

THE ABILITY TO TREAT CYANIDE IN WASTE WATER BY H_2O_2 AND NaOCl

Vu Thi Thuy Trang

TNU - University of Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	11/5/2023	This paper studies the ability to treat cyanide in wastewater with H_2O_2 and NaOCl. The research model includes 1 sedimentation tank with dimensions of 50x50x50 cm, a reaction cell with dimensions of 50x50x50 cm and a magnetic stirrer. The object of the research is wastewater collected at the selection line, copper and nickel mines - Cao Bang. Wastewater quality was surveyed 4 days from 5/3/2023 to 8/3/2023 with frequency 4 times/day at 1:00 am, 7:00 am, 1:00 pm and 7:00 pm. The model was operated with wastewater samples NT11 and NT15 collected at 13h on 7/3/2023 and 13h on 8/3/2023 with pH value and concentration of chlorine, CN respectively 8.8 and 8,7; 4459 and 3879 mg/l; 0.41 and 0.34 mg/l. The results of the survey on the influence of chlorine showed that the amount of chlorine treated by H_2O_2 in the studied conditions was very low, so it can be seen that chlorine has little effect on the CN treatment process at this condition. Analytical results showed that for research subjects with CN concentrations is about 0.34 - 0.41 mg/l, the dosage of 37% H_2O_2 and 82% NaOCl suitable for treatment was 1.0 : 0,5ml/l wastewater with a reaction time of 20 minutes. Output wastewater is in QCVN 40:2011 (column A) for total CN parameter.
Revised:	13/6/2023	
Published:	13/6/2023	
KEYWORDS		
Cyanide treatment		
Wastewater treatment		
Cyanide in wastewater		
Properties of cyanide		
Mining wastewater		

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG XỬ LÝ XYANUA TRONG NƯỚC THẢI BẰNG H_2O_2 VÀ NaOCl

Vũ Thị Thùy Trang

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	11/5/2023	Bài báo này nghiên cứu khả năng xử lý Xyanua trong nước thải bằng H_2O_2 và NaOCl. Mô hình nghiên cứu bao gồm 1 ngăn lắng có kích thước 50x50x50 cm, một ngăn phản ứng có kích thước 50x50x50 cm và một thiết bị khuấy từ. Đối tượng nghiên cứu là nước thải được lấy tại dây chuyền tuyển, mỏ đồng, niken – Cao Bằng. Chất lượng nước thải được khảo sát 4 ngày từ ngày 5/3/2023 đến ngày 8/3/2023 với tần suất 4 lần/ ngày vào 1h, 7h, 13h và 19h. Mô hình được vận hành với mẫu nước thải NT11 và NT15 được lấy tại thời điểm 13h ngày 7/3/2023 và 13h ngày 8/3/2023 với giá trị pH và nồng độ Clo, CN lần lượt là 8,8 và 8,7; 4459 và 3879 mg/l; 0,41 và 0,34 mg/l. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của clo cho thấy, lượng clo bị xử lý bởi H_2O_2 trong điều kiện nghiên cứu rất thấp nên có thể thấy ở clo ít ảnh hưởng tới quá trình xử lý CN tại điều kiện này. Kết quả phân tích nhận thấy ứng với đối tượng nghiên cứu có nồng độ CN nằm trong khoảng 0,34 - 0,41 mg/l thì liều lượng H_2O_2 37% và NaOCl 82% phù hợp để xử lý là 1,0 : 0,5ml/l nước thải với thời gian phản ứng 20 phút. Nước thải đầu ra nằm trong QCVN 40:2011 (cột A) đối với thông số CN tổng.
Ngày hoàn thiện:	13/6/2023	
Ngày đăng:	13/6/2023	
TỪ KHÓA		
Xử lý xyanua		
Xử lý nước thải		
Xyanua trong nước thải		
Tính chất của xyanua		
Nước thải khai khoáng		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7914>

