

Phương pháp tích phân phiếm hàm trong lý thuyết lượng tử về plasmon

Nguyễn Văn Hiệu¹, Nguyễn Bích Hà¹, Nguyễn Văn Hợp²

¹Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

²Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội

Trong bài báo này lý thuyết lượng tử về plasmon đã được xây dựng trên cơ sở những nguyên lý và định luật cơ bản của vật lý học lượng tử được áp dụng vào trường hợp khí điện tử linh hoạt trong kim loại và bằng phương pháp tích phân phiếm hàm. Nhờ sử dụng biến đổi Hubbard-Stratonovich nổi tiếng, từ phiếm hàm sinh của hệ khí điện tử suy ra phiếm hàm sinh của một trường vô hướng mà các toán tử hủy hạt và sinh hạt của trường này chính là toán tử hủy và sinh plasmon. Trong trường hợp khí điện tử linh hoạt trong kim loại đồng chất có kích thước không giới hạn và ở nhiệt độ $T = 0$ Lagrangian của trường lượng tử vô hướng diễn tả các plasmon có dạng giống như Lagrangian của trường lượng tử vô hướng tương đối tính thỏa mãn phương trình Klein-Gordon. Phương pháp lập luận và tính toán có thể được mở rộng ra cho các hệ điện tử linh hoạt trong các cấu trúc kim loại kích thước nano.

Từ khóa: khí điện tử, kích thích tập thể, phiếm hàm sinh, phiếm hàm tác dụng, plasmon.

Chỉ số phân loại 1.3

FUNCTIONAL INTEGRAL METHOD IN QUANTUM THEORY OF PLASMON

Summary

In the present work the quantum theory of plasmon was established on the basis of the fundamental principles of quantum physics applied to the electron gas in metal and with the use of the functional integral method. By means of the celebrated Hubbard-Stratonovich transformation, from the generating functional of the electron gas it follows that of a scalar field whose destruction and creation operators are those of plasmons. In the case of the electron gas in a homogeneous unbounded metal at zero absolute temperature $T = 0$, the Lagrangian of the scalar field describing the plasmon has the same form as that of the relativistic Klein-Gordon scalar field. The presented reasonings and calculations can be extended to study electron gas in nanostructures.

Keywords: action functional, collective excitations, electron gas, generating functional, plasmon.

Classification number 1.3

Mở đầu

Hiện tượng cộng hưởng trong sự kích thích tập thể của khí điện tử (cộng hưởng plasma) đã được xem như có nguồn gốc là sự tồn tại của một loại chuẩn hạt gọi là plasmon. Nhiều loại quá trình tương tác của plasmon đã được nghiên cứu trong những năm gần đây: tương tác của plasmon với exciton [1-13], của chấm lượng tử với plasmon [14-16], huỳnh quang tăng trưởng nhờ plasmon [17-23]... Tuy nhiên, cho đến nay lý thuyết về plasmon vẫn mang tính chất hiện tượng luận: thừa nhận sự tồn tại của các toán tử sinh và hủy plasmon cũng như biểu thức của Hamiltonian tương tác giữa plasmon với các chuẩn hạt khác.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất thiết lập lý thuyết lượng tử về plasmon trên cơ sở các nguyên lý, định luật cơ bản nhất về hệ điện tử linh động trong chất rắn, ngoài thế năng của điện tử trong mạng tinh thể còn kể đến tương tác Coulomb giữa các điện tử. Để đạt mục tiêu đó, chúng tôi áp dụng phương pháp tích phân phiếm hàm [24-26].

Phiếm hàm sinh và hàm Green của điện tử

Không làm mất tính chất tổng quát của các

lập luận trong bài này, để cho các ký hiệu được đơn giản ta hãy bỏ qua chỉ số spin trong hàm sóng của điện tử và coi điện tử là các fermion không có spin. Hàm sóng của điện tử và đại lượng liên hợp với hàm sóng đó được ký hiệu là $\psi(\mathbf{x}, t)$ và $\bar{\psi}(\mathbf{x}, t)$. Các đại lượng này phản giao hoán với nhau (đại lượng biến thiên Grassmann). Để viết gọn các công thức, thay cho cặp tọa độ không gian \mathbf{x} và thời gian t ta sử dụng tọa độ không thời gian $x = (\mathbf{x}, x_0) = (\mathbf{x}, t)$ và viết:

$$\psi(x) = \psi(\mathbf{x}, x_0) = \psi(\mathbf{x}, t), \quad \bar{\psi}(x) = \bar{\psi}(\mathbf{x}, x_0) = \bar{\psi}(\mathbf{x}, t),$$

$$\int dx = \int d\mathbf{x} \int dx_0 = \int d\mathbf{x} \int dt.$$

Trong trường thế năng $U(\mathbf{x})$ của mạng tinh thể Hamiltonian của điện tử có dạng

$$H\left(-i\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}, \mathbf{x}\right) = \frac{1}{2m}\left(-i\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}\right)^2 + U(\mathbf{x}), \quad (1)$$

trong đó m là khối lượng hiệu dụng của điện tử (ta dùng hệ đơn vị với $\hbar = c = 1$). Ký hiệu thế năng tương tác Coulomb giữa hai điện tử là $V(\mathbf{x} - \mathbf{y})$ và đặt

$$V(\mathbf{x} - \mathbf{y}) = V(\mathbf{x} - \mathbf{y})\delta(x_0 - y_0). \quad (2)$$

Tất cả các phương trình động lực của hệ điện tử đều được suy ra từ nguyên lý tác dụng cực trị với phiếm hàm có biểu thức sau đây:

$$I[\psi, \bar{\psi}] = I_0[\psi, \bar{\psi}] + \frac{1}{2} \int dx \int dy \bar{\psi}(x)\psi(x)V(x-y)\bar{\psi}(y)\psi(y), \quad (3)$$

trong đó

$$I_0[\psi, \bar{\psi}] = \frac{1}{2} \int dx \bar{\psi}(x) \left[i\frac{\partial}{\partial x_0} - H\left(-i\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}, \mathbf{x}\right) \right] \psi(x) \quad (4)$$

là phiếm hàm tác dụng của hệ các điện tử khi bỏ qua tương tác Coulomb giữa các điện tử. Trong phương pháp tích phân phiếm hàm tương ứng với hàm sóng $\psi(x)$ và hàm sóng liên hợp $\bar{\psi}(x)$ của điện tử ta đưa thêm hai đại lượng biến thiên Grassmann nữa $\eta(x)$ và $\bar{\eta}(x)$ vừa phản giao hoán với nhau, vừa phản giao hoán với $\psi(x)$ và $\bar{\psi}(x)$, và sử dụng công cụ toán học mới là các phiếm hàm sinh có các biểu thức sau đây:

$$Z^\psi[\eta, \bar{\eta}] = \int [D\psi][D\bar{\psi}] \exp\left\{i \int dx [\bar{\psi}(x)\eta(x) + \bar{\eta}(x)\psi(x)]\right\} \exp\{iI[\bar{\psi}, \psi]\}, \quad (5)$$

$$Z_0^\psi[\eta, \bar{\eta}] = \int [D\psi][D\bar{\psi}] \exp\left\{i \int dx [\bar{\psi}(x)\eta(x) + \bar{\eta}(x)\psi(x)]\right\} \exp\{iI_0[\bar{\psi}, \psi]\}, \quad (6)$$

trong đó

$$\int [D\psi][D\bar{\psi}]$$

ký hiệu phép lấy tích phân phiếm hàm, và đặt

$$Z^\psi = Z^\psi[0,0], \quad Z_0^\psi = Z_0^\psi[0,0]. \quad (7)$$

Sử dụng tích phân phiếm hàm, ta có thể tính giá trị trung bình của tích các hàm sóng và hàm sóng liên hợp tại các điểm khác nhau lấy theo tất cả các trạng thái khả dĩ của hệ hạt. Ví dụ như giá trị trung bình

của tích $\psi(\mathbf{x})\bar{\psi}(\mathbf{y})$ được tính theo biểu thức sau đây trong trường hợp bỏ qua tương tác Coulomb giữa các điện tử:

$$G(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \langle \psi(\mathbf{x})\bar{\psi}(\mathbf{y}) \rangle = \frac{1}{Z_0^\psi} \int [D\psi][D\bar{\psi}] \psi(\mathbf{x})\bar{\psi}(\mathbf{y}) \exp \left\{ i \int dz \bar{\psi}(z) \left[i \frac{\partial}{\partial z} - H \left(-i \frac{\partial}{\partial \mathbf{z}}, z \right) \right] \psi(z) \right\}. \quad (8)$$

$G(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ được gọi là hàm Green của khí điện tử khi bỏ qua tương tác Coulomb giữa các điện tử, đôi khi còn được gọi là hàm Green của điện tử tự do trong mạng tinh thể.

Hãy ký hiệu $\{u_\alpha(\mathbf{x})\}$ là hệ đủ các hàm riêng trực giao chuẩn hóa của Hamiltonian (1) tương ứng với các trị riêng E_α :

$$Hu_\alpha(\mathbf{x}) = E_\alpha u_\alpha(\mathbf{x}), \quad (9)$$

và $S(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = S(\mathbf{x}, \mathbf{y}; x_0 - y_0)$ là lời giải của phương trình

$$\left[i \frac{\partial}{\partial x_0} - H \left(-i \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}, \mathbf{x} \right) \right] S(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \delta(\mathbf{x} - \mathbf{y}) = \delta(\mathbf{x} - \mathbf{y})\delta(x_0 - y_0). \quad (10)$$

$S(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ có dạng tổng quát sau đây:

$$S(\mathbf{x}, \mathbf{y}; x_0 - y_0) = \frac{1}{2\pi} \int d\omega e^{-i\omega(x_0 - y_0)} \sum_\alpha \frac{u_\alpha(\mathbf{x})u_\alpha(\mathbf{y})^*}{\omega - E_\alpha + i0} + i \sum_\alpha C_\alpha e^{-iE_\alpha(x_0 - y_0)} u_\alpha(\mathbf{x})u_\alpha(\mathbf{y})^* \\ = \frac{1}{2\pi} \int d\omega e^{-i\omega(x_0 - y_0)} \sum_\alpha u_\alpha(\mathbf{x})u_\alpha(\mathbf{y})^* \left[\frac{1 - C_\alpha}{\omega - E_\alpha + i0} + \frac{C_\alpha}{\omega - E_\alpha - i0} \right]. \quad (11)$$

Xét giới hạn $\varepsilon \rightarrow +0$ của giá trị trung bình của tích $\bar{\psi}(\mathbf{x}, t + \varepsilon)\psi(\mathbf{x}, t)$. Đó là mật độ số hạt $n(\mathbf{x})$:

$$n(\mathbf{x}) = \lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \langle \bar{\psi}(\mathbf{x}, t + \varepsilon)\psi(\mathbf{x}, t) \rangle = -i S(\mathbf{x}, \mathbf{x}; -\varepsilon). \quad (12)$$

Từ biểu thức (11) của $S(\mathbf{x}, \mathbf{y}; -\varepsilon)$ suy ra rằng:

$$n(\mathbf{x}) = \sum_\alpha C_\alpha |u_\alpha(\mathbf{x})|^2. \quad (13)$$

Vậy C_α chính là số điện tử n_α trong trạng thái có hàm sóng $u_\alpha(\mathbf{x})$: $C_\alpha = n_\alpha$.

Phiếm hàm tác dụng và phương trình động lực của plasmon

Từ biểu thức của phiếm hàm sinh Z^ψ của hệ điện tử có tương tác Coulomb với nhau, chúng ta sẽ thiết lập phiếm hàm tác dụng của trường plasmon vô hướng, từ đó suy ra các phương trình động lực của trường vô hướng này. Theo các công thức (5) và (7) ta có

$$Z^\psi = \int [D\psi][D\bar{\psi}] \exp \left\{ i \int dx \bar{\psi}(x) \left[i \frac{\partial}{\partial x_0} - H \left(-i \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}, \mathbf{x} \right) \right] \psi(x) \right\} \\ \exp \left\{ -\frac{i}{2} \int dx \int dy \bar{\psi}(x)\psi(x)V(x-y)\bar{\psi}(y)\psi(y) \right\}. \quad (14)$$

Trong vế phải công thức (14) có chứa một biểu thức cấp hai đối với toán tử mật độ xác suất $\bar{\psi}(x)\psi(x)$ của điện tử. Để tuyến tính hóa vế phải công thức (14) theo $\bar{\psi}(x)\psi(x)$ ta đưa ra thêm một trường vô hướng $\varphi(x)$ đóng vai trò tham số trật tự của các dao động tập thể và sử dụng tích phân phiếm hàm theo $\varphi(x)$ sau đây:

$$Z_0^\varphi = \int [D\varphi] \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\}. \quad (15)$$

Thực hiện phép xê dịch

$$\varphi(x) \rightarrow \varphi(x) - \bar{\psi}(x)\psi(x)$$

ta có thể viết lại Z_0^φ dưới dạng

$$\begin{aligned} Z_0^\varphi &= \int [D\varphi] \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} \\ &\quad \exp \left\{ -i \int dx \int dy \bar{\psi}(x) \psi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} \\ &\quad \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \bar{\psi}(x) \psi(x) V(x-y) \bar{\psi}(y) \psi(y) \right\}. \end{aligned} \quad (16)$$

Từ đó suy ra phép biến đổi Hubbard-Stratonovich nổi tiếng [27, 28]:

$$\begin{aligned} \exp \left\{ -\frac{i}{2} \int dx \int dy \bar{\psi}(x) \psi(x) V(x-y) \bar{\psi}(y) \psi(y) \right\} &= \\ = \frac{1}{Z_0^\varphi} \int [D\varphi] \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} & \quad (17) \\ \exp \left\{ -i \int dx \int dy \bar{\psi}(x) \psi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\}. & \end{aligned}$$

Phối hợp hai công thức (14) và (17), ta biến đổi phiếm hàm sinh Z^ψ về dạng

$$\begin{aligned} Z^\psi &= \frac{1}{Z_0^\varphi} \int [D\varphi] \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} \\ &\quad \int [D\psi][D\bar{\psi}] \exp \left\{ -i \int dx \int dy \bar{\psi}(x) \psi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} \\ &\quad \exp \left\{ i \int dx \bar{\psi}(x) \left[i \frac{\partial}{\partial x_0} - H \left(-i \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}, \mathbf{x} \right) \right] \psi(x) \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Thực hiện phép lấy tích phân phiếm hàm theo $\psi(x)$ và $\bar{\psi}(x)$ trong vế phải công thức (18), ta thu được:

$$Z = \frac{Z_0^\psi}{Z_0^\varphi} \int [D\varphi] \exp \left\{ \frac{i}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) \right\} \exp \left\{ i \sum_{n=1}^{\infty} W^{(n)}[\varphi] \right\}, \quad (19)$$

trong đó

$$W^{(1)}[\varphi] = - \int dx \int dy n(\mathbf{x}) V(x-y) \varphi(y), \quad (20)$$

$$W^{(2)}[\varphi] = \frac{i}{2} \int dx \int dx' \int dy \int dy' S(x,y) S(y,x) V(x-x') V(y-y') \varphi(x') \varphi(y'), \quad (21)$$

$$W^{(3)}[\varphi] = \frac{i}{3} \int dx \int dx' \int dy \int dy' \int dz \int dz' S(x, y) S(y, z) S(z, x) V(x-x') V(y-y') V(z-z') \varphi(x') \varphi(y') \varphi(z'), \quad (22)$$

... Ta viết lại phiếm hàm sinh Z^Ψ dưới dạng

$$Z^\Psi = \frac{Z_0^\Psi}{Z_0^\Phi} \int [D\varphi] \exp\{iI(\varphi)\}, \quad (23)$$

và thu được biểu thức sau đây của phiếm hàm tác dụng của trường plasmon $\varphi(\mathbf{x})$:

$$I[\varphi] = \frac{1}{2} \int dx \int dy \varphi(x) V(x-y) \varphi(y) - \int dx \int dy n(\mathbf{x}) V(x-y) \varphi(y) + \frac{i}{2} \int dx \int dy \int dx' \int dy' S(x', y') S(y', x') V(x'-x) V(y'-y) \varphi(x) \varphi(y) + \frac{i}{3} \int dx \int dy \int dz \int dx' \int dy' \int dz' S(x', y') S(y', z') S(z', x') V(x'-x) V(y'-y) V(z'-z) \varphi(x) \varphi(y) \varphi(z) + \dots \quad (24)$$

Trong phép gần đúng cấp hai đối với trường vô hướng $\varphi(\mathbf{x})$ phiếm hàm tác dụng có dạng:

$$I_0[\varphi] = -\int dx u(x) \varphi(x) + \frac{1}{2} \int dx \int dy \varphi(x) A(x, y) \varphi(y), \quad (25)$$

trong đó

$$u(x) = \int dy V(x-y) n(y) \quad (26)$$

và

$$A(x, y) = V(x-y) + i \int dx' \int dy' S(x', y') S(y', x') V(x'-x) V(y'-y). \quad (27)$$

Từ nguyên lý tác dụng cực trị

$$\frac{\delta I_0[\varphi]}{\delta \varphi(x)} = 0 \quad (28)$$

ta suy ra phương trình động lực của trường vô hướng $\varphi_0(\mathbf{x})$ tương ứng với tác dụng cực trị

$$\int dy A(x, y) \varphi_0(y) = u(x). \quad (29)$$

Phương trình tích phân này có lời giải sau đây:

$$\varphi_0(y) = \int dx A^{-1}(y, x) u(x), \quad (30)$$

trong đó $A^{-1}(y, x)$ là nhân của toán tử tích phân nghịch đảo đối với toán tử tích phân có nhân là $A(x, y)$:

$$\int dz A(x, z) A^{-1}(z, y) = \int dz A^{-1}(x, z) A(z, y) = \delta(x-y) \quad (31)$$

Tại trường cực trị $\varphi_0(\mathbf{x})$ phiếm hàm tác dụng bằng

$$I_0[\varphi] = -\frac{1}{2} \int dx \int dy \varphi_0(x) A(x, y) \varphi_0(y). \quad (32)$$

Thăng giáng của trường $\varphi(x)$ quanh trường cực trị $\varphi_0(x)$ được diễn đạt bởi hàm

$$\zeta(x) = \varphi(x) - \varphi_0(x). \quad (33)$$

Phiếm hàm tác dụng được biểu diễn theo $\zeta(x)$ như sau:

$$I_0[\varphi + \zeta] = I_0[\varphi] + \frac{1}{2} \int dx \int dy \zeta(x) A(x, y) \zeta(y).$$

Phương trình động lực của trường $\zeta(x)$ là

$$\int dy A(x, y) \zeta(y) = 0. \quad (34)$$

Trong các bài [29, 30], các tác giả đã chứng minh rằng trong trường hợp khí điện tử linh hoạt trong kim loại đồng chất kích thước không giới hạn theo cả ba chiều từ phương trình động lực (34) suy ra công thức tán sắc của tần số $\omega(k)$ của plasmon với vectơ sóng có giá trị bằng k ở nhiệt độ $T = 0$:

$$\omega(k)^2 = \omega_{pl}^2 + \frac{3}{5} \frac{k_F^2}{m^2} k^2, \quad (35)$$

trong đó k_F là giá trị của vectơ sóng của điện tử trên mặt Fermi, nếu $k^2 \ll m^2$ và $k^2 \ll k_F^2$. Các số hạng cấp cao hơn 2 trong biểu thức (24) của tích phân tác dụng diễn tả tương tác plasmon-plasmon.

Trường plasmon lượng tử

Xuất phát từ trường vô hướng $\zeta(x)$ bây giờ chúng ta sẽ tìm ra một trường vô hướng mới $\sigma(x) = \sigma(x, t)$ mà các toán tử sinh hạt và hủy hạt của trường mới này là các toán tử sinh và hủy plasmon với tần số $\omega(k)$ xác định bởi công thức (35) được viết lại như sau:

$$\omega(k)^2 = \omega_{pl}^2 + \gamma^2 k^2, \quad (36)$$

trong đó

$$\gamma^2 = \frac{3}{5} \frac{k_F^2}{m^2}. \quad (37)$$

Ký hiệu $\tilde{\zeta}(\mathbf{k}, \omega)$ là biến đổi Fourier của $\zeta(x)$,

$$\zeta(x) = \frac{1}{2\pi} \int d\omega \frac{1}{(2\pi)^3} \int d\mathbf{k} e^{-i(\omega t - \mathbf{k}x)} \tilde{\zeta}(\mathbf{k}, \omega), \quad (38)$$

và đặt

$$\tilde{\sigma}(\mathbf{k}, \omega) = \sqrt{\frac{4\pi e^2}{\omega^2 k^2}} \tilde{\zeta}(\mathbf{k}, \omega), \quad (39)$$

ta viết lại phiếm hàm tác dụng (25) dưới dạng:

$$I_0[\varphi] = I_0[\varphi_0] + I_0^{\text{eff}}[\sigma], \quad (40)$$

trong đó

$$I_0^{\text{eff}}[\sigma] = \frac{1}{2\pi} \int d\omega \frac{1}{(2\pi)^3} \int d\mathbf{k} \frac{1}{2} \tilde{\sigma}(-\mathbf{k}, \omega) [\omega^2 - \omega_{pl}^2 - \gamma^2 k^2] \tilde{\sigma}(\mathbf{k}, \omega). \quad (41)$$

Hãy xem $\tilde{\sigma}(\mathbf{k}, \omega)$ là biến đổi Fourier của một trường vô hướng

$$\sigma(\mathbf{x}) = \sigma(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{2\pi} \int d\omega \frac{1}{(2\pi)^3} \int d\mathbf{k} e^{-i(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{x})} \tilde{\sigma}(\mathbf{k}, \omega). \quad (42)$$

Phiếm hàm tác dụng của trường vô hướng $\sigma(\mathbf{x})$ có biểu thức:

$$I_0^{\text{eff}}[\sigma] = \frac{1}{2} \int dt \int d\mathbf{x} \left\{ \left[\frac{\partial \sigma(\mathbf{x}, t)}{\partial t} \right]^2 - \gamma^2 [\nabla \sigma(\mathbf{x}, t)]^2 - \omega_{pl}^2 \sigma(\mathbf{x}, t)^2 \right\}, \quad (43)$$

do đó trường $\sigma(\mathbf{x})$ có Lagrangian sau đây:

$$L = \frac{1}{2} \int d\mathbf{x} \left\{ \left[\frac{\partial \sigma(\mathbf{x}, t)}{\partial t} \right]^2 - \gamma^2 [\nabla \sigma(\mathbf{x}, t)]^2 - \omega_{pl}^2 \sigma(\mathbf{x}, t)^2 \right\}. \quad (44)$$

Các công thức (43) và (44) hoàn toàn tương tự như các công thức xác định phiếm hàm tác dụng và Lagrangian của trường lượng tử vô hướng tương đối tính Klein - Gordon [31, 32].

Để minh họa phương pháp chúng ta đã xét kỹ trường hợp đơn giản nhất: khí điện tử trong kim loại đồng chất kích thước vô hạn. Phương pháp tính toán trình bày ở trên có thể áp dụng cho các hệ điện tử trong các cấu trúc kim loại kích thước nano.

Kết luận

Xuất phát từ biểu thức đã biết của phiếm hàm tác dụng của khí điện tử linh hoạt trong kim loại ở nhiệt độ $T=0$, bằng phương pháp tích phân phiếm hàm chúng ta đã thiết lập được một cách chính xác phiếm hàm tác dụng của một trường lượng tử vô hướng mà các toán tử sinh hạt và hủy hạt của trường này chính là các toán tử sinh và hủy plasmon. Trong trường hợp khí điện tử trong kim loại đồng chất có kích thước không bị giới hạn đã thiết lập công thức tán sắc của tần số plasmon $\omega(k)$ và thu được công thức ta biết trong lý thuyết hiện hành. Phương pháp lập luận và tính toán được đề xuất trong bài này có thể áp dụng để nghiên cứu các vấn đề khó hơn nhiều theo hai hướng sau đây:

- Một là, áp dụng vào trường hợp khí điện tử trong các cấu trúc kim loại kích thước nano.
- Hai là, nghiên cứu tương tác của plasmon với các chuẩn hạt khác, thiết lập ra các Hamiltonian tương tác hiệu dụng mà trong loạt bài [1-25] các tác giả giả thiết là có một dạng đơn giản nào đó.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc hoàn thành bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kometani N, Tsubonishi M, Fujita T, Asami K and Yonezawa Y (2001), *Langmuir*, 17, 578.
- [2] Wiederrech G.P, Wurtz G.A and Hranisavljevic J (2004), *Nano Lett*, 4, 212.
- [3] Zhang W, Govorov A.O and Bryant G.W (2006), *Phys. Rev. Lett*, 97, 146804.
- [4] Zhas J, Jensen L, Sung J.H, Zou S.L, Shatz G.C and Dyune R.F (2007), *J. Am. Chem. Soc*, 129, 7647.
- [5] Umada T, Toyota R, Masuhara H and Asahi T (2007), *J. Phys.Chem*, C 111, 1549.

- [6] Wurtz G.A, Evans P.R, Hendren W, Atkinson R, Dickson W, Pollard R.J and Zayats A.V (2007), *Nano Lett*, 7, 1297.
- [7] Kelley A.M (2007), *Nano Lett*, 7, 3235.
- [8] Ni W.H, Yang Z, Chen H.J, Li L and Wang J.F (2008), *J. Am.Chem Soc*, 130, 6692.
- [9] Fohang N.T, Park T.H, Neumann O, Mirin N.A, Norlander P and Halas N.J (2008), *Nano Lett*, 8, 3481.
- [10] Manjavacas A, Garcia de Abajo F.J and Nordlander P (2011), *Nano Lett*, 11, 2318.
- [11] Yan J.Y, Zhang W, Duan S.Q, Zhao X.G, and Govorov A.O (2008), *Phys. Rev. B*, 77, 165301.
- [12] Ringler M, Schwemer A, Wunderlich M, Nichtl A, Kürzniger K, Klar T.A and Feldmann (2008), *Phys. Rev. Lett*, 100, 203002.
- [13] Ni W, Ambjörnsson T, Apell S.P, Chen H and Wang J (2010), *Nano Lett*, 10, 77.
- [14] Artuso R. D and Bryant G (2008), *Nano Lett*, 8, 2106.
- [15] Ridolfo A, Di Stefano O, Fina N, Saija R and Savasta S (2010), *Phys. Rev. Lett*, 105, 263601.
- [16] Artuso R.D, Bryant G.W, Garcia-Etxarri A and Aizpuma J (2011), *Phys. Rev. B*, 83, 235406.
- [17] Anger P, Bharadwaj P and Novotny I (2006), *Phys. Rev. Lett*, 96, 113002.
- [18] Kühn S, Håkansson U, Rogobette L, and Sandoghdar V (2006), *Phys. Rev. Lett*, 97, 017402.
- [19] Tam F, Goodrich G.F, Johnson B.R and Halas N.J (2007), *Nano Lett*, 7, 496.
- [20] Chen Y, Munechika K and Ginger D.S (2007), *Nano Lett*, 7, 690.
- [21] Zhang J, Fu Y, Chowdhury V, and Lakowicz J.R (2007), *Nano Lett*, 7, 2101.
- [22] Bek A, Jansen R, Ringler M, Mayilo S, Klar T.A, and Feldmann J (2008), *Nano Lett*, 8, 485.
- [23] Bardhan R, Grady V, Cole J.R, Joshi A and Halas N.J (2009), *ACS Nano*, 3, 744.
- [24] Fadeev L.D (1976), *Introduction to functional methods in Methods in Field Theory (Les Houches Summer School 1975)*, Ed R Balian and Jinn-Justin (Amsterdam: North-Holland).
- [25] Sakita B (1985), *Quantum Theory of Many-Variable Systems and Fields* (Singapore: World Scientific).
- [26] Van Hieu N (1994), *Functional integral techniques in condensed matter physics, in Computational Approaches for Novel Condensed Matter Systems Ed M Das* (New York: Plenum).
- [27] Stratonovich R.L (1958), *Sov. Phys. Dokl*, 2, 416.
- [28] Hubbard J (1959), *Phys. Rev. Lett*, 3, 77.
- [29] Nguyen Van Hieu and Nguyen Bich Ha (2012), *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol*, 3, 035009.
- [30] Nguyen Van Hieu and Nguyen Bich Ha (2014), *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol*, 5, 035004.
- [31] Brown L.S (1995), *Quantum Field Theory* (Cambridge: Cambridge University Press).
- [32] Gross F (1993), *Relativistic Quantum Mechanics and Field Theory* (New York: John Wiley & Son, Inc.).

Tính chất từ, hiệu ứng từ nhiệt và các tham số tới hạn của các băng hợp kim $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$

Nguyễn Thị Mai¹, Nguyễn Hải Yến², Phạm Thị Thanh²
Đinh Chí Linh³, Vũ Mạnh Quang⁴, Đỗ Thị Kim Anh¹, Nguyễn Huy Dân²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

³Trường Cao đẳng Công nghiệp In

⁴Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2

Hệ hợp kim $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15) dạng băng được chế tạo bằng phương pháp nguội nhanh. Sau đó, một phần băng đã được ủ nhiệt ở các chế độ khác nhau. Kết quả phân tích giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy các mẫu với $x = 13, 14$ và 15 có cấu trúc đơn pha Ni_2MnSb . Dáng điệu của các đường từ nhiệt phụ thuộc mạnh vào nồng độ Sb và chế độ ủ. Chuyển pha phản sắt từ - sắt từ rõ nét ở các mẫu với $x = 12 \div 14$. Trong biến thiên từ trường là 12 kOe, giá trị biến thiên entropy từ cực đại của mẫu có $x = 13$ đạt $1,02 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Các tham số tới hạn của mẫu được xác định dựa trên phương pháp Arrott-Noakes.

Từ khóa: chuyển pha từ, công nghệ làm lạnh băng từ trường, hiệu ứng từ nhiệt, hợp kim Heusler, tham số tới hạn.

Chỉ số phân loại 1.3

MAGNETIC PROPERTIES, MAGNETOCALORIC EFFECT AND CRITICAL PARAMETERS OF $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ alloy RIBBONS

Summary

$Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ and 15) alloy ribbons are produced by using melt spinning and subsequent annealing. The X-ray diffraction data show that the samples with $x = 13 \div 15$ are mainly structured with Ni_2MnSb single phase. The shape of thermomagnetization curve considerably depends on the Sb concentration and annealing process. The antiferromagnetic-ferromagnetic transition is clearly observed on the samples with $x = 12 \div 14$. Under the magnetic field change of 12 kOe, the maximum magnetic entropy change $|\Delta S_m|_{\max}$ of the ribbons is about $1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Based on the Landau's phase transition theory and analyses of the magnetic data, the critical parameters of the alloys have been determined.

Keywords: critical parameter, Heusler alloy, magnetic refrigeration technology magnetic phase transition, magnetocaloric effect.

Classification number 1.3

Mở đầu

Hiện nay, các máy làm lạnh đang có ảnh hưởng sâu rộng đến cuộc sống của con người. Vì vậy, tìm ra các loại máy lạnh tiên tiến tiết kiệm năng lượng, không gây ô nhiễm và giá thành rẻ là mối quan tâm của rất nhiều nhà khoa học trên khắp thế giới. Máy làm lạnh băng từ trường hứa hẹn có thể đáp ứng được những tiêu chí của một máy lạnh tiên tiến. Làm lạnh băng từ trường là công nghệ làm lạnh dựa trên hiệu ứng từ nhiệt của vật liệu. Bản chất của hiệu ứng này là sự chuyển hóa giữa năng lượng từ - nhiệt khi vật liệu chịu tác động của từ trường ngoài. Hiệu ứng xuất hiện với cường độ khác nhau ở mọi vật liệu và được đánh giá thông qua giá trị biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt và biến thiên entropy từ khi từ trường biến đổi. Dựa vào chiều hướng thay đổi nhiệt độ (hoặc

entropy từ) mà hiệu ứng từ nhiệt được chia thành hai loại âm và dương.

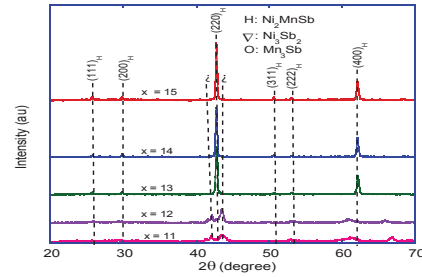
Các hợp kim Heusler có một số ưu điểm để ứng dụng trong công nghệ làm lạnh bằng từ trường như: cho cả hiệu ứng từ nhiệt âm và dương, lực kháng từ thấp (để dễ từ hóa) và điện trở suất cao (để giảm hao phí do dòng Fucô) [1-3]. Tuy nhiên, loại vật liệu này cũng còn một số nhược điểm cần được khắc phục như khó tạo pha cấu trúc như mong muốn, vùng nhiệt độ làm việc của vật liệu còn nằm ngoài vùng nhiệt độ phòng. Điều này đòi hỏi cần tìm ra hợp phần và công nghệ chế tạo thích hợp để thay đổi cấu trúc và tính chất của vật liệu như mong muốn. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày những kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của hợp phần và quá trình xử lý nhiệt lên tính chất từ, hiệu ứng từ nhiệt và các tham số tới hạn của hợp kim Heusler $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15) dạng băng, được chế tạo bằng phương pháp nguội nhanh.

Phương pháp nghiên cứu

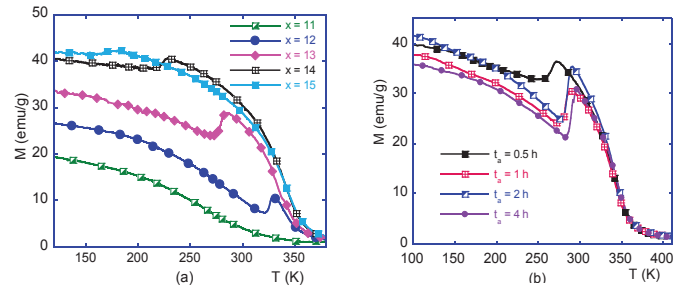
Hệ hợp kim $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15) dạng khối được tạo thành từ việc nấu nóng chảy các kim loại Ni, Mn và Sb có độ sạch cao bằng lò hồ quang trong khí Ar. Hợp kim sau khi nấu sẽ được tạo thành dạng băng bằng phương pháp nguội nhanh với tốc độ quay của trống là 40 m/s. Sau đó, một phần băng sẽ được ủ nhiệt ở nhiệt độ 850°C với thời gian 0,5 h; 1 h; 2 h và 4 h trong môi trường khí Ar. Để tránh việc tạo pha trung gian trong quá trình ủ, mẫu được đưa vào ủ khi nhiệt độ lò đã ổn định ở 850°C và ngay khi hết thời gian ủ, mẫu được làm nguội nhanh trong nước. Cấu trúc của mẫu được khảo sát bằng phương pháp nhiễu xạ tia X. Tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của mẫu được khảo sát qua các phép đo từ độ trên hệ từ kế mẫu rung.

Kết quả và bàn luận

Hình 1 là giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15) khi chưa ủ nhiệt. Ta thấy cấu trúc của mẫu phụ thuộc mạnh vào nồng độ Sb và pha Heusler đầy đủ Ni_2MnSb là pha chủ yếu có mặt ở hầu hết các mẫu. Cụ thể, với những mẫu có nồng độ Sb thấp như $x = 11$ và 12 thì trong cấu trúc có pha Ni_3Sb_2 và Mn_3Sb . Khi nồng độ Sb tăng lên thì pha Ni_2MnSb xuất hiện và thay thế hoàn toàn các pha khác. Các mẫu với $x = 13 \div 15$ có cấu trúc đơn pha Ni_2MnSb và cường độ đỉnh nhiễu xạ của pha này tăng lên khi nồng độ Sb tăng. Chính những thay đổi về cấu trúc theo nồng độ Sb như vậy đã kéo theo sự thay đổi về các tính chất từ và hiệu ứng từ nhiệt của hợp kim.



Hình 1: giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15)



Hình 2: các đường từ độ phụ thuộc nhiệt độ đo ở từ trường 12 kOe của các mẫu băng $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ chưa ủ nhiệt (a) và của mẫu băng với $x = 13$ đã ủ nhiệt (b)

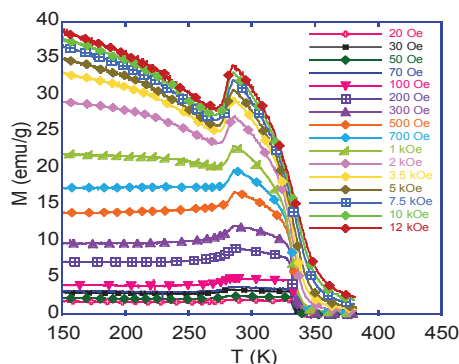
Sự chuyển pha từ của hợp kim được khảo sát thông qua các đường từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ đo trong từ trường 12 kOe của mẫu chưa ủ nhiệt (hình 2a) và của mẫu với $x = 13$ đã ủ nhiệt (hình 2b). Ta thấy, dáng điệu các đường từ nhiệt thay đổi rõ ràng theo nồng độ Sb và chế độ ủ nhiệt. Cụ thể, hình 2a cho thấy mẫu có $x = 12 \div 14$ xuất hiện chuyển pha phản sắt từ - sắt từ (AFM-FM) tại vùng nhiệt độ khoảng 220÷325 K. Nhiệt độ chuyển pha này giảm đi theo chiều tăng của nồng độ Sb. Khi nồng độ Sb cao ($x = 15$) hoặc thấp ($x = 11$) thì chuyển pha AFM-FM không xuất hiện.

Bên cạnh đó, chúng tôi cũng đã ủ mẫu ở các chế độ khác nhau để mong tạo được tính chất từ tốt. Kết quả thu được là tính chất từ của mẫu băng với $x = 13$ thay đổi rõ theo những chế độ ủ khác nhau. Vì vậy, mẫu này sau khi ủ nhiệt đã được chọn để khảo sát tính chất từ. Hình 2b là các đường từ nhiệt đo trong từ trường 12 kOe của mẫu băng với $x = 13$ sau ủ nhiệt. Sau khi ủ trong thời gian 1 h, 2 h và 4 h, chuyển pha AFM-FM trở nên rõ nét hơn trước khi ủ. Nhiệt độ Curie của mẫu trước và sau khi ủ gần như không thay đổi.

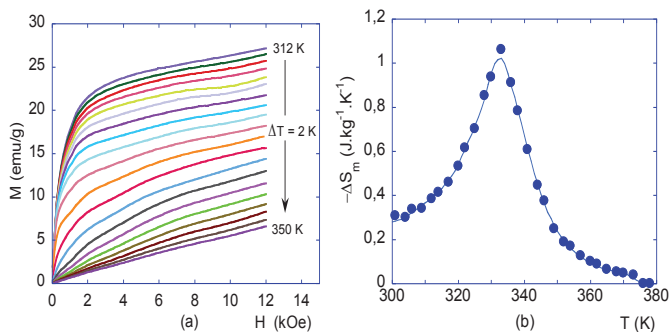
Hiệu ứng từ nhiệt của mẫu được đánh giá qua giá trị biến thiên entropy từ (ΔS_m). Giá trị này có thể tính được từ các đường $M(H)$ (hình 4a) và sử dụng công thức (1) [3, 4]:

$$\Delta S_m = \int_{H_1}^{H_2} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dH \quad (1)$$

Các đường $M(H)$ được rút ra bằng cách biến đổi từ các đường đo thực nghiệm $M(T)$ của mẫu ở các từ trường khác nhau (hình 3) trên hệ từ kế mẫu rung. Hình 4b biểu diễn giá trị biến thiên entropy từ ΔS_m của mẫu với $x = 13$ khi chưa ủ nhiệt trong biến thiên từ trường $\Delta H = 12$ kOe. Giá trị biến thiên entropy từ cực đại đạt $|\Delta S_m|_{\max} = 1,02$ J/(kg.K).



Hình 3: sự phụ thuộc của từ độ vào nhiệt độ đo ở các từ trường khác nhau của mẫu $x = 13$ khi chưa ủ nhiệt



Hình 4: sự phụ thuộc của từ độ vào từ trường ở các nhiệt độ khác nhau (a) và sự phụ thuộc của biến thiên entropy từ vào nhiệt độ trong biến thiên từ trường 12 kOe (b) của mẫu $x = 13$ trước khi ủ

Chuyển pha từ và trật tự từ trong hợp kim được tìm hiểu rõ hơn thông qua các đường Arrott, M^2-H/M (hình 5a). Từ các đường này ta tìm ra được các đại lượng quan trọng như từ độ bão hòa M_s và độ cảm từ χ_0 tại các nhiệt độ khác nhau [5-9]. Các tham số tới hạn β , γ và δ liên hệ với hai đại lượng trên theo các công thức Arrott-Noakes như sau [5,10-13]:

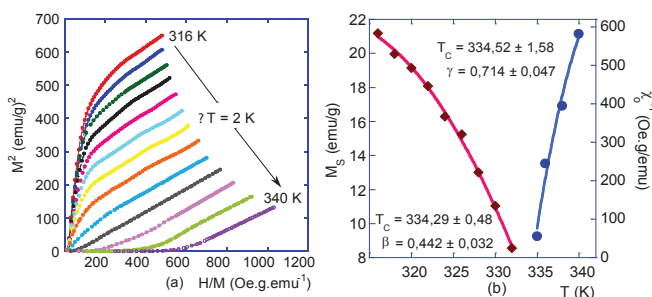
$$M_s(T) = M_0 \left(\frac{T - T_c}{T_c} \right)^\beta \quad T < T_c \quad (2)$$

$$H = DM^\delta \quad T = T_c \quad (3)$$

$$\chi_0^{-1}(T) = \frac{H_0}{M_0} \left(\frac{T - T_c}{T_c} \right)^\gamma \quad T > T_c \quad (4)$$

$$\delta = 1 + \gamma / \beta \quad (5)$$

Trong đó: M_0 , H_0 và D là các biên độ tới hạn.



Hình 5: các đường Arrott, M^2-H/M (a) và đường M_s và χ_0^{-1} phụ thuộc vào nhiệt độ (b) của mẫu $x = 13$ trước khi ủ nhiệt

Hình 5a là các đường M^2-H/M của mẫu với $x = 13$ khi chưa ủ nhiệt. Ta nhận thấy đường tương ứng với nhiệt độ 334 K (gần T_c) có dạng gần như tuyến tính. Các đường khác có dạng phi tuyến ở vùng từ trường thấp và dạng tuyến tính ở vùng từ trường cao. Hình dạng phần đường cong của những đường có nhiệt độ trên và dưới T_c có hướng ngược nhau. Khi ngoại suy tuyến tính đường Arrott tại vùng từ trường cao ta thu được các đường $M_s(T)$ và $\chi_0^{-1}(T)$ (hình 5b). Các đại lượng như T_c , β và γ tìm được bằng cách làm khớp số liệu của hai đường này với lý thuyết dựa theo công thức (2) và (4), δ tính được nhờ công thức (5) [2, 5]. Kết quả thu được là $T_c \approx 334$ K, $\beta = 0,442 \pm 0,032$, $\gamma = 0,714 \pm 0,047$ và $\delta = 2,61$. Ta thấy giá trị β nằm giữa mô hình trường trung bình (Mean field) và 3D-Heisenberg, trong khi γ có giá trị gần đúng với mô hình trường trung bình (bảng 1).

