

하천유량조사사업 현황 및 전망



이진원 >>

유량조사사업단 유량조사실 실장
jwlee@kict.re.kr



이신재 >>

유량조사사업단 품질정책실 품질정책그룹장
lsj@kict.re.kr



이재형 >>

국토해양부 하천운영과 시설사무관
jh2000@mltm.go.kr

1. 서론

우리나라는 조선시대 세종대왕 때 측우기와 수위표를 이용하여 정량적인 수문관측을 시작하였고 그 시기상 세계 최초라고 할 수 있다. 하지만 이러한 수문조사의 역사적 배경을 가지고 있으면서도 관심과 중요성에 대한 인식 부족으로 그 동안 전문조직 및 인력, 충분한 예산, 장비가 확보되지 않아 수문자료의 품질에 대한 의문이 제기되어 왔다. 이러한 이유로 국토해양부에서는 수문자료의 품질개선을 위해 2004년에 품질관리시스템을 적용하고 2007년에 수문조사 전담기관인 유량조사사업단을 발족하여 기존의 유량측정에서 발생되었던 문제점을 해소하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 수문조사 인원의 확

충, 예산 증액 및 전문인력 양성 등 수문자료에 대한 정확성을 담보하고자 지속적인 노력을 기하고 있다.

유량조사사업단은 국토해양부의 수문조사사업으로 유량, 유사량, 토양수분량, 증발산량을 측정하고 있다. 이중 가장 큰 비중을 차지하는 수문조사는 하천의 이수 및 치수관리에 직접적인 자료로 제공되는 하천유량조사로서 우리나라 4대강 권역 전반에 걸쳐 조사가 진행 중이다. 이와 더불어 유역의 토사유출량 파악을 위해 유역의 대표 지점에 대한 유사량 조사를 병행하고 있으며, 수문순환 해석을 위한 증발산량과 토양수분량을 시험유역을 선정하여 시범적으로 조사하고 있다. 또한 효율적인 수문관측 및 수문관측의 자동화라는 세계적인 흐름에 따라 자동유량측정시설을 구축하여 운영하고 있으며, 국내 수문조사 기술과 품질관리 개선을 위한 다양한 연구개발 사업을 더불어 진행하고 있다.

본 고에서는 유량조사사업단에서 수행하고 있는 각 사업에 대한 현황과 성과를 소개하고, 향후 수문조사사업의 방향 및 전망에 대해 언급하고자 한다.

2. 사업 현황

2.1 수문조사사업

가. 유량조사

국토해양부의 유량조사는 2003년에 64개 지점에서 수행되었으나 2007년 107개, 2008년 109개 지점으로 확대되었다. 이는 2007년 국토해양부 수위관측소 369개 지점을 기준으로 약 30% 정도에 해당한다. 그림 1은 권역별 유량측정 지점수로 홍수위 또는

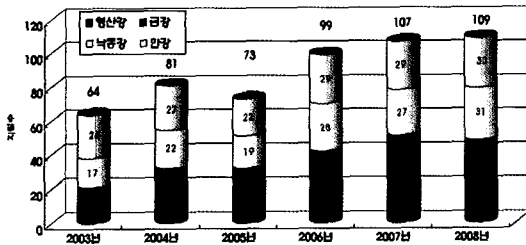
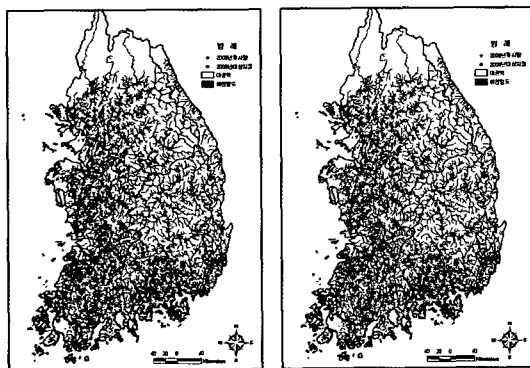


그림 1. 권역별 유량측정 지점수(2003~2008년)



(a) 2007년

(b) 2008년

그림 2. 품질관리시스템에 따른 품질관리 단계

저·평수위만을 부분적으로 측정하는 지점을 포함한 것이며, 그림 2는 국토해양부에서 실시하고 있는 2007~2008년 유량측정 지점이다.

또한, 국토해양부 유량조사사업뿐만 아니라 한국수력원자력(주)에서 한강수계 지천에 대한 유량조사 사업을 의뢰받아 2007년도에 9개 지점, 2008년도에 4개 지점에 대해 유량조사를 수행하고 있다.

나. 유사량 조사

유수에 의한 침식과 유송, 퇴적작용을 거쳐 하천의 한 지점을 통과하는 유사유출량은 유역종합치수계획 등을 수립할 때 유량, 수위, 강우자료 등과 더불어 귀중하게 이용된다. 그러나 유사량 조사는 각각의 수문조사기관에서 자료의 이용목적에 따라 간헐적으로 수행했을 뿐 체계적이고 지속적인 조사가 이루어지지 않아 자료 축적이 타 수문자료에 비해 많지 않고, 조

사·분석 방법에 대한 기준 등이 미진한 실정이다. 따라서 유량조사사업단에서는 2006년부터 한강의 여주, 임진강의 적성, 낙동강의 낙동과 왜관, 금강의 공주, 섬진강의 구례2 지점 등 6개 대표지점을 선정하여 각 유역에 대해 유사량 조사·분석을 실시하고 있다(표 1 및 그림 3).

