

디지털 영상을 이용한 파고계 개발 및 검증 Design and Verification of a Wave Gauge Using Digital Images

김태림*
Taerim Kim*

요 지 : 디지털 영상을 이용한 새로운 파고계를 연구·개발하였으며 실험실의 조파 수조를 사용하여 검증하였다. 본 연구는 비디오 동영상이 1/15초의 일정한 간격으로 영상을 촬영하는 규칙성과 아날로그 영상에서 디지털 영상으로의 변환, 그리고 큰 용량의 저장 매체를 활용하였다. 본 파고계는 수면의 움직임에 따라 동일하게 움직이는 부이를 촬영한 영상에서 그 움직임을 자동으로 추출하는 방법으로 파고 관측을 하였으며 참값과 비교·검증하였다. 차후 개선 연구를 통하여 해안에 근접한 천해역에서 파랑 관측을 하는데 활용할 수 있을 것으로 보인다.

핵심용어 : 파고계, 디지털 영상, 부이, 조파수조

Abstract : A new wave gauge using digital image of waves is developed and the performances are tested by wave tank experiments. This wave gauge uses frame frequency of 1/15 sec, conversion of analog images to digital images, and large capacity of hard disk. This wave gauge measures wave heights by detecting the buoy movement automatically from the image, where the buoy moves with the same phase of water surface. The comparison of automatic measurements of wave heights to the true data is reasonable. The wave gauge can be improved to measure wave heights on shallow waters near shorelines.

Keywords : wave gauge, digital image, buoy, wave tank

1. 서 론

항만 건설이나 연안 개발 사업에 있어서 파랑 관측은 필수적이다. 정확한 파랑 관측은 연안에 건설되는 구조물의 설계 조건을 산정하는데 필요한 자료를 제공함으로써 구조물의 안정성은 물론 비용의 효율성을 극대화할 수 있도록 한다. 또한 연안 건설 사업시 작업 일수 및 조건 산정에 필요한 자료를 제공하여 효율적인 사업 공정 및 계획 수립에 기여한다. 이 외에도 파랑 관측은 해상 수송 및 군 작전에 필요한 정보를 제공하며 최근에는 국민 생활의 향상으로 해양에서의 레크리에이션 활동이 증가함에 따라 이에 필요한 정보를 제공하기도 한다. 특히 파랑 예보를 위하여 파랑 수치 모델을 수행하게 되는데 이때 모델 계산 결과를 검증하는 비교 자료로서 중요한 역할을 한다.

해파를 관측하는 방법은 계측 방법에 따라 혹은 계측 해역에 따라 다양하게 분류된다. 직접 계측 방법으로는 선

상에서의 목측이나 사진을 이용하는 광학적 방법, 수중에서의 초음파를 이용하는 음향학적 방법, 부자를 이용한 기계적 방법, 전기의 저항을 이용한 전기적 방법 등이 해당되고 간접 계측 방법으로는 수압 변화를 이용하거나 부력 변화 혹은 가속도 변화를 이용하는 부표식 파고계 등이 있다(최영박 등, 2000). 심해의 경우 주로 목측이나 사진 혹은 선박에 부착한 부표식 파고계를 활용하며 연안에서는 수압식 파고계 혹은 앵커를 이용하여 바닥에 고정시킨 부표식 파고계가 사용된다. 보다 수심이 얕은 해안에서는 전기 저항을 이용한 스텝식 파고계나 카메라를 이용한 파고계가 이용된다. 그리고 실험실에서의 파랑 관측을 위해서는 용량식 파고계가 많이 활용되고 있다. 최근에는 인공위성 자료를 해양연구에 활용함에 따라 위성에 탑재한 고도계(altimeter)나 합성개구레이다(SAR; synthetic aperture radar)등 레이더를 이용한 파랑 관측이 활발히 이루어지고 있는데 주로 심해 혹은 연안에서의 파랑 정보

*군산대학교 해양과학대학 해양응용공학부(School of Ocean Applied Science & Tech. College of Ocean Science & Tech., Kunsan National University, San 68, Miryong-dong, Kunsan, Chonbuk, 573-701, Korea. trkim@kunsan.ac.kr)

를 제공한다. 이러한 파랑 관측 기기들은 각기 장단점을 갖고 있는데 무엇보다도 대부분 고가의 장비로서 항상 망실의 위험이 따르는 해양 관측에 있어서는 큰 부담 요인이었다. 특히 육지와 가까운 해안에서 파랑을 관측하고자 할 때 활용하는 용량식 혹은 스텝식 파고계의 경우에도 비용이 고가일 뿐만 아니라 활용면에서도 해안선으로부터의 거리의 제약 등 여러 가지 불편한 점이 있었다.

