

자동유량측정 자료의 개선을 위한 필터링 방법의 적용

Application of Filtering Method to Improve the Quality of Automatically Measured Discharge Data

장권희* · 김치영** · 김수전*** · 김형수****

Kwon Hee Chang, Chi Young Kim, Soo Jun Kim, Jae Hyun Song, Hung Soo Kim

요 지

최근 우리나라는 물 부족 국가로서 물의 효율적 관리 필요성 증대, 기후변화에 따른 가뭄·홍수 피해 증가 등으로 신뢰성 있는 수문자료구축이 필요성이 요구되고 있다. 그 중 유량측정 분야는 모든 수자원 계획과 관리의 근간이 되는 분야로 그 중요성 또한 간과 할 수 없는 부분이다.

현재 우리나라에서는 한국건설기술연구원 산하 유량조사사업단에 의해 유량측정 주요지점에 자동유량측정 시설을 설치하고 이를 운영함으로써 각 지점의 특성에 따라 적절한 방식을 채택하여 이동시간차방식 초음파유속계(UVM, Ultrasonic Velocity Meter)와 도플러방식 초음파유속계(ADVM, Acoustic Doppler Velocity Meter)를 설치하면서 향후 수문계측 분야 선진화를 위한 기초자료를 제공하고 있다. 하지만 실시간·무인화 계측시스템에 의해 제공되는 자료가 양질의 자료임을 보장할 수 없는 현실이기 때문에 측정된 기초자료의 필터링을 통한 자료의 질적 개선이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존에 전산분야의 필터링 방법으로 널리 알려져 있는 LPF(Lowpass Filter)와 KF(Kalman Filter)를 이용하여 자동유량측정 자료의 필터링 방법으로 활용하고, 그 적용성을 검토하였다. 본 연구를 통해 기존 유량자료의 문제점을 개선하고 효율적인 유량조사를 위한 기초자료 확보 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 자동유량측정, Lowpass Filter, Kalman Filter

1. 서 론

수문자료는 수자원의 효율적인 관리를 위한 기본적인 사항으로 특히, 수위 및 유량은 수리·수문학적 해석, 물 관리 및 하천계획에 없어서는 안되는 가장 기초적인 자료이기 때문에 신뢰도 높은 자료의 확보가 필요하다. 따라서 현재 우리나라에서는 한국건설기술연구원 산하 유량조사사업단에 의해 자동유량측정시설이 주요지점에 설치되었고, 대표적으로 이동시간차방식 초음파유속계(UVM, Ultrasonic Velocity Meter)와 도플러방식 초음파유속계(ADVM, Acoustic Doppler Velocity Meter)를 설치하였으며, 이를 운영함으로써 각 지점의 유량을 측정하고 있다.

본 연구의 목적은 유량측정 주요지점에 설치된 자동유량측정시설을 통해 얻은 원시자료를 필터링 함으로써 보다 효율적이고 정성적인 유량 자료를 획득하는 것이다. 자동유량 측정 시설은 유속

* 비회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : jkhmail0624@naver.com)

** 정회원 · 유량조사사업단 유량조사실 (E-mail : cy_kim@hsc.re.kr)

*** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : soojuny@empal.com)

**** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 정교수 · 공학박사 (E-mail : sookim@inha.ac.kr)

계 및 부자에 의한 유량측정 방법보다 정확한 방법이지만 양질의 자료를 구축하기 위한 노력이 필요하고, 불필요한 오차를 제거해야 하는 과제가 남아있다. 그렇기 때문에 본 연구를 통해 여주, 적성, 통일대교, 한강대교의 7, 8, 9월의 10분단위의 유량자료를 Kalman Filter와 Lowpass Filter를 이용하여 효율적인 유량조사를 위한 기초자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 적용 및 분석

2.1 기본 이론

2.1.1 Lowpass Filter(LPF)

디지털 신호가 시시각각 변동하는 경우 측정 데이터에 잡음이 포함된다. 이러한 경우 측정 데이터로부터 잡음을 제거하고, 원신호를 구하는 과정이 필터링이라 한다.

