

항주파 관측에 관한 연구

정대득*

*목포해양대학교 해상운송시스템공학과 교수

A Study on the Measurement of Ship wave

Dae-deug, Jung*

* Department of Maritime transportation system, Mokpo Maritime University

요약 : 선박의 항주에 의해 발생하는 항주파의 현장관측을 수행하였다. 파랑데이터는 선박의 항로에서 625m 이격된 지점에서 초음파식 파고계를 이용하여 12시간동안 5Hz로 관측하였다. 관측데이터 분석결과 이 해역이 파랑은 정상적인 기상상태에서는 항주파가 현저한 원인으로 분석되었으며, 대형여객선과 쾌속여객선의 항주파가 중첩될 때 최대파고 82.6cm로 관측되었다. 불규칙하지만 현저한 방향특성을 가지는 개방수역의 풍파와 비교하여 항내의 항주파는 매우 복잡한 형태를 나타냈다.

핵심용어 : 파랑관측, 항주파, 목포항, 초음파식파고계

Abstract : On-site measurement of ship wave has been carried out in the vicinity of Mokpo inner harbour. The wave data were collected and logged 5Hz by the ultrasonic instrument during 12hour May 17th 2006. The number of data is 216,000 and the maximum wave height is 81.41cm in normal weather condition. It is found that the wave conditions in this water area are predominantly affected by the ship-generated waved under normal condition. By comparing with the wind-generated waves in the open region which are irregular but with dominant directional characteristics, the existing harbor wave field is much more complex.

Key words : Wave measurement, Ship wave, Mokpo harbor, Ultrasonic lever

1. 서론

항만이 갖추어야 할 가장 기본적인 요건중 하나는 육상과 해상의 연결점으로서 화물의 원활한 이송을 위한 항내 정온도의 유지이다. 또한 피난처로서의 기능을 위해 특히 소형선박의 안전한 계류 및 정박을 담보할 수 있어야 한다.

해상운송의 증가에 따른 선박의 항만 이용률이 증가하면, 항내수역을 이용하는 선박의 항행 빈도가 증가한다. 또한 조선 기술 및 추진력 관련 기술의 발달, 선박관제시스템의 발달과 항법설비의 발달 등에 기인하여 선박의 운항속도는 점차 증가하는 추세이다. 근년에는 해양레저 활동의 급성장에 기인하여 항내 또는 인근수역에서 쾌속선의 운항이 증가하고 있다.

이러한 모든 사항은 항주파의 발생과 직접적으로 관계하고 있다. 특히 기존항만의 경우 해상활동의 증가에 따른 항만배후지역 확보의 필요성이 증대하면서 매립에 의해 토지를 확보하는 경우가 많아 항만수역의 잠식 및 직립안벽 설치에 따른 반사 파랑의 발생으로 항주파에 의한 문제를 가중시키고 있다. 특히 쾌속선 들은 상당한 크기의 파랑을 만들어 내며 한편으로는 접이안중에 기존의 항내파랑의 영향을 많이 받는다. 쾌속여객선과 높은 출력의 특수선들은 항내 파랑의 주요원인이 된다.

항주파란 선박의 항행에 의해 발생하는 파문으로 선박의 크기, 선박의 속력 등에 의해 비례하여 파고가 커지는 특성을 가진다. 항주파는 발생원으로부터 멀어지면 감소하므로 개방수역에서는 큰 문제를 야기하지 않으나. 협수로, 항내와 같이 수역에서의 항주파의 발생은 인근수역을 향해하고 있는 소형선박의 안전문제, 화물작업을 위해 접안하고 있는 선박의 동요 문제, 항만시설의 파손, 친수공간에서 안전문제, 해안침식, 월파, 세굴 등의 문제를 야기할 수 있다. 특히 소형선박과 저속의 선박들은 항해중이나 접이안중에 항내파랑의 영향을 많이 받는다.

항주파는 발생원 및 발생지역의 특성에 따라 달라지므로 특정 선박의 항해에 의해 발생하는 항주파를 관측하는 것은 어려워진다. 특히 전파과정에서의 회절, 굴절 및 천수변형, 주변 구조물에 의한 반사, 기상조건 등에 의한 잡음 등에 의해 순수한 항주파 만의 특성을 관측한다는 것은 매우 곤란하다. 이러한 영향을 최소화 할 수 있는 방법이 항주파 발생원에 근접하여 관측하는 것이지만, 이 경우 선박항해에 방해가 되지 않도록 해수면 아래에 관측장비를 설치하여야 한다. 관측장비의 수심이 깊어질수록 파랑에너지의 감쇄가 커져 항주파의 특성을 감지하기가 곤란해진다.

항주파에 대한 연구는 선박의 추진과 저항 등 주로 조선공학적인 측면에서 실험적 및 이론적 연구가 주로 이루어왔다. 본 논문에서는 목포항 내항에 위치한 목포해양대학교 전면수역에서 선박의 통항량이 많은 시각대를 선정하여 12시간동안

*대표저자 : 정희원, captjung@mmu.ac.kr, 061-240-7060

항주파의 현장관측을 수행하였다. 파랑관측은 풍향풍속계와, 온도에 따른 음파의 진행속도를 실시간으로 보정하는 보정장치를 갖춘 초음파식 파고계를 사용하였다. 관측결과 일반적인 기상상태에서는 다도해로 보호되는 목포내항의 파랑은 해상교통량에 의해 결정되는 항주파에 의해 결정되었다. 여기에는 소형어선에서부터 대형 여객선, 군함, 경비정 등이 포함된다.

