

중 slit 이중 유공케이슨에 작용하는 중복파의 파압 분포에 관한 연구

An study on the wave pressure of standing wave that Act to vertical slit two room cassion

김성훈¹, 박상길², 박현수³

Seong Hun Kim¹, Sang Kil Park² and Hyun Soo Park³

1. 서 론

최근 우리나라 경제가 발달하면서 임해공사가 수심이 깊은 곳까지 진행되면서 파도의 높이가 높아지고 쇄파가 되는 경우가 많이 나온다. 이 때문에 방파제나 호안과 같은 해안구조물을 설계할 때는 가장 먼저 구조물에 작용하는 파압을 계산해야 한다. 이를 위하여 지금까지 여러 가지 파압공식이 제시되어 있으나 수치모델에 의한 방법은 파고가 작은 경우에 대해서만 가능할 뿐 설계파 정도의 큰 파랑에 대한 파압계산은 큰 파고를 재현하지 못하기 때문에 지금까지는 할 수 없었다. 수치모델에 의한 설계파압 산정은 이론식에 의하여 계산할 수 없는 특수한 형태의 구조물이나 바닥 형상이 복잡하여 파형의 변화가 예상되는 지역에 설치될 구조물에 필요하다. 그러므로 항만의 건설의 개발이 가속화 되고 있는 우리의 실정에서는 이에 대한 연구가 절실하다. 해안구조물에 작용하는 파압계산의 전제조건인 중복파를 재현하기 위하여 Saninflou의 타원 트로코이드파 이론에 의한 파압식이 사용되어져 왔다. Saninflou의 파압공식은 편리하긴 하나 이론적으로는 트로코이드파이론에 근거하고 있으므로 회전성의 파도인 결합이 있고 근사정도가 불충분하며 실험결과와도 일치하지 않는다. 이 때문에

Miche는 Saninflou의 이론을 파형구배의 제곱의 항까지 수정한 이론 해를 구해 계산하였으며, Gourret(1937) 및 키시(1957)는 중복파의 속도포텐셜을 파형구배의 제곱의 항까지 계산했다. 이렇게 중복파 및 파압의 문제에 대해서는 충분한 검토가 이루어지지 않으면 말하기 어려운 현상이다. 그리고 이러한 여러 이론해의 어려운 점은 이론계산이 고차항에 근접해 갈수록 식이 복잡하여 파압의 계산이 힘들어진다. 이렇게 중복파 및 파압의 문제에 대해서 충분한 검토가 이루어지지 않으면 말하기 어려운 현상이기 때문에 Tadjbaksh와 Keller가 구했던 3차 근사해 값을 확장하여 중복파의 속도 포텐셜의 4차 근사해 값을 구하여 이 결과를 Matlab 프로그램에 입력하여 이것에 의한 파압에 대하여 계산하여 보았다. 아울러 중1실 및 중2실 slit유공케이슨에 대한 2차원 수치실험을 통하여 실험에 의한 데이터값과 이론에 의한 그래프 모형이 일치하는지에 대해서도 연구해 본다.

2. 이론적 검증

직립벽에 작용하는 중복파의 파압은 파력의 문제 중에서 엄밀한 의미로 이론적인 취급이 가능한 유일한 것이다. 이것은 중복파의 현상이 물의 점

1 발표자: 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 대학원
2 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 교수
3 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공대학원

성이나 압축성의 영향을 받지 않은 완전유체의 현상이기 때문에 현실적 계수가 필요하지 않고 쇄파처럼 불연속 현상이 아니기 때문에 운동의 처음부터 끝까지 속도 포텐셜로 설명할 수 있다. 중복파의 현상이 이론적으로 해명가능하다고 말해도 파도의 문제에서는 표면조건이 비선형이기 때문에 엄밀한 값을 구하는 것이 불가능하므로 유사 값으로 만족하지 않으면 안 된다. 미소진폭파의 제1차 근사값은 다음식이다.

