

KHẢO SÁT XỬ LÝ NƯỚC NGẦM BẰNG CÔNG NGHỆ PLASMA LẠNH

Lê Hoàng Việt⁽¹⁾, Nguyễn Võ Châu Ngân⁽¹⁾, Đặng Huỳnh Giao⁽¹⁾, Nguyễn Văn Dũng⁽¹⁾

⁽¹⁾ Trường Đại học Cần Thơ

Ngày nhận 10/12/2016; Ngày gửi phản biện: 20/1/2017; Chấp nhận đăng: 6/4/2017

Email: nvcngan@ctu.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu được tiến hành nhằm khảo sát khả năng áp dụng công nghệ plasma lạnh để xử lý nước ngầm bị ô nhiễm sắt, arsen và E. coli. Các thí nghiệm được tiến hành trên mô hình cột plasma quy mô phòng thí nghiệm với nguồn nước ngầm được gây ô nhiễm nhân tạo. Kết quả thí nghiệm cho thấy tải nạp và thời gian trữ nước sau xử lý ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý của hệ thống. Cột plasma nên được thiết kế với lưu lượng tối thiểu 2 L/phút để cung cấp đủ chiều dày lớp nước giúp tăng điện trường trong khe hở điện cực và làm tăng công suất và độ ổn định của plasma. Hiệu suất xử lý sắt, arsen và E. Coli trong nước ngầm của hệ thống plasma 2 L/phút rất cao, lần lượt đạt các giá trị 99%, 99,4%, 93,8%, và không khác biệt đáng kể giữa các thời gian trữ nước 10 phút, 20 phút, 30 phút. Nước sau xử lý nên tiếp tục cho lưu ở bồn chứa trong khoảng 20 phút để ozone và các gốc HO[•] tiếp tục phản ứng với các chất ô nhiễm nhằm đạt hiệu quả xử lý cao và nước sau xử lý không còn dư lượng của ozone.

Từ khóa: arsen, công nghệ plasma, E. Coli, nước dưới đất, sắt

Abstract

SURVEY AND TREATMENT GROUNDWATER BY PLASMA TECHNOLOGY

The study aim to evaluate the groundwater treatment efficiency on iron, arsenic, E. Coli applying plasma technology. The plasma system was design to operate in lab scale conditions with artificial groundwater. The results showed that the flow rate of plasma column and the storing time of treated water will be effects to the treatment efficiency of the system. The plasma column should design with the flow rate of 2 L/minutes to fulfill the water layer that increasing the electric field between the electrodes slot, and accumulate the electric power and plasma power. The treatment efficiencies of iron, arsenic and E. Coli at the 2 L/minutes plasma system very high with numbers of 99%, 99.4%, 93.8%, but there is not significant different between treatment with storing time of 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes. The water after treated should be store in at least 20 minutes so that ozone and HO[•] continue react to contaminant matters, the treatment efficiency will be better and limited residue from ozone.

1. Giới thiệu

Theo Tổng Cục Môi trường (2010), nước dưới đất tại một số vùng ở Việt Nam đang đối mặt với các vấn đề như xâm nhập mặn trên diện rộng, ô nhiễm vi sinh và ô nhiễm kim loại nặng nghiêm trọng do khai thác không có qui hoạch và không có biện pháp bảo vệ nguồn nước. Cũng

theo Tổng Cục Môi trường (2014), nước dưới đất ở một số tỉnh thuộc đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã bị ô nhiễm NO_3^- , NH_4^+ , kim loại nặng (Fe, As) và đặc biệt ô nhiễm vi sinh (Coliform, *E. Coli*). Trong khi đó khoảng 13,5% dân số Việt Nam (10 - 15 triệu người) đang sử dụng nước sinh hoạt từ giếng khoan. Nhiều giếng khoan ở Đồng Tháp và An Giang và một số vùng khác cũng đã phát hiện arsen trong nước (Nguyễn Việt Kỳ, 2009). Người bị nhiễm arsen có thể có những biểu hiện như thay đổi màu da, sự hình thành của các vết cứng trên da, ung thư da, ung thư phổi, ung thư thận và bàng quang cũng như có thể dẫn tới hoại tử.

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu xử lý arsen trong nước ngầm đã và đang áp dụng. Các giải pháp xử lý có thể kể đến như đông tụ kết hợp lọc, khử bằng than hoạt tính, khử bằng vôi sống, hay dùng phương pháp thẩm thấu ngược. Trong điều kiện Việt Nam, một số giải pháp xử lý được nghiên cứu và triển khai như hệ thống lọc có giàn phun mưa với sản phẩm được bán trên thị trường là ArsenFREE (T.H., 2010). Theo Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, việc sử dụng phương pháp oxy hóa thông thường và ánh sáng mặt trời có thể loại trừ được các tạp chất, đặc biệt là arsen ra khỏi nước ngầm (Bùi Mạnh Hà, 2006). Các gia đình sử dụng nước giếng khoan nên xử lý bằng phương pháp sục khí, giàn mưa, bồn lắng, lọc... vừa để khử sắt, vừa loại bỏ được arsen trong nước. Xử lý nước bằng plasma lạnh là một công nghệ tương đối mới, là phương pháp sử dụng hiện tượng điện phân nước ở hiệu điện thế cao tạo nên những gốc hóa học có tính ô-xy hóa mạnh, có thể ô-xy hóa các kim loại nặng chuyển chúng từ dạng khử sang dạng ô-xy hóa và kết tủa, sau đó các chất kết tủa được lắng và lọc để đưa ra khỏi nước. Các chất ô-xy hóa mạnh này và tia UV (tạo ra từ hồ quang điện) còn có thể tiêu diệt các vi sinh vật. Nghiên cứu được tiến hành nhằm khảo sát khả năng xử lý các thành phần ô nhiễm trong nước ngầm của thiết bị plasma lạnh qui mô phòng thí nghiệm, tìm ra các thông số vận hành cần thiết như tải nạp nước, thời gian trữ nước hợp lý phục vụ cho việc chế tạo thiết bị ứng dụng vào thực tế.

