



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월05일  
(11) 등록번호 10-1497993  
(24) 등록일자 2015년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 19/00 (2011.01)

(21) 출원번호 10-2014-0114507

(22) 출원일자 2014년08월29일

심사청구일자 2014년08월29일

(56) 선행기술조사문헌

assessment of reservoir sedimentation using quasi two dimensional model(advances in river sediment research, 2013)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

최성욱

서울 서초구 효령로 164, 2동 906호 (방배동, 신동아아파트)

(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 18 항

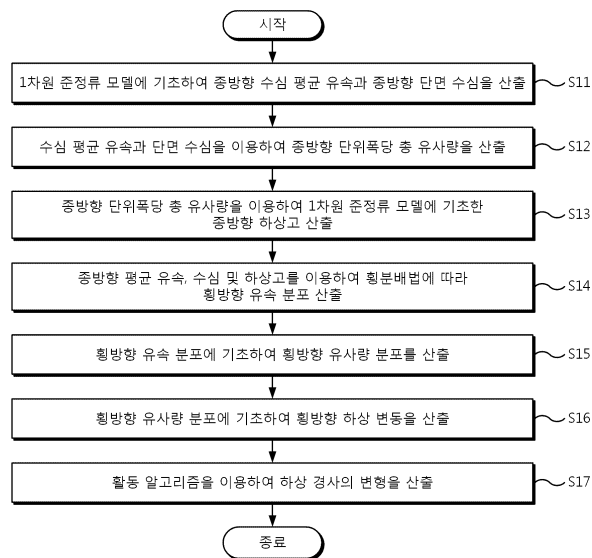
심사관 : 김동성

(54) 발명의 명칭 **준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치**

**(57) 요약**

컴퓨터를 이용한 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법으로서, 최초 하천 지형, 유량, 퇴적 입자 크기, 퇴적물 유입량, 지류 등을 포함하는 주어진 하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 중방향 수심 평균 유속과 중방향 단면 수심을 산출하는 단계, 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 중방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계, 산출된 중방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 중방향 하상고를 산출하는 단계, 산출된 중방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하는 단계, 횡방향 유속 분포에 기초하여 횡방향 유사량 분포를 산출하는 단계; 및 횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	13CCTI-C060329-03-000000
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술연구개발-건설기술혁신사업(구)
연구과제명	하천에서 유사이동 및 하상변동 예측을 위한 3차원 수치모형의 개발(3/3)
기여율	1/1
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2013.05.29 ~ 2014.09.28

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

컴퓨터를 이용한 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법으로서,  
상기 컴퓨터가,

- (a) 최초 하천 지형, 유량, 퇴적 입자 크기, 퇴적물 유입량, 지류 등을 포함하는 주어진 하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 종방향 수심 평균 유속과 종방향 단면 수심을 산출하는 단계;
- (b) 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계;
- (c) 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고를 산출하는 단계;
- (d) 산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하는 단계;
- (e) 횡방향 유속 분포에 기초하여 횡방향 유사량 분포를 산출하는 단계; 및
- (f) 횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출하는 단계를 포함하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서, (b) 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계는, 다음 수학적

$$\frac{q_s}{\sqrt{Rgd_{50}d_{50}}} = \frac{1}{C_f} 0.05(\tau^*)^{5/2}$$

의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

여기서,  $q_s$ 는 산출되어야 하는 단위폭당 총 유사량,  $R$ 은 수중 비중(submerged specific gravity),  $d_{50}$ 은 유사 입자들(sediment particles)의 중간 크기(median size),  $\tau^*$ 는 무차원 전단 응력(Shields stress),  $C_f$ 는 하상 저항 계수,  $g$ 는 중력 가속도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서, (b) 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계는, 다음 수학적

$$\log C_s = a_1 + a_2 \log \left( \frac{\gamma_m U_A S_x}{\gamma_s - \gamma_m v_{sm}} \right)$$

의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

여기서,  $C_s$ 는 유속 기반 중량 농도(flux-based mass concentration)이고,  $a_1$  및  $a_2$ 는 경험적 파라미터들(empirical parameters)이며,  $\gamma_m$ 은 유사 내의 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment in sediment-laden flow),  $\gamma_s$ 는 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment),  $v_{sm}$ 는 퇴적물의 하강 속도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 4**

청구항 1에 있어서, (c) 상기 종방향 하상고를 산출하는 단계는,

다음 수학적식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda_p} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

여기서,  $\eta$ 는 종방향 하상고(bed elevation),  $t$ 는 시간,  $\lambda_p$ 는 하상 물질의 공극률(porosity of bed material),  $q_s$ 는 단위폭당 총 유사량(sediment load per unit width),  $x$ 는 상류로부터 해당 지점까지 종방향 거리인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 5**

청구항 1에 있어서, (d) 상기 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하는 단계는

다음 수학적식

$$\rho g H S_x - \tau_b B_g + \frac{\partial}{\partial y} (H \langle \tau_{yx} \rangle) = \Gamma$$

의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

여기서,  $x$ 는 종방향 거리,  $y$ 는 횡방향 거리이며,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $H$ 는 수심,  $S_x$ 는  $x$  방향의 하상 경사(bed slope),  $\tau_b$ 는 하상 전단 응력(bed shear stress),  $B_g$ 는  $\sqrt{1+S_x^2+S_y^2}$ 로 정의되는 기하학적 인자(geometric factor),  $S_y$ 는  $y$  방향의 하상 경사,  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 는 수심 평균 횡방향 전단 응력(depth-averaged lateral shear stress)이며,  $\Gamma$ 는 이차류 영향을 나타내는 항(term due to secondary currents)인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서, 상기 수심 평균 횡방향 전단 응력  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 은 다음 수학적식

$$\langle \tau_{yx} \rangle = \rho \nu_{yx} \frac{\partial U_d}{\partial y}$$

에 의해 산출되고,

여기서  $\nu_{yx}$ 는 와류 점성(eddy viscosity)으로서, 유속의 차이로 인해 발생하는 수주(water column) 사이의 전단 응력을 결정하고,  $\rho$ 는 물의 밀도이며  $U_d$ 는  $x$  방향의 수심 평균 유속인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 7**