Email: thuytrangcntn@tnut.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

271

Email: jst@tnu.edu.vn

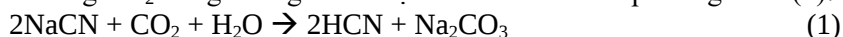
1. Giới thiệu

Xyanua (CN) là một chất độc, và nó thường có mặt trong nước thải công nghiệp của một số ngành như khai khoáng, xi mạ, thuộc da, sơn, chất bảo quản gỗ, điện tử, hóa chất và một số ngành nghề công nghiệp khác. Đặc biệt trong một số ngành như khai thác khoáng sản, xi mạ có hàm lượng xyanua rất cao. Nước thải ngành khai thác khoáng sản hay xi mạ thường chứa các ion kim loại nặng gây ảnh hưởng xấu tới sức khỏe con người như kẽm, cromat, niken, sắt, đồng, chì, thủy ngân, và đặc biệt nó còn chứa các chất độc khác như xyanua, các chất hoạt động bề mặt, các chất hữu cơ phụ gia. Do đó, nước thải ngành này cần phải được xử lý để tránh gây ô nhiễm môi trường, gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người [1]. Xyanua là một chất độc, hoạt động mạnh, trong công thức phân tử chứa nhóm anion cacbon-nitơ. Xyanua có thể tồn tại ở dạng anion xyanua tự do (CN) hoặc ở dạng hợp chất như Xyanua kali (KCN), Cyanogen clorua (CNCl)... Mỗi dạng tồn tại của Xyanua sẽ có đặc điểm và tính chất khác nhau, tuy nhiên, xyanua có tính độc mạnh và sẽ gây tử vong nếu đề thẩm qua da, hít phải hoặc ăn phải ở liều lượng lớn [2].

Thông thường, xyanua được chia làm 2 nhóm chính bao gồm nhóm phân ly axit mạnh (SAD) và nhóm phân ly axit yếu (WAD). SAD bao gồm nhóm xyanua (CN) liên kết mạnh với vàng, kẽm, bạc, sắt hay là CO. Do đó, SAD thường khó bị oxy hoá hoặc phân huỷ. Xyanua ở dạng này thường được xử lý bằng phương pháp vật lý như kết tủa hoặc màng lọc. Nhóm phân ly axit yếu (WAD) bao gồm các hợp chất xyanua dễ phân ly ở môi trường axit. WAD độc hơn và kém ổn định hơn về mặt hoá học so với SAD. Do đó, WAD có thể được xử lý bằng phương pháp sinh học hoặc hoá - lý [3].

Do đặc thù sản xuất khác nhau nên nước thải và nước rửa có những đặc tính khác nhau tuy nhiên, nhìn chung xyanua có đặc điểm, tính chất như sau:

- Xyanua có thể tồn tại ở các thể rắn (các muối xyanua kiềm như NaCN, KCN thường tồn tại ở dạng tinh thể), thể lỏng (như axit xyanhydric - HCN) và thể khí (như Dixyan - CN_2 - khí này thường tan tốt trong H_2O và rượu). Tuy nhiên, xyanua ở cả thể rắn và thể lỏng đều tan tốt trong nước tạo thành các muối xyanua hoặc axit xyanhydric (HCN). Ở thể lỏng, một số muối xyanua của kim loại kiềm có thể phản ứng CO_2 trong không khí để tạo thành HCN theo phương trình (1):

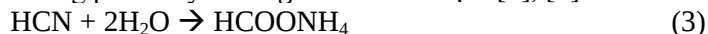


- HCN và các xyanua có tính khử mạnh nên dễ dàng bị oxy hoá bởi oxy trong không khí hoặc các tác nhân oxy hóa để tạo thành xianat theo phương trình (2):



Tuy nhiên, sản phẩm phản ứng là xianat vẫn là chất độc hại, do đó khi sử dụng biện pháp oxy hóa để xử lý CN trong nước thải thường phải bổ sung thêm xúc tác để quá trình oxy hóa xảy ra triệt để, sản phẩm cuối cùng tạo ra chỉ là CO_2 và nước [4].

- Một số muối xyanua kiềm và HCN khi ở nồng độ loãng 1:5000 có khả năng phân huỷ theo phương trình (1) và (3). Tuy nhiên, phản ứng phân huỷ thường diễn ra rất chậm [4], [5].



