웨이블렛변환을 이용한 자동유량측정 성과 분석

Analysis for Automatic Discharge Acquisition Using Wavelet Transform

오 창 열*, 노 영 신, 이 민 호***, 황 석 환****, 정 성 원*****

Oh, Chang Ryeol, Roh, Young Sin, Lee, Min Ho, Hwang, Seok Hwan, Jung, Sung Won

1. 서론

조석 현상은 지구와 달 그리고 태양의 인력 효과와 지구의 중력의 평형에 의해 발생하는 해수면의 주기적 승강운동을 의미하는 것으로서 조석의 지배를 받는 수위관측소는 약 기왕고극조위 이하의 수위에 대한 유량결정에 많은 어려움을 수반하고 있다. 또한 감조하천 구간에서는 흐름방향의 변화와 더불어 유량 값 역시 시시각각으로 큰 변동성을 갖고 있음에 따라 약 기왕고극조위 이하에 대한 수위-유량관계곡선식 개발은 제한적인 가정에 근거하고 있다.

이러한 감조하천에서의 유량측정 기술 개발로 유량자료가 생산되고 있는 한강대교 지점의 자동유량측정 성과에 대하여 강우에 의한 유출성분과 조위성분을 추출하고자 한다. 최종 분해된 자료에 대한 검증방법으로는 한강대교에 지대한 영향을 주는 팔당댐 방류량과 최종 분해된 유출성분의 총량 비교를 실시하였다.

2. 이론적배경

웨이블릿 변환의 기저 함수로 사용되는 $\Psi(t)$를 모함수(mother wavelet)라고 하며 그 수학적 표현은 식 (4)와 같다. 식 (1)은 기저 함수의 스케일링과 전이를 나타내며, 여기서 a는 스케일링을 결정하는 값이고, b는 함수를 얼마나 이동시킬 것인가를 결정하는 값이다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi(\frac{t-b}{a}), \quad a,b \in R \tag{1}$$

웨이블릿 변환은 식 (1)에서 모함수를 b만큼 이동하고 a에 의해 크기가 변화하는 웨이블릿 함수를 사용한다. 이는 고주파로 갈수록 웨이블릿은 함수의 폭이 좁아지고, 저주파로 갈수록 함수의 폭이 넓어지는 것을 나타낸다. 웨이블릿 변환은 웨이블릿 기본 함수들의 중첩으로 임의의 함수를 표현하는 것이며, 이러한 웨이블릿 기본 함수들의 중첩은 각각 다른 스케일 레벨을 가지고 임의의 함수를 만들어 내며, 각 레벨은 그 레벨에 맞는 해상도를 가지게 된다. 결국 이산형 웨이블릿 변환은 각각의 스케일과 전이항에 의해 다음 식 (2)와 같다.

* 정회원 · 유량조사사업단 품질정책실 그룹장 · E-mail : croh@kict.re.kr
** 정회원 · 유량조사사업단 연구개발실 그룹장 · E-mail : rohys@kict.re.kr
*** 정회원 · 건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 연구사 · E-mail : jwlee@kict.re.kr
**** 정회원 · 유량조사사업단 품질정책실 실장 · E-mail : sukany@kict.re.kr
***** 정회원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

$$f(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{J,k}\phi_{J,k}(t)+\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{jk}\,\psi_{j,k}(t) \quad (2)$$

여기서 J는 최대 분해단계를 나타내며 일반적으로 자료의 수에 따라 그 값이 결정된다. 최대 분해단계에 의해 도출된 계수인 $a_{J,k}$는 가장 낮은 주파수 성분 즉 가장 넓은 스케일 영역을 나타내며 대상자료($f(t)$)와 스케일링 함수($\phi_{J,k}(t)$)의 내적에 의해 산정된다. 반면에 각각의 이산형 스케일 j와 전이항 k에 의해 산정되는 $d_{j,k}$는 최대 분해단계 이전의 각 단계에서의 주파수 성분들에 대한 계수들이며, 원자료($f(t)$)와 웨이블릿 함수($\psi_{j,k}(t)$)의 내적값이다(Daubechies, 1992).

3. 대상지점 및 자료

본 연구의 대상지점은 한강 유역인 서울시 동작구 노량진동 한강대교(경도 126° 57‘ 30“, 위도 37° 30’ 35”)에 위치하고 있으며, 유역면적은 24,771.6㎢이다. 1918년 8월 보통수위표로 한강대교 하류 좌안 제방에 설치하여 관측을 시작하였다. 1962년 12월 좌안에서 북쪽으로 약 70m 지점으로 변경되었고, T/M 수위계로 한강홍수통제소에서 관리하고 있는 지점으로서 한강 본류를 대표하고, 홍수예경보 업무의 기준이 되는 지점이다.

