

# HEC-6 모형에 의한 대청 다목적댐 하류의 하상변동 예측

Prediction of River-Bed Changes Downstream of Daechung Multipurpose Dam  
by Using the HEC-6 Computer Program

유 권규\* 우 효섭\*\*

## 要 旨

1980년 금강유역에 축조된 대청 다목적댐에 의한 하류의 하상변동을 실측자료를 이용하여 조사·분석하고, 미국 공병단에서 개발된 HEC-6 모형을 이용하여 장래의 하상변동을 예측하였다. 모형의 적용구간은 대청조정지댐에서 부여까지 약 78 km 이며, 적용 기간은 1980~1988이며, 장래의 하상변동 예측기간은 20년후까지이다. HEC-6의 적용결과 이 모형은 비록 국부적인 하상변동을 정확히 예측하지는 못하나 대체적인 경향은 상당히 실측치에 근접된 예측을 하고 있다. 또한 장래의 하상변동 예측결과에 따르면, 조정지댐~마어구 수위표 구간은 하상이 저하될 것이 예상되며, 공주 수위표 하류는 하상이 상승될 것으로 예상된다. 특히 규암 수위표 상류 3~15 km 구간은 하상이 1~2 m 이상 상승될 것으로 나타나고 있다. 이 구간은 현재도 하상상승에 따른 취수장 취수구의 매물 등의 문제점이 발생하고 있는 바 이에 대한 보다 자세한 조사와 분석 및 대책마련을 위한 조치들이 시행되어야 할 것이다.

## 1. 서론

댐 축조나 유로변경, 대량 취수, 대규모 골재 채취 등에 의해 河川 流況 및 河床 材料가 인위적으로 변화되는 경우 그 지점의 상·하류는 계속적인 하상변동이 발생하게 된다.

이런 하상변동은 단기적인 면에서는 하천에서의 취수, 배수, 수운 등 하천관리에 직접 영향을 주며, 장기적인 면에서는 하천 구조물의 안정, 홍수위 변화, 지하수위 변화, 홍수터와 같은 하천부

\* 연구원, 한국건설기술연구원 수자원연구실

\*\* 수석연구원, 한국건설기술연구원 수자원연구실

지의 변화 등 하천 및 유역관리에 광범위한 영향을 준다. 따라서 河床變動 效果를 예측하고 분석하는 것은 하천 계획 및 관리면에서 중요하다.

본 연구는 1980년에 금강 중류에 건설된 대청댐에 의한 하류 하상의 변화를 미 공병단에서 개발된 하상변동예측모형인 HEC-6(HEC, 1977, 1980, 1981)를 적용하여 모형의 적용성을 검토하고, 추후 20년간의 하상변동을 예측하는 것이다. 금강 대청댐 하류 구간은 특히 하상변동이 심한 하천 구간으로 미호천 합류점 하류의 금남교 주위의 세굴 현상과 부여 취수장의 퇴적 현상 등 하상 변동과 관련된 제반 문제가 이미 발생하고 있다.

## 2. 자료의 수집

### 2.1 구간의 개황

대청댐은 금강 중류의 대전시 북쪽 협곡에 위치하고 있으며, 1977년 1월에 착공하여 1980년 12월에 완공되었다. 댐의 길이는 495 m, 높이는 72 m 로 콘크리트 중력식 및 석괴댐의 혼합형식이다. 저수지 총 담수 용량은 14억 9천만 m<sup>3</sup>이고 유효 저수량은 7억 9,000만 m<sup>3</sup>이다. 이 댐은 유입량에 비해 저수지 용량이 상대적으로 작아 매년 餘水路 放流를 하고 있으며, 이에 따른 하류 하상의 상당한 변화가 기대되는 댐이다. 실제 하류 하상 변화는 댐 하류 약 10 km에 있는 조정지 댐 하류부터 시작되며, 본 연구의 대상도 조정지 댐 하류에서 부여의 규암수위표간 약 78 km 구간이다(그림 1). 이 구간의 주요 지류는 갑천과 미호천이다.

