

## 漁港開發에 必要한

# 外力要素의 解析 〈끝〉

류 청 로 〈釜山水産大學校 海洋工學科教授 · 工博〉

〈‘가을호’에서 계속〉

### (3) 이상파랑통계(장기파랑통계)

해양구조물의 파력에 의한 피토파괴, 연안의 해저지형변형 등의 문제에 있어서는 파력의 누적도수분포가 중요하다. 즉  $H^{1/3}$  과  $T^{1/3}$  의 상관도수 등을 계산해야 할 필요가 있다. 이의 계산에 있어서 기본적으로 개별파의 초과확률을 전술한 파후통계의 출현확률을 고려하여 가산하면, 개별파 전체로서의 초과확률을 구할 수 있다. 이러한 장기통계는 당연히 파고, 주기, 파향에 대해서 이루어져야 하나, 현재로서는 고파의 주기변동이 비교적 작고, 파향에 대한 조사·연구결과가 적은 이유로 파고에 대한 검토 즉 고파의 극치분포 등에 관한 논의가 핵심을 이루어 왔다.<sup>26)</sup>

이 문제는 외력인자화와 밀접한 관계를 가지는 통계치이므로 현재까지의 해석방법과 경향에 대해 후술하기로 한다.

### (4) 파랑통계의 신뢰성

통계자료로부터 해석되는 추정치의 신뢰성은 전적으로 자료의 질과 양에 지배된다. 파랑통계에 있어서는 파형기록의 정확성, 결측상황, 관측기간의 길이 등이 주요인이 된다. 각각의 통계방법에 따른 오차발생 및 신뢰성을 좌우하는 요인과 주요한 관련연구 성과는 <표 2>와 같다.



〈표 2〉

파랑통계의 신뢰성을 좌우하는 요인

통계의 종류	요 인	특 기 사 항
단기파랑통계	· 파형기록의 정확도	· 신뢰도가 높은 기록이 상당수 있으면 충분한 통계 해석이 가능(수많은 연구 성과가 있음)
파 후 통 계	· 관측기간: 5년이상이면 비교적 안정	· 연도별 변동을 무시할 수 없다. 통계치로 가장 안정도가 큰 연간 평균 유의파고· 주기의 경우에도 평년치와 15% 정도의 차까지 발생
장 기 통 계	· 관측기간 결측기간중의 고파발생 유무 파후의 장기변동 파랑추산에 의한 경우 추산의 오차와 고파발생조건의 누락여부	· 월간평균유의파고: 50% 이상의 차도발생 · 100년 탁월 파고 추정시 <sup>60)</sup> 30년 간의 자료사용: 오차 16% 5년 간의 자료사용: 오차 40%

4. 풍파와 외력인자화

(1) 대표파(설계파)

어항구조물을 설계한다거나, 어항 주위의 표사 이동 및 항만 매몰에 대한 해석과 대책을 수립한다거나 할 경우 파랑의 장기통계 및 파후통계의 과정으로부터 대표적인 외력인자로서의 설계 파랑을 결정하여 사용하는 것이 종래의 일반적인 방법이었다. 이 외력을 대표하는 대표파(설계파)는 당연한 이야기이겠지만 해석하고자 하는 항목에 따라 적용방법을 달리해야 할 필요가 있다. 즉 구조물의 종류에 따라 파과의 기구가 달라지기 때문에 그 특성에 부합되는 통계파(Hmax, H<sup>1</sup>/10, H<sup>1</sup>/3, T<sup>1</sup>/3, τ, 파향 등)로써 대표시켜야 합리적인 외력인자화가 이루어졌다 할 수 있다.