2. Phương pháp nghiên cứu

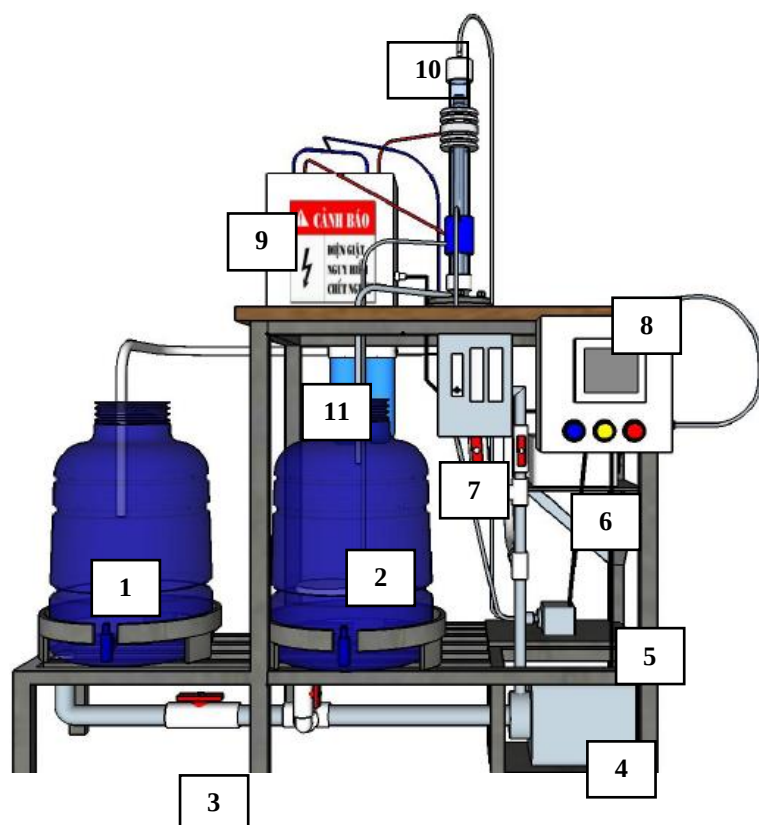
2.1. Chế tạo thiết bị

Mô hình hệ thống xử lý nước ngầm bằng plasma lạnh được thiết kế và chế tạo theo kiểu bể phản ứng có dòng chảy liên tục từ trên xuống tạo thành màng nước trên bề mặt của điện cực tạo plasma. Diện tích bề mặt của bản điện cực nơi nước chảy qua là $51,81 \text{ cm}^2$. Nguyên tắc hoạt động của hệ thống:

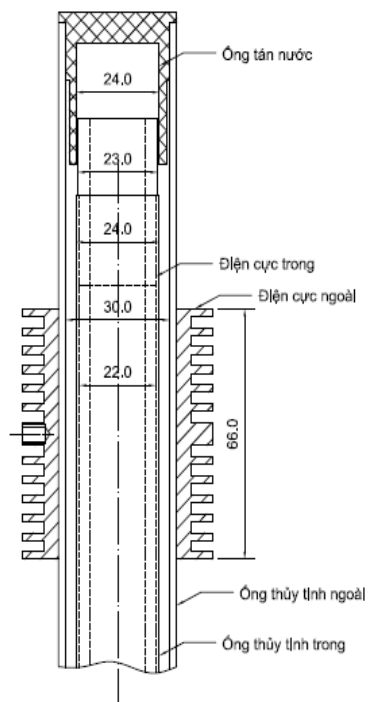
- Đầu tiên nước cần xử lý được cho vào bình chứa 1, sau đó bơm vào buồng tạo plasma (sử dụng bơm có thể điều chỉnh lưu lượng), buồng plasma được cấp khí thêm bằng bơm cấp khí. Sau khi nước được xử lý bằng plasma sẽ chảy vào bình chứa 2, từ bình chứa 2 nước sẽ được bơm qua bộ lọc cotton 5 μm và cột lọc than hoạt tính.

- Điện áp đầu vào ảnh hưởng đến điện áp đầu ra của bộ nguồn từ đó ảnh hưởng đến quá trình tạo plasma của buồng plasma. Mức độ ảnh hưởng của điện áp đầu vào đến điện áp đầu ra của bộ nguồn được đo đạc và trình bày bằng Hình 3.

