

# ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TỔNG NGUỒN ĐA ĐIỂM TRONG VIỆC MÔ PHỎNG SỰ PHÂN BỐ CƯỜNG ĐỘ TIA UV TRONG LÒ UV

## APPLICATION OF MULTIPLE POINT SOURCE SUMMATION (MPSS) METHOD IN SIMULATING THE UV RADIATION INTENSITY IN A UV REACTOR

NCS. NGUYỄN ĐÌNH THẠCH;  
PGS.TS. NGUYỄN CẢNH SƠN;  
PGS.TS. LƯU KIM THÀNH  
Trường ĐHHH Việt Nam

### Tóm tắt

Việc xử lý nước bằng cách sử dụng tia cực tím (UV) đã đạt được những kết quả quan trọng trong việc bảo vệ sức khỏe cộng đồng. Ngày nay, công nghệ này đã được ứng dụng rộng rãi trong việc xử lý nước sạch cũng như việc xử lý nước thải trong công nghiệp. Trong quá trình tính toán và thiết kế lò UV, để cho lò UV hoạt động có hiệu quả thì việc tính toán công suất đèn UV trong lò UV sao cho lò UV có thể cung cấp đủ lượng UV yêu cầu. Bài viết này trình bày phương pháp tổng nguồn đa điểm trong việc tính toán, mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV trong lò UV. Việc mô phỏng này sẽ hỗ trợ, nâng cao hiệu quả trong quá trình tính toán và thiết kế lò UV

### Abstract

Disinfection of water treatment using ultraviolet (UV) has achieved significant results in the protection of public health. In recent years, this technology has been widely applied in water and wastewater treatment. In the analysis and design for UV reactor, to ensure efficiency of a UV reactor that supply the UV dose requirements, the calculating on power of UV lights is necessary. This article presents the Multiple Point Source Summation method used to simulate the UV radiation intensity in a UV reactor. The simulation will support and enhance the efficiency of the analysis and design for UV reactor.

**Key words:** Ultraviolet, UV reactor, Multiple Point Source Summation.

### 1. Đặt vấn đề

Sử dụng năng lượng UV là một trong những ứng dụng vật lý phổ biến nhất để xử lý nước và nước thải. Kể từ năm 2000, đã có hơn 400 tiện ích khử khuẩn nước bằng UV trên toàn thế giới, điển hình có những tiện ích có thể đạt được tốc độ dòng chảy gần 1 triệu gallon/ngày. Tia UV không chỉ hiệu quả mà còn thân thiện với môi trường. Nó có thể diệt khuẩn cho nước với chi phí cỡ 1/10 so với các phương pháp khác đồng thời thiết bị lại rất nhỏ gọn. Qua nghiên cứu, các nhà sinh học đã quyết định lượng UV cần thiết để khử các loại vi khuẩn khác nhau. Khối lượng UV cần thiết gọi là lượng UV. Lượng UV là năng lượng hay microwatts truyền trong một thời gian nhất định (giờ) qua một khu vực nhất định ( $\text{cm}^2$ ). Tính hiệu quả của hệ thống xử lý bằng tia cực tím phụ thuộc vào lượng tia cực tím được truyền tới nước. Năng lượng của tia UV trên một đơn vị diện tích ( $\text{cm}^2$ ) được gọi là cường độ tia UV ( $E_A$ ), khi đó lượng UV sẽ được tính bằng công thức  $UV_{\text{Dose}} = E_A \cdot t$ , như vậy lượng UV phụ thuộc vào cường độ tia UV, tốc độ dòng chảy. Mỗi sinh vật trong nước yêu cầu một lượng UV khác nhau. Do khó có thể xác định được tất cả các loại vi sinh vật hiện diện trong một nguồn nước nên cũng rất khó có thể xác định được liều lượng UV tối thiểu để đáp ứng cho mọi trường hợp. Tuy nhiên, liều lượng 30 mW-giây/ $\text{cm}^2$  là tiêu chuẩn quốc tế được thế giới chấp nhận rộng rãi đối với nước được khử khuẩn bằng tia cực tím. Như vậy để đáp ứng được lượng UV như trên thì việc tính toán thiết kế lò UV chính là việc tính toán cường độ tia UV ( $E_A$ ) phân bố trong lò khi biết trước lưu lượng dòng chảy (biết trước  $t$ ). Việc tính toán cường độ tia UV ( $E_A$ ) phụ thuộc vào việc lựa chọn công suất và số lượng đèn UV, tuy nhiên chưa có một công thức toán học nào biểu diễn mối quan hệ giữa công suất đèn UV và cường độ tia UV phân bố trong lò. Để giải quyết vấn đề trên nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp tổng nguồn đa điểm nhằm tính toán, mô phỏng cường độ tia UV phân bố trong lò UV. Việc mô phỏng này sẽ hỗ trợ, nâng cao hiệu quả quá trình tính toán và thiết kế lò UV.

