

연안해역의 기상·파랑관측망 설계 및 해석기술의 구축 - 해양파랑관측자료의 해석방법 -

류청로 · 김희준 · 손병규
부경대학교 해양공학부

Desing and Analysis of Weather/Wave Observation Network for the Coastal Zone

Cheong-Ro RYU, Hee-Joon KIM and Byung-Kyu SHON

School of Ocean Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Application of digital filter to the wave analysis is studied using the observed data by wave gauge. Sea wave data obtained from wave gauge always include long wave frequency components. In order to estimate the sea wave parameters, we must re-analyzed wave data by using a digital filter and the concept of mean sea level correction method. By the wave by wave analysis and spectral methods, sea wave parameters on the basis of wave data obtained by the conventional method and digital filter are compared.

The best-fitted design filter determined by the necessary conditions of frequency responses, can be obtained by calculating various transfer functions. Thus, to get the best the digital filter design, both Butterworth filter and Savitzky-Golay filter of digital filter are used in the frequency and time domain, respectively.

Three cases of observation wave data are calculated by applying digital filter. The components of different frequency bands in the surf zone are coexisted in three cases. The wave data for wind wave components is computed using the digital filter in the surf zone and off-surf zone, and based on the filtered data, wave parameters are calculated by the spectral analysis and wave by wave analysis methods, respectively.

As a results, when sea wave data observed by wave gauge are analyzed, the Savitzky-Golay method is recommended which can well appear cut-off frequency by experimental choosing filter length in the time domain. The better mean sea level correction method is the Butterworth filter in the frequency domain.

Key words : Digital filter, best-fitted design filter, time domain, frequency domain

서 론

파랑관측에 의해서 얻어진 자료의 수집 및 처리방법은 자료의 성질, 필요로 하는 결과의 정도, 비용 등에 따라 달라진다. 현지 파랑관측에서는 1회의 기록시간을 20분으로 하는 것이 표준으로 되어 있으며, 충분한 해석을 위해서는 보다 장시간에 걸쳐서 관측한 자료를 축적해야 한다. 이렇게 얻어진 자료는 스펙트럼해석과 파별해석을 통해 필요한 파랑현상의 해석과 공학적 응용을 위한 인자를 구하는데 사용되어진다.

수위변동에 따른 시계열자료는 비교적 주기가 짧은 풍파와 조석, 폭풍해일, 장주기파 (surf beat) 등과 같은 평균수위 변동으로 인하여 발생하는 주기가 긴 성분을 포함하고 있다. 이렇게 현장관측된 자료를 분석해 보면, 10초 내지 수십분의 진동이 조석에 겹쳐져 있는 것을 볼 수 있다. 또한 자연해빈상에서 쇄파대 부근의 평균수위 변동으로 조석성분 (주기가 12시간 25분), 풍파성분 (주기가 30초 이내)과 함께 주파수대가 서로 다른 성분들이 함께 존재하는 것을 알 수 있다. 따라서 쇄파대부근에

서 관측된 자료로서 파랑인자를 산정할 때, 그 처리방법에 따라 구해진 대표값이 왜곡되거나, 저주파수 영역의 스펙트럼 추정치가 크게 나타날 수 있다. 이러한 영향은 다른 주파수 범위까지도 영향을 미치게 되므로, 수치필터 등을 사용한 평균수위의 보정은 신뢰도 높은 파랑의 해석을 위한 필수 조건이다.

관측된 파랑자료를 해석하기 위해 응용대상의 신호성분만을 엄밀히 추출해야 할 필요가 있을 경우에 특정 주파수성분만을 분리하여 뽑아내는 것을 필터링이라 한다. 이러한 관심대상이 되는 파랑성분 이외의 성분이 존재하는 경우에, 수치필터를 사용하여 저주파수성분을 제거하는 것은 평균수위 보정방법의 하나로 생각할 수 있다. 파고계로부터 얻어진 자료를 이용하여 파랑인자를 정도 높게 산정하기 위해서는 적절한 수치필터를 설계 적용하여야 할 것으로 생각된다.

수치필터는 최소자승법에 근거를 두며, 얻어진 측정파형을 직접 처리하는 시간영역법과 Fourier변환을 이용해서 일단 주파수영역으로 변환하여 처리하는 주파수영역법이 있다. 시간영역법에서는 비교적 저주파수성분을 추

출하는 것을 목적으로 하고 있는 이동평균법과 다항식을 적합하여 나타내는 Savitzky-Golay법 (Akiyama and Ogu-
chi, 1992)이 있다. 주파수영역법에는 관측 파형에 대하여
여러가지 window함수를 이용하는 중첩필터 (비순환필터
또는 convolution 필터)와 순환방정식으로 이루어진 순환
필터가 있다.

이러한 각종 필터를 사용한 평균수위보정 과정상의 문
제점과, 결과의 신뢰도를 검토해야 하며, 필터링에 따른
각종 통계적 파랑특성의 변동에 대해서도 체계적으로 밝
혀두어야 할 필요가 있다.

전술한 연구의 필요성에 따라 본 연구에서는 수압식과
고계와 초음파식파고계를 이용한 현장관측자료에 각종

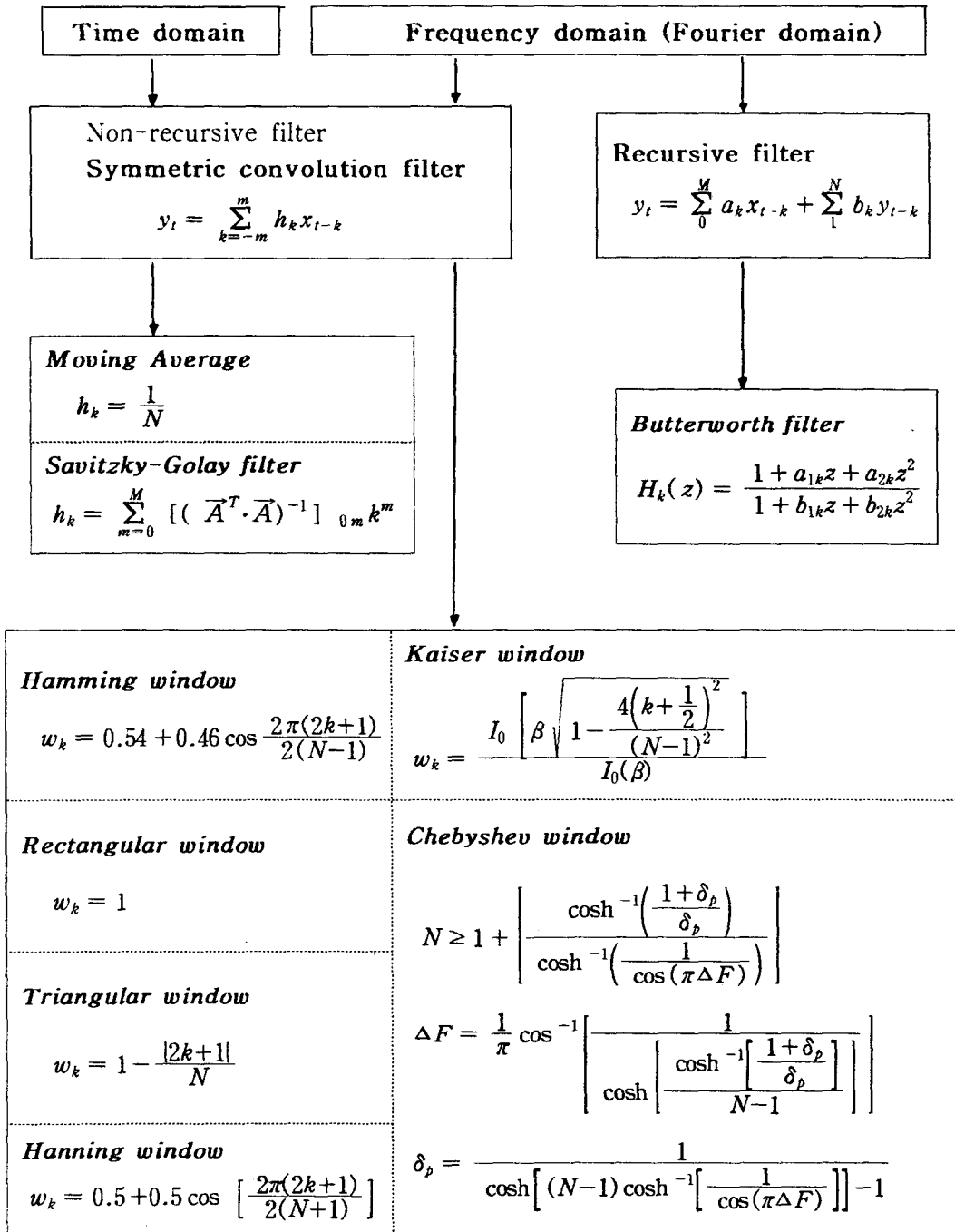


Fig. 1. Flow of digital filter design.

