

2005년 임진강 유역의 유출특성 분석

Runoff Characteristics Analysis in the ImJin-River Basin

김동필*, 정성원**, 이석호***, 이상철****

Dong Phil Kim, Sung Won Jung, Seok Ho Lee, Sang Cheol Lee

요 지

본 연구의 목적은 임진강 유역을 대상으로 2005년에 발생한 유출특성을 분석하는데 있다. 임진강 유역은 유역전체 면적중 2/3이상이 북한지역에 위치하고 있어서 전체적인 수문관측 자료를 수집하기 어려운 상황에 있으나, 가용한 수문관측 자료 및 유량측정성과를 이용하여 5개 지점에 대한 유출특성을 분석하였다.

임진강 유역에서는 30분 단위의 연속적인 우량 및 수위관측(건설교통부)을 하고 있으며, 기상청에서는 1시간 단위의 기상관측을 하고 있다. 우량 및 수위자료의 수집과 검토를 통하여 유역면적우량과 5개 수위관측소의 수위를 최종 확정하였다. 그리고 2005년에 측정된 유량측정성과를 통하여 유량측정성과에 대한 불확실도, 기본 수리특성 분석, 수위-유량관계곡선식을 개발하여 유량을 산정하였다. 산정된 유량은 월별, 주요 호우사상별 유출률 분석을 통하여 합리적인 유출률 범위내에서 재 조정절차를 거쳐 최종 유량을 확정하였다.

산정된 유출률은 57.0%(영중)~72.1%(적성)의 유출률을 보였으며, 2004년 임진강 유량측정용역 보고서의 유출률과 비교한 결과 일부지점을 제외하고는 비교적 일치하는 것으로 나타났다. 임진강 유역의 일부인 설마천 시험유역에서의 2005년 연간 유출률은 60.9%로 상기의 값은 매우 타당하다고 할 수 있다.

그리고, 남북한 수문자료의 공유 및 기술적 교류, 유역 전체의 정밀한 수문관측 및 신뢰성 있는 수문자료 생성이 이루어진다면 보다 정확한 유출특성 거동을 분석할 수 있을 것이며, 효과적인 치수 및 이수계획의 수립 등 수자원 개발을 위한 기반을 확보할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 임진강 유역, 수문관측, 유량측정, 유출률

1. 서 론

본 연구는 2005년 임진강 유역 5개 수위관측소 지점(적성, 군남, 전곡, 관인, 영중)에서 실시한 유량측정성과를 이용하여 유출특성을 분석하는데 있다. 임진강 유역은 유역전체 면적중 2/3이상이 북한지역에 위치하고 있어서 전체적인 수문관측 자료를 수집하기 어려운 상황에 있으나, 가용한 수문관측 자료 및 유량측정성과를 이용하여 유출특성을 분석하고자 한다.

임진강 유역의 수문관측은 30분 단위의 연속적인 우량 및 수위관측(건설교통부)을 하고 있으며, 기상청에서는 1시간 단위의 기상관측을 하고 있으나, 가용할 만한 자료중에서도 신뢰할 만한 자료가 여전히 부족한 상태에 있어서 수문관측 시설물의 확장과 수문분석을 위한 노력이 절실히 요망된다. 그리고, 북한과의 교류를 통하여 남북한 수문자료의 공유 및 기술적 교류, 유역 전체의 정밀한 수문관측 및 신뢰성 있는 수문자료 생성이 이루어져야 할 것이다. 그러면 임진강 유역의 정확한 유출특성 거동을 분석할 수 있을 것이며, 효과

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원-E-mail : dpkim@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원-E-mail : swjung@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : leesh@kict.re.kr

**** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : sclee@kict.re.kr

적인 치수 및 이수계획의 수립 등 수자원 개발을 위한 기반을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 대상 유역

임진강은 한반도 중앙부에서 동북으로 길게 위치한 우상형태를 가지는 유역이며, 전체 유역면적은 8,117.5km²이고 총 유로연장은 254.6km이다. 남한지역의 유역면적은 3,008.7km²로 전체유역의 약 1/3(37.1%)에 불과하며 나머지 2/3(62.9%)는 북한지역에 위치하고 있다.

