

동해 풍파 발생 및 너울성 파랑의 동해안 내습 예측시스템



이 정 렬 |

성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수
jllee@skku.edu

1. 머리말

먼바다에서 발생한 풍파가 바람이 불지 않는 장소로 전달되는 과정에서 파랑 에너지 전달 속도가 비교적 커서 먼저 도달하는 8-20초의 긴 주기의 파를 너울이라고 한다. 따라서 파도가 발생하지 않을 것 같은 맑은 날씨에 먼바다로부터 해안에 전파되어 도달하는 너울성 파랑은 전혀 예기치 않은 상태로 내습하므로 미처 대비하지 못하고 파도에 휩쓸려 발생하는 많은 인명피해를 초래하고 미처 대

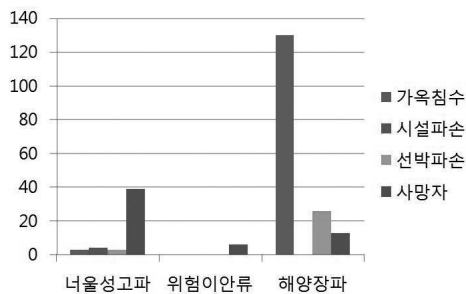


그림 1. 이상 파랑 분류에 의한 피해 특성

처하지 못하여 발생하는 시설파손, 선박파손, 가옥 침수 등도 초래한다. 그림 1은 최근 피해를 집계한 것으로 이상고파로 인하여 발생하는 피해 특성을 보여준다.

최근 몇 년간 동해안에는 너울성 파도로 인해 많은 인명피해 및 재산피해가 발생하였다. 이러한 피해는 대부분 겨울철에 발생하였으며 여름철 해상 및 해안 지역의 악천후에 원인이 되는 태풍과는 무관하게 발생하였으며, 겨울철 중국 내륙 및 우리나라 부근에서 특별히 강하게 발달한 온대성 저기압이 동해상에 진출하여 강한 바람이 불어서 생성된 폭풍파가 우리나라 동해안에 고파의 형태로 내습하게 됨에 따라 발생하는 것으로 추정 되고 있다(정 등, 2007; 정 등, 2008). 겨울철 이상 너울에 의한 사망 및 실종자는 집계된 것만 총 45명에 달한다. 특히 이상너울로 인해 해상에서 발생한 사고 현황은 집계 및 보도자료에 누락되었을 가능성도 있어서 이상너울에 의한 인명피해 상황은 이보다 더 클 수도 있다.

이와 같은 이상너울로 인한 피해는 기상 조건이 좋은 상태에서 내습하는 너울파가 원인인 경우도 있지만 수심이 깊은 동해 특성상 갑작스러운 높은 파고에 풍파 발달이 용이하고 고파의 풍파역이 동해안 가깝게 형성될 수 있다는 것도 이유가 된다. 따라서 본 연구에서는 현지 기상 조건에서는 전혀 예기치 않은 너울파는 물론 동해상의 기상조건으로부터

학술/기술기사

터 동해안 이상 고파 및 너울파 예보 모형으로 적합한 SIFESS를 소개한다. SIFESS는 기존의 풍파 모형으로 구성된 것과는 달리 예보용으로 개발된 시스템으로 동해 풍파 발생 및 동해안 너울파 내습을 신속하고 효율적으로 예측할 수 있도록 개발되었다.

2. 동해 기압이동 특성과 동해안 너울 발생 상관 분석

2.1 계절별 기압 이동 특성

풍파를 발생시키는 바람은 저기압에 의해서 발생된다. 동해로 이동하는 이 저기압은 그 중 65%가 발달하는 특성을 가지고 있다. 그 대표적 이유로는 히말라야 남부 발생하여 동쪽으로 이동하는 Jet류와의 연관성(Riehl, 1954, 1962; 하와 이, 1984)과 수온이 기온보다 높은 계절 온도차에 의한 해수증발(최와 정, 1979) 등이 제시되었다.

저기압이 급격하게 발달하기 위해서는 전선대 상공에 강한 상층 제트류가 겹쳐 있어야 한다고 하였다(Riehl, 1954, 1962). 특히 겨울에 그 관련성이 깊다. 그러나 이러한 경우 반드시 저기압이 급격히 발달되는 것이 아니라는 것을 지적 하였으며 경압대의 강도와 제트류의 구조적 특징을 분류하고 제트핵과 밀접히 관련된 저기압 발달 예를 제시하였다.

