

레이더를 이용한 파랑 계측 시스템의 개발 및 적용

박건일*, 최재웅*, 강윤태*, 하문근*, 장현숙*, 박준수**, 박승근**, 권순홍***

삼성중공업*
첨단조선공학연구센터**
부산대학교 조선해양공학과***

Development and Application of Wave Measurement System Using Radar

Gunil Park*, Jaewoong Choi*, Yuntae Kang*, Munkeun Ha*, Hyunsook Jang*,
Jun Soo Park**, Seung Geun Park** and Sun Hong Kwon***

Samsung Heavy Industries Co., Ltd.*
Advanced Ship Engineering Research Center**
Pusan National University***

Abstract

Generally wave buoy and visual observation are used to measure sea waves. But the wave buoy cannot be applicable for the ship moving in deep sea. So the visual observation has been used for it. But it has several defects and limitation related to environmental condition and observer. To overcome this problem, various wave measurement systems have been suggested. Recently, the wave measurement systems using nautical X-band radar have been developed and extended its application area. In this report, we introduce the wave measurement system, WaveFinder, developed by authors. The system was calibrated and verified with the measurement results of wave buoy. The system was adopted to measure wave condition during sea trials. The system will be a device to support safe navigation in ship's voyage.

※Keywords: Wave measurement (파랑계측), X-band radar (x-band 레이더)

1. 서론

종래의 파랑 계측은 주로 목측과 부이를 이용해 왔으나, 운항 중인 선박에서는 고정식 계측

방법인 부이의 사용이 불가하여 주로 목측에 의존해왔다. 목측에 의한 파랑계측은 계측정도가 관측 환경 및 인적요소에 의해 크게 영향을 받는 문제가 있어서, 이를 해결하기 위한 다양한 계측방법이 제시되고 있다. 근래에는 항해용 X-band radar를 이용한 파랑계측시스템이 개발되어 그 적용사

레가 증가하는 추세다. 이에 본 논문에서는 저자들이 개발한 파랑 계측 시스템의 개발과정 및 적용 예를 소개하고자 한다. 개발된 시스템(WaveFinder)은 부이 관측 데이터를 이용하여 calibration 및 검증을 수행하였고 속도 시운전 중의 파랑 계측 용도로 실제 적용되었다. 이러한 시스템은 선박의 안전 운항을 지원하기 위한 도구로 활용될 것으로 기대된다.

2. 파랑계측 원리 및 시스템 구성

일반적으로 항해용 레이더는 해상에 부유하고 있는 물체나 섬 및 연안을 식별하기 위한 수단으로 사용되고 있다. 레이더 Scanner로부터 지향성이 높은 펄스파를 방사시켜 물체나 수면등에 의해 반사되어오는 신호를 탐지하여 레이더 주위의 물체의 위치를 파악하게 된다.

이런 목적으로 파도에 의해 반사되어 오는 신호(Sea Clutter)는 잡음으로 간주하여 제거된다. WaveFinder는 Sea Clutter를 포함한 연속된 레이더 영상에 대해서 3 차원 FFT를 적용하여 파랑계측을 수행한다. 이러한 시스템의 장점은 이동 중인 선박에서 파랑 계측이 가능하고 선체에서 멀리 떨어진 지점을 계측함으로써 선체에 의한 파계의 교란이 없는 파랑 정보를 획득할 수 있다는 것이다. Fig. 1은 WaveFinder의 시스템 구성도이다.

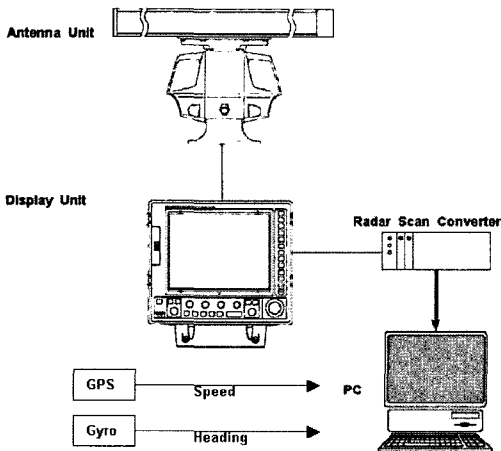


Fig. 1 System configuration of WaveFinder

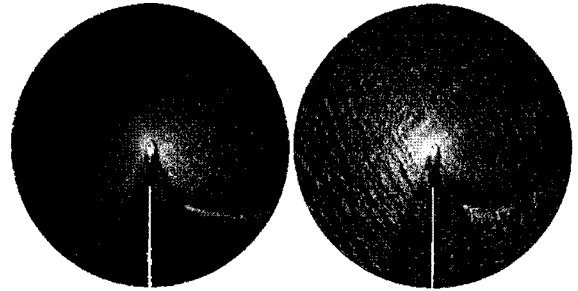


Fig. 2 Typical radar images

Fig. 2는 본 시스템에 의해 얻어진 선회 중의 레이더 영상이다. 좌측의 그림은 유의 파고 0.8m, 우측의 그림은 유의파고 3m의 해상상태에서 얻어진 것이다. 일반적으로 해면 반사신호는 바람이 불어오는 방향에서 강하게 나타나고 바람의 하류 쪽에서는 그 세기가 작아진다.(Nieto Borge 등 2000 참조) 좌측의 그림에서 레이더 영상의 우측 반원이 좌측 반원에 비해서 밝게 나타난 이유가 그것이다. 우측의 그림에서는 일정한 방향으로 진행하고 있는 파형을 확인할 수 있다. 이러한 특성의 레이더 영상을 고속 AD 변환 및 수치 분석하여 레이더를 이용한 파랑계측이 가능해진다.

WaveFinder에서 적용한 파랑 계측방법의 세부 이론은 저자들이 발표한 참고문헌(박준수 등 2006)을 참고하길 바란다. 아래는 파랑 계측방법의 주요 단계를 요약한 것이다.