이 구간은 최근 골재채취가 활발히 진행되고 있으며, 연기군 금남면 부용리(부강 수위표 지

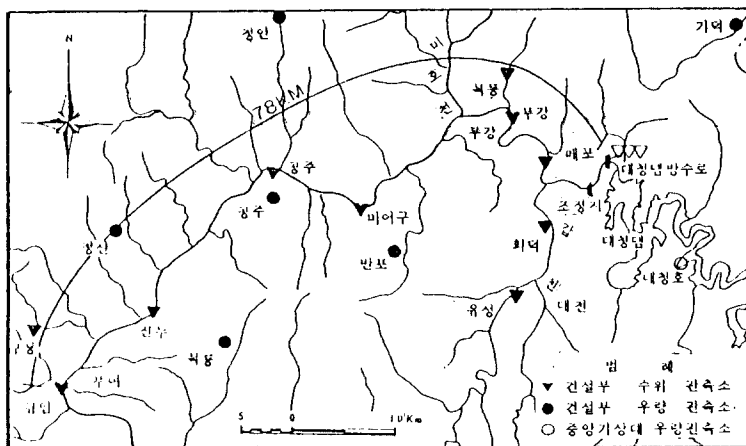


그림 1. 대청댐 하류의 연구대상구간

점)와 미호천 합류점 부근에서 1981년부터 1988년까지 약 300 만  $m^3$ 의 골재를 채취하였으며, 공주시 상왕등과 부여군 규암면 외리, 부여읍 저성리 등지에서도 대규모 골재 채취가 행해지고 있다. 이러한 대규모 골재채취는 대청댐에 의한 상류 유사공급의 차단과 더불어 하류하상저하의 주 원인으로 추정된다.

## 2.2 자료의 수집과 분석

댐 준공 전후의 하천단면을 구하기 위해 하천정비기본계획 보고서, 하상변동조사 보고서 등을 조사한 결과, 댐 완공 직전 또는 직후의 하천단면 실측기록은 없는 것으로 나타났다. 금강의 하천단면 자료는 1974년(1975년), 1983년, 1988년 자료가 있다.

하천의 종단면자료를 도시한 결과, 그림 2에서 보는 바와 같이 댐 축조에 따른 하류 하상의 변동이 상당한 것으로 나타났다. 즉 조정지 잼에서 마어구까지는 전반적으로 하상이 저하되었으며, 그 하류는 세굴과 퇴적이 반복되다가 규암(부여) 가까이에서는 퇴적에 의해 하상이 상승하였다. 특히 최근에는 상류에서 침식된 流砂가 하류의 부여부근에서 퇴적되는 현상이 발생하여 취수가 곤란해지는 등의 현상이 발생하고 있다(산개공, 1987).

그림 3은 이 구간의 하상토 입경분포를 보인 것이다. 여기서 알 수 있듯이 이 구간의 하상토는  $D_{50}$ 이 0.2~0.5 mm로 중사(medium sand)에 속하므로, 장갑화 현상이 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다.

한편, 현재의 하상토 조정지댐 직하류에는 자갈과 호박돌(직경 10 cm 내외)로 덮혀 있으나, 하류로 갈수록 하상토의 입경이 급격히 細粒化하여, 공주 수위표 부근에서는 모두 모래로만 이루어져 있다. 보다 하류의 낙화암 인근과 규암 수위표에서는 점토와 이토가 상당히 섞인 中砂와 細砂로 이루어져 있다.

HEC-6 모형의 입력자료는 하류단의 수위와 상류단 및 지천의 유입유량 등이다. 본 구간내에는 본류에 규암, 진두, 공주, 마어구, 부강, 매포 수위표가 있으며, 지류인 미호천에 복통, 갑천에 회덕 등 총 8개의 수위표가 있다. 이들 수위표의 일수위 자료와 댐 일방류량, 수위-유량 곡선을 한국 건설기술연구원의 데이터 베이스에서 수집하였다.

