

# 웨이블릿방법을 이용한 조위편차 성분의 중 · 장주기 특성 분석

## Characteristic Analysis of the Tidal Residuals' Mid/Long-period Components Using a Wavelet Method

강주환\* · 김양선\* · 심재설\*\*  
Ju Whan Kang\*, Yang-Seon Kim\* and Jae-Seol Shim\*\*

**요    지 :** 해역별 조위편차 특성을 규명하기 위해 푸리에(Fourier)해석과 함께 웨이블릿(Wavelet)분석을 실시하였다. 푸리에 해석결과 조석관련성분은 단주기, 계절풍 성분은 중주기에 분포하고 있음을 보이고 있다. 웨이블릿 분석에서는 3시간 주기부터 8개월 이상 주기까지 주기별로 분리한 후 24시간 이내의 단주기, 1일~16일의 중주기 및 1개월 이상의 장주기로 구분하여 주기별 특성을 파악하였다. 24시간 이내 단주기 성분의 조위편차는 조석예측 오차에 기인하고 있으며 조차가 큰 서해안에서 크게 나타나고 있다. 또한 태풍에 의한 주기성분은 대략 12시간 정도인 단주기에 집중적으로 나타나고 있다. 1일~16일 주기의 중주기 성분의 경우 서해안에서 동절기에 특히 활성화되고 있어 계절풍 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 따라서 순수한 해일고 성분은 중주기에 집중되고 있으며 해역별로 뚜렷한 특성치를 보이고 있다. 또한 모든 해역에서 유사하게 나타나고 있는 장주기 성분은 평균해수면 변화에 의한 것으로 파악되고 있다.

**핵심용어 :** 푸리에해석, 웨이블릿분석, 조위편차, 계절풍, 평균해수면

**Abstract :** Fourier analysis and a wavelet method were carried out to elucidate the characteristics of tidal residual components in coastal waters. The result of Fourier analysis shows tide-induced and monsoon-induced residuals are conspicuous at the short period and mid period, respectively. The tidal residuals were decomposed by period from 3 hours to 8 months and the characteristics of their components were shown by reconstituting them with short periods less than 24 hours, mid-periods between 1 day and 16 days and long periods longer than 1 month. The tidal residuals in the short period, i.e., tide-induced components, being based on the tidal elevation prediction errors, appear in the West Sea with high tidal ranges and do not have much seasonal fluctuation. Additionally, the period of typhoon induced surge ranges more or less than 12 hours. The mid-period components were clearly generated mainly in the West Sea during the winter and largely affected by monsoon. Accordingly, the pure surge height components were concentrated on the mid-period and had clear features for each coastal waters. The long period components show similar characteristics at all stations and are considered to stem from variations of mean sea levels.

**Keywords :** Fourier, wavelet, tidal residual, monsoon, mean sea level

### 1. 서    론

극치해면고 산정시 약최고고조위에 빈도별 해일고를 고려하여 설정하는 것이 가장 전형적인 극치해석방법이다. 따라서 조석의 우세정도와 함께 태풍에 의한 해일고 산정 등은 매우 긴요한 요소이다. 조차가 심한 서해안과 같은 해역의 경우 대조기 고조시 조석과 해일을 단순히 합하는 것은 과대산정하는 의미가 있기 때문에(Zhang et al., 2010) 대조기 중규모의 해일, 또는 중조기 대규모의 해일로부터 극치해면고가

산정(Olbert and Hartnett, 2010)되어야 하는 반면 조석이 크게 작용하지 않는 남해안과 동해안의 경우 오로지 대규모 태풍에 의해 극치해면고가 산정되는 것이 일반적이다. 따라서 서해안의 경우 태풍 뿐 아니라 비태풍에 의한 해일에 의해서도 극치해면이 발생할 수 있기에 비태풍에 의한 해일발생 역시 주목할 필요가 있다. 국내연안을 대상으로 조위편차를 조사한 결과 서해안, 남해안, 동해안 순으로 크게 나타나고 있으며 특히 서해안의 경우 북서계절풍의 영향으로 동절기에 활성화되고 있다(Kang et al., 2011).

\*목포대학교 토목공학과 (Corresponding author : Ju Whan Kang, Dept. of Civil Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam 534-729, Korea, Tel: +82-61-450-2743, Fax: +82-61-452-6468, jwkang@mokpo.ac.kr)

\*\*한국해양과학기술원 특성화연구본부 (Operational Ocean Science and Technology Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology)

해일고(surge height)는 기상조 만을 지칭함에 반해 조위편차(tidal residual)는 기상조를 비롯해 조석-해일 비선형성(Horsburgh and Wilson, 2007) 및 예측오차 등을 모두 포함한 값, 즉 조위 관측치와 예측치의 차를 말한다. 조차가 클수록 조위편차가 크게 나타나고 있다는 것은 기상조 성분 자체가 크기 때문일 수도 있지만 조위편차 내에 아직도 조석-해일 비선형성 등과 같은 조석성분이 존재하고 있음을 시사하고 있기도 하다. 이는 극치해면과 산정에 필요한 해일고(기상조)와는 무관한 것으로 극치해면과 관련된 해일고 산정시 이러한 성분은 배제되어야 한다. 선행연구(Kang et al., 2013)에서 자기상관계수를 통해 이러한 사실을 확인하였으며 웨이블릿 분석을 통해 조위편차를 주기별로 분리하였다. 또한 간단한 수치실험을 통해 단주기 성분은 주로 조석의 영향으로 발생할 수 있음을 보였고 관측자료에 대한 주기별 분리결과 분석을 통해 실제 발생양상을 확인할 수 있었다.