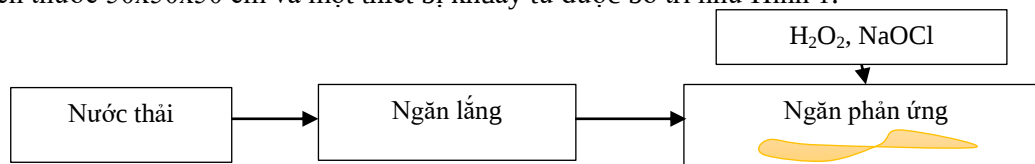
Bên cạnh đó, hầu hết xyanua có thể tan tốt trong nước và có khả năng tạo phức bền. Khi tạo phức sẽ tạo dung dịch ít độc hại hơn do khả năng phân ly thường rất nhỏ nên nồng độ CN tự do trong dung dịch thấp [6].

Nhờ một số tính chất đặc thù nên để loại bỏ xyanua ra khỏi nước thải có thể sử dụng một số phương pháp như: Phương pháp hấp phụ vật lý, phương pháp trao đổi ion, phương pháp kết tủa hóa học, phương pháp màng lọc và phương pháp oxy hóa. Bài báo này tập trung nghiên cứu khả năng xử lý xyanua trong nước thải bằng phương pháp oxy hóa bởi hydroperoxyt (H_2O_2) và natrihypoclorit (NaOCl) [7].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết kế mô hình thí nghiệm

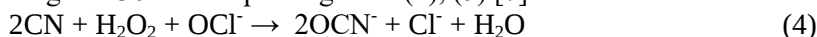
Mô hình thí nghiệm bao gồm 1 ngăn lắng có kích thước 50x50x50 cm, một ngăn phản ứng có kích thước 50x50x50 cm và một thiết bị khuấy từ được bố trí như Hình 1.



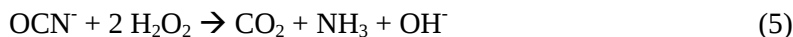
Hình 1. Mô hình thí nghiệm

2.2. Vận hành mô hình

Nước thải cấp cho mô hình được lấy từ nước thải của dây chuyền tuyển, mỏ đồng, niken – Cao Bằng. Nước thải được lấy và nạp vào mô hình trong 4 ngày từ ngày 5/3/2023 đến ngày 8/3/2023. Để xử lý CN trong nước thải khi sử dụng H_2O_2 thì hàm lượng tương ứng là 1 – 3,5 mgH_2O_2/kg CN cần xử lý [2]. Tuy nhiên, đối với một số nguồn nước đặc thù, có yếu tố gây nhiễu cao thì hàm lượng này có thể tăng lên. Do đó, tại ngăn phản ứng, thêm H_2O_2 37% và NaOCl 82% vào, tác giả tiến hành thí nghiệm với liều lượng lần lượt 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 ml H_2O_2/l nước thải và 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 ml NaOCl/l nước thải. Khi đó, sẽ xảy ra phản ứng giữa H_2O_2 và NaOCl với xyanua trong nước thải theo phương trình (4), (5) [7]:



Khi có xúc tác $CuSO_4$



2.3. Lấy mẫu và phân tích

Mô hình vận hành theo mẻ, mỗi mẻ khoảng 60 lít. Mẫu được lấy từ ngày 5/3/2023 đến ngày 8/3/2023 với tần suất 4 lần/ngày vào lúc 1h, 7h, 13h và 19h tương ứng với mỗi ca làm việc. Quá trình lấy mẫu, bảo quản và vận chuyển mẫu được thực hiện theo TCVN 4556:1988. Các thông số phân tích bao gồm: pH, clo và CN. pH được đo nhanh bằng máy đo pH cầm tay của Hana HI 98107 ngay tại hiện trường, hàm lượng clo được phân tích nội bộ theo TCVN 6194:1996, CN được phân tích nội bộ theo TCVN 6181:2015 tại phòng thí nghiệm môi trường - công ty TNHH dịch vụ tư vấn công nghệ môi trường Etech, số 172, đường Ngô Quyền, phường Kinh Bắc, Thành phố Bắc Ninh. Hiệu suất xử lý được xác định theo công thức:

$$H = \frac{C_{bd} - C_{sau\ pư}}{C_{bd}} \times 100\%$$

Trong đó: H là hiệu suất xử lý

C_{bd} là nồng độ ban đầu của cầu tử

$C_{sau\ pư}$ là nồng độ sau phản ứng của cầu tử

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Chất lượng nước thải đầu vào