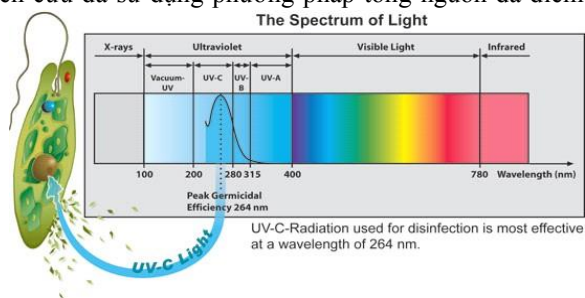
### 2. Tia UV

#### 2.1. Nguyên lý diệt khuẩn bằng tia UV

Tia UV là một phần của phổ ánh sáng mà phân loại thành 3 dải bước sóng:

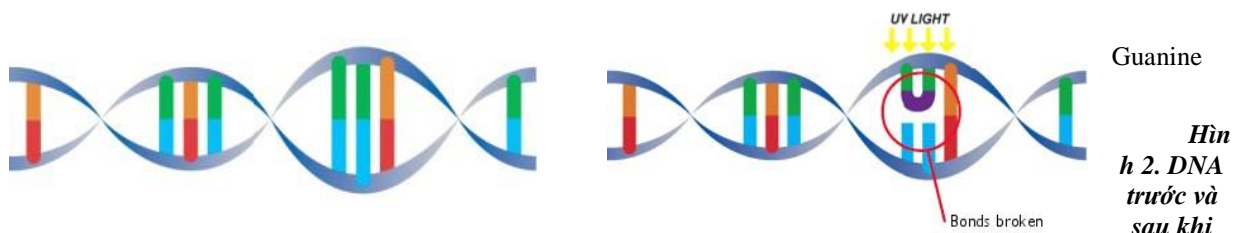
- UV-C, từ 100 nm đến 280 nm
- UV-B, từ 280 nm đến 315 nm
- UV-A, từ 315 nm đến 400 nm

Trong 3 dải sóng trên thì tia UVC được sử dụng để diệt khuẩn, nó vô hiệu hóa DNA của vi rút, vi khuẩn và các mầm bệnh khác (hình 1). Tia UVC phá hủy liên kết giữa các axit nucleic đơn phân kề nhau trong DNA của vi sinh vật. Sự phá hủy các liên kết trong DNA ngăn chặn các vi sinh vật không thể tái tạo, tổ chức lại. Khi cấu trúc không thể tái tạo được, vi sinh vật sẽ chết [2].



Hình 1. Phổ ánh sáng và sự bức xạ tia UV

Hình 2 chỉ ra rằng phân tử DNA của tế bào bị phá vỡ dưới tác động của tia UV. Các chất hữu cơ bị vô hiệu hóa khi đưa vào một lượng UV đủ để làm thay đổi cấu trúc phân tử DNA. Kết quả là tia UV gây ra hai phân tử thymine có liên kết bất thường, hay là dimer. Ảnh hưởng của các phân tử dimer thymine tới chuỗi DNA ngăn chặn sự tái tạo của vi sinh vật, cuối cùng vi sinh vật sẽ bị chết.



Guanine

Hình 2. DNA trước và sau khi

### diệt khuẩn bằng tia cực tím

#### 2.3 Sự hấp thụ của môi trường đối với tia UV

Sự hấp thụ là sự biến đổi của tia sáng thành dạng năng lượng khác khi nó truyền qua vật chất. Sự hấp thụ tia UV của vật chất thay đổi theo bước sóng của ánh sáng. Các thành phần của một hợp phần ứng UV và nước truyền qua hợp phần ứng hấp thụ tia UV sẽ thay đổi nhiệt độ, phụ thuộc vào thành phần vật liệu. Khi tia UV bị hấp thụ, nó sẽ không có giá trị lâu dài để diệt khuẩn.

Sự hấp thụ tia UV được xác định là sự giảm cường độ của tia sáng tới khi nó truyền qua một mẫu nước qua một khoảng cách hoặc độ dài truyền dẫn. Về mặt quang phổ, sự hấp thụ  $A_\lambda$  được định nghĩa bởi:

$$A_\lambda = -\ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \quad (1)$$

Trong đó:

$I_1$  là cường độ của tia sáng tại bước sóng  $\lambda$  sau khi truyền qua một mẫu (cường độ ánh sáng còn lại sau khi truyền).