## 3. HEC-6의 보정 및 적용

### 3.1 HEC-6 固定床 모형의 보정

#### (1) 하천 단면의 선정

본 연구에서는 1974년 하천단면 자료를 입력하여 1981~1988년의 하상 변화를 계산한 뒤, 계산 결과를 1988년 실측 자료와 비교 검토하였다. 본 연구의 대상구간은 규암 수위표~대청 조정지

댐의 157개의 단면중 149개 단면만을 이용하였다. HEC-6 모형에서 최대 적용가능한 단면의 수는 150개이며, 보고서에 수록된 단면 자료중 몇 개는 일부분이 누락되거나 단면의 형상이 특히 불규칙하여 모형의 결과에서 이상을 초래할 위험이 있으므로, 인접단면과 거리가 매우 가까와 삭제하여도 계산에 큰 지장이 없을 것으로 추정되는 단면과 원자료의 일부분이 누락된 단면, 단면 형상이 지나치게 불규칙한 단면 등 총 8개를 삭제하였다.

#### (2) 移動床 部分의 결정

본 연구에서는 본 연구대상구간의 이동상 부분을 결정하는 데 1974년 금강 하상변동조사 보고서에 수록된 '低水路' 부분을 기본으로 하고, 실제 답사를 통하여 1974년의 하천단면 형태와 1991년 현재의 하천단면을 비교하여 보완하여 결정하였다.

#### (3) 모형 보정용 유량의 선정

모형의 보정을 위해서 평균유량(126.0 CMS), 滿堤流量(1,014.6 CMS), 최대유량(7,027.1 CMS)을 선정하였다. 다만 최소유량의 경우 공주 수위표의 최소 수위 -0.11 m 는 1983년 수위-유량 곡선에 적용할 수 없었다. 여기서 만제 유량은 공주 수위표를 기준으로 약 1,000 CMS가 되는 유량을 선정하였다.

#### (4) 지천의 유량

지천 유입의 처리 방법은 면적비법으로 하였으며, 이때 공주 수위표 상류 유역에 대한 미호천과 갑천의 유역 면적비는 각각 0.225, 0.091이다. 따라서 입력 유량은 공주 수위표의 일 유량에 0.225, 0.091의 값을 각각 곱한 뒤 이 유량들을 각각 미호천과 갑천의 유량으로 입력시켰다.

#### (5) 수온의 결정

본 구간에 적용하는 수온 자료는 '81~'85 대청댐 방류 자료를 이용하여 월 평균 수온을 계산하였으며 다음 표와 같다.

(단위: oC)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
수온	4.6	2.3	3.6	11.2	18.3	23.3	26.3	27.7	24.1	19.6	14.6	9.4

#### (6) Manning 계수 n값의 결정

HEC-6의 고정상 모형 보정은 주로 Manning 계수 n을 결정하기 위한 것이다. 먼저 0.020~0.035의 범위내에서 상하류단의 n 값을 가정하고, 구간내의 단면은 선형적으로 보간하여 각 경우 별로 모형 보정용 유량에 대해 수면고를 계산한 뒤 실측치와 비교하였다. 계산 결과 구간 전체의 n 값을 0.025로 하고, 고수부지의 n 값은 0.035로 한 경우를 최종적으로 채택하였다. 이 경우 만제 유량에 대해 계산했을 때 각 수위표의 실측 수면고와의 차이는 각각 진두 0.15 m, 공주 0.4 m,

마어구 -0.04 m, 부강 0.17 m, 매포 1.84 m 이다.

### 3.2 HEC-6 이동상 모형 보정

#### (1) 유사 유입량

모형의 입력 자료중의 하나인 유사 유입량은 본류에 대해서는 상류단인 대청 조정지댐에서 유사 전부가 포착된다고 가정하였다. 지천의 경우에는 실측 자료를 입력하거나 적합한 유사량 공식을 이용하여 추정하여야 하나, 본 지천들의 경우 유사량 실측 기록은 전무하며, 유사량공식을 적용할 수리량 자료를 얻기 어려워 지천들의 유사 유입은 고려하지 않았다. 이 경우 지천 합류점 직하류에서의 하상변동에측에 다소간 불확실성이 있을 것으로 사료된다.

