

## 한강 하구부에서 결측된 탁도 자료의 보완

### Filling Analysis for Missing Turbidity Data in Han River Estuary

백 경 오\* / 조 흥 연\*\* / 이 삼 희\*\*\*

Baek, Kyong Oh / Cho, Hong Yeon / Lee Sam Hee

#### Abstract

Turbidity had been measured during five months in Han River estuary at three sites. In this process, missing data occurred due to gauge imitation of the turbidity sensor. A filling method for the missing turbidity data was newly developed in this study. Under the assumption of the time series data with unique period and different amplitudes, the new method can fill the missing data based on the area ratio of each cycle. And the new method was verified through the data set having no missing data. There were little differences between gross area of the original data and that of the revised data by the new method though values of peak were underestimated. As a result, missing turbidity data observed at Han River estuary could be appropriately filled using the new filling method.

**keywords** : turbidity, estuary, time series, missing data, filling method

#### 요 지

한강 하구부의 3개 지점에서 수중 계류방식으로 약 5개월에 걸쳐 탁도를 관측하였다. 이 과정에서 관측기기의 한계로 인해 탁도 자료의 결측치가 발생하였고, 이를 효율적으로 보완하기 위해 본 연구에서는 새로운 결측치 보완기법을 개발하였다. 개발된 기법은 시계열 자료가 단일주기와 상이한 진폭을 갖는다는 가정하에, 각 사이클의 면적비율을 통해 결측치를 보완하는 방법이다. 이 기법을 결측되지 않은 정상적인 자료로 검증해 보면, 첨두치가 약간 과소 산정되는 경향이 있으나 총 면적은 보완 전, 후에 거의 차이가 없었다. 따라서 새로운 기법을 바탕으로 한강 하구부에서 관측된 탁도자료의 결측치를 합리적으로 보완할 수 있었다.

**핵심용어** : 탁도, 하구, 시계열 자료, 결측치, 보완기법

#### 1. 서 론

하구부(estuary)는 하천의 담수와 바다의 염수가 조

석 운동에 의해 교차·혼합되는 영역으로서, 조석과 하천 흐름의 교차로 복잡한 흐름이 발생하고, 이로 인한 유로 및 하상변동이 야기된다. 하구부의 하상변동은 크

\* 한국건설기술연구원 박사 후 과정  
Post-doctor, Korea Institute of Construction Technology, Korea  
(e-mail: kopaek1@kict.re.kr)

\*\* 한국해양연구원 책임연구원  
Principal Researcher, Korea Ocean Research & Development Institute, Korea  
(e-mail: hycho@kordi.re.kr)

\*\*\* 한국건설기술연구원 수석연구원  
Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Korea  
(e-mail: samhee.lee@kict.re.kr)

계 하천의 흐름에 의해 하천 상류로부터 유사의 유입과 하안 측방의 침식에 의한 공급, 그리고 조석에 의해 하류로부터 유입하여 정체기에 퇴적되는 유사에 의해 결정된다. 하천관리를 위해서 하구부의 하상변동을 일으키는 가장 큰 원인이 하천 상류로부터 유입하는 유사인 지, 아니면 조석에 의해 하류로부터 유입하는 유사인 지, 혹은 하구부 내의 이동인지 규명하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 하천의 적절한 상·하류지점에서 유속 및 유사량을 장기적으로 관측하는 것이 필수적이다.

하구부에서 탁도(turbidity)나 부유사농도(suspended sediment concentration; SSC)의 장기적인 관측시, 측정기기의 관리소홀이나 오작동으로 인해 시계열자료의 결측치(missing data)가 발생할 수 있다. 특히 조석간만의 영향으로 탁도의 변동폭이 큰 하구부인 경우, 관측기기의 최대 관측 한계를 넘어서는 경우가 많아, 관측자료의 침두치가 결측되곤 한다(해양연구원, 2005). 이러한 경우 결측된 침두치를 합리적인 방법을 통해 정확히 보완(filling)해 줄 필요가 있다. 중·장기간의 수문시계열 자료의 경우, 경험적 방법(empirical method), 추계적 방법(stochastic method), 신경망 기법(neural network)등을 이용하여 결측치를 보완할 수 있다고 알려져 있다(수자원의 지속적인 확보기술 개발 사업단, 2004). 반면 하구부에서 관측된 수리자료들은 수문자료와 달리 단기간의 변동량 및 변동폭이 매우 심하여, 기존의 수문시계열 보완을 위한 기법들로 결측자료를 보완하기엔 어려움이 많다. 따라서 조석의 영향으로 강한 주기성을 내포한 수리자료(유속, 탁도, 조위 등)의 결측치를 보완할 수 있는 새로운 기법의 제안이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 수중 계류방식으로 약 5개월에 걸쳐 한강 하구부의 3개 지점에서 탁도를 관측하였다. 이 과정에서 관측기기의 한계로 인해 탁도 자료의 결측치가 발생하였다. 이를 효율적으로 보완하기 위해 새로운 결측치 보완기법을 개발하였다. 그리고 결측되지 않은 정상적인 자료 일부를 추출하여 개발된 기법의 적용성을

검토해 보았다. 검증과정을 통해 개발된 기법의 합리성을 확인 후 이를 관측된 탁도자료에 적용하여 결측치를 보완하였다.