매회전당 얻어진 레이더 영상은 선박의 진행방향과 방위각을 고려해서 선체와 함께 직선 운동하는 좌표계상의 영상으로 변환된다. 변환된 레이더 영상에서 앞서의 바람의 영향을 고려하여 가장 뚜렷한 파계를 나타내는 사각형의 공간상의 해석영역을 선택한다. 일정한 해석 영역에서 시간적으로 연속해서 얻어지는 레이더영상 신호를 3D FFT를 이용하여 3D 레이더 영상 Spectrum을 구한다. 레이더 영상 신호에 포함되어 있는 잡음을 제거하기 위해서 물체고정 좌표계에서의 Dispersion 관계식을 적용한다. 이와 동시에 조류에 의한 Dispersion Shell의 변형을 Least Square 법에 의해 추정함으로써 조류를 추정한다. 3D 레이더 영상 Spectrum을 양의 주파수 영역에 대해서 적분하여 방향 모호성을 제거한 2D 레이더 영상

Spectrum 을 얻는다. 여기에 Ziemer 등(Zierner and Rosental,1987)이 정의한 MTF(Modulation Transfer Function)를 적용하여 단위유의파고를 갖도록 정규화 된 Wave Spectrum 을 계산한다. 여기에 레이더에 따른 신호 특성 보정을 위하여 별도의 계측 실험을 통해서 결정된 SNR (Signal to Noise Ratio)과 유의파고와의 상관관계식 (Magnitude Transfer Function)을 적용하여 최종 적인 파랑 스펙트럼을 결정한다.

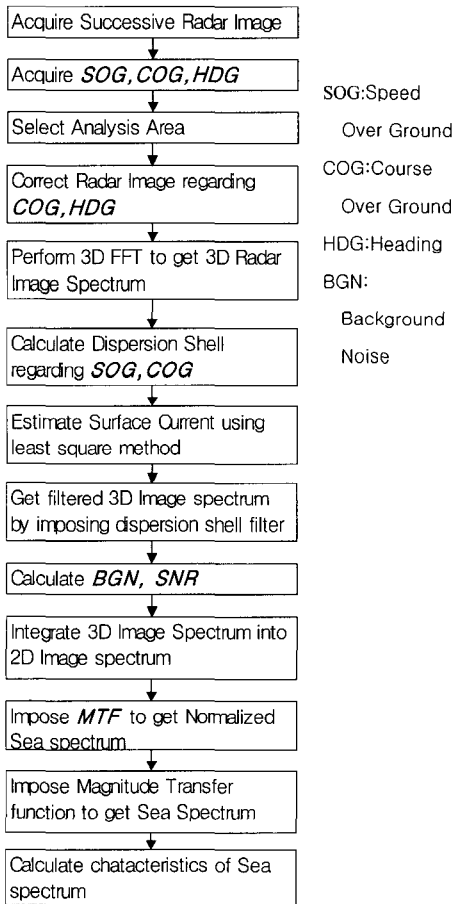


Fig. 3 Procedure of analysis

3. 캘리브레이션 및 연안 검증시험 결과

파랑 관측 부이의 파랑 데이터와 레이더 이미지 분석 결과의 상관 분석을 수행하기 위해서 Table

1 의 연안 시험을 수행하였다. 부이 데이터는 한국해양연구원(KORDI)측의 협조 하에 Wave Rider Buoy 의 데이터를 입수하였다.

Fig. 4 는 WaveFinder 와 부이를 이용한 각각의 계측결과 비교한 그림으로, 여기에서 Table 2 와

Table 1 Test condition for calibration

Test Location	West of Marado
Duration of Test	2005.5 ~ 2005.9
Items of measurement	Hs,Tz,Peak Wave Dir. by buoy, Radar image by WaveFinder
Water depth	100m (near buoy)
Sea Level of scanner	24m
Distance	2.4km (from Radar to buoy)

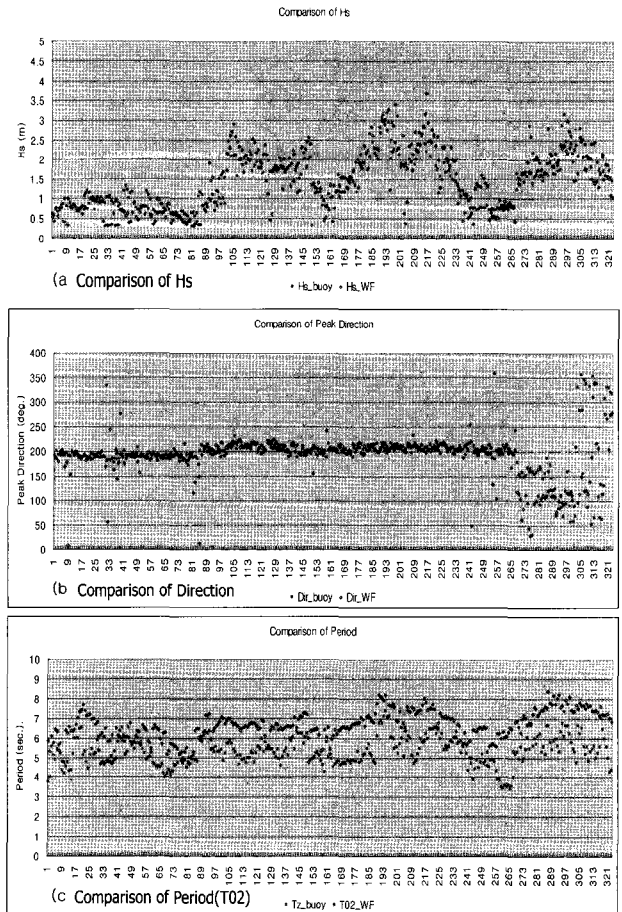


Fig. 4 Comparison of measurement

Table 2 Scheme of test

<p>Measurement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 32 radar images files were stored at every ten minute (totally 366 data after Filtering) - Buoy' s wave height, period, direction data were recorded at every hour.
<p>Analysis:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The characteristic parameter of radar image were calculated for the analysis area on the directions of 45, 90, 135 deg - The 1 hour averaged results were used to compare with buoy measurements - Correlation analysis and data filtering were performed with respect to wave height, period, direction to get magnitude transfer function

Table 3 Cases of analysis failure

Cause	Effects
Wind	Too low echo to analyze radar image: Fig.5-(b)
Rain, fog	Unable to be analyzed: Fig.5-(c)
Ship and her trajectory	Unwanted noise for wave analysis : Fig.5-(d)

같은 계측 및 해석 방법을 적용하였다.