2. 항주파의 특성

켈빈의 조파이론에 의하면, 파랑의 위상속도가 해저면의 영향을 받지 않는 충분한 수심에서 발생하는 항주파는 선박의 항적중심선에서 $\pm 19.8^\circ$ 의 각도를 이루는 첨두선(cusp line)의 내측에 한정하여 발생한다. 항주파는 선박의 항적 중심선에서 $90^\circ \sim 35.3^\circ$ 의 각도로 전파되는 종파(diverging wave)와 $35^\circ \sim 0^\circ$ 로 전파되는 횡파(transverse wave)로 구분되어지고, 첨두선의 약간 내측에서 최외곽의 종파와 횡파가 서로 만나 최대 파고를 나타낸다(<Fig.1>).

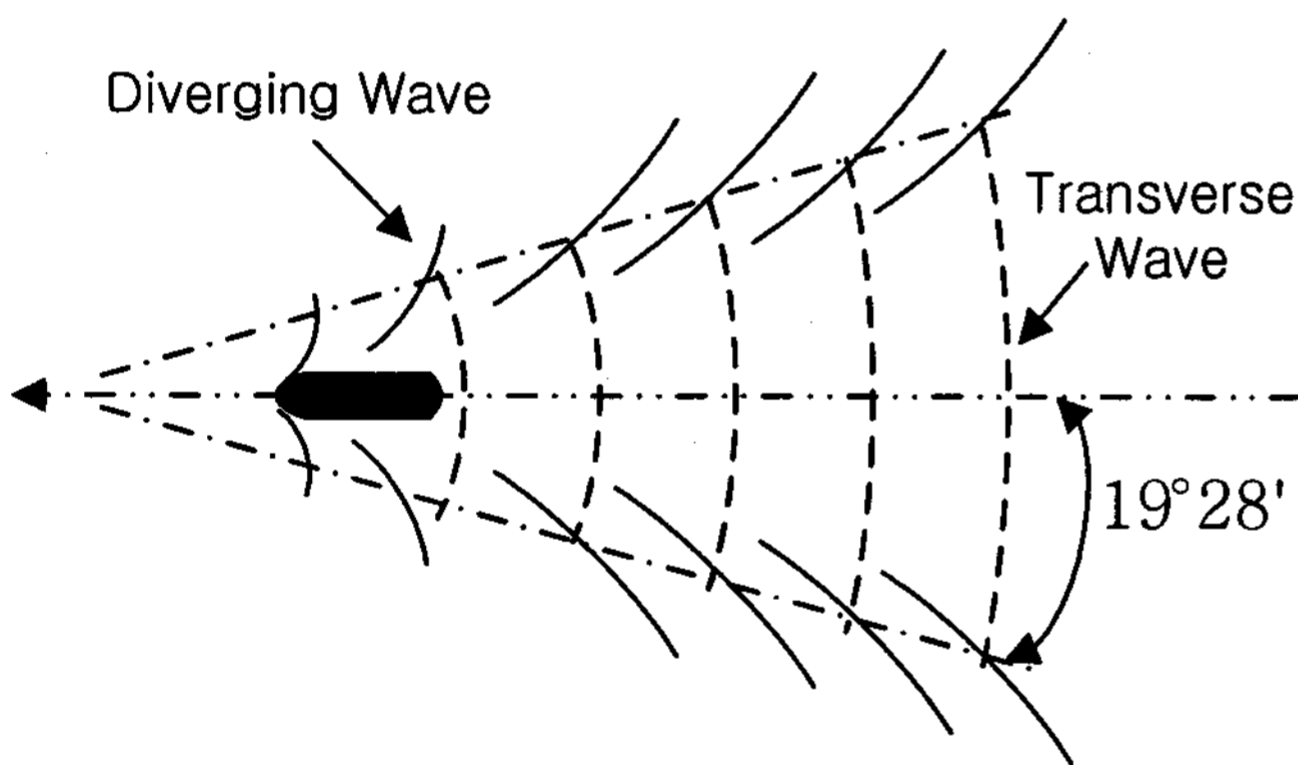


Fig. 1. Shape of ship wave.

항주파의 파장 및 주기는 종파와 횡파가 서로 다르며 횡파가 상대적으로 길다. 종파의 주기 및 파장은 종파의 진행방향에 대한 선박의 속도 성분이 종파의 파속과 같다는 조건에 의해 구해지며, 횡파의 경우는 횡파의 파속이 선박의 전진속도와 같다는 조건에서 수치해로 구해진다.

항주파의 특성을 결정하는 가장 중요한 인자는 파장에 비해 수심이 깊은 심해에서는 선박의 수선간장(L_{bp}), 선박의 속력(V_s)로 정의되는 Length Froude number ($Fr_L = V_s / \sqrt{gL_s}$)이며, 파장에 비해 수심이 얕아져 수심의 영향을 받는 천해에서는 선박의 속력과 수심(h)으로 정의되는 Depth Froude number ($Fr_h = V_s / \sqrt{gh}$)이다.

항주파는 풍파에 비교해서 현저하게 구분되는 특징을 가진다. 항주파의 전파방향, 파고 및 주기와 같은 파랑특성은 선박의 진행방향과 선박으로부터의 이격거리에 따라 결정된다. 그러므로 여러 척의 선박에 의해 발생하는 항주파들을

한 지점에서 관측한다면 이동하는 조파기에서 무작위로 발생하는 파랑으로 간조할 수 있다. 그러나 풍파는 일정기간동안에는 고정점에서 무작위로 발생하는 파랑으로 볼 수 있다. 또한 다양한 주기와 방향을 가지는 불규칙 풍파라도 특정 기간 동안에는 탁월한 주기와 진행방향을 나타내지만, 여러척의 선박이 별개의 항행조건에서 발생시킨 파랑은 이러한 공간적 분포 특성을 나타내지 않는다(Allen, 2003).

