



NGHIÊN CỨU, CHẾ TẠO VÀ MÔ PHỎNG MÁY TẠO SÓNG HAI CHIỀU TRONG PHÒNG THÍ NGHIỆM

Nguyễn Công Thành^{1*}, Hà Đình Phương², Trần Công Triệu²

Tóm tắt: Máy tạo sóng hai chiều trong phòng thí nghiệm thường sử dụng kiểu bản lề hoặc kiểu piston. Với các máy tạo sóng hiện đại, có thể sử dụng các công cụ điều khiển tự động để tính toán, tạo ra các con sóng cần thiết phục vụ các mục đích khác nhau. Bài báo này trình bày nguyên lý vận hành, thiết kế, chế tạo và lắp đặt máy tạo sóng kiểu Piston trong phòng thí nghiệm. Bên cạnh đó, mô phỏng số sẽ được áp dụng để mô phỏng chuyển động động của mặt nước khi vận hành máy tạo sóng hai chiều kiểu piston. Kết quả thí nghiệm mô hình, mô phỏng số và công thức lý thuyết sẽ được sử dụng để kiểm định kết quả tạo sóng của máy tạo sóng giữa các phương pháp kể trên. Kết quả đã chỉ ra rằng sai số giữa các phương pháp trên nằm trong phạm vi 7%. Trên cơ sở so sánh này, có thể thấy rằng việc kết hợp phương pháp mô phỏng số và thí nghiệm mô hình trong việc nghiên cứu tác động của sóng tới công trình trong phòng thí nghiệm cũng như trong thiết kế, xây dựng công trình là phù hợp và có thể áp dụng trong các giai đoạn tính toán khác nhau.

Từ khóa: Máy tạo sóng; máng sóng; mô phỏng số; mô hình Vof; phương trình Reynolds; mô hình lưới động.

Summary: 2-D wave makers often use piston and flap types in laboratories. With regard to modern makers, an automatic control system could calculate and create a necessary wave that can be applied for multi purpose such as river, harbor or ocean engineering. This paper presents the principle operation, design, fabrication of 2-D wave maker with Piston type. The experimental data, numerical modelling and theretical fomular would be used to assess the wave parameters that obtain the 2-D wave maker operation. The result shows that the differences between each method are in 7%. Based on these comparisons, the numerical method and experimental study could be combined to estimate the wave impact on hydraulic structure in laboratory or design process.

Keywords: Wave maker; wave flume; numerical modelling; Vof model; Reynolds average equations; dynamic mesh modelling.

Nhận ngày 13/7/2016, chỉnh sửa ngày 27/7/2016, chấp nhận đăng 26/12/2016



1. Đặt vấn đề

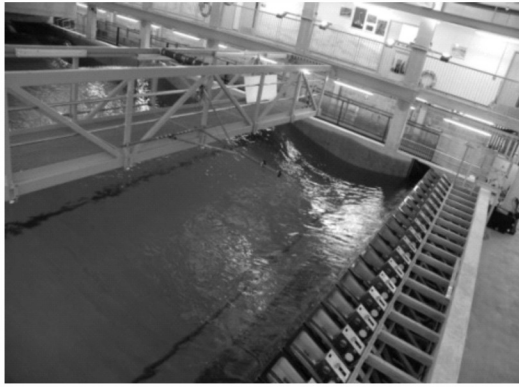
Trong thực tế, để nghiên cứu ảnh hưởng của sóng (có thể do gió, do bão hoặc do sự chuyển động của vật thể tạo ra) đối với công trình ven bờ hay ngoài khơi là không hề dễ dàng do đặc điểm tự nhiên cũng như điều kiện hình thành sóng. Do vậy, việc tạo sóng bằng máy tạo sóng trong phòng thí nghiệm có ý nghĩa quan trọng trong lĩnh vực kỹ thuật bờ biển và đại dương. Ngày nay, hầu hết những thử nghiệm trong phòng thí nghiệm liên quan đến các công trình ven bờ, ngoài khơi hay nghiên cứu dạng bờ biển cũng như các hiện tượng liên quan đều dùng đến bể sóng. Dưới tác dụng của máy tạo sóng, các con sóng sẽ hình thành trong bể sóng và tác động lên đối tượng được nghiên cứu như đê, kè biển, cảng biển, giàn khoan, tàu thuyền... Để tạo sóng trong bể sóng hay máng sóng, có nhiều phương pháp để thực hiện. Nguyên lý chung đều dựa vào sự chuyển động tuần hoàn hoặc không tuần hoàn (có chu kỳ hoặc không có chu kỳ) của một vật thể như tấm chắn tác dụng vào nước tĩnh chứa trong bể. Dưới sự chuyển động này, các phần tử nước trong bể sẽ dao động và hình thành nên các con sóng.

