



KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ MÔI XỬ LÝ NƯỚC CẤP - TUYỂN NỔI ÁP LỰC

Nguyễn Việt Anh¹, Nguyễn Mạnh Hùng², Vũ Thị Minh Thanh³

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu công nghệ xử lý nước mặt bằng phương pháp tuyển nổi áp lực trong PTN và ngoài hiện trường, xử lý nước sông Hồng và sông Trà Lý (hệ thống sông Hồng - Thái Bình) và sông Tiên, sông Bô Kê (hệ thống sông Mê Công). Mặc dù độ đục nước nguồn có biến động lớn (từ 20 đến 470 NTU), độ đục của nước sau tuyển nổi luôn đạt từ 0.2 đến 3.5 NTU (trung bình dưới 2 NTU), thấp hơn độ đục sau quá trình keo tụ - lắng thông thường. Hiệu suất xử lý cao đối với độ đục (NTU), chất hữu cơ (COD và hàm lượng thuốc trừ sâu đại diện) cũng như vi sinh vật (*E. Coli*) cho thấy tuyển nổi áp lực có tiềm năng ứng dụng rất lớn cho các nhà máy nước mới cũng như cải tạo các nhà máy nước hiện có ở Việt Nam.

Từ khóa: độ đục, keo tụ, lắng, tuyển nổi áp lực, xử lý nước.

Abstract: The paper presents results from research on dissolved air flotation (DAF) method at laboratory and pilot scales for treatment of surface water from Hong and Tra Ly rivers (Hong - Thai Binh river system) and Tien and Bo Ke rivers (Mekong river system). Despite of fluctuating incoming water quality (ranging from 20 to 470 NTU), average turbidity of DAF treated water was always bellow 2 NTU (ranging from 0.2 to 3.5 NTU) which was less than conventional coagulation - flocculation - sedimentation process. Excellent removal of particles (measured by NTU), organic matters (measured by COD and concentration of selected pesticides) and pathogens (*E. Coli*) from surface water shows great potential application of DAF for new water treatment plants, as well as for upgrading of existing plants in Vietnam.

Key words: coagulation, dissolved air flotation, sedimentation, turbidity, water treatment.

Nhận ngày 25/12/2012, chỉnh sửa 15/1/2013, chấp nhận đăng 30/3/2013



1. Đặt vấn đề

Nguồn nước mặt (sông, hồ, suối...) đang và sẽ là nguồn cấp nước chủ đạo hiện nay và trong tương lai cho hệ thống cấp nước ở nhiều đô thị. Quy mô sử dụng nước ngày càng tăng, trong khi chất lượng nước của các nguồn nước mặt lại có xu thế ngày càng suy giảm do tiếp nhận nhiều nguồn thải khác nhau chảy vào trong lưu vực. Trên thực tế, với các công nghệ đang áp dụng hiện nay tại các nhà máy nước, ở cả các quy mô công suất khác nhau, theo cách tiếp cận truyền thống như keo tụ - lắng - lọc nhanh - khử trùng, hoặc sơ lắng - keo tụ - lắng - lọc nhanh - khử trùng, chất lượng nước đầu ra của các nhà máy nước ngày càng có nhiều nguy cơ không đáp ứng được tiêu chuẩn và/hoặc phải chịu chi phí xử lý rất tốn kém.

Tại hầu hết các nhà máy nước mặt sử dụng công nghệ keo tụ - lắng - lọc, dù độ đục trong nước đầu vào bằng bao nhiêu, nhưng độ đục trong nước sau lắng thường chỉ hạ thấp nhất được xuống khoảng giá trị 7 - 15 NTU, trong khi TCXDVN 33-2006 khuyến cáo độ đục sau lắng dưới 5 NTU, để kéo dài chu kỳ làm việc của các bể lọc và tiết kiệm chi phí vận hành nhà máy nước. Do hiệu suất lắng không cao, nhiều nhà máy nước phải tiến hành rửa lọc liên tục, có nhà máy rửa 2 lần/ngày. Hiệu suất lắng thấp, đặc biệt với hệ keo tụ

¹PGS.TS, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: vietanhctn@gmail.com.

²NCS, Công ty Cổ phần Nước và Môi trường Việt Nam (VIWASE).

³ThS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

nhien bền vững, khó keo tụ và có kích thước nhỏ trong nguồn nước là trở ngại chính đối với công nghệ truyền thống keo tụ - lắng. Với nguồn nước mặt có độ đục, hàm lượng cặn lơ lửng cao và dao động lớn theo thời gian, sơ lắng luôn là giải pháp an toàn, hiệu quả cao, cho phép các công trình phía sau làm việc ổn định, ít tổn hóa chất.

Việc nghiên cứu áp dụng các phương thức tiếp cận mới để nâng cao chất lượng nước, tiết kiệm chi phí xây dựng và quản lý hệ thống cấp nước là rất cần thiết. Những khó khăn và nguy cơ đang đối mặt tại các nhà máy nước trong khu vực như đã trình bày ở trên có khả năng giải quyết được bằng một số giải pháp công nghệ mới, trong đó có tuyển nổi áp lực thay cho quá trình lắng thông thường.

