

**정 원 무**

한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
책임연구원
wmjeong@kordi.re.kr

**오 상 호**

한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
신임연구원
ohsangho@kordi.re.kr

1. 서 론

최근 동해안에서는 갑작스럽게 발생하는 너울성 파도로 인해서 많은 인명피해 및 재산피해가 발생하였다. 이러한 이상너울의 발생으로 인해서 방파제 및 어선 파손, 해안도로 붕괴, 주택 침수 등의 피해가 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 따른 재산피해 규모가 연평균 백억원을 초과하는 것으로 파악되고 있다. 특히 매년 인명피해가 반복적으로 발생하고 있어서 심각한 현안 문제로 대두되고 있다. 올해에도 1월에 강원도 강릉 주문진항 방파제에서 일가족 3명이 파도에 휩쓸려 숨지는 사고가 발생한 바 있으며, 최근 5년간 너울성 파도로 인해서 동해안 방파제 및 갯바위 등에서 사망한 사람만도 모두 16명에 달한다.

너울(swell)이란 저기압이나 태풍 등에 의해 생성된 파도가 그 발생 지역을 떠나서 잔잔한 해역이나 해안으로 전파된 것을 일컫는 말로서, 현지에서 국지적으로 바람이 불어서 만들어지는 풍파 또는 풍랑

(wind wave)과는 구별된다. 너울은 먼 거리를 전파해 오면서 주기가 비교적 일정해지게 되며 풍랑에 비해서는 주기가 긴 편이다. 해안가에서 날씨도 좋고 바람이 별로 불지 않는 날에 파도가 비교적 일정한 주기로 밀려오는 것을 본다면 먼 바다에서 생성된 파도가 해안까지 밀려온 너울일 가능성이 높다.

통상적으로는 너울의 파고, 즉 파도의 골에서부터 마루까지의 높이는 그렇게 높지 않은 편이다. 먼 거리를 진행해오면서 파도의 주기가 길어지고 파고는 감소하게 되기 때문이다. 그러나 먼 바다에서 강한 바람이 지속적으로 오랜 시간 동안 불어서 높은 파도가 만들어지게 되면 파고가 상당히 높은 상태로 유지된 채로 너울이 해안가에 도달하게 된다. 이 경우 해안가에서는 날씨도 맑고 바람도 세게 불지 않기 때문에 높은 파도에 대비하지 않고 있다가 갑작스럽게 높은 파도가 출현하게 되어 인명 및 재산피해가 속출하게 될 가능성이 매우 높다. 이러한 이유로 이러한 너울성 파도를 이상너울(abnormally high swell)이라고 부른다. 본 기사에서는 2005년 10월과 2009년 1월에 발생한 동해안 이상너울 사례를 중심으로 이상너울의 특성에 대하여 분석하고 이상너울로 인한 연안재해를 줄이기 위한 방향에 관해 기술하였다.

2. 이상너울 관측 사례**2.1 2005년 10월 이상너울**

2005년 10월 22일부터 24일에 걸쳐서 동해안에 높은 너울성 파도가 내습하여 강릉, 포항, 울산 등지

에서 인명 피해가 발생하였다. 22일 오후 6시 10분쯤에는 강원도 강릉시 주문진읍 주문진항 큰 방파제에서 관광객 1명이 파도에 휩쓸려 실종되었다가 다음 날 오후 1시 30분쯤 숨진 채 발견됐다. 또한, 23일 오전 11시 30분쯤에는 울산 정자 방파제에서 낚시객 2명이 파도에 휩쓸렸다가 1명은 구조되고, 1명은 사망하였다. 같은 날 오후 2시 45분쯤에는 경북 포항시 남구 임곡리 마을 방파제 앞에서 놀던 어린이 2명이 높은 파도에 휩쓸려 바다에 빠졌다가 20여분 만에 구조됐지만 모두 숨졌다.

