

다 입력 변수 TFN 모형을 이용한 파고예측에 관한 연구

○ 최희훈*, 조원철**

1. 서론

국토가 좁고 3면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라의 여건상 해양 및 연안에 대한 개발은 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 해양이라는 특수성과 최근의 새로운 기상유형의 출현으로 인해 개발이 점점 어려워지고 있는 실정이다. 따라서, 연안 사업이 발달하고 연안의 인구 집중도가 높은 우리의 실정으로 볼 때 해안 구조물 설계의 기초 자료중 하나인 설계 파고를 정확히 산정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 올바른 설계파고 산정을 위해서는 무엇보다 파고 관측 자료의 확충이 필수적이다. 그리고 연안 및 항만의 재해를 방지하기 위해서는 자연 재해에 대한 사전 예측을 통해서 능동적으로 대처하는 것이 중요하다. 게다가 최근 지구 온난화에 의한 새로운 기상유형, 해수면 상승, 장기 기후 변동 등에 대한 대책 수립 요구가 증가하고, 그에 따른 기존 설계 기준의 보강에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 새로운 설계 기준의 마련을 위해서는 미래시점의 파고를 예측함으로써 장기적인 파고 변동에 대한 올바른 이해가 필요하다. 이상과 같은 파고예측의 필요성에도 불구하고, 현재는 광역 심해파 경계조건을 이용한 동수역학적 파고 산정에 연구가 집중되고 있는 실정이다. 따라서, 파고 예측에 대한 추계학적 접근이 필요한 시점이라고 할 수 있다. 위와 같은 필요성에 따라 수행된 본 연구의 목적은 특정 해역에서의 장기적인 파고 산출 자료를 기반으로 미래시점의 파고를 가장 잘 예측할 수 있는 추계학적 모형을 구성하여 실제 산출 자료와 비교함으로써 적용성을 검증하는 데 있다.

2. 모형의 구성

2.1 SARIMA 모형의 구성

강문지점의 파고 자료를 시간에 따라 도시해 봄으로써 주기성이 있음을 확인하였다. 그림 2.1은 강문지점의 유의파고를 도시한 것이고, 그림 2.2는 연단위와 월단위로 이중 계차화한 자료를 도시한 것으로 원자료보다 주기성이 많이 제거되었음을 보여준다. 계차화한 유의파고 자료에 대한 왜곡도 계수 검정은 $N > 150$ 인 경우에 해당하므로 가설 검정을 수행하였다 (Snedecor와 Cochran, 1980). 계차화한 자료의 왜곡도 계수는 0.10925로 정규 분포를 이루는 것이 확인되었다. 따라서, 자료의 변환과정은 생략하고 계차화한 자료를 사용하였다. 그림 2.3의 상관계수도에서 보는 바와 같이 파고 산출 자료는 주기성을 나타내고 있다. 월 단위와 연 단위로 계차화 (differencing)함으로

* 연세대학교 대학원 토목공학과 석사

** 연세대학교 공과대학 사회환경건축공학부 교수

써 주기성이 제거된 그림 2.2의 자료는 정상 시계열이라 할 수 있다. 그림 2.4의 상관계수도에서 보는 바와 같이 파고 산출 자료는 주기성이 많이 제거되어 있음을 확인할 수 있다.

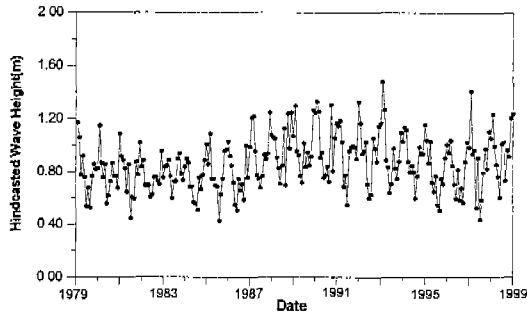


그림 2.1 월 단위 유의파고 (원시계열)

