형산강 하천정비기본계획 (건설교통부, 1979) 상의 지형자료를 활용하였으며, 유사량 공식으로는 Laursen, Laursen (modified by Madden), Laursen (modified by Copeland), Duboy, Yang, Ackers와 White 공식을 사용하였다. 본 연구에서 수문곡선의 적합도 평가에 적용한 상대오차 *Bias* (상대오차), *RMSE* (평균제곱근오차)와 *RRMSE* (상대평균제곱근오차)는 각각 다음과 같이 Eq. (2)로 정의된다. 1979

Table 1. Result of Bias, RMSE, RRMSE for Formulas

Formulas	RMSE				Bias	RRMSE
	Upper	Middle	Down	Overall	Overall	Overall
Laursen (1958)	4.23	1.87	4.78	2.25	2.19	1.027
Laursen (Modified by Madden, 1993)	2.9	2.2	2.31	1.434	1.43	1.002
Laursen (Modified by Copeland, 1989)	1.51	1.54	0.71	0.742	1.03	0.724
Duboy's (1879)	5.23	19.54	2.19	6.61	-5.32	-5.320
Yang (1973)	4.52	3.86	2.16	2.07	-0.37	-5.566
Ackers & White (1973)	3.55	2.52	1.84	1.55	1.48	1.050

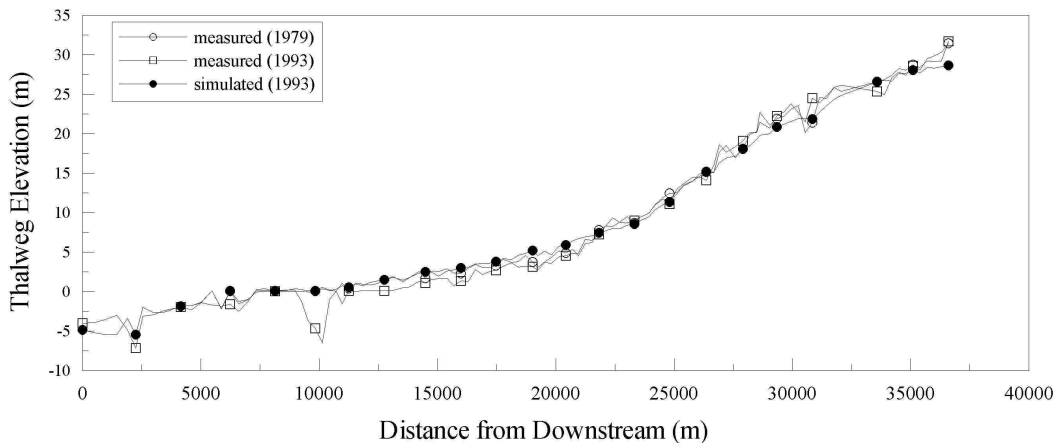


Fig. 4. A River Bed Change through Compare for Thalweg

년부터 4년 간격으로 모의한 결과를 1993년 하천정비기본 계획에 수록된 하상고와 비교하였다. Table 1에 제시한 바와 같이 상·중·하류와 전구간에 걸쳐서 Laursen 공식 (modified by Copeland)이 다른 공식에 비하여 오차의 정도가 작고 Duboy, Yang 공식은 Bias, RMSE, RRMSE가 크게 나타나기 때문에 형산강 유역에서는 적합하지 않은 공식으로 판단된다. 또한 Ackers & White 공식은 Laursen 공식 다음으로 실측치와 근사한 값을 나타내었다. 전체적인 경향에서 Laursen 공식 (modified by Copeland)의 정확도가 높은 것으로 모의되어 형산강 유역에서의 하상변동을 전반적으로 잘 모의하는 것으로 판단할 수 있다. Fig. 4는 Laursen 공식 (modified by Copeland)을 통한 모의결과와 1993년 실측자료 (건설교통부, 1993)의 최심 하상고를 비교하여 도시한 결과를 보여주고 있다. 특정 구간에서 실측치와 모의결과가 상당한 차이를 나타내는 것을 볼 수 있는데, 이는 1979년 이후 모의결과와 비교에 사용된 자료가 취득된 1993년 사이에 보, 교각, 웨어 등의 수리구조물의 추가 설치와 골재채취로 인한 구조적인 하상변동이 있었던 것으로 현장조사를 통해 파악할 수 있었으나, 검증 시에는 이러한 영향을 고려하지 못한 것에 기