수치필터를 적용하여 해석한 파랑인자를 비교, 검토하여, 수치필터의 적용성에 대해 논의한다. 또한 수치필터의 설계, 적용방법에 따른 파랑해석 결과의 차이를 분석, 검토함으로써 필터 적용상의 문제점과 적용성이 높은 필터

의 설계 및 평균수위 보정방법에 대해 검토하고자 한다.

이를 위하여 수치필터의 설계 방법 중에서 시간영역에서는 단순 이동평균법과 2차 혹은 4차의 고차다항식에

Table 1. Observation conditions

Case	Location	Depth(m)	Time	Gauge	Remark
I	35°08'45" N	5	96. 6. 28	PUV	
	129°07'10" E		17:39:44~23:39:44		
II	35°08'01" N	15	96. 6. 28	"	
	129°08'03" E		17:00:00~23:00:00		
III	35°32'47" N	15	96. 6. 28	USW	
	129°27'50" E		09:00:00~09:12:00		

PUV: directional wave and current gauge

USW: ultrasonic wave gauge

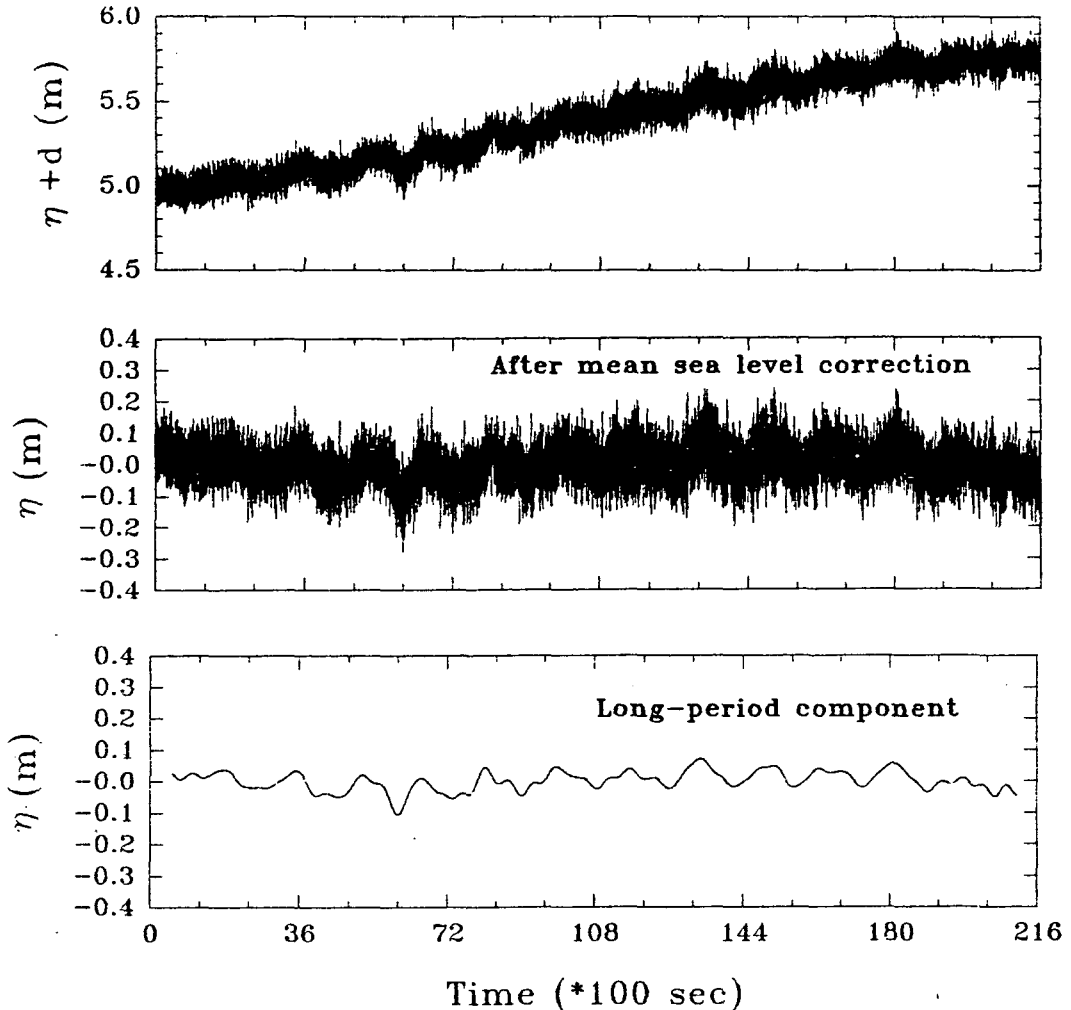


Fig. 2. Tidal component obtained from PUV and surface displacement extracted by means of a digital filter (Case I).

의해 이동 window안에서 평활화하는 Savitzky-Golay법, 주파수영역에서는 6가지 window 함수를 이용한 비순환 필터(non-recursive filter)와 순환필터(recursive filter) 중에서 가장 잘 알려진 Butterworth 필터를 이용한 각종 필터를 설계하고 주파수 응답특성을 논의한다.

이들 특징을 이용하여 현지에서 관측한 수위자료에 각종 수치필터를 설계하여 적용하고, 파별해석법과 스펙트럼해석법으로 해석한 파랑인자의 통계적 변동성을 비교 가검토하여 풍파성분만을 추출할 때의 바람직한 수치필터의 적용과, 현지파랑의 정도 높은 해석을 위한 평균수위 및 장주기파동의 처리방법에 대해 논의하고자 한다.

자료 및 방법

관측된 파랑자료는 특별한 적용목적에 따라 해석방법을 달리할 수 있다. 파랑은 스펙트럼과 파랑인자의 확률 분포특성으로 표현되기 때문에 관측된 파랑자료의 분석은 시계열분석과 통계의 개념에 기초를 둔다. 이러한 파랑자료의 분석방법은 파별해석법(wave by wave analysis method), 스펙트럼분석법(spectral analysis method)으로 구분한다.