본 논문에서는 해안선 근처에서의 파랑을 관측하기 위하여 영상을 이용한 방법을 제시하고 그 1단계 작업으로서 제안된 파고계를 실험실에서 적용하고 연구하였다. 현재 실험실 파랑실험 수조에서 많이 활용하는 용량식 파고계의 경우 역시 고가인 데다가 전기식 방법을 이용한 간접 관측방법이기 때문에 직관적인 파랑 정보를 획득하는 측면에서는 어려움이 있었다. 본 연구의 파고계를 활용할 경우 저비용으로 보다 직접적인 관측을 통하여 파랑정보를 생산·분석할 수 있을 것으로 보이며 특히 해안선 변화와 조간대 지형 변화에 대한 영상관측시 활용될 수 있을 것이다.

2. 원 리

목측에 의한 파랑 관측은 가장 원시적인 방법이지만 또한 인간의 시각을 이용한 가장 직관적인 방법이기도 하다. 실제로 대양에서의 파랑 관측은 아직도 선상에서의 경험적인 목측에 많이 의존하고 있으며 파랑 및 너울을 10 계급 혹은 4계급으로 나누어 관측한다(한국해양연구원, 1996). 그러나 이러한 목측에 의한 방법은 정밀도가 높은 정량적인 값을 기대하기 어렵다. 수심이 얇은 연안에서는 파고를 측정하려고 하는 지점에 주(柱)를 세운 후 이 지점에 20 cm 또는 50 cm 간격으로 색으로 분할한 표주를 붙이고 이 표주에 따라 상하 운동하는 수면의 위치를 육상에서 트랜시 등으로 관측하기도 하는데 이 또한 연속 관측 혹은 높은 정밀도를 기대하기 어렵다. 이에 대한 보완 방법으로서 카메라에 의해서 고정지점의 플에서의 수위변동을 기록한 필름을 해석하는 방식도 쓰이고 있으나 이 또한 많은 수작업을 거쳐야 함으로 많은 양의 파랑 자료를 분석하는데는 어려움이 있다.

최근에 디지털 영상의 발달과 함께 저장 매체 및 용량의 발달은 지금까지의 정성적인 분석에 주로 사용하였던 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환하고 이에 대한 영상처리를 통하여 정량적인 분석이 가능하게 되었으며 또한 이를 많은 분야에 응용하고 있다. 따라서 과거 카메라

필름을 이용한 파고 관측의 방법에 이러한 기술을 적용함으로써 보다 효과적이고 자동화된 관측이 가능하며 많은 자료에 대한 정밀도 높은 분석도 가능하다.

본 연구에서 제시하는 파랑 관측 방법의 가장 근본적인 원리는 디지털 영상에서 각 화소의 간격은 실제 거리의 비로 나타낼 수 있다는 것이다. 따라서 파랑에 따른 수면의 수직운동을 나타내는 화소를 표지할 수 있다면 연속된 디지털 영상에서 표지된 화소의 위치만을 확인함으로써 시간에 따른 수면 변화 즉 파고를 관측할 수 있는 것이다. 행렬의 형태로 나타나는 디지털 영상에서 각각의 화소는 색의 강도에 따라 숫자로 표현되므로 표지된 화소를 추출하고 위치를 확인하는 작업은 컴퓨터 프로그램에 의하여 자동적으로 이루어 질 수 있다. 또한 1초에 15 프레임을 촬영하는 비디오를 활용함으로써 동영상에서 각각의 프레임에 디지털 정지 영상으로 분리하면 1/15초 간격으로 관측한 파고 변화를 알 수 있다.

