

우리나라의 유량조사 현황

The Present State of Discharge Measurement in Korea



정성원 ▶▶
유량조사사업단 단장
swjung@kict.re.kr



황석환 ▶▶
유량조사사업단 품질정책 실장
sukany@kict.re.kr

1. 서론

수문(水文)조사는 수자원 이용(利水), 홍수피해 방지(治水), 수질관리(環境) 등을 위해 하천 유량, 유사량, 토양수분 및 증발산량 등을 측정하는 것이다. 특히 정부는 수자원 관리의 기본인 유량조사를 그동안 꾸준히 시행하여 국가발전에 기여하여 왔으나 업체와 대학에서 분산 수행하면서 유량측정자의 잦은 교체 등으로 자료의 연속성과 전문인력의 지속적 확보가 곤란한 상황이었다. 또한 유사량, 토양수분 및 증발산량 측정 역시 간헐적으로 시행되었을 뿐 장기적인 측정은 시행되지 않았다.

이러한 한계를 극복하고자 정부는 유량조사 업무 개선을 위해 2003년 이전에는 용역업체와의 기술용역계약으로 수행되던 유량측정을 2004년에 유량측정 기준을 대폭 강화하였으며 현장유량측정(기술용역업체)과 이에 대한 품질관리·분석(한국건설기술연구원)을 분리하여 실시하였다. 2005년 수문조사업무

개선 단기과제 회의(2005.02.25) 결과에 따라 2005년에는 유량측정 대상지점의 25%는 전문기술인력을 확보하고 있는 한국건설기술연구원에서 유량측정과 품질관리를 실시하고, 나머지 75%는 2004년과 동일한 방법으로 시행하였으며, 점차 전문인력을 통한 수문조사업무 시행을 확대하도록 하였다(2005.03.03). 그 결과 유량측정 불확실도가 2000년 최대 12%^{가)}이었으나 2004년에 불확실도가 6.7%^{나)}, 2005년에 5.9%^{다)}로 향상되었다.

2006년에는 전문인력에 의한 수문조사업무를 더욱 효율적으로 시행하기 위하여 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」 제5조에 따라 한국건설기술연구원에서 관련사업의 50%를 정부의 출연금으로 시행토록 하고 나머지 50%는 2005년과 동일한 방법으로 시행하되, 수문조사업무 개선 단기과제 확정 회의를 통해 결정된 2006년도 수문조사 시행지침(2006.02.13)에 따라 수문조사업무를 수행토록 하였다. 2007년도에는 수문조사 전담 공공단체 설립 전까지 전문기관에 의뢰한다는 방침을 결정하여 한국건설기술연구원(이하 건기연)내에 독립조직으로 유량조사사업단을 설립(2007.1.1)하고, 출연금으로 사업비(예산)를 안정적으로 확보하여 전담인력과 기본장비를 확보한 사업의 안정적 수행기반 확보하였다.

이러한 노력으로 유량자료의 정확도는 획기적으로 향상되었다. 본 논문에서는 그 정도를 평가해 보고자 최근 2003년(품질관리시스템 적용전)~2006년의 유

가) '00년 유량측정 사업 평균(전국 48개 지점)
나) '04년 유량측정 사업 평균
다) '05년 유량측정 사업 평균

량측정성과와 유출 자료를 비교해 국내 유량조사의 현황을 평가해 보고 이를 토대로 향후 나아갈 방향을 제시해 보고자 한다.

2. 유량조사 현황 및 품질관리시스템의 운영

2.1 유량측정 지점

품질관리시스템이 도입되기 시작한 2004년부터 2007년까지 유량측정 지점(건설교통부 대상지점)은 표 1과 같다. 2005년까지는 유량조사만이 이루어졌고 2006년부터 유사량, 토양수분 및 증발산량 측정이 시작되었다. 참고로 2006년 유량측정의 경우 평수시 및 홍수시 전체를 측정하는 지점이 아닌, 평수시 측정만 실시하는 지점이 있어 2004년과 2005년보다 지점수가 상대적으로 많았다.

