

저수지 유입량 산정 알고리즘 개선

○박노혁* · 양제련* · 윤재홍**

1. 서론

현재 다목적 댐에서의 유입량 산정방법은 댐에서의 방류량과 저수지 수위 차로 산정되는 저류량에 의하여 산정되고 있다. 그러나 저류량에 대한 저수지 수위의 측정오차의 민감도가 너무 커서 정확한 저수지 유입량을 산정하지 못하고 있으며, 때로는 음 유입량으로 산정 되고있어 수문정보의 이용 및 저수지 운영에 애로를 겪고 있는 실정이다.

저수지 유입량 산정에 있어서 주된 문제점이 유입수문곡선의 요철형태 및 음유입량의 발생이므로 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 토대를 구축하기 위하여 현실적으로 적용 가능한 유입량 산정 방법을 제시하고자 저수지 수위 및 유입량 평활화 등 저수지 유입량 산정방법을 개선하여 이·치수시 저수지 운영의 효율성을 제고하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

저수지 수위는 1분 간격으로 관측된 자료를 이용하여 1 시간 대표 저수지 수위를 산정하여 유입량의 평활화와 음유입량 방지를 위해서 필요한 저수지 수위의 취득 및 처리과정에 대한 방안을 마련하였다. 저수지 유입량의 패턴은 크게 홍수기와 비홍수기에 그 변화 양상이 구분될 수 있다. 홍수기에는 음유입량이 발생하는 경우는 적으나, 저수지 운영을 위하여 필수적인 정보인 현재 시각의 유입량을 결정하는 것이 주안점이다. 비홍수기에는 장시간 동안 저수지 수위가 변화되지 않고, 실제 유입량보다도 발전방류량이 더 크게되는 등 외부 간섭에 따른 음유입량의 발생 문제가 주된 관심사가 되므로 홍수기와 비홍수기에 적용하는 유입량 산정방법을 별개로 하여 각각의 문제점을 해결하고자 하였다.

2. 기존 유입량 산정방법

저수지 유입량의 산정 방법에는 일반적으로 다음과 같은 두 가지 방법으로 가능하다. 저수지 수위 변동과 댐 방류량을 이용하는 것과 저수지로 유입하는 저수지 직상류부 하천의 유량 측정치로부터 추정하는 것이 있으며, 두 방법 중 공식적인 기록은 첫 번째 방법으로 산정한 유입량으로 정한다고 댐시설 유지관리 기준은 밝히고 있다 (건설교통부, 1994). 현재 우리 나라에서는 일반적으로 식 (1)과 같은 첫 번째 방법을 채택하여 홍수기 홍수조절을 위한 저수지 운영시 유입량 산정에 활용하고 있다 (건설교통부, 1994).

* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

** 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원

$$Q_i = \left(\frac{V[H(t_2)] - V[H(t_1)] + \sum \Delta t_i \cdot Q_o}{t_2 - t_1} \right) \quad (1)$$

여기서, $Q_i(t)$: 저수지 유입량 (m³/sec)

$V[H(t_2)]$: 현재 시각 t_2 에서의 저수지 수위 $H(t_2)$ 에 대응하는 저수용량 (m³)

$V[H(t_1)]$: 현재 시각 t_2 보다 일정시간 전(통상 1 시간전)의 시각 t_1 에서의 저수지 수위 $H(t_1)$ 에 대응하는 저수용량 (m³)

$\sum \Delta t_i \cdot Q_o$: $t_1 - t_2$ 시간 내의 총방류량 (m³)

저수지 수위의 변동량과 댐방류량의 측정치로부터 산정하는 방법은 어떤 시각과 그전 시각에 있어서의 저수지의 측정수위에 각각 해당하는 저수량의 차를 시간간격으로 나눈 저수량의 변화량에 대해 시간 간격 동안의 평균 방류량을 합산하여 저수지 유입량을 산정하는 방법이다. 저수지 수위의 측정은 저수지내 취수탑 혹은 댐 본체에 설치된 수위표에 의존하며, 저수량은 저수지 수위-저수용량곡선을 사용하여 결정하고, 평균 방류량은 발전방류에 대해서는 수위-발전전력-발전수량관계식으로, 여수로 방류량은 저수지 수위-수문개도-방류량곡선식에 의해 결정된다.