## 2. 한강 하구부 탁도 관측

### 2.1 관측방법

본 연구에서는 한강하구부에서 장기적인 유속 및 탁도 관측을 수행하였다. 한강하류, 특히 신곡수중보 하류에서 흐름 및 탁도 특성에 대한 조사 사례를 찾기는 쉽지 않다. 그 이유는 이 구간이 민간인 통제구역 내에 위치하여 접근이 용이하지 않으며, 교량과 같은 횡단 구조물이 없고, 군사 훈련과 어로 작업으로 인해 선박의 운행에 어려움이 있기 때문이다. 건기연(2002)은 전류수위표 지점과 행주 수위표 지점(구 행주대교)에서 평시 및 홍수기 유속 및 부유사 특성을 조사 바 있다. 또한 건기연(2003) 및 Hwang 등(2005)은 전류 수위표 지점에서 수중 계류식 관측을 실시하여 대조와 소조를 포함하는 15일 간의 유속 및 탁도 자료를 획득하여 이를 분석한 바 있다. 본 연구에서는 신곡수중보 직상류와 직하류, 그리고 전류 수위표 지점 근처에서 5개월 이상 장기관측장비를 수중에 계류하여 유속 및 탁도를 관측하였다. 현장 관측의 개요를 Table 1에 정리하였고, 관측 지점을 Fig. 1에 도시하였다.

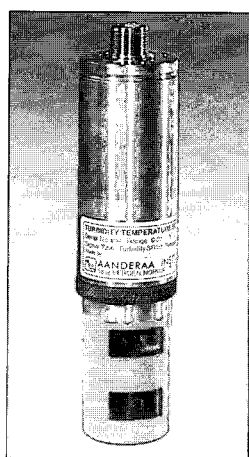
점유속계(point current meter; 모델명; RCM-9, Anderaa Instruments)를 이용하여 유속을 측정하였으며, 광학 탁도계(optical turbidity meter; 모델명; Turbidity/Temperature Sensor 3712, Anderaa Instruments)를 사용하여 탁도를 관측하였다. 이들 측정기기를 닻으로 고정된 고무 튜브 아래 약 2 m 지점에 설치하였고, 관측 시간 간격은 10분으로 설정하였다. Fig. 2에 관측 기기 및 관측 전경을 사진으로 나타내었다. 본 연구에서 사용된 광학 탁도계는 적외선을 수중에 투사한 후 수중입자에 의해 산란된 반사광의 세기로 탁도를 감지한다(Aanderaa, online). 따라서 같은 농도

Table 1. Outline of Field Survey

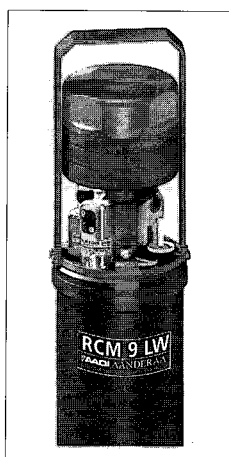
Station No.	Survey Period	Location	Longitude & Latitude	Apparatus (S.N.)
C1	2004/07/24 ~ 2004/12/22	Jullyu Station	Lat. 37°42' 20" Lon. 126°39' 55"	559
C2	2004/08/02 ~ 2004/12/21	Downstream of Singok Weir	Lat. 37°37' 06" Lon 126°47' 14"	373
C3	2004/07/24 ~ 2004/12/21	Upstream of Singok Weir	Lat. 37°36' 40" Lon. 126°47' 49"	839



Fig. 1. Survey Location at Han River Estuary



(a) Current-meter



(b) Turbidity Sensor



(c) View of Survey

Fig. 2. Apparatus and Survey

일지라도 구성입자의 표면적이 큰 경우에는 반사광의 세기가 높기 때문에 부유퇴적물의 입도 구성에 따라 탁도가 크게 다를 수 있다(Jerlov 와 Nielsen, 1974). 탁도계를 통해 수집된 자료의 단위는 NTU(nephelometric turbidity unit)이다. 이를 부유사 농도( $mg/l$ )로 환산하기 위해 탁도를 측정할 동일 지점에서 채수기를 이용한 채취시료를 실험실에서 분석한다. 실험실에서 분석한 자료와 현장에서 관측한 자료의 상관관계를 토대로 탁도와 부유사 농도 사이의 관계식을 구해 탁도 자료를

부유사 농도자료로 환산한다(조홍연과 김백운, 2003). 본 연구에서 사용한 탁도계의 측정한계는 기기마다 다르므로, 각 측정별 탁도와 부유사농도의 상관관계를 Fig. 3에 도시하였다. 측정점 C1에 설치된 기기는 0 ~ 100 NTU, 측정점 C2는 0 ~ 500 NTU, 그리고 측정점 C3는 0 ~ 25 NTU 범위를 가진다. 이를 Fig. 3의 관계식에 따라 부유사 농도로 환산하게 되면, C1의 기기는 최대  $1020 mg/l$ , C2는  $1559 mg/l$ , C3는  $1222 mg/l$ 까지 농도를 측정할 수가 있다.