유역의 지세는 험준한 산악구릉이며 일부 구간을 제외한 대부분의 본류 및 지류하천은 험준한 협곡 사이에 형성된 급류하천으로 만곡부 구간이 많으며, 하상경사는 상류부 구간은 매우 급하지만 하류부에서는 현저하게 완경사를 이루고 있다. 하구에서부터 연천군 장남면 고랑포 지점까지 약 40km 구간은 조위의 영향을 받고 있는 구간이며, 인구밀집지, 농경지 및 기반시설들이 집중된 하류부 지역에서는 홍수시 상대적으로 수해가 심하게 나타나고 있다.

임진강 유역은 점적지역이라는 특수성으로 인하여 다른 유역에 비해 개발이 미흡한 실정이나, 덕분에 대체로 양호한 수질상태를 유지하고 있어 다양한 수자원 개발 가능성과 수자원 활용이 예상되는 유역이다.

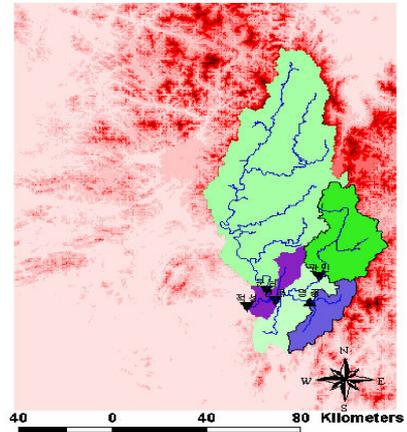


그림 1. 임진강 유역도

3. 수문자료의 수집 및 검토

3.1 우량자료

임진강 유역의 경우 유역의 62.9%가 DMZ 이북에 위치하고 있어 정확한 강수량 자료를 수집, 정리·검토하기 위한 어려움이 따랐다. 현재 임진강 유역에 운영 중인 기상청 관측소는 철원, 동두천, 문산이 있으며, 건교부에서 운영 중인 관측소는 관인 등 18개 우량관측소가 있다. 그러나 건교부에서 운영 중인 관측소의 경우 무인 관측 특성상 결측 및 이상치가 많아 분석에서 제외하고 기상청 관측소 강수량을 대상으로 강수량을 검토하였다. 표 1은 수위관측소 지점별 유역평균우량을 파악하기 위해 기상청 관측소 강수량을 조사한 것이다. 유역 전체적으로 보면 동두천이 가장 많은 1,378.2mm를 기록하였고, 철원, 문산 순으로 강수량을 기록하였다.

표 1. 우량관측소별 월 강수량(2005년, 기상청, 단위(mm))

| 구분 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 합계 |
|-----|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|---------|
| 철원 | 3.7 | 31.8 | 11.8 | 92.6 | 95.9 | 158.0 | 276.2 | 331.6 | 236.7 | 13.3 | 63.2 | 8.4 | 1,323.2 |
| 동두천 | 3.8 | 28.3 | 9.2 | 75.7 | 61.1 | 196.7 | 364.1 | 335.7 | 231.8 | 21.9 | 42.5 | 7.4 | 1,378.2 |
| 문산 | 2.5 | 23.8 | 7.1 | 68.1 | 88.5 | 115.3 | 237.1 | 268.4 | 294.0 | 14.5 | 43.8 | 8.6 | 1,171.7 |
| 평균 | 3.3 | 28.0 | 9.4 | 78.8 | 81.8 | 156.7 | 292.5 | 311.9 | 254.2 | 16.6 | 49.8 | 8.1 | 1,291.0 |

3.2 수위자료

임진강 유역 5개 수위관측소에 대한 수위자료 수집은 한강홍수통제소 홈페이지의 자료를 이용하였다. 수집된 수위자료의 현황은 표 2와 같다.