청구항 5에 있어서, 상기 이차류 항  $\Gamma$  은 다음 수학적식

$$\Gamma = \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^H \rho \bar{u} \bar{v} dz \right)$$

에 의해 산출되고,

여기서,  $\bar{u}$  및  $\bar{v}$ 는 각각 유속의 시간 평균된 x 방향 및 y 방향 성분들이고, z는 수직 방향 거리이며 H는 수심이며,  $\rho$ 는 물의 밀도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 8**

청구항 1에 있어서, 장기간 시뮬레이션을 위해, 매 시간 단위마다 단계 (a) 내지 단계 (f)를 반복하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 9**

청구항 1에 있어서,

상기 (f) 단계 이후에, (g) 활동 알고리즘을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법.

**청구항 10**

컴퓨터에서 청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 청구항에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법의 각 단계들을 실행시키기 위해 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

**청구항 11**

하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 수심 평균 유속과 단면 수심을 산출하고, 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하며, 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고를 산출하는 1차원 준정류 모형 계산부;

산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법(LDM)에 따라, 복수의 횡방향 단위폭 구역들의 각각에 대해 횡방향 유속 분포를 산출하는 횡방향 유속 분포 계산부;

상기 횡방향 유속 분포에 기초하여, 모든 단위폭 구역들의 각각마다 횡방향 유사량의 분포를 산출하는 횡방향 유사량 분포 계산부; 및

횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출하는 횡방향 하상 변동 계산부를 포함하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서, 상기 1차원 준정류 모형 계산부는 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하기 위해 다음 수학적식

$$\frac{q_s}{\sqrt{Rgd_{50}d_{50}}} = \frac{1}{C_f} 0.05(\tau^*)^{5/2}$$

의 해를 산출하도록 동작하고,

여기서,  $q_s$ 는 산출되어야 하는 단위폭당 총 유사량, R은 수중 비중(submerged specific gravity),  $d_{50}$ 은 유사 입

자들(sediment particles)의 중간 크기(median size),  $\tau^*$ 는 무차원 전단 응력(Shields stress),  $C_s$ 는 하상 저항 계수,  $g$ 는 중력 가속도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

**청구항 13**

청구항 11에 있어서, 상기 1차원 준정류 모형 계산부는 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하기 위해 다음 수학적식

$$\log C_s = a_1 + a_2 \log \left( \frac{\gamma_m}{\gamma_s - \gamma_m} \frac{U_A S_x}{v_{sm}} \right)$$

의 해를 산출하도록 동작하고,

여기서,  $C_s$ 는 유속 기반 중량 농도(flux-based mass concentration)이고,  $a_1$  및  $a_2$ 는 경험적 파라미터들(empirical parameters)이며,  $\gamma_m$ 은 유사 내의 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment in sediment-laden flow),  $\gamma_s$ 는 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment),  $v_{sm}$ 는 퇴적물의 하강 속도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

**청구항 14**

청구항 11에 있어서, 상기 1차원 준정류 모형 계산부는 상기 종방향 하상고를 산출하기 위해 다음 수학적식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

의 해를 산출하도록 동작하고,

여기서,  $\eta$ 는 종방향 하상고(bed elevation),  $t$ 는 시간,  $\lambda_p$ 는 하상 물질의 공극률(porosity of bed material),  $q_s$ 는 단위폭당 총 유사량(sediment load per unit width),  $x$ 는 상류로부터 해당 지점까지 종방향 거리인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

**청구항 15**

청구항 11에 있어서, 상기 횡방향 유속 분포 계산부는 상기 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하기 위해 다음 수학적식

$$\rho g H S_x - \tau_b B_g + \frac{\partial}{\partial y} (H \langle \tau_{yx} \rangle) = \Gamma$$

의 해를 산출하도록 동작하고,

여기서,  $x$ 는 종방향 거리,  $y$ 는 횡방향 거리이며,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $H$ 는 수심,  $S_x$ 는  $x$  방향의 하상 경사(bed slope),  $\tau_b$ 는 하상 전단 응력(bed shear stress),  $B_g$ 는  $\sqrt{1 + S_x^2 + S_y^2}$ 로 정의되는 기하학적

인자(geometric factor),  $S_y$ 는  $y$  방향의 하상 경사,  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 는 수심 평균 횡방향 전단 응력(depth-averaged lateral shear stress)이며,  $\Gamma$ 는 이차류 영향을 나타내는 항(term due to secondary currents)인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

청구항 16

청구항 15에 있어서, 상기 수심 평균 횡방향 전단 응력  $\langle \tau_{yx} \rangle$  은 다음 수학적

$$\langle \tau_{yx} \rangle = \rho \nu_{yx} \frac{\partial U_d}{\partial y}$$

에 의해 산출되고,

여기서  $\nu_{yx}$ 는 와류 점성(eddy viscosity)으로서, 유속의 차이로 인해 발생하는 수주(water column) 사이의 전단 응력을 결정하고,  $\rho$ 는 물의 밀도이며  $U_d$ 는 x 방향의 수심 평균 유속인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

청구항 17

청구항 15에 있어서, 상기 이차류 항  $\Gamma$  은 다음 수학적

$$\Gamma = \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^H \rho \bar{u} \bar{v} dz \right)$$

에 의해 산출되고,

여기서,  $\bar{u}$  및  $\bar{v}$ 는 각각 유속의 시간 평균된 x 방향 및 y 방향 성분들이고, z는 수직 방향 거리이며 H는 수심이며,  $\rho$ 는 물의 밀도인 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

청구항 18

청구항 11에 있어서, 상기 횡방향 하상 변동 계산부는,

활동 알고리즘을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 하천 퇴적 해석 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 준정류 모형을 이용한 하천 퇴적 해석 기술에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 20세기에 수자원의 확보를 위해 댐을 건설하는 것이 중요했다면, 21세기에는 동일 목적으로 댐의 기능 즉 저수용량을 유지시키는 것이 화두라고 하겠다. 이는 댐을 개발할 만한 적지는 이미 개발이 완료되었으며 여러 가지 환경문제로 말미암아 추가로 댐을 건설할 수 있는 나라가 많지 않기 때문이다.