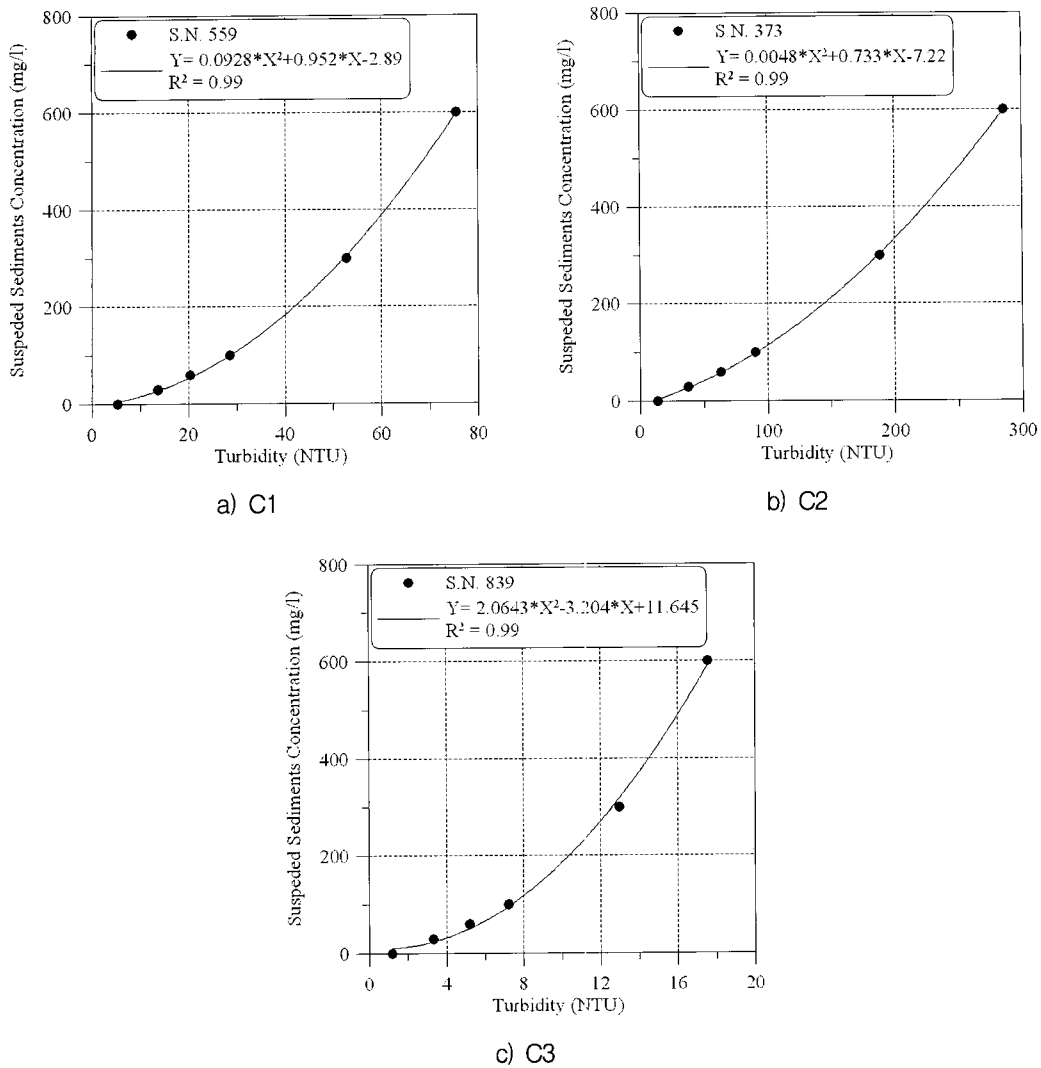


Fig. 3. Correlation between Turbidity and SSC at Each Station

## 2.2 관측 결과

부유사 농도를 관측한 지점들 중 대표적으로 C1지점의 관측결과를 수위, 팔당댐방류량 등과 함께 Fig. 4에 도시하였다. 이 그림을 보면 부유사 농도가 대략 1100 mg/l 이상인 경우 자료가 결측되었다. 그 이유는 앞서 언급하였듯이 C1지점에 설치된 기기의 최대 관측 농도는 약 1020 mg/l 이기 때문이다. 본 연구에서 사용한 탁도계가 주로 바다에서 사용할 수 있도록 개발된 제품인 까닭에 한강 하류부와 같이 고탁도의 하구역에서는 측정범위를 벗어났다. 물론 탁도계가 순간적으로 과잉반응을 보이는 경우도 있지만 전반적인 경향을 볼 때 C1 지점은 10월 이후에는 2,000 mg/l 이상의 고농도를 나타내는 것으로 추정할 수 있다. 이러한 고탁도는 상류에서의 방류량이 여름철에 많고 가을철 이후에는 줄어들어서 조석에 의한 영향이 상대적으로 커지기 때문으

로 추정할 수 있으나, 보다 정확한 분석을 위해서는 결측된 부유사 농도자료를 반드시 보완해야 한다.

## 3. 탁도자료의 보완법

본 연구에서는 시계열 자료가 단일주기(unique period)와 상이한 진폭(different amplitude)을 갖는다는 가정하에 선 사이클(preceding cycle)과 후 사이클(following cycle)의 면적비율을 이용하여 결측치를 보완할 수 있는 새로운 기법을 개발하였다. 먼저 진폭이 다르며 주기 T를 갖는 시계열자료를 단순 도식화하면 Fig. 5와 같다. 이 그림에서 후 사이클(C<sub>2</sub>) 구간 a에서 T-b사이의 관측값이 측정범위를 넘어서 결측되었고 가정한다. 이를 보완하기 위해 선 사이클(C<sub>1</sub>)에서 C<sub>2</sub>의 결측구간과 대응하는 구간(a ~ T-b)을 제외한 나머지 구간의 면적(S<sub>1</sub> + S<sub>2</sub>)을 계산한다. 그리고