표 2. 수위자료 현황

| 구분 | 관측개시 | 수집자료기간 |
|----|------------|----------------------|
| 적성 | 2000-02-29 | 2005년 1월 ~ 2005년 12월 |
| 군남 | 1989-06-01 | 2005년 1월 ~ 2005년 12월 |
| 전곡 | 1996-06-01 | 2005년 1월 ~ 2005년 12월 |
| 관인 | 1996-06-01 | 2005년 1월 ~ 2005년 12월 |
| 영중 | 1996-06-01 | 2005년 1월 ~ 2005년 12월 |

수집된 수위자료의 이상치 판단을 위하여 그래프를 도시하여 검토하였다. 대부분의 수위관측기종이 부자식으로 동절기에는 정상적인 운영이 이루어지지 않아 일정수위를 유지하는 현상이 나타났다. 따라서 1월~3월, 12월의 수위를 제외한 4월~11월까지의 수위자료만을 선택하여 유량측정시 관측한 목자수위표 자료와의 비교·검토를 통하여 이상수위에 대해서는 조정하는 단계를 거쳐 수위자료를 확정하였다. 그림 2는 각 관측소별 관측수위, 조정수위 및 목자수위의 자료를 도시한 그림이다.

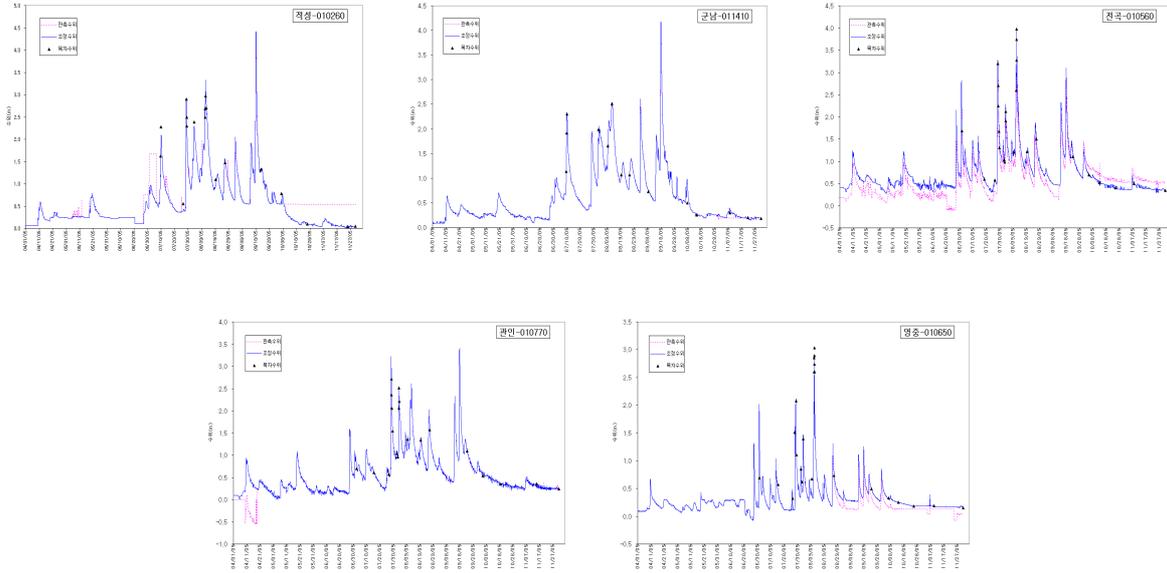


그림 2. 수위자료 현황(관측수위/조정수위/목자수위)