표 1. 유량조사사업 대상 지점수(건설교통부, 2004~2007년)

연도	2004	2005	2006	2007*
조사 영역 (지점수)	유량조사 (81)	유량조사 (73)	유량(99), 유사량(6), 토양수분(2), 증발산량(2)	유량(108), 유사량(6), 토양수분(2), 증발산량(2)

* : 평수시 측정지점 : 2006년 7개 지점(건기연), 2007년 18개 지점

2.2 유량측정기준 개선사항 및 유량측정 품질관리시스템 운영

2003년 이전의 유량측정은 용역회사에서 측정한 후 자체 품질관리하는 시스템이었으나 유량자료 품질 개선을 목적으로 2004년부터 그림 1과 같은 유량측정 품질관리시스템을 도입하여 보다 높은 품질의 유량자료를 생산하였다. 2004년의 경우 용역회사에서 현장의 유량측정을 담당하고 한국건설기술연구원에서 이를 일상적으로 품질관리하는 역할 분담을 통해 수행되었으며, 2005년부터 현장 유량측정을 한국건설

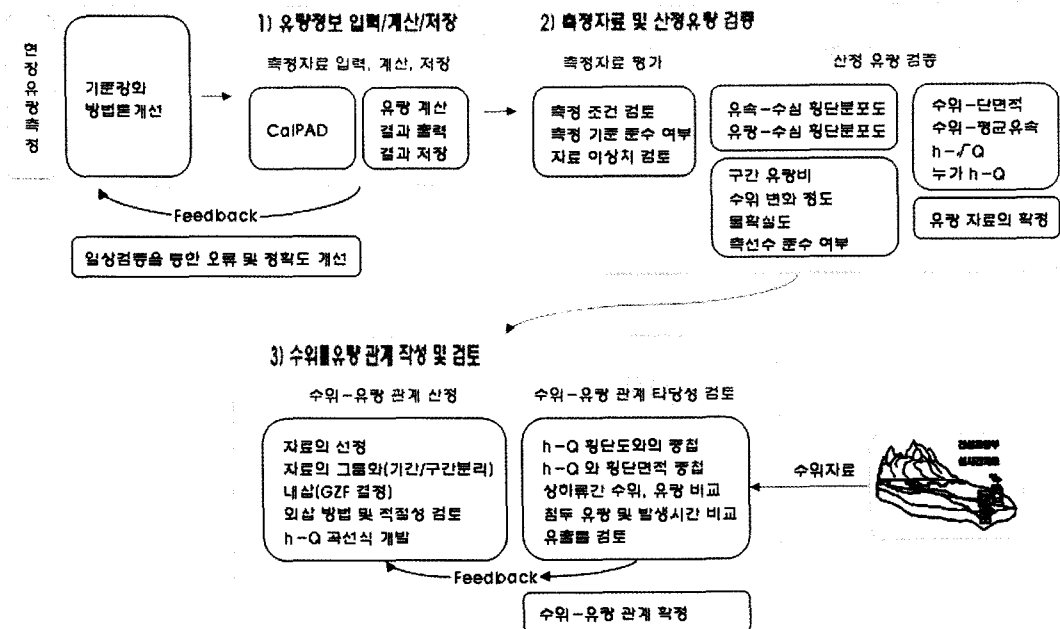


그림 1. 유량측정 품질관리시스템

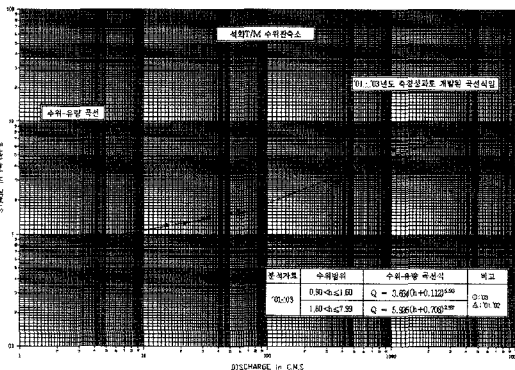
기술연구원에서 점차 늘려 수행하고, 일상 품질관리 또한 한국건설기술연구원에서 수행하는 것으로 변경되었다. 주요한 개선사항은 유량측정 기준 및 방법의 강화, 측정결과의 일상적 품질관리를 통한 정확도 제고, 수위-유량관계곡선 개발방법의 개선 등이며, 유량 환산 및 평가 절차를 추가함으로써 측정한 유량 측정성과의 품질을 최종적으로 판단할 수 있도록 하였다.