수면 변화를 뚜렷한 화소의 값으로 표지 시키기 위하여 파동 실험에 사용하는 매체 즉 물과 뚜렷하게 색의 대조를 이루는 부이를 활용한다. 그리고 이 부이는 파랑에 따른 수면의 변화와 동일한 속도와 범위에서 수직으로 움직일 수 있도록 제작되어야 한다. 또한 영상 처리의 자동화를 위해서는 동일한 위치에서 수직운동을 하여야 하므로 고정된 축에서 상하 운동을 할 수 있도록 제작되어야

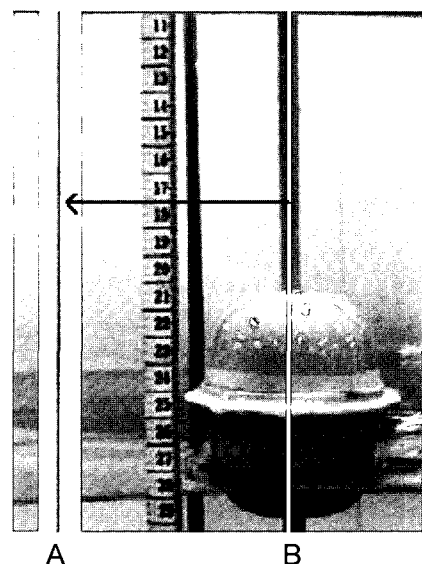


Fig. 1. A diagram illustrates extraction of pixel line from an image. A: the extracted pixel line B: the place of extraction of pixel line.

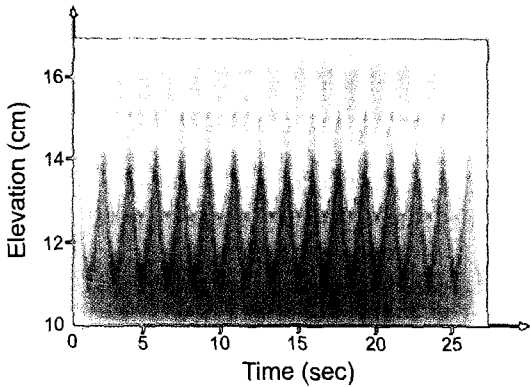


Fig. 2. A stack of pixel lines extracted from the time series of 400 images.

한다. Fig. 1은 표지된 화소의 위치를 확인하기 위하여 부이의 수직 운동을 촬영한 동영상에서 한 개의 프레임 영상을 분리한 후, 그 영상에서 한 개의 화소선을 추출하는 과정을 설명하고 있다. A에 위치한 칼라선은 B의 위치에 있는 화소선을 추출한 후 따로 나타낸 것이다. 이 때 부이 표면의 파란 테두리는 색을 이용한 화소의 뚜렷한 표지를 위하여 부착한 것이다. Fig. 2는 Fig. 1에서의 A와 같은 화소선을 시간별로 왼쪽에서 오른쪽으로 계속 더하여 새로이 만든 영상이다. 즉 동영상에서 1/15초 간격의 시간 순서대로 분리한 400개의 프레임 영상들에서 Fig. 1의 B와 같이 동일한 위치에서 A와 같은 화소선을 시간 순서대로 옆으로 쌓은 것이다. 다양한 색깔의 화소가 파동 모양을 나타내는 것을 알 수 있다. 이 중에서 프로그램을 이용하여 자동으로 추출이 가능한 화소를 선택한 후 그 화소의 위치만을 추적하면 된다.