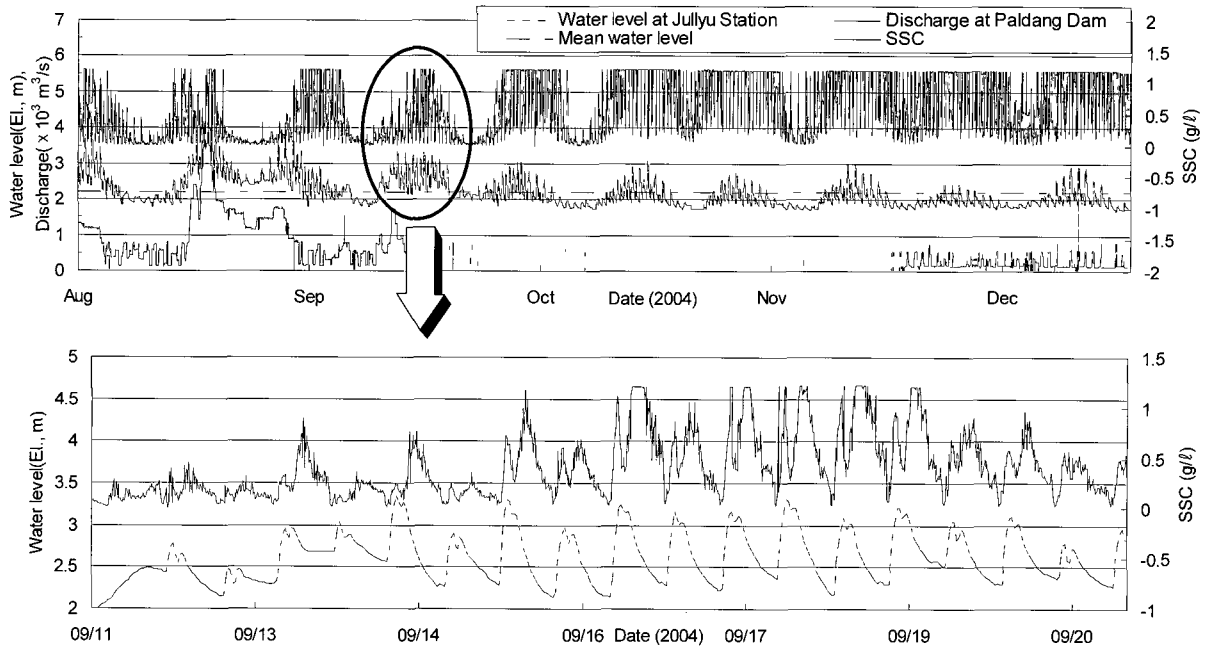


Fig. 4. Observed SSC at C1

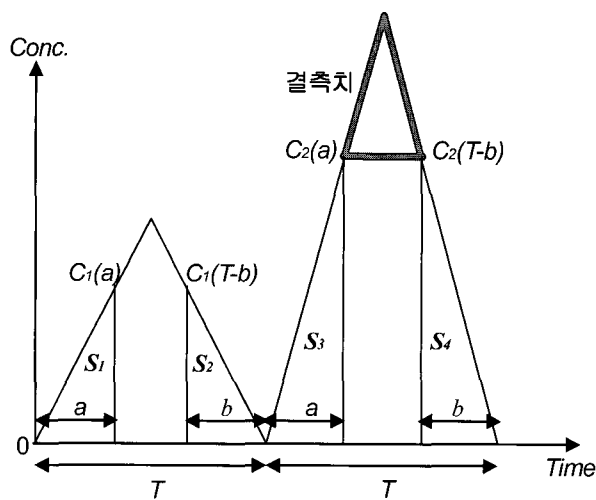


Fig. 5. Conceptual Diagram for ARM

$C_2$ 에서도 결측구간을 제외한 면적( $S_3 + S_4$ )을 구한다. 이 둘의 면적비(area ratio)를  $\alpha$ 라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{aC_2(a) + bC_2(T-b)}{aC_1(a) + bC_1(T-b)} \quad (1)$$

$C_2$ 의 결측구간에  $C_1$ 의  $\alpha$ 배한 자료를 대치(overlap) 시킴으로써 결측치를 보완할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & [C_2(a), C_2(a+1), \dots, C_2(T-b)] \\ & = \alpha [C_1(a), C_1(a+1), \dots, C_1(T-b)] \end{aligned} \quad (2)$$

이상의 결측치 보완법을 면적비법(area ratio method; ARM)이라 명한다. 이 방법은 시계열자료의 주기성을 이용하여 간단한 원리로 비교적 손쉽게 결측치를 보완할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서 개발한 면적비법은 Hamilton(1999)이 제안한 시계열자료 예측법의 기본 원리인 선형 투영법(linear projection)에 바탕을 두고 있다. Hamilton(1999)은 과거 관측자료가 미래 예측자료와 선형적인 함수관계를 제안한 바 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_{t+1|t} = \alpha' C_t \quad (3)$$

여기서  $C_{t+1|t}$ 는 과거 관측 자료들에 바탕을 둔 예측치이고,  $\alpha'$ 는 투영계수(projection coefficient)이며,  $C_t$ 는 과거 관측자료들로서  $\{C_t, C_{t-1}, C_{t-2}, \dots\}$ 이다. Eq. (3)을 응용하여, 결측되지 않은 선 사이클 자료를 과거 관측자료로 하고, 결측된 후 사이클 자료를 미래 예측자료로 삼아 결측치를 보완할 수 있다. 본 연구에서 개발한 면적비법 또한 투영계수를 면적비로 대체하는 원리이다. 반면 Hamilton(1999)은 최소제곱법(least

square regression; LSR)을 통해 투영계수를 산정함을 제안한 바 있다. 본 연구에서는 면적비법 및 최소제곱법을 통해 결측치를 보완하였으며, 검증 및 적용과정을 통해 두 기법의 차별성 및 우수성을 검토해 보았다.