3.3 유량측정성과

임진강 유역의 평·저수시의 유량측정은 물의 흐름이 비교적 안정된 정상류 흐름이므로 유속계에 의한 유량측정을 하였으며, 측정지점의 조건을 고려하여 도섭법과 교량법을 병행하였다. 홍수시의 유량측정은 부자법을 이용하였으며, 사전에 1, 2, 3단면의 측량을 통하여 유량측정성고를 확보하였다. 유량측정 방법은 ISO, 일본 및 국내 기준을 검토하였으며, 최종은 ISO-748 기준을 적용하여 실시하였다. 유량측정성고는 수위의 최저수위와 최고수위에 가까운 수위의 측정성과 확보가 이상적이거나 이를 확보하지 못할 경우를 대비하여 흐름이 0인 수위(Gauge Height of Zero Flow, GZF)를 사전에 측정하였다.

유량측정방법과 기준을 준수하여 5개 수위관측소 지점에 대하여 유량측정을 하였으며, 각 수위관측소별 유량측정성고는 14회(군남)~25회(전곡)로 지점별 평균 20회, 총 101회를 측정하였다.

4. 유량측정성과 특성 분석

4.1 기본 수리특성 분석

측정된 유량측정성고의 이상치를 검토하고, 하천단면 등 흐름 특성의 변화를 파악하기 위하여 유량측정성고의 수리특성을 검토하였다. 또한, 수면폭에 따른 유량측정성고의 유속 측선수를 지점별로 검토하여 기준에 맞도록 측정하였는지를 검토하였다. 그림 3은 적성지점의 유량측정성고의 수위~단면적, 수위~평균유속, 수면폭~유속 측선수, 측정시 수위변동 폭을 도시한 것이다.

그림 3의 수위~단면적 그림을 살펴보면, 수위의 증가에 따라 단면적이 증가하며, 단면 형상의 변화에 따라 기울기가 달라지는 것을 알 수 있다. 전반적인 검토 결과는 대부분이 정상적인 경향을 보였다. 수위-평균유속도 수위의 증가에 따라 평균유속이 증가하는 경향을 보이며, 단면 형상의 변화에 따라 기울기가 달라지는 것을 알 수 있다. 그러나 유속은 통수단면적 뿐만 아니라 단면 형태, 하도 형상 및 재질 등 복합적 요인

에 따르기 때문에 수위~단면적의 일차적인 관계와는 달리 다소 복잡한 관계를 보이고 있다. 전반적으로 검토한 결과, 대부분 정상적인 것으로 판단되었다. 특이한 원인이 없이 비정상적인 위치에 있는 일부 유량측정성과는 수위-유량관계곡선의 개발시 이상치 여부를 판단하였다. 수면폭에 따른 측선수의 그림에서는 유속계 측정의 경우 1개성과를 제외하고는 모두 기준 이상이며, 부자 측정에 의한 유량측정성과는 기준 측선수를 상회하고 있다.

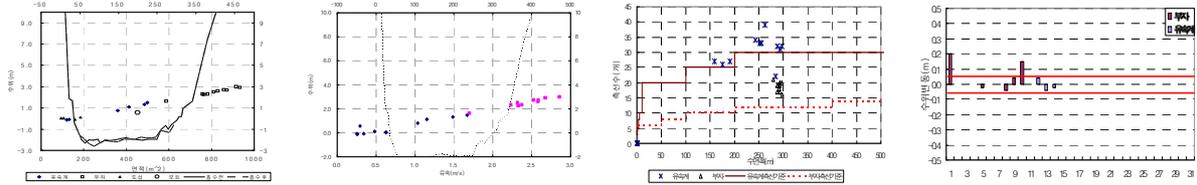


그림 3. 유량측정성과 특성(적성 지점 예)

4.2 최대구간유량비 분석

어느 한 측선에서 산정된 구간유량이 총 유량에 대해 비중을 많이 차지할수록 일반적으로 측정 오차는 커진다. 따라서 모든 측선의 구간유량은 되도록 비슷한 크기를 가질 수 있도록 하는 것이 유량측정성과의 측정 오차를 줄이는 한 방법이다. 그림 4와 같이 각 지점별로 유량측정성과에 대해 최대구간유량비의 지점별 최대, 평균, 최소치를 산정해 구간유량의 특성을 분석하였다(최대 10% 이내의 구간유량비를 갖는 것이 바람직함).