칼라 영상은 R(Red), G(Green), B(Blue) 영상의 합성으로 이루어진다. 이때 각각의 세 영상은 흑백 영상으로서 각 성분의 강약에 따라 흰색에서 검은색으로 표현된다. 즉 8비트 영상의 경우 $2^8=256$ 개의 강도차로 흑백영상을 구성하게 되며 강도가 0인 경우 검은색으로 나타나고 255인 경우 흰색으로 나타난다(Gonzalez and Woods, 1992). 따라서 순수한 파랑색의 화소의 경우 해당 화소의 R 성분은 0, G 성분도 0이고 B 성분만이 255의 값을 갖게 된다. 그러므로 현재의 모형 파고계의 노란색 부이에 파랑색 선을 표시함으로써 특정 화소에 대한 표지가 가능하다. 즉 Fig. 2와 같은 영상에서 B 성분만을 추출한 영상을 만든 후 B성분 값이 크게 나타나는 부분의 위치 변화만을 계산하면 그 값이 바로 수면과 함께 움직이는 부이의 변화, 다시 말하면 수면의 변화를 나타낸다고 볼

수 있다. 본 논문에서는 B 성분의 영상에서 부이의 중심을 지나는 화소선 중에서 파랑색 테이프의 아래 부분 즉 파랑색의 강도가 갑자기 커지는 부분을 부이 운동을 대표하는 표지로 하였다.

3. 구 성

본 연구에서 제안한 파고계는 크게 3가지 부분으로 구성된다. 즉 수직축을 따라서 해수면과 동일한 속도로 동일한 범위를 수직 운동하는 부이(Fig. 3)와 수직운동을 제어하는 축(Fig. 4), 그리고 부이의 수직운동을 포착할 수 있는 비디오 카메라(Fig. 5)와 저장된 동영상을 각각의 프

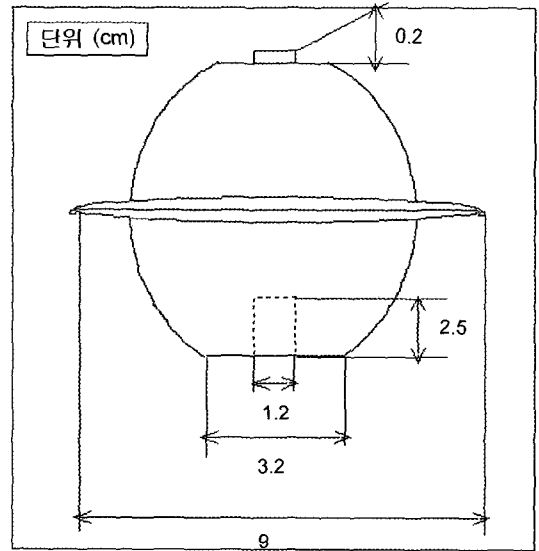


Fig. 3. Design of buoy for the wave gauge.

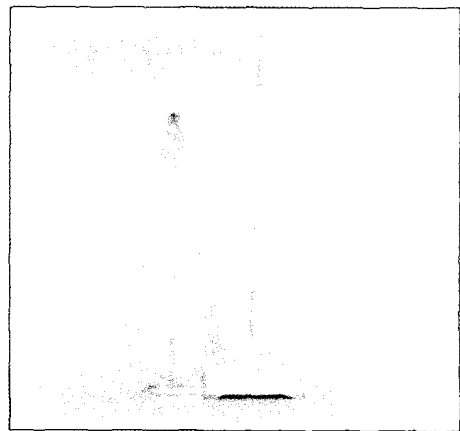


Fig. 4. A shaft with a buoy oscillating with water surface.

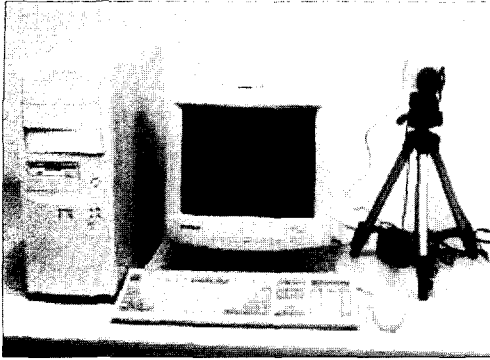


Fig. 5. A camera and computer system for picture-taking and image-processing.