Trong thực tế, một số phương pháp thường được dùng để tạo sóng trong các máng sóng hay bể sóng gồm những kiểu chính sau: Máy tạo sóng kiểu Piston (Hình 1.a); Máy tạo sóng kiểu Bản lề (Hình 1.b); Máy tạo sóng kiểu sử dụng áp suất không khí (Hình 1.c); Máy tạo sóng kiểu ném trượt (Hình 1.d).

¹ TS, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.

² ThS, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.

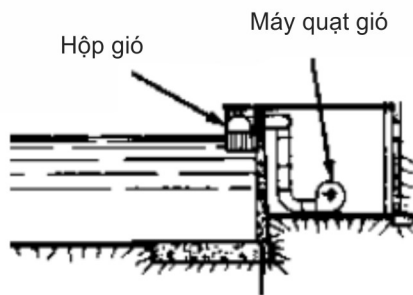
*Tác giả chính. E-mail: thanhctt.dhxd@gmail.com.



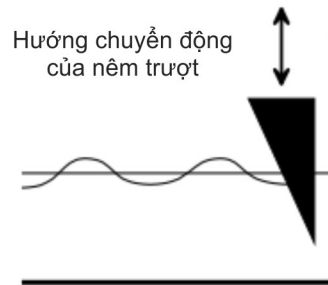
(a) Máy tạo sóng kiểu Piston



(b) Máy tạo sóng kiểu bản lề



(c) Máy tạo sóng sử dụng áp suất không khí



(d) Máy tạo sóng kiểu nêm trượt

Hình 1. Một số phương pháp tạo sóng trong phòng thí nghiệm

Các thông số của sóng như chiều cao sóng, chu kỳ sóng... sẽ được suy ra từ các lý thuyết sóng với những giả thiết khác nhau ứng với các sơ đồ máy tạo sóng khác nhau. Việc nghiên cứu về cơ sở lý thuyết và chế tạo máy tạo sóng đã được nghiên cứu từ lâu và đã có những thành tựu to lớn như ở Hà Lan, Mỹ, Anh, Pháp [1-3]. Nhìn chung, việc đầu tư những trang thiết bị trên nhằm mục đích nghiên cứu khoa học và đào tạo phải có kinh phí lớn và không phù hợp với điều kiện thực tế của những trường đại học tại Việt Nam. Ở Việt Nam cũng đã có một số đơn vị được nhà nước đầu tư trang bị những hệ thống máng, bể và thiết bị tạo sóng để nghiên cứu các vấn đề liên quan đến kỹ thuật bờ biển, công trình ven bờ... như Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam, Trường Đại học Thủy lợi...

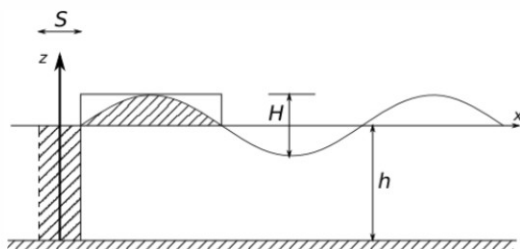
Bài báo này sẽ trình bày cơ sở lý thuyết, nguyên lý chế tạo và thiết kế thi công máy tạo sóng hai chiều kiểu piston trong phòng thí nghiệm tại Việt Nam (cụ thể là Phòng thí nghiệm Công trình thủy, Trường Đại học Xây Dựng) phục vụ trong công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học nhằm giảm thiểu chi phí mua sắm trang thiết bị, tận dụng được nguồn lực sẵn có. Để đảm bảo độ tin cậy của máy tạo sóng, phần mềm Ansys/Fluent được sử dụng để mô phỏng chuyển động của mặt nước khi vận hành máy tạo sóng trong máng sóng. Kết quả thí nghiệm, cụ thể là chiều cao sóng và bước sóng, được so sánh với các kết quả tính toán lý thuyết cũng như kết quả mô phỏng số nhằm đánh giá mức độ chính xác cũng như độ tin cậy của thiết bị được chế tạo.