#### 4. 탁도자료 보완법의 검증 및 적용

##### 4.1 주기 검토

본 연구에서 제안한 결측치 보완법은 주기성을 갖는 시계열 자료에만 적용 가능하므로, 이를 적용하기 위해서 우선 한강하구부에서 관측한 부유사 농도자료가 주기성을 가지고 있는지를 판별해야 한다. Fig. 4에서 보듯이 부유사 농도자료는 수위와 유사한 거동을 보이고 있다. 즉 농도가 만조시에는 커지고 간조시에는 작아지는, 조석에 따라 주기적으로 거동하고 있음을 눈으로 확인할 수 있다. 하지만 농도자료의 진폭이 수위와 일치한다고 보기 어렵다. 팔당댐 방류량이 많은 여름철에 수위는 증가하지만, 오히려 부유사량은 가을이나 겨울철에 증가하고 있음을 이 그림을 통해 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 여타 시계열자료는 배제하고 오직 부유사 농도 시계열 자료만을 통계적으로 분석하여 정량적으로 자료의 주기를 파악하였다.

정상자료(stationary random data)인 경우 자기 스펙트럼 밀도 함수(autospectral density function)를 통해 주기를 파악할 수 있다(Bendat 와 Piersol, 2000). 시간  $t(-\infty < t < \infty)$ 와 지수(Index)  $k$ 를 갖는 단일 시계열자료  $\{x_k(t)\}$ 에 대해 자기 상관함수(autocorrelation function)  $R_{xx}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (4)$$

여기서  $\tau$ 는 지체시간(time lag),  $x_1 = x_k(t)$ ,  $x_2 = x_k(t + \tau)$ , 그리고  $p(x_1, x_2)$ 은 결합 확률밀도함수(joint probability density function)이다. 자기 스펙트럼 밀도함수(autospectral density function)  $G_{xx}$ 는 Fourier 변환에 의해 자기상관함수의 적분형태로 다음과 같이 표현된다.

$$G_{xx}(f) = 4 \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) \cos 2\pi f \tau d\tau \quad (5)$$

$$0 < f < \infty$$

여기서  $f$ 는 진동수이다. Eq. (5)를 통해 시계열 자료의

자기 상관성이 가장 큰 진동수를 파악할 수 있다. 관측점 C1의 부유사 자료 중 결측되지 않은 자료(약 6 일간 자료)를 추출하여 진동수와 자기 스펙트럼 밀도 함수를 도시하면 Fig. 6과 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이 자기상관성이 가장 큰 경우, 즉 자기 스펙트럼 밀도 함수가 가장 큰 값을 갖는 진동수는 0.013514이고 주기는 74이다. 부유사 농도자료가 10분 간격으로 독취 되었으므로 12시간 20분이 부유사 농도자료의 주기임을 확인할 수 있다. 이는 조석의 반일주조 주기인 12시간 25분과 거의 일치한다.

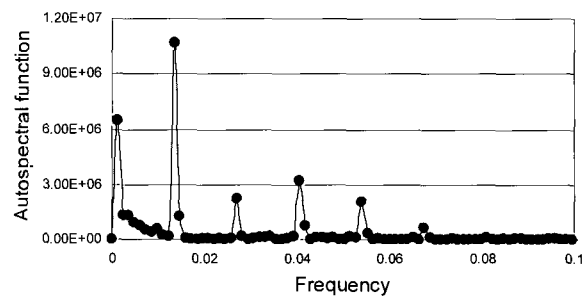


Fig. 6. Detection of Periodicity at C1

##### 4.2 보완법의 검증

개발된 결측치 보완법의 적용성을 검증하기 위해 C1 지점의 결측되지 않은 부유사 농도자료를 추출하여 적용하였다. 이 자료는 또한 주기성 검토가 행해진 자료와 동일한 자료이다. 추출된 원자료에서 부유사 농도가 400 mg/l 이상인 경우에 자료가 결측되었다는 가정하에 면적비법(ARM) 및 최소제곱법(LSR)을 적용하였다. 그 결과를 Fig. 7에 도시하였다. 이 그림에서 보듯이 각 주기마다 과대 산정이 되는 부분도 있고, 과소 산정되기도 하지만 전체적으로 결측치를 잘 보완하고 있다. 면적비법과 최소제곱법에 의한 보완치와 원자료와의 rms(root mean square) 오차를 보면, 면적비법이 약 98.58 mg/l, 최소제곱법이 약 101.1 mg/l로서 면적비법이 최소제곱법에 비해 더 나은 결과를 제공한다. 이는 Fig. 7의 확대된 그림에서도 확인할 수 있듯이 최소제곱법이 면적비법 보다 첨두를 과소산정하는 경향이 있다.