레이블로 디지털 정지영상을 만드는 과정, 그리고 각각의 정지 영상에서 자동으로 부이의 수직운동을 정량화하는 과정이다. 부이의 경우 일반적인 플라스틱 과자 케이스를 양쪽으로 연결하여 부이 형태를 이루도록 하였으며 축을 따라서 물의 표면과 자연스럽게 수직운동을 할 수 있도록 상하로 구멍을 뚫고 물이 부이 안으로 침입하지 못하도록 형광펜 뚜껑으로 내부에 축에 대한 통로를 만들었다. 이 때 축과의 마찰을 피하기 위하여 통로의 길이는 약 2.5 cm로 최소화하였다. 부이가 움직이는 지지대의 경우(Fig. 4) 지름이 약 1.2 cm인 단단한 철막대를 사용하였으며 밑 부분에는 물속에서 파의 움직임에 따라 움직이지 않도록 지지대의 역할을 할 수 있는 무거운 쇠판을 연결하였다. 카메라의 경우(Fig. 5) 일반적으로 많이 사용하는 CCTV 카메라를 활용하였으며 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환하는 디지털이저 기능이 있는 board가 설치된 컴퓨터와 연결하여 관측시 실시간으로 디지털 동영상으로 변환 후 컴퓨터에 저장하였다. 저장된 동영상은 자동으로 1/15 초 간격의 프레임 영상으로 분리되고 각각의 분리된 영상에서 축 부분의 1개의 화소선을 추출하여 이 선에 대한 정보만을 분석하여 시간에 따른 파고 변화를 관측하게 된다.

4. 파고 측정 및 검증

본 연구에서 제안한 파고계의 성능을 테스트하고 그 관측 결과에 대한 검증을 위하여 수리 모형 실험실에 있는 조파 수조를 사용하였다. 사용된 조파 수조는 피스톤 형태의 조파기를 갖춘 수조로서 길이가 25 m, 높이가 0.8 m 폭이 0.6 m이다. 최대 수심은 0.6 m까지 가능하며 실험

가능한 최대 파고와 주기는 0.2 m 그리고 3 sec이고 최소 파고와 주기는 0.01 m와 0.5 sec이다. 수조 내부에 Fig. 4와 같이 부이를 부착한 축을 고정시키고 차후 자료 처리 과정에서 픽셀의 개수를 파고값으로 환산하기 위한 기준 높이를 설정하기 위하여 Fig. 1과 같이 파고계의 부이 측정 부분의 조파수조 유리 벽면에 줄자를 부착하였다. 그리고 Fig. 5의 카메라를 수조의 외부 유리에 최대한 근접하게 설치하여 Fig. 1과 같이 줄자의 눈금과 부이의 수직 운동이 동시에 영상에 포함되도록 촬영하였다. 앞의 파고계의 원리에서 설명한 바와 같이 수면의 운동을 그대로 나타낼 수 있는 부분을 영상에서 자동으로 인식하여야 하므로 영상에서 부이의 중간 부분의 화소선만을 활용하여 분석하였다. Fig. 6은 Fig. 1과 같은 칼라 영상에서 B 성분의 영상만을 따로 분리한 후 부이의 중간부분의 한 화소선의 일부만을 다시 분리하여 각각의 화소에 대한 강도의 크기를 그래프로 나타낸 것이다. 약 50번째 화소부터 그 강도가 급격하게 커지는 것을 볼 수 있으며 파란색 테이프가 끝나는 부분에서 다시 급격하게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이상적인 경우 일정한 색은 동일한 강도 값을 나타냄으로써 계단 형태의 그래프를 그려야 하지만 부이가 곡면이라는 점과 그로 인한 빛의 영향 그리고 물 등으로 인하여 Fig. 6과 같은 형태를 보이게 된다. 본 실험에서는 여러 번의 테스트 결과 화소 값이 100 이상으로 커지는 부분의 화소를 표지 하였을 경우 가장 정확도가 높은 파고가 관측되는 것으로 나타났다.

