

# GSTARS 모형을 이용한 달천의 하상변동 해석

이증형<sup>1\*</sup>

## Analysis of Dalcheon River Bed Change using GSTARS Model

Jong-Hyeong Lee<sup>1\*</sup>

**요 약** 본 연구에서는 달천 하류의 수리적 특성 및 유사론적 특성을 파악하기 위해 준2차원 모형인 GSTARS 2.1 모형을 적용하였다. GSTARS 2.1 모형에 포함된 Meyer-Peter와 Muller 공식, Acker와 White's 공식, Engelund와 Hanson 공식 그리고 Yang 공식의 네 가지 유사이송공식을 1984년부터 1992년까지의 하상단면에 대해 모의하였으며, 그 결과 Meyer-Peter와 Muller 공식이 실측치에 근사한 것으로 나타났다. 정량적인 비교에서 각 단면별로 92년 실측치보다 모형에 의한 계산치가 하상변동량이 약간 과소로 산정되었다. Meyer-Peter와 Muller 공식을 적용하여 유관 개수에 따른 하상변동의 효과를 분석하였다.

**Abstract** In this study, semi-two dimension numerical model(GSTARS 2.1 model) were applied to study on the hydraulic and sedimentologic characteristics of downstream channel section in Dal stream. GSTARS 2.1 model was applied for the four selected sediment transport formulas(Meyer-Peter and Muller, Acker and White's, Engelund and Hanson, Yang formula) from 1984 to 1992 measured data on each section. The simulation results of Meyer-Peter and Muller formula for long-term bed changes are good when compared to the measured data. When quantitatively compared, it appears that the results data is relatively underestimated compared to the 1992 measured data on each section. Using Meyer-Peter and Muller formula, analyse the effects of bed changes by stream tube number.

**Key words** : sediment transport, semi-two dimension numerical model, stream tube, river bed change

### 1. 서론

하천은 하도상황의 변경, 토지이용의 변화, 골재채취, 댐과 저수지 건설 등에 의한 인위적인 요인과 대규모의 홍수, 홍수시에 발생하는 산사태와 같은 자연적인 요인에 의해 하천의 특성이 변화되고 있다. 이러한 요인에 의한 하천의 변화는 평형상태를 파괴시키며 하천의 평형상태를 복원하려는 반응과정에서 하상상승과 하상저하의 형태로 하상변동이 일어나게 된다.

하천에 위치한 취수구 주위의 하상변동에 의한 취수장에 문제와 오염된 유사의 퇴적으로 인한 수질문제의 연구조사에 의하면 우리나라 직할하천 취수장의 36%가 퇴적 문제를 가지고 있다고 조사되었다[1]. 현

재 하천에서의 골재채취량은 토사이송량을 초과하고 있으며 이로 인한 하상 저하는 호안이나 교각 등의 피해를 초래하고 있다. 하천정비사업 및 유로변경에 따른 영향을 제대로 평가하기 위해서는 하상변동효과를 예측하고 분석하는 것이 매우 중요하다.

국내에서의 하상변동에 대한 연구로는 한국건설기술연구원[2]에서 HEC-6모형을 이용하여 국내하천의 장기적인 하상변동 효과를 예측하였고, 우효섭[3]은 국제수문개발계획 4단계 연구 사업에서 국내-외적으로 널리 사용되고 있는 유사량 공식 10개를 선정하여 비교-평가한 결과 Ackers와 White 공식, Engeland와 Hansen 공식, van Rijn 공식들이 비교적 높은 정확도를 나타냄을 밝힌바 있다. 서일원[4]은 GSTARS 모형을 금강구간(조정지 댐 하류 ~ 공주수위표)에 적용하여 GSTARS 모형의 실무 적용 가능성을 보여 주었다. 한 국수자원공사[5]에서는 HEC-6, GSTARS, RMA 모형

<sup>1</sup>공주대학교 건설환경 공학부

\*교신저자: 이증형(jhlee@kongju.ac.kr)

을 금강 중류부에 적용하여 취수장 취수구와 같은 특정 수공구조물 주변의 유사이송과 하상변동을 조사하여 취수구 유사유입 저감 기법을 제시한 바 있다. 임창수 등[6]의 연구에서는 모의 유량조건을 평균치계열과 특정치계열에 대해 GSTARS모형과 HEC-6모형을 적용하여 적합한 입력유량조건과 하상변동의 장기경향을 평가하였다.