Kim(1972)은 만주, 중국, 대만방면으로부터 우리나라를 거쳐 동해로 이동하면서 현저하게 발달되는 저기압의 발달기구에 관하여 연구 하였다. 저기압 발달에서 제트류의 하강과 동해에서의 수증기의 공급을 강조하였으며 700mb 면의 기압골과 등온선의 골이 일치될 때 저기압이 가장 발달될 수 있음을 지적하였다.

Uccellini and Johnson(1979)은 대류성 폭풍우의 발달 시 출현하는 Jet streak의 입구와 출입지역에서의 횡단순환(Transverse circulation)을 수치모델링 하였으며, 폭풍의 발달에 있어 최적

조건이 될 수 있는 상층 하층의 Jet streak의 상관관계를 제시하였다. 여기서 하층 jet는 멕시코만의 따뜻한 습설을 동반함을 알게 되었고 횡단순환은 비지운적 운동으로 설명될 수 있었다.

위와 같이 계절적으로 이동하는 저기압이 고파를 발생시켜 우리나라 동해 연안에 영향을 미칠 수 있는 위치는 그림 2와 같이 북반구 Cyclone 바람장 형성 개념을 이용하였을 때 강원 삼척으로부터 러시아 블라디보스토크를 잇는 백두산 중심의 반원권주 외부로부터 서울을 중심으로 약 1500km 원주 내부에 위치하는 경우가 될 수 있다.

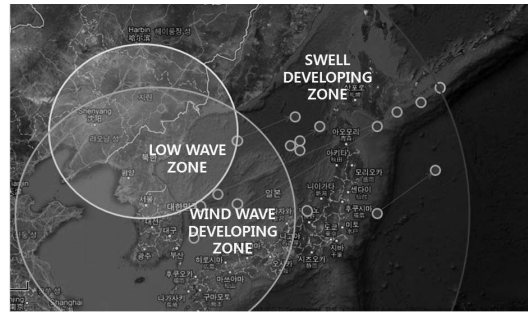


그림 2. 동해안 저기압 위치에 따른 고파와 너울파 발달 해역의 구분

특히 북반구에서 풍파는 Bretschneider에 의하여 제시된 이론해(1966)에 의하면 그림 3과 같이 저기압의 진행방향의 후측에서 큰 파가 발생되므로 이 파가 동해안으로 진입할 조건의 저기압 이동은 동해상에서 남서쪽일 것이다.

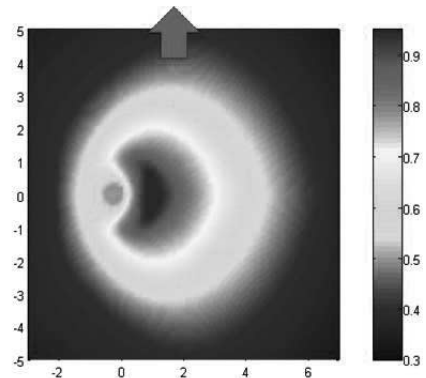


그림 3. 북반구에서 태풍 진행에 따른 풍파 파고의 분포

동해에서는 발달하는 저기압은 경우에 따라 남서쪽으로 갑작스럽게 진로를 바꾸거나 그 영역을 남서쪽으로 길게 확장할 경우가 있는데 이런 경우 마찬가지로 저기압 북서측의 풍파역에서 이상 고파 발생 가능성이 크다. 그러나 기존의 풍파 모형은 파랑의 교차나 증첩 등 이러한 다이내믹한 현상을 재현하는 데 한계를 보이는 스펙트럼을 이용한 에너지 보존 방정식을 지배방정식으로 사용하고 있어 이러한 이유로 동해상에서 발생하는 이상 고파를 재현하는데 한계를 보이고 있다.

2.2 너울파 우월 조건

바람에 의하여 풍파가 발생할 때 그림 4와 같이 보통 고주파 성분으로부터 저주파로 점차 주파수가 이동하면서 발생한다.