#### (2) 안정계산 간격의 결정

HEC-6 에서 이용 가능한 유사량 공식은 Toffaleti(1968), Laursen(1958), Yang(1973) 공식이다. 이 세 공식에 평균, 만제, 최대유량별로 안정계산간격을 계산하였다. 계산간격은 평균유량과 만제유량에 대해서는 계산간격 1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50일로 각각 5개씩 총 640일에 대해 계산하였고, 최대유량에 대해서는 10일 간격까지 계산하였다. 이 결과를 각 공식별, 유량별로 하상변동량이 큰 지점(세굴과 퇴적을 막론하고) 6개 단면씩을 선정하여 도시한 뒤 안정성을 고려하여, 최종적으로 안정계산간격을 평균유량은 30일, 만제유량은 2일, 최대유량은 0.5일로 결정하였다.

### 3.3 하상변동량의 계산

#### (1) 수문자료의 입력

위의 안정계산 간격을 이용하여 1981~1988년의 공주 수위표의 일평균 유량 수문곡선을 적합한 간격으로 분할하였다. 또한 하류단의 수면고는 위에서 계산된 일평균유량을 규암수위표의 1983년 수위-유량곡선식에 대입하여 역으로 환산하였다.

#### (2) 1988년 실측치와 계산결과의 비교분석

HEC-6의 계산 결과를 살펴 보면 이용하는 유사량 공식에 따라 약간씩 달리 나타나며, 전반적인 계산 결과는 Laursen공식을 이용한 경우가 비교적 좋아 보인다. 1988년의 하상변동계산결과중 Laursen 공식의 결과를 실측치와 같이 나타내면 그림 4와 같다. 이 결과를 살펴 보면 계산 결과는 조정지댐 직하류, 갑천합류점~마어구간의 극심한 국부적 하상 세굴을 정확하게 예측하고 있지 못하다. 그러나 전반적으로 오차는 비교적 작으며, 상당히 실측치에 근접된 예측을 하고 있다.

세 공식을 이용한 계산결과는 모두 조정지댐 직하류 5 km 정도의 구간은 하상이 실측치보다 많이 저하된 것으로 계산하고 있다. 이 결과는 그림 2의 하상토 입경분포가 실제 댐 축조 전의 조정지댐 직하류의 하상토보다 지나치게 작은 것으로 입력이 되었기 때문일 것으로 추정된다. 또한 미호천 합류점~마어구 수위표 구간은 계산 결과가 실측치에 비해 약간씩 크며, 이 구간의 오차가

다른 구간에 비해 상대적으로 커 보이는 것은 대규모 골재 채취에 따른 하상변동의 영향 때문으로 추정된다.

### (3) 추후 하상변동의 예측

추후의 대청댐 하류의 하상변동을 예측하기 위해 1981~1988의 일유량 자료에서 공주 수위표의 유황곡선을 작성하였다. 이 유황 곡선을 막대 그래프 형태로 바꾼 뒤 이 자료를 이용하여 20년간 추가로 계산하였다. 이중 Laursen 공식을 이용한 대청댐 하류구간의 장래의 하상변동 예측결과만을 따로 보이면 그림 4와 같다.

HEC-6의 결과에 따르면, 거의 공통적으로 마어구 수위표 상류는 하상이 저하될 것이 예상되며, 공주 수위표 하류는 하상이 상승될 것으로 예상된다. 특히 하상저하가 심한 곳은 미호천 합류점~마어구 수위표 구간이며, 하상상승이 심한 곳은 조정지댐 하류 60 km 이하 즉 규암 수위표 상류 3~15 km 구간일 것으로 예측되고 있다. Laursen 공식에 의한 계산 결과를 검토해 보면 이 구간은 하상이 1~2 m 이상 상승될 것으로 나타나고 있다. 이 구간은 현재도 하상상승에 따른 취수장 취수구의 매물 등의 문제점이 발생하고 있는 바 이에 대한 보다 자세한 조사와 분석 및 대책마련을 위한 조치들이 시행되어야 할 것이다.