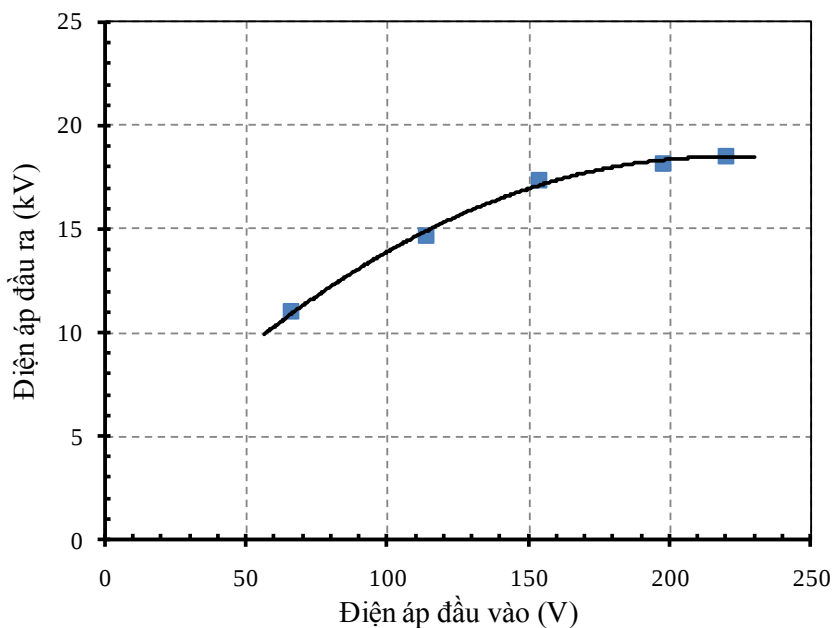
Khi bơm nước qua buồng plasma ở mức 1 L/phút do lưu lượng thấp nên lớp nước chảy trên bề mặt điện cực không ổn định. Khi lưu lượng nước tăng lên 2 L/phút, quan sát thấy lớp nước chảy ổn định hơn và plasma xuất hiện hầu như trên toàn bộ bề mặt tích của khe hở điện cực. Điều này là do sự tăng chiều dày lớp nước nên làm giảm khe hở điện cực, do đó điện trường trong khe hở điện cực tăng đã làm tăng công suất và độ ổn định của plasma.



Hình 1 Sơ đồ hệ thống xử lý nước ngầm bằng plasma lạnh
(1) bình chứa nước cần xử lý, (2) bình chứa nước sau xử lý, (3) van nước, (4) máy bơm nước, (5) bơm cấp khí cho buồng plasma, (6) máy biến áp, (7) lưu lượng kế, (8) tủ điện, (9) nguồn cao áp, (10) buồng tạo plasma, (11) bộ lọc



Hình 2 Cấu tạo buồng plasma



Hình 3. Ảnh hưởng của điện áp đầu vào đến điện áp đầu ra của bộ nguồn

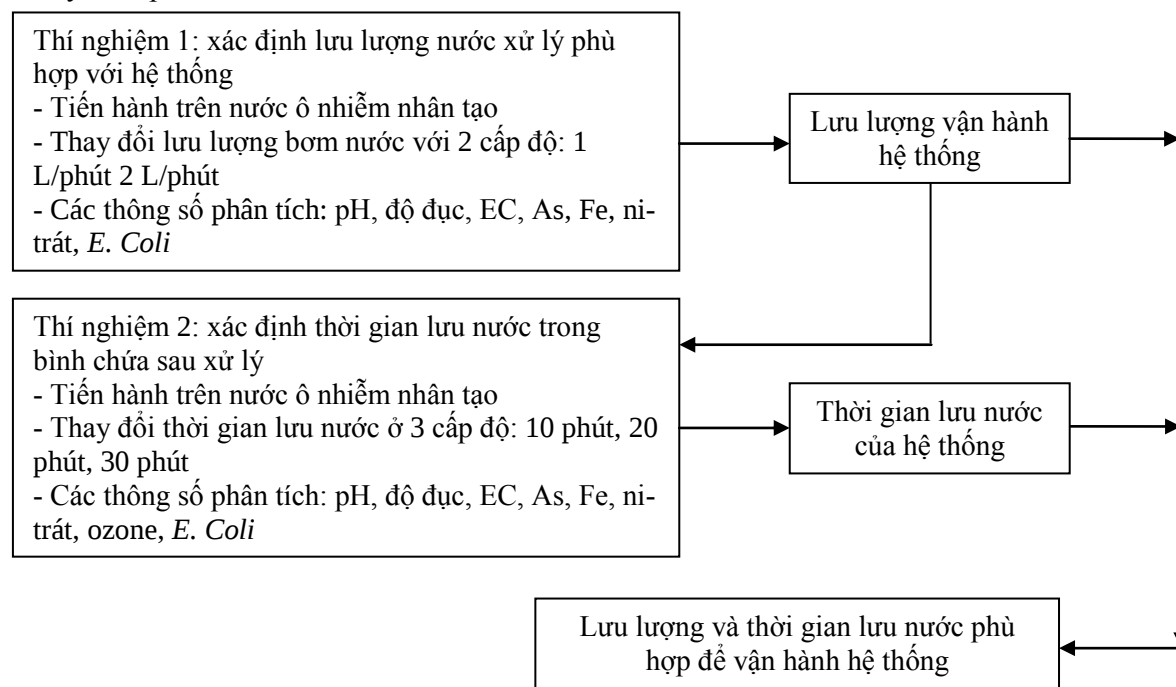
Bảng 1. Tải nạp nước cho hệ thống plasma theo lưu lượng

Lưu lượng (m ³ /phút)	Diện tích điện cực (m ²)	Tải nạp nước		
		m ³ ×m ⁻² ×phút ⁻¹	m ³ ×m ⁻² ×giờ ⁻¹	m ³ ×m ⁻² ×ngày ⁻¹
0,001	0,005181	0,19	11,58	277,94
0,002	0,005181	0,39	23,16	555,88

2.2. Bố trí thí nghiệm

Sơ đồ bố trí các thí nghiệm trong nghiên cứu này được trình bày trong Hình 4. Các thí nghiệm nhằm tìm ra mức lưu lượng và thời gian lưu nước trong bình chứa nước đầu ra phù hợp để vận hành hệ thống.