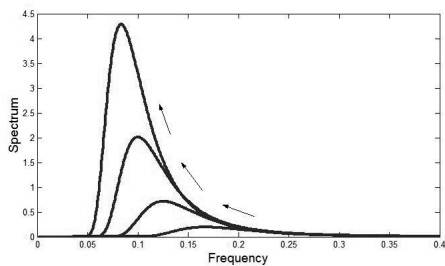


그림 4. 스펙트럼의 발달

따라서 동해에서 바람에 의하여 풍파가 발생하는 풍파역이 있을 때 나중에 발생한 풍파 고주파 성분이 먼저 발생한 풍파 저주파 성분보다 먼저 해안에 도달하는 조건에 해당하는 풍파역은 너울이 발생하는 풍파역이라고 할 수 있다. 동해안으로부터의 이 풍파역의 최단거리를 너울 내습 풍파역 최단이격거리라고 한다면 다음 식으로부터 이 최단이격거리 l_s 를 구할 수 있다.

$$l_s = \frac{\Delta t}{\Delta C_g} \quad (1)$$

여기서 ΔC_g 는 고주파 성분과 저주파 성분의 군

속도 차이이며 Δt 는 고주파 성분과 저주파 성분의 발생 시간 간격이다. 그림 5와 같이 풍파의 발생 기저 주기인 6초로부터 10초파가 생성되는데 걸리는 성장소요시간이 약 3시간이라면 식 (1)로부터 3시간 늦게 발생한 10초파의 파랑이 기저 주기인 6초 파를 추월하여 바람이 불지 않는 동해안에 도달하는데 요구되는 전달거리가 130km가 되며 이 값이 그림 5와 같은 풍파 발달 조건에 대한 너울과 발생의 최단이격거리 l_s 가 된다. 그림 5는 동해안에 발생한 고파 기록 중 가장 짧은 시간 내에 풍파 주파수의 변위가 일어난 경우에 해당된다. 일반적으로 동해안에서 고파를 발생시키는 저기압은 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 고파 기록에서 주파수 변위 시간이 길게 소요되는 경우는 저기압이 그만큼 빠르게 동쪽으로 이동한 경우라 판단된다.

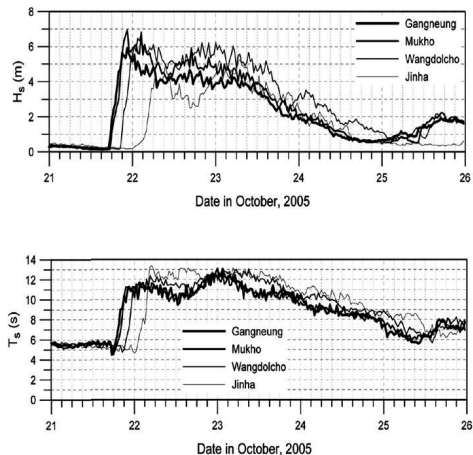


그림 5. 동해안 너울파 내습의 예: 2005년 10월

2.3 기압이동에 따른 너울파 발생 주의 조건

동해 먼 바다에서 풍파의 전조없이 너울파를 발생시키는 저기압의 주요 이동경로는 그림 6과 같이 동해해상의 북서쪽 방향에서 남동쪽으로 향하는 경로와 남서쪽에서 북동쪽으로 향하는 경로가 될 수 있다. 이러한 저기압의 이동경로는 빈번하므로 언

학술/기술기사

제나 이상 너울성 고파를 생성시킨다고 볼 수 없다. 그러나 저기압이 급격하게 발달되거나 특히 전술한 바와 같이 저기압의 이동경로가 갑작스럽게 남서쪽으로 바뀌게 될 때 또는 동해의 북동 방향에서 정체되어 있는 저기압이 남서쪽으로 길게 확장될 경우 너울파가 발생되게 된다고 볼 수 있다. 즉, 동해안 너울파 내습을 초래하는 저기압의 주요 이동경로는 갑작스럽게 그 진로를 바꿔 이상고파를 초래할 가능성을 내재한 이동경로로서 주의가 필요한 해상 조건에 해당한다.