선행연구(Kang et al., 2013)에 이어 본 논문에서는 FFT 해석을 통해 조위편차의 주기별 분리 근거를 재확인함과 동시에 웨이블릿 분석을 통해 주기별로 분리된 조위편차를 단주기, 중주기, 장주기로 재합성하여 정량화된 주기별 성분값을 토대로 각 주기별 특성 분석을 시행하고자 한다. 특히 계절풍과 태풍에 의한 해일 특성과 같은 중주기 성분의 특성과 평균해수면과 관련된 장주기 성분 특성에 대하여 중점적으로 고찰하였다. 이러한 내용과 관련된 국내연구는 매우 희소하여 Lee et al.(1999) 정도에 불과하다. 국외 연구는 평균해수면의 극치해석을 위해 해수면 변화경향을 다른 연구(Haigh et al., 2010) 및 장주기 변화추세분석과 같은 연구(Obert and Hartnett, 2010) 등이 있으며, 특히 본 연구 및 선행연구에서 시행한 웨이블릿 관련 내용은 Goring et al.(2011)이 채택한 방법을 근간으로 하였다.

## 2. 해역별 주기특성

### 2.1 웨이블릿 결과

선행연구(Kang et al., 2013)에서 지리적 여건과 자료의 질을 감안하여 각 해역별로 4개 지점 등 총 12개 지점의 조위편차 자료에 대한 웨이블릿 분석을 시행하였으며 그 결과인 각 detail 성분의 평균진폭을 정량화하기 위해 RMS(root mean square) 값을 지표로 도입하였다. 동절기 계절풍의 영향 등 계절별 변화를 파악하기 위하여 동절기(11월~4월)와 하절기(5월~10월)로 구분하여 계절별 RMS를 따로 산정하였다. 각 조위관측소에서의 결과를 Fig. 1에 제시하였다.

이를 보면 주기별 RMS 값의 분포가 해역별로 뚜렷하게 구분되고 있음을 알 수 있다. 즉, 1일 미만의 단주기에서 조차가 큰 서해안의 RMS가 크게 나타나는 반면 조차가 매우 작은 동해안의 경우 RMS가 작게 나타나고 있다. 또한 단주기에서 계절별 차이가 크지 않다는 점과 천해조가 발달된 목포에서 6시간 주기값이 매우 크게 나타나고 있는 점 등은 단주기 성분이

조석과 무관치 않음을 시사하고 있다. 또한 남해안 및 동해안 지역에서는 계절별 차이가 크지 않은데 비해 서해안 지역에서 1일~8일주기 구간에서 하절기에 비해 동절기 RMS가 매우 커지는 특징을 볼 수 있다. 한편 16일 이상의 장주기 구간은 모든 해역에서 유사한 크기와 형태를 보이고 있다. 이러한 사항과 관련된 주기별 특성은 4장에 구체적으로 기술하였다.

### 2.2 FFT 기법

다음 장에 제시되는 웨이블릿 분석에 앞서 조위편차의 조석관련성을 확인함과 함께 조위편차의 지역적 특성을 파악하기 위해 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 시행하였다. 어떤 시계열 자료( $\Delta t$  간격으로 측정된  $N$ 개 자료)의 변동특성을 자료를 구성하는 주기성분을 추출하여 파악하는 방법이 유용하다. 그러나 일반적으로 그 주기성분을 모르기 때문에 사용한 범위, 즉 최소에서 최대주기성분( $2\Delta t-N\Delta t$ )의 범위를 등분하여 추출하는 과정을 거치게 되며, 이러한 대표적이고 범용적인 방법이 FFT 기법이다(Emery and Thomson, 2004; Bloomfield, 2000). 조석과 같이 그 변화를 주도하는 주기성분이 알려진 경우에는 알려진 조석주기성분(분조)만을 이용하여 조화분석 등을 수행하고 있으나, 대부분의 시계열자료가 주기성분을 모르기 때문에 추출가능한 주기성분의 크기 비교를 통하여 어떤 성분이 우세한 성분인가를 파악하는 방법으로 상관관계 분석과 FFT 기법이 널리 이용되고 있다. 그러나 이러한

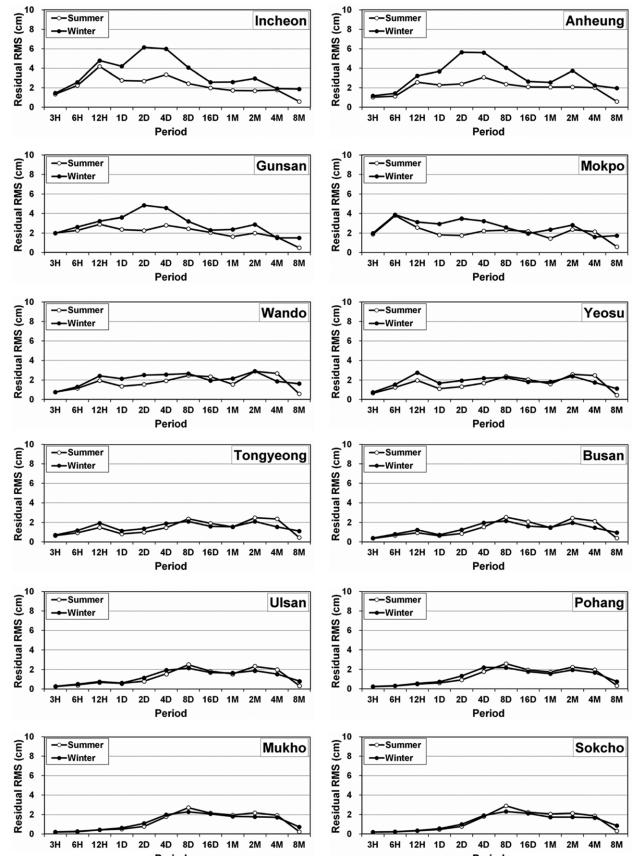


Fig. 1. RMS values according to wavelet periods.