Mô hình bể xử lý được vận hành theo kiểu bể phản ứng liên tục với chế độ dòng chảy từ trên xuống tạo thành màng nước xung quanh hệ điện cực tạo plasma. Nước ô nhiễm nhân tạo được sử dụng để tiến hành thí nghiệm này. Nước sau khi qua cột plasma được lưu lại trong bình chứa một thời gian để các phản ứng tiếp tục xảy ra; sau đó nước được bơm qua cột lọc cotton để lấy mẫu phân tích.



Hình 4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm định hướng

2.3. Vận hành mô hình và phân tích mẫu

Trong thí nghiệm này mẫu nước giếng được thu thập và pha trộn thêm với hóa chất để gây ô nhiễm nhân tạo cho nguồn nước thí nghiệm. Các hóa chất được mua tại các cửa hàng hóa chất gồm có: (1) Phèn sắt FeSO₄.7H₂O, xuất xứ Trung Quốc, độ tinh khiết 99%; (2) Phèn sắt FeCl₃.6H₂O, xuất xứ Trung Quốc, độ tinh khiết 99%; (3) Acide asenic (H₃AsO₄), xuất xứ Trung Quốc. Trước và sau khi vận hành hệ thống xử lý plasma, mẫu nước được thu thập và phân tích tại Phòng thí nghiệm (PTN) của Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên (đối với thông số pH, EC, độ đục, Fe, ozone, ni-trát), tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu

chuẩn Đo lường Chất lượng Cần Thơ - CATECH (thông số *E. Coli*) và tại Trung tâm Dịch vụ Phân tích thí nghiệm TP. HCM - CASE (thông số As).

Bảng 2 Phương pháp phân tích các thông số ô nhiễm

Thông số	Phương pháp phân tích
pH	TCVN 6492:1999
Độ đục	TCVN 6184:1996
Fe	TCVN 6177:1996
As	TCVN 6626:2000
Ni-trát	TCVN 6180:1996
E.Coli	TCVN 6187-1:1996

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thí nghiệm xác định lưu lượng nước xử lý phù hợp với hệ thống

Thí nghiệm được tiến hành với cùng mẫu nước được tuần tự cho nhiễm các chất ô nhiễm khác nhau, sau đó tuần tự tiến hành xử lý ở các cấp lưu lượng từ 1 L/phút và 2 L/phút. Nước sau xử lý được trữ tại bình chứa nước đầu ra trong 10 phút, sau đó bơm qua các cột lọc và đem đi phân tích. Lý do trữ nước lại trong bình chứa là do sau khi qua buồng plasma, nước còn chứa nhiều ozone hòa tan và cần phải có thêm thời gian để các phản ứng ô-xy hóa sắt tạo kết tủa hoàn toàn.

Bảng 3. Nồng độ các thông số ô nhiễm theo lưu lượng bơm qua buồng plasma

Chỉ tiêu	Đơn vị	Trước khi xử lý	Sau xử lý		QCVN 01:2009/BYT*
			1 L/phút	2 L/phút	
pH	-	6,5	6,5	6,5	6,5 - 8,5
EC	µs/cm	810	820	820	-
Độ đục	NTU	14,1	2,82	3,03	2
Ni-trát	mg/L	8,8	6,8	12,17	50
Fe	mg/L	3,91	0,10	0,06	0,3
Arsen	mg/L	0,03	0,01	0,02	0,01
<i>E. Coli</i>	MPN/100 mL	900	< 3	< 3	0

* QCVN 01:2009/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ăn uống

Thông số pH: pH đóng vai trò quan trọng trong việc tạo thành ozone từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý nước. Nồng độ của ozone sẽ giảm từ 10 - 12% khi pH tăng từ 7,0 lên 10,5 do ozone bị phân hủy nhanh trong môi trường kiềm (von Gunten, 2003). Trong thí nghiệm này pH đầu vào là 6,5, không đổi ở 2 mức lưu lượng và không ảnh hưởng đến nồng độ ozone.

Thông số EC: Độ dẫn điện của nước (EC) đóng một vai trò quan trọng trong việc tạo thành hồ quang điện và tạo các hoạt chất. Trong nước khử ion hiện tượng phóng điện tương đối yếu. Nồng độ của ion tạo độ dẫn điện trong khoảng 10 - 80 µs/cm sẽ làm tăng hiện tượng phóng điện, tăng cường độ dòng điện, tăng chiều dài hồ quang và tăng sản xuất các gốc hoạt tính cao. Tuy nhiên khi tăng độ dẫn điện của nước lên hơn giá trị tối ưu 10 - 80 µs/cm sẽ làm giảm tốc độ sản xuất các gốc hoạt tính cao (Malik *et al.*, 2001). Giá trị EC của nước đưa vào thí nghiệm là 810 µs/cm cao hơn nhiều so với mức tối ưu có thể làm giảm hiệu quả tạo các gốc hoạt tính của plasma, tuy nhiên nồng độ sắt vẫn giảm rất nhiều, cho thấy khả năng loại sắt của phương pháp plasma lạnh rất cao. Một ghi nhận khác là tuy quá trình plasma tạo các kết tủa và sau đó

các kết tủa này bị loại bỏ bằng cột lọc nhưng EC của nước không giảm, điều này là do các gốc hoạt tính cao ô-xy hóa các hạt keo hay chất rắn lơ lửng trong nước biến chúng thành các chất đơn giản, hòa tan và quá trình điện phân tạo ra các ion, do đó độ dẫn điện gần như không giảm.

Thông số độ đục: Độ đục của nước sau xử lý giảm thấp ở cả 2 ngưỡng lưu lượng và đạt giá trị cho phép của QCVN 2:2009/BYT (5 NTU) đối với nước sử dụng trong sinh hoạt. Độ đục của nước giảm là do trong quá trình hình thành kết tủa $\text{Fe}(\text{OH})_3$, các hạt keo và chất rắn lơ lửng sẽ bị kết dính vào sản phẩm này và lắng xuống ở thùng chứa 2, sau đó bị giữ lại trong cột lọc cotton khi bơm nước ra ngoài. Hiệu suất loại bỏ độ đục ở mức lưu lượng 2 L/phút đạt 78,51% thấp hơn hiệu suất ở lưu lượng 1 L/phút đạt 80%, điều này có thể là do thí nghiệm 2 L/phút tiến hành sau, lúc đó cột lọc đã bị các chất ô nhiễm bám vào làm giảm hiệu quả lọc.

Hiệu quả loại bỏ nitrat: Quá trình xử lý nước bằng plasma tạo ra một phụ phẩm ảnh hưởng đến chất lượng nước đó là N-NO_3^- . Khi không khí chứa hỗn hợp O_2 và N_2 đi qua khu vực phóng điện sẽ tạo thành các ô-xít ni-tơ bao gồm NO , NO_2 , N_2O_3 , and N_2O_5 (Fridman, 2008).

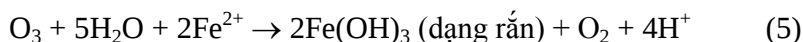


Trong hệ thống plasma lạnh với nồng độ ozone trong nước đầu ra cao, nó sẽ ô-xy hóa NO chủ yếu thành N_2O_5 sau đó tạo thành a-xít ni-tríc trong nước theo phản ứng sau:

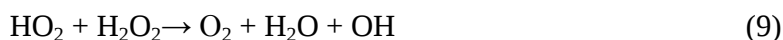
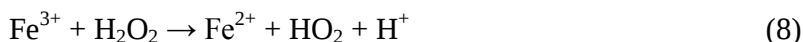
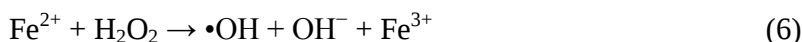


Nghiên cứu của Kornev *et al.* (2013) cho thấy hệ thống plasma lạnh (loại phóng thích hồ quang) chỉ tạo thành ni-trát. Trong thí nghiệm này nồng độ ni-trát trong nước sau xử lý còn thấp và đạt ngưỡng cho phép của tiêu chuẩn nước sử dụng cho ăn uống (50 mg/L).

Hiệu quả loại bỏ sắt: Trong thí nghiệm này nước ngầm được cho nhiễm sắt bằng $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ với nồng độ sắt tổng đạt 3,91 mg/L - tương đương giá trị 4 mg/L là mức ô nhiễm trung bình tham khảo tại một số giếng khoan ở ĐBSCL (Lê Hoàng Việt *et al.*, 2013). Hiệu suất loại bỏ Fe^{2+} của hệ thống plasma lạnh rất cao đạt trên 97%, tất cả nồng độ Fe sau xử lý ở cả 2 cấp lưu lượng đều nằm dưới ngưỡng quy định bởi tiêu chuẩn nước ăn uống QCVN 01:2009/BYT (0,3 mg/L). Hiệu suất xử lý sắt ở lưu lượng 1 L/phút đạt 97,57%, và ở lưu lượng 2 L/phút đạt 98,59%. Nồng độ Fe^{2+} trong nước xử lý giảm là do buồng plasma tạo ra ozone, ozone sẽ ô-xy hóa Fe^{2+} thành Fe^{3+} kết tủa theo phương trình phản ứng dưới đây:

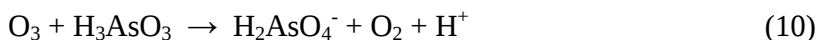


Cũng cần nói thêm là quá trình tạo plasma cũng tạo nên H_2O_2 , do đó có thể tạo thành các phản ứng hình thành Fe^{2+} từ Fe^{3+} làm giảm hiệu quả loại bỏ sắt (Cheng *et al.*, 2007).



Hiệu quả loại bỏ arsen: Trong thí nghiệm này nước ngầm được cho nhiễm arsen với nồng độ ban đầu là 0,032 mg/L vượt gấp 3 lần so với QCVN 02:2009/BYT (0,01 mg/L). Kết

qua phân tích mẫu cho thấy nồng độ của arsen sau xử lý ở cả 2 ngưỡng lưu lượng thí nghiệm đều giảm, nhưng chỉ thí nghiệm ở lưu lượng 1 L/phút cho nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn. Nồng độ arsen giảm chủ yếu là do hiệu quả của quá trình ô-xy hóa As^{3+} dạng hòa tan thành As^{5+} dạng kết tủa bởi ozone theo phương trình được đề nghị bởi Johnston & Heijnen (xxx) với mẫu nước thí nghiệm có giá trị pH ~ 6,5.