저수지로 유입하는 하천유량 측정치로부터 추정하는 방법은 식 (2)와 같이 저수지와 가까운 상류하천의 배수위 영향을 받지 않는 위치에 설치된 수위표에서 실측된 수위에 해당하는 유량에 보정계수를 곱하여 저수지 유입량을 산정하는 방법이다(건설교통부, 1994).

$$Q_{inflow} = \alpha Q_{상류 수위관측소 유량} + C \quad (2)$$

이때 보정계수 α 와 C는 상류의 수위표에서 관측된 수위에 해당하는 유량과 댐지점 유입량 자료와의 상관관계를 평소에 분석하여 미리 결정해 두어야 하나 수위-유량 관계곡선식의 신뢰도가 높지 않다는 문제점을 앓고 있어 활용하지 못하고 있는 실정이다.

유입량은 식 (1)을 이용하여 사용수량과 저수지 수위변동에 의한 저류용량으로부터 계산하므로 저수지 유입량은 저수지 수위의 변화에 대하여 민감도가 크다. 정확한 유입량을 산정하는 데 있어서 문제점으로 지적되고 있는 사항은 저수지 수위의 변동에 따른 유입량의 큰 진폭 발생을 들 수 있다. 이러한 현상을 비홍수기인 '99. 4. 9 - 4. 22일까지의 수문자료를 이용하여 도식적으로 표현해 보면 그림 1과 같이 나타난다. 여기에서는 유입량을 매 5분 간격으로 산정한 것으로서 이 그림에서 보는 바와 같이 저수지 수위의 지속적인 기복현상은 방류량과 함께 유입량의 산정에 영향을 주게되어 유입수문곡선이 큰 기복을 갖게됨은 물론 음유입량의 값을 갖기도 한다. 유입량의 큰 진폭발생 원인으로는 첫째, 유입량 산정 방법이 저수지 수위를 기준으로 하기 때문에 지속적으로 변동하고 있는 저수지 수위에 대한 대표 수위를 결정하기가 어렵다는 점이다. 만약 저수지 수위가 최고 또는 최저점에 대한 저수용량을 이용하여 유입량을 계산하면 유입량이 과대하거나 또는 과소하게 계산 될 것이 분명하다. 따라서 저수지의 대표 수위를 결정하기 위한 적절한 방법 모색이 필요하다. 두 번째로는 댐 수문정보의 Sampling 방법, 취득시간간격 및 평활화의 미수행 등에 따른 저수지 수위, 발전 및 여수로 방류량의 영향을 들 수 있으며, 이의 해결을 위해서는 수위관측 시설의 위치변경 및 구조개선, 다중수위계의 설치, 취·방류시설의 개폐조작방법 개선 및 수문정보의 처리기능 개선 등의 조치가 필요하다.

