

MÔ HÌNH DÒNG CHẢY BA CHIỀU: CÔNG CỤ VAN KHÍ VÀ ỨNG DỤNG ĐIỀU CHỈNH LƯU LƯỢNG XẢ NƯỚC ĐẬP TRÀN XI PHÔNG

FLOW-3D MODEL: AIR VALVE TOOL AND APPLICATION TO CONTROL THE OUTFLOW DISCHARGE OF SIPHON SPILLWAYS

PHẠM VĂN KHÔI*, PHẠM THỊ NGÀ, ĐOÀN THỊ HỒNG NGỌC

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: khoipv.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu công cụ van khí trong mô hình dòng chảy ba chiều (Flow - 3D) và ứng dụng mô phỏng điều chỉnh lưu lượng xả nước trong đập tràn kiểu xi phông cho hồ chứa. Van khí trong mô hình dòng chảy ba chiều có cấu tạo như một lỗ cho dòng không khí đi qua bằng cách thiết lập áp suất bên ngoài có giá trị bằng áp suất không khí. Van khí đặt trong ống thông khí tại vị trí đỉnh đập tràn xi phông - nơi có áp suất âm. Khi van khí mở sẽ bổ sung áp suất không khí cho áp suất âm tại đỉnh đập tràn xi phông, làm tăng áp suất và giảm vận tốc trong ống xi phông. Do đó, lưu lượng qua đập tràn xi phông giảm đi khi van khí mở. Ngược lại, muốn tăng lưu lượng qua đập tràn xi phông thì điều khiển đóng van khí trở lại. Kỹ thuật này tuy đơn giản nhưng có hiệu quả lớn trong việc điều khiển dòng chảy qua đập tràn xi phông, tránh lũ lụt xảy ra khi việc xả lũ đập tràn ngoài tầm kiểm soát.

Từ khóa: Mô hình dòng chảy ba chiều, mô phỏng dòng chảy, đập tràn kiểu xi phông, tính toán động lực học chất lỏng, van khí.

Abstract

This paper introduces the air valve tool in the Flow-3D model and application to control the outflow discharge of siphon spillways in reservoirs. The air valve in the Flow-3D model is the orifice in which the airflow can pass through by setting up the external pressure as the atmospheric pressure. The air valve tool is located in the air vent at the siphon crest where the negative pressure occurs. When the air valve opens, the atmospheric pressure will contribute to the negative pressure at the siphon crest, then the pressure is increased and the velocity is decreased in the siphon. Therefore, the outflow discharge of siphon spillways may be reduced when the air valve opens. Contrarily, the outflow discharge may be increased when the air valve closes. This technique is simple but efficient in the purpose of

controlling the outflow discharge of siphon spillways. Finally, the flood disaster may be avoided by this efficient controlling technique.

Keywords: Flow-3D model, flow simulation, siphon spillways, computational fluid dynamics, air valve.

1. Giới thiệu

Mô hình dòng chảy ba chiều được sử dụng rộng rãi tại Việt Nam và trên Thế giới khi mô phỏng dòng chảy qua các kết cấu công trình thủy lợi [1]-[6], công trình bảo vệ bờ biển và đê chắn sóng [7], [8]. Đập tràn kiểu xi phông là một loại kết cấu công trình thủy lợi được sử dụng phổ biến trên Thế giới [6]-[13], nhưng số ít các tác giả đề cập đến trong nghiên cứu ứng dụng tại Việt Nam [6]. Trong thực tế, đập tràn kiểu xi phông có ưu điểm là kết cấu đơn giản, lưu lượng xả tương đối lớn nhưng cũng có nhược điểm là khó điều khiển lưu lượng khi xả lũ. Chính vì vậy mà trong quá trình xả nước đã gây lũ lụt phía hạ lưu, điển hình là sự kiện lũ lụt khi đập tràn xi phông hồ Brent xả lũ năm 1992 [10] và tại tỉnh Nam Jeolla năm 2003 như Hình 1.