Tuyển nổi áp lực (DAF) lần đầu tiên được áp dụng trong xử lý nước cấp ở Phần Lan (ADKA và Sveen-Pedersen) vào những năm 20 của thế kỷ trước. Những năm 60 của thế kỷ XX, các chuyên gia Thụy Điển, sau đó là Phần Lan tiến hành nghiên cứu và cải tiến các hệ thống DAF thời đó, áp dụng trong xử lý nước cấp. Các hệ thống DAF mới được xây dựng nhiều ở Phần Lan năm 1965, và tới 1970 rất nhiều bể lắng đã được thay thế hay cải tạo sang bể DAF. Trong những năm 1970 - 1990, khá nhiều nhà máy nước áp dụng công nghệ DAF đã được xây dựng ở Bắc Âu và Anh quốc. Từ đó trở đi, công nghệ DAF đã được phổ biến rộng rãi trên toàn thế giới như một giải pháp thay thế bể lắng truyền thống. Tại Mỹ, DAF lần đầu tiên được áp dụng ở Lenox, bang Massachusetts vào những năm 1980. Đến nay, khoảng trên 100 nhà máy nước sử dụng DAF ở Mỹ, với công suất từ nhỏ ($< 3800 \text{ m}^3/\text{ngày}$) đến lớn (vài trăm ngàn $\text{m}^3/\text{ngày}$). Nhà máy với công nghệ DAF cấp nước cho khu vực Croton, New York, đang được xây dựng và dự kiến đưa vào sử dụng năm 2012, có công suất lên tới $1.100.000 \text{ m}^3/\text{ngày}$.

Trong khu vực, DAF cũng đã và đang được áp dụng rộng rãi, cùng với sự phát triển của công nghệ và kỹ thuật cấp thoát nước. Các nước trong khu vực như Trung Quốc, Đài Loan, Hàn Quốc, Malaysia, Thái Lan, ... đều mạnh dạn và áp dụng thành công công nghệ này trong xử lý nước cấp, xử lý nước rửa lọc và bùn cặn. Trên thế giới, công nghệ tuyển nổi áp lực (Dissolved air flotation - DAF) đã được áp dụng tại các trạm xử lý nước cấp và nước thải, xử lý bùn cặn ở nhiều nước, nhằm mục đích nâng cao chất lượng nước sau xử lý và giảm chi phí sản xuất nước cấp, ổn định và làm khô bùn cặn, giảm lượng bùn phải xử lý, vận chuyển, chôn lấp và giảm đáng kể hoá chất tiêu thụ cũng như kích thước các công trình xử lý bùn cặn như sân phơi bùn, ...

Ở Việt Nam, hiện nay công nghệ tuyển nổi nói chung và tuyển nổi áp lực nói riêng bước đầu được áp dụng trong lĩnh vực xử lý nước thải công nghiệp ở quy mô nhỏ, không phổ biến, chưa có điều kiện tổng kết. Việc áp dụng công nghệ tuyển nổi trong lĩnh vực xử lý nước cấp chưa được nghiên cứu cụ thể và chưa được áp dụng.

Trong thời gian từ 2005 đến nay, nhóm nghiên cứu của Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, trường Đại học Xây dựng đã phối hợp với một số công ty cấp nước các tỉnh, thực hiện 2 đề tài: (1) Nghiên cứu phát triển công nghệ tuyển nổi áp lực để xử lý nước và bùn cặn trong trạm xử lý nước cấp đô thị với nguồn nước mặt ở Hà Nội, mã số 01C-09/05-2007-2, Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội quản lý và (2) Nghiên cứu áp dụng công nghệ tuyển nổi để xử lý nước cấp cho sinh hoạt với nguồn nước mặt của các tỉnh thuộc Đồng bằng Sông Cửu Long, Bộ Xây dựng quản lý. Bài báo này trình bày những kết quả chính của 2 đề tài nghiên cứu trên.

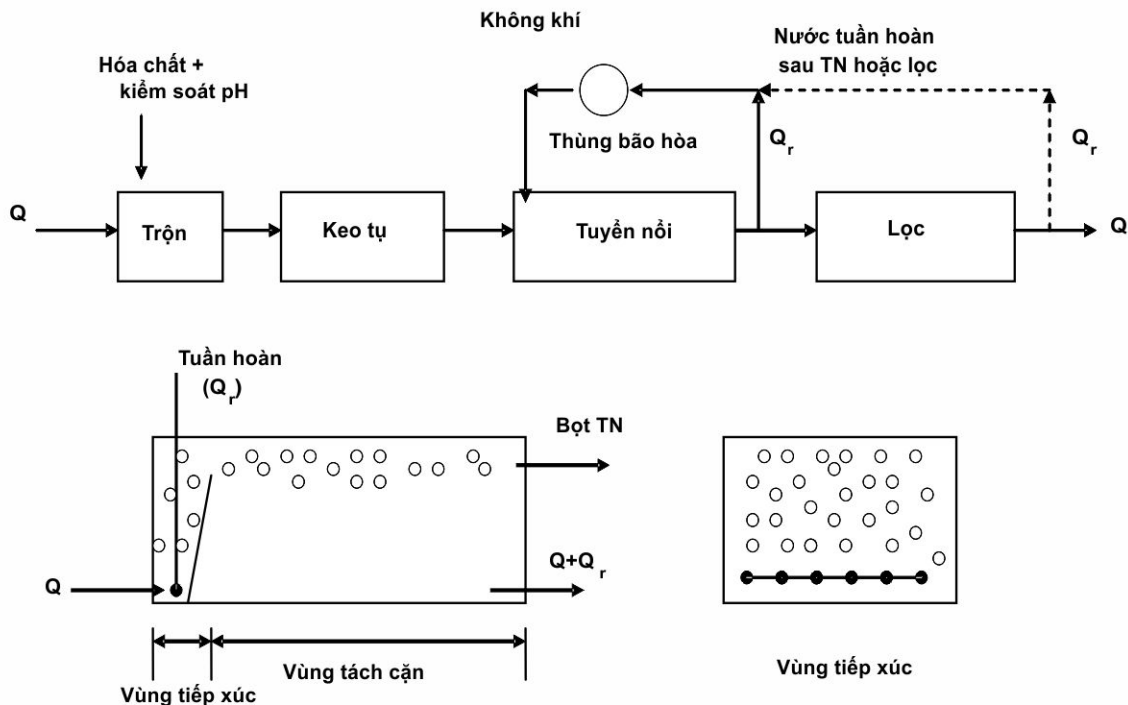


2. Nguyên lý của quá trình tuyển nổi

Nhiều chất ô nhiễm kích thước nhỏ, có trạng thái hợp thể trong nước ổn định, không thể lắng được trong các bể keo tụ - lắng thông thường, nhưng lại có thể dễ dàng được loại bỏ bằng cách dính bám vào các bọt khí kích thước nhỏ (cỡ vài chục micromét) và nổi trên mặt nước dưới dạng bọt, và sau đó được tách ra khỏi nước.