Hiệu quả loại bỏ vi sinh vật: Trong thí nghiệm này nước ngầm được cho nhiễm *E. Coli* bằng nước thải sinh hoạt, sau khi cho nhiễm mật độ *E. Coli* ban đầu phân tích được là 900 MPN/100 mL. Sau khi xử lý qua hệ thống plasma lạnh, nước sau xử lý ở cả 2 ngưỡng lưu lượng thí nghiệm đều không phát hiện *E. Coli*. Về mặt khử trùng, theo Malik *et al.* (2001) hiện tượng phóng điện tạo ra điện trường, sóng xung kích (shock wave), tia UV, O_3 , H_2O_2 và gốc $HO^\bullet$ đều có khả năng tiêu diệt các vi sinh vật. Sự xuất hiện đồng thời các yếu tố này làm tăng hiệu quả khử trùng. Theo Locke *et al.* (2006) hiệu quả khử trùng nước của các yếu tố này đã được nghiên cứu, O_3 và UV có khả năng khử trùng trực tiếp, sóng xung kích làm hư màng của tế bào, gốc $HO^\bullet$ làm tổn hại tế bào bởi quá trình ô-xy hóa.

3.2. Thí nghiệm xác định thời gian lưu nước trong bình chứa sau xử lý

Trong thí nghiệm 1, nước sau khi xử lý được trữ lại trong 10 phút rồi mới phân tích để đánh giá hiệu quả xử lý. Việc trữ nước trong 10 phút có thể chưa phát huy tối đa khả năng chuyển hóa ozone trong nước. Do đó ở thí nghiệm này chúng tôi muốn tìm hiểu chuyển hóa ozone trong nước sau xử lý ở các thời gian trữ nước khác nhau. Các mốc thời gian được chọn để làm thí nghiệm gồm 10 phút, 20 phút và 30 phút.

Hiệu quả loại bỏ các chỉ tiêu ô nhiễm ở lưu lượng 1 L/phút: Thí nghiệm được tiến hành với cùng mẫu nước được tuần tự cho nhiễm các chất ô nhiễm khác nhau, sau đó tiến hành xử lý ở cùng một lưu lượng là 1 L/phút. Với giả thuyết ban đầu là nước sau khi qua buồng plasma vẫn còn chứa ozone và các gốc tự do, do đó trong bình chứa vẫn còn xảy ra các phản ứng. Nước sau xử lý được lưu trong bình chứa nước đầu ra ở các thời gian khác nhau, sau đó bơm qua các cột lọc và đem phân tích.

Bảng 4. Nồng độ các chỉ tiêu theo dõi của nước xử lý ở lưu lượng 1 L/phút

Chỉ tiêu	Đơn vị	Trước xử lý	Sau xử lý và trữ trong bình chứa			QCVN 01:2009/BYT*
			10 phút	20 phút	30 phút	
pH	-	6,4	6,9	6,9	7,0	6,5 - 8,5
EC	$\mu\text{S/cm}$	1230	1220	1210	1200	-
Độ đục	NTU	15,30	0,99	1,16	1,95	2
Ni-trát	mg/L	2,4	7,7	9,9	8,2	50
Fe	mg/L	3,720	0,045	0,026	0,029	0,3
Arsen	mg/L	0,1	0,01	0,006	0,006	0,01
Ozone	mg/L	0,14	0,13	0,06	0	-
<i>E. Coli</i>	MPN/100 mL	15000	93	230	< 3	0

* QCVN 01:2009/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ăn uống

Giá trị pH: kết quả đo đặc cho thấy giá trị pH trong nước sau xử lý có xu hướng tăng theo thời gian lưu trong bình. Trước khi xử lý, pH nước là 6,4, sau khi xử lý và lưu trong bình chứa đến 20 phút, pH tăng đến 6,9. Nếu lưu nước đến 30 phút thì giá trị pH cũng chỉ tăng thêm đến 7,0.

Độ dẫn điện: giá trị EC của nước giảm rất ít sau khi xử lý và theo thời gian trữ nước trong bình chứa. Độ dẫn điện của nước sau khi xử lý giữ ổn định là do các gốc hoạt tính cao oxy hóa các hạt keo hay chất rắn lơ lửng trong nước biến chúng thành các chất đơn giản, hòa tan và quá trình điện phân tạo ra các ion.

Độ đục: độ đục trong nước sau khi xử lý bằng plasma lạnh và trữ 10 phút giảm từ 15,30 NTU xuống còn 0,99 NTU (đạt hiệu suất 93,53%). Tuy nhiên theo thời gian trữ nước đã xử lý trong bình chứa thì độ đục lại tăng lên theo thời gian, đạt mức 1,16 NTU ở 20 phút và 1,95 NTU ở 30 phút trữ nước sau khi xử lý. Điều này có thể do cột lọc bị các chất ô nhiễm bám vào làm giảm hiệu quả xử lý.

Xử lý nitrát: giá trị nitrát của mẫu nước sau xử lý tăng so với trước khi thí nghiệm, đồng thời biến thiên không theo quy luật theo thời gian trữ nước trong bình chứa. Mức chênh lệch về nồng độ của các mẫu nước ở các thời gian trữ nước khác nhau không cao, do đó có thể sự biến động này gây ra bởi sai số cho phép của thiết bị đo cũng như sự hoạt động không ổn định của hệ thống plasma ở lưu lượng nạp nước thấp 1 L/phút.