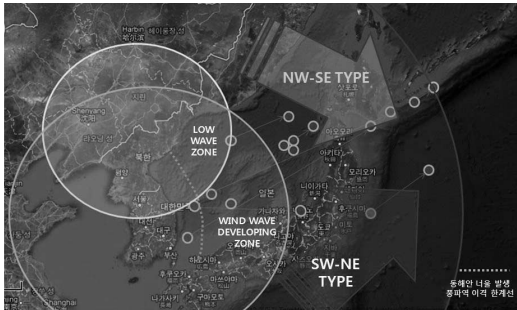


그림 6. 동해안 너울파 내습을 초래할 저기압 진로 예

3. 기존 너울성 파랑 예측 모형의 특징 분석

3.1 풍파 모형의 개발

풍파 스펙트럼 모형의 연구 개발 과정을 살펴보면 풍파가 생성되는 구역의 파랑 에너지의 스펙트럼 분포를 찾기 위한 스펙트럼을 연구한 Neumann Spectrum, 충분히 발달한 파에 대한 Neumann 스펙트럼을 기초로 하여 파의 예보방식을 제안한 Pierson, Neumann, James Method, 광대역 스펙트럼으로서 무한대의 주파수를 포함하는 스펙트럼을 제안한 Bretschneider Spectrum, 광역에서 오랫동안 바람이 일정하게 불게 될 경우, 파랑이 바람과 평행상태에 이른다는 가정으로 제안된 Pierson-Moskowitz Spectrum, 제한된 거리에서 파의 성장과 충분히 발달된 스펙트럼으로 제

시된 Mitsuyasu Spectrum, Pierson-Moskowitz 스펙트럼의 형태를 이용하여 취송거리가 제한된 풍파에 대한 주파수 스펙트럼 식을 제안한 JONSWAP Spectrum을 들 수 있다.

최근에는 컴퓨터 연산능력의 급속한 발전으로 파랑발생이론의 발전된 성과를 가지고 파랑 스펙트럼의 발달을 직접 수치 계산하는 것이 가능해져 제 3세대 파랑 예측모형이라고 하는 WAM(Wave Watch Model)이 널리 이용되고 있다. WAM은 WAMDI Group과 Hasselman et al.(1988)에 의해 개발된 최초의 3세대 파랑모형으로서 지배방정식은 에너지 전달방정식을 이용하고 있다. WAM과 더불어 SWAN(Simulationg Waves Nearshore) 모델은 바람, 수심 및 해류 조건으로부터 근해, 호수 및 강어귀에서 파랑의 특성인자를 추정하는 제3세대 수치 파랑모형이다. 또한 미국의 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)에서 개발된 WaveWatch III 모델의 기본식은 파랑에너지밀도 스펙트럼의 보존식으로 사용하고 있다.

3.2 풍파 발달 및 너울파 전파 모의의 혼재

바람의 크기와 방향이 변화 할 때 두 개 이상의 불분명한 파랑계(wave system)가 존재할 수 있으며 특히 너울파가 주파수 및 방향 영역에서 풍파와

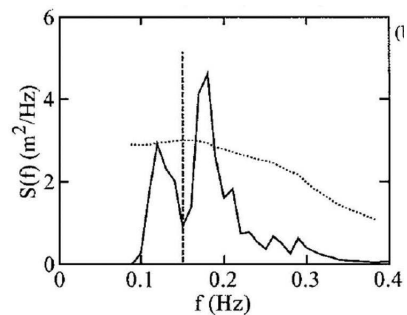


그림 7. 너울 성분을 포함한 스펙트럼 (Wang and Hwang, 2001)

서로 겹쳐지게 되면 연속적이지만 그림 7과 같이 분류하기 까다로운 스펙트럼을 만들어 서로의 파랑계를 분류하기가 어렵게 된다. 이러한 혼재된 파랑계가 해안에 내습하는 경우 관측 자료는 물론 풍파의 발생과 전파가 동시에 모의되는 풍파 모형의 결과도 이러한 혼재된 파랑계를 자동화된 방식에 의해 풍파와 너울을 구분하기는 상당히 어렵다.

3.3 풍파와 너울파 분류 기술

해안에 내습하는 파랑은 발생한 풍파역도 다르고 발생 시점도 다른 다양한 파랑계(wave system)로 이루어진 파의 혼재된 모습이다. 또한 다양한 파고, 주기, 파향의 파랑이 다양하게 결합되어 유입되므로 이러한 혼재된 파랑계를 자동화된 방식에 의해 구별하기도 어려우며 따라서 관측 자료로부터 풍파와 너울파의 구분은 쉽지 않은 과제이다.

너울파는 스펙트럼에서 풍파 스펙트럼에 비해 저주파 성분이 크게 나타나므로 이를 통해 너울파의 존재 가능성을 파악할 수 있는데 Wang과 Hwang(2001)에 의해서 제안된 방법이 그 중 풍파와 너울을 분리하는 실용적인 방법의 한 예이다. 해상상태가 국지적인 바람에 의해서 생성된 풍파의 위상속도는 풍속보다 작다는 분리 특성에 따라 풍파와 너울의 스펙트럼을 분리하는 한계 주파수가 있다는 것이다. 이 외에도 주기와 파고의 비율에 따라 분리할 수 있는데 이를테면 연안 해역 가까이 발생한 풍파는 주기에 비해 파고의 발달이 우월한 데 반해 먼 바다에서 발생하여 해안에 내습하는 너울은 갑작스런 주기의 변화에 비해 파고의 변화는 완만하게 변하는 특성이 있어 주기와 파고의 비율에 의하여 너울파 내습 여부를 판단할 수도 있다.