이 당시 사고 발생 인근 지점에서 2005년 10월 21일부터 25일까지 수압식 파고계를 이용하여 취득된 파고 관측자료를 그림 1에 제시하였다. 그림 1에서 H_s 와 T_s 는 각각 유의파고(Significant wave period) 및 첨두주기(peak wave period)를 의미한다. 유의파고란 어느 한 지점을 통과하는 N 개의 파를 관측하였을 때 큰 순서로 $N/3$ 개 파의 평균파고로서 사람이 육안으로 관측하면서 직관적으로 느끼는 파고의 크기에 해당한다. 또한 첨두주기란 파랑 스펙트럼에서 에너지가 가장 높은 성분파의 주기를 나타내는 것이다.

그림 1에 보인 것처럼 강릉에서는 10월 21일 오후 10시 30분에 유의파고가 최대값인 5.91 m에 도달하였다. 주목할 점은 오후 5시까지만 해도 유의파고는

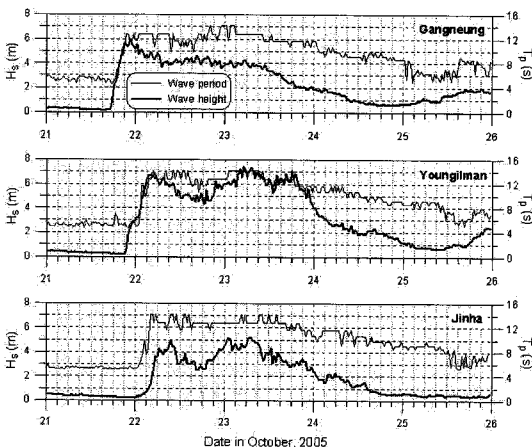


그림 1. 2005년 10월 21~25일 동안 강릉, 포항, 울산에서 관측된 유의파고 및 첨두주기 시계열

평상파 수준인 0.17 m에 지나지 않았다는 것이다. 즉, 불과 5시간 30분만에 파고가 거의 6 m 정도 상승했음을 알 수 있다. 이러한 사실은 포항(영일만) 및 울산(진하)에서 관측된 자료에서도 나타난다. 영일만의 경우 21일 오후 9시에 유의파고는 0.18 m에 불과하였으며, 22일 오전 5시에 첨두값 6.85m 에 도달하기까지 8시간밖에 경과하지 않았다. 그 후 파고는 추가로 상승하여 23일 오전 7시에는 7.35 m에 이르렀다. 한편, 진하에서의 유의파고는 22일 자정에 0.17 m였으나, 22일 오전 9시 30분에 4.96 m까지 상승하였고, 23일 오전 7시에는 5.27 m에 달하였다.

주문진항 방파제에서 인명피해가 발생한 시점은 22일 오후 6시 10분쯤으로 강릉에서의 관측자료에 근거해 볼 때 당시 현지 파고는 4 m 이상이었을 것으로 추정된다. 또한 울산 정자방파제에서 인명피해가 발생한 23일 오전 11시 30분쯤에도 현지 파고는 4 m 정도였을 것으로 추정되며, 포항 임곡 방파제에서 인명피해가 발생한 23일 오후 2시쯤에는 파고가 6 m에 이르렀을 것으로 추정된다. 주목할 점은 이미 고파가 해안가에 도달할지 상당한 시간이 경과한 후에 방파제에서 인명피해가 발생하였다는 사실이다.

한편, 세 지점에서 관측된 파랑의 첨두주기는 12~15 s 정도의 범위에 분포하였다. 통상적으로 풍파(wind wave)의 첨두주기는 5~8 s 정도이며, 너울의 첨두주기는 10 s 이상인 경우가 대부분이므로, 이로부터 관측된 파랑은 국지풍에 의해 발생된 풍파가 아니라 먼바다에서부터 전파해 들어온 너울성 파도임을 알 수 있다.

2.2 2009년 1월 이상너울

2009년 1월 10일 오전 10시 10분쯤에도 강원도 강릉시 주문진항 북방파제에서 일가족 5명이 파도에 휩쓸려 어린이 2명과 어른 1명이 사망하였다. 이 일 가족은 관광차 강릉에 도착하여 부근 식당에서 아침 식사를 마치고 산책을 하던 중에 사고를 당했다.