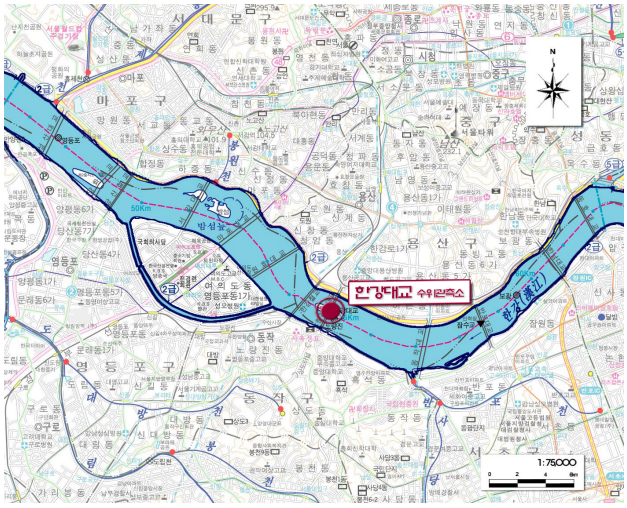

그림 1. 대상지점 위치도

한강대교의 흐름특성은 서해(yellow sea)의 조석영향을 받는 구간으로서 동수위에서 다양한 유량값을 갖는 감조하천 구간에 해당한다.

이러한 수위관측소 지점의 중요성과 감조하천 특성에 근거하여 한강홍수통제소는 한강대교는 남단과 북단에 각각 회전식 ADVM 2대를 2005년 12월 설치 완료하여 2007년 3월부터 현재까지 정상 적인 유량자료를 생산하고 있다.

본 연구의 대상자료는 한강대교지점의 2007년 6월 1일 00시 00분부터 2007년 12월 31일 12시 50분까지 총 30,816개의 자료를 이용하였으며, 기술통계 분석 결과는 표 1과 같다. 첨두유량은 8월 9일 23시에 10,664.2m^3/sec로 나타났으며, 평균은 822.8m^3/sec, 왜도는 2.4, 첨도는 12.5로 정규분포에 비하여 우측으로 편향되고, 뾰족한 분포를 갖는 것으로 분석되었다.

표 1. 한강대교 유량자료의 기술통계 분석

	Max	Min	Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
한강대교 유량	10,664.20 ‘07-08-09 23:00	-4,066.30 ‘07-10-27 20:20	822.79	1,328.06	2.39	12.53

4. 웨이블렛 변환 검토

웨이블렛 변환의 적용에 앞서 웨이블렛 함수의 선택과 최적파형 분해단계의 결정은 대상 자료의 주기성 및 본질적인 거동 특성 파악에 중요한 결정 요건이다. 따라서 본 연구에서는 조석의 영향에 의한 반일주조형의 특성을 갖는 한강대교 지점의 수위자료임에 따라 Daubechies의 'db1'부터 'db45'의 다양한 웨이블렛 함수 중 재현기간 24시간 이상 해석이 가능하고 원시계열과 최종분해단계 근사성분과의 상관계수가 높은 기준으로 웨이블렛 함수를 선택하였으며 그 결과 'db10' 으로 나타났다.

이와 더불어 웨이블렛 변환 함수의 적용에 있어서 중요한 결정 요건인 최적파형 분해단계(level)는 일반적으로 다음 식 (3)에 의해 결정되며, 10단계로 나타났다.

$$level = fix\left(\frac{\log(D_{length}/(S_{size}-1)}{\log(2)}\right) \tag{3}$$

여기서, D_{length}는 원시계열의 길이, S_{size}는 각 웨이블렛 함수의 길이, $fix()$ 함수는 소수점 이하를 절사하는 함수로서 원시계열의 길이, 즉 D_{length}에 의해 결정된다.