[0003] Morris et al. (2007)에 의하면 전 세계적으로 각국의 댐은 저수지 퇴사에 의해 매년 1% 정도 저수용량이 줄어 든다고 보고하고 있다. 우리나라도 류태상 등(2010)에 따르면 담수 후 20년 이상된 9개 댐의 경우, 지난 10년간의 퇴사량이 346백만m<sup>3</sup>으로 부항댐과 화북댐 저수량의 6~7배에 해당된다고 한다. 또한, 대청댐의 경우 비사량이 91년 114m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yr에서 06년에는 616m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yr으로 5.4배나 증가한 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 자료는 우리나라의 댐도 이제 저수지 퇴사 문제에서 자유롭지 못할 것을 예견하게 해준다.

[0004] 일반적으로 하류에 댐이 있는 하도에서 하류방향으로 갈수록 배수효과에 의해 수심이 증가하게 되며 이에 따라 유속은 감소하게 된다. 이때 하상의 전단응력은 대략 유속의 제곱에 비례하므로 댐에 가까워질수록 소류력이

줄어든다. 또한, 하류로 갈수록 정수압이 증가하여 하상토의 이동이 어려워진다. 따라서 상류에서 이동한 유사는 댐체 부근에 퇴적되는데, 이것이 저수지 퇴사현상의 핵심 메카니즘이다.

[0005] 하천에서 일어나는 하상변동에 관한 수치해석의 역사는 짧지 않다. 최초의 연구들은 유동과 하상의 파속이 크게 다르다는 사실에 기초하여 유동과 하상토 보존 방정식을 분리해석하였다. 이후에는, 급변류 또는 천이류에 의한 하상변동을 모의하기 위해 부정류 방정식을 직접 해석하는 모형도 제시되었다. 하지만 이들 모형들은 유동에 대해 정상류 가정을 하지 않기 때문에 계산량이 매우 많아 장기적인 하도 변형 예측 문제에는 적용하기 어렵다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 부정류 방정식보다 훨씬 적은 연산량으로 부정류 방정식 모형에 비해 크게 떨어지지 않는 정확도를 제공할 수 있는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 장시간에 걸친 예측 결과를 제공할 수 있는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 수심 평균 유속(depth-averaged velocity), 하상 전단 응력(bed shear stress), 횡방향 전단(lateral shear) 및 하천 지형(channel geometry)의 횡방향 분포를 제공할 수 있는 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다.

[0010] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 본 발명의 일 측면에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법은 컴퓨터를 이용한 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법으로서,

[0012] 상기 컴퓨터가,

[0013] (a) 최초 하천 지형, 유량, 퇴적 입자 크기, 퇴적물 유입량, 지류 등을 포함하는 주어진 하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 종방향 수심 평균 유속과 종방향 단면 수심을 산출하는 단계;

[0014] (b) 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계;

[0015] (c) 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고를 산출하는 단계;

[0016] (d) 산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하는 단계;

[0017] (e) 횡방향 유속 분포에 기초하여 횡방향 유사량 분포를 산출하는 단계; 및

[0018] (f) 횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 일 실시예에 따라, (b) 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계는, 다음 수학적

$$[0020] \frac{q_s}{\sqrt{Rgd_{50}d_{50}}} = \frac{1}{C_f} 0.05(\tau^*)^{5/2}$$

[0021] 의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

[0022] 여기서,  $q_s$ 는 산출되어야 하는 단위폭당 총 유사량, R은 수중 비중(submerged specific gravity),  $d_{50}$ 은 유사 입



자들(sediment particles)의 중간 크기(median size),  $\tau^*$ 는 무차원 전단 응력(Shields stress),  $C_f$ 는 하상 저항 계수,  $g$ 는 중력 가속도일 수 있다.

[0023] 일 실시예에 따라, (b) 상기 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하는 단계는, 다음 수학적

$$\log C_s = a_1 + a_2 \log \left( \frac{\gamma_m}{\gamma_s - \gamma_m} \frac{U_A S_x}{v_{sm}} \right)$$

[0024] 의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

[0025] 여기서,  $C_s$ 는 유속 기반 중량 농도(flux-based mass concentration)이고,  $a_1$  및  $a_2$ 는 경험적 파라미터들  
[0026] (empirical parameters)이며,  $\gamma_m$ 은 유사 내의 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment in sediment-laden flow),  $\gamma_s$ 는 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment),  $v_{sm}$ 는 퇴적물의 하강 속도일 수 있다.

[0027] 일 실시예에 따라, (c) 상기 종방향 하상고를 산출하는 단계는,

[0028] 다음 수학적

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

[0029] 의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

[0030] 여기서,  $\eta$ 는 종방향 하상고(bed elevation),  $t$ 는 시간,  $\lambda_p$ 는 하상 물질의 공극률(porosity of bed material),  $q_s$ 는 단위폭당 총 유사량(sediment load per unit width),  $x$ 는 상류로부터 해당 지점까지 종방향 거리일 수 있다.

[0031] 일 실시예에 따라, (d) 상기 횡분배법에 따라 횡방향 유속 분포를 산출하는 단계는

[0032] 다음 수학적

$$\rho g H S_x - \tau_b B_g + \frac{\partial}{\partial y} (H \langle \tau_{yx} \rangle) = \Gamma$$

[0033] 의 해를 산출하는 단계를 포함하고,

[0034] 여기서,  $x$ 는 종방향 거리,  $y$ 는 횡방향 거리이며,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $H$ 는 수심,  $S_x$ 는  $x$  방향의  
[0035] 하상 경사(bed slope),  $\tau_b$ 는 하상 전단 응력(bed shear stress),  $B_g$ 는  $\sqrt{1 + S_x^2 + S_y^2}$ 로 정의되는 기하학적

인자(geometric factor),  $S_y$ 는  $y$  방향의 하상 경사,  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 는 수심 평균 횡방향 전단 응력(depth-averaged lateral shear stress)이며,  $\Gamma$ 는 이차류 영향을 나타내는 항(term due to secondary currents)일 수 있다.

