

# Hiện trạng chất lượng cảnh quan, môi trường hồ Tịnh Tâm trong Kinh Thành Huế và một số giải pháp cải thiện

- Nguyễn Thị Cẩm Yên
- Trần Đặng Bảo Thuyên
- Nguyễn Đăng Hải

Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Huế

(Bài nhận ngày 12 tháng 01 năm 2015, nhận đăng ngày 15 tháng 09 năm 2015)

## TÓM TẮT

Hồ Tịnh Tâm là hồ lớn nhất trong Kinh Thành Huế, và là điểm nhấn quan trọng trong quần thể di tích văn hóa lịch sử cố đô Huế được UNESCO công nhận. Tuy nhiên, hiện nay hồ đang đối mặt với nhiều tác động tiêu cực như: tiếp nhận chất thải từ khu vực dân cư xung quanh và dòng thải từ các cống thải đổ vào, sự cạn hóa do bùn cặn tích tụ lâu năm, sự phú dưỡng nước nghiêm trọng, sự xuống cấp cảnh quan trong lòng hồ lẫn bờ hồ và các hòn đảo trên hồ,... Những tác động

này kéo dài nhiều năm, làm cho hồ Tịnh Tâm đang mất dần giá trị cảnh quan vốn có, đồng thời nảy sinh các vấn đề về môi trường như hạn chế về khả năng tiêu thoát nước trong mùa mưa lũ, bốc mùi tanh hôi,... Trước tình hình đó, bài báo đã phản ánh hiện trạng cảnh quan môi trường của hồ một cách tổng quan và đề xuất một số giải pháp cần thực hiện nhằm loại bỏ các tác nhân gây ô nhiễm, suy thoái cảnh quan hồ và tái tạo hệ thủy sinh có lợi nâng cao khả năng làm sạch nước hồ.

**Từ khóa:** Hồ Tịnh Tâm, cảnh quan môi trường, giải pháp cải thiện

## 1. MỞ ĐẦU

Trong khu vực Kinh Thành Huế, tồn tại hệ thống thủy đạo được tạo thành từ Kênh Ngự Hà dài khoảng 3 km và mạng lưới trên 40 hồ lớn nhỏ, trong đó, hồ Tịnh Tâm là hồ lớn nhất (hình 1) [6]. Hồ Tịnh Tâm được hình thành từ một con sông cũ có tên là sông Kim Long, chảy ngang qua Kinh Thành Huế. Đầu thế kỷ XIX, vua Gia Long cho đào đắp, nắn dòng chính trị sông Kim Long thành sông Ngự Hà. Trong quá trình chỉnh trị, nhiều đoạn sông Kim Long đã bị lấp, từ đó hình thành nên các ao hồ nằm ven bờ Nam sông Ngự Hà trong đó có hồ Tịnh Tâm.



Hình 1. Hồ Tịnh Tâm và hệ thống cống liên thông.

◆ M: mẫu nước; ▲ B: mẫu bùn

Năm 1838, vua Minh Mạng cho cải tạo hồ thành địa điểm ngắm cảnh thường ngoạn và đổi tên hồ thành Hồ Tịnh Tâm hay còn gọi là Bắc Hồ. Hồ được mở rộng với diện tích 10,5 ha và chu vi 1400m.

Theo một số nghiên cứu trước đây từ năm 2007, 2010, 2011, 2012 của các tác giả Phan Xuân Thanh [4], Nguyễn Quang Hưng [2], Nguyễn Thị Cẩm Yến [5], hồ Tịnh Tâm đã có hiện tượng ô nhiễm các chất hữu cơ, dinh dưỡng ở mức cao. Kết quả khảo sát năm 2010 của Nguyễn Thị Cẩm Yến [5] cho thấy nước hồ đã trong tình trạng phú dưỡng với nồng độ trung bình qua 5 đợt lấy mẫu đối với tổng photpho là 0,12 -0,43 mg/L và tổng nitơ là 1,21-1,45 mg/L. Giá trị COD trung bình của nước hồ từ 34,5 – 50,7 mg/L, trong đó, một số thời điểm lấy mẫu giá trị COD vượt mức B2 của QCVN 08:2008/BTNMT. Kết quả khảo sát năm 2011- 2012 của tác giả Nguyễn Quang Hưng [2] cho thấy nồng độ TN, TP, COD đều có dấu hiệu gia tăng, với nồng độ trung bình của TN qua 02 đợt lấy mẫu dao động trong khoảng 1,97-2,07 mg/L, nồng độ trung bình của TP là 1,03 – 1,11 mg/L, của COD là 57- 65 mg/L.

Hiện tại, hồ Tịnh Tâm là nơi tiếp nhận rác thải, nước thải của người dân sống quanh hồ thuộc hai phường Thuận Lộc và Thuận Thành, thành phố Huế. Lượng rác thải và nước thải ngày càng gia tăng theo sự phát triển kinh tế – xã hội, điều này đã gây sức ép quá tải lên hồ nên cả cảnh quan và môi trường của hồ đang xuống cấp ngày càng nghiêm trọng. Vì vậy, việc kịp thời thực hiện những biện pháp can thiệp, cải tạo và phòng ngừa thích hợp để phục hồi và duy trì chất lượng hồ Tịnh Tâm là việc làm cần thiết cho quần thể di tích Cố đô Huế.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa

Điều tra thu thập thông tin ở địa phương liên quan đến việc quản lý và sử dụng hồ cho các mục đích khác nhau.

Đo đạc, xác định các đặc điểm hình thái, sinh thái, đặc điểm các nguồn thải đổ vào Hồ Tịnh Tâm

Thu thập tài liệu, số liệu liên quan đến Hồ Tịnh Tâm và chủ đề bảo vệ và phục hồi ao hồ nói chung.

### 2.2 Phương pháp lấy mẫu nước, phân tích chất lượng nước

Mẫu nước hồ được lấy 2 đợt trong năm. Đợt 1 vào đầu tháng 4, đợt 2 vào giữa mùa hè – tháng 6 năm 2014. Vị trí lấy mẫu được lựa chọn dựa trên các tiêu chí về độ sâu và có tính đại diện cho nước hồ tại các khu vực: gần điểm tiếp nhận nước thải (M1, M3), vùng giữa hồ (M2, M4), vùng nước ra khỏi hồ (M5, M6). Mẫu sau khi được lấy ngoài những thông số đo nhanh tại hiện trường sẽ được bảo quản trong chai nhựa PE và được axit hóa. Các chai mẫu này được bảo quản lạnh và đưa về phòng thí nghiệm để đo/phân tích. Các thông số chất lượng nước được phân tích theo các phương pháp tiêu chuẩn (các TCVN hay các phương pháp trong SMWWE).

### 2.3 Phương pháp lấy mẫu trầm tích, phân tích chất lượng trầm tích

Mẫu trầm tích hồ được lấy theo hướng dẫn của TCVN 6663 - 3:2000 - Chất lượng nước - Lấy mẫu. Phần 13: Hướng dẫn lấy mẫu bùn nước, bùn nước thải và bùn liên quan.