한 기법이 가지고 있는 정상조건(stationary state) 및 선형 가정이 실제현상에서는 한계를 가지기 때문에 웨이블릿 분석기법 등이 사용되고 있다(Misiti et al., 2013).

1991년부터 2010년까지 20년간 조위편차 자료에 대한 FFT 분석결과를 Fig. 2에 제시하였는데, 서해안 해역에서 6시간, 12시간, 24시간 등 조석주기 부근의 에너지가 높게 나타나고 있으며, 특히 목포의 경우 선행연구의 상관관계함수 분석 및 전절에서 언급된 바와 같이 천해조 발달로 인해 6시간 부근 주기의 에너지가 매우 크게 나타나고 있다. 또한 조차가 큰 서해안을 중심으로 조석주기 외에도 10시간 이내 단주기에서 단속적으로 에너지가 크게 나타나는 구간이 보이고 있는데 이는 조석예측이 완벽하지 않음에 따라 조차에 수반하는 조석 오차에 기인하고 있는 것으로 추정된다. 조석예측 적중률이 부산항과 인천항의 약 90%에 비해 70% 정도로 예측오차가 매우 큰 목포항(Lee., 1994)의 경우 10시간 이내 주기의 에너지가 매우 크게 나타나고 있음이 이러한 가설을 뒷받침하고 있다. 이러한 조석주기 부근을 포함한 하루 이내 주기의 에너지는 남해안과 동해안으로 갈수록 점점 작아지고 있다. 한편 남해안 및 동해안과는 달리 서해안에서 3일(72시간)을 중심으로 대략 20시간~300시간 정도의 에너지가 크게 나타나고 있으며, 이는 계절풍에 의한 해일에 비롯된 것으로 판

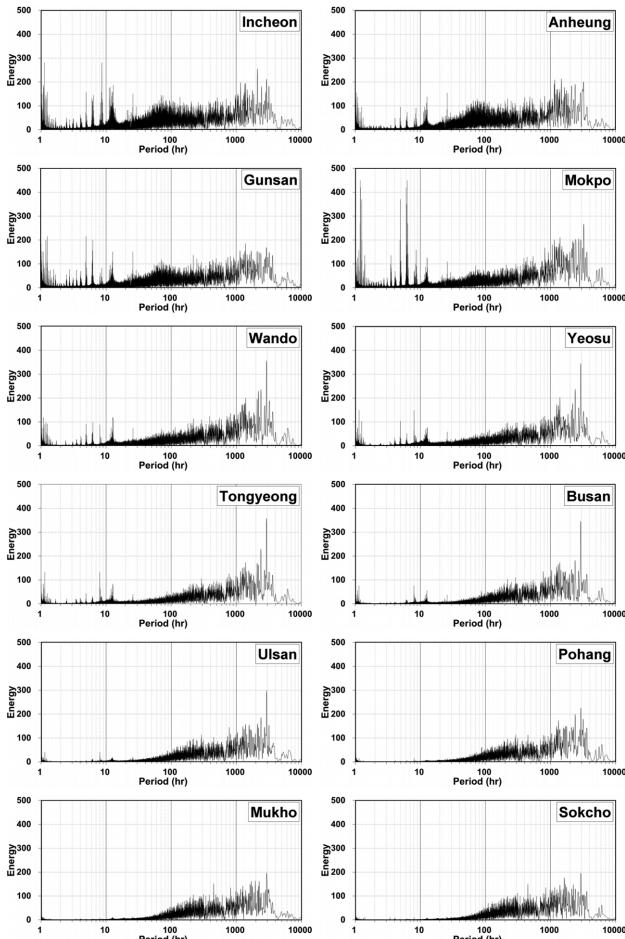


Fig. 2. Results of FFT.

단되며 Fig. 1에서 언급한 1일~8일주기 특성과 일맥상통하고 있다. 또한 약 한 달(720시간) 이상의 장주기의 경우 모든 해역에서 유사하게 나타나고 있음을 확인할 수 있는데, 이 역시 Fig. 1에서 언급한 16일 이상의 특성과 동일한 맥락이다. 이와 같이 FFT 분석결과 역시 전절에 제시된 웨이블릿 해석결과와 일치하는 결과를 보이고 있다.

### 2.3 계절풍에 의한 해일 주기

서해안의 경우 30 cm 이상의 해일 발생이 주로 계절풍에 기인하여 동절기에 크게 나타나고 있는 반면 남해안과 동해안의 경우에는 계절풍의 영향은 미미하고 하절기 태풍에 의한 영향이 지배적이라는 Kang et al.(2011)의 연구결과는 Fig. 1에 제시된 결과와 일치하고 있다. 즉 Fig. 1의 인천, 안흥, 군산, 목포 등 서해안 지역에서 1일~8일 주기의 동절기 해일고가 유독 크게 나타나고 있어 계절풍에 의한 영향임을 추론할 수 있으며, 계절풍에 의한 해일주기 역시 1일~8일 정도로 산정할 수 있다.

