

청도천의 건천화 원인분석

A Cause Analysis on the Reduction of Stream Flow for the Cheongdocheon

이 상 호^{*} / 박 종 표^{**} / 이 정 민^{***} / 조 호 섭^{****}

Lee, Sang Ho / Park, Jong Pyo / Lee, Jung Min / Cho, Hyo Seob

Abstract

The Cheongdocheon has the reaches under reduction of stream flow. We analysed the cause of the reduction. We investigated the current status of facilities for agricultural water use. We also compared the discharge measurements with the results from the continuous simulation of watershed runoff. The satellite image was a tool to find some reaches of stream flow reduction under doubt. Agricultural reservoirs block up the stream and water does not flow over the reservoirs except by storm. They also discharge water through diversion channels and the water diverted does not flow through the natural stream. Farmers directly take water from the stream by weirs. The infiltration gallery of water below the stream ground makes the reach dryness perfect in Kamakchon. These are causes of the stream flow reduction. The discharge measurements are less than the simulation results of watershed runoff, and we guess that the reaches investigated have dried. We found the reaches of stream flow reduction that were under doubt from some KOMPSAT satellite images with the resolution of 6.6 *m*. Then, we confirmed the reduction of stream flow by a field investigation. All the above reaches have infiltration galleries of water below the stream ground. The research results are a case study on the cause analysis on the reduction of stream flow. One can obtain the KOMPSAT image for a low price and can get prior information to find the doubtful reach of stream flow reduction.

Keyword : Reduction of stream flow, KOMPSAT image, infiltration gallery, Cheongdocheon

* 부경대학교 건설공학부 부교수
Associate Prof., Division of Construction Engineering, Pukyong Univ., Pusan 608-739, Korea
(E-mail : peterlee@pknu.ac.kr)

** 부경대학교 공과대학 토목공학과 석사과정
Research Assistant, Department of Civil Engineering, Pukyong Univ., Pusan 608 739, Korea

*** 부경대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
Doctoral Student, Department of Civil Engineering, Pukyong Univ., Pusan 608 739, Korea

**** 일신하이텍 기술연구소 소장
Chief(Vice Director), Tech. Ins. of ILSHIN HiTech Co., 7th. Samwon B/D, 1329 8, Seocho Dong, Seocho-Gu, Seoul 137 858, Korea

요 지

청도천의 건천화 구간에 대하여 원인을 분석하였다. 분석 방법으로서 이수시설물의 현장조사를 수행하였고, 유량 측정 결과와 유역 유출 연속모의 결과를 비교하였다. 여러 건천구간을 쉽게 구분하기 위한 시도로서 위성영상도 이용하였다. 농업용 저수지는 평상시 유출을 차단하고 있다. 그리고 용수로에 물을 공급하여 하천수량을 감소시킨다. 보를 이용한 하천수 취수도 건천화의 원인이다. 특히 까막촌 집수암거는 수백 m의 하천구간을 완전히 마르게 하는 원인이다. 측정된 유량은, 수문순환의 변형이 없는 것으로 가정한 연속모의 결과보다 작았고 이로부터 건천화가 진행되었음을 추측할 수 있었다. 해상도 6.6 m의 KOMPSAT 영상으로 여러 곳의 건천화 의심구간을 실제 작업으로 구분할 수 있었다. 현장답사를 통해 확인한 결과 이들 구간에는 모두 집수암거가 설치되어 있었다. 연구결과는 전원하천의 건천화 원인분석 사례로 참고될 수 있다. 가격이 저렴한 KOMPSAT 영상은 건천화 의심구간 파악을 위한 사전정보로 이용될 수 있다.

핵심용어 : 건천화, KOMPSAT 영상, 집수암거, 청도천

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 계절별 강수량의 편차가 심하고 하천의 경사가 급하기 때문에 최대유량과 최소유량의 비인 하상계수가 크다. 또한 급격한 경제 성장에 동반된 물 이용과 도시개발은 수문순환 구조를 변형시켰고, 그 결과로서 평상시의 하천 유출량이 감소하는 건천화 현상이 나타나고 있다.

‘건천화’는 현재의 여건에서 명확하게 정의 내리기 어렵지만, 수문학적 요소 기준으로 갈수량 기준 이하이고 하천으로부터 필요 수량을 지속적으로 제공할 수 없는 하천으로 진행 되가는 과정이라고 말할 수 있다. 우리나라의 하천을 관할 기관별로 구분할 때 국가하천 구간보다 지방 1급, 2급 및 소하천 구간이 많다. 국가하천의 경우는 유량이 풍부한 편이지만 지방 1, 2급 및 소하천의 경우는 건천화 구간이 다수 발견되고 있다. 이는 지속 가능한 하천 이용을 저해하는 요인이 될 수 있으므로 원인 규명이 요구되고 있다.

본 연구는 간략한 현황조사가 수행된 500여개 하천(인하대학교, 2003) 중 청도천에 대한 건천화 원인을 분석하는 것이 목적이다. 청도천은 하천의 시점부터 삼태천 합류점까지 건천화 되어있다.

1.2 연구내용 및 범위

청도천 유역은 경상남도의 청도면과 무안면의 일부 행정구역으로 구성되어 있다. 경작면적은 31 km^2 에 이

르고 큰 도시가 발달하지 않은 상태이므로 전원하천 유역으로 분류할 수 있다. 주된 산업은 농업이므로 수문순환의 변형은 주로 농업용수의 이용에 의하여 발생한다고 볼 수 있다.

청도천의 건천화 원인을 분석하기 위하여 농업용수 이수 시설물(저수지, 취수로, 집수암거)에 대한 현장 조사를 수행하였다. 그리고 매우 제한적이지만, 유량을 측정하였고 이를 수문순환의 변형이 없는 것으로 가정한 유역 유출 연속모의 결과와 비교하였다. 유량은 중류와 하류의 두 지점에서 3회씩 측정하였고 최상류와 농업용수로에서도 측정하였다. 유역 유출 연속모의에는 정교한 모형인 Tabios 등의 모형(TabiosIII 등, 1986; 일명 NWS-PC)을 사용하였다.

건천화 현상은 하천의 여러 지점에서 나타날 수 있다. 하천을 직접 관리하지 않는 상태에서 건천화 지점을 일일이 답사하여 파악하는 것은 시간과 인력을 많이 필요로 하는 일이다. 따라서 본 연구에서는 건천화 구간 확인을 보완할 목적으로 아리랑 위성의 KOMPSAT 영상을 활용하였다. 이를 통하여 건천화 하천으로 의심되는 구간을 현장조사 이전 단계에서 파악할 수 있도록 하고자 하였다. 영상에서 구분된 건천화 의심구간은 현장답사를 통하여 확인하였다.