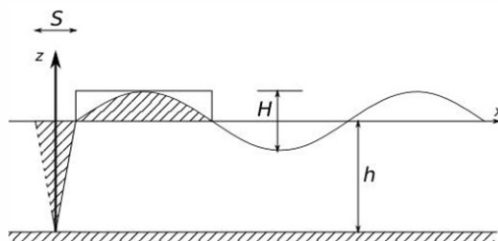
2. Nguyên lý vận hành máy tạo sóng

Về nguyên lý, để tạo sóng có biên độ nhỏ trong phòng thí nghiệm, máy tạo sóng thường hoạt động dưới dạng dạng bản lề hoặc piston (Hình 2). Sự dịch chuyển của tấm chắn có dạng $(x) = A \sin(\sigma t + \theta)$ trong đó $A = S/2$ là biên độ, σ là tần số và θ là độ lệch pha; động lượng của tấm chắn sẽ được truyền cho nước ở trong máng sóng, tạo nên sự dịch chuyển và dao động của chất lỏng và hình thành nên các con sóng với các thông số đặc trưng như chiều cao sóng, bước sóng...

Để thiết lập được phương trình liên quan giữa $S(x)$ và chiều cao sóng, một số giả thiết được sử dụng như sau: Dòng chất lỏng không nén được và không xoáy. Phần nước bị dịch chuyển bởi máy tạo sóng thì bằng với thể tích phần đỉnh sóng; Tấm chắn chuyển động với biên độ nhỏ và sóng có độ cao nhỏ; Sóng lan truyền theo hướng $x \rightarrow$ ra vô cực. Ta có thể đạt được sự tương đương bằng cách dùng vật hấp thụ sóng ở đầu kia của bể.



(a) Nguyên lý vận hành máy tạo sóng kiểu Piston



(b) Nguyên lý vận hành máy tạo sóng kiểu Piston

Hình 2. Sơ đồ nguyên lý vận hành máy tạo sóng

Phương trình Laplace thường được ứng dụng để mô tả sự chuyển động của chất lỏng không xoáy và không nén được với thể vận tốc ϕ thỏa mãn điều kiện

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

trong đó $\frac{\partial \phi}{\partial x} = u_x$; $\frac{\partial \phi}{\partial z} = u_z$;

Phương trình (1) được giải bằng phương pháp tách biến cùng với một số điều kiện biên như biên động học, động lực học về mặt thoáng, biên thành rắn... [1], quan hệ giữa độ dịch chuyển $S(x)$ và chiều cao sóng nhận được cho hai trường hợp sau:

Với trường hợp máy tạo sóng kiểu piston

$$\frac{H}{S} = \frac{2(\cosh(2k_p h) - 1)}{\sinh(2k_p h) + 2k_p h} \quad (2)$$

Với trường hợp máy tạo sóng kiểu bản lề

$$\frac{H}{S} = 4 \frac{\sinh(k_p h)}{k_p h} \cdot \frac{(k_p h) \sinh(k_p h) - \cosh(k_p h) + 1}{\sinh(2k_p h) + 2k_p h} \quad (3)$$

trong đó H là chiều cao sóng; k_p là số sóng ($k_p = 2\pi/L$); h là chiều sâu mực nước trong máng sóng; L là bước sóng; g là gia tốc trọng trường; k_p được xác định theo công thức:

$$\sigma^2 = gk_p \tanh k_p h \quad (4)$$

k_p được xác định bằng phương pháp thử dần khi biết σ ; với σ là tần số sóng, trùng với tần số chuyển động của tấm chắn.

Như vậy, căn cứ độ dịch chuyển của tấm chắn $S(x)$ của máy tạo sóng, các thông số của con sóng cần thí nghiệm sẽ được suy ra; hoặc ngược lại khi biết được thông số sóng cần tạo, sẽ biết được độ dịch chuyển của tấm chắn $S(x)$ theo các phương trình (2)-(4).