3. 현장 관측

항주파를 관측하기 위해서는 관측장비를 선박이 항해하는 항로 부근에 설치하여야 한다. 이를 통해 단위선박에서 발생하는 항주파를 계측할 수 있으며, 타선박에 의한 영향, 반사파, 기타 외력에 의한 파랑 등에 의한 잡음을 최소화 할 수 있다.

그러나 항로부근에 설치하기 위해서는 특별한 구조물이 필요하거나, 관측장비가 수중에 설치되어야 하며, 어느 경우라도 선박의 항해에 지장을 초래해서는 곤란하다. 파랑관측을 위해 항로부근에 구조물을 설치한다는 것은 현실적으로 매우 곤란하며, 수중에 설치하는 경우 저조시에 해수면에 노출되지 않아야 하며 선박의 흘수보다 깊이 설치되어야 한다. 그러나 유압식 파고계를 이용하는 경우 감쇄현상이 심하여 주로 주기가 2.5초 이하인 단주기파랑인 항주파를 계측한다는 것이 매우 곤란해진다.

<Fig. 2>는 항로부근에서 항주파를 계측하기 위해 유압식 파고계 설치한 사례이다(주). 선박의 안전성 확보를 위해 수면하에 3.4~8.2미터 위치에 장비가 설치되었으며, 수심증가에 따른 파랑에너지 손실을 추산하기 위해 1.5m 간격으로 추가의 2개 센서를 부착하였다. 유압식 파고계의 계측 가능한 파장은 주로 관측수심, 장비의 민감도 등에 의해 결정되며, 일반적으로 계측 대상 파랑의 파장이 장비의 센서가 설치된 수심의 2배 이내인 경우 계측이 곤란한 것으로 알려져 있다. 따라서 조위차가 크고 선박의 통항이 빈번한 항로 부근에서 유압식 파고계를 이용하여 항주파를 관측하는 것은 매우 어려우며, 일정 범위 이내의 파장을 가진 항주파는 계측되지 않을 것이다. 관측사례에 의하면 수심 8m에 설치된 압력식 파고계는 주기 주기 3.3초의 파랑에 의한 파랑 에너지를 관측하지 못하였다.

본 연구에서는 단위 선박의 항행에 의해 발생한 항주파의 관측보다는 선박이 빈번하게 항해하는 해역에서 항주파의 실태를 조사하기 위한 것이므로 항주파의 생성, 전파 및 변형이 이루어진 이후의 파랑을 관측하기 위해 목포항 항계내의 항로 중 직선구간으로 선박의 항행속도가 높을 것으로 예상되는 구역을 선정하였다. 선박의 항로중심선상에서 관측지점까지의 거리는 625m이며, 수심분포는 최대 14.4m에서 최소 5.9m까지 완만하게 이어져있다(<Fig. 3>).