또한 너울파의 한계 주기를 8초로 하고 풍파가 발생된 해역이 8초 이상의 파(이를테면 10초 파)가 8초 이하의 파(이를테면 6초 파)보다 먼저 도착할지 여부에 따라 너울 내습을 판단하는 기준으로 삼을 수 있는데 이렇게 전술된 너울 판별 방법의 타당

성 여부가 본 연구에서 제시하는 SIFESS를 통하여 검증될 것이다.

4. 개발 모형의 구성

본 연구에서 개발한 예보 시스템인 SIFESS (Swell Incidence Forecasting in East Sea System)은 그림 8과 같이 주의, 경계, 모의, 통보, 분석의 5단계로 구성된다. 저기압이 동해상으로 진출하면 그 중 65%가 Jet류의 영향을 받거나 해수 증발로 인하여 더 강력한 저기압으로 발달할 가능성이 커지므로 예의 주시할 필요가 있다. 특히 진로가 불규칙하게 바뀌면서 남서쪽으로 진로를 바꾸는 경우 같은 저기압 강도라 하더라도 고파 발생 가능성이 커지므로 저기압 강도와 진로에 영향을 미치는 변수들에 대한 변화에 경계를 늦추지 말아야 하며 또한 연안 해역에 풍파를 일으키지 않더라도 너울파가 내습할 수 있는 Swell Wave Developing Zone에서의 저기압도 동해안에 갑작스러운 너울파 내습을 초래할 수 있으므로 눈여겨보아야 한다.

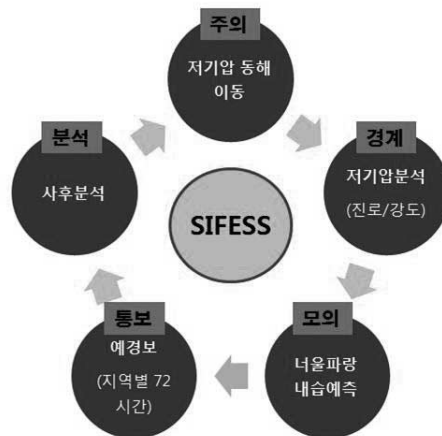


그림 8. SIFESS의 5단계 구성 요소

만약 동해상에 진입한 저기압이 점점 발달하여 주변보다 10mb 이상 내려간다면 모의 과정에 돌입

하게 된다. 모의 과정에 돌입하면 바람 예보 정보를 48-72시간 미리 입력해가며 동해안 대표 지점에 대한 너울과 내습 모의를 실행하게 된다. 그 결과 3m 이상의 풍파가 예상되거나 비록 파고가 작아 1m 수준의 파도가 내습하더라도 주기가 8초 이상인 너울의 갑작스런 내습이 예상되면 그 해당 지역에 예보 및 경보를 통보하도록 한다. 본 시스템은 기존의 풍파 모형보다 검증할 계수가 적지만 일정 기간 실질적인 예경보를 실시하기 전에 충분한 사후 분석이 필요하다. 물론 일정 수준의 신뢰성이 확보되어 예경보를 실시하더라도 이상 고파의 특성상 지속적인 사후분석 과정이 요구된다.

4.1 풍파의 발달 모의

풍파의 발달은 다음 Toba(1972)의 풍파 발생 방정식에 의하여 모의한다.

$$\frac{d}{dt^*}(T^{*2}) = \frac{8r\rho_w}{\pi\rho_a B^2}(1 - K(\theta)T^{*2}) \quad (2)$$

여기서 ρ_w 는 물의 밀도, ρ_a 는 공기의 밀도이며 상수로 취급받는 B 와 K 는 대부분 $B = 0.063$, $K = 2.16 \times 10^{-5}$ 이 적용되며 γ 은 다음 근사식이 사용되며

$$\gamma = 0.075 \exp(-0.012T^*)$$

무차원 변수인 $T^* = \frac{gT}{u^*}$ 이고 $t^* = \frac{gt}{u^*}$ 이다. u^* 는 마찰 속도(friction velocity)로서 다음과 같이 바람 응력 τ 와 공기 밀도 ρ_a 로 표현된다.