3. Thiết kế chế tạo máng và máy tạo sóng hai chiều kiểu Piston

3.1 Máng tạo sóng hai chiều

Máng tạo sóng được xây dựng tại Phòng thí nghiệm Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng và được thể hiện trong Hình 3. Máng sóng được thiết kế có chiều dài 30m, sâu 1,2m và rộng 1,4m. Đáy máng được đổ bê tông, xung quanh xây tường dày 25cm. Dọc theo tường bố trí 2 ô kích thước 2,5 x 2,5m bằng tấm mica dày 7mm, trên tấm mica có thước chia cm để quan sát bước sóng và chiều cao sóng. Thiết kế của máng sóng được phác thảo như Hình 3. Một máy bơm nước được bố trí ở đầu máng để cung cấp nước cho máng, cuối máng bố trí ống tháo cạn có đường kính $D=60\text{mm}$.

3.2 Thiết kế bộ phận hấp thụ sóng

Trong một máng sóng, bộ phận hấp thụ sóng có vai trò quan trọng trong việc loại bỏ sự nhiễu xạ của sóng phản xạ (sóng hồi), hạn chế tối đa ảnh hưởng tới sóng tiến, gây nhiễu loạn tới sự hình thành của con sóng mong muốn. Nguyên lý chế tạo bộ phận hấp thụ sóng là sử dụng các loại vật liệu có độ rỗng lớn như cát, sỏi, đá... tạo thành mái dốc có hệ số mái dốc trong khoảng 1:3 đến 1:5 [4] sẽ tăng hiệu quả trong việc hấp thụ sóng tới. Trên cơ sở này, bộ phận hấp thụ sóng của máng sóng được thiết kế với hệ số mái dốc 1:4 và bằng hỗn hợp vật liệu đá 4x6 và 10x15 cm. Qua quá trình thí nghiệm chạy thử cho thấy bộ phận hấp thụ sóng như thiết kế làm việc hiệu quả.

3.3 Thiết kế máy tạo sóng kiểu piston

Một máy tạo sóng đặt ở đầu máng có thể tạo sóng đều hoặc sóng không đều. Tấm chắn bằng kim loại có kích thước 1,35x1,0m được dẫn động bằng hệ thống xy lanh thủy lực với động cơ điện có công suất 7,5 kW. Hành trình (S(x)) đi-về của xy lanh sẽ làm tấm kim loại dịch chuyển một hành trình tương ứng. Tấm kim loại dịch chuyển sẽ đẩy khối nước đi và tạo ra sóng. Hành trình của xy lanh được thay đổi tùy thuộc vào thông số cơ bản của con sóng cần thí nghiệm. Ứng với mỗi hành trình sẽ xác định biên độ, tần số chuyển động của xy lanh. Theo thiết kế hiện nay, hành trình lớn nhất của xy lanh $S_{\max} = 30$ (cm).



Hình 3. Xây dựng và chế tạo Máng sóng và máy tạo sóng



4. Kiểm chứng thông số sóng được tạo bởi máy tạo sóng

4.1 Mô hình thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành với hai trường hợp với hành trình của tấm chắn lần lượt là 30cm và 15cm với phương trình chuyển động và chiều sâu mực nước trong máng cụ thể như sau:

Trường hợp 1 : $S_1 = 15\sin(2.618t - \pi/2)$ (cm), $h = 65$ (cm);

Trường hợp 2 : $S_2 = 5.5\sin(4.5t - \pi/2)$ (cm), $h = 58$ (cm);

Sau khi chuyển động của mặt nước trong máng đạt trạng thái ổn định, tiến hành đo chiều cao sóng và bước sóng bằng phương pháp chụp ảnh và đo đạc dựa trên hình ảnh thu được với sự trợ giúp của phần mềm đồ họa Photoshop [9]. Kết quả đo đạc chiều cao sóng và bước sóng thể hiện trong Bảng 1.