Vị trí lấy mẫu được lựa chọn theo độ sâu của hồ, gồm các vị trí có độ sâu thấp từ 0,2-0,4m (B2, B4), vị trí có độ sâu trung bình 0,6m (B1, B5), vị trí có độ sâu lớn 0,8m (B3).

Quy cách lấy mẫu: mẫu được lấy bằng gầu chuyên dụng, khối lượng của mỗi mẫu khoảng 0,5kg. Mẫu được đựng trong túi ni lông có nhãn và phiếu ghi rõ: ký hiệu mẫu, nơi lấy mẫu, độ sâu lấy mẫu, ngày và người lấy mẫu, các yêu cầu phân tích.

Quá trình bảo quản và xử lý mẫu đều thực hiện theo TCVN 6663 -15:2004 - Chất lượng nước - Lấy mẫu. Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu bùn và trầm tích. Đồng thời đảm bảo chất

lượng, kiểm soát chất lượng (QA/QC) đáp ứng theo yêu cầu của thông tư 10/2007/TT-BTNMT ngày 22/10/2007 về hướng dẫn bảo đảm chất lượng và kiểm soát chất lượng trong quan trắc môi trường.

Các phương pháp phân tích chất lượng trầm tích sử dụng đều là các phương pháp tiêu chuẩn của Việt Nam hoặc theo tiêu chuẩn quốc tế (SMWWE).

## 2.4 Phương pháp so sánh quy chuẩn môi trường

Các mẫu nước sau khi phân tích thành phần các chất ô nhiễm sẽ được so sánh, đối chiếu với quy chuẩn môi trường quốc gia QCVN 08:2008/BTNMT để đánh giá chất lượng.

## 3. HIỆN TRẠNG CHẤT LƯỢNG CẢNH QUAN, MÔI TRƯỜNG HỒ TỊNH TÂM

### 3.1 Cảnh quan

Hiện nay, hồ Tịnh Tâm đang đối mặt với những vấn đề như sau:

- **Hồ đang bị sạt lở nhiều nơi:** Tình trạng sạt lở bờ hồ đã diễn ra nhiều năm nay, làm thu hẹp trên 7,3% diện tích hồ so với năm 2003 (năm 2003 diện tích hồ 107533 m<sup>2</sup>, đến năm 2012 diện tích hồ còn 99690 m<sup>2</sup>) [2]. Nguyên nhân khách quan do bờ hồ là bờ đất, lớp phủ thực vật không bền chặt, qua các mùa lũ đất bị xói bờ, gây ra tình trạng sạt lở; sự xâm lấn của thực vật mọc hoang từ trên cạn lan dần xuống tạo thành những bãi cạn trong lòng hồ. Nguyên nhân chủ quan: do người dân lấn đất và thải rác bừa bãi xuống khu vực bờ hồ.

- **Hiện tượng bồi lắng:** Lòng hồ bị cạn hóa do hiện tượng bồi lắng trầm tích qua nhiều năm. Trầm tích được mang đến từ các dòng chảy gồm nước mưa chảy tràn, nước thải, nước mưa rơi trực tiếp và nước mưa từ các cống thoát nước mưa đổ vào hồ. Lượng trầm tích bồi lắng trong hồ chủ yếu tập trung vào mùa mưa lũ, thuộc trầm tích tự nhiên. Ngược lại, mùa hè hồ chủ yếu tiếp nhận nước thải sinh hoạt mang theo các loại chất rắn lơ

lửng phát sinh từ hoạt động đời sống của khu vực dân xung quanh. Mùa mưa, thời gian xảy ra lũ, ngập úng thường kéo dài 1-2 ngày, có khi kéo dài 5-7 ngày, do đó tạo điều kiện cho sự lắng đọng trầm tích diễn ra. Độ sâu hồ giảm theo năm tháng, đến nay điểm sâu nhất chỉ đạt khoảng 0,8m; có nơi cạn trơ đáy.

- **Hiện tượng phú dưỡng:** Nước hồ qua nhiều năm có màu xanh lục đậm; nơi ở gần cống thải đổ vào hồ, một phần nước chuyển sang màu đen. Sự phú dưỡng diễn ra trong thời gian dài đã thúc đẩy các loại lục bình, cỏ dại phát triển nhanh về sinh khối, chiếm nhiều diện tích mặt nước và làm cho phần nước bên dưới bị thiếu hụt ánh sáng, oxy. Có thời gian lục bình phát triển mạnh bao phủ hầu như toàn bộ diện tích mặt hồ (hình 2). Khi lượng sinh khối này chết trong hồ tạo ra một áp lực ô nhiễm hữu cơ, dinh dưỡng rất lớn từ sự phân hủy xác thối, làm cho sự thiếu hụt oxy trong nước hồ càng trầm trọng hơn. Đây cũng lại chính là tác nhân góp phần gây nên sự phóng thích photpho từ trầm tích đáy hồ, và do đó càng làm gia tăng tình trạng phú dưỡng. Tình trạng phú dưỡng không chỉ gây suy giảm chất lượng nước mà còn tạo mùi tanh hôi, ảnh hưởng xấu đến môi trường.

- **Ô nhiễm môi trường:** Rác thải của người dân chủ yếu là rác thải sinh hoạt (bao nilong, rác thải hữu cơ,...) làm tắc cống dẫn nước vào-ra hồ và ảnh hưởng xấu đến cảnh quan. Nước thải sinh hoạt của người dân xung quanh thải vào hồ tất cả đều chưa qua xử lý. Các cống nước thải đổ vào hồ bị ùn tắc bởi rác thải và các loại sinh khối thực vật mọc hoang tạo thành các bãi sinh lầy ô nhiễm và tạo ra mùi hôi, gây mất cảnh quan nghiêm trọng.

- **Xuống cấp công trình cảnh quan trên hồ:** Trong hồ có ba hòn đảo là: Bồng Lai, Phương Trượng và Doanh Châu đều đã hoang tàn. Đảo Bồng lai nằm giữa hồ Tịnh Tâm phía Nam. Hiện nay các công trình kiến trúc cổ xưa trên đảo chỉ còn lại dấu vết nền móng, thay vào đó là một ngôi đình bát giát nhỏ đã được xây dựng lên trên để làm kỷ niệm. Tuy nhiên sự ghép nối mới cũ đã làm cho

cảnh quan của đảo Bồng Lai không còn vẻ hài hòa như ban đầu. Hiện tại, đảo đang được cho người dân thuê mặt bằng mở dịch vụ cà phê, giải khát. Đảo Phương Trượng nằm phía Bắc của hồ, đối diện với đảo Bồng Lai qua đê Kim Oanh. Đảo có hình chữ nhật, hiện nay trên đảo không còn công

trình gì, chỉ còn lại hệ thống kè đá xung quanh và dấu tích bậc cấp từ trên đảo đi xuống mép nước. Đảo Doanh Châu nằm ở góc Tây Nam của hồ, có hình dáng như một hòn non bộ. Hiện nay đảo gần như bỏ hoang, bao phủ bởi màu xanh của cây cối không còn thấy đáng đáp của các chi tiết giả sơn.