Hình 1. Lũ lụt tạo ra bởi quá trình xả nước đập tràn xi phông tại tỉnh Jeolla Nam, Hàn Quốc năm 2003

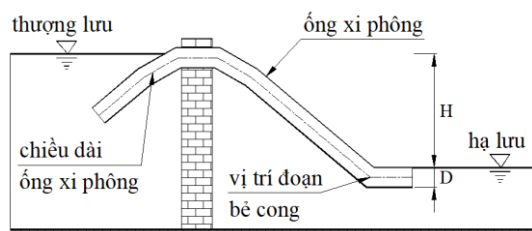
Nghiên cứu [9], [10] đưa ra kỹ thuật để điều khiển lưu lượng xả trong đập tràn xi phông bằng cách đặt ống thông khí để lấy một lượng không khí vào trong ống xi phông. Tuy nhiên, kỹ thuật điều khiển trên chỉ được tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý mà chưa có nghiên cứu mô phỏng bằng mô hình toán. Gần đây,

nguyên cứu [6] mô phỏng đập tràn xi phông bằng mô hình dòng chảy ba chiều, nhưng kỹ thuật đặt ống thông khí chưa được đề cập tới.

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng công cụ van khí trong mô hình dòng chảy ba chiều, đặt trong ống thông khí tại vị trí thích hợp để đưa không khí vào trong ống xi phông. Từ đó, tùy thuộc trạng thái van mở-đóng mà lưu lượng dòng chảy qua đập tràn được điều khiển, đáp ứng yêu cầu tháo nước và điều tiết xả lũ cho hồ chứa.

2. Mô hình dòng chảy ba chiều và ứng dụng mô phỏng đập tràn kiểu xi phông

Mô hình dòng chảy ba chiều (Flow-3D) là mô hình giải hệ phương trình Navier-Stokes nổi tiếng trong mô phỏng dòng chảy. Trong nghiên cứu [6], mô hình dòng chảy ba chiều đã được kiểm chuẩn với số liệu thí nghiệm của mô hình vật lý khi mô phỏng dòng chảy qua đập tràn xi phông (Hình 2). Trong nghiên cứu này, mô hình đập tràn xi phông tiếp tục được kiểm chuẩn với lời giải giải tích để thấy được độ tin cậy của kết quả mô phỏng cho bài toán này. Từ kết quả mô phỏng trong nghiên cứu [6], ứng với chênh lệch mực nước thượng-hạ lưu $H=0,75\text{m}$ ta thu được giá trị lưu lượng dòng chảy qua đập tràn xi phông là $73,44\text{m}^3/\text{giờ}$.



Hình 2. Cấu tạo đập tràn xi phông sử dụng trong mô hình kiểm chuẩn [6]

Áp dụng phương trình Béc-nu-li, lưu lượng dòng chảy qua đập tràn xi phông được tính theo công thức:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{f_v + \lambda \frac{l}{D} + f_r + f_c}} \quad (1)$$

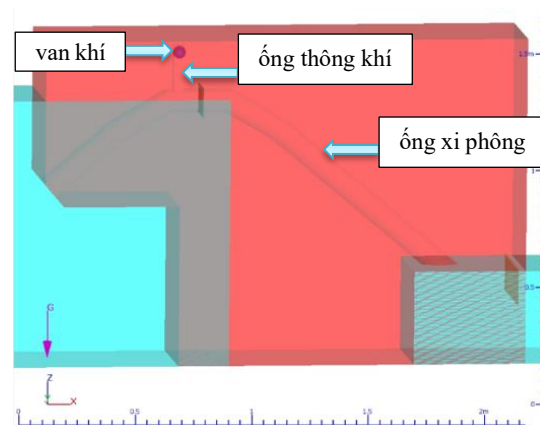
Trong đó: H là chênh lệch mực nước thượng-hạ lưu ($= 0,75\text{m}$); D là đường kính trong ống xi phông ($= 0,1\text{m}$); f_v là hệ số tổn thất cửa vào ($= 0,5$); f_r là hệ số tổn thất cửa ra ($= 1$); f_c là tổng các hệ số tổn thất của các đoạn bê cong ($f_c = \sum f_{ci} = 0,318$); λ là hệ số Đắc-xy ($= 0,015$); l là tổng chiều dài