2. 농업용 이수시설물 및 청도천 현황 조사

청도천은 유역면적이 182 km^2 이고 유로 연장이 30 km 인 지방 2급 하천으로서 밀양시 청도면 인산리 초천천 종점에서 시작하여 낙동강으로 유입한다(그림 1; 경상남도, 1994). 조사 위치는 최상류의 대촌마을부터

하류의 지하채 수질관측 지점까지이다(그림 2). 청도천의 현장조사는 2003년 3월과 6월, 8월에 수행하였다. 조사방법은 시설물 확인 및 사진촬영과 유량측정이다. 대촌마을에서는 비닐관으로 하천수를 직접 취수하는 사례를 여러 곳에서 목격하였다. 이 지역은 경사가 매우 급하므로, 사이펀 원리를 이용하여 별도의 동력없이 수십 m 하류의 하천변 논에 물을 공급하고 있었다. 그

하류에 위치한 요고 저수지나 두곡천 지류의 소태 저수지는 농업 용수로서 물을 공급하고 있다. 요고 용수간선은 요고지의 하류사면에서 시작되고 있다(그림 3). 조사 시점은 2003년 6월 9일로 0.463 m^3/s 의 비교적 큰 유량이 측정되었다. 이 물은 저수지에 저류된 하천수로서 하천을 따라 흐르지 못하고 인위적인 수로 구조물을 따라 흐르고 있다.

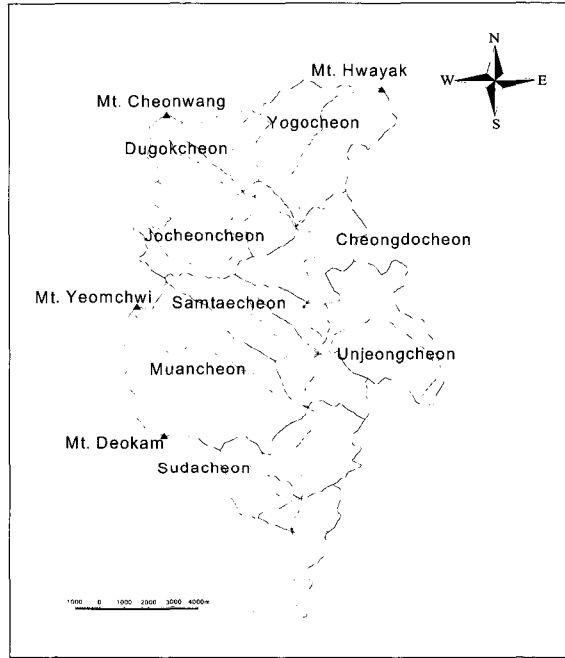


그림 1. 청도천 유역

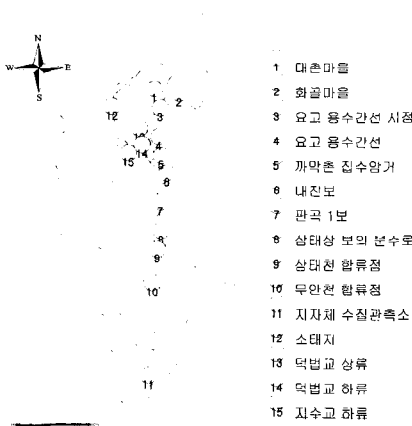


그림 2. 청도천 조사 지점

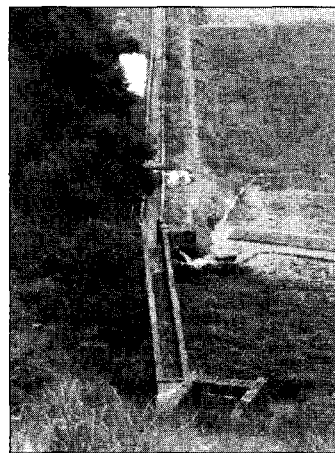
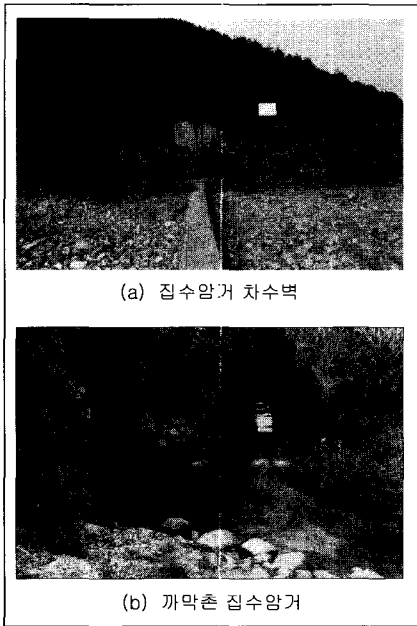


그림 3. 요고 용수간선 시점

청도천의 상류 지류인 요고천 하류에는 까막촌 집수암거가 있는데(그림 4), 암거 주변의 약 500 m 구간은 평상시에 물이 전혀 없다. 그림 4(a)는 물이 마른 상태의 암거상부 하상으로서 암거의 차수벽이 드러나 있다. 이 집수암거에 흘러 든 물은 좌안 제내지로 흐르고 있으며 요고 용수간선과 만나 동산 용수간선의 시점이 된다(그림 4(b)). 길이 102 m의 유공관을 주요시설로 한

집수암거의 개략도는 그림 5와 같다. 암거의 설치시기는 1945년이지만 최근에 수해로 인하여 재시공한 상태이다. 재시공할 당시의 설계양수량은 $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 기록되어 있으나 유량을 측정하 결과 $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 이었다.

다음으로, 삼태 상 보의 직상류에서는 하천수가 중력에 의하여 용수로서 공급되고 있었다(그림 6).