$I_0$  là cường độ ban đầu của tia sáng (trước khi truyền qua một mẫu) [3].

Cũng theo định luật Beer-Lambert, mối liên hệ giữa sự hấp thụ ánh sáng và đặc tính của vật liệu mà ánh sáng truyền qua sau:

$$A_\lambda = \epsilon_\lambda lc = \sigma l \quad (2)$$

Trong đó:

$\epsilon_\lambda$ : Hệ số hấp thụ phân tử ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) tại bước sóng  $\lambda$ ;

$c$ : Nồng độ hấp thụ phân tử (M);

$l$ : Độ dài truyền dẫn;

$\sigma$ : Hệ số hấp thụ của vật liệu ( $\text{cm}^{-1}$ ) bằng  $\epsilon c$ .

Hình 3 là biểu thị sự hấp thụ của tia sáng theo định luật Beer-Lambert khi nó truyền qua thủy tinh có bề rộng  $l$ .

Công thức này có thể được viết lại:

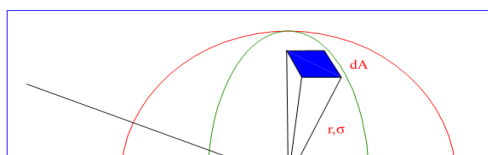
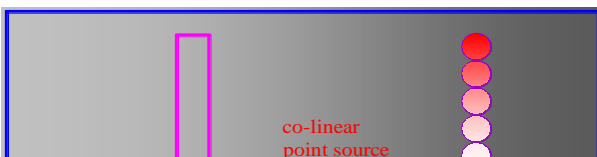
$$T = e^{-\epsilon lc} = e^{-\sigma l} \quad (3)$$

Trong đó T là sự truyền của tia sáng qua vật liệu, được định nghĩa:

$$T = e^{-A_\lambda} = \frac{I_1}{I_0} \quad (4)$$

#### 3. Phương pháp tổng nguồn đa điểm trong việc mô phỏng cường độ tia UV

Nội dung của phương pháp tổng nguồn đa điểm là một đèn UV được mô phỏng như một chuỗi các nguồn điểm bức xạ liên tục (Hình 4). Mỗi một nguồn điểm có công suất bức xạ là  $P_i$  sẽ bằng công suất phát xạ của đèn chia cho tổng số nguồn điểm [4]



Mỗi một nguồn điểm  $P_i$  sẽ bức xạ ra năng lượng tia UV theo vô hướng. Như vậy cường độ tia UV tại một điểm A bất kỳ cách nguồn điểm một khoảng  $r$  sẽ là một điểm năng lượng tia UV nằm trên mặt cầu có tâm là nguồn điểm, bán kính  $r$  (hình 5). Khi đó cường độ tia UV tại điểm A do nguồn điểm  $P_i$  sinh ra sẽ được tính như sau:

$$E_A = \frac{P_i}{4\pi r^2} T \quad (5)$$

Trong đó:  $P_i$ : Công suất bức xạ tại nguồn điểm.

$T$ : Sự truyền tia sáng bức xạ qua tất cả vật chất.

$r$ : Khoảng cách bức xạ từ nguồn điểm tới điểm thu.

Thay công thức (3) vào (5) thu được:

$$E_A = \frac{P_i}{4\pi r^2} e^{-\sigma r} \quad (6)$$

Trong đó:

$P_i$ : Công suất bức xạ tại nguồn điểm (W);

$r$ : Khoảng cách bức xạ từ nguồn điểm tới điểm thu (cm);

$\sigma$ : Hệ số hấp thụ của vật chất ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Từ công thức (6) chúng ta có thể thấy rằng cường độ tia UV xung quanh nguồn điểm có thể được xác định chính xác thông qua khoảng cách giữa nguồn điểm đến điểm thu và hệ số hấp thụ của môi trường truyền dẫn tia UV.