계절별 차이를 확인하기 위하여 단기간 하계(2002년 5월~10월)와 동계(2002년 11월~2003년 4월)로 구분하여 FFT를 산정한 결과인 Fig. 3을 보더라도 인천, 안흥, 군산, 목포 등

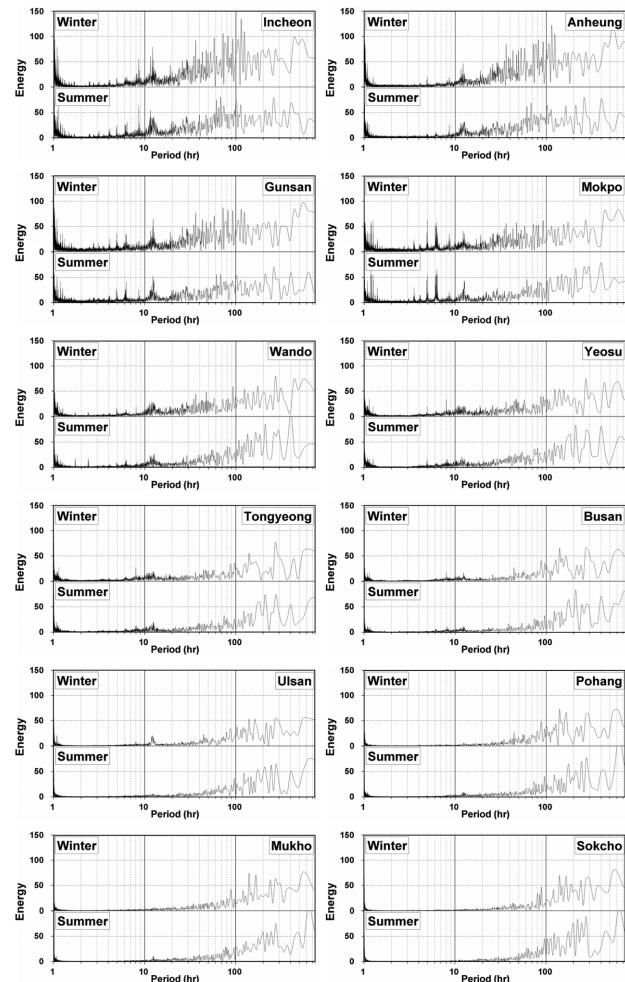


Fig. 3. Seasonal variations of FFT.

4개 지역에서 하계와 동계의 차이가 두드러지고 있는 반면 여타 지역에서는 하계와 동계의 차이가 심하지 않게 나타나고 있어 동계계절풍에 의한 해일 발생은 서해안에 집중되고 있음을 알 수 있다. 서해안 4개 지점에서도 하루 이내의 단주기에서는 하계와 동계 차이가 크지 않고 1일을 초과하는 성분에서 하계와 동계에 차이가 드러나고 있다. 따라서 이 결과 역시 단주기의 조석관련성을 내포하고 있으며 계절풍에 의한 해일주기가 1일~8일 정도임을 시사하고 있다.

## 2.4 태풍에 의한 해일 주기

계절풍에 의한 해일 발생이 동절기에 서해안을 중심으로 발생하고 있는 반면 태풍에 의한 해일 발생은 7월~10월 국내 전해안

에 영향을 미치고 있다. 이와 같이 하절기에 해일을 유발하는 주요 요소인 태풍에 의한 주기 영향성을 분석하기 위하여 1991년~2010년 기간 동안 한반도에 영향을 미친 TY급 이상의 태풍자료 중 인근 조위관측소에 50 cm 이상의 최대해일고가 관측된 10개 태풍을 선정하여 Table 1에 제시하였다. 태풍영향기간 중 최대해일고가 발생시점에서 기분석된 웨이블릿 분해결과인 주기별 조위편차를 조사하여 함께 제시하였다. 이는 태풍기간 중 발생한 최대조위편차의 각 주기성분을 나타낸 것으로서, 이로부터 태풍에 의한 해일발생이 어느 주기에서 우세하게 나타나는지를 확인할 수 있는데 전반적인 우세주기는 6시간~2일 사이에 분포하고 있으며 대략 12시간 정도에 집중적으로 나타나고 있다.

특히 남해안에 상륙한 4개 태풍의 경우 상륙시점에서 태풍의

Table 1. Wavelet results for the typhoon period (cm)

Typhoon	Infl. Period	Min. C. Press.	St. Trans.	Surge height (cm)	Period					
					3hr	6hr	12hr	1D	2D	
CAITLIN (9109)	07/28~30	940(hPa)	IC	61.0	0.1	10.8	<b>22.0</b>	11.2	2.4	
			GS	69.9	5.5	<b>41.1</b>	8.9	23.7	1.3	
FAYE (9503)	07/22~24	950(hPa)	YS	104.1	-0.2	<b>31.8</b>	25.5	12.6	13.9	
			TY	75.3	-0.3	15.7	<b>16.2</b>	11.7	13.5	
OLIWA (9719)	09/14~17	955(hPa)	MP	55.0	-0.8	6.2	<b>12.0</b>	2.4	5.9	
BART (9918)	09/23~24	930(hPa)	MP	53.3	-0.8	11.3	<b>17.6</b>	2.7	6.9	
PRA- PIROON (0012)	08/31~9/01	965(hPa)	IC	118.4	13.6	6.3	21.0	<b>35.6</b>	12.2	
			AH	72.9	0.5	2.4	<b>27.3</b>	4.9	15.6	
			GS	71.6	5.3	8.6	<b>21.5</b>	5.5	10.6	
RUSA (0215)	08/30~9/01	950(hPa)	MP	58.8	0.2	2.4	8.8	11.1	<b>14.4</b>	
			WD	89.8	0.8	-2.0	8.3	<b>22.7</b>	16.5	
			YS	119.8	-0.2	10.2	<b>24.1</b>	13.1	23.3	
		30(km/h)	TY	75.9	-0.4	6.6	10.3	5.9	<b>13.5</b>	
MAEMI (0314)	09/12~13	930(hPa)	SC	54.2	0.2	0.4	2.9	<b>11.7</b>	8.1	
			YS	125.4	1.5	<b>62.6</b>	18.5	30.5	3.8	
			TY	157.1	<b>52.3</b>	32.0	30.2	24.9	5.3	
		44(km/h)	BS	72.0	5.0	16.6	<b>19.0</b>	14.2	2.6	
MEGI (0415)	08/17~19	970(hPa)	US	50.6	-2.3	10.1	<b>15.5</b>	6.4	5.2	
			PH	51.6	2.1	3.2	<b>11.6</b>	6.8	5.1	
			MP	52.4	10.9	2.4	<b>23.0</b>	2.0	4.4	
		35(km/h)	TY	54.3	5.8	0.1	<b>23.0</b>	8.9	1.6	
NABI (0514)	09/06~07	950(hPa)	BS	62.9	5.1	9.1	<b>22.7</b>	3.5	3.3	
			US	70.8	8.9	<b>23.1</b>	5.7	5.4	5.0	
NARI (0711)	09/14~16	935(hPa)	PH	59.4	4.3	5.8	4.1	<b>8.7</b>	2.9	
		25(km/h)	WD	50.8	0.4	-0.3	<b>11.4</b>	3.7	8.6	
			YS	52.8	1.6	1.2	<b>12.7</b>	2.8	11.4	
			TY	51.2	1.7	3.4	7.4	9.2	<b>9.9</b>	

