DầuKhí
KHOA HỌC, CÔNG NGHỆ VÀ ĐỔI MỚI SÁNG TẠO PETROVIETNAM

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO CHẤT KHỬ H_2S KHÔNG CHỨA TRIAZINE CHO HỆ THỐNG THU GOM, XỬ LÝ, VẬN CHUYỂN DẦU KHÍ

Nguyễn Minh Tiến[1], Vũ Văn Đức[1], Đỗ Thành Trung[1], Ngô Thị Nguyên[1], Lê Huy Thưởng[2], Nguyễn Ngọc Diệp[2]
[1]Công ty TNHH PVChem-Tech
[2]Công ty TNHH Cortek
Email: tiennm@pvchem.com.vn
https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.04-07

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu quá trình chế tạo và đánh giá hiệu quả của chất khử H_2S không chứa triazine, ký hiệu HS-525, được tổng hợp từ paraformaldehyde và ethylene glycol. Kết quả phân tích phổ FT-IR cho thấy sự hình thành liên kết hemiacetal đặc trưng, khẳng định phản ứng tổng hợp thành công và cấu trúc sản phẩm không chứa nitrogen.

Các thí nghiệm khảo sát sự ảnh hưởng của hàm lượng H_2S, nhiệt độ và tỷ lệ hóa phẩm đến hiệu quả xử lý cho thấy HS-525 phản ứng nhanh với H_2S, duy trì khả năng khử ổn định trong dải điều kiện khảo sát và thể hiện khả năng hấp thụ cao ngay cả khi hàm lượng H_2S lớn. Nhiệt độ cao làm tăng tốc độ phản ứng và hiệu suất hấp thụ, trong khi tỷ lệ hóa phẩm cao hơn giúp nâng cao hiệu quả xử lý.

Với pH trung tính, HS-525 không gây ăn mòn thiết bị, không tạo kết tủa trong môi trường có ion Ca^{2+} và thân thiện với môi trường hơn so với các chất khử H_2S gốc triazine. Kết quả nghiên cứu chứng minh tiềm năng phát triển các hóa phẩm khử H_2S không chứa triazine cho hệ thống thu gom, xử lý và vận chuyển dầu khí.

Từ khóa: Hydrogen sunfide, non-triazine, alpha-hydroxy alkyl, ăn mòn.

1. Giới thiệu

Trong lĩnh vực dầu khí, H_2S xuất hiện trong hệ thống đường ống thu gom, xử lý và vận chuyển do 2 nguyên nhân chính: (i) trong thành phần dầu, khí khai thác có sẵn H_2S, hoặc (ii) được sinh ra từ quá trình hoạt động của vi khuẩn khử sulfate. H_2S là tác nhân gây ăn mòn rất mạnh đối với hệ thống đường ống và thiết bị khai thác, thu gom, xử lý, vận chuyển dầu khí.

Tại mỏ khí Cá Voi Xanh, H_2S được phát hiện khi thăm dò với hàm lượng rất cao (khoảng 2.500 ppm [1]). Tại mỏ Thăng Long, H_2S xuất hiện trong sản phẩm khai thác và việc nghiên cứu nhằm xác định nguồn gốc đang được tiến hành [2]. Tại Vietsovpetro, H_2S được phát hiện tại nhiều vị trí trong hệ thống thu gom, xử lý và vận chuyển dầu. Tại một số tuyến đường ống vận chuyển dầu của mỏ Rồng, H_2S được phát hiện với hàm lượng từ 45 - 1.200 ppm. Trong giai đoạn 2007 - 2018, hàm lượng H_2S tại các giàn nén khí đã tăng cao từ 2 - 10 lần (cao nhất lên tới 255 ppm).

Do đó, việc lựa chọn công nghệ xử lý H_2S phù hợp liên quan trực tiếp đến đảm bảo an toàn lao động, kéo dài tuổi thọ của các công trình dầu khí, cũng như định hướng lựa chọn công nghệ phù hợp để khai thác, vận hành các mỏ dầu, khí có hàm lượng H_2S cao.