(a) 집수암거 차수벽

(b) 까막촌 집수암거

그림 4. 요고천 하류의 집수암거

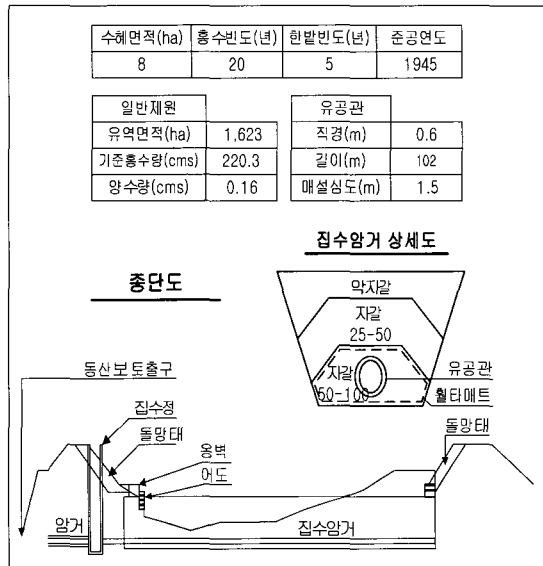
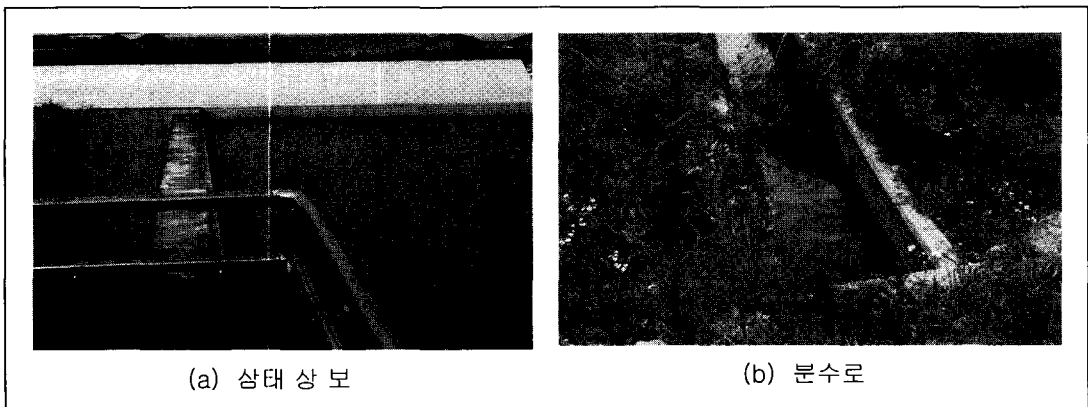


그림 5. 집수암거 개략도



(a) 삼태 상 보

(b) 분수로

그림 6. 삼태 상 보 직상류의 농업용수 취수

청도천 중류의 판곡 1보 지점과 하류의 지자체 수질 관측 지점에서는 3회씩 유량을 측정하였고 그 외에 까막촌 집수암거 등 세 지점에서 유량을 측정하였다(그림 7). 요고 용수간선과 까막촌 집수암거의 유량은 비록 1회 측정하였지만 둘을 합치면 판곡 1보 하류 유량보다 큰 것을 알 수 있었다. 만일 요고 용수간선의 물과 집수암거의 물이 하천으로 그대로 흘렀다면 판곡 1보 하류의 유량은 두 배 이상 커졌을 것이다.

이상과 같은 조사에 의하여 몇 가지 건천화 원인을 제시할 수 있다. 먼저 청도천의 상류 지류에는 요고지(유역면적 12.86 km^2)와 소태지(유역면적 3.6 km^2), 조천지(유역면적 4.21 km^2) 등 비교적 유역면적이 큰 농업용 저수지들이 위치하고 있다. 유역면적이 71.0 km^2 인 판곡 1보 지점을 경계로 한 상류의 유역면적 중에서 저수지의 유역면적이 차지하는 비율은 49%(농어촌진흥공사, 1998)이다. 이들 저수지들이 평상시에 유출을 차단하고 있는 것이 하천 건천화의 한 가지 원인이 된다. 그리고 관개기에는 이들 저수지의 물이 방류되는데 하

천을 따라 흐르지 않고 별도의 용수간선 수로를 따라 흐른다. 즉 하천수가 하천을 따라 흐르지 못함으로써 하천수량이 감소된다.

청도천에 유입되는 요고천의 최하류는 수백 m 구간에 걸쳐 물이 전혀 없다. 이 구간에는 하천 지하에 집수암거가 설치되어 있으며 암거로 모인 물은 좌안 제내지로 분기된다. 판곡 1보 지점의 유량($0.422 \text{ m}^3/\text{s}$)에 비하여 까막촌 집수암거의 유량($0.193 \text{ m}^3/\text{s}$)은 46%에 해당하는 큰 양이다. 집수암거는 이 구간의 하천수를 완전히 고갈시킨 직접원인으로 분석되었다. 집수암거는 경사가 급하고 하상 재질이 매우 조립하며 보를 설치하여 물을 확보하기 어려운 곳에 설치된다. 이러한 집수암거는 요고천과 청도천 시점의 여러 곳에 설치되어 있다. 집수암거들이 건천화를 유발하여 위성영상에서도 동일한 양상을 보임을 4절에서 제시하였다.

이 외에도 취수보에 의한 하천수 취수 및 분기가 하천 건천화의 원인으로 파악되었다.

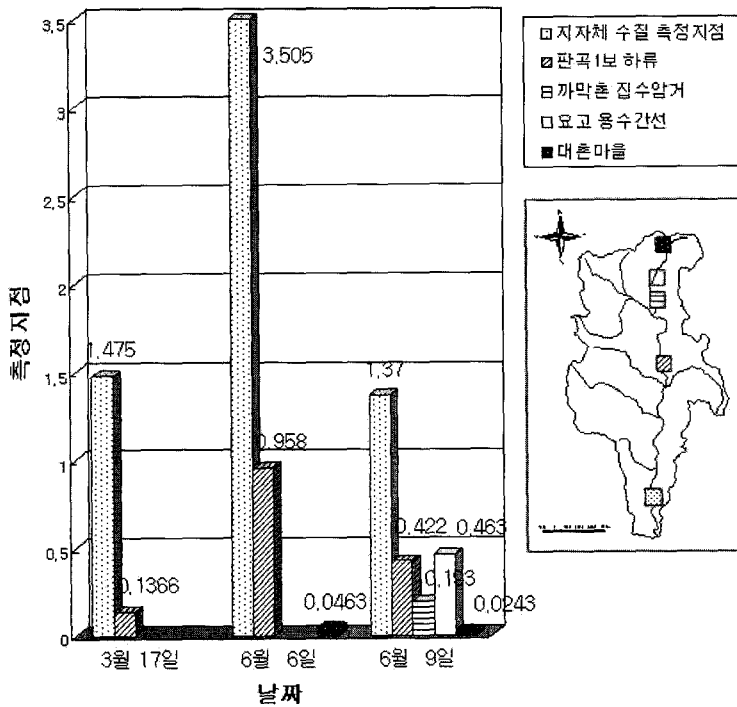


그림 7. 유량측정 현황

3. 유역 유출 연속모의 결과와 유량 측정 결과의 비교

청도천은 유량측정이나 수위관측이 수행되지 않으므로 과거의 유출 상황을 알 수 없다. 따라서 건천화가 진행된 과정을 명확히 기술하거나 판단하기 어렵다.