Trong hệ thống tuyển nổi áp lực, không khí được đưa vào dòng nước tuần hoàn dưới áp suất cao, trong một thùng gọi là thùng bão hòa hay thùng áp lực. Tỷ lệ dòng nước tuần hoàn so với dòng nước xử lý (R) thường nằm trong khoảng 6 đến 20%. Áp suất trong thùng bão hòa thường bằng 4 đến 5,8 atm. Dòng nước tuần hoàn đã bão hòa không khí này được châm vào bể tuyển nổi qua các vòi phun hoặc các van chuyên dụng từ dưới đáy ngăn tiếp xúc. Do áp suất giảm đột ngột (xuống bằng áp suất khí quyển), xảy ra quá trình nhả khí từ dung dịch bão hòa và hình thành các bọt khí kích thước rất nhỏ trong vùng tiếp xúc. Kích thước các bọt khí được hình thành nằm trong khoảng từ 10 đến $100 \mu\text{m}$, với số lượng rất lớn, làm cho hỗn hợp khí - nước trong bể tuyển nổi có màu trắng đục như sữa hay "nước bột sắn".

Trong bể tuyển nổi, các phần tử keo tụ tiếp xúc với các bọt khí, tạo các tổ hợp bọt khí - phần tử keo tụ. Nếu các phần tử keo tụ được chuẩn bị phù hợp, đặc biệt là tính chất hoá học trên bề mặt phần tử, nhờ quá trình keo tụ, thì quá trình dính bám và tạo tổ hợp bọt khí - phần tử keo tụ có thể tạo thành. Dòng nước đưa các bọt khí, các tổ hợp phần tử keo tụ - bọt khí và cả các phần tử keo tụ chưa dính bám vào bọt khí sang ngăn tách chất bẩn. Tại đây, các bọt khí tự do và các tổ hợp bọt khí - phần tử keo tụ nổi lên trên mặt nước, tạo một lớp bọt trên bề mặt bể. Lớp bọt này dần trở nên đặc hơn, và được gạt ra khỏi bể. Nước đã tách bẩn được thu từ dưới đáy bể. Người ta có thể bố trí bể lọc tiếp theo sau bể tuyển nổi, hoặc ngay dưới bể tuyển nổi. Trong trường hợp thứ nhất, dòng nước tuần hoàn được lấy sau bể tuyển nổi. Trong trường hợp thứ hai, nước tuần hoàn được lấy sau bể lọc.



Hình 1. (Trên) Sơ đồ công nghệ xử lý nước với tuyển nổi áp lực;
(Dưới) Bể tuyển nổi với vùng tiếp xúc và vùng tách chất bẩn (Edzwald, 2007).

Hình 1 giới thiệu sơ đồ nguyên lý của nhà máy nước áp dụng công nghệ tuyển nổi. Bể tuyển nổi thay thế vị trí của bể lắng. Quá trình tuyển nổi bao gồm 3 công đoạn chính: (1) tiền xử lý; (2) tiếp xúc trong vùng phản ứng của bể tuyển nổi và (3) tách tạp chất ra khỏi nước. Công đoạn tiền xử lý chính là quá trình trộn hóa chất và tạo hệ keo tụ. Vùng tiếp xúc là phần đầu của bể tuyển nổi, nơi các bọt khí tiếp xúc, dính với các phần tử keo tụ. Vùng tách chất bẩn là nơi tách các bọt khí tự do (không dính bám vào các hạt keo tụ) và các bọt khí dính bám với các phần tử keo tụ ra khỏi nước.

Tương tự như bể lắng, người ta thiết kế bể tuyển nổi dựa theo tải trọng thủy lực. Quá trình tuyển nổi áp lực thông thường có tải trọng thủy lực bằng $5-15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

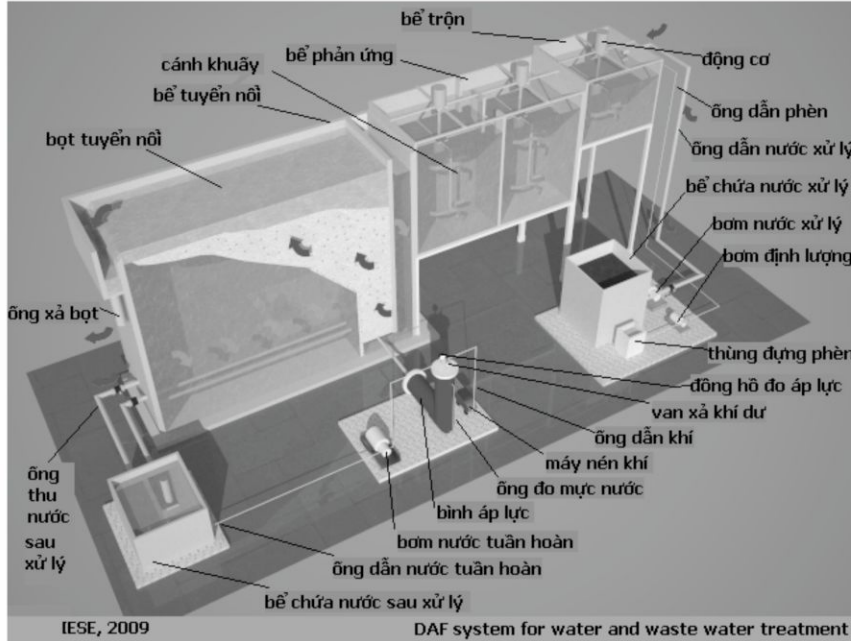
Đối với các nhà máy nước cấp áp dụng công nghệ tuyển nổi áp lực, chất lượng nước sau xử lý đáp ứng được các tiêu chuẩn cao để cấp cho ăn uống và sinh hoạt, khắc phục những nhược điểm nhiều khi không vượt qua được của công nghệ xử lý nước truyền thống: keo tụ - lắng - lọc. Tuyển nổi áp lực đặc biệt có hiệu quả trong việc loại bỏ các cặn bẩn hữu cơ, sét, mùn có kích thước nhỏ gây nên độ đục, độ màu, độ mùi của nước, rong, tảo, các chất vô cơ và kim loại,... Công nghệ này còn cho phép loại bỏ được cả trứng giun sán, vi khuẩn, và cả một số vi sinh vật đơn bào nguy hiểm, không bị tiêu diệt bởi Clo như *Giardia*, *Cryptosporidium*,... (có nhiều trong nước rửa lọc tuần hoàn). Hiệu suất cao, diện tích chiếm đất ít hơn nhiều so với công nghệ lắng truyền thống, khả năng kiểm soát được quá trình và tự động hoá cao,... là những ưu thế vượt trội của tuyển nổi áp lực, làm cho công nghệ này ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong thực tế.