**Hình 2.** Mặt hồ Tịnh Tâm bao phủ bởi lục bình (tháng 11/2014)

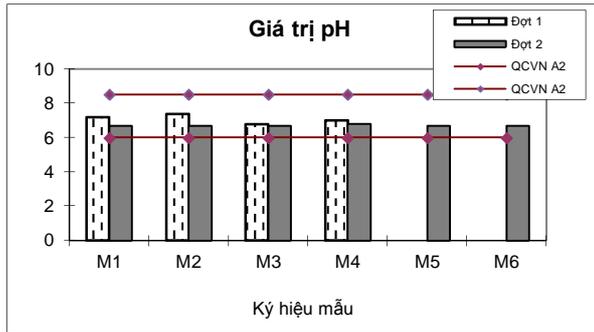
### 3.2 Chất lượng môi trường

#### 3.2.1 Chất lượng nước

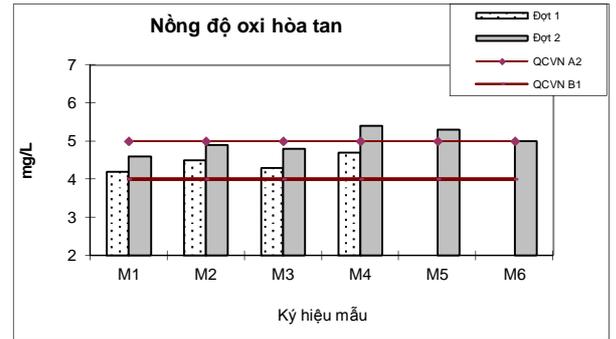
Để đánh giá hiện trạng chất lượng nước hồ Tịnh Tâm, các mẫu nước hồ đã được lấy vào 2 đợt đầu mùa hè (tháng 4) và giữa mùa hè (tháng 6). Mỗi đợt lấy 4 mẫu, gồm 2 mẫu hồ phía Nam (M1,M2), 2 mẫu hồ phía Bắc (M3,M4) – (Mô tả về vị trí lấy mẫu xem hình 1). Ngoài ra, đợt 2 còn lấy thêm 02 mẫu M5, M6 ở mỗi hồ để kiểm tra

chất lượng nước ra khỏi hồ. Một vài thông số được đo tại hiện trường như nhiệt độ, pH, DO, độ đục; các thông số chất rắn lơ lửng (TSS), BOD<sub>5</sub> COD, TP, TN, Fe, Tổng Coliform được xác định trong phòng thí nghiệm bằng các phương pháp phân tích theo các TCVN tương ứng hoặc theo các phương pháp tiêu chuẩn phân tích của Hoa Kỳ [8].

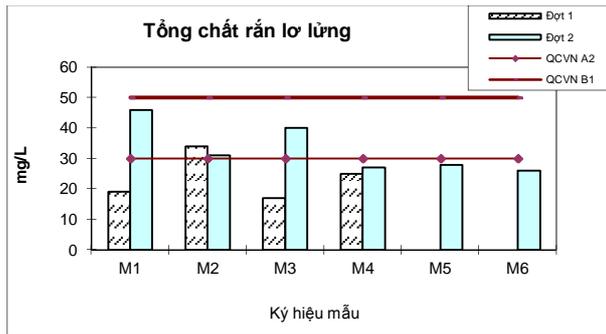
Kết quả phân tích chất lượng nước hồ được trình bày thông qua các biểu đồ bên dưới:



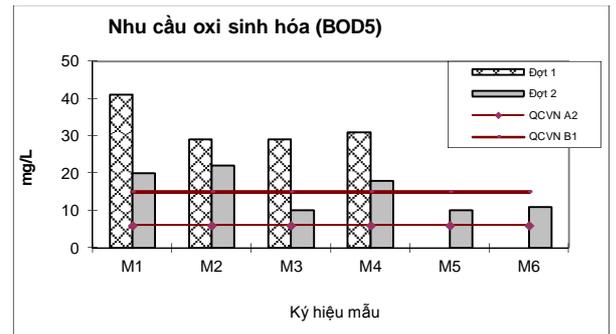
Hình 3a. Giá trị pH của nước hồ



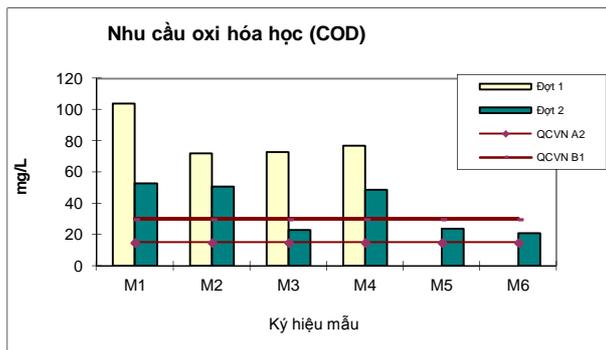
Hình 3b. Nồng độ oxy hòa tan của nước hồ



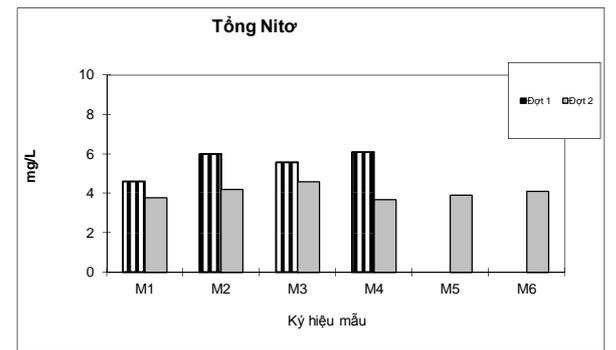
Hình 3c. Tổng chất rắn lơ lửng của nước hồ



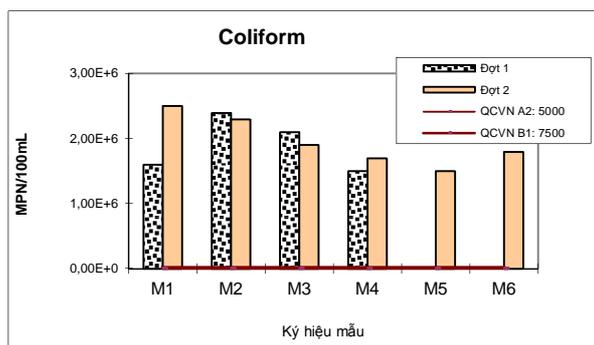
Hình 3d. Nhu cầu oxy sinh hóa của nước hồ



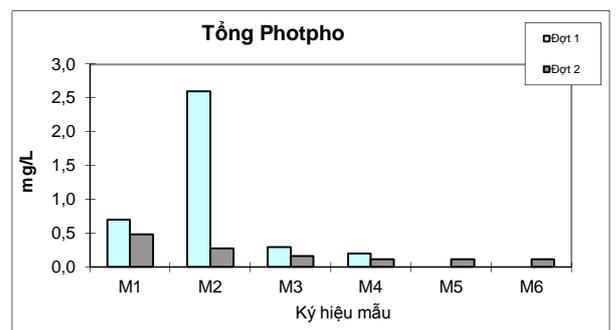
Hình 3e. Nhu cầu oxy hóa học của nước hồ



Hình 3f. Tổng nitơ của nước hồ



Hình 3g. Giá trị Coliform của nước hồ



Hình 3h. Tổng photpho của nước hồ

**Ghi chú:**

*QCVN 08:2008/BTNMT quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt*

*A2 - Dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng phải áp dụng công nghệ xử lý phù hợp; bảo tồn động thực vật thủy sinh, hoặc các mục đích sử dụng như loại B1 và B2.*

*B1 - Dùng cho mục đích tưới tiêu thủy lợi hoặc các mục đích sử dụng khác có yêu cầu chất lượng nước tương tự hoặc các mục đích sử dụng như loại B2.*

**Giá trị pH:** Kết quả phân tích cho thấy pH của nước hồ đợt 1 cao hơn so với đợt 2 nhưng chênh lệch không lớn. Giá trị pH đo được ở tất cả các vị trí lấy mẫu đều nằm trong giới hạn cho phép mức A2 (QCVN 08:2008/BTNMT), phù hợp cho hoạt động sống của động – thực vật thủy sinh.