항주파의 관측은 대기상태에 따른 음파의 속도를 실시간

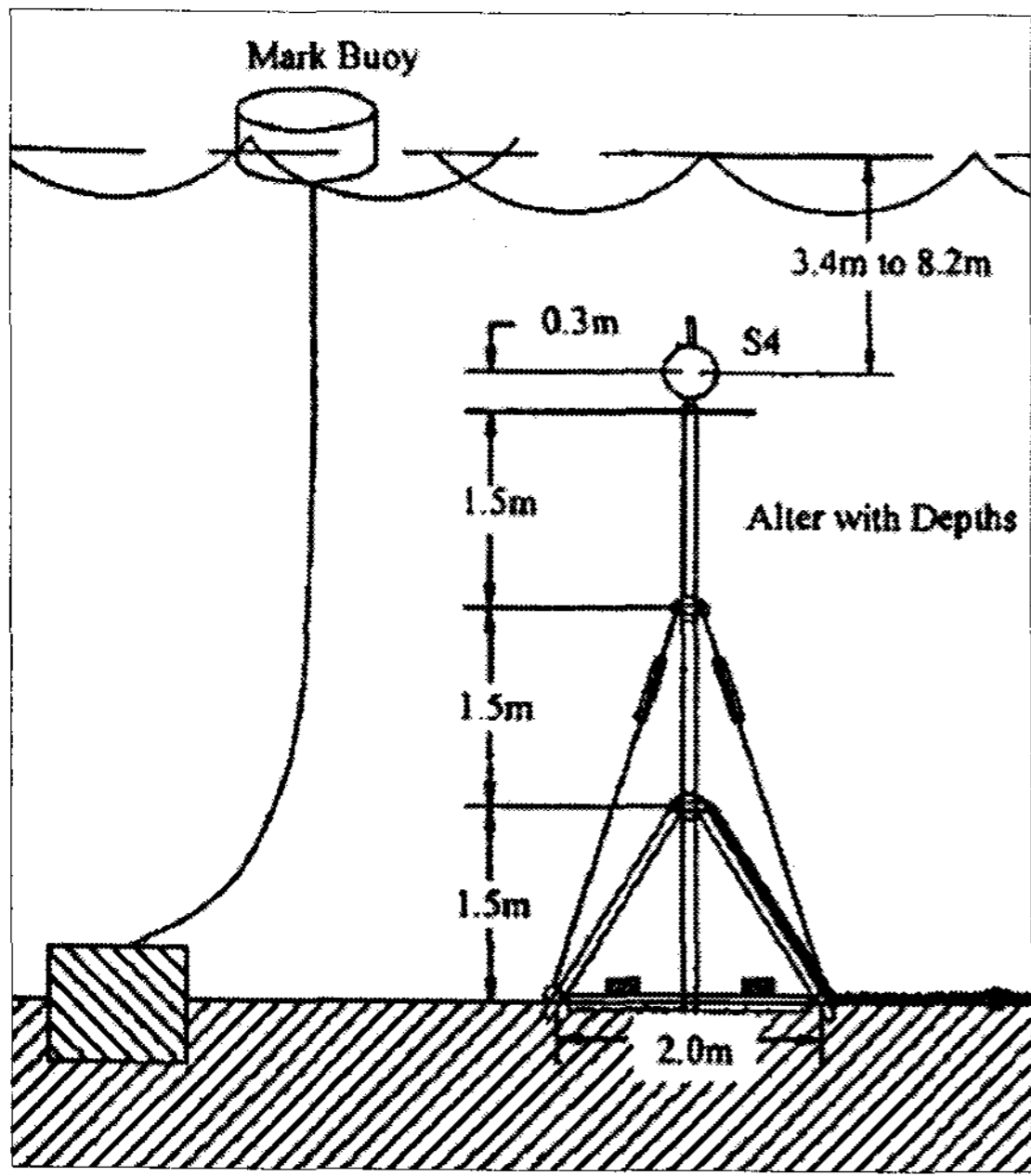


Fig. 2. Installation of wave measurement.

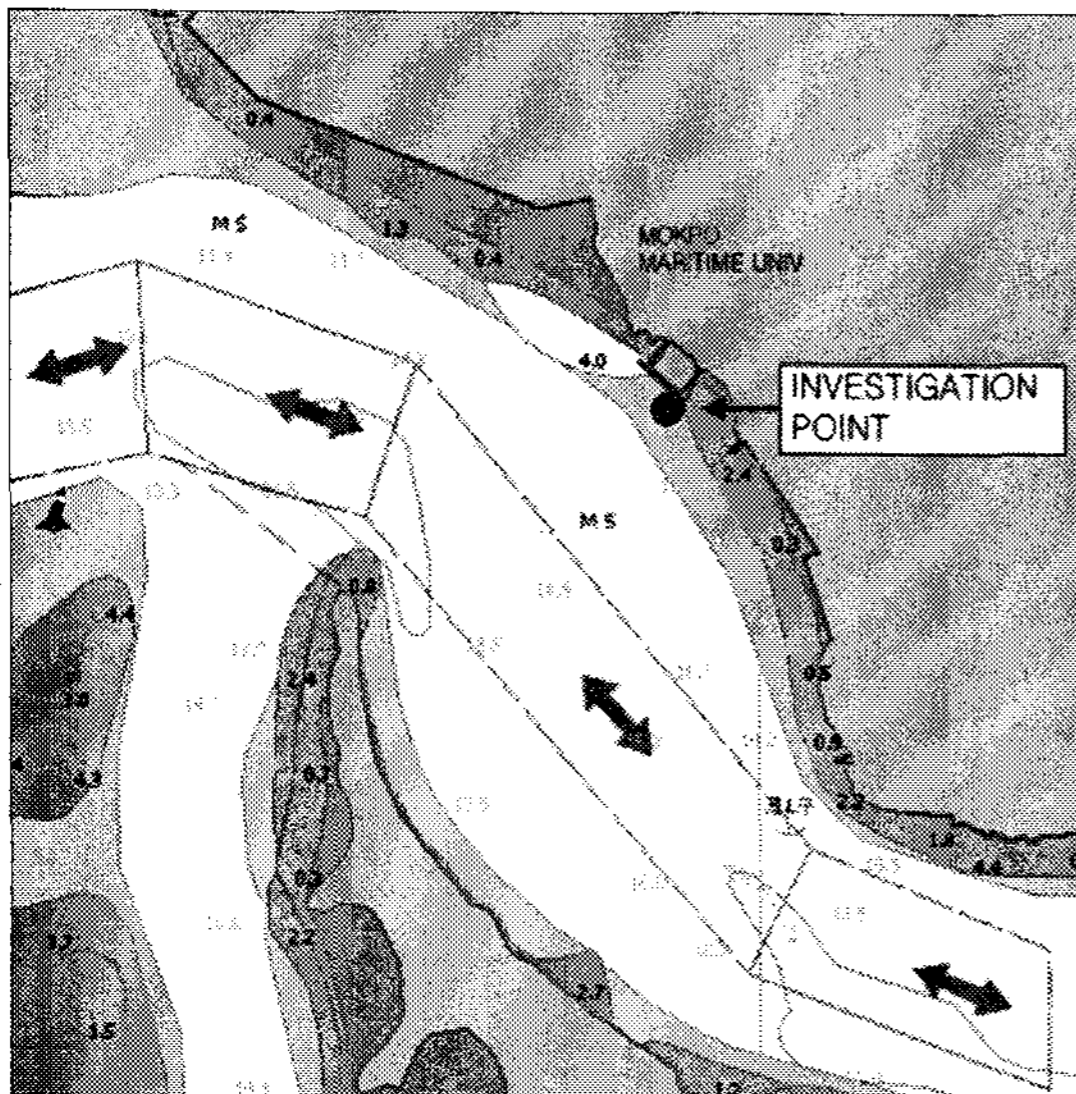


Fig. 3. On-site Investigation Point.

