

연안 모니터링 자료의 허(虛)와 실(實)



조흥연

한국해양과학기술원 해양환경보전연구부 책임연구원
 한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 교수
 hycho@kiost.ac

과학기술발전에 가장 크게 기여한 것은 무엇인가?

다양한 대답이 가능하고 서로 순위를 가름하기는 어렵지만 저자는 '관측 자료'를 조금도 주저함이 없이 최고의 자리에 앉히고 싶다. 그럼 연안공학의 기술발전에 가장 크게 기여한 것은 무엇인가? 간단한 논리이다. 연안 모니터링 자료이다. 연안 모니터링 자료의 축적·관리·공유 수준이 어떤 나라의 연안공학 수준을 결정한다고 볼 수 있다. 조석은 조위자료 및 조류자료가 가장 풍부한 나라가 가장 수준이 높다고 할 수 있고, 파랑은 파고, 주기, 파향 자료가 가장 풍부한 나라가 가장 수준이 높다고 볼 수 있다. 폭풍해일이라면 폭풍정보와 해일 정보를 가장 많이 가지고 있는 나라가 가장 수준이 높다고 할 수 있다. 이러한 저자의 견해에는 전적으로 동의하지는 않더라도, 다음의 유사한 논리에는 동의할 것으로 생각한다.

“연안 모니터링 자료가 거의 없는 나라가 연안 과학기술 분야에서 높은 수준을 유지하기는 거의 불가능하다.”

최근 우리나라도 연안 모니터링의 중요성을 인식하고 다소 경쟁적으로 연안 모니터링 사업을 수행하고 있는 실정이

다. 그러나 자료의 수준은 자료의 양적수준과 어느 정도 관계가 있으나 자료의 신뢰수준(품질관리 수준)과 공유정도가 결정한다. 그리고 또 하나 중요한 것이 관측 자료의 실질적인 의미이다. 관측 자료의 실질적인 의미는 관측하고자 하는 항목의 시간적인 변화양상을 파악할 수 있음을 의미한다. 관측항목의 공간적인 변화 양상 파악도 매우 중요하지만 실질적으로 우리나라 연안의 모든 지점에서 모든 항목을 관측하는 것은 불가능하기 때문에 우선순위에 따라 관측 지점을 늘려가는 방법이 불가피하며, 관측지점을 아무리 늘려간다고 할지라도 관측 자료로 공간변화를 파악하는 것은 한계가 있다. 물론 인공위성 자료를 이용하여 어떤 특정 시점 또는 시간간격으로 어떤 항목의 고해상도 공간분포를 파악하는 관측이 가능할 수 있지만 보다 작은 시간-공간규모 변동양상을 파악하기는 불가능하다.

다양한 모니터링 방식을 이용한 자료 조합도 가능하지만 본 기사에서 저자가 다루는 관측 자료는 정점-연속 시계열(time-series) 관측 자료이다. 어떤 지점에서의 파랑관측이 해당되고, 어떤 해안에서의 지형(주로 해안선) 변화 관측이

해당이 된다. 어떤 하천에서의 오염부하 관측이 해당이 되고, 어떤 해역에서의 조류 관측이 해당이 된다. 우리나라 연안에서 다양한 환경 인자가 관측되고 있으나, 모든 관측을 다룰 수는 없기 때문에 연안공학 분야에서 관심을 두는 바람, 조석, 파랑 및 지형 변화 자료를 중심으로 자료의 자격요건 및 수준검토 방법을 제안하고자 한다. 연안 모니터링 사업은 매우 중요한 국가사업이며, 단편적인 연안 모니터링 자료도 서로 공유할 경우 축적 효과를 기대할 수 있다. 그러나 최근 활발하게 수행되는 연안 모니터링 사업이 우리나라 연안 과학기술분야의 수준향상에 기여하기 위해서는 신뢰할 수 있는 자료를 생산해야 하며, 생산된 자료의 활발한 보급과 공유가 수행되어야 한다.