**Nồng độ oxi hòa tan:** Nồng độ oxi hòa tan trong nước hồ đợt 1 thấp hơn so với đợt 2. Hầu hết kết quả các lần đo cho thấy nồng độ oxi hòa tan trong nước chỉ đáp ứng mức B1 (QCVN 08:2008/BTNMT). Trong đó, chỉ có vị trí M4, M5 và M6 của đợt 2 có nồng độ oxi hòa tan đáp ứng mức A2 (QCVN 08:2008/BTNMT). Như vậy, nồng độ oxi trong nước hồ hầu như thấp hơn yêu cầu cần thiết đối với bảo tồn động-thực vật thủy sinh.

**Tổng chất rắn lơ lửng (TSS):** Nhìn chung, giá trị TSS đo đợt 2 cao hơn so với đợt 1 và các vị trí M1, M2, M3 của đợt 2 đều vượt quá giới hạn cho phép mức A2 (TCVN 08:2008/BTNMT) và cao nhất là vị trí M1. Tuy nhiên, tất cả các vị trí lấy mẫu đều có tổng chất rắn lơ lửng đáp ứng mức B1.

**Nhu cầu oxi sinh hóa (BOD<sub>5</sub>):** So với đợt 1, nhu cầu oxi sinh hóa của nước hồ Tịnh Tâm đợt 2 thấp hơn. Tuy vậy, ở hầu hết các vị trí giá trị BOD<sub>5</sub> đo được đều vượt quá giới hạn cho phép mức B1 (QCVN 08:2008/BTNMT) ngoại trừ vị trí M3 (đợt 2), M5 và M6 vượt mức A2. Như vậy, nước hồ Tịnh Tâm đã bị ô nhiễm hữu cơ.

**Nhu cầu oxi hóa học (COD):** Cũng như giá trị BOD<sub>5</sub>, giá trị COD của hồ Tịnh Tâm cao vượt mức B1 ở hầu hết vị trí khảo sát, ngoại trừ vị trí M3 (đợt 2), M5 và M6 vượt mức A2. Đợt 1 giá trị COD đo được cao hơn đợt 2, trong đó cao nhất là vị trí M1 (vượt giới hạn mức B1 3,5 lần. Như vậy, nước hồ đã bị ô nhiễm hữu cơ và vị trí gần cống

thải ô nhiễm cao hơn (như vị trí M1) do ảnh hưởng của rác thải và nước thải sinh hoạt.

**Tổng nitơ và tổng photpho** của nước hồ rất cao, cao hơn nhiều so với mức 0,1 mg/L. Theo WetZel (1975), khi nồng độ TP > 0,1 mg/L thì thủy vực phú dưỡng. Theo Viện chất lượng nước Đan Mạch, nguồn nước bị phú dưỡng có nồng độ TP > 0,15 mg/L, TN > 0,1 mg/L. Vì vậy, với kết quả đo được có thể kết luận nước hồ Tịnh Tâm bị phú dưỡng rất nghiêm trọng.

**Tổng Coliform:** Nồng độ Coliform trong nước hồ Tịnh Tâm rất cao ở tất cả các vị trí khảo sát, cao hơn giới hạn cho phép mức B1 từ 200 đến 333 lần. Chênh lệch giữa hai đợt lấy mẫu không lớn nhưng chênh lệch giữa các vị trí lấy mẫu khác nhau khá lớn.

**Kết luận:**

- Các thông số chất lượng nước hồ chênh lệch đáng kể giữa các vị trí lấy mẫu, các thông số như chất hữu cơ BOD<sub>5</sub>, COD; chất rắn lơ lửng TSS, tổng Photpho và tổng Coliform ở hồ phía Nam cao hơn ở hồ phía Bắc, điều này cho thấy tình trạng lưu thông nước trong hồ kém và có hiện tượng ô nhiễm cục bộ ở một số vị trí gần các cống thải.

- Nước ra khỏi hồ (M5 và M6) có chất lượng tốt hơn so với các vị trí khảo sát trong hồ. Tuy nhiên so với chất lượng nước trong hồ không có sự cải thiện đáng kể. Điều này cho thấy khả năng tự làm sạch của hồ rất thấp hay đã quá tải lượng thải.

- Nước hồ giữa mùa hè (đợt 2) ít ô nhiễm hơn đầu mùa hè (đợt 1) có thể xuất phát từ một số nguyên nhân như: giữa mùa hè xuất hiện nhiều cơn mưa hơn thời điểm đầu mùa hè, nguồn nước mưa bổ cập làm nước hồ được pha loãng và giảm nồng độ các chất ô nhiễm. Trong khi đó, các cơn

mưa làm xáo trộn nước làm gia tăng nồng độ oxy hòa tan và chất rắn lơ lửng trong hồ. Bên cạnh đó, nước hồ giữa mùa hè tốt hơn đầu mùa hè cũng có thể xuất phát từ nguyên nhân liên quan đến lượng bức xạ mặt trời. Giai đoạn tháng 4/2014, lượng bức xạ mặt trời lớn đã thúc đẩy mạnh hiện tượng phì dưỡng, bùng nổ tảo làm cho nước hồ ô nhiễm cao hơn đối với các thông số hữu cơ và dinh dưỡng.

### 3.2.2 Chất lượng trầm tích

Để đánh giá chất lượng trầm tích của hồ Tịnh Tâm, đã tiến hành lấy mẫu ở 05 vị trí trong 02 đợt: đợt 1 ngày 03/4/2014 và đợt 2 vào ngày 12/6/2014. Các vị trí lấy mẫu trầm tích ở hồ Tịnh Tâm được trình bày ở hình 1. Mẫu được phân tích theo các TCVN tương ứng hoặc theo các phương pháp tiêu chuẩn phân tích của Hoa Kỳ. Kết quả phân tích trầm tích cho thấy:

- Giá trị pH trong trầm tích hồ Tịnh Tâm dao động trong khoảng 6,0 đến 6,2 và biên độ rất ít giữa các vị trí khảo sát. Giá trị pH thu được cho thấy trầm tích hồ có hàm lượng chất hữu cơ cao nên có sự phân hủy và giải phóng các ion có tính axit.

- Hàm lượng cacbon hữu cơ (OC) dao động ở mức cao từ 11,8 – 15,1 % và chất hữu cơ (OM) từ 26,5 -34,4%, hoàn toàn phù hợp với giá trị pH thấp, đồng thời ở hồ phía Bắc cao hơn hồ phía Nam.

- Tổng nitơ và tổng photpho trong trầm tích rất cao, dao động trong khoảng 0,41 – 0,59 % (đối với tổng Nitơ) và 0,08 – 0,22 % (đối với tổng photpho). Với hàm lượng chất dinh dưỡng cao hiện nay, hiện tượng phú dưỡng trong nước hồ có sự đóng góp một phần từ quá trình phân hủy của trầm tích.

## 4. MỘT SỐ BIỆN PHÁP CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG CẢNH QUAN, MÔI TRƯỜNG HỒ TỊNH TÂM

### 4.1 Giải quyết tác nhân gây ô nhiễm bên ngoài hồ

#### 4.1.1 Thu gom xử lý hoặc chuyển hướng nước thải

##### *Thu gom xử lý nước thải*

Phương án này đề xuất lắp đặt đường cống thu gom riêng nước thải dẫn đến trạm xử lý. Đường cống thu gom được đặt dọc theo đường bờ các phía Nam, Tây và Bắc của hồ - là những nơi có cống thải đổ vào và nước thải từ khu dân cư. Cống thu gom nước thải dẫn đến trạm xử lý tập trung đặt ở góc Tây Nam của hồ.

Loại cống sử dụng là cống thu gom riêng nước thải và nước chảy tràn, có bố trí giằng tách dòng để tách riêng nước mưa: nước thải được dẫn tự chảy đến trạm xử lý, nước mưa được tách riêng chảy thẳng vào hồ.

Căn cứ vào lượng nước thải bình quân đo được từ các cống đổ vào hồ trong mùa khô (chủ yếu là nước thải sinh hoạt), công suất trạm xử lý khoảng 150 m<sup>3</sup>/ngđ. Có thể áp dụng các phương pháp xử lý cơ học, sinh học và hóa học để xử lý nước thải bằng cụm bể liên hoàn, với sơ đồ dây chuyền công nghệ như hình 4. Dây chuyền công nghệ này có thể xử lý được chất hữu cơ và một phần chất dinh dưỡng trong nước thải. Phương pháp xử lý sinh học thiếu khí và hiếu khí liên hoàn giúp loại bỏ một phần nitơ thông qua quá trình nitrat hóa và khử nitrat đồng thời loại bỏ photpho thông qua tích lũy trong tế bào vi sinh. Nước thải đầu ra của dây chuyền xử lý có thể đạt mức B QCVN 14:2008/BTNMT đối với nước thải sinh hoạt.

Phương án này có những ưu điểm như:

- Nước thải được thu gom riêng và xử lý tốt hơn, loại bỏ phần lớn chất hữu cơ, một phần chất dinh dưỡng, đảm bảo an toàn cho nước hồ khi tiếp nhận nước thải sau xử lý.

- Đảm bảo vệ sinh môi trường

- Tạo điều kiện bổ cập nguồn nước vào hồ.

Mặt khác, phương án này cũng tồn tại những nhược điểm như:

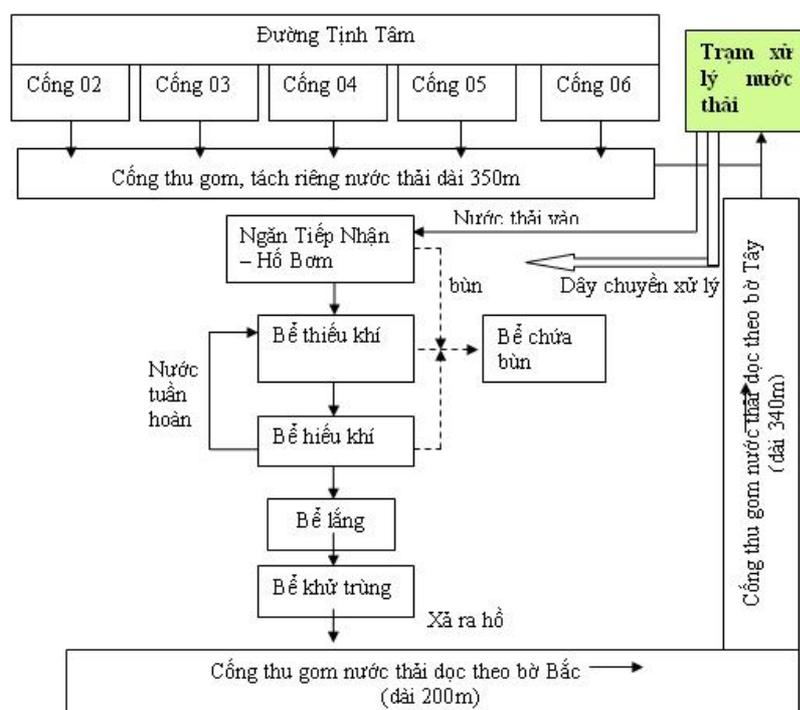
- Chi phí đầu tư lớn, gồm chi phí công thu gom, chi phí xây dựng, vận hành và bảo dưỡng trạm xử lý (chi phí xây dựng và thiết bị ước tính: 1- 1,2 tỷ đồng; chi phí vận hành khoảng 500.000 đồng/ngày)[7]. Ngoài ra còn phát sinh thêm một số chi phí về giải phóng mặt bằng, đền bù giải tỏa,...

- Tiêu tốn diện tích xây dựng trạm, nhân công

vận hành, điện năng,...

- Dễ rơi vào tình trạng lãng phí vốn đầu tư do trạm xử lý không duy trì hoạt động, hoạt động không tốt hoặc bị hư hỏng, quá tải,...

- Việc xây dựng 1 trạm xử lý nước thải bên cạnh hồ Tịnh Tâm làm mất vẻ tự nhiên, thơ mộng của hồ do tiếng ồn, mùi và chất thải phát sinh từ việc xử lý nước thải.



**Hình 4.** Sơ đồ thu gom xử lý nước thải vào hồ Tịnh Tâm

*Xử lý nước thải bằng đất ướt nhân tạo (Wetland)*

Với phương án này, sẽ tiến hành tách riêng nước thải từ các cống thoát nước chung để xử lý bằng mô hình đất ướt trồng cây chuối hoa. Sau xử lý bằng mô hình đất ướt, nước thải tự chảy vào hồ. Cây chuối hoa (tên khoa học là *cannan generalis bail*) là loại cây bụi có hoa (màu đỏ hoặc vàng xen đỏ) mọc thành chùm ở ngọn gồm nhiều hoa to xếp sát nhau, phù hợp với mô hình đất ướt. Các cây chuối hoa được nuôi bằng nước thải từ cống đều cho hoa, sinh chồi mới và cây non rất nhiều. Kết

quả nghiên cứu của Lê Văn Sơn và cộng sự [3] cho thấy, mô hình này cho hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt khá tốt, với hiệu suất loại bỏ chất rắn lơ lửng SS từ 88 – 91%, chất hữu cơ COD từ 78-82%, loại bỏ amoni từ 51 – 72%, loại bỏ photphat từ 96-98%. Từ kết quả nghiên cứu này cho thấy: để xử lý nước thải bằng mô hình đất ướt trồng cây chuối hoa thì trung bình  $1\text{m}^3$  nước thải cần diện tích bố trí khoảng 22-25  $\text{m}^2$ . Do đó, với lượng nước thải sinh hoạt cần xử lý ở hồ Tịnh Tâm khoảng  $150\text{m}^3/\text{ngày}$  thì đòi hỏi một diện tích đất khá lớn (khoảng 3500 – 3750  $\text{m}^2$ ).