건천화 여부를 판단하려면 자연 유출로 간주할 수 있는 유출 자료가 필요한데, 본 연구에서는 이를 정교한 유역 유출 계산 프로그램으로부터 모의하여 사용하였다. 그리고 실제 유량을 몇 회 측정하여 모의 결과와 비교함으로써 건천화 여부를 판단하였다.

유역 유출 연속모의 결과의 적합성 여부는 모형의 매개변수를 적절히 추정하였는가에 달려있다. 연속모의 모형의 매개변수는 크게 토양수분 계산에 대한 것이 있고, 유출로 기여하는 물이 유역 출구에 도달하는데 관련된 추적(routing) 매개변수가 있다. 본 연구에서는 특정 유역의 토양수분 계산 매개변수가 인근 유역과 크게 다르지 않다고 가정하여 계측유역에서 추정된 매개변수를 미계측 유역에도 동일하게 적용하였다. 추적 관련 매개변수는 유역 경사와 같이 유역마다 고유한 유역인자로 추정하여 유출 모의를 수행하였다.

이와 같이 추적 관련 매개변수를 지형 특성인자로부터 획득하여 사용할 수 있는 모형으로서 Tabios 등

(1986)의 모형이 있다. 이 모형은 NWS-PC라고도 불리우나 미국 NWS에서 공식적으로 사용하는 모형은 아니므로 개발자의 이름으로 인용하였다. 모형의 선택사양으로서 토양수분 계산에 Sacramento 모형을 사용할 수 있고 추적 방법으로 운동과 추적법을 사용할 수 있다. 운동과 추적법은 간단한 수리학적 추적법으로 분류할 수 있다. 필요한 매개변수는 유역 및 사면의 경사, 주 수로의 길이, 하도 형상, 유역 면적, 조도계수 등이다. 이들은 GIS를 이용하여 유역의 지형자료로부터 대부분 획득될 수 있다.

위와 같은 가정과 매개변수 사용 방법의 적절성을 검토하고자, 먼저 소양강댐 유역에 대하여 추정된 토양수분 계산 매개변수를 사용하여, 이목정 국제수문 프로그램 시험유역에 적용하였다. 또한 강원도 고성군의 미계측 복천 유역에 대하여 매개변수의 적절성 여부를 검증하였다. 이로부터 어느 정도의 정확성을 확인한 후, 동일한 방식으로 청도천 유역의 유출을 모의하였다. 즉, 함천댐 유역에 대하여 추정된 토양수분 계산 매개변수를 미계측 청도천 유역에 사용하여 유출을 모의하였다. 소양강 댐에 대한 상세한 모형적용 결과는 지면 제한상 생략하였으며 인하대학교(2003)의 문헌을 참조할 수 있다.

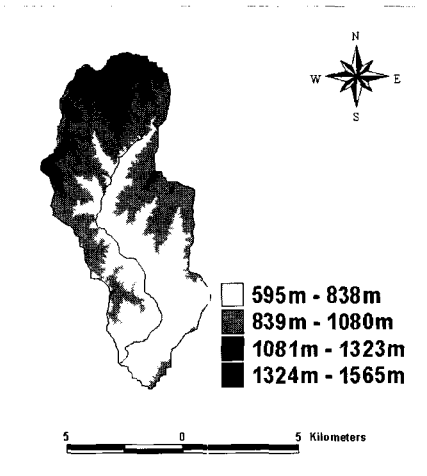


그림 8. 이목정 유역 및 고도별 영역 추출결과

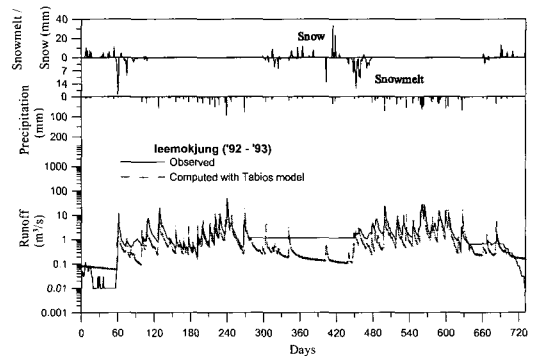


그림 9. Tabios 등의 모형 검증 결과 (이목정 유역)

표 1. 이목정 유역에 대한 검증결과의 요약

| 연도 | 총강우량 (mm) | 구분 | 유출량 ($m^3/s \times day$) | 유출고 (mm) | 유출률 |
|------|-----------|----|----------------------------|----------|-------|
| 1992 | 1247 | 관측 | 602 | 937 | 0.752 |
| | | 모의 | 415 | 646 | 0.518 |
| 1993 | 1429 | 관측 | 885 | 1377 | 0.964 |
| | | 모의 | 590 | 918 | 0.643 |