Bảng 1: giá trị tham số tới hạn của mẫu $x = 13$ trước khi ủ so với các mô hình lý thuyết

Vật liệu	β	γ	δ	Tài liệu tham khảo
$Ni_{50}Mn_{37}Sb_{13}$	0,442	0,714	2,61	Công trình này
Mean-field	0,5	1	3	[14]
3D Heisenberg	0,365	1,386	4,8	[14]
3D Ising	0,325	1,24	4,82	[14]

Kết quả trên có thể được giải thích là do khi mẫu có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ Curie thì một phần pha sắt từ vẫn còn tồn tại và pha này sẽ suy giảm dần khi nhiệt độ tăng thêm. Các kết quả như trên là hoàn toàn phù hợp với kết quả thể hiện trên đường $M(T)$ và $M(H)$ của mẫu như hình 3 và 4a.

Kết luận

Ảnh hưởng của hợp phần lên cấu trúc và tính chất từ của hợp kim $Ni_{50}Mn_{50-x}Sb_x$ ($x = 11, 12, 13, 14$ và 15) dạng băng đã được khảo sát. Cấu trúc và tính chất từ của hợp kim phụ thuộc mạnh vào

nồng độ Sb. Các mẫu với $x = 13, 14$ và 15 có cấu trúc đơn pha Ni_2MnSb . Chuyển pha AFM-FM quan sát thấy ở các mẫu có $x = 12, 13$ và 14 . Nhiệt độ chuyển pha loại này của các mẫu giảm theo chiều tăng của nồng độ Sb. Mẫu băng $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{37}\text{Sb}_{13}$ có giá trị biến thiên entropy từ lớn nhất đạt $1,02 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (trong biến thiên từ trường 12 kOe). Các tham số tới hạn của mẫu băng đã được xác định và chúng có giá trị nằm giữa mô hình trường trung bình và 3D-Heisenberg.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số VAST03.04/14-15; Phòng Thí nghiệm trọng điểm về vật liệu và linh kiện điện tử, Phòng Vật lý vật liệu từ và siêu dẫn (Viện Khoa học vật liệu); nghiên cứu sinh Đỗ Trần Hữu.

Tài liệu tham khảo

[1] Duc N.H, Thanh T.D, Yen N.H, Thanh P.T, Dan N.H and Phan T.L (2012), *J. Korean Phys. Soc*, **60(3)**, 454.

[2] Phan T.L, Duc N.H, Yen N.H, Thanh P.T, Dan N.H, Zhang P and Yu S.C (2012), *IEEE Trans.Magn*, **48(4)**, 1381.

[3] Duc N.H, Thanh T.D, Tam L.T.T, Tuan B.M, Thanh P.T,

Yen N.H, Long P.T and Dan N.H (2010), *Proceedings of The 5th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology (Ha Noi)*, p 197.

[4] Zeng R, Wang S.Q, Du G.D, Wang J.L, Debnath J.C, Shamba P, Fang Z.Y and Dou S.X (2012), *J. Appl. Phys*, **111**, 07E144.

[5] Arrott A and Noakes J.E (1967), *Phys. Rev. Lett*, **19**, 786.

[6] Oesterreicher H and Parker F.T (1984), *J. Appl. Phys*, **12**, 4334-1.

[7] Sahana M, Rossler U.K, Ghosh N, Elizabeth S, Bhat H.L, Dorr K, Eckert D, Wolf M and Müller K.H (2003), *Phys. Rev. B* **68**, 144408.

[8] Rößler S.R, Rößler U.K.R, Nenkov K, Eckert D, Yusuf S M, Dörr K and Müller K.H (2004), *Phys. Rev. B* **70**, 104417.

[9] Halder M, Yusuf S.M, Mukadam M.D and Shashikala K (2010), *Phys. Rev. B* **81**, 174402.

[10] Guan W, Liu Q.R, Gao B, Yang S, Wang Y, Xu M.W, Sun Z.B and Song X.P (2011), *J. Appl. Phys*, **109**, 07A903.

[11] Khovaylo V.V (2010), *Phys. Rev. B* **81**, 214406.

[12] Krenke T, Duman E, Acet M, Wassermann E.F, Moya X, Mañosa L and Planes A (2005), *Nature Mater*, **4**, 450.

[13] Basso V, Sasso C.P, Skokov K.P, Gutfleisch O and Ovaylo V.V (2012), *Phys. Rev. B*, **85**, 014430-1.

[14] Zhang P, Phan T.L, Duc N.H, Dan N.H and Yu S.C (2012), *IEEE Transactions on magnetics*, **48**, 3753.

Đánh giá độ nguy hiểm động đất lưu vực sông Cả - Rào Nậy

Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Cao Đình Trọng
Phạm Nam Hưng, Mai Xuân Bách, Thái Anh Tuấn

Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả sử dụng đồng thời hai tiếp cận: thống kê và tất định mới trong tính toán độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy. Kết quả cho thấy:

- Theo tiếp cận thống kê thì khu vực Tĩnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn (Nghệ An); Hương Sơn (Hà Tĩnh) là nơi có gia tốc dao động nền lớn nhất đối với các chu kỳ lặp lại động đất: 50 năm (190 cm/s^2); 100 năm (220 cm/s^2); 200 năm (260 cm/s^2); 500 năm (280 cm/s^2); 1.000 năm (300 cm/s^2); 5.000 năm (380 cm/s^2) và 10.000 năm (400 cm/s^2).

- Trong khi đó, theo tiếp cận tất định mới cho thấy, khu vực Tương Dương và Hòa Bình (Nghệ An) có giá trị dịch chuyển ngang cực đại (D_{max}) của nền có thể đạt $5 \div 12 \text{ cm}$, vận tốc dịch chuyển ngang cực đại (V_{max}) nằm trong khoảng $12 \div 28 \text{ cm/s}$ và gia tốc giao động nền cực đại (A_{max}) thay đổi từ $120 \div 280 \text{ cm/s}^2$.

- Trong điều kiện số liệu động đất quan sát còn kém đầy đủ thì việc kết hợp đồng thời cả hai cách tiếp cận: thống kê và tất định mới sẽ góp phần nâng cao hiệu quả nghiên cứu đánh giá, dự báo độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy.

Từ khóa: độ nguy hiểm động đất, lưu vực Sông Cả - Rào Nậy, tiếp cận tất định mới, tiếp cận thống kê.

Chỉ số phân loại 1.5

Mở đầu

Đánh giá độ nguy hiểm động đất đã được các nhà địa chấn Việt Nam như: Nguyễn Hồng Phương (1997), Nguyễn Đình Xuyên (1998, 2004), Trần Thị Mỹ Thành (2002)... [1-3, 5-12] nghiên cứu khá nhiều. Các nghiên cứu này dựa trên cơ sở tiếp cận thống kê, sử dụng các phương trình tắt dần dao động nền thông dụng như Cornell, Campbell 97... và các phần mềm chuyên dụng CRISIS99, EQRISK để tính và xây dựng bản đồ gia tốc nền với các chu kỳ lặp lại 500, 1.000, 2.500 năm... Trị số gia tốc dao động nền cực đại PGA được tính toán cho lãnh thổ Việt Nam và được thể hiện trên bản đồ tỷ lệ 1:1.000.000. Tuy nhiên, phương trình tắt dần dao động nền mang đậm tính địa phương và phụ thuộc nhiều vào đặc điểm động lực của chấn tiêu động đất, tính chất vùng nguồn và môi trường sóng địa chấn truyền qua nên việc áp dụng công thức nào cho phù hợp với đặc điểm địa chất, cấu trúc vỏ trái đất và địa chấn kiến tạo cho từng khu vực cụ thể là một công việc rất khó khăn. Chính vì thế mà việc áp dụng phương pháp nghiên cứu này khó đưa ra được những kết quả có độ tin cậy cao.

Để khắc phục những hạn chế về hiệu quả của

tiếp cận thống kê, chúng tôi đã áp dụng thêm tiếp cận tất định mới và bộ chương trình GNĐT để tính toán độ nguy hiểm động đất [13-16]. Tiếp cận tất định mới chú tâm đến một số vấn đề chủ yếu đã bị bỏ qua trong phân tích độ nguy hiểm động đất theo tiếp cận thống kê, cụ thể là tính chất của lớp vỏ trái đất ảnh hưởng đến sự tắt dần dao động như thế nào. Bắt đầu từ những thông tin có sẵn về cấu trúc vỏ trái đất, vùng nguồn và mức độ sinh chấn của khu vực điều tra, có thể ước tính gia tốc nền cực đại (A_{max}), vận tốc nền cực đại (V_{max}) và dịch chuyển nền cực đại (D_{max}). Ưu điểm của tiếp cận tất định mới là có thể tính toán độ nguy hiểm động đất ở những vùng thiếu thông tin về động đất.

Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả tiến hành đồng thời hai tiếp cận trong đánh giá độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy: tiếp cận thống kê và tiếp cận tất định mới. Cơ sở phương pháp luận của tiếp cận thống kê được trình bày khá chi tiết trong [1-3], về tiếp cận tất định có thể xem thêm trong [4].

Khu vực nghiên cứu được giới hạn trong khung tọa độ: từ $17^{\circ}30'$ đến $19^{\circ}45'$ độ vĩ Bắc và từ $103^{\circ}45'$ đến $107^{\circ}00'$ độ kinh Đông (hình 1). Đây là một phần kết quả của đề tài cấp nhà nước mã số KC.08.11/11-15.

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT (SHA) OF SONG CA - RAO NAY VALLEY

Summary

In this paper the authors present some results of seismic hazard prediction of Song Ca - Rao Nay valley according to probabilistic and neo-deterministic approaches. The results have shown that:

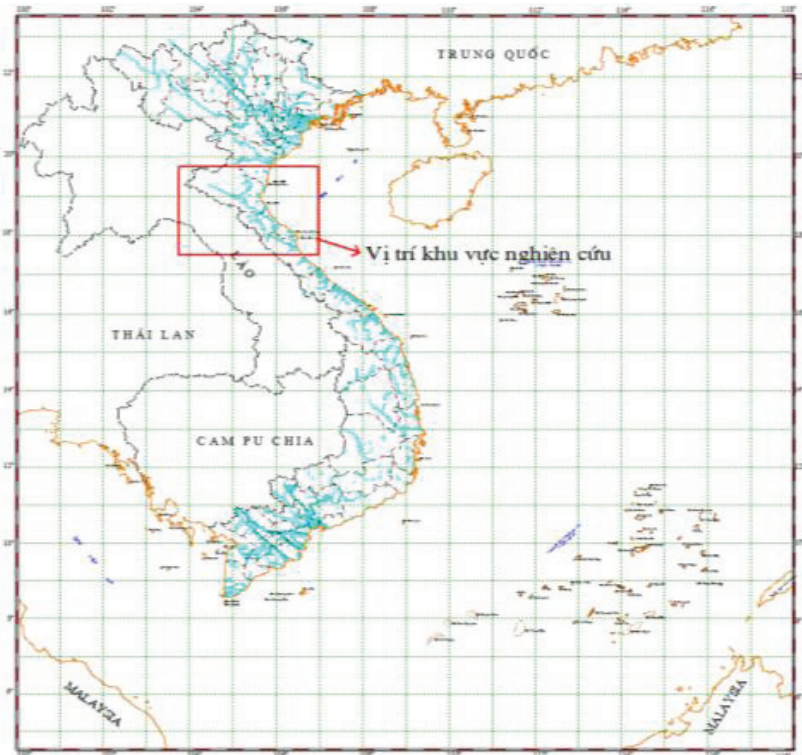
- According to the probabilistic approach, the areas of Tinh Gia (Thanh Hoa province); Thanh Chuong, Nam Đan (Nghe An province); Huong Son (Ha Tinh province) have the largest ground accelerations with respect to the periods of: 50 years (190 cm/s^2), 100 years (220 cm/s^2), 200 years (260 cm/s^2), 500 years (280 cm/s^2), 1,000 years (300 cm/s^2), 5,000 years (380 cm/s^2) and 10,000 years (400 cm/s^2).

- Meantime, the neo-deterministic approach for seismic hazard prediction has shown that the areas of Tuong Duong and Hoa Binh (Nghe An province) have the maximum horizontal ground displacement (D_{\max}) equal to $5 \div 12 \text{ cm}$, maximum horizontal velocity (V_{\max}) in the range of $12 \div 28 \text{ cm/s}$ and maximum ground motion (A_{\max}) ranging from $120 \div 280 \text{ cm/s}^2$.

- In the case of missing observation earthquake catalogues, the combination of both probabilistic and neo-deterministic approaches allows us to improve the efficiency of seismic hazard assessment and prediction in the Song Ca - Rao Nay valley.

Keywords: neo-deterministic approach, probabilistic approach, seismic hazard assessment (SHA), Song Ca - Rao Nay valley.

Classification number 1.5



Hình 1: sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu

Biểu hiện hoạt động động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy

Theo tài liệu quan trắc và điều tra trong nhân dân (tư liệu của Viện Vật lý địa cầu) thì trong thế kỷ XX và vào những năm đầu của thế kỷ XXI tại lưu vực Sông Cả - Rào Nậy không xảy ra động đất có cấp độ mạnh hơn hoặc bằng 5,0. Tuy vậy, tư liệu lịch sử có ghi nhận 5 động đất với $M > 5,0$ vào các năm 1136 (1137?), 1767, 1777 (2 trận) và 1821. Đáng lưu ý nhất là động đất: năm 1136 (1137?) làm cho nước sông đỏ như máu; năm 1767 làm cho núi lở; và năm 1821 làm cho nhà dân xiêu đi nhiều.

- Động đất năm 1136 (1137?) được ghi nhận đã xảy ra tại khu vực Diễn Châu. Các nhà địa chấn Viện Vật lý địa cầu cho rằng trận động đất này có cường độ phá hủy trên bề mặt là cấp VII, song để làm cho nước sông vẫn đỏ thì chắc là động đất phải rất mạnh. Có thể mạnh hơn động đất Tuần Giáo năm 1983, có nghĩa là có thể có cấp độ mạnh trên 6,7?

- Động đất năm 1767 được ghi nhận là tại khu vực Diễn Châu - Quỳnh Lưu với chấn động trên bề mặt đạt cấp VII, song có ghi là làm cho núi ở Thanh Hóa bị lở cho nên có thể đây là một động đất mạnh.

- Theo Nguyễn Đình Xuyên (2004) [11] thì trận động đất năm 1821 có cường độ chấn động $I_0 = 8,0$ và với cấp độ mạnh $M = 6,0$.

Danh mục động đất có được cho đến hết năm 2012 (theo tài liệu của Viện Vật lý địa cầu, có bổ sung thêm tài liệu của NOAA, ISC và NEIS) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy được đề cập trong bảng 1.

Bảng 1: danh mục động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy (theo tư liệu Viện Vật lý địa cầu, có bổ sung thêm tài liệu của NOAA, ISC và NEIS)

Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	Giây	Vĩ độ	Kinh độ	Độ sâu	M
114	1	1	3	0	0	1750	10660	17	6,0
1137	2	1	5	0	0	1867	10566	10	5,1
1715	3	1	0	0	0	1911	10569	10	4,1
1767	1	1	0	0	0	1911	10569	10	5,1
1821	7	1	0	0	0	1867	10566	17	6,0
1903	7	1	6	0	0	1867	10567	11	5,2
1913	3	1	1	0	0	1842	10575	10	4,5
1920	4	1	18	0	0	1867	10550	12	4,6
1923	4	1	5	0	0	1866	10550	15	4,8
1928	4	1	22	0	0	1842	10575	15	4,2
1930	4	1	12	0	0	1908	10533	12	4,6
1930	10	16	0	0	0	1815	10626	14	3,3
1933	4	1	23	0	0	1900	10557	12	4,3
1938	2	1	9	0	0	1892	10525	12	4,6
1939	5	23	9	32	0	1900	10490	24	4,9
1942	1	1	18	0	0	1805	10558	8	4,3
1943	7	1	14	0	0	1808	10633	14	4,7
1945	1	1	0	0	0	1822	10666	12	3,2
1946	7	1	18	0	0	1892	10525	16	4,9
1957	1	1	0	0	0	1925	10450	21	5,2
1965	7	2	21	48	0	1860	10540	15	4,1
1966	10	1	23	0	0	1936	10545	17	4,1
1967	1	1	0	0	0	1843	10575	19	4,3
1968	5	16	15	9	0	1730	10550	15	5,0
1975	10	21	23	19	0	1930	10410	33	4,5
1976	1	1	0	0	0	1833	10581	18	3,6
1976	7	12	20	29	0	1833	10510	11	3,4
1976	7	13	22	0	0	1861	10635	10	3,7
1976	9	9	17	55	0	1928	10446	5	3,1
1976	10	23	2	0	0	1824	10540	5	3,6
1977	3	19	18	28	0	1889	10530	7	3,6
1977	4	13	0	8	0	1864	10455	19	4,0
1977	9	10	11	11	0	1800	10650	25	3,2
1977	10	1	5	55	0	1925	10355	20	4,0
1978	5	3	22	1	0	1900	10637		3,2
1979	4	11	8	0	0	1940	10440	10	3,4
1979	8	5	21	29	0	1849	10587	18	3,6
1981	1	23	8	9	0	1909	10360	5	3,6
1982	12	18	15	56	0	1830	10470	33	4,5
1982	5	4	4	59	0	1940	10700	15	3,6
1984	1	10	16	57	0	1816	10411	5	3,5
1985	8	19	16	31	0	1750	10480	33	4,2
1985	10	18	8	37	0	1801	10482	21	4,6
1986	4	17	1	42	0	1820	10490	33	3,9
1988	8	30	14	26	0	1825	10619	14	3,8
1990	5	6	15	32	0	1857	10445		3,1
1991	6	28	14	39	0	1820	10478	3	3,2
1991	7	8	1	35	0	1823	10487	19	3,4
1995	8	4	17	31	0	1813	10582		3,5
1996	4	18	2	56	0	1799	10569	13	3,1
1999	8	22	16	22	0	1767	10512	5	3,9
2000	4	14	11	12	0	1874	10478	1	4,2
2002	1	25	12	6	0	1841	10610		3,5
2003	2	21	15	44	0	1943	10406		3,3
2004	1	15	12	34	0	1822	10628	16	3,3
2004	9	12	20	30	0	1893	10410		3,0
2004	10	7	18	20	0	1850	10533	10	3,1
2005	1	7	14	25	0	1902	10532	6	4,7
2005	1	7	14	25	0	1902	10532	6	4,7
2005	1	8	4	26	0	1907	10562	10	3
2005	1	12	16	0	0	1910	10539	13	4,6
2005	1	12	16	0	0	1910	10539	13	4,6
2005	1	12	16	0	0	1909	10538	7	4,6
2005	1	13	6	1	0	1912	10568	16	3,1
2005	1	17	17	42	0	1915	10526		3,2
2005	1	26	4	32	0	1820	10427	17	3,7
2006	2	26	16	12	0	1942	10369	10	3,5
2012	9	29	12	57	0	1941	10507	17	3,3
2012	9	29	15	46	0	1936	10515	17	3,2
2012	11	30	9	40	20	1865	10481	10	4,1

Đánh giá độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận thống kê

Đánh giá độ nguy hiểm động đất trên cơ sở tiếp cận thống kê tại một điểm là xác suất xảy ra chấn động cường độ I tại điểm đó trong một khoảng thời gian xác định. Khoảng thời gian xác định ở đây phụ thuộc vào từng yêu cầu cụ thể của bài toán (có thể là 10, 20, 50 hay 10.000 năm). Trong đánh giá độ nguy hiểm động đất phục vụ thiết kế công trình thì: đối với động đất cơ sở vận hành (Operating Basic Earthquake - OBE), thời gian lựa chọn thường là 475 năm, tương ứng với mức xác suất vượt quá 10% trong 50 năm; đối với động đất cực đại tin cậy là 145 năm, mức xác suất vượt quá 50% trong 50 năm.

Quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất trên cơ sở tiếp cận thống kê được tiến hành theo các bước sau [1-3, 5, 12]:

Bước 1: dựa trên các số liệu địa chất, kiến tạo, địa vật lý, hoạt động động đất để xác định các vùng nguồn phát sinh động đất.

Bước 2: xác định đặc trưng của mỗi vùng nguồn thông qua các giá trị như magnitude cực đại (Mmax), giá trị b trong hàm Gutenberg-richter, tốc độ hoạt động động đất.

Bước 3: đánh giá tác động của động đất thông qua các quy luật lan truyền chấn động.

Bước 4: tính toán độ nguy hiểm động đất với các thông số của những vùng nguồn trong khu vực nghiên cứu.

Trong bước 2, có 2 mô hình địa chấn được sử dụng trong đánh giá xác suất là mô hình nổi tiếng Poisson và mô hình đặc trưng địa chấn. Trong mô hình Poisson, quy luật xuất hiện động đất tuân theo quy luật phân bố Poisson; còn trong mô hình đặc trưng địa chấn, quy luật xuất hiện động đất tuân theo quy luật Gause. Theo các kết quả nghiên cứu thống kê quy luật xuất hiện động đất khu vực có tính địa chấn vừa và nhỏ thì phân bố Poisson bao quát được hiện tượng xuất hiện động đất. Trong khi đó, với khu vực có tính địa chấn cao, có các trận động đất mạnh đã từng xảy ra, thì

quy luật Gause bao quát được hiện tượng động đất. Như vậy, việc lựa chọn mô hình địa chấn phụ thuộc vào từng điều kiện cụ thể của khu vực nghiên cứu [1-3].

Trong bước 3, đặc trưng địa chất của khu vực nghiên cứu được đưa vào trong đánh giá độ nguy hiểm động đất thông qua các hàm tắt dần dao động theo magnitude và khoảng cách tới các vùng nguồn. Phương trình tắt dần dao động nền theo khoảng cách được lựa chọn sao cho phù hợp với đặc trưng của khu vực nghiên cứu. Tại các vùng có tính địa chấn cao, tính đầy đủ của các băng ghi địa chấn, các phương trình tắt dần dao động được xây dựng. Trong các phương trình này, thông số nền đất, đặc trưng vùng nguồn (cấu trúc địa chất, hướng cắm đứt gãy), độ lớn magnitude và khoảng cách từ vùng nguồn tới điểm khảo sát được đưa vào. Đối với khu vực có tính đầy đủ của băng ghi địa chấn thấp, người ta sử dụng phương trình tắt dần dao động của những vùng với nguyên tắc lựa chọn theo phương pháp tương đồng địa chấn (tương tự địa chấn). Những phương trình tắt dần dao động nổi tiếng trên thế giới có thể kể đến như [1-3]: *Phương trình Cornell, Công thức Boore, Joyner và Fumal, Công thức Campbell*. Campbell là một trong những công thức mới nhất và chi tiết nhất có kể đến động đất xảy trên đứt gãy loại nào? (đứt gãy trượt bằng, thuận, nghịch) và với điều kiện nền đất như: đá, đá mềm.

Trong bước 4, độ nguy hiểm động đất tại vùng nguồn i được tính với sự ảnh hưởng của tất cả vùng nguồn j [1-3]. Vùng nguồn trong đánh giá độ nguy hiểm động đất có thể là nguồn diện, nguồn đường hay nguồn điểm. *Nguồn diện* là những vùng đa giác hình học đơn giản hoặc phức tạp. Có thể đưa vào ở dạng kết hợp với tọa độ địa lý (kinh độ và vĩ độ) và độ sâu của mỗi điểm đa giác. Đặc điểm của nguồn địa chấn này cho phép làm việc với những vùng nguồn có độ sâu thay đổi (rất có ích khi mô hình hoá những vùng nguồn liên quan đến đới hút chìm). *Nguồn đường* là vùng nguồn được mô hình hoá như một đường. Dùng chức năng này cho đứt gãy, người ta luôn kết hợp được tại mỗi điểm tọa độ địa lý và độ sâu. *Nguồn điểm* là vùng nguồn được mô hình hoá như một điểm xác định bởi tọa độ địa lý và độ sâu.

Độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận thống kê

Dựa vào bản đồ vùng nguồn phát sinh động đất và các thông số đã được xác định (Cao Đình Triều và nnk, 2013) [8], chúng tôi đã tiến hành tính toán gia tốc dao động nền tương ứng với các chu kỳ lặp lại động đất: 50 năm, 100 năm, 200 năm, 500 năm,

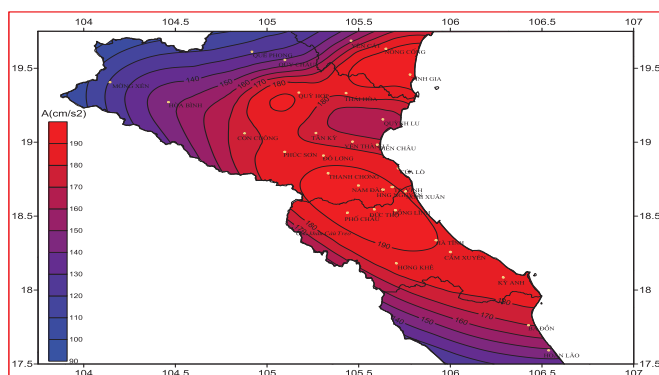
1.000 năm, 5.000 năm và 10.000 năm. Từ danh mục động đất, xác định được đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu. Tốc độ hoạt động động đất được xác định dựa trên số trận động đất có $M > M_0$ chia cho số năm thu thập số liệu của vùng nghiên cứu. Tốc độ hoạt động động đất trung bình cho khu vực nghiên cứu là $\nu = 0,2$.

$$\text{Log} \frac{N(M)}{T} = 3,2409 - 0,5224M \quad (1)$$

Quan sát dao động mạnh ở Việt Nam mới chỉ bắt đầu được tiến hành từ năm 2000 và mới chỉ thu thập được số liệu dao động từ trận động đất Điện Biên $M=5,3$ năm 2001. Tính toán độ nguy hiểm động đất cần chọn quan hệ tắt dần chấn động phù hợp. Trong bài báo này, chúng tôi lựa chọn mô hình tắt dần chấn động của Vân Nam (Trung Quốc) do sự tương đồng về hoàn cảnh địa lý cũng như kiến tạo. Công thức Xiang Janguang & Gao Dong (1994) cho vùng Vân Nam (Trung Quốc) được xây dựng trên tập hợp số liệu dao động nền của động đất vùng Vân Nam và một số số liệu của động đất mạnh ở Trung Quốc như Đường Sơn, Hải Thành. Phương trình có dạng:

$$A(\text{cm/s}^2) = 1291,07e^{0,525716(R+15)} - 1,5785 \quad (2)$$

Kết quả đánh giá độ nguy hiểm động đất khu vực Sông Cả - Rào Nậy theo các chu kỳ lặp lại khác nhau của động đất được trình bày đại diện trong các hình 2 đến 5:

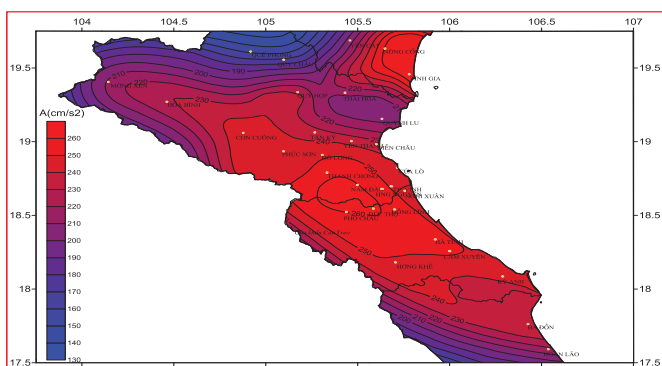


Hình 2: gia tốc dao động nền (PGA) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại 50 năm

- Đối với chu kỳ lặp lại động đất 50 năm (hình 2), gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy biến đổi trong giới hạn từ 90 cm/s^2 đến trên 190 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích vùng tây bắc Nghệ An giáp ranh với đường biên giới Việt - Lào và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=90 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=190 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện

tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Quỳnh Hợp, Tân Kỳ, Đô Lương, Nam Đàn, Nghi Lộc và TP Vinh (Nghệ An); Hương Sơn, Hương Khê, Thạch Hà, Cẩm Xuyên và TP Hà Tĩnh (Hà Tĩnh).

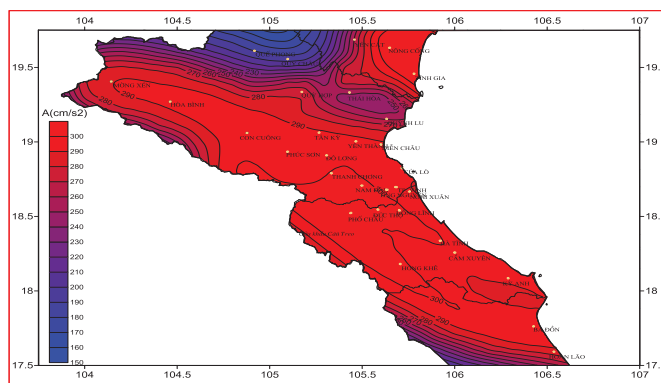
- Với chu kỳ lặp lại động đất 100 năm, gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy biến đổi trong giới hạn từ 120 cm/s^2 đến trên 220 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích vùng tây bắc Nghệ An giáp ranh với đường biên giới Việt - Lào và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=120 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=220 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Đô Lương, Nam Đàn, Nghi Lộc và TP Vinh (Nghệ An); Hương Sơn, Hương Khê (Hà Tĩnh).



Hình 3: gia tốc dao động nền (PGA) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại 200 năm

- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 200 năm (hình 3) có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 130 cm/s^2 đến trên 260 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích vùng tây bắc Nghệ An giáp ranh với đường biên giới Việt - Lào và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=130 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=260 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn (Nghệ An); Hương Sơn (Hà Tĩnh).

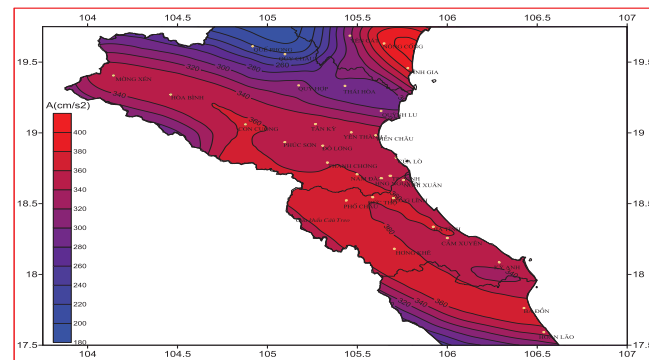
- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 500 năm có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 140 cm/s^2 đến trên 280 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích vùng tây bắc Nghệ An giáp ranh với đường biên giới Việt - Lào và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=140 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=280 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Tân Kỳ, Thanh Chương, Đô Lương, Nam Đàn, Nghi Lộc, TP Vinh (Nghệ An); Hương Sơn, Đức Thọ, Vũ Quang, Thạch Hà, TP Hà Tĩnh (Hà Tĩnh).



Hình 4: gia tốc dao động nền (PGA) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại 1.000 năm

- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 1.000 năm (hình 4) có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 150 cm/s^2 đến trên 300 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích huyện Quế Phong và Quỳnh Châu (Nghệ An) và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=150 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=300 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn, Hưng Nguyên (Nghệ An); Hương Sơn, Vũ Quang, Hương Khê (Hà Tĩnh).

- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 5.000 năm có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 180 cm/s^2 đến trên 380 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích huyện Quế Phong và Quỳnh Châu (Nghệ An) và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=180 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=380 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tỉnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn, Hưng Nguyên (Nghệ An); Hương Sơn, Vũ Quang, Hương Khê (Hà Tĩnh).



Hình 5: gia tốc dao động nền (PGA) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại 10.000 năm

- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 10.000 năm (hình 5) có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 180 cm/s^2 đến

trên 400 cm/s^2 . Giá trị gia tốc thấp nhất bao trùm toàn bộ diện tích huyện Quế Phong và Quỳnh Châu (Nghệ An) và phần diện tích thuộc tỉnh Quảng Bình ($\text{PGA}=180 \text{ cm/s}^2$). Giá trị cực đại gia tốc dao động nền ($\text{PGA}=400 \text{ cm/s}^2$) bao trùm phần lớn diện tích của các huyện và thành phố: Tĩnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn, Hưng Nguyên (Nghệ An); Hương Sơn, Vũ Quang, Hương Khê (Hà Tĩnh).

Tiếp cận tất định mới trong nghiên cứu dự báo độ nguy hiểm động đất

Đánh giá độ nguy hiểm động đất trên cơ sở tiếp cận tất định mới tại một điểm là xác định cường độ I tại điểm đó theo kịch bản động đất lớn nhất có nguy cơ xảy ra trong vùng nghiên cứu. Cường độ chấn động (I) ở đây là: gia tốc dao động nền (A); vận tốc dao động nền (V); hoặc dịch chuyển nền (D). Quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất theo tiếp cận tất định mới bao gồm các bước thực hiện cơ bản sau [4-10, 13-16]:

Bước 1: xác định vùng nguồn phát sinh động đất với các tham số về cơ cấu chấn tiêu vùng nguồn, đánh giá cực đại động đất có thể xảy ra tại mỗi vùng nguồn.

Bước 2: xác định các đới cấu trúc và các tham số về mật độ cũng như vận tốc sóng địa chấn tại các lớp của mỗi vùng.

Bước 3: xác định quy luật tắt dần chấn động.

Bước 4: tính toán độ nguy hiểm động đất.

Tiếp cận tất định mới trong phân chia vùng nguồn

Bắt đầu từ những thông tin có sẵn về địa chấn kiến tạo, địa động lực (các đứt gãy hoạt động hay các vùng có độ hoạt động động đất tích cực), vùng nguồn được xác định như sau [4]:

- Xác lập các hệ thống đứt gãy khu vực nghiên cứu trên cơ sở tổ hợp tài liệu địa chất, địa vật lý và các kết quả nghiên cứu về đặc trưng cấu trúc vỏ trái đất.

- Xác lập các đứt gãy hoạt động trên cơ sở biểu hiện hoạt động theo tài liệu địa chất, địa vật lý.

- Xác định nguồn phát sinh động đất trên cơ sở biểu hiện hoạt động động đất gắn liền với các đứt gãy hoạt động.

- Các nguồn phát sinh động đất có đặc trưng chung nhất về cơ cấu chấn tiêu, đặc điểm cấu trúc, địa động lực, đặc điểm biến dạng được gộp lại thành một vùng nguồn. Ranh giới của vùng nguồn là đường biên trùng với giải có độ hoạt động địa chấn thấp

nhất. Ranh giới của các vùng nguồn không được chồng lên nhau.

- Xác định cơ cấu chấn tiêu và cực đại động đất có thể xảy ra tại mỗi vùng nguồn.

Xác định các đới cấu trúc chính trong khu vực nghiên cứu

Từ những thông tin về cấu trúc vỏ trái đất, bản đồ địa chất cũng như bản đồ mặt ranh giới cơ bản cho phép chúng ta xác định được các đới cấu trúc với các tham số về mật độ cũng như vận tốc truyền sóng tại các lớp của mỗi đới cấu trúc. Các đới cấu trúc cũng phải phủ kín khu vực nghiên cứu và ranh giới của các đới không được chồng lên nhau [4].

Xác định quy luật tắt dần chấn động

Quá trình này được thực hiện nhờ áp dụng các quy luật tắt dần chấn động theo khoảng cách, được rút ra từ những kết quả thực nghiệm. Kết quả nhận được là giá trị của các tham số rung động nền tại mỗi điểm tính, được xác định như hàm magnitude động đất cực đại M và khoảng cách R từ nguồn đến điểm tính [4, 13-16].

Tính toán độ nguy hiểm động đất

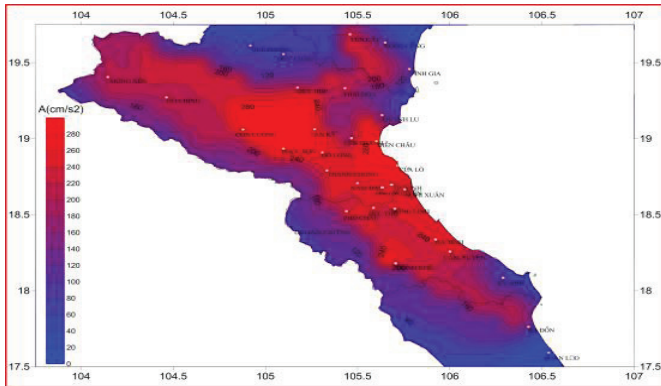
Tính toán độ nguy hiểm động đất áp dụng phương pháp cộng phương thức (modal summation viết tắt là MS) [13-16], phương pháp này cho phép đánh giá phản ứng rung động nền có xét đến các yếu tố quan trọng là đặc trưng nguồn chấn động, sự lan truyền sóng địa chấn và các điều kiện địa chất, địa kỹ thuật của môi trường.

Các tham số đầu vào là đặc trưng vùng nguồn phát sinh động đất và đặc điểm cấu trúc địa chất khu vực nghiên cứu. Mô hình cấu trúc khu vực được xác định như là một tập hợp các lớp nằm ngang, mỗi lớp được xác định với các tham số về mật độ, bề dày, vận tốc sóng P và sóng S. Và từ những hiểu biết về sự lan truyền sóng có thể mô phỏng quá trình phát sinh và lan truyền sóng từ nguồn địa chấn đến các điểm quan sát.

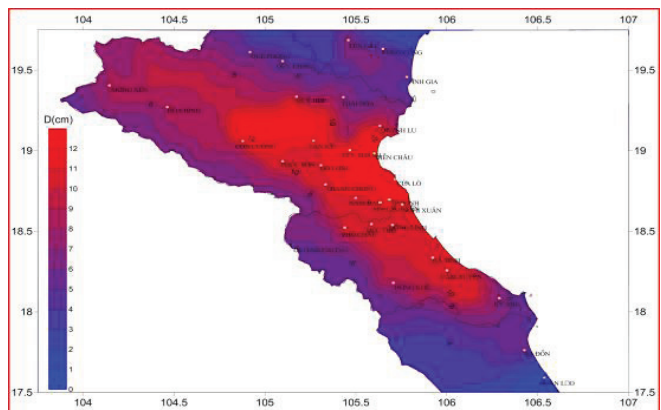
Kết quả dự báo độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy theo tiếp cận tất định mới

Bộ chương trình GNDT được sử dụng trong tính toán độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy. Kết quả xác định độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy theo tiếp cận tất định mới (hình 6 đến hình 8) cho thấy: dịch chuyển ngang cực đại (D_{\max}) có thể đạt từ $8\div 12 \text{ cm}$ tại khu vực Tương Dương, Hòa Bình (Nghệ An); tương ứng tại các khu vực này vận tốc cực đại nằm ngang (V_{\max}) thay đổi từ $20\div 28 \text{ cm/s}$ và gia tốc dao động nền cực đại

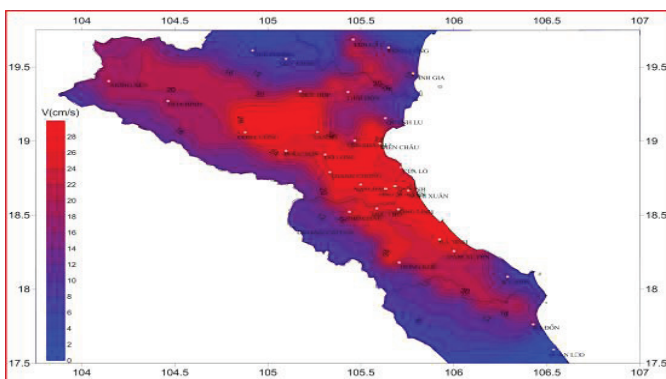
(Amax) thay đổi từ 220÷280 cm/s². Tương đương với cường độ chấn động từ cấp VIII đến IX theo thang chia cường độ chấn động MSK-64.



Hình 6: dự báo gia tốc nền cực đại (Amax) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận tất định mới [4]



Hình 7: dự báo giá trị dịch chuyển nằm ngang (Dmax) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận tất định mới [4]



Hình 8: dự báo vận tốc dịch chuyển nền cực đại (Vmax) lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận tất định mới [4]

Thảo luận kết quả chung của hai cách tiếp cận trong đánh giá độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy theo hai tiếp cận khác nhau (thống kê và tất định mới) cho

thấy sự khác biệt đáng kể về khu vực có độ nguy hiểm động đất lớn nhất. Chẳng hạn:

- Theo tiếp cận thống kê ta thấy: khu vực Tĩnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn (Nghệ An); Hương Sơn (Hà Tĩnh) là nơi có gia tốc dao động nền lớn nhất đối với các chu kỳ lặp lại động đất khác nhau.

- Trên cơ sở tiếp cận tất định mới cho thấy: khu vực Tương Dương và Hòa Bình (Nghệ An) là nơi được dự báo có biểu hiện nguy hiểm động đất lớn nhất.

Sự khác biệt về kết quả tính toán có thể lý giải như sau:

1. Số liệu động đất có được tại lưu vực Sông Cả - Rào Nậy còn kém đầy đủ. Các trận động đất lịch sử và điều tra trong nhân dân có cấp độ mạnh nhất chủ yếu tập trung dọc ven biển. Với sự phân bố mạng trạm địa chấn thưa thớt (chỉ có một trạm Vinh được xây dựng năm 1990), số liệu động đất quan sát được còn kém đầy đủ. Đây là những yếu tố tác động lớn đến kết quả của tiếp cận thống kê, một tiếp cận đòi hỏi số liệu động đất đầy đủ và phân bố tốt cả về không gian lẫn thời gian.

2. Tiếp cận tất định mới có ưu thế lớn là khắc phục được những yếu kém về số liệu [13-16]. Vì vậy, trong điều kiện số liệu kém đầy đủ như tại lưu vực Sông Cả - Rào Nậy và với việc nghiên cứu đứt gãy hoạt động có độ tin tưởng cao thì tiếp cận tất định mới sẽ cho ta khả năng dự báo độ nguy hiểm động đất có hiệu quả cao hơn.

Từ những hạn chế của tiếp cận thống kê và cũng nhằm góp phần nâng cao hiệu quả trong nghiên cứu đánh giá, dự báo độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy thì việc áp dụng tiếp cận tất định mới là một hướng nghiên cứu hợp lý. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy, tiếp cận tất định mới phần nào đã khắc phục được sự thiếu hụt và đặc điểm không liên tục của số liệu động đất.

Kết luận

- Gia tốc dao động nền lưu vực Sông Cả - Rào Nậy với chu kỳ lặp lại động đất 50 năm nằm trong giới hạn 90÷190 cm/s²; 100 năm: 120÷220 cm/s²; 200 năm: 130÷260 cm/s²; 500 năm: 140÷280 cm/s²; 1.000 năm: 150 đến trên 300 cm/s²; 5.000 năm: 180 đến trên 380 cm/s² và 10.000: 180÷400 cm/s². Khu vực Tĩnh Gia (Thanh Hóa); Thanh Chương, Nam Đàn (Nghệ An); Hương Sơn (Hà Tĩnh) là nơi có gia tốc dao động nền lớn nhất đối với các chu kỳ lặp lại động đất: 50 năm (190 cm/s²); 100 năm (220 cm/s²);

200 năm (260 cm/s^2); 500 năm (280 cm/s^2); 1.000 năm (300 cm/s^2); 5.000 năm (380 cm/s^2) và 10.000 năm (400 cm/s^2).