인한 것으로 판단된다.

$$Bias = \frac{M_F - M_Q}{M_Q}; RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_Q - M_F)^2}}{Bias} \quad (2)$$

여기서, M_F 는 예측 값, M_Q 는 관측 값, n은 개수

4.2 불일치율 (Discrepancy Ratio)

불일치율은 Cheong and Seo (2003)에 의해서 Eq. (3)과 같이 정의되었으며 여기서, Q_p 는 예측하상고, Q_m 은 관측하상고이다. 불일치율이 0이면 예측결과는 관측하상고와 거의 근사한 값으로 볼 수 있으며 불일치율이 0보다 크면 하상변동을 과대산정한 것이며 0보다 작으면 과소산정한 것이다.

$$R_D = \log(Q_p / Q_m) \quad (3)$$

하상변동 결과의 신뢰도는 불일치율에서 비율 (proportion)의 개수로 정의할 수 있으며 전체 자료에서 -0.2에서 0.2의 범위로 볼 수 있다. Laursen (modified by Copeland et al. 1989)을 다른 공식들과 비교했을 때 -0.2

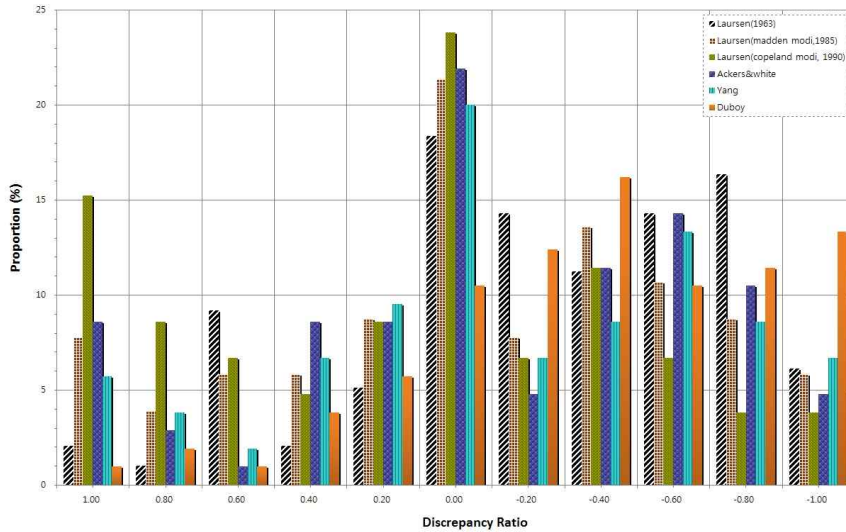


Fig. 5. Results of Discrepancy Ratio Analysis

부터 0.2의 범위에서 불일치율이 39.04 %로 가장 신뢰성이 높은 것으로 나타났으며 Fig. 5에 결과를 도시하였다.

4.3 SN 비 (Signal to ratio)

SN 비는 데이터의 신뢰도를 나타내기 위해 사용하며 어떤 목표치가 있는 경우, 분자의 분산은 평균치의 제곱에, 분모의 분산은 데이터의 표준편차의 제곱에 해당하여, 결국 SN 비가 크다는 것은 데이터의 산포가 작다는 것을 의미한다. 그러므로 특성치 대신 SN 비를 다루는 품질공학에서는 모든 초점이 산포의 감소, 즉 균일한 신뢰도를 목표로 하는 것이 된다. SN 비는 특성에 따라 계산식이 다르나, 식의 구성에서 보는 바와 같이 어떤 경우에도 SN 비는 클수록 좋으며 음(-)의 값을 취하지 않고 작을수록 좋은 것이 망소특성이다. 망소특성의 목표 값은 제로이므로, 특성 값 y 와 목표 값과의 차이의 제곱은 y^2 이다.