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_a}}$$

바람이 한 방향으로 불어도 주변으로 퍼져나가는 파랑 성분이 발생하며 이를 모의하기 위하여 Toba(1972)가 제시한 풍파 발달 스펙트럼에 방향에 따라 f_p 발달을 제약하도록 K 에 방향성을 부여하였다. 우선 주 풍향에 대한 K 의 방향별 분산적

분포는 동해 해역에서 그림 9와 같이 일정한 스펙트럼을 따른다고 우선 가정하였으며 추후 시스템 상에서 이에 대한 분포식 보정이 이루어질 것이다. 이 분포식은 풍파 주파수 스펙트럼의 발달과정을 모의할 때 풍향이 바뀌에 따라 발달되는 첨두 주파수의 변화를 자연스럽게 모의하는 데 도움을 준다.

풍파 발생 방정식은 바람의 시간적 변화에 따라 그림 9와 같이 최대 스펙트럼의 주파수 f_p 가 점점 감소하는 결과를 제공한다. 바람의 변화에 따라 초기 f_p 조건을 달리 두면서 수치 적분하면 풍속의 시간적 변화에 따른 주파수 스펙트럼의 발달 과정이 모의될 수 있다. 따라서 이 f_p 에 대한 결과를 이용하여 스펙트럼의 추정은 f_p 만으로도 스펙트럼이 결정되는 식들을 이용하여 추정될 수 있다. 또한 K 를 방향성 분포식으로 두어 만약 약간 풍향이 바뀌는 경우 거의 비슷한 주파수 스펙트럼을 유지하며 발달되지만 풍향이 크게 바뀌게 되면 거의 무한대의 f_p 로부터 발달하게 된다.

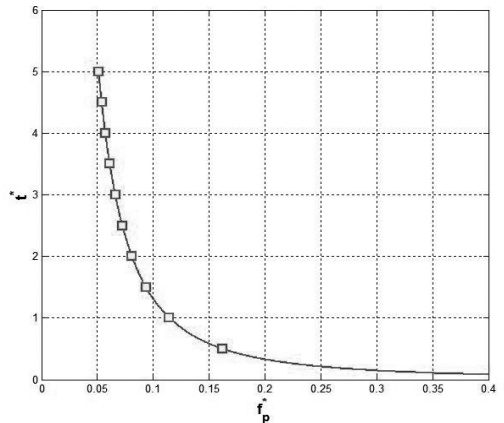


그림 9. 바람의 시간적 변화에 따른 최대 스펙트럼 주파수 변화

본 시스템에서는 다음 Bretschneider-Mitsuyasu의 주파수 스펙트럼을 따르는 것으로 가정하며 15m/s의 바람이 5시간 지속되었을 경우의 f_p 의 변화에 따른 스펙트럼의 발달을 모의한 결과는 아래와 같다. 바람이 약해지면서 겪는 풍파 스펙트럼의 소멸은 각 스펙트럼 주파수 별로 파랑에

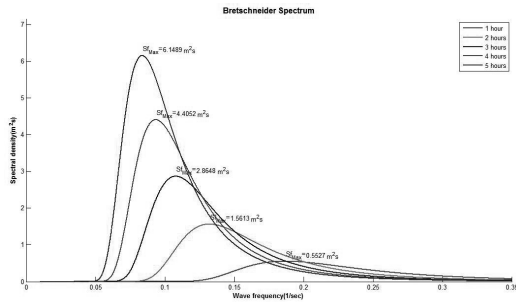


그림 10. f_p 의 변화에 따른 스펙트럼의 발달 모의
너지 보존 방정식의 오일러적 소산 과정으로 모의
된다.

4.2 너울 파랑의 전파 모의

너울 파랑의 전파는 너울 파랑의 내습을 모의하
고자 하는 동해안 연안 해역(nearshore)의 지형으
로 너울 파랑의 전파 모의가 이루어진다. 시간별로
각 방향별 첨두 주파수 f_p 가 식 (2)로부터 결정되면
이 결과로부터 방향별 B-M 주파수 스펙트럼을 따
르는 주파수 스펙트럼이 결정되며 이 스펙트럼은
그림 11과 같이 각 주파수 성분에 따라 방향별로 풍
파역을 벗어나 너울성 파랑으로 전파하게 된다.