한편, 현재 금강 대청댐 하류 구간은 종합적인 하천 개발계획이 진행되고 있는 바 이러한 하천 계획시 하상변동의 장단기 영향을 반드시 사전 검토하여야 할 것이다.

## 4. 결론

이 연구를 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 대청댐 하류 구간에 대한 HEC-6 모형의 적용결과 세굴이 국부적으로 극히 심하게 발생한 몇몇 지점을 제외하고는 거의 전반적으로 모형이 이 구간의 하상 변동을 근사적으로 실측치에 비슷하게 예측할 수 있었다.

(2) 대청댐 하류는 하상토가 대부분 중사나 세사 등이므로 장갑층이 제대로 형성되지 않아 세굴과 퇴적 등의 하상변동 부분이 상당히 발견된다. 1974년 실측치와 비교해 볼 때 미호천 합류점 상류에서 세굴이 발생하고 미호천 합류점~마어구 수위표구간에서는 퇴적, 공주수위표~규암수위표 구간은 세굴과 퇴적이 혼재되어 발생하고 있다.

(3) 1988년의 실측치와 모형에 의한 계산 결과를 비교해 보면, 미호천 합류점 부근의 하상은 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 부강 수위표~마어구 수위표간에 대규모 골재채취장이 많아 하상이 인위적으로 변동되었기 때문으로 추정된다.

(4) 대규모 골재 채취는 하상의 국부적인 저하를 야기시키며, 앞으로 이 구간에서의 지속적인 골재채취는 본 연구에서 예측한 하상변동 결과 이상으로 국부적인 하상저하를 야기시킬 것으로 사

료된다.

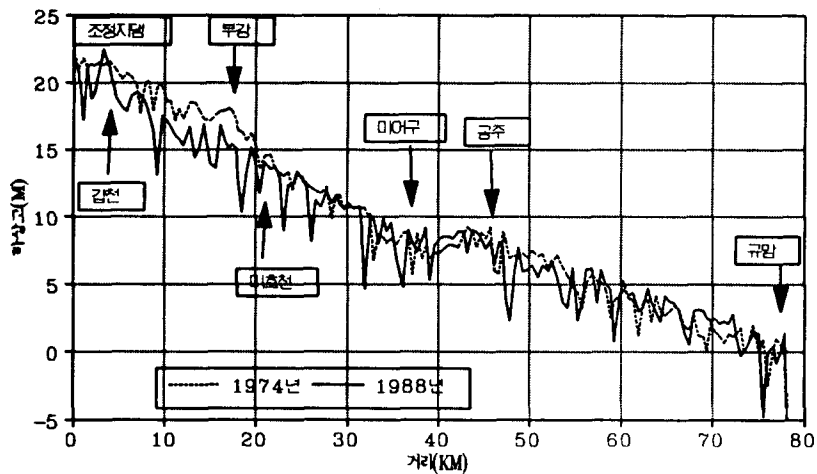


그림 2. 대청댐 하류의 하상변동 상황

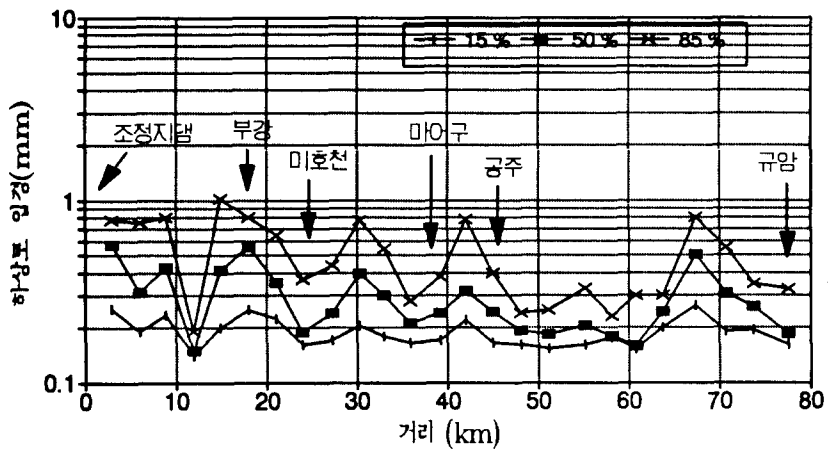


그림 3. 대청댐 하류의 하상투입경분포(1974)