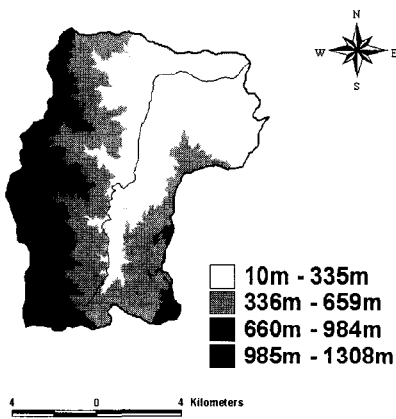


그림 10. 북천 유역 및 고도별 영역 추출 결과

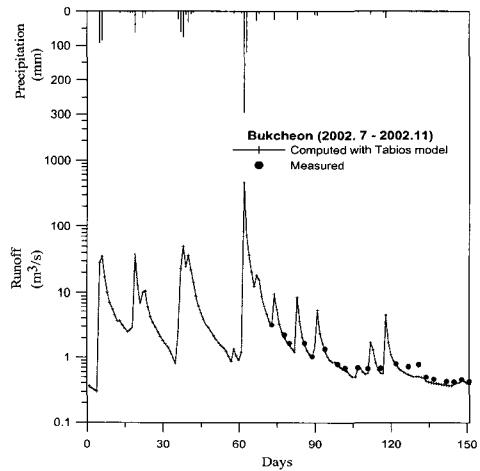


그림 11. 유출모의 결과와 유량측정 결과의 비교

3.1 이목정 유역에 대한 모형 검증

이목정 유역은 북쪽 끝이 소양강댐 유역과 경계를 이루고 있는 남한강 최상류 지역으로 유역면적은 $55 km^2$ 이다(그림 8; 건설교통부, 1995). 그림에는 고도별 구분이 되어 있는데 이는 용설모의가 필요하기 때문이다. 이목정 유역에 대하여 용설모를 고려하여 Tabios 등의 모형을 적용한 결과는 그림 9와 같다. 1992년 10월 ~ 1993년 3월까지를 보면 관측유출량이 $1.18 m^3/s$ 로 일정하며 이는 동절기의 수위결측 때문이다. 전반적인 모의 양상은 관측값과 적은 차이를 보이지만 값의 차이는 꽤 크다. 검증 결과를 요약하면 표 1과 같다. 이목정의 경우에 동절기의 수위 자료가 관측되지 않은 점을 감안하더라도 관측 유출률이 모의 유출률보다 다소 크다. 한

강의 유출계수가 평균 0.57인 점을 감안하면 모의 유출량이 오히려 실제 상황에 근접한다고 판단된다.

3.2 북천 유역에 대한 검증

강원도 고성군 북천 유역은 유역면적이 $111.1 km^2$ 이다(그림 10). 이 유역에도 소양강 댐 유역의 토양수분 계산 매개변수를 사용하여 Tabios 등의 모형을 적용하였다. 그림 11은 2003년의 유량 측정 결과와 유출 모의 결과를 비교한 것이다. 유출모의 지점의 유역면적이 유량측정 지점보다 약 10% 큰 것을 감안하면, 유출모의 결과가 다소 작게 나타난다.

그렇지만 북천유역에 대하여 모형보정을 할 수 없는 상황에서 모의한 점을 감안하면 유출모의가 매우 적절하게 이루어진 것으로 판단된다. 반대로 두 측정값을 제외하고는 유량측정도 우수하게 이루어졌다고 판단된다.

결론적으로, Tabios 등의 모형을 사용하는 경우에, 다른 유역에서 추정된 토양수분 계산 매개변수를 미계측 유역에 대하여 적용하였을 때 유출모의 결과가 비교적 적절한 것으로 평가할 수 있다.

3.3 합천댐유역에 대한 유역유출연속모의 모형 보정

청도천 유역과 가까운 합천댐 유역의 토양수분 계산 매개변수를 추정하여 미계측 청도천 유역의 유출을 모의하였다. 합천댐의 유역면적은 929 km²이다. Tabios 등의 모형을 적용하기 위한 소유역 분할은 수위관측소와 수계의 구조를 고려하여 결정하였다(그림12).

모형의 토양수분 계산에 관련된 16개의 매개변수들은 1990년부터 1996년의 수문 기상자료를 이용하여 추정하였다. 모형보정은 전역최적화 기법에 의하여 수행되었다. 1992년부터 1993년까지의 보정결과는 그림 13에 도시하였고, 추정된 매개변수는 다음의 표 2와 같다. 그림에서 진동이 심한 실선이 댐 유입량이고 완만한 증감을 보이는 실선이 모형에 의한 보정결과이다. 1999년도부터 2002년도까지의 수문자료는 모형 검증에 사용되었다. 그 중 2000년부터 2001년까지의 결과는 그림 14와 같다. 2001년, 2002년의 봄철 모의값이 작게 나타나는 것을 제외하고는 전반적으로 적절하게 유출을 모의하고 있다.

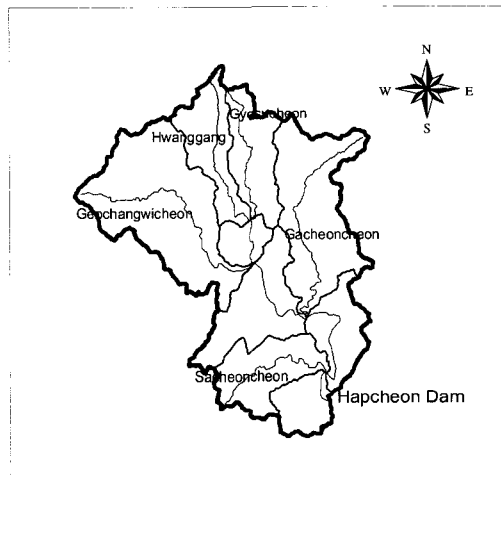


그림 12. 합천댐 유역 소유역 분할도

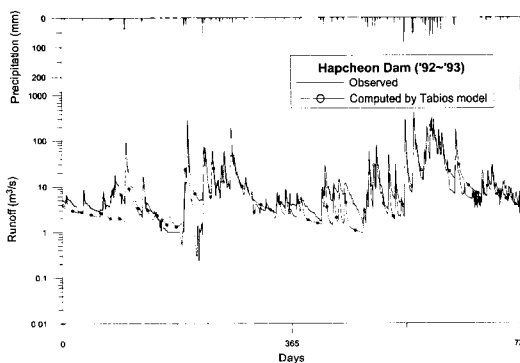


그림 13. 합천댐 유역에 대한 Tabios 등의 모형 보정결과 ('92 ~ '93)

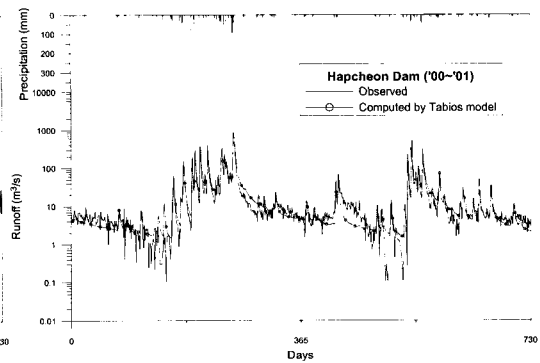


그림 14. 합천댐 유역에 대한 Tabios 등의 모형 검증결과 ('00 ~ '01)