dòng chảy trong ống xi phông ($= 2,44\text{m}$). Thay số tính được giá trị lưu lượng dòng chảy là $Q=73,39\text{m}^3/\text{giờ}$. Như vậy, kết quả kiểm chuẩn cho thấy giá trị lưu lượng dòng chảy của mô hình dòng chảy ba chiều hoàn toàn phù hợp với giá trị lưu lượng trong lời giải giải tích với sai số $0,07\%$.

3. Công cụ van khí và ứng dụng điều chỉnh lưu lượng đập tràn xi phông

3.1. Công cụ van khí

Hình 3 mô tả vị trí của van khí được thiết lập trong kết cấu đập tràn xi phông. Van khí được đặt ở vị trí cao nhất trong ống thông khí, thể hiện khi van mở đồng nghĩa với việc ống thông khí tiếp xúc với không khí. Theo nghiên cứu [6], khi đập tràn xi phông ở trạng thái làm việc, áp suất âm sẽ xuất hiện ở đỉnh đập - nơi có cột nước vị trí cao nhất. Vì vậy, ống thông khí được đặt tại đỉnh đập tràn xi phông để nhằm mục đích bổ sung áp suất không khí cho áp suất âm tại đỉnh đập, do đó làm giảm vận tốc cũng như lưu lượng xả nước của đập tràn xi phông.



Hình 3. Vị trí van trong đập tràn xi phông được mô phỏng trong mô hình dòng chảy ba chiều

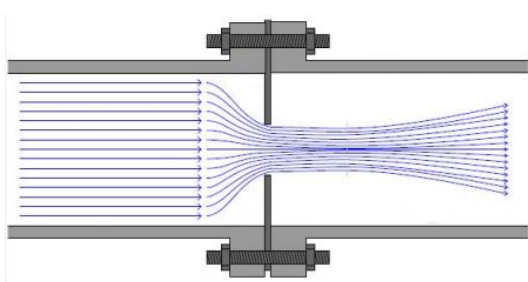
Trên đỉnh đập tràn xi phông, một ống thông khí được kéo dài theo phương đứng có đường kính $0,03\text{m}$. Ống thông khí này được điều khiển việc mở lấy không khí vào trong ống xi phông qua kết cấu van khí. Vị trí van được thiết lập qua tọa độ không gian (x, y, z) trong mô hình và phải được đặt trong ống thông khí. Kết cấu van trong mô hình tương tự kết cấu lỗ như Hình 4.

Lưu lượng không khí qua kết cấu van được tính theo công thức:

$$Q_{air} = \varepsilon C_0 A \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (2)$$

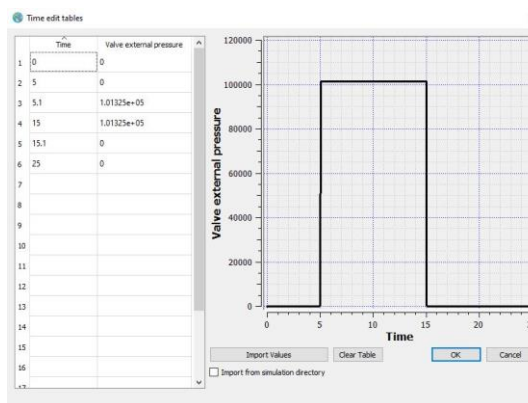
Trong đó: A là diện tích mặt cắt ngang lỗ; ρ là