표 1. 유사량 조사 지점

권역	하천	지점	비고
한강	한강 본류	여주	여주대교
	임진강 본류	적성	비룡대교
낙동강	낙동강 본류	낙동낙	단 교
	낙동강 본류	왜관	(구)왜관철교
금강	금강 본류	공주	금강대교
섬진강	섬진강 본류	구례2	구례교

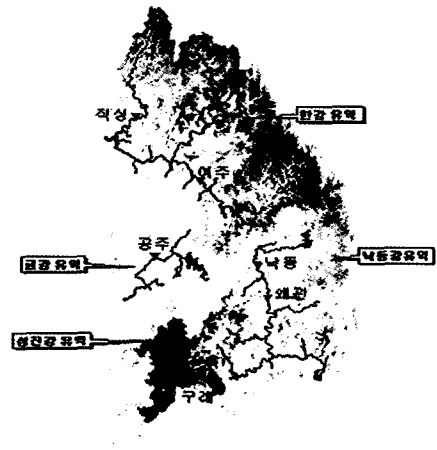
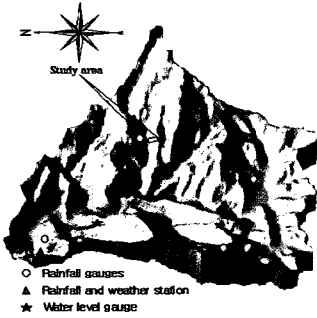


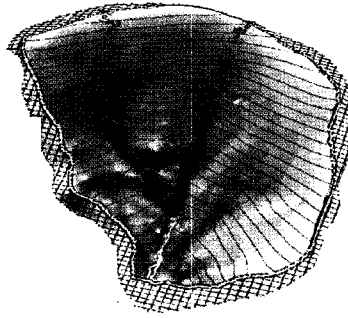
그림 3. 유사량 조사 지점

다. 토양수분량 및 증발산량 조사

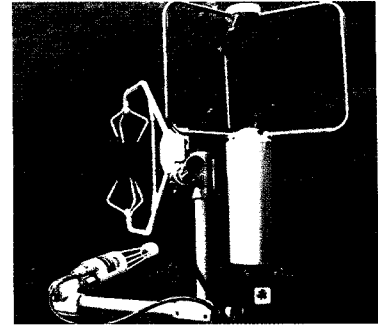
토양수분 및 증발산량은 지표수의 유출과정 및 수문순환을 설명하는 과정에서 중요한 인자이며, 생태수문학의 핵심변수이자 기상모형의 결정적인 입력변수이다. 국내의 경우 이에 대한 조사 및 연구가 미진하며, 현재 시험적으로 운영하고 있어 체계적인 조사 및 예측에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 유량조사사업단에서 2007년에 설마천 시험유역인 범륜사 사면에, 올해는 IHP 대표유역인 청미천 유역에 조사장



(a) 설치위치



(b) 토양수분 탐침 공간분포도



(c) 에디 공분산 시스템

그림 4. 토양수분 및 증발산량 측정위치(설마천)

비를 설치하여 시험적으로 운영하고 있다.

을 실시하고 있다. 표 2는 자동유량측정시설의 설치 현황 및 계획이다.

2.2 자동유량측정시설 구축 및 운영

자동유량측정시설 구축 및 운영사업은 유량측정방법의 개선 및 선진화를 통해 유량측정의 연속성을 확보하고, 실시간-무인화를 통한 유량측정 효율화 및 경비 절감, 수위-유량관계의 보완 및 신뢰성 있는 홍수예보 구현을 목적으로 실시하고 있다. 유량조사사업단에서는 2007년에 신규 3개소를 설치 운영하고 있으며, 2008년에 신규로 3개소 추가 설치계획을 가지고 사업을 진행하고 있다. 또한 기존에 설치되어 운영되고 있던 5개소에 대해 자동유량측정시설의 개선 및 안정화, 자동유량측정 장비 개선 및 보완 작업

2.3 연구개발 및 장비개량 사업

본 사업단에서는 수문조사 및 품질관리의 개선을 위해 다양한 연구개발을 지속적으로 수행하고 있다. 이를 위해 현장에서 수문조사에 대한 기술 개선 및 개발, 측정자료의 분석과 검증, 품질관리 및 선진외국 수문조사기관의 벤치마킹 등을 통한 우리나라 수문조사사업의 개선방향 및 표준화 제시를 위해 자체 연구사업으로 다음과 같은 연구들을 진행하고 있다.