3. 유입량 산정방법 개선

3.1 수문자료 자료취득

유입량 산정에 있어서 저수지 수위에 대한 민감도가 크기 때문에 본댐 저수지 수위의 변동 특성과 방류량의 변화 특성에 따른 유입량의 변화를 파악하기 위해서는 시간 구간이 짧은 자료가 필요하다. 따라서 본댐 제체에 설치되어 있는 수위계 및 방류량 자료를 취득하기 위해서 한국수자원공사의 실시간물관리시스템 서버로부터 '*.log' 파일을 취득·이용하였다. 이 자료는 1분 주기로 갱신되며, '*.log' 파일에는 총주당과 관련된 모든 수문 및 발전 자료가 Binary 형태로 담겨져 있다. 그 중에서 본댐 수위, 청풍 및 영춘 수위, 유역평균 강우량, 발전 사용수량 및 여수로 방류량 등을 선택하여 분석자료로 사용하기 위한 파일을 생성하는 프로그램을 Visual Basic 언어로 작성하였다. 취득된 1분 간격의 자료로부터 1 시간 평균자료를 계산하는 프로그램을 작성하여 그 결과를 유입량 산정에 활용토록 하였다. 이 프로그램의 입력 파일은 앞에서 언급된 *.log 파일 변환 프로그램의 출력 파일(*.txt)이 그대로 사용되게 하였으며, 그 결과는 화면에 출력되면서 필요한 경우 파일로 저장될 수 있도록 하였다. 이 프로그램의 출력사항은 시간 평균 본댐수위, 영춘수위, 발전방류, 여수로방류, 총방류 등이다.

3.2 평활화 기법

기존의 유입량 산정방법에 의하여 산정된 유입량은 저수지 수위의 변화로 인한 저류용량과 방류량의 변화 영향을 받기 때문에 저수지 유입수문곡선이 요철 형태로 나타나므로 이러한 기복을 최소화 할 수 있는 처리 방안이 요구된다. 유입량 산정시 활용하고 있는 저수지 수위는 매 시간 정각의 순시치를 활용하고 있으므로 이를 활용하는 대신에 1분 간격으로 관측하는 수위를 활용하여 1 시간을 대표하는 평균 수위로 산정하여 활용하는 방법을 적용하였다. 이 방법의 장점으로서 1 시간 동안의 수위의 변화를 반영하여 1 시간의 대표적인 수위를 제시할 수 있음은 물론 저수지 수위의 관측 단위를 현재의 cm에서 mm까지 세분화함으로써 이를 수위-저수용량 곡선식에 대입하여 계산 유입량의 변동폭을 줄일 수 있다는 것이다.

기존의 방법에 의하여 산정되는 시간이 경과된 기간의 유입량의 평균값을 바탕으로 특정기간의 유입량을 산정하는 식은 이동평균(Moving average)을 취하면 요철 형태의 유입수문곡선을 평활화시킬 수 있게 된다. 그러나 이 방법에서는 유입수문곡선을 평활화 할 수 있다는 장점이 있기는 하나 이동평균에 들어가는 이전 기간 수에 따른 지연효과가 유발되는 단점이 있다. 따라서 이러한 지연효과를 보완하기 위하여 이동평균된 자료 전체를 역이동(Back shifting)시켜 원시 유입수문곡선과 적합이 되도록 하는 방안을 채택할 필요가 있다. 그러나 역이동을 취할 경우 현재 시각의 유입량 자료가 없어지게 되므로 이러한 문제를 해결하기 위한 보간기법의 일종인 예측자-수정자 (Predictor - Corrector) 방법을 도입하였다 (한국수자원공사, 1999).

3.3 유입량 산정 절차

저수지 유입량 산정에 있어서 주된 문제점은 유입수문곡선의 요철형태 및 음유입량의 발생으로서 이 문제 해결을 위한 현실적인 방법을 그림 2와 같이 제시하였다. 먼저 저수지 수위는 1분 간격으로 관측된 자료를 이용하여 1 시간 대표 저수지 수위를 산정함으로써 부분적으로는 유입량의 평활화와 음유입량 방지를 하기 위한 조치를 취한다. 저수지 유입량의 패턴은 크게 홍수기와 비홍수기에 그 변화 양상이 구분될 수 있다. 홍수기에는 현재 시각의 유입량 산정, 비홍수기에는 외부 간섭에 따른 음유입량의 발생 문제가 주된 관심사가 되므로 홍수기와 비홍수기에 적용하는 유입량 산정방법을 별개로 하여 각각의 문제점을 해결하고자 하였다. 총주댐 저수지 상류 유역인 영춘지점의 수위관측 기록을 토대로 연 유지일수가 10일이 되는 수위의 평균값인 3.20 m를 홍수기와 비홍수기를 구분하는 잠정적인 기준으로 설정하였다