4.2 Tính toán lý thuyết

Căn cứ vào phương trình (2)+(4) cùng với sự trợ giúp của phần mềm Matlab, các thông số sóng như chiều cao sóng, bước sóng được xác định theo 2 trường hợp thí nghiệm S1 và S2. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh chiều cao sóng (H) và bước sóng (L) giữa lý thuyết và thí nghiệm

Phương pháp tính	TH1: $S_1 = 15\sin(2.618t - \pi/2)$		Th2: $S_2 = 5.5\sin(4.5t - \pi/2)$	
	Chiều cao sóng H (m)	Bước sóng L (m)	Chiều cao sóng H (m)	Bước sóng L (m)
Lý thuyết [1,2,9]	0.218	5.59	0.142	2.68
Mô phỏng số	0.233/6,82%	5.53/1,33%	0.135/4,67%	2.75/2,8%
Thí nghiệm	0.22/0,92%	5.3/5,19%	0.15/5,63%	2.5/6,72%

Ký hiệu a/b trong bảng được giải thích như sau: a là giá trị tính toán về chiều cao sóng, bước sóng, b là sai số được tính toán theo công thức

$$\varepsilon(\%) = \frac{|X_{th} - X_{ex,nu}|}{X_{th}} 100\% \quad (5)$$

trong đó X_{th} là giá trị (bước sóng, chiều cao sóng) xác định từ lý thuyết, $X_{ex,nu}$ là giá trị lần lượt xác định từ thí nghiệm (hoặc mô phỏng số).

Căn cứ vào kết quả trong Bảng 1, có thể nhận thấy rằng sai số giữa 2 phương pháp trên về chiều cao sóng và bước sóng là không đáng kể. Sai số lớn nhất chỉ đạt giá trị 5.63% về giá trị chiều cao sóng. Trong thực tế, kết quả thí nghiệm cũng không hoàn toàn đạt độ chính xác tuyệt đối do sai số trong đo đạc, trong chế tạo máy tạo

sóng. Ngoài ra, máng sóng còn thiếu bộ phận hấp thụ sóng ở phía sau máy tạo sóng, điều này gây ra lực phản xạ và lực cản lên bản tạo sóng, ảnh hưởng đến hành trình thực tế của tấm chắn. Mặt khác, phương pháp lý thuyết coi dòng chảy là lý tưởng, không xoáy và không xét đến tính nhớt của chất lỏng, bỏ qua ma sát cũng như sức căng mặt ngoài của nước. Những giả thiết trên không phản ánh đúng tính chất thực tế của chất lỏng được sử dụng trong thí nghiệm. Kết quả trên cho thấy việc chế tạo máy tạo sóng và máng sóng là đảm bảo yêu cầu và có thể dùng để giảng dạy và nghiên cứu tác động của sóng với công trình thủy lợi nói chung.



5. Ứng dụng phương pháp số mô phỏng sóng trong máng sóng

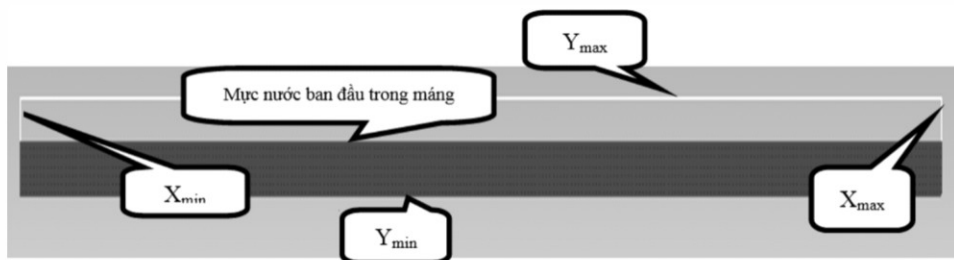
5.1 Tổng quan về Ansys/Fluent

Cùng với sự phát triển của công nghệ máy tính cũng như những thành công trong nghiên cứu về cơ học chất lỏng, việc giải các bài toán động lực học chất lỏng bằng phương pháp số đã và đang ngày càng phát triển. Phương pháp này thường được sử dụng với thuật ngữ CFD (Computational fluid dynamics). Trong lĩnh vực công trình ven bờ nói riêng hay công trình cảng, biển nói chung, CFD đã và đang được áp dụng rộng rãi trong việc tính toán mô phỏng tương tác giữa sóng và công trình như đê, kè, bến cảng... Ngoài ra, việc mô phỏng hình thành sóng do các hiện tượng như trượt đất, sự di chuyển của tàu thuyền cũng đã được nghiên cứu và phát triển trong những năm gần đây [5-7]. Một số phần mềm CFD thường được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực này như Ansys/Fluent, Flow-3D, Telemac 3D, Star-CD... Trong bài báo này, phần mềm Ansys/Fluent được áp dụng để mô phỏng chuyển động tấm chắn của máy tạo sóng kiểu piston. Mô hình dòng chảy VOF (Volume of fluid) sẽ được áp dụng kết hợp với hệ phương trình Reynolds và mô hình lưới động để xác định đường mặt nước trong máng sóng [8]. Căn cứ vào kết quả mô phỏng, các thông số sóng như chiều cao sóng, bước sóng sẽ được xác định.