시험 기간의 계측 결과 중 Table 3 의 문제요인에 해당하는 데이터를 확인하고 분석 대상에서 제외하였다. 이 제한 조건은 기존의 Radar 를 이용한 파랑계측 시스템이 갖는 한계와 동일한 조건이다.

바람에 의한 문제점은 바람에 의한 잔물결이 발생하는 이상의 풍속이 유지되어야 해면반사가 생기는 문제이다. 일반적으로 바람이 없는 경우는 잔잔한 해상상태를 갖기 때문에 대부분 문제가 되지 않지만, Swell 과 같이 국부적인 바람과 상관없는 파는 계측이 불가능한 경우도 발생한다. (Fig. 5-(b) 참조) 또한 연안 관측에서는 레이더로 관측할 수 있는 수면영역이 연안의 형상에 의해 제한되기 때문에 파와 바람의 방향이 부적당한 경우에는 해석 결과가 큰 오차를 가질 수 있다. 그리고 폭우, 폭설, 짙은 안개 등이 레이더 전파의 진행을 방해하는 경우(Fig. 5-(c) 참조)도 해면반사를 계측할 수 없게 된다. 이외에 선박이나 선박의 항적

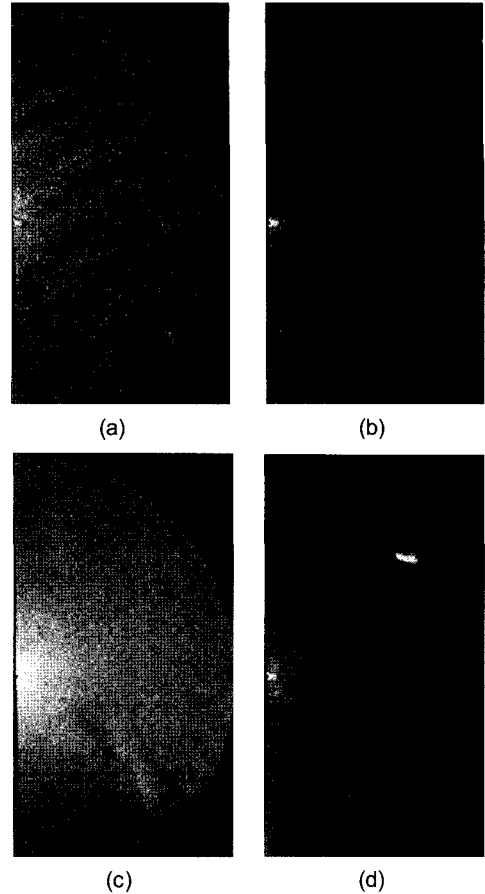


Fig. 5 Examples of analysis failure

Table 4 Comparison results with buoy measurements

	Test Range (from Buoy)	Std. Deviation of Error
Significant Wave Height (m)	0.42-3.19	0.47
Wave Direction (deg.)	172-233	10.76
Wave Period (Tz) (sec.)	3.45-7.41	0.91

등도 해석에 장애가 될 수 있다. (Fig. 5-(d) 참조)

Table 4 는 이러한 문제요인에 해당하는 경우를 제외하고 부이 관측 결과와의 일치 정도를 확인한 결과이다. 오차발생의 원인은 부이 관측지점과 레이더에 의한 해석 영역이 일치하지 않는 점과 각각의 해석방법의 차이에 의한 결과로 판단된다.

위의 결과로부터 저자들이 개발한 WaveFinder가 정량적이고 객관적인 파랑계측 결과를 주는 것을 알 수 있었다. Nieto et al (1999)의 유사시스템 WaMoS II의 실험결과와 비교하여도 거의 유사한 오차정도를 갖는 것을 볼 수 있다. (Fig. 6 참조)

4. 실선 검증 시험

WaveFinder를 이용한 선박 운항 중의 파랑계측을 시험하기 위하여 선박 건조 후의 시운전 중에 본 시스템을 이용한 파랑계측 시험이 여러 차례 수행되었다.

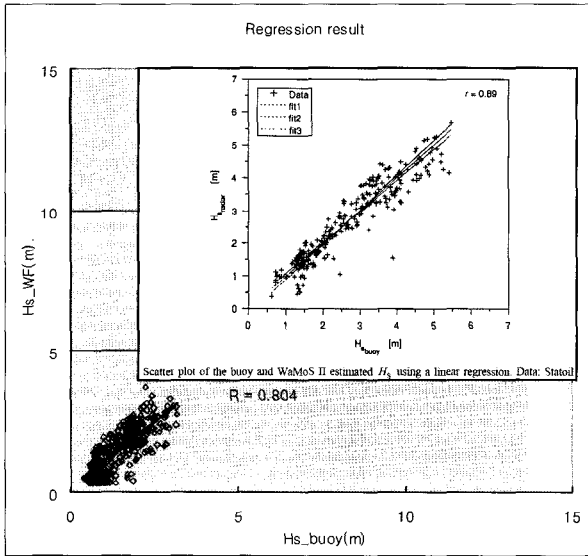


Fig. 6 Comparison with other measurement system (WaMoS II)

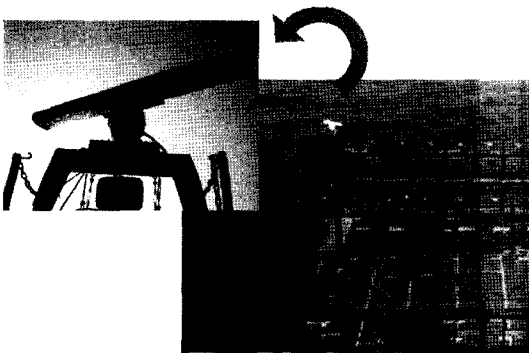


Fig. 7 Validation test on the sea trial of container vessel (Dec. 2004)

초기 실험은 레이더 신호의 특성 파악과 파 방향성 확인, 목적 파고와의 비교 등을 목적으로 수행되었고, 연안 검증 시험 이후에는 파고 계측 결과의 부이 데이터, 수치예보와의 비교 및 목적 결과와의 비교를 위해 수행되었다.