그림 2에서와 같이 영춘수위가 3.20 m이하이면 비홍수 Mode에서 유입량 산정을 수행하게 된다. 유입량 산정을 위한 시점과 종점에서의 각 저수지 수위에 따른 저류용량 변화를 수위-저류용량 곡선식으로부터 구한 다음 이 값에 동기간중의 방류량을 합산하여 총유입량을 계산한다. 동기간중의 영춘지점 수위수문곡선을 이용하여 유입량의 시간배분을 위한 비율을 산정하여 앞에서 구한 총유입량을 시간별로 구한다. 영춘수위가 3.20 m를 상회하여 약 6시간이 지속되면 홍수 Mode로 전환하여 유입량 산정을 수행하게 된다. 매 시간별로 산정된 유입량 자료를 활용하여 분석을 위한 시점과 종점을 설정하고, 앞에서 설명한 이동평균, 역이동 및 예측자-수정자 방법을 적용한 후 다음 시간에서는 계산 유입량을 수정한다. 이렇게 하여 얻어진 유입량 자료를 검토하여 침투유량 및 유입수문곡선의 적합이 미흡할 경우 이동평균시 자료처리 구간을 변경하여 재 수행하는 절차를 취한다.

4. 적용

4.1 홍수기 유입량산정

홍수기에 대해서는 이동평균-역이동 및 수정자-예측자 방법을 활용하여 1999년 9월 19일 - 9월 30일 간의 홍수 사상에 대하여 유입량을 산정하였다. 표 1에서와 같이 이 기간에 대한 수문현황은 '99년 9. 19일 01:00현재의 저수지 수위는 El. 133.415 m인 상태에서 총강우가 266 mm가 내려 1,763.5 백만톤이 저수지로 유입되어 저수지 운영을 통하여 1,223.8 백만톤을 여수로 및 발전을 통하여 방류하였다.

그림 3은 순시치 수위와 1 시간 평균수위를 이용하여 각각 유입량을 산정한 것으로서 후자에 의한 방법이 시간에 따른 유입량의 변화가 훨씬 작게 되었다. 이는 기존 방법에 사용되는 수위 자료가 순시치를 사용하기 때문에 나타난 결과이며, 홍수 사상의 시작 부분과 끝 부분에서 계산된 음유입량의 발생빈도도 훨씬 적게 나온 것은 1 시간 평균 수위를 사용하는 방법이 갖는 또 하나의 장점이기 때문에 평활화를 목적으로 하는 경우 1 시간 평균 수위를 사용하는 것이 더 바람직하다고 생각된다. 계산된 유입량을 자연 현상을 대표하는 참값에 가까운 수치로 나타내기 위한 평활화를 하는 방법으로서 본 연구에서는 유입량에 대한 이동평균을 구한 후 뒤로 다시 이동시키는 역이동 방법을 적용하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 그 결과는 상당히 양호하게 나왔는데 이 방법의 특성상 이동평균 시간이 길수록 평활화의 정도가 높은 곡선을 얻을 수 있으나 예측자-수정자 방법의 적용구간이 길어지는 단점이 있으므로 실무에 적용할 때에는 적절한 이동평균 시간의

결정과정이 필요하다. 용어상 '예측치(Predictor)'라고 표현은 했지만 실제로는 아직 이동평균 값이 나오지 않는 과거에 대한 예측치를 의미한다.