a) Sơ đồ tính và điều kiện biên

Kích thước máng sóng thực hiện trong mô phỏng được lấy theo kích thước của máng đã được xây dựng và chế tạo trong phòng thí nghiệm, cụ thể $L_{\min} = 30\text{m}$, Chiều cao máng $H_m = 1.2\text{m}$. Sơ đồ tính toán và điều kiện biên được thể hiện trong Hình 4.

Điều kiện biên cụ thể như sau, $X_{\min}$: Biên mô phỏng chuyển động của tấm chắn; $X_{\max}$: Biên thành rắn; $Y_{\min}$: Biên thành rắn (đáy máng); $Y_{\max}$: Biên áp suất khí quyển. Sự chuyển động của máy tạo sóng tại các mực nước tính toán khác nhau sẽ được thiết lập thành điều kiện ban đầu của bài toán. Bài toán được thiết lập dưới dạng dòng không ổn định, mô hình dòng chảy rối (Turbulence flow model) kết hợp với mô hình lưới động (Dynamic mesh).



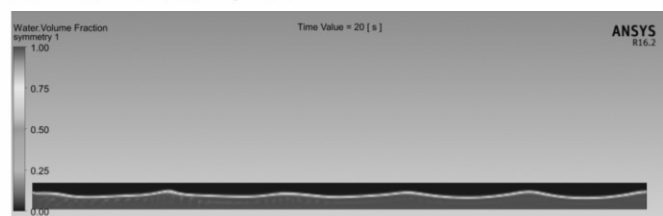
Hình 4. Sơ đồ tính toán và điều kiện biên

b) Các trường hợp tính toán

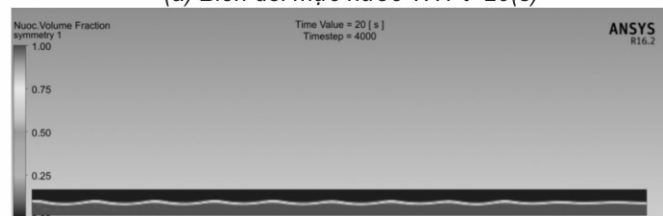
Mô phỏng được thực hiện cho 2 trường hợp dịch chuyển của tấm chắn tương ứng với hai mực nước h trong máng giống như đã trình bày trong mục 4.1. Kết quả của mô phỏng số cũng sẽ được so sánh với kết quả tính toán lý thuyết và thí nghiệm theo như trong mục 4.

c) Sơ họa kết quả mô phỏng số

Dựa vào các điều kiện biên cũng như một số thiết lập cơ bản cho mô hình, kết quả mô phỏng trong mô hình dưới sự dịch chuyển của tấm chắn được biểu diễn trong Hình 5. Về chi tiết kết quả mô phỏng số (chiều cao sóng, bước sóng) được trình bày trong Bảng 1.



(a) Biến đổi mực nước TH1-t=20(s)