- 교량법 측정 방법론 개선 연구

표 2. 자동유량측정시설 설치 현황

구 분	수계	하천명	대상지점	설치년도	수행기관
기존 설치 지점	한강	한 강	여주대교	2004	한국건설기술연구원
		한 강	한강대교	2006	한국건설기술연구원
		임진강	통일대교	2006	한국건설기술연구원
		중랑천	중 랑 교	2006	한국건설기술연구원
	낙동강	낙동강	고 령 교	2006	한국수자원공사
신규 지점	한강	임진강	적 성	2007	유량조사사업단
		안성천	팽성대교	2007	
	금 강	금 강	규 암	2007	
설치 예정	낙동강	낙동강	구 포	2008(예정)	유량조사사업단
	금 강	금 강	공 주	2008(예정)	
	섬진강	섬진강	하 동 2	2008(예정)	

- 지점 특성을 고려한 표면유속과 평균유속 관계 분석
- 기존 보에 의한 자동유량측정기술 개발
- 수위-유량관계곡선식 개발 방법론 연구
- 조위영향 지점의 복합 수위-유량관계 작성 방법론 개발 연구
- 자료 관리 및 제공시스템 구축
- USGS 운영체계 및 연구성과 조사연구

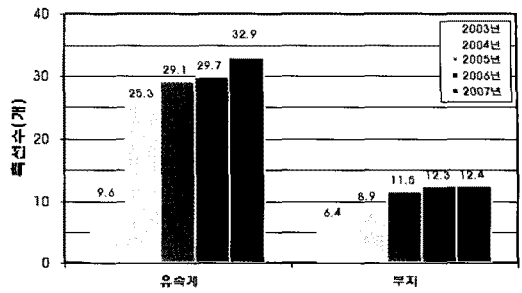
또한 수문조사가 대폭 강화된 하천법 개정에 따른 수문조사 방법 및 기준을 표준화하기 위한 사업으로 국토해양부의 의뢰를 받아 '수문조사 방법 및 기준 표준화 연구'를 수행하고 있다. 이밖에도 현장측정의 정확도를 높이기 위하여 측정장비 개량 및 개선에 대한 연구를 함께 진행하고 있다.

3. 사업 성과

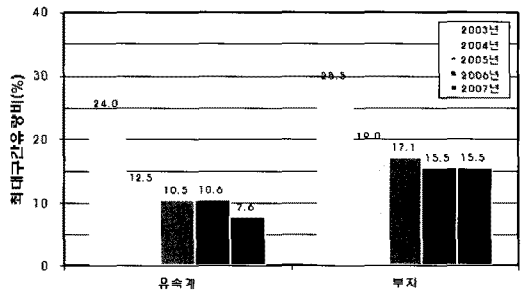
3.1 유량자료 품질개선

가. 유량측정성과

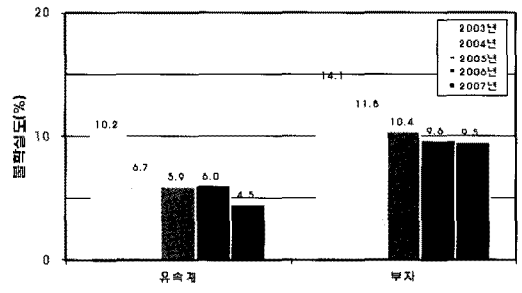
유량자료의 신뢰성 제고와 고품질의 유량자료를 생산하기 위한 목적으로 2004년부터 현장에서 측정된 유량자료에 대해 유량자료 품질관리시스템을 단계적으로 확립하여 운영하고 있다. 품질관리시스템이 적용되기 전인 2003년과 적용 후인 2004~2007년까지의 유량자료의 측정성과를 비교하면 그림 5와 같다. 유속 측선수는 그림 5의 (a)와 같이 유속계의 경우 2003년은 평균 9.6개로 10개 미만인 경우가 대부분이었으나 품질관리시스템이 적용된 2004년에 평균 25.3개로 2배 이상 증가하였으며, 연도별로 꾸준히 증가하여 2007년에는 평균 32.9개로 2003년에 비해 약 3배 이상 증가하였다. 부자의 경우 역시 2003년에 평균 6.4개였지만 2007년에 12.4개로 약 2배 증가하였다. 또한, 유속 측선수 기준의 강화와 등간격에서 등유량 측선배치로 기준을 변경함으로써 유량측정의



(a) 측선수



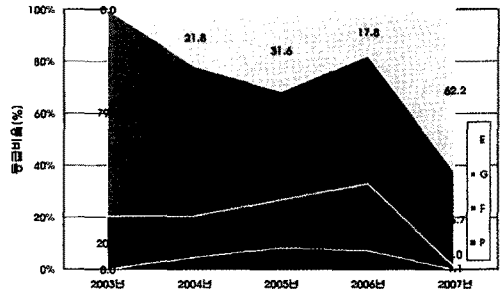
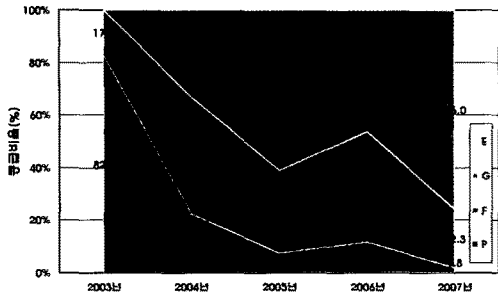
(b) 최대구간유량비