연안의 바람자료

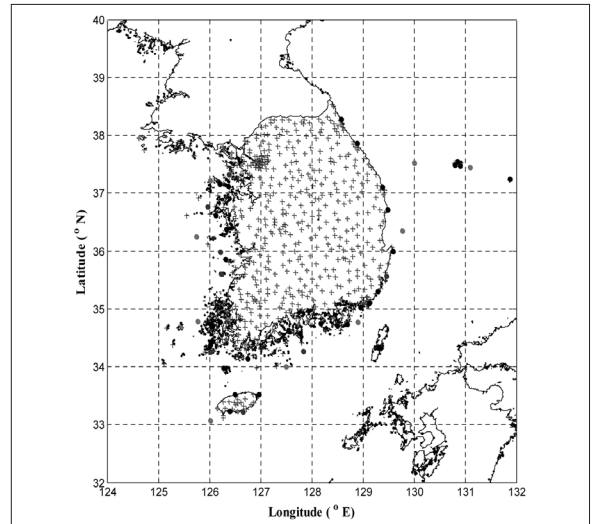
우리나라 연안의 바람자료는 기상청 자료가 대부분을 차지하고 있다. 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)에 접속하여 관측자료 -> 바다 관측자료 부분을 보면 국내부이, 국내 등표로 구분된 지점에서 바람 인자를 관측·제공하고 있음을 알 수 있다(〈그림 1〉). 물론 기상관측지점에서 섬이나 바닷가에 위치한 지점의 바람자료도 이용이 가능하다. 연안의 바람 자료는 그 활용범위가 매우 다양하지만 연안공학 관점에서는 바람에 의하여 형성되는 파랑 예측의 문제와 최근 부각되고 있는 해상풍력 발전평가를 위한 풍황(wind field) 분석의 관점에서 중요하다.

연안 해역의 바람 정보는 간단하게 인접한 육상 지점의 바람자료로부터 추출하는 방법이 제안되고 있으나 불확실성이 매우 크기 때문에 불가피한 경우에만 사용할 것을 권장하는 방법이어야 한다. 이 방법은 관심해역에서 일정기간(최소한 1년 이상을 권장)의 바람을 관측하여 생성된 자료와 인접한 육상 바람자료와의 회귀분석을 통한 관계공식을 도출하고, 도출된 관계식과 육상의 장기 바람 관측 자료를 이용하여 해역의 장기 바람자료를 추정하는 방법으로 아주 효율적인 방법이다.

1-2년 정도의 관측 자료를 이용하여 30-40년 이상의 연안 바람자료를 생성할 수 있다니 놀랍지 아니한가? 그러나 조건이 있다. 육상 바람자료와 해역의 바람자료가 상관관계가 아주 큰 경우에만 이 방법을 적용할 수 있으나, 안타깝게도 바람은 공간적인 변동정도가 매우 크기 때문에 상관관계가 별로 크지 않다는 점이다.

최근 해상풍력발전 후보지점으로 결정된 영광 앞 바다에 해상관측타워를 설치하여 2년 정도(현재도 계속 관측을 수행중) 관측한 바람자료와 인접한 육상의 영광, 고창, 부안 기상관측소의 바람자료와 자료와 상관관계를 분석한 논문(고동휘 등, 2012)을 참조하면 결정계수(R^2)는 상대적으로 가까운 영광, 고창 지점에서는 0.7 정도, 조금 멀리 떨어져 있으나 풍황 분석에 필요한 30년 이상의 장기 바람자료가 있는 부안은 0.5 정도로 파악되었으며, RMS(root mean squared) 오차는 각각 1.6m/s, 2.2m/s 정도로 파악되었다. 이 오차는 풍속의 고도보정 오차에 비하면 약 20배 정도에 달하는 아주 큰 오차이다.

따라서 연안의 장기 바람정보는 모델링을 이용한 추정이



〈그림 1〉 기상청 모니터링 정점
 (+ : 기상관측소; + : 자동기상관측소(AWS);
 ● : 해상부이; ● : 해상등표; ● : 해상파고부이)

어야 만점이다. 그러나 증력식 파고계는 파향 정보가 없고, 관측된 압력을 수면변위로 변환하는 과정에서 오차가 발생할 수 있기 때문에, 부이관측 자료가 유지·관리를 위한 비용문제만 해결되면 최상으로 판단된다. 그러나 파랑관측을 포함한 대부분의 관측이 센서를 이용한 관측이기 때문에 상호교차검정 등의 다양한 가능한 방법을 이용한 센서의 주기적인 검정이 필요하다. 자료 분석은 자료가 오류가 없다는 가정 또는 오류(불확실성)가 허용 가능한 미미한 수준이라는 가정에서 수행되기 때문에 제공된 자료에 의심이 간다면 가능한 방법, 예를 들면 인접한 해역에서의 관측 자료와의 정성적/정량적인 비교로 자료의 품질에 대한 점검을 수행하여야 한다.

다음으로는 파랑자료를 이용한 파후 분석과 설계파랑 추정부분이다. 파후 분석은 파력발전 에너지 분석에서 필요로 하는 정보이며, 설계 파랑 추정은 연안·항만에 위치하고 있는 구조물의 안정분석에 필요한 정보로 모두 대략 30년 이상의 장기간 자료를 필요로 한다. 설계파랑 추정은 공학적으로 의미가 있는 높은 파고를 대상으로 하기 때문에 높은 파고가 포함된 관측 자료를 이용하여 파랑 예측모형을 보정·검정하는 과정을 거쳐서 우리나라 모든 연안의 장기간(보통 30년 정도) 파랑자료를 추산하게 된다. 이러한 파랑자료를 이용하여 전통적인 극치해석을 특정 재현기간(보통의 경우 50년 빈도)에 해당하는 설계파고를 추정할 수 있다. 그러나 기상정보를 이용한 파랑정보 수치예측 자료는 어느 정도의 오차수반이 불가피하다. 또한 최근 파랑 관측 자료가 축적되면서 관측 자료를 이용한 분석도 수행되고 있다. 통계적인 기법은 분석도구가 요구하는 자료만 입력하면 추정결과를 제시한다. 보통 간과하는 95% 또는 그 정도의 유의수준에 해당하는 신뢰구간 정보도 제공한다.

일반적인 자료 분석에서 제시되는 신뢰구간은 자료의 개수가 증가할수록 감소한다. 따라서 아주 단기간의 자료를 이용하여 분석을 수행하는 경우 도출되는 결과의 신뢰구간이 문제가 된다. 장기간의 파랑 관측 자료가 축적되기 위해서는 시간이 필요하다. 시간이 없다면 바람과 같이 관측 자료를 이용하여 파랑 추정모델의 예측오차를 분석하고, 장

간의 파랑자료를 산출하는 엄청난 과업을 필요로 한다. 아마도 해안공학을 전공하는 사람은 수문학(hydrology)에서 아주 빈번하게 수행하는 설계 강우, 설계 수위 등의 극치해석을 관측 자료를 이용하여 수행한 경험은 있을지라도, 파랑정보를 이용한 설계파랑 추정 경험은 거의 없을 것이다. 설계 파랑의 극치분석에 필요한 장기간의 설계파랑 정보를 얻을 수 없기 때문이다.

최근 연구 분석 결과에 의하면 파후 분석은 추정 평균파고의 경우 신뢰구간 $\pm 10\%$ 수준을 만족하기 위해서는 적어도 3년 이상의 연속 파랑관측 자료를 이용하여 분석하여야 하며(조홍연 등, 2013), 설계파랑 추정은 항만·어항 설계기준에 제시된 바와 같이 10년 이상의 관측 자료를 이용하는 경우 불확실성이 매우 크기 때문에 적어도 20-30년 이상의 관측 자료를 사용하여야 하며, 그 경우 90% 유의수준에 대한 오차범위(margin of error)는 20% 정도가 되는 것으로 분석된 바 있다(정원무 등, 2013).

연안 지형변화 자료

최Z폭풍 등의 일시적인 영향을 파악하기 위해서는 적어도 월별 관측과 폭풍 사상 전·후의 지형변화 관측이 수행되어야 한다(관측격자 그림 추가). 실질적으로 이러한 관측은 과도한 비용과 노력이 필요하기 때문에 비디오 모니터링 기법(〈그림 3〉), 인공위성을 이용한 관측 또는 해안 단면(beach profile)의 고도측량(level) 관측 등을 조합하는 관측이 경제적이며 실질적으로 활발하게 수행되고 있다.

그렇다면, 모형의 보정 및 검정을 위한 자료는 어느 정도의 자료가 충분한가? 최근에 발표된 논문이 하나있다.

“Splinter, K.D., Turner, I.L, and Davidson, M.A, 2013. How much data is enough? The importance of morphological sampling interval and duration for calibration of empirical shoreline models, Coastal Engineering, 77, 14-27.”