면적 오차를 보기 위해 각각의 기법으로 보완치의 면적비 및 원자료의 면적비( $\alpha_R$ )를 비교하여 Table 2에 수록하였다. 여기서  $\alpha_A$ 와  $\alpha_L$ 은 각각 면적비법 및 최소제곱법에 의한 결과치의 면적비이다. 이 표를 보면 원자료의 각 사이클별 면적비의 평균이 0.93인 반면 면

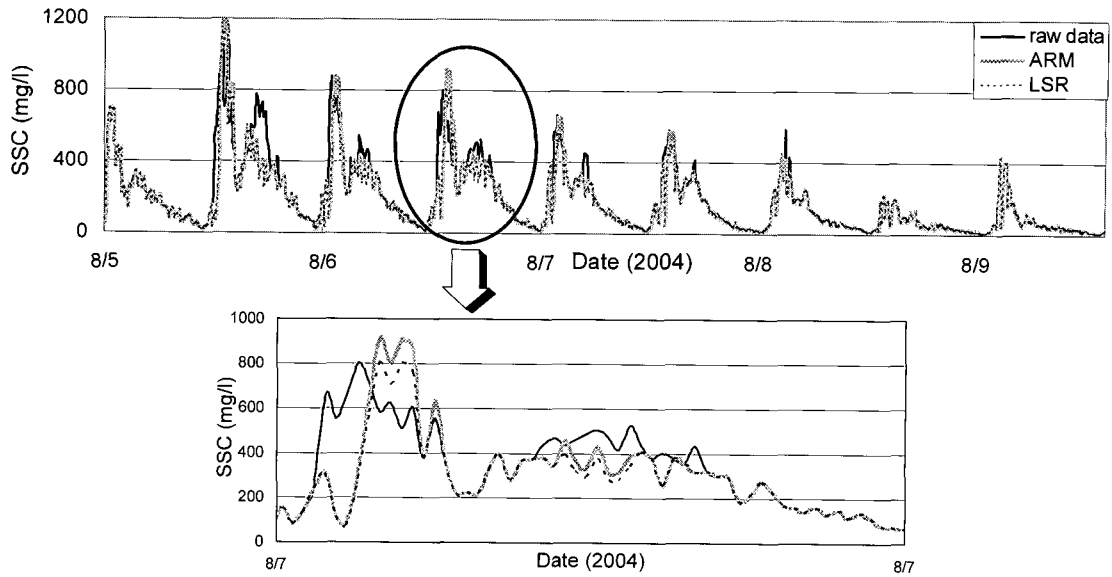


Fig. 7. Verification of ARM at C1

Table 2. Area Ratio of Each Cycle

Cycle No.	Raw data ( $\alpha_R$ )	ARM ( $\alpha_A$ )	LSR ( $\alpha_L$ )
1	2.02	1.75	1.68
2	0.69	0.71	0.70
3	1.04	1.05	1.06
4	0.72	0.71	0.71
5	0.86	0.88	0.89
6	0.74	0.77	0.77
7	0.43	0.45	0.46
Average	0.93	0.90	0.89

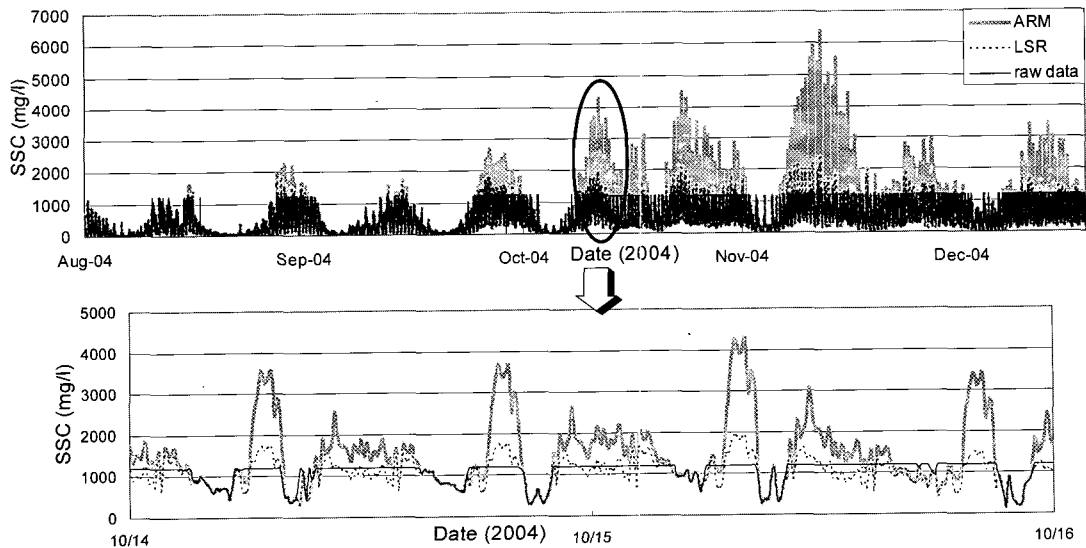
적비법 및 최소제곱법에 의해 보완된 자료의 결과는 각각 0.90과 0.89이므로, 보완법들이 약간 과소 산정하는 경향이 있다. 하지만 면적 오차를 정확치의 기준으로 삼을 때도 면적비법이 최소제곱법에 비해 더 나은 결과를 산출함을 알 수 있다. 따라서 총 부유사량의 산정이 주된 관심사라면, 보완 전 총 면적과 보완 후 총 면적의 차이가 적은 면적비법을 결측치 보완에 사용하는 것이 타당하리라 사료된다.