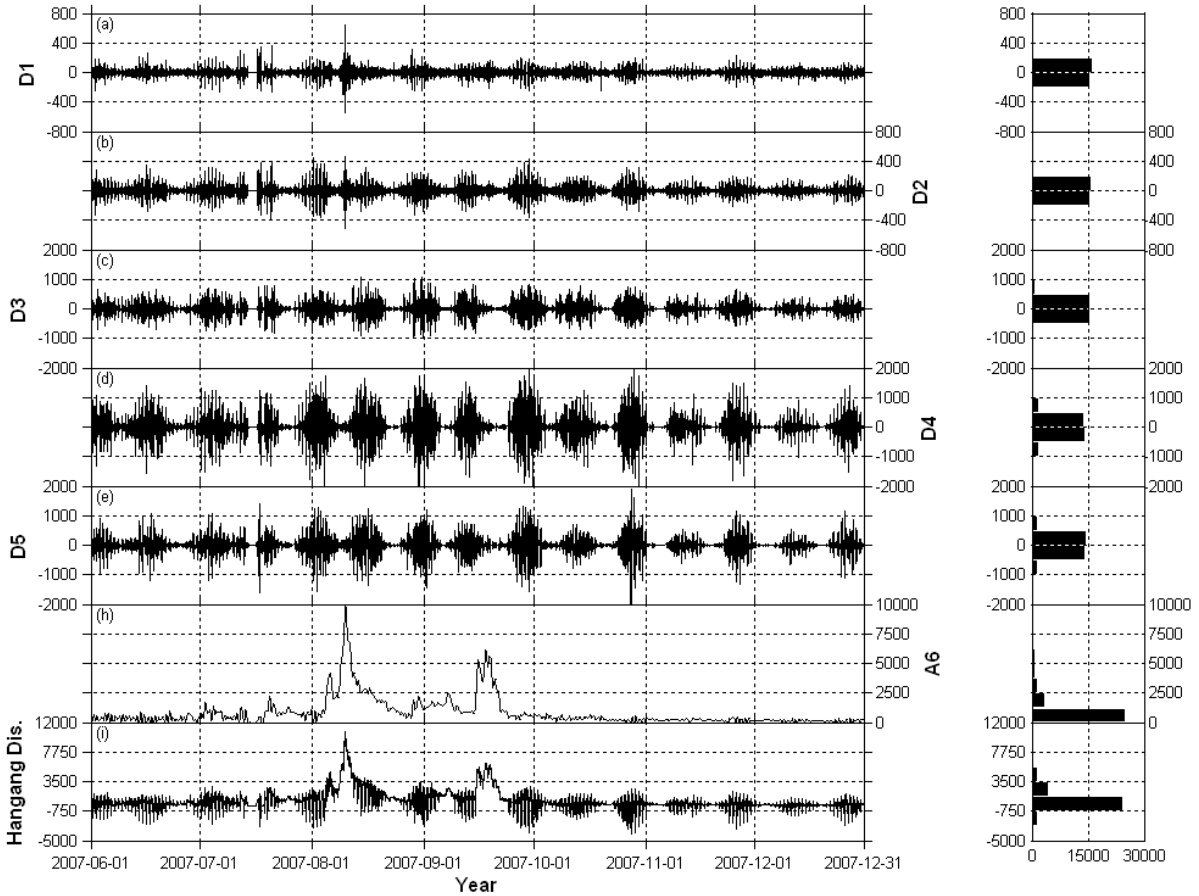

그림 2. 원자료 및 각 단계별 시계열 그래프와 히스토그램

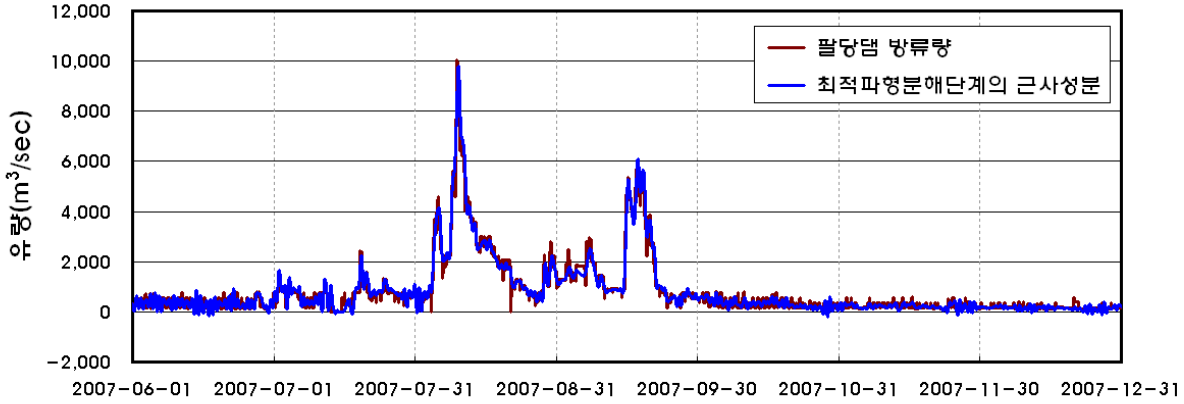

그림 3. 팔당댐 방류량과 최적파형분해단계의 근사성분간의 도식적 평가

곽필정(2006) 등은 최적파형분해단계를 크게 가져갈 경우 원자료를 평활화함에 따라 그 특성이 크게 왜곡됨을 지적하였으며, 최적파형분해단계 결정 방법으로 원자료와 최적파형분해단계의 근사성분간의 상관분석을 통해 결정한 바 있다.

이에 근거하여 최종파형분해단계의 근사성분과 한강대교 지점과의 상관계수 값이 가장 좋은 것은 6단계로 나타났으며, 최적파형분해단계의 근사성분과 각 단계별 상세성분의 웨이블렛 변환 결과와 이에 따른 히스토그램은 그림 2와 같다.

그림 2를 살펴보면, 최적파형분해단계의 근사성분을 제외한 상세성분에서는 0을 중심으로 한 대칭분포를 갖고 있다는 것을 히스토그램이 잘 보여주고 있다. 또한, 최적파형분해단계의 근사성분은 큰 강우에 의한 홍수사상와 일치하여 재현하여 주고 있으며, 이는 그림 3과 표 3을 통하여 명확히 확인할 수 있다.

표 2. 팔당댐 방류량과 원자료 및 근사성분간의 상관분석

	한강대교 유량	최종파형분해단계의 근사성분
팔당댐 방류량	0.897	0.980

표 2. 한강대교 유량자료에 대한 웨이블렛 변환 결과

Level (j)	Scale (a=2^j)	Frequency (1/10min)	Period (10min)	Energy (%)	Max	Min	Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
D1	2	0.3421	2.9231	0.04	638.97	-550.74	0.00	31.67	0.44	30.48
D2	4	0.1711	5.8462	0.08	457.18	-508.06	-0.00	43.26	0.09	15.49
D3	8	0.0855	11.6923	1.04	1,091.16	-929.99	0.01	159.68	0.10	8.19