으로 보정하기 위해 Reference distance unit를 탑재한 초음파식 파고계를 이용하였다. 초음파식 풍향 및 풍속계 및 온도계를 동시에 이용하여 외력의 영향을 고려하였다. 장비의 주요사양은 <Table 1>과 같고 장비의 구성은 <Fig. 4>와 같다.

파랑관측은 2006년 5월 17일에, 어선및 연안 여객선의 출항이 빈번히 이루어지기 직전인 06:00부터 입항이 대부분 완료되는 18:00까지 12시간 동안 수행하였다. 주기가 짧은 항주파의 특성을 고려하여 관측주기를 5Hz로 설정하여 총 126,000개의 데이터를 기록하였으며, 각 데이터 버스트는 1시간으로 18,000개이다.

Table 1. Technical specification

Model	LOG_aLevel
Specifications	Value
Measuring Range	Up to 6m
Sampling Rate	5Hz ~ 1value/day
Resolution	Up to 1mm
Accuracy	Up to 1cm
Anemometer	Ultrasonic(1mm)

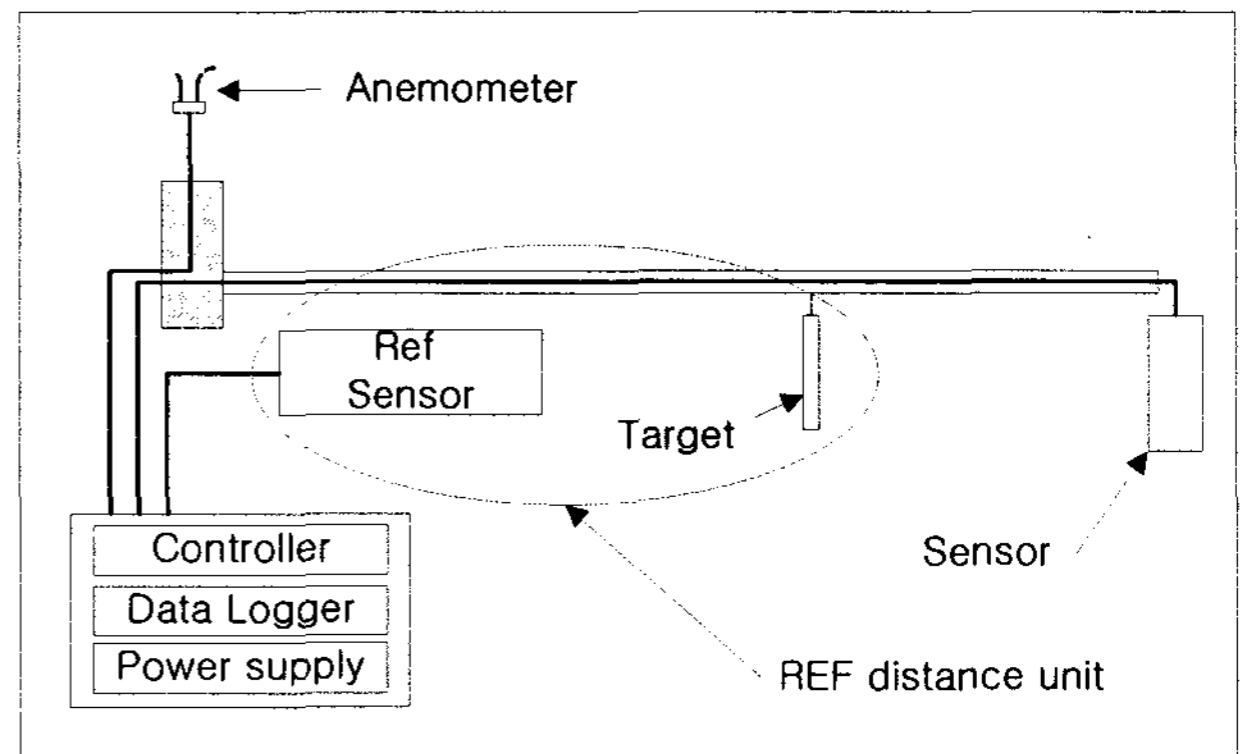


Fig. 4. Components of Instrument.

이 관측기간동안 입출항한 선박은 총185척이며, 선종별 분포는 <Table 2>와 같다. 선박통항시각은 선박이 관측지점에 정형 통과한 시점이다. <Fig. 5> 파랑관측 12시간동안 시각대별 통항량을 나타내고 있다.

Table 2. Observed traffic by ship type

Ship type	No.	Ship type	No.
Big Passenger	2	Small boat	15
Leisure boat	5	Tug	15
Police Patroll	7	War ship	20
Cargo	12	Ferry	40
Fast Jethoil	14	Fishery boat	55