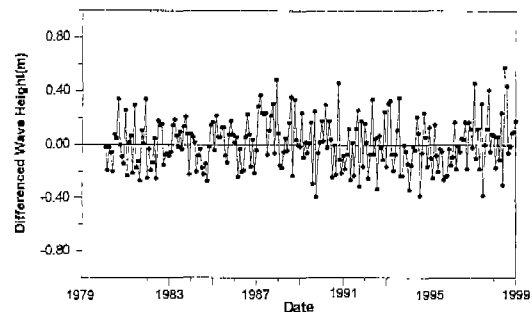


그림 2.2 월 단위 유의파고 (계차화)

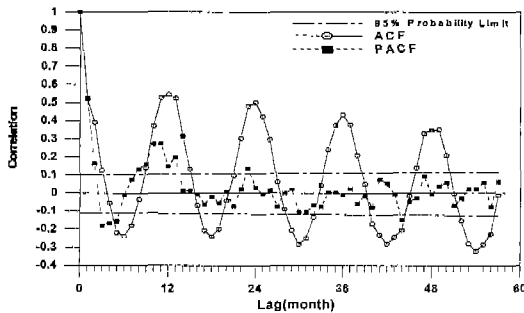


그림 2.3 파고 자료의 상관계수도 (원시계열)

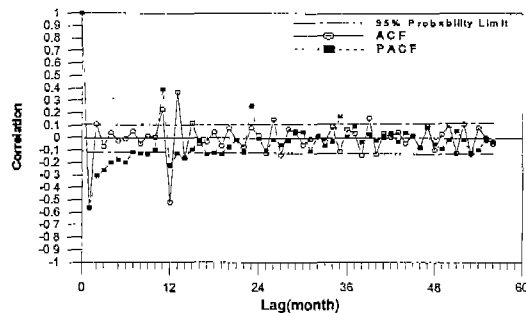


그림 2.4 파고 자료의 상관계수도 (계차화)

2.2 주기성 모형의 형태 결정

계차화를 통해 자료간의 상관성을 제거했기 때문에 $(p, d, q) \times (P, D, Q)_s = (0, 1, q) \times (P, 1, Q)_s$ 가 된다. $(0, 1, q) \times (P, 1, Q)_s$ 모형의 가장 간단한 형태인 $(0, 1, 1) \times (0, 1, 1)_s$ 모형을 적합 모형으로 가정하였다. 실제 자료 $\nabla \nabla_{12} Z_t$ 의 상관계수도가 지체수 1, 11, 12, 13에서 0이 아닌 값, 즉 확률 한계 밖의 값을 갖는 것으로 보아 가정은 타당하다 (Box 등, 1976). 여기서 ∇ 은 계차 연산자이다.

2.3 다 입력 변수 TFN 모형의 구성

다 입력 변수 TFN 모형은 풍속을 비롯한 기상인자 즉, 기압, 온도 등이 파고에 미치는 영향을 고려할 수 있다. 그림 2.5와 2.6에서 보는 바와 같이 풍속, 기압과 파고 사이의 상관관계를 이용하여 다 입력 변수 TFN 모형을 구성하였다.

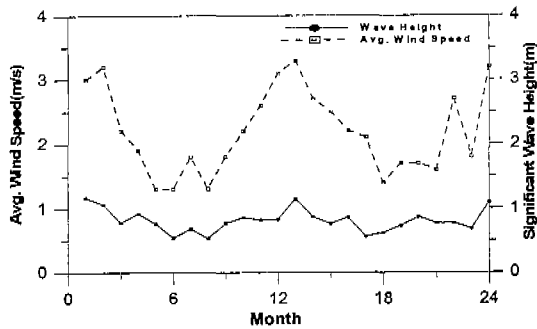


그림 2.5 파고와 평균 풍속과의 관계

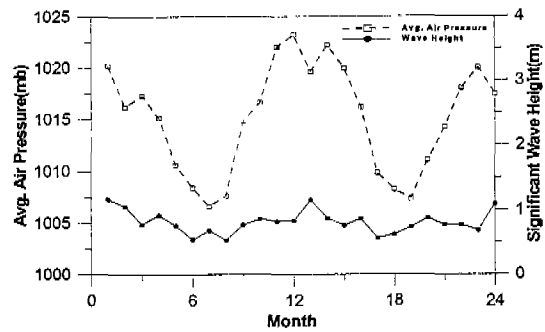


그림 2.6 파고와 평균 기압과의 관계

그림 2.7은 유의파고와 평균 기압과의 상관성을 나타내는 것으로 지체수 1에서 가장 큰 상관계수 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그림 2.8은 유의파고와 평균 풍속과의 상관성을 나타내는 것으로 지체수 0에서 가장 큰 상관계수 값을 갖는다는 것을 보여준다.