D4	16	0.0428	23.3846	4.49	1,992.13	-2,073.50	0.01	331.49	-0.08	8.62
D5	32	0.0214	46.7692	3.42	1,879.57	-2,190.12	0.02	289.16	-0.15	7.90
D6	64	0.0107	93.5385	2.64	1,200.66	-1,126.32	-0.01	253.71	-0.01	5.79
A6	〃	〃	〃	88.29	9,809.10	-192.36	822.77	1,215.52	3.29	16.43

5. 결론

본 연구는 감조하천인 한강대교 지점의 자동유량측정 성과에 대하여 강우에 의한 유출성분과 조위성분을 추출하기 위하여 시간과 주파수영역에서 유연한 분해능을 갖는 웨이블렛 변환을 적용하였다. 이에 따른 방법론으로는 웨이블렛 변환함수 'db10'를 적용하여 6단계까지 분해하였으며, 상류의 팔당댐 방류량과 한강대교 유량자료에 대한 최종파형분해단계의 근사성분을 활용하여 검증한 결과는 다음과 같다.

(1) 최종파형 분해단계의 근사성분은 가장 큰 에너지 값은 88.29%를 나타내었으며, 상세성분 중 반일주조형의 주기성(약 13시간)을 갖는 D6의 에너지 값은 2.64%으로 나타났다.
(2) 팔당댐 방류량과 한강대교 유량자료간의 상관계수는 0.897을 나타내었으나 최종 분해된 최종파형분해단계의 근사성분인 유출성분과의 상관계수는 0.980으로 분석되었다. 또한 팔당댐 방류량과 유출성분간의 도식적 평가에서도 일치함을 직관적으로 판단할 수 있었다.

이상의 연구결과는 수문자료에 대한 특성분리의 가능성을 보여주었으며 유출성분과 상류 지류의 유입 등을 고려한 물수지 분석 등을 적용한 심화연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 곽필정·오창열·진영훈·박성천(2006), "웨이블렛 변환과 인공신경망을 이용한 일 TOC 자료의 예측에 관한 연구", 한국물환경학회지, 22(5), pp. 952~957.
2. Daubechies, I.(1992), "Ten lectures on wavelets", Soc. for Ind. and Applied Math., Philadelphia, PA.