본 연구에서는 1 시간 단위의 유입량을 산정한 후 6 시간 이동평균을 구하여 3 시간을 역이동시키는 방법을 적용하였다. 이 경우, 예측-수정 해야하는 데이터 개수는 3 개로서 3 시간 전의 이동평균-역이동 값을 시점으로 하여 실측된 3 개의 유입량을 대상으로 2차 회귀곡선을 산출해내고 이를 이용하여 예측치를 계산하였다. 그림 5는 1999년 9월 20일 06:00시부터 20일 24:00시까지의 1 시간 평균수위를 이용하여 계산된 유입량, 이동평균-역이동에 의해 계산된 20일 21:00시까지 계산 유입량, 20일 21:00시부터 20일 24:00시까지의 유입량 (예측치: Predictor) 및 이 예측치를 대체할 이동평균-역이동에 의한 유입량 (수정치: Corrector) 등을 나타내고 있다. 만약 현재 시각이 20일 24:00시라면 수정치는 아직 산출될 수 없지만 예측치와 비교를 위하여 같은 그림 내에 표시하였다.

4.2 비홍수기 유입량산정

기존 유입량 산정 방법에서는 발전 방류를 포함한 여러 가지 요인으로 인하여 시시각각 변하는 저수지의 수위를 기준으로 유입량을 산정하기 때문에 당연히 시간에 따른 진폭의 변화가 심하며 때로는 자연의 현상과는 결부시켜 설명할 수 없는 음유입량이 발생하기도 한다. 비홍수기에 댐 상류부에 강우가 없음에도 불구하고 시간 별로 급격한 유입량의 변화가 발생하였기 때문에 이와는 다른 별도의 방법에 의한 접근이 필요하게 되었다. 그래서 착안한 것이 저수지로 유입되는 하천에서 측정되는 수위의 변화 값을 반영하여 저수지로의 유입량을 산정하고자 하는 것이 새로운 방법의 기본개념이다. 비홍수기 유입량산정방법을 '98년 11월 9일 - 13일, 11월 24일 - 30일간의 수문사상에 대하여 각각 적용하였으며, 그 기간의 수문현황은 표 2와 같다.

영춘지점 수문곡선을 이용하는 방법은 우선 유입량 산정의 시작점을 정하는 일로부터 시작된다. 이 시작점을 기점이라고 보고 기점에서부터 현재 시점까지의 저수지 수위 변화에 따른 저수용량의 총 체적변화, 그 기간 동안의 발전 방류량 (체적으로 환산) 등을 고려하여 총유입량을 구해 놓고 이 양을 영춘지점 수문곡선의 변화에 일치하게 비율 배분하는 방법이다. 이렇게 하여 산정된 유입량은 그림 6 및 7과 같으며, 기존 방법에 의해 구한 유입량은 그 진동 폭이 매우 크고 음유입량도 발생하고 있음을 알 수 있는데 이에 비하여 새로이 제안된 방법에 의해 산정된 유입량은 그 변화가 매우 적다는 것과 음유입량이 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 현재의 저수지 유입량 산정방식에서 중요한 문제점으로 드러난 음유입량과 톱니바퀴 형태의 유입수문곡선에 대하여 음유입량을 제거하고 연속적인 형태의 부드러운 유입량으로 산정하는 방법론을 제시하는 것이 목적으로서 기존 유입량 산정 방법상의 문제점과 원인을 도출하였고, 도출된 문제를 해결하기 위하여 홍수기와 비홍수기별로 저수지 유입량 산정 기법을 각각 정립하여 '98년과 '99년의 수문자료에 대하여 적용함으로써 이 방법에 의하여 산정한 유입량과 기존 방법에 의하여 구한 유입량을 총유입량, 유입수문곡선의 평활화 및 음유입량 제거 등에 대하여 각각 비교하여 저수지 유입량 산정방법의 개선 효과를 검증하였다.