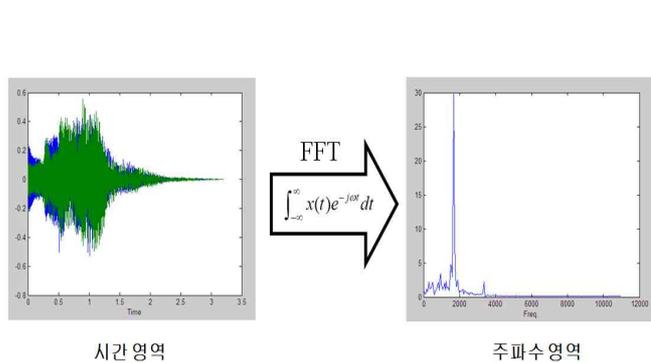


그림 1. 푸리에 변환 (Fourier Transform)

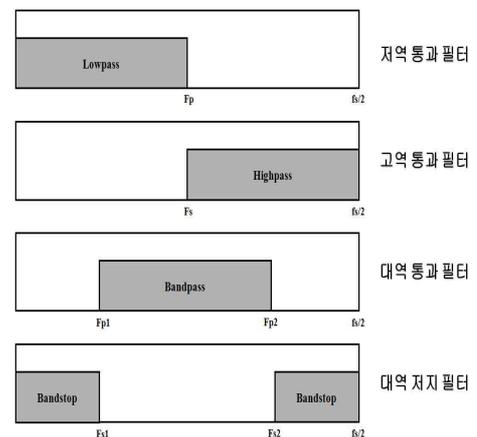


그림 2. 주파수 선택적 필터

잡음이 섞인 자료를 필터링을 통해 제거하는 과정에 있어서 입력신호의 특성을 분석하는 과정이 필요하고, 시간영역의 자료를 주파수 영역의 형태로 변환을 위해서 푸리에변환(Fourier Transform)을 이용한다(그림1). 푸리에 변환을 통해 얻은 주파수 영역의 자료를 각각 설계된 필터를 통하여 잡음을 제거 할 수 있다. 그림 2는 입력값의 특성에 따른 필터의 종류와 특성을 나타내었고, 본 연구에서는 Lowpass Filter(저역통과필터)를 사용하였다.

본 연구에서 사용한 LPF의 특징에는 원신호는 비교적 완만하게 시간변동하며, 낮은 주파수 성분을 가진다는 것이 있다. 그리고 잡음은 불규칙적이고, 시간적으로 급히 변동하는 성질이 있으며 높은 주파수 성분을 가진다는 특징이 있다. 그리하여 LPF의 경우 잡음 성분이 조금 남더라도 원신호에 가까운 추정값을 구할 수 있다.

2.1.2 Kalman Filter(KF)

칼만 필터는 피드백 제어(feedback control)의 형태를 사용하여 상태를 추정한다. 상태 추정의 방법에는 Filtering, Smoothing, Prediction의 세 방법이 있다. Filtering은 모든 과거 자료들에 기초하여 현재 시간의 상태를 추정하는 것이고, Smoothing은 모든 과거 자료들과 현재 자료들에 기

초하여 과거 상태의 추정을 하는 것이다. Prediction은 현재 및 과거 자료들에 기초하여 미래 상태의 추정을 하는 것이다.(장석근,2002) 본 연구에서는 Filtering 기법과 Smoothing 기법을 적용하였다.

그리고 칼만 필터는 몇몇 시간의 상태를 추정하고, 결과의 측정을 통하여 피드백으로 받아들인다. 이것으로 칼만 필터는 시간 업데이트(time update) 방정식과 측정 업데이트(measurement update) 방정식의 두 부분으로 나뉘어진다. 시간 업데이트 방정식은 이전 상태와 오차 공분산을 이용하여 다음 시간 단계에서 사용할 이전 추측을 계산하는데 사용된다. 측정 업데이트 방정식은 피드백으로서 사용된다.

시간 업데이트 방정식은 예측(predict) 방정식으로서 생각될 수 있고, 측정 업데이트 방정식은 수정(correct) 방정식으로서 생각될 수 있다. 결론적으로 최종 예측 알고리즘은 그림에서와 같이 수치적인 문제를 풀기 위한 예측-수정 알고리즘으로 구성된다.

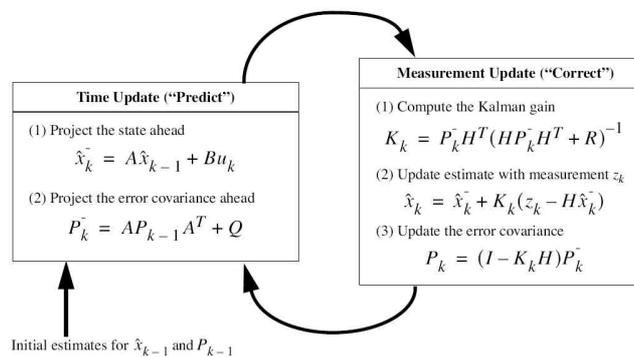


그림2. 칼만 필터 사이클

알고리즘을 시작하기 위해서는 먼저 Kalman gain K_k 를 구한다. 그 다음 단계는 실제 측정을 통하여 z_k 를 얻는 것이며 그 후에 이후 상태 추측을 만들어 내고 마지막으로 이후 오차 공분산을 계산하는 것이다.