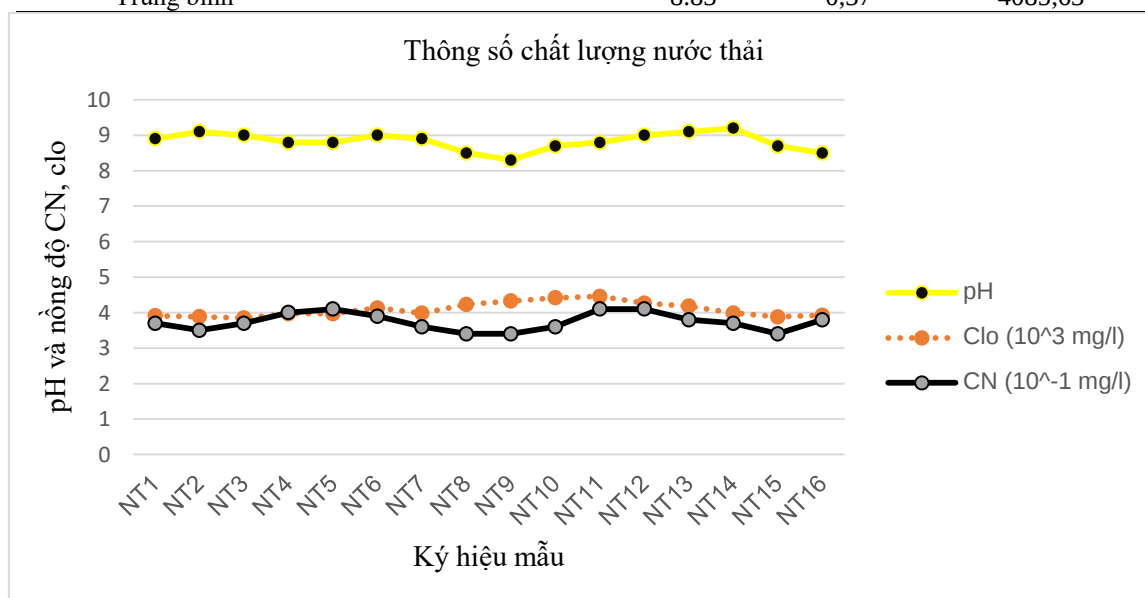
Nước thải đầu vào được lấy vào các giờ 1h, 7h, 13h, 19h các ngày từ 5/3/2023 đến ngày 8/3/2023 theo các ca làm việc của dây chuyền tuyển. Một số thông số chất lượng nước thải được trình bày trong Bảng 1 và hình 2.

Qua kết quả khảo sát chất lượng nước thải dây chuyền từ ngày 5/3/2023 đến ngày 8/3/2023 cho thấy: pH của nước thải dao động trong khoảng từ 8,3 đến 9,2. Đây là môi trường pH mà CN ở cả 2 dạng SAD và WAD khó có thể phân ly hoặc bị kết tủa thông thường. Nồng độ xyanua dao động trong khoảng 0,34 – 0,41 mg/l (Cao gấp 4,7 tới 5,7 lần so với QCVN 40:2011). Ở nồng độ

này, nước thải cần phải được xử lý trước khi thải bỏ ra môi trường. Nồng độ clo trong nước thải trong khoảng 3846 – 4459 mg/l. Clo là chất khử mạnh, tồn tại trong nước sẽ ảnh hưởng tới quá trình xử lý CN bằng phương pháp oxy hóa khử, đặc biệt là sử dụng chất oxy hóa là H_2O_2 . Bởi lẽ, khi xử lý CN bằng H_2O_2 sẽ xảy ra phản ứng giữa H_2O_2 với clo có trong nước. Tuy nhiên, ở khoảng giá trị pH này tốc độ phản ứng giữa clo và H_2O_2 thường diễn ra chậm. Do đặc thù là nước thải sản xuất, dây chuyền ổn định nên thành phần chất lượng nước thải không có sự dao động lớn và tương đối ổn định giữa các ca làm việc.