1차원의 하상변동 모형은 하천 사행의 진행이나 유사의 횡방향 분포 등을 고려할 수 없으며 하상변동 계산시 이동상 부분의 전체가 균일하게 상승 또는 저하하는 것으로 가정하기 때문에 흐름이 급변하는데 적용하는 것은 바람직하지 않다. 하천에 위치한 취수구 주위의 하상변동, 홍수터나 사주의 형성 및 소멸, 지류 유입부에서의 퇴적등의 문제를 해결하기 위해서는 2차원 또는 준2차원 모형의 적용이 필요하다. 이러한 문제의 필요성 때문에 본 연구는 Molinas와 Yang[7]이 하천 유관 방법을 도입한 준 2차원 하상변동 예측모형인 GSTARS 2.1모형을 적용하여 하천에서 발생하는 장기 영향을 분석하고 모형의 적용성을 파악해 합리적인 하천계획과 효율적인 하천관리에 도움이 되고자 한다.

## 2. GSTARS 모형의 이론

GSTARS 2.1 모형은 준 2차원 하상변동 예측 모형으로서 하천유관(stream tube)방법을 도입함으로써 하상변동의 종방향 변화와 횡방향 변화를 모두 예측할 수 있는 모형이다. 또한 모형은 하상의 장감화 효과를 정확하게 고려하기 때문에 하천의 장기적인 하상변동 효과를 예측하기에 적합하다. GSTARS 모형은 종래의 1차원 모형과는 달리 하상 표고의 변동이 전 하폭에 걸쳐서 평균되지 않기 때문에 수로단면에서 횡방향의 특정위치에서 침식과 퇴적을 보다 정확하게 모의할 수 있다.

모형에서는 에너지공식, 전체 소류력 최소이론, 유사 연속방정식이 사용되며, 흐름이 사류에서 상류로 또는 그 반대로 변화하는 구간에서는 운동량 방정식을 이용하여 배수곡선을 계산한다. GSTARS 2.1 모형에서 사용하는 유관 모형은 준2차원 모형이며, 제 3의 차원으로서 수심이 모형의 계산과정에 내부적으로 결합되어 있다. 모형에서 전 수로폭은 미리 선정된 개수의 유관으로 분할되며 [그림 1]은 유관의 개념을 나타내고 있다. 각 유관내에서의 하상 표고는 흐름조건에 따라 연직방향으로 상하로 움직일 수 있다. 그 결과

한 단면에서는 침식이 일어나고 인접한 다른 단면에서는 퇴적이 일어나게 된다. 이러한 하상변동에 대한 수로 단면 변화의 특성을 [그림 2]에 나타냈으며, [그림 2]에서 Solid black pattern은 세굴을 Stippled pattern은 퇴적부분을 표시한다.