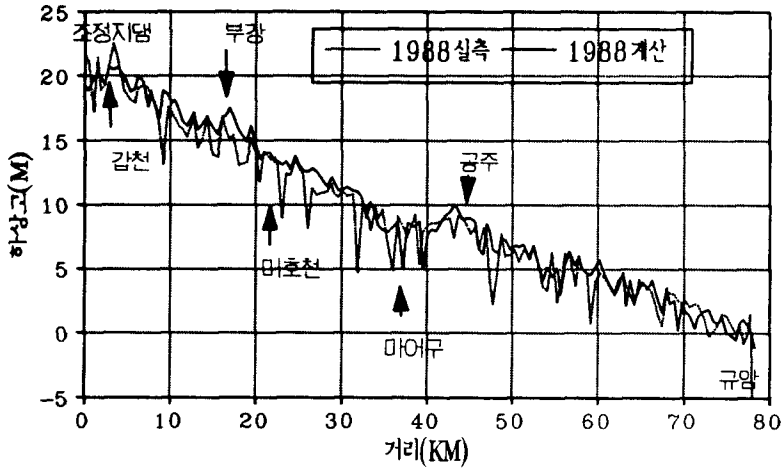


그림 4. Laursen 공식을 이용한 하상변동 모의 결과

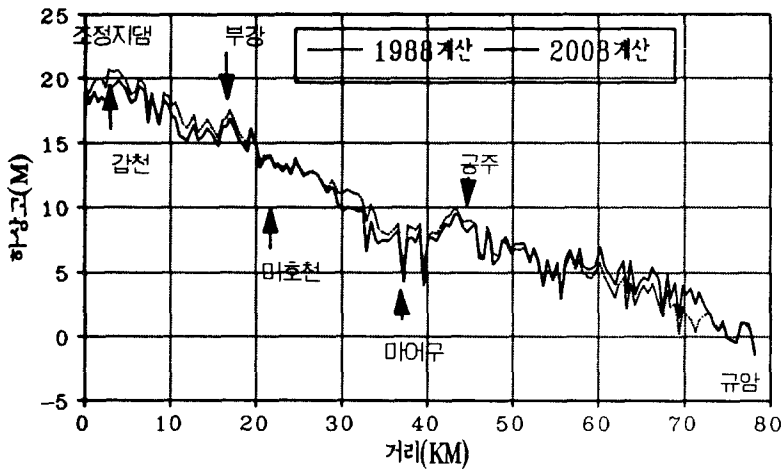


그림 5. Luarsen 공식을 이용한 장래의 하상변동 예측



### 참고 문헌

- 건설부, 금강 하천정비기본계획, 1974.
- 건설부, 금강 하천정비기본계획(2), 1975.
- 건설부, 금강 하상변동조사 보고서, 1983.
- 건설부, 홍수량측정조사보고서, 1983.
- 건설부, 금강수계 종합정비계획(Ⅱ), 1988.
- 산업기지 개발공사, 창원 본포 취수장 및 금강 부여 취수장 하상변동 및 취수대책 조사 보고서, 1987.
- Hydrologic Engineering Center, HEC-6, Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, Computer Program 723-G2-L2470, User's Manual, 1977.
- Hydrologic Engineering Center, Simulation of Gravel Mining Operations in Rivers and Streams using Computer Program HEC-6, Special Projects Memo No.80-1, 1980.
- Hydrologic Engineering Center, Guideline for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6, 1981.
- Laursen, E. M., "The Total Sediment Load of Streams," J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol.54, HY1, 1958.
- Toffaletti, F. B., "Definitive Computations of Sand Discharge in Rivers," J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol.95, HY1, 1968.
- Yang, C. T., "Incipient Motion and Sediment Transport," J. of Hyd. Div., ASCE, Vol.99, HY10, 1973.