2.3 수위-유량관계곡선식의 개발 및 유량평가

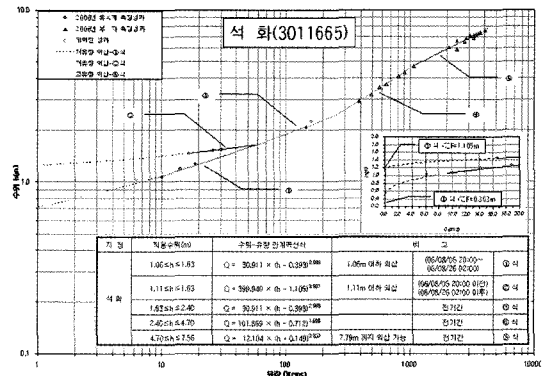
수위-유량관계곡선식의 개발 방법론을 개선함으로써 곡선식의 합리성을 강화하였으며, 개발된 곡선식을 이용하여 유량을 환산하고 환산된 유량자료의 타당성을 검토함으로써 유량자료의 품질수준을 평가하였다.

기존 수위-유량관계곡선식은 측정성과를 단순 회귀분석하여 작성하였으나, 2004년 이후에는 다양한 수리특성 분석을 통한 측정성과 검토와 함께 하천단면 및 수위관측소 주변의 통제특성을 고려하여 구간분리를 시행하였으며, 홍수 전후의 하천단면 및 유량 변화 등을 고려하여 필요한 경우 구간분리를 실시한 수위-유량관계곡선식을 작성하였다. 더불어 개발된 수위-유량관계곡선식은 강우-유출 관계, 상·하류간

유량 비교 등을 통해 종합적으로 검토하여 정상적이 지 못한 경우 제반사항을 면밀히 재검토하여 그 원인을 규명하고자 하였고 명확히 오류로 판단되는 경우 그 원인을 제거하여 정확하고 신뢰도 높은 수위-유량 관계곡선식을 개발하였다. 그림 2는 유량측정 품질 관리시스템 적용 전·후의 금강수계 석화 지점의 수위-유량관계곡선식을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 품질관리시스템 적용 후(2006년)가 품질관리시스템 적용 전(2003년)에 비해 자료의 산포도가 월등히 작아졌음을 알 수 있다. 더불어 품질관리시스템 적용 전(2003년)에는 지속적인 하상변화에도 불구하고 다년간의 측정성과를 단순 회귀분석하여 수위-유량 관계곡선식을 작성하였으나, 품질관리시스템 적용 후(2006년)에는 다양한 수리특성 분석을 통한 측정성과의 검토, 하천단면 및 수위관측소 주변의 통제특성을 고려한 구간분리 시행 그리고 홍수 전후의 하천단면 및 유량 변화 등을 고려한 구간분리 실시 등을 통하여 보다 정밀하게 수위-유량관계곡선식을 작성하였다. 그리고 작성된 수위-유량관계곡선식을 통해 산정된 유량을 유출분석 및 상하류 유량관계를 비교하여 그 적절성을 품질관리하였으며 이상거동시 그 원인을 규명하기 위해 다양한 분석을 수행하여 산정된 유량자료의 정도를 높이고자 하였다.