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi} = 101,33 \text{ kPa} = 101,33 \text{ kN/m}^2 = 1,0133 \text{ bar}; 1 \text{ psi} = 6,893 \text{ kPa}$$



3. Nghiên cứu thực nghiệm, làm chủ công nghệ tuyển nổi áp lực

Để phục vụ cho nghiên cứu thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã chế tạo mô hình thí nghiệm tuyển nổi áp lực. Sau nhiều lần thử nghiệm, cải tiến, mô hình pilot dạng khối hộp chữ nhật, chế độ vận hành liên tục, lưu lượng nước cần xử lý từ 1 - 4 m³/h đã được chế tạo. Hình 2 là ảnh chụp mô hình tại Viện Khoa học & Kỹ thuật Môi trường, trường Đại học Xây dựng và sơ đồ hệ thống tuyển nổi áp lực, bao gồm các thành phần chính: bể trộn hóa chất có cánh khuấy điều khiển bằng hộp số, kích thước L x B x H = 500 x 500 x 300 (mm); bể phản ứng có cánh khuấy điều khiển bằng hộp số, kích thước L x B x H = 1100 x 540 x 1250 (mm); bể tuyển nổi: L x B x H = 1780 x 500 x 1800 (mm); thùng áp lực với bơm cấp nước tuần hoàn và máy nén khí; hệ thống định lượng hóa chất keo tụ và phụ kiện.

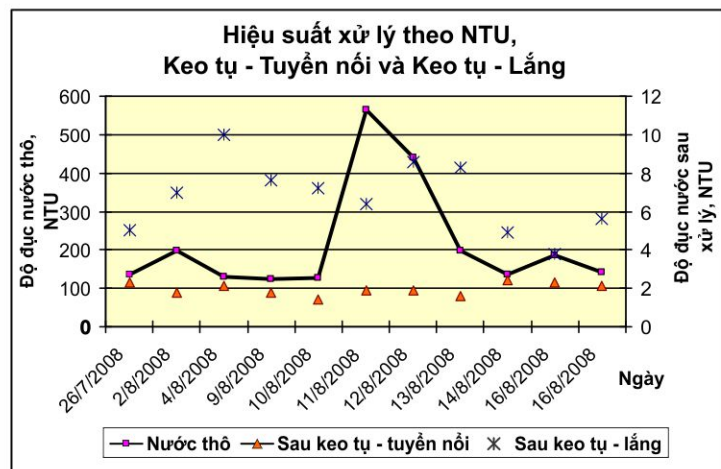


Hình 2. Sơ đồ hệ thống tuyển nổi áp lực pilot sử dụng trong nghiên cứu

Trong giai đoạn thí nghiệm tại Viện Khoa học & Kỹ thuật Môi trường, trường Đại học Xây dựng, mô hình được thử nghiệm với nguồn nước nhân tạo, pha nước sạch với đất sét để tạo độ đục cần thiết (124 - 565 NTU). Mục đích của giai đoạn thí nghiệm này là để làm chủ được công nghệ tuyển nổi áp lực, cải tiến, hoàn thiện các thiết bị và xác định các thông số vận hành của hệ thống tuyển nổi, đồng thời so sánh hiệu suất quá trình keo tụ - tuyển nổi với quá trình keo tụ - lắng truyền thống.

Kết quả thí nghiệm đã cho thấy với độ đục nước thô dao động lớn, từ 124 đến 565 NTU, hiệu suất tuyển nổi hầu như không ảnh hưởng, đạt xấp xỉ 2 NTU, trong khi hiệu suất keo tụ - lắng với cùng liều lượng hóa chất lại phụ thuộc nhiều vào chất lượng nước đầu vào và luôn thấp hơn hiệu suất quá trình keo tụ - tuyển nổi (hình 3).