[0036] 일 실시예에 따라, 상기 수심 평균 횡방향 전단 응력  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 은 다음 수학적

$$\langle \tau_{yx} \rangle = \rho v_{yx} \frac{\partial U_d}{\partial y}$$

[0037]

[0038]

- [0039]           에 의해 산출되고,
- [0040]           여기서  $V_{yx}$ 는 와류 점성(eddy viscosity)으로서, 유속의 차이로 인해 발생하는 수주(water column) 사이의 전단 응력을 결정하고,  $\rho$ 는 물의 밀도이며  $U_d$ 는 x 방향의 수심 평균 유속일 수 있다.
- [0041]           일 실시예에 따라, 상기 이차류 항  $\Gamma$ 은 다음 수학적
- [0042]           
$$\Gamma = \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^H \rho \bar{u} \bar{v} dz \right)$$
- [0043]           에 의해 산출되고,
- [0044]           여기서,  $\bar{u}$  및  $\bar{v}$ 는 각각 유속의 시간 평균된 x 방향 및 y 방향 성분들이고, z는 수직 방향 거리이며 H는 수심이며,  $\rho$ 는 물의 밀도일 수 있다.
- [0045]           일 실시예에 따라, 상기 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법은, 장기간 시뮬레이션을 위해, 매 시간 단위마다 단계 (a) 내지 단계 (f)를 반복하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0046]           일 실시예에 따라, 상기 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법은, 상기 (f) 단계 이후에, (g) 활동 알고리즘을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0047]           본 발명의 다른 측면에 따른 컴퓨터프로그램은, 컴퓨터에서 본 발명의 실시예들에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법의 각 단계들을 실행시키기 위해 기록매체에 저장될 수 있다.
- [0048]           본 발명의 또 다른 측면에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치는,
- [0049]           하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 수심 평균 유속과 단면 수심을 산출하고, 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하며, 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고를 산출하는 1차원 준정류 모형 계산부;
- [0050]           산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법(LDM)에 따라, 복수의 횡방향 단위 폭 구역들의 각각에 대해 횡방향 유속 분포를 산출하는 횡방향 유속 분포 계산부;
- [0051]           상기 횡방향 유속 분포에 기초하여, 모든 단위폭 구역들의 각각마다 횡방향 유사량의 분포를 산출하는 횡방향 유사량 분포 계산부; 및
- [0052]           횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출하는 횡방향 하상 변동 계산부를 포함할 수 있다.
- [0053]           상기 횡방향 하상 변동 계산부는,
- [0054]           활동 알고리즘을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출하도록 동작할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0055]           본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치에 따르면, 부정류 방정식보다 훨씬 적은 연산량으로 부정류 방정식 모형에 비해 크게 떨어지지 않는 정확도를 제공할 수 있다.
- [0056]           본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치에 따르면, 장시간에 걸친 예측 결과를 제공할 수 있다.
- [0057]           본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치에 따르면, 수심 평균 유속, 하상 전단 응력, 횡방향 전단 및 하천 지형의 횡방향 분포를 제공할 수 있다.
- [0058]           본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법 및 장치에 따르면, 동일한 연산 능력을 가진 시뮬레이션 시스템을 가지고 훨씬 긴 기간 동안 하상 변동을 예측할 수 있거나, 동일한 예측 기간의 하상 변동의 예측에 들어가는 비용을 절감할 수 있으며, 동일한 비용과 시간 내에서 좀더 다양한 조건에서 하상 변동을 시뮬레이션할 수 있다.

[0059] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0060] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법을 예시한 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법에 따라 중국 황하강 유역의 샤오량디 댐에 관하여 2003년, 2004년 및 2006년에 각각 얻은 횡방향 하천 지형의 예측 결과와 실측 결과를 비교한 그래프들이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치를 예시한 블록도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0061] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

[0062] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.

[0063] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법을 예시한 순서도이다.

[0064] 도 1을 참조하면, 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법은 단계(S11)에서, 최초 하천 지형, 유량, 퇴적 입자 크기, 퇴적물 유입량, 지류 등을 포함하는 주어진 하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형(1D Quasi-steady Model)에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 종방향 수심 평균 유속(cross section depth averaged velocity)과 종방향 단면 수심(hydraulic depth)을 산출한다.

[0065] 1차원 준정류 모형은 하천의 장기간 하상 변동(long-term morphological change)을 산출하는 데에 흔히 사용된다. 1차원 준정류 모형은, 유수에 의한 하도 형태의 변화를 모의하는 데에 있어서, 유동(flow change)에 비하여 하도 변화(bed elevation)의 특성 시간이 매우 길기 때문에 유동 방정식에서 시간에 따른 변화를 무시할 수 있다(quasi-steady)는 가정에 기반한다.

[0066] 구체적으로, 단계(S11)에서 연산되는 1차원 준정류 모형은 다음 수학식 1의 유동에 관한 1차원 연속 방정식(1D continuity equation)과 수학식 2의 운동량 방정식(momentum equation)을 포함할 수 있다.

**수학식 1**

[0067] 
$$q = U_A H_A$$

**수학식 2**

[0068] 
$$U_A \frac{dU_A}{dx} = -g \frac{d}{dx} (\eta + H_A) - C_f \frac{U_A^2}{H_A}$$

[0069] 수학식 1 및 2에서, x는 종방향 거리(longitudinal direction), t는 시간, q는 단위폭당 유량(unit discharge), U<sub>A</sub>는 수심 평균 유속, H<sub>A</sub>는 단면 수심, g는 중력 가속도, η는 하상고(bed elevation), C<sub>f</sub>는 하상 저항 계수(flow resistance coefficient)이다.