#### 4.3 보완법의 적용 및 검토

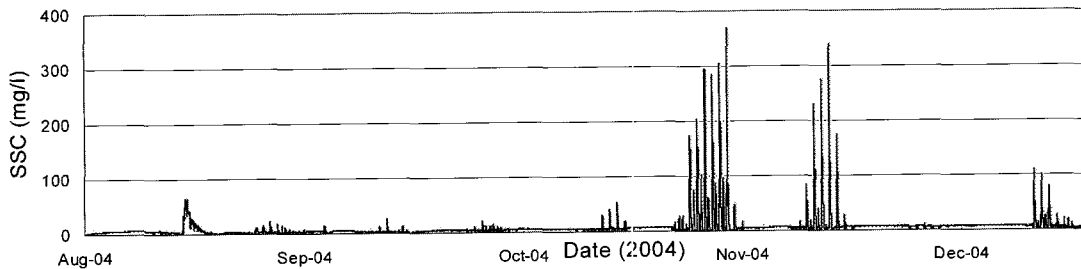
개발된 결측치 보완법을 사용하여 한강 하구부에서 관측된 부유사 농도자료의 결측치를 보완하였다. 각 지점별 보완결과를 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8a)에서 C1 지점의 적용결과를 보면, 면적비법은 합리적인 보완치를 산출하고 있는 반면, 최소제곱법은 다수 결측구간에서 결측 하한치 이하로 예측하거나 낮은 침투치를 산출하였다. 이로 인해 최소제곱법으로 보완된 총부유사량이 오히려 결측된 원자료의 총부유사량 보다 적어지는

오류가 발생하였다. 이러한 원인은 불규칙한 주기자료에 기인한 것이라 사료된다. 최소제곱법은 선 사이클 자료와 후 사이클 자료의 일대일 대응관계가 선형성을 벗어날수록 오차는 커질 수 밖에 없다. 또한 C1 지점의 자료처럼 각각의 사이클에서 결측된 구간이 넓을수록 일대일 대응할 자료수가 줄어들기 때문에 오차 발생 가능성은 커진다. 반면 면적비법은 합을 통한 면적비를 고려하므로 일대일 대응관계에 덜 민감하게 반응할 수 있다. 따라서 이러한 경우, 최소제곱법에 비해 면적비법이 결측치 보완에 더 우수한 결과를 제공할 수 있다. 이상의 논의를 통해 C2 지점 및 C3 지점에는 면적비법만을 사용하여 결측치를 보완하였다. Fig 8c)에서 보듯이 C3 지점의 부유사 농도자료도 합리적으로 보완할 수 있었다. 신평수중보 직하류 지점인 C2의 농도는 상대적으로 낮아 원자료에 결측치가 존재하지 않았다 (Fig. 8b 참조).

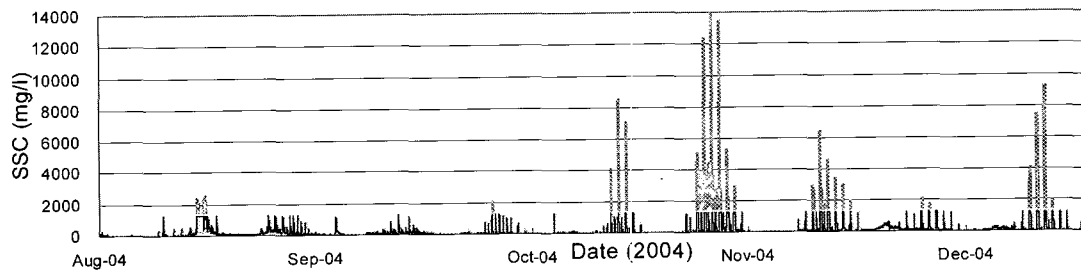
면적비법으로 부유사 농도의 결측치를 보완했을 경우, 부유사의 거동 특성이 어떻게 변하는지를 파악하기



(a) C1



(b) C2



(c) C3

Fig. 8. Application of ARM and LSR

위해 질량 흐름률(mass flux) 개념을 도입하였다. 질량 흐름률은 농도와 유속의 곱으로 계산되어지며, Fick의 법칙에 의하면 질량 흐름률은 흐름방향 농도경사와 비례한다(Fischer 등, 1979). 이는 하구부와 같이 조위에 의해 흐름이 다변하고 그 영향으로 부유사의 복잡한 유출입 과정이 전개되는 상황을 파악하기에 적절한 개념이다. C1 지점에서 결측치 보완 전,후의 질량 흐름률 변화 양상을 수위와 함께 Fig. 9에 도시하였다. 이 그림에서 세로축의 양의 값은 하류로 유출을, 음의 값은 상류로 유입을 의미한다. 그림에서 보듯이 결측치를 보완하지 않는다면 전체적으로 유출량보다 유입량을 심각하게

과소평가하게 된다. 확대된 그림을 보면 결측치에 유입량이 민감하게 반응하는 이유를 알 수 있다. 한강 하구부의 조석 특성은 창조기(약 3 시간)가 낙조기(약 9 시간)에 비해 짧으면서 최강 창조시의 유속이 매우 빠르다. 때문에 창조기에 고농도의 부유사가 상류로 급격히 유입했다가 낙조가 되면서 서서히 하류로 유출되는 현상을 볼 수 있다. 이런 상황에서 고농도가 발생하는 창조기의 침투 농도를 제대로 보완해 주지 못한다면 유입량은 과소 산정될 수밖에 없다. 따라서 침투 결측치를 보완하는 작업은 하구부의 흐름변화에 따른 부유사의 유출입 특성 파악에 매우 중요한 일이라 할 수 있다.