유속계에 의한 결과를 보면, 최대구간유량비의 지점별 평균이 7.3%(전곡)~10.6%(적성)를 보이고 있어 추후 구간 유량비의 개선을 통해 등유량의 구간 선정이 필요하다고 판단된다. 부자에 의한 측정에서도 최대구간유량비의 지점별 평균이 6.9%(군남)~14.8%(관인)를 보여 측선수가 많은데도 불구하고 구간유량이 다소 크게 분포한 것으로 나타났다. 관인의 경우 부자 측정 단면 하류에 만곡이 존재하여 일부 구간에 흐름이 집중되기 때문에 구간유량비가 크게 나타났다. 향후 부자에 의한 유량측정시 흐름이 집중되는 곳에 추가적인 부자 배치를 고려해야 할 것이다.

4.3 불확실도 분석

유량측정성과의 정확도를 판단하기 위해 ISO 748 등에 제시된 방법을 기준으로 개별 유량측정성과의 불확실도를 산정하였다. 그림 5는 5개 지점의 측정방법에 따른 총 불확실도를 나타낸 그림이며, 2004년에 비해 전체 평균이 5.94%에서 4.79%로 약 1.15% 정도로 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

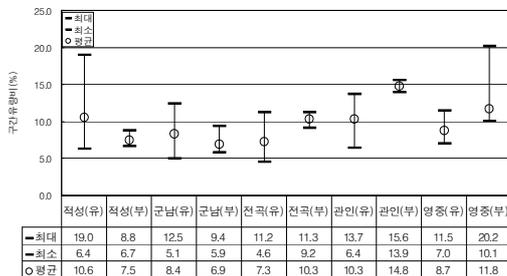


그림 4. 유량측정성과별 구간유량비

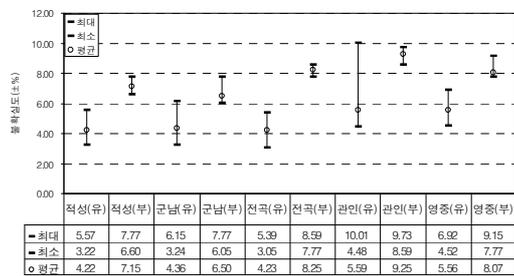


그림 5. 측정방법에 따른 총 불확실도

5. 수위-유량관계곡선식 개발

유량측정성과와 단면자료 및 통계특성 등을 이용하여 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 지점별 수위-유

량관계곡선식의 개발은 2005년에 측정한 성과를(고수위 기준자료 참조) 이용하였으며, 흐름이 0인 수위를 이용하여 대수축 그래프에서 수위-유량관계가 직선이 되도록 하는 도해적 방법과 함께 회귀분석 방법을 이용하였다. 지점별로 하도 및 단면 통계의 특성을 적절히 고려하여 수위-유량관계곡선의 구간을 분리하여 곡선식을 개발하였으며, 수위자료의 검토, 유량측정성과 수리특성 분석 결과, 하도 및 단면 통계 변화 등을 고려하여 수위-유량관계의 적용기간 분리가 필요한 경우를 판단하였다. 유량측정성과의 수리특성 및 불확실도 분석 결과를 고려하여 유량측정성과의 이상치를 판단하였으며, 이상치로 판단된 유량측정성과는 수위-유량관계곡선식 개발시 제외를 하였고, 개발된 수위-유량관계곡선은 하도 및 단면 통계 특성을 이용하여 저수위와 고수위에 대해 외삽곡선을 작성하였다. 개발된 수위-유량관계곡선은 강우-유출 관계의 적정성, 상하류간 유량 비교의 적정성 등을 종합적으로 검토하여 최종적인 수위-유량관계곡선을 그림 6과 같이 개발하였다.