[0070] 위와 같은 준정류 모형은 하상고의 특성 시간이 유동의 특성 시간에 비해 훨씬 크다는 가정 하에 1차원 천수 방

정식(shallow water equation)으로부터 도출될 수 있으므로, 급변류 또는 한계류에 의한 하상 변동에는, 예를 들어 댐의 붕괴나 독의 범람과 같은 경우에는 적용하기 어렵다.

[0071] 한편, 위의 1차원 준정류 모형은 예를 들어 엑스너(Exner) 방정식과 같은 하상토 보존 방정식(bed sediment conservation equation)을 더 가지는데, 이를 계산하기 위해서는 먼저 단위폭당 총 유사량(sediment load per unit width)을 알아야 한다.

[0072] 이어서, 단계(S12)에서, 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출한다.

[0073] 구체적으로, 단위폭당 총 유사량은 예를 들어 다음 수학적 식 3과 같은 Engelund-Hansen 방정식 또는 수학적 식 4와 같은 Yang 방정식을 이용하여 산출될 수 있다.

**수학적 식 3**

[0074] 
$$\frac{q_s}{\sqrt{Rgd_{50}d_{50}}} = \frac{1}{C_f} 0.05(\tau^*)^{5/2}$$

[0075] 여기서,  $q_s$ 는 산출되어야 하는 단위폭당 총 유사량,  $R$ 은 수중 비중(submerged specific gravity),  $d_{50}$ 은 유사 입자들(sediment particles)의 중간 크기(median size),  $\tau^*$ 는 무차원 전단 응력(Shields stress),  $C_f$ 는 하상 저항 계수,  $g$ 는 중력 가속도이다.

[0076] 다만, 수학적 식 3의 Engelund-Hansen 방정식은 입자 직경이 0.15 mm 이사인 경우에는 바람직하지 않을 수 있다.

[0077] 대부분의 유사량 산출 방정식들은 세류사(wash load)를 고려하지 않는데, 세류사의 존재는 유체의 점성(fluid viscosity), 유사 침강 속도(sediment fall velocity) 및 유사의 비중량(specific weight of sediment)에 영향을 미치기 때문에 무시할 수 없는 경우도 많다. 그러한 경우에는 수학적 식 4의 Yang 방정식을 이용할 수 있다. 아래의 Yang 방정식은 높은 농도의 세류사를 가진, 퇴적물이 많은(sediment-laden) 유체 흐름을 위한 방정식이다.

**수학적 식 4**

[0078] 
$$\log C_s = a_1 + a_2 \log \left( \frac{\gamma_m U_A S_x}{(\gamma_s - \gamma_m) v_{sm}} \right)$$

[0079] 여기서,  $C_s$ 는 유속 기반 중량 농도(flux-based mass concentration)이고,  $a_1$  및  $a_2$ 는 경험적 파라미터들(empirical parameters)이며,  $\gamma_m$ 은 유체 내의 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment in sediment-laden flow),  $\gamma_s$ 는 퇴적물의 비중량(specific weight of sediment),  $v_{sm}$ 는 퇴적물의 하강 속도이다.

[0080] 단계(S13)에서, 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고(longitudinal bed elevation)를 산출한다.

[0081] 구체적으로, 수학적 식 5와 같은 하상토 보존 방정식을 이용하여 종방향 하상고를 산출할 수 있다.

수학식 5

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda_p} \frac{\partial q_s}{\partial x}$$

[0082]

[0083]

여기서,  $\eta$ 는 종방향 하상고(bed elevation),  $t$ 는 시간,  $\lambda_p$ 는 하상 물질의 공극률(porosity of bed material),  $q_s$ 는 단위폭당 총 유수량(sediment load per unit width),  $x$ 는 상류로부터 해당 지점까지 종방향 거리이다.

[0084]

상술한 단계들(S11 내지 S13)을 통해, 종방향의 1차원 준정류 모형을 통한 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고가 산출된다.

[0085]

이어서, 단계(S14)에서, 산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법(Lateral Distribution Method, LDM)에 따라, 복수의 횡방향 단위폭 구역들의 각각에 대해 횡방향 유속 분포를 산출한다.

[0086]

유량의 횡분배법은 Shiono and Knight와 Walker et al에 의해 각각 독립적으로 도출된 기법으로서, 하천의 한 축점에서 유량 및 수위가 결정된 경우에, 지배 방정식(Governing equation)의 해석을 통해 횡방향의 단위폭당 유량을 구하는 기법이다.

[0087]

본 발명에 적합하도록 변형된 유속 횡분배법은 다음 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 6

$$\rho g H S_x - \tau_b B_g + \frac{\partial}{\partial y} (H \langle \tau_{yx} \rangle) = \Gamma$$

[0088]

[0089]

여기서,  $x$ 는 종방향 거리,  $y$ 는 횡방향 거리이며,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $H$ 는 수심,  $S_x$ 는  $x$  방향의 하상 경사(bed slope),  $\tau_b$ 는 하상 전단 응력(bed shear stress),  $B_g = \sqrt{1+S_x^2+S_y^2}$ 로 정의되는 기하학적 인자(geometric factor),  $S_y$ 는  $y$  방향의 하상 경사,  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 는 수심 평균 횡방향 전단 응력(depth-averaged lateral shear stress)이며,  $\Gamma$ 는 이차류 영향을 나타내는 항(term due to secondary currents)이다.

[0090]

수학식 6은 총 유량(total discharge)을 하천 지형과 유체 역학에 따라 횡방향으로 분포시키는 지배 방정식이다. 수학식 6은 각각의 단위폭 구역마다 양 측면에서 미끄럼 경계 조건(free-slip boundary conditions)을 가지는 중앙 유한 차분법(centered finite difference scheme)을 적용함으로써 이산화(discretized)될 수 있다. 그 결과로 얻는 비선형 방정식의 해는 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 법을 이용하여 계산될 수 있다.