- Trên cơ sở tiếp cận tất định mới cho thấy khu vực Tương Dương và Hòa Bình (Nghệ An) là nơi được dự báo có biểu hiện nguy hiểm động đất lớn nhất. Tại đây, giá trị dịch chuyển ngang cực đại (D_{\max}) của nền có thể đạt $5 \div 12 \text{ cm}$, vận tốc dịch chuyển ngang cực đại (V_{\max}) nằm trong khoảng $12 \div 28 \text{ cm/s}$ và gia tốc giao động nền cực đại (A_{\max}) thay đổi từ $120 \div 280 \text{ cm/s}^2$. Các giá trị này tương đương với cường độ chấn động từ cấp VII đến IX theo thang chia cường độ chấn động MSK-64.

- Trong điều kiện số liệu động đất quan sát còn kém đầy đủ thì việc kết hợp đồng thời cả hai tiếp cận: thống kê và tất định mới sẽ góp phần nâng cao hiệu quả nghiên cứu đánh giá, dự báo độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Hồng Phương (1993), "Đánh giá xác suất độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam", *Luận án tiến sĩ*, Viện Vật lý trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học Liên bang Nga, Matxcova.

[2] Nguyễn Hồng Phương (2004), "Bản đồ độ nguy hiểm động đất Việt Nam và biển Đông", *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, Hà Nội, **26(2)**, tr. 97-111.

[3] Nguyễn Hồng Phương (2008), "Những tiến bộ trong phương pháp luận đánh giá độ nguy hiểm động đất ở Việt Nam", *Tuyển tập các công trình nghiên cứu Vật lý địa cầu 2008*, Hà Nội, tr. 70-86.

[4] Thái Anh Tuấn, Nguyễn Đức Vinh (2013), "Dự báo độ nguy hiểm động đất lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận tất định mới", *Tạp chí Khoa học và công nghệ biển*, **tập 13, số 3A**, Hà Nội, tr. 9-16.

[5] Trần Thị Mỹ Thành (2002), "Đánh giá độ nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam và lân cận", *Luận án tiến sĩ*.

[6] Cao Đình Triều (2010), "Tai biến động đất ở Việt Nam", *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*, Hà Nội, 304 trang.

[7] Cao Đình Triều, Đặng Thanh Hải, Mai Xuân Bách, Ngô Gia Thắng (2003), "Các đới đứt gãy hoạt động ở phần phía Bắc lãnh thổ Việt Nam", *Tạp chí Địa chất*, **loạt A, số 279 (11-12)**, Hà Nội, tr.8-19.

[8] Cao Đình Triều, Franko V, Nguyễn Hữu Tuyên, Nguyễn Thế Hùng (2009), "Nghiên cứu tai biến động đất ở Việt Nam trên cơ sở phương pháp tất định mới", *Tạp chí Địa chất*, **loạt A, số 314 (9-10)**, Hà Nội, tr.56-62.

[9] Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Bùi Anh Nam, Cao Đình Trọng, Mai Thị Hồng Thắm (2013), "Một số nét về đặc điểm địa chấn kiến tạo lưu vực Sông Cả - Rào Nậy", *Tạp chí Khoa học và công nghệ biển*, **số 3A, tập 13**, Hà Nội, tr.183-191.

[10] Thái Anh Tuấn, Lê Văn Dũng, Mai Xuân Bách (2011), "Đánh giá độ nguy hiểm động đất khu vực thành phố Hà Nội và lân cận trên cơ sở thuật toán tất định mới", *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, **33/2: 200-208**, Hà Nội.

[11] Thái Anh Tuấn, Nguyễn Đức Vinh (2012), "Tính toán băng địa chấn tổng hợp phục vụ vi phân vùng động đất Hà Nội cũ", *Tạp chí Địa chất*, **loạt A, số 331-332, 5-8/2012**, Hà Nội, tr.69-79.

[12] Nguyễn Đình Xuyên (chủ nhiệm) (2004), "Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam", *Đề tài độc lập cấp nhà nước*.

[13] Fäh D, Suhadolc P, Mueller and Panza G.F (1994), "A hybrid method for the estimation of ground motion in sedimentary basins; quantitative modelling for Mexico City", *Bull Seism. Soc. Am.*, **84**: 383-399.

[14] Giuliano F. Panza (1985), "Synthetic seismograms: The Rayleigh waves modal summation", *J. Geophysics* **58**, 125-145.

[15] Giuliano F. Panza, Fabio Romanelli, Franco Vaccari (2000), "Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation", *Trieste*, pp. 122.

[16] University of Trieste (2004), *GNDT Deterministic Seismic Zoning Reference Guide (version 0.5.4)*. University of Trieste, pp.68.

Một số kết quả nghiên cứu nguồn nước nóng Bang, tỉnh Quảng Bình

Đoàn Văn Tuyển, Đinh Văn Toàn, Trần Anh Vũ, Lại Hợp Phòng

Viện Địa chất, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Bài báo trình bày kết quả lần đầu tiên ở Việt Nam áp dụng tổ hợp các phương pháp địa chất, địa hóa học, địa vật lý đã xác định được vị trí phân bố và các chỉ thị của mô hình hệ thủy địa nhiệt nguồn gốc magma điển hình ở khu vực nguồn nước nóng Bang thuộc tỉnh Quảng Bình. Nhiệt độ bồn nhiệt xác định được từ các địa nhiệt kế hóa học cho giá trị trong khoảng 167-210°C, bề mặt bồn nhiệt đạt 200°C ở độ sâu 3 km. Kết quả nghiên cứu cho phép lựa chọn vị trí thích hợp để triển khai bước tiếp theo khoan thăm dò bồn địa nhiệt.

Từ khóa: bồn, chu trình kép, địa nhiệt, địa nhiệt kế hóa học, magma, nguồn nước nóng Bang, thủy địa nhiệt, từ telua.

Chỉ số phân loại 1.5

SOME STUDY RESULTS OF BANG HOT WATER RESOURCE IN QUANG BINH PROVINCE

Summary

This paper presents the results of firstly using a combination of geological, geochemical, geophysical methods to identify the area of Bang hot water resource in Quang Binh province. It has identified the location and indications of the model of a typical hydro-geothermal system with magmatic origin. Reservoir temperature has been determined by geochemical thermometers, giving values in the range of 167-210°C; temperature at the surface of reservoir can reach 200°C at the depth of 3 km. The obtained data allow to determine the suitable location for exploration drilling to the reservoir in the next phase.

Keywords: Bang hot water resource, binary cycle, geochemical thermometer, geothermal, hydro-thermal, magma, magnetotelluric, reservoir.

Classification number 1.5

Tổng quan

Địa nhiệt là một trong các nguồn năng lượng sạch có khả năng tái tạo, tiềm năng vô cùng lớn nhưng trình độ công nghệ hiện nay mới chỉ khai thác được một phần rất nhỏ, sử dụng ở hai dạng: 1) Sử dụng trực tiếp; 2) Phát điện địa nhiệt.

Sử dụng trực tiếp bao gồm các dạng khai thác nước nóng xuất lộ để cung cấp nhiệt cho sản xuất, sưởi ấm, chữa bệnh, du lịch... là dạng sử dụng truyền thống; khai thác nhiệt đất để điều hòa không khí (làm mát về mùa hè, sưởi ấm về mùa đông) bằng công nghệ bơm nhiệt đất được sử dụng nhiều ở Mỹ, châu Âu và Trung Quốc, việc xác định các nguồn địa nhiệt này không đòi hỏi công nghệ phức tạp. Phát điện địa nhiệt trước đây với công nghệ phát điện hơi nước đòi hỏi nhiệt độ cao >180°C, chỉ có điều kiện thực hiện được ở các vùng núi lửa trẻ hoạt động và rift, hiện nay với công nghệ phát điện chu trình kép (binary cycle) chỉ cần nhiệt độ >100°C, mở ra khả năng khai thác các nguồn địa nhiệt nhiệt độ thấp và nguồn đá khô nóng phân bố rộng rãi ở nhiều vùng lãnh thổ. Hạn chế chính trong khai thác nguồn địa nhiệt cho mục đích này là xác định vị trí phân bố và tham số bồn nhiệt ở độ sâu >1-5 km dưới mặt đất đòi hỏi nhiều phương pháp, cần phải sử dụng các thiết bị thăm dò phức tạp và triển khai một chương trình địa nhiệt như đã hướng dẫn trong các văn liệu quốc tế, thực hiện tuần tự các bước hay giai đoạn (phase), gồm [3, 6]: 1) Nghiên cứu, khảo sát sơ bộ; 2) Khảo sát thăm dò xác định vị trí bồn nhiệt; 3) Khoan thí nghiệm; 4) Xác định vùng bồn nhiệt; 5) Xây dựng nhà máy; 6) Vận hành và duy trì nhà máy. Trong đó, nhiệm vụ quan trọng và khó khăn nhất ở bước đầu là phải có được cơ sở dữ liệu về vị trí phân bố, các yếu tố cấu trúc, tham số của bồn và nguồn địa nhiệt, là điều kiện cần thiết để quyết định đầu tư tiến hành giai đoạn tiếp theo. Hiện nay, các thiết bị, công nghệ phân tích hiện đại trong các phương pháp địa hóa học, địa vật lý cho phép triển khai, nhận được nhanh và tin cậy hơn thông tin chỉ thị về bồn địa nhiệt.

Hiện trạng nghiên cứu địa nhiệt cho phát triển năng lượng ở Việt Nam

Lãnh thổ Việt Nam không nằm trong vùng có tiềm năng cao về địa nhiệt trên thế giới (rìa mảng, núi lửa hoạt động hay rift), tuy nhiên từ kết quả khảo sát địa chất đã phát hiện hơn 200 điểm xuất lộ nước nóng với nhiệt độ >30°C, trong đó có 45 nguồn nước rất nóng (>61-100°C), ở nhiều nơi thuộc vùng Trung Bộ và Nam Trung Bộ các hoạt động magma núi lửa trẻ đã xuất hiện (năm 1923 đã ghi nhận hoạt động núi lửa ở Đảo Tro trên thềm lục địa ven biển Bình Thuận) là những dấu hiệu chứng tỏ ở đây có khả năng tồn tại các nguồn địa nhiệt nóng [5, 1].

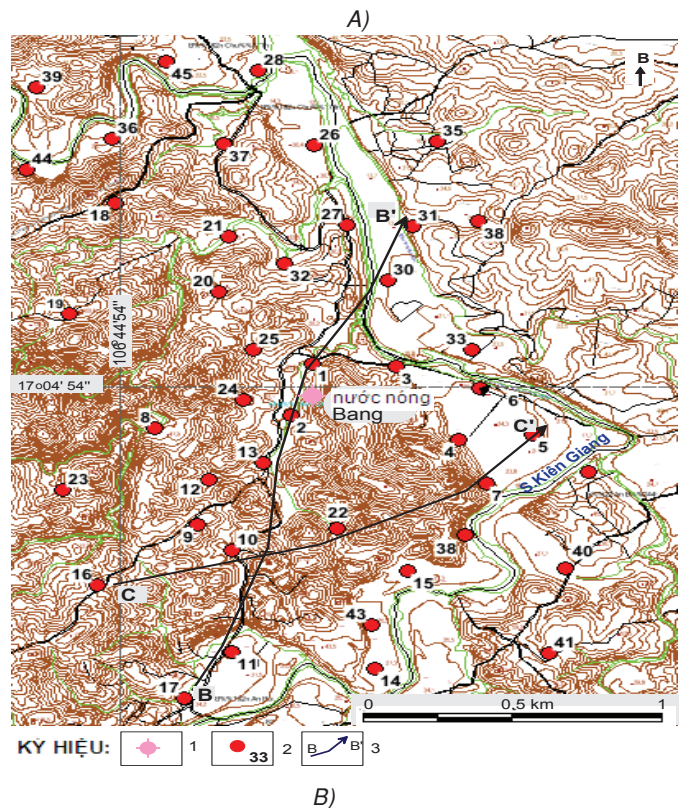
Từ những năm 80, các nhà nghiên cứu, các nhà đầu tư trong nước cũng như nước ngoài đã quan tâm đến khả năng khai thác nguồn địa nhiệt cho phát triển năng lượng ở Việt Nam [4, 5, 7, 8]: các nghiên cứu trong nước chủ yếu hướng đến khai thác các nguồn nước xuất lộ cho sử dụng trực tiếp; các nhà khoa học nước ngoài, qua khảo sát thực tế và xem xét tài liệu đều nhận định rằng Việt Nam có nguồn địa nhiệt phân bố rộng rãi, có thể khai thác cho phát triển năng lượng, kể cả phát điện, nhưng cần thực hiện các khảo sát để có được các dữ liệu dự báo về vị trí phân bố, tham số bồn địa nhiệt cần thiết cho bước triển khai khoan thí nghiệm [4, 7, 8]. Một số nhà đầu tư nước ngoài (ORMAT, 2000; SVA, 2011) và trong nước (Tập đoàn Điện lực Việt Nam, 2004) đã được cấp phép và lập Dự án tiền khả thi xây dựng nhà máy phát điện địa nhiệt, nhưng đến nay chưa có dự án nào được triển khai, nguyên nhân chủ yếu do chưa xác định được bồn địa nhiệt.

Để đáp ứng sự quan tâm của các nhà đầu tư: xác định được vị trí phân bố và tham số bồn nhiệt đòi hỏi phải nghiên cứu lựa chọn phương pháp, triển khai khảo sát với các thiết bị thích hợp ở từng vùng cần được thực hiện. Kết quả được trình bày sau đây là một nội dung của đề tài “Nghiên cứu đánh giá một số nguồn địa nhiệt triển vọng và có điều kiện khai thác cho phát triển năng lượng ở Việt Nam” (mã số KC08.16/11-15) về chỉ thị một bồn địa nhiệt ở khu vực nguồn nước nóng Bang thuộc tỉnh Quảng Bình cho thấy việc giải quyết nhiệm vụ trên có thể thực hiện được bằng năng lực trong nước.

Phương pháp nghiên cứu khảo sát nguồn nước nóng Bang

Nguồn nước nóng Bang là nơi xuất lộ nước địa nhiệt có nhiệt độ cao nhất (100°C) trên lãnh thổ Việt Nam, vị trí và điều kiện địa lý (hình 1), tính chất vật lý, thành phần hóa học, hiện trạng sử dụng nguồn nước này đã được mô tả trong chuyên khảo “Danh

mục các nguồn nước khoáng nước nóng ở Việt Nam” [1]. Nhiệt độ bồn nhiệt của nguồn nước này được xác định bằng phương pháp địa nhiệt kế hóa học theo tài liệu công bố đạt 186°C, là một trong các địa điểm được các chuyên gia của Tập đoàn ORMAT (Mỹ) lựa chọn cho Dự án đầu tư khai thác để phát điện [4, 5].



Hình 1: vị trí khảo sát bồn địa nhiệt ở khu vực nguồn nước nóng Bang: A) Điểm xuất lộ nước nóng Bang (100°C) trên bản đồ tỉnh Quảng Bình; B) Diện phân bố điểm khảo sát bồn địa nhiệt: 1- Điểm đo từ telua và số hiệu; 2- Tuyến phân tích tài liệu xác định thiết diện và tham số hệ địa nhiệt

Các phương pháp chính được sử dụng để xác định các tham số chỉ thị nguồn địa nhiệt, như hướng dẫn trong văn liệu quốc tế [IGA report, 2013], gồm:

1) Các phương pháp khảo sát địa chất - kiến tạo để có thông tin về địa tầng, thành phần thạch học các hệ tầng, hoạt động magma, các đứt gãy và hoạt động kiến tạo hiện đại, là những điều kiện làm xuất hiện và tồn tại nguồn địa nhiệt.

2) Các phương pháp địa hóa học dựa trên kết quả phân tích hàm lượng hòa tan các nguyên tố chính và tính chất vật lý của các mẫu nước xuất lộ, bằng phần mềm Liquid_Analysis_v1_Powell-2010-StanfordGW.xls cho kết quả là loạt biểu đồ thể hiện thông tin chỉ thị về nguồn gốc, trạng thái chất lỏng và nhiệt độ bồn nhiệt [2].

3) Phương pháp địa vật lý từ telua là chủ đạo với mạng lưới đo thích hợp (hình 1B) và địa chấn theo tuyến với độ sâu khảo sát tới 20 km để xác định vị trí phân bố, đặc điểm cấu trúc, tính chất vật lý chỉ thị về các yếu tố của bồn địa nhiệt. Sử dụng thiết bị từ telua MTU2000 (Canada), thiết bị địa chấn gồm 150 máy thu (Mỹ sản xuất) và phần mềm xử lý phân tích tài liệu Winglink (Italia) do các nhà khoa học Đài Loan cho thuê. Từ kết quả nhận được có thể luận giải tham số địa vật lý (chủ yếu tham số điện trở suất) chỉ thị về các yếu tố bồn nhiệt dựa trên mô hình nguyên tắc về cấu trúc hệ địa nhiệt theo các văn liệu và tài liệu hướng dẫn quốc tế [7, 10].

4) Mô hình hóa phân bố nhiệt độ dưới mặt đất và bồn địa nhiệt bằng phần mềm TOUTH2 (Mỹ) được thực hiện với các dữ liệu: dòng nhiệt xác định từ kết quả đo nhiệt độ (bằng thiết bị đo KT1 với độ chính xác 0,01°C) và độ dẫn nhiệt mẫu đá trong lỗ khoan nông bằng thiết bị TM1 do Phân viện Siberi - Viện Hàn lâm Khoa học Nga chế tạo; xác định lưới phân bố các tham số môi trường (mật độ, độ rỗng, tính chất dẫn nhiệt của các tầng đá) dựa trên tính chất vật lý và mô tả thạch học nhận được từ các phương pháp nêu trên là cơ sở lựa chọn vị trí hợp lý khoan thí nghiệm tới bồn nhiệt để xác định khả năng và điều kiện khai thác.

5) Phân tích đánh giá khả năng khai thác phát điện dựa trên tham số nhiệt độ bồn nhiệt và lưu lượng nước xuất lộ, đối sánh với biểu đồ mô tả quan hệ giữa công suất phát điện với nhiệt độ và lưu lượng nước của các nhà máy điện địa nhiệt trên thế giới được công bố trên văn liệu quốc tế [3, 6].

Khó khăn chính của công tác triển khai khảo sát là ở Việt Nam thiếu các thiết bị địa vật lý cho nghiên cứu độ sâu lớn, để thực hiện các khảo sát địa vật lý đã phải thuê thiết bị của Đài Loan. Việc

phân tích tài liệu nhận được từ kết quả triển khai các phương pháp khảo sát chủ yếu dựa vào số ít các phần mềm do nước ngoài cho mượn và một số phần mềm miễn phí.

Do các phương pháp khảo sát ở giai đoạn này thực hiện trên mặt đất, thông tin nhận được phản ánh gián tiếp, nên kết quả chỉ được coi như chỉ thị về các tham số cần quan tâm, nhưng đó là cơ sở dữ liệu quan trọng cho việc quyết định đầu tư tiếp theo.

Kết quả nghiên cứu khảo sát

Kết quả áp dụng phương pháp địa hóa học

Theo các biểu đồ Cl-SO₄-HCO₃ từ thành phần hóa học mẫu nước đã cho thông tin quan trọng là nước xuất lộ ở khu vực Bang có đặc tính của nước ở rìa bồn nhiệt. Biểu đồ Na-K-Mg cho thấy nước ở điều kiện chưa cân bằng, tính chất của nước pha trộn chúng tỏ nước địa nhiệt ở trạng thái vận động liên tục từ nguồn lên bề mặt.

Để xác định nhiệt độ bồn nhiệt theo các công thức địa nhiệt kế hóa học [2, 3] đã lấy 5 mẫu nước xuất lộ có nhiệt độ từ 84 đến 100°C (bảng 1). Nhiệt độ bồn nhiệt tính bằng một số địa nhiệt kế Christobalite/Chalcedony, Na-K-Ca Mg correct, K/Mg, nói chung các địa nhiệt kế sử dụng thành phần Mg, có giá trị thấp hơn cả nhiệt độ nước lộ trên bề mặt là số liệu kém tin cậy do hàm lượng Mg trong nước địa nhiệt thấp. Nhiệt độ bồn nhiệt nhận được từ địa nhiệt kế Na-K-Ca (trong khoảng 167-209°C) có giá trị tương đương nhiệt độ trung bình của các địa nhiệt kế Na/K và mô hình pha trộn Silic - Entanpy (210°C) có lẽ phản ánh tin cậy hơn nhiệt độ bồn nhiệt.

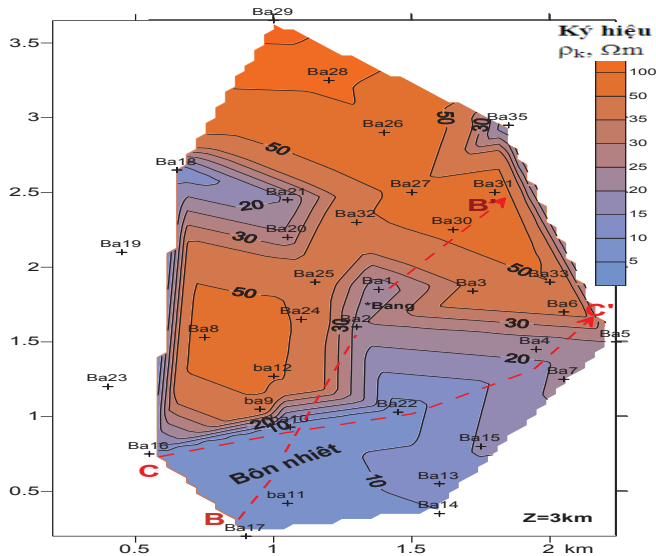
Bảng 1: nhiệt độ bồn nhiệt nguồn nước nóng Bang theo các địa nhiệt kế hóa học

Ký hiệu mẫu	Vị trí mẫu	Nhiệt độ trên mặt, T°C	Nhiệt độ bồn nhiệt tính theo địa nhiệt kế hóa học, T°C						Mô hình pha trộn Silic-Entanpy
			Cristo-balite/ Chalce-dony	Thạch anh (Quar-tz)	Na-K-Ca	Na-K-Ca Mg corr.	Na/K (*)	K/Mg Gigen-bach, 1986	
131B	LK, 106°45'00", 17°05'00"	100	58/79	109	167	87	137-175	93	210
KB1	106.83995; 17.068915	96,29	57/78	107	201	78	202-231	97	
KB2	106.80032; 17.076487	97,12	59/80	109	197	148	174-208	114	
KB3	106.75753; 17.09163	93,85	53/74	104	186	133	186-221	110	
KB4	106.74872; 17.093137	90,07	61/82	112	209	110	175-208	106	
KB5	106.71632; 17.096931	84,13	59/80	110	187	34	162-196	86	

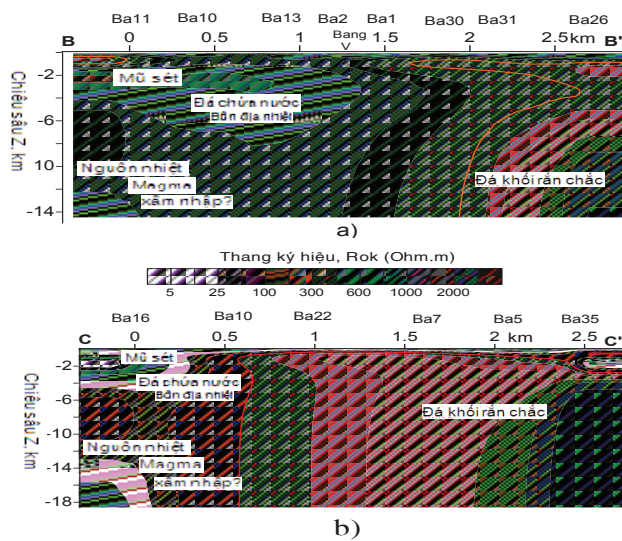
Ghi chú: cột số liệu có ký hiệu (*) là kết quả tính theo 5 công thức địa nhiệt kế hóa học Na/K: Fournier, 1979; Truesdell, 1976; Tonani, 1980; Arnorsson, 1983; Nieva, 1987

Kết quả áp dụng phương pháp địa vật lý

Kết quả đo, phân tích tài liệu từ telua và địa chấn trên diện khảo sát đã phát hiện được một cấu trúc điện trở suất thấp, tốc độ truyền sóng địa chấn giảm ở phía nam của điểm lộ nước nóng Bang có những chỉ thị về diện phân bố (hình 2) và các yếu tố cấu trúc của một hệ địa nhiệt (hình 3).



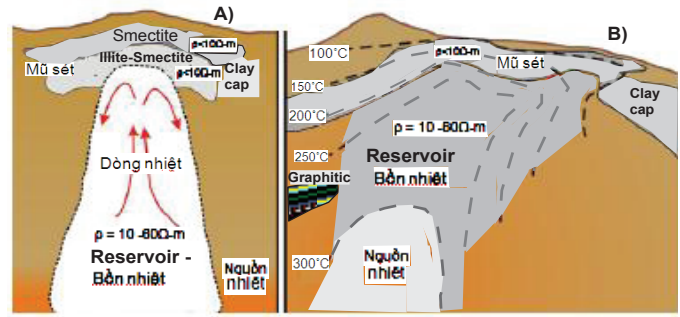
Hình 2: phân bố điện trở suất ở độ sâu Z=3 km thể hiện vị trí bồn nhiệt theo kết quả đo sâu từ telua



Hình 3: mặt cắt cấu trúc địa - điện theo hai tuyến B-B' (a) và C-C' (b) theo tài liệu từ telua

Chú giải: Bang - điểm lộ nước nóng; Ba10 - Ký hiệu điểm đo từ telua; B-B', C-C': mặt cắt cấu trúc bồn nhiệt theo kết quả phân tích tài liệu từ telua

Cơ sở luận giải kết quả khảo sát địa vật lý xác định cấu trúc hệ địa nhiệt ở khu vực Bang là mô hình nguyên tắc về cơ chế vận động và các yếu tố cấu trúc, tham số vật lý của một hệ thủy địa nhiệt nguồn gốc magma được tổng kết trong nhiều văn liệu quốc tế dựa trên tài liệu thăm dò chi tiết các mỏ địa nhiệt đã được khai thác trên thế giới (hình 4) [2, 9].

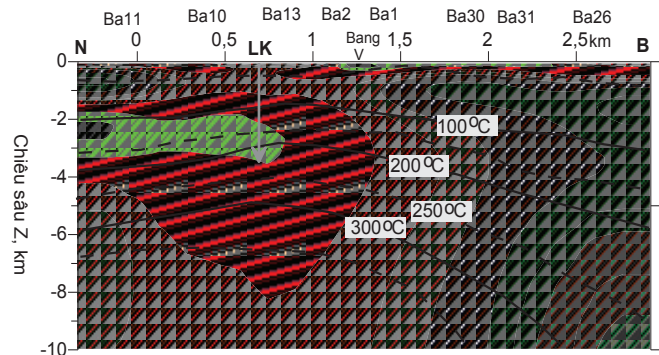


Hình 4: mô hình nguyên tắc một hệ thủy địa nhiệt nguồn gốc magma được tổng kết từ kết quả thăm dò khai thác các mỏ địa nhiệt trên thế giới: A) Mô hình lý tưởng; B) Mô hình nguyên tắc với dẫn chứng tài liệu địa vật lý và mô phỏng phân bố nhiệt độ [9]

So sánh kết quả nhận được với mô hình nguyên tắc cho thấy rõ, hệ địa nhiệt ở đây bao gồm các yếu tố (hình 2): 1) lớp mũ sét phân bố ở độ sâu khoảng 2-3 km; 2) bồn địa nhiệt là vùng đá chứa nước bên dưới mũ sét với chiều dài đạt tới 1,5-2 km theo phương nam - bắc (hình 3a), chiều ngang chỉ khoảng 500-700 m (hình 3b) theo phương tây - đông, chiều sâu lớn nhất có khả năng đạt tới 7-8 km, điểm nước nóng Bang xuất lộ ở rìa phía bắc của bồn nhiệt; 3) nguồn cung cấp nhiệt có thể là khối magma xâm nhập nằm về phía tây nam, cách nguồn nước nóng Bang khoảng 1,5 km, phù hợp với kết quả phân tích địa hóa mẫu nước cho thông tin nước xuất lộ Bang có đặc tính của nước ở rìa bồn nhiệt.

Mô hình phân bố nhiệt độ trong hệ - bồn địa nhiệt

Sử dụng phần mềm TOUTH2 [10] cho mặt cắt theo phương nam - bắc cắt qua bồn địa nhiệt (hình 5) đã xác định được mô hình phân bố nhiệt độ theo chiều sâu, tại bề mặt bồn nhiệt, bên dưới mũ sét nhiệt độ đạt 200°C ở độ sâu 3 km là sơ sở để đầu tư cho khoan thí nghiệm xác định tham số bồn nhiệt và đánh giá khả năng khai thác phát điện địa nhiệt.



Hình 5: mô hình phân bố nhiệt độ trong hệ địa nhiệt ở khu vực Bang theo phương nam - bắc

Chú giải: -100°C - Đường đẳng trị nhiệt độ; Ba10 - Ký hiệu điểm đo từ telua; Bang - điểm xuất lộ nước nóng; LK - Vị trí dự kiến lỗ khoan thăm dò

Luận giải về điều kiện địa chất - kiến tạo và đánh giá khả năng khai thác nguồn nước nóng Bang cho phát điện

Theo tài liệu khảo sát địa chất, bồn địa nhiệt xác định được ở khu vực nguồn nước nóng Bang phân bố ở phần dưới của hệ tầng Long Đại (O_3-S_1 lđ) và hệ tầng A Vương (C- O_1 av) là các trầm tích có thành phần hạt thô (cát cuội kết) là điều kiện thuận lợi cho việc dẫn nước và hơi địa nhiệt, tích tụ sét để tạo thành bồn nhiệt và lớp mũ sét.

Các khối phun trào N-Q quan sát được ở phía bắc điểm lộ nước khoáng Bang với khoảng cách 8 km, xa hơn là khu vực Vĩnh Linh ở phía đông, Cam Lộ ở phía nam, là sản phẩm của hoạt động kiến tạo hiện đại pha muộn diễn ra vào Pliocen - Đệ Tứ, các magma xâm nhập gần mặt đất ở giai đoạn này có điều kiện làm xuất hiện các nguồn nhiệt.

Hệ địa nhiệt xác định được ở phía nam nguồn nước nóng Bang có đầy đủ các yếu tố cấu trúc của một hệ thủy địa nhiệt nguồn gốc magma điển hình bao gồm mũ sét chắn nhiệt, bồn nhiệt, nguồn nhiệt, theo văn liệu quốc tế là những chỉ thị chứng tỏ điều kiện thuận lợi cho khai thác phát điện ổn định bởi có nguồn cung cấp nhiệt liên tục [6].

Chỉ thị về nhiệt độ bồn nhiệt xác định được tương đối tin cậy từ các địa nhiệt kế hóa học cho giá trị trong khoảng 167-210°C đủ điều kiện cho phát điện địa nhiệt bằng công nghệ chu trình kép (Binary cycle), tại bề mặt bồn nhiệt ở độ sâu 3 km đạt nhiệt độ 200°C là các tham số đáng quan tâm đủ cơ sở cho đầu tư khoan thăm dò bồn nhiệt địa nhiệt ở giai đoạn tiếp theo [3].

Kết luận

Bằng tổng hợp các phương pháp khảo sát với thiết bị hiện đại, lần đầu tiên ở Việt Nam đã xác định được những chỉ thị về vị trí phân bố, các yếu tố cấu trúc và tham số của một bồn thủy địa nhiệt nguồn gốc magma ở khu vực nguồn nước nóng Bang thuộc tỉnh Quảng Bình, là cơ sở dữ liệu cần thiết cho đầu

tu triển khai bước tiếp theo khoan thăm dò bồn nhiệt để đánh giá điều kiện khai thác phát điện.

Để có cơ sở đánh giá tiềm năng và đề xuất chiến lược khai thác nguồn năng lượng địa nhiệt ở Việt Nam cần đầu tư thiết bị để triển khai các nghiên cứu khảo sát tương tự cho các nguồn địa nhiệt khác.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn GS Chau-Huei Chen, Đại học Quốc gia Chung Cheng - Đài Loan đã hỗ trợ thiết bị và phần mềm để thực hiện các phương pháp địa vật lý.

Tài liệu tham khảo

- [1] Võ Công Nghiệp (chủ biên) (1998), *Danh bạ các nguồn nước khoáng và nước nóng Việt Nam*, Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội, 300tr.
- [2] Cumming W (2009), "Geothermal resource conceptual models using surface exploration data", *In: proceedings, 34th workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University.
- [3] Di Pippo R (2012), *Geothermal Power plant*, Principles, applications, case studies, 3rd edition, Elsevierdirect, 579p.
- [4] Flynn T, Quy H.H (1997), *Assessment of the geothermal resources of Socialist Republic of Vietnam*, Geothermal resources Council Transactions, **Vol.21**, 341-345.
- [5] Hoang Huu Quy (1998), *Overview of the Geothermal potential of Vietnam*, *Geothermics*, **Vol.27, N.1**, 109-115.
- [6] IGA report (2013), *Geothermal Exploration best practices: A Guide to resource data collection, analysis, and presentation for Geothermal projects*.
- [7] Koenig J. et al (1981), *Evaluation of the potential for Geothermal Energy Resources in the SR of Vietnam*, Berkeley, CA.
- [8] Mathews Th. et al (2008), *Study on the socio-economic framework for the use Geothermal energy in Vietnam*, Proceedings of the 8th Asian Geothermal Symposium, Hanoi, December 9-10, 2008.
- [9] Munoz G (2014), "Exploring for Geothermal Resources with Electromagnetic Methods", *Surv Geophys* (2014), **35**:101-122, Springer, DOI 10.1007/s10712-013-9236.
- [10] Pruess K, Oldenburg C, Moridis G (1999), *Tough2 user's guide*, *VERS*, revised September 2012, 210p.

Tổng quan về kỹ thuật yếm khí cao tải trong xử lý nước thải

Trần Mạnh Hải¹, Nguyễn Hoài Châu¹, Nguyễn Triều Dương¹,
Cao Thế Hà², Nguyễn Việt Hà², Trần Đức Dự²

¹Viện Công nghệ môi trường, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

²Trung tâm Nghiên cứu công nghệ môi trường và Phát triển bền vững, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Xử lý yếm khí (YK) là công nghệ lâu đời, gần đây khi biogas được coi là một nguồn năng lượng tái tạo, nó trở nên hấp dẫn và được quan tâm phát triển. Theo Lettinga [13] phương pháp này có nhược điểm là tốc độ sinh trưởng vi khuẩn YK thấp, tuy nhiên những kỹ thuật hiện đại đã khắc phục được hạn chế này. Các kỹ thuật YK ngày nay chấp nhận tải lượng từ hàng chục tới trên 100 kg COD/m³/ngày với hiệu suất thường là 70-90% [11, 12].

Nghiên cứu [4] cho thấy, khi BOD nước thải vượt 1000 mg/l thì hệ YK (hệ UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) kinh tế hơn hiêm khí (bùn hoạt tính) cả về mặt xây dựng cơ bản lẫn phí vận hành - bảo trì. Cũng theo [4], có ba nhóm kỹ thuật YK: (1) hệ phản ứng với vi sinh phân tán; (2) hệ vi sinh cố định trên vật liệu mang và (3) hệ với lớp bùn giả lỏng hoặc giãn nở. Kỹ thuật UASB do Lettinga nghiên cứu từ những năm 70 thuộc nhóm (3), áp dụng từ năm 1980 sử dụng vi sinh dạng hạt có mật độ rất cao (tới 80-100 g/l).

Theo [11], kỹ thuật YK hiện đại bắt đầu từ bồn khuấy trộn hoàn toàn, bồn tiếp xúc, bước ngoặt là hệ UASB, đỉnh cao là các kỹ thuật tiếp xúc và tách vi sinh rất tốt, đó là EGSB (Expanded Granular Sludge Bed), IC (Internal Circulation). Nếu coi kỹ thuật bồn phản ứng khuấy trộn hoàn toàn có năng suất xử lý so sánh trên đơn vị thể tích là 1 thì bồn tiếp xúc là 5, UASB là 25 và EGSB, IC là 75. Bài viết này tóm tắt sự phát triển của công nghệ xử lý YK, tập trung vào hệ thống xử lý YK cao tải UASB, EGSB, IC.

Từ khóa: EGSB, IC, UASB, yếm khí cao tải.

Chỉ số phân loại 1.7

Giới thiệu chung

Từ những năm 70 của thế kỷ trước, sự thành công trong công nghiệp của kỹ thuật UASB dẫn tới một trào lưu nghiên cứu cả về khía cạnh hàn lâm lẫn thực tiễn về tiềm năng của các vi sinh dạng hạt. Trong khoảng 30 năm trở lại đây, nhiều thiết kế khác nhau được đề xuất, ứng dụng của kỹ thuật YK bắt đầu từ nước thải công nghiệp đậm đặc đã bắt đầu lan sang nước thải sinh hoạt [10].

Tới nay, những ưu thế của các kỹ thuật vi sinh YK dạng hạt đã được khẳng định, đó là chi phí vận hành thấp, thiết bị nhỏ gọn, thu hồi được năng lượng dưới dạng biogas, sản sinh ít bùn. Theo đại diện Công ty Biwater (Pty) Ltd, kỹ thuật IC có khả năng chịu tải và năng suất là cao nhất trong các kỹ thuật hiện có. Chính vì yếu tố này, số nhà máy sử dụng hệ xử lý cao tải tăng trưởng rất ấn tượng.

Các kỹ thuật vi sinh YK dạng hạt (UASB) bắt đầu từ các nhà máy đường vào giữa những năm 70 với tải lượng thiết kế 4-12 kg COD/m³/ngày, các biến thể của UASB (BFB, EGSB, IC) với tải lượng thiết kế lên đến 20-30 kg COD/m³/ngày bắt đầu được đưa vào ứng dụng những năm cuối thế kỷ XX, tới đầu thế kỷ XXI đã được ứng dụng ở trên 65 quốc gia với trên 1400 nhà máy đang hoạt động, hiện có tới trên 16 công ty đa quốc gia đang hoạt động trong lĩnh vực này [7]. Năm 1997, cả thế giới mới có 32 nhà máy IC (18 xử lý nước thải bia, 6 xử lý nước thải chế biến khoai tây, 2 cho nước thải sản xuất bánh kẹo, 1 cho mỗi ngành công nghiệp đường, bột giấy, tinh bột, sản xuất rượu, sữa, thực phẩm); tới tháng 4.2003 con số đã lên tới 178 hệ IC được lắp đặt trên toàn thế giới: 89 cho sản xuất bia và nước uống, 39 cho công nghiệp thực phẩm, 33 cho công nghiệp giấy, 9 cho cất cồn rượu, 8 cho công nghiệp hóa

OVERVIEW OF THE HIGH RATE ANAEROBIC TECHNIQUES IN WASTEWATER TREATMENT

Summary

Anaerobic processing is an old technology. Recently, Anaerobic Treatment (AT) has become attractive and be developed due to biogas considered a renewable energy source. According to Lettinga [13], although the growth rate of anaerobic bacteria is low, this weakness has gradually been overcome with modern AT technology. The present AT techniques accept the organic loading rates from tens to over 100 kg COD/m³/day with its performance from 70% to 90% [11, 12]. The study [4] shows that when the biochemical oxygen demand (BOD) of the effluent exceeds 1000 mg/l, the cost of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) is lower than that of activated sludge treatment, both in terms of basic construction and maintenance free. According to [4], there are three groups of anaerobic techniques: (i) the reactors with dispersed microorganisms; (ii) the microorganisms immobilized on carrying material; and (iii) the Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) system. The UASB technique invented by Lettinga in the 1970s is classified into the group (iii), and has been applied since 1980 using granular microorganisms with very high density (up to 80-100 g/l).

According to [11], the modern AT techniques began at the continuous stirred-tank reactor (CSTR), then the anaerobic contact reactor (CR), turning-point with the UASB system, peak with the Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) and the Internal Circulation Reactor (IC). Suppose that the CSTR has the relative capacity of 1, then 5 for CR, 25 for UASB, 75 for EGSB and IC. This article summarize the development of anaerobic treatment technology and focuses on the high-rate anaerobic treatment systems as UASB, EGSB, IC.

Keywords: Anaerobic, EGSB, IC, UASB.

Classification number 1.7

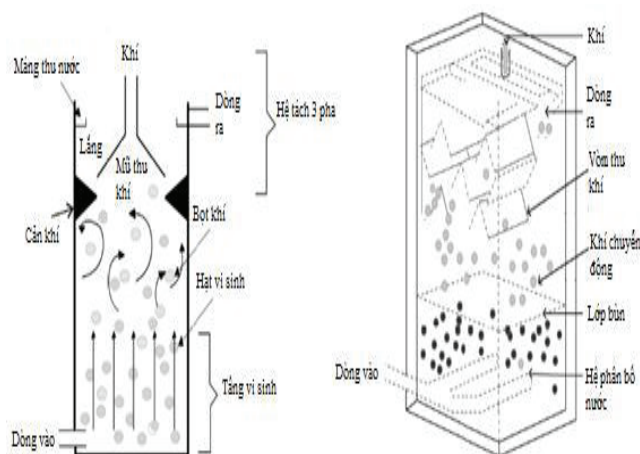
chất (kể cả thuộc da và dệt nhuộm). Đặc trưng công nghệ, các thông số thiết kế và vận hành thực tế dưới đây sẽ cho thấy khả năng ứng dụng lớn của các kỹ thuật vi sinh YK cao tải.

Các kỹ thuật YK cao tải

Kỹ thuật phản ứng ngược dòng với vi sinh dạng hạt (UASB)

UASB là kỹ thuật đầu tiên sử dụng vi sinh dạng hạt tự sinh không chất mang được đề xuất bởi GS. Lettinga. Đây là kỹ thuật được sử dụng rộng rãi nhất để xử lý nước thải có độ ô nhiễm hữu cơ cao, kể cả nước thải sinh hoạt [5, 9, 14, 20].

Nguyên tắc căn bản của kỹ thuật UASB là sử dụng khả năng tạo thành hạt vi sinh của một số dạng vi sinh YK nhất định, chúng tạo thành tập hợp keo tụ đặc, thường được gọi là hạt vi sinh. Hạt vi sinh có khả năng lắng rất tốt và vì vậy dễ tích lũy trong khối phản ứng, trong khi loại không có khả năng tạo hạt sẽ trôi theo nước ra ngoài. Với phương thức chọn lọc vi sinh này, mật độ sinh khối trong bể phản ứng đạt rất cao, thông thường 20-30 kg/m³ tính theo hàm lượng chất hữu cơ. Nét đặc trưng nổi bật của hệ xử lý UASB là bộ phận tách ba pha. Nhờ các cấu trúc cản khí (sắp xếp theo kiểu dích dắc, xen phủ lẫn nhau của các vòm thu khí) nên dòng khí được thu về các vòm thu khí, tại đó khí thoát ra khỏi nước và tách khỏi các hạt vi sinh. Bộ phận tách pha chia bể YK thành hai vùng: vùng phân hủy nằm ở dưới và vùng lắng ở phía trên.