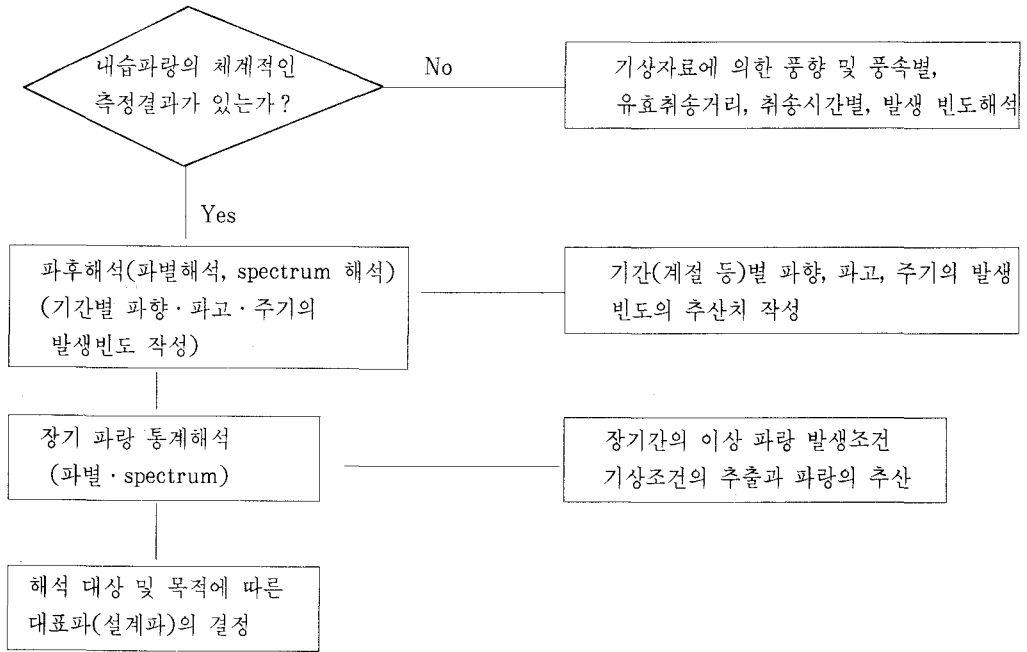
예로서 습田는 직립방파제의 설계파로써 최대 파를 사용할 것을 제안하여 최대파설계개념을 확립시킨 바 있으나 사석제 등의 설계에 있어서는 이 논리를 구분별하게 적용할 경우에는 H<sup>1</sup>/3 = 2.0Hmax의 관계와 사석중량 W = αH<sup>3</sup>의 일반적인 중량산정식을 고려하면 8배의 중량차까지 보일 수 있는 것이다. 또한 사석구조물의 안정성에는 파랑주기의 효과, 사면상의 소상파와 입사파의 공진현상의 영향 및 폭풍의 지속시간과 Wave grouping의 영향이 매우 크게 나타나는 것으로

지적되어 이러한 영향인자들을 외력인자화해야 할 필요성을 강조하고 있다.<sup>27)~30)</sup>

또한 어항 주위의 해저지형변화 등의 장기적인 변동의 해석 등 그 대상에 따라 장기간의 평균적인 변동의 해석 등 그 대상에 따라 장기간의 평균적인 파랑에너지의 전달량과 해저지형의 평형을 고려할 경우와 극치적인 개념으로 단기간의 평균파의 극치가 외력인자로서 적용되는 것이 바람직할 경우가 있다. 이 경우에는 특히 파향의 영향이 그 어떤 인자보다도 중요한 역할을 한다.

이러한 대표적인 개념으로 외력인자화를 시도할 경우 설계파고, 주기(파장), 파향은 〈그림 5〉와 같은 흐름으로 결정할 수 있다. 즉 측정된 파랑자료의 유무에 따라 방법을 달리하지만, 측정치가 없는 경우는 이상기상의 발생 또는 태풍의 내습 등 극치외력의 발생조건이 되는 기상조건 등으로부터 장기간의 관측치에 준할 수 있도록 파랑을 추산하여 극치에 대한 빈도해석을 실시하면 된다. 파랑추산 또는 예측에 관해서는 다음의 기회에 상세히 논의하기로 한다.