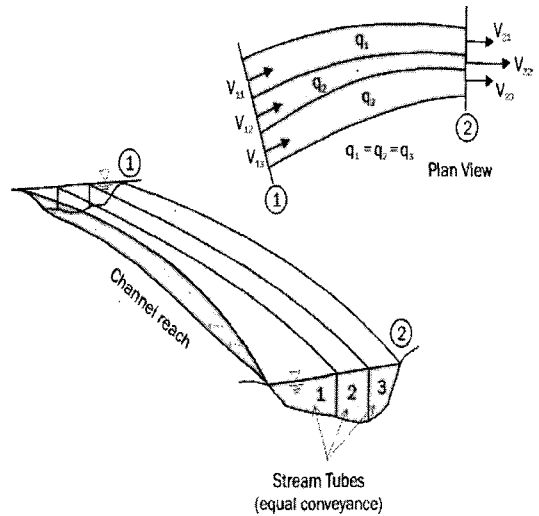


그림 1. 유관의 개념도

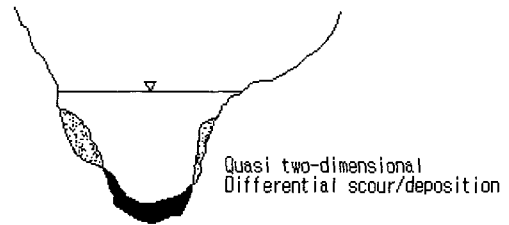


그림 2. 단면변화의 특성

## 3. 적용구간과 입력자료

### 3.1 적용구간

본 연구에서는 장기 영향평가를 위한 대상 하천구간으로 달천유역중 하류부분 10.4km를 선정하였으며 이 구간은 하상변동이 충분히 예상되는 구간이고, 신빙성이 있는 모형 입력자료와 하상변동 자료가 존재하여 모형적용에 적합한 대상하천인 것으로 판단된다. [그림 3]은 대상 유역도를 나타내며, [그림 4]는 대상 하천 구간을 도식화하였으며 단면번호는 하상변동조사 보고서[7]의 번호를 그대로 사용하였다.

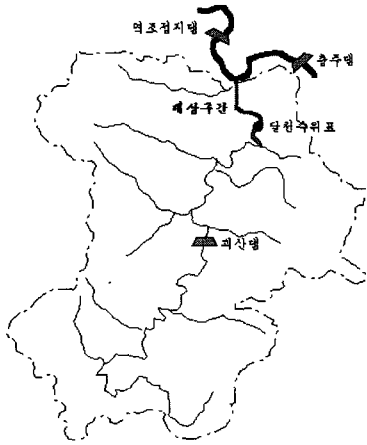


그림 3. 달천의 연구대상 구간

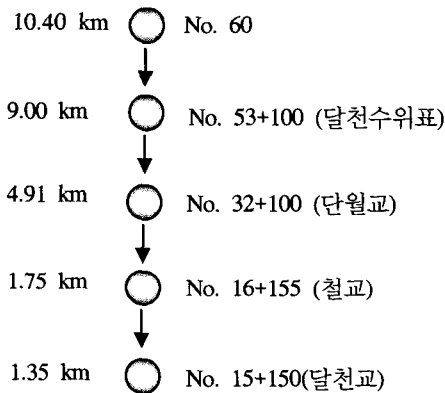


그림 4. 달천의 구간 모식도

### 3.2 입력자료

모형에 필요한 입력자료인 하천 단면 자료로서 취득 및 사용 가능한 것으로는 1984년 자료[7], 1992년 자료[7]가 있다. 초기조건은 1984년도의 실측 횡단면 자료를 추출하여 구성하였으며 이 때 인위적인 준설 등에 대한 영향을 구분 할 수 없어 준설의 영향을 받았다고 생각되는 단면에도 원하상을 그대로 사용하였다. 하천의 조도계수인 Manning 계수  $n$ 은 물의 흐름 및 유사의 운동을 지배하는 가장 중요한 인자로서 하상변동조사보고서에 수록된 0.03을 채택하여 사용하였다.

대상구간의 하류지점에서는 수위 및 유량이 관측되고 있지 않으므로 상류지점의 달천수위표 지점의 유량 측정결과를 이용하여 하류지점의 경계조건으로 이용하였으며 유량자료의 취득 및 분석결과에서 가용한 유량자료가 1988년에서 1991년간의 4개년 자료로 판단되

어 4개년에 대한 일유량자료를 사용하였다.

수온은 유사의 운동 및 물의 점성 등에 상당한 영향을 미치는 중요한 인자로서 관측된 값이 전무하여 수온을 15℃로 모의기간동안 일정하다고 가정하였다. 적용구간은 자갈과 모래로 이루어져 있으며 [표 1]에 하상재료의 특성을 나타냈다.

표 1. 유사자료의 특성

위치	평균 입경 ( $\rho$ mm)	$\rho$ m (%)	최대 입경 (mm)	중양 입경 (d50)	d60 (mm)	유효 입경 (d50)	균등 계수	d75 (mm)	d25 (mm)
No.10	22.79	65	76	3.00	13.00	0.12	108.33	45.00	0.54
No.15	7.36	58	19.0	4.50	8.00	0.32	25.00	16.00	0.65
No.20	15.55	55	50.0	12.50	18.00	0.23	78.26	28.00	1.20
No.25	2.54	73	9.7	0.60	0.90	0.07	12.86	3.30	0.16
No.30	18.98	57	50.0	16.00	23.00	0.60	38.33	34.00	1.70
No.35	23.85	61	75.0	13.00	23.00	0.45	51.11	46.00	1.50
No.40	8.98	60	38.0	7.00	9.50	1.00	9.50	14.00	2.60
No.45	20.48	57	76.0	13.00	20.00	1.20	16.67	33.00	3.20
No.50	8.06	55	19.0	7.50	9.00	0.50	18.00	13.00	2.50
No.55	22.79	57	76.0	17.50	24.00	1.00	24.00	40.00	5.50
No.60	23.71	61	76.0	17.50	24.00	1.80	13.33	37.00	5.90