Trên thế giới, có nhiều phương pháp để xử lý H_2S: hóa học, vật lý hoặc các phương pháp kết hợp. Trong đó, phương pháp hóa học sử dụng hóa phẩm khử H_2S (H_2S scavenger) có nhiều ưu điểm và được sử dụng rộng rãi. Các hợp chất khử H_2S có thể gồm: chất khử trên cơ sở một số hợp chất của các kim loại Zn, Fe, Cu; triazine, hợp chất amine, acrolein, formaldehyde/methanol; các hợp chất nitrate... Trong số các nhóm chất khử này, triazine và hợp chất gốc triazine được sử dụng phổ biến nhất.

Tuy nhiên, các chất khử H_2S gốc triazine có các nhược điểm sau:

- Làm tăng độ pH và gây kết tủa: Các nhóm amine bậc 3 trong triazine có tính bazơ trong dung dịch nước,

Ngày nhận bài: 22/10/2025
Ngày đánh giá và sửa chữa: 23/10 - 5/11/2025
Ngày duyệt đăng: 5/11/2025

làm tăng độ pH của nước. Các sản phẩm phản ứng giữa triazine (MEA) với H_2S cũng là các hợp chất có tính bazơ. Sự gia tăng pH dẫn đến kết tủa calcium carbonate, lắng đọng các hợp chất cao phân tử và tăng hàm lượng ethanolamine [3].

- Không ổn định ở độ pH thấp: Ở độ pH thấp, triazine bị thủy phân trước khi phản ứng với H_2S, làm giảm đáng kể hiệu quả khử.

- Tốc độ phản ứng chậm: Triazine có tốc độ phản ứng chậm trong các quy trình bơm trực tiếp, giảm hiệu quả khi áp dụng trong hệ thống có thời gian lưu ngắn, dẫn đến lượng hóa chất cần thiết nhiều hơn đáng kể so với lý thuyết.

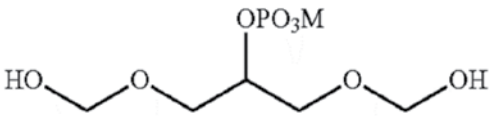
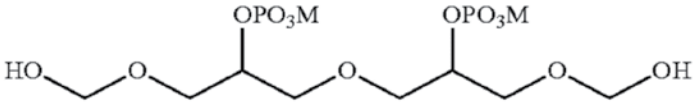
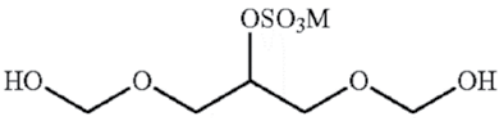
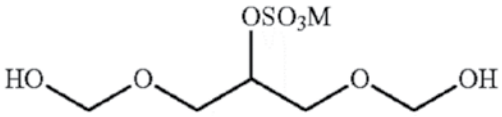
Hình 1. *Sự kết tủa các sản phẩm phản ứng của triazine với H_2S.*

- Tính ổn định nhiệt thấp và khả năng hình thành cặn; gây ăn mòn trong các quy trình lọc dầu do tạo thành muối amine hydrochloride [4].

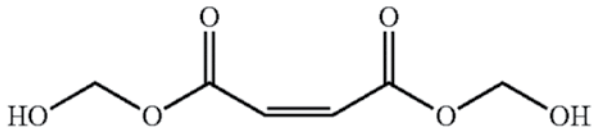
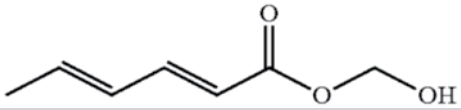
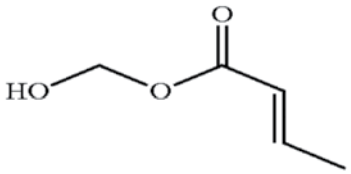
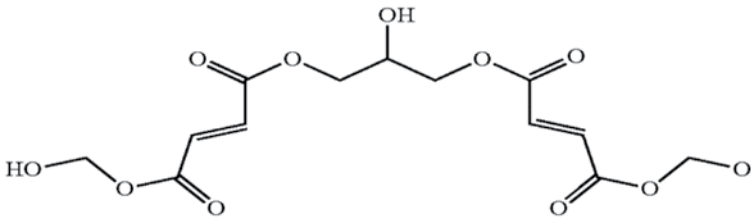
Do những hạn chế trên, một số nghiên cứu đã được thực hiện nhằm cải tiến hoặc thay thế triazine. Một loại chất khử mới được gọi là chất khử H_2S không chứa triazine (non-triazine base scavenger - NTBS) đã được phát triển. Chất khử H_2S mới này phản ứng nhanh hơn và có hiệu quả tốt hơn so với những chất khử không chứa nitrogen khác (ví dụ: glyoxal). Độ pH trung tính của sản phẩm mới này giúp loại bỏ sự lắng đọng calcium carbonate thường xảy ra với các chất khử gốc triazine. NTBS đã được thử nghiệm về tính ổn định nhiệt và khả năng tương thích với các hóa chất sản xuất khác. Sản phẩm này có thể tan được trong pha dầu và nước và trở thành một chất khử linh hoạt hơn. Đồng thời, NTBS thân thiện với môi trường hơn so với các chất hóa học nhặt rác H_2S thông thường khác [5].