Để áp dụng mô hình này, có thể tiến hành lắp đặt các giếng tách nước thải từ các cống thoát nước chung (CV2-CV5) rồi dẫn theo đường ống thu gom riêng tập trung vào bể chứa nước thải. Từ bể chứa, nước thải được bơm lên các bể phân phối đặt trên cao, từ bể phân phối, nước thải tự chảy vào các mô hình đất ướt. Phương án thu gom xử lý nước thải bằng mô hình đất ướt tại khu vực hồ Tịnh Tâm có những ưu nhược điểm như sau:

- Ưu điểm

- Giải pháp thân thiện với môi trường, hiệu quả xử lý khá tốt. Nước thải sau xử lý có thể đáp ứng QCVN 14:2008/BTNMT mức B đối với điều kiện xả thải nước thải sinh hoạt.

- Chi phí đầu tư thấp, bao gồm các chi phí xây dựng các bể chứa và phân phối, giếng tách dòng, các khuôn trồng cây chuối hoa.

- Hạn chế

- Yêu cầu phải có nhân sự thường xuyên theo dõi, chăm sóc thực vật thủy sinh, thu hoạch sinh khối, vận hành hàng ngày việc điều tiết nước chảy vào các mô hình, định kỳ nạo vét bùn cặn tích tụ trong các bể chứa, vận hành, bảo dưỡng máy bơm nước,... Nếu không các bể chứa sẽ rơi vào tình trạng trở thành những bể chứa sinh lầy, là nơi tập trung của bùn cặn và rác thải, bị hư hại gây lãng phí vốn đầu tư và làm mất cảnh quan hồ Tịnh Tâm. Các thiết bị phụ trợ như máy bơm, đường ống phân phối nước cũng cần được theo dõi thường xuyên để đảm bảo hoạt động tốt và không bị hư hỏng do tác động bên ngoài.

- Khi xảy ra lũ lụt, hệ thống mất tác dụng, các bể chứa và các bể mô hình có thể bị hư hại do tác động của dòng nước, bị lắng cặn, các sinh khối thực vật xử lý có thể bị chết hoặc bị cuốn trôi, làm hư hại mô hình.

#### *Chuyển hướng nước thải*

Phương án này đề xuất thu gom riêng nước thải bằng đường cống thoát nước đặt bên ngoài lòng hồ, dọc theo các bờ hồ Bắc, Tây, Nam rồi dẫn ra sông Ngự Hà. Các dòng chảy chuyển hướng

gồm nước thải và nước chảy tràn từ khu vực dân cư quanh bờ hồ, nước thải từ các cống thải đổ vào hồ. Đây là hệ thống cống tách riêng nước thải và nước mưa bằng cách bố trí giếng tách nước mưa tại nơi giao nhau giữa cống thu nước thải và cống thoát nước chung.

Ưu điểm và hạn chế của giải pháp:

- Ưu điểm

- Thu gom, loại trừ được phần lớn nguồn ô nhiễm từ nước thải đổ vào hồ Tịnh Tâm

- Cải thiện vệ sinh môi trường và mỹ quan xung quanh bờ hồ.

- Hạn chế

- Các chất ô nhiễm trong nước thải không được xử lý, chỉ chuyển điểm tiếp nhận từ hồ Tịnh Tâm ra sông Ngự Hà.

- Là biện pháp chỉ can thiệp bên ngoài hồ, không có tác dụng đối với các nguồn gây ô nhiễm bên trong hồ.

- Mất một phần nước bổ cập cho hồ do chuyển hướng tiếp nhận nước đi nơi khác.

- Tổng chi phí đầu tư: gồm chi phí đầu tư lắp đặt đường cống thu gom dọc theo các bờ hồ, giếng tách dòng, hố ga thu nước chảy tràn và chi phí lắp đặt đường cống chính dọc theo đường Đinh Tiên Hoàng dẫn nước ra sông Ngự Hà. Tổng chi phí ước tính khoảng 700 triệu đồng.

#### **4.1.2 Cải tạo bờ hồ**

Để giải quyết và ngăn chặn tái diễn tình trạng sạt lở bờ, bồi lấp, lấn chiếm diện tích lòng hồ cũng như tình trạng thải rác bừa bãi xuống lòng hồ, cần phải thực hiện việc cải tạo bờ hồ.

Với đặc thù riêng về kiến trúc cảnh quan và tính chất di sản văn hóa lịch sử, việc cải tạo bờ hồ Tịnh Tâm cần chú ý khôi phục cảnh quan nguyên thủy của hồ. Toàn bộ khuôn viên hồ xưa kia được bao bởi hệ thống bờ thành bằng gạch cao quá đầu người để ngăn cách với bên ngoài. Do đó, giải pháp này đề xuất xây dựng lại hệ thống tường đặc bằng gạch bao quanh chu vi hồ với chiều cao 1,4m.

Bên cạnh đó, cần gia cố thêm mái nghiêng bờ hồ bằng giải pháp trồng một số loại hoa cỏ để giữ đất và tạo vẻ đẹp tự nhiên cho bờ hồ, chân bờ hồ sắp thêm một số đá sông hoặc đá hộc để giảm sạt lở và hạn chế thực vật mọc xâm lấn vào lòng hồ.

#### 4.1.3 Xử lý, loại bỏ các tác nhân gây ô nhiễm bên trong lòng hồ

Các tác nhân gây ô nhiễm bên trong lòng hồ bao gồm: bùn bả tích tụ lâu năm dưới đáy hồ, sự tập trung khối lượng lớn sinh khối thủy sinh, sựùn tắc dòng chảy, lưu thông nước kém và suy giảm khả năng làm sạch của hồ.

##### *Xử lý bùn đáy*

Lượng bùn tích tụ ở đáy lâu năm đã dẫn đến nhiều tác động tiêu cực như: giảm đáng kể độ sâu chứa nước của hồ, ô nhiễm từ quá trình phóng thích chất bả từ bùn trở lại nước (đặc biệt là photpho gây thêm áp lực phú dưỡng nước hồ), làm nước thối, bả dễ sinh ra tình trạng thiếu oxy, pH thấp hoặc sinh ra khí độc có hại cho tôm cá, hạn chế khoáng hóa của chất hữu cơ, hấp thụ nhiều ion,...Do đó, lượng bùn này cần được xử lý để giảm các tác động tiêu cực đối với chất lượng nước và thủy sinh vật trong hồ.