Bảng 1. Kết quả phân tích chất lượng nước

STT	Ký hiệu mẫu	Thời gian lấy mẫu	pH	CN (mg/l)	Clo (mg/l)
1	NT1	1h/5/3/2023	8,9	0,37	3911
2	NT2	7h/5/3/2023	9,1	0,35	3883
3	NT3	13h/5/3/2023	9	0,37	3846
4	NT4	19h/5/3/2023	8,8	0,4	3970
5	NT5	1h/6/3/2023	8,8	0,41	3971
6	NT6	7h/6/3/2023	9	0,39	4133
7	NT7	13h/6/3/2023	8,9	0,36	3984
8	NT8	19h/6/3/2023	8,5	0,34	4231
9	NT9	1h/7/3/2023	8,3	0,34	4325
10	NT10	7h/7/3/2023	8,7	0,36	4416
11	NT11	13h/7/3/2023	8,8	0,41	4459
12	NT12	19h/7/3/2023	9	0,41	4270
13	NT13	1h/8/3/2023	9,1	0,38	4180
14	NT14	7h/8/3/2023	9,2	0,37	3987
15	NT15	13h/8/3/2023	8,7	0,34	3879
16	NT16	19h/8/3/2023	8,5	0,38	3925
Trung bình			8.83	0,37	4085,63



Hình 2. Chất lượng nước thải

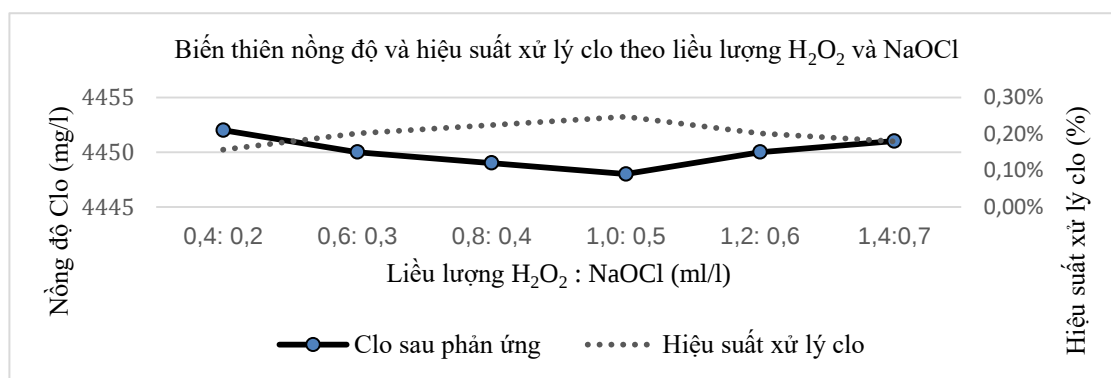
3.2. Ảnh hưởng của clo đối với quá trình xử lý

Nhận thấy rằng nồng độ clo trong nước thải NT11 tại thời điểm 13h ngày 7/3/2023 lớn nhất, cụ thể là 4459 mg/l. Do đó, tác giả tiến hành khảo sát sự ảnh hưởng của clo đối với quá trình xử

lý CN bằng H_2O_2 và NaOCl tại thời điểm 13h ngày 7/3/2023. Để thực hiện nghiên cứu, tác giả tiến hành đưa vào ngăn phản ứng H_2O_2 37% và NaOCl 82% với liều lượng lần lượt là: 0,4 – 0,2; 0,6 – 0,3; 0,8 – 0,4; 1,0 – 0,5; 1,2 – 0,6 ml/l nước thải. Sau đó, tiến hành phân tích nồng độ clo còn lại trong nước. Sự biến thiên của nồng độ và hiệu suất xử lý clo trong quá trình xử lý nước bằng H_2O_2 và NaOCl được thể hiện trong Bảng 2 và Hình 3.