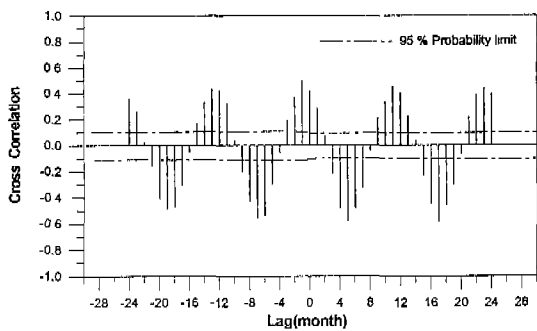


그림 2.7 파고와 평균 풍속과의 상관계수도

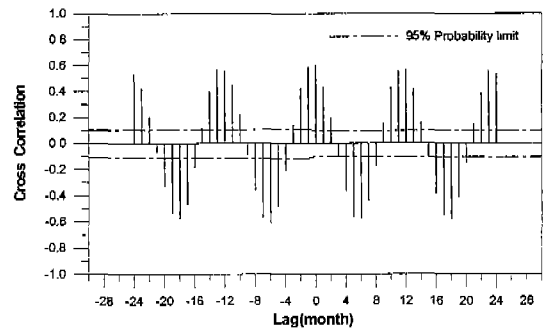


그림 2.8 파고와 평균 기압과의 상관계수도

2.3.1 모형의 판별

TFN 모형의 판별에는 경험적인 방법, Box와 Jenkins 방법 그리고 Haugh와 Box 판별 방법이 있다 (Hipel 등, 1994). 여기서는 가장 보편적으로 쓰이는 경험적 방법에 의해 모형을 판별하였다. 충격 응답 함수의 분모인 $\delta(B)$ 는 파고 자료 사이의 상관성에 따른 매개변수이므로, AR 모형의 매개변수와 비슷한 역할을 한다. 따라서, $\delta(B)$ 의 차수 r 은 0으로 놓을 수 있다. 분자 $\omega(B)$ 는 평균 풍속 및 기압이 파고에 미치는 영향에 대한 매개변수이다. 월 평균 풍속 및 기압이 여러 달 후의 파고에까지 영향을 미친다고 할 수는 없다. 따라서 현재의 파고 또는 한달 안의 파고까지 직접적인 영향이 있을 것으로 가정한다. 그러면, $\omega(B)$ 의 차수 s 는 1로 생각할 수 있다. 따라서, $\delta(B) = 1$, $\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B$ 라고 할 수 있다. 마지막으로 지체시간의 결정은 상관계수도에서 판단할 수 있다. 즉 지체시간 b 는 풍속에 대해서는 1, 기압에 대해서는 0으로 결정되었다. 그러나, 입력 변수가 많아지면서 매개변수 추정 과정에서 발생하는 불안정한 모형이 발생한다. 따라서, 후보 모형군에 대해 AIC (Akaike's Information Criterion) 값을 계산하여 적합모형을 판별하였다 (Akaike, 1974). 상관계수도, 잔차의 검증, 예측 결과를 토대로 결정된 선택 후보 모형군에 대한 AIC 값을

계산하였고, $(0, 1, 1) \times (1, 1, 1)_S + (0, 1, 1)_{WEND} + (0, 1, 0)_{AIR-P}$ 의 형태가 가장 작은 AIC 값을 갖는 모형으로 나타났다.

2.3.2 매개변수의 추정

최종 결정된 다 입력변수 TFN 모형은 주기성 AR 매개변수인 ϕ_1 , 비주기성 MA 매개변수인 θ_1 , 주기성 MA 매개변수인 θ_2 , 각 전달 함수의 ω_0 와 ω_1 이렇게 총 7개의 매개변수를 갖는다. 이런 매개변수 값은 Box 등 (1994)의 이론에 근거한 Rats (Thomas, 1997)를 이용하여 계산하였다.