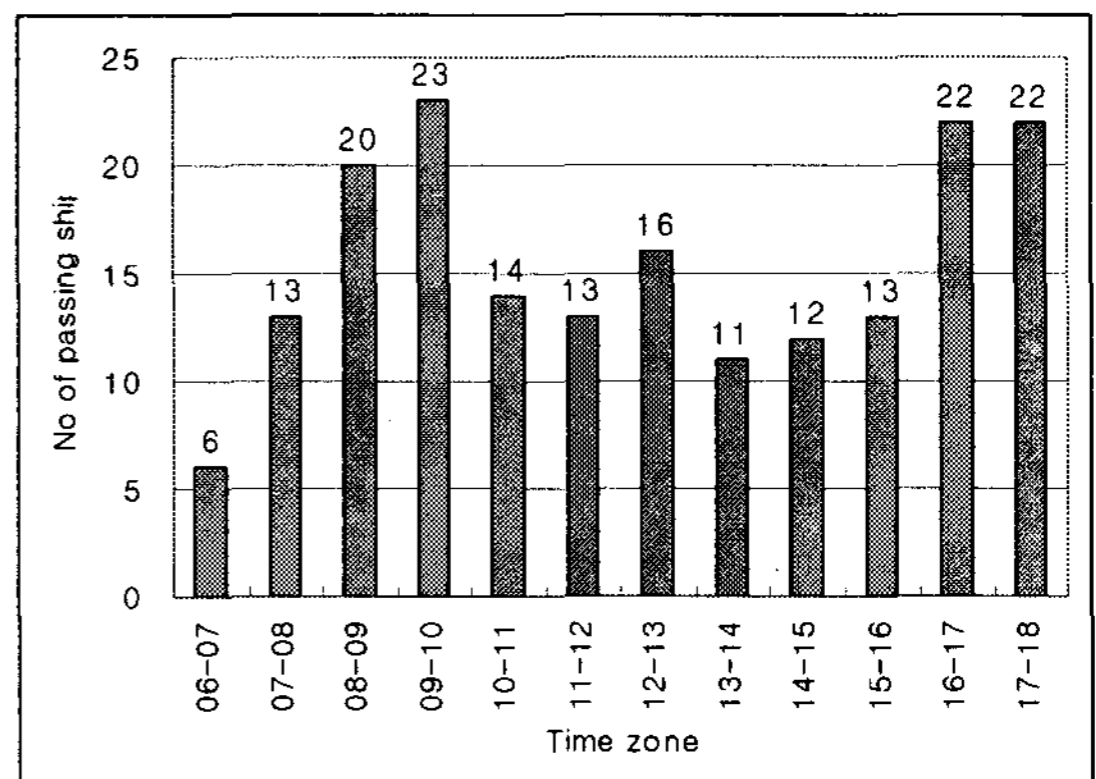


Fig. 5. Observed Traffic volume.

5. 관측결과분석

관측된 수면변동데이터는 Zero up cross 법에 의해 파형으로 변환하였다. 관측된 항주파의 주기는 zero cross 점에서 다음 zero cross 점까지의 시간이며, 파고는 이 파에 포함되는 가장 높은 봉과 가장 낮은 곡의 차이이다. <Fig. 6>는 06:00시 01.00초~10.80초 사이의 파형기록으로 총 5개의 파를 나타내고 있다.

전체 파랑관측 결과와 관측점에 정횡통과한 시각에 통항선박의 선종을 <Fig. 7>에 나타내었다. 파랑의 관측빈도 및 관측된 파랑의 파고는 해상교통량과 상관관계가 높은 것을 알 수 있다. 고속여객선, 군함의 출항이 많은 08:00~09:30분 사이에는 항주파의 발생빈도가 높고 파고도 높은 것으로 나타났다.

<Fig. 8>는 최고파고가 관측된 13:00~14:00사이의 파고를 나타내고 있다. 대형 카페리어객선과 고속 여객선이 발생한 항주파의 중복에 의해 최대파형이 반복적으로 관측되었다.

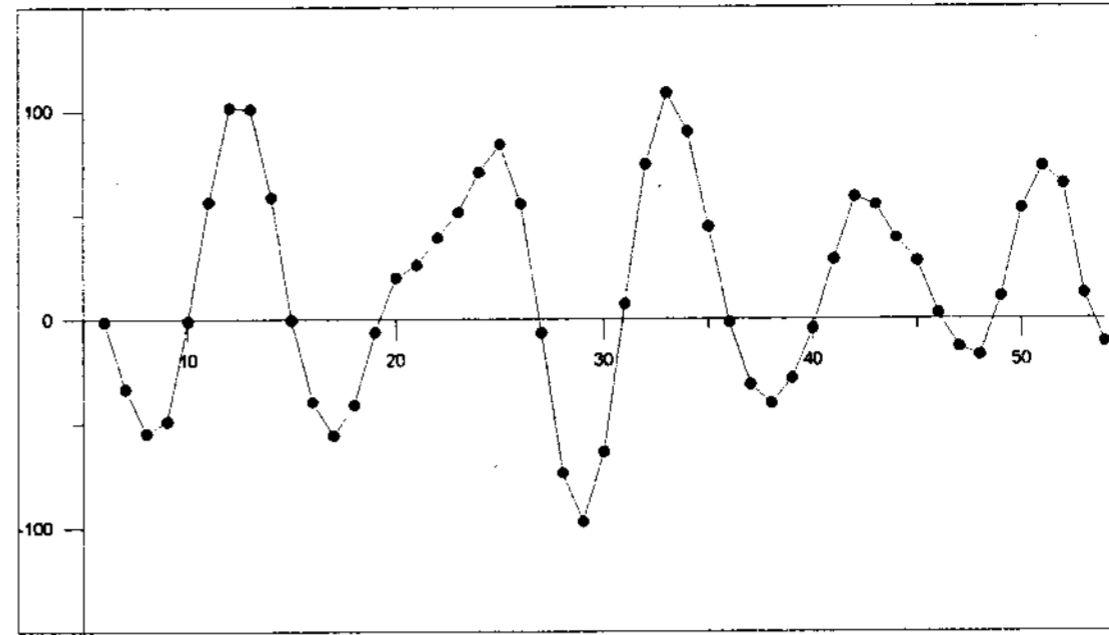


Fig. 8. Zero up cross method.