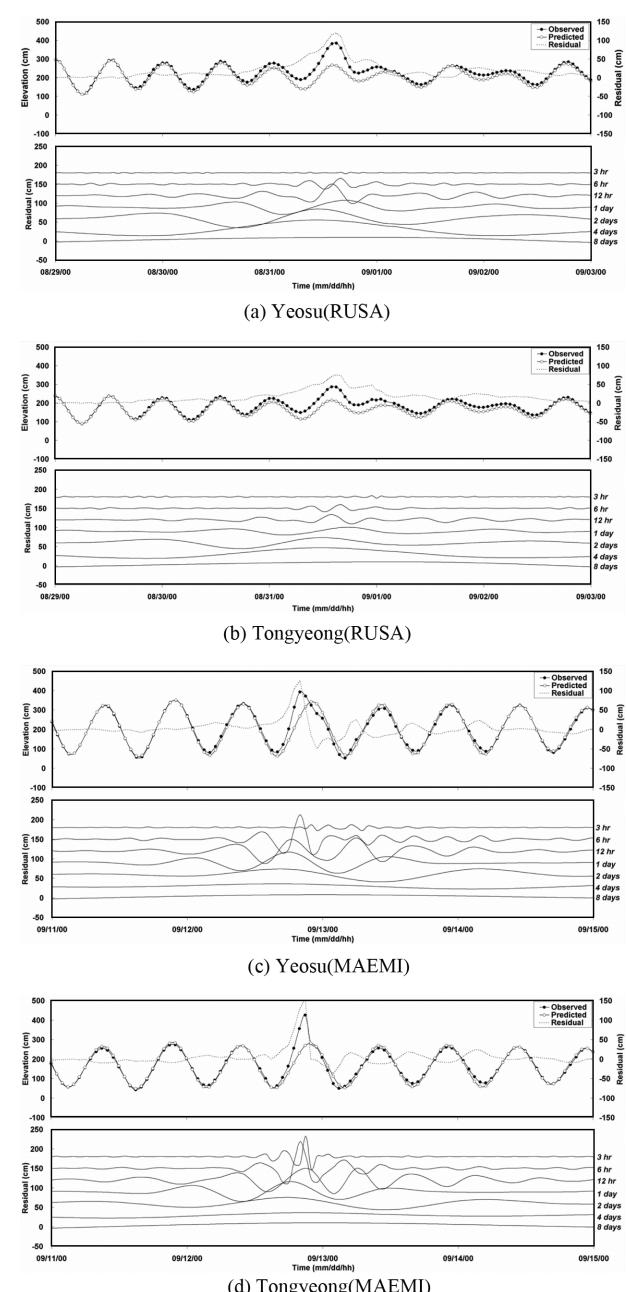


Fig. 4. Examples of decomposed surges during typhoon periods.

이동속도도 병기하였는데 이동속도가 빠른 MAEMI(0314)의 경우 단주기에서 우세주기가 형성되는 반면 이동속도가 느린 RUSA(0215)와 NARI(0711)의 경우 비교적 장주기에서 우세주기가 형성되고 있음을 볼 수 있다. 이는 태풍이 쇠락할 경우 단주기 파부터 소산될 것이므로 이동속도가 느릴수록 단주기 파의 소산이 두드러짐에 기인하는 것으로 추정된다. 여수와 통영 지점에서 RUSA(0215) 및 MAEMI(0314) 태풍시의 주기별 웨이블릿 분리결과를 Fig. 4에 도시하였다. 이러한 주기별 특성이 뚜렷하게 나타나고 있다.

### 3. 주기별 재합성

#### 3.1 주기성분별 재합성

Goring et al.(2011)은 웨이블릿 detail 성분 중 처음 3개 성분(3~12시간)은 조석관련 성분으로 간주하였고 detail 5~8 성분(2~16일)이 순수한 해일성분, 그리고 detail 9 이후 성분(1달 이상)을 평균해수면 성분으로 간주하였다. 또한 detail 4 성분(1일)은 조석관련 성분과 해일성분이 혼재하는 것으로 판단하였고 이들을 분리하는 기법을 다음과 같이 제시하였다. 즉, 식 (1)과 같이 제시(Donoho and Jonestone, 1994)되는 임계치를 초과하는 값을 해일성분, 미달하는 값을 조석관련 성분으로 산정하였다.

$$\lambda = \sqrt{2 \ln n} \hat{\sigma} \quad (1)$$

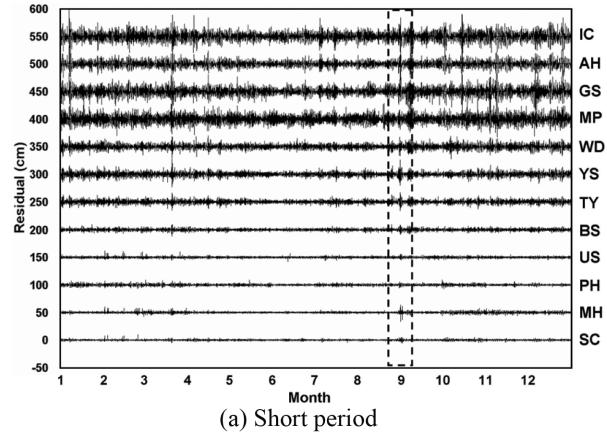
여기서  $n$ 은 자료수이고  $\hat{\sigma}$ 은 Katul and Vidakovic(1998)가 제시한 시계열  $y$ 에 대한 표준편차 추정치로서 다음과 같이 산정된다.