$$(y-0)^2 = y^2 \quad (4)$$

망소특성에서 목표 값과의 차이의 제곱인 y^2 의 평균을 σ^2 으로 나타내면 Eq. (5)와 같다.

$$\sigma^2 = (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)/n \quad (5)$$

σ^2 의 역수를 SN 비라고 정의한다. 실용적으로는 이 값에 대수를 취하고 10배 한 것을 데시벨 (decibel) 단위의 SN 비라고 하며 기호 η 로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \eta &= 10 \log (1/\sigma^2) \\ &= -10 \log \sigma^2 \\ &= -10 \log \{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)/n\} \end{aligned} \quad (6)$$

망소특성치는 평균치가 작아지면 변동도 작아지는 경향이 있으므로, 평균치의 해석이라는 관점에서도 타당하다고 볼 수 있다. 그러나 평균치는 같아도 변동이 작거나 큰 것이 있으므로, SN 비로 변환하여 해석하는 쪽이 합리적이다. 평균치와 변동은 작을수록 SN 비는 커진다. Eq. (6)을 정리하면 Eq. (7)과 같고 망소특성치는 오차, 소음, 진동, 불량률, 마모 등과 같이 0에 근사한 값일수록 좋은 특성을 지니는 것을 나타내며 Eqs. (8) and (9)와 같다. 모의실험에 따른 해석결과로부터 수집된 데이터를 이용하여 유도된 결과는 Table 2에 제시하였으며 Laursen (modified by Copeland et al. 1989) 공식이 가장 높은 신뢰도를 나타냈다.

$$S/N_{LB} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (7)$$

$$A = k(m \pm \Delta - m)^2 = k\Delta^2 \quad (8)$$

$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} y^2 \quad (9)$$

여기서, S/N_{LB} 는 SN 비 (망소특성), A는 손실, L(y)는 손실함수, m은 목표값, k는 상수, y_i 는 n개의 데이터 (y_1, y_2, \dots, y_n), $m \pm \Delta$ 는 절반이 기능을 상실하게 되는 값이다.

5. 결 론

각 수계에 적절한 유사량 공식을 결정하고 모형에 입력되는 자료가 정확하다면 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있기 때문에 2006~2007년 2년간에 걸쳐 현장에서 하천유량 및 유사량에 대한 현장실측, 하상재료분석 및 하천측

Table 2. Results of SN ratio for formulas

Formulas	σ^2	SN ratio
Laursen (1958)	20.30631	-13.0763
Laursen (modified by Madden, 1993)	9.216216	-9.64553
Laursen (modified by Copeland, 1989)	3.612613	-5.57821
Duboy's (1879)	27.31532	-14.3641
Yang (1973)	15.28829	-11.8436
Ackers & White (1973)	9.351351	-9.70874

량을 수행하였다. 본 연구에서는 HEC-6모형을 이용하여 유사량 공식의 선택이 하상변동 수치모의 결과 값에 미치는 영향을 분석하고 실제 현장자료와 비교하였다. 형산강에 가장 적합한 유사량 산정공식을 도출하기 위해 통계적 기법을 활용하여 분석하였으며 이러한 분석을 기초로 형산강의 최적의 유사량 공식을 제안하였다.