[0091]

한편, 하상 전단 응력  $\tau_b$ 은 다음의 수학식 7과 같이 주어질 수 있다.

수학식 7

$$\tau_b = \rho \frac{f}{8} U_d^2$$

[0092]

여기서  $\rho$  는 물의 밀도,  $f$  는 Darcy-Weisbach의 마찰 계수(friction factor)이고,  $U_d$ 는 x 방향의 수심 평균 유속(depth-averaged velocity)이다.

[0093]

또한, 각각의 횡방향 수주(water column) 간에 발생하는 수심 평균 횡방향 전단 응력  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 은 다음 수학식 8과 같이 주어질 수 있다.

[0094]

수학식 8

$$\langle \tau_{yx} \rangle = \frac{1}{H} \int_0^H (-\rho \overline{u'v'}) dz$$

[0095]

여기서,  $-\rho \overline{u'v'}$  는 변동 유속(fluctuating velocities)에 의한 레이놀즈 응력(Reynolds stress)이다. 와류

[0096]

점성 이론(Eddy Viscosity Concept)에 따라, 횡방향 전단 응력  $\langle \tau_{yx} \rangle$ 은 다음 수학식 9와 같이 다시 쓸 수 있다.

수학식 9

$$\langle \tau_{yx} \rangle = \rho \nu_{yx} \frac{\partial U_d}{\partial y}$$

[0097]

여기서  $\nu_{yx}$ 는 와류 점성(eddy viscosity)으로서 유속의 차이로 인해 발생하는 수주 사이의 전단 응력을 결정하고,  $\rho$ 는 물의 밀도이며  $U_d$ 는 x 방향의 수심 평균 유속이다.

[0098]

마지막으로, 수학식 6의 이차류 항  $\Gamma$ 은 다음 수학식 10과 같이 정의된다.

[0099]

수학식 10

$$\Gamma = \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^H \rho \bar{u} \bar{v} dz \right)$$

[0100]

여기서,  $\bar{u}$  및  $\bar{v}$ 는 각각 유속의 시간 평균된 x 방향 및 y 방향 성분들이고,  $z$ 는 수직 방향 거리이며  $H$ 는 수심이며,  $\rho$ 는 물의 밀도이다.

[0101]

이어서, 단계(S15)에서, 횡방향 유속 분포에 기초하여, 모든 단위폭 구역들의 각각마다 횡방향 유사량의 분포를

[0102]

산출한다.

[0103] 하상 경사에 퇴적되는 유사 입자들은 항력(drag), 중력, 쿨롱 저항력(Coulomb resistive force)와 같은 힘들 사이의 균형 또는 불균형에 의해 형태가 유지되거나 붕괴될 수 있다. 이러한 하상 유사 이송(transport of bedload)은 다음 수학적 식 11에 따른 Kovacs and Parker의 벡터 공식(vectorial formula)에 의해 산출될 수 있다.

수학적 식 11

$$\vec{q}_b = \xi \vec{v}_p$$

[0104]

[0105] 여기서,  $\vec{q}_b$ 는 단위폭당 하상 유사량의 벡터 부피 하상 유사 이송율(vectorial volume bedload transport rate of bed sediment per unit width)이고,  $\vec{v}_p$ 는 평균 입자 유속(mean particle velocity)이며,  $\xi = \zeta \eta_s$ 로 정의되는데,  $\eta_s$ 는 전체 부피 중 퇴적물(sediment)의 부피 비율(volume fraction of sediment)이고  $\zeta$ 는 하상으로부터 퇴적층(bedload layer)의 높이이다.

[0106] 한편, 단계(S16)에서, 횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출한다.

[0107] 구체적으로, 다음 수학적 식 12와 같이 횡방향 하상고를 산출함으로써 횡방향 하상 변동을 얻을 수 있다.

수학적 식 12

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{1}{1 - \lambda_p} \frac{\partial q_s}{\partial y}$$

[0108]

[0109] 여기서,  $\eta$ 는 횡방향 하상고, t는 시간,  $\lambda_p$ 는 하상 물질의 공극률,  $q_s$ 는 횡방향 단위폭당 총 유사량, y는 횡방향 거리이다.

[0110] 다음으로 단계(S17)에서, 활동 알고리즘(sliding algorithm)을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출한다.

[0111] 구체적으로 활동 알고리즘은 Menendez, A.N., Laciana, C.E., Garcia, P.E. (2008) "An integrated hydrodynamic-sedimentologic-morphologic model for the evolution of alluvial channels cross sections", Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Vol. 2, No. 4, pp. 411-426을 참조할 수 있다.

[0112] 시간의 흐름에 따라 단계(S11)부터 단계(S17)은 반복할 수 있다.

[0113] 본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법은 수치 데이터와 수리 모형에 기초한 다수의 방정식들의 계산으로 구성되므로, 컴퓨터에서 구현될 수 있다.

[0114] 본 발명의 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법을 컴퓨터 상에서 구현할 때의 연산 절차를 간단히 설명하면, 먼저 특정 시점에 수학적 식 1 및 2와 같은 배수 방정식들(backwater equations)과 수학적 식 5와 같은 하상도 보존 방정식을 계산하여 중방향의 각 측정점마다 수면 상승(water surface elevation), 단면 평균 유속(section-averaged velocity) 및 하상고 변동(bed elevation change)을 산출한다.

[0115] 이어서, 각 측정점마다, 수학적 식 2가 배수 방정식의 해로부터 얻은 수면 상승을 가지고 해가 산출된다. 통상적으로, 횡방향 분배법을 통해 계산된 단위폭당 유사량들을 합산하여 얻는 총 유량(total discharge)은 실제 총 유량과 같지 않다. 각각의 수직 횡단면에서 단위폭당 유량은, 단면에 걸친 유속 배분이 균일 흐름 조건(uniform flow condition) 하에서의 배분과 유사할 것이라는 가정 하에, 실제 유량을 배분하여 얻어진다.