(가) 석화(2003, 수문조사연보)



(나) 석화(2006)

그림 2. 품질관리시스템 적용 전후 측정성과 및 수위-유량관계곡선식 비교

3. 유량측정 개선결과

3.1 유량측정성과 비교

품질관리시스템 적용 후 유량측정 정확도 개선결과는 그림 3과 같다. 그림 3의 (가)에서 보듯이 유속계를 이용한 평저수기의 경우 2003년은 측선이 10개 미만인 경우가 대부분이었으나, 품질관리시스템이 운영된 2004년부터는 측선을 20개 이상 배치하였으며, 부자측정은 2003년보다 2004년 이후의 경우 2배 정도의 측선수를 배치하였다.

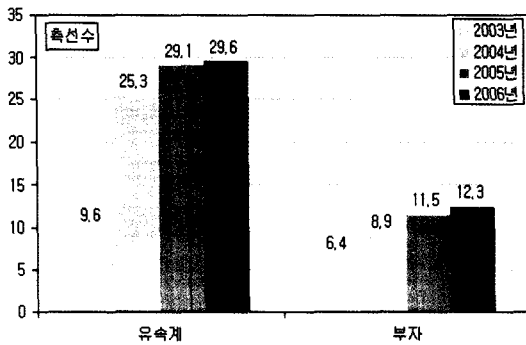
강화된 측선수의 영향으로 유량측정의 정확도를 나타내는 최대구간유량비의 경우도 크게 향상되었다. 그림 3의 (나)에서 보듯이 평저수기의 경우 2003년

24%였으나, 2006년에는 10.6%까지 향상되었다.

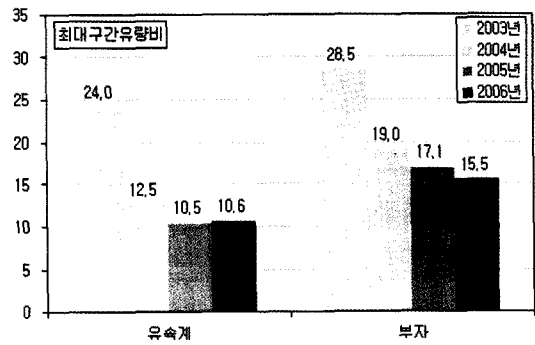
홍수기 부자측정의 경우도 2003년은 28.5%였으나, 2006년에는 15.5%로 향상된 결과를 보이고 있다.

유량측정성과의 불확실도를 살펴보면, 그림 3의 (다)에서 보듯이 유속계의 경우 2003년 10.2%에서 2006년에는 6.0%로 개선되었으며, 홍수기의 경우도 2003년 14.1%에서 2006년에는 9.6%로 개선되었다.

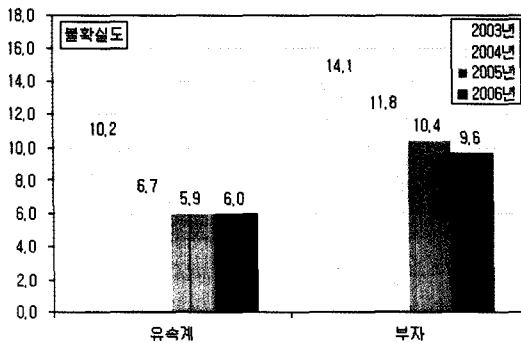
이와 같은 유량측정 정확도 개선 결과를 바탕으로 유출률 평가를 실시한 결과는 그림 3의 (라)와 같다. 평균적인 유출률로 전체적인 양상을 파악하기는 어려우나 2006년의 경우 배수지점을 제외한 평균으로 일반적인 기준으로 볼 때 비교적 적절한 결과를 보이고 있는 것으로 판단된다.



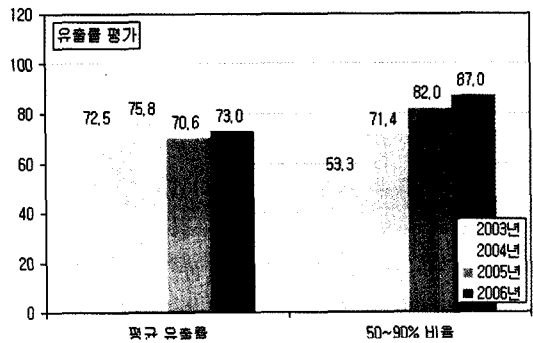
(가) 측선수



(나) 최대구간유량비



(다) 불확실도



(라) 연유출률

그림 3. 연도별 유량측정성과 비교

4. 2006년 측정주체간 유량측정성과 비교

2006년의 경우 99개 전체 측정 지점 중 한국건설기술연구원에서 50%, 용역사에서 50% 측정하였으며, 측정성과는 모두 한국건설기술연구원에서 품질관리하는 방식으로 진행되었다. 이를 바탕으로 측정주체간 유량측정성과를 검토하여 측정의 정확도를 비교 검토하였다.