Hình 1: sơ đồ hệ xử lý UASB [15]

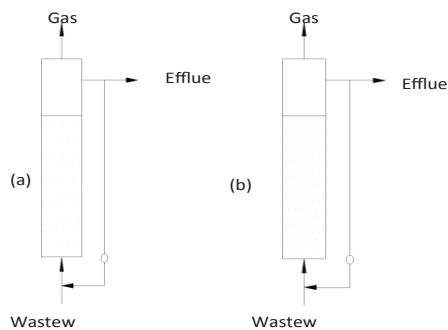
Bể xử lý theo kỹ thuật UASB có các đặc trưng chính sau: nước thải cần xử lý được phân bố đều vào đáy bể chảy ngược lên phía trên với tốc độ 1÷2 m/h, cùng với khí tạo thành để duy trì trạng thái lơ lửng của tầng vi sinh (hình 1), trên lớp bùn là lớp nước trong không chứa sinh khối và trên cùng là lớp tách pha (rắn - lỏng - khí).

Kỹ thuật phản ứng với lớp vi sinh dạng lưu thể BFB (Biofilm Fluidized Bed)

Hệ BFB có vi sinh dạng hạt trên chất mang, nước thải thô được đưa vào bồn qua lớp vật liệu rắn kích thước nhỏ (ví dụ cát với $d \sim 0,2-0,8$ mm) ở tốc độ đủ lớn để các hạt lơ lửng và trở thành một dạng lưu thể. Ở trạng thái này, các hạt rắn có diện tích bề mặt riêng rất lớn để vi khuẩn có thể bám dính, khi đó mật độ vi sinh có thể lên tới $10-40$ kg/m³ [2]. Đối với các hệ hiếu khí, không khí sẽ được cấp vào bằng cách tuần hoàn hỗn hợp bùn nước từ bể lắng qua bộ bão hòa khí [1]. Đối với các loại nước thải có nhu cầu oxy lớn, oxy không khí có thể được cấp trực tiếp vào bồn, khi đó ta có hệ BFB ba pha (three-phase BFB reactor) [6, 17, 18]. Hệ BFB phù hợp nhất đối với những chất thải hữu cơ hoặc N-amoni yêu cầu vi sinh có tuổi cao trên 15 ngày, có SS thấp (dưới 100 mg/l) [16].

Kỹ thuật phản ứng với lớp vi sinh dạng hạt dẫn nở EGSB (Expanded Granular Sludge Bed)

EGSB [8, 23] là tổ hợp các đặc trưng của UASB và BFB. Sinh khối dạng hạt sẽ được nâng lên nhờ tốc độ dòng nước (~ 10 m/h) và biogas (7 m/h) rất gần với hệ BFB. Nhờ tốc độ ngược dòng cao, khuấy trộn nội rất tốt nên EGSB có thể chịu tải đầu vào tới 30 kg COD/m³/ngày để xử lý các loại nước thải từ công nghiệp hóa chất, sinh hóa và sinh học [22].



Hình 2: sơ đồ thiết bị phản ứng BFB (a) và EGSB (b)

Có thể thấy, BFB và EGSB (hình 2) nhìn rất giống nhau bởi cả hai hệ này sử dụng vật liệu mang dạng hạt cho vi khuẩn bám dính, dưới tác động của dòng nước, hạt mang sinh học sẽ lơ lửng. Sự khác biệt chính giữa BFB và EGSB là BFB cần tốc độ dâng cao (tuần hoàn) phải lớn để duy trì sự phân tán đồng đều hạt vi khuẩn, thể tích dẫn nở của lớp bùn đạt 25 đến 300%. Trong kỹ thuật EGSB, tốc độ dâng nước là cần thiết để duy trì độ giãn nở của lớp bùn vi sinh vật khoảng 15-30% so với thể tích ban đầu; các hạt bùn lơ lửng là do dòng chảy và một phần do

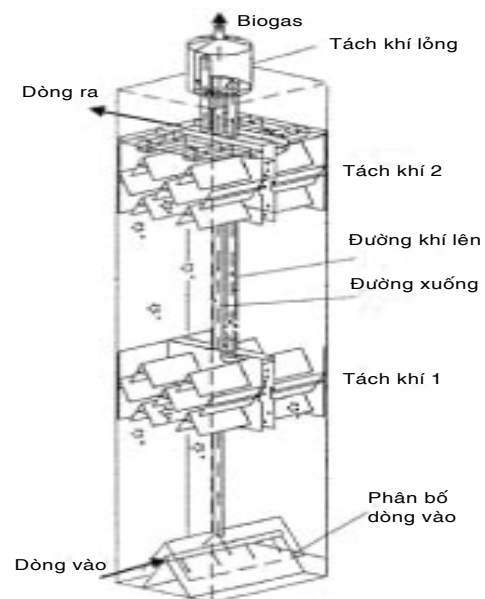
sự tương tác với các hạt xung quanh. Vật liệu mang diện tích bề mặt $9-11$ nghìn m²/m³, độ xốp 45-55% trong trường hợp EGSB và $4-10$ nghìn m²/m³, độ xốp 50-90% trong trường hợp BFB. Hai phản ứng có hiệu quả xử lý rất cao. Vấn đề là trong thời gian hoạt động, các hạt nhỏ mới hình thành sẽ bám dính và làm tăng độ dày của lớp vi sinh vật. Các hạt nhẹ hơn sẽ có xu hướng tích lũy nổi lên bề mặt và thoát ra ngoài thiết bị phản ứng. Do đó, cấu trúc chà sát là cần thiết để loại bỏ vi sinh dư thừa và đưa vật liệu mang trở lại thiết bị phản ứng.

Hãng Biothane B.V. cũng xây dựng vài chục hệ EGSB dưới tên thương mại Biobed để xử lý các loại nước thải công nghiệp khác nhau (thực phẩm, hóa chất, hóa dược) ở nhiều nước.

Kỹ thuật phản ứng tuần hoàn nội IC (Internal Circulation)

Mô tả hệ thống:

Kỹ thuật tuần hoàn nội bộ IC được hãng Paques nghiên cứu phát triển [19]. Hệ hoạt động dựa trên nguyên tắc của hai hệ thống UASB xếp chồng lên nhau (hình 3). Khí tách ra từ bộ phận tách pha phía dưới (lưu lượng lớn do tải lượng cao) được thu lại vào khoang thu khí và đi lên bộ phận tách khí lỏng phía trên qua đường khí lên. Khi dòng khí chuyển động lên sẽ cuốn theo nước và bùn từ vùng phân hủy cao tải. Sau khi tách khí, nước và vi sinh được đưa trở lại vào vùng phản ứng, xuống đáy bể, hòa trộn với dòng vào qua đường ống dẫn xuống. Dòng nước và vi sinh quay ngược lại vùng phản ứng cao tải là tính chất đặc trưng của kỹ thuật IC và vì vậy có tên là tuần hoàn nội bộ.



Hình 3: sơ đồ hệ xử lý tuần hoàn nội bộ

Thành phần cấu tạo cơ bản của hệ xử lý IC gồm hệ phân bố nước đầu vào, hệ tuần hoàn nội bộ, vùng phản ứng cao tải ở phía dưới và vùng phản ứng tải lượng thấp (làm sạch sâu) nằm ở phía trên. Vùng phản ứng cao tải kéo dài cho tới tận phía dưới của bộ tách khí thứ nhất, chiếm 55-65% chiều cao của cột nước và tầng hạt vi sinh cũng có thể chiếm trọn chiều cao của nó (bộ tách khí thứ nhất có chiều cao khoảng 2 m). Do mật độ vi sinh dạng hạt ở ngăn dưới lớn, tải lượng hữu cơ cao, nên hệ có năng suất phân hủy hữu cơ rất cao và sinh ra nhiều biogas. Do tốc độ dòng nước đi lên lớn nên ngăn này hoạt động giống hệ EGSB hơn là hệ UASB. Điểm khác biệt là trong hệ này ở mỗi ngăn đều có cơ cấu tách ba pha và thu khí nối với ống lên, ống lên - riser hoạt động như một airlift bơm kéo cả khí (biogas) - lỏng (nước thải) - rắn (hạt vi sinh) lên bồn cao vị.

Hệ thống tuần hoàn nội bộ bao gồm: hệ tách khí phía nửa dưới nhằm tách khí của vùng phản ứng cao tải, đưa khí đó qua đường ống dẫn lên bộ phận tách khí - lỏng - rắn ở phía trên của bồn chính, khí được tách ra khỏi chất lỏng và bùn ra khỏi hệ xử lý trong khi bùn và nước theo ống xuống - downcomer quay trở lại khoang phản ứng cao tải. Trong ngăn dưới, tốc độ dâng nước được thiết kế ở mức 10-30 m/h. Ngăn trên thực tế thực hiện xử lý lần hai nên chịu tải thấp, tốc độ dòng lên chỉ khoảng 2 đến 10 (thường 4-8) m/h. Để bố trí được các cơ cấu đã nêu, hệ IC thường có dạng bồn trụ rất cao, độ cao lên tới 25 m, cùng với năng suất xử lý thuộc loại cao nhất nên nó chiếm diện tích nhỏ nhất.

Như vậy, có thể nhận xét: (1) so với hệ EGSB thì hệ IC phức tạp hơn (hai lần tách 3 pha), hoạt động như hệ EGSB, tuy nhiên nhờ cơ cấu tuần hoàn nội khuấy trộn sẽ tốt hơn nên năng suất xử lý sẽ cao hơn, ít chi phí bơm tuần hoàn hơn để duy trì tốc độ dâng nước lớn. Đây là lý do vì sao hệ IC hiện được cho là có năng suất xử lý cao nhất; (2) về khía cạnh thiết kế, chế tạo, hệ EGSB đơn giản hơn, hệ IC rất khó thiết kế; (3) IC sử dụng khí sinh ra để khuấy trộn nên giảm được năng lượng phục vụ khuấy trộn, do đó IC là hệ kinh tế nhất trong các hệ nêu trên.

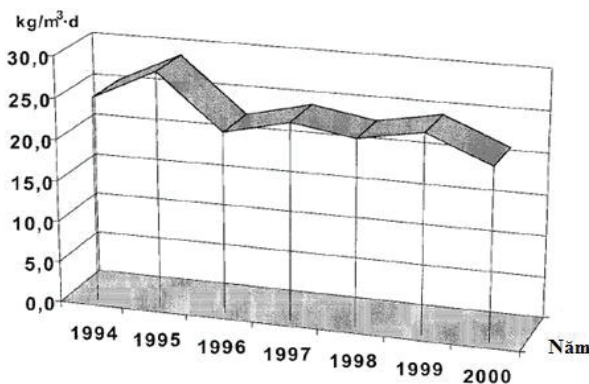
Các đặc trưng công nghệ:

- Tải lượng bùn: do được khuấy trộn mạnh, quá trình chuyển khối thuận lợi nên tải lượng bùn trong kỹ thuật IC cao hơn so với trong kỹ thuật UASB. Giá trị sử dụng để thiết kế nằm trong khoảng 0,55-1,0 kg COD/kg bùn/ngày, trung bình là 0,7-0,8 kg COD/kg bùn/ngày.

- Tải lượng hữu cơ: tải lượng hữu cơ áp dụng trong kỹ thuật IC cao hơn nhiều so với kỹ thuật truyền thống UASB (bảng 1).

Bảng 1: tải hữu cơ tính trên đơn vị thể tích cho ba hệ thống xử lý yếm khí phổ biến [3]

Thiết bị	Tải thể tích - OLR (kg COD/m ³ /ngày)
UASB	4-15
EGSB	5-25
IC	15-30



Hình 4: tải lượng hữu cơ áp dụng trong kỹ thuật IC theo thời gian [22]

Tải lượng hữu cơ áp dụng trong kỹ thuật IC thời gian từ năm 1994 đến năm 2000 có giá trị trung bình 22 kg COD/m³/ngày (hình 4). Giá trị đó khá ổn định trong thời gian dài đã được kiểm nghiệm trong thực tiễn chứng tỏ hiệu quả xử lý cao của hệ IC [22].

Tuy nhiên, giá trị tải lượng 22 kg COD/m³/ngày không phải là một con số cố định đối với mọi nguồn nước thải, nó phụ thuộc vào tính năng sinh hủy của chất ô nhiễm trong dòng thải và các điều kiện kèm theo. Với một vài nguồn thải, tải lượng hữu cơ có thể áp dụng tới 25, thậm chí 30 kg COD/m³/ngày, trong khi đối với một số loại nước thải khác chưa tới 20 kg COD/m³/ngày.

- Tốc độ dòng: trong vùng phản ứng cao tải, tốc độ dòng vào, dòng hồi lưu nội bộ, dòng hồi lưu ngoại vi và dòng khí đóng vai trò quan trọng đối với quá trình chuyển khối trong vùng đó. Tốc độ dòng trong vùng phía trên thường được thiết kế nhỏ hơn 8 m/h nhằm mục đích giữ vi sinh không trôi ra ngoài. Giá trị tốc độ dòng trong khoảng trên từ bảng 2 cho thấy, giá trị vận hành trong thực tế có trường hợp cao hơn đối với dòng thải loãng và hệ hoạt động ổn định. Tốc độ dòng tuần hoàn nội bộ bị khống chế bởi tốc độ hình thành khí, thấp đối với dòng thải loãng, cao đối với dòng thải đặc, có thể dưới 100% và cao có thể đạt tới 1.000%. Tốc độ dòng trong khoảng dưới sử dụng trong thiết kế không vượt quá 20 m/h. Tốc độ thoát khí cần duy trì không vượt quá 12 m/h. Số liệu thu được từ vận hành cho thấy tiêu chuẩn trên đều được thỏa mãn.

Bảng 2: tóm tắt về các đặc trưng của các hệ sử dụng bùn vi sinh dạng hạt có tầng cường khuấy trộn [3]

Kiểu bồn phản ứng	Tên thương mại	Kiểu dòng chảy	Tốc độ nước	Tỷ lệ cao/ đường kính	Cơ cấu khuấy	Đã ứng dụng
BAS	CIRCOCX, Paques (Hà Lan)	Hỗn hợp	0,4-0,8 m/s (tuần hoàn)	4-5	Dùng khí	Nước thải sản xuất bia
EGSB	BIOBED, Biothane (USA)	Từ dưới lên	10-15 m/h	4-5	Dòng nước, biogas	Nước thải sản xuất formalin từ metanol
IC	IC, Paques (Hà Lan)	Hỗn hợp	Vùng dưới: 10-30 m/h Vùng trên: 4-8 m/h	3-6	Biogas	Nước thải sản xuất inuline và fructose từ quả chicory

Chú thích: BAS (biofilm airlift suspension)

- Thời gian lưu thủy lực: bảng 3 cho thấy, tùy theo loại nước thải mà thời gian lưu có thể khác nhau nhưng không quá 9 h. Kết quả này có được do mật độ sinh khối cao, tiếp xúc lỏng/rắn (nước thải/hạt vi sinh) tốt, lưu giữ sinh khối (tách lỏng/rắn - hạt vi sinh/nước thải) và tuần hoàn tốt.

Bảng 3: một số thông số kỹ thuật của hệ IC [21]

Nguồn thải	Tải thể tích, (kg/m ³ /ngày)	Thời gian lưu (h)	Mật độ sinh khối tính theo hữu cơ (kg/m ³)	Tải khối lượng (kg COD/kg bùn/ngày)	Tốc độ dâng nước khoảng trên (m/h)	Mức tuần hoàn (%)	Tốc độ dâng nước khoảng dưới (m/h)	Tốc độ khí trong ống lên (m/h)	COD đầu vào (kg/m ³)	COD đầu ra (kg/m ³)
Insulin (B)	30,3	6,3	32,4	0,94	3,8	420	19,6	9,8	7,9	2,0
Sữa (B)	15,2	2,7	-	-	8,0	60	12,6	2,8	1,7	0,84
Khoai tây (B)	33,4	5,2	30,2	1,10	3,8	420	19,9	9,9	7,2	1,25
Bia (B)	26,0	2,2	27,0	0,96	8,9	140	21,1	7,5	2,4	0,48
Cà phê (A)	28,5	12,6	34,3	0,83	6,3	870	19,8	8,4	15	2,80
Khoai tây (B)	21,0	6,9	37,8	0,56	2,9	350	13,1	6,3	6,0	1,00
Tinh bột (A)	26,4	22,7	47,6	0,55	4,2	1510	19,9	9,7	25	3,70

Chú thích: A: số liệu thiết kế; B: số liệu vận hành

- Mật độ sinh khối: trên cơ sở tốc độ dòng chảy ngược cao, chiều cao của tầng vi sinh được nói rộng đáng kể, dẫn đến mật độ sinh khối trong tầng bùn giảm so với trong kỹ thuật UASB. Mật độ sinh khối trung bình trong tầng bùn đạt 60-90 kg/m³, cao nhất cũng có thể tới 100 kg/m³. Nếu trong thành phần sinh khối không chứa nhiều hợp chất canxi thì thành phần hữu cơ trong hạt vi sinh chiếm 75-90%. Chiều cao của tầng hạt vi sinh chiếm 60-70% của cột nước, với cột nước cao 24 m thì chiều cao của tầng vi sinh nằm trong khoảng 16-17 m. Mật độ sinh khối tính theo phần hữu cơ nằm trong khoảng 30-50 kg/m³, trung bình là 35 kg/m³ (bảng 3).

Kết luận

Thiết bị phản ứng màng vi sinh dạng hạt đã được nghiên cứu và phát triển trong 3 thập kỷ qua cho các ứng dụng xử lý nước thải. Một số thông số kỹ thuật về ứng dụng đã được trình bày trong tổng quan này.

Sự ra đời của các hệ phản ứng kiểu EGSB và IC

đã nâng kỹ thuật xử lý YK lên tầm cao mới. Hai kỹ thuật này có năng suất xử lý gần tương đương nhau, trong đó IC là hệ thống có năng suất xử lý cao nhất và kinh tế nhất.

Tài liệu tham khảo

[1] Cooper P.F (1981), "The use of biological fluidised beds for the treatment of domestic and industrial wastewaters", *Chem. Eng.* 371, 373-376.

[2] Cooper P.F, Sutton P.M (1983), "Treatment of wastewaters using biological fluidized beds", *Chem. Eng.* 392.

[3] David Tshilumba Mutombo (2004), *Internal Circulation Reactor: Pushing the Limits of Anaerobic Industrial Effluents Treatment Technologies*, in Proceedings of the 2004 Water Institute of Southern Africa (WISA) Biennial Conference, 2-6 May 2004, Cape Town, South Africa, ISBN: 1-920-01728-3, pp.608-616.

[4] Eckenfelder W.W, Patoczka J.B and Pulliam C.W (2006), *Anaerobic vs Aerobic Treatment in the USA*, A Ware Incorporated, 227 French Landing, Nashville, TN37228, USA.

[5] Elmitwals T.A, Sayed S (2003), "Decentralised treatment of concentrated sewage at low temperature in a two step anaerobic system: two upflow hybrid septic tanks", *Wat. Sci. Technol.* Vol.48, No.6, 219-226.

[6] Fan L.S, Fujie K, Long T.R, Tang W.T (1986), "Characteristics of draft tube gas - liquid - solid fluidized bed bioreactor with immobilized living cells for phenol degradation", *Biotechnol. Bioeng.* 30, 498-504.

[7] Foresti E (2002), "Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives", *Wat. Sci. Technol.* Vol.45, No.10, 181-186.

[8] Frankin R.J (2001), "Full-scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater", *Wat. Sci. Tech.* 44 (8), 1-6.

[9] Frankin R.J et al (1992), "Application of the Biobed upflow fluidized-bed process for anaerobic waste water treatment", *Water Sci. Technol.* 25, 373-382.

[10] Hulshoff Pol L.W, Euler H, Schroth S, Wittur T & Grohganz D (1998), *GTZ sectoral project "Promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial wastes and wastewater"*, in Proceedings of the Fifth Latin-American Seminar on Anaerobic Wastewater Treatment, Vina del Mar, Chile, October 1998, 27-30.

[11] Kassam Z.A, Yerushalmi L. and Guiot S.R (2003), *A market study on the anaerobic wastewater treatment systems*, Water, Air, and Soil Pollution 143: 179-192, Kluwer Academic Publishers.

[12] Lettinga G (1995), "Anaerobic digestion and wastewater treatment systems", *Antonie van Leeuwenhoek*, Vol.67, Issue 1, pp 3-28.

[13] Singh K.S, Viraraghavan T (2003), "Impact on performance, microbiological, and hydrodynamic aspect of UASB reactor treating municipal wastewater", *Wat. Sci. Technol.* Vol.48, No.6, 211-217.

[14] Srinavas T (2008), *Environmental biotechnology*, New age international (P) limited Publ.

- [15] Sutton P.M, Mishra P.N (1990), *Fluidized bed biological wastewater treatment: effects of scale-up on system performance*, in: P.M. Sutton and Associates, *Biological Fluidized Beds for Water and Wastewater Treatment: a User's Forum*, Conference Proceedings, Ann Arbor, pp. 1-12.
- [16] Tang W.T, Fan L.S (1987), "Steady state phenol degradation in a draft tube gas - liquid - solid fluidized bed bioreactor", *AIChE J*, **33**, 239-249.
- [17] Trinet F, Heim R, Amar D, Chang H.T, Rittmann B.E (1991), "Study of biofilm and fluidization of bioparticles in a three phase liquid fluidized bed reactor", *Water Sci. Technol*, **23**, 1347-1354.
- [18] Van Haandel A.C, Lettinga G (1994), *Anaerobic sewage treatment*, John Wiley & Sons.
- [19] Van Lier J (2007), *Current trends in anaerobic digestion; diversifying from waste(water) treatment to resource oriented conversion techniques*, in: Proceedings of the 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion, Plenary Session 4, September 23-26, Brisbane, Australia.
- [20] Vellinga S.H.J (1986), *Anaerobic purification equipment for waste water*, US Patent No. 4,609,460.
- [21] W. Bischofberger N, Dichtl K.H, Rosenwinkel C.F, Seyfried B. Bohnke (Ed) (2005), *Anaerobtechnik 2.*, Vollstaendig Ueberarbeitete Auflage. Springer.
- [22] Zoutberg G.R, de Been P (1997), "The Biobed EGSB (expanded granular sludge bed) system covers shortcomings of the upflow anaerobic sludge blanket reactor in the chemical industry", *Water Sci. Technol*, **35**, 183-188.
- [23] Zoutberg, G.R, Frankin R (1996), "Anaerobic treatment of chemical and brewery waste water with a new type of anaerobic reactor: the Biobed EGSB reactor", *Water Sci. Technol*, **34**, 375-381.

Ứng dụng phương pháp lọc từ tính để tách kim loại nặng trong nước thải công nghiệp

Lê Phước Cường, Lê Thị Xuân Thùy, Nguyễn Thành Trung

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

Trong nghiên cứu này, các tác giả tiến hành đánh giá khả năng hấp phụ các kim loại nặng như Cd, Cr và Pb bằng hạt từ tính PG-M. Nghiên cứu tập trung khảo sát ảnh hưởng của yếu tố pH, thời gian hấp phụ và liều lượng PG-M đến hiệu suất hấp phụ của PG-M; xác định các giá trị tối ưu để xây dựng và vận hành mô hình lọc từ tính xử lý kim loại nặng trong nước. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, hạt từ tính có khả năng hấp phụ kim loại nặng rất tốt, sử dụng hạt PG-M làm vật liệu hấp phụ trong mô hình lọc từ tính cho hiệu suất xử lý cao, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật và các quy định hiện hành. Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình lọc từ tính sử dụng vật liệu hấp phụ hạt PG-M để tách kim loại nặng trong nước thải tại Công ty cổ phần cơ khí mạ Đà Nẵng - Khu công nghiệp Hoà Khánh đạt hiệu suất cao.

Từ khóa: hấp phụ, hiệu suất, kim loại nặng, lọc từ tính, PG-M.

Chỉ số phân loại 1.7

APPLICATION OF MAGNETIC FILTER METHOD TO SEPARATE HEAVY METALS FROM INDUSTRIAL WASTEWATER

Summary

In this study, the authors have assessed the ability to adsorb heavy metals such as Cd, Cr and Pb by the magnetic particles as PG-M. The study has focused on investigating the influence of such factors as pH, adsorption time and dose of PG-M, determining the optimum values for the construction and operation of magnetic filter model for treating heavy metals in water. The research results have shown that magnetic particles have very good capability of adsorbing heavy metals; using the PG-M particle as adsorbent material in the magnetic filter model provides a high processing performance. The study has constructed the model of magnetic filtration using adsorbent particles as PG-M to separate heavy metals from wastewater in Danang Mechanical Plating JSC - Hoa Khanh industrial zone with high performance.

Keywords: adsorption, efficiency, heavy metals, magnetic filter, PM-G.

Classification number 1.7

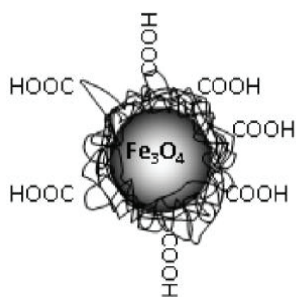
Đặt vấn đề

Tình trạng nguồn nước bị ô nhiễm kim loại nặng là vấn đề được quan tâm của nhiều quốc gia, do tính độc hại của chúng đối với sự phát triển của con người và sự an toàn của hệ sinh thái. Vì vậy, việc nghiên cứu tìm ra phương pháp mới để xử lý kim loại nặng trong nước an toàn, nhanh và hiệu quả hơn là rất cần thiết.

Hiện nay, phương pháp lọc từ tính đang được nhiều nhà khoa học quan tâm, vì nó đáp ứng được nhu cầu loại bỏ các chất gây ô nhiễm trong môi trường nước một cách đơn giản và nhanh chóng bằng cách sử dụng nam châm hoặc điện từ trường mà không phải dùng bất cứ một hệ thống bơm hay lọc phức tạp nào. Hạt từ tính PG-M là nguyên liệu được sử dụng nhiều nhất trong phương pháp lọc từ tính, nhưng ở Việt Nam, việc ứng dụng PG-M còn chưa được biết đến.

Hạt từ tính PG-M được tạo thành từ 2 thành phần chính: γ -PGA và Fe_3O_4 bằng cách phủ γ -PGA lên hạt từ tính Fe_3O_4 (hình 1 và 2). Việc sử dụng lớp phủ γ -PGA lên hạt từ tính Fe_3O_4 có mục đích là tăng khả năng trao đổi cation của nhóm cacboxylic trên PGA và khả năng hấp phụ vật lý các hạt dạng keo vào mạng polymer ba chiều của nó. Thêm vào đó, vì lõi của PG-M là Fe_3O_4 nên nó mang từ tính, giúp dễ dàng thu hồi PG-M sau khi hấp phụ ion kim loại nặng cũng như các hợp chất trong nước bằng cách sử dụng một nam châm hay điện từ trường. γ -PGA có thành phần chính là glutamic acid, nitơ, cacbon hữu cơ và khoáng chất, nó đã được áp dụng nhiều trong công nghệ sản xuất mỹ phẩm, thực phẩm, chất dẻo, chất keo tụ. γ -PGA

đặc biệt nổi tiếng là thành phần tạo độ nhờn cho món ăn “Natto” - một món ăn nổi tiếng ở Nhật Bản nên nó hoàn toàn không độc hại đối với con người và môi trường [1].



Hình 1: cấu trúc của PG-M (Fe_3O_4 khi phủ γ -PGA)



Hình 2: hạt PG-M

Nghiên cứu này tập trung vào đánh giá khả năng hấp phụ kim loại nặng Cd, Cr và Pb của PG-M, từ đó đưa ra mô hình phù hợp để xử lý nước thải có nồng độ kim loại nặng cao.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thực nghiệm

Khả năng hấp phụ kim loại nặng Cd, Cr và Pb của PG-M được khảo sát ở các điều kiện khác nhau về: pH, thời gian khuấy, liều lượng PG-M. Trong đó pH được khảo sát trong khoảng từ 1-7, thời gian khuấy trong khoảng từ 5-120 phút và liều lượng PG-M tăng dần từ 0,005 lên 0,5 g. Ở điều kiện nào thì giá trị của điều kiện đó được điều chỉnh theo một thang, các giá trị khác cố định. Các thí nghiệm được tiến hành với nước thải nhân tạo chứa Cd, Cr, Pb có nồng độ 1 mg/l. Sau khi hấp phụ, tiến hành tách PG-M ra khỏi dung dịch bằng nam châm. Xác định nồng độ Cd, Cr, Pb trong dung dịch còn lại để đánh giá hiệu quả hấp phụ của PG-M. Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần, kết quả được đánh giá trên giá trị trung bình.

Phương pháp phân tích hóa học

Xác định hàm lượng kim loại Cd, Cr và Pb bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử ngọn lửa (AAS). Xác định pH dựa trên việc đo hiệu điện thế của pin điện hóa sử dụng máy đo pH HANNA HI 98107. Định lượng PG-M bằng cân điện tử PRECISA XR 125 SM.

Phương pháp tính toán

Lượng ion kim loại nặng hấp phụ trên vật liệu hấp phụ: lượng hấp phụ được tính dựa trên sự thay đổi nồng độ của kim loại nặng trong dung dịch trước và

sau khi thực hiện quá trình hấp phụ và khối lượng của vật liệu hấp phụ [2]:

$$q_e = (c_0 - c_e) \cdot V/W$$

Trong đó: q_e là lượng ion kim loại hấp phụ trên mỗi lượng chất hấp phụ (mg/g); c_0 là nồng độ ban đầu của kim loại nặng (mg/l); c_e là nồng độ cuối, hay nồng độ cân bằng của kim loại nặng (mg/l); V là thể tích của dung dịch; W là khối lượng khô của PG-M (g).

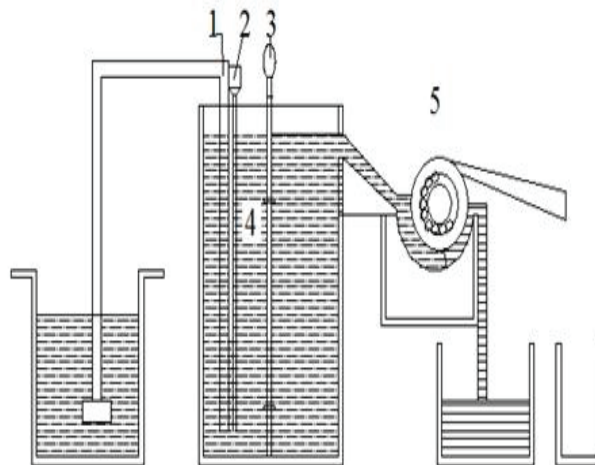
Hiệu suất của quá trình hấp phụ: đại lượng phần trăm kim loại nặng bị loại bỏ khỏi dung dịch sau quá trình hấp phụ, hay hiệu suất của quá trình hấp phụ được tính theo công thức [3]:

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

Trong đó: E là hiệu suất của quá trình hấp phụ (%); C_0 là nồng độ ban đầu (mg/l); C_e nồng độ cân bằng của dung dịch (mg/l).

Phương pháp xây dựng mô hình

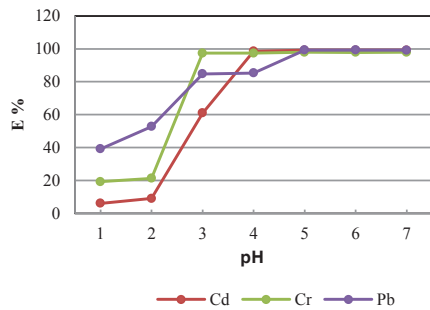
Mô hình lọc từ tính hoạt động theo nguyên lý như sau: nước thải được bơm vào bình phản ứng, dòng nước thải được đưa từ đáy bình, tại đây lượng PG-M cần thiết được cho vào bể phản ứng, cánh khuấy được sử dụng có hai tác dụng: tạo sự hòa trộn đều của PG-M trong bể, tăng khả năng tiếp xúc của PG-M với nước thải; ngăn không cho PG-M lắng trong bể. Nước thải sau khi tiếp xúc với PG-M đứng với thời gian cần thiết được dẫn qua hệ thống tách từ, tại đây hạt PG-M được giữ lại và nước thải sau xử lý được thải ra ngoài (hình 3).



Hình 3: sơ đồ nguyên lý phương pháp lọc từ tính
1: ống dẫn nước vào; 2: bình chứa hạt PG-M;
3: cánh khuấy; 4: bình phản ứng; 5: bộ phận tách từ

Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ của PG-M



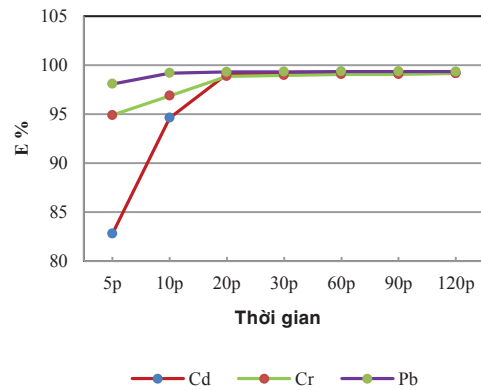
Hình 4: biểu đồ quan hệ giữa hiệu suất xử lý Cd, Cr, Pb và giá trị pH

Từ biểu đồ hình 4 ta thấy, các kim loại khác nhau thì hiệu suất hấp phụ lên PG-M cũng có sự khác nhau: quá trình hấp phụ Cd của PG-M đạt được hiệu suất cao ở các giá trị pH lớn hơn 4; quá trình hấp phụ Cr của PG-M đạt được hiệu suất cao ở các giá trị pH lớn hơn 3; quá trình hấp phụ Pb của PG-M đạt được hiệu suất cao ở các giá trị pH lớn hơn 5. Từ các kết quả nghiên cứu trên cho ta thấy, sự thay đổi pH của môi trường có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình hấp phụ Cd, Cr và Pb của PG-M.

Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến khả năng hấp phụ của PG-M

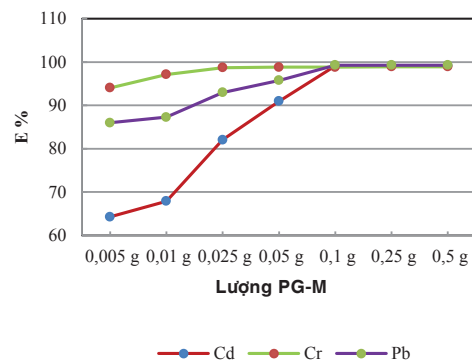
Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng kim loại nặng hấp phụ lên PG-M tăng mạnh trong khoảng thời gian bắt đầu tiến hành hấp phụ đến sau 20 phút hấp phụ đối với cả 3 kim loại Cd, Cr, Pb (hình 5). Điều này được giải thích như sau: theo thuyết hấp phụ đẳng nhiệt [4], các phân tử chất bị hấp phụ khi đã hấp phụ trên bề mặt chất hấp phụ vẫn có thể di chuyển ngược lại. Liên quan đến yếu tố thời gian tiếp xúc giữa chất hấp phụ và chất bị hấp phụ, thời gian ngắn thì chưa đủ để các trung tâm hoạt động trên bề mặt chất hấp phụ được “lấp đầy” bởi các ion kim loại. Ngược lại, khi thời gian dài thì lượng chất bị hấp phụ tích tụ trên bề mặt chất hấp phụ cũng càng nhiều, tốc độ di chuyển ngược lại vào nước càng lớn, nên hiệu quả hấp phụ gần như không tăng và dần đạt về trạng thái cân bằng. So sánh hiệu suất hấp phụ ở các khoảng thời gian được khảo sát trong nghiên cứu này thì hiệu quả hấp phụ tốt nhất là sau 20 phút. Bên cạnh đó, đối với từng kim loại khác nhau thì hiệu suất hấp phụ trong cùng một thời gian cũng khác nhau. Hiệu suất hấp phụ Pb đạt đến 98,08% từ khi bắt đầu tiến hành hấp phụ đến 5 phút và hiệu suất hấp phụ Pb cũng đạt giá trị cao nhất với hiệu suất đến 99,34%. Hiệu suất hấp

phụ Cd đạt giá trị thấp nhất và tốc độ hấp phụ cũng chậm nhất.



Hình 5: biểu đồ quan hệ giữa hiệu suất xử lý Cd, Cr, Pb và thời gian hấp phụ

Ảnh hưởng của lượng PG-M đến khả năng hấp phụ



Hình 6: biểu đồ quan hệ giữa hiệu suất xử lý Cd, Cr, Pb với lượng PG-M

Từ biểu đồ hình 6 ta thấy, ở cùng một lượng PG-M đối với các kim loại khác nhau thì hiệu suất xử lý của PG-M cũng khác. So sánh 3 kim loại trên thì hiệu suất xử lý Cr cao nhất, hiệu suất xử lý Cd thấp nhất. Mặt khác, tỷ lệ hấp phụ của hầu hết các ion kim loại tăng lên với sự gia tăng của lượng PG-M, cho đến khoảng 0,1 g thì đạt mức tối đa. Từ công thức [2] ta có, với 0,1 g PG-M thì lượng kim loại hấp phụ lên nó là 1,01 mg, tương đương với 10,1 mg/1 g PG-M.

Sử dụng mô hình lọc từ tính để xử lý nước thải của Công ty cổ phần cơ khí mạ Đà Nẵng (Khu công nghiệp Hoà Khánh)

Nước thải phát sinh trong quá trình mạ kim loại chứa hàm lượng các kim loại nặng rất cao, là độc chất đối với sinh vật, gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người. Nhiều công trình nghiên cứu cho thấy, với nồng độ đủ lớn, sinh vật có thể bị chết hoặc thoái hóa, với nồng độ nhỏ có thể gây ngộ

độc mãn tính hoặc tích tụ sinh học, ảnh hưởng đến sự sống của sinh vật về lâu dài [5]. Do đó, nước thải từ các quá trình xi mạ kim loại, nếu không được xử lý, qua thời gian tích tụ và bằng con đường trực tiếp hay gián tiếp, chúng sẽ tồn đọng trong cơ thể con người và gây các bệnh nghiêm trọng như viêm loét da, viêm đường hô hấp, eczima, ung thư... Nước thải mạ thường gây ô nhiễm bởi các kim loại nặng như Cd, Cr, Pb, Ni... và có độ pH thấp. Kết quả phân tích mẫu nước thải của Công ty cổ phần cơ khí mạ Đà Nẵng (mẫu lấy ngày 10.10.2014) được thể hiện ở bảng 1.

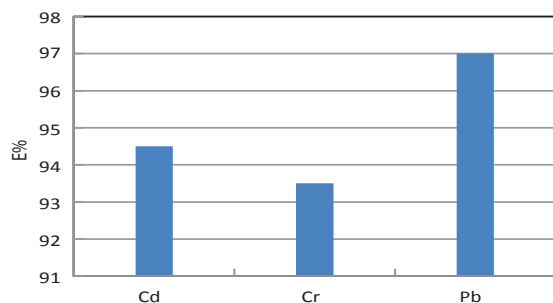
Bảng 1: nồng độ kim loại nặng của nước thải cơ khí mạ

Chỉ tiêu	pH	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Pb (mg/l)
	1,22	0,348	0,758	2,120

Với các đặc điểm nước thải đầu vào như trên, ta có tổng hàm lượng kim loại Cd, Cr, Pb trong 1 lít nước thải là 3,226 mg. Chúng tôi điều chỉnh giá trị pH trong nước thải bằng 5 và lựa chọn các thông số tối ưu để vận hành mô hình ở bảng 2.

Bảng 2: giá trị tối ưu để vận hành mô hình

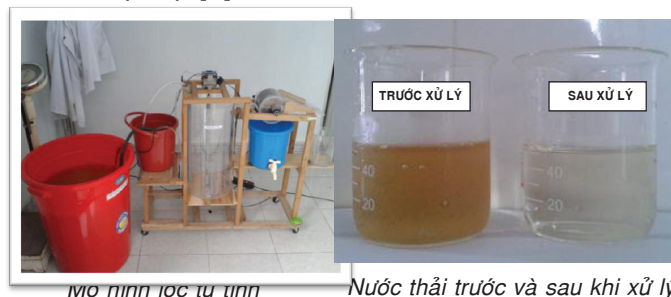
Thông số	Giá trị tối ưu
Thời gian hấp phụ (phút)	20
Liều lượng PG-M (g/l nước thải)	0,32



Hình 7: hiệu suất xử lý kim loại nặng của mô hình lọc từ tính nước thải của Công ty cổ phần cơ khí mạ Đà Nẵng

Kết quả xử lý được thể hiện ở hình 7 cho thấy, hiệu suất xử lý Cd đạt 94,5%, hiệu suất xử lý Cr đạt 93,5% và Pb đạt 97% với nồng độ Cd, Cr và Pb còn lại trong mẫu nước thải lần lượt là 0,019 mg/l; 0,049 mg/l và 0,06 mg/l. So với kết quả thí nghiệm thì hiệu suất xử lý thấp hơn, điều này có thể là do trong nước thải cơ khí mạ có một số thành phần khác gây cản trở quá trình hấp phụ của PG-M. Ngoài ra, nước thải

sau xử lý có độ màu thấp hơn nước thải trước xử lý; khi so sánh nước thải cơ khí mạ sau khi xử lý với quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp cho thấy nồng độ các kim loại Cd, Pb thấp hơn giới hạn cho phép [6].



Kết luận

Nghiên cứu đã khảo sát được một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Cd, Cr và Pb của PG-M như: pH, thời gian hấp phụ và liều lượng PG-M. Kết quả cho thấy, PG-M hấp phụ tốt nhất các điều kiện như sau: quá trình hấp phụ Cd với pH = 6, thời gian 20 phút, liều lượng PG-M 0,1 gam; quá trình hấp phụ Cr với pH = 5, thời gian 30 phút, liều lượng PG-M 0,25 gam; quá trình hấp phụ Pb với pH = 5, thời gian 20 phút, liều lượng PG-M 0,1 gam.

Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình lọc từ tính và đã dùng mô hình lọc từ tính sử dụng vật liệu hấp phụ hạt PG-M để tách kim loại nặng trong nước thải của Công ty cổ phần cơ khí mạ Đà Nẵng - Khu công nghiệp Hoà Khánh đạt được hiệu suất cao.