- [0116] 각 측정점의 폭 방향을 따라 하상 유사를 배분할 수 있도록, 위의 연산 절차가 반복된다. 즉, 총 하상 유사는 단면의 주변에서 평균화된 전단 유속을 이용하여 추정된다. 이어서 단위 하상 유사가 횡분배법에 의해 예측된다. 일반적으로 폭 방향의 단위 하상 유사들의 합은 총 하상 유사와 같지 않을 수 있다. 총 하상유사가 위와 같은 가정 하에 각각의 수직 단면에서 배분된다.
- [0117] 마지막으로, 하천 형태의 변화가, 물의 흐름이 각 연산 범위 내에서 균일하다는 가정 하에, 하상 유사 이송 (bedload transport) 및 활동(sliding)을 고려하여 산출된다.
- [0118] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 방법에 따라 중국 황하강 유역의 샤오랑디 댐에 관하여 2003년, 2004년 및 2006년에 각각 얻은 횡방향 하천 지형의 예측 결과와 실측 결과를 비교한 그래프이다.
- [0119] 샤오랑디 댐은 황하의 본류 상에 건설된 댐으로서, 중국 허난성 쑤먼시아 댐으로부터 하류로 128.42 km 떨어져 있고, 연평균 유량은  $400 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 연평균 하상 유사는  $13.47 \times 10^9$  톤이며, 12 개의 주요 지류들이 있다.
- [0120] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a), (b) 및 (c)는 각각 2003년, 2004년 및 2006년에 각각 얻은 횡방향 하천 지형의 예측 결과와 실측 결과를 비교한 그래프들로서, 최초의 하상 경사(initial bed라고 표시)가 굵은 흑색 실선으로 표시되고 실측 조사 결과(surveyed라고 표시)가 얇은 흑색 실선, 기존의 GSTARS4 시뮬레이션 방식에 따른 예측 결과(Ahn(2011)로 표시)는 얇은 청색 실선으로 표시되고, 본 발명의 준2차원 준정류 모형에 따른 예측 결과(present study로 표시)는 얇은 적색 실선으로 표시된다.
- [0121] 2003년 10월의 하천 지형은 그해 8월에 홍수로 인해 실제로 댐 상류에 엄청난 양의 퇴적이 발생하였는데, 본 발명의 준2차원 준정류 모형도 실측 결과에 충분히 근접한 예측 결과를 나타냈으며, 이는 기존에 널리 이용되는 GSTARS4 시뮬레이션 방식의 예측 결과에 비해 손색이 없다.
- [0122] 2004년 10월의 하천 지형은 전년도에 퇴적된 퇴적토가 침식되면서 댐이 있는 방향으로 이동되었는데, 본 발명의 준2차원 준정류 모형은 실측 결과에 대해 일부 구간에서는 근접한 예측 결과를 나타냈다. 본 발명의 모형이 큰 오차를 가지는 구간에서는 기존의 GSTARS4 시뮬레이션 방식의 예측 결과도 오차가 크게 존재하는 점을 감안할 필요가 있다.
- [0123] 2006년 10월의 하천 지형은 전반적으로 퇴적토가 긴 구간에 걸쳐 퇴적되는 모습을 보였는데, 본 발명의 준2차원 준정류 모형도 실측 결과에 충분히 근접한 예측 결과를 나타냈으며, 이는 기존에 널리 이용되는 GSTARS4 시뮬레이션 방식의 예측 결과에 비해 손색이 없다.
- [0124] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치를 예시한 블록도이다.
- [0125] 도 3을 참조하면, 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치(30)는 1차원 준정류 모형 계산부(31), 횡방향 유속 분포 계산부(32), 횡방향 유사량 분포 계산부(33), 횡방향 하상 변동 계산부(34) 및 데이터베이스(35)를 포함할 수 있다.
- [0126] 데이터베이스(35)는 최초 하천 지형, 유량, 퇴적 입자 크기, 퇴적물 유입량, 지류 등을 포함하는 주어진 하상 데이터를 저장하며, 1차원 준정류 모형 계산부(31), 횡방향 유속 분포 계산부(32), 횡방향 유사량 분포 계산부(33), 횡방향 하상 변동 계산부(34)의 각각에 필요한 하상 데이터를 제공한다.
- [0127] 1차원 준정류 모형 계산부(31)는 하상 데이터에 관하여 1차원 준정류 모형에 기초하여 전체 관심 구간의 수직 단면의 수심 평균 유속과 단면 수심을 산출하고, 산출된 수심 평균 유속과 단면 수심을 이용하여 종방향 단면의 단위폭당 총 유사량을 산출하며, 산출한 종방향 단위폭당 총 유사량을 이용하여 1차원 준정류 모형에 따라 종방향 하상고를 산출한다.
- [0128] 구체적으로, 1차원 준정류 모형 계산부(31)가 계산하는 1차원 준정류 모형은 상술한 수학적 1의 유동에 관한 1차원 연속 방정식과 수학적 2의 운동량 방정식을 포함할 수 있다.
- [0129] 구체적으로, 단위폭당 총 유사량은 상술한 수학적 3과 같은 Engelund-Hansen 방정식 또는 수학적 4와 같은 Yang 방정식을 이용하여 산출될 수 있다.
- [0130] 구체적으로, 종방향 하상고는 상술한 수학적 5와 같은 하상도 보존 방정식을 이용하여 산출될 수 있다.
- [0131] 횡방향 유속 분포 계산부(32)는 산출된 종방향 수직 단면의 평균 유속, 수심 및 하상고를 이용하여 횡분배법



(LDM)에 따라, 복수의 횡방향 단위폭 구역들의 각각에 대해 횡방향 유속 분포를 얻는다.