$$\Phi(x, z, t) = -\frac{\sigma}{k} H \cos kx \sin \sigma t \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \quad (1)$$

$$\eta(x, t) = H \cos kx \sin \sigma t \quad (2)$$

$$p(x, z, t) = \omega H \cos kx \sin \sigma t \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (3)$$

여기서, Φ 는 속도 포텐셜, η 는 파형, p 는 파압이다. 또 $\sigma = 2\pi/T$, $k = 2\pi/L$ 이며 T 와 L 은 주기 및 파장이다. 식 (1)~(3)에 의한 근사값은 파고가 클 때에는 정밀도가 좋지 않고 파형이나 파압의 시간적 변화 등에 실제와 불일치한다. 그러나 파압합력의 최대값에 대해서만 본다면 오차는 $\pm 40\%$ 이며(단, 심해파는 제외) 쇄파한계 가까이에서는 $\pm 20\%$ 이하이다. 따라서 근사치를 높이는 것은 속도 포텐셜, 파형, 각진동수를 미소량(제1차 근사 $\epsilon = kH$)의 거듭제곱급수에 전개해 각 차수 별로 풀어 가는 섭동법(Perturbation Method)의 방법이 이용된다. 이 방법은 Goda의 식 제4차 항까지 계산해 Bernoulli 일반에서 파압을 계산한 결과에서는 파형 및 벽면파압이 다음과 같은 형태로 나타난다.

$$\eta(x, t) = \frac{1}{k} \sum_{m=0}^4 \sum_{n=1}^4 \alpha_{m,n} \cos m\sigma t \cosh nk(h+z) \quad (4)$$

$$p(0, z, t) = \frac{\omega}{k} \sum_{m=0}^4 \sum_{n=1}^4 \gamma_{m,n} \cos m\sigma t \cosh nk(h+z) \quad (5)$$

3. 수리 모형실험

3.1 실험장치 및 Cassion의 구조

수리실험은 파랑의 작용에 의하여 중 slit 케 이슨전면에서의 파압의 크기를 2차원 수리모형실험

을 통하여 같은 조건하에서 파압계의 부착 위치에 따라서 측정하였다. 사용된 수조는 부산대학교 토목공학과 수리실험실의 수로로서 단면도는 Fig. 1에서 볼 수 있으며 수리실험은 2차원 조파수조에서 실시했으며 수조의 제원은 상기 그림과 같이 길이 24m 수조의 높이 1.2m, 수조의 폭은 0.6m이며, Fig.1과 같이 케이슨은 조파판에서 15m의 위치에 설치하였으며 10m구간은 구배를 1/100으로 하였으며 2m 구간에는 구배를 1/50으로 하였다.

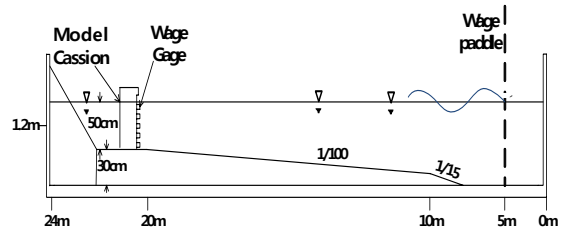


그림 1. 조파수로의 단면도

파압과 파형을 측정하기 위해서 사용된 수리실험모델은 유공1실 중slit Cassion 및 유공2실 중 slit Cassion이며 여기서Cassion에 대해서 기본적으로 파압을 측정하는 위치를 결정하기 위하여 Cassion의 상세도를 그림과 같이 도시하여 파압을 측정하였다. Fig.2은 slit Cassion의 전면도를 상세와 한 그림이며, Fig.3과 Fig.4는 모형 제작된 slit Cassion의 그림이다,