Bảng 2. Sự biến thiên của nồng độ và hiệu suất xử lý clo trong quá trình xử lý nước bằng H_2O_2 và NaOCl

STT	Liều lượng H_2O_2 : NaOCl (ml/l)	Clo sau phản ứng (mg/l)	Hiệu suất xử lý clo (%)
1	0,4: 0,2	4452	0,16%
2	0,6: 0,3	4450	0,20%
3	0,8: 0,4	4449	0,22%
4	1,0: 0,5	4448	0,25%
5	1,2: 0,6	4450	0,20%
6	1,4:0,7	4451	0,18%



Hình 3. Biến thiên nồng độ và hiệu suất xử lý Clo trong quá trình xử lý nước bằng H_2O_2 và NaOCl

Qua Bảng 2 và Hình 3 nhận thấy, khi sử dụng H_2O_2 với liều lượng từ 0,4 đến 1,4 ml/l và NaOCl với liều lượng từ 0,2 đến 0,7 ml/l thì nồng độ clo có giảm một lượng nhỏ (từ 4459 xuống 4448 mg/l) tương ứng hiệu suất chỉ đạt 0,25%. Điều này được lý giải như sau: Ở điều kiện pH cao (trên 8,5) và điều kiện nhiệt độ phòng thì phản ứng giữa clo và H_2O_2 thường diễn ra chậm. Do đó, mặc dù nồng độ clo có trong nước thải cao nhưng cũng chỉ gây ảnh hưởng rất nhỏ tới quá trình xử lý CN trong nước bằng H_2O_2 và NaOCl.

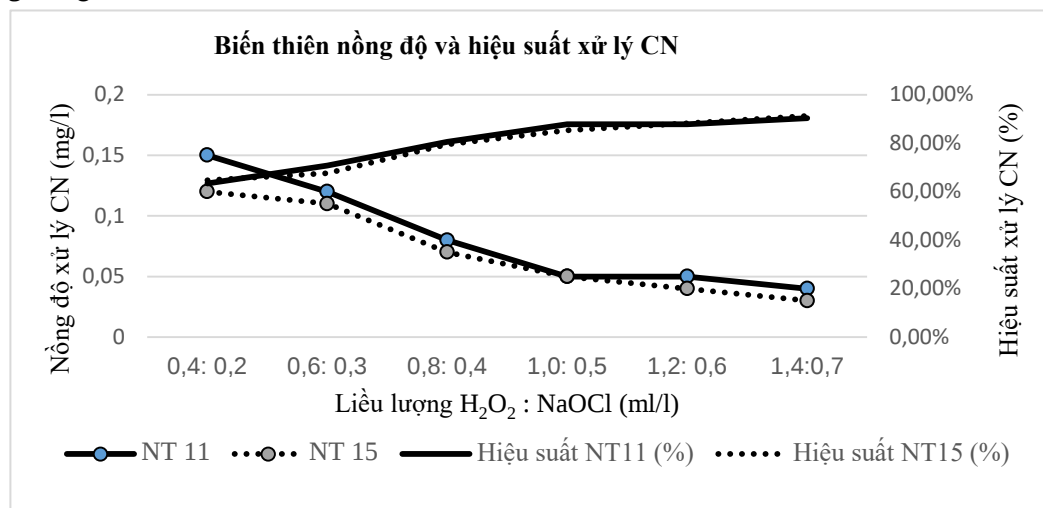
3.3. Hiệu quả xử lý xyanua bằng H_2O_2 và NaOCl

Sau khi tiến hành phân tích chất lượng nước đầu vào và ảnh hưởng của clo khi xử lý nước bằng H_2O_2 và NaOCl, tác giả tiến hành sử dụng mẫu nước thải NT11 và NT15 được lấy tại thời điểm 13h ngày 7/3/2023 và 13h ngày 8/3/2023 tương ứng với nồng độ CN ban đầu lần lượt là 0,41 và 0,34 mg/l để tiến hành nghiên cứu, xác định lượng H_2O_2 và NaOCl phù hợp.