4.1 유량측정 지점수

전국 4대강 권역에 대한 측정주체별 지점수 현황은 다음 표 2와 같다.

표 2. 전국 유량측정 지점수(2006년)

권역	한국건설기술연구원	용역사	계
한강	15	14	29
낙동강	14	14	28
금강	7	10	17
영산강	13	12	25
계	49	50	99

4.2 유량측정성과 비교

2006년 성과에서 측정주체별 유량측정 정확도 비교 결과는 표 3~6 및 그림 4와 같다. 유속계를 이용한 평저수시의 측선수의 경우 큰 차이를 보이지 않았으나, 부자는 건기연이 평균 3.4개 정도 더 많은 것으로 분석되었다. 최대구간유량비의 경우 유속계에서 규모가 작은 지류가 많았던 건기연이 용역사에 비해 약간 큰 결과를 보였다. 부자의 경우는 측선수 및 측선배치의 영향으로 건기연이 평균 5.2% 작은 것으로 분석되었다. 불확실도의 경우 유속계는 비슷하였고, 부자는 건기연이 2.6% 작게 산정되었다. 유출률은 배수 혹은 조석의 영향을 지배적으로 받는 지점을 포함하여 지점 평균한 결과로 건기연의 경우 평균 78%로 산정되었고 용역사의 경우는 평균 98%로 비교적 크게 산정되었다.

표 3. 측정주체에 따른 측선수 비교

장치	측정자	한강	낙동강	금강	영산강	평균
유속계	건기연	27.8	30.9	29.4	30.2	29.6
	용역사	38.7	27.9	22.9	29.4	29.7
부자	건기연	11.2	14.0	14.0	9.8	12.3
	용역사	10.7	9.6	9.1	6.2	8.9

표 4. 측정주체에 따른 최대구간유량비(%)

장치	측정자	한강	낙동강	금강	영산강	평균
유속계	건기연	9.4	8.4	14.5	10.1	10.6
	용역사	6.8	9.8	11.2	6.3	8.5
부자	건기연	18.2	12.9	14.4	16.3	15.5
	용역사	15.0	20.4	20.5	26.9	20.7

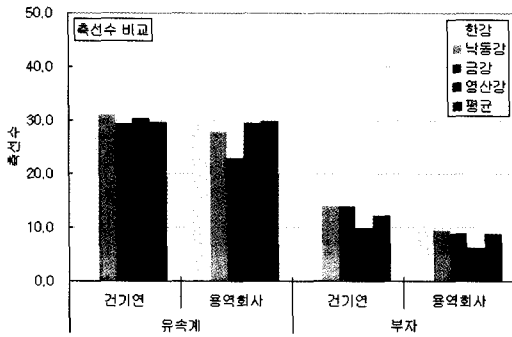
표 5. 측정주체에 따른 불확실도(%)

장치	측정자	한강	낙동강	금강	영산강	평균
유속계	건기연	5.4	5.1	7.2	6.2	6.0
	용역사	4.7	6.9	6.5	4.5	5.7
부자	건기연	10.0	8.9	8.8	10.9	9.6
	용역사	10.4	11.8	11.4	15.1	12.2