해운항만청에서는 파랑관측자료를 해석하기 위해서 보통 20 분 정도의 자료를 취득하고 있다. 또한, 자료 측정

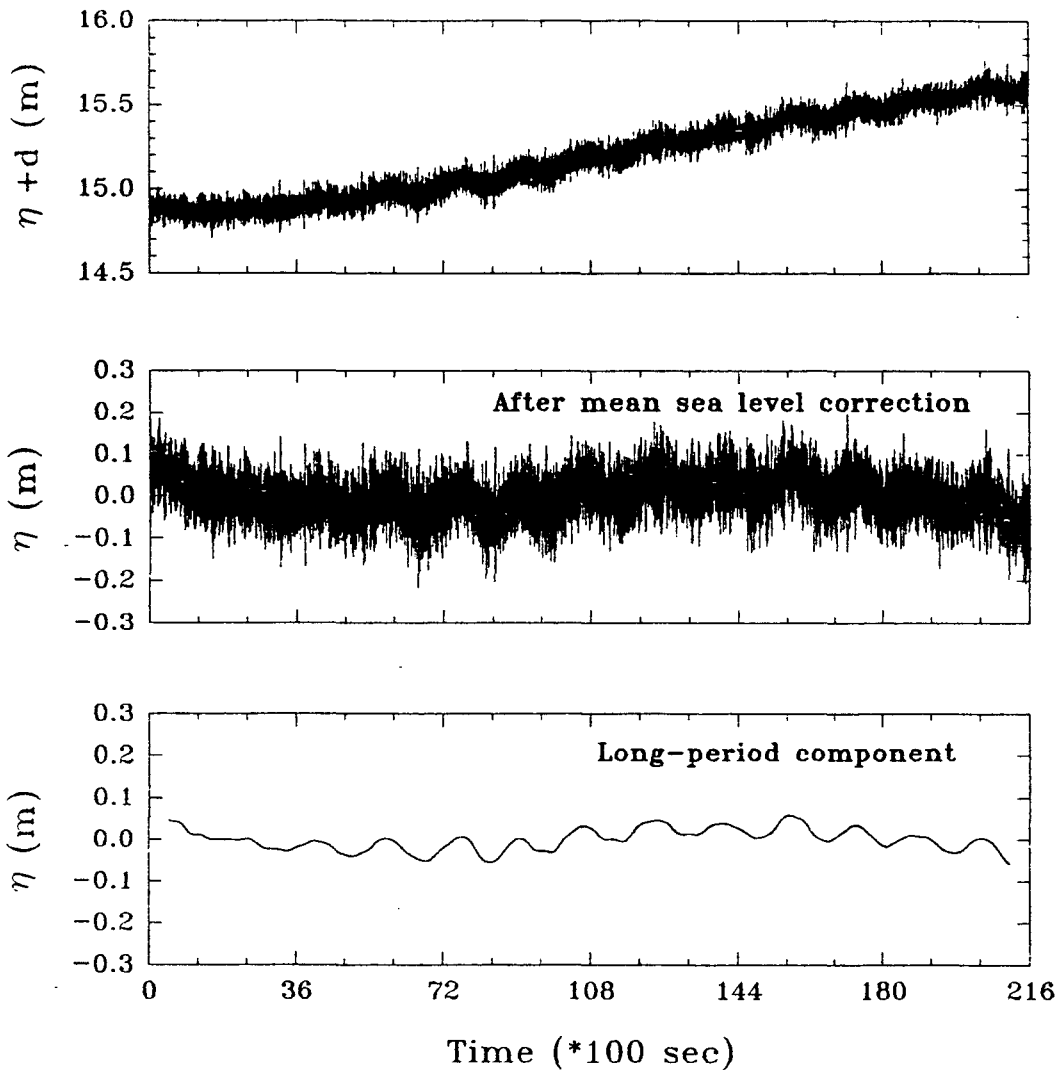


Fig. 3. Tidal component obtained from PUV and surface displacement extracted by means of a digital filter (Case II).

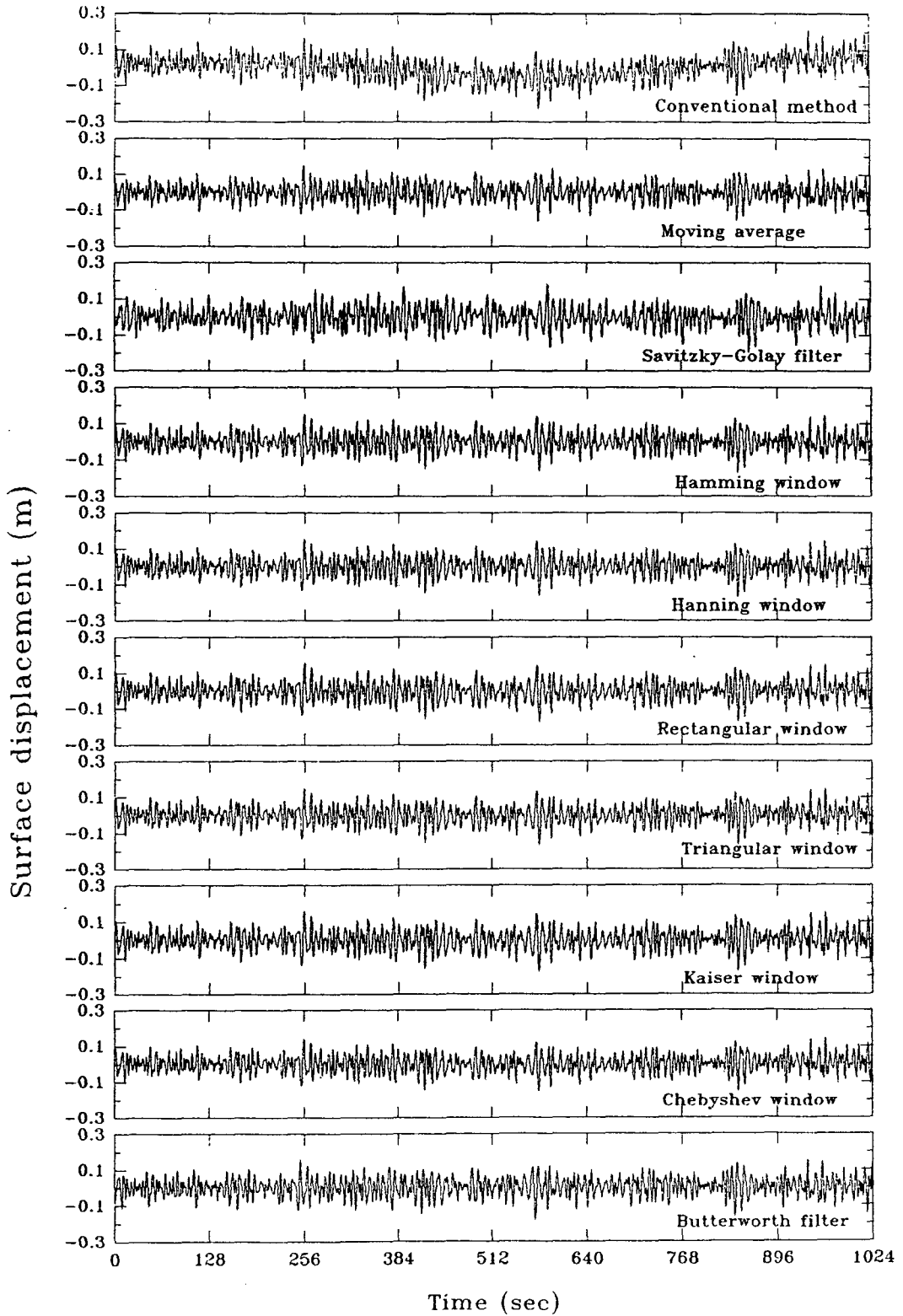


Fig. 4. Wave profiles after filtering by various methods(Case I).

간격 Δt 는 0.5~1.0초로 하는 것이 적당하다는 보고 (Kobune, 1990)가 있기 때문에, 본 연구에서는 현장관측자료를 얻기 위한 측정간격 Δt 를 0.5초로 하였다. 그리고, 스펙트럼해석시 Δt 가 0.5초 일 때 자료수는 2,048개로 얻어지기 때문에 FFT해석을 행하는 경우의 파랑길이는 적합하였다.

필터설계에 있어서 무한개의 데이터를 이용하여 필터링을 하는 것은 불가능하므로, 데이터는 어느 정도 유한개로 하지 않으면 안된다. 그러나 이와같이 유한개의 항으로 절단된 데이터를 이용한 필터의 특성은 처음에 주어진 주파수특성과는 달라지므로 바람직한 주파수특성을 가지는 필터를 만들기 위해서는 데이터수를 많이 해야 하는데, 이는 계산시간이 많이 필요하다는 것을 의미한다. 그러므로 필터를 이용하여 얻어진 응답함수로서 바람직한 필터계수를 선정하여야 한다. Fig. 1은 필터설계에 있어서 시간영역과 주파수영역으로 나누어 필터계수를 구하는 식을 나타낸 것이며, window함수를 이용할 때는 필터계수와 window함수를 곱한 후의 window화된 계수로서 출력력을 나타낸다.

수치필터의 적용에 있어서는 필터길이를 각각 31, 63, 121개를 이용하였다. 이들에 대한 주파수응답특성을 보면 필터길이가 길어질 수록 주파수응답특성이 좋아진다. 그렇지만 window 특성, 스펙트럼 왜곡 및 안정도에 관해서는 window폭을 넓히면 추정스펙트럼의 분산이 커지고, 또한 왜곡이 감소되지만, window폭을 좁히면 추정스펙트럼의 분산은 감소하고 안정도는 증가하는 것으로 나타났다 (Hino, 1977). 따라서 필터길이를 길게 하면 스펙트럼의 분해능은 좋지만, 추정 정도, 안정성이 저하되므로, 여기서는 필터길이를 63개로 하여 수치필터에 적용해 보았다.