Có thể xử lý bùn bằng những giải pháp khác nhau như:

- Giải pháp 1 : Rút nước và phơi đáy hồ
- Giải pháp 2 : Nạo vét bùn đáy hồ đưa đi xử lý ở nơi khác
- Giải pháp 3 : Áp dụng chế phẩm vi sinh phân hủy bùn trong nước

Tuy nhiên, đối với hồ Tịnh Tâm, lượng bùn tích tụ rất lớn, đặc biệt ở phần hồ phía Nam, hầu như chỉ còn là bãi cạn. Vì vậy, giải pháp dùng chế phẩm vi sinh sẽ không đạt tiêu chí về kinh tế, đòi hỏi một lượng lớn chế phẩm vi sinh. Trong khi đó, hiệu quả phân hủy bùn bằng chế phẩm vi sinh còn phụ thuộc nhiều vào đặc điểm bùn đáy hồ, các điều kiện thích nghi của vi sinh vật,..do đó có thể không loại trừ được phần lớn bùn trong hồ Tịnh Tâm.

Giải pháp nạo vét bùn có thể áp dụng đối với phần hồ phía Nam. Giải pháp này trực tiếp loại bỏ một khối lượng lớn bùn đáy ô nhiễm ra khỏi hồ, nhanh chóng thiết lập được độ sâu cần thiết của hồ và loại bỏ phần lớn các chất ô gây ô nhiễm nước từ bùn đáy.

Giải pháp rút nước và phơi đáy hồ thực chất là phương pháp phân hủy bùn tại chỗ dựa vào hệ vi sinh có sẵn trong nước và bùn đáy. Rút nước sẽ tạo điều kiện cho đáy hồ tiếp xúc với lượng bức xạ mặt trời và lượng oxy trong khí quyển nhiều hơn, sẽ giúp bùn co rút giảm độ ẩm và được khoáng hóa các chất ô nhiễm. Giải pháp này rẻ tiền, dễ thực hiện lại có thể mang lại hiệu quả cải thiện chất lượng nước khá tốt trong khoảng thời gian 5- 10 năm (như đối với trường hợp hồ Lake Kraenepoel ở Bỉ [10], hay hồ Lake Trafford ở Mỹ). Giải pháp này có thể áp dụng đối với phần hồ Tịnh Tâm phía Bắc vì độ sâu nước trong lòng hồ phía Bắc khá đồng đều và lớn hơn hồ phía Nam (độ sâu trung bình phần hồ phía Nam là 0,41m, phần hồ phía Bắc 0,55m); chất lượng nước hồ phía Bắc tốt hơn hồ phía Nam, hồ phía Bắc nhận ít tải lượng trực tiếp hơn hồ phía Nam.

#### 4.1.4 Cải thiện chất lượng nước bằng các biện pháp thủy sinh

##### Giải pháp can thiệp sinh học

Theo nghiên cứu ở các nước vùng ôn đới, tình trạng dinh dưỡng trong nước hồ có thể kiểm soát bằng giải pháp can thiệp chuỗi thức ăn của hệ thủy sinh trong hồ [9]. Sự sụt giảm tỷ lệ giữa động vật phù du và thực vật phù du tạo ra nguy cơ phú dưỡng trong nước hồ. Từ đó, giải pháp được các nhà khoa học đưa ra là : loại bỏ ra khỏi hồ 75- 80% các loại cá ăn phiêu sinh vật phù du và sinh vật đáy trong thời kỳ kéo dài 1- 2 năm nhằm cân bằng chuỗi thức ăn, tránh nguy cơ phú dưỡng nước do sự dư thừa sinh khối thực vật phù du.

Sau khi thực hiện xử lý bùn đáy hồ bằng các giải pháp nạo vét loại bỏ bùn hoặc rút nước phơi đáy hồ giúp bùn khoáng hóa và co rút, độ sâu nước

hồ được tăng lên. Trong hồ Tịnh Tâm có thể phát triển những loại cá chủ yếu ăn thực vật phù du và phân bố chính ở tầng giữa và tầng trên. Hạn chế những loài cá ưa sống ở đáy hồ và những loài cá ăn động vật phiêu sinh như cá chép. Cụ thể nên phát triển một số loài cá như cá mè trắng, cá trắm cỏ, ....

#### *Hấp thụ chất ô nhiễm bằng thực vật thủy sinh*

Kết hợp trồng các loại thực vật thủy sinh bám rễ vào bùn (sen, súng, thủy trúc, bèo bồng) để hấp thụ bớt chất dinh dưỡng trong bùn và thực vật nổi như rau muống để hấp thụ chất dinh dưỡng trong nước. Các loại sen, súng, thủy trúc, bèo bồng đều là những loài có hoa, góp phần làm đẹp thêm cảnh quan hồ. Cần chú trọng phát triển cây Sen vì loài hoa này đã gắn liền với địa danh hồ Tịnh Tâm. Mặt khác, trồng rau muống thành các bè thủy sinh có thể giúp loại bỏ một số chất dinh dưỡng trong nước hồ, góp phần tạo thu nhập và nguồn cung cấp rau xanh cho người dân địa phương đồng thời đảm bảo cảnh quan hồ. Tốc độ loại N, P thông qua thu hoạch rau muống tương ứng là 0,53 g/m<sup>2</sup>.ngày và 0,053 g/m<sup>2</sup>.ngày [1]. Nếu trồng rau muống trong phạm vi 5m từ bờ trở ra thì diện tích rau muống tương ứng khoảng 4000 - 5000 m<sup>2</sup> và khả năng loại trừ N, P tương ứng là 4,7 kg/ngày và 0,47 kg/ngày.

#### *Kiểm soát mật độ và thu hoạch sinh khối*

Sinh khối trong hồ cần được kiểm soát mật độ và thu hoạch kịp thời tuân theo chu kỳ sinh trưởng phát triển của mỗi loài để tránh tình trạng sinh khối chết gây ô nhiễm nước hồ. Chẳng hạn, mật độ nuôi cá thông thường từ 1,5- 2 con/m<sup>2</sup>; mật độ trồng sen 2m x 2m/cây; mật độ trồng rau muống có thể biến động từ 20.000 - 150.000 chồi/1000 m<sup>2</sup>,...

Với một số loài phát triển bùng nổ nhanh về số lượng như lục bình, tảo cần phải có kế hoạch loại bỏ thường xuyên. Sự phát triển nhanh về số lượng của các loại bèo và lục bình thường gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực:

- Ngăn chặn ánh sáng mặt trời rọi xuống bên

dưới mặt nước, điều này làm ảnh hưởng đến các sinh vật thủy sinh sống bên dưới cần ánh sáng.

- Tiêu thụ mạnh nguồn oxy trong nước, làm thiếu hụt nguồn dưỡng khí cho các sinh vật khác.

- Hút nước khiến hồ khô cạn, 90% cấu tạo của cây lục bình là nước.

Lục bình, cỏ dại có thể được tiến hành loại bỏ bằng phương pháp thủ công: huy động những chiếc thuyền nhỏ vớt các sinh khối rong bèo, lục bình trôi nổi ra khỏi hồ. Xác những sinh khối này có thể được sử dụng cho các mục đích ủ phân, làm thức ăn cho lợn, làm giấy,...

- Ưu điểm phương án:

- Loại bỏ sinh khối các thực vật nổi cỡ lớn như lục bình, rong, bèo.. Có thể sử dụng được sức người thay cho máy móc, ít tốn kinh phí ;

- Góp phần làm đẹp cảnh quan của hồ ;

- Giúp lưu thông dòng chảy và tăng cường ánh sáng cho tầng nước bên dưới, loại bỏ những xác chết thực vật nổi sẽ góp phần giảm tải lượng hữu cơ và dinh dưỡng trong nước hồ.