Nghiên cứu này phát triển hóa phẩm khử H_2S từ dẫn xuất hydroxy, không chứa triazine, có thể khắc phục được nhược điểm của hệ hóa phẩm chứa triazine, aldehyde như: không bị kết tủa trong môi trường có chứa nhiều Ca^{2+}, bền nhiệt, không gây ăn mòn thiết bị, đường ống, giảm độc hại với sức khỏe con người và môi trường, giảm thiểu ảnh hưởng đến hiệu quả của các hóa phẩm khác đang sử dụng trong hệ thống công nghệ. Mục tiêu của nghiên cứu là làm chủ công nghệ chế tạo hệ hóa phẩm khử H_2S từ các hợp chất không chứa triazine, có hiệu quả xử lý cao, khắc phục được các nhược điểm của các hóa phẩm đang sử dụng.

Bảng 1. *Các chất alpha-hydroxy alkyl ether*

Glycerol bis hemiformal mono phosphate ether	
Oligomeric glycerol bis hemiformal di-phosphate ether	
Glycerol bis hemiformal mono sulfate ether	
Oligomeric glycerol bis hemiformal di-sulfate ether	

Bảng 2. *Các chất alpha-hydroxy alkyl esther*

Bis(hydroxymethyl) Maleate	
(2E, 4E)-hydroxymethylhexa-2,4-dienoate	
(E)-hydroxymethyl but-2-enoate	
(E)-bis(hydroxymethyl) 0,0'-(2-hydroxypropane-1,3-diyl) difumarate	

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Các hợp chất H_2S không chứa triazine

Trong các hợp chất không chứa triazine mới, alpha-hydroxy alkyl ether và alpha-hydroxy alkyl esther là các sản phẩm mới và tiên tiến nhất. Hệ hóa phẩm này được hình thành từ phản ứng giữa 1 aldehyde với acid carboxylic hoặc với rượu. Phản ứng tổng hợp có thể thực hiện trong môi trường bình thường hoặc gia nhiệt nhẹ với xúc tác là các acid như H_2SO_4, H_3PO_4. Một số hóa phẩm khử H_2S thuộc nhóm này có công thức như Bảng 1 và 2.

Kết quả đánh giá và so sánh các sản phẩm này với các sản phẩm truyền thống như triazine cho thấy, các sản phẩm không chứa triazine đã khắc phục được nhược điểm như [6]: không tạo kết tủa với nước đồng hành, không gây ăn mòn thiết bị, phản ứng nhanh, sản phẩm phản ứng hòa tan trong nước, có thể tan/phân tán trong dầu, không chứa nitrogen, không gây ra hiện tượng ngộ độc xúc tác trong phân xưởng cracking tại nhà máy lọc dầu, sản phẩm an toàn với sức khỏe và môi trường.

2.2. Cơ chế tổng hợp alpha-hydroxy alkyl ether và alpha-hydroxy alkyl esther và cơ chế phản ứng

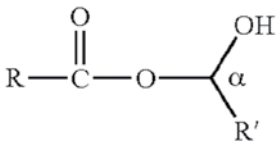
Các hợp chất khử H_2S không chứa triazine như alpha-hydroxy alkyl ether và alpha-hydroxy alkyl esther là những sản phẩm mới, có hiệu quả xử lý cao, không gây các tác động xấu đến hệ