풍파성분을 검출하기 위해 수치필터의 필터계수는 다음과 같이 산정하였다. 시간영역에서는 관측된 파형을 각 시점에서 단순평균화하는 방법으로 필터계수를 얻고, Savitzky-Golay법에서는 이동 window안의 최소자승 다항회귀식의 유도 과정에서 얻어지는 필터계수의 집합을 구하였다. 비순환필터는 필터의 주파수응답의 역 Fourier 변환으로 얻어진 수치필터의 주파수응답과 6가지 window 함수와의 연산으로 window화된 필터계수를 구하였다. 순환필터인 Butterworth필터는 쌍1차 z 변환에 의하여 좁은 변이대역 (transition zone)을 갖도록 설계하여 계산하였다.

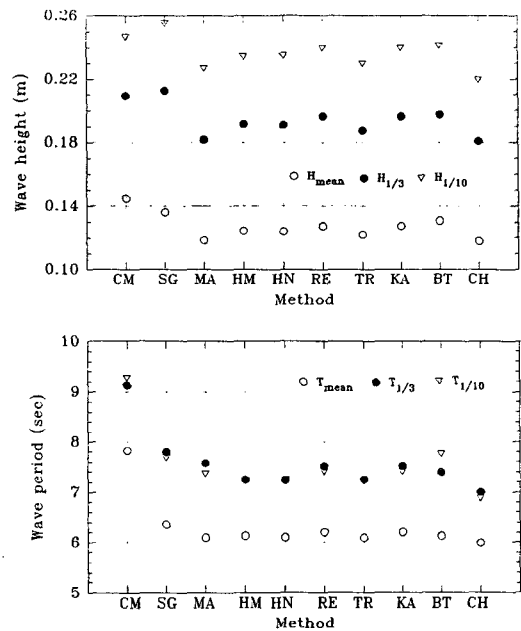
현장관측된 자료중에서 비교적 수심이 얇은 천해역에서 PUV (ACM-8M 특수형)를 사용하여 얻은 관측자료와 수심이 깊은 심해역에서 Seapac (Model 2100) 유속계를

사용하여 얻은 관측자료 그리고 초음파식파고계 (USW)를 이용하여 주전파랑관측소에서 관측된 아날로그자료를 정리하여 Table 1에 나타냈다.

결과 및 고찰

파고계로부터 관측된 시계열자료는 Fig. 2, 3과 같다. 각 그림의 상단은 파고계로부터 얻어진 본래의 시계열자료이다. 가운데의 각 그림들은 2차곡선으로 조석성분을 제거하여 상단의 시계열에서 2차곡선을 뺀 시계열자료이다. 하단의 각 그림들은 조석성분이 제거된 시계열자료를 Savitzky-Golay필터를 적용하여 추출한 장주기파형을 나타낸 것이다. 이와 같이 추출한 장주기파형이 풍파해석을 위한 일반적인 기록시간인 20분 안에서 수분의 진동이 두드러지게 나타나는 시간대를 뽑아낸 시계열자료에 대하여 수치필터를 적용하여 저주파수 성분을 제거한 후, 파별해석법으로 얻은 파랑인자들을 비교·검토하였다.

시간영역에서 단순 이동평균법과 Savitzky-Golay법은 기본적으로 low-pass형의 필터이고, 비교적 저주파수성분을 추출하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 추출된 저주파수의 자료로부터 본래의 자료를 뺀 것을 풍파성분



CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
CH: Chebyshev window

Fig. 5. Variation of representative wave parameters obtained from filtered data(Case 1).

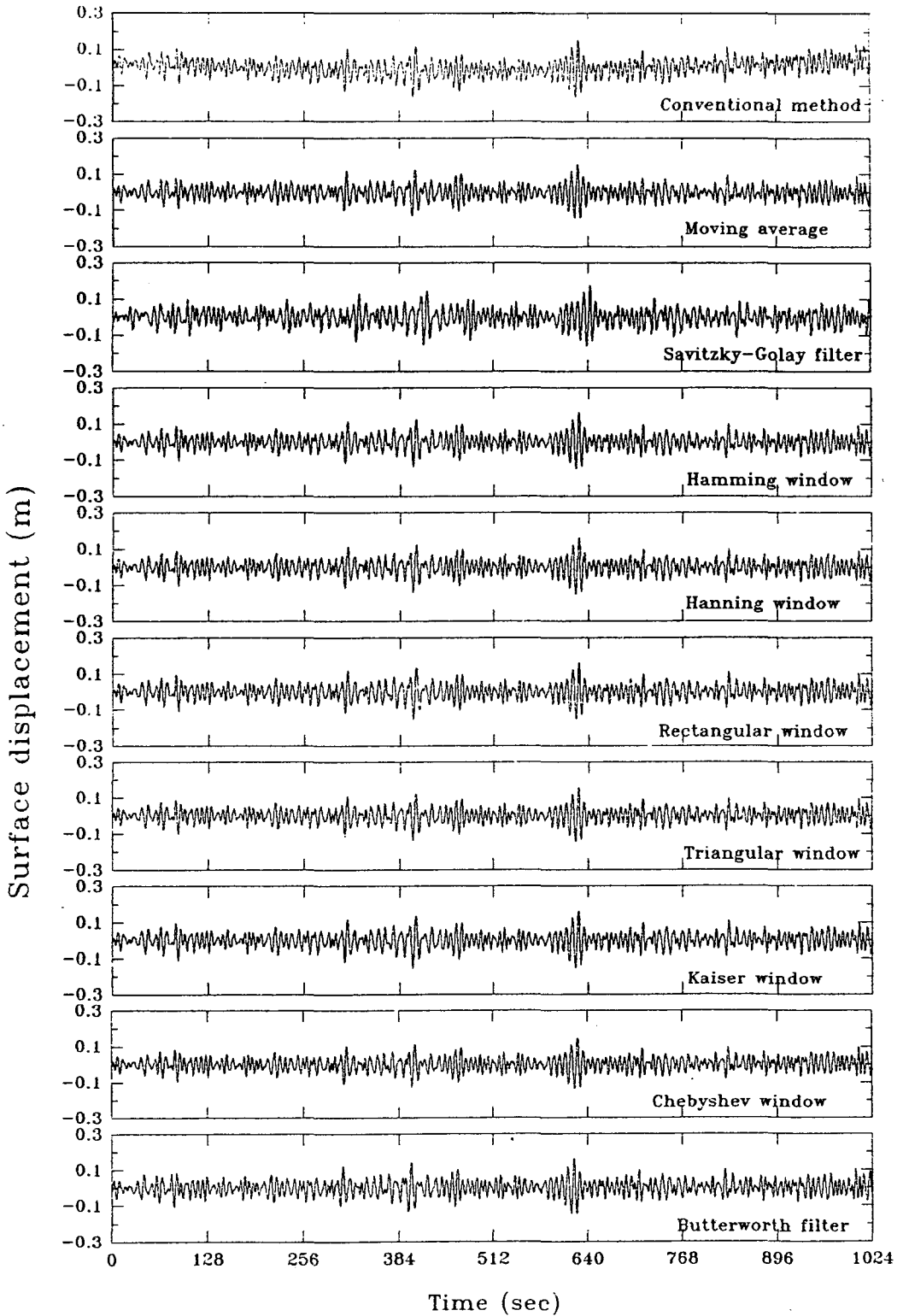
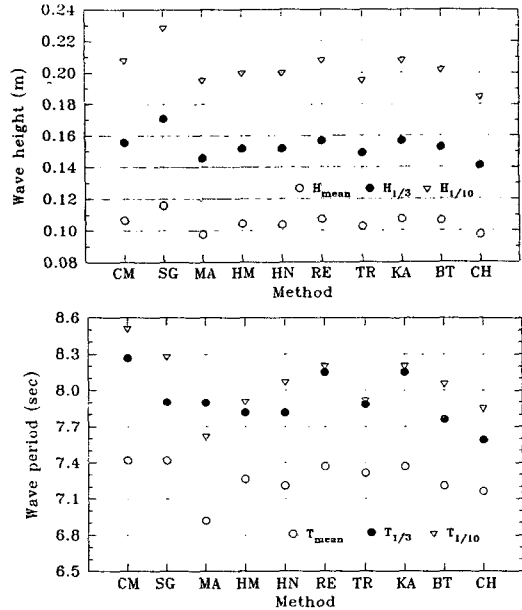


Fig. 6. Wave profiles after filtering by various methods(Case II).