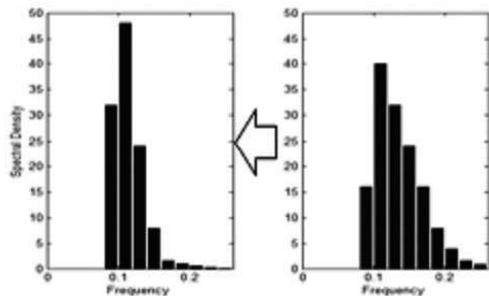


그림 11. 너울성 파랑 전파 모의

이 주파수 성분들의 전파 속도는 심해로 간주되
는 연안 해역까지 다음과 같이 주파수 역수인 주기
의 함수로 주어지는 군속도 C_g 로 이루어진다.

$$C_g = \frac{g}{4\pi f}$$

군속도 전파하는 과정에서 겪는 소산 과정은 에
너지 보존 방정식의 라그랑지적 소산 과정을 따른
다.

4.3 너울파 내습 스펙트럼의 시간적 변위 도출

풍파역에서 전파되는 너울은 너울의 주파수 성분
별로 전파 속도와 주어진 연안 해역과의 거리에 따
라 도달 시점이 다양하다. 이렇게 다양하게 도달되
는 주파수 성분의 스펙트럼이 실시간으로 주파수
성분별로 제시되며 풍파역으로부터 내습하는 방향
에 따라 또한 내습 방향 스펙트럼으로 제시되어 시
간간폭별 주파수 및 내습 방향 스펙트럼을 구성하
고 동시에 예보 시간의 시간간폭별로 외삽에 의한
재조합도 수행된다.

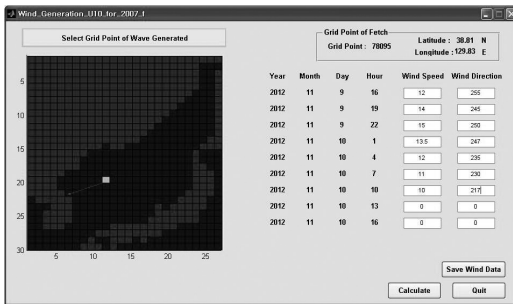
5. 동해안 적용

예보시스템 SIFESS는 모형을 다루게 되는 실무
자가 쉽게 활용할 수 있는 사용자 편의 모델로 개발
되어 제공된다. 이 시스템의 모의 영역은 그림 12와
같이 동해 전 영역을 포함하며 각 격자의 시간별 바
람 정보의 입력은 예보를 위한 자동과 원인규명을
위한 수동 과정으로 이루어진다. 관련 요소 기술 및
모형 운영의 단계는 다음과 같다.

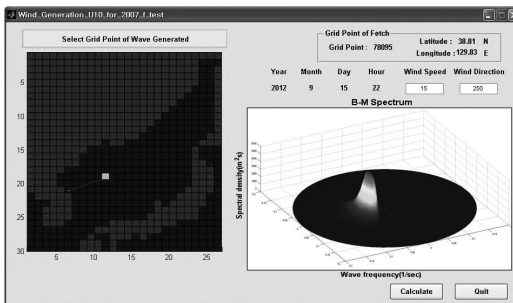
격자화된 동해 해상 풍역에 최소 24시간, 최대
72시간 예보된 바람의 정보를 입력 창에 입력하면
바람장의 지속 및 변화에 따른 f_p 의 발달 및 소멸
그리고 H_s 를 계산하게 된다. 계산된 f_p 및 H_s 를 통
해 B-M 스펙트럼 등을 이용한 풍파 주파수 스펙트
럼 성장 및 소멸 과정이 모의되고 이때 풍향에 따른
분산적 분포식 K 를 선정하여 빗각에 대한 f_p 의 발
달을 제약한다.

이렇게 계산된 풍파 주파수 스펙트럼은 다음 단
계인 너울 모의 과정에 중요한 정보를 제공한다. 너
울의 내습을 예측하기 위하여 우선 예측하고자 하

는 동해안에 위치한 해안을 마우스로 클릭하며 그러면 동해 격자상에서 시간별로 모의된 풍파 스펙트럼 중 해안을 향하는 모든 주파수 성분에 대한 도달시간이 모든 격자에서 예측된다. 그러는 과정에 너울성 파랑의 소산이 반영되며 동해안에 도달하게 되는 너울 스펙트럼의 도달 시간별 주파수 성분이 각 내습 방향별로 방향 스펙트럼으로 재배치된다. 이렇게 재구성된 각 내습 시간별 주파수 및 내습방향 스펙트럼은 유의파고 및 유의파 주기의 시계열 정보로도 스펙트럼 처리 과정을 통하여 제공된다.