## 4. 모형의 적용 및 결과분석

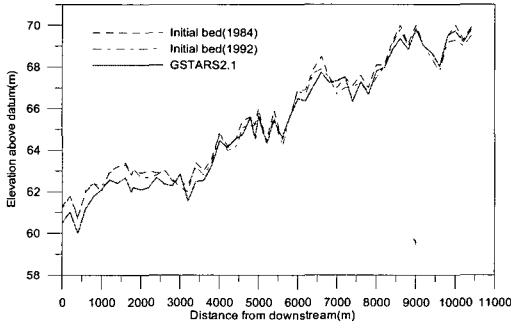
### 4.1 유사량 공식에 따른 하상변동 모의

GSTARS 2.1 모형에서는 각각의 유사량 공식들이 특정한 흐름상황과 한정된 범위의 입자크기에 적합하도록 개발되었기 때문에 해석구간에 대한 유사량 공식은 Meyer-Peter와 Muller공식, Ackers와 White공식, Engelund와 Hanson공식, Yang공식(1974)의 네 가지 유사량 공식을 적용하고, 1984년 자료를 초기조건으로 하여 1992년까지 모의하였다.

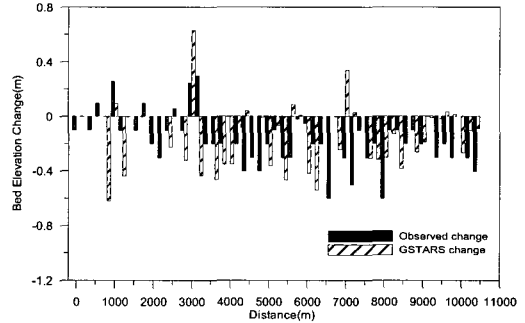
유사량 공식에 따른 모의 결과와 실측치를 비교하여 [그림 5]~[그림 8]의 (a)에 나타냈다. 그림에서 보면 하상고 변동의 전체적인 경향이 실측치 경향을 잘 반영하고 있다. [그림 5]~[그림 8]의 (b)는 네 가지 유사량 공식의 모의 결과에 대한 실측치 변화량의 차이(1984년 최심하상고와 1992년 최심하상고)와 GSTARS 모의에 의한 결과값의 차이(1984년 최심하상고와 모형모의에 의한 최심하상고의 변화)에 대하여 막대그래프로 나타냈다. 그림에서 최심하상고의 변화량이 양인 값은 1984년도 하상보다 퇴적되었음을 나타내고 음인 값은 하상이 세굴되었음을 나타내고 있으며, 네 가지 유사이송공식 모두 실측치 최심하상고의 변화량이 침

식이 일어난 지점에서 모형도 침식을 모의하였고 퇴적이 일어난 지점에서 모형도 퇴적을 모의함을 알 수 있었다. 네 가지 유사이송공식을 적용한 결과에서 최심 하상고의 변화량을 비교하여 보면 연구구간 전체에 걸쳐 실측치 최심하상고 변동량은  $-1.70\sim 0.30\text{m}$ , Meyer-

Peter와 Muller공식은  $-0.9\sim 0.44\text{m}$ , Engelund와 Hanson공식은  $-0.90\sim 1.70\text{m}$ , Ackers와 White 공식은  $-1.13\sim 0.47\text{m}$ , Yang공식은  $-0.90\sim 2.71\text{m}$ 의 범위에 들어가며, Meyer-Peter와 Muller공식으로 모의한 결과가 다른 유사이송공식에 비해 양호하게 모의된 점을 알 수 있었다.