Bảng 3. Biến thiên nồng độ và hiệu suất xử lý CN

TT	Liều lượng H_2O_2 : NaOCl (ml/l)	CN còn lại- NT 11 (mg/l)	Hiệu suất NT11 (%)	CN còn lại- NT 15 (mg/l)	Hiệu suất NT15 (%)
1	0,4: 0,2	0,15	63,41%	0,12	64,71%
2	0,6: 0,3	0,12	70,73%	0,11	67,65%
3	0,8: 0,4	0,08	80,49%	0,07	79,41%
4	1,0: 0,5	0,05	87,80%	0,05	85,29%
5	1,2: 0,6	0,05	87,80%	0,04	88,24%
6	1,4:0,7	0,04	90,24%	0,03	91,18%

Ban đầu, nước thải được đưa vào ngăn phản ứng, tại đây thêm H_2O_2 37% và NaOCl 82% với liều lượng lần lượt là: 0,4 – 0,2; 0,6 – 0,3; 0,8 – 0,4; 1,0 – 0,5; 1,2 – 0,6; 1,4 – 0,7 ml/l nước thải và xúc tác CuSO_4 với thời gian phản ứng 30 phút. Sau đó, tiến hành phân tích nồng độ CN còn lại trong nước và hiệu suất xử lý CN. Sự thay đổi nồng độ CN và hiệu quả xử lý CN được trình bày trong Bảng 3 và Hình 4.



Hình 4. Biến thiên nồng độ và hiệu suất xử lý CN

Từ Bảng 3 và Hình 4 cho thấy, khi thêm H_2O_2 và NaOCl vào với liều lượng từ 0,4 : 0,2 đến 1,0 : 0,5 ml/l thì hiệu suất xử lý tăng nhanh (đối với mẫu nước thải NT 11, hiệu suất xử lý CN tăng từ 63,41% tới 87,80%, đối với mẫu nước thải NT15 tăng từ 64,71% tới 85,29%). Sau đó, tiếp tục thêm H_2O_2 và NaOCl vào với liều lượng từ 1,2 : 0,6 đến 1,4 : 0,7 ml/l thì hiệu suất xử lý tăng chậm hơn (khoảng 2,44 – 2,94%). Bởi lẽ, ban đầu khi đưa H_2O_2 và NaOCl vào ở liều lượng thấp sẽ phản ứng hết với CN dễ phân ly trong nước. Tuy nhiên, CN trong nước thải có nhiều dạng khó phân ly sẽ phản ứng chậm hơn, do đó một phần H_2O_2 và NaOCl vào sẽ tham gia phản ứng với clo trong nước. Do đó, hiệu suất xử lý CN tăng chậm hơn ở liều lượng H_2O_2 và NaOCl vào từ 1,2 : 0,6 đến 1,4 : 0,7 ml/l. Ứng với liều lượng H_2O_2 và NaOCl vào từ 0:0 đến 1,0 : 0,5 ml/l thì nồng độ CN trong nước thải đã giảm từ 0,41mg/l xuống còn 0,07mg/l đối với mẫu NT11, và từ 0,34 xuống còn 0,06 mg/l đối với mẫu NT15. Nhận thấy rằng, từ liều lượng H_2O_2 và NaOCl thêm vào là 1,0 : 0,5 ml/l thì chất lượng nước thải đầu ra đã bắt đầu đạt QCVN 40:2011 về chất lượng nước thải công nghiệp.

3.4. Thời gian phản ứng tối ưu

Khảo sát mẫu nước thải NT11 ứng với hàm lượng H_2O_2 và NaOCl thêm vào là 1,0 : 0,5 ml/l nước thải với các thời gian phản ứng khác nhau, từ 5 đến 30 phút. Từ đó, xác định hiệu suất xử lý CN và thời gian phản ứng phù hợp. Biến thiên hiệu quả xử lý CN ứng với hàm lượng H_2O_2 và NaOCl thêm vào là 1,0 : 0,5 ml/l được thể hiện qua Bảng 4.