Như đã chỉ ra trong hình 6, cường độ tại điểm thu bất kỳ trong vùng bức xạ được xem là tổng của tất cả sự phân phối cường độ từ các điểm nguồn trong hệ thống:

$$I_A = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4\pi r_i^2} e^{-\sigma_i r_i} \quad (7)$$

Trong đó:

$P_i$ : Công suất bức xạ tại nguồn điểm thứ  $i$  (W);

$r_i$ : Khoảng cách bức xạ từ nguồn điểm thứ  $i$  tới điểm thu (cm);

$\sigma_i$ : Hệ số hấp thụ của vật chất ( $\text{cm}^{-1}$ );

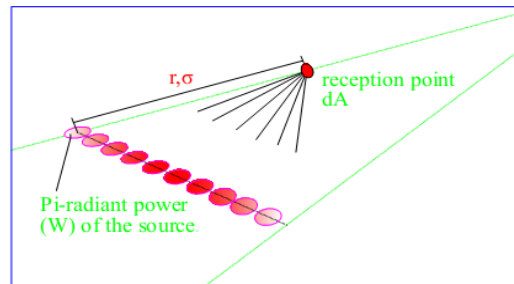
$n$ : Tổng số các nguồn điểm trong vùng bức xạ.

Đối với hệ thống xử lý bằng tia UV (Hình 7), đèn UV được đặt trong một ống thạch anh. Vì vậy tia UV sẽ truyền qua 2 môi trường nước và thạch anh, nên tổng khoảng cách và tổng hệ số hấp thụ được tính bằng:

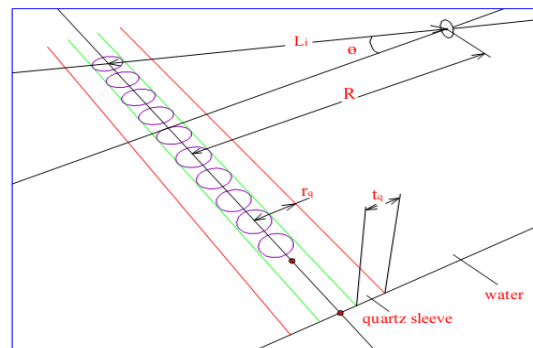
$$\sigma_i r_i = \frac{[\sigma_w(R-r_q) + \sigma_q t_q]}{\cos\theta} = [\sigma_w(R-r_q) + \sigma_q t_q] \frac{l_i}{R} \quad (8)$$

Trong đó:

$\sigma_i$ : Hệ số hấp thụ của vật chất ( $\text{cm}^{-1}$ );



Hình 6. Cường độ tại điểm thu từ tổng các nguồn điểm



Hình 7. Cường độ trường tại một điểm thu – nguồn điểm trong thành ống thạch anh

$r_i$ : Khoảng cách bức xạ từ nguồn điểm tới điểm thu (cm);

$\sigma_w$ : Hệ số hấp thụ của nước ( $\text{cm}^{-1}$ );

$R$ : Khoảng cách bức xạ từ trục của đèn tới điểm thu (cm);

$r_q$ : Khoảng cách từ trục của đèn tới thành ngoài của ống thạch anh (cm);

$\sigma_q$ : Hệ số hấp thụ của ống thạch anh ( $\text{cm}^{-1}$ );

$t_q$ : Độ dày của ống thạch anh (cm);

$l_i$ : Khoảng cách từ nguồn điểm thứ  $i$  tới điểm thu (cm).

Thế công thức (8) vào (7):

$$I_A = \sum_{i=1}^n \frac{P}{4\pi l_i^2} \exp\left[-\left[(\sigma_w(R-r_q) + \sigma_q t_q)\right] \frac{l_i}{R}\right] \quad (9)$$

Trong đó:

$P$ : Công suất đầu ra của đèn (W);

$n$ : Số lượng các nguồn điểm;

$\sigma_i$ : Hệ số hấp thụ của vật chất ( $\text{cm}^{-1}$ );

$\sigma_w$ : Hệ số hấp thụ của nước ( $\text{cm}^{-1}$ );

$R$ : Khoảng cách bức xạ từ trục của đèn tới điểm thu (cm);

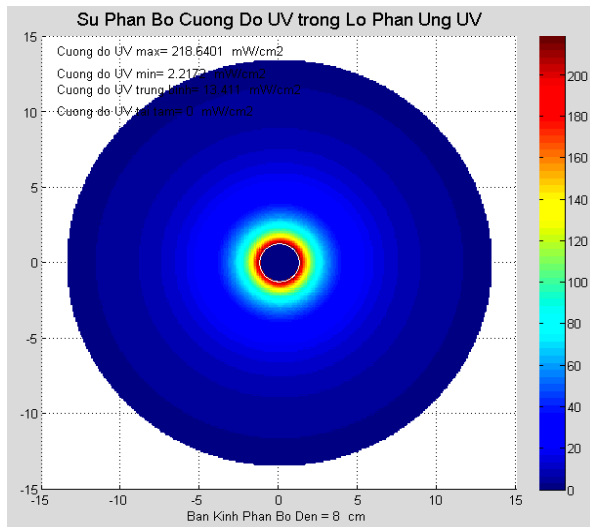
$r_q$ : Khoảng cách từ trục của đèn tới thành ngoài của ống thạch anh (cm);