이 극치해석의 방법으로는 전술한 식(1)~(2)를 사용할 수 있다. 중요한 것은 해석하고자 하는 현상에 영향을 미치는 결정적 요인을 파랑의



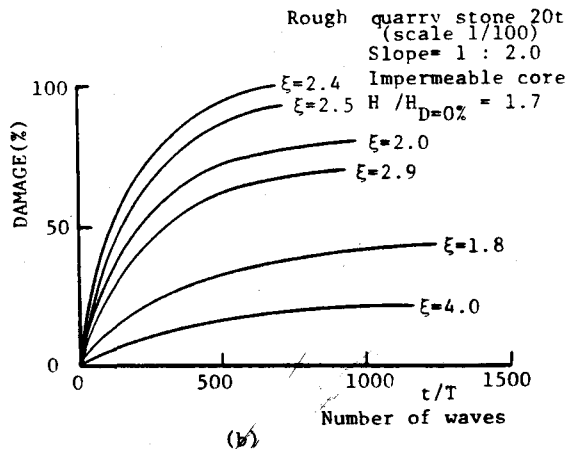
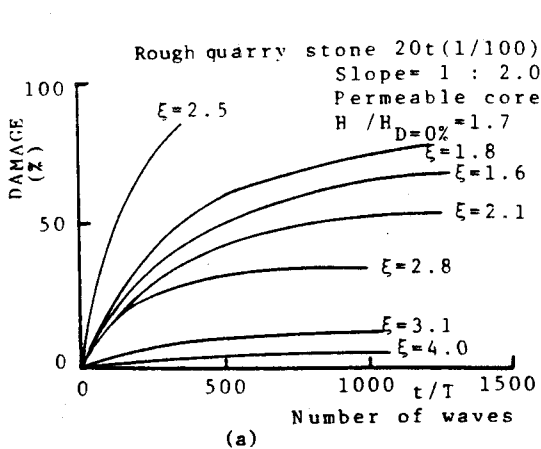
〈그림 5〉 대표파 결정의 기본흐름

〈표 3〉 대표파에 대한 해석 대상별 외력인자화와 문제점

구조물 종류 및 해석대상	종래의 대표적인 외력인자	기타 고려해야 될 외력인자 및 문제점
직립식 구조물	Hmax	연간 $H^{1/3}$ 의 최대치( $H^{1/3} \max$ )를 사용하느냐, 연 최대파고 Hmax의 최대치를 사용하여 빈도해석하느냐에 따라 검토할 필요가 있다. 연 최대파고를 사용할 경우, 과대외력 평가의 가능성을 지적할 수 있다.
사석(이형블럭)구조물	$H^{1/3}$	허용 파괴율에 따라 다소 블럭 이동을 허용할 경우, $H^{1/10}$ 블럭 이동을 전혀 허용하지 않는 경우, Hmax를 사용해야 함 <sup>16)</sup> 파랑주기(T) 및 사면상의 공진현상, ( $\xi$ ) <sup>27)~30)</sup> wave grouping 및 spectrum 현상, <sup>27)~30)</sup> 파랑의 지속시간 <sup>16)</sup>
해저지형 변화	$\bar{H}$ , $\beta$ , $\tau$	단기적인 변화와 장기적인 변화 국소적인 변화와 전체적인 변화 등 대상에 따라 외력 인자를 재평가.