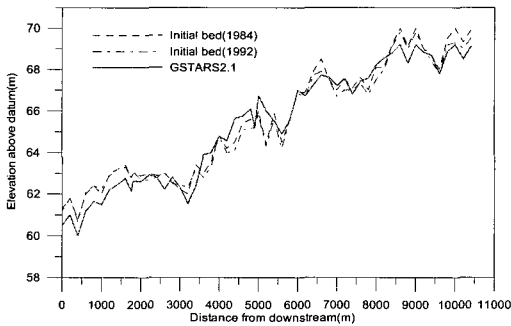


(a)

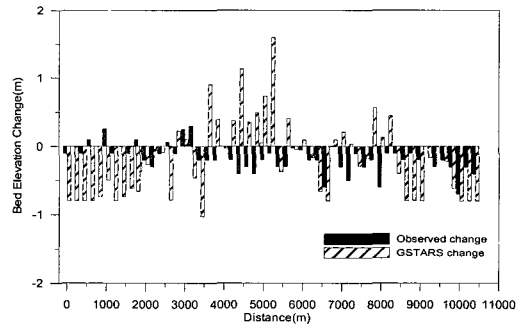


(b)

그림 5. 실측치와 Meyer-Peter & Muller식 모의의 비교

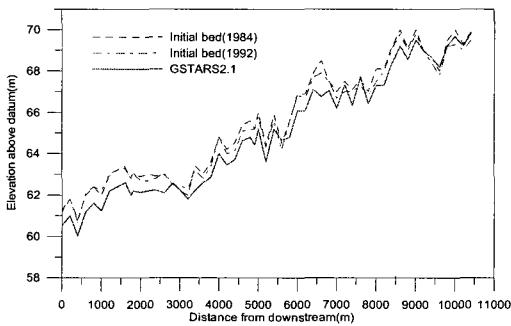


(a)

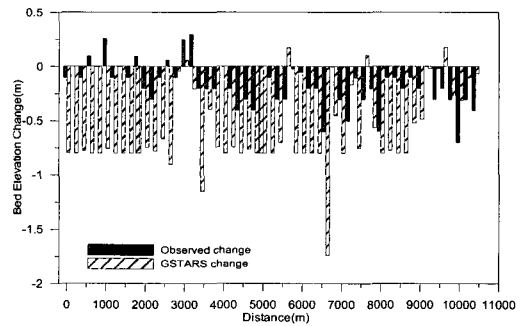


(b)

그림 6. 실측치와 England & Hanson식 모의의 비교



(a)



(b)

그림 7. 실측치와 Ackers & White식 모의의 비교

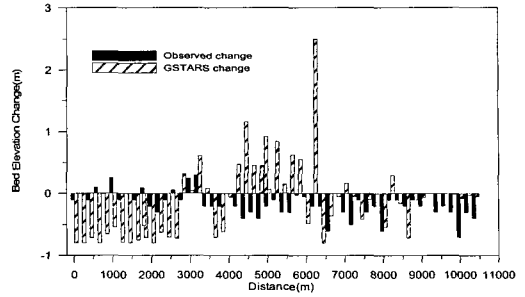
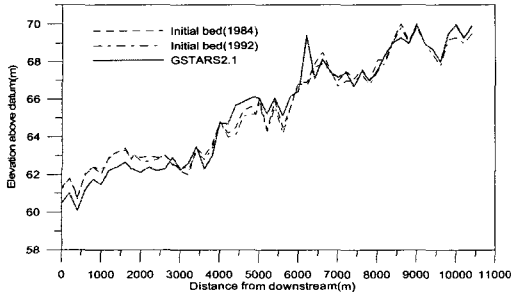


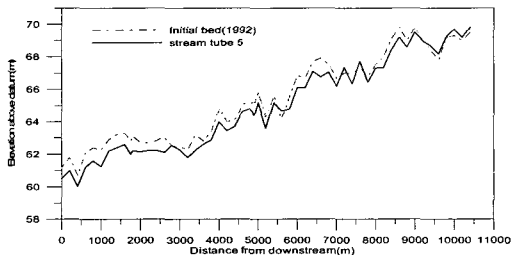
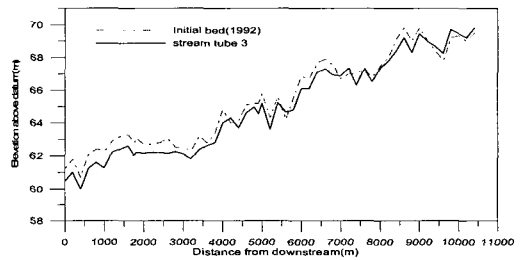
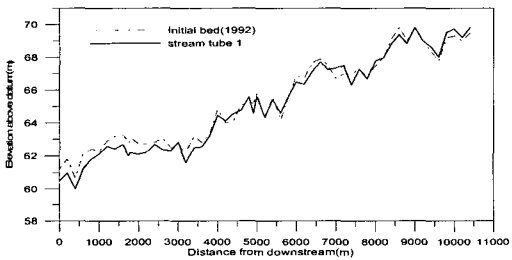
그림 8. 실측치와 Yang(1974)식 모의의 비교