khối lượng riêng của không khí; ε là hệ số nén của không khí. p_1 và p_2 tương ứng là áp suất không khí bên ngoài và bên trong vị trí van. Giá trị áp suất bên ngoài trong nghiên cứu này là áp suất không khí ($p_1 = 101.325\text{Pa}$), giá trị áp suất bên trong được tự động tính theo kết quả mô phỏng. C_0 là hệ số tổn thất dòng không khí qua lỗ (hay hệ số lưu lượng). Vì các giá trị trong công thức trên đều là hằng số nên lưu lượng dòng không khí qua van được điều khiển qua hệ số lưu lượng C_0 . Có nghĩa là hệ số C_0 nhỏ đồng nghĩa với lưu lượng không khí vào van ít và ngược lại. Trong nghiên cứu này, giá trị C_0 được lấy lớn hơn 0 và nhỏ hơn 1.



Hình 4. Cấu tạo van khí trong mô hình dòng chảy ba chiều

3.2. Ứng dụng điều chỉnh lưu lượng đập tràn xi phông



Hình 5. Thiết lập điều chỉnh thời gian van không khí mở - đóng trong mô hình

Trong thực tế, xi phông làm việc bình thường khi van khí đóng. Việc tác động mở - đóng van khí tại thời điểm bất kỳ được điều khiển bởi người sử dụng. Trong nghiên cứu này, giả sử người sử dụng tiến hành thiết lập thời gian van khí mở-đóng bằng cách đưa giá trị áp suất ngoài van khí bằng giá trị áp suất không khí (101.325Pa) như Hình 5. Theo đó, từ thời điểm ban đầu $t=0\text{s}$ đến $t=5\text{s}$ van đóng, sau đó van sẽ mở lấy

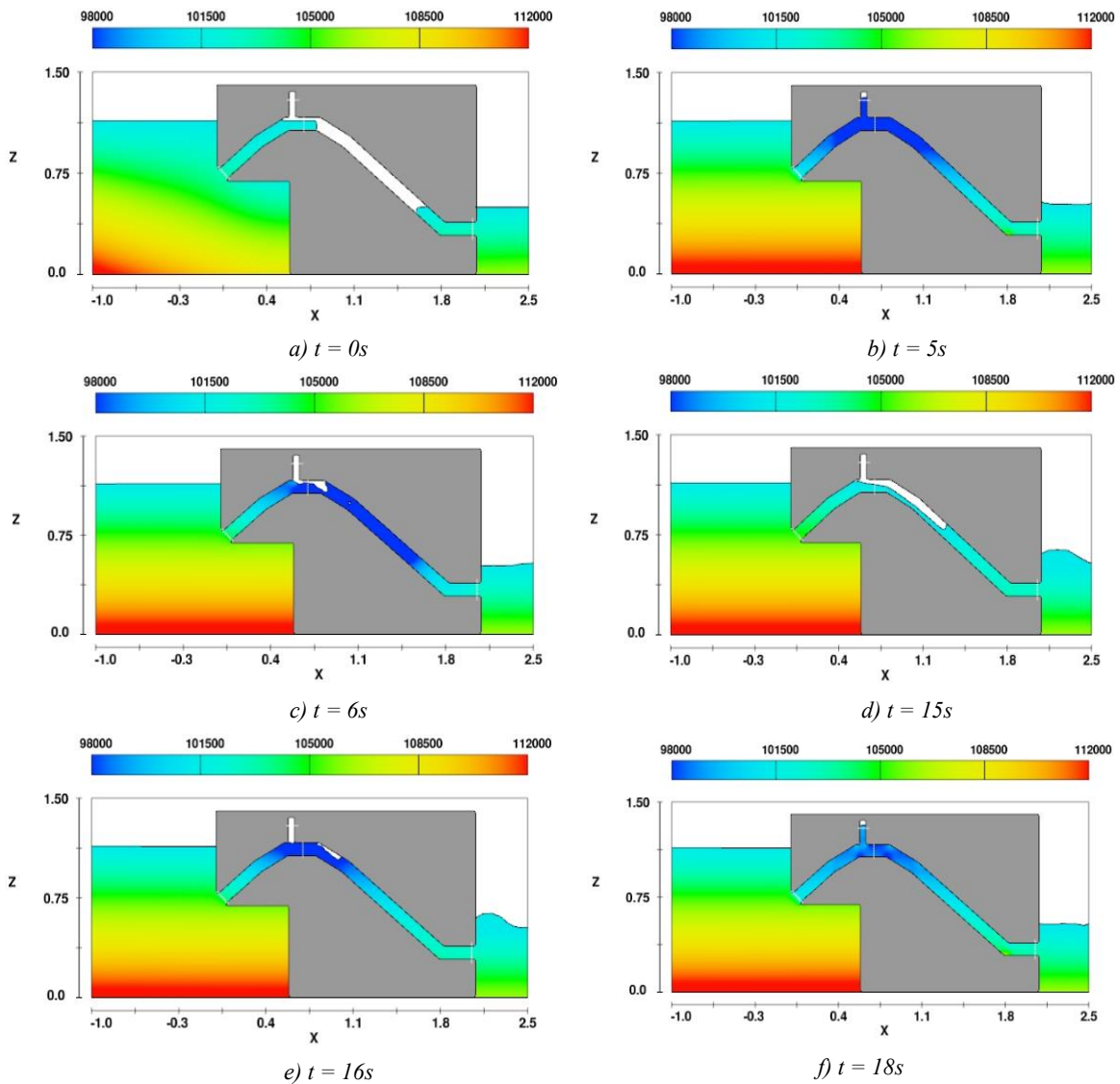
không khí vào ống xi phông từ 5,1s đến 15s. Sau 15s thì van sẽ đóng trở lại và xi phông làm việc bình thường. Do tính nhạy khi tiến hành mô phỏng thí nghiệm tỷ lệ nhỏ, giá trị hệ số lưu lượng $C_0=0,9$ được thiết lập cho thí nghiệm này.

