

서해안 심해설계파의 산정 Prediction of Significant Waves in Yellow Sea

유동훈*, 조종환**, 정진섭***

1. 서론

해상풍에 의한 파랑의 발달을 다룬 모델은 1940년대 이후 실측파랑 및 기상자료로부터 이론에 기초한 경험식이 제시되었다. 이러한 경험식들은 실제의 불규칙한 해면상태를 유의파로 대표하여 유의파의 파고 및 주기를 풍속, 취송거리 및 취송시간의 함수로 나타낸 것이다. 널리 쓰이고 있는 심해에서의 모델은 SMB법과 Wilson법이 있으며 일정한 바람이 연속적으로 불어오는 안정된 정상상태에서는 SMB법이, 그리고 풍역이 시간적 공간적으로 변화가 큰 경우에는 Wilson법이 적용되고 있다. 본 연구에서는 서해안이 천해의 조건을 이루고 있다는 전제하에 발전된 SMB 천해파법을 이용하여 서해안 중 새만금지역의 심해설계파를 추정하고자 한다.

2. 심해 설계파 추정 방법

설계파로 고려되는 풍파는 중력파로 구분되는 것들이기 때문에 풍속 U 와 중력가속도 g 로 결정되는 다음과 같은 무차원수로서 풍파예측경험식을 도출하여 왔다. 즉

$$W = \frac{gH}{U^2} ; S = \frac{gT}{U} ; L = \frac{gF}{U^2}$$

여기서 H 는 유의파고, T 는 유의파의 주기, F 는 취송거리이다. 무차원수 W , S 및 L 은 각각 유의파고수, 유의파 주기수 및 취송거리수라 칭한다. 여기서 S 는 유의파의 주기를 이용한 무차원수가 아니며 대신 파랑의 침두스펙트럼에 해당하는 주기를 이용한 무차원수이다. 또한 각 무차원수에 도입된 풍속은 조정된 해상풍속이다.

SMB법은 1947년 Svedrup과 Munk가 파랑의 에너지 방정식을 기초로 제안한 이론식을 Bretschneider, Wilson 등이 1970년까지 실측자료에 맞게 수차에 걸쳐 수정 보완하여 경험식을 발표하였다. 초기 SMB법 산정식은 각 관계식을 단순한 지수함수적 선형관계식으로 도출하였으며 표 1의 SMB I 식과 같다. 이후 관계식의 상수항은 많은 관측자료에 의하여 조정되어 왔다. 표 1의 SMB II 식은 Shore Protection Manual (U.S Army)에 제시된 식으로 심해파의 경우와 천해파의 경우로 세분했다. 일반적으로 천해에서의 파랑발생은 해저면의 영향을 많이 받게 되므로 해상의 파랑운동이 해저면까지 영향을 미치게 되어 해저마찰에 의한 파랑에너지의 감소와 해저지형의 변화에 따른 굴절 및 천수효과가 나타나므로 심해파의 경우보다 훨씬 복잡한 양상을 보인다. 천해 풍파예측을 위하여는 평균수심 d 를 도입한 무차원수 D 와 X , Y 를 도입하였다.

$$D = \frac{gd}{U^2} ; X = \tanh(0.53D^{0.75}) ; Y = \tanh(0.833D^{0.375})$$

* 아주대학교 환경도시공학부 부교수

** 해운항만청 항만과 과장

*** 아주대학교 환경도시공학부 학부과정

Wilson은 파랑이 발달하면서 진행되는 과정을 추적하여 파고와 주기의 변화를 구하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 일정한 풍속 U에 의한 취송거리 F에 대하여 유의파고 H 및 파속 C 또는 유의파의 주기 T에 관한 경험식으로 표 1의 Wilson의 식으로 표현된다.

표 1 설계파 추정식

	W	S
SMB I	$W = 0.0016L^{1/2}$ (1)	$S = 0.286L^{1/3}$ (2)
SMB II		
심해파	$W = 0.283 \tanh(0.0125L^{0.42})$ (3)	$S = 7.54 \tanh(0.077L^{0.25})$ (4)
천해파	$W = 0.283X \tanh(0.0125L^{0.42}X^{-1})$ (5)	$S = 7.54Y \tanh(0.077L^{0.25}Y^{-1})$ (6)
Wilson	$W = 0.3[1 - (1 + 0.004L^{1/2})^{-2}]$ (7)	$S = 8.6[1 - (1 + 0.008L^{1/3})^{-5}]$ (8)

이상의 경험식들은 형식이 상당히 달리 표현되지만 실제로 산정된 결과는 유사한 경향을 보이고 있다. 그림 1에는 각 산정식으로 구한 결과가 서로 비교되어 있다. 비교된 파와 같이 취송거리수 L이 클 때 SMB법의 초기 산정식 (1)과 (2)는 파대 산정하는 경향을 뚜렷하게 보이고 있다. 반면에 수정된 SMB식 (3)과 (4)나 Wilson식 (7)와 (8)은 거의 유사한 경향을 보이고 있는데 L이 계속적으로 커져도 증가율이 점차 감소하여 어느 일정치로 수렴하는 경향을 보이고 있다. 이는 취송거리가 길고 취송시간이 무한정 커지더라도 백파현상(white capping) 등에 의한 에너지손실이 바람에 의한 에너지인입과 평형조건(saturation)에 이르기 때문인 것으로 파악된다.