(c) 불확실도

그림 5. 연도별 유량측정성과 비교

정확도를 나타내는 최대구간유량비는 그림 5의 (b)에서 보는 바와 같이 연도별로 점차 감소하는 결과를 보였다. 연도별로 비교해 보면 2003년의 경우 유속계는 24.0%, 부자는 28.5%였으나 점차 감소하여 2007년에는 각각 7.6%와 15.5%로 유속계는 3배 이상 감소하였고, 부자의 경우는 약 2배 정도 감소하여 측정성과의 정도가 크게 향상되었다. 유량측정성과의 불확실도를 살펴보면, 그림 5의 (c)와 같이 유속계의 경우 2003년에 $\pm 10.2\%$ 였던 것이 2007년에 $\pm 4.5\%$ 로 2배 이상 감소하였으며, 부자의 경우도 $\pm 14.1\%$ 에서



(a) 유속계 등급 비율

(b) 부자 등급 비율

그림 6. 연도별 유량측정성과 등급 비율

±9.5%로 감소하는 개선된 결과를 보였다.

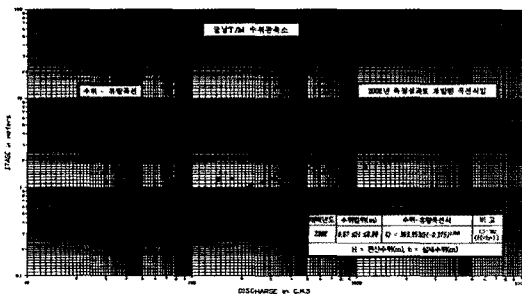
이와 같은 유량측정 정확도 개선 결과를 바탕으로 유량측정성과의 불확실도와 미국 지질조사국의 유량측정성과 등급 평가기준에 따라 연도별 유량측정성과에 대한 등급을 평가한 결과는 그림 6과 같다. 유속계의 경우, 2003년에 최하위 등급인 P(Poor) 등급이 82.8%로 대부분을 차지하였던 것이 2007년에는 1.8%로 크게 감소하였으며, 반면에 상위 등급에 해당하는 G(Good) 등급은 2003년 17.2%밖에 되지 않던 것이 점차 증가하여 2007년에 76.0%로 대다수를 차지하는 결과를 보였다. 또한 부자의 경우도 최상위 등급인 E(Excellent) 등급이 2003년에는 전혀 없었던 것이 2007년에는 62.2%로 크게 증가하였으며, 반면에 G 및 F(Fair) 등급 비율은 크게 감소하였다.

나. 수위-유량관계곡선식

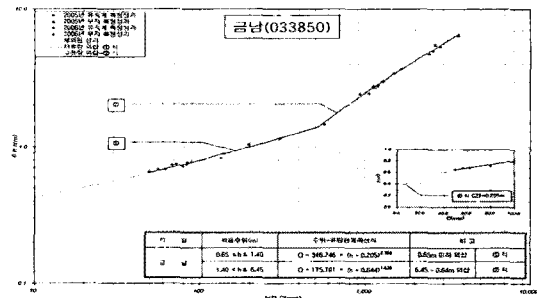
본 사업단에서는 유량측정성과의 품질향상과 함께

정도 높은 수위-유량관계곡선식 개발을 위한 방법론을 개선하였다. 기존 수위-유량관계곡선식은 단순 회귀분석하여 작성하였으나, 2004년 이후에는 측정성과에 대한 수위-단면적, 수위-유속, 수위- \sqrt{Q} 등과 같은 수리특성 분석과 수위관측소 주변의 단면통제 특성을 조사·분석한 결과를 함께 고려하여 구간분리를 시행하였다. 또한 홍수 전후의 하천단면 및 수위-유량관계의 변화를 고려하여 필요한 경우 수위-유량관계곡선식을 기간분리하여 작성하였다. 그리고 수위-유량관계곡선식을 개발할 때 이용되는 유량측정성과에 대한 상·하류 유량평가, 수리특성 검토 등을 통하여 정상적이지 못한 경우 제반사항을 면밀히 재검토하여 그 원인을 규명하고자 하였으며, 명확히 오류로 판단되는 경우 그 원인을 제거하여 정확하고 신뢰도 높은 수위-유량관계곡선식을 개발하였다.

그림 7은 유량자료 품질관리시스템이 적용되기 전후의 금강 수계 금남 지점의 수위-유량관계곡선을



(a) 금남(2003, 수문조사연보)



(b) 금남(2006, 수문조사연보)

그림 7. 품질관리 전후 유량측정성과 및 수위-유량관계곡선식 비교

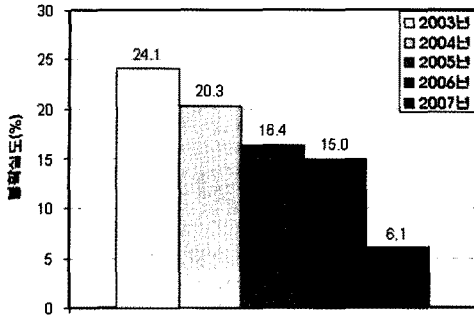


그림 8. 연도별 수위-유량관계곡선식 불확실도 비교 보여주고 있다. 품질관리시스템 적용 후(2006)와 적용 전(2003)의 유량측정성과 산포도를 비교하면 2006년의 산포도가 매우 작아졌음을 알 수 있다. 또한 2003년의 경우 단순 회귀분석을 실시하여 단일곡선으로 개발함에 따라 측정성차가 수위-유량관계곡선과 편차가 큰 것을 확인할 수 있다. 한편 2006년의 경우 유량측정성차가 수위-유량관계곡선식의 편차가 작은 것을 알 수 있다.