본 연구의 수행으로부터 얻은 주요 연구성과는 1) 저수지 수위와 방류량 변화에 따른 유입량의 변화를 파악하기 위해서 시간 구간이 짧은 자료가 필요하므로 수문자료의 취득을 위한 1분 주기의 '*.log' 파일 취득 및 처리 프로그램을 작성 2) 충주댐 상류의 영춘지점 수위 3.20m를 기준으로 홍수기와 비홍수기로 구분하여 각각에 대한 유입량 산정방법 정립 3) 정립한 유입량 산정방법을 이용하여 비홍수기는 '98년 11월의 수문자료를 선정하여 동 기간중 저수지의 저류용량 변동량을 저수지상류 영춘지점의 수문곡선 분포로 배분하는 방법으로, 홍수기에 대해서는 '99년 9월 홍수 수문자료를 선정하여 이동평균-역이동 및 예측자-수정자 방법으로 저수지 유입량을 산정하여 각각 기존의 유입량 산정결과와 비교결과 4) 기존방법에서 주된 문제였던 유입수문곡선의 평활화 및 음유입량을 확실하게 제거함으로써 유입량 산정방법을 탁월하게 개선시켰다.

6. 참고문헌

건설교통부, 댐시설 유지관리기준, 1994.

한국수자원공사, 저수지 유입량 산정방법 개선, 수자원연구소보고서, WRRI-WR-99-4, 1999.