<Table 3> 관측기간동안의 파랑에 대한 통계데이터를 burst 별로 나타낸 것이다. 파랑의 총 개수는 16,100개이며 최대파고 81.04cm burst별 최대 1/10파는 파고 39.53cm 주기 3.52sec이며, 최대 유의파는 파고 26.85cm 주기 3.22sec로 나타났다.

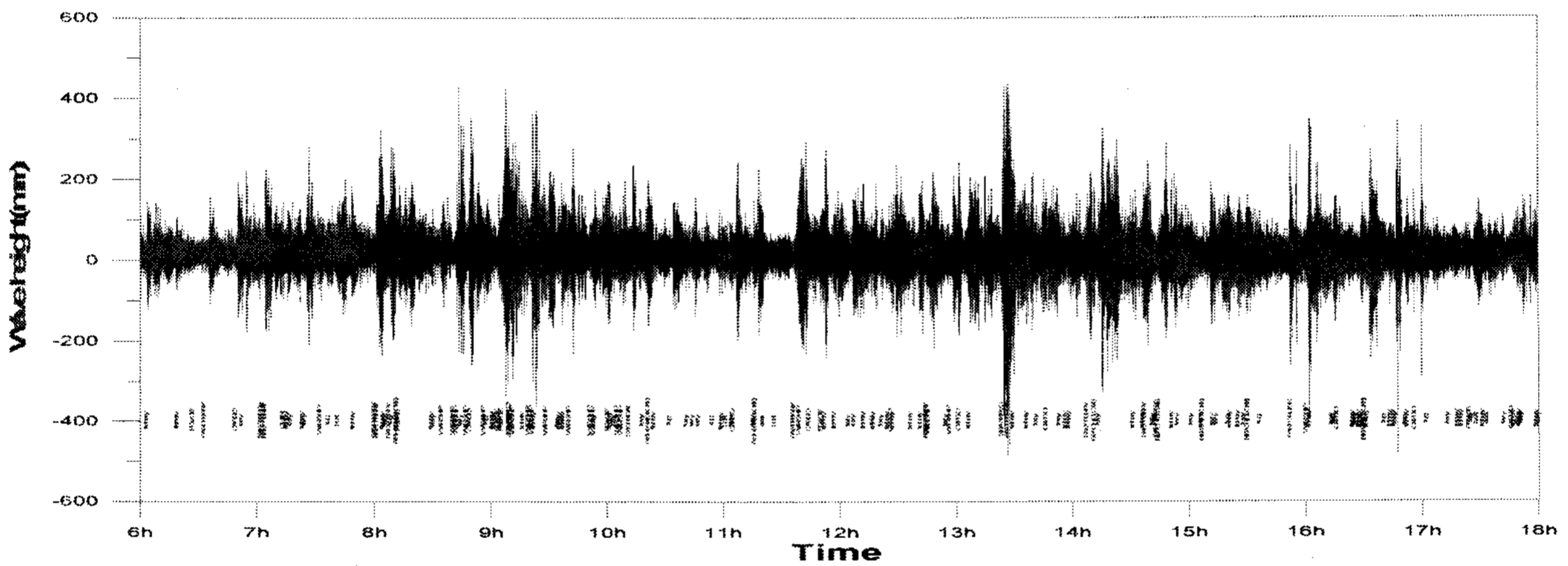


Fig. 6. Observed ship wave.