또한 Wilson법은 파랑이 발달하면서 진행되는 경우에 적용하는 것으로 알려져 있으나 실제로 L이 100 이상으로 클 때는 그림 1에 제시된 바와 같이 유의파고수 W에 대한 Wilson식의 산정결과나 SMB식 산정결과가 거의 유사하다. 즉, L이 큰 경우에는 파랑이 이미 충분히 발달한 상태이기 때문에 거의 일치하는 결과가 도출된 것으로 보인다. 단지 L이 작을 때 두 산정식은 상당한 차이점을 보이고 있는데, 이러한 차이가 발달과정의 파랑조건과 충분히 발달한 상태의 파랑조건의 차이로 판단할 수 있을 것이다. $L < 100$ 일 때 Wilson법으로 산정된 W의 수치는 SMB법으로 산정된 수치와 비교하여 L이 작아짐에 따라 점차적으로 큰 차이를 보이며 작아지고 있다. 이는 발달과정에 있는 파는 충분히 발달한 파보다 파고가 작게 형성되기 때문이다.

파고수 W의 산정치와 달리 주기수 S의 산정치는 L의 전 구간에 걸쳐 SMB법과 Wilson법이 상당한 차이를 보이고 있다. $L=10,000$ 을 경계로 L이 이보다 클 때 Wilson법 산정치는 SMB법 산정치에 비하여 점차적으로 커진다. 이의 원인에 대하여 뚜렷하게 규명할 수 없는데, 적어도 $10,000 < L < 100,000$ 구간에서는 두 산정치가 거의 일치함에 주목한다. 반면에 $L < 10,000$ 의 구간에서는 Wilson법 산정치는 SMB법 산정치에 비하여 점차적으로 작아지고 있으며, 이 구간에서 S의 차이는 W의 차이 보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 이는 주기 형성의 발달과정이 에너지 증가효과 보다 느리기 때문인 것으로 간접적으로 추정할 수 있다. $L < 10,000$ 구간의 빈이를 고려하였을 때 $100,000 < L$ 구간에서 Wilson법 산정치가 SMB법 산정치에 비하여 점차적으로 약간씩 커진 점은 실제 나타나는 현상이라고 보다 Wilson법 산정식의 수식형태 때문일 것으로 판단된다. 즉, Wilson도 실제 이용한 자료는 $L < 100,000$ 구간내의 관측자료이었을 것이며, 발달과정에 있는 파는 L이 대체적으로 작은 구간에 들기 때문에 이러한 관측자료에 대비하여 구한 산정식이 $L < 100,000$ 구간에서 유효하다 하더라도 $100,000 < L$ 구간은 산정결과가 신뢰받지 못할 것으로 추론된다.

서해와 같이 수심이 얇은 해역에서는 풍파의 발달에 많은 제약조건이 따른다. SMB 천해파식을 이용하여 수심무차원수 D 를 변화시켜 W 와 S 그래프의 변화를 알아보았다. D 가 10일 경우는 Wilson 식에 거의 근접하는 분포를 보이고 있다. 반면 D 가 1일 경우는 W 가 0.13 정도의 값에서 수렴하는 경향을 보이고 있다. 또한 D 를 0.1로 하였을 경우는 0.023 정도의 값으로 수렴하였다. 서해의 경우 전체의 평균수심이 약 40 - 50 m 이고 심해역이라 할 수 있는 해역의 평균수심은 고극조위를 고려하여 약 70m이다. 재현기간 1000년 정도의 최대풍속도 40 m/s를 넘지 않는 것으로 볼 때 SMB 천해파식의 D 는 약 0.2에서 5 정도의 값을 가진다. 그 외에 내만 쪽에서 불어오는 바람의 경우를 고려하면 수심이 100여m를 넘으므로 D 는 10정도이다.