파고와 주기로써 표현되는 종래의 설계파로써 평가할 경우 어떤 통계치로써 그 현상을 대표시키는 것이 타당한가 하는 것의 결정이다. 이러한 관점에서

의 외력인자화에 대해서는 정리된 연구결과가 거의 없어서 저자의 식견으로 대표적인 해석대상에 대해 대략 분류하면 〈표 1〉과 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 6〉 사석구조물의 안정성에 미치는 외력지속시간의 효과

(2) Spectrum 형상 및 Wave grouping factor에 의한 방법

주파수 spectrum의 형상 또는 파랑의 시계열을 그대로 외력인자로 하여 구조물의 동적응답을 해석하는 방법은 주로 계류된 부유구조물의 거동과 계류력, 표류력 해석에 널리 이용되어 왔다. 결과적으로 이들 부유구조물의 해석상에 대표적인 발상 즉 하나의 규칙파로 가정하는 외력인자화로는 spectrum의 형상 또는 wave grouping factor의 변화에 대한 고려가 불가능하다는 것이 최근에 얻어진 연구성과이다.

한편, 이와같은 현상을 사석구조물의 안정성 해석에 응용하여 온 저자 등의 연구결과에 의하면,<sup>27)~30)</sup> 역시 spectrum의 형상, 특히 사면상의 공진현상을 유발시키는 영역의 파랑이 계속되는 정도로 표현한 wave grouping factor의 변동에 의해 안정성이 크게 변화한다. 즉 똑같은 유의파고(설계파고)에 대하여도 spectrum의 형상변화 및 Grouping factor의 변화에 따라 사석(블럭)의 중량은 크게 변동하는 것을 확인하고 실제 설계에 이들 factor의 값 즉 spectrum 첨에도 parameter를 이용한 사석 중량산정식을 제안한 바 있다.<sup>30)</sup>

이들 spectrum의 형상과 wave grouping factor 간에는 일반적으로 밀접한 상관관계를 가짐으로 스

펙트럼 형상을 알면 어떤 종류의 wave grouping factor도 예측이 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>16)</sup> 어쨌든 이 spectrum이든 wave grouping factor를 외력인자로 하여 해석할 경우, 설계외력으로 어느 것을 쓸 것인가 하는 문제에 대한 기본 개념을 대표 파에 대한 외력인자화와 같은 것으로 어느 지역의 장기간 관측치 또는 추산치로부터 해석할 수 있는 확률론적인 빈도해석의 개념을 적용해야 할 것이다.

이러한 불규칙해양파의 실제에 가까운 파형 또는 spectrum 특성을 외력인자로 하는 설계개념을 정립시키고자 하는 것이 세계적인 추세인 만큼 이를 위한 지속적인 파랑관측계획과 추산모델의 개발이 요구된다.

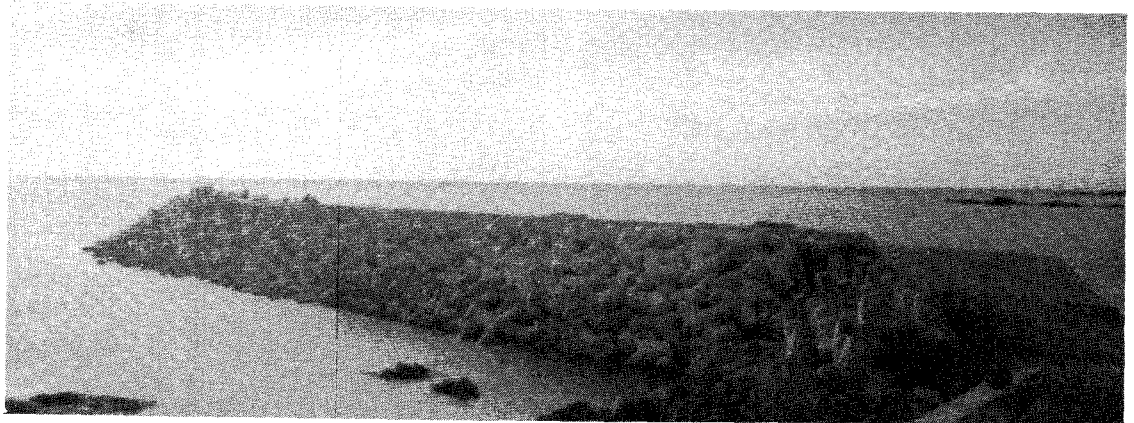
(3) 지속시간(duration time)의 외력인자로서의 고려

파후특성의 지속시간에서 논의한 바와 같이 해상 공사나 해양시설(어항시설)의 가동물 산정에 있어서 임의의 현상에 대한 한계파후의 지속시간 특성을 파악해야 함은 물론이고, 구조물의 안정성 해석이나 설계에 있어서도 이 극치외력의 지속시간이 문제가 된다.