4.1 파향 계측 정도의 확인

Fig. 8은 Fig. 7의 실선 계측 시험의 해석결과와 그 때의 레이더 영상을 보이고 있다. 해석결과

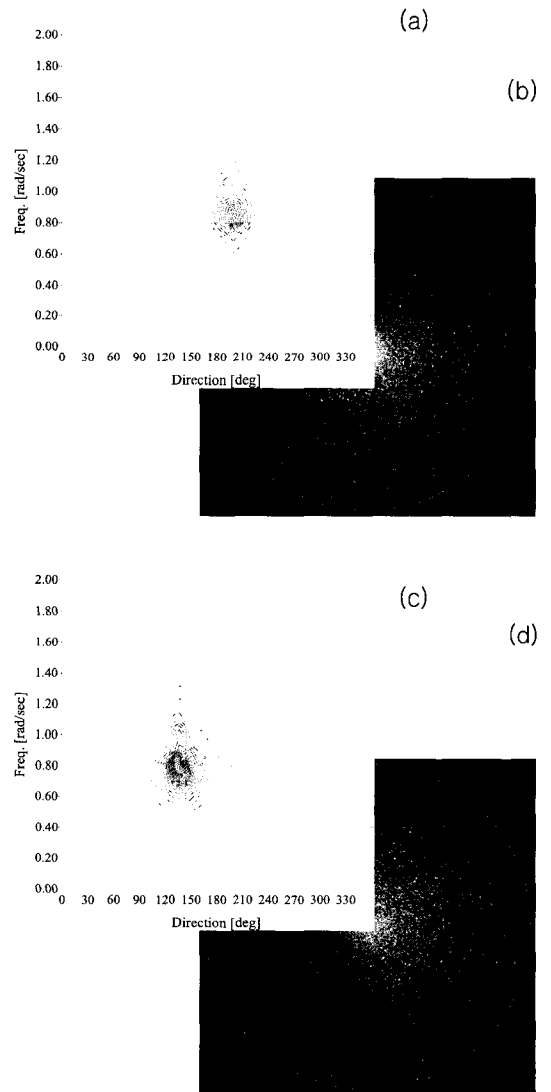


Fig. 8 Examples of analysis results

는 해석영역의 Image Spectrum 의 방향분포를 보이고 있는데 Spectrum 의 정점의 위치와 레이더 이미지상에서 파악되는 파의 방향과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

4.2 풍속과 레이더 영상 신호와의 관계

Fig. 2 와 Fig. 5 의 설명에서 언급한 바와 같이 해면반사신호는 풍속과 밀접한 관련이 있다. 이를 확인 하기 위하여 Fig. 9 의 시험 결과 중 선박에서 계측된 절대풍속과 그때의 레이더영상신호의 평균과 표준편차를 선수쪽 180 도의 영역에서 계산한 결과를 비교한 결과가 Fig. 10 에 나타나있다. 여기서 레이더 영상신호의 평균과 표준편차가 풍속에 비례하는 경향을 확인할 수 있으며 이러한 특성을 이용하여서 레이더 영상의 분석가능성을 사전에 확인할 수 있다. Nieto et al(2000)에 의하면 3m/s 이하의 풍속조건에서는 파랑계측이 불가하다고 한다.

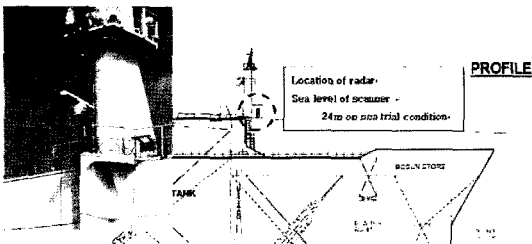


Fig. 9 Validation test on the sea trial of LNG carrier (July, 2005)

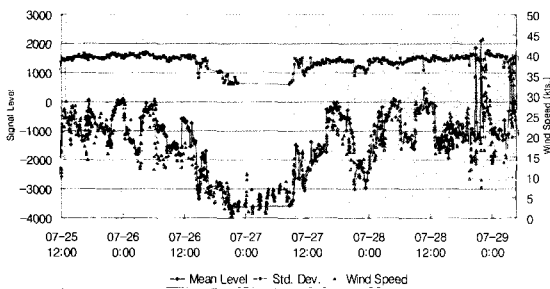


Fig. 10 Relation between wind speed and radar signal

4.3 파랑 계측 부이와의 결과 비교

Fig. 11 은 Fig. 9 의 시운전중의 배의 항적과 파랑계측 결과 비교를 위하여 사용한 기상청 부이의 위치를 나타낸다. 그림의 좌측하단에는 전체 항적이 나타나 있고 여기서 부이 근방 12 마일 이내를 향하는 구간에 대해서 1-7 까지의 번호로 표시하였다. Fig. 12는 기상청 부이로부터 계측된 파고(굵은실선)와 WaveFinder 를 이용한 파고 계측 결과(원,상각형)를 비교한 것이다. 전반적으로 부이 계측 결과와 비슷한 변동을 갖는 것을 볼 수 있고, 12 마일 이내에서는 기상청 부이와 비교적 좋은 일치를 보인다(상각형). 단 6 번 지점에서는 비교적 큰 오차를 보이는데 이것은 강우로 인한 계