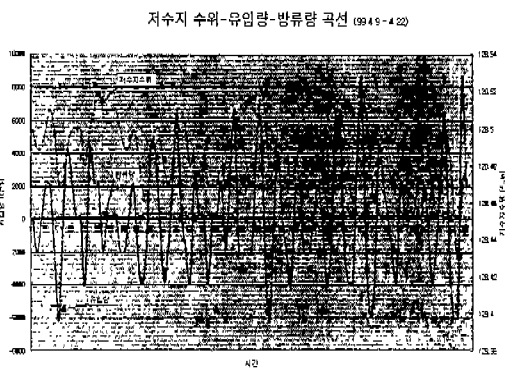


그림 1. 저수지 수위-유입량-방류량간의 관계 곡선

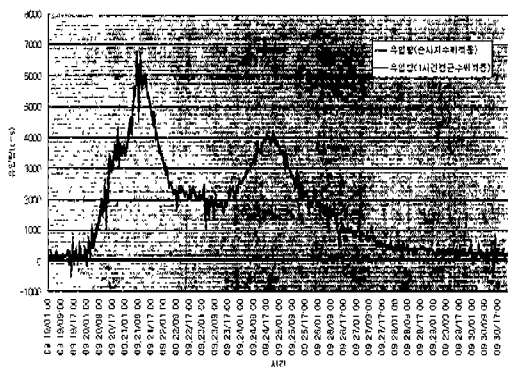


그림 3. 수위가 다른 경우의 유입량산정 결과 비교

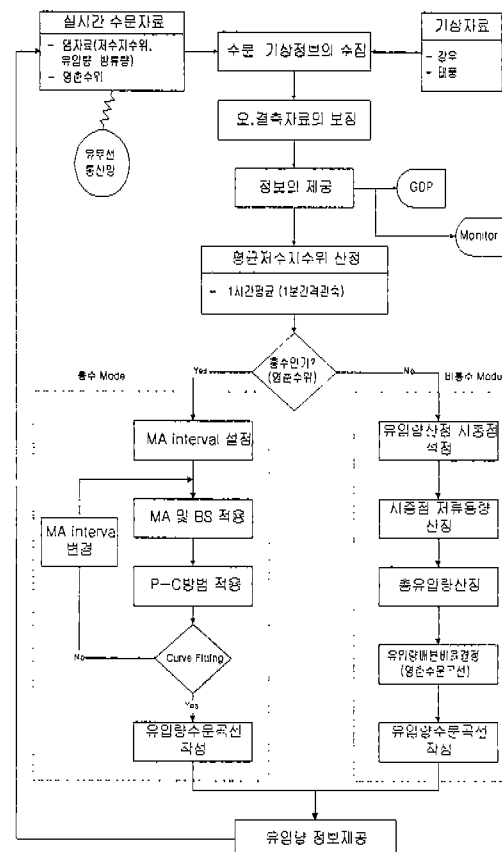


그림 2. 유입량 산정방법 적용절차

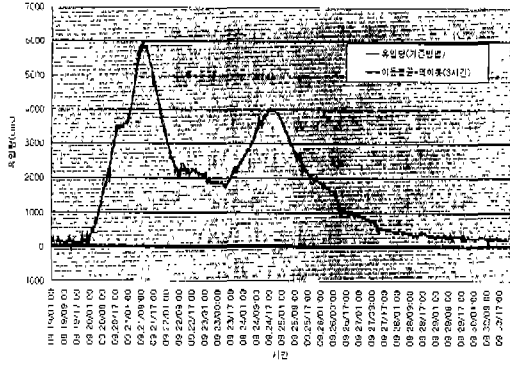


그림 4. 유입량에 대한 이동평균-역이동 적용(3시간)

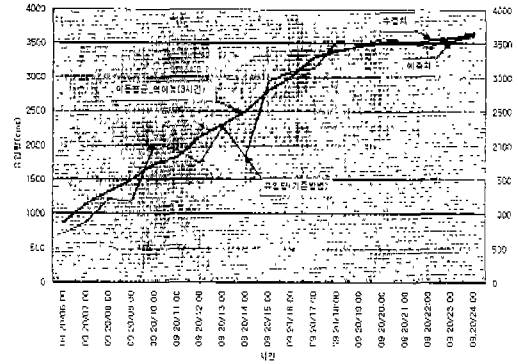


그림 5. 예측자-수정자에 의한 유입량 산정(1999.9.20 06:00-9.20 24:00)

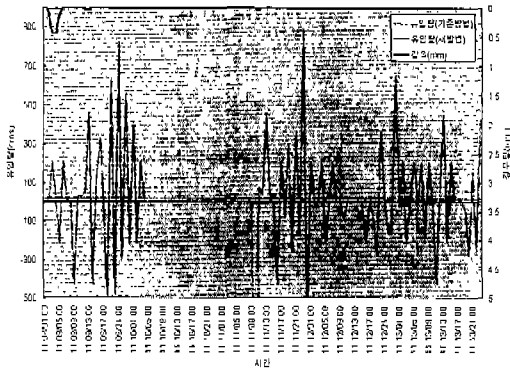


그림 6. 유입량 산정결과 비교 ('98.11.9-11.13)

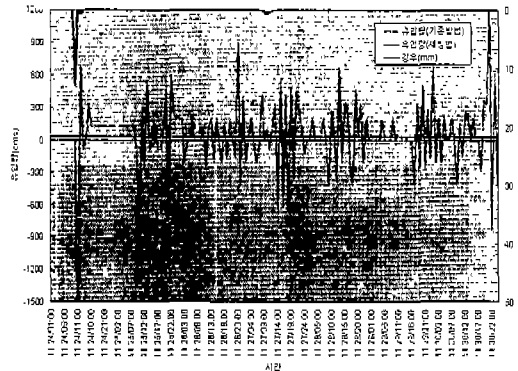


그림 7. 유입량 산정결과 비교 ('98.11.24-11.30)

표 1. 홍수사상의 수문현황

기간	강우 (mm)	초기수위 (El. m)	초기저류량 (MCM)	말기수위 (El. m)	말기저류량 (MCM)	총방류량 (MCM)	총유입량 (MCM)
'99. 9.19 - 9.30	266	133.415	1,785.9	140.438	2,325.6	1,223.8	1,763.5

표 2 비홍수사상의 수문현황

기간	강우 (mm)	초기수위 (El. m)	초기저류량 (MCM)	말기수위 (El. m)	말기저류량 (MCM)	총방류량 (MCM)	총유입량 (MCM)
'98.11.9 - 11.13	1.15	136.608	2,023.95	136.219	1,993.87	37.65	7.56
'98.11.24 - 11.30	2.14	135.390	1,930.76	135.024	1,903.33	54.50	27.08