- Nhược điểm phương án :

- Vớt sinh khối thủ công sẽ không loại bỏ được sinh khối tảo;

- Lục bình và rong bèo cũng đóng vai trò nhất định trong làm sạch nước vì chúng hấp thụ các chất dinh dưỡng, rễ của chúng là nơi dính bám của các loại vi khuẩn phân hủy các chất ô nhiễm trong nước. Việc loại bỏ các sinh khối còn sống làm mất đi một 'bộ máy' làm sạch nước.

- Lục bình sinh sản rất nhanh, từ 1 cá thể có thể sản sinh ra 1000 cá thể mới chỉ trong vòng 2 tháng (Trần Ngọc Nam, 2009), do đó phải tốn nhiều công thu gom và xử lý lục bình.

## **5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Hồ Tịnh Tâm hiện nay không còn là một danh lam thắng cảnh xứng tầm quốc gia và thế giới đã công nhận. Hiện trạng xuống cấp nghiêm trọng về cảnh quan môi trường hồ đang ở mức báo động. Nước hồ bị phú dưỡng nặng và ô nhiễm rõ rệt đối

với các thông số hữu cơ, dinh dưỡng, Coliform,..Tình trạng cạn hóa lòng hồ, sạt lở bờ, tiếp nhận các loại rác thải, nước thải một cách thiếu kiểm soát trong thời gian dài đã biến hồ thành một bãi sinh lầy, cỏ dại và lục bình bao phủ hầu hết diện tích mặt nước,...Để cải thiện và phục hồi cảnh quan môi trường hồ Tịnh Tâm, cần kịp thời thực hiện các biện pháp loại bỏ tác nhân gây ô nhiễm bên ngoài hồ: rác thải, nước thải từ khu vực dân cư; kết hợp cùng các biện pháp kiểm soát ô nhiễm phát sinh từ bên trong lòng hồ từ trầm tích tích tụ lâu năm, xác sinh khối lục bình, tảo,...

Để các giải pháp cải thiện phục hồi môi

trường cảnh quan hồ Tịnh Tâm được hiện thực hóa, cơ quan quản lý cũng như chính quyền thành phố cần nhanh chóng tiến hành lập kế hoạch cải tạo hồ và huy động, phân bổ nguồn kinh phí thích hợp.

**Lời cảm ơn:** Đề tài này được thực hiện bằng kinh phí tài trợ từ Chương trình Hỗ trợ tài năng trẻ “Vì An Ninh Tài Nguyên Nước” của Công ty TNHH Nhà Máy Bia Việt Nam.



## Status of landscape and environment of Tinh Tam lake inside Hue citadel and proposal of restoration solutions

- Nguyen Thi Cam Yen
- Tran Dang Bao Thuyen
- Nguyen Dang Hai

Institute of Resources and Environment – Hue University

### ABSTRACT

*Tinh Tam Lake is the largest lake inside Hue Citadel and also an important landmark in historical and cultural relics of Hue ancient capital recognized by UNESCO. However, now the lake is facing many negative impacts such as receiving wastes of surrounding residential areas and wastewater from sewages, becoming heavily shallow caused by sludge accumulation of so many years, changing into hypereutrophic status, degradation of landscape in the lake and in islands of the lake, etc. These negative impacts have lasted for many years. As a*

*result, Tinh Tam lake has lost inherent landscape values and many environmental issues have appeared such as decreasing flow and drainage ability in flood season, smelling bad, etc. With these challenges, the paper reflected the current state of the lake in an overview and proposed necessary solutions aiming to eliminate the causes of pollution and landscape degradation of the lake and to reestablish useful aquatic system for improvement of purification ability of the lake.*

**Key words:** Tinh Tam lake, landscape, environment, restoration solutions

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. [1]. Nguyễn Văn Hợp, Hoàng Thái Long, Phạm Khắc Liệu, *Đánh giá tải lượng chất thải đổ vào hồ và khả năng loại trừ các chất dinh dưỡng (N và P) của các hồ trong Kinh Thành Huế*. Thông tin khoa học Trường Đại học Khoa học- Đại học Huế, (tập 1) Số 11, (1999), 134-139.
- [2]. [2]. Nguyễn Quang Hưng, *Nghiên cứu thiết kế chương trình quan trắc môi trường nước sông, hồ trong khu vực Kinh Thành Huế*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở, Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Huế, 2013.
- [3]. [3] Lê Văn Sơn, Phan Thị Kim Ngà, Phạm Phú Lâm, Trịnh Vũ Long (2010). Đề tài “Nghiên cứu kiểm soát ô nhiễm nguồn nước hồ công viên 29-3 (Đà Nẵng) bằng mô hình đất ướt”  
<http://maylocnuocnewlife.com/bien-nuoc-ban-thanh-nuoc-sach-that-don-gian-1361.html>
- [4]. [4]. Phan Xuân Thanh, *Đánh giá hiện trạng hệ thống ao hồ trong thành nội Huế*, Khóa luận Tốt nghiệp Cử nhân Khoa học Môi trường, Trường Đại học Khoa Học, Đại học Huế, 2007.
- [5]. [5]. Nguyễn Thị Cẩm Yến, *Đánh giá tình trạng dinh dưỡng và đề xuất giải pháp kiểm soát phú dưỡng của nước hồ trong Kinh Thành Huế*, Luận văn Thạc Sĩ Khoa học Môi trường và Bảo vệ Môi trường, Trường Đại học Khoa Học, Huế, 2010.
- [6]. [6]. Nguyễn Thị Cẩm Yến, Phạm Khắc Liệu. *Đánh giá tình trạng dinh dưỡng của nước một số hồ trong Kinh Thành Huế qua các chỉ số dinh dưỡng*. Tạp chí Khoa học, Đại học Huế, (tập 75B), Số 6, (2012), 267 – 275.
- [7]. [7] Nguyễn Thị Cẩm Yến & nnk *Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu đề xuất giải pháp cải tạo chất lượng môi trường hồ Tịnh Tâm trong Kinh Thành Huế”*. Công ty TNHH Nhà máy Bia Việt Nam (VBL) – Chương trình hỗ trợ tài năng trẻ “Vì An ninh Tài nguyên Nước” (2015).
- [8]. [8]. APHA, AWWA, WEF (1999), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th edition, Washington DC, USA
- [9]. [9]. Erik Jeppesen, Martin Søndergaard, Nestor Mazzeo, Mariana Meerhoff, Christina C. Branco, Vera Huszar and Flavio Scasso. *Lake restoration and biomanipulation in temperate lakes: relevance for subtropical and tropical lakes*
- [10]. [10]. Jeroen Van Wichelen, Steven Declerck, Koenraad Muylaert, Ivan Hoste, Vanessa Geenens, Jochen Vandekerckhove, Erik Michels, Niels De Pauw, Maurice Hoffmann, Luc De Messster, Wim Vyverman, *The importance of drawdown and sediment removal for the restoration of the eutrophied shallow Lake Kraenepoel (Belgium)*, *Hydrobiologia* (2007) 584:291-303.