$\sigma_q$ : Hệ số hấp thụ của ống thạch anh ( $\text{cm}^{-1}$ );

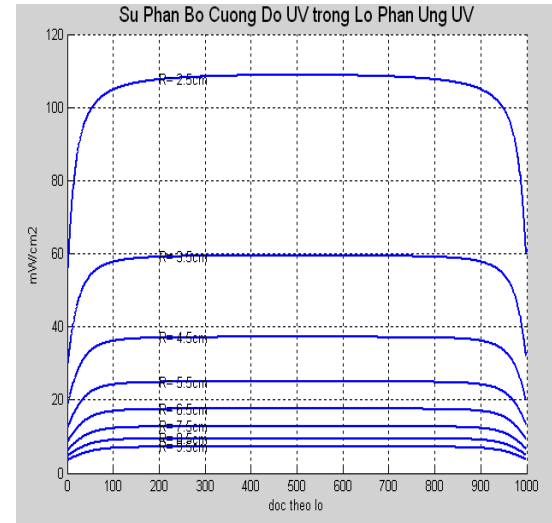
$t_q$ : Độ dày của ống thạch anh (cm);

$l_i$ : Khoảng cách từ nguồn điểm thứ  $i$  tới điểm thu (cm).

#### 4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận



Hình 8. kết quả mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV theo mặt cắt ngang của lò



Hình 9. kết quả mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV dọc theo lò

Trên cơ sở công thức (9), nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV trong lò UV với các thông số mô phỏng như sau:

Sử dụng 01 đèn đặt tại tâm lò với công suất 480w,

Chiều dài của lò = 147cm,

Bán kính lò = 13,7 cm,

$$n = 1000,$$

$$\sigma_w = 0,127055,$$

$$\sigma_q = 0,10536052,$$

$$r_q = 2,5 \text{ cm},$$

$$t_q = 0,1 \text{ cm}.$$

Hình 8 là kết quả mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV theo mặt cắt ngang của lò và hình 9 là kết quả mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV dọc theo trục của lò.

Từ đồ thị sự phân bố cường độ UV dọc theo đèn và lò ta thấy cường độ UV giảm dần khi bán kính R tăng. Tại các điểm khác nhau dọc theo lò nhưng cách đều đèn thì cường độ UV sấp xỉ bằng nhau (trừ các điểm gần 2 đầu đèn). Kết quả mô phỏng sự phân bố cường độ tia UV theo mặt cắt ngang của lò thể hiện bằng hình ảnh và màu sắc, cho chúng ta một cái nhìn trực quan về sự phân bố cường độ tia UV trong lò UV. Mặt khác kết quả mô phỏng trong trường hợp này còn đưa ra các con số cụ thể chính xác như cường độ tia UV max, cường độ tia UV min, cường độ tia UV trung bình trong lò UV...

## 5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra được cơ sở khoa học cho việc tính toán, mô phỏng cường độ tia UV trong lò UV. Trên cơ sở phương pháp tổng nguồn đa điểm, bài báo đã thực hiện mô hình hoá cường độ bức xạ tia UV trong lò UV. Từ đó đã xây dựng chương trình mô phỏng sự phân bố cường độ bức xạ tia UV trong lò UV. Việc mô phỏng lò UV giúp cho chúng ta một cái nhìn trực quan về sự phân bố cường độ tia UV trong lò, từ đó đưa ra được các kết luận tính toán, lựa chọn phù hợp. Phương pháp này sẽ giúp cho chúng ta trong việc tính toán thiết kế các lò UV công suất khác nhau. Nâng cao hiệu quả thiết kế, chế tạo lò UV cho các ứng dụng xử lý nước trên bờ cũng như dưới tàu thủy, đặc biệt cho những ứng dụng xử lý nước dung lượng lớn như hệ thống xử lý nước dẫn tàu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Văn Nhân - Ngô Thị Nga, *Giáo trình công nghệ xử lý nước thải*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2002
- [2] Robert Catherman, *Using Ultraviolet to Disinfect Household Drinking Water*, Director of Safe Water Development MEDRIX™. 2007
- [3] Ichiro Kano, Daniel Darbouret and Stéphane Mabic, *UV technologies in water purification systems*, The R&D Notebook. 2009
- [4] Kucuk, S, Arastoopour, H, Koutchma, T, *Modeling of UV Dose Distribution in a Thin-Film UV Reactor for Processing of Apple Cider*. 2003