그림 2에는 1월 8~12일까지의 기간 동안 강릉에

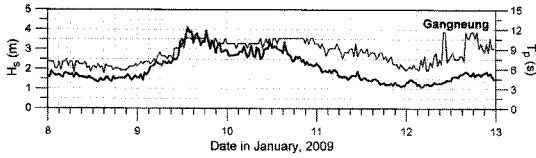


그림 2. 2009년 1월 8~12일 동안 강릉에서 관측된 유의파고 및 첨두주기 시계열

서 관측된 유의파고 및 첨두주기 시계열을 나타내었다. 이 당시에는 너울성 파도가 해안에 이 내습하기 전에 이미 유의파고가 1.5 m를 넘어서 다소 높은 상태였으며, 인명피해가 발생하기 전날인 9일 오후 1시 30분쯤 유의파고가 최대값인 4.1m에 도달하였다. 인명피해가 발생한 것은 이보다 20시간 정도 경과한 후였으며, 당시의 유의파고는 3 m 정도였음을 알 수 있다. 한편, 이 때의 첨두주기는 10~11 s 정도였고, 유의파고와 마찬가지로 2005년 10월 이상너울에 비해서는 다소 값이 작았다.

3. 이상너울 관측 당시의 기상특성

이상너울이 발생하였을 때의 기상 특성을 파악하기 위하여 각각의 파랑 관측 위치에서 가장 가까운 기상대에서 수집된 1시간 간격의 10분 평균풍속, 풍향 및 일기도 자료를 분석하였다. 또한 동해 먼바다에서의 기상특성을 알기 위하여 울릉도 기상대에서 관측된 자료도 분석에 이용하였다.

3.1 평균풍속 및 풍향

그림 3에는 2005년 10월 21~25일 동안 강릉, 포항, 울산 및 울릉도에서의 평균풍속 및 풍향 시계열을 나타내었다. 그림 3에서 주목할 점은 강릉, 포항, 울산의 세 관측점에서는 관측기간 동안 대체로 풍속이 5 m/s 이하이고, 주풍향은 남남서~서남서 계열인데 반해, 울릉도에서는 1시간 평균풍속의 최대값이 15 m/s에 이르는 북동~북북동 계열의 강풍이 21~22일 동안 지속되었다는 점이다.

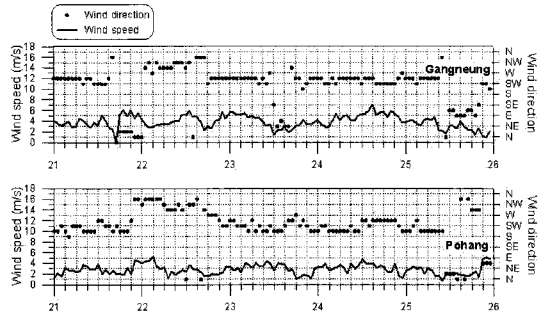


그림 3. 2005년 10월 21~25일 동안 강릉, 포항, 울산, 울릉도에서의 평균풍속 및 풍향 시계열

그림 3에 보인 것처럼 동해안에 위치한 세 관측점에서 파고가 급격하게 상승한 시각이 21일 저녁~22일 자정 무렵부터인 점을 감안할 때 이 당시에 울릉도에서의 강풍은 이상너울 발생과 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 당시 해안가에서 국지풍이 강하게 불지 않았기 때문에, 이미 몇 시간 전부터 파고가 매우 높은 너울이 해안가에 내습하여 영향을 미치고 있었음에도 불구하고 사람들이 큰 위험성을 느끼지 못하고 방파제에 접근하여 인명피해가 발생하게 되었을 것이라고 추정해 볼 수 있다.