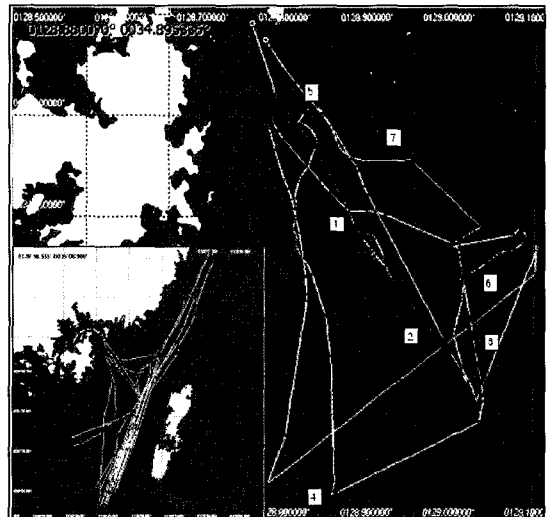


Fig. 11 Trajectory of LNG carrier and buoy location

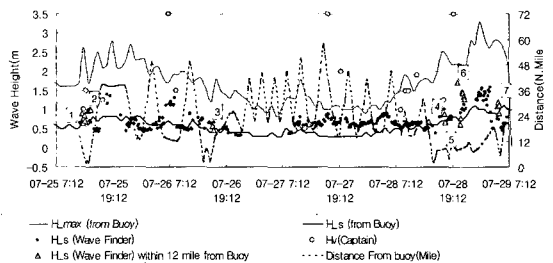


Fig. 12 Comparison of wave height

측 오차 및 발달 중인 파계의 특성으로 계측지점 측의 차이에 의한 것으로 판단된다. 반면에 부이로부터 멀리 떨어진 경우와 해상 상태의 변동이 있는 경우에는 부이 데이터와의 파고 비교를 하는 것이 불가능한 경우가 있음을 확인할 수 있다. 또한 선장에 의한 목적결과를 H_v 로 표시하였는데 그 결과가 부이 관측 및 WaveFinder 의 결과와 상당한 차이가 있음을 볼 수 있으며 이러한 점이 목적에 의한 파랑관측의 한계를 보이는 것으로 이해할 수 있다.

4.4 수치 예보와의 비교 및 음영 길이를 이용한 파고 계측 결과의 검증

2006 년 7 월에 수행된 실선 시험은 태풍의 영향으로 비교적 거친 해상 상태에서 속도 시운전이 수행되었다. 속도 시운전 해역은 대마도 남서쪽에 위치하여 기상청 부이 데이터와의 비교는 의미가 없으므로 기상청의 수치예보데이터와 비교를 수행하였다. 2006 년 7 월 16 일 오전 9 시 자료에 근거한 수치예보에 따르면 7 월 16 일 오후 12 시부터 18 시까지 시운전 해역의 파고는 1.5m~2m 의 파고와 북북동으로의 풍향을 가질 것으로 예상되었다. 기상청의 수치예보에서는 Swell 을 고려하지 않고 있으므로 Swell 이 존재하는 경우, 보다 높은 파고도 예상되는 상황이었다.

속도 시운전은 20 도, 200 도 방위각으로 수행

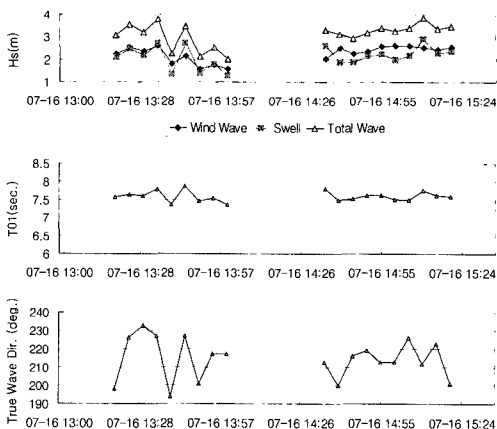


Fig. 13 Wave measurement results in LNG carrier (2006-07-16 13:00-15:00)

되었는데 20 도로 항해하는 동안 본선은 Following Sea 상태에서 선미로부터 파가 추월하는 상태로 항해하였으며 200 도로 항해하는 동안에는 Head Sea 상태로 선수로부터 파를 받으며 항해하는 상태가 되었다.

Fig. 13 을 보면 Following Sea 상태에서는 레이더 이미지의 특성상 선수방향영역의 신호레벨이 낮아지므로 해석영역 자동설정방식에 의해서 최대한 선미 방향의 해석영역이 선택되지만 그래도 신호레벨이 낮아져서 파고가 다소 낮게 추정되는 것을 볼 수 있다. 이러한 문제는 파랑계측 시스템의 설치 위치와 레이더 신호 취득 방식과도 관련이 되어 있는 문제로 추후 개선되어야 할 부분이다.

이에 반하여 Head Sea 상태에서는 선수 방향 영역에서의 신호레벨이 가장 좋은 특성을 갖게 되어 Following Sea 상태에서보다 안정적인 계측 결과를 볼 수 있다. (Fig.13 참조)

파주기는 계측된 파랑 스펙트럼 분석에 의한 평균 파주기에 해당하는 값이다. 파향은 진북을 기준으로 파가 진행해 오는 방향을 의미하는 것으로 210 도 근방의 값을 보여 수치예보의 풍향과 같은 방향임을 알 수 있다.

보다 직접적으로 계측 결과를 검증하기 위해 레이더 영상의 음영을 이용한 파고 추정방식을 적용하였다. Fig. 14 는 규칙파에 대한 레이더 영상의 음영 발생 원리를 보인다. 레이더 Scanner 의 높이에서 방사되는 펄스는 해면에 반사되어 레이더로 되돌아 오게 되는데, 기하학적으로 레이더의 펄스가 도달할 수 없는 구간이 존재하게 되어 레이더 영상에서 음영(Shadow)이 발생하게 된다. 이 음영은 레이더로부터의 수평거리와 파고,파장에 따라서 그 길이가 변화하게 되는데 이것을 계산한 결과가 Fig. 15 에서 보이는 두개의 곡선이다.