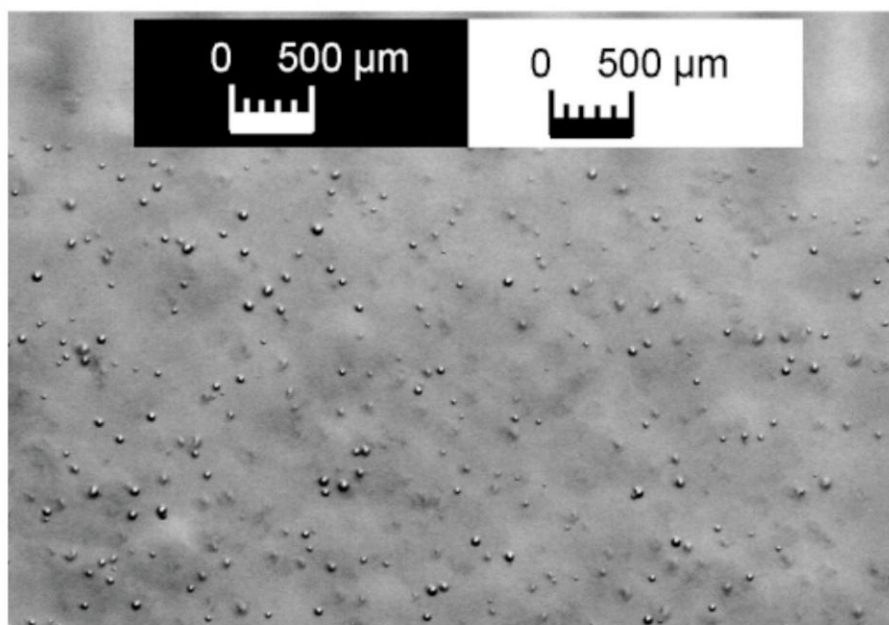
Hình 3. Thí nghiệm xử lý nước bằng công nghệ tuyển nổi, so sánh với keo tụ - lắng



Ghi chú: Kết quả được tổng hợp từ 93 mẫu thí nghiệm; Giá trị độ đục nước thô được đọc theo trực tung bên trái, độ đục nước sau xử lý - theo trực tung bên phải; Hàm lượng chất keo tụ (PAC) tối ưu được xác định bằng thí nghiệm Jar Test; Và thí nghiệm keo tụ - lắng tĩnh được thực hiện bằng cách lấy nước từ ngăn phản ứng của mô hình và để lắng trong ống hình côn dung tích 1 lít trong vòng 2 giờ.

Nhóm nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo và từng bước hoàn thiện các chi tiết mấu chốt của hệ thống tuyển nổi như thùng bão hòa, các bể trộn - phản ứng - tuyển nổi, chi tiết vòi phun dung dịch bão hòa, hệ thống thu gom và tách bọt tuyển nổi... Cho đến nay, hệ thống đã làm việc tương đối hoàn thiện, cho phép thử nghiệm xử lý nước bằng công nghệ tuyển nổi áp lực và công nghệ keo tụ - lắng với chế độ liên tục, các thông số vận hành tối ưu như sau: hiệu suất bão hòa không khí đạt 85 - 90%; mật độ bọt dày, đồng nhất và kiểm soát được kích thước; giảm thiểu tối đa sự xáo trộn ở vùng tiếp xúc và vùng tuyển nổi; các bể trộn, bể phản ứng, bể tuyển nổi đảm bảo chế độ thủy lực tối ưu cho các quá trình trộn, keo tụ, tạo bông, tuyển nổi, thu nước và thu bọt; phương pháp tách bọt: định kỳ, bằng cách dâng mực nước trong bể tuyển nổi; liều lượng hóa chất keo tụ (PAC) với độ đục 124 - 565 mg/l là 20 - 60 mg/l; thời gian trộn 1-2 phút; thời gian keo tụ - tạo bông 10 - 15 phút; thời gian tiếp xúc 2 phút; thời gian tuyển nổi 15 - 20 phút; áp suất bão hòa 4,5 - 5,5 atm; tỷ lệ dòng tuần hoàn ~ 8 - 15%; tải trọng thủy lực 5 - 7,5 m/h.

Mật độ và đường kính bọt tuyển nổi được xác định bằng cách chụp ảnh khoang phản ứng trong cột tuyển nổi bằng máy ảnh chuyên dụng (phóng đại x100 lần). Ảnh chụp bọt tuyển nổi được giới thiệu trên Hình 4. Một trong những chi tiết quan trọng cho phép đạt mật độ bọt tuyển nổi cao, kích thước đồng nhất (30 - 50 μm) là vòi phun. Tháng 10/2012, vòi phun do nhóm nghiên cứu phát triển đã được Cục Sở hữu trí tuệ cấp Bằng Độc quyền sáng chế.



Hình 4. Bọt tuyển nổi trong nước (phóng đại 100 lần)



4. Thử nghiệm hệ thống tuyển nổi pilot với nguồn nước mặt hệ thống sông Hồng - Thái Bình và sông Cửu Long

4.1. Thử nghiệm tại Công ty Cấp nước Thái Bình

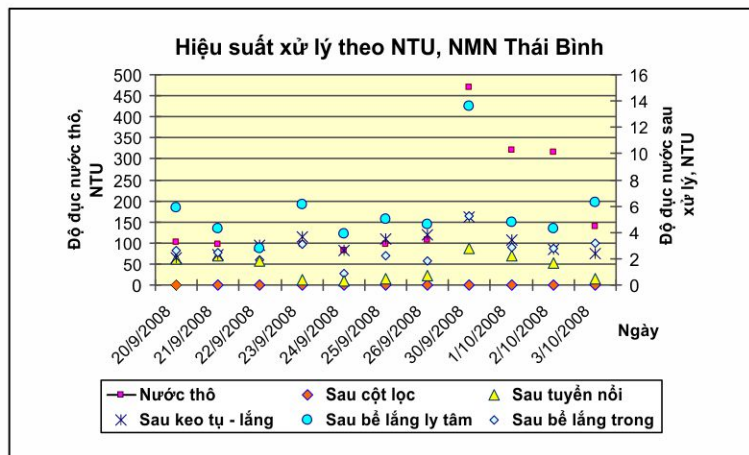
Trong thời gian từ tháng 8 đến tháng 10/2008, nhóm nghiên cứu đã lắp đặt mô hình thí nghiệm ngoài hiện trường tại Nhà máy nước Thái Bình, Công ty Cấp nước Thái Bình. Nhà máy có công suất 40.000 $\text{m}^3/\text{ngày}$, lấy nguồn nước từ sông Trà Lý, một nhánh sông chính của sông Hồng. Nhà máy sử dụng đồng thời 2 dây chuyền công nghệ sau: (1) lọc phá bằng bể lọc vật liệu nổi - keo tụ - lắng ly tâm - lọc nhanh; và (2) trộn hóa chất, tách khí - lắng trong có tầng cặn lơ lửng - lọc nhanh. Kết quả vận hành mô hình được so sánh đối chứng với chất lượng nước qua từng bậc xử lý của Nhà máy nước.