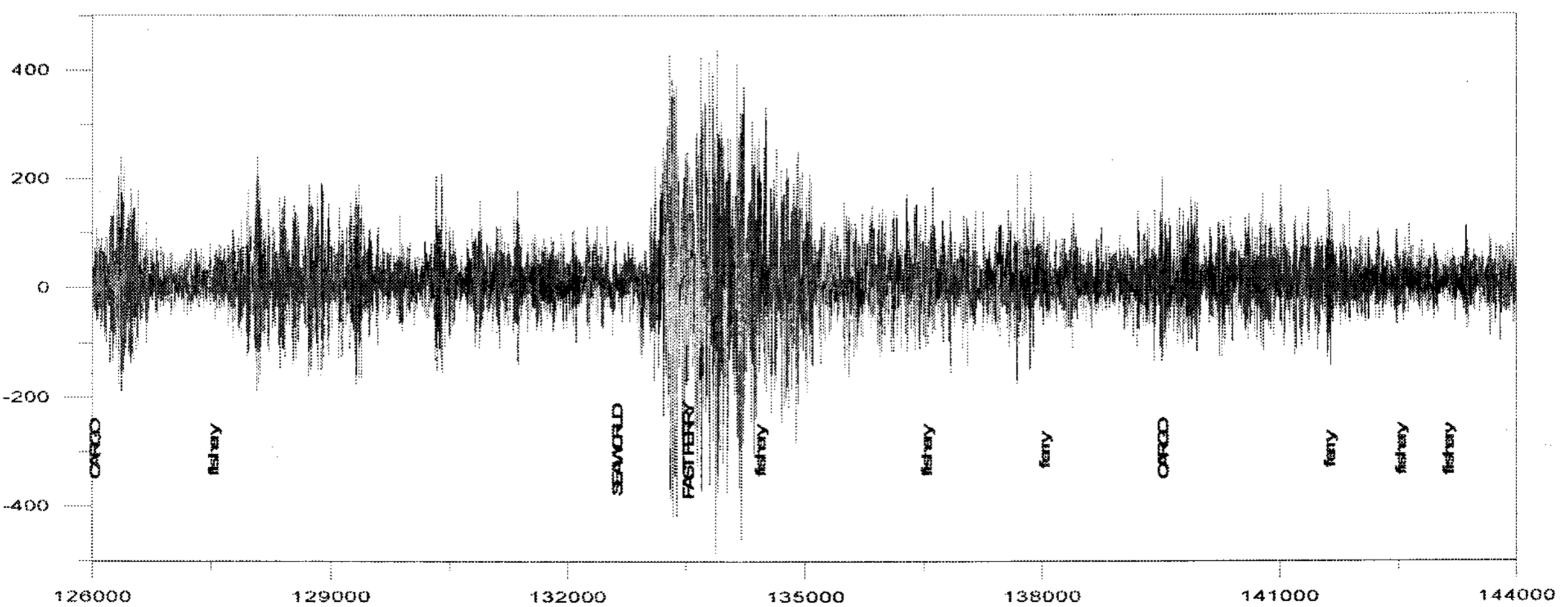


Fig. 7. Ship wave during(13:00~14:00).

Table 3. Wave statistics

BURST No.	No. of WAVE	Wave Height		1/10 WAVE		SIGNIFICANT Wave		Mean wave		WAVE HIGHER THAN AVG.	
		MIN	MAX	HEIGHT	PERIOD	HEIGHT	PERIOD	HEIGHT	PERIOD	HEIGHT	PERIOD
1	1415	0.91	398.32	188.83	2.69	127.26	2.43	75.58	2.35	123.42	2.43
2	1363	0.12	488.07	232.24	2.68	167.41	2.68	101.72	2.44	158.25	2.66
3	1068	1.58	658.33	359.33	3.60	238.16	3.45	137.47	3.17	228.35	3.46
4	1124	0.96	734.93	394.22	3.02	268.44	3.03	157.06	3.00	252.19	3.04
5	1257	1.00	414.65	255.90	3.28	155.43	3.00	92.50	2.67	146.63	2.99
6	1272	0.87	480.24	286.05	3.36	180.87	3.18	98.17	2.63	177.42	3.17
7	1334	2.33	433.56	255.54	3.32	186.37	3.06	110.30	2.50	173.16	3.04
8	1412	1.09	814.07	395.25	3.19	250.32	2.89	138.57	2.35	242.06	2.88
9	1347	2.13	615.28	339.26	3.52	234.27	3.22	131.23	2.47	219.54	3.17
10	1497	1.97	531.45	233.88	2.99	159.98	2.72	92.08	2.21	150.89	2.69
11	1507	0.62	826.58	318.28	3.10	198.18	2.83	108.91	2.19	191.32	2.82
12	1504	0.97	270.96	165.77	3.17	119.98	2.75	73.23	2.19	111.77	2.69

6. 결론

참고문헌

목포항 직선항로 구간으로 선박의 속력이 가장 높을 것으로 예상되는 지점에서 12시간동안 초음파식 파고계를 이용하여 선박에 의한 파랑을 관측하였다. 해상교통량에 따른 항내 파랑의 변화를 현장관측데이터를 통해 관측하였으며, 해면의 변동과 파고는 선박운항에 직접적으로 연관된 것으로 관측되었다. 선박의 항해가 없는 시간대에서는 파랑은 무시할 수 있을 정도로 잔잔하였다. 항만을 이용하는 여러 가지 형태의 선박들 중에서는, 빠르고 출력이 강한 선박들이 항만 내 파랑발생에 큰 영향을 보였으며, 관측지점에 근접한 선박에 의해 발생한 항주파의 파고가 매우 높게 관측되었다. 따라서 항주파는 전파과정에서 많이 감쇄되는 것을 추론할 수 있다.

관측기간동안 16,100개의 파랑이 관측되었으며, 최대파고 81.41cm 의 항주파가 관측 되었다. 관측된 전체파랑에 대한 유의파고 $H_{1/3}$ 는 19.33cm 유의파주기 2.99sec이며, 이 값은 전체 파랑 중 평균파고보다 높은 파만을 추출하여 평균한 파고 $H=11.18$ cm, 평균주기 2.69와 매우 유사한 것으로 분석되었다. 한편 1/10최고파의 파고는 29.31cm이며 주기는 3.15sec 이다.

이 관측 데이터는 관련 연구자뿐만 아니라 공학자는 물론 항만관리자의 의사결정에 이용될 수 있을 것이다. 특히 선박의 운항특성과 항주파의 상관관계를 찾아내는 연구의 기본적인 자료가 될 것이며, 항내 파랑을 저감시킬 수 있는 실제적인 방법 강구하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

[1] 강성진 등(2007), “항주파고의 특성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제31권 제5호 pp. 339-344
 [2] 신승호, 정대득(2003), “비선형분산파랑모형을 이용한 항주파의 발생과 전파에 관한연구”, 한국항해항만학회지 제27권 제5호 pp. 527-537
 [3] 이화영(2003), “항주파에 의한 항내 파고분포의 수치 해석”, 건국대학교대학원 석사학위논문
 [4] 일본해난방지협회(1976), 해난방지조사연구사업보고서
 [5] 한국해양연구원(2002), 파를 쟀다
 [6] 한태영(2004), “선박운항에 따른 항주파 영향 및 저감방안에 관한 연구”, 연세대학교공학대학원 석사학위논문
 [7] Allen T. Chwang(2003), “Field Measurement of Ship Waves in Victoria Harbor”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE