

ÁP DỤNG MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN SÓNG ĐỘNG HỌC MỘT CHIỀU TÍNH DÒNG CHẢY LŨ THIẾT KẾ HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC KHU VỰC TÀU HŨ - BẾN NGHÉ, ĐÔI-TÈ, THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TS. Lương Tuấn Anh
Viện Khí tượng Thủy văn

Bài báo này trình bày kết quả áp dụng mô hình phần tử hữu hạn sóng động học một chiều tính dòng chảy lũ thiết kế hệ thống thoát nước đô thị. Kết quả tính lũ thiết kế khu vực Tàu Hũ- Bến Nghé, Đôi Tè thành phố Hồ Chí Minh cho kết quả phù hợp với kết quả nghiên cứu của Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA). Mô hình có cơ sở vật lý và có khả năng mô phỏng địa hình, hướng chảy một cách chi tiết phục vụ quy hoạch, thiết kế, vận hành hệ thống thoát nước và xử lý môi trường nước khu vực đô thị.

1. Mở đầu

Hiện nay, các phương pháp phổ biến tính dòng chảy lũ thiết kế hệ thống thoát nước và xử lý môi trường nước đô thị là phương pháp thích hợp (Rational method) [4], phương pháp của Cơ quan Bảo vệ thổ nhưỡng Hoa Kỳ [4], [5]. Các phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, dễ áp dụng, các thông số tính toán được xác định một cách ước tính thông qua các bảng tra dựa trên số liệu nghiên cứu thực nghiệm của nước ngoài với các điều kiện địa lý tự nhiên khác nhau nên kết quả tính toán có khi không sát với tình hình thực tế. Do đó, một số chuyên gia đã kiến nghị sử dụng mô hình toán về mưa - dòng chảy có cơ sở vật lý hơn dựa trên các số liệu chi tiết hơn về địa hình và sử dụng đất trên khu vực nghiên cứu như mô hình dòng chảy [5], mô hình sóng động học [10], [11] để đánh giá tính hợp lý của các phương án thiết kế. Trong bài báo này, mô hình phần tử hữu hạn mô phỏng dòng chảy sườn dốc kết hợp phương pháp f_1 - R_{sa} - f_a [10], [11] được lựa chọn để tính toán dòng chảy thiết kế phục vụ giai đoạn thiết kế chi tiết hệ thống thoát nước lưu vực Tàu Hũ- Bến Nghé, Đôi Tè, thành phố Hồ Chí Minh.

2. Cơ sở của mô hình phần tử hữu hạn sóng động học một chiều

Cơ sở của mô hình phần tử hữu hạn sóng động học 1 chiều áp dụng để mô phỏng dòng chảy sườn dốc và trong lòng dẫn được trình bày trong công trình nghiên cứu [3] một cách chi tiết và tương đối có hệ thống. Mô hình dựa trên việc giải hệ phương trình sóng động học 1 chiều được thể hiện dưới dạng phương trình liên tục:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e(x, t) \quad (1)$$

và phương trình động lượng:

$$S_0 = S_f \quad (2)$$

kết hợp với phương trình Manning:

$$q = \alpha h^\beta \quad (3)$$

Trong đó:

q - lưu lượng đơn vị của dòng chảy sườn dốc hoặc trong sông (m^2/s);

S_o - độ dốc sườn dốc hoặc độ dốc lòng sông (m/m);

S_f - độ dốc ma sát hay độ dốc cản (m/m);

r_e - lượng mưa hữu hiệu (lượng mưa trừ tổn thất) hoặc lượng dòng chảy nhập bên (m/s);

α - hệ số phụ thuộc độ dốc sườn dốc, hệ số nhám của bề mặt lưu vực, hệ số nhám có trị số phụ thuộc vào sử dụng đất đối với lưu vực đô thị đang phát triển, trị số trong khoảng 0,10 - 0,15; β - hệ số có trị số bằng 5/3.

Nghiệm số sóng động học gồm hai biến của trường cần xác định là q và h . Theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), các ẩn cần tìm tại các điểm nút của phần tử q và h có thể được phân bố trong từng phần tử theo quy luật sau:

$$q(x,t) \approx \sum_{i=1}^n N_i(x)q_i(t) \quad ; \quad h(x,t) \approx \sum_{i=1}^n N_i(x)h_i(t)$$

Trong đó: $h_i(t)$ - độ sâu dòng chảy và $q_i(t)$ - dòng chảy đơn vị, hàm số chỉ phụ thuộc vào thời gian; $N_i(x)$ - hàm số nội suy; n - số lượng nút trong một phần tử.

Phương pháp Galerkin đối với hệ phương trình sóng động học 1 chiều có dạng:

$$\sum_{i=1}^{NE} \int_{D_e} \left\{ N_i \left[\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} - r_e(x,t) \right] \right\} dD_e = 0$$

Trong trường hợp sử dụng sơ đồ tập trung (Lumped scheme), hàm nội suy $N_i(x)$ được thể hiện dưới dạng [6]:

$$N_{j-1}^* = 1 - H\left(s - \frac{l}{2}\right) \quad N_j^* = H\left(s - \frac{l}{2}\right)$$

Hàm $H(x)$ được xác định như sau:

$$H_{(x)} = 0 \quad \text{nếu } x < 0;$$

$$H_{(x)} = 1 \quad \text{nếu } x \geq 0;$$

s = khoảng cách từ nút $j-1$; l = chiều dài của phần tử.

Trong đó, các ma trận và véc tơ viết cho mỗi phần tử có dạng:

$$[B^{(e)}] = \frac{l}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad [f^{(e)}] = \frac{l}{2} \begin{Bmatrix} r(x,t) \\ r(x,t) \end{Bmatrix} \quad [C^{(e)}] = \frac{l}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Khi đó, hệ phương trình sóng động học viết cho mỗi phần tử được thể hiện dưới dạng phương trình ma trận:

$$[C^e] \left\{ \frac{dh}{dt} \right\} + [B^e] \{q\} - \{f\} = 0 \quad (4)$$

Viết phương trình (4) cho n phần tử, sau khi rút gọn sẽ thu được hệ phương trình vi phân thường phi tuyến tính:

$$\left\{ \frac{dh}{dt} \right\} = \{f_1\} - [D] \{ \alpha h^\beta \} \quad (5)$$

Hệ phương trình vi phân thường phi tuyến tính (5) được giải bằng thuật toán Runge-Kutta bậc ba như sau:

(i) Tính các giá trị của nghiệm:

$$\{\Delta h\}^{(1)} = \{f_1(t)\Delta t - [D] \{ \alpha h(t)^\beta \}$$

$$\{\Delta h\}^{(2)} = \left\{ f_1\left(t + \frac{\Delta t}{3}\right) \Delta t - [D] \left\{ \alpha \left(h(t) + \frac{\Delta h^{(1)}}{3}\right)^\beta \right\} \right.$$

$$\left. \{\Delta h\}^{(3)} = \left\{ f_1\left(t + \frac{2\Delta t}{3}\right) \Delta t - [D] \left\{ \alpha \left(h(t) + \frac{2\Delta h^{(2)}}{3}\right)^\beta \right\} \right\} \right.$$

(ii) Nghiệm số cần tìm được xác định theo công thức:

$$\{h(t + \Delta t)\} = \{h(t)\} + 0.25\{\Delta h\}^{(1)} + 0.75\{\Delta h\}^{(3)}$$

Một chương trình tính toán bằng ngôn ngữ FORTRAN đã lập để giải hệ phương trình sóng động học theo thuật toán đã trình bày ở quy mô hệ thống sông.

3. Phương pháp f_I - R_{sa} - f_{sa} tính lượng mưa hữu hiệu

Lượng mưa hiệu quả r_e được tính theo phương pháp f_I - R_{sa} - f_{sa} (Initial-Saturation runoff coefficient Method) [11], trong đó:

f_I - hệ số dòng chảy ban đầu;

R_{sa} - lượng mưa làm bão hoà khu vực và khi đạt lượng mưa này hầu hết lượng mưa trên khu vực đều tham gia dòng chảy;

f_{sa} - hệ số dòng chảy khi khu vực ở trạng thái bão hoà.

Trong tính toán đối với dự án thoát nước khu vực Tàu Hũ- Bến Nghé, Đô thị thành phố Hồ Chí Minh lấy các trị số được lựa chọn tương tự như nghiên cứu của JICA trong dự án thoát nước thành phố Hà Nội [7] như sau:

$$f_I = 0,6;$$

$$R_{sa} = 55\text{mm};$$

$$f_{sa} = 0,9 \text{ (trừ lượng nước đọng và bốc hơi).}$$

4. Kết quả tính quá trình mưa thiết kế và dòng chảy lũ thiết kế khu vực Tàu Hũ - Bến Nghé, Đồi - Tẻ

Lượng mưa ngày lớn nhất theo nghiên cứu của JICA [8], [9], sử dụng hàm phân bố xác suất Gumbel đối với trạm mưa Tân Sơn Nhất thời đoạn từ 1952 đến năm 1997 thu được kết quả là 92mm, 114mm và 128mm tương ứng tần suất 2, 5 và 10 năm lặp lại. Áp dụng đường cong phân bố xác suất Pearson III tính toán lượng mưa thiết kế trạm Tân Sơn Nhất với chuỗi số liệu mưa 1 ngày lớn nhất đến năm 2001, cho kết quả gần tương đương với kết quả tính của JICA, lượng mưa thiết kế ứng với tần suất 2, 5 và 10 năm lặp lại tương ứng có các trị số 92,2mm, 118,7mm và 136,4mm. Như vậy, có thể nhận định rằng: các kết quả tính toán có sự phù hợp tốt, tin cậy và chấp nhận được. Đường quá trình mưa thiết kế được xây dựng trên cơ sở thu phóng quá trình mưa điển hình thời đoạn mưa 6 giờ.

- Dựa trên cơ sở nghiên cứu của JICA-PCHCMC [8], [9] về thoát nước và xử lý nước thải thành phố Hồ Chí Minh, việc mô phỏng không gian khu vực nghiên cứu được thể hiện ở hình 1.

- Quá trình tính được thực hiện với quá trình mưa thiết kế tần suất 5 năm và 10 năm lặp lại. Kết quả tính toán lưu lượng đỉnh lũ thiết kế được thể hiện ở các bảng 1 và bảng 2.

Kết quả tính toán cho thấy: trong hầu hết các trường hợp nghiên cứu, kết quả tính theo phương pháp phân tử hữu hạn sóng động học một chiều phù hợp với kết quả nghiên cứu của JICA [8], [9] tính theo phương pháp thích hợp. Tuy nhiên, riêng đối với khu vực Tân Hoá - Lò Gốm với diện tích khu vực 14,35km² lưu lượng đỉnh lũ thiết kế với tần suất 5 năm và 10 năm lặp lại là 117m³/s và 131m³/s, mô đun dòng chảy tương ứng là 8,15m³/s/km² và 9,13m³/s/km² có thể là thiên lớn so với điều kiện thực tế của các lưu vực sông nhỏ của nước ta. Lưu lượng và mô đun đỉnh lũ thiết kế của một số sông suối nhỏ khu vực miền núi phía Bắc và Bắc Trung Bộ được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 1. Kết quả tính lũ thiết kế tần suất 5 năm
lặp lại theo mô hình và theo nghiên cứu của JICA [8]

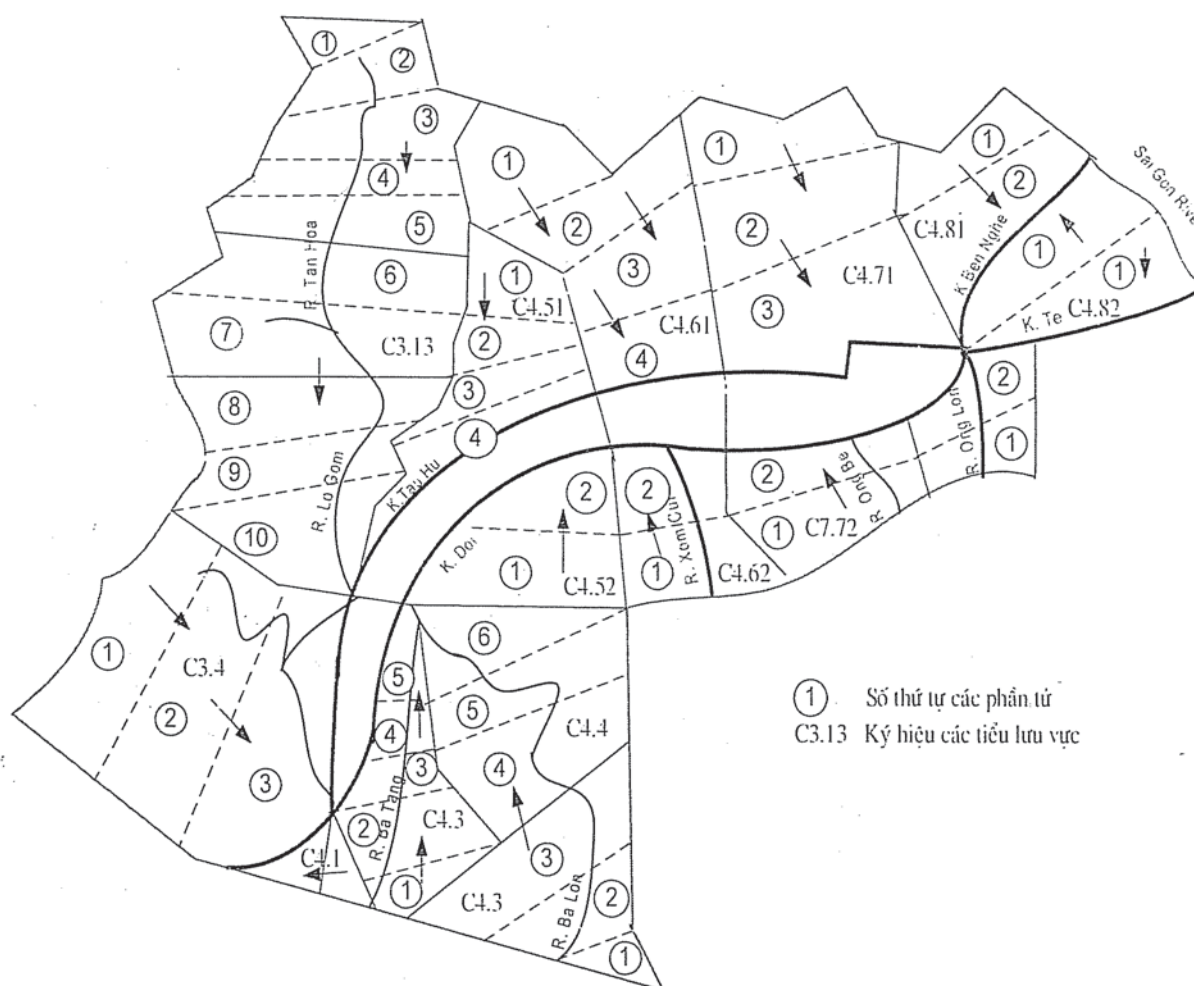
		C3-13	C3-4	C4-1	C4-2	C4-3	C4-4
	F, km ²	14,35	5,88	1,84	2,88	3,41	3,11
Mô hình	Q, m ³ /s	73,2	44,7	24,4	14,4	23,7	17,5
	M, m ³ /s/km ²	5,10	7,60	13,3	5,0	6,95	5,62
JICA	Q, m ³ /s	117,0	47,0	16,0	13,0	18,0	18,0
	M, m ³ /s/km ²	8,15	7,99	8,69	4,51	5,27	5,79

Bảng 2. Kết quả tính lũ thiết kế tần suất 10 năm
lặp lại theo mô hình và theo nghiên cứu của JICA [8]

		C3-13	C3-4	C4-1	C4-2	C4-3	C4-4
	F, km ²	14,35	5,88	1,84	2,88	3,41	3,11
Mô hình	Q, m ³ /s	88,1	52,7	28,2	17,4	28,3	21,1
	M, m ³ /s/km ²	6,14	8,96	15,3	6,04	8,30	6,75
JICA	Q, m ³ /s	131,0	52,0	18,0	15,0	19,0	19,0
	M, m ³ /s/km ²	9,12	8,84	9,78	5,21	5,57	6,11

Bảng 3. Lưu lượng lũ thiết kế 10 năm
lập lại của một số sông suối nhỏ ở Việt Nam [1]

STT	Tên trạm	F. km ²	Thời kỳ	Q-10 năm (m ³ /s)	M-10 năm (m ³ /s/km ²)
1	Cầu Mai	27.7	1970-1985	162	5.84
2	Ngọc Thanh	19.5	1967-1981	91.0	4.67
3	Đất	6.7	1965-1978	47.3	7.06
4	Xuân Cao	12.0	1968-1984	95.8	7.98
5	Khe Lá	27.8	1970-1985	189	6.80



Hình 1. Sơ đồ mô phỏng lưu vực Tàn Hồ - Ben Nghé bằng các PTHH

5. Một số nhận xét và kết luận

Mô hình phân tử hữu hạn sóng động học một chiều có khả năng mô phỏng không gian lưu vực một cách khá chi tiết theo độ dốc sườn dốc, hướng chảy, sử dụng đất,.... Kết quả tính toán dòng chảy lũ thiết kế theo mô hình có sự phù hợp tốt với kết quả nghiên cứu của JICA. Ngoài kết quả tính toán đỉnh lũ thiết kế, mô hình còn đưa ra kết quả tính đường quá trình lũ thiết kế phục vụ việc nghiên cứu các phương án trữ nước và điều tiết dòng chảy, đồng thời phục vụ đầu vào cho các mô hình thủy động lực trong nghiên cứu phương án thoát nước, thiết kế, điều hành hệ thống thoát nước và kiểm soát môi trường nước.

Tài liệu tham khảo

1. Chương trình NCKH cấp Nhà nước 42A (1989). Số liệu KTTV Việt Nam. *Tập 2: Tập số liệu Thủy văn. Hà Nội.*
2. Nguyễn Như Hà, nnk. *Tính toán thủy văn - thủy lực phục vụ thiết kế chi tiết hệ thống thoát nước lưu vực Tàu Hũ- Bến Nghé, Đôì- Tẻ, Thành phố Hồ Chí Minh.* Công ty Nước và Môi trường Việt Nam. Bộ Xây dựng, năm 2004.
3. Lương Tuấn Anh, nnk. *Nghiên cứu vận dụng mô hình thủy động lực mữa - dòng chảy phục vụ tính toán và dự báo dòng chảy lũ.* Báo cáo tổng kết đề tài, Bộ Tài nguyên và Môi trường, năm 2004.
4. Chow V.T. Maidment D.R., Mays L. W. (1988). *Applied Hydrology.* McGraw-Hill Book Company.
5. *Handbook of Hydrology.* David R. Maidment Editor in Chief. McGraw-Hill, Inc. 1993.
6. Jaber F.H, Mohtar R. H. (2002). Stability and accuracy of finite element scheme for the one-dimensional kinematic wave solution. *Advances in Water Resources* 25, 427-438.
7. JICA-HPC (1994). The study on urban drainage and wastewater disposal system in Hanoi City. Nippon Koei Co. LTD. Appendix C: Hydrology.
8. JICA-PCHCMC (1999). The study on urban drainage and sewerage system for Ho Chi Minh City in SRV. Final Report. Pacific Consultants International.
9. JICA-PCHCMC (1999). The study on urban drainage and sewerage system for Ho Chi Minh City in SRV. Pacific Consultants International. Appendix C: Meteorology and Hydrology.
10. Yoshito Yuyama (1996). Regional Drainage Analysis by Mathematical Model Simulation. NRIAE, MAFF, Japan.
11. United Nations (1988). Proceedings of the expert group meeting on the improvement of disaster prevention systems based on risk analysis of natural disasters related to typhoons and heavy rainfall.