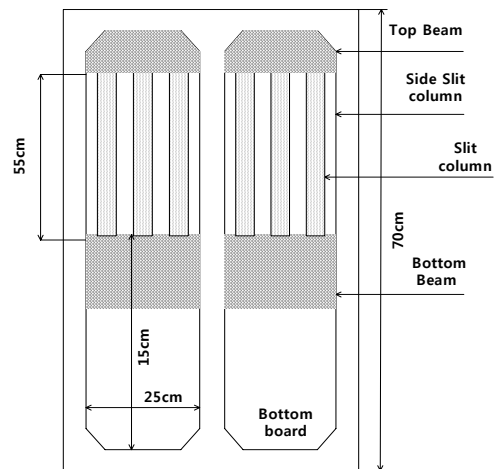


그림 2. cassion의 단면도



그림 3. 유공 1실 중 slit케이스



그림 4. 유공 2실 중 slit케이스

3.2 실험조건 및 측정방법

일반적으로 파압 시험에 사용되는 기하학적 측정비의 범위는 1/10에서 1/50을 널리 이용하고 있으며, 본 실험에서는 1/50을 사용하였다. 이 값은 비교적 파압재현성을 나타내는 실내 수리실험에 사용하고 있는 값이며 파압실험의 경우는 1/20혹은 1/30의 축척율을 많이 사용한다. 수리실험 파랑조건은 표1과 같다.

표 1 실험조건

구분	실험 파라미터	비교
파고(cm)	10cm, 25cm	수치 및 기초조사에서 얻어진 자료
주기(sec)	1sec	정수면 기준
수심(m)	70cm	
파압계 위치	+10, 0, -10, -30, -50cm	

4. 모형실험 결과 및 해석

Fig.5는 adjbaksh와 Keller가 구했던 3차 근사해 값을 확장하여 중복파의 속도 포텐셜의 4차 근사해 값을 구하여 정수면을 기준으로 +10cm에

서 -50cm까지의 수심에 관한 수치모델한 이론 그래프이다. Fig.6과 Fig.7은 중 slit 케이스에 실험한 데이터 값으로 유공 1실일 때의 실험데이터 값은 수치모델한 그래프와 최대값 및 최대값10개의 평균값과 거의 일치하는 것을 나타내는 반면에 유공 2실의 실험데이터 값은 그래프와 비교에서 일치하지 않으며 1실에서 실험데이터 값보다 큰 값이 나오는데 이것은 파랑이 1실을 통과하여 2실에서 상쇄되는 과정에서 파압의 에너지를 케이스가 흡수하기 때문이다