표 2. 토양수분 계산 매개변수의 추정 결과

| 변수명 | 설 명 | 합천댐 유역 |
|-------|-------------------------------------|---------|
| UZTWM | 상층부 흡착수의 최대 저류용량 | 72.67 |
| UZFWM | 상층부 자유수의 최대 저류용량 | 400 |
| LZTWM | 하층부 부착수의 최대 저류용량 | 51.54 |
| LZFSM | 상층부 자유수대 보조 지하수의 최대 저류용량 | 158.3 |
| UZFPM | 하층부 자유수대 기저 지하수의 최대 저류용량 | 177.1 |
| LZSK | 하층부 보조 지하수 탈수 계수 | 0.069 |
| LZPK | 하층부 기저 지하수 탈수 계수 | 0.00700 |
| ZPERC | 포화상에서 건조상으로 변할 때 증가되는 침투량에 관련된 계수 | 30.0 |
| REXP | 하층부 수분 부족량 변화에 따른 침투곡선의 곡률을 나타내는 계수 | 1.977 |
| ADIMP | 부착수가 포화될 때 불투수층이 되는 면적비 | 0.010 |
| RIVA | 하천, 호수, 늪지나 하안 식물군으로 덮인 면적비 | 0.057 |
| PCTIM | 영구 불투수 구역의 면적비 | 0.106 |
| PFREE | 침투수가 하층부 자유수대로 유입되는 비율 | 0.381 |
| UZK | 상층부 자유수 탈수 계수 | 0.317 |
| RSERV | 하층부 자유수중 증발산에 의해 소모되지 않는 비 | 0.292 |
| SIDE | 타 구역으로 배수되는 기저 지하수비 | 0.000 |

3.4 청도천에 대한 유출모의 결과와 유량측정 결과의 비교

청도천의 주요 건천화 구간은 조천천이 유입되는 시작 부분과 요고천 하류부터 삼태천 합류점까지이다. 요고천 하류는 집수암거로 인하여 호우가 없으면 물이 전혀 없는 곳이다. 그 하류로는 다시 물이 흐른다. 건천화

구간 중에서 수량이 약간 회복되어 측정하기에 편리한 판곡1보 지점(P1)을 선택하여 유량을 측정하였다. 그리고 수량이 풍부한 하류의 한 지점(P2, 지자체 수질관측소 지점)에서도 유량을 측정하였다(표 3; 그림 15). 이들 두 지점에 대하여 유출을 모의하여 측정결과와 비교하였다. P1 상류유역의 소유역 분할은 세 개로 하였고 P2 상류유역은 다섯 개로 하였다.

표 3. 청도천 유역의 유량 측정 지점

| 위치 | 지 점 | |
|----|-------------|---------------------|
| | 판곡교 부근 (P1) | 지자체 수질 관측지점 하류 (P2) |
| 동경 | 128°39'28" | 128°38'55" |
| 북위 | 35°30'11" | 35°24'30" |

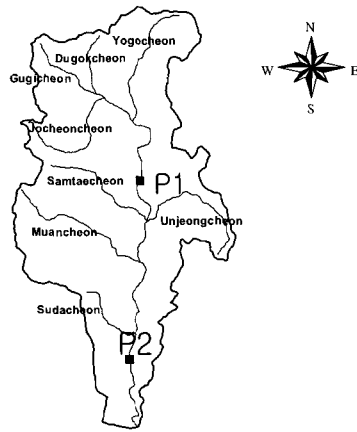


그림 15. 청도천 유역의 유량 측정지점

소유역들에 대한 유역경사, 주하도 길이 등 운동과 추적법에 관련된 매개변수는 수치고도 자료와 지형도로 부터 획득하여 유출 모형에 입력하였다. 토양수분계산 매개변수는 합천댐 유역에 대한 것을 사용하였다(표 2). 유출모의기간은 1994년부터 2003년 6월 17일까지이지만 1996년~1998년 사이에는 수문자료가 불확실하여 모의하지 못하였다. 모의결과 중에서 2003년에 대한 것을 유량측정 결과(표4)와 함께 도시하였다(그림 16, 17). 모형에 의한 모의결과는 유역내의 저수지, 집수시설 등이 없다는 가정 하에 나타나는 수치이다. 실제로 저수지 유역 면적은 P1지점 상류의 경우 약 49%(=34.8/71.0)이고 P2지점 상류면적의 경우에 약 39%(=65.6/170.3)이다.

여섯 개의 측정값 중에서 하류 P2 지점의 3월 17일 측정값은 설명하기 곤란하지만 나머지 다섯 개의 측정값은 물 이용 상황과 관련지어 설명이 가능하다. 먼저 P1 지점의 상류는 요고지와 소태지와 같이 유역면적이 큰 저수지가 있다. P1 지점의 경우에 3월 17일에는 상류의 주요 저수지들이 유출을 차단하고 있기 때문에 모의된 유량보다 관측된 유량이 훨씬 적다. 6월 6일은 7일 전에 내린 약 100 mm의 강우로 인하여 모의 유출량이 $1 m^3/s$ 를 넘어선 때이다. 이 기간은 모내기 등 농사가 활발한 시기이지만 선행 호우로 인하여 농업용수가 불필요한 시점이었다. 따라서 취수보나 집수암거에

의한 하천수 직접취수와 같은 유량 감소 요인이 없다. 그리고 요고지의 수위가 여수로 마루에 근접한 것을 미루어 보면 6월 6일 직전까지 여수로 월류가 지속된 듯하다. 즉 하천의 유출이 상당 부분 저수지를 월류하였거나 용수로서 사용되지 않았던 것으로 짐작된다. 이러한 요인에 의하여 관측 유량이 모의 유량에 근접하였고 분석 할 수 있다. 6월 9일은 논 물대기등 활발한 농업용수 사용이 이루어지고 있었다. 호우에 의한 유출이 감소하는 과정에서 가막촌 집수암거 등 여러 시설에 의하여 하천수 직접 취수가 수행되고 있으므로 관측 유량은 모의 유량 보다 확연히 작은 결과를 보였다.

하류의 P2 지점은 유출이 상대적으로 회복된 지점이다. 2003년 3월 17일의 관측은 오류가 있는 듯하나 원인은 명확하지 않다. 6월 6일과 6월 9일의 관측 유량은 P1 지점과 동일한 양상을 보인다. 6월 6일은 7일 전 100 mm 호우에 의하여 주요 저수지들의 여수로 월류가 일어난 영향 아래 있는 것으로 보인다. 또한 호우에 의하여 하천수 직접취수가 불필요한 것으로 보인다. 결국 P1 지점과 같이 관측 유량이 모의 유량에 매우 근접하였다. 6월 9일은 하천으로부터 활발한 농업용수 취수가 수행되고, 저수지들은 용수로 등을 통하여 농업용수를 공급하는 한편 유출을 차단하고 있으므로 관측 유량이 모의 유량보다 훨씬 적다.