시간과 측정 업데이트는 새로운 이전 추정이 이후 추정에 반영되어 적용된다. 이것이 칼만 필터의 특징 중의 하나인 재귀적인 방법으로 계속 된다. 칼만 필터는 모든 과거 측정이 현재 추측에 재귀적으로 사용된다.

실제 필터의 구현에 있어서, 측정 잡음 공분산 R 을 측정하는 것은 일반적으로 가능하다. 필터의 동작 중에도 시스템의 측정이 필요하기 때문에 측정 잡음공분산 Q 를 결정하는 것은 어렵다. 때때로 상대적으로 단순한 시스템 모델링 수용할 만한 Q 를 직접 만들어 낼 수도 있다.

그 외의 경우에, 합리적으로 변수를 선택하였는지 아닌지와 상관없이, 필터 변수 Q 와 R 은 튜닝을 통하여 얻을 수 있다. 튜닝은 주로 오프라인으로 구성되며, 종종 시스템을 규명하는데 다른(별도의) 칼만 필터를 사용한다.

Q 와 R 이 실제 상수인 조건에서는 측정 오차 공분산 P_k 와 Kalman gain K_k 는 아주 빠르게 안정되고 상수로서 남아 있을 것이다. 이런 경우에는 이들 변수들은 오프라인으로 필터를 실행해서 사전에 계산될 수 있지만, 빈번히 측정 오차는 상수로서 남아있지 않고 때때로 시스템 잡음 Q 도 필터 동작 중에 유동적으로 변화한다.

2.2 결과 및 분석

다음 그림은 필터링을 적용한 여주, 적성, 한강대교, 통일대교 지점 중 여주 9월과 한강대교 8월의 결과를 대표적으로 필터링된 결과를 보여 주는 것으로 측정값과 Kalman Filter, Lowpass Filter의 결과를 볼 수 있다. 또한 그림 2-b는 보다 자세히 보여 주기 위해 분석 결과를 확대해 놓은 그림이다.

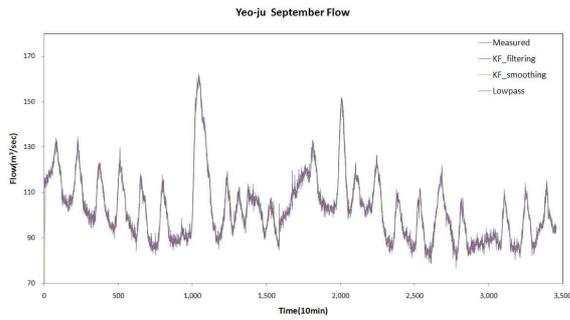


그림 4.a 여주지점 유량자료 필터링

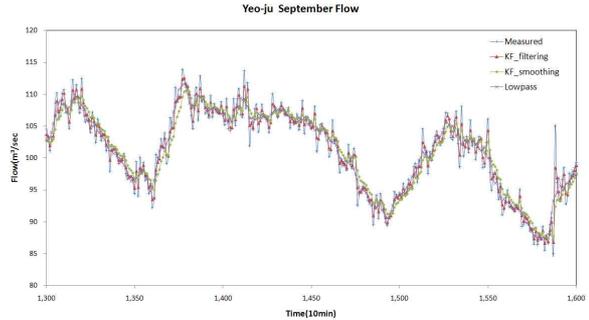


그림 3.b 여주지점 유량자료 필터링(확대)

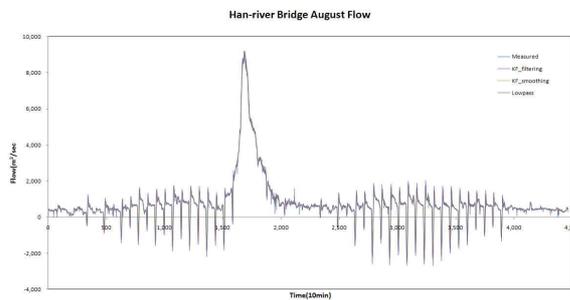


그림 4.a 한강대교 지점 유량자료 필터링

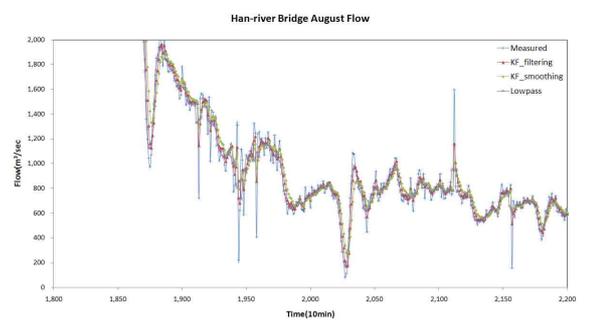


그림 4.b 한강대교 유량자료 필터링(확대)