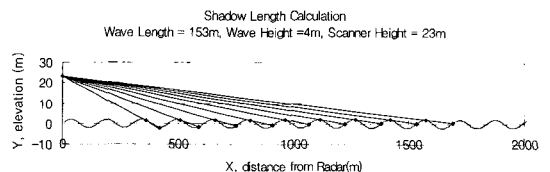


Fig. 14 Example of shadow length calculation for LNG carrier

여기서는 파고 2m 와 4m 의 경우에 대해서 음영의 발생 위치와 그 길이를 계산한 것이다.

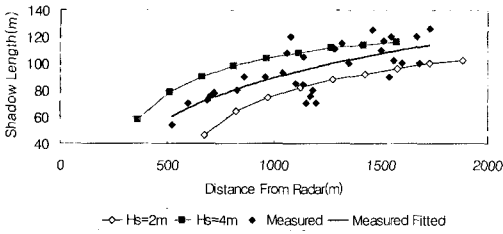


Fig. 15 Example of shadow length calculation for LNG carrier

파장은 계측 결과 중 Peak Period 에 해당하는 파장 (153m)을 적용하였다. (4.5 절 내용 참조)

이러한 계산 결과와 함께 실제 레이더 이미지에서 얻어지는 Swell 또는 주방향 성분의 파에 의해 생성되어지는 음영을 계측하여 발생 위치와 그 길이를 같은 그래프에 표시하였다. 그 분포는 2-4m 사이에 위치하는 것으로 추정되며 대략 3m 정도의 결과에 가까울 것으로 추정된다. 이 결과는 파랑계측시스템의 해석 결과와 잘 일치하며, 이로써 WaveFinder 를 이용하여 Swell 의 존재확인 가능하고 그 계측 결과가 신뢰할 수 있는 것으로 판단할 수 있다.

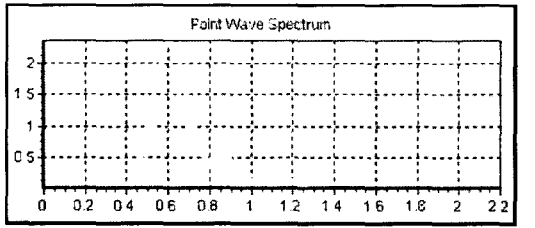
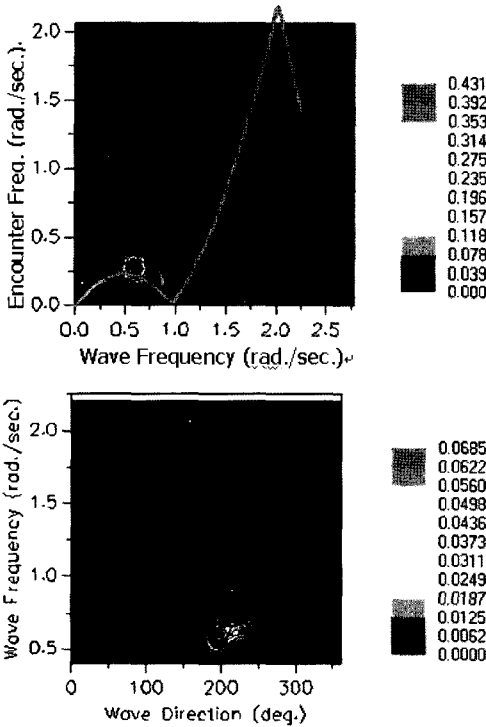


Fig. 16 Wave measurement results in following sea condition

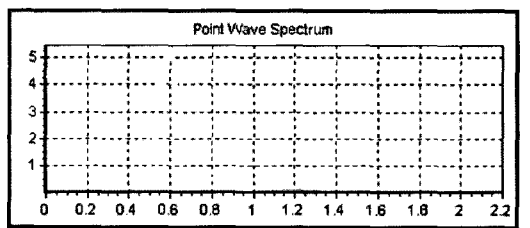
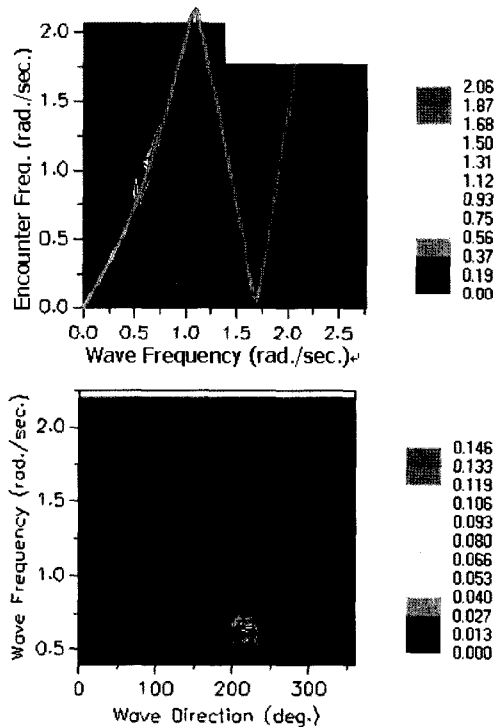