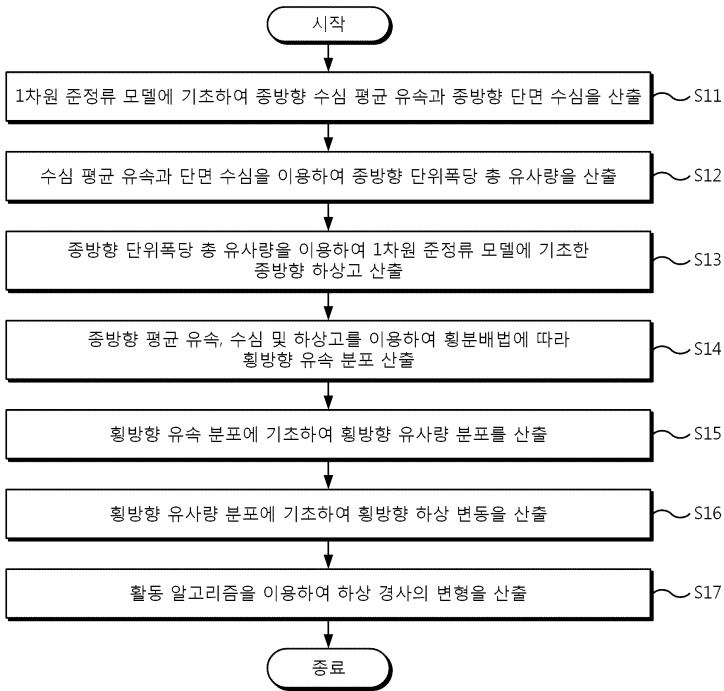
- [0132] 본 발명에 적합하도록 변형된 유속 횡분배법은 상술한 수학식 6 내지 수학식 10에 의해 설명된다.
- [0133] 횡방향 유사량 분포 계산부(33)는 횡방향 유속 분포에 기초하여, 모든 단위폭 구역들의 각각마다 횡방향 유사량의 분포를 산출한다.
- [0134] 하상 유사의 이송은 상술한 수학식 11에 따른 Kovacs and Parker의 벡터 공식에 의해 산출될 수 있다.
- [0135] 횡방향 하상 변동 계산부(34)는 횡방향 유사량 분포에 기초하여 횡방향 하상 변동을 산출한다.
- [0136] 구체적으로, 상술한 수학식 12와 같이 횡방향 하상고를 산출함으로써 횡방향 하상 변동을 얻을 수 있고, Menendez 등의 활동 알고리즘을 이용하여 하상 경사의 변형을 산출할 수 있다.
- [0137] 이렇게 하여, 본 발명에 따르면, 하천의 중심선(thalweg)을 따라 종방향으로 산출된 하상 변동에 기초하여 각 측정점마다 횡방향의 하상 변동도 함께 산출됨으로써, 하천을 따라 실제로 2차원적 시뮬레이션을 수행하는 대신에, 2차원적 시뮬레이션에 가깝게 준2차원적으로, 하상의 퇴적을 시뮬레이션할 수 있다.
- [0138] 본 발명에 따른 이러한 준2차원적 방식을 이용하면, 동일한 연산 능력을 가진 시뮬레이션 시스템을 가지고 훨씬 긴 기간 동안의 하상 변동을 예측할 수 있거나, 동일한 예측 기간이라면 하상 변동의 예측에 들어가는 비용을 절감할 수 있으며, 또는 동일한 비용과 처리 시간 내에서라면 좀더 다양하고 정밀한 조건에서 하상 변동을 시뮬레이션할 수 있다.
- [0139] 본 실시예 및 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.
- [0140] 또한, 본 발명에 따른 장치는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽힐 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 기록매체의 예로는 ROM, RAM, 광학 디스크, 자기 테이프, 플로피 디스크, 하드 디스크, 비휘발성 메모리 등을 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

**부호의 설명**

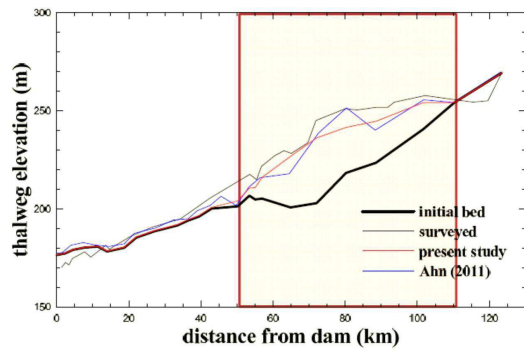
- [0141] 30 준2차원 준정류 모형을 적용한 하천 퇴사 및 배사 해석 장치
- 31 1차원 준정류 모형 계산부
- 32 횡방향 유속 분포 계산부
- 33 횡방향 유사량 분포 계산부
- 34 횡방향 하상 변동 계산부
- 35 데이터베이스

도면

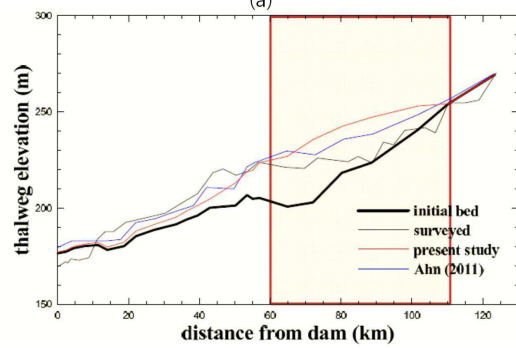
도면1



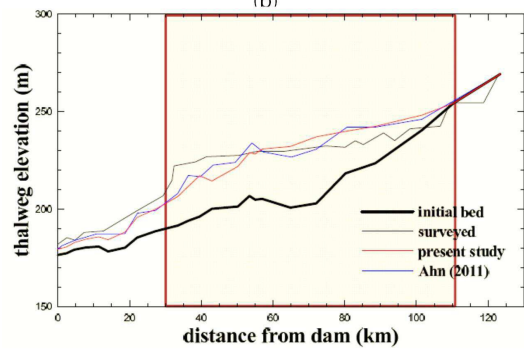
도면2



(a)



(b)



(c)

도면3

30