Xử lý sắt: hiệu suất xử lý sắt của hệ thống plasma lạnh rất cao đạt từ 98,8% khi trữ nước 10 phút, và đạt 99,3% khi trữ nước 20 phút. Mức chênh lệch hàm lượng sắt giữa thời gian trữ nước 20 phút và 30 phút là rất nhỏ, có thể ghi nhận hiệu quả loại bỏ sắt của hệ thống plasma lạnh không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của thời gian lưu nước trong bình chứa từ 10 - 30 phút.

Xử lý arsen: hiệu suất xử lý arsen của hệ thống plasma lạnh rất cao từ 90 - 94%, hiệu suất thấp nhất là 90% đạt được sau khi nước đã lưu trong bình chứa 10 phút, tăng lên 94% sau 20 phút và giữ nguyên giá trị 94% ở thời gian lưu 30 phút. Tương tự với xử lý sắt, hiệu quả loại bỏ arsen của hệ thống plasma lạnh không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của thời gian lưu nước trong bình chứa từ 10 - 30 phút.

Giá trị ozone: nồng độ ozone của nước trước khi xử lý là 0,14 mg/L, sau khi qua cột plasma và lưu trong bình 10 phút còn 0,13 mg/L (giảm 7,1%). Giá trị này tiếp tục giảm dần đạt mức 0,06 mg/L sau khi lưu 20 phút trong bình (giảm 57,1%), và giảm cho đến mức không phát hiện sau khi lưu lại bình chứa 30 phút. Điều này là do ozone tiếp tục phản ứng với các chất ô nhiễm trong nước ngầm và tự phân hủy.

Xử lý vi sinh: hệ thống plasma có hiệu quả cao trong xử lý các chỉ tiêu ô nhiễm vi sinh vật, hiệu suất xử lý đạt 99,4% ở thời gian trữ nước 10 phút. Khi trữ nước 20 phút, mật độ *E. Coli* có tăng nhưng có thể do sai số của quá trình phân tích; đến 30 phút mật độ *E. Coli* đã hoàn toàn biến mất. Điều này phù hợp với lý thuyết của quá trình khử trùng là hiệu quả khử trùng phụ thuộc vào liều lượng của chất khử trùng và thời gian tiếp xúc của vi sinh vật với chất khử trùng.

Hiệu quả loại bỏ các chỉ tiêu ô nhiễm ở lưu lượng 2 L/phút

Thí nghiệm này tiến hành tương tự thí nghiệm trong phần 3.2.1 chỉ khác là lưu lượng vận hành cột plasma 2 L/phút. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5 Nồng độ các chỉ tiêu theo dõi của nước xử lý ở lưu lượng 2 L/phút

Chỉ tiêu	Đơn vị	Trước khi xử lý	Sau xử lý và trữ trong bình chứa			QCVN 01:2009/BYT*
			10 phút	20 phút	30 phút	
pH	-	6,5	6,3	7,0	7,2	6,5 - 8,5
EC	µs/cm	1320	1320	1240	1240	-

Độ đục	NTU	39,23	1,75	2,19	2,37	2
Ni-trát	mg/L	3,2	4,5	4,5	5,2	50
Fe	mg/L	4,16	0,042	0,032	0,029	0,3
Arsen	mg/L	0,31	0,002	0,002	0,002	0,01
Ozone	mg/L	-	0,12	0,07	0	-
<i>E. Coli</i>	MPN/100mL	2400	150	< 3	< 3	0

* QCVN 01:2009/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ăn uống

Giá trị pH: pH của nước sau xử lý và trữ trong 10 phút giảm chút ít nhưng sau đó tăng liên tục ở đến mức trữ nước 30 phút. Các giá trị này không ảnh hưởng đến nồng độ ozone của nước xử lý.

Độ dẫn điện: giá trị EC của nước trước và sau khi xử lý trong một khoảng thời gian ngắn (10 phút) không khác biệt. Chỉ khi trữ nước đã xử lý trong bình chứa đến 20 phút, độ dẫn điện có chiều hướng giảm đi, giá trị EC còn 1240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giảm 6,06% so với nước trước khi xử lý. Giá trị EC này được giữ cho đến cuối thời gian thí nghiệm, ở 30 phút trữ nước trong bình chứa.

Độ đục: tương tự thí nghiệm trước đó, độ đục của nước sau xử lý và trữ trong 10 phút giảm mạnh đạt hiệu suất xử lý 95,5%. Tuy nhiên sau đó giá trị độ đục lại tiếp tục gia tăng ở thời điểm trữ nước 20 phút và 30 phút.

Xử lý nitrat: nitrat trong nước sau xử lý tăng là do lượng phụ phẩm tạo ra trong quá trình xử lý nước bằng plasma (Fridman, 2008). Tuy nhiên giá trị nitrat ghi nhận vẫn nằm trong ngưỡng quy định cho phép của tiêu chuẩn nước sử dụng cho ăn uống.

Xử lý sắt: hiệu suất xử lý sắt của cột plasma lạnh rất cao 99 - 99,3%, nồng độ sắt giảm theo thời gian lưu nước và có khuynh hướng rõ ràng, tuy nhiên mức giảm không đáng kể, như vậy có thể ghi nhận hiệu quả loại bỏ sắt của phương pháp plasma lạnh không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của thời gian lưu nước trong bình từ 10 - 30 phút.