이 논문에 의하면 관측간격이 30일 이하인 경우에는 적어

도 2년 이상의 해안 지형변화 관측 자료가 필요하며, 관측 간격이 60일 이상인 경우에는 최소 5년 이상의 관측 자료가 필요하다고 제안한다. 물론 연안 지형변화도 파랑과 흐름의 영향을 직접적으로 받기 때문에 파랑관측, 흐름관측 및 연안의 표사 수지(sediment budget)에 영향을 미치는 육상부하 및 인위적인 부하 등의 관측이 병행되어야 함은 물론이다. 자료 하나만으로는 한계가 있고, 자료 하나하나가 각각의 시간적·공간적인 변동규모 및 양상이 있기 때문에 인과(cause-effect)관계 및 상관(co-relation)관계가 있는 자료의 관측도 병행할 필요가 있다.

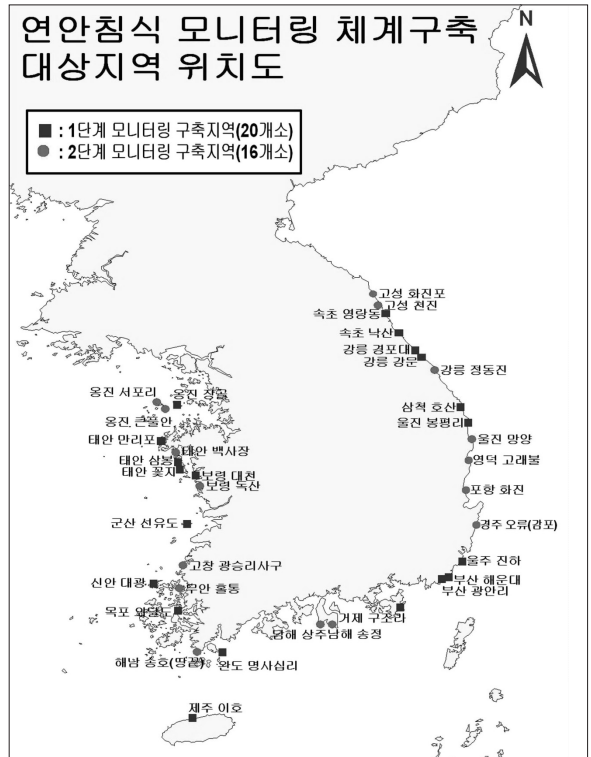
관측 자료의 가치 극대화 방안

연안에서 다양한 관측 자료를 생산하는 기관(또는 사람)은 과학기술 발전의 디딤돌 역할을 하고 있다. 육상의 400m 계주 경주에 비유하면 제1주자에 비유할 수 있다. 제1주자의 출발이 없이는 경주를 시작할 수 없다. 그러나 제1주자가 400m 경주를 모두 완주할 수는 있으나 속도가 떨어진다(효율이 감소한다). 참고로 현재 육상 400m 세계신기록은 43.18초, 400m 계주 세계신기록은 36.84초(100m 기록으로 환산하면 9.41초)로 무려 6.34초나 빠르다. 이 격차는 장거리 경주일수록 나누어서 달리면 더욱 더 벌어지리라고 판단할 수 있다. 이 정도의 속도라면 마라톤은 약 1시간 10분 정도면 계주로 완주할 수 있다. 놀라운 속도이다. 어떤 연구를 장거리 경주에 비유하는 경우, 각각의 구간을 나누어서 가장 잘 할 수 있는 사람에게 분담하여 수행하는 경우의 효율(다소 개념이 다른 의미의 효과)을 강조하고자 주장하는 내용이다.

관측 자료를 생산하는 제1주자가 있고, 관측 자료를 다각적으로 분석하는 제2주자가 있고, 관측 자료를 다양한 목적으로 활용하는 제3주자, 제4주자가 있다면 우리나라의 연안 과학기술분야는 높은 수준으로 올라갈 수 있을 것이다. 물론 하나의 경로만이 존재하는 육상 경주와는 비교할 수 없을 정도로 다양한 경로가 존재하겠지만, 뛰니 뛰니 해도 제1주

자의 역할은 아무리 강조해도 지나침이 없다고 할 수 있다.