$$\hat{\sigma} = 1.428E[|y_i - E(y_i)|] \quad (2)$$

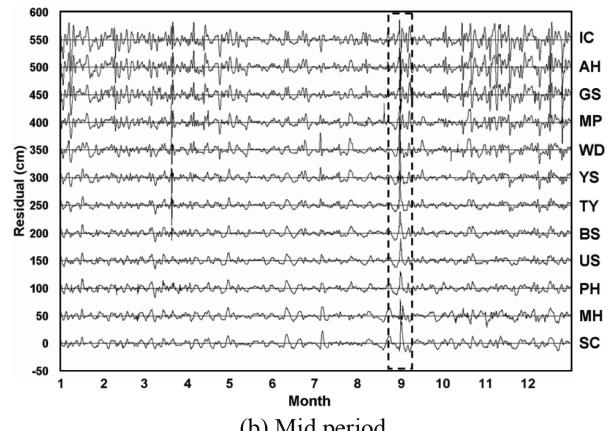
선행연구에서 밝힌 바와 같이 태풍에 의한 해일의 우세주기가 12시간 정도이므로 본 연구에서는 24시간 주기 뿐 아니라 12시간 주기에 대해서도 분리를 시도하였다. 즉, 12~24시간 주기성분의 상당부분은 조석관련 성분이지만 태풍 및 계절풍 발생시엔 해일로 간주되어 전술한 분리방법에 의해 분리하였다.

#### 3.2 재합성 결과

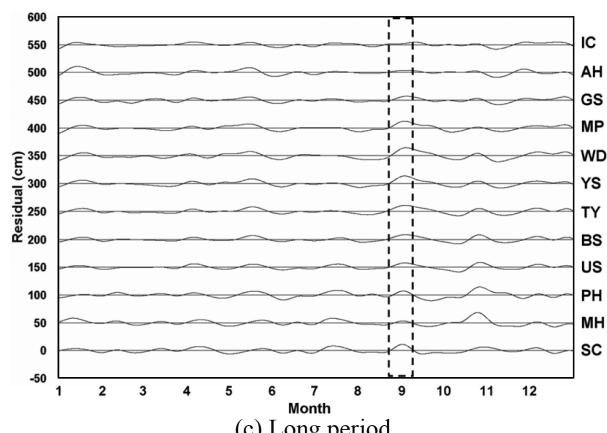
이에 따라 웨이블릿 방법으로 분리된 조위편차 주기별 성분은 크게 세 가지 주기성분으로 재합성할 수 있게 된다. 즉, 24시간 이내 주기성분 중 해일성분을 제외한 나머지 성분을 ‘조석주기(단주기)성분’으로 합성하였고, 24시간 이내 주기성분 중 해일성분을 포함한 24시간 초과 16일 주기 성분까지를 ‘해일주기(중주기)성분’으로, 그리고 한 달 이상의 나머지 성분을 ‘평균해수면(장주기)성분’으로 재합성하였다. 본 연구결과에 따르면 8일까지가 해일주기로 산정되어야 하지만 그 경계가 모호하므로 Goring et al.(2011)과 동일하게 16일까지를 해일주기 성분으로 산정하였다. 각 주기성분별 2002년도 웨이블릿



(a) Short period



(b) Mid period



(c) Long period

Fig. 5. Decomposition of tidal residuals for three main periods.

결과 합산 시계열을 주기성분별로 Fig. 5에 도시하였다. 점선으로 나타낸 부분은 태풍 RUSA(0215) 영향기간을 나타낸 것이다.

### 4. 주기성분별 특성 분석

#### 4.1 조석주기 성분

세 가지 주기로 재합성된 결과를 우측 종축에 표기된 조위관측소(예로서 IC는 인천의 약자) 별로 Fig. 5에 제시하였으며

각 지점별 결과는 50 cm씩 이격(IC의 경우 횡축이 550 cm에 위치하고 있음)하여 표시하였다. Fig. 5(a)에 제시된 조석주기(단주기) 성분의 경우 3.1절에 제시된 방법으로 기상조 성분의 제거가 이루어졌기 때문에 주로 조석관련성분으로 구성되어 있다. 따라서 태풍 RUSA(0215) 영향기간 동안에도 큰 변화를 보이고 있지 않다. 또한 해당성분이 서해안에서 크게 나타나는 반면 남해안과 동해안으로 갈수록 미미한 결과를 보이는 등 조차와 밀접한 상관성을 보이고 있으며 Fig. 5(b)에 제시된 중주기에 비해 계절별 변화도 작게 나타나고 있다. 즉, 단주기가 주로 조석관련 성분이라는 선행연구결과를 재확인할 수 있다.

#### 4.2 해일주기 성분

Fig. 5(b)에 제시된 해일주기(중주기) 성분의 경우 역시 단주기와 같이 서해안 지점이 여타 해역에 비해 특히 동절기에 매우 크게 나타나고 있지만 단주기와는 달리 남해안과 동해안의 차이는 심하지 않게 나타나고 있다. 또한 서해안의 모든 지점에서 중주기 성분이 유사한 거동, 즉 하절기에 비해 동절기에 활성화되고 있음을 볼 수 있으며 계절풍에 의한 해일이 중주기의 주요 구성성분임을 나타내고 있다. 또한 각 지점의 파형을 살펴보면 동절기 계절풍의 영향이 남해안 일부 까지 미치고 있어, 완도(WD)와 여수(YS) 등 남서해안은 서해안과 유사하고 통영(TY)과 부산(BS) 등 남동해안은 동해안과 유사한 거동을 보이고 있다.