(a) 시간대별 바람정보의 입력



(b) 풍파 스펙트럼 모의 결과

그림 12. SIFESS의 수치 실험

6. 결론

본 연구에서는 동해 너울성 파랑의 동해안 내습을 예측하는 모의 시스템인 SIFESS를 소개하였다. SIFESS는 바람에 의하여 생성된 풍파 스펙트럼의 성장과정을 Toba(1972)의 풍파 발생 방정식에 파향 분포 개념을 도입하고 B-M 스펙트럼과 같은 기존 스펙트럼 개념을 적용하여 모의한다. 또한 이의 전파를 너울이 내습할 해안에 대한 방향 성분에 대하여 각 주파수 스펙트럼 성분을 심해 군속도 전파로 공간 적분하여 시계열로 정확히 표현하는 기법을 개발하였다.

SIFESS는 다른 풍파 모형과 달리 풍파 및 너울파의 성장 및 전달 과정이 분리되어 기존 수치해석상 너울의 전파 과정의 시간 분해능 제약이 없어 정확한 너울의 전파 과정이 신속히 모의되며 풍파와 너울파의 분류가 명확하여 너울파의 예기치 않은 동해안 내습에 좀 더 적합하도록 개발되었다. 또한 풍파의 성장과정도 오랜기간 개발 및 검증 과정을 통하여 실용적인 수단으로 받아들여진 스펙트럼 경험식을 바탕으로 모의되므로 관련 파라미터도 적으면서도 신속하게 계산되며 신뢰성도 높아 비전문가가 다루기에도 편리한 예비용 목적의 모의 방법을 채택하고 있다.

보다 정확한 동해안의 너울성 파랑 예측을 위해 강릉 기상청 예보과에서 올 하반기부터 기존의 방법과 병행하여 SIFESS를 활용하는 방안을 추진 중이다. 🌊

참고문헌

1. 안희도, 신승호, 정원무, 이광호 (2002). 파를 켜다. 한국해양연구원.
2. 이동규, 하정자 (1984). 동해선풍과 관련된 Jet류에 관한 연구.
3. 최 효, 정창희 (1979). 동해에서 발달하는 선풍에 의한 파랑의 추정에 관한연구.
4. 정원무, 오상호, 이동영 (2007). 동해안에서의 이상고파. 한국해양?해양공학회지, 19(4), 295-302.
5. 정원무, 오상호, 류경호, 김태인 (2008). 2008년 2월 동해안 이상고파의 특성. 2008년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 발표논문집, 2480-2483.
6. Bretschneider, C. L. (1966). Engineering aspects of hurricane surges. Estuary and Coastal Hydrodynamics (ed. by A. T. Ippen). Iowa Institute of Hydraulic Research, USA.
7. Hasselmann, K. et al. (1973) Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Dtsch. Hydrogr. Z., 12, 1-95
8. Kim, S.S. (1972) A study on the mechanism of rapid development of cyclones in the area of the sea of Japan for the spring season. J. of Korean Met. Society., 8, No. 1, 1-11.
9. Ramage, C.S. (1952) Relationship of general circulation to normal weather over southern Asia and the western Pacific during the cool season. J. Meteor., 9, 403-408.
10. Riehl, H., (1954) Jet stream flight, 23 March 1953. Arch. Meteor., Geophys. Bioklimatol, A7, 56-66.
11. Riehl, H. (1962) Jet streams of the atmosphere. Tech. Rept. No. 32, 117pp. Dept. Atmospheric Sci., Colorado State Univ. Fort Collins, Colorado.
12. Uccellini, L. W., and D. R. Johnson, (1979) The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective storms. Mon. Wea.Rev., 107, 682-703.
13. Wang, David W., Paul A. Hwang, (2001) An Operational Method for Separating Wind Sea and Swell from Ocean Wave Spectra*. J. Atmos. Oceanic Technol., 18, 2052-2062.
14. WAMDI Group (1988), The WAM model - a third generation ocean wave prediction model, J. Phys. Oceanogr., 18, 1775-1810.
15. Yoshiaki Toba (1972). Local balance in the air-sea boundary processes : I. on the growth process of wind waves. J. of the Oceanog. Society. Japan., 28, 187-202.
16. Yoshimi Goda (2000). 토목강좌 해안?항만. Shokokushi Publishing Co., Ltd.