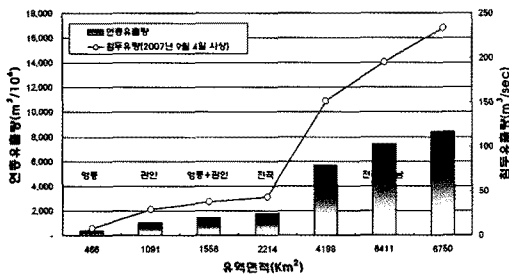
또한 측정성가에 대한 수위-유량관계곡선식의 불확실도를 조위 및 배수영향을 받는 지점을 제외하여 연도별로 비교·검토하였다. 그 결과 그림 8과 같이

2003년에 ±24.1%였던 불확실도는 2006년에 ±15.0%로 개선되었으며, 유량조사사업단에서 측정 및 검증을 일원화한 2007년에는 ±6.1%로 2003년에 비해 약 4배, 2006년에 비해서는 약 2.5배 정도로 크게 감소하는 개선결과를 보였다. 이러한 결과는 전문인력 및 전문장비에 의한 현장 유량측정과 유량측정 성과에 대한 일상적인 품질관리, 그리고 수위-유량관계곡선식 개발에 대한 방법론을 개선했기 때문으로 판단할 수 있다.

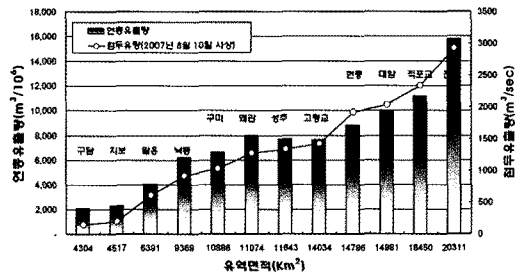
다. 유출평가

측정된 유량측정성과와 개발된 수위-유량관계곡선식의 적절성을 판단하기 위해 해당 구역의 물수지 분석을 통해 상·하류 지점 간의 유출량, 호우시 첨두홍수량과 유출물을 검토하였다.

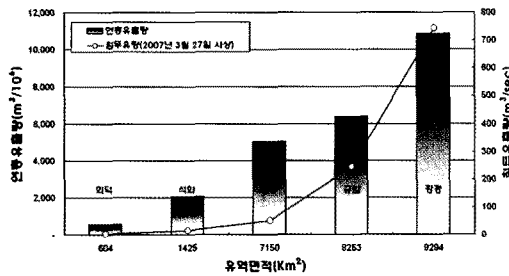
2007년 각 수계별 연간 총 유출량 및 주요 호우사상에 대한 첨두홍수량을 검토한 결과 그림 9와 같이 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 정상적인 상·하류 유출관계를 확인할 수 있다. 다만 일부 상·하류 지점들 간에 반전이 발생하는 부분에 대해서는 물수지