의 시계열로 나타낼 수 있다. 주파수영역에서 비순환필터는 6가지 window함수를 이용하여 차단주파수를 0.033 Hz(주기는 30초)로 두고 high-pass형의 필터로 계산하고, 순환필터인 Butterworth 필터도 high-pass형의 필터로 계산하여 시계열을 나타내었다.

Table 1의 Case가은 광안리에서 관측한 시계열자료이며, Fig. 1로부터 풍파이외의 저주파수성분이 두드러지게 나타나는 시간대(5,400~6,424초)를 뽑아내어 산술평균하여 나타내는 종래의 방법과 수치필터를 이용하여 얻은 수면파형(η)은 Fig. 4와 같다. 여기서는 비교적 수심이 얇은 천해역인 지점이므로 평균수위의 변동으로 인한 저주파수성분이 많이 나타났다. 이들 대표값에 대하여 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다. 종래의 방법으로 얻어진 대표파의 값이 비교적 크게 나타나고 있는 것은 평균수위를 정하는 데 있어 평균수위보다 아래에 파가 존재하기 때문이다. 이러한 수분내의 진동을 가지는 저주파수성분을 제거하지 않으면 평균수위보다 아래에 있는 파는 파별해석법에 의해서 파고가 크게 나타나더라도 평균수위보다 밑에 있기 때문에 파고라고 정의되지 않는다. 그리고 파수(wave number)가 적어지므로 대표파고의 값은 필터를 걸는 경우에 작은 파의 누락 등으로 해서 큰 차이가 나지 않으나, 주기는 다수의 파들이 제거되므로 대표파 주기는 크게 나타나는 것으로 생각된다.

CaseII는 광안리에서 비교적 수심이 깊고, 천수변형과 반사 등의 효과가 거의 없다고 판단되는 지점에서 관측한 시계열자료이며, Fig. 2로부터 저주파수성분이 두드러지게 나타나는 시간대(7,800~8,824초)를 뽑아내어 caseI과 같은 방법으로 low-pass와 high-pass필터를 이용하여 저주파수성분을 제거한 수면파형은 Fig. 6과 같이 나타났다. 필터링된 결과를 파별해석법으로 대표파제원을 구하여 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다.



CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
CH: Chebyshev window

Fig. 7. Variation of representative wave parameters obtained from filtered data(Case II).

CaseIII은 주전 파랑관측소에서 얻어진 파랑인자 제원 파 수치필터를 이용하여 얻어진 인자들과 비교해보기 위한 것이다. Fig. 8은 본래의 시계열자료이며, Fig. 9는 본래의 시계열자료로 부터 low-pass와 high-pass필터한 후 각각의 방법으로 얻어진 수면파형을 나타낸 것이다. 주전파랑관측소에서 기록된 파랑인자와 수치필터를 이용하여 풍파성분만이 추출된 시계열자료를 파별해석법으로 얻은 파랑인자를 서로 비교하여 나타낸 것은 Fig. 10과 같다. 얻어진 대표값에 대하여 어느 정도 차이가 있는

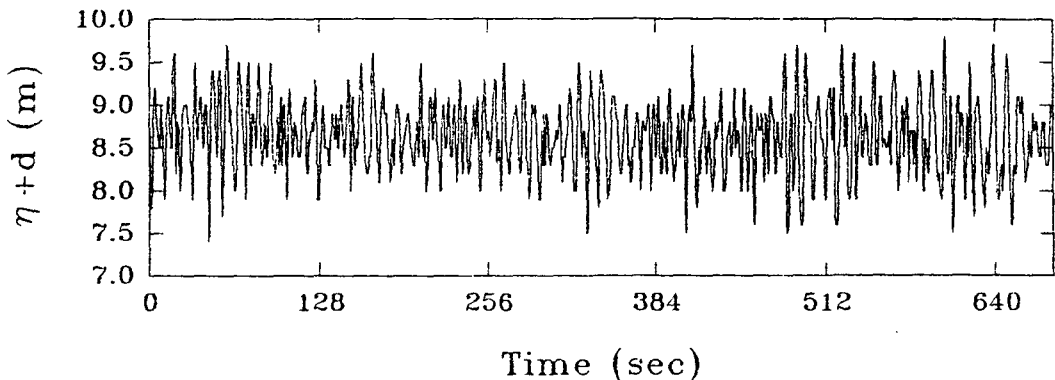


Fig. 8. Surface displacement measured by USW(Case III).

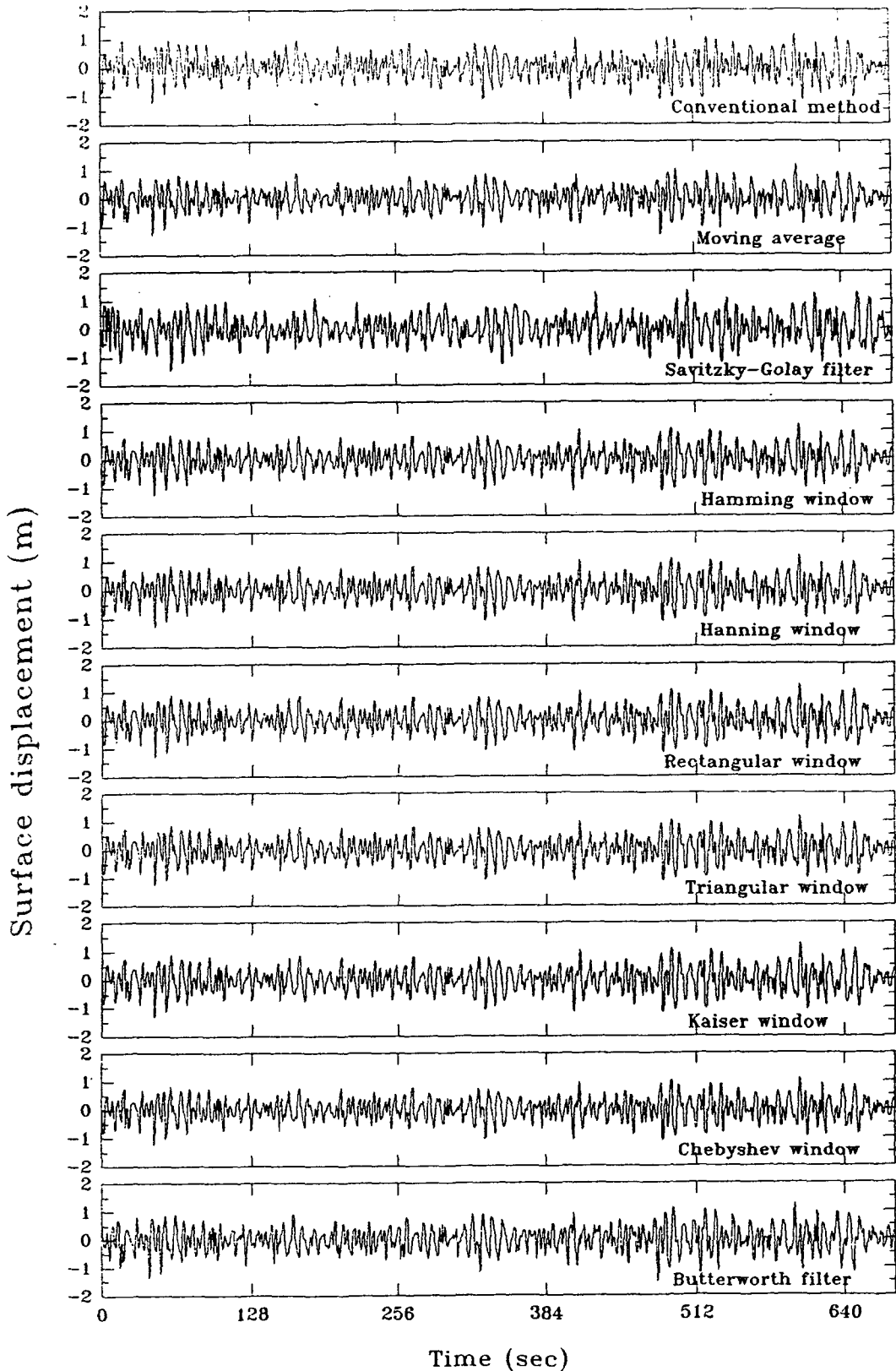
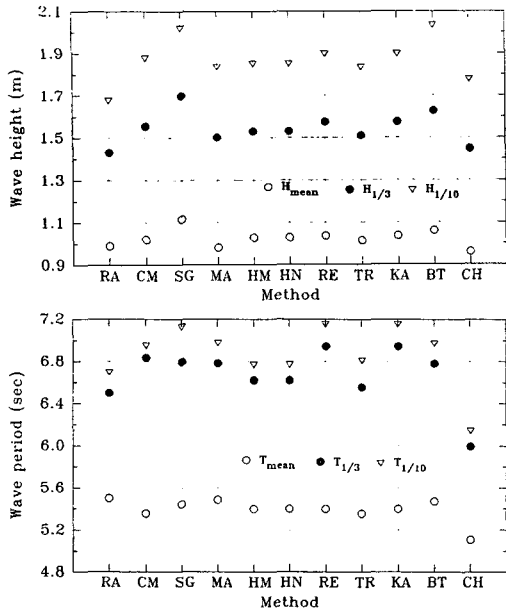


Fig. 9. Wave profiles after filtering by various methods(Case III).



CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
 HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
 TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
 CH: Chebyshev window, RA: Data obtained from sea wave observation st.

Fig. 10. Variation of representative wave parameters obtained from filtered data(Case III).

것은 평균수위를 보정하는 데 있어서 개인적 오차가 원인인 것으로 알 수 있다. 필터링된 대표파고 자체는 전체적으로 크게 나타나고 있고, 수심이 깊은 심해역이므로 평균수위만 잘 보정하면 대표값들이 잘 나타나는 것을 알 수 있다.

최적설계필터는 주파수응답의 필요조건으로부터 결정될 수 있으며, 여러가지 전달함수를 계산함으로써 가장 좋은 것을 선택할 수 있다. 이해하기 쉽고 설계가 간편한 중첩필터는 계산시간이 문제되지 않는 경우에 사용하기 용이하다. 실현가능성이 있고, 계산시간이 빠른 순환필터는 위상변화를 갖지만, 이러한 위상변화는 앞 뒤의 쌍방향으로 필터링하면 된다. Savitzky-Golay필터는 경험적으로 얻어진 필터길이를 cut-off 주파수에 근접하게 선택하여 계산하는 것이 바람직한 결과로 나타난다.

관측조건별로 종래의 방법과 필터링한 수면파형의 스펙트럼해석 결과는 Fig. 11~Fig. 13에 나타내었다. 이들 그림을 보면, 본래의 시계열자료에 대한 주파수의 에너지밀도와 수치필터를 적용한 후의 에너지밀도는 종래의 방법과 시간영역에서는 차단주파수를 필터길이에 따라 정해지므로 저주파수성분이 여전히 존재하는 것을 알 수 있다. 그러나 주파수영역에서는 차단주파수가 이미 정해지므로 풍파성분 이외의 저주파수성분들이 잘 제거되고

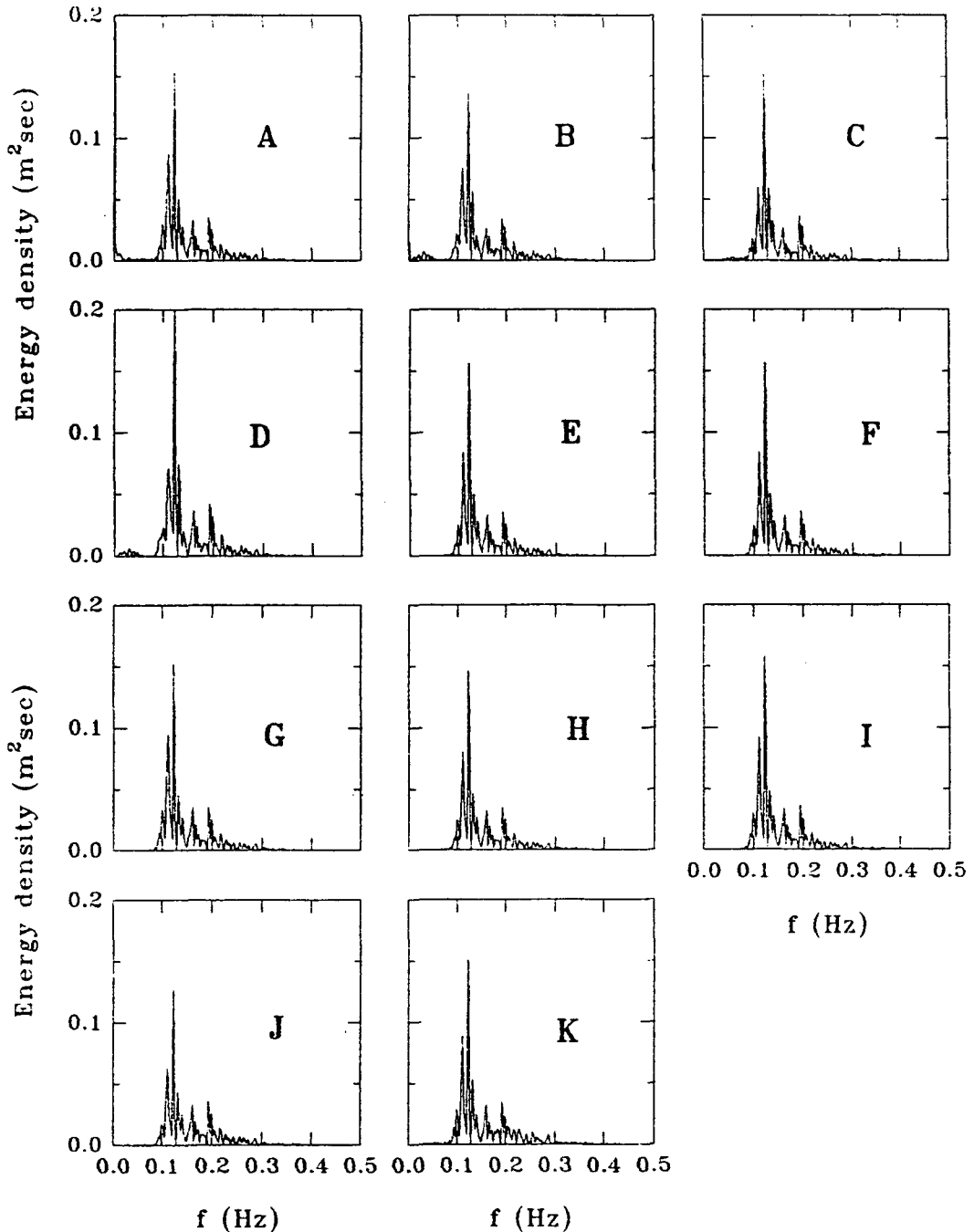
있는 것을 알 수 있다. 또한 스펙트럼형상은 본래의 자료에서 차단주파수보다 작은 저주파수성분을 제외하면 Butterworth필터가 가장 잘 표현되고 있다. 그렇지만 window함수를 이용해서 구한 주파수의 에너지밀도는 특정 주파수성분의 피크치가 서로 다르게 나타나므로 주파수 변환에 의해 대표값은 조금 왜곡되는 것을 알 수 있다. 이들에 대하여 스펙트럼해석한 결과와 파별해석법으로 구한 대표값의 변동은 Fig. 14~Fig. 16과 같이 나타났다. 여기서 파고는 거의 일치하며, 스펙트럼해석으로부터 얻어진 파의 총에너지의 대표치 m_0 와 주파수 스펙트럼의 2차모멘트 m_2 에 대한 평균주기에는 파별해석하여 얻어진 평균주기보다 짧은 주기를 나타나거나 거의 일치하고 있다. 이러한 결과의 원인으로서 파랑기록기의 차이와 파의 비선형효과를 생각할 수 있다. 현지바다에서 파는 무수한 미소의 파랑으로 이루어져 있을 뿐 아니라, 위상이 일정한 조화성분파들이 뒤따르고 있으므로 어느 경우에도 굴절, 회절 등의 변형계산에서 스펙트럼으로부터 주기를 추정할 때는 파랑변형후에 추정된 주기를 약간 조정할 필요가 있다.