촬영된 영상의 경우 각각의 아날로그 영상을 가로 640개, 세로 480개의 화소를 갖는 디지털 영상으로 변환한다. 카메라의 경우 부이에 매우 근접하여 촬영하므로 카메라 센서에 의한 왜곡이나 렌즈와 대상물의 거리에 따른 왜곡

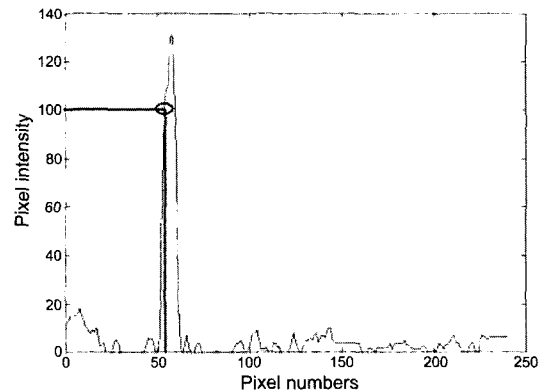


Fig. 6. Variation of pixel intensity along the designated pixel line and the point used for wave height measurement.

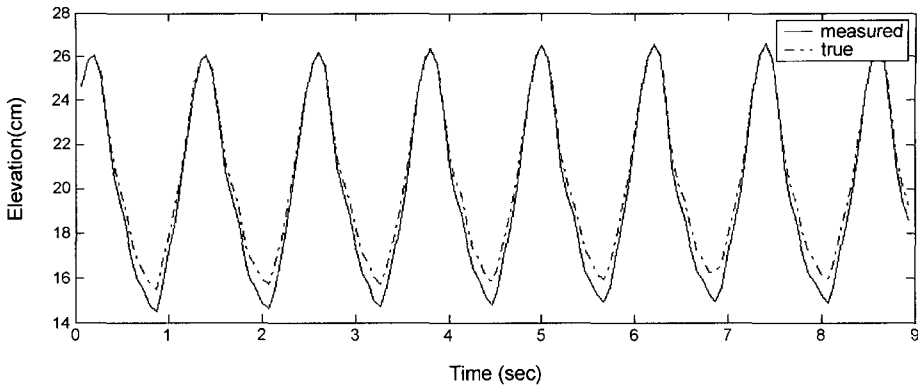


Fig. 7. Comparison between measured wave profile with image processing technique and observed (true) wave profile.

은 없다고 가정하였다. 따라서 한 영상에서 각각의 수직 화소선은 480개의 화소를 갖고 있고 22 cm의 길이를 나타내므로 각 픽셀의 길이는 0.46 mm를 나타낸다. 또한 1/15초의 간격으로 각각의 프레임을 촬영하므로 자료추출 시간 간격은 0.07 sec이다. 이를 이용하여 파봉간의 시간 간격을 측정함으로써 파의 주기를 계산할 수 있다. Fig. 7의 실선은 본 연구에서 제작한 파고계와 프로그램을 이용하여 추출한 시간에 따른 파고의 변화를 보여주고 있다. 평균값을 산출한 결과 파고값은 11.59 cm로 나타났으며 주기는 1.2 sec이다. Fig. 7의 점선은 영상 처리 기술을 이용하여 자동으로 관측된 파고 값의 검증을 위하여 새로이 관측된 참값을 구한 후 도시한 것이다. 이때 검증을 위하여 관측한 참값은 1/15초 간격으로 촬영된 각각의 프레임 영상에서 수조에 부착한 줄자를 이용하여 수면의 위치를 측정함으로써 각각의 수면의 높이를 산출하였다. 이 경우 참값을 구하기 위하여 간접 측정 방식인 용량식 파고계나 수압식 파고계 등도 고려하였으나 용량식 파고계의 경우 전기신호를 파고로 변환하기 위해서는 결국 본 실험에서 참값 취득을 위해서 행한 수면 높이에 대한 검교정을 거쳐야 하고, 수압식 파고계의 경우에는 모형 부이의 정직하 바닥면에 센서를 위치하는데 따르는 어려움으로 인하여 현재의 초기 연구에서는 제외하였다. 본 실험에서 사용한 것과 같은 소규모 조파 장치에서는 완벽한 대칭을 이루면서 진행되는 파의 생성에 어려움이 있으며 또한 수압센서를 부이의 정직하 부분에 위치하지 못하였을 때는 본 실험의 검증을 위한 참값 생성에 어려움이 따른다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 1/15초 간격으로 10초간 촬영된 150장의 영상에서 각각 수면의 위치를 추출하여 참값 자료를 생성하였다. Fig. 7의 점선 파랑에