Kết quả mô phỏng cho việc điều khiển van mở-đóng để lấy không khí vào được thể hiện trên Hình 6. Trong Hình 6, trục hoành x và trục tung z có đơn vị là mét (m), thang chia màu áp suất có đơn vị là pascal (Pa) với dải chia từ 98.000 Pa đến 112.000 Pa.

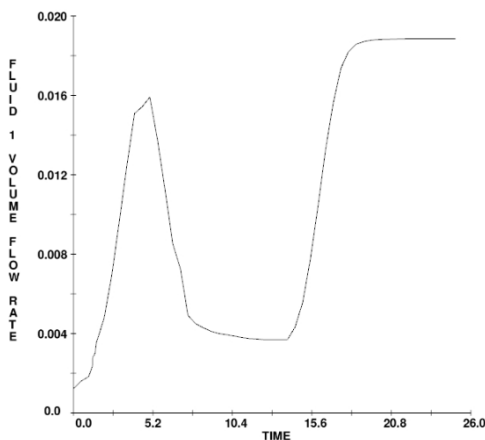
Tại thời điểm ban đầu (Hình 6.a), mực nước thượng lưu được lấy sao cho chiều sâu cột nước tràn qua đỉnh đập xi phông là 7,5cm (ống xi phông có đường kính 10cm). Nước sẽ chảy tràn qua đỉnh đập và dần làm cho xi phông ở trạng thái làm việc (trạng thái áp suất âm ở đỉnh đập tràn, vận tốc dòng chảy đạt giá trị lớn nhất) như Hình 6.b sau thời gian $t=5\text{s}$. Tại $t=6\text{s}$ (Hình 6.c), van khí đã mở, áp suất không khí tràn vào làm tăng áp suất phần đỉnh đập tràn. Theo phương trình Béc-nu-li, áp suất tăng thì đồng thời vận tốc dòng chảy sẽ giảm, dòng chảy trong đập tràn xi phông dần đến trạng thái ổn định tại $t=15\text{s}$ như thể hiện trên Hình 6.d. Ngược lại, khi van khí đóng lại tại thời điểm $t=15,1\text{s}$, ngay lập tức áp suất tại đỉnh đập sẽ giảm làm vận tốc dòng chảy tăng trở lại như trên Hình 6.e tại $t=16\text{s}$. Cuối cùng, áp suất tại đỉnh đập sẽ ổn định với giá trị âm (màu xanh đậm trên Hình 6.f), vận tốc dòng chảy lại đạt giá trị lớn nhất, đập tràn xi phông lại trở về trạng thái làm việc lúc đầu khi van khí chưa mở.