### 4.2 유관수에 따른 하상변동 모의

GSTARS 2.1 모형의 장점은 준 2차원 모형으로서 제한된 자료를 가지고 세굴과 퇴적을 단면내에서의 유관 개념을 도입하여 하폭을 몇 개의 유관으로 분할하여 각각의 유관이 동일한 통수능을 갖게 함으로써 한 단면에서 세굴량과 퇴적량이 결정되면 이를 횡방향으로 분배 시켜서 하상변동의 2차원적인 특징인 횡방향으로 균등하게 분배하기 때문에 1차원 모형에서는 근본적으로 유사의 횡방향 분포를 모의하지 못한다는 단점을 보완하였다.

본 연구에서는 양호한 결과를 나타낸 Meyer-Peter와 Muller의 유사량 산정공식을 이용하여 유관수에 따른 결과의 변화를 분석하기 위해 유관수가 1, 3, 5인 경우로 모의하였다. [그림 9]는 모의된 하상고의 변화를 유관수에 따라 도시한 것이다.

가로축은 상류단 경계로부터의 거리, 세로축은 하상고를 나타낸 것이다. 유관의 개수가 늘어날수록 하상고가 낮아지면서 일정한 값으로 접근하는 것을 알 수 있다. 이것은 통수능이 동일하도록 유관의 경계를 설정하는 GATARS 2.1모형의 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 즉 홍수터에서는 유속이 작기 때문에 유관의 넓이가 커지게 되고 하천의 중심 부분에서는 유속이 크게 되기 때문에 유관의 넓이가 홍수터에 비해서 좁게 된다. 그 결과 중심부분에 위치한 유관에서는 침식이 과대 산정 될 수 있다고 판단된다. [그림 10]에 주요지점의 횡방향 하상변동고를 비교하여 도시하였으며 일부 국부적인 하상의 세굴을 제외하고는 하상의 횡방향의 전체적인 경향에 있어서 실측치에 근사하게 나타났으며, 유관의 개수가 늘어날수록 하상고가 낮아지는 경향이 발생했다.

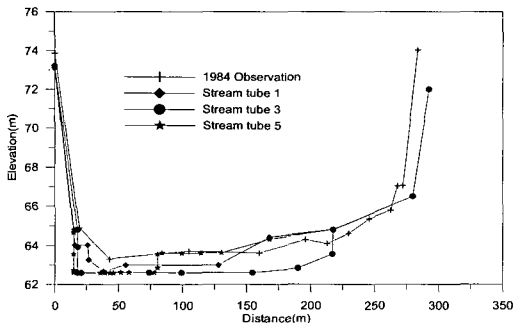


(a) 유관 1

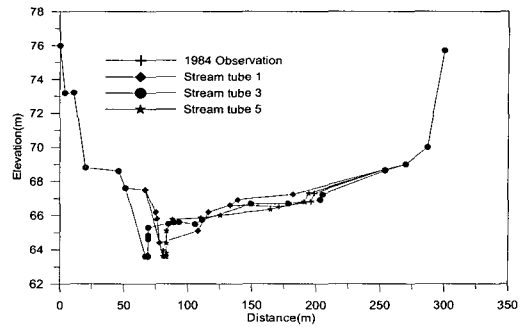
(b) 유관 3

(c) 유관 5

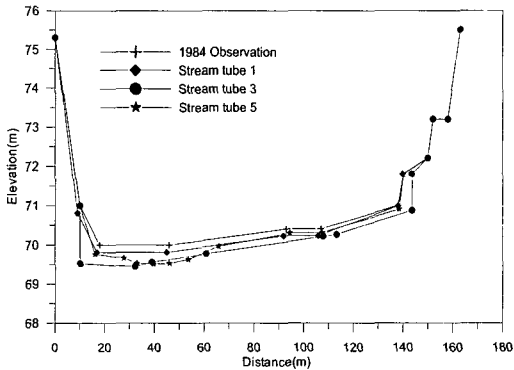
[그림 9] 유관수에 따른 모의결과의 비교



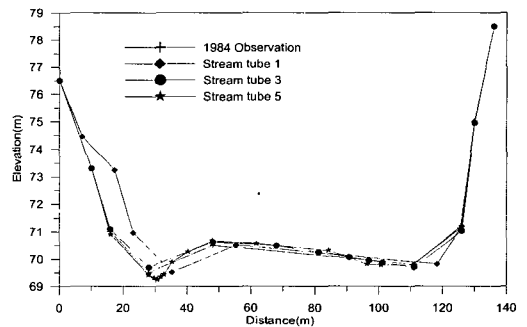
(a) No. 16



(b) No. 34



(a) No. 53



(b) No. 57

그림 10. 횡단면 형상 변화의 비교

### 5. 결론

본 연구에서는 준 2차원 모형인 GSTARS 2.1모형을 달천 하류구간에 적용하여 유사량공식의 적합성과 유관수에 따른 하상변화에 미치는 영향 및 횡방향 분포를 모의 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. GSTARS 모형에서 Meyer-Peter 와 Muller 공식, Engelund와 Hansen 공식, Ackers와 White 공식, Yang의 공식(1974)을 적용한 결과 하상고의 변동에서 전체적인 경향과 침식·퇴적량의 예측에 있어서 실측치에 매우 근사하게 나타났으며, Meyer-Peter 와 Muller 공식을 사용한 모의 결과가 실측치에 더욱 근접한 것을 알 수 있었다. 정량적인 분석결과 92년 실측치보다 모형에 의한 계산치가 하상변동량이 약간 과소로 산정되었다.

2. 유관수에 따른 하상고의 변동을 조사한 결과 유관의 개수가 늘어날수록 하상고가 낮아지는 경향이

있으며 중심부분에 위치한 유관에서는 과대 침식이 산정되었다.

3. 횡방향 분포의 모의결과를 분석한 결과 일부 국부적인 하상의 세굴 및 퇴적을 제외하고는 하상의 횡방향 변화의 전체적인 경향에 있어서 계산치와 실측치가 매우 근사함을 알 수 있었다.

그러므로 GSTARS모형은 자연하천에서의 흐름과 유사운동의 2차원적 특성(세굴과 퇴적의 횡방향 분포)을 정확하게 모의 할 수 있을 것으로 사료되며 장기적인 하상변동을 예측하여 하천관리에 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

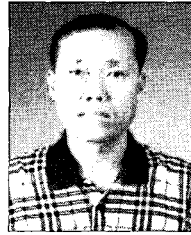
### 참고문헌

[1] 한국건설기술연구원, 하도환경 정비 기초조사연구, 건설부, 1993.  
 [2] 한국건설기술연구원, 하상변동예측모형의 비교분석, 건기연 91-WR-112, 1991.

- [3] 우효섭, “하천유사량 산정 기법의 개발”, 국제수문 개발계획(IHP) 연구보고서, 1993.
- [4] 서일원, “하상변동 예측기법의 개발연구”, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 1994.
- [5] 한국수자원공사, “취수구 유사유입 저감기법 개발 연구(2차년도)”, 1997.
- [6] 임창수, 손광익, 이재준, 윤세의, “수치모형을 이용한 하상변동 연구”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 32권, 제2호, pp.131~142, 1999.
- [7] 건설교통부, 하상변동조사보고서(청미천, 복하천, 달천, 문산천), 1992.
- [8] Molinas A. and C. T Yang, "Computer Program User's Manual for GSTARS", U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Engineering and Research Center, November, 1986.

이종형(Jong-Hyeong Lee)

[정회원]



- 1979년 2월 : 충북대학교 토목공학과 (공학사)
- 1984년 8월 : 충북대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 충북대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

수문분석, 하천환경, 방재공학