대한 각각의 파봉과 파곡의 높이를 이용하여 평균 파고 값을 산출한 결과 평균 파고는 11.04 cm로 약 0.5 cm의 차이를 보였고 주기는 거의 동일하게 나타났다. 특히 오차의 상당 부분은 파곡 부분에서 뚜렷하게 발생하는데 이는 부이 자체가 수면 하강시 파곡 부분에서 관성 운동에 의하여 수면 아래로 다소 들어감에 따라 발생한 것이다. 즉 본 파고계의 원리에서 설명한 바와 같이 부이의 움직임은 수면의 움직임과 동일하다는 가정 하에서 영상처리가 이루어졌으나 부이 자체의 무게 때문에 수면이 하강에서 상승으로 변환되는 파곡 부분에서는 부이 자체의 무게와 가속도로 인하여 일정한 수면 이하로 추가 진입함으로써 부이의 움직임으로 관측되는 파고는 증가하는 것으로 보인다. 추후 이에 대한 보정과 개선이 이루어져야 할 것이며 더 가벼운 재질의 부이를 이용하거나 부이의 바닥을 유선 형태가 아닌 보다 저항이 센 형태로 변형하는 것이 한 방법인 것이다.

Fig. 8은 시험과 검증이 이루어진 본 파고계를 이용하여 다른 형태의 파를 발생시킨 후 관측한 결과를 그린 것이다. Fig. 8의 (a)는 파고 7.6 cm 규칙파를 관측한 결과이고 (b)는 (a)와 동일한 조건에서 주기를 변화시킴으로써 불규칙파를 발생시킨 후 관측한 결과이다. 앞서 행한 검증 실험과 여러번의 시험 결과 본 파고계를 이용하여 여러 형태의 파형 관측이나 연구·분석이 가능함을 알 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 최근에 발달한 디지털 영상 기술과 자료 처리 기술을 이용하여 실험실에서 간단히 사용할 수

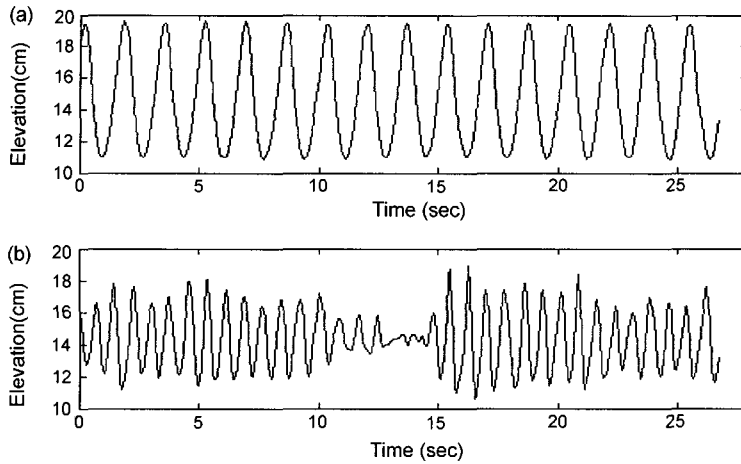


Fig. 8. Examples of wave profiles measured by image processing technique.

있는 파고계를 제작하였다. 100 GB 이상의 하드디스크의 일반화는 실시간으로 촬영한 모든 동영상을 디지털 영상의 형태로 컴퓨터에 저장하는 것을 가능하게 하였으며 또한 프로그램을 통하여 자동으로 영상을 처리하여 수면과 동일한 운동을 하는 부이의 위치를 자동으로 추출함으로써 파고를 계산하였다. 이렇게 제작된 파고계를 조파수조에서 임의의 파를 발생시켜서 파고를 관측하고 참값을 측정 비교하였다. 특히 간단한 부이와 축 그리고 컴퓨터 및 카메라만을 이용하여 저비용으로 정량적인 파고 관측을 할 수 있으며 전기나 수압과 같은 기존의 간접적인 관측법과는 달리 직접 육안으로 확인이 가능한 방법을 사용함으로써 보다 직관적으로 파를 분석할 수 있었다. 그리고 무엇보다도 관측 센서 역할을 하는 부분이 기기 부분과 분리되어 있다는 점은 항상 망실의 위험이 따르는 해안에서의 활용에 있어서 큰 장점이다. 현재 백사장과 같이 해안선에 근접한 천해에서 파랑을 관측하고자 할 때 사용하는 스텝식 혹은 용량식 파고계의 경우 센서 자체가 해양 환경에 노출되고, 이러한 기기들이 실험실에서의 사용을 주목적으로 하기 때문에 수륙 경계선에서 일정 거리 이상 사용시에는 많은 문제점이 나타났으며 특히 장기적인 관측에는 어려움이 있었다. 그러나 본 파고계는 축에서의 기계적인 부이의 움직임만이 해양 환경에 노출되고 관측자체는 망원렌즈 등을 이용한 육상에서의 관측이 가능하므로 망실의 위험 부담도 줄어들고 해안선에서 상당히 떨어진 곳에서의 장기적인 관측에도 용이할 것으로 보인다.