(b) Biến đổi mực nước TH2-t=20s

Hình 5. Kết quả diễn biến mực nước trong máng tại thời điểm $t=20\text{s}$

d) Kết quả mô phỏng số

Kết quả chiều cao sóng và bước sóng bằng phương pháp mô phỏng số được trình bày trong Bảng 1. Từ Bảng 1 thấy rằng sai số giữa thí nghiệm và mô phỏng số là không đáng kể. Sai số lớn nhất chỉ đạt giá trị $\approx 7\%$ về giá trị chiều cao sóng. Nếu so sánh tương quan giữa kết quả lý thuyết và kết quả mô phỏng số thì nhận thấy sự sai khác giữa hai phương pháp trong khoảng 7~10%. Sự sai khác này là do phương pháp lý thuyết coi dòng chảy là lý tưởng, không xoáy và không xét đến tính nhớt của chất lỏng, bỏ qua ma sát cũng như sức căng mặt ngoài của nước. Ngược lại, trong phương pháp số đã có xét đến tính nhớt của chất lỏng, cụ thể là mô hình dòng chảy rối ($k-\varepsilon$ turbulence model). Ngoài ra, độ nhám của thành bên cũng như đáy lòng dẫn cũng đã được kể đến trong quá trình mô phỏng. Như vậy, có thể thấy rằng sai số giữa các phương pháp (lý thuyết, thí nghiệm và mô phỏng số) là tương đối nhỏ trong phạm vi 10%. Sai số này là chấp nhận được.



6. Kết luận

Bài báo đã trình bày tóm tắt lý thuyết và nguyên lý cơ bản của việc tạo sóng trong phòng thí nghiệm. Trên cơ sở này, máy tạo sóng hai chiều kiểu Piston đã được thiết kế, chế tạo và lắp đặt tại Phòng thí nghiệm Công trình thủy, Trường Đại học Xây Dựng. Để kiểm chứng mức độ chính xác của máy tạo sóng, phần mềm Ansys/Fluent được áp dụng để mô phỏng sự làm việc của thiết bị này. Các kết quả về chiều cao sóng, bước sóng tính toán bằng lý thuyết, thí nghiệm và mô phỏng số đã được sử dụng để so sánh và đánh giá sai số lẫn nhau. Kết quả chỉ ra rằng sai số giữa các phương pháp này là không đáng kể, trong phạm vi 7%. Điều này có nghĩa là độ tin cậy trong kết quả thí nghiệm cũng như kết quả của mô phỏng số là chấp nhận được. Do vậy, có thể sử dụng những phương pháp trên trong các giai đoạn nghiên cứu khoa học, thiết kế công trình chịu tác dụng của sóng, đặc biệt việc ứng dụng mô phỏng số trong các trường hợp có điều kiện biên phức tạp, khó khăn trong công tác xây dựng và chế tạo mô hình cũng như về phương pháp tạo sóng trong phòng thí nghiệm. Ngoài ra, kết quả của bài báo này sẽ là tiền đề cho việc tiến tới nghiên cứu tự động hóa quá trình vận hành của máy tạo sóng trong phòng thí nghiệm dựa trên các thông số đầu vào đã biết như chiều cao sóng, bước sóng và tần số sóng.

Tài liệu tham khảo

1. Hughes, S.A (1993), *Physical Models and Laboratory, Techniques in Coastal Engineering*, World, Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., China.
2. Steenberg C.M, Schaffer H.A (2000), "Second-Order wave generation in Laboratory basins", *Costal Engineering*, 5(3), 994-1007.
3. Henderson D.M, Patterson M.S, Segur H (2006), "On the labor.atory generation of 2-D, progressive, surface waves of nearly permanent from deep water", *Journal of Fluid Mechanic*, 559, 413-427.
4. Khalilabadl M.R, Bidokhti A.A (2012), "Design and Construction of an Optimum Wave Flume", *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 5(3), 99-103.
5. Debashis Basu, Steve Green, Kaushik Das, Ron Janetzke, and John Stamatakis (2009), "Navier-Stokes Simulations of Surface Waves Generated by Submarine Landslides: Effect of Slide Geometry and Turbulence", *SPE Americas E&P Environmental & Safety Conference 2009*, 1-9.
6. Kaushik Das, RonJanetzke, Debashis Basu, Steve Green, John Stamatakis (2009), "Numerical Simulations of Tsunami Wave Generation by Submarine and Aerial Landslides Using RANS and SPH Models", *28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 1-14.
7. Andrew Eoghan Maguire (2011), *Hydro dynamics, control and numerical modelling of absorbing wavemakers- PhD Thesis*, The University of Edinburgh, Scotland.
8. Ansys (2013), *Ansys Theory Guide*, Ansys software V14.1.
9. Nguyễn Hồng Quân (2009), *Thiết kế hệ thống tạo sóng biển 2D*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.