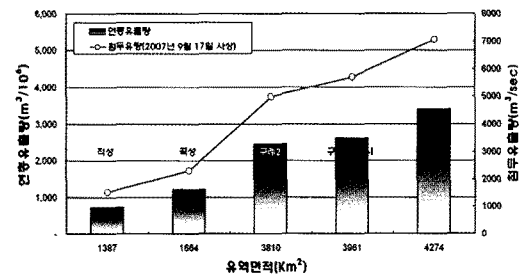
(a) 한강권역 임진강수계



(b) 낙동강권역 낙동강수계

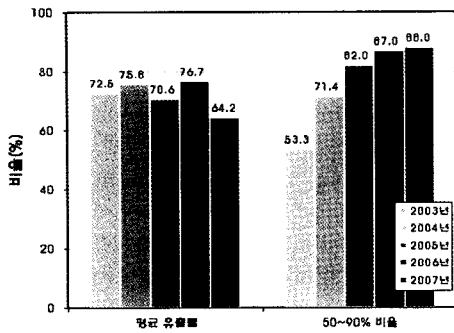


(c) 금강권역 금강수계

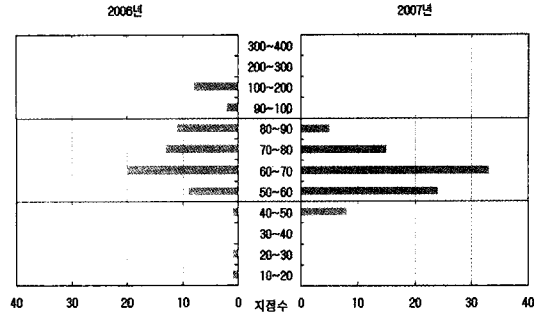


(d) 영산강권역 섬진강수계

그림 9. 상·하류 연유출량 및 첨두유량 검토

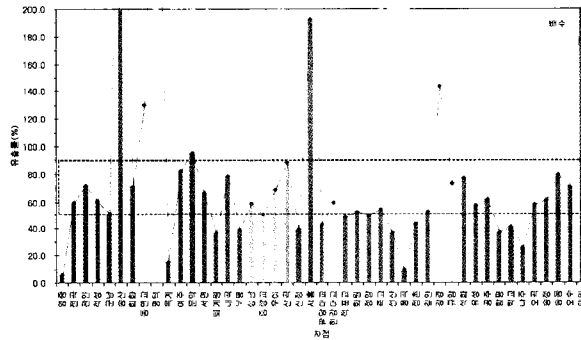


(a) 연도별 연평균유출률 비교

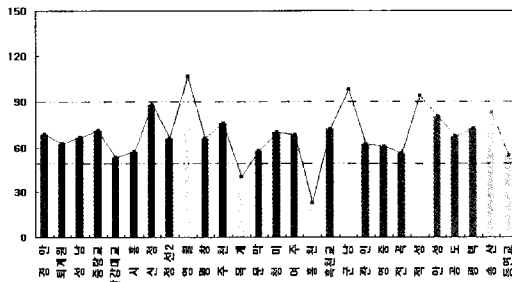


(b) 연유출률 분포 비교(2006년 vs 2007년)

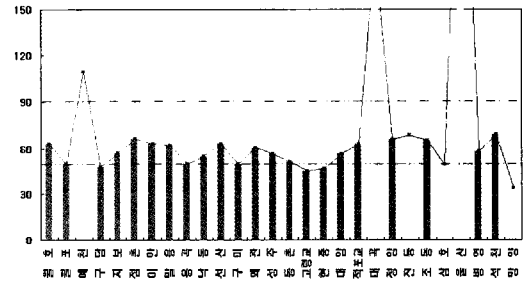
그림 10. 연도별 연평균유출률 비교(2007년 배수영향 지점 제외)



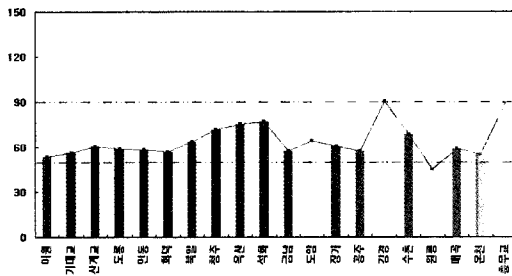
(a) 2003년 지점별 연유출률(기준, 용역사)



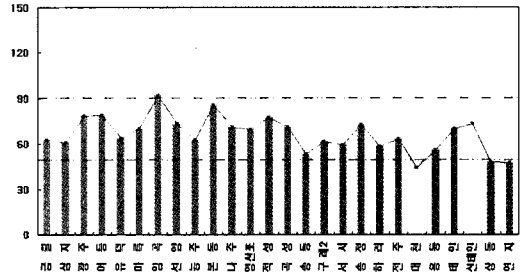
(b) 2007년 한강권역 연유출률



(c) 2007년 낙동강권역 연유출률



(d) 2007년 금강권역 연유출률



(e) 2007년 영산강권역 연유출률

그림 11. 연도별 지점 연평균유출률 비교

분석을 통한 원인을 규명하고 있다. 이와 같은 결과로 기존에 빈번히 발생되었던 상·하류간의 반전에 대한 문제점은 많은 부분에서 해소되었다.

그림 10은 개발된 수위-유량관계곡선식을 이용하여 환산된 유량자료로 연유출률을 산정한 결과이다. 그림 10의 (a)는 2003년부터 2007년까지의 평균 연유출률을 산정한 결과로서 연도별로 70% 안팎의 결과를 보여 크게 차이를 보이지 않는다. 그러나 해당 연도에 지점별 연유출률이 50~90% 범위 안에 포함되는 비율을 살펴보면, 2003년에는 53.3%로 전체 측정지점의 절반 정도에 그치던 것이 품질관리시스템이 적용된 후인 2004년에는 71.4%로 크게 증가하였으며, 2007년 본 사업단이 전달한 결과 88.0%로 나타나 적정 유출률을 보이는 지점이 대폭 증가한 것을 알 수 있다.

2003년과 2007년의 지점별 연유출률 결과 비교하면 그림 11과 같다. 그림 11의 (a)에서 보는 바와 같이 2003년의 경우 조위 및 배수 영향을 받는 지점을 제외한 지점에서 연유출률이 200% 이상인 지점과

20% 이하를 보이는 지점들을 확인할 수 있으며, 연유출률이 지점별로 많은 편차를 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 2007년의 경우 조위 및 배수 영향을 받는 지점을 제외하면 대부분 지점에서 50~90%의 연유출률을 보여 매우 개선된 결과를 보이고 있고, 지점별 유출률이 큰 편차를 보이지 않음을 알 수 있다.

3.2 유사량 측정성과

본 사업단에서는 6개 대표지점에서 측정된 부유사를 이용하여 총유사량을 산정하고 각 지점별로 유량-유사량관계곡선식을 개발하였으며 그 결과는 그림 12와 같다. 총유사량은 측정된 부유사량과 수리량 그리고 하상도와 수위-유량관계곡선식으로부터 산정된 유량 등을 이용하여 Modified Einstein 방법으로 추정하였다.