한편, 그림 4에는 2009년 1월 이상너울이 동해안에 내습하였을 당시의 바람자료를 제시하였다. 이 경우에도 2005년 이상너울 내습 당시와 유사한 경향이 나타났다. 즉, 동해안에 위치한 강릉에서는 평균풍속 5 m/s를 약간 웃도는 남서 계열의 바람이 관측기간 내내 지속된 반면, 울릉도에서는 파고가 높게 유지되었던 이틀(9~10일) 동안 평균풍속 10 m/s 전후의 비

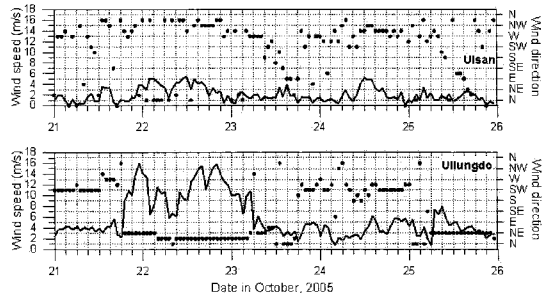


그림 4. 2009년 1월 8~12일 동안 강릉, 울릉도에서의 평균풍속 및 풍향 시계열

교적 강한 북동 계열의 바람이 지속적으로 불었다.

3.2 일기도 및 기압배치

한편, 그림 5와 6에는 이상너울이 발생했을 당시의 우리나라와 동해 주변 지역에서의 일기도자료(기상청)를 제시하였다. 그림 5에는 2005년 10월 이상너울이 동해안에 내습했을 당시 울릉도에서 강한 북동풍이 불기 시작한 시점(10월 21일 오후 6시)의 편집일기도를 나타내었다.

그림 5의 왼쪽 그림에서 보이는 것처럼 동해상에 강한 저기압이 위치하고 있으며, 이 저기압 북쪽으로는 강한 기압골이 형성되어 강풍이 발달하기 좋은 기압배치를 나타내고 있다. 이 저기압의 중심은 22일 오후 9시까지 동해상에 계속 머무르다가 그 이후에는 일본 홋카이도 동북쪽으로 이동하였다. 이 과정에서 저기압의 중심기압은 지속적으로 하강하여 24일 오전 9시에는 중형 태풍의 중심기압과 비슷한 정도인 979 hPa까지 낮아졌다.

마찬가지로, 그림 6에는 2009년 1월 이상너울 발생 당시에 울릉도에서 강한 북동풍이 불기 시작한 시점(1월 9일 오전 3시)의 편집일기도를 나타내었다.

이 경우에도 동해상에 온대성저기압이 자리잡고 있는 것을 확인할 수 있다. 이 저기압은 일본 연안을 따라서 계속 북동진하여 홋카이도 동쪽으로 진출하였으며, 10일 오후 3시쯤에는 중심기압이 973 hPa에 이르는 강한 저기압으로 크게 발달하였다.

6. 결론 및 제언

본 기사에서는 2005년 10월과 2009년 1월에 동해안에서 발생한 이상너울의 사례를 중심으로 이상너울의 특성에 관하여 기술하였다. 최근 몇 년간 동해안에서 발생하는 이상너울은 대부분 10월에서 2월 사이의 겨울철에 발생하였으며, 따라서 여름철 해상 및 해안 지역의 악천후 원인이 되는 태풍과는 무관하게 일어난 것이다. 이러한 이상너울은 겨울철 중국 내륙 및 우리나라 부근에서 특별히 강하게 발달한 온대성 저기압이 동해상에 진출하게 됨에 따라 동해 먼바다에서 강한 바람이 불어서 생성된 폭풍파가 우리나라 동해안에 너울성 파도의 형태로 내습하게 됨에 따라 발생하는 것으로 분석되고 있다 (정원무 등, 2007; 정원무 등, 2008).