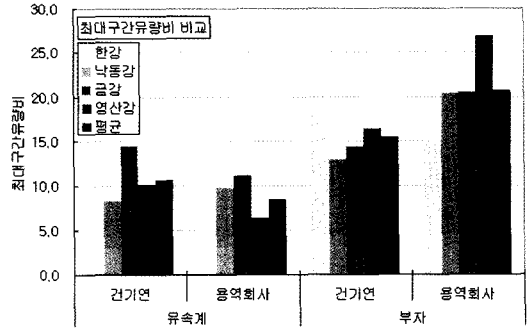
표 6. 측정주체에 따른 유출률 평가(%)

항목	측정자	한강	낙동강	금강	영산강	평균
유출률	건기연	80.4	67.7	99.8	63.1	77.8
	용역사	94.5	107.3	112.9	78.4	98.3

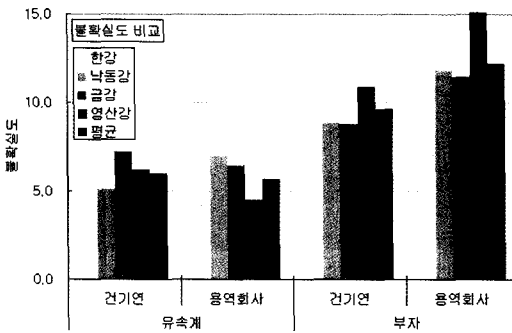
그림 5는 2003년과 2006년에 유량측정을 실시한 측정주체별, 지점별 연유출률과 유출률별 분포를 나타낸 것이다. 50~90% 구간의 유출률을 보인 지점들이 2003년(45개 중 24개, 53%, 용역사)에 비해 2006년(45개 중 37개, 82%, 건기연)에 월등히 증가하였음을 알 수 있다. 감소나 배수 영향을 받는 지점(수위-유량관계로는 적절한 유량자료를 생성할 수 없으므로 과도하게 큰 유출률을 보임)들에 대한 한계를 고려한다면 2006년의 유량자료는 과거보다 크게 좋아졌음을 알 수 있다. 더불어 측정주체별로 2006년 지점별 유출률을 비교해 볼 때 (마)의 건기연 수행 지점들의 유출률이 (라)의 용역사 수행지점들에 비해 월등히 변동폭이 작음을 알 수 있다.



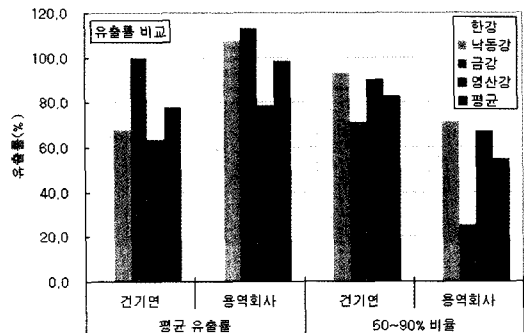
(가) 측정수



(나) 최대구간유량비



(다) 불확실도



(라) 유출률(배수지점 포함)