Tài liệu tham khảo

- [1] Yokoi H, Arima T, Hirose J, Hayashi S, Takasaki Y (1996), "Flocculation Properties of Poly (γ -Glutamic Acid)", *Produced by Bacillus subtilis*, *J. Ferment Bioeng* 82, 4 (84-87).
- [2] Dao Zhou, Lina Zhang, Jinping Zhou, Shenlian Guo (2004), "Cellulose/chitin beads for adsorption of heavy metals in aqueous solution", *Water Research*, 38, 8 (2643-2650).
- [3] Yasar Anelid Aydin, Nuran Deveci Aksoy (2009), "Adsorption of chromium on chitosan: Optimization, kinetics and thermodynamics", *Chemical Engineering Journal*, 151, 7 (188-194).
- [4] Trần Văn Nhân, Nguyễn Thạc Sửu, Nguyễn Văn Tuế (2004), *Hóa lý tập 2*, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [5] Trần Tú Hiếu, Phạm Hùng Việt, Nguyễn Văn Nội (1999), *Hóa môi trường cơ sở*, Khoa Hóa học, Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [6] QCVN 40: 2011/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp.

Giải pháp nâng cao trữ lượng khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng ở Đồng bằng Bắc Bộ

Nguyễn Minh Lân¹, Phạm Bá Quyền¹,
Đào Văn Dũng¹, Phùng Anh Đào², Nguyễn Văn Đản³

¹Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Bắc

²Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

³Hội Địa chất thủy văn Việt Nam

Vùng ven sông Hồng từ đỉnh Đồng bằng Bắc Bộ đến khoảng hết khu vực nội thành của thành phố Hà Nội có cấu trúc hồ, liên tục tồn tại cửa sổ địa chất thủy văn. Ở đó, nước của các tầng Holocen (qh) và Pleistocen (qp) và sông Hồng có quan hệ thủy lực rất chặt chẽ. Nếu tận dụng tất cả diện tích ven 2 bờ sông và các cồn nổi giữa sông ở vùng cấu trúc hồ để xây dựng các công trình khai thác nước có thể đạt được trữ lượng khai thác 2.517.300 m³/ng, kể cả các công trình khai thác đang hoạt động. Nếu kết hợp điều chỉnh một cách hợp lý vị trí các công trình khai thác ven sông đang hoạt động có thể nâng trữ lượng khai thác đến 3.506.400 m³/ng.

Để có được trữ lượng khai thác lớn nêu trên, cần có các biện pháp kỹ thuật thi công giếng khoan phù hợp như khoan tuần hoàn ngược, khoan thổi rửa ngược, kết cấu giếng khoan đảm bảo khai thác lưu lượng lớn. Xây dựng các công trình khai thác ven sông Hồng và cồn nổi cần có các biện pháp hữu hiệu để bảo vệ công trình khai thác nước trong điều kiện ngập lụt và xói lở xảy ra thường xuyên, đồng thời cũng cần đánh giá tác động của việc khai thác nước dưới đất đến môi trường và các công trình xây dựng.

Từ khóa: Đồng bằng Bắc Bộ, nước dưới đất, trữ lượng khai thác, vùng ven sông.

Chỉ số phân loại 1.7

Đặt vấn đề

Khai thác nước dưới đất vùng ven sông, hồ thường cho lưu lượng lớn, đôi khi rất lớn do được nước sông, hồ cung cấp thấm trực tiếp. Công trình khai thác như vậy gọi là công trình khai thác - thấm. Đó là một dạng của bổ sung nhân tạo nước dưới đất, được áp dụng rộng rãi trong khai thác nước dưới đất trên thế giới. Ở nước ta, các công trình khai thác - thấm được áp dụng rất nhiều ở các vùng ven sông như Lâm Thao, Bãi Bằng (Phú Thọ), thành phố Tuyên Quang (Tuyên Quang), thị xã Phúc Yên (Vĩnh Phúc), thành phố Bắc Ninh (Bắc Ninh), thành phố Quảng Ngãi (Quảng Ngãi), thành phố Quy Nhơn (Bình Định) và thành phố Hà Nội là nơi được áp dụng mạnh nhất. Các nhà máy nước Bắc Thăng Long, Gia Lâm, Cáo Đỉnh, Yên Phụ, Đồn Thủy, Lương Yên, Nam Dư... nhờ áp dụng phương pháp này mà khai thác được xấp xỉ 400.000 m³ nước mỗi ngày, chiếm khoảng 2/3 sản lượng cung cấp nước của Công ty kinh doanh nước sạch Hà Nội. Tuy nhiên các công trình khai

thác - thấm ven sông Hồng hiện nay chưa hoàn toàn hợp lý, vẫn có thể điều chỉnh và áp dụng các giải pháp nâng cao hơn nữa trữ lượng khai thác nước dưới đất. Bài báo này đề cập một số giải pháp giúp nâng cao trữ lượng khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng mà tác động đến môi trường không đáng kể.

Cơ sở khoa học

Theo các tài liệu chuyên môn, trữ lượng khai thác nước dưới đất của một vùng nào đó bao gồm nhiều thành phần và được xác định theo công thức sau:

$$Q_{kt} = Q_{tn} + \frac{V_{dh}}{t} + \frac{\alpha V_{tl}}{t} + Q_{ct}$$

Trong đó: Q_{kt} là trữ lượng khai thác nước dưới đất (m³/ng); Q_{tn} - trữ lượng động tự nhiên (m³/ng); V_{dh} - lượng nước tĩnh đàn hồi (m³); V_{tl} - lượng nước tĩnh trọng lực (m³); Q_{ct} - trữ lượng cuốn theo (m³/ng);

**SOLUTION TO ENHANCING THE
EXPLOITABLE GROUND WATER
RESERVE IN THE RIPARIAN ZONE IN THE
NORTHERN DELTA**

Summary

The riparian zone of Red river from the peak of Northern Delta to the urban area of Hanoi capital has an open structure, existing hydrographical and geological windows. There is a close relationship between aquifers (qh and qp) and Red river. The exploitable ground water reserve in the areas of two river banks and sand banks within the river can be 2,517,300 m³/day, including currently exploiting works. If the locations of these works can be adjusted rationally, the exploitable reserve can be raised up to 3,506,400 m³/day.

To get the above mentioned reserves, the suitable execution methods are needed such as reverse circulation drilling, backwash well pumping, and good well construction to ensure the exploitation of large capacity. For the construction of wells along river banks and on the river sand banks, the effective methods should be needed to protect wells in the flooding season and erosion condition as well as to assess the impacts of ground water exploitation on the environment and other construction works.

Keywords: *exploitable reserve, groundwater, Northern Delta, riparian zone.*

Classification number 1.7

α - hệ số xâm phạm vào trữ lượng tĩnh trọng lực (lấy bằng 30% đối với tầng chứa nước không áp); t - thời gian khai thác (ngày).

Trong các thành phần kể trên, trữ lượng cuốn theo chỉ xảy ra trong điều kiện khai thác: cuốn theo do thấm xuyên từ trên xuống hoặc từ dưới lên, do lỗi cuốn dòng chảy từ bên sườn, do thấm từ các nguồn nước trên mặt như sông, hồ... khi mực nước dưới đất tại tầng chứa nước khai thác bị hạ thấp. Ở các vùng ven sông, nhất là các sông lớn, trữ lượng cuốn theo thường rất lớn do thấm từ sông. Khi có cấu trúc hở, trong điều kiện khai thác, nước sông thấm trực tiếp cung cấp cho các công trình khai thác sẽ đóng vai trò chính hình thành trữ lượng khai thác nước dưới đất.

Trữ lượng cuốn theo do thấm từ sông Hồng ở Đồng bằng Bắc Bộ trong điều kiện khai thác đã được nhiều nhà nghiên cứu xác định với các kết quả như sau: Nguyễn Mạnh Hoàng, năm 1983 [6], bằng phương pháp giải tích đã xác định đại lượng cung cấp cho tầng chứa nước từ sông Thao cho công trình khai thác nước vùng Lâm Thao - Phú Thọ là 14.400 m³/ng/km đường bờ. Trần Minh, năm 1993 [9], bằng phương pháp giải tích đã xác định đại lượng cung cấp cho tầng chứa nước từ sông Hồng cho các công trình khai thác nước vùng thành phố Hà Nội là 37.00 m³/ng/km đường bờ. Nguyễn Văn Đản, năm 2000 [1], bằng phương pháp mô hình số đã nghiên cứu ở vùng bãi giếng Cáo Đỉnh và rút ra kết luận: công trình khai thác càng đặt gần mép nước sông Hồng được nhận lượng cung cấp từ sông càng lớn. Ông đã tính toán khi công trình khai thác cách mép nước sông 200 m thì lượng cung cấp từ sông Hồng là 44.000 m³/ng/km đường bờ, đạt 88% tổng nguồn hình thành trữ lượng khai thác.

Nguyễn Minh Lân và nnk, năm 2014, khi thực hiện đề tài khoa học: “Nghiên cứu mối quan hệ giữa nước sông và nước dưới đất, đề xuất hệ phương pháp xác định trữ lượng khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng từ thị xã Sơn Tây đến Hưng Yên”, mã số TNMT.02.33 [7], bằng phương pháp mô hình số đã tính toán trữ lượng cho bãi giếng Bắc Thăng Long theo 3 phương án khác nhau về vị trí: 1) giữ nguyên 18 giếng khoan khai thác hiện nay, 2) chuyển 18 giếng khoan khai thác này ra mép nước sông Hồng và 3) khoan 10 giếng khoan ở cồn nổi giữa sông. Khoảng cách giữa các giếng ở phương án 2 và 3 đều là 200 m. Kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng 1.

Bảng 1: kết quả dự báo mực nước hạ thấp tại trung tâm bãi giếng Bắc Thăng Long theo 3 phương án khai thác (m³/ng)

STT	Phương án khai thác	Số giếng khoan	Công suất 1 giếng	Công suất cả bãi giếng	Độ cao mực nước hạ thấp cho phép (m)	Độ cao mực nước hạ thấp dự báo (m)		
						Năm 2020	Năm 2025	Năm 2030
1	Hiện trạng	18	2.350	43.000	-20	-8	-8,7	-9
2	Ven bờ	18	8.000	144.000	-20	-5,5	-7	-8,5
3	Cồn nổi	10	15.000	150.000	-20	-7	-8	-8,7

Phân tích kết quả ở bảng 1 cho thấy: khi đưa các giếng khai thác ra mép nước sông Hồng (phương án 2), lưu lượng khai thác ở mỗi giếng và cả bãi giếng đều tăng hơn 3 lần so với vị trí hiện tại mà mực nước hạ thấp nhỏ hơn. Nếu đưa các giếng khai thác ra vùng cồn nổi giữa sông (phương án 3) thì lưu lượng

khai thác ở mỗi giếng tăng gần gấp gần 2 lần so với phương án 2 và hơn 6 lần so với phương án 1.

Từ các kết quả nghiên cứu trên cho thấy: bố trí các giếng khoan khai thác nước dưới đất một cách hợp lý sẽ cho lưu lượng lớn, càng gần sông lưu lượng càng lớn. Công suất mỗi một giếng khoan vùng ven sông Hồng có thể đạt từ 3.000 đến 10.000 m³/ng tùy theo vị trí giếng khoan. Khai thác ở các cồn nổi giữa sông có thể đạt trên 10.000 m³/ng/1 giếng khoan. Đây được xem như mục tiêu để thiết kế các công trình khai thác - thấm ven sông Hồng. Để đạt được mục tiêu này, ngoài việc bố trí hợp lý các công trình khai thác, còn phải chú ý đến kỹ thuật thi công và kết cấu giếng khoan, bảo vệ các giếng khoan và đánh giá các tác động của việc khai thác nước dưới đất đến môi trường.

Bố trí công trình khai thác nước dưới đất

Cấu trúc vùng ven sông Hồng

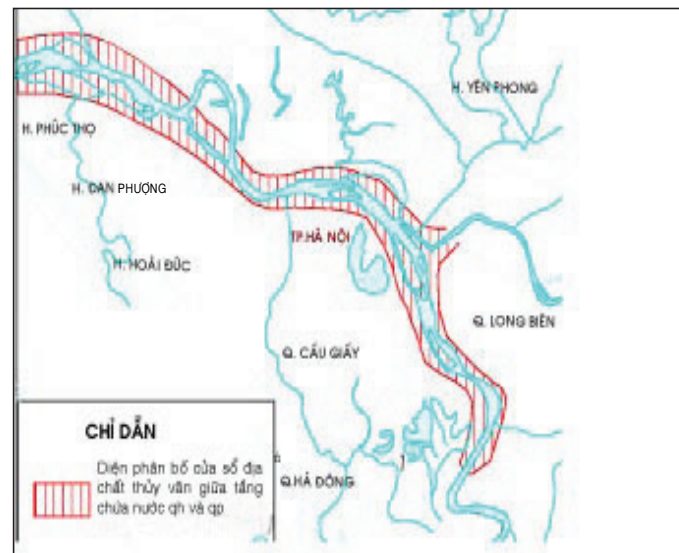
Để bố trí hợp lý các công trình khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng cần nghiên cứu làm rõ cấu trúc địa chất - địa chất thủy văn, xác định kiểu quan hệ thủy lực giữa nước dưới đất và nước mặt...

Vùng ven sông Hồng ở Đồng bằng Bắc Bộ, về cấu trúc địa chất thủy văn, có 2 tầng chứa nước lỗ hổng là qh và qp nằm trên các thành tạo Neogen. Tầng chứa nước qp tương đối đồng nhất: được cấu tạo bởi 2 lớp chứa nước là cát sạn sỏi bên trên (qp₂) và cát cuội sỏi bên dưới (qp₁). Tầng chứa nước qh được ngăn cách với tầng chứa nước qp bởi các thành tạo thấm nước yếu qp hệ tầng Vĩnh Phúc trên. Cấu tạo của tầng chứa nước qh có thể chia ra 2 khu: khu 1 phân bố từ đỉnh đồng bằng đến khoảng giữa quận Long Biên của thành phố Hà Nội. Khu 2 phân bố tiếp theo đến hết đồng bằng. Ở khu 1, tầng chứa nước qh có cấu trúc 2 lớp: lớp cách nước trên cùng có chiều dày mỏng phủ lên các thành tạo chứa nước thuộc hệ tầng Thái Bình trên có nguồn gốc sông là chủ yếu. Khu 2 có cấu trúc 4 lớp: 2 lớp trên tương tự như ở khu vực 1, lớp cách nước thứ 2 là các thành tạo thuộc hệ tầng Hải Hưng trên có nguồn gốc biển, biển đầm lầy bao gồm sét màu xám xanh, xám tro, bùn sét lẫn nhiều tàn tích thực vật, tiếp theo là lớp chứa nước thứ 2 gồm các thành tạo thuộc phần dưới của hệ tầng Hải Hưng, nguồn gốc sông, sông hồ bao gồm cát hạt nhỏ, hạt trung màu xám, xám tro lẫn cát sét.

Sự khác biệt trong cấu trúc tầng chứa nước qh có ảnh hưởng đến đặc điểm của tầng chứa nước qp: ở khu 1, các thành tạo thấm nước yếu pleistocen hệ tầng Vĩnh Phúc trên thường bị bào mòn do hoạt động của sông Hồng làm cho tầng chứa nước qh

phủ trực tiếp lên tầng chứa nước qp, đó là các cửa sổ địa chất thủy văn, làm cho tầng chứa nước qp bị mất tính chất áp lực, dẫn đến 2 tầng chứa nước có chung một mực nước. Ở khu 2, do có 2 lớp thấm nước yếu và có bề dày lớn hơn, khó bị bào mòn, dẫn đến 2 tầng chứa nước qh và qp độc lập tương đối với nhau và tạo cho tầng chứa nước qp tính có áp lực.

Kết quả nghiên cứu đã vẽ được diện phân bố của cửa sổ địa chất thủy văn giữa tầng chứa nước qh và qp như ở hình 1. Theo đó, cửa sổ địa chất thủy văn tồn tại liên tục theo dòng sông Hồng từ vùng đỉnh của đồng bằng đến khoảng hết địa phận nội thành của Hà Nội.



Hình 1: diện phân bố cửa sổ địa chất thủy văn vùng ven sông Hồng

Cửa sổ địa chất thủy văn bao trùm trọn ven lòng sông Hồng và mở rộng về phía bồi ở các khúc uốn của sông. Ranh giới này được xác định rõ ràng nhất ở vùng bãi giếng Nam Dư, trong đó 15 giếng khoan phía bắc (từ H1 đến H15) nằm ở khúc uốn của sông Hồng bên bồi có cửa sổ địa chất thủy văn. 3 giếng (H16, H17, H18) phía nam, ở khúc uốn nhưng chuyển thành bên lở không có cửa sổ địa chất thủy văn. Giữa 2 tầng chứa nước qh và qp tồn tại lớp sét thấm nước yếu dày 12 đến 15 m.

Đoạn từ khoảng hết khu vực nội thành Hà Nội trở xuống không có cửa sổ địa chất thủy văn, các tầng chứa nước qh và qp độc lập với nhau.

Cấu trúc và sự tồn tại các cửa sổ địa chất thủy văn là những yếu tố quyết định kiểu và mức độ quan hệ thủy lực giữa nước dưới đất và nước sông Hồng. Nguyễn Văn Đản, năm 2013 [4], đã xác định 3 kiểu quan hệ thủy lực giữa sông Hồng và nước dưới đất tầng qp ở Đồng bằng Bắc Bộ.

Các phương án bố trí công trình khai thác nước dưới đất

Ở vùng tồn tại của sỏi địa chất thủy văn, theo nhiều nhà nghiên cứu [2, 3], các công trình khai thác - thấm nước dưới đất cần được bố trí ở vùng ngoài đê, dạng đường song song với mép nước sông Hồng, càng gần mép nước sông càng có lưu lượng lớn. Nguyễn Văn Đản, 2014 [5] còn đề xuất bố trí công trình khai thác ở các cồn nổi giữa sông Hồng như bãi Đa Độ, bãi Tứ Liên, Bãi Giữa... sẽ cho lưu lượng lớn hơn.

Theo các ý tưởng trên, Nguyễn Minh Lân và các tác giả của đề tài TNMT.02.33 đã tính toán trữ lượng khai thác dự báo nước dưới đất ven sông Hồng ở vùng có cấu trúc hồ bằng phương pháp mô hình số

theo 2 phương án:

- Phương án 1: Giữ nguyên hiện trạng của các công trình đang khai thác, thiết kế bổ sung công trình mới vào các vị trí thích hợp.

- Phương án 2: Điều chỉnh vị trí của các công trình khai thác đang hoạt động ven sông Hồng về những vị trí thích hợp, giữ nguyên hiện trạng của các công trình khai thác vùng xa sông và bổ sung các công trình khai thác mới như phương án 1.

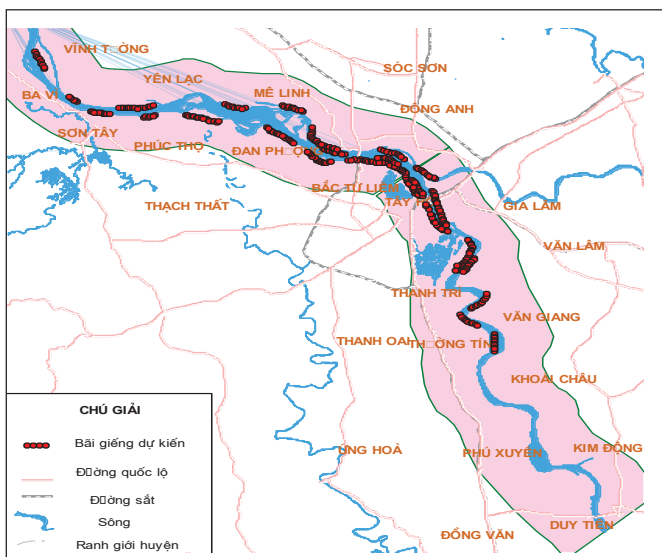
Cả 2 phương án trên đều thiết kế khai thác từ tầng chứa nước qp, khoảng cách giữa các giếng khoan là 200 m. Kết quả tính trữ lượng khai thác dự báo tổng hợp ở bảng 2 và 3, sơ đồ vị trí các bãi giếng thể hiện ở hình 2.

Bảng 2: kết quả tính trữ lượng khai thác dự báo nước dưới đất theo phương án 1

STT	Bãi giếng	Số lượng giếng	Lưu lượng (m ³ /ng)		Dự báo chiều sâu mực nước cách mặt đất tại tâm bãi giếng đến năm (m)		
			1 giếng	Cả bãi giếng	2020	2025	2030
Bãi giếng mới							
1	Cẩm Đình - Phúc Thọ - Hà Nội	6	4.000	24.000	15,0	15,6	15,9
2	Vân Nam - Phúc Thọ - Hà Nội	16	10.000	160.000	13,8	15,0	15,4
3	Hồng Hà - Đan Phượng - Hà Nội	15	15.000	225.000	3,4	4,1	5,2
4	Vĩnh Thịnh - Vĩnh Tường - Vĩnh Phúc	5	4.000	20.000	10,0	13,8	14,1
5	Thượng Cát (mở rộng) - Gia Lâm - Hà Nội	5	12.000	60.000	10,0	11,2	13,2
6	Minh Châu - Ba Vì - Hà Nội	10	2.000	20.000	6,4	8,7	10,0
7	Hồng Châu - Yên Lạc - Vĩnh Phúc	15	3.000	45.000	13,8	15,0	15,9
8	Chu Phan - Mê Linh - Hà Nội	10	15.000	150.000	6,4	8,7	9,2
9	Văn Khê - Mê Linh - Hà Nội	10	12.000	120.000	10,0	15,0	16,5
10	Tầm Xá - Đông Anh - Hà Nội	10	15.000	150.000	10,0	13,8	14,2
11	Đông Hội - Đông Anh - Hà Nội	10	12.000	120.000	5,0	5,6	6,2
12	Tự Nhiên - Thường Tín - Hà Nội	12	15.000	180.000	13,8	14,2	15,0
13	Tứ Liên - Tây Hồ - Hà Nội	10	10.000	100.000	20,0	21,2	23,3
14	Võng La - Đông Anh - Hà Nội	12	15.000	180.000	8,7	9,1	10,0
15	Kim Lan - Gia Lâm - Hà Nội	10	10.000	100.000	6,4	6,8	7,0
16	Liên Phương - Thường Tín - Hà Nội	10	8.000	80.000	5,0	5,2	5,6
17	Thắng Lợi - Văn Giang - Hưng Yên	10	8.000	80.000	1,8	3,4	4,2
18	Phú Thượng - Tây Hồ - Hà Nội	10	15.000	150.000	15,0	15,9	16,4
	Cộng	186		1.964.000			
Các bãi giếng đang khai thác							
1	Sơn Tây	13		20.000			
2	Bắc Thăng Long	18		40.000			
3	Thượng Cát	9		24.700			
4	Cáo Đình	19		60.000			
5	Yên Phụ	33		98.000			
6	Đồn Thủy	4		9.200			
7	Lương Yên	15		54.000			
8	Nam Dư	18		60.000			
9	Gia Lâm	23		60.000			
10	Các bãi giếng vùng xa sông	64		127.400			
	Cộng	216		553.300			
	Tổng số	402		2.517.300			

Bảng 3: kết quả tính trữ lượng khai thác dự báo nước dưới đất theo phương án 2

STT	Bãi giếng	Số lượng giếng	Lưu lượng (m ³ /ng)		Dự báo chiều sâu mực nước cách mặt đất tại tâm bãi giếng đến năm (m)		
			1 giếng	Cả bãi giếng	2020	2025	2030
Bãi giếng mới							
1	Cẩm Đình - Phúc Thọ - Hà Nội	6	4.000	24.000	15,0	15,6	15,9
2	Vân Nam - Phúc Thọ - Hà Nội	16	10.000	160.000	13,8	15,0	15,4
3	Hồng Hà - Đan Phượng - Hà Nội	15	15.000	225.000	3,4	4,1	5,2
4	Vĩnh Thịnh - Vĩnh Tường - Vĩnh Phúc	5	4.000	20.000	10,0	13,8	14,1
5	Thượng Cát (mở rộng) - Gia Lâm - Hà Nội	5	12.000	60.000	10,0	11,2	13,2
6	Minh Châu - Ba Vì - Hà Nội	10	2.000	20.000	6,4	8,7	10,0
7	Hồng Châu - Yên Lạc - Vĩnh Phúc	15	3.000	45.000	13,8	15,0	15,9
8	Chu Phan - Mê Linh - Hà Nội	10	15.000	150.000	6,4	8,7	9,2
9	Văn Khê - Mê Linh - Hà Nội	10	12.000	120.000	10,0	15,0	16,5
10	Tầm Xá - Đông Anh - Hà Nội	10	15.000	150.000	10,0	13,8	14,2
11	Đông Hội - Đông Anh - Hà Nội	10	12.000	120.000	5,0	5,6	6,2
12	Tự Nhiên - Thường Tín - Hà Nội	12	15.000	180.000	13,8	14,2	15,0
13	Tứ Liên - Tây Hồ - Hà Nội	10	10.000	100.000	20,0	21,2	23,3
14	Võng La - Đông Anh - Hà Nội	12	15.000	180.000	8,7	9,1	10,0
15	Kim Lan - Gia Lâm - Hà Nội	10	10.000	100.000	6,4	6,8	7,0
16	Liên Phương - Thường Tín - Hà Nội	10	8.000	80.000	5,0	5,2	5,6
17	Thắng Lợi - Văn Giang - Hưng Yên	10	8.000	80.000	1,8	3,4	4,2
18	Phú Thượng - Tây Hồ - Hà Nội	10	15.000	150.000	15,0	15,9	16,4
Cộng		186		1.964.000			
Các bãi giếng đang khai thác ven sông được điều chỉnh							
1	Sơn Tây	13	5.000	65.000	3,1	4,2	4,8
2	Bắc Thăng Long	18	8.000	144.000	10,0	12,8	13,2
3	Thượng Cát	9	12.000	108.000	10,0	12,6	14,2
4	Cáo Đỉnh	19	8.000	152.000	20,0	23,7	24,3
5	Yên Phụ	33	8.000	264.000	20,0	22,1	24,3
6	Đồn Thủy	4	10.000	40.000	16,2	17,5	20,0
7	Lương Yên	15	10.000	150.000	12,8	16,2	16,8
8	Nam Dư	18	12.000	216.000	12,6	16,0	17,2
9	Gia Lâm	23	12.000	276.000	12,0	13,8	16,0
Cộng		152		1.415.000			
Các bãi giếng vùng xa sông		64		127.400			
Tổng số		402		3.506.400			



Hình 2: sơ đồ vị trí các bãi giếng ven sông (phương án 2)

Phương án 2 tuy có tính khả thi thấp, song cần được tính đến để điều chỉnh mỗi khi khoan lại giếng khoan khai thác bị hư hỏng.

Vùng từ khoảng hết địa phận nội thành Hà Nội đến Thường Tín - Hà Nội và Khoái Châu - Hưng Yên do có cấu trúc kín, các giếng khai thác cũng có thể bố trí dạng đường song song và gần mép nước sông, song chúng chỉ cho lưu lượng nhỏ hơn. Để nâng cao công suất khai thác phải áp dụng bổ sung nhân tạo bằng cách ép nước. Các lỗ khoan ép nước thiết kế riêng xen kẽ với lỗ khoan khai thác hoặc thiết kế giếng khoan 2 mục đích: ép nước ở đoạn trên, bơm nước ở đoạn dưới hoặc ngược lại trong cùng một giếng khoan [10].

Vùng từ phía nam Hà Nội và Hưng Yên trở xuống, nước dưới đất tầng qp bị mặn, không thể khai thác cho mục đích ăn uống sinh hoạt.

Kỹ thuật khoan và cấu trúc giếng khoan khai thác

Cấu trúc giếng khoan và kỹ thuật khai thác

Tầng chứa nước qđ thường nằm sâu, cách mặt đất 30-50 m, cần áp dụng giếng khoan khai thác thẳng đứng. Giếng khoan cần khoan hết chiều dày tầng chứa nước qđ với chiều sâu khoảng 50-80 m. Giếng khoan cần được khoan với đường kính khoảng 700 mm, kết cấu ống chống đường kính 450 mm ở phần trên, ống lọc cùng đường kính ở tầng chứa nước khai thác. Tốt nhất là ống lọc Johnson khe hở 3 mm. Phía ngoài ống chống và ống lọc được chèn sỏi thích hợp với thành phần vật chất của đá tầng chứa nước.

Với kết cấu như trên, khai thác bằng các máy bơm chìm của Đức (EMUK126), Ý, Đan Mạch, Mỹ... đều đạt công suất > 3.000 m³/ng. Thành phố Hà Nội có nhiều kinh nghiệm lắp đặt các giếng khoan khai thác nước dưới đất công suất lớn. Với cấu trúc như trên, giếng khoan LYH10 ở Lương Yên đã khai thác được 7.200 m³/ng.

Khi cần khai thác với công suất lớn hơn, có thể áp dụng công nghệ của các nước phát triển. Nhật Bản sử dụng công nghệ Nagaoka có thể khai thác với công suất 1.000-200.000 m³/ngày bằng các giếng thu nước đường kính lớn. Trong khi chưa có điều kiện áp dụng công nghệ của các nước phát triển, có thể khoan khai thác nhóm, tức là khoan 2 hoặc 3 giếng khoan khai thác ở cùng một vị trí.

Kỹ thuật khoan giếng

Kỹ thuật khoan giếng khai thác có ý nghĩa rất lớn đối với năng suất, giá thành, mức độ tiện lợi thi công, hiệu suất và tuổi thọ giếng khoan. Hiện nay, khoan khai thác nước dưới đất áp dụng nhiều phương pháp, công nghệ khoan khác nhau như: khoan xoay, khoan đập, khoan với công nghệ khoan tuần hoàn thuận, tuần hoàn ngược, khoan thổi rửa ngược... Mỗi phương pháp, mỗi công nghệ đều có các tính năng tác dụng khác nhau, tạo ra các ưu, nhược điểm khác nhau, cần phải lựa chọn phù hợp với mục đích khoan.

Với mục đích khai thác nước dưới đất, yêu cầu quan trọng nhất phải đạt được là tuổi thọ giếng khoan lâu dài, hiệu suất giếng khoan lớn, tức là không được làm ảnh hưởng nhiều đến trạng thái tự nhiên của tầng chứa nước. Trong trường hợp ngược lại, lưu lượng của giếng khoan sẽ giảm, một số trường hợp giảm rất đáng kể.

Công tác khoan giếng khai thác hiện nay ở nước ta đang áp dụng rộng rãi công nghệ khoan tuần hoàn thuận, khoan đập cáp, với hiệu suất không

cao. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam đã hoàn thành đề tài nghiên cứu: “Thiết kế chuyển đổi công nghệ khoan tuần hoàn thuận sang công nghệ khoan tuần hoàn ngược khi khoan khai thác nước dưới đất trong điều kiện Việt Nam” [8]. Đề tài đã được áp dụng thi công xây dựng trên 100 giếng khoan khai thác ở Đồng bằng Nam Bộ, các ưu điểm được tổng hợp so sánh trong bảng 4.

Bảng 4: tổng hợp so sánh hiệu quả giếng khoan theo công nghệ khoan tuần hoàn ngược

STT	Chỉ tiêu	Công nghệ khoan		So sánh
		Tuần hoàn thuận	Tuần hoàn ngược	
1	Địa tầng áp dụng	Tất cả	Vùng đất mềm yếu, dễ sập lở	
2	Đường kính khoan	Tối đa 500 mm	800 mm hoặc lớn hơn	
3	Chiều sâu khoan	Đến 500 m	Trên 500 m	
4	Tình trạng thành và đáy	Thành dễ sập lở, đáy lắng đọng nhiều	Thành ổn định, không phải chống ống	
5	Công tác chèn sỏi	Thực hiện khó khăn, lượng sỏi ít	Thực hiện thuận lợi, sỏi nhiều	
6	Xử lý thông tầng chứa nước	Tốn kém, hiệu quả thấp	Không cần xử lý, lưu lượng giếng đạt tối đa	
7	Lưu lượng giếng bình quân (m ³ /h)	39	111	Tăng 285%
8	Mức hạ thấp mực nước bình quân (m)	12,2	8,3	Giảm 3,9 m
9	Thời gian thi công 1 giếng bình quân (ngày)	45	22	Giảm 2 lần

Từ bảng 4 cho thấy, để có được lưu lượng lớn nhất, mực nước hạ thấp nhỏ, hiệu suất giếng khai thác cao, cần áp dụng công nghệ khoan tuần hoàn ngược.

Từ trước đến nay, các giếng khoan khai thác nước dưới đất ở vùng Hà Nội vẫn áp dụng phương pháp khoan đập cáp. Tại hội thảo khoa học “Trữ lượng khai thác nước ngầm vùng Hà Nội và giải pháp cấp nước” do Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam tổ chức tại Hà Nội ngày 9.3.2012, Hội Công nghệ khoan - khai thác Việt Nam đã đề nghị ứng dụng công nghệ “khoan thổi rửa ngược” có các tính năng ưu việt vượt trội như thống kê ở bảng 5.

Bảng 5: tổng hợp so sánh hiệu quả giếng khoan theo công nghệ khoan xoay thổi rửa ngược

STT	Chỉ tiêu so sánh	Công nghệ truyền thống	Công nghệ mới
1	Khoan tạo lỗ	Khoan đập cáp	Khoan xoay “thổi rửa ngược”
2	Giữ thành giếng khoan	Dung dịch sét bentonit tỷ trọng lớn	Dung dịch sét bentonit tỷ trọng nhỏ
3	Kết cấu ống vách giếng khoan	Kết cấu hàn liền với ống lọc sau khi kết cấu ống lọc	Kết cấu riêng và trám xi măng rồi mới khoan tiếp để kết cấu giếng
4	Cách ly ô nhiễm nước ngầm tầng khai thác	Chèn sét viên, cách ly không triệt để	Trám xi măng và cách ly hoàn toàn
5	Tính thấm của tầng chứa nước	Giảm	Không giảm
6	Thời gian thi công 1 giếng	Khoảng 60 ngày	Khoảng 40 ngày
7	Công suất khai thác 1 giếng khoan có thể đạt được (m ³ /ng)	4.000-5.000	5.000-6.000
8	Tuổi thọ giếng khoan (năm)	30-40	60-70

Rõ ràng công nghệ khoan tuần hoàn ngược và khoan xoay “thổi rửa ngược” là ưu việt, phù hợp với việc khoan giếng khai thác công suất lớn ở vùng ven sông Hồng.

Một số giếng khoan khai thác ở các bãi giếng ven sông Hồng hiện nay có lưu lượng nhỏ, đôi khi nhỏ hơn 2.000 m³/ng, cần được nghiên cứu xác định nguyên nhân và tìm giải pháp khắc phục.

Giải pháp bảo vệ giếng khoan

Các giếng khoan khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng sẽ gặp những bất lợi như bị ngập về mùa lũ, dễ bị phá hủy do hoạt động của sông...

Để giếng khoan không bị ngập về mùa lũ, cần nâng ống chống trên mặt đất cao hơn độ cao có thể ngập lụt. Kết quả tính toán mực nước sông Hồng tuyệt đối lớn nhất tại trạm đo Sơn Tây và Hà Nội có các tần suất khác nhau được tổng hợp ở bảng 6.

Bảng 6: mực nước sông Hồng tuyệt đối lớn nhất với các tần suất khác nhau (cm)

STT	Trạm đo	Tần suất (%)		
		5	3	1
1	Sơn Tây	1.548	1.573	1.621
2	Hà Nội	1.278	1.309	1.370

Số liệu ở bảng 6 là cơ sở thiết kế độ cao miệng ống chống ở các giếng khai thác. Trong đó, số liệu ở trạm đo Sơn Tây dùng để thiết kế các giếng khoan ở phần thượng lưu. Số liệu ở trạm đo Hà Nội được dùng để thiết kế giếng ở vùng từ Hà Nội trở xuống.

Trong thời gian tới, cần nghiên cứu giải pháp nhằm bảo vệ công trình khai thác nước như tính ổn định của các bãi bồi, tính ổn định của bờ sông... Ngoài ra, cũng phải nghiên cứu sự ảnh hưởng của việc khai thác nước dưới đất đến môi trường như sụt lún mặt đất, ảnh hưởng đến hệ thống đê điều, nghiên cứu bảo vệ nguồn nước sông Hồng, bảo vệ các dải ven sông và bãi bồi khỏi bị nhiễm bẩn...

Kết luận và kiến nghị

Vùng ven các sông hồ, trong một số trường hợp là nơi thuận lợi để xây dựng các công trình khai thác - thấm nước dưới đất công suất lớn do nhận được nguồn cung cấp bổ sung từ sông trong điều kiện khai thác.

Vùng ven sông Hồng từ đỉnh Đồng bằng Bắc Bộ đến khoảng hết nội thành Hà Nội có cấu trúc hồ thuận tiện để xây dựng công trình khai thác - thấm dạng đường song song với mép nước. Các giếng khoan khai thác - thấm vùng ven sông có thể có công suất từ 3.000 đến 10.000 m³/ng tùy thuộc vào vị trí giếng khoan. Giếng khoan càng gần mép nước sông thì công suất càng lớn. Giếng khoan ở các cồn

nổi có thể có công suất trên 10.000 m³/ng.

- Nếu tận dụng tất cả diện tích ven 2 bờ sông và các cồn nổi giữa sông ở vùng cấu trúc hồ để xây dựng các công trình khai thác nước thì có thể đạt được trữ lượng 2.517.300 m³/ng, kể cả các công trình khai thác đang hoạt động. Nếu kết hợp điều chỉnh một cách hợp lý vị trí các công trình khai thác ven sông đang hoạt động có thể nâng trữ lượng lên đến 3.506.400 m³/ng.

- Để có công suất khai thác lớn, cần áp dụng công nghệ khoan tuần hoàn ngược, khoan thổi rửa ngược để thi công giếng khoan.

- Cần nghiên cứu áp dụng các biện pháp hữu hiệu để bảo vệ công trình khai thác nước trong điều kiện ngập lụt và sồi lở, đánh giá tác động của việc khai thác nước dưới đất đến môi trường và các công trình xây dựng.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Văn Đản và nnk (2000), “Về khả năng xây dựng các công trình khai thác thấm lọc ven sông Hồng cung cấp cho thành phố Hà Nội”, *Tạp chí Địa chất*, A/260:43-49.

[2] Nguyễn Văn Đản (2010), “Tài nguyên nước dưới đất vùng thành phố Hà Nội và định hướng điều tra nghiên cứu, khai thác sử dụng”, *Kỷ yếu hội thảo khoa học quốc tế kỷ niệm 1.000 năm Thăng Long*, trang 1007-1016.

[3] Nguyễn Văn Đản và nnk (2012), “Khả năng xây dựng các bãi giếng khai thác nước dưới đất công suất lớn cung cấp cho Thủ đô Hà Nội”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn số 620*, trang 1-5.

[4] Nguyễn Văn Đản và nnk (2013), “Quan hệ thủy lực giữa nước dưới đất trong các trầm tích Đệ tứ với nước sông Hồng ở Đồng bằng Bắc Bộ”, *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường số 5 (163)*, trang 26-28.

[5] Nguyễn Văn Đản và nnk (2013), “Nước dưới đất ở cồn nổi sông Hồng, nguồn dự phòng nước cho Thủ đô”, *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường số 15 (197)*, trang 15-17.

[6] Nguyễn Mạnh Hoàng và nnk (1983), “Báo cáo thăm dò nước dưới đất vùng Bãi Bằng, Lâm Thao tỉnh Phú Thọ”, *Lưu trữ địa chất*, Hà Nội.

[7] Nguyễn Minh Lân và nnk (2014), “Nghiên cứu mối quan hệ giữa nước sông và nước dưới đất, đề xuất hệ phương pháp xác định trữ lượng khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng từ thị xã Sơn Tây đến Hưng Yên”, *Báo cáo đề tài mã số TNMT.02.33*, Lưu trữ Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[8] Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam (2005), “Báo cáo đề tài khoa học công nghệ: Thiết kế chuyển đổi công nghệ khoan tuần hoàn thuận sang công nghệ khoan tuần hoàn ngược trong khoan khai thác nước dưới đất trong điều kiện Việt Nam”, *Lưu trữ quốc gia*, Hà Nội.

[9] Trần Minh và nnk (1993), “Báo cáo thăm dò nước dưới đất vùng Hà Nội mở rộng”, *Lưu trữ địa chất*, Hà Nội.

[10] L. Huisman và T.N. Olsthoorn (bản dịch 2005), “Bổ sung nhân tạo nước dưới đất”.

Nghiên cứu ảnh hưởng của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi dòng chảy, môi trường và kinh tế - xã hội vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Tô Quang Toàn¹, Tăng Đức Thắng²

¹ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

² Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Lưu vực sông Mê Công có diện tích khoảng 795.000 km², chảy qua địa phận của 6 quốc gia: Trung Quốc, Myanma, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam với chiều dài dòng chính là 4.800 km, tổng lượng dòng chảy hàng năm vào khoảng 450 tỷ m³. Sông Mê Công xếp thứ 21 trên thế giới về diện tích lưu vực, thứ 12 về chiều dài và thứ 8 về tổng lượng dòng chảy. Sông có mức độ đa dạng sinh học cao với khoảng 1.300 loài thủy sản, sản lượng cá hàng năm đứng thứ 2 trên thế giới, lưu vực sông là nơi cung cấp lương thực cho khoảng 300 triệu người. Sông có tiềm năng thủy điện cao, vào khoảng 53.000 MW, trong đó 23.000 MW ở thượng lưu thuộc Trung Quốc, 13.000 MW ở dòng chính phía hạ lưu và hơn 17.000 MW là thủy điện dòng nhánh ở các nước hạ lưu vực. Các kịch bản phát triển nông nghiệp và thủy điện ở thượng lưu nói chung và kế hoạch xây dựng 12 đập thủy điện trên dòng chính nói riêng có thể gây tác động bất lợi đến chế độ dòng chảy, chất lượng nước, đa dạng sinh học và ảnh hưởng đến đời sống, sản xuất của hàng chục triệu người dân phía hạ lưu. Bài báo trình bày một số kết quả đánh giá tác động có thể của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi chế độ dòng chảy, môi trường và kinh tế - xã hội ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) để thấy được mặt lợi cũng như bất lợi đối với vùng đồng bằng châu thổ trong tương lai để chủ động các giải pháp ứng phó.

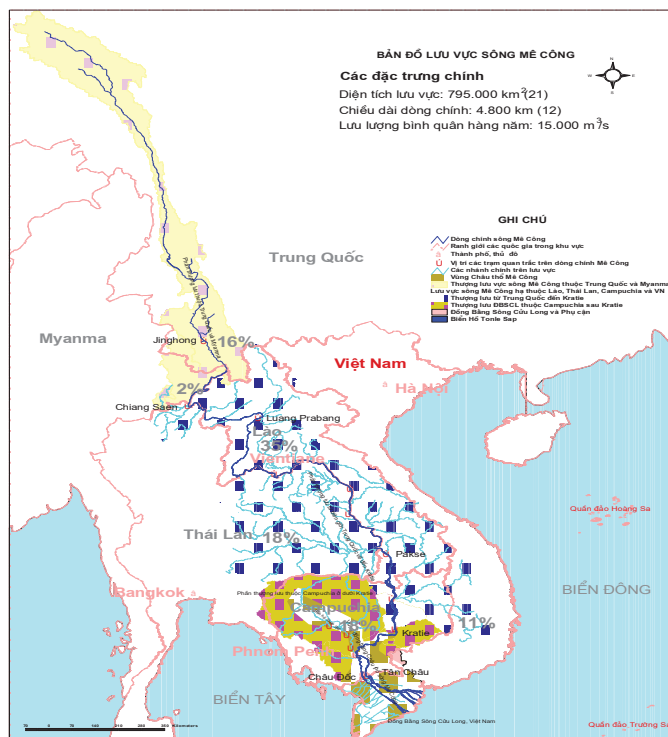
Từ khoá: ĐBSCL, lũ, môi trường, phát triển thượng lưu, tác động của thủy điện, xâm nhập mặn.

Chỉ số phân loại 1.7

Đặt vấn đề

Sông Mê Công bắt nguồn từ cao nguyên Tây Tạng ở Trung Quốc, chảy qua lãnh thổ của 6 nước là Trung Quốc, Myanma, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam rồi chảy ra Biển Đông. Sông có chiều dài dòng chính khoảng 4.800 km, diện tích lưu vực 795.000 km² và dòng chảy trung bình hàng năm là 15.000 m³/s. So với các lưu vực sông trên thế giới, Mê Công đứng thứ 8 về tổng lượng dòng chảy, thứ 12 về chiều dài và thứ 21 về tổng diện tích lưu vực [1].

Lưu vực sông Mê Công (hình 1) được chia thành hai phần chính là: Thượng lưu vực sông Mê Công (UMB) và Hạ lưu vực sông Mê Công (LMB). UMB được tính từ Chiang Saen về phía thượng lưu có diện tích là 188.460 km², phần lớn UMB thuộc tỉnh Vân Nam của Trung Quốc, một phần nhỏ diện tích thuộc Myanmar và Lào. LMB có chiều dài sông là 2.600 km với tổng diện tích là 606.540 km² bao gồm 97% diện tích nước Lào (202.400 km²), 86% diện tích Campuchia (154.730 km²), 36% diện tích Thái Lan (184.200 km²) và 20% diện tích của Việt Nam (bao gồm khu vực Tây Nguyên và ĐBSCL với tổng diện tích là 65.170 km²).



Hình 1: bản đồ lưu vực sông Mê Công

INVESTIGATING THE IMPACT
OF UPSTREAM DEVELOPMENT
SCENARIOS ON FLOW REGIME,
ENVIRONMENT AND SOCIO-ECONOMIC
DEVELOPMENT IN THE CUU LONG
RIVER DELTA OF VIETNAM

Summary

The Mekong river basin has a total area of about 795,000 km², and flows through 6 countries: China, Myanmar, Laos, Thailand, Cambodia and Vietnam with the total length of the mainstream river of 4.800 km, and the annual flow of about 450 billion m³. The Mekong river is ranked 21st for its total area, 12th for its length and 8th for its total annual flow. The Mekong river has a high biodiversity with about 1,300 aqua species, stands on the 2nd place of annual fish production in the world, and the basin is where supplies food for about 300 million people. The Mekong river has a high potential of hydropower development with a total capacity of about 53,000 MW including 23,000 MW at the upper Mekong (in Lan Cang river) in China, 13,000 MW at the lower mainstream Mekong river, and more than 17,000 MW of hydropower potential in Mekong tributaries of 4 countries at lower Mekong basin. The agricultural and hydropower development plan in general and the plan to build 12 mainstream hydropower dams in particular may cause some negative impacts on hydrological condition, water quality, biodiversity, life and production activities of tens of million people in downstream countries. This paper presents some possible impact of upstream development scenarios on hydrological condition, environment and socio-economic development in the Cuu Long River Delta of Vietnam and points out the positive and negative impacts on the delta area and recommends some adaptive measures.

Keywords: *Cuu Long River Delta, environment, flood, impact of hydropowers, salinity intrusion, upstream development.*

Classification number 1.7

Lưu vực sông Mê Công có dân số trên 70 triệu người với hơn 100 dân tộc khác nhau và là một trong những vùng đa dạng văn hoá nhất trên thế giới. Lưu vực sông Mê Công có nguồn tài nguyên nước dồi dào, tiềm năng thủy điện và nguồn lợi thủy sản lớn. Mê Công được đánh giá là khu vực có mức độ đa dạng sinh học cao so với nhiều khu vực khác trên thế giới, lưu vực sông là nơi sản xuất một lượng lương thực hàng năm đáp ứng nhu cầu cho hơn 300 triệu người và là một trong những vùng có sản lượng cá nước ngọt đứng hàng đầu trên thế giới. Trong lưu vực có trên 1.300 loài cá sinh sống, chế độ dòng chảy dao động theo mùa đã tạo môi trường và cung cấp thức ăn cho các loài động vật thủy sinh của lưu vực.

Lưu vực sông Mê Công hiện vẫn được xem là khu vực có kinh tế chậm phát triển. Để thoát khỏi tình trạng đói nghèo, tất cả các nước trong lưu vực đều tìm cách đẩy mạnh phát triển kinh tế thông qua việc khai thác các lợi thế về tài nguyên nước và tài nguyên liên quan của lưu vực. Các kế hoạch phát triển và khai thác nguồn tài nguyên nước như phát triển nông nghiệp và thủy điện, đặc biệt là phát triển thủy điện trên dòng chính lưu vực Mê Công không chỉ là mối quan ngại đối với các nước ở hạ nguồn về cạn kiệt tài nguyên nước mà còn có nguy cơ đe dọa đến môi trường và đa dạng sinh học, ảnh hưởng tới sinh kế của hàng triệu người dân ven sông, ảnh hưởng đến an ninh lương thực các quốc gia phía hạ lưu.

Sông Mê Công có vai trò rất quan trọng đối với ĐBSCL, là nguồn cung cấp nước, thủy sản và bồi đắp phù sa. ĐBSCL là vựa lúa gạo của Việt Nam, với tổng sản lượng lương thực tăng từ 6,3 triệu tấn/năm (1985) lên 23,4 triệu tấn năm 2012 [2], đóng góp hơn 50% sản lượng lương thực của cả nước và 90% sản lượng gạo xuất khẩu. Duy trì sự phát triển nông nghiệp bền vững trên đồng bằng là ưu tiên hàng đầu của Chính phủ Việt Nam để đảm bảo mục tiêu an ninh lương thực quốc gia. Các kịch bản phát triển ở thượng lưu có thể gây tác động bất lợi làm ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững trên đồng bằng nói chung và mục tiêu an ninh lương thực quốc gia nói riêng.

Lũ, hạn và xâm nhập mặn là những vấn đề tồn tại làm ảnh hưởng tới tình hình sản xuất nông nghiệp trên diện tích hàng triệu ha ở ĐBSCL, các kịch bản phát triển ở thượng lưu có thể làm thay đổi chế độ dòng chảy và các diễn biến lũ, hạn, mặn trên đồng bằng. Nghiên cứu này nhằm đánh giá các thay đổi dòng chảy về đồng bằng do tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu để biết được các xu thế thay đổi dòng chảy, môi trường và tác động có thể đối với phát triển kinh tế - xã hội vùng ĐBSCL.

Cơ sở số liệu và công cụ phân tích

Cơ sở số liệu

Số liệu thu thập từ nguồn số liệu của Ủy hội sông Mê Công quốc tế [3, 4], được tổng hợp từ số liệu cung cấp của các quốc gia, bao gồm:

- Các kế hoạch phát triển ở các nước thượng lưu, bao gồm cả kế hoạch phát triển thủy điện và nông nghiệp.

- Số liệu khí tượng thủy văn trên lưu vực từ năm 1985 đến 2008 bao gồm các số liệu mưa, nhiệt độ, bốc hơi. Số liệu thủy văn mực nước và lưu lượng các trạm trên dòng chính.

- Số liệu mặt cắt sông trên dòng chính sông Mê Công.

- Các mô hình mô phỏng dòng chảy từ mưa (SWAT) và mô hình mô phỏng lưu vực (IQQM) từ 1985 đến 2001 theo bộ công cụ MRC Toolbox.

Các số liệu cập nhật có nguồn gốc rõ ràng, đảm bảo độ tin cậy để ứng dụng. Trên cơ sở tổng hợp phân tích các số liệu thu thập về hiện trạng và kế hoạch phát triển thủy điện, nông nghiệp và các lĩnh vực liên quan cũng như phân tích bối cảnh có thể xảy ra trong tương lai, tổng hợp các bối cảnh phát triển trong lưu vực được đưa ra ở bảng 1.

Bảng 1: bối cảnh phát triển ở thượng lưu dự kiến

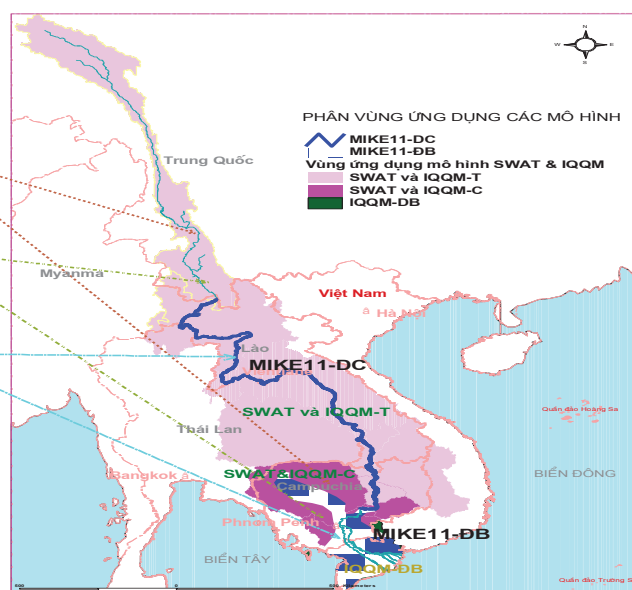
TT	Bối cảnh	Ký hiệu	Diện tích tưới (10 ³ ha)	Dung tích hữu ích các hồ chứa (10 ⁶ m ³)	
				Hạ lưu vực	Trung Quốc
1	Hiện trạng phát triển năm 2000	BL00	3.400	13.680	-
2	Thủy điện Trung Quốc	TĐTQ	3.400	13.680	22.700
3	Thủy điện trong tương lai gần (trên dòng nhánh và TĐTQ)	TLG	3.400	26.230	22.700
4	Thủy điện trên dòng chính hạ lưu	TĐDC		2.633	
5	Nông nghiệp phát triển thấp	NNT	4.200	13.680	
6	Nông nghiệp phát triển cao	NNC	6.620	13.680	

Ứng dụng công cụ và thiết lập các kịch bản phân tích

Công cụ phục vụ nghiên cứu được kế thừa từ bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định (DSF) của Ủy hội sông Mê Công quốc tế. Bộ công cụ này tiếp tục được cập nhật các thay đổi diện tích và số liệu khí tượng, thủy văn và thay thế mới các ứng dụng phù hợp hơn cho nghiên cứu.

Bộ công cụ gồm có: (i) Cơ sở dữ liệu (Database); (ii) Các mô hình mô phỏng (SWAT, IQQM và MIKE11); và (iii) Công cụ phân tích (được tích hợp trên DSF và công cụ GIS). Trong đó, mô hình SWAT dùng để mô phỏng dòng chảy từ mưa; mô hình IQQM mô phỏng lưu vực: vận hành hồ chứa, canh tác nông nghiệp, lấy nước dân sinh và công nghiệp; mô hình IQQM ở thượng lưu Kratie gọi tắt là IQQM-T, mô hình IQQM ở ĐBSCL gọi tắt là IQQM-ĐB; mô hình MIKE11 ứng dụng cho dòng chính Mê Công (gọi là MIKE11-DC) và ứng dụng cho vùng đồng bằng châu thổ Mê Công (gọi tắt là MIKE11-ĐB) để mô phỏng diễn biến thủy lực và xâm nhập mặn (xem hình 2).

Bộ công cụ thiết lập được sử dụng để mô phỏng cho các kịch bản phát triển ở thượng lưu, trong đó có xem xét đến phát triển nông nghiệp và thủy điện theo các kịch bản khác nhau được tóm tắt như đưa ra ở bảng 2. Cơ sở số liệu và các mô hình mô phỏng được cập nhật mới và mô phỏng cho chuỗi số liệu thủy văn từ 1985 đến 2008. Các mô hình được hiệu chỉnh cho kết quả đảm bảo độ tin cậy: với SWAT và IQQM các hệ số tương quan R² giữa thực đo và mô phỏng đạt 0,92-0,99, hệ số Nash-sutcliffe đạt hơn 0,7 và tỷ lệ thể tích đạt 97-101%. Mô hình MIKE11-DC và MIKE11-ĐB đảm bảo cả về trị số



Hình 2: công cụ phục vụ nghiên cứu liên quan đến tài nguyên nước và môi trường

lẫn diễn biến quá trình cho cả lũ và mặn. Các kết quả được trình bày trong các nghiên cứu liên quan [5-8]. Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi tập trung vào các kết quả chính được phân tích đánh giá nhờ ứng dụng bộ công cụ nêu trên.

Các nhóm kịch bản được dựa trên các bối cảnh phát triển nông nghiệp và thủy điện như đã đề cập ở bảng 1, lấy một trong các bối cảnh phát triển thủy điện hay nông nghiệp làm yếu tố chính để kết hợp với các bối cảnh phát triển khác tạo ra một kịch bản phát triển thượng lưu. Với kịch bản nông nghiệp còn xem xét thêm nông nghiệp phát triển trên toàn lưu vực hay chỉ ở Thái Lan và Lào (thượng lưu Kratie). Kịch bản thủy điện có xét đến các khả năng vận hành có thể xảy ra: (i) Vận hành bình thường; (ii) Vận hành phủ đỉnh đáp ứng yêu cầu phụ tải điện; (iii) Vận hành phủ đỉnh ngày đêm; (iv) Vận hành tích nước sớm; (v) Vận hành tích nước muộn; (vi) Tích nước bất thường.

Bảng 2: tổng hợp các nhóm kịch bản phát triển ở thượng lưu được mô phỏng

Tổ hợp kịch bản	Bối cảnh phát triển nông nghiệp				Bối cảnh phát triển thủy điện				
	BL00	NNT	NNC	Phân bố theo không gian	BL00	TLG	TĐTQ	TĐDC	Vận hành thủy điện (VH)
BL00	X				X				
TĐTQ*	X	X	X	X	X		X		X
TLG*	X	X	X	X	X	X	X		X
NNC*	X		X	X	X	X	X		X
TĐDC*	X	X	X		X		X	X	X

Ví dụ, trong tổ hợp kịch bản TĐTQ* có các kịch bản sau:

TĐTQ+NNT: Thủy điện Trung Quốc kết hợp với Nông nghiệp phát triển thấp trên lưu vực.

TĐTQ+NNT-T: TĐTQ kết hợp với NNT ở thượng lưu Kratie.

TĐTQ+NNT+VH: TĐTQ + NNT và các kịch bản vận hành thủy điện.

TĐTQ+NNC: TĐTQ kết hợp với Nông nghiệp phát triển cao trên lưu vực.

Tương tự các tổ hợp kịch bản khác TLG*, NNC* và TĐDC* có các kịch bản liên quan. Kịch bản BL00 là kịch bản nền, ứng với điều kiện phát triển trên lưu vực đến năm 2000 để so sánh tác động của các kịch bản tính toán so với kịch bản này.

Mô phỏng và các chỉ tiêu phân tích đánh giá

Các mô hình thủy văn (SWAT), mô hình mô phỏng lưu vực (IQQM) được mô phỏng với chuỗi số liệu khí tượng thủy văn từ 1985 đến 2008, cho phép đánh giá tác động của các kịch bản đến thay đổi dòng chảy ứng với các năm có điều kiện khí hậu

khác nhau (mưa nhiều, khô hạn, trung bình) và ứng với cùng điều kiện phát triển trên lưu vực theo các kịch bản. Các mô hình thủy động lực (MIKE11-DC và MIKE11-DB) được mô phỏng cho các năm điển hình nhiều nước (2000), trung bình nước (1999) và năm hạn (1998). Đối với mô hình thủy lực trên đồng bằng được kết hợp với các điều kiện triều bất lợi những năm gần đây, năm 2011 đối với lũ và năm 2005 đối với xâm nhập mặn.

Nghiên cứu xem xét tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu theo các khả năng phát triển thủy điện, nông nghiệp với mức độ và phân bố không gian khác nhau, và còn xem xét tác động do các khả năng vận hành của thủy điện có thể gặp như đã nêu trên.

Nghiên cứu phân tích các chỉ tiêu sau:

- Thay đổi lưu lượng về đồng bằng trong mùa kiệt và mùa lũ theo các kịch bản.

- Thay đổi thời gian lan truyền ảnh hưởng của các tác động về hạ lưu theo các mùa.

- Thay đổi theo không gian, diện tích và chiều sâu xâm nhập mặn.

Dựa vào kết quả phân tích sự khác biệt về lưu lượng theo các tần suất ở trạm Kratie, nghiên cứu đề xuất tiêu chí đánh giá các tác động của các kịch bản theo mức độ mà nó làm thay đổi dòng chảy về hạ lưu nhằm khắc phục được các hạn chế ở những năm nhiều nước, mặc dù tác động làm thay đổi dòng chảy là lớn mà vẫn không ảnh hưởng xuống hạ lưu. Ba mức tác động được đưa ra ở bảng 3.

Bảng 3: chỉ tiêu phân tích đánh giá mức độ tác động làm thay đổi lưu lượng về DBSCL do các kịch bản phát triển thượng lưu

TT	Tháng	Ảnh hưởng tích cực: lưu lượng gia tăng > các mức lưu lượng thay đổi (m ³ /s)			Ảnh hưởng tiêu cực: lưu lượng giảm ≥ các mức lưu lượng thay đổi (m ³ /s)		
		Rất tốt (TTT)	Tốt (TT)	Tích cực (T)	Rất xấu (XXX)	Xấu (XX)	Tiêu cực (X)
1	Tháng 1	489	337	0	-489	-337	0
2	Tháng 2	320	221	0	-320	-221	0
3	Tháng 3	278	191	0	-278	-191	0
4	Tháng 4	349	240	0	-349	-240	0

Trong đó:

- Mức 'rất tốt' hoặc (T) 'rất xấu': là làm lưu lượng tăng/giảm lớn hơn sự khác biệt về lưu lượng giữa QP50% và QP85% ở tháng tương ứng. Với mức tăng/giảm này có thể chuyển 1 năm kiệt nước (P85%)/trung bình nước (P50%) về trung bình nước/năm kiệt.

- Mức 'tốt'/'xấu': là làm lưu lượng tăng/giảm lớn hơn sự khác biệt về lưu lượng giữa QP50% và QP75%. Với mức tăng/giảm này có thể chuyển 1 năm kiệt nước (P75%)/trung bình nước (P50%) về trung bình nước/năm kiệt.

- Mức 'tích cực'/'tiêu cực': lưu lượng tăng/giảm so với kịch bản nền.

Kết quả phân tích và đánh giá

Thay đổi dòng chảy về châu thổ Mê Công

Mức độ thay đổi lưu lượng và mực nước về hạ lưu đồng bằng:

Kết quả mô phỏng và phân tích cho thấy, trong điều kiện vận hành bình thường của các hồ thủy điện ở tương lai gần, lưu lượng mùa khô về đồng bằng tăng từ 600-1.000 m³/s. Kịch bản thủy điện kết hợp với NNC, gia tăng dòng chảy vẫn đạt bình quân 300-800 m³/s. Trong kịch bản NNC, nếu thiếu đi sự điều tiết gia tăng của thủy điện, dòng chảy thấp nhất về đồng bằng có thể xuống đến 1.300 m³/s (bảng 4) là rất bất lợi cho sản xuất nông nghiệp trên đồng bằng. Theo kết quả nghiên cứu trong Quy hoạch tổng thể ĐBSCL năm 1993 thì yêu cầu nước tối thiểu về đồng bằng để duy trì độ mặn hợp lý là 2.000 m³/s.

Bảng 4: thay đổi lưu lượng bình quân tháng nhỏ nhất trong giai đoạn 1986-2000 về Kratie theo một số kịch bản thượng lưu với vận hành bình thường của thủy điện

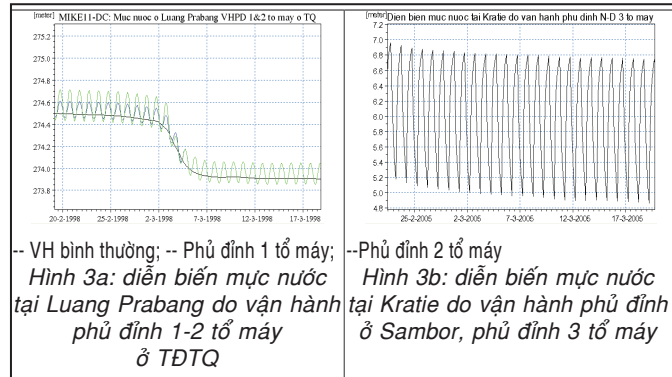
Đơn vị: m³/s

Tháng	BL00	TĐTQ	TLG	TĐTQ+NNT	TLG+NNC	NNC
1	2.935	3.477	4.006	3.323	3.582	2.347
2	1.969	2.696	3.164	2.553	2.774	1.597
3	1.543	2.351	2.664	2.273	2.402	1.298
4	1.568	2.302	2.549	2.275	2.375	1.317
5	2.135	2.567	2.817	2.541	2.725	1.787
6	5.520	5.720	5.860	5.659	5.685	3.762

Nghiên cứu một số trường hợp vận hành của các hồ thủy điện cho thấy: vận hành bất thường ở TĐTQ theo các giai đoạn có thể làm thay đổi chế độ thủy văn dòng chảy về ĐBSCL, biến dòng chảy mùa khô ở năm thủy văn bình thường thành năm kiệt hay năm nhiều nước. Vận hành của các hồ thủy điện có thể làm dòng chảy về đến đồng bằng giảm vào đầu mùa khô do hồ tích nước muện (cuối mùa lũ) hoặc làm giảm dòng chảy đầu mùa mưa do hồ tích nước sớm. Trong những trường hợp như vậy, mặn có thể xuất hiện sớm hoặc kết thúc muộn đến hàng tháng.

Nghiên cứu các trường hợp vận hành gia tăng công suất phát điện ở TĐTQ cho thấy, các hồ có khả năng mất đi sự điều tiết thường xuyên do việc vận hành đáp ứng nhu cầu điện cao. Kết quả đã chứng minh, nếu chỉ vận hành liên tục 60% công suất các tổ máy có thể làm hồ xuống đến mực nước chết, 30-40% số năm sẽ có những tháng bị mất điều tiết, đây là lý giải dòng chảy về Kratie bất thường giảm thấp đột ngột ở những năm gần đây (2010 đến 2013). Khi đó đóng góp dòng chảy lũ về đồng bằng

từ lưu vực phía Trung Quốc được xem là rất nhỏ, lũ phụ thuộc chủ yếu vào đóng góp dòng chảy lũ từ 4 nước hạ lưu. Trường hợp vận hành phủ đỉnh ngày đêm ở TĐTQ có thể gây bất lợi cho hạ lưu đập với khoảng cách 300-700 km.



Đối với kịch bản có thủy điện dòng chính ở hạ lưu vực Mê Công, nhìn chung ít làm thay đổi dòng chảy về hạ lưu. Kết quả mô phỏng và phân tích trong các trường hợp vận hành gia tăng công suất của các thủy điện dòng chính bằng việc khai thác dung tích hữu ích của các hồ này cho thấy khả năng sử dụng dung tích hữu ích để gia tăng phát điện là nhỏ do các hồ chứa trên dòng chính có dạng lòng dẫn dài, cột nước giảm nhanh khi gia tăng lưu lượng vượt quá khả năng nguồn nước đến.

Trong trường hợp vận hành phủ đỉnh ngày đêm ở thủy điện trên dòng chính hạ lưu, lưu lượng thay đổi còn tùy thuộc vào số tổ máy tuabin thủy điện bị thay đổi. Tác động do vận hành phủ đỉnh ở các thủy điện phía trên được điều hòa một phần bởi các thủy điện phía dưới. Bậc thang thủy điện cuối cùng trên dòng chính (Sambor) sẽ có tác động trực tiếp đến đồng bằng. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy vận hành phủ đỉnh ngày đêm ở thủy điện Sambor có thể làm dao động mực nước hạ lưu đập Sambor đến 1-2 m (hình 3b), lưu lượng xuống hạ lưu về đêm có thể xuống dưới 1.000 m³/s, điều đó rất nguy hại, làm gia tăng xâm nhập mặn ở ĐBSCL.

Do các hồ chứa thủy điện trên dòng chính có thiết kế tràn xả sâu để đảm bảo hạn chế tối đa sự dâng mực nước gia cường trên hồ và giảm chiều dài đập tràn, vì vậy có thể xảy ra trường hợp lũ xả lớn hơn lũ đến, do đó có thể gây tác động bất lợi xuống hạ lưu, đặc biệt các khu vực hạ lưu gần đập.

Đánh giá mức độ tác động làm thay đổi lưu lượng về hạ lưu đồng bằng theo các kịch bản thượng lưu:

Phân tích tác động của sự thay đổi lưu lượng về ĐBSCL theo các kịch bản phát triển thượng lưu so với kịch bản nền bằng chỉ tiêu đề xuất ở bảng 3, kết quả được đưa ra ở bảng 5.

Bảng 5: tác động tích cực/tiêu cực của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi dòng chảy về ĐBSCL qua Tân Châu và Châu Đốc

TT	Kịch bản thượng lưu	Tác động theo từng tháng			
		Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4
1	BL00	-	-	-	-
2	TĐTQ	TTT	TTT	TTT	TTT
3	TĐTQ+NNNT-T*	T	TTT	TTT	TTT
4	TĐTQ+NNNT	T	TTT	TTT	TTT
5	TLG	TTT	TTT	TTT	TTT
6	TLG+NNC-T	TT	TTT	TTT	TTT
7	TLG+NNC	X	X	TT	TTT
8	NNC-T	XX	XX	X	XX
9	NNC	XXX	XXX	XXX	XXX
10	TĐTQ+NNNT-T+VHTN**	T	TT	TTT	TT

Ghi chú: * (-T) kịch bản xem xét phát triển nông nghiệp ở phía thượng lưu Kratie thay vì cả phía thượng lưu ở kịch bản liên quan; **VHTN: vận hành tích nước bất thường

Kết quả cho thấy:

- Kịch bản có phát triển thủy điện và nông nghiệp theo các mức khác nhau, với vận hành bình thường của thủy điện thì gia tăng dòng chảy về ĐBSCL phần lớn ở mức 'rất tốt', tháng ít cũng là 'tích cực'. Tích nước bất thường có thể làm yếu đi các tác động tích cực.

- Kịch bản phát triển NNC trong điều kiện có thủy điện như ở TLG, tác động tích cực là 'tốt' và 'rất tốt' vào tháng 3 và 4. Các tháng 1 và tháng 2 vẫn 'tiêu cực'.

- Kịch bản phát triển NNC ở phía trên thượng nguồn châu thổ, tác động về ĐBSCL ở mức 'xấu' đến 'tiêu cực'.

- Kịch bản phát triển NNC ở thượng lưu đồng bằng, tác động về ĐBSCL đều ở mức 'rất xấu'.

Như vậy, các giải pháp để có thể can thiệp vào các quá trình vận hành điều tiết của các hồ chứa trên lưu vực sẽ góp phần giảm thiểu rủi ro khó lường và đem lại hiệu quả cao.

Thay đổi thời gian lan truyền các tác động về hạ lưu:

Kết quả phân tích thay đổi thời gian lan truyền các tác động từ thượng lưu Cheang Saen về Kratie do tác động của các bậc thang thủy điện dòng chính được đưa ra ở hình 4. Kết quả phân tích cho thấy:

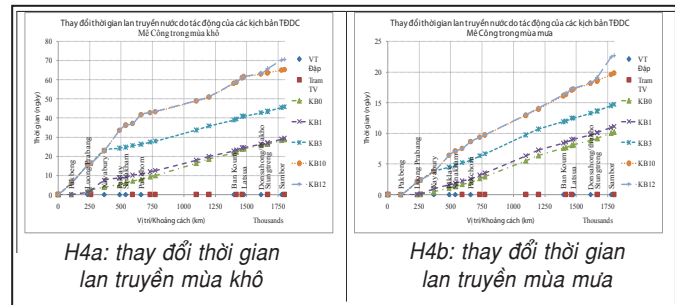
- Ở điều kiện hiện tại (chưa có thủy điện dòng chính), dòng chảy từ thượng lưu Chiang Saen về đến Kratie mất 25-30 ngày vào mùa khô, khoảng 10 ngày về mùa lũ.

- Cụm 3 đập thượng lưu (Pakbeng, Luong Prabang và Xayabury) có thể tăng thời gian lan truyền về Kratie, khoảng 46 ngày về mùa khô và 15 ngày về mùa lũ.

- Trong trường hợp có 12 thủy điện dòng chính, thời gian lan truyền nước về Kratie lên tới 70 ngày về mùa khô và 23 ngày về mùa lũ.

- Bình quân mỗi hồ làm tăng thời gian lan truyền là 3,5 ngày về mùa khô và 1,1 ngày về mùa lũ, đồng nghĩa nước bị lưu trữ lâu trong hồ gây bồi lắng phù sa lơ lửng là rất lớn.

- Tác động tích cực được tìm thấy là trường hợp có sự cố làm ô nhiễm môi trường cục bộ xảy ra ở thượng lưu (tràn dầu, xả thải độc hại...) sẽ có thêm thời gian cho công tác chuẩn bị phòng ngừa các tác động bất lợi đối với khu vực hạ lưu. Chẳng hạn, trường hợp có sự cố chìm các tàu chứa các hóa chất độc hại, nếu nhận được thông tin cảnh báo sớm sẽ có thêm thời gian để chủ động các giải pháp ứng phó nhằm giảm thiểu thiệt hại. Trường hợp tích nước hay xả lũ bất thường, có cảnh báo trước sẽ kịp thời có các giải pháp bảo vệ an toàn cho dân sinh, các vùng sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản.



Hình 4: thay đổi thời gian lan truyền nước từ thượng lưu Chiang Saen về hạ lưu Kratie

Ghi chú: KB0: kịch bản nền; KB1: có Xayabury; KB3: có 3 thủy điện thượng Xayabury; KB10: có 10 thủy điện thuộc Lào; KB12: có 12 thủy điện dòng chính

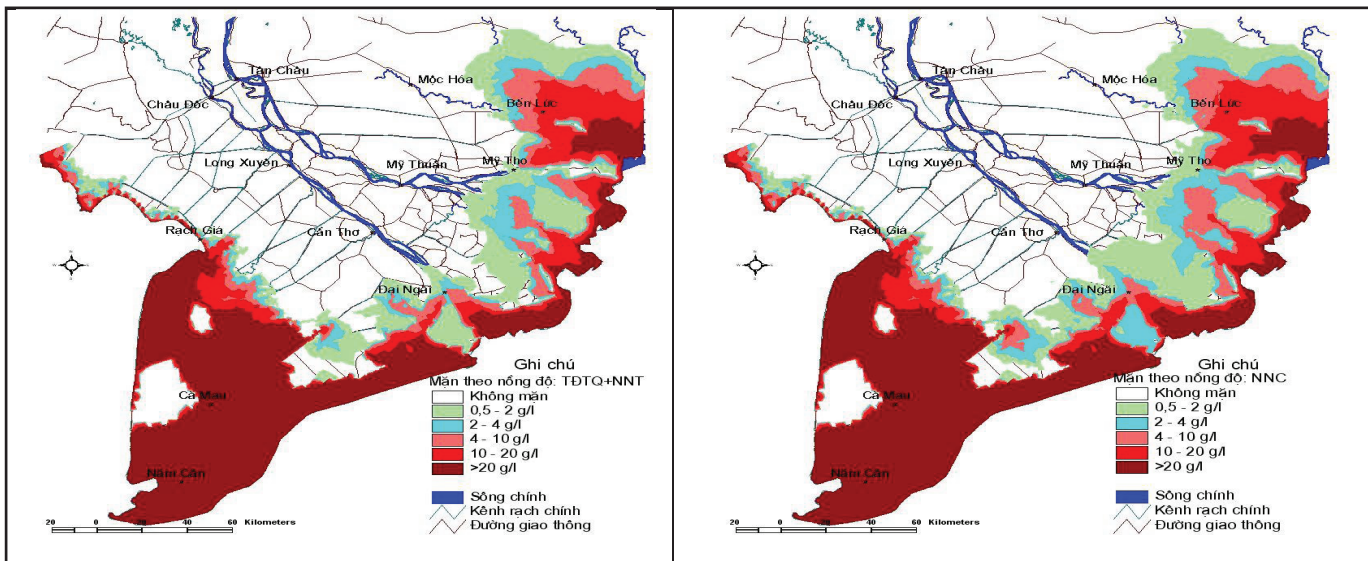
Thay đổi xâm nhập mặn trên đồng bằng

Một số kết quả mô phỏng xâm nhập mặn và phân tích xâm nhập mặn theo nồng độ mặn (g/l) và theo thời đoạn ở các kịch bản phát triển thượng lưu được minh họa ở hình 5 và hình 6. Kết quả nghiên cứu cho thấy phát triển NNC ở thượng lưu có thể làm xâm nhập mặn vào sâu trên dòng chính và nội đồng từ các cửa sông: sông Tiền (5,4 km); sông Hậu (6,2 km); diện tích bị nhiễm mặn hơn 4 g/l tăng hơn 19.000 ha so với kịch bản nền; diện tích bị ảnh hưởng xâm nhập mặn 4 g/l với thời đoạn dưới 1 tuần tăng 2.600 ha và thời đoạn hơn 3 tháng tăng khoảng 6.000 ha so với kịch bản nền (hình 5b và 6a). Đây được xem là những diện tích bị ảnh hưởng gia tăng do mặn xuất hiện sớm hơn. Nghiên cứu cũng cho thấy, lấy nước cho phát triển nông nghiệp ở Campuchia có thể gây tác động bất lợi về đồng bằng còn lớn hơn so với phát triển ở khu vực Thái Lan.

Nghiên cứu các kịch bản phát triển ở thượng lưu (có thủy điện và nông nghiệp) trong điều kiện vận hành bình thường vẫn có thể làm gia tăng dòng chảy và làm giảm xâm nhập mặn trên đồng bằng, đẩy mặn về gần các cửa sông, ví dụ ở kịch bản TĐTQ+NNT: sông Tiền (lùi 4,5 km); sông Hậu (lùi 6,3 km); tổng diện tích bị nhiễm mặn hơn 4 g/l giảm hơn 57.000 ha so với kịch bản nền; diện tích bị ảnh hưởng mặn 4 g/l với thời đoạn dưới 1 tuần giảm khoảng 10.000 ha so với kịch bản nền. Như vậy, hiệu quả điều tiết của các hồ thủy điện trong các kịch bản phát triển thượng lưu có phát triển nông nghiệp và thủy điện như dự kiến với vận hành bình thường là cao.

Nghiên cứu với các trường hợp vận hành hồ chứa cũng như can thiệp vào Biển Hồ cho thấy có thể có những tác động khó lường, gây bất lợi đối với ĐBSCL do thay đổi dòng chảy và diễn biến xâm

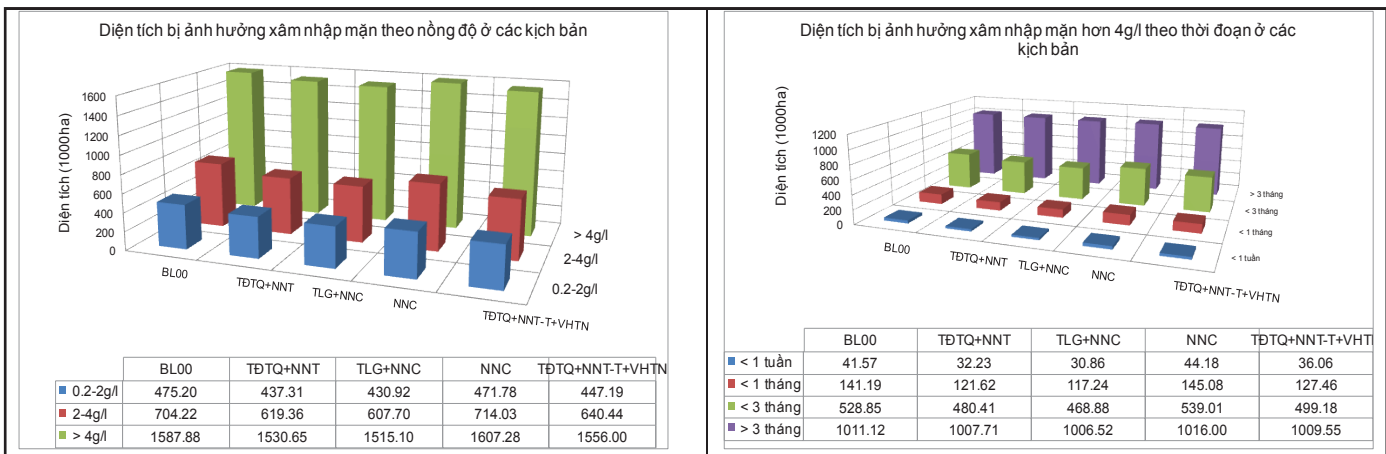
nhập mặn: (i) Hồ tích nước sớm có thể làm mặn lưu cữu kéo dài 1 tháng và ảnh hưởng đến lúa hè thu; (ii) Hồ tích nước muộn có thể làm mặn xuất hiện sớm (1 đến 2 tháng) làm ảnh hưởng đến vụ lúa đông xuân; (iii) Hồ tích nước bất thường hoặc vận hành theo yêu cầu phụ tải (tăng công suất) có thể làm diễn biến mặn thay đổi đột ngột, rất bất lợi cho sản xuất nông nghiệp trên đồng bằng. Nghiên cứu cho thấy các khả năng làm thay đổi đột ngột có thể xảy ra với 30-40% số năm hay xảy ra thường xuyên hàng năm và có thể gây ra các tác động tiêu cực trong những thời đoạn nhất định, xâm nhập mặn khi đó còn lớn hơn ở các trường hợp đã xảy ra trong thực tế, đặc biệt mặn có thể xuất hiện sớm hơn hoặc kết thúc muộn hơn so với điều kiện tự nhiên. Chính vì vậy cần có các cơ sở pháp lý để hạn chế các trường hợp vận hành gây bất lợi xuống hạ lưu.



H5a: TĐTQ+NNT, nồng độ mặn

H5b: NNC, nồng độ mặn

Hình 5: thay đổi diễn biến xâm nhập mặn ở ĐBSCL theo một số kịch bản



H6a: diện tích xâm nhập mặn theo nồng độ mặn

H6b: diện tích xâm nhập mặn theo thời đoạn

Hình 6: diện tích xâm nhập mặn theo nồng độ mặn và theo thời đoạn ở một số kịch bản

Tác động đến thay đổi môi trường nước, phù sa và thủy sản

Kết quả phân tích tỷ lệ dùng nước ở thượng lưu và khả năng nguồn nước về đồng bằng theo các kịch bản tính toán (bảng 6) cho thấy, tỷ lệ dùng nước ở phía thượng lưu là rất nhỏ ở các tháng mùa mưa, ngay cả trong kịch bản nông nghiệp cao nhu cầu dùng nước tháng lớn nhất cũng chỉ dưới 13% so với lưu lượng về Kratie.

Bảng 6: tỷ lệ % giữa nhu cầu nước ở thượng lưu so với khả năng lưu lượng nước về đến Kratie

Tháng	Tỷ lệ nhu cầu nước ở thượng lưu Kratie so với lưu lượng tại Kratie (%)			
	BL00	TĐTQ+NNT	TLG+NNC	NNC
1	15,81	21,52	30,90	35,24
2	18,83	23,27	33,53	40,76
3	18,80	17,45	26,68	34,49
4	11,00	13,14	19,10	24,45
5	7,21	9,63	11,48	12,77
6	4,30	4,97	6,35	6,25

Trong các kịch bản phát triển nông nghiệp có thủy điện như ở ĐĐTQ và TLG, mặc dù lưu lượng mùa kiệt tăng như chỉ ra ở trên, nhu cầu nước có tháng trong kịch bản TLG+NNC có thể lên tới 33,5% lưu lượng nước về. Ở kịch bản NNC, nhu cầu nước có tháng vượt cả 40% tiềm năng nước về. Việc dùng nước vượt quá 30% tiềm năng nước về mà không có biện pháp bảo vệ hợp lý và kiểm soát nguồn xả thải sẽ có thể làm ảnh hưởng đến chất lượng nước và môi trường sinh thái, và như thế nguy cơ ô nhiễm nguồn nước về mùa khô trong tương lai là rất có thể do gia tăng sử dụng nước ở thượng lưu, ngay cả khi có điều tiết của thủy điện.

Trong các kịch bản có các bậc thang thủy điện dòng chính, thời gian lan truyền nước cả mùa mưa và mùa khô đều gia tăng, ở phương án 12 đập tăng gấp 2 lần so với hiện trạng, phần lớn phù sa sẽ bị lắng đọng trong hồ và làm giảm phù sa về đồng bằng, dự báo phù sa có thể giảm 50% so với hiện trạng, hệ quả của sự suy giảm phù sa có thể làm gia tăng xói lở bờ sông, bờ biển ở phía hạ lưu, giảm phù sa bồi đắp cho đồng bằng và làm ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp, giảm năng suất và sản lượng lương thực ở ĐBSCL.

Các đập thủy điện dòng chính phía hạ lưu có chiều cao đập dao động từ 10 đến 76 m, cột nước các hồ cao sẽ là cản trở rất lớn đến sự di cư của các loài thủy sản có tập quán di cư sinh sản ngay cả khi có thiết kế và bố trí các đường cá đi. Mặt khác, mực nước hồ cao làm cho hàm lượng ô xy hòa tan theo chiều sâu giảm, nhiệt độ nước giảm có thể làm ảnh hưởng đến năng suất sinh học và sản lượng thủy

sản. Vì vậy sẽ làm giảm sản lượng thủy sản phía hạ lưu, làm mất cân bằng sinh thái và đa dạng sinh học của lưu vực, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống người dân sống phụ thuộc vào khai thác thủy sản theo mùa.

Tác động đến kinh tế - xã hội ở ĐBSCL

Từ các kết quả phân tích đánh giá tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi chế độ thủy văn dòng chảy về đồng bằng, thay đổi về diễn biến xâm nhập mặn, thay đổi về môi trường, phù sa và thủy sản, các tác động có thể đến phát triển kinh tế - xã hội vùng ĐBSCL được phân tích, đánh giá. Trong điều kiện vận hành bình thường của thủy điện theo các kịch bản phát triển thượng lưu, tác động điều tiết của các hồ thủy điện là rất lớn, lưu lượng mùa khô sẽ gia tăng đáng kể, khả năng lấy nước thuận lợi hơn, diện tích xâm nhập mặn giảm 10.000 đến 57.000 ha, năng suất và sản lượng lương thực vụ đông xuân và hè thu có thể tăng 0,1 đến 0,57 triệu tấn, góp phần ổn định đời sống của 60 đến 300 ngàn người dân, tương đương 10 đến 60 ngàn gia đình, xấp xỉ 0,4 đến 2,4% dân số nông thôn vùng đồng bằng. Điều quan trọng hơn là góp phần làm ổn định sản xuất lương thực ở vùng lúa ĐBSCL và an ninh lương thực cả nước.

Tuy nhiên, vận hành của thủy điện luôn tiềm ẩn những rủi ro khó lường có thể làm ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững trên đồng bằng. Vận hành bất thường có thể làm dòng chảy về hạ lưu thay đổi trái quy luật, khó khăn cho xác định thời vụ gieo cấy. Hồ tích nước sớm, mặn có thể xuất hiện sớm hơn cả tháng, làm ảnh hưởng đến lúa đông xuân; hồ tích nước muộn làm mặn kéo dài, ảnh hưởng đến diện tích và thời gian gieo cấy lúa hè thu các tỉnh ven biển và gián tiếp ảnh hưởng đến thời vụ và diện tích gieo cấy của lúa vụ 3. Diện tích bị ảnh hưởng của xâm nhập mặn tăng thêm lên tới hàng chục ngàn ha và như vậy sẽ làm ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống của hàng trăm ngàn hộ dân sống phụ thuộc vào nông nghiệp ở vùng ven biển, chưa kể gây khó khăn cho việc lấy nước hay ảnh hưởng đến thời vụ sản xuất trên đồng bằng.

Tác động của các bậc thang thủy điện dòng chính còn khó lường do việc suy giảm phù sa, giảm nguồn lợi thủy sản và gia tăng xói lở là các tác động có lũy tích và dài hạn. Nguy cơ sạt lở cao ở các vùng ven sông rạch và ven biển, làm mất đất, mất nhà của các hộ dân ven sông. Chi phí chống sạt lở hàng năm ở ĐBSCL hiện nay đã lên tới trăm tỷ đồng trong khi nhu cầu còn cao hơn rất nhiều. Sản lượng đánh bắt thủy sản mùa lũ ở ĐBSCL lên đến hàng

trăm ngàn tấn, nguồn lợi này mất đi sẽ ảnh hưởng đến đời sống của người dân sống nhờ đánh bắt thủy sản nước ngọt tự nhiên. Mất phù sa bồi đắp không chỉ mất đi lượng dinh dưỡng cho cây trồng mà còn làm mất đi sự bồi đắp tự nhiên, tăng chi phí sản xuất nông nghiệp trên đồng bằng.

Tác động của các bậc thang thủy điện dòng chính làm gia tăng thời gian lan truyền nước về hạ lưu. Mặt tích cực của tác động này là có thêm thời gian để chuẩn bị ứng phó cho phía hạ lưu để phòng tránh các tác động bất lợi từ các sự cố/vận hành bất thường ở phía thượng lưu có thể tác động xuống hạ lưu vực. Tuy nhiên những tác động tích cực này được xem là rất nhỏ so với các thiệt hại về suy giảm nguồn lợi thủy sản, phù sa và gây gia tăng xói lở cho vùng châu thổ sông Mê Công nói chung và ĐBSCL nói riêng.

Kết luận, kiến nghị

Nghiên cứu đánh giá tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi dòng chảy, môi trường và kinh tế - xã hội ở vùng ĐBSCL đã chỉ ra được các tác động tích cực của các hồ thủy điện, nếu được vận hành hợp lý thì tác động của nó làm gia tăng dòng chảy về hạ lưu, góp phần giảm thiểu đáng kể xâm nhập mặn và góp phần chủ động về nước và ổn định sản xuất trên đồng bằng. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng các tác động của việc vận hành thủy điện còn rủi ro khó lường, chế độ thủy văn dòng chảy diễn biến trái quy luật gây khó khăn cho lập kế hoạch điện tích và lịch gieo cấy; mặn có thể xuất hiện sớm hơn hay kết thúc muộn hơn do hồ tích nước sớm, tích nước muộn... Vì vậy một mặt cần tăng cường hợp tác quốc tế trong lưu vực để đạt được các thỏa thuận về kiểm soát việc vận hành hợp lý các hồ thủy điện. Mặt khác, cần thực hiện các giải pháp thích ứng trên đồng bằng để chủ động về nguồn nước, từng bước hiện đại hóa hệ thống thủy lợi: vận hành đóng mở cống chủ động (bằng mô tơ điện thay thế cửa tự động); bổ sung các trạm bơm để hút ngọt khi triều xuống. Liên kết các dự án nhỏ lẻ thành các hệ thống lớn hơn để đảm bảo nguồn nước (Gò Công + Bảo Định, Ba Lai + Nam Bến Tre, Tiếp Nhật + Quản Lộ Phụng Hiệp...). Tăng cường công tác dự báo và cảnh báo về nguồn

nước và xâm nhập mặn; nghiên cứu thiết lập các mô hình quản lý nước với quy mô lớn không bị giới hạn bởi ranh giới tỉnh (thể chế, pháp lý).

Đối với các bậc thang thủy điện trên dòng chính hạ lưu vực sông Mê Công, tác động của nó đến thay đổi dòng chảy về hạ lưu đồng bằng là nhỏ, ngoại trừ vận hành phủ đỉnh ngày đêm ở thủy điện cuối bậc thang (Sambor) hay tích nước bất thường. Các tác động làm suy giảm phù sa, giảm nguồn lợi thủy sản và gia tăng xói lở là các tác động có lũy tích, dài hạn và khó lường, làm suy giảm đa dạng sinh học và ảnh hưởng đến đời sống của hàng chục triệu người dân vùng châu thổ Mê Công. Vì những tác động khó lường này rất cần thiết có thêm thời gian để nghiên cứu, khảo sát và đánh giá ngày càng sát thực hơn các tác động có thể do các bậc thang thủy điện trên dòng chính Mê Công trước khi có thể tiến hành xây dựng bất cứ thủy điện nào trên dòng chính hạ lưu vực.

Tài liệu tham khảo

- [1] MRCS (2003 và 2010), “Hiện trạng lưu vực sông Mê Công, Viên Chăn, Lào”.
- [2] Tổng cục Thống kê, “Diện tích và sản lượng lương thực phân theo các địa phương”, <http://www.gso.gov.vn>.
- [3] MRCS (2003), “Công cụ hỗ trợ ra quyết định DSF, Viên Chăn, Lào”.
- [4] Ủy hội sông Mê Công quốc tế (2010), MRC Toolbox, Viên Chăn, Lào.
- [5] Tô Quang Toàn và nnk (2014), các chuyên đề của đề tài “Đánh giá tác động của các bậc thang thủy điện trên dòng chính Mê Công đến thay đổi dòng chảy, môi trường và kinh tế - xã hội vùng ĐBSCL”, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- [6] Nguyễn Quang Kim và nnk (2010), “Đánh giá tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi dòng chảy và xâm nhập mặn mùa khô ở ĐBSCL và giải pháp thích ứng”, Cơ sở 2 Đại học Thủy lợi Hà Nội.
- [7] Nguyễn Sinh Huy và nnk (2010), “Cơ sở khoa học để thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng ở ĐBSCL và giải pháp thích ứng”, Cơ sở 2 Đại học Thủy lợi Hà Nội.
- [8] Tô Quang Toàn (2014), “Đánh giá tác động các kịch bản phát triển thượng lưu đến thay đổi dòng chảy và xâm nhập mặn mùa khô ở ĐBSCL”, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

Nghiên cứu tổng hợp và đánh giá tính chất vật liệu xúc tác hợp kim có kích thước nano PtNi/C cho phản ứng khử oxy trong pin nhiên liệu màng trao đổi proton

Đỗ Chí Linh, Phạm Thy San,
Nguyễn Ngọc Phong, Phạm Hồng Hạnh, Trần Việt Quân

Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Trong nghiên cứu này, các hạt xúc tác hợp kim kích thước nano PtNi trên vật liệu nền cac bon Vulcan XC-72 đã được tổng hợp bằng phương pháp kết tủa hóa học sử dụng chất khử NaBH_4 . Các tính chất của vật liệu xúc tác hợp kim đã được nghiên cứu và đánh giá. Các kết quả hiển vi điện tử truyền qua (TEM) đã chỉ ra rằng, các hạt xúc tác PtNi với kích thước 4-8 nm phân bố đều trên vật liệu nền cac bon. Các kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) đã xác nhận mạng tinh thể của các hạt kim loại tinh khiết Pt và hợp kim PtNi là lập phương tâm mặt. Khi có mặt kim loại Ni, mạng tinh thể của hợp kim PtNi bị co lại và ảnh hưởng lên tính chất của vật liệu xúc tác. Hoạt tính xúc tác được đánh giá bằng các phương pháp điện hóa: quét thế vòng (CV - cyclic voltammetry) và quét thế tuyến tính (LSV - linear sweep voltammetry). Các kết quả thu được chỉ ra rằng, hoạt tính xúc tác của hợp kim PtNi/C cho phản ứng khử oxy tại điện cực catốt của pin nhiên liệu màng trao đổi proton PEMFC cao hơn so với xúc tác Pt/C.

Từ khóa: chất xúc tác, hợp kim, ORR, PEMFC, tế bào nhiên liệu.

Chỉ số phân loại 1.8

Mở đầu

Pin nhiên liệu màng trao đổi proton là một nguồn năng lượng tái tạo tiềm năng trong tương lai do có nhiều ưu điểm như: khởi động nhanh, mật độ công suất cao, thân thiện với môi trường... Các hạt kim loại Pt phân tán trên vật liệu nền cac bon là vật liệu xúc tác lý tưởng cho các phản ứng điện hóa trong PEMFC bao gồm phản ứng oxy hóa hydro (HOR) tại anốt và phản ứng khử oxy tại catốt [1-5]. Tuy nhiên, Pt là một kim loại quý, rất đắt tiền và đó là một rào cản làm hạn chế khả năng ứng dụng rộng rãi của các PEMFC. Mặt khác, khi sử dụng vật liệu xúc tác Pt làm catốt, tốc độ phản ứng ORR xảy ra trên Pt rất chậm và quá thế của ORR bị cao hơn 250 mV nên làm giảm hiệu suất chuyển hóa năng lượng của PEMFC [6-8].

Vì vậy, nghiên cứu về hệ vật liệu xúc tác mới có độ bền cao và hàm lượng Pt thấp đã được quan tâm nhiều trên thế giới. Sử dụng các xúc tác hợp kim trên cơ sở Pt là một phương pháp hiệu quả để giảm quá thế của ORR và hàm lượng Pt. Trong các hệ xúc tác hợp kim, hợp kim nhị nguyên Pt-M với M là kim loại chuyển tiếp (Ni, Co, Cr...) có hoạt tính cao đối với phản ứng ORR của điện cực catốt [8-13].

Trong các vật liệu xúc tác hợp kim Pt-M, các hạt xúc tác hợp kim kích thước nano PtNi/C có tiềm năng lớn nhất cho mục tiêu giảm hàm lượng Pt trong PEMFC. Các xúc tác này có hoạt tính cao đối với ORR và có khả năng ngăn ngừa hiện tượng ngộ độc xúc tác do CO. Thêm nữa, một vài nghiên cứu đã chỉ ra rằng, quá thế của ORR trên xúc tác PtNi/C là thấp hơn 80 mV nên hoạt tính của xúc tác cao hơn 3-5 lần so với kim loại Pt tinh khiết. Trong tổng hợp xúc tác hợp kim, tính chất của xúc tác bị ảnh hưởng nhiều bởi quá trình xử lý nhiệt [12-19].

Trong nghiên cứu này, các hạt xúc tác hợp kim PtNi phân tán trên vật liệu nền cac bon Vulcan XC-72 đã được tổng hợp bằng phương pháp kết tủa hóa học. Tính chất của vật liệu xúc tác PtNi/C đã được nghiên cứu và đánh giá. Ảnh hưởng của hàm lượng Ni trong hợp kim và quá trình xử lý nhiệt lên tính chất của xúc tác hợp kim cũng sẽ được thảo luận.

Thực nghiệm

Tổng hợp vật liệu xúc tác Pt/C và PtNi/C

Vật liệu nền cac bon Vulcan XC-72 sử dụng trong quy trình tổng hợp xúc tác được mua của hãng Fuelcell earth (USA). Trước khi sử dụng, vật

SYNTHESIS AND EVALUATION OF PtNi/C NANO-SIZED ALLOY CATALYST FOR OXYGEN REDUCTION REACTION IN PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL

Summary

In this research, Vulcan XC-72 carbon supported PtNi alloy catalyst nanoparticles have been synthesized by the deposition method using NaBH_4 as a reduction agent. The properties of the synthesized PtNi/C catalyst have been researched and evaluated. Transmission electron microscope (TEM) results have shown that PtNi alloy catalyst particles are dispersed evenly on the carbon substrate with the size in the range of 4-8 nm. X-ray diffraction (XRD) analysis has confirmed that the crystal lattice of Pt and PtNi alloy is face-centered cubic. In presence of Ni atom, XRD has shown that the structure of PtNi alloy crystal has been contracted, which affects the catalyst properties. The catalyst activity has been evaluated by electrochemical methods including cyclic voltammetry (CV) and linear sweep voltammetry (LSV). The electrochemical results have indicated that the activity of PtNi/C alloy catalyst toward oxygen reduction reaction on cathode of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is higher in comparison with that of Pt/C catalyst.

Keywords: alloy, catalyst, fuel cell, ORR, PEMFC.

Classification number 1.8

liệu nền được xử lý nhiệt tại 500°C trong 2 h. Sau khi để nguội trong không khí, vật liệu cac bon được rửa sạch bằng một lượng lớn nước khử ion (DI) và sau đó được sấy tại 100°C trong 1 h. Quy trình tổng hợp xúc tác Pt/C và PtNi/C được thực hiện như sau: vật liệu cac bon được phân tán vào trong hỗn hợp dung môi ethylene glycol và nước DI. Các tiền chất $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ và $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck, Đức) được thêm vào theo tính toán để thu được hàm lượng kim loại khoảng 20% trọng lượng vật liệu xúc tác. Toàn bộ hỗn hợp được siêu âm trong 1 h và sau đó một lượng dư chất khử NaBH_4 0,01M được đưa vào hỗn hợp rồi đun tại nhiệt độ 80°C trong 4 h. Cuối cùng vật liệu xúc tác thu được sẽ được lọc rửa nhiều lần bằng nước DI và nung tại 60°C trong 12 h. Các mẫu xúc tác hợp kim được tổng hợp với các tỷ lệ nguyên

tử giữa Pt và Ni khác nhau bao gồm Pt_3Ni_1 , Pt_2Ni_1 , Pt_1Ni_1 , Pt_1Ni_2 và Pt_1Ni_3 . Một mẫu xúc tác Pt/C cũng được tổng hợp tại cùng điều kiện với mục đích đối chứng. Để nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt, các xúc tác hợp kim được nung trong lò ống trong môi trường khí khử 95% Ar + 5% H_2 .

Phương pháp nghiên cứu

Nhiều xạ tia X:

Phương pháp nhiễu xạ tia X được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc của vật liệu xúc tác. Các mẫu được chuẩn bị dưới dạng bột và được phân tích bằng máy SIEMEN D5000 với tia $\text{CuK } \alpha$ có nguồn công suất 30 kW tại Viện Khoa học vật liệu. Bước sóng của tia X là 0,154 nm, tốc độ quét góc 2θ là $0,04^\circ/\text{s}$.

Phương pháp hiển vi điện tử truyền qua (TEM):

Kích thước và sự phân bố của các hạt xúc tác trên vật liệu nền được quan sát bằng hiển vi điện tử truyền qua. Các mẫu được chụp bằng thiết bị JEM 1010 (JEOL-Japan) với các độ phóng đại khác nhau tại Viện Vệ sinh dịch tễ Trung ương.

Phương pháp điện hóa:

Phương pháp điện hóa là phương pháp phổ biến nhất được dùng trong đánh giá hoạt tính và độ bền của các vật liệu xúc tác sử dụng trong PEMFC. Với các phép đo điện hóa, vật liệu xúc tác được chuẩn bị dưới dạng mực có thành phần: 6 mg bột xúc tác; 6,2 ml nước DI; 2 ml isopropyl alcohol; 16,2 μl dung dịch Nafion 10%. Mực xúc tác được siêu âm trong 30 phút trước khi sử dụng. Lớp xúc tác được chế tạo bằng cách nhỏ giọt trên mẫu cac bon mật độ cao. Sau mỗi lần nhỏ, mẫu được sấy khô trong điều kiện phòng. Quá trình này được lặp lại cho tới khi đạt được mật độ xúc tác kim loại khoảng $0,4 \text{ mg}/\text{cm}^2$.

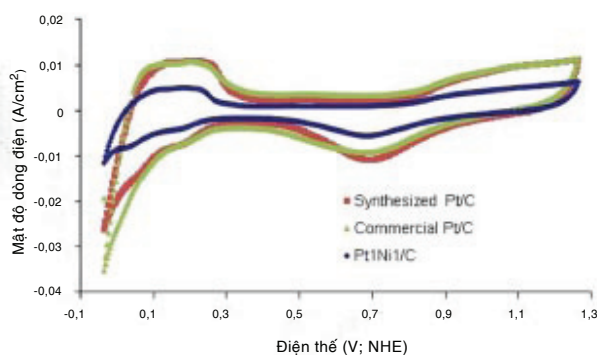
Các phép đo điện hóa được thực hiện trong hệ điện hóa 3 điện cực với Pt là điện cực đối và calomel bão hòa là điện cực so sánh. Diện tích mẫu đo là 1 cm^2 và dung dịch đo là H_2SO_4 0,5M với thiết bị đo PARSTAT 2273 (EG&G -USA).

Để đánh giá hoạt tính xúc tác, các mẫu được đo CV trong khoảng thế 0-1,3 V (NHE) với tốc độ quét là $50 \text{ mV}/\text{s}$. Trước khi thực hiện phép đo, các mẫu được phân cực tại giá trị điện thế đầu trong 60 s. Từ đường cong CV có thể dễ dàng tính được giá trị bề mặt điện hóa (ESA) đặc trưng cho hoạt tính của vật liệu xúc tác. Để đánh giá độ bền, các mẫu được đo CV trong khoảng điện thế 0,5-1,2 V (NHE) trong 1000 chu kỳ với tốc độ quét $100 \text{ mV}/\text{s}$. Sự thay đổi độ bền của xúc tác được đánh giá qua sự suy giảm giá trị ESA sau thử nghiệm độ bền.

Sự cải thiện hoạt tính xúc tác hợp kim cho ORR được đánh giá bằng phép đo LSV. Khoảng thế quét là 1-0,7 V với tốc độ quét 1 mV/s.

Kết quả và thảo luận

Đánh giá tính chất của vật liệu xúc tác hợp kim PtNi/C

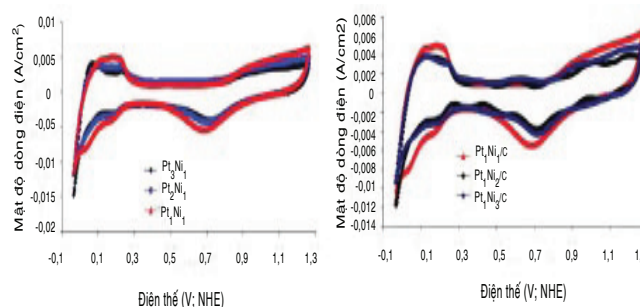


Hình 1: các đường CV của các mẫu xúc tác: Pt/C thương mại (fuelcellearth), Pt/C tổng hợp và Pt₁Ni₁/C trong dung dịch H₂SO₄ 0,5M; tốc độ quét thế 50 mV/s

Hình 1 biểu diễn đường cong CV của các mẫu xúc tác Pt/C thương mại (fuelcellearth), Pt/C tổng hợp và Pt₁Ni₁/C trong dung dịch H₂SO₄ 0,5M. Nhìn chung, cả ba đường cong CV đều có hình dạng gần tương tự nhau. Trên các đường CV xuất hiện các pic điện hóa tương ứng với các phản ứng điện hóa khác nhau xảy ra trên bề mặt vật liệu xúc tác. Trong khoảng điện thế 0-0,4 V, các pic điện hóa ứng với quá trình hấp phụ/nhả hấp phụ của H₂ trên bề mặt kim loại Pt. Trong quá trình quét thế thuận, khoảng điện thế từ 0,4 đến 0,8 V xảy ra quá trình nạp điện tích của lớp điện tích kép bởi sự hấp phụ của các nhóm chức bị ôxy hóa. Tại giá trị điện thế 0,85 V, quá trình ôxy hóa kim loại Pt bắt đầu xảy ra tạo thành các ôxit của Pt. Tương ứng đối với quá trình này, xuất hiện một pic của quá trình khử của Pt-O trong quá trình quét thế nghịch. Trong 3 đường cong CV, diện tích các pic của Pt/C tổng hợp là lớn nhất. Mẫu xúc tác hợp kim Pt₁Ni₁/C có diện tích các pic điện hóa nhỏ hơn so với cả hai loại xúc tác kim loại tinh khiết Pt/C. Điều này có thể liên quan tới hàm lượng Pt và kích thước các hạt của xúc tác hợp kim. Đường cong CV của xúc tác hợp kim có một sự thay đổi nhỏ của các pic, điện hóa và vì vậy các quá trình điện hóa xảy ra trên bề mặt xúc tác hợp kim có thể bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của kim loại Ni.

Hàm lượng của Ni cũng ảnh hưởng nhiều đến hoạt tính của các xúc tác hợp kim PtNi/C. Hình 2 là các đường cong CV của các xúc tác hợp kim trên vật liệu nền cac bon: Pt₃Ni₁, Pt₂Ni₁, Pt₁Ni₁, Pt₁Ni₂

và Pt₁Ni₃. Khi hàm lượng Ni kim loại tăng, diện tích của các pic điện hóa trên đường cong CV giảm, dẫn đến giá trị ESA của các xúc tác hợp kim cũng giảm tương ứng. Bảng 1 thể hiện các giá trị ESA của các mẫu xúc tác hợp kim được tính toán từ các đường cong CV trong dung dịch H₂SO₄ 0,5M.

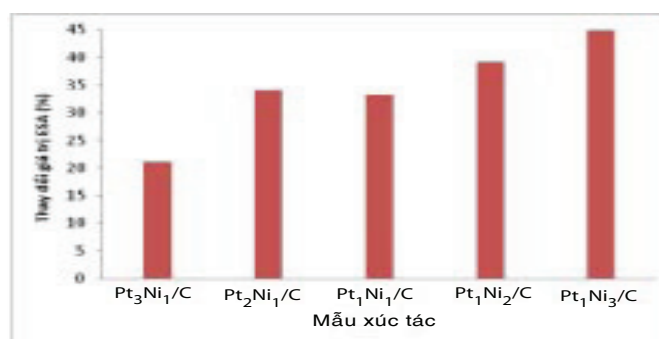


Hình 2: các đường cong CV của các mẫu xúc tác hợp kim có hàm lượng Ni khác nhau trong dung dịch H₂SO₄ 0,5M; tốc độ quét thế 50 mV/s

Bảng 1: các giá trị ESA của các mẫu xúc tác hợp kim với hàm lượng Ni khác nhau

Mẫu	Pt ₃ Ni ₁ /C	Pt ₂ Ni ₁ /C	Pt ₁ Ni ₁ /C	Pt ₁ Ni ₂ /C	Pt ₁ Ni ₃ /C	Pt/C	Pt/C thương mại
ESA (m ² /g Pt)	12,68	11,07	18,06	9,60	10,63	43,02	36,47

Mặt khác, hàm lượng Ni cũng ảnh hưởng đến độ bền của các xúc tác hợp kim PtNi/C. Hình 3 biểu diễn sự thay đổi các giá trị ESA của các mẫu xúc tác hợp kim sau thử nghiệm độ bền 1000 chu kỳ. Có thể dễ dàng nhận thấy rằng các mẫu xúc tác đều suy giảm giá trị ESA sau thử nghiệm độ bền. Trên đồ thị mẫu xúc tác Pt₁Ni₁/C có độ bền tương đối cao cho PEMFC.

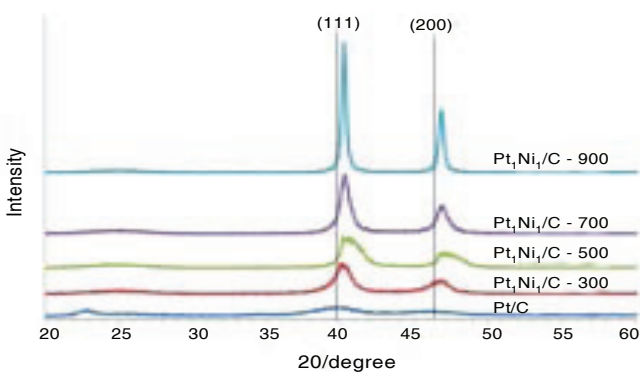


Hình 3: sự thay đổi giá trị ESA của các mẫu xúc tác hợp kim sau thử nghiệm độ bền 1000 chu kỳ

Ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến tính chất của các xúc tác hợp kim

Khi tổng hợp xúc tác hợp kim, quá trình xử lý nhiệt đóng một vai trò quan trọng trong việc nâng

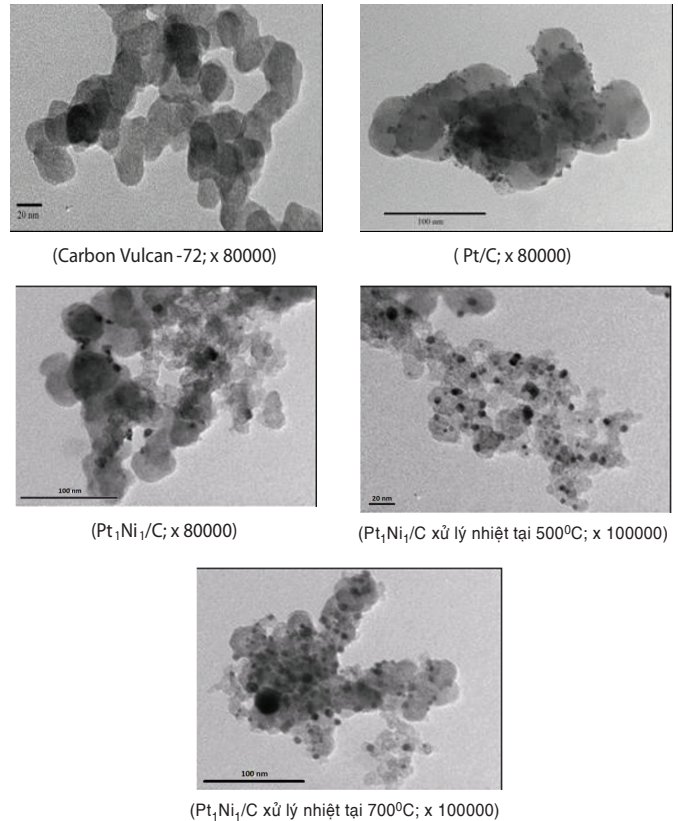
cao tính chất của vật liệu xúc tác. Trong quá trình xử lý nhiệt, các tạp chất không muốn sẽ bị loại bỏ và quá trình hợp kim hóa cũng sẽ xảy ra, dẫn đến làm tăng sự phân bố của các hạt xúc tác trên vật liệu nền. Để nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt lên tính chất của xúc tác hợp kim, mẫu Pt_1Ni_1/C được tiến hành nung tại các nhiệt độ khác nhau: 300, 500, 700 và 900°C trong môi trường khí hỗn hợp 95% Ar và 5% H_2 . Sự thay đổi cấu trúc của các xúc tác hợp kim được đánh giá bằng phân tích XRD và được trình bày trên hình 4. Đối với xúc tác Pt/C, kết quả XRD thể hiện các pic nhiễu xạ rộng, không rõ nét và cấu trúc mạng tinh thể của Pt được xác nhận là lập phương tâm mặt. Điều này có thể giải thích rằng kích thước của các hạt xúc tác Pt tổng hợp được là rất nhỏ và có thể ở cả dạng cấu trúc vô định hình. Khi có mặt nguyên tử Ni, các kết quả giản đồ XRD có sự thay đổi nhỏ. Các giá trị góc 2θ tương ứng với các mặt (111) và (200) bị dịch chuyển về hướng có giá trị lớn hơn so với phổ chuẩn của Pt kim loại. Không quan sát thấy pic riêng của Ni và các ôxit của Ni trên kết quả XRD. Như vậy, cấu trúc mạng tinh thể của xúc tác hợp kim cũng là lập phương tâm mặt. Các xúc tác hợp kim có thể đã tạo thành một dung dịch rắn và mạng tinh thể của chúng bị co lại. Trong quá trình đồng kết tủa, các nguyên tử Ni thay thế ngẫu nhiên vào trong vị trí của nguyên tử Pt trong mạng tinh thể. Do kích thước của nguyên tử Ni nhỏ hơn nhiều so với nguyên tử Pt nên các thông số mạng của vật liệu hợp kim bị nhỏ đi. Với xử lý nhiệt, các pic nhiễu xạ của vật liệu hợp kim trở nên rõ nét hơn và độ rộng của pic cũng thu hẹp lại rất nhiều. Điều này có thể do sự chuyển trạng thái của các hạt kim loại từ vô định hình sang tinh thể và kích thước của các hạt trở nên to hơn do quá trình hợp kim hóa.



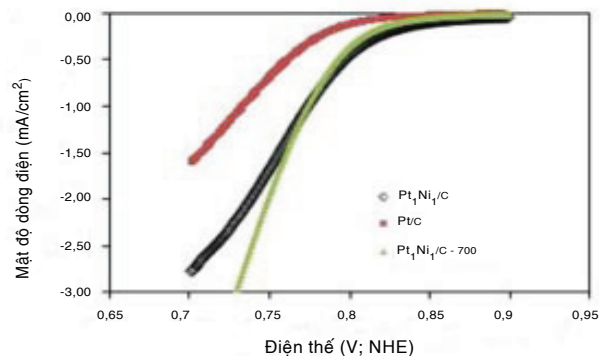
Hình 4: giản đồ XRD của các mẫu Pt/C, Pt_1Ni_1/C khi không có và có xử lý nhiệt tại các nhiệt độ khác nhau

Sự thay đổi kích thước hạt của xúc tác cũng được quan sát trên các ảnh TEM. Hình 5 giới thiệu các ảnh TEM của cac bon Vulcan, các xúc tác Pt/C và hợp kim Pt_1Ni_1/C . Trên ảnh TEM, vật liệu cac bon có

màu xám và ở dạng hình cầu với kích thước khoảng 30-40 nm. Các điểm màu đen phân bố trên vật liệu nền cac bon là các hạt xúc tác kim loại. Đối với xúc tác Pt/C, kích thước các hạt khoảng 2-3 nm, trong khi các hạt xúc tác hợp kim có kích thước nằm trong khoảng 4-8 nm. Sau khi xử lý nhiệt tại 500 và 700°C, kích thước hạt xúc tác hợp kim tăng lên và nằm trong khoảng 6-10 nm. Sự thay đổi kích thước hạt sau xử lý nhiệt có thể là do quá trình hợp kim hóa. Tuy nhiên, độ phân bố của các hạt xúc tác trên vật liệu nền được cải thiện rõ rệt.

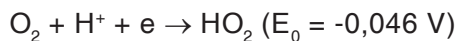
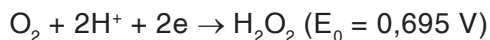
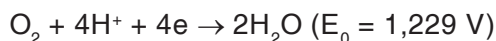


Hình 5: các ảnh TEM của cac bon Vulcan và các xúc tác Pt/C và Pt_1Ni_1/C khi không có và có xử lý nhiệt tại các nhiệt độ khác nhau



Hình 6: các đường cong LSV trong dung dịch H_2SO_4 0,5M của các mẫu xúc tác: Pt/C, Pt_1Ni_1/C và Pt_1Ni_1/C có xử lý nhiệt tại 700°C; tốc độ quét thế 1 mV/s

Để hiểu rõ hơn vai trò của kim loại Ni trong quá trình xúc tác đối với phản ứng ORR, các mẫu xúc tác được đo LSV trong dung dịch H₂SO₄ 0,5M. Hình 6 là các đường cong phân cực LSV của các xúc tác Pt/C và Pt₁Ni₁/C khi không có và có xử lý nhiệt tại 700°C. Khi có mặt kim loại Ni, phản ứng khử oxy xảy ra tại điện thế dương hơn so với xúc tác Pt/C. Thêm nữa, mật độ dòng điện phân cực của mẫu xúc tác hợp kim cũng tăng lên. Tại cùng giá trị điện thế 0,75 (NHE), giá trị mật độ dòng điện của xúc tác hợp kim cao hơn nhiều so với xúc tác Pt/C. Điều này có thể được giải thích do sự có mặt của kim loại Ni làm giảm quá trình hấp phụ của các nhóm chức chứa oxy trên bề mặt kim loại. Mặt khác, trong môi trường axit mạnh cơ chế của phản ứng khử oxy thường xảy ra tại các giá trị điện thế khác nhau với các phản ứng như sau:



Vì vậy, việc giảm hấp phụ các nhóm chức trung gian làm cho phản ứng khử oxy trở nên dễ xảy ra hơn với cơ chế trao đổi trực tiếp 4 điện tử tại giá trị điện thế tiêu chuẩn 1,229 V, nghĩa là hiệu suất của PEMFC đạt được giá trị cao. Sau khi xử lý nhiệt, hoạt tính của xúc tác hợp kim vẫn cao hơn so với xúc tác Pt/C. Tại các giá trị mật độ dòng phân cực nhỏ, hoạt tính xúc tác hợp kim giảm nhưng sự thay đổi này là không đáng kể so với mẫu không có xử lý nhiệt. Điều này có thể liên quan đến sự thay đổi kích thước hạt do sự xử lý nhiệt hợp kim. Tuy nhiên, ở mật độ dòng điện cao, hoạt tính của xúc tác hợp kim có xử lý nhiệt cao hơn so với mẫu không có xử lý nhiệt. Các kết quả này chỉ ra rằng với xử lý nhiệt tính chất và độ bền của các xúc tác hợp kim được nâng cao đáng kể.

Kết luận

Vật liệu xúc tác hợp kim PtNi kích thước nhỏ hơn 10 nm phân tán trên vật liệu nền cac bon Vulcan XC-72 với các hàm lượng Ni khác nhau đã được tổng hợp bằng phương pháp kết tủa hóa học. Kích thước và cấu trúc của các hạt xúc tác hợp kim bị ảnh hưởng nhiều bởi quá trình xử lý nhiệt và quá trình này cũng làm thay đổi tính chất của các vật liệu xúc tác.

Các kết quả điện hóa thu được chỉ ra rằng tính chất của xúc tác hợp kim Pt₁Ni₁/C cao hơn nhiều so với xúc tác Pt/C. Xúc tác hợp kim Pt₁Ni₁/C xử lý nhiệt tại 700°C có hoạt tính cao đối với phản ứng khử oxy trong PEMFC.

Lời cảm ơn

Bài báo này được hoàn thành nhờ sự trợ giúp tài chính từ đề tài VAST03.08/14-15 “Nghiên cứu phát triển pin nhiên liệu màng trao đổi proton (PEMFC) sử dụng nhiên liệu hydro” của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) và sự giúp đỡ của Viện Khoa học vật liệu (IMS).

Tài liệu tham khảo

- [1] Yun Wang, Ken S. Chen, Jeffray Mishler, Sung Chan Cho, Xavier Cordobes Adroher (2011), *Applied Energy* **88** 981.
- [2] Chi Linh Do, Thy San Pham, Phong Nguyen Ngoc, Quan Tran Viet, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **Vol.4, No.3**.
- [3] Thai Giang Hong, San Pham Thy, Phong Nguyen Ngoc, Linh Do Chi, Quan Tran Viet (2013), *Proc. Inter. Conf. on sustainable energy development* 167.
- [4] A. Esmaeilifar, M.H. Eikani (2010), *Energy* **35** 3941.
- [5] Ikuma Takahashi, Shyam S. Kocha (2010), *Journal of Power Sources* **195** 6312.
- [6] A.S. Arico, A. Stassi, E. Modica, R. Ornelas, I. Gatto, E. Passalacqua, V. Antonucci (2008), *Journal of Power Sources* **178** 525.
- [7] Dong-Ha Lim, Weon Doo Lee, Ho-In Lee (2008), *Catalysis Surveys from Asia* **12** 310.
- [8] Yuyan Shao, Geping Yin, Yunzhi Gao (2007), *Journal of Power Sources* **171** 558.
- [9] A.M. Chaparro, A.J. Martin, M.A. Folgado, B. Gallardo, L. Daza (2009), *International Journal of Hydrogen Energy* **34** 4838.
- [10] U. Koponen, H. Kumpulainen, M. Bergelin, J. Keskinen, T. Peltonen, M. Valkiainen, M. Wasberg (2003), *Journal of Power Sources* **118** 325.
- [11] Zhuang Xu, Huamin Zhang, Hexiang Zhong, Qihong Lu, Yunfeng Wang, Dangsheng Su (2012), *Applied Catalysis B: Environmental* **111-112** 264.
- [12] Bin Fang, Bridgid N. Wanjala, Jun Yin, Rameshwari Loukrakpam, Jin Luo, Xiang Hu, Jordan Last, Chuan-Jian Zhong (2012), *International Journal of Hydrogen Energy* **37** 4627.
- [13] Dae-Soo Yang, Min-Sik Kim, Min Young Song, Jong-Sung Yu (2012), *International Journal of Hydrogen Energy* **37** 13681.
- [14] Weon-Doo Lee, Dong-Ha Lim, Hee-Joon Chun, Ho-In Lee (2012), *International Journal of Hydrogen Energy* **37** 12629.
- [15] F. Godýnez-Salomon, M. Hallen-Lopez, O. Solorza-Feria (2012), *International Journal of Hydrogen Energy* **37** 14902.
- [16] Kaushik Jayasayee et al (2012), *Applied Catalysis B: Environmental* **111-112** 515
- [17] Yong-Hun Choa et al (2012), *Electrochimica Acta* **59** 264.
- [18] Cicero et al (2007), *Journal of Power Sources* **173** 891.
- [19] B.P. Vinayan et al (2012), *International Journal of Hydrogen Energy* **37** 412.

Nghiên cứu và phát triển cảm biến sinh học tại Việt Nam: hiện trạng và triển vọng

Nguyễn Lê Huy¹, Nguyễn Hải Bình², Nguyễn Văn Anh¹, Trần Đại Lâm²

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

² Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Với sự tiến bộ gần đây của công nghệ micro - nano, cảm biến sinh học đã giao thoa với công nghệ nano và tạo ra một lĩnh vực mới là cảm biến nano sinh học (cảm biến sinh học ở kích thước nano). Ngày nay, cảm biến nano sinh học đã thâm nhập vào các lĩnh vực ứng dụng y tế, sinh học và môi trường. Trong bối cảnh đó, các nghiên cứu, chế tạo cảm biến sinh học đã và đang được các nhà khoa học trong nước triển khai và dần tạo lập được các tập thể nghiên cứu nhiều triển vọng. Tuy nhiên, việc biến các tiềm năng trở thành những sản phẩm công nghệ hữu ích đòi hỏi sự nỗ lực không ngừng nghỉ của các nhà khoa học và cả sự hỗ trợ mạnh mẽ của cơ quan quản lý. Bài viết trình bày một cái nhìn tổng quát về cảm biến sinh học, hiện trạng và triển vọng trong nghiên cứu và phát triển lĩnh vực này.

Từ khóa: cảm biến sinh học, công nghệ nano.

Chỉ số phân loại 1.8

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF BIOSENSORS IN VIETNAM: CURRENT SITUATION AND PROSPECTS

Summary

With the recent advances of micro and nano technology, biosensor has interfered with the nanotechnology and created a new area called nanobiosensor where we can see biosensors at the nano-scale dimensions. Nowadays, nanobiosensing prospects have penetrated in the field of medical, biological and environmental applications. In this context, research and development of biosensors and nanobiosensors in Viet Nam has achieved encouraging results. Some promising research teams have been established. Nevertheless, transforming potentialities into useful technological products requires the continuous endeavour from scientists and the strong support from managing authorities. This article presents an overview on current situation and future perspectives of research and development of biosensors.

Keywords: biosensor, nanotechnology.

Classification number 1.8

Mở đầu

Cảm biến được coi là kỹ thuật nền tảng cho sự phát triển của khoa học và công nghệ hiện đại, được đánh giá là một trong mười công nghệ làm thay đổi cuộc sống. Bên cạnh sự có mặt của các loại cảm biến trong các ngành công nghiệp, cảm biến ứng dụng trong đời sống như một thiết bị dân dụng đã và đang hiện diện ngày một nhiều hơn. Đó có thể là các cảm biến gia tốc, cảm biến ánh sáng, cảm biến khoảng cách, cảm biến lực và con quay hồi chuyển... trong các thiết bị di động thông minh; cảm biến lưu lượng, cảm biến áp suất, cảm biến nhiệt độ... trong ô tô; cảm biến báo cháy, cảm biến chuyển động, cảm biến quang học trong văn phòng và gia đình... Có thể thấy rằng, cảm biến đo lường các đại lượng vật lý đã có những bước phát triển mạnh mẽ với độ tin cậy cao, nhỏ gọn và giá thành ngày càng giảm. Trong khi đó, cảm biến sinh học vẫn còn ở những bước nghiên cứu khởi đầu, đòi hỏi sự đầu tư, nghiên cứu để biến các ý tưởng thành các sản phẩm ứng dụng, phục vụ đời sống. Bài viết này giới thiệu tổng quát về tình hình nghiên cứu, cập nhật xu thế phát triển của cảm biến sinh học trên thế giới cũng như tại Việt Nam.

Cảm biến sinh học, nguyên lý và ứng dụng

Nếu như cảm biến hóa học sử dụng các vật liệu và kỹ thuật đo thích hợp nhằm phát hiện các dạng chất hóa học, thì cảm biến sinh học sử dụng một hay nhiều tác nhân sinh học như một yếu tố nhận biết các dạng chất hóa học và cả các dạng sinh học như vi khuẩn, vi rút, chuỗi ADN hay kháng nguyên - kháng thể. Một dạng được coi là cảm biến sinh học đơn giản nhất đã

được áp dụng đó là việc tận dụng các đối tượng sinh học, vốn có các giác quan nhạy cảm hơn con người nhiều lần, để phát hiện các yếu tố nguy hại như việc sử dụng chim hoàng yến trong các hầm lò để phát hiện các khí độc như cacbon monoxit, metan; sử dụng cá hồi để phát hiện ô nhiễm nước; hay sử dụng chó để đánh hơi phát hiện hay lần theo dấu vết tội phạm.

Năm 1962, lần đầu tiên khái niệm về cảm biến sinh học hiện đại đã được hai GS L.C. Clark và C. Lyons đề cập đến trong báo cáo về chế tạo điện cực dùng enzym glucozơ oxidaza để định lượng glucozơ. Từ đó tới nay, chủ điểm cảm biến sinh học đã trở thành một trong những nội dung nghiên cứu nổi bật thu hút được nhiều nhóm nghiên cứu và phát triển công nghệ thuộc nhiều lĩnh vực tham gia. Dù đã hơn 50 năm, nhưng thực sự cảm biến sinh học vẫn đang ở những bước đi ban đầu nhằm tiến tới ước mơ trở thành một phương pháp phân tích mới, thay thế một phần hay toàn bộ cho các thiết bị và phương pháp phân tích truyền thống vốn có giá thành cao, tốn nhiều thời gian, vận hành phức tạp, sử dụng nhiều dung môi, hóa chất. Với sự phát triển của khoa học và công nghệ nano, công nghệ sinh học nano, công nghệ vi cơ điện tử... và sự giao thoa ngày một mạnh mẽ của các ngành khoa học, việc nghiên cứu và phát triển các thế hệ cảm biến hóa - sinh ngày một tinh vi và hiệu quả hơn.