2.3.3 모형의 검정

그림 2.9와 그림 2.10의 결과를 통해 잔차에 대한 비상관성, 즉 무작위성은 확인된다. 정규성은 잔차의 왜곡도 계수가 0.10421이므로 왜곡도 검정 조건을 만족한다.

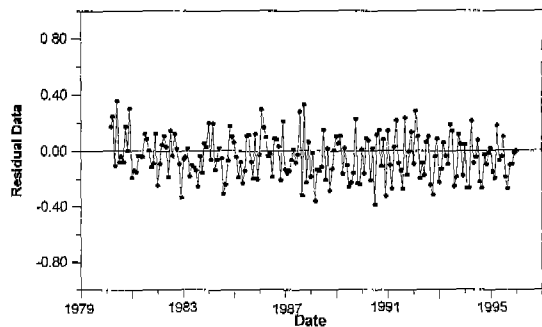


그림 2.9 TFN 모형에 의해 산정된 잔차 값

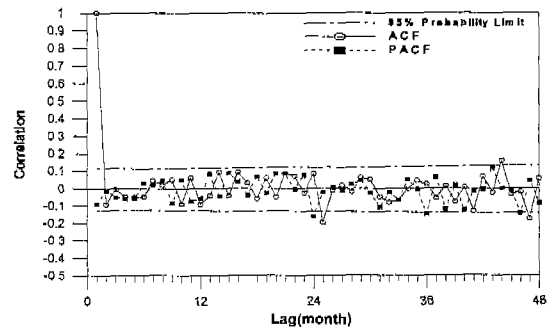


그림 2.10 TFN 모형의 잔차에 대한 상관계수도

그림 2.10을 통해 잔차에 대한 경향성이 없음을 확인할 수 있다. 또한 그림 2.11에 나타난 산포도에서 보는바와 같이 예측값과 잔차 사이에 일정한 경향성이 없이 흩어져 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 모형은 잔차의 homoscedasticity 검정을 통과한다.

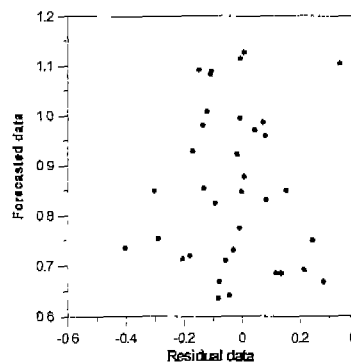


그림 2.11 잔차와 예측값 사이의 산포도

3. 적용 결과

다 입력 변수 TFN 모형은 모든 검정을 통과함으로써 적합 모형으로 판정되었다. 본 TFN 모형을 강문 지점에서 1996년 1월부터 36개월간의 파고 자료를 예측하는데 적용하였다. 그림 3.1은 TFN 모형을 이용한 36개월간의 예측값을 다른 모형들과 도시하여 비교한 것이다. 그림 3.2는 예측값에 대한 산포도이다.