표 4. 각 지점의 유량 측정값

| 지 점 | | P1 | P2 |
|-------------------|-----------|--------|-------|
| 유역면적 (km^2) | | 71.0 | 170.3 |
| 유량 (m^3/s) | 03. 3. 17 | 0.1370 | 1.475 |
| | 03. 6. 6 | 0.958 | 3.50 |
| | 03. 6. 9 | 0.422 | 1.370 |

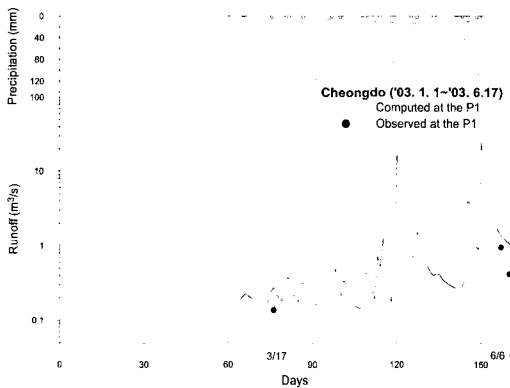


그림 16. P1 지점의 계산 및 관측 유출량 비교

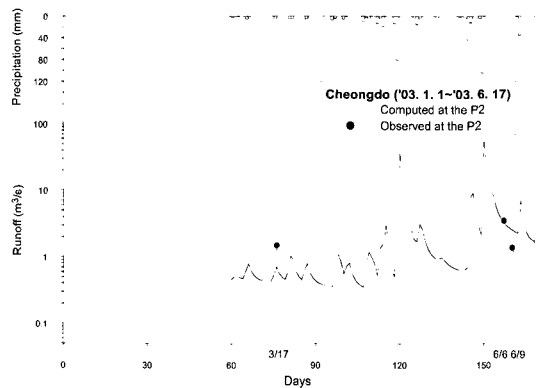


그림 17. P2 지점의 계산 및 관측 유출량 비교

4. KOMPSAT 영상을 이용한 건천화 구간분석

건천화는 하천의 여러 구간에서 발생하고 있다. 특정 하천을 직접 관리하거나 상세하게 조사하지 않은 상태에서는 여러 건천화 구간을 한꺼번에 파악하기가 쉽지 않다. 건천화 의심구간을 보다 편리하게 구분하고자 아리랑 위성의 KOMPSAT 영상을 이용하였다. KOMPSAT 영상은 해상도가 6.6 m로서 다소 떨어지지만 수 십 m의 폭을 가진 하천에 대하여 건천화 구간을 구분하기에 무리가 없었다. 또한 외국위성(Landsat-ETM/TM, SPOT, JERS-1)의 영상에 비하여 가격이 훨씬 경제적인 장점이 있다.

KOMPSAT 영상을 그레이스케일 처리하면 화소 값은 0(검은색)에서부터 256(하얀색)의 셀 값을 가진다. 건천화 하천구간에 대한 현장조사를 통하여 지역별로 몇 개의 training field(입의 분류 항목의 특성을 대표하는 영상영역)를 설정한 후 이의 특성값을 이용하여 다른 건천화 구간의 화소(pixel)를 순차적으로 분류하는 형식인 감독분류(supervised classification)를 적용하였다. 감독분류 결과 대부분의 건천화 하천구간의 모든 화소 값은 최소 240부터 최대 256까지의 값을 갖는 것으로 분류되었다(그림 18, 19). 이것은 하상바닥의

많은 부분이 태양광에 노출되어 반사량이 많아지기 때문에 가장 밝은 색조가 나타난 것이다. 그러므로 KOMPSAT 영상을 이용한 건천화 하천구간에 대하여 셀값이 240~256의 값을 갖는 구간의 경우는 하상 바닥이 드러난 것으로 판단할 수 있으며, 이런 구간의 경우에는 건천화 하천구간일 가능성이 높은 것으로 판단된다.

위성 영상을 분석한 결과, 청도천의 시작 부분과 요고천 하류에 건천화 의심 구간이 집중적으로 나타났다(그림 20). 아래 확대 영상의 하천 내에서 검게 드러난 부분이 건천화 의심구간이다. 그림 20의 4번 지점은 이전의 현장 답사에서 확인된 까막촌 집수암거가 있는 부분이다. 나머지는 위성영상으로부터 의심 구간으로 추정된 곳들이다.

의심되는 건천화구간을 선정하고 건천화 유발시설을 확인하기 위해 현장을 답사하였다. 먼저 농업기반공사의 관리자에게 건천화 의심구간에 있는 취수시설을 확인한 결과, 모든 의심 구간에 집수암거가 설치되어 있었다. 이를 명확히 확인하고자 현장을 답사하였다. 그 결과 까막촌 집수암거를 포함하여 세 곳에서 집수된 물이 흐르는 것을 확인하였다(표 5). 나머지 두 곳은 집수암거의 차수벽이 확인되었고 암거의 출구는 확인되지 못하였다.