아울러 점선으로 표시된 태풍발생시기에서의 조위편자는 3.1절에 언급하였듯이 단주기 성분에서 제거된 기상조 성분까지 포함되어 있어 중주기에 집중되고 있음을 보이고 있다. 남해안과 동해안의 경우 태풍에 의한 해일이 중주기의 대표적인 성분이 되고 있는 반면 서해안에서는 동계 계절풍에 의한 해일이 태풍해일 못지않은 규모로 나타나고 있다. 이러한 계절풍에 의한 해일은 10월 중하순부터 발생하고 있으며 다음 해 3~4월까지 지속되고 있다.

#### 4.3 평균해수면 성분

Fig. 5(c)에 도시된 한 달 이상에 해당하는 장주기 성분은 수온과 해류 등의 계절별 변화에 기인하며 평균해수면 변화에 의한 것(Goring et al., 2011)으로 추정된다. 이를 확인하기 위하여 2002년 한해 동안 관측치의 일평균해면과 예측치의 일평균해면의 차를 15일 이동평균하여 계산한 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 모든 지점에서 Fig. 5(c)에 보인 장주기 성분과 거의 일치하는 것으로 나타나고 있어 장주기 성분은 평균해수면의 변화를 반영하고 있음을 입증하였다. 이러한 평균해수면(장주기) 성분은 전체 해역에서 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있으며 계절별 변화폭도 크지 않은 것으로 나타나고 있다. 또한 태풍영향시기 동안 태풍 통과 해역 인근에 위치한 여수(YS) 및 속초(SC) 지점에서 양의 조위편차가 두드러지게 나타나고 있는 것으로 보아 태풍의 영향이 한 달 주기 이상의 장주기 성분에까지 다소간의 영향을 미치는 것으로 사료된다.

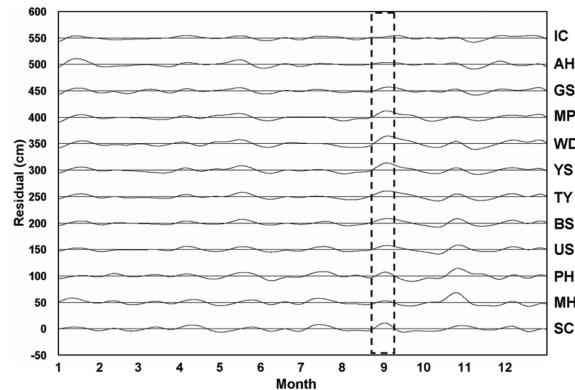


Fig. 6. Difference between observed and predicted MSL.

#### 4.4 주기별 성분의 정량적 고찰

각 주기별 성분을 정량적으로 파악하기 위하여 Fig. 5에 제시된 각 주기별 시계열을 하계(2002년 5월~10월)와 동계(2002년 11월~2003년 4월) 및 일년간(2002년 5월~2003년 4월)으로 구분하여 RMS(root mean square)를 각각 산정하여 Table 2에 정리하였다. 이를 통해 전절에서 언급한 각 주기별 편차성분을 분리하여 성분별 특성을 정량적으로 재확인할 수 있을 뿐 아니라 성분별 조위편차에 대한 모의발생도 가능하므로 극치해면 산정 등에 활용할 수 있다.

남해안과 동해안의 경우 계절풍과 관련된 중주기 해일발생에 있어 전반적으로 계절별, 지역별 차이가 크지 않을 뿐 아니라 해일 자체의 절대적 크기 역시 그리 크지 않아 전술한 바와 같이 태풍에 의한 해일만이 주된 관심대상이 되고 있다. 그러나 서해안의 경우 장주기는 여타 해역과 비슷한 양상을 보이지만 조석의 영향으로 조위편차의 단주기 성분이 크게 나타나고 있고 계절풍의 영향으로 특히 동절기 해일고가 매우 크게 나타나고 있다. 따라서 극치해면과 산정시에도 이러한

Table 2. RMS of seasonal tidal residuals for each period

		RMS(cm)								
		Short-period			Mid-period			Long-period		
		Sum.	Win.	Total	Sum.	Win.	Total	Sum.	Win.	Total
W	IC	7.5	9.2	8.3	7.6	13.8	10.8	3.6	5.8	4.5
E	AH	5.0	6.8	5.9	7.1	13.2	10.2	4.6	6.0	5.1
S	GS	6.5	7.7	7.1	6.6	10.7	8.7	3.6	5.4	4.3
T	MP	6.9	7.9	7.3	5.7	8.2	6.9	4.2	5.3	4.8
S	WD	3.7	4.6	4.2	5.8	6.7	6.3	5.1	5.3	5.2
O	YS	3.6	4.7	4.1	5.3	5.8	5.6	4.7	4.7	4.7
U	TY	2.8	3.4	3.1	4.8	4.7	4.8	4.5	4.2	4.4
T	BS	1.8	2.2	2.0	4.9	4.6	4.8	4.3	3.9	4.1
E	US	1.4	1.5	1.4	4.6	4.6	4.7	4.2	4.1	4.2
A	PH	1.2	1.4	1.3	5.0	5.0	5.0	4.4	4.0	4.3
S	MH	1.0	1.2	1.1	5.2	5.0	5.1	4.5	3.9	4.3
T	SC	0.9	1.0	0.9	5.5	4.9	5.2	4.5	4.0	4.3
	Mean	3.5	4.3	3.9	5.7	7.3	6.5	4.4	4.7	4.5