Fig. 17 Wave measurement results in head sea condition

4.5 Dispersion Shell 의 확인

앞서의 해석절차 설명에서 언급한 바와 같이 해양파는 Dispersion Relation 을 만족시켜야 한다. 이런 특성을 이용해서 얻어진 레이더 이미지의 신호의 변화가 파랑에 의한 것인지 확인해 볼 수 있다. 가장 극단적인 조우주파수의 변동은 Head Sea 상태와 Following Sea 상태에서 나타나므로 두 가지 경우에 대한 계측결과를 예로 든다. Fig. 16 과 Fig. 17 은 각각 4.4 절의 Following Sea 조건과 Head Sea 조건에 해당하는 파랑계측 결과이다. Fig.16 의 첫번째 그림의 굵은 실선은 Peak Direction 방향의 Dispersion Shell 의 단면으로 파 주파수와 조우주파수와의 관계를 나타내고 있으며 contour 로 표시된 것은 임의의 조우주파수 평면상의 3D Image Spectrum 값 중, 임의의 파 주파수에 해당하는 Spectrum 을 조우각도에 대해 적분한 결과이다. 즉 Contour 로 표시된 물리량은 조우각도와는 상관없이 특정 조우주파수를 갖는 임의의 파 주파수성분의 에너지로 이해할 수 있다. 실제로 해양파는 Dispersion Relation 을 만족시키면서 방향분포를 갖는 경우가 일반적이므로 그림상의 실선 주위에 집중된 contour 를 나타내는 것이 해양파의 특징이 되며 이러한 실선과 동떨어진 지점에 위치하는 에너지는 Background Noise 나 측정 잡음이 될 것이다. Fig. 16 과 17 모두 Peak Direction 에 해당하는 Dispersion Shell 주위에 대부분의 에너지가 집중되어 있는 것을 알 수 있고 이에 따라 계측된 레이더 영상이 해양파에 의한 것임을 확인할 수 있다. 이에 대해서는 Young et al(1985)를 참조하라.

Fig. 16,17 의 두 번째 그림은 방향파 스펙트럼이며 세 번째 그림은 방향파 스펙트럼을 전방향에 걸쳐 적분한 단일 점에서의 파 스펙트럼이다. Fig. 13 에서 보인 시운전 결과에서 알 수 있듯이 위의 두 경우의 파의 방향은 200 도 근방에서 일치하고 있으며 단지 파고만이 Following Sea 조건에서 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

4.6 Wind, Swell 의 분리 계측 가능성

WaveFinder 를 이용한 시운전중의 파랑계측 결

과에서 그 유용성을 확인할 수 있었던 부분중의 하나는 2 개 이상의 파계가 존재하는 경우에 대한 계측 가능성이었다. 주방향이 서로 다른 파계에 대한 목적은 속련된 항해자 등이 가능하지만 WaveFinder 를 이용하는 경우에는 간단하게 계측이 가능하다. 이런 점은 선박 속도 시운전중의 파랑계측에 유용할 수 있다. 즉 기존의 목적에 의한 시운전 중 파랑 관측에서는 대개 Wind Wave 에 대한 관측이 이루어져 왔으며 Swell 에 대해서는 특별한 경우가 아니고서는 속도 보정을 위해 관측되지 않았다. 이것의 원인은 여러 가지가 있을 수 있지만 Swell 에 대한 관측이 경우에 따라서 매우 힘든 것도 그 중 하나일 것으로 추측된다.

아래의 Fig. 18 는 2005 년 11 월 30 일 12:05 분에 선속 1.36kts 로 300 도로 항해하던 LNG 선에서 계측한 레이더 영상이다. 절대 풍속은 7.5m/s 로 333 도에서 불어오고 있는 상태였다.

레이더 이미지 해석상으로는 유의파고 1.5m 의 해상상태로 뚜렷한 장파성분이 33 도 부근에서 진행해오는 것을 확인할 수 있었지만 육안관측에서는 275 도 방향의 단파성분만을 관측할 수 있었고 목적 파고는 0.7-1m 정도로 관측 되었다. 수분간 주의 깊게 관측한 결과 WaveFinder 의 해석결과

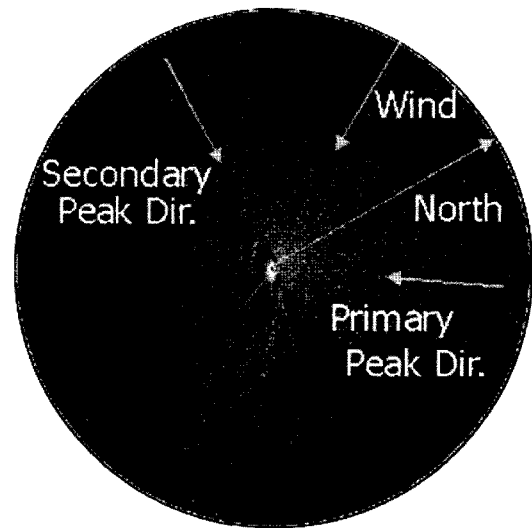


Fig. 18 The radar image showing two different wave systems (primary, secondary)

의 방향에서 장파를 확인할 수 있었다. 이렇게 Swell 을 관측하기 힘든 이유는 파고에 비해서 파장이 매우 길고 이에 따라 파면에 의한 반사가 파장이 짧은 Wind Wave 에 의한 반사에 비해 훨씬 작고 그 변화가 속도가 느려서 주의 깊게 관측하지 않으면 탐지가 곤란한 경우가 많다.

Fig. 19 는 이 경우에 대한 WaveFinder 의 계측 결과이다. Swell 과 Wind Wave 성분이 서로 다른 방향성을 갖는 것을 확인할 수 있으며 육안 관측이 어려웠던 Swell 성분이 Wind Wave 만큼 뚜렷하게 나타나고 있다.

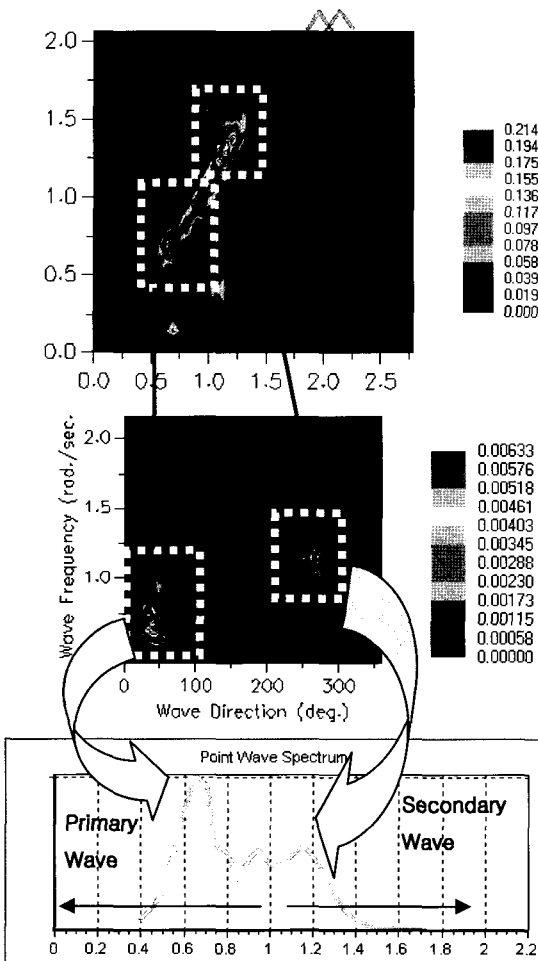


Fig. 19 Wave Measurement results for the wave system that has two peak directions