Dựa vào màu sắc trên thang chia áp suất ở Hình 6, ta có thể thấy được giá trị áp suất trong đập tràn xi phông thay đổi tùy theo vị trí và trạng thái hoạt động khi mở - đóng van khí. Giá trị vận tốc của kết quả mô phỏng cũng được thể hiện tương tự như giá trị áp suất. Tuy nhiên, do khuôn khổ nội dung trình bày bài báo có giới hạn nên nhóm tác giả thể hiện tóm tắt quá trình này qua giá trị lưu lượng dòng chảy thay đổi theo thời gian tại mặt cắt giữa đỉnh đập tràn (ngay sau ống thông khí) như Hình 7. Trong Hình 7, trục hoành là thời gian mô phỏng có đơn vị là giây (s), trục tung là lưu lượng tràn có đơn vị mét khối/giây (m^3/s).

Theo đó, giá trị lưu lượng tăng đột ngột từ 0 đến $0,015\text{m}^3/\text{s}$ ($54\text{m}^3/\text{giờ}$) tương ứng khi thời gian tăng từ 0s đến 5s. Đập tràn xi phông bắt đầu vào trạng thái làm việc. Từ 5,1s đến 15s, sau khi van khí mở, lưu lượng giảm đột ngột và dần ổn định ở giá trị rất nhỏ $0,004\text{m}^3/\text{s}$ ($14,4\text{m}^3/\text{giờ}$). Sau thời điểm $t=15,1\text{s}$, van khí đóng làm áp suất giảm và lưu lượng tăng đạt giá trị ổn định $0,019\text{m}^3/\text{s}$ ($68,4\text{m}^3/\text{giờ}$) từ thời điểm $t=18\text{s}$.



Hình 6. Áp suất trong ống xi phông đóng mở theo thời gian



Hình 7. Lưu lượng xả trong ống xi phông thay đổi theo thời gian

Tại thời điểm này, đập tràn xi phông ở trạng thái làm việc hoàn toàn. Như vậy, với việc điều chỉnh van khí mở - đóng, lưu lượng trong đập tràn xi phông được điều khiển một cách đơn giản và chủ động.

4. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu công cụ van khí trong mô hình dòng chảy ba chiều và ứng dụng điều khiển lưu lượng xả nước đập tràn xi phông. Thí nghiệm mô phỏng trên mô hình tỷ lệ nhỏ được thiết lập, kiểm chuẩn với lời giải giải tích cho thấy kết quả chính xác của mô hình. Van khí được thiết lập cùng với ống thông khí đặt trên đỉnh đập tràn xi phông để điều khiển việc lấy không khí vào trong ống xi phông. Kết quả thí nghiệm mô phỏng của mô hình cho thấy lưu lượng trong đập tràn xi phông được điều khiển qua việc điều khiển mở - đóng van khí