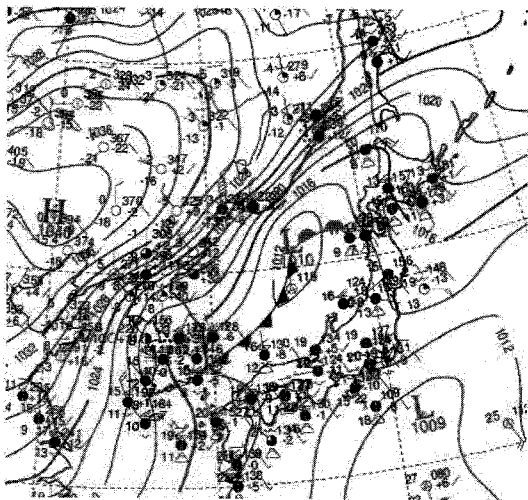


그림 5. 우리나라 주변의 지상 편집일기도 (2005년 10월 21일 오후 6시)

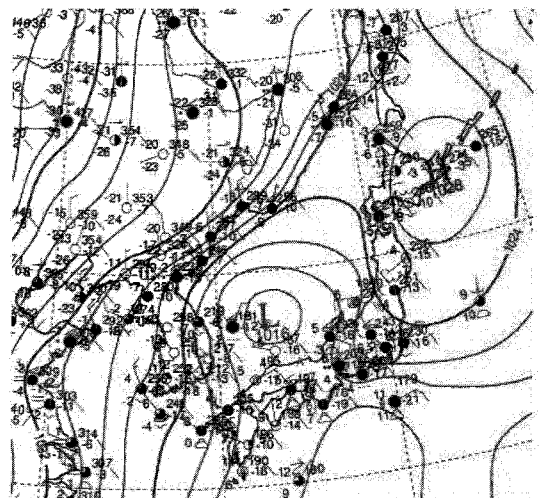


그림 6. 우리나라 주변의 지상 편집일기도 (2009년 1월 9일 오전 3시)



겨울철에 동해안에서 너울이 종종 발생한다는 것은 예전부터 어느 정도 알려져 왔던 사실이다. 기상학 분야에서는 이미 1970년대부터 동해에서 겨울철에 강하게 발달하는 온대성저기압에 관해서 여러 연구가 이루어진 바 있다 (김성삼, 1972; 정창희 등, 1984). 그런데, 지금까지는 이러한 온대성저기압의 영향으로 발생하는 너울이 연안 지역에 심각한 피해를 미치지 않는다고 생각했는데, 최근 들어서 파고가 매우 높은 너울의 발생 빈도가 급격하게 증가하고 있어 인명 및 재산피해가 속출하고 있다. 이처럼 최근에 이상너울이 빈번하게 발생하는 것도 기후변화에 따른 기상

이변 현상의 한 가지로 추정되며, 향후 이에 따른 연안 재해의 발생 건수나 피해규모가 더 커질 가능성이 높다고 판단된다. 따라서 이상너울을 사전에 예·경보할 수 있는 시스템 구축을 위해서 체계적인 연구가 수행될 필요가 있다. 또한 행정당국 및 관련기관은 너울성 파도가 발생할 경우 사람의 방파제 및 갯바위 접근을 효과적으로 통제하고 어선을 비롯한 소형선박들을 빨리 물으로 대피시키는 대응체계를 시급히 정비할 필요가 있다. 마지막으로 낚시객이나 관광객들도 방파제 및 갯바위에서의 안전사고 발생 위험성을 충분히 인식하고 대비하는 것이 중요하다. 🌀

참고문헌

- 김성삼 (1972). 봄의 동해선풍의 발달기구에 관한 연구. 한국기상학회지, 8(1), 1-11.
- 정원무, 오상호, 이동영 (2007). 동해안에서의 이상 고파. 한국해안·해양공학회지, 19(4), 295-302.
- 정원무, 오상호, 류경호, 김태인 (2008). 2008년 2월 동해안 이상고파의 특성. 2008년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 발표논문집, 2480-2483.
- 정창희, 김성삼, 박순웅, 민경덕, 안희수 (1984). 동해에서의 저기압 발달에 관한 사례연구. 한국기상학회지, 20(2), 3-21.