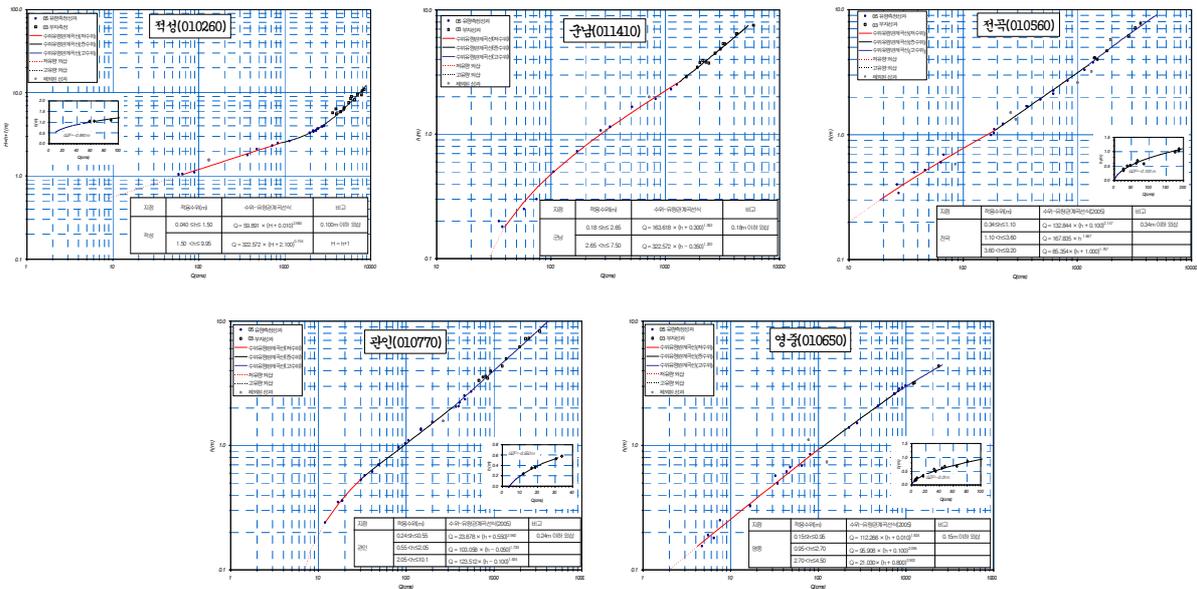


그림 6. 수위-유량관계곡선식 개발

6. 유출특성 분석

수문분석 등과 같은 정도 높은 유량자료의 확보는 수자원 분야의 연구와 실무에 있어 대단히 중요한 문제라고 볼 수 있다. 유량자료의 경우에는 연속적으로 실측하기에는 매우 어려우므로 연속적인 수위관측을 수행한 후 이를 수위-유량관계에 적용하여 유량자료를 산정하게 된다. 본 유출특성 분석에 이용한 수위자료는 3.2에서 산정된 조정수위를 이용하였으며, 면적우량자료는 문산을 제외한 동두천과 철원의 산술평균자료를 이용하였고, 관인 및 영중 지점은 철원의 우량자료를 이용하였다. 그리고 적성, 군남의 경우 2005년 9월 17일~19일 동안 북한지역의 4월 5일댐 방류로 수위의 급격한 증가가 있었으나, 본 유출률 산정에서는 댐 방류량을 배제한 후 유출량을 산정하였다.