Xử lý arsen: hiệu suất xử lý arsen của cột plasma lạnh rất cao ~ 99,4%. Hiệu suất này không đổi đối với tất cả các thí nghiệm trữ nước trong bình chứa từ 10 đến 30 phút.

Xử lý ozone: nồng độ ozone của nước sau khi xử lý bằng cột plasma và trữ trong bình chứa 10 phút là 0,12 mg/L, giá trị này giảm dần cho đến mức không còn phát hiện sau khi được lưu lại bình chứa 30 phút. Điều này khẳng định một lần nữa sự cần thiết của việc trữ nước trong bình chứa sau khi qua cột plasma khoảng 30 phút để cho các phản ứng tiếp tục xảy ra và phân hủy hoàn toàn ozone.

Xử lý vi sinh: ở lưu lượng 2 L/phút, thời gian lưu nước trong bình chứa nước sau xử lý ảnh hưởng tích cực đến hiệu quả xử lý các chỉ tiêu ô nhiễm vi sinh vật. Hiệu suất xử lý *E. Coli* đạt 93,8% sau khi trữ nước thêm trong 10 phút, và sau khi trữ nước trong 20 phút hiệu suất xử lý đã đạt ~ 100%. Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết của quá trình khử trùng là hiệu quả khử trùng phụ thuộc vào liều lượng của chất khử trùng và thời gian tiếp xúc của vi sinh vật với chất khử trùng (Malik *et al.*, 2001; Locke *et al.*, 2006).

4. Kết luận

Có thể sử dụng hệ thống plasma lạnh chế tạo trong nghiên cứu để xử lý nước ngầm bị ô nhiễm bởi các tác nhân lý - hóa - sinh. Các thông số ô nhiễm đã được thí nghiệm và xử lý hiệu quả cao gồm có sắt, arsen, *E. Coli*. Liều lượng xử lý của hệ thống plasma nên chọn thiết kế ở 2

L/phút để đảm bảo lượng nước cung cấp ổn định và plasma xuất hiện đầy đủ làm gia tăng hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm. Nước sau xử lý nên tiếp tục cho trữ lại ở bồn chứa trong khoảng 20 phút để ozone và các gốc $\text{HO}^\bullet$ tiếp tục phản ứng với các chất ô nhiễm cần loại bỏ nhằm đạt hiệu quả xử lý cao và nước sau xử lý không còn dư lượng của ozone.

Nghiên cứu thiết kế các cột plasma có công suất xử lý lớn đáp ứng nhu cầu xử lý nước cấp cho một cộng đồng nhỏ và đánh giá hiệu quả kinh tế của việc ứng dụng plasma lạnh để xử lý nước. Với khả năng tạo ozone, gốc $\text{HO}^\bullet$ tự do có tính ô-xy hóa mạnh cùng với việc tạo ra sóng xung kích và tia UV hệ thống plasma lạnh còn có thể xử lý các độc tố trong nước, do đó nên tiến hành thêm các nghiên cứu trên các chất này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Mạnh Hà (2006), *Ngộ độc do nước bị nhiễm thạch tín*. Truy cập tại trang web <http://thanhnien.vn/suc-khoe/ngo-doc-do-nuoc-bi-nhiem-thach-tin-185486.html>, ngày 21/6/2016.
- [2] Cheng H. H., Shiao-Shing Chen, Yu-Chi Wu, Din-Lit Ho (2007), *Non-thermal plasma technology for degradation of organic compounds in wastewater control: A critical review*, J. Environ. Eng. Manage., 17(6) 427–433.
- [3] Fridman A. (2008), *Plasma Chemistry*, Cambridge University Press: New York. p. 355.
- [4] Johnston R., Heijnen H., xxx, *Safe water technology for arsenic removal*, truy cập tại trang web <http://archive.unu.edu/env/Arsenic/Han.pdf>, ngày 21/6/2016.
- [5] Kornev I., Osokin G., Galanov A., Yavorovskiy N., Preis S. (2013), *Formation of nitrite- and nitrate-Ions in aqueous solutions treated with pulsed electric discharges*, The Journal of the International Ozone Association, 35(1) 22–30.
- [6] Lê Hoàng Việt, Nguyễn Hữu Chiêm, Huỳnh Long Toàn, Phan Thanh Thuận (2013), *Xử lý nước dưới đất ô nhiễm arsenic qui mô hộ gia đình*, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ 25a: 36–43.
- [7] Locke B. R., Sato M., Sunka P., Hoffmann M. R., Chang J.-S. (2006), *Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment*, Ind. Eng. Chem. Res. 45: 882–905.
- [8] Malik M. A., Ghaffar A., Malik S. A. (2001), *Water purification by electrical discharges*. Plasma Sources Sci. Technol. 10(1)
- [9] Nguyễn Việt Kỳ (2009), *Tình hình ô nhiễm arsen ở đồng bằng sông Cửu Long*, Tạp chí Phát triển Khoa học công nghệ, số 12(5): 101–112.
- [10] Tổng Cục Môi trường (2014), *Báo cáo Môi trường Quốc gia 2014: Môi trường Nông thôn*. Tổng Cục Môi trường.
- [11] Tổng Cục Môi trường (2010), *Báo cáo Môi trường Quốc gia 2010: Tổng quan Môi trường Việt Nam*, Tổng Cục Môi trường.
- [12] von Gunten U. (2003), *Ozonation of drinking water - Part I*, Oxidation kinetics and product formation, Water Res, số 37(7): 1443–1467.