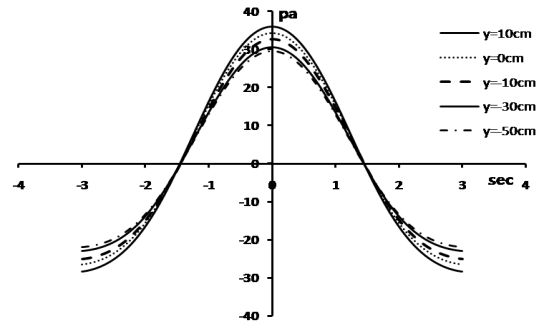


그림 5. 각 지점에 관한 수치모델링 그래프

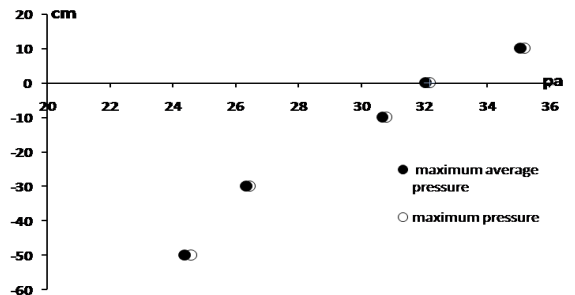


그림 6. 유공 1실에서 수심에 따른 최대 및 최대 평균 파압값

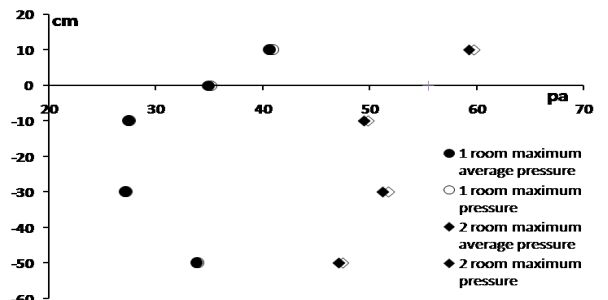


그림 7. 유공 1실과 2실에서 수심에 따른 최대 및 최대 평균 파압값

그림 8 또한 정수면을 기준으로 +10cm에서 -50cm까지의 수심에 관한 수치모델한 이론 그래프이다. 이 그래프는 앞의 그래프 보다 수심과장비(h/L)가 크기 때문에 수심이 내려 갈수록 쌍봉형의 그래프가 도출되려고 하고 있으며 그림 9의 1실 케이스 또한 수치모델 그래프와 비슷하게 형성되며 최고 파압과 최고 평균 파압의 차이로 인하여 쌍봉형의 그래프가 형성된다. 또한 유공 2실은 1실 보다 파압의 형성 분포가 다르게 나오며 2실 일 때는 파압의 형성이 다르게 형성된다.

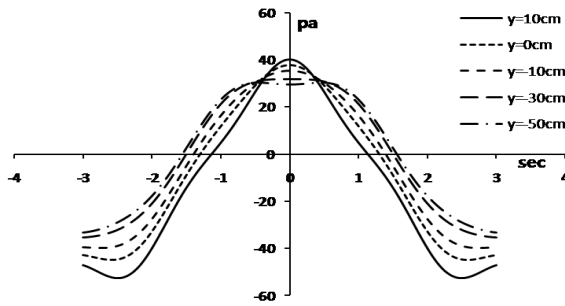


그림 8. 각 지점에 관한 수치모델링

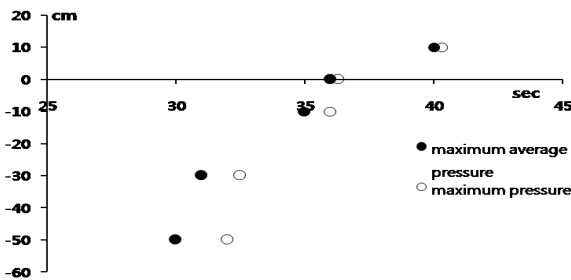


그림 9. 유공 1실에서 수심에 따른 최대 및 최대 평균 파압값

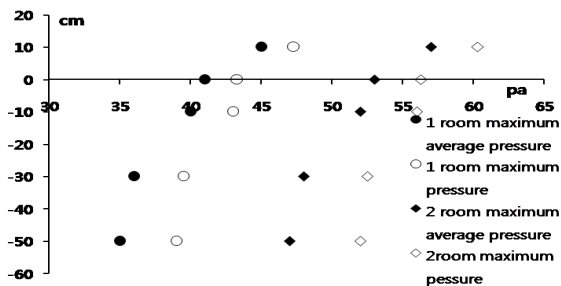


그림 10. 유공 1실과 2실에서 수심에 따른 최대 및 최대 평균 파압값

5. 결 론

수치모델링과 실험데이터 값을 비교해보면 중 1실 케이스인 2실 일 때보다 파압의 영향을 적게 받아서 안전하며 유공 2실 케이스는 1실 보다는 2실에서 파압을 흡수 하여 1.5배 정도의 파압 영향을 받는다.

참고문헌

- 박상길, 박현수, 안익성, 김우생(2009) 잔교상판에 작용하는 양압력 분포특성에 관한 실험적 연구 대한토목학회지 83-90
- 박상길 (2006). 종 Slit 안벽구조물의 수리특성 및 파압특성 연구 용역, 33-77.
- 박상길 (2005), 군장신항만 남측안벽(3공구(축조 공사 대안설계 용역 중 단면수리 모형실험, 한국해양공학회 37-57.
- 이종인, 조지훈(2001) 종 slit형 케이스 방파제의 반사특성 대한토목학회지 263-272
- 오영민, 이길성, 천익식(1994) 경계요소법을 이용한 중복파의 제현 대한토목학회지 1445-1451