〈그림 6〉은 사석구조물에 대한 작용파수의 증대에 따른 파괴율(D%)의 증가정도를 나타낸 저자 등의 실험결과이다.<sup>28)</sup> 그림중의 parameter  $\xi$ 는 surf similarity parameter  $\xi = \tan\theta / \sqrt{H/L_0}$ 의 값을 나타

낸 것으로 사석구조물의 안정성에는 이 parameter 가 2.5정도일 때 똑같은 파고에서도 매우 큰 파괴력을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이렇듯 구조물의 종류에 따라 안정성에 특별한 영향을 미치는 외력

인자에 대한 지속시간의 영향이 큰 점을 고려하면, 설계외력으로써 대표파 또는 대표 spectrum 외에도 이 외력의 지속시간이 대단히 중요한 외력 요소임을 알 수 있다.



## 5. 결론

이상에서 논의한 바와 같이 어항과 관련한 어떤 구조물, 또는 어떤 현상에 대해 해석하고자 할 경우, 이 현상을 가장 잘 설명할 수 있는 외력인자 또는 영향인자들을 충분히 검토해야 할 필요가 있다. 이 검토결과에 따라 종래의 경직된 외력인자화 즉 설계파고, 주기만에 착목하는 개념에서 해석대상 현상의 특성을 충분히 고려하는 포괄적이고 유연한 외력인자화 작업이 이루어져야 한다. 이에선 물론 특수현상이 영향인자에 대한 구체적인 해석과 연구의 성과가 뒷받침되어야 하겠지만 포괄적으로 말할 수 있는 것은 대표파에 의한 설계시에는 반드시 불

규칙파의 특성 즉 spectrum이나, wave grouping 등 시계열 특성에 의한 외력의 변화특성을 고려하여 검토해야 함을 강조할 수 있다. 또한 이들 특성의 지속시간에 영향을 받는 현상의 해석에는 역시 이 외력인자의 지속시간도 중요한 외력인자임을 강조할 수 있다.

이러한 합리적 외력인자화는 파랑에 대한 종합적인 관측결과로부터 얻어질 수 있는 것이다. 또한 이들 단주기 외력요소는 장주기 해면변동 위에서 변동하는 것으로써 이에 따른 소상파 문제, 월파 문제, 항내 전달파 문제, 구조물 및 어선 등 시설물의 안정성 문제 등의 해석에 장주기 파동성분의 극치와 관련지어 고려해야 할 기본적으로 해석하지 않으면 안될 외력요소이다.

- 26) Battjes, J. A. (1972) : Long term wave height distribution at seven stations around the British Isles, Deutchen Hydr. Zeit, Band 25, Heft4, 179-189.
- 27) Ryu, C. R. and T. Sawaragi (1986a) : A new design method of rubble mound structures, Proc. 20th Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, 3, 2188-2202.
- 28) Sawaragi, T. C. R. Ryu, and K. Iawata(1983) : Consideration of the destruction mechanism of rubble mound breakwaters dueto the resonance phenomena, Proc. 18th I. H. C., 3, 197-3.208.
- 29) Sawaragi, T., C. R. Kyu, and M. Kusumi(1984) : Destruction characteristics of rubble mound breakwaters by irregular waves, Proc. 31th Japanese Conf. on Coastal Eng., 562-566.
- 30) Ryu, C. R. and T. Sawavagi(1986b) : Wave control function and design principles of composite slope rubble mound structres, Coastal Eng. in Japan, 28, 227-240.