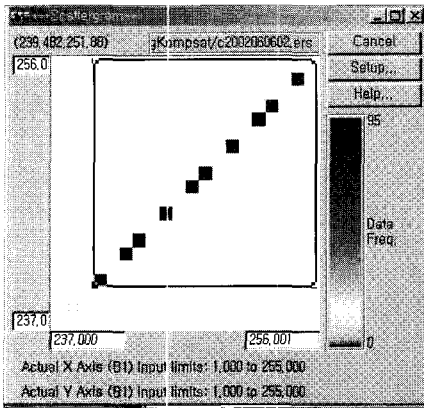


그림 18. 영상분석을 위한 셀 값의 분산도

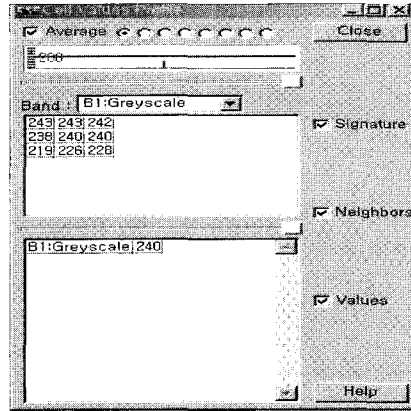


그림 19. 3×3 Algorithm에 의한 건천화 하천구간의 셀 값

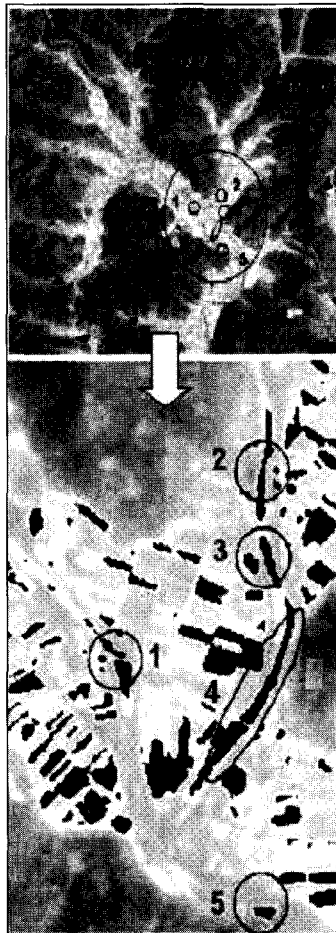


그림 20. Komsat 영상을 이용한 건천화 구간분석

표 5. 건천화 유발시설에 대한 현장답사 결과

| 건천화 구간 | 위 치 | 확인 결과 | 비 고 (현장답사일시) |
|--------|--------|------------------|-----------------|
| 1 | 지수교 하류 | 집수 암거 차수벽 | 8월 |
| 2 | 덕법교 상류 | 집수 암거 취수, 차수벽 | 8월 |
| 3 | 덕법교 하류 | 집수 암거 차수벽 | 8월 |
| 4 | 까막촌 | 집수 암거 취수, 차수벽 | 6월 |
| 5 | 내진보 상류 | 집수 암거 취수, 차수벽 | 8월 |

위의 분석지역에는 지수보, 평지 1보 등의 보 시설이 있으나 주된 하천수 취수시설은 집수암거로 파악된다. 그 이유는 하천의 특성 때문으로 분석된다. 이 지역의 하천 경사는 크고(약 1/120) 하상 재료는 평균 입경이 약 30 mm인 조립질이다. 이런 곳에 보를 설치하면 물을 저류하기가 어려우므로, 하천 바닥의 얇은 지하에 유공관 집수암거를 설치하여 취수하는 것이 유리해 보인다.

요약하자면, 위의 지역은 하천의 특성상 보에 의하여 하천수를 직접 취수하기 어려운 지역이다. 이를 극복하고자 집수암거를 하상 지하에 설치한 것은 하천의 건천화를 심각하게 야기시켰다. 건천화 구간은 위성영상에 분명히 나타나고 있다. 위성영상을 사용함으로써 여러 하천구간의 건천화 지점을 한꺼번에 구분할 수가 있다.

5. 결 론

청도천의 시점부터 삼태천 합류점까지 9 km 구간과 청도천의 지류인 요고천의 하류는 건천화 구간이다. 건천화의 양상은 하천 유량이 매우 적거나 아예 물이 없는 상태로 나타난다. 이에 대한 원인을 파악하고자 농업용 이수시설을 조사하였다. 청도천의 중상류에는 농업용 저수지가 다수 설치되어 있었고 건천화 상류 구간에는 집수암거가 5개 확인되었으며 다수의 보 시설도 있었다.

농업용 저수지는 다목적댐과 달리 평상시에 유출을 차단하고 있다. 그리고 농업용수로 공급하는 물은 하천을 따라 흐르지 않으므로 수문순환을 변형시키고 하천유량의 감소 원인으로 기여한다. 하천경사와 하상재질에 있어서 하천수 저류가 불리한 구간에는 집수암거가

다수 설치되어 하천을 심각하게 건천화시켰다. 또한 보에 의한 하천수 취수도 유량을 감소시키는 원인이 되고 있다. 이러한 농업용 이수시설이 청도천의 건천화를 유발시키는 원인으로 분석되었다.

청도천의 유출자료는 없으나, 건천화의 정도를 양적으로 파악하고자 중류와 하류의 두 지점에 대하여 유출을 모의하였다. 연속모의는 비교적 정교한 Tabios 등의 모형을 사용하였다. 그 결과를 용수이용 시설이 없는 자연유출로 가정하고서 3회의 유량측정 결과와 비교하였다. 2003년 6월 중 100 mm의 호우가 내린 7일 후에는 저수지의 월류와 농업용수 취수의 불필요로 인하여 모의 유출량과 측정유량이 차이가 적었다. 그러나 다시 3일이 지났을 때는 농업용수 사용과 저수지의 유출차단으로 인하여 측정유량이 크게 작아졌다.

요고천이 합류되는 지점 상하류의 다섯 개 건천화 구간은 아리랑 위성의 KOMPSAT 영상으로 구분 가능하였다. 여기에는 모두 집수암거가 설치되어 있음을 추후 확인하였다. 결국, KOMPSAT 영상의 그레이스케일 값이 240~256 정도의 값을 갖는 하천구간은 건천화 하천구간일 가능성이 상당히 높음을 알 수 있다. 전체될 사항은 하천이 충분히 드러난 KOMPSAT 영상을 취득할 수 있어야 한다는 점이다. 위와 같은 위성영상 분석은 현장조사를 수행하기 이전에 조사자로 하여금 정확하고 신뢰도 높은 조사를 수행할 수 있도록, 사전정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

청도천은 전원하천으로서 물 이용은 주로 농업용이다. 청도천의 일부구간이 건천화되었거나 평상시 완전 건천으로 된 주된 이유는 약 63개의 저수지와 용수간선, 하천수 직접취수 시설, 집수암거 등의 이수 시설에 의한

수문 순환의 변형이다. 본 연구의 결과는 전원하천의 건
천화 원인분석 사례로 참고될 수 있다.

감사의 글

본 연구결과는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자
원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번
호 2-5-1)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심
한 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

강인준, 최현, 홍순현, 이종철 (2002). "KOMPSAT를 이
용한 유역 매개변수 추출결정". Symposium on
Geospatial Theory, Processing and Applications,

pp.1~5.

건설교통부 (1995). **국제수문계발계획(IHP) 연구보고
서.**

경상남도 (1994). **청도천 하천정비 기본계획.**

농어촌진흥공사 (1998). **밀양시 광역수맥 조사보고서.**
인하대학교 (2003). **지속가능한 하천수 개발기술 최
종보고서.**

Tabios III, G., Obeysekera, J.T. and Salas, J.D.
(1986). *Hydrology and water resource program*
Colorado State University, Colorado.

(논문번호:03-74/접수:2003.09.16/심사완료:2003.11.28)