그러나 이러한 기술발전을 위한 전제조건은 모든 관측 자료의 공유에 있다. 아무리 간단한 관측 자료라 할지라도 “티끌모아 태산” 또는 “몽치면 살고 흩어지면 죽는다.”라는 개념이 적용된다. 시간적·공간적인 변화 양상을 분석하기가 곤란하고, 한정된 자료라 할지라도 그러한 단편적인 공개 자료를 모두 모을 수 있다면 더 이상 단편적인 자료가 아니다. 일관성을 가진 자료는 아니라고 할지라도 통계학의 기본법칙(대수의 법칙, The Law of Large Numbers)을 따르는 자료로서 자격은 가지게 된다. 예를 들면, 우리나라 연안 어떤 지점의 평균 해수면을 계산하는 방법은 보통 1년 이상의 1시간 간격 조위관측 자료를 평균하여 산정한다. 이러한 경우 조위자료의 표준편차를 100cm 정도로 가정하여도 추



〈그림 3〉 연안침식 모니터링 체계구축을 위한 관측지점 (해양수산부, 2007)

정 평균해수면의 오차범위는 2cm 정도에 불과하다. 그러나 연속관측 자료는 아니지만 약 1개월 정도 관측한 자료가 12 개 정도 있다면 다소 무리한 가정이라는 하지만 관측시점이 무작위 조건을 만족하고, 동일한 지점이라면 1년 연속 관측 자료와 마찬가지로 역시 2cm 정도의 아주 낮은 추정 오차를 가지게 된다. 물론 다른 다양한 인자추정에서는 한계가 발생하기 때문에 오차범위는 증가할 수도 있지만 단편적인 자료가 모여 큰 자료가 되면 오차범위가 감소하는 일반적인 개념은 적용된다.

연안에서 어떤 항목을 모니터링 한다는 것은 거대한 모집단(population)에서 표본을 추출하는 과정이기 때문에 표본의 개수가 증가할수록 보다 더 정확하게 모집단을 추정할 수 있다. 우리나라 연안으로 제한한다고 하더라도 시간적·공간적으로 변화 양상을 관측으로 파악한다는 것은 처음 시작단계에서는 매우 무의미한 것으로 여겨질 수 있으나 어떤 시점이 경과하면 자료의 공유를 통하여 자료의 품질 검토와 축적의 효과가 나타나게 된다. 이러한 공유와 축적의 효과가 연안 모니터링 자료의 가장 “실(實)”한 부분에 해당하며, 이런 부분을 가장 “허(虛)”하게 하는 것은 관측 자료의 공유를 제한하는 행위이다. 그리고 최악의 “허(虛)”는 관측 자체를 비용 낭비로 간주하여 무시하는 경우이다. 다양한 기관과 사람에 의하여 다양한 시기에 생산되는 연안 관측 자료의 가치를 인정하고 공유하지 못한다면 우리나라의 연안 과학기술자는 언제까지나 일본과 미국과 유럽의 자료를 인용하면서 연안공학의 기술향상이라는 불가능한 꿈을 꾸는 “우물 안 개구리”와 같은 가련한 신세가 될 것이다.

갑수: 강윤구(yoonkoo.kang@samsung.com)

참고문헌

고동휘, 정신태, 조홍연, 김지영, 강금석, (2012). HeMOSU-1호 관측 자료를 이용한 해상풍속 산정오

차 분석, 한국해양해양공학회지, 24(5), 326-332.
 조홍연, 정원무, 전기천, (2013). 연안 파랑 관측기간과 모수추정 오차 관계분석, 한국해양·해양공학회논문집, 25(1), 34-39.
 정원무, 조홍연, 김건우, 2013. 8. 한정된 자료로 추정된 설계파고의 신뢰구간 분석, 한국해양·해양공학회논문집, 25(4).
 Splinter, K.D., Turner, I.L, and Davidson, M.A, (2013). How much data is enough? The importance of morphological sampling interval and duration for calibration of empirical shoreline models, Coastal Engineering, 77, 14-27.

본 기사에 대해 독자들의 의견을 기다립니다.
 의견제시 방법은 본 학회지 말미의 “학회지 지난호에 대한 의견 모집”을 참조해주세요. 여러분의 소중한 의견은 학회를 역동적으로 움직이게 하고 학술·기술발전에 기여할 것입니다.