Hình 5. Hệ thống tuyển nổi áp lực pilot, thử nghiệm tại Nhà máy nước Thái Bình

Nguồn nước thô tại Nhà máy nước Thái Bình trong đợt thí nghiệm từ 20/9 đến 3/10/2008 có độ đục dao động từ 81 đến 470 NTU. Độ đục thấp nhất sau tuyển nổi đạt 0,3 NTU, trung bình đạt 1,3 NTU. Đây là kết quả rất tốt, có thể so sánh tương đương với kết quả của các nghiên cứu đã công bố trên Thế giới. Chất lượng nước sau tuyển nổi và lọc luôn thấp (thấp nhất 0,1 NTU, trung bình 0,7 NTU). Trong khi đó, chất lượng nước sau các dây chuyền công nghệ truyền thống keo tụ - lắng tĩnh đạt thấp nhất 1,8 NTU, trung bình 3,0 NTU; keo tụ - lắng ly tâm đạt thấp nhất 2,8 NTU, trung bình 5,6 NTU; keo tụ - lắng trong có tầng cặn lơ lửng đạt thấp nhất 0,9 NTU, trung bình 2,7 NTU và không ổn định.

Chất lượng nước sau cột lọc (bố trí sau bể tuyển nổi) rất tốt, độ đục 0,1 - 0,3 NTU, với chu kỳ lọc kéo dài đến 3- 4 ngày trước khi có hiện tượng bão hòa cặn. Nhận xét này khẳng định thêm một ưu thế quan trọng của tuyển nổi áp lực, cho phép giảm chi phí sản xuất nước nhờ nâng cao chất lượng nước vào bể lọc, giảm tối đa các tạp chất keo có kích thước nhỏ - dễ bị giữ lại trên bề mặt lớp cát lọc và làm tăng nhanh tổn thất áp lực trong bể lọc, nhờ vậy kéo dài được chu kỳ lọc và giảm được chi phí vận hành rửa lọc.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm tại Nhà máy nước Thái Bình

Ghi chú: Kết quả được tổng hợp từ 110 mẫu thí nghiệm; Giá trị độ đục nước thô được đọc theo trục tung bên trái, độ đục nước sau xử lý - theo trục tung bên phải; Hàm lượng chất keo tụ (PAC) tối ưu được xác định bằng thí nghiệm Jar Test; Và thí nghiệm keo tụ - lắng tĩnh được thực hiện bằng cách lấy nước từ ngăn phản ứng của mô hình và để lắng trong ống hình côn dung tích 1 lít trong vòng 2 giờ.

Kết quả thực nghiệm ở Nhà máy nước Thái Bình cũng cho thấy quá trình tuyển nổi đạt hiệu suất cao và ổn định với độ đục nước nguồn < 500 NTU (cho phép đạt độ đục trong nước sau tuyển nổi < 3 NTU), và

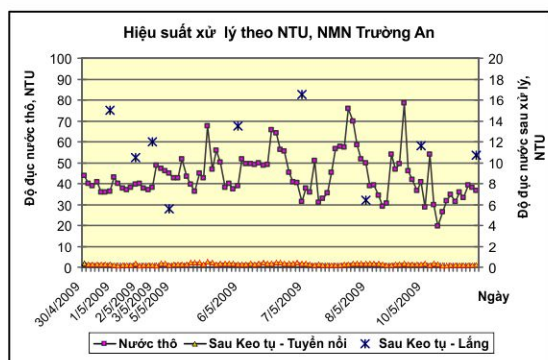
đạt chất lượng nước tốt nhất với độ đục nước nguồn < 150 NTU (độ đục nước sau tuyển nổi < 2 NTU). Với độ đục > 500 NTU (các tháng mùa lũ), hiệu suất của cả quá trình truyền thống keo tụ - lắng cũng giảm. Trong trường hợp này, nên sơ lắng nước trước khi xử lý bằng hóa chất và lắng hoặc tuyển nổi để nâng cao hiệu suất xử lý và giảm chi phí hóa chất, chi phí xử lý bùn cặn, ... Đặc biệt đối với sông Hồng, có hàm lượng cặn sét lớn vào mùa lũ với trọng lượng riêng tương đối nặng và điện tích âm, sơ lắng sẽ loại bỏ các hạt sét này, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tuyển nổi hệ keo còn lại trong nước.

Nhóm nghiên cứu cũng đã thử nghiệm hiệu quả xử lý nước bằng tuyển nổi đối với thuốc trừ sâu, và so sánh với quá trình keo tụ - lắng. Mẫu thuốc trừ sâu được lựa chọn là Vitashields 40 EC, có thành phần chủ yếu là Chlorpyrifos 40% (w/w), thành phần hóa học Diethoxy-sulfanylidene-(3,5,6-trichloropyridin-2-yl)oxy-phosphorane, công thức hóa học $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$. Đây là một loại thuốc trừ sâu phổ biến trên thị trường Việt Nam, có chứa cả gốc Cl và P. Kết quả thí nghiệm cho thấy tuyển nổi áp lực cho phép loại bỏ thuốc trừ sâu ra khỏi nước (hiệu suất đạt 99%), tốt hơn so với quá trình keo tụ - lắng truyền thống. Đây là một ưu điểm quan trọng của công nghệ tuyển nổi, khi nâng cao chất lượng nước là một yêu cầu thiết yếu đối với nhiều nguồn nước cấp hiện nay.