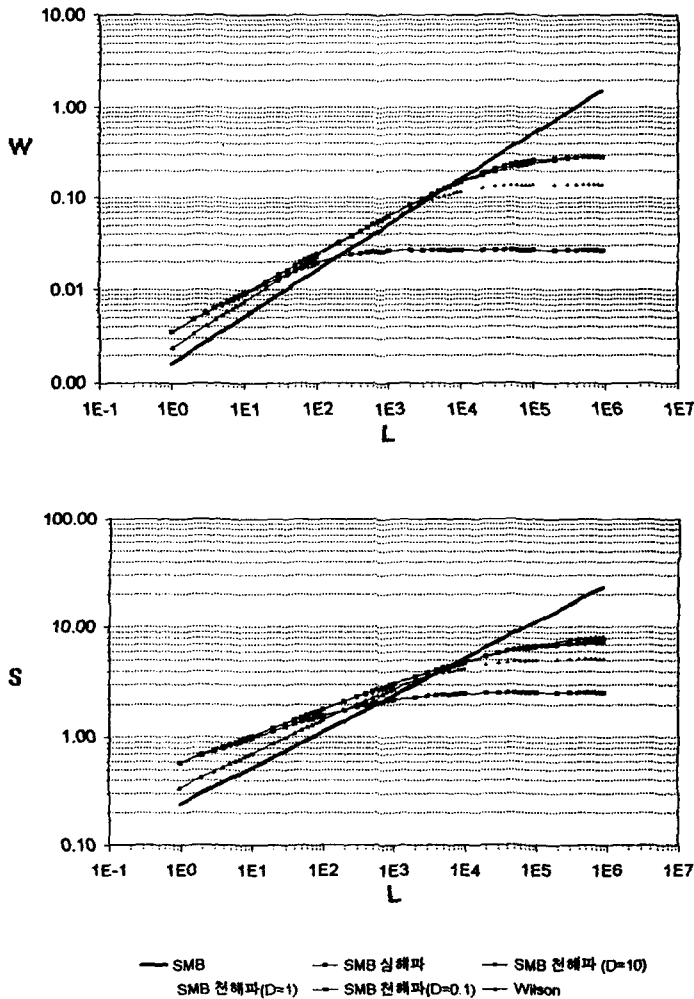


그림 1 취송거리수 L 에 대한 유의파고수 W 와 유의파주기수 S 의 변이

3. 새만금해역의 설계파 추정

SMB 천해설계파 산정식을 이용하여 새만금해역의 각 빈도별 WNW 방향의 설계파를 제시하였다. 설계파 추정에 사용된 산정식은 식 (5)과 식 (6)이며 각 식의 비례상수는 조정치 않고 그대로 사용하였다. 또한 각 빈도별 해상풍속은 군산비행장에서 관측된 바람자료의 분석결과를 이용하였다. 취송거리는 구할 수 없었기 때문에 300km, 400km, 500km 등 세 가지를 적용하고 평균수심은 고극조위와 이상고조를 고려하여 70m로 가정하였다. 새만금해역에서 각 재현기간별, 취송거리별 설계파랑은 아래의 표 2에 제시하였다.

표 2 새만금해역의 재현기간별, 취송거리별 설계파랑

재현기간 (year)	WNW풍속 (m/sec)	가정된 취송거리					
		300km		400km		500km	
		Hs(m/s)	Ts(sec)	Hs(m/s)	Ts(sec)	Hs(m/s)	Ts(sec)
20	23.77	6.07	9.45	6.55	9.85	6.90	10.16
50	26.27	6.73	9.94	7.24	10.37	7.61	10.69
100	28.14	7.21	10.29	7.73	10.73	8.12	11.06
200	30.00	7.67	10.62	8.21	11.07	8.61	11.42
500	32.47	8.27	11.03	8.83	11.51	9.24	11.86
1000	34.32	8.71	11.33	9.28	11.81	9.69	12.18
2000	36.18	9.14	11.62	9.72	12.11	10.12	12.48

4. 결론

본 연구에는 풍파가 진행해 올 경우 서해의 특수성을 고려하여 서해를 천해라 가정하고 분석하였다. 서해안의 심해설계파를 산정함에 있어 심해설계파 산정식 중 SMB 천해파법을 이용하여 새만금 지역의 설계파를 산정해 보았다. 그 결과는 취송거리별, 재현기간별로 정리하여 위의 표에 제시하였다. 심해설계파를 예측하는 데 있어서 취송거리의 산정은 대단히 중요한 문제로 대두되고 있으나 합리적인 취송거리의 설정이 매우 곤란한 상태이다. 그러므로 천기도를 이용하는 방법과 취송거리를 가정하는 방법 등이 이용되고 있는데 이 또한 부정확성을 내포하고 있기 때문에 설계파 예측치의 신뢰도를 떨어뜨리는 결과를 초래하고 있다. 보다 정확한 심해설계파의 예측을 위해서는 취송거리의 정확한 산정이 절실히 요구되고 있는 실정이며, 취송시간 및 취송거리의 확률, 고극조의 발생확률 등을 감안한 종합적 검토가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 육군사관학교 화랑연구소, 1987, 설계파에 의한 방조제 단면결정.
- 최영박, 1991, 항만공학, 문운당, pp.44-53.
- 이양석, 1992, 한국근해해상지, 집문당.
- 이양석, 1994, 한국형만수리지, 집문당.
- 이원환, 1990, 개정 수리학, 문운당.
- 이재형, 1994, 수문수리학, 구미서관.
- 한국과학기술연구소, 1989, 어항설계 천해파추정 제2차 보고서, 수산청, 제20권.
- 전국 항만 설계파 추산보고서, 1989, 항만청