특성이 감안되어야 한다. 즉, 남해안과 동해안의 경우 조석의 영향이 크지 않아 고극조위 발생이 주로 태풍시기와 일치하게 되므로 극치해면고 산정은 발생되는 태풍의 규모에 크게 의존하게 된다. 반면 서해안의 경우 천문조가 극대화된 상황에서, 기껏해야 연중 두어번 정도 발생에 그치는 태풍이 겹치는 경우는 매우 드물기 때문에, 발생빈도가 잦은 비태풍에 의한 해일이 중첩되어 고극조위가 발생함이 더욱 일반적이다. 이와 같이 서해안에서 극치해면고 산정을 위해서는 조석에 대한 정보는 물론이고 태풍에 의한 해일 뿐 아니라 계절풍과 같은 비태풍에 의한 해일에 대해서도 숙고하여야 한다. 선행연구인 Kang et al.(2011)의 연구가 해역별 조위편차의 정성적 분석을 통해 서해안이 계절풍의 영향이 심한 해역임을 밝힌 연구였던 반면, 본 연구는 해역별 조위편차를 주기별로 분리 후 재합성을 통해 정량적으로 제시한 연구이다. 이를 통해 극치해면고 산정에 필요한 순수한 해일고 성분, 즉 조석관련 해일고 성분과 장주기 평균해수면 성분을 제외한 나머지 성분을 산정할 수 있다. 실제로 Kang et al.(2012)은 조석이 지배적인 해역의 극치해면 산정방법으로 EST방법을 적용한 바 있는데, 단수발생을 통해 조석상황 및 태풍모의 결과 뿐 아니라 단주기와 중장주기 조위편차를 각각 모의한 후 총조위를 산정하는 일종의 Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용하여 극치해면고를 산정한 바 있다. 서해안의 경우 조차가 크고 계절풍에 의한 해일고가 지배적이기 때문에 이러한 조위편차에 대한 주기별/계절별 정량적 해석결과는 계절풍에 의한 해일을 감안한 극치해면고 산정시 유용한 데이터베이스로 활용될 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구를 통해 국내 연안에서 발생하는 조위편차의 주기별 특성이 해역별로 뚜렷하게 구분되는 경향을 보이고 있음을 밝혔다. 즉, 24시간 이내 주기의 단주기 성분의 조위편차는 조석-해일 비선형성 및 조석예측 오차에 기인하고 있어 조차가 클수록 크게 나타나고 있으며, 조석에 크게 기인하기 때문에 계절별 변화가 크지 않다는 특성이 존재하고 있다. 또한 태풍에 의한 해일의 주기성분에 대한 분석도 시도하였는데, 전반적인 우세주기는 6시간~2일 사이에 분포하고 있으며 대략 12시간 정도에 집중적으로 나타나고 있다. 1일~16일 주기의 중주기 성분의 경우 서해안에서 동절기에 특히 활성화되고 있어 계절풍 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 한 달 이상의 장주기 성분은 평균해수면 변화를 반영하고 있으며 모든 해역에서 유사하게 나타나고 있다. 세 가지 주기성분의 RMS 값을 계절별로 구분하여 정량화함으로써 해역별 특성을 재확인함과 동시에 극치해면고 산정을 위한 데이터베이스로 활용이 가능하도록 정리하였다.

## 감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 주요사업 '태풍해일 침수범람 예측 및 재해도 작성기술 개발' 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Bloomfield, P. (2000). Fourier analysis of time series, Second edition, John Wiley & Sons.
- Donoho, D.L. and Johnstone, I.M. (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage, *Biometrika*, 81(3), 425-455.
- Emery, W.J. and Thomson, R.E. (2004). Data analysis methods in physical oceanography, Second and revised edition, Chapter 5, Elsevier.
- Goring, D.G., Stephens, S.A., Bell, R.G. and Pearson, C.P. (2011). Estimation of extreme sea levels in a tide-dominated environment using short data records, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 137(3), 150-159.
- Haigh, I., Nicholls, R. and Wells, N. (2010). Assessing changes in extreme sea levels: Application to the English Channel, 1900-2006, *Continental Shelf Research*, 30, 1042-1055.
- Horsburgh, K.J. and Wilson, C. (2007). Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea, *Journal of Geophysical Research*, 112, C08003.
- Kang, J.W., Kim, Y.S., Cho, H.Y. (2013). Decomposition of tidal residual data using a wavelet method and characteristic analysis of their short-period components. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng.*, 25(3), 165-171.
- Kang, J.W., Kim, Y.S., Cho, H.Y., Shim, J.S. (2011). Characteristics of Nearshore Surge-Intensity. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng.*, 23(6), 458-465.
- Katul, G. and Vidakovic, B. (1998). Identification of low-dimensional energy containing/flux transporting eddy motion in the atmospheric surface layer using wavelet thresholding methods, *Journal of Atmospheric Science*, 55(3), 377-389.
- Lee, J.S., Kang, T.S., Park, M.W. (1999). Long-Term Variation of Tides and Tidal Residuals at Pusan Harbor. *Korean Society of Civil Eng.*, 19(1), 91-100.
- Lee, S.W. (1994). Hydraulic notes on the Korean Harbors. *Jipmoondang*
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. and Poggi, J.-M. (2013). Wavelet toolbox™ user's guide, The Math Works.
- Olbert, A.I. and Hartnett, M. (2010). Storms and surges in Irish coastal waters, *Ocean Modelling*, 34, 50-62.
- Zhang, W.-Z., Shi, F., Hong, H.-S., Shang, S.-P. and Kirby, J. T. (2010). Tide-surge interaction identified by the Taiwan Strait, *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-17.

원고접수일: 2013년 5월 22일

수정본채택: 2013년 7월 10일

제재확정일: 2013년 8월 19일