5. 결론 및 토의

이상으로 저자들이 개발한 파랑계측시스템의 개발내용과 적용 결과를 소개하였다. 이 내용을 요약하여 간추리면 다음과 같다.

- WaveFinder 의 캘리브레이션을 위하여 장기간의 연안 검증 시험을 거쳤으며 그 결과 기존 유사 시스템과 유사한 수준의 계측 정도를 갖는 것을 확인하였다.

- 강우나 강설, 짙은 안개 등 레이더 작동상 문제가 발생하는 기상조건에서는 적용이 불가능한 경우가 발생하며 이러한 경우는 캘리브레이션 및 검증용 데이터에서 제외되었다

- 연안 검증 시험 결과, WaveFinder 는 항해중의 파랑관측에 효과적으로 사용될 수 있으며 이것은 다수의 시운전 결과로 검증 되었다.

- 레이더 영상신호의 평균과 분산은 풍속과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 레이더를 통한 파랑계측을 위해서는 충분한 해면반사를 얻을 수 있는 풍속이 유지되어야 한다.

- 실선 검증을 위해 부이 관측 데이터와의 비교를 수행하였고 부이 근방의 계측에서는 좋은 일치를 확인하였으나 거리가 멀어지거나 해상상태가 변화하는 경우에는 부이 계측 데이터와의 비교는 부적절하다.

- 이러한 문제로 수치예보와 비교한 결과 파향에 있어서 좋은 일치를 보였고, 파고에 대해서는 음영길이를 이용한 파고 추정방법을 적용하여 WaveFinder 에 의한 파고 계측 결과를 직접적으로 검증하고자 시도하여 유의한 결과를 얻었다.

- Dispersion Shell 과 3D Image Spectrum 을 그려봄으로써 레이더영상신호 및 해석의 이상유무를 확인할 수 있다.

- 레이더를 이용한 파랑계측을 통해서 기존에 관측이 어려웠던 Swell 에 대한 관측이 가능해졌으며 이 결과를 ISO 속력시운전 해석법에서 채택하고 있는 Swell correction 에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 이러한 시스템을 이용하여 운항 중이거나 계류중인 선박에서 손쉽게 파랑을 계측하여 선박



Fig. 20 A radar Image at Hwajin beach

의 안전 운항이나 위치 유지에 필요한 파랑 정보를 얻을 수 있게 될 것이다. 특히 야간이나 관측이 어려웠던 Swell 에 대해서 본 시스템은 유용한 계측수단이 될 것이며 이를 통해서 항해자는 안전한 항로를 선택할 수 있을 것이다.

또 본 시스템의 다른 응용으로 연안에서의 파랑 관측에도 적용이 가능하며, 수심에 따른 파형의 변화를 관측함으로써 연안 해저 지형 탐사등에도 활용이 가능하다. 이러한 시도는 이미 국외에서 진행 중이며, 이외에도 레이더 영상분석을 이용한 기름유출 감시나 Sea Ice 감시 분야도 본 개발 내용과 관련해서 연구 개발이 추진중인 분야이다.

Fig. 20 은 동해 화진 해수욕장의 해변에서 계측한 레이더 영상으로, 입사파가 연안에 가까워지면서 파장이 변화하고 회절하는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 이것은 단일 지점의 파랑 계측 방식인 부이로는 불가능한 기능이며, 공간상의 영상 신호 분석을 이용한 다양한 연구 추진 가능성을 확인할 수 있는 한 예이다.

후 기

본 연구 성과를 거둘 수 있도록 부이 데이터를 지원해주신 한국해양연구원 연안방재연구사업단과 시운전 중의 검증 시험에 많은 지원을 해주신 삼성중공업 운영종합설계팀, 시운전부의 관계자 분들께 감사의 뜻을 표합니다. 또한 연안 시험에 협조해주신 마라도 이장님과 주민 여러분께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 박준수, 박승근, 권순홍, 박건일, 최재웅, 강운태, 하문근, 2006, “ 항해용 레이더를 이용한 파랑

모니터링 시스템 개발,” 한국해양공학회지, 제 20 권, 제 1 호, pp 37-42.

- Nieto Borge, J.C., Guedes Soares, C., 2000, “ Analysis of directional wave fields using X-band navigation radar”, Coastal Engineering, Vol 40, pp 375-391
- Nieto, J.C., Reichert, K., Dittmer, J. 1999, “ Use of nautical radar as a wave monitoring instrument”, Coastal Engineering, Vol 37, pp 331-342
- Young, I.R., Rosenthal, W. and Ziemer, F.,1985, “ A Three-Dimensional Analysis of Marine Radar Images for the Determination of Ocean Wave Directionality and Surface Currents”, Journal of Geophysical Research, Vol. 90, No C1, pp 1049-1059
- Ziemer, F. and Rosenthal, W., 1987, "On the Transfer Function of a Shipborne Radar for Imaging Ocean Waves", Proc. IGARSS87 Ann Arbor, pp. 1559-1564.



< 박 건 일 > < 최 재 웅 > < 강 윤 태 >



< 하 문 근 > < 장 현 숙 > < 박 준 수 >



< 박 승 근 > < 권 순 홍 >