그림 4. 측정주체별 유량측정성과 비교

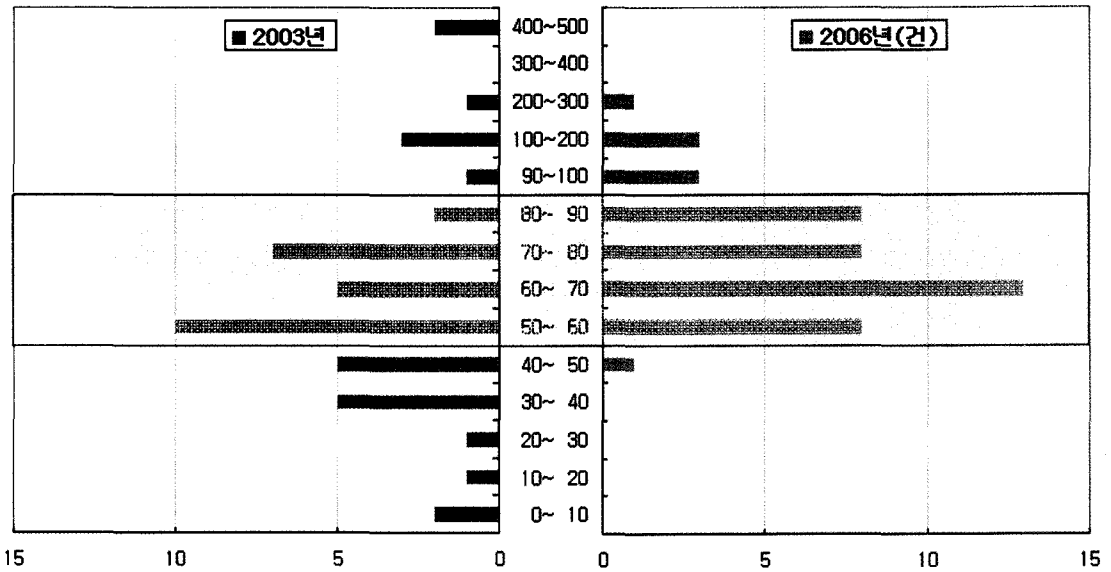
5. 2007년도 하천유량조사사업

5.1 하천유량조사 현황

본 사업은 유량조사사업단 기본사업으로 고품질 수문자료의 생산, 관련 기술 개발 및 표준화와 전문 전담인력 양성 및 전문장비 확보를 목표로 전문인력에 의해 건설교통부 출연금으로 수행하고 있다. 2007년 사업현황으로는 유량조사(108개 지점), 유사량조사(6개 지점), 토양수분 및 증발산량 조사(각 2개 지점)를 수행하고 있다. 본 사업은 전국 건설교통부 대상지점을 기준으로 3년 이내에 전 지점에서 고품질 유량자료를 생산하는 것을 단기목표로 삼고 있다.

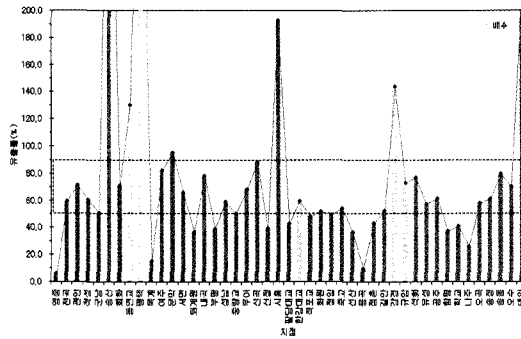
5.2 자동유량측정시설 구축 및 운영

본 사업은 유량측정방법의 개선 및 선진화를 통한 유량측정의 연속성 확보, 실시간-무인화를 통한 유량측정 효율화 및 경비절감, 수위-유량관계의 보완 및 신뢰성 있는 홍수예보 구현을 목적으로 올해 처음 사업단에서 수행하는 사업이다. 2007년 주요 사업내용으로는 2007년 신규 3개소 자동유량측정시설 구축 및 운영(맹성대교, 적성, 규암)과 기존 자동유량측정시설의 개선 및 안정화(한강대교, 여주대교, 중랑교, 고령교) 그리고 자동유량측정 장비를 개선 및 보완하는 사업이다.

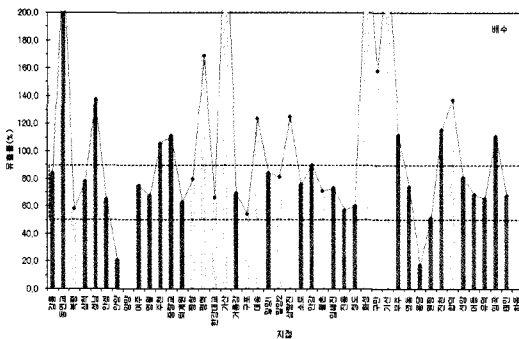


(가) 유출률 도수분포표 (기존, 용역사)

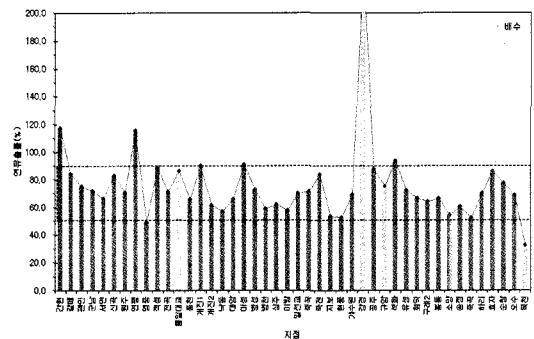
(나) 유출률 도수분포표 (전담조직, 건기연)