유사유출량의 적정성을 검토하기 위해 낙동강의 낙동-왜관 지점의 상·하류 유사 유출관계를 분석한 그림 13에서 보는 바와 같이 저수위 구간 일부를 제

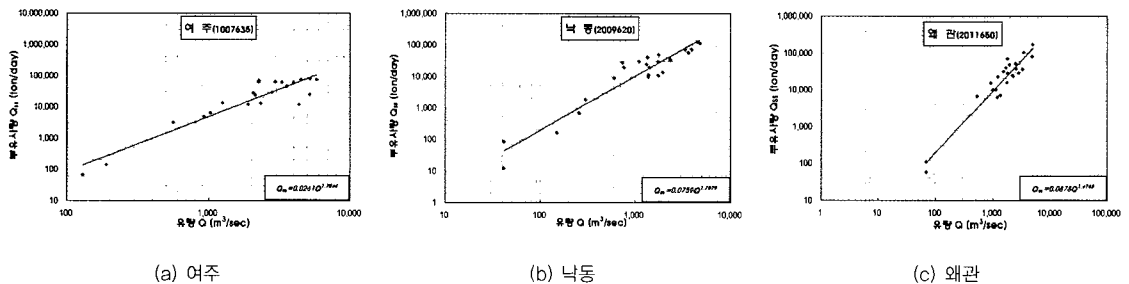


그림 12. 2007년 유량-유사량관계곡선식

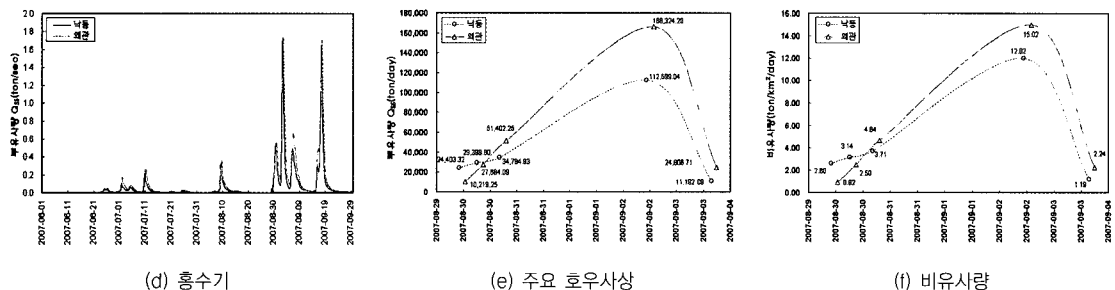
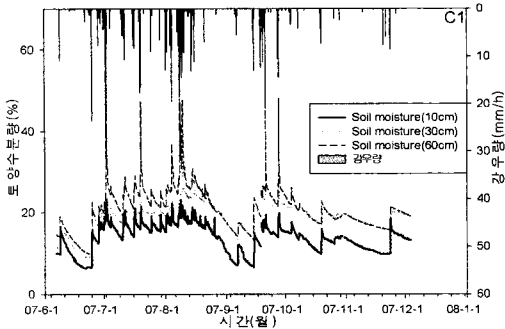
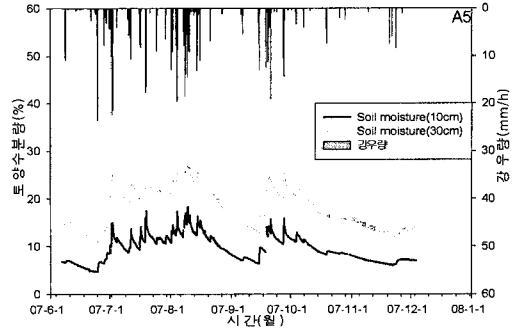


그림 13. 2007년 낙동-왜관지점 유사유출량 비교

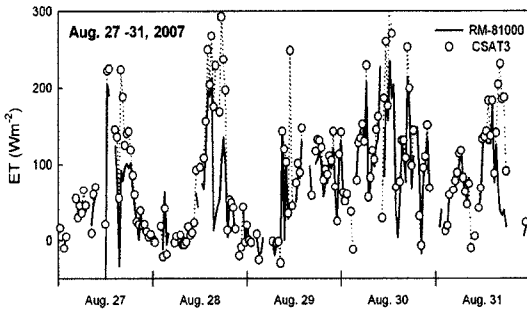


(a) A5 지점

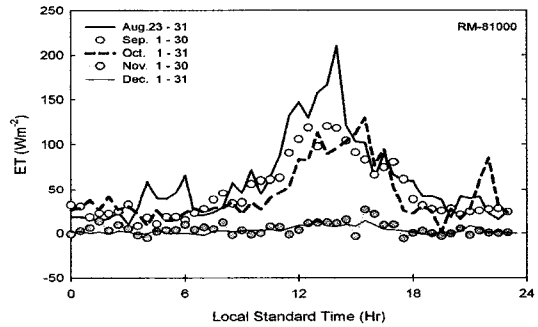


(b) C1 지점

그림 14. 2007년 설마천 시험유역 토양수분 측정결과



(a) 일 증발산량 변동



(b) 월별 평균된 증발산량 일변동

그림 15. 2007년 설마천 시험유역 증발산량 측정결과

외하고는 반전이 발생하지 않는 정상적인 경향을 보여 측정된 부유사량과 유량-유사량관계곡선식의 적절성을 판단할 수 있다.