Một cách cơ bản, có thể hiểu cảm biến sinh học hoạt động dựa trên việc đo (trực tiếp hoặc gián tiếp) các tương tác giữa thành phần sinh học (phần tử dò) được gắn kết trên bề mặt cảm biến với tác nhân cần phát hiện (phần tử đích). Thành phần sinh học được sử dụng chủ yếu là enzym, ADN, ARN, kháng nguyên - kháng thể. Mỗi phần tử nhận biết sinh học khác nhau chỉ cho phép nhận biết một loại đối tượng phân tích; nếu không phù hợp với thành phần cảm nhận sinh học thì không có sự thay đổi tín hiệu ở đầu ra của cảm biến. Chính vì vậy, cảm biến sinh học có độ chọn lọc rất cao. Dựa vào bản chất của thành phần nhận biết sinh học có thể phân biệt các loại cảm biến, đó là cảm biến enzym (enzyme sensor), cảm biến ADN (DNA sensor), cảm biến miễn dịch (immunosensor) hay cảm biến aptame (aptasensor). Tương tác giữa thành phần sinh học và tác nhân cần phát hiện sẽ gây ra sự thay đổi các tín hiệu hoá - sinh và được nhận biết bằng các kỹ thuật khác nhau như quang học, điện hóa, khối lượng, từ trường... Đây là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ nhạy và tính hiệu quả của cảm biến. Mỗi kỹ thuật đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng, tùy thuộc vào những điều kiện cụ thể mà có thể áp dụng riêng rẽ các kỹ thuật hoặc kết hợp chúng lại để đem lại hiệu quả tối ưu [1].

Nguyên lý đo điện hóa và nguyên lý quang học là hai cách tiếp cận khá thành công trong chế tạo cảm biến sinh học dân dụng. Sản phẩm que thử nhanh dựa theo nguyên lý chỉ thị màu có thể quan sát được bằng mắt thường là một dạng cảm biến đơn giản mà hiệu quả đã được ứng dụng như sản phẩm thương mại. Que thử dạng kiểm tra nhanh có cấu tạo và cách sử dụng rất đơn giản, chỉ dưới dạng một "que nhúng" có kích thước 2x7 cm, cho kết quả nhanh từ 5-10 phút, có thể sử dụng để kiểm tra tại hiện trường. Các que thử này đã và đang được các nhà khoa học tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và Cục Hóa sinh và tài liệu nghiệp vụ (Bộ Công an) nghiên cứu và chế tạo với nhiều chủng loại sản phẩm khác nhau. Đó là các que thử phát hiện ma túy, độc tố trong vi khuẩn tụ cầu vàng (*Staphylococcus aureus*), *E.coli*, *Salmonella*, vi rút đốm trắng trên tôm... và gần đây là que thử nhanh ung thư gan. Nguyên lý của que thử nhanh là dựa trên kỹ thuật sắc ký miễn dịch định tính bằng phương pháp dòng chảy một chiều. Để phát hiện sự có mặt của kháng nguyên trong mẫu (yếu tố lạ xâm nhập vào cơ thể), trên kit được phủ một lớp kháng thể đơn dòng kháng kháng nguyên ở khoang gắn kết. Trong quá trình phản ứng, mẫu phân tích thẩm theo màng và di chuyển nhờ các mao dẫn, gặp và phản ứng với các kháng thể trên lớp màng và tạo ra vạch màu. Sự có mặt của vạch màu ở đường/vạch thử (test line) - kết quả của phản ứng giữa kháng nguyên với phức hợp kháng thể đặc hiệu gắn hạt nano vàng xảy ra - cho biết kết quả dương tính, ngược lại trong trường hợp không có vạch màu ở vùng này là kết quả âm tính. Một vạch màu luôn luôn xuất hiện tại đường/vạch chứng (control line) cho biết phức hợp kháng thể đặc hiệu gắn hạt nano vàng không tham gia phản ứng (do không có kháng nguyên) hoặc đã phản ứng (nhưng vẫn còn dư kháng thể) và như vậy sẽ khẳng định tính xác thực của quy trình phản ứng. Ưu điểm của kit thử nhanh là tiện lợi và nhanh chóng, tuy nhiên, chỉ mang tính định tính. Ngoài ra, do độ nhạy và độ đặc hiệu không cao nên nhiều trường hợp kit cho kết quả không chính xác, thường là dương tính giả.



Hình 1: mô tả một bộ que thử nhanh

Cảm biến sinh học điện hóa có thể mua trên thị trường hiện nay là bộ thiết bị đo đường huyết với giá thành khoảng hơn 1 triệu đồng/bộ sản phẩm. Thiết bị cho phép định lượng tức thời hàm lượng đường trong máu của người bệnh tại bất cứ đâu, bất cứ thời điểm nào mà không cần phải đến các cơ sở y tế. Sản phẩm là một bộ thiết bị điện tử có thể hiển thị kết quả có tính định lượng sử dụng các điện cực dùng một lần. Một số sản phẩm cảm biến khác định lượng cholesterol hay axit uric trong máu cũng bước đầu được giới thiệu, tuy nhiên hiệu quả ứng dụng vẫn còn nhiều hạn chế. Các bộ thiết bị này là sản phẩm nhập khẩu hoàn toàn và chưa sản xuất được tại Việt Nam.



Hình 2: mô tả một bộ thiết bị đo đường huyết

Nghiên cứu và phát triển cảm biến sinh học

Bên cạnh các sản phẩm thương mại đã được sản xuất hàng loạt, các nghiên cứu nâng cao hiệu năng và mở rộng phạm vi ứng dụng của cảm biến hóa - sinh đã và đang thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học và các công ty phát triển công nghệ. Dưới đây trình bày một số hướng nghiên cứu nhận được nhiều sự quan tâm trong chế tạo cảm biến.

Các cảm biến sinh học dựa theo nguyên lý quang học trên cơ sở cảm biến thể rắn và công nghệ sợi quang tích hợp sử dụng hiện tượng như phát xạ huỳnh quang, lân quang; ánh sáng tử ngoại - khả kiến, bức xạ hồng ngoại hoặc tia laser để phát hiện sự thay đổi khi có sự tương tác giữa phân tử dò và phân tử đích trên bề mặt cảm biến. Các cảm biến dạng này là các thiết bị có bộ nhân quang điện tử cho phép đo các tín hiệu với độ nhạy cao và có thể định lượng một cách chính xác. Một hệ cảm biến sử dụng những kháng thể có gắn chỉ dấu huỳnh quang ứng dụng công nghệ xét nghiệm miễn dịch đã được phát triển thành các bộ kit với quy trình chuẩn hóa

đã được nhiều hãng thiết bị y - sinh cung cấp cùng thiết bị, ứng dụng tại các phòng xét nghiệm ở các bệnh viện. Hầu hết các chỉ dấu sinh học sớm của bệnh ung thư đều có thể xét nghiệm bằng kỹ thuật này, thời gian phân tích nhanh, độ đặc hiệu cao. Ứng dụng hiệu ứng truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang FRET dựa trên các chấm lượng tử hay hiệu ứng cộng hưởng plasmon bề mặt SPR của các hạt nano được kỳ vọng đem lại hiệu quả hơn trong kỹ thuật này. Các chấm lượng tử (QDs) là các nano tinh thể trên cơ sở bán dẫn bắt đầu được các nhà vật lý chú ý tới từ ba thập kỷ gần đây bởi các tính chất lượng tử đặc biệt của chúng. Với tính chất quang lý, đặc biệt là phát huỳnh quang phụ thuộc vào kích thước, có hiệu suất phát quang cao và rất bền nên khá nhiều nghiên cứu đã sử dụng QDs như là một chất đánh dấu cho các quá trình dò tìm tương tác sinh học. Với sự chức năng hóa bề mặt các QDs (CdS, CdSe), các QDs này có thể phân tán tốt trong nước và tương thích sinh học. Các QDs khi đó được gắn với ADN, kháng thể hay enzyme nhờ liên kết cộng hóa trị. Khi có sự tương tác đặc hiệu của phân tử sinh học dò với đích sẽ giữ các chấm lượng tử lại trên bề mặt đế. Tín hiệu huỳnh quang khi đó sẽ được sử dụng như tín hiệu chỉ thị sự có mặt của tác nhân đích trong mẫu. Một kỹ thuật nâng cao trong ứng dụng QDs trong phân tích y sinh đó là sự truyền năng lượng cộng hưởng Förster hay truyền năng lượng cộng hưởng huỳnh quang (FRET). FRET được ứng dụng trong các cảm biến sinh học để đo khoảng cách và phát hiện các tương tác phân tử. Bên cạnh đó, FRET còn được sử dụng để đo khoảng cách giữa các vùng trong một protein và do đó có được các thông tin về cấu hình của protein....

Hiệu ứng cộng hưởng bề mặt plasmon (SPR) là một kỹ thuật khác trong cảm biến đo theo nguyên lý quang học. Khi tần số sóng ánh sáng tới trùng với tần số dao động riêng của plasmon thì hiện tượng cộng hưởng sẽ xảy ra và sóng plasmon cộng hưởng sẽ lan truyền trên biên phân cách giữa điện môi và kim loại, hoặc bức xạ ra không gian tự do SPR là cơ sở của nhiều thiết bị đo sự hấp phụ của các vật liệu trên bề mặt kim loại (chủ yếu là vàng và bạc do hai kim loại này có đỉnh SPR nằm trong vùng nhìn thấy). Hiệu ứng này cũng là nguyên lý của nhiều sensor chỉ thị mẫu và sensor dạng vi lưu (microfluidic). Trong các sensor này, đỉnh kích thích plasmon được xác định bằng sự thay đổi cường độ của ánh sáng phản xạ từ bề mặt màng kim loại theo góc chiếu hoặc theo bước sóng ánh sáng. Kỹ thuật này được sử dụng để quan sát sự thay đổi của độ dày màng chính xác tới nano mét, sự thăng giáng của mật độ vật chất hoặc sự hấp phụ của các phân tử như protein, ADN...

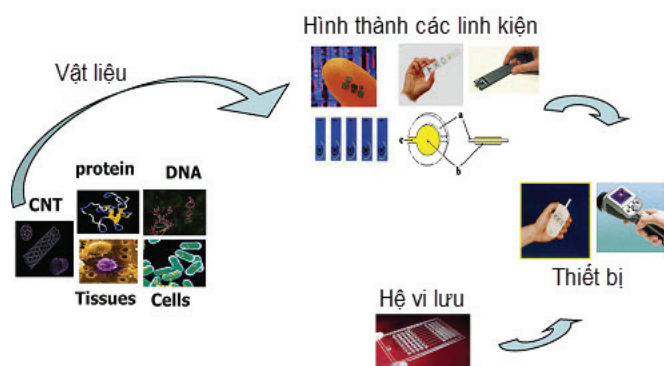
Lợi thế của nguyên lý quang học trong chế tạo cảm biến là độ nhạy cao và có khả năng nghiên cứu sâu về các quá trình sinh học phân tử, thì nhược điểm của nó là giá thành cao, việc chuyển đổi tín hiệu từ quang sang điện để hiển thị làm thiết bị cấu tạo phức tạp và tiêu tốn nhiều năng lượng hơn. Chính vì lẽ đó, cảm biến sinh học điện hóa là một hướng nghiên cứu được chú ý hơn cả, đặc biệt với các nhóm phát triển công nghệ trong mục tiêu chế tạo được các thiết bị nhỏ gọn thực hiện xét nghiệm tại điểm chăm sóc (POC). Có thể thấy rằng nếu như sự tương tác giữa enzyme và cơ chất là phản ứng oxy hóa - khử, thì sự lai hóa của các chuỗi đơn ADN, hoặc tương tác kháng nguyên - kháng thể cũng sẽ gây những thay đổi mật độ các ion tích điện, làm thay đổi trở kháng hay độ dẫn của bề mặt cảm biến với môi trường điện ly. Nhờ đó, áp dụng nguyên lý điện hóa sẽ nhận các tín hiệu điện sinh học là trực tiếp nên thiết kế sẽ đơn giản hơn và thời gian đáp ứng nhanh hơn. Tuy nhiên, các tín hiệu điện hóa này là khá nhỏ, vì thế đòi hỏi các kỹ thuật biến tính nâng cao nhằm khuếch đại và chọn lọc tín hiệu ở đầu ra. Các kỹ thuật điện hóa có độ nhạy cao như von-ampe sóng vuông, xung vi phân, tổng trở điện hóa, công nghệ transistor hiệu ứng trường (FET) hay sử dụng các vật liệu nano như nano carbon, nano vàng, nano oxit sắt từ, vật liệu polyme dẫn điện chức năng... là một trong nhiều giải pháp nhằm khuếch đại và tăng độ ổn định cho cảm biến sinh học điện hóa. Các hạt nano có thể được coi như chất đánh dấu điện hóa, do các hạt nano có tính chất xúc tác, nên giới hạn phát hiện được mở rộng hơn nhiều so với trường hợp không có vật liệu nano. Điều này là do diện tích bề mặt riêng của vật liệu rất lớn cũng như dòng electron giữa bề mặt phân tử sinh học và hạt nano dễ dàng hơn.

Nguyên lý khối lượng trong cảm biến sử dụng vi cân tinh thể thạch anh có ưu điểm là độ nhạy cao do có thể xác định được cỡ picogram nhờ vào sự thay đổi tần số dao động khi lực tác dụng lên nó. Linh kiện vi cân tinh thể thạch anh có thể xác định rất chính xác chiều dày của các lớp bề mặt, nó được sử dụng trong nghiên cứu chế tạo cảm biến khí và cảm biến sinh học, đặc biệt là cảm biến nghiên cứu sự lai hóa ADN hay tương tác kháng nguyên - kháng thể. Tại Trung tâm Nghiên cứu và đào tạo thiết kế vi mạch TP Hồ Chí Minh (ICDREC), linh kiện vi cân tinh thể thạch anh đã được chế tạo thành công và bước đầu đã thử nghiệm chế tạo cảm biến miễn dịch xác định kháng thể kháng vi khuẩn *E. coli* O157.

Từ các cảm biến đơn lẻ phát triển thành dạng chuỗi (array), từ đó kết hợp với các công nghệ vi mạch và xử lý hình thành các chip. Các chip này lại kết hợp với công nghệ vi lưu (microfluidic) để hình

thành hệ vi phân tích tổng hợp (Micro Total Analysis System - μ TAS) hay còn được gọi là Lab-on-a-chip (LOC, phòng thí nghiệm trên chip). Ở vi kích thước, cảm biến sẽ phóng đại độ phân giải không gian đến mức độ phân tử, thời gian lưu của các chất phản ứng rất ngắn do kích thước các kênh dòng chảy, không gian phản ứng, không gian khuếch tán được giảm xuống tối thiểu. Trên thực tế, vi lưu khổng chế và điều khiển dòng chất lỏng trong một không gian siêu nhỏ cỡ dưới micromet, thậm chí nanomet với một thể tích chỉ vài chục microlit và thúc đẩy các phản ứng xuống mili giây [2].

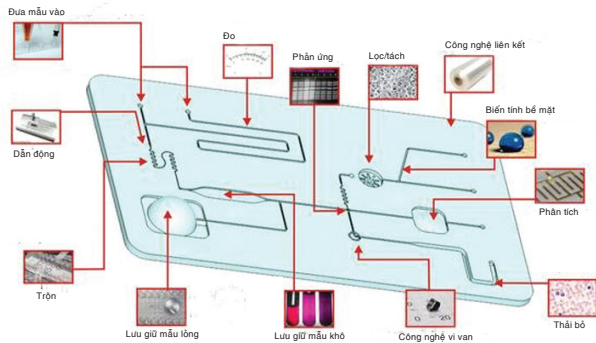
Ngày nay, các nghiên cứu này phát triển theo hai xu hướng tạm gọi là “phần cứng” (hardware) và “phần mềm” (software), trong đó chiến lược phát triển “phần mềm” tập trung chủ yếu vào quá trình cô lập (isolation), nhận biết (recognition) và khuếch đại cả về độ chọn lọc và cường độ của các tín hiệu (do các phản ứng sinh hóa đặc trưng giữa enzym - cơ chất; kháng nguyên - kháng thể... gây nên). Và sự phát triển “phần cứng” bao gồm việc thiết kế các vi thiết bị hiệu quả hơn, đồng thời tối ưu hóa quá trình chế tạo và tích hợp các thiết bị này trên các vật liệu tương sinh. Song song với quá trình này là việc cải tiến phương pháp đóng gói (packaging) các hệ này cũng như cách tương tác với thiết bị bên ngoài.



Hình 3: mô hình chung của quá trình thiết kế/xây dựng hệ thiết bị cảm biến sinh học kết hợp hệ vi lưu

Các thành tựu trong lĩnh vực nano sinh học và công nghệ hệ thống micro/nano cơ điện tử (MEMS/NEMS - Micro/Nano ElectroMechanical System) đã chứng tỏ triển vọng to lớn của chúng ứng dụng trong chế tạo cảm biến. Công nghệ MEMS/NEMS là công nghệ thiết kế - chế tạo các vi hệ thống với kích thước hoạt động nhỏ hơn μ m. Vật liệu bán dẫn (silic), hữu cơ (polyme) hay kim loại (vàng, bạc, nhôm) là những nguyên liệu chính dùng để chế tạo các bộ phận MEMS ở kích cỡ micromet bằng phương pháp ăn mòn laze (laser ablation), ăn mòn hóa học (chemical etching) hay quang khắc (photolithography). Các bộ phận được chế tạo bằng

MEMS được gắn vào đèn nội soi để quan sát các cơ quan trong cơ thể, hay các bộ cảm ứng y học giá rẻ dùng một lần để giúp chẩn đoán bệnh chính xác và trị bệnh hiệu quả. Đặc biệt, hệ thống “lab-on-a-chip” gồm các bộ phận MEMS, mạng vi lưu với kích thước từ vài mm đến cm, về lý thuyết có khả năng tiến hành các thí nghiệm sinh - hóa tương đương với chức năng của nhiều phòng thí nghiệm hợp lại, có chức năng thực hiện một loạt quy trình một cách tự động, thông qua các mô đun khác nhau: lấy mẫu, vận chuyển mẫu, chia mẫu, trộn mẫu, phân tích, tính toán, hiển thị và lưu trữ để từng bước thay thế dần các phương pháp phân tích truyền thống.

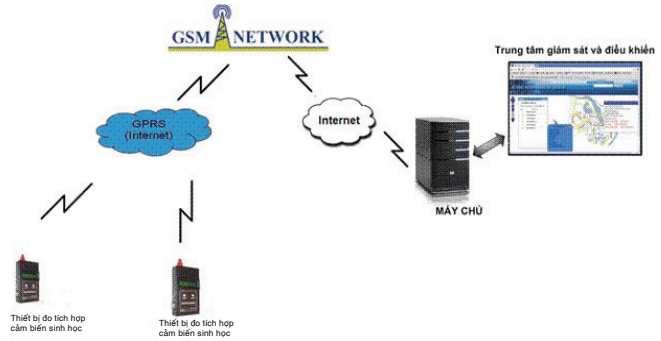


Hình 4: mô tả thiết kế các mô đun chức năng trong hệ cảm biến vi lưu

Hiện nay, các nghiên cứu còn hướng tới tích hợp các cảm biến, chip với công nghệ viễn thông hình thành một hệ thống thiết bị cảm biến tích hợp không dây ứng dụng trong kiểm soát sức khỏe, an toàn thực phẩm, phân tích ô nhiễm môi trường nhờ khả năng giám sát liên tục theo thời gian thực tại nhiều địa điểm cùng lúc. Việc thu thập dữ liệu và truyền dữ liệu tới máy tính (AIDC) không chỉ là các thiết bị đầu cuối không dây mà còn phải được tích hợp với công nghệ nhận dạng tần số sóng vô tuyến (RFID) hay các công nghệ thu thập dữ liệu khác hiện đại và hiệu quả hơn. Một bộ các tiêu chuẩn thống nhất trong nhận diện và quản lý các thiết bị di động trong đó có các cảm biến đã được đưa ra. Đó là gồm các thông số đo đạc, đơn vị đo đạc, xác định dữ liệu, độ chính xác cần thiết.

Mô hình hệ thống tích hợp cảm biến sinh học và truyền dữ liệu không dây cơ bản gồm các thành phần chính sau: các thiết bị cảm biến tích hợp mô đun truyền dữ liệu không dây GSM/GPRS; máy chủ tại trung tâm giám sát cài đặt IP tĩnh; phần mềm thu thập dữ liệu trên máy chủ. Sau mỗi khoảng thời gian nhất định, phần mềm sẽ gửi thông tin dữ liệu đo cảm biến về trên máy chủ Server qua giao thức TCP/IP. Trên máy chủ Server, được cài đặt dịch vụ

Socket TCP/IP Services với địa chỉ IP tĩnh được lập trình để thu thập và xử lý các gói thông tin từ thiết bị trạm gửi về [3].



Hình 5: mô hình hệ cảm biến đo tại thực địa kết hợp truyền dẫn dữ liệu không dây

Tiềm năng ứng dụng

Như trên đã nêu, việc kết hợp nhiều công nghệ, liên kết đa ngành, đa lĩnh vực là một đòi hỏi tất yếu để tạo ra những sản phẩm cảm biến hóa - sinh đa năng, tiện ích. Cảm biến sinh học là công cụ nghiên cứu và xác định các tương tác sinh học phân tử như các tương tác protein - protein, phản ứng kháng nguyên - kháng thể, lai ghép ADN-ADN và nghiên cứu tế bào. Đồng thời hỗ trợ các nghiên cứu về dược học và độc chất trong việc tìm ra cơ chế, hình thái đặc trưng, tối ưu hóa các quá trình điều trị, đảm bảo sức khỏe cộng đồng. Dưới đây sẽ trình bày một số xu hướng nghiên cứu tiềm năng đã và đang được các nhóm nghiên cứu mạnh trên thế giới triển khai. Trong đó, tập trung vào các ứng dụng y - sinh; kiểm soát môi trường; an toàn vệ sinh thực phẩm; an ninh, quốc phòng.

Trong lĩnh vực y - sinh: từ chiếc cảm biến sinh học đơn lẻ đầu tiên định lượng glucozơ được giới thiệu năm 1962, các hệ thống cảm biến tích hợp đa kênh hướng tới microchip và kết hợp với công nghệ truyền dẫn, xử lý hay còn được gọi là “hệ thống vi phân tích y - sinh học thông minh cho chẩn đoán bệnh” đang từng bước được nghiên cứu. Các cảm biến được thu nhỏ cho phép cấy vào cơ thể người bệnh nhằm theo dõi liên tục các chỉ số sinh học của người bệnh, các giá trị có thể được đọc qua thiết bị di động cầm tay và được truyền dẫn dữ liệu về cơ sở y tế nhằm tìm ra phác đồ điều trị thích hợp nhất cho người bệnh. Các nhà khoa học Thụy Điển tại Đại học Khoa học tổng hợp và Đại học Uppsala đã nghiên cứu cảm biến hiệu ứng trường (ống cacbon nano/sợi nano Si) trên nền hệ vi lưu để phát hiện những tế bào ung thư đơn lẻ hiện diện tuần hoàn trong huyết thanh người bệnh (circulating tumor cell - CTC), từ đó không chỉ chẩn đoán sớm được bệnh

ung thư mà còn giúp cho các nhà khoa học hiểu sâu sắc sự di chuyển của các tế bào ác tính này trong cơ thể. Các nhà khoa học Hoa Kỳ thuộc Bệnh viện Massachusetts đã sáng chế ra thiết bị CTC-iChip (circulating tumor cell-iChip) nhỏ gọn, giúp các bác sĩ phát hiện nhanh chóng những tế bào CTC để sớm chữa trị trước khi di căn xảy ra, do đó quá trình trị liệu sẽ thành công cao hơn nhiều. Công trình này đã được đăng tải trên Tạp chí Science. Một cách ngắn gọn, hoạt động của thiết bị CTC-iChip gồm ba bước. Trong bước 1, các hồng cầu và các tiểu cầu được lọc ra khỏi huyết tương, do đó chỉ còn các tế bào ung thư và các bạch cầu tiếp tục đi qua thiết bị. Trong bước 2, các tế bào còn lại được đẩy vào những kênh dẫn có hình dạng phù hợp và được sắp xếp thành từng hàng, hàng nọ sau hàng kia. Trong bước 3, các hạt nano từ được cho vào để liên kết với các protein đặc biệt trên các bạch cầu, giúp các bạch cầu này tiếp tục được tách ra khỏi dòng chảy. Như vậy, chỉ còn lại những tế bào CTC trong dòng chảy và việc phát hiện chúng trở nên rất dễ dàng. Theo các tác giả, kỹ thuật này cũng có thể sử dụng để phân tích dòng lưu chuyển của các tế bào bất thường có mối liên hệ với những căn bệnh cụ thể, cũng như tìm hiểu lý do tại sao khi di chuyển trong cơ thể có một số tế bào ung thư lại gây di căn, trong khi những tế bào ung thư khác lại không [4]. Tại Đại học Stanford, một loại microchip trong nghiên cứu thuốc cũng đã được báo cáo. Người ta lấy các protein mục tiêu (protein ung thư) đưa lên microchip và theo dõi sự tương tác giữa thuốc gắn nanotag và protein. Khả năng và mức độ gắn kết sẽ chỉ ra sự hiệu quả của thuốc với từng căn bệnh cụ thể. Kết quả sẽ phán đoán được những ảnh hưởng đa dạng của thuốc mà không cần đưa thuốc vào cơ thể người bệnh. Microchip được chế tạo bằng công nghệ vi cơ điện tử với 1.000 cảm biến trên một cm². Nhóm nghiên cứu cũng đang phát triển chip thành mô hình 3D với hơn 100.000 cảm biến trên một cm² như là một công nghệ nền tảng trong vi mảng cảm biến thế hệ tiếp theo. Trong dự án BIOTEX của châu Âu, người ta tích hợp các cảm biến đa năng trên quần áo để phân tích các chất dịch từ cơ thể và đưa ra những phán đoán tốt hơn về sức khỏe của người mặc. Các thử nghiệm đầu tiên hướng tới đối tượng các bệnh nhân bị tiểu đường và các vận động viên cần theo dõi để đề ra chế độ chăm sóc phù hợp.

Trong tương lai, công nghệ cảm biến sẽ làm thay đổi mô hình chăm sóc sức khỏe, khi đó kết hợp với tính toán, mô phỏng tin - sinh - y (Biomedical informatics) để phát triển các liệu trình điều trị cá nhân hóa (personalized medicine). Nhờ có các cảm biến thông minh, cung cấp dữ kiện chính xác về cơ

thể một cách thường xuyên, liên tục sẽ mô phỏng hóa được vấn đề y sinh ở cấp phân tử và tế bào, tìm ra giải pháp điều trị bệnh tối ưu với từng cá nhân, đặc biệt là các bệnh như ung thư, tiểu đường, cao huyết áp, các bệnh tim mạch... Cảm biến cũng sẽ làm thay đổi quan niệm về vai trò bệnh viện, điều trị ngoại trú, gia đình và các hoạt động xã hội thông thường sẽ ít tách biệt hơn. Người ta có thể hình dung một xã hội tương lai, nơi có các hệ thống giám sát bệnh truyền nhiễm được đặt tại sân bay, ga tàu và các nơi tập trung đông người, giúp kiểm soát các dịch bệnh nguy hiểm ảnh hưởng đến cộng đồng. Tại các gia đình, hệ thống chăm sóc sức khỏe được kích hoạt cho phép các bác sĩ có thể kiểm soát các thông số sinh lý để có được những đơn thuốc phù hợp cho mỗi người bệnh. Cảm biến áp suất máu thông minh sẽ quản lý thuốc cho bệnh nhân với chứng bệnh cao huyết áp, trực tiếp gửi báo động cho trung tâm theo dõi khi cảm biến tích hợp chức năng tim mạch và dấu hiệu quan trọng cho thấy khi có vấn đề đột ngột xảy ra. Thêm nữa, một hệ thống cảm biến thông minh tích hợp với bộ lưu trữ thuốc nano cho phép tự động kích hoạt dẫn thuốc vào cơ thể khi xảy ra tình huống nguy cấp như giải phóng insulin khi có biến động bất thường về đường huyết hoặc khi phát hiện sự mất cân bằng hóa học và kích hoạt tiêm cho bệnh nhân liều thuốc phù hợp.

Trong lĩnh vực kiểm soát môi trường và an toàn

thực phẩm: các sản phẩm biến đổi gen, hay ô nhiễm bởi các hợp chất hữu cơ khó phân hủy, thuốc bảo vệ thực vật... là vấn đề có tính toàn cầu. một số kit thử nhanh chỉ thị màu đã được phát triển, tuy nhiên không đạt được độ tin cậy cần thiết trong phân tích. Công nghệ sinh học phân tử cho phép tinh sạch các enzym và các loại kháng nguyên tái tổ hợp giảm độc lực để tạo kháng thể đơn dòng cho phép chế tạo được những cảm biến sinh học phân tích một số dạng chất ô nhiễm trong môi trường và thực phẩm. Các nhà khoa học tại Đại học Jerusalem đã phát triển chip sinh học (Dip Chip) vi lưu sử dụng một loại vi khuẩn đặc biệt (loại vi khuẩn biến đổi gen để tạo ra phản ứng sinh hóa khi tiếp xúc với hóa chất độc hại bất kỳ) cố định trên cảm biến điện hóa. Tín hiệu hóa học này được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ các điện cực. Từ việc phân tích đầu ra của điện cực, thiết bị có thể chẩn đoán chính xác thực phẩm có bị nhiễm độc hay không. Trong khi đó, các nhà khoa học Nhật Bản lại phát triển một cảm biến cấu trúc nano trên đế kính, để theo dõi sự biến đổi của chất lượng không khí dựa vào màu sắc hiển thị trên cảm biến. Các hợp chất có sẵn trong các lỗ siêu nhỏ trên cảm biến sẽ tương tác với khí độc và thay đổi màu sắc tùy thuộc vào nồng độ các chất đó. Màu sắc của cảm biến được ghi nhận

nhờ camera có trên các điện thoại di động và phân tích bằng các ứng dụng cài đặt trên máy. Các bộ cảm biến phân tích dư lượng thuốc bảo vệ thực vật trong thực phẩm, nước và đất theo nguyên lý ức chế enzym acetylcholinesterase, enzym tyrosinase hay kháng thể đơn dòng đặc hiệu đang trong giai đoạn phát triển để trở thành một sản phẩm thương mại. Một số thử nghiệm đã được tiến hành và các nhà khoa học kỳ vọng một bộ thiết bị cầm tay cho phép đo và lấy kết quả ngay có thể cung cấp đến người sử dụng với giá thành chỉ khoảng 2 triệu đồng Việt Nam.

Trong lĩnh vực an ninh, quốc phòng: cảm biến sinh học cho phép phát hiện các chất ma túy, thuốc nổ và các tác nhân gây chiến tranh sinh hóa. Tại Trung tâm Nghiên cứu an ninh và vũ khí hỗn hợp Pháp - Đức, đã nghiên cứu công cụ có khả năng phát hiện mùi thuốc nổ TNT và các chất nổ khác với hàm lượng rất thấp được gọi là mũi điện tử. Các cuộc thử nghiệm cho thấy thiết bị cảm biến trên cơ sở các cấu trúc silic nano có khả năng phát hiện chất nổ TNT với hàm lượng chưa tới 1/1.000 tỉ. Trong khi đó tại Đại học Connecticut (Mỹ), một lớp màng nano có thể “ngửi” được mùi bốc ra từ các chất nổ trong lòng đất và thông báo qua phản ứng phát quang cho phép phát hiện bằng mắt thường. Học viện Kỹ thuật Massachusetts thì sử dụng kỹ thuật vi cơ điện tử nhằm tạo ra một thiết bị cảm biến theo nguyên lý sắc ký khí - khối phổ với kích thước chỉ bằng bao diêm. Dựa theo nguyên lý phân tách các hợp chất dễ bay hơi của sắc ký khí và nguyên tắc phân mảnh ion trong máy khối phổ, các tác nhân độc hại và tác nhân chiến tranh hóa học sẽ được xác định nhờ thư viện phổ chuẩn được cài sẵn trong máy. Trong tương lai, các bộ cảm biến siêu nhạy sẽ được định vị trên không có thể “đánh hơi” được khí thải từ các nhà máy sản xuất hóa chất, những tàu thủy trình sát điện tử có khả năng lần theo dấu vết tên lửa đạn đạo khi chúng đang bay trên bầu trời. Hiện nay, Mỹ là nước đứng đầu thế giới trong việc phát triển công nghệ và những phương pháp mới để giám sát tại hiện trường có hiệu quả.

Nghiên cứu và phát triển cảm biến sinh học tại Việt Nam

Tại Việt Nam, ngay từ năm 1997, GS.VS Nguyễn Văn Hiệu đã phát động nghiên cứu về nano và đây được coi là dấu mốc cho nghiên cứu phát triển công nghệ cao tại Việt Nam, trong đó lĩnh vực cảm biến sinh học là một trong những nội dung nghiên cứu quan trọng. Gần đây, Chính phủ đã phê duyệt danh mục công nghệ cao và sản phẩm công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển theo Quyết định số 49/2010/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ, trong

đó cảm biến và chip sinh học là một trong những sản phẩm được khuyến khích phát triển. Các hướng nghiên cứu ứng dụng vi lưu trong lọc tách tế bào, khuếch đại ADN; tích hợp vi lưu với cảm biến sinh học điện hóa sử dụng vật liệu nano cho chẩn đoán cận lâm sàng và lâm sàng; kiểm soát môi trường và an toàn thực phẩm; an ninh, quốc phòng đã được đề xuất và nhận được sự tài trợ thông qua các chương trình và đề tài nghiên cứu. Rõ ràng, việc chủ động nghiên cứu, tiếp cận và tiến tới giải mã công nghệ của thế giới đang rất được quan tâm và khuyến khích. Tất nhiên, công nghệ cao và vật liệu tiên tiến thường có chi phí đầu tư cao nhưng những giá trị và tiện ích mà nó đem lại là không thể tính được, đặc biệt trong lĩnh vực y - sinh học và an ninh quốc phòng.

Tuy điều kiện nguồn lực còn hạn chế, một số kết quả nghiên cứu, chế tạo cảm biến sinh học được thực hiện tại Viện Đào tạo quốc tế về khoa học vật liệu (ITIMS); Phòng thí nghiệm trọng điểm về công nghệ nano (LNT) và Viện Khoa học vật liệu thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (IMS) đã cho những kết quả rất đáng khích lệ. Tại ITIMS và LNT, với việc sở hữu phòng sạch, hai đơn vị này có thể mạnh trong triển khai nghiên cứu các linh kiện điện tử trong chế tạo cảm biến như cảm biến nhạy ion hiệu ứng trường (ISFET), cảm biến dựa trên cấu trúc kim loại - oxit - bán dẫn hiệu ứng trường (MOSFET), cảm biến hiệu ứng trường dùng ống cac bon nano (CNT FET) [5-7]. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào công nghệ và tối ưu quy trình chế tạo phần cứng, từ đó nâng cao hiệu năng của cảm biến.

Tại Viện Khoa học vật liệu, một số kết quả nổi bật đã được công bố trên nhiều tạp chí khoa học trong và ngoài nước với chỉ số trích dẫn cao. Các nghiên cứu tiếp cận xu thế thế giới với hướng phát triển cảm biến điện hóa tích hợp dạng chuỗi trên cơ sở vật liệu tiên tiến như polyme dẫn điện cấu trúc nano kết hợp các vật liệu nano như ống nano cacbon, graphen, hạt nano oxit sắt từ. Đặc biệt, một số vật liệu mới, đa chức năng mà nhóm tiên phong nghiên cứu và phát triển như polydiaminonaphthalen, polyjuglon, graphen tổng hợp *in-situ* tạo ra sự khác biệt lớn so với các nhóm nghiên cứu khác [8-12]. Trong phát triển phần cứng, chế tạo bộ thiết bị điện hóa có khả năng truyền dẫn dữ liệu không dây và chế tạo hệ vi lưu điện hóa cũng bước đầu được nhóm nghiên cứu phát triển. Xét về mặt đối tượng phân tích, các nghiên cứu của nhóm cũng tập trung vào các vấn đề có tính mới và tính thời sự. Đó là cảm biến ADN xác định vi rút HIV [13], vi rút bệnh lao [10], cảm biến aptame xác định vi rút HPV gây ung thư cổ tử cung

[14], cảm biến microARN xác định ung thư tiền liệt tuyến [11], xác định độc tố aflatoxin M1 trong sữa [15], cảm biến miễn dịch xác định chọn lọc dư lượng thuốc trừ cỏ atrazin [12], cảm biến enzym xác định cholesterol, glucozơ và lactozo [8, 9, 16, 17].

Kết luận

Tính liên ngành trong nghiên cứu và khả năng ứng dụng cao của cảm biến sinh học chỉ có thể thực hiện được tốt khi có sự liên kết, tập hợp các nhà khoa học, hợp tác trong nước/quốc tế sâu rộng để tạo dựng những trung tâm nghiên cứu tiên tiến về cảm biến. Trong quá trình đó, việc lựa chọn những công đoạn cụ thể để vừa tận dụng được các nghiên cứu đã có trước đây, vừa phù hợp với điều kiện Việt Nam sẽ rút ngắn được quá trình phát triển một loại cảm biến hữu ích, mang giá trị công nghệ cao cho sản phẩm Việt.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin gửi lời cảm ơn đặc biệt tới GS.VS Nguyễn Văn Hiệu, người luôn dõi theo và động viên từng bước sự phát triển của nhóm cảm biến sinh học tại Viện Khoa học vật liệu, cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của các đề tài quỹ NAFOSTED 103.02-2012.71 (N.V.A), 104.04-2014.36 (T.Đ.L).

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Hải Bình, Nguyễn Lê Huy, Nguyễn Văn Chúc và cộng sự (2013), "Cảm biến sinh học: Một số kết quả nghiên cứu bước đầu tại Viện Khoa học vật liệu", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, **51(2A)**: p. 128-148.

[2] Pamela N. Nge, Chad I. Rogers, Adam T. Woolley (2013), "Advances in Microfluidic Materials, Functions, Integration, and Applications", *Chemical Reviews*, **113(4)**: p. 2550-2583.

[3] Dermot Diamond, Shirley Coyle, Silvia Scarmagnani, Jer Hayes (2008), "Wireless Sensor Networks and Chemo-/Biosensing", *Chemical Reviews*, **108(2)**: p. 652-679.

[4] Emre Ozkumur, Ajay M. Shah, Jordan C. Ciciliano, Benjamin L. Emmink, et al (2013), "Inertial Focusing for Tumor Antigen - Dependent and - Independent Sorting of Rare Circulating Tumor Cells", *Science Translational Medicine*, **5(179)**: p. 179-247.

[5] Tran Quang Huy, Nguyen Thi Hong Hanh, Nguyen Thanh Thuy, et al (2011), "A novel biosensor based on serum antibody immobilization for rapid detection of viral antigens", *Talanta*, **86(0)**: p. 271-277.

[6] Nguyen Thi Thuy, Phuong Dinh Tam, Mai Anh Tuan, et al (2012), "Detection of pathogenic microorganisms using biosensor based on multi-walled carbon nanotubes dispersed

in DNA solution", *Current Applied Physics*, **12(6)**: p. 1553-1560.

[7] Pham Van Binh, Pham Xuan Thanh Tung, Dang Ngoc Thuy Duong, et al (2011), "Detection of DNA of genetically modified maize by a silicon nanowire field-effect transistor", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **2(2)**: p. 025010.

[8] Nguyen Hai Binh, Nguyen Van Chuc, Nguyen Van Tu, et al (2013), "Development of the layer-by-layer biosensor using graphene films: application for cholesterol determination", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **4(1)**: p. 015013.

[9] Nguyen Hai Binh, Nguyen Van Chuc, Nguyen Van Tu, et al (2012), "Graphene patterned polyaniline-based biosensor for glucose detection", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **3(2)**: p. 025011.

[10] Nguyen Le Huy, Nguyen Tuan Dzung, Tran Vinh Hoang, Dang Thi Thu Huyen, Tran Dai Lam (2014), "Functionalization of reduced graphene oxide by electroactive polymer for biosensing applications", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **5(3)**: p. 035005.

[11] H.V. Tran, B. Piro, S. Reisberg, L.D. Tran, H.T. Duc, M.C. Pham (2013), "Label-free and reagentless electrochemical detection of microRNAs using a conducting polymer nanostructured by carbon nanotubes: Application to prostate cancer biomarker miR-141", *Biosensors and Bioelectronics*, **49(0)**: p. 164-169.

[12] H.V. Tran, R. Yougnia, S. Reisberg, B. Piro, N. Serradji, T.D. Nguyen, L.D. Tran, C.Z. Dong, M.C. Pham (2012), "A label-free electrochemical immunosensor for direct, signal-on and sensitive pesticide detection", *Biosensors and Bioelectronics*, **31(1)**: p. 62-68.

[13] Lam Dai Tran, Binh Hai Nguyen, Nguyen Van Hieu, et al (2011), "Electrochemical detection of short HIV sequences on chitosan/Fe₃O₄ nanoparticle based screen printed electrodes", *Materials Science and Engineering: C*, **31(2)**: p. 477-485.

[14] Lam Dai Tran, Dzung Tuan Nguyen, Binh Hai Nguyen, Quan Phuc Do, Huy Le Nguyen (2011), "Development of interdigitated arrays coated with functional polyaniline/MWCNT for electrochemical biodetection: Application for human papilloma virus", *Talanta*, **85(3)**: p. 1560-1565.

[15] Binh Hai Nguyen, Lam Dai Tran, Quan Phuc Do, Huy Le Nguyen, Ngoc Huan Tran, Phuc Xuan Nguyen (2013), "Label-free detection of aflatoxin M1 with electrochemical Fe₃O₄/polyaniline-based aptasensor", *Materials Science and Engineering: C*, **33(4)**: p. 2229-2234.

[16] Nguyen Le Huy, Nguyen Hai Binh, Nguyen Ngoc Thinh, Nguyen Tuan Dung, Tran Dai Lam (2012), "Portable cholesterol detection with polyaniline-carbon nanotube film based interdigitated electrodes". *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **3(1)**: p. 015004.

[17] Le Trong Huyen, Trinh Ngoc Thang, Nguyen Le Huy, Nguyen Hai Binh, Nguyen Van Anh, Tran Dai Lam, Nguyen Tuan Dung (2013), "Electrosynthesis of polyaniline - multiwalled carbon nanotube nanocomposite films in the presence of sodium dodecyl sulfate for glucose biosensing", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **4(2)**: p. 025014.