(다) 2003년 지점별 유출률 (기존, 용역사)



(라) 2006년 지점별 유출률 (용역사)



(마) 2006년 지점별 유출률 (전담조직, 건기연)

그림 5. 측정주체별 지점별 유출률 비교

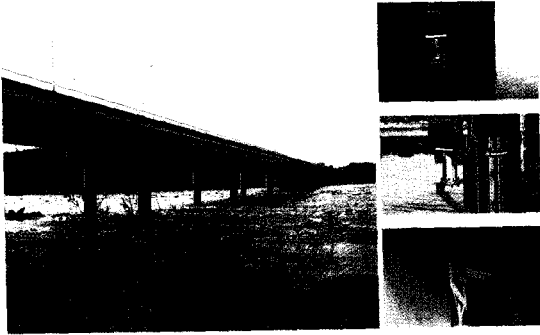


그림 6. 원격자동유량측정시설의 설치(임진강 통일대교)

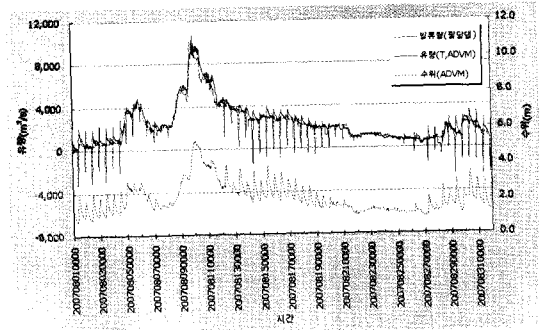


그림 7. 원격자동유량측정 결과(한강 한강대교)

6. 결 론

2004년부터 도입되어 적용한 유량측정 품질관리 시스템의 운영과 2005년 도입한 전문 인력에 의한 유량측정을 통해 비교적 양질의 유량자료를 확보할 수 있었다. 이는 유량측정 기준 및 방법의 강화, 강화된 기준을 적용한 유량측정, 측정성과의 일상적 품질관리, 개선된 방법론에 따른 수위-유량관계곡선식의 작성, 환산된 유량자료의 평가 등 유량측정 전문 인력에 의한 일련의 측정 및 품질관리과정을 통하여 양질의 유량자료를 확보할 수 있음을 보여준다.

이러한 결과를 바탕으로 향후 더욱 안정적으로 선진형 수문조사사업을 추진하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 요구된다.

- 수문조사 전담기구의 설립 및 수문조사사업비의 연차적 증액
- 전문장비 확보
- 전담인력의 전문 역량 강화
- 관련 연구개발
- 품질관리 표준화 및 일상 개선
- 자료관리시스템 구축 및 운영을 통한 자료 제공

이러한 조직 및 업무 개선 노력을 통해 전문인력에 의한 유량측정과 자료품질관리가 지속적으로 수행된다면 유량자료의 품질수준을 더 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 정성원, 김동희, 한명선, 문장원(2003), 유량자료 품질개선을 위한 정확도 제고방안-유량측정성과 및 수위-유량관계곡선, 2003년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 (I), 한국수자원학회, 2003.5.24, 공주대학교
2. 건설교통부 한강홍수통제소(2002), 2001년도 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영 -시험유역 및 주요지천 등에 대한 유량측정 보고서
3. 수자원의지속적확보기술개발사업단(2004), 지표수 조사기술 개발 1단계 보고서
4. 건설교통부(2003), 한국수문조사연보
5. ISO(1997), Measurement of Liquid Flow in Open Channels -Velocity-area Methods, ISO-748:1997(E)
6. Rantz, S.E.(1982), Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, Volume 2, Computation of Discharge, USGS Water-supply Paper 2175