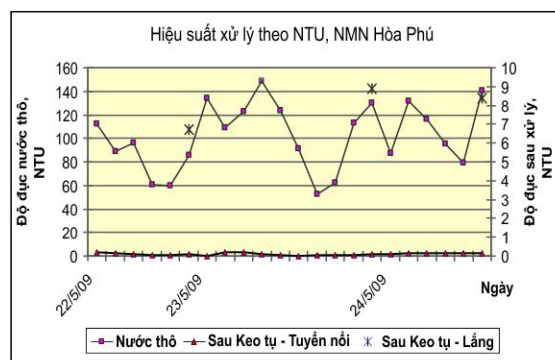
4.2. Thử nghiệm tại Công ty Cấp nước Vĩnh Long

Tiếp tục thử nghiệm với nguồn nước mặt sông Tiền, sông Hậu vùng đồng bằng sông Cửu Long, trong khoảng thời gian từ tháng 4 đến tháng 5/2009, nhóm nghiên cứu đã phối hợp với Công ty Cấp nước Vĩnh Long lắp đặt và vận hành mô hình tuyển nổi pilot tại 2 nhà máy nước Trường An (công suất 10.000 m³/ngày, nguồn nước sông Tiền) và Hòa Phú (công suất 1.200 m³/ngày, nguồn nước sông Bồ Kê, một nhánh của sông Hậu).

Mô hình được vận hành với chế độ liên tục, lưu lượng nước xử lý ~ 1 m³/h. Kết quả xử lý nước theo độ đục, so sánh giữa phương án keo tụ - lắng, hiện đang áp dụng tại nhà máy nước Trường An (bể lắng ngang) và Hòa Phú (bể lắng có vách ngăn mỏng - lamén) với phương án tuyển nổi áp lực được nêu trên Hình 7, 8. Hiệu quả xử lý theo hàm lượng chất hữu cơ và vi sinh vật được trình bày trên Bảng 1.



Hình 7. Kết quả thí nghiệm tại Nhà máy nước Trường An



Hình 8. Kết quả thí nghiệm tại Nhà máy nước Hòa Phú

Bảng 1. So sánh hiệu suất xử lý nước theo chất hữu cơ và vi sinh vật

Ngày	Độ oxy hóa $KMnO_4$, mg O_2 /l			<i>E. Coli</i> (MPN/100 ml)		
	Nước thô	Sau lắng ngang	Sau tuyển nổi	Nước thô	Sau lắng ngang	Sau tuyển nổi
5/5/2009	1.75	1.25	0.7	430	150	40
6/5/2009	1.7	1.55	0.7	930	230	90
7/5/2009	2	1.9	0.7	930	280	110
11/5/2009	2.25	1.95	0.7			



Hình 9. Hệ thống tuyển nổi áp lực tại Nhà máy nước Trường An



Hình 10. Bọt tập trung trên bề mặt ngăn tuyển nổi

Kết quả nghiên cứu thử nghiệm cũng cho thấy tuyển nổi áp lực cho phép đạt chất lượng nước tốt hơn rõ rệt so với các phương án lắng truyền thống, theo các chỉ tiêu độ đục (NTU), hàm lượng chất hữu cơ (độ oxy hóa KMnO_4) và các chỉ tiêu vi sinh (E.Coli). Với độ đục trong nước thô sông Tiền dao động từ 20 - 80 NTU, trung bình 44 NTU, độ đục sau tuyển nổi đạt 0,8 - 2,5 NTU, trung bình đạt 1,6 NTU, trong khi chất lượng nước sau bể lắng tại nhà máy đạt 5,6 - 16,5 NTU, trung bình 11,3 NTU. Hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ bằng keo tụ - lắng đạt trung bình 13,9% so với 63,2% bằng tuyển nổi áp lực. Với độ đục trong nước thô Bô Kê (một nhánh của sông Hậu) dao động từ 52,7 - 150 NTU, trung bình 102 NTU, độ đục sau tuyển nổi đạt 0,2 - 3,5 NTU, trung bình đạt 1,8 NTU, trong khi chất lượng nước sau bể lắng tại nhà máy đạt 6,7 - 8,9 NTU, trung bình 8,0 NTU.

4.3. Kết quả tính toán kinh tế, so sánh phương án tuyển nổi áp lực với lắng truyền thống

Kết quả tính toán sơ bộ, áp dụng thử cho nhà máy nước mặt sông Hồng, công suất $150.000 \text{ m}^3/\text{ngày}$ cho thấy: phương án công nghệ: sơ lắng - keo tụ - lắng - lọc cần 1,5 ha xây dựng nhà máy; phương án sơ lắng - keo tụ - tuyển nổi - lọc cần 1,04 ha xây dựng nhà máy (*diện tích giảm 30,7%*). Sân phơi bùn trong phương án truyền thống cần 9,16 ha, phương án tuyển nổi cần 7,13 ha (*tiết kiệm 22,2%*). Chi phí đầu tư xây dựng theo phương án truyền thống: 870 tỷ VNĐ, phương án tuyển nổi áp lực: 800 tỷ (*giảm 9%*). Chi phí sản xuất 1 m^3 nước (chưa bao gồm hoàn trả vốn đầu tư) theo phương án truyền thống là 2.700 VND/m^3 , phương án tuyển nổi áp lực là 2.600 VND/m^3 (*giảm 3,7%*). Chi phí xây dựng với công nghệ tuyển nổi áp lực thấp hơn nhờ giảm đáng kể diện tích xây dựng công trình và các thiết bị lắp đặt trong công trình lắng và xử lý bùn cặn. Chi phí vận hành giảm, mặc dù công nghệ tuyển nổi đòi hỏi bơm tuần hoàn và máy nén khí cho thùng bão hòa, nhờ giảm chi phí cho rửa lọc (chu kỳ lọc tăng), chi phí vận hành bơm bùn cặn, hóa chất xử lý bùn cặn.