요약 및 결론

본 연구에서는 수압식파고계와 초음파식파고계를 이용한 현장관측자료에 각종 수치필터를 적용하여 해석한 파랑인자를 비교검토하여, 수치필터의 적용성에 대해 논의하였다. 또한 수치필터의 설계, 적용방법에 따른 파랑해석 결과의 차이를 분석, 검토함으로써 필터 적용상의 문제점과 적용성이 높은 필터의 설계 및 평균수위 보정방법에 대해 검토하였다. 파별해석법과 스펙트럼해석법으로 해석한 파랑인자를 비교, 검토하여, 수치필터의 적용성을 주파수응답의 필요조건으로부터 결정하고, 여러가지 필터설계의 전달함수를 계산함으로써 정도 높은 현지파랑의 해석을 위한 장주기 파동의 처리 및 평균수위 보정방법을 정리할 수 있었다.

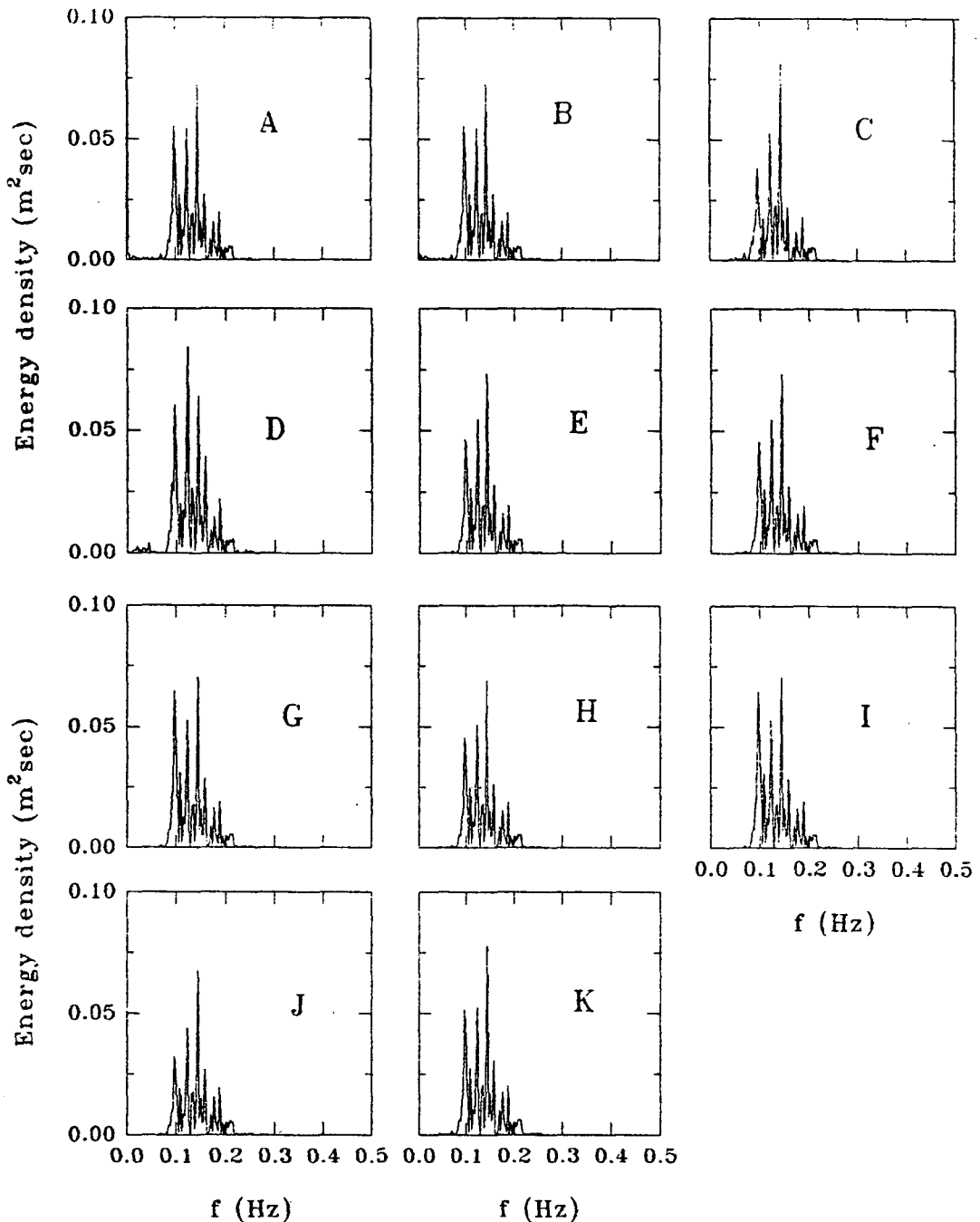
수치필터의 설계과정, 풍파영역의 해석 및 신뢰도 검증 과정의 각 연구단계에서 얻어진 주요한 결과를 정리해보면 다음과 같다.

1) 시간영역에서의 단순 이동평균법은 신호파형측정대상이 되는 주파수대의 현상이 랜덤하게 변하기 때문에 평활화처리되는 과정에서 잡음의 특정 주파수대가 상관을 가지고 변화한다. 그 결과 파형이 왜곡되어 나타나고, 주파수응답은 통과대역과 차단대역이 뚜렷하지 않고, 차단주파수도 풍파의 주파수보다 작으므로 풍파해석의 결과가 왜곡되기 쉬운 성질을 확인하였다.



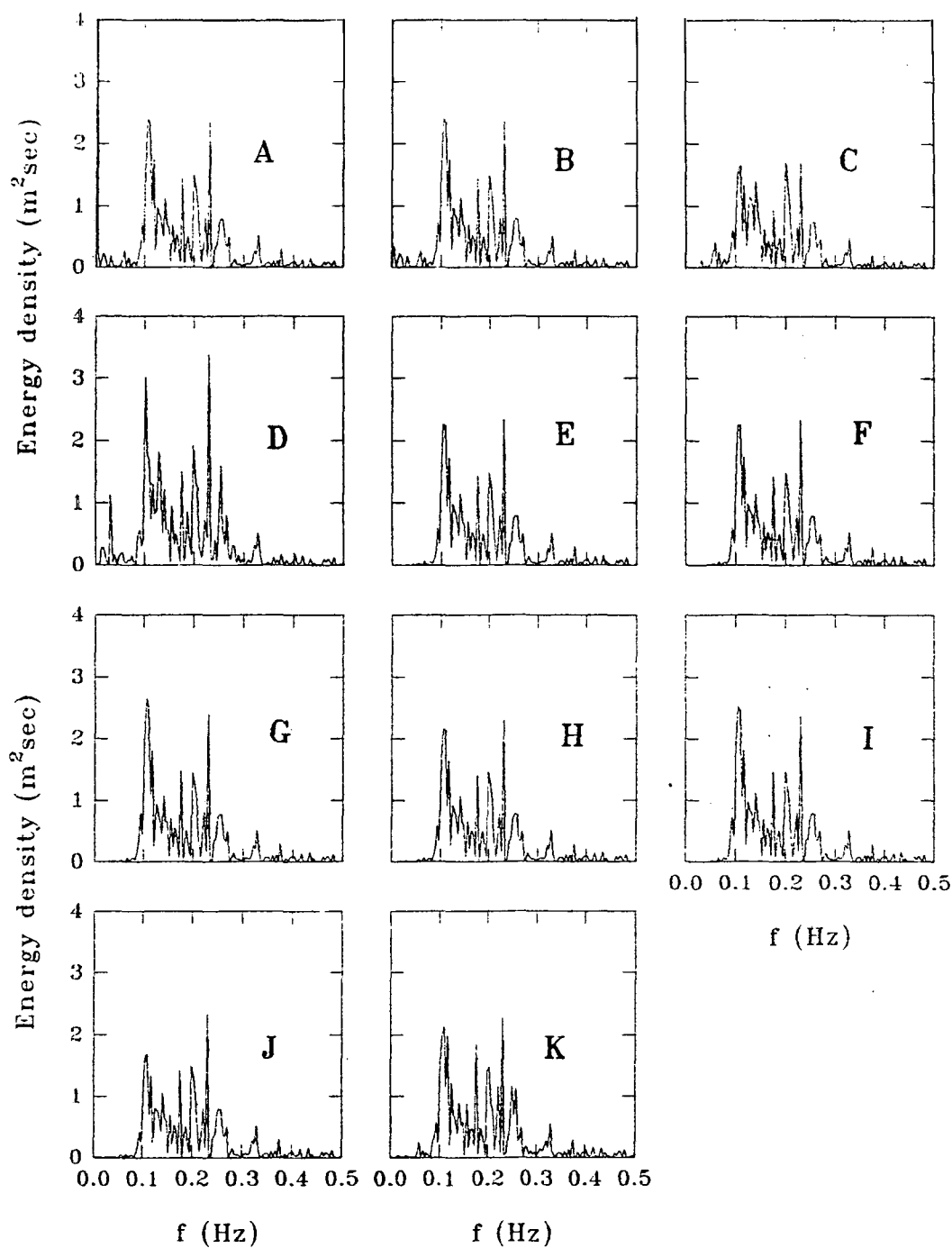
A: Raw data B: Conventional method C: Moving average
 D: Savitzky-Golay filter E: Hamming window F: Hanning window
 G: Rectangular window H: Triangular window I: Kaiser window
 J: Chebyshev window K: Butterworth filter

Fig. 11. Energy densities calculated by various methods(Case I).