통계적 기법들을 통해 형산강 유역에서 가장 적합한 유사량 공식을 산정한 결과, Bias, RMSE, RRMSE, 불일치율, S/N 비 기법을 이용한 분석에서 Laursen 공식(modified by Copeland)이 다른 공식에 비하여 신뢰성이 큰 것으로 나타났다. Duboy, Yang 공식은 Bias, RMSE, RRMSE가 크게 나타나기 때문에 형산강 유역에서는 적합하지 않은 공식으로 판단된다. 또한 Ackers & White 공식은 Laursen 공식 다음으로 실측치와 근사한 값을 나타내었다. 모형 적용 결과, 전체적인 경향에서 Laursen 공식(modified by Copeland)은 RMSE, bias, RRMSE, 불일치율, S/N 비가 각각 0.742, 1.03, 0.724, 39.04 %, -5.57821로 분석되어 다른 공식에 비해 정확도가 높은 것으로 모의되어 형산강 유역에서의 하상변동을 전반적으로 잘 모의하는 것으로 판단할 수 있다. 최신 측량성과를 바탕으로 실측된 유사량이 활용되어 모의가 이루어졌기에 각종 하도 내 수리구조물과 골재채취 등으로 인한 하상변동이 적절히 고려되었을 것으로 사료되는 바이다. 하천의 유사량 산정공식을 선정하는 것은 적절한 하천관리를 위해 필수적이기에 지속적인 연구가 진행되어야 하며 대상하천에 대한 지천의 횡방향 유입에 대한 유량과 유사량에 대한 고려가 적절히 이루어지지 않았기 때문에 유사수지 및 하도 내 흐름양상에 대한 충분한 고려가 이루어지지 못한 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서 신뢰성 향상을 위해서는 분류 뿐 아니라 지천에 대해서도 지속적인 유량-유사량의 관측 및 자료의 보완이 이루어져야 할 것으로 사료되는 바이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원

(06건설핵심B01)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부 (1979). 형산강 하천정비기본계획.
 건설교통부 (1993). 형산강 하천정비기본계획.
 건설교통부 (1997). 형산강 하천정비기본계획.
 안정민 (2008). "형산강의 장기하상변동 예측을 위한 수치모형의 적용." 공학석사학위논문, 창원대학교.
 안정민, 류시완, 이남주, 여홍구 (2008). "형산강의 장기하상변동 예측을 위한 GSTARS와 HEC6의 적용." **수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 958-962.
 우효섭, 유권규 (1989). 하천유사량 산정방법의 선정기준 개발, 한국건설기술연구원, 89-WR-113.
 우효섭, 유권규 (1990). 수정아인슈타인 방법의 한국 하천에의 적용-하천 총유사량의 추정, 한국건설기술연구원, 90-WR-112.
 우효섭, 유권규 (1991). 하상변동 예측 모형의 비교분석, 한국건설기술연구원 기본연구보고서, 91-WR-112.
 우효섭, 유권규 (1993). "HEC-6를 이용한 대청댐 하류의 하상변동 예측." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제5호, pp. 157-163.
 우효섭 (2001). 하천수리학. 청문각, pp. 608-609.
 Ackers, P., and White, W.R. (1973). "Sediment Transport: A New Approach and Analysis." *Journal of the hydraulics division*, ASCE, Vol. 99, No. HY11, pp. 2041-2060.
 Cheong, T.S., and Seo, I.W. (2003). "Parameter estimation of the transient storage model by routing method for river mixing processes." *Water Resources Research*, Vol. 39, pp. HWC 1-1-11.
 Copeland, Ronald R., and Thomas, W.A. (1989). "Corte Madera Creek Sedimentation Study." Technical report HL89-6, USACE, Waterways Experiment

Station, Vicksburg, MS, April.

Dawdy., and Vanoni. (1986). "Modeling alluvial channels." *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 9, pp. 71s-81s.

Dubois, P. (1879). "Le rohne et les rivieres a lit affouillable." *Annales des pont et chaussees*, Series 5, Vol. 18.

Laursen, E.M. (1958). "The Total Sediment Load of Streams." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 84, No. HY1, pp. 1530-1 to 1530-36.

Madden, E.B. (1993). "Modified Laursen Method for Estimating Bed-Material Sediment Load." Contract

Report HL-93-3, *Flood Control Channels Research Program*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

HEC (1993). HEC-6 Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs User's Manual, U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Yang, C.T. (1973). "Incipient Motion and Sediment Transport" *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 99, No. HY10, pp. 1679-1704.

논문번호: 10-067	접수: 2010.07.22
수정일자: 2010.10.08/11.03	심사완료: 2010.11.03