Kết quả tính toán sơ bộ với các trạm xử lý nước công suất nhỏ ($1.500 \text{ m}^3/\text{ngày}$) và công suất vừa ($15.000 \text{ m}^3/\text{ngày}$) cũng cho kết quả tương tự: tuyển nổi áp lực cũng cho phép tiết kiệm diện tích và giảm chi phí đầu tư xây dựng cũng như chi phí vận hành, bảo dưỡng so với bể lắng truyền thống.



5. Kết luận, kiến nghị

Kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường, với nguồn nước mặt hệ thống sông Hồng - sông Thái Bình và sông Cửu Long cho thấy tuyển nổi áp lực, có kết hợp với keo tụ bằng hóa chất, cho phép đạt chất lượng nước tốt hơn nhiều so với keo tụ - lắng ngang, lắng lamen hay keo tụ - lắng trong có tầng cặn lơ lửng, với cùng liều lượng hóa chất sử dụng, theo các chỉ tiêu về độ đục, độ oxy hóa, thuốc trừ sâu và vi sinh vật.

Với nguồn nước sông Trà Lý (hạ lưu sông Hồng), độ đục dao động từ 81 đến 470 NTU, độ đục thấp nhất sau tuyển nổi đạt 0,3 NTU, trung bình đạt 1,3 NTU. Chất lượng nước sau tuyển nổi + lọc luôn thấp (thấp nhất 0,1 NTU, trung bình 0,7 NTU), cho phép kéo dài chu kỳ lọc lên 3 - 4 ngày.

Với độ đục trong nước sông Tiền dao động từ 20 - 80 NTU, trung bình 44 NTU, độ đục sau tuyển nổi đạt 0,8 - 2,5 NTU, trung bình đạt 1,6 NTU. Hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ bằng keo tụ - lắng đạt trung bình 13,9% so với 63,2% bằng tuyển nổi áp lực. Với độ đục trong nước thô Bô Kê (một nhánh của sông Hậu) dao động từ 52,7 - 150 NTU, trung bình 102 NTU, độ đục sau tuyển nổi đạt 0,2 - 3,5 NTU, trung bình đạt 1,8

NTU. Sự cải thiện chất lượng nước rõ rệt sau tuyển nổi so với lắng dẫn đến nhiều ưu thế như kéo dài chu kỳ lọc, giảm chi phí rửa lọc, chi phí xử lý bùn, giảm thiểu nguy cơ tạo các sản phẩm phụ độc hại khi khử trùng bằng Clo, nhờ vậy làm giảm giá thành và nâng cao chất lượng nước thương phẩm.

Kết quả nghiên cứu cho phép đề xuất quy trình công nghệ xử lý nước, áp dụng công nghệ tuyển áp lực như sau: với độ đục nước nguồn < 500 NTU: keo tụ - tuyển nổi - lọc nhanh - khử trùng. Với độ đục nước nguồn > 500 NTU: sơ lắng - keo tụ - tuyển nổi - lọc nhanh - khử trùng. Tuyển nổi áp lực cho phép đạt hiệu suất cao và ổn định nhất (độ đục nước sau tuyển nổi luôn < 2 NTU) với độ đục nước nguồn < 150 NTU.

Công nghệ tuyển nổi áp lực áp dụng cho xử lý nước cấp sinh hoạt với nguồn nước mặt lần đầu tiên đã được nghiên cứu thành công ở Việt Nam ở quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot ngoài hiện trường. Nghiên cứu đã mở ra một hướng đi mới để nâng cao chất lượng nước cấp tại các nhà máy nước hiện có cũng như xây dựng các nhà máy xử lý nước mới, bằng cách thay thế hay cải tạo các bể lắng truyền thống bằng bể tuyển nổi áp lực, với nhiều ưu việt hơn trong xây dựng, vận hành quản lý. Phương án này đặc biệt thích hợp đối với các trạm xử lý nước sông có độ đục thấp, mức độ ô nhiễm hữu cơ cao, các nguồn nước mặt có độ màu, hàm lượng rong tảo cao như nước hồ, đầm, hay ở những nơi có điều kiện sơ lắng trước quá trình keo tụ - tạo bông. Những trang thiết bị cần thiết cho hệ thống tuyển nổi có thể được thiết kế, chế tạo, lắp đặt trong nước hay nhập ngoại. Bên cạnh đó, tuyển nổi áp lực cũng mở ra một hướng giải pháp mới cho việc quản lý bùn cặn từ các trạm xử lý nước cấp nhằm tiết kiệm được quỹ đất xây dựng và giảm chi phí quản lý, vận hành trạm xử lý.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Việt Anh, Phạm Văn Ánh, Mai Văn Tiêm, Nguyễn Hữu Tuyên, Nguyễn Mạnh Hùng và nhóm nghiên cứu (2008), *Báo cáo tổng hợp, đề tài: Nghiên cứu phát triển công nghệ tuyển nổi áp lực để xử lý nước và bùn cặn trong xử lý nước cấp đô thị với nguồn nước mặt ở Hà Nội*, Đề tài NCKH và PTCN cấp thành phố.
2. Nguyễn Việt Anh (1995), *Xử lý nước thải công nghiệp chứa dầu, mỡ bằng công nghệ tuyển nổi áp lực*, Luận án TS, Trường ĐHXD Matxcova, LB Nga.
3. James K. Edzwald (2007), "Fundamentals of dissolved air flotation", *Journal NEWWA*, Vol.121 (2), pp. 89-112.
4. The Proceedings of the 5th IWA International Conference: Flotation in Water and Wastewater Treatment. Seoul, Korea, 2007.