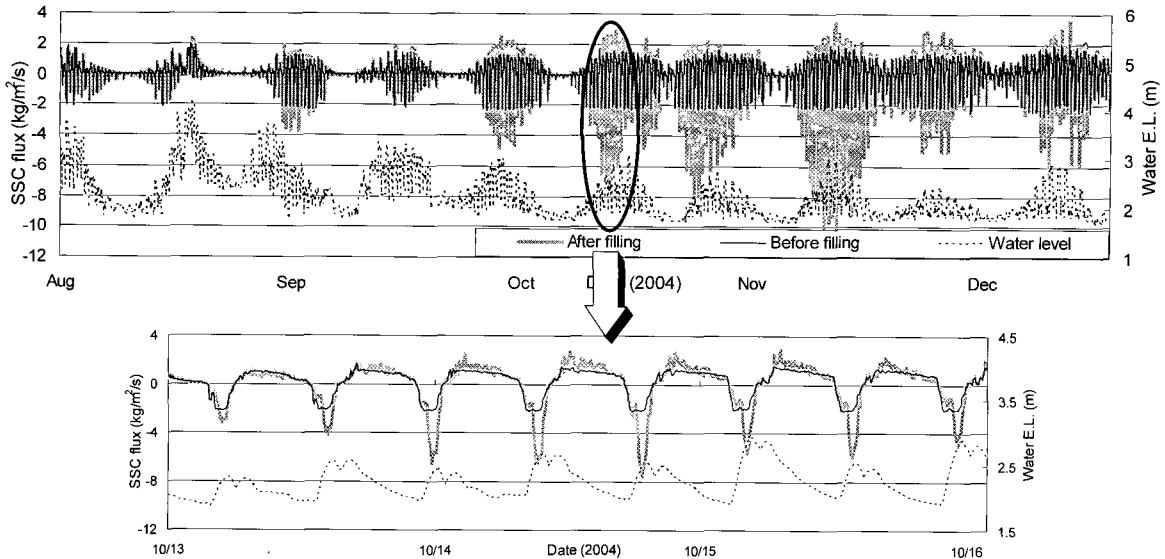


Fig. 9. Behavior of SSC flux at C1

## 5. 결론

한강 하구부의 3개 지점에 수중 계류방식으로 약 5개월에 걸쳐 탁도를 관측하였다. 관측결과, 조석간만의 영향으로 탁도의 변동폭이 매우 컸으며, 관측 기기의 한계범위를 넘어선 결측구간도 발견되었다. 이러한 수리자료들은 수문자료와 달리 단기간의 변동량이 매우 심하여 기존의 수문시계열 결측치 보완법을 이용하기엔 어려움이 많다. 따라서 본 연구에서는 조석의 영향으로 강한 주기성을 내포한 시계열 자료의 결측치를 보완할 수 있는 새로운 보완기법(면적비법)을 개발하였고, 이를 기존의 방법인 최소제곱법과 함께 적용성을 비교, 검토해 보았다.

면적비법은 시계열 자료가 단일주기와 상이한 진폭을 갖는다는 가정하에, 각 사이클의 면적비율을 이용하여 결측치를 보완하는 방법이다. 면적비법과 최소제곱을 검증하기 위해 결측치가 없는 정상적인 자료에 적용해 보면, 두 방법 모두 침투치를 약간 과소산정하는 경향이 있다. 하지만 면적비법의 경우, 원자료의 총 면적과 보완자료의 총 면적간의 차이가 거의 없었다. 이 방법들을 한강 하구부에서 관측된 탁도자료에 적용해 본 결과, 면적비법은 합리적으로 결측치를 보완하는 반면, 최소제곱법은 보완자료의 총면적이 원자료에 비해 작아지는 오류가 발생하였다. 따라서 최소제곱법에 비해 면적비법이 결측치 보완에 더 우수한 결과를 제공함을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발한 면적비법은 주기성이 뚜렷한 시계열자료의 결측치 보완에 유용하게 쓰일 수 있으리라 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 서울지방국토관리청의 연구비 지원(과제명: 한강 하류부 하상변동 조사)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- 수자원의 지속적인 확보기술 개발 사업단 (2004). **시공간 자료의 통계적 검·보정 기술의 개발**, 1단계 보고서, 과학기술부.
- 조흥연, 김백운, (2003), "포획된 부유물질의 입도분포를 고려한 탁도계 검교정." **한국해양·해양공학회지**, 한국해양·해양공학회, 제15권, 제1호, pp. 33-38.
- 한국건설기술연구원 (2002). **한강하류부 하상변동분석 연구**, (주)남원건설엔지니어링과 (주)한국종합기술개발공사.
- 한국건설기술연구원 (2003). **지속가능한 하구부 이용·보전 방안의 분석 및 평가 모형 개발**, 공공기술연구회.
- 한국해양연구원 (2005). **한강 하구부 수리특성 측정조사 연구**, 한국해양연구원.
- Aanderaa (online). <http://www.aanderaa.com/index>.
- Bendat, J.S., and Piersol, A.G. (2000). *Random data*, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., NY.
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H., (1979). *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press, N.Y.
- Hwang, S.Y., Oh, Y.M., and Woo, H. (2005), "A field

observation on the suspended sediment concentration in the Han River estuary affected both by tide and river runoff." *KSCE J. Civil Engrg.*, Vol. 9, No. 1, pp. 13-18.

Hamilton, J.D. (1999). *Time series analysis*, Princeton

Univ. Press, NJ.

Jerlov, N.G., and Nielsen, E.S. (1974). *Optical aspects of oceanography*, Academic Press, NY.

(논문번호:05-154/접수:2005.12.09/심사완료:2006.02.14)