최근에 해안선 및 조간대 지형 변화에 대한 영상관측

이 많이 연구되고 있다. 이의 장점은 저비용으로 장기 무인 자동 관측을 할 수 있다는 점이나 지형변화를 일으키는 파랑 정보를 동시에 관측하는 것이 필요하다. 수압식 파고계와 같이 전통적인 방식으로 파랑 관측을 하는 경우 비용과 인력이 많이 소요되어 지형 변화에 대한 영상 장기 관측과 병행하기에는 비효율적이므로 본 파고계와 같이 영상을 이용한 관측방법을 개발, 사용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 그러나 실험실에서 제작 및 테스트가 행해진 본 파고계를 현장에 적용하기 위해서는 다음과 같은 문제점을 해결하여야 할 것이다.

첫째, 수면 변화에 따른 부이의 수직운동을 제어하는 축을 고정하여야 한다. 연안에 설치한 다리 혹은 기둥을 이용한다면지 또는 축대와 같은 벽을 이용할 경우 쉽게 해결이 되지만 백사장 혹은 뺨과 같은 곳에 축을 고정할 경우 따로 받침대를 설치하거나 버팀줄을 이용하여 단단히 고정시켜야 한다.

둘째, 실험실에서는 수면과 부이의 움직임이 매우 근접하여 촬영하므로 영상의 왜곡이나 원근감에 의한 왜곡은 없다고 가정하였으나 현장에서는 원거리 촬영을 하게 되고 또한 망원렌즈를 사용하여야 하므로 영상 자체 왜곡이 발생할 것으로 보인다. 이러한 왜곡을 처리한 후에 픽셀 수에 의한 파고 관측이 가능하다.

셋째, 실험실에서는 부이에 부착한 파란색 테이프를 이용하여 R, G, B 성분 중 B 성분 영상만을 사용하여 정량적으로 파고를 관측할 수 있었다. 실험실 내부에서는 빛과 같은 외부 환경의 변화가 크지 않기 때문에 이러한 간단한 분석이 가능하나 외부의 현장에서는 구름이라든지 혹

은 광량과 같은 영상의 화소값을 변화시키는 외부 요인이 계속 변하므로 이에 대한 주의가 필요하다. 보완 방법으로 R, G, B 성분뿐만 아니라 HSV(Hue, Saturation, Value) 성분도 함께 이용하여 특정 화소를 표지하면 외부에서도 정확도 높은 파고 관측이 가능하리라고 본다.

넷째, 마지막으로 기존의 전통적인 용량식 파고계나 수압식 파고계 등과 현장에서 동시관측을 수행함으로써 신뢰도와 활용성에 대한 재검토와 개선이 이루어져야 한다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 군산대학교 학술연구비 지원에 의

하여 연구되었습니다. 실험을 도와준 학생들과 많은 지적과 조언을 해주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 최영박, 윤태훈, 지홍기 (2000). 해안과 항만 공학 문운당.
 한국해양연구원 (1996). 해양개발의 현재와 미래. 해양과학
 총서 1, 한국해양연구원, 125.
 Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (1992). Digital image
 processing. Addison-Wesley, Reading, MA 716.

Received May 5, 2004

Accepted August 31, 2004