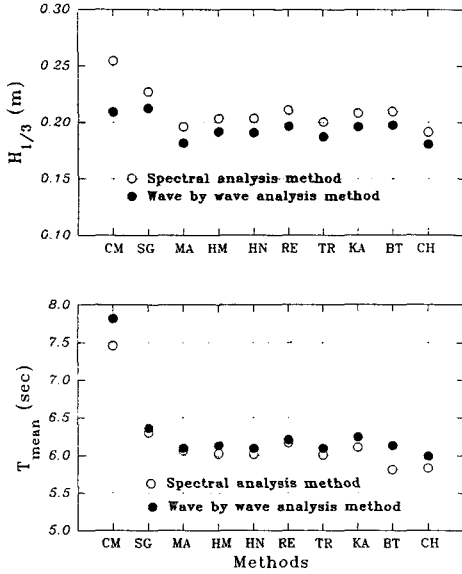
A: Raw data B: Conventional method C: Moving average
 D: Savitzky-Golay filter E: Hamming window F: Hanning window
 G: Rectangular window H: Triangular window I: Kaiser window
 J: Chebyshev window K: Butterworth filter

Fig. 12. Energy densities calculated by various methods(Case II).



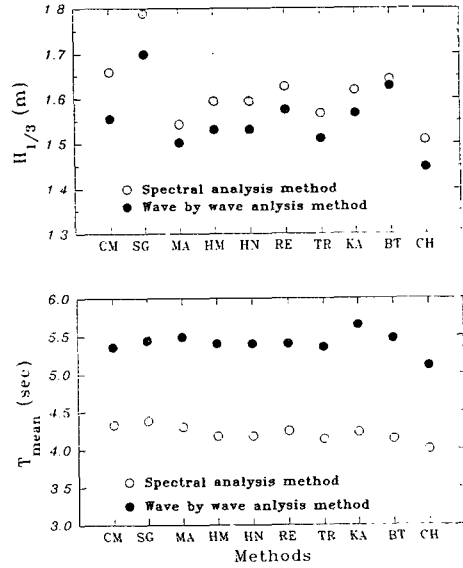
A: Raw data B: Conventional method C: Moving average
 D: Savitzky-Golay filter E: Hamming window F: Hanning window
 G: Rectangular window H: Triangular window I: Kaiser window
 J: Chebyshev window K: Butterworth filter

Fig. 13. Energy densities calculated by various methods(Case III).



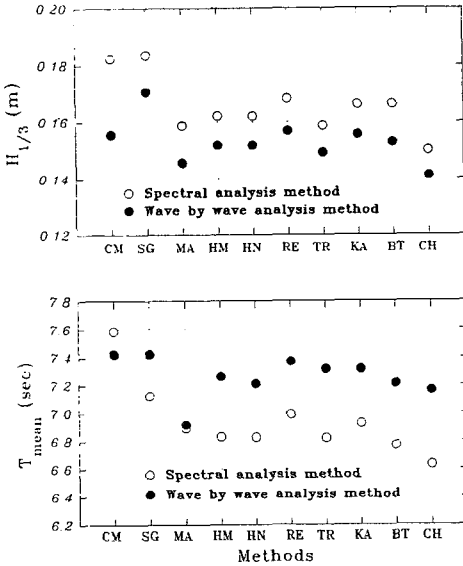
CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
 HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
 TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
 CH: Chebyshev window

Fig. 14. Representative wave parameters derived by spectral analysis and wave by wave analysis methods(Case I).



CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
 HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
 TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
 CH: Chebyshev window

Fig. 16. Representative wave parameters derived by spectral analysis and wave by wave analysis methods(Case III).



CM: Conventional method, SG: Savitzky-Golay filter, MA: Moving average
 HM: Hamming window, HN: Hanning window, RE: Rectangular window
 TR: Triangular window, KA: Kaiser window, BT: Butterworth filter
 CH: Chebyshev window

Fig. 15. Representative wave parameters derived by spectral analysis and wave by wave analysis methods(Case II).

2) Savitzky-Golay법은 상대적으로 떨어진 거리의 자료를 중복하여 이용함으로써 잡음의 한계를 줄일 수 있다. 주파수응답은 필터길이를 63개로 했을 때 통과대역은 좋으나 차단대역에서는 좋지 않다. 또한 차단주파수가 0.033 Hz보다 크게 되므로 파랑인자의 대표값들이 크게 나타나므로, 주파수응답이 차단주파수에 접근하도록 차수와 필터길이를 조정해야 할 것으로 생각된다.

3) Window함수를 이용한 비순환필터는 통과대역과 차단대역이 잘 나타나게 필터길이를 좀더 길게 한 후 필터링하는 것이 좋게 생각된다. 그렇지만 빠른 결과와 자료의 손실을 적게 하기 위해서는 필터길이를 63개 정도로 하는 것이 적당하다고 생각된다. 에너지 밀도 또한 본래의 자료에서 30초 이상의 장기기성분을 잘 제거하고 있으므로, 대표값들이 잘 나타나고 있다고 생각된다.

4) Butterworth필터는 주파수응답의 통과대역과 차단대역이 가장 잘 나타나고, 계산시간이 빠르고 쌍방향으로 필터링하여 위상변화를 처리하기 때문에 대표값들이 잘 나타나고 있다. 또한 주파수의 에너지밀도와 스펙트럼형상은 가장 잘 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

따라서 수압식파고계로부터 얻어진 자료를 처리할 때 평균수위의 보정방법에 있어서 수치필터링한 후에 대표

파 제원을 산정하는 것이 적합하다. 수치필터로서는 시간영역에서 필터길이를 경험적으로 선택하여 차단주파수가 잘 나타나게 하여 Savitzky-Golay법을 사용하는 것이 좋다. 주파수영역에서는 통과대역과 차단대역이 가장 좋은 Butterworth필터를 이용하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Goda, Y. 1985. Random Seas and Design of Maritime Structures. University of Tokyo Press, Tokyo, 323pp.
- Hamming, R. W. 1983. Digital Filters. 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 257pp.
- Hino, M. 1977. Spectral Analysis. Chochang Press, Tokyo, 300pp.
- Kim, H. J. and Kang, Y. Q. 1984. A note on oceanographic application of digital filters. J. Oceanol. Soc. Korea, 19 (2), 133~140.
- Kyoji A. and Y. Oguchi. 1992. Characteristics of Savitzky-Golay filters and their applications on noisy records of artificial seismic waves. BUTSURI-TANSA, 45(5), 436~446.
- Koji, K. 1990. A study on the methodology of coastal wave observation and wave climate in Japanese coastal sea area. Technical Note of the Port and Harbour Research Institute Ministry of Transport, Japan 668, 35~57.
- Korea Maritime and Port Administration. 1986. Report on analysis of wave data. 174pp.
- Korea Maritime and Port Administration. 1993. Report on analysis of wave data. 284pp.
- Korea Maritime and Port Administration. 1994. Report on analysis of wave data. 312pp.
- Masanori Saito and Yoshinori Ishii. 1969. Simple recursive filter. BUTSURI-TANKO, 22(6), 527~532.
- Masanori S. 1978. An automatic design algorithm for band selective recursive digital filter. BUTSURI-TANKO, 31 (4), 240~263.
- Minami S. 1986. Wave Data Analysis for the Scientific Measurement. CQ Press, Tokyo, 238pp.
- Priestley, M. B. 1981. Spectral Analysis and Time Series. Academic Press Inc., London, 291~501.

1996년 6월 29일 접수

1996년 12월 21일 수리