각 지점별로 산정된 유량의 타당성을 검토하기 위하여 상·하류 유출 검토와 연유출률 검토를 통하여 유출특성을 분석하였다. 그림 7에서 보듯이 임진강 분류 2개 지점과 한탄강과 영평천의 3개 지점에 대한 상·하류 유출 검토를 한 결과 상·하류간의 큰 반전없이 정상적인 거동을 보였으며, 연유출률도 표 3과 같이 각 지점별로 검토한 결과 2004년과 일부지점에서는 다소 차이가 발생하였으나(분석기간의 불일치/면적우량자료 산정을 위한 지점수의 상이 등), 전반적으로 타당한 유출률을 보였다. 다만 적성과 영중지점은 과다 또는 과소 유출률 보이고 있어 홍수시의 정밀한 유량측정(적성)과 목차수위와 관측수위 불일치(영중)에 따른 추가적인 조치가 필요할 것으로 판단된다.

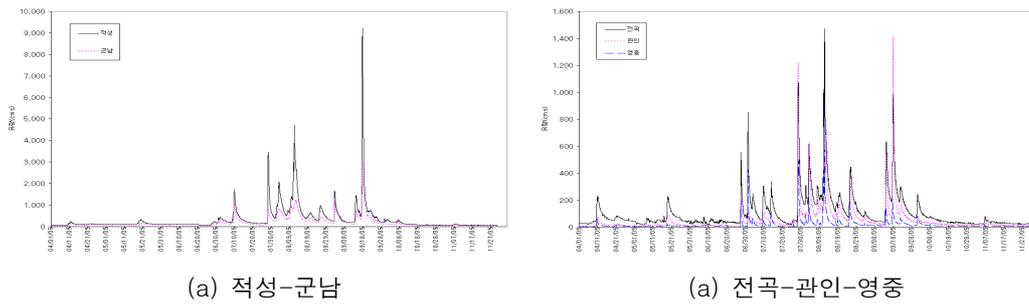


그림 7. 상·하류간 유량 비교

표 3. 연유출률 검토(2005년)

| 지점 | 분석기간 | 강수량 (mm) | 유역면적 (km ²) | 유출고 (mm) | 유출률 (%) | 2004년 | |
|----|-------------|-------------|----------------------------|-------------|------------|--------|-------------|
| | | | | | | 유출률(%) | 분석기간 |
| 적성 | '05. 4 ~ 11 | 1298.5 | 6,784 | 936.0 | 72.1 | 63.6 | '04. 7 ~ 11 |
| 군남 | '05. 4 ~ 11 | 1298.5 | 4,268 | 827.0 | 63.7 | 63.5 | '04. 4 ~ 11 |
| 전곡 | '05. 4 ~ 11 | 1298.5 | 2,425 | 898.0 | 69.2 | 69.0 | '04. 7 ~ 11 |
| 관인 | '05. 4 ~ 11 | 1267.5 | 1,336 | 820.0 | 64.7 | 49.2 | '04. 5 ~ 11 |
| 영중 | '05. 4 ~ 11 | 1267.5 | 564.5 | 722.0 | 57.0 | 66.1 | '04. 4 ~ 11 |

7. 결론

본 연구는 2005년 임진강 유역의 5개 수위관측소 지점의 유출특성을 분석하였다. 임진강 유역의 특성상 전체적인 수문관측 자료의 수집이 불가피 하여 가용한 수문관측 자료 및 유량측정성과를 이용하였다.

산정된 각 지점의 유출률은 일부지점을 제외하고는 매우 타당한 유출률을 보이고 있다. 이것은 수문(수위/우량)자료의 선택과 조정, 정밀한 유량측정성과 자료에 기인한 결과로 수문관측의 중요성을 단적으로 보여주는 것이라 할 수 있다. 그리고, 북한과의 교류를 통하여 남북한 수문자료의 공유 및 기술적 교류, 유역 전체의 정밀한 수문관측 및 신뢰성 있는 수문자료 생성이 이루어지면, 효과적인 치수 및 이수계획의 수립 등 수자원 개발을 위한 기반을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 한강홍수통제소(2005), 임진강 및 안성천유역 유량측정용역 보고서.
2. 한국건설기술연구원(2005), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사연구.