3.3 토양수분 및 증발산량 측정성과

토양수분과 증발산량은 2007년에 설마천 시험유역에 처음 설치하여 운영하고 있다. 토양수분은 TDR(Time Domain Reflectometry) 방식으로 21개의 측침이 매설되어 측정되고 있으며, 증발산량은 에디 공분산(eddy covariance) 방법을 이용하여 측정하고 있다. 그림 14는 2007년 설마천 시험유역에서 측정된 토양수분량으로 강우사량과 유사한 거동을 보임으로써 측정된 성과의 적정성을 판단할 수 있다. 그림 15는 일 증발산량 변동 및 월별 평균된 증발산

량의 일 변동을 분석한 결과이다. 증발산량은 식물의 생육이 가장 활발한 12~15시 사이에 가장 큰 정상적인 결과를 보이고 있으며, 시기별로 식물 성장기인 여름에 크고 비성장기인 겨울에는 작아지는 정상적인 결과라고 판단할 수 있다.

4. 수문조사사업의 방향 및 전망

수문조사 결과는 사회기반 시설의 확충과 보원을 위한 기초자료로서 국민의 실생활에 직·간접적으로 영향을 주는 환경, 생태, 여가, 이수 및 치수 등을 위한 기본자료로 활용되고 있음에 따라 그 중요성은 날로 증가하고 있다. 또한 수문분석 및 수문순환 해석을 위해서는 향후 다양한 수문조사 및 장기간 축적된 자

료가 필수적이므로 그 중요성이 크게 증대될 것이다.

국토해양부에서는 이를 위해 2005년도에 '수문조사 선진화 5개년 계획(2005.6.1)'을 수립하여 수문조사의 문제점을 개선하기 위해 물정보 관리를 위한 조직의 확대 및 전문화, 물정보 생산을 위한 집중적인 투자, 수문조사 기술 첨단화를 위한 지속적인 연구개발 활성화와 같은 기본방향을 설정하여 추진하고 있다. 또한 개정된 하천법에 따라 수문조사기본계획을 수립 중에 있다. 이러한 수문조사 강화정책들이 입안되어 강력하게 추진되고, 유량조사사업단의 품질개선에 대한 지속적인 노력이 이루어진다면 멀지 않아 그동안 문제가 많았던 유량자료는 획기적으로 개선될 것으로 보인다.

유량조사사업단은 지금까지의 성과를 바탕으로 제한된 수문조사 예산과 열악한 여건 속에서도 2011년까지 전국의 모든 수위관측소 지점에서 안정적인 유량자료 생산을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 수문조사 예산의 지속적인 증액, 유량조사사업단의 법적 위상 확보를 통한 수문조사기관의 강화, 전문인력의 확보 및 전문 역량 강화, 측정 전문장비 현대화 등을 통한 수문자료의 신뢰성을 담보해야 할 것이다. 이와 더불어 수문조사 관련 기술개발과 기준 표준화 등에 대한 연구를 촉진하여 수문조사 전반에 대한 기술향상과 수문자료에 대한 품질제고가 이루어지도록 노력해야 할 것이다. 국토해양부의 적극적인 의지와 유량조사사업단의 열정으로 이제는 유량자료가 문제가 많다는 지적은 일소할 수 있을 것으로 보인다.

5. 결론

지금까지의 유량자료에 대한 문제 제기는 2004년 품질관리시스템의 도입과 2007년 유량조사사업단의 설립에 의해 많은 부분 해소되었고 품질도 지속적으로 크게 향상되고 있다. 하지만 수문관측의 기술 및 자료관리, 조직, 예산 등은 선진국과 비교할 때 여전히 미약한 수준이다. 이와 같은 문제의 해결을 위해서는 수문조사 기술개발의 활성화, 수문조사 예산의 증액 등이 필요하며, 수문조사 전문기관을 제도적으로 뒷받침하여 지속적이고 안정적인 자료의 확보가 그 무엇보다도 중요하다고 하겠다.

또한 수문조사와 관련해서 수문조사 자체에 대한 관심과 수문조사 개선방안에 대한 지속적인 실천의지가 중요하다. 지금까지 제시되었던 많은 수문조사 개선방안 등이 제안으로 그치는 것이 아니라 구체적이고 현실적인 개선으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 건설교통부 (2001). 수문관측효율성 제고 방안연구 보고서.
- 건설교통부 (2003~2006). 수문조사연보.
- 국토해양부 (2008). 2007년도 유량조사 보고서.
- 정성원, 황석환 (2007). 우리나라의 유량조사 현황, 한국수자원학회지, 제40권 12호, pp.30-37.
- 조효섭 (2007). 디지털 시대의 새로운 수문조사 현황과 전망, 한국수자원학회지, 제40권 12호, pp.38-43. 