그림 2,3 에서 확인 할 수 있듯이 측정값의 노이즈가 제거되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 표1 에서 알 수 있듯이 필터링 적용 결과 Lowpass Filter의 결정 계수가 대부분 1에 가까워 가장 평이하고 보편적으로 사용할 수 있는 값들을 나타냄을 볼 수 있었고, Kalman 필터의 경우 잡음이 많은 지점 및 구간에서 관측 자료의 특성이 반영되어 보다 질적인 수위-유량 자료를 구축할 수 있었다. Kalman Filter의 경우 유량이 작을 때 상관계수에 따라 관측 값이 Shift 되는 결과를 보이기도 하였고, 이 특성은 Smoothing 기법의 경우가 더 크게 작용하였다.

표 3. 각 지점의 결정계수

여주	KF_filtering	KF_smoothing	LPF	적성	KF_filtering	KF_smoothing	LPF
7월	0.99938	0.99805	0.99938	7월	0.99947	0.99808	0.99960
8월	0.99968	0.99714	0.99965	8월	0.99956	0.99758	0.99992
9월	0.99602	0.95827	0.98156	9월	0.99750	0.98824	0.99977
통일대교	KF_filtering	KF_smoothing	LPF	한강대교	KF_filtering	KF_smoothing	LPF
7월	0.99737	0.99244	0.99855	7월	0.98703	0.99273	0.99686
8월	0.99825	0.98978	0.99951	8월	0.98703	0.95905	0.99562
9월	0.86197	0.83798	0.99504	9월	0.95028	0.76830	0.97751

3. 결론

본 연구는 2007년에 유량조사사업단에 의해 신설된 자동유량측정시설의 대상지점에서 관측되는 유량 자료를 필터링을 통해 보다 정확한 자료를 확보하여 효율적인 물 관리를 위한 자료를 확충하는데 기여하고자 한다. 또한 각 지점의 시계열 분석을 통해 각 유역의 특성을 파악하고, 특성에 맞는 필터링 기법을 적용하고자 하였다.

필터링 기법 적용 결과 LPF 및 KF의 특성에 맞게 노이즈가 제거 되는 것을 확인 할 수 있으며, LPF는 가장 평이하고, 보편적으로 사용할 수 있다는 장점이 있는 반면 과거의 자료와 미래의 자료가 있어야 하므로 실시간 필터링이 불가능 하다. KF는 매개변수에 따라 잡음 제거 정도를 조정할 수 있으며, 과거의 측정치를 통해 매개변수를 산정하기 때문에 실시간 필터링이 가능하다. 또한 KF는 조석의 영향이 있거나 수위 변동이 심하여 노이즈가 많이 발생하는 지점에 유용할 것으로 판단된다.

따라서 향후 실시간으로 품질검사 및 시계열 분석에 의한 예측을 함께 수행한다면 장비에 문제가 발생했을 때 예측자료를 통하여 장비의 오작동에 의한 불량정보를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 자동유량측정장비의 결과와 타 지점(예: 수위관측소 지점)의 상관관계를 사전에 구축하여 문제가 발생했을 때 대비할 수 있는 기법이 개발되어 본 연구에서 수행한 필터링 기법과 함께 적용된다면 장비의 오작동 문제를 효과적으로 해결할 수 있으며 자동유량 측정시설로부터 수집한 자료의 품질을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 유량조사사업단 [자동유량측정시설 운영관리시스템 유량산정방법 개선] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Greg Welch, Gary Bishop. (2001), "An Introduction to the Kalman Filter"
2. ROBERT K. OTNES, LOREN ENOCHSON (1972), "Digital Time Series Analysis"
3. 건설교통부 한강홍수통제소. (2007), "자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서"
4. 이채욱 외. (2008), "디지털 신호처리 및 필터 설계"
5. 장석곤. (2002), "Kalman Filter를 이용한 충주댐 유입량 예측기법의 결합"