Bảng 4. Biến thiên hiệu suất xử lý CN theo thời gian phản ứng

STT	Thời gian (Phút)	NT11	CN sau phản ứng (mg/l)	Hiệu suất XL (%)
1	5	0,41	0,24	41,46%
2	10	0,41	0,11	73,17%
3	15	0,41	0,08	80,49%
4	20	0,41	0,06	85,37%
5	25	0,41	0,05	87,80%
6	30	0,41	0,04	90,24%

Qua Bảng 4 cho thấy, khi thời gian phản ứng kéo dài từ 5 đến 20 phút, hiệu suất xử lý CN tăng nhanh (từ 4,88% - 31,71%). Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng thời gian phản ứng lên 25 đến 30 phút thì hiệu suất xử lý CN vẫn tăng với tốc độ chậm hơn (2,44%). Lý giải điều này là vì hầu hết các hợp chất chứa CN dễ phân hủy sẽ phản ứng ngay tại thời gian đầu, sau đó những hợp chất CN khó phân hủy mới được phản ứng. Do đó, khi càng kéo dài thời gian phản ứng thì hiệu suất vẫn tăng dần nhưng tăng chậm. Tuy nhiên, nếu càng kéo dài thời gian phản ứng sẽ ảnh hưởng tới nhiều vấn đề như chi phí xây dựng và ảnh hưởng tới công suất xử lý chung của cả hệ thống. Bên cạnh đó, nhận thấy với thời gian phản ứng là 20 phút nước thải đã đạt QCVN 40:2011/BTNMT với hiệu suất xử lý đạt 85,37%, do đó, có thể xác định thời gian này là thời gian tối ưu cho quá trình xử lý CN bằng H_2O_2 và NaOCl.

4. Kết luận

Trong thời gian nghiên cứu nước thải dây chuyền tuyển có giá trị pH, nồng độ CN và clo trung bình tương ứng là 8,33; 0,37 mg/l và 4085.63 mg/l. Ảnh hưởng của clo đối với quá trình xử lý không đáng kể, hiệu quả xử lý clo bằng H_2O_2 chỉ khoảng 0,16 – 0,25%. Tuy nhiên để giảm thiểu tác động của clo tới hiệu quả xử lý CN thì cần duy trì pH cao ($pH > 8,5$) hoặc có công trình loại bỏ clo ra khỏi nước thải. Liều lượng H_2O_2 37% và NaOCl 82% phù hợp để xử lý là 1,0 : 0,5ml/l nước thải với thời gian phản ứng 20 phút. Hiệu quả xử lý CN ứng với nồng độ 0,41 mg/l đạt 85,37%.

Phương pháp xử lý CN bằng H_2O_2 và NaOCl không đòi hỏi phải điều chỉnh pH, như vậy sẽ hạn chế được CN bay hơi. Với phương pháp này, thời gian phản ứng nhanh, hiệu suất cao rất phù hợp xử lý với lưu lượng lớn và xử lý theo mẻ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] T. D. Nguyen, B. D. Le, T. T. Do, T. T. H. Pham, and N. A. Tran, "Results of the experimental research on a pilot model with capacity of 100 liters/ hour for excess water treatment in red mud pond of Nhan Co Alumina Factory," *Mining technology bulletin*, no. 1, pp. 43 – 50, 2021.
- [2] M. Mamelkina, M. H. Carnone, S. Cotillas, and E. Lacasa, "Treatment of mining wastewater polluted with cyanide by coagulation processes: A mechanistic study," *Separation and purification Technology*, vol. 11653, no. 237, pp. 1383 – 1391, 2019.
- [3] V. N. Makarov, D. V. Makarov, T. N. Vasilyeva, and I. P. Kremenetskaya, "Interaction of natural serpentines with dilute sulfate solutions containing nickel ions" *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 50, no. 9, pp. 1315-1325, 2005.
- [4] B. Aubé, "Sludge Disposal in Mine Workings at Cape Breton Development Corporation," Presented at 2004 Ontario MEND Workshop, MEND report W.017, Sudbury, Ontario, Canada, May 26-27, 2004.
- [5] B. Aubé and Arseneault, "In-Pit Mine Drainage Treatment System in a Northern Climate," in *Proceedings for Sudbury 2003 Mining and the Environment Conference*, May 25-28, 2003, pp. 241 – 249.
- [6] A. K. Mydlak, M. Sajdak, K. Rychlewska, and J. Figa, "The role of chemical loop removal of hazardous contaminants from coke oven wastewater during its treatment," *Open chemistry*, vol. 17, pp. 1288 – 1300, 2019.
- [7] L. H. Trinh, *Wastewater engineering*. Educational Technics Publishing House, 2006.