tại các thời điểm khác nhau. Trong những nghiên cứu tiếp theo, lưu lượng dòng chảy trong đập tràn xi phông cần được điều khiển qua việc điều chỉnh lưu lượng không khí thông qua van khí. Đồng thời, ống thông khí trong đập tràn xi phông tại vị trí nào là tối ưu cũng cần được nghiên cứu sâu hơn.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT21-22.63**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thành N. C. and Phương H. Đ., *Tiêu hao năng lượng của dòng chảy qua bậc nước trên mái đập hạ lưu*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, No.46, pp.63-70, 2014.
- [2] S. Dehdar-behbahani and A. Parsaie, *Numerical modeling of flow pattern in dam spillway's guide wall. Case study: Balaroud dam, Iran*, Alexandria Engineering Journal, Vol.55, No.1, pp.467-473, Mar. 2016.
doi: 10.1016/j.aej.2016.01.006.
- [3] S. Y. Kumcu, *Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis*, KSCE J Civ Eng, Vol.21, No.3, pp.994-1003, Mar. 2017.
doi: 10.1007/s12205-016-1257-z.
- [4] Khánh Đ. X., Nga L. T. T., and Hùng H. V., *Ứng dụng phần mềm Flow-3D tính toán vận tốc và áp suất trên đập tràn thực dụng mặt cắt hình cong*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, No.61, pp.99-106, 2018.
- [5] L. T. T. Hien and D. H. Duc, *Numerical Simulation of Free Surface Flow on Spillways and Channel Chutes with Wall and Step Abutments by Coupling Turbulence and Air Entrainment Models*, Water, Vol.12, No.11, 3036, Oct. 2020.
doi: 10.3390/w12113036.
- [6] P. Văn Khôi và V. Văn Nghi, *Mô hình dòng chảy ba chiều: lý thuyết, kiểm chuẩn và ứng dụng mô phỏng đập tràn kiểu xi phông*, Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng hải, Số. 67 (08/2021), tr.73-77, 2021.

- [7] M. A. Musa, A. Y. Maliki, M. F. Ahmad, W. N. Sani, O. Yaakob, and K. B. Samo, *Numerical Simulation of Wave Flow Over the Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC) Device*, Procedia Engineering, Vol.194, pp.166-173, 2017.
doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.131.
- [8] A. Najafi-Jilani, M. Z. Niri, and N. Naderi, *Simulating three dimensional wave run-up over breakwaters covered by antifer units*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol.6, No.2, pp.297-306, Jun. 2014.
doi: 10.2478/IJNAOE-2013-0180.
- [9] J.-S. Jung, E. Jang, and C. Lee, *사이펀 여수로 공기혼입장치 (airslot) 의 방류량 조절 능력에 대한 실험 연구*, 대한토목학회논문집, Vol.39, No.6, pp.703-712, Dec. 2019.
doi: 10.12652/KSCE.2019.39.6.0703.
- [10] K. Babaeyan-Koopaei, E. M. Valentine, and D. A. Irvine, *Case Study on Hydraulic Performance of Brent Reservoir Siphon Spillway*, J. Hydraul. Eng., Vol.128, No.6, pp.562-567, Jun. 2002.
doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:6(562).
- [11] R. Tadayon and A. S. Ramamurthy, *Discharge Coefficient for Siphon Spillways*, J. Irrig. Drain Eng., Vol.139, No.3, pp.267-270, Mar. 2013.
doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000542.
- [12] A. Ghafourian, *Hydraulic of Siphon Spillway by Physical and Computational Fluid Dynamics*, World Applied Sciences Journal Vol.14(8), pp.1240-1245, 2011
- [13] F. Pakgar, R. Daneshfaraz, and A. R. Joudi, *Numerical simulation of flow on a siphon spillway and investigation of the effect of a bottom/outlet angle on hydraulic parameters*, Sigma Journal Engineering and Natural Sciences, Vol.34 (2), pp.279-290, 2016.

Ngày nhận bài:	24/12/2021
Ngày nhận bản sửa:	31/12/2021
Ngày duyệt đăng:	05/01/2022