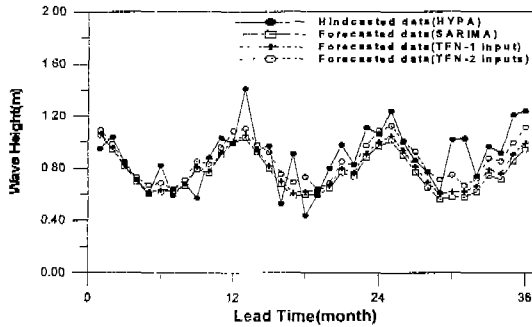


그림 3.1 다 입력 변수 TFN 모형의 예측 결과

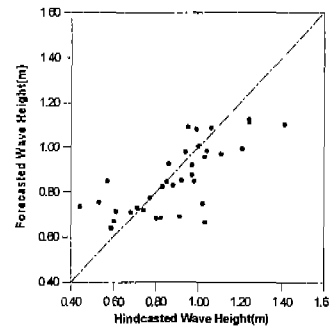


그림 3.2 TFN 모형의 결과 산포도

그림 3.1에서 보는 바와 같이 SARIMA 모형과 단일 입력 변수 TFN 모형의 결과에 비해 다 입력 변수 TFN 모형이 전체적으로 조금 더 정확하게 예측하고 있음을 볼 수 있다. 특히, 2년 이상의 장기적인 파고 예측에서는 다 입력 변수 TFN 모형이 다른 모형에 비해 훨씬 우수한 결과를 나타냈다. 다음의 그림 3.3은 각 모형에 의해 예측된 결과를 실제 관측 자료와 비교한 것이다. TFN 모형에 의한 결과가 HYPA 모형에 비해 다소 과소 예측하고 있었으나, 실제 자료와 비교해 본 결과 HYPA 모형이 오히려 실제 관측값 보다 과다하게 예측하고 있다. 따라서, 향후 실제 관측 자료가 충분히 구비 될 경우 TFN 모형을 이용해 HYPA 모형보다 더 정확하게 장기적인 파고의 특성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 예측 결과는 몇몇 시점을 제외하고는 비교적 정확하게 예측되었다. 전체 3년간의 대체적인 절대오차는 13 % 수준으로 앞선 SARIMA 모형이나 단일 입력 변수 TFN 모형보다 우수한 결과를 보이며, 특히 24개월 이후의 예측에서는 훨씬 정확한 것으로 나타났다.

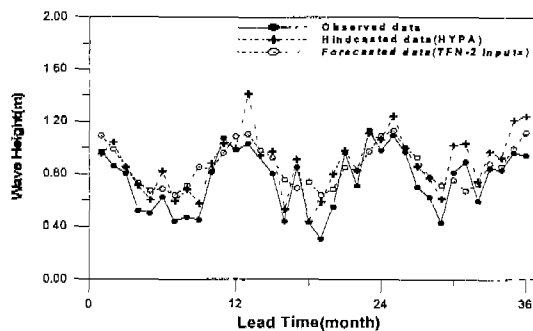


그림 3.3 관측값과 각 모형의 예측 결과 비교

4. 결론

본 연구에서는 설계 과고를 계산하는데 가장 기본적인 요소인 유의과고 자료의 확충과 해안 방재를 위해 반드시 필요한 장기적인 과고 예측을 추계학적으로 접근하였다. 강문 지점의 1979년부터 1998년까지의 20년간의 유의과고 자료 중 1979년부터 1995년까지의 17년간의 자료를 분석하여 모형을 구축하였다. 주기성 매개변수를 갖는 다 입력 변수 TFN 모형의 가장 적합한 형태는 $(0, 1, 1) \times (1, 1, 1)_S + (0, 1, 1)_{\text{WIND}} + (0, 1, 0)_{\text{AIR-P}}$ 로 결정되었다. 본 연구에서 채택된 다 입력 변수 TFN 모형은 현재 설계의 기본 자료나 해상 예보에 사용하고 있는 추산 모형인 HYPА 모형의 산출 결과를 비교적 잘 예측하고 있다. 또한 실제 관측값과의 비교를 통해 HYPА 모형이 본 연구에서 채택된 시계열 모형보다 과대 예측하고 있는 것을 확인하였으며, 경우에 따라서는 본 연구에서 채택된 시계열 모형들이 HYPА 모형을 대체하거나, 보완할 수 있는 것으로 판단된다. 향후 연구 과제로는, 관측 지점이 많이 확충될 경우 여러 관측 지점간의 상관성을 고려할 수 있는 다변량 SARIMA 모형의 개발과 다 입력-다 출력 (Multiple Inputs - Multiple Outputs) 구조를 갖는 TFN 모형의 개발을 들 수 있다.

5. 참고문헌

- Akaike, H. (1974). "A new look at the statistical model identification." *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, pp. 716-723.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., and Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis : Forecasting and Control 3rd Ed.*, Prentice-Hall.
- Hipel, K.W. and McLeod, A.I. (1994). *Time Series Modeling of Water Resources and Environmental Systems*, Elsevier.
- Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. (1980). *Statistical Methods*, The Iowa State University Press, Ames, IA.
- Thomas, A.D. (1988). *User's Manual, Rats, Version 3.0*, VAR Econometrics, Inc., Evanston, IL.
- Thomas, A.D. (1997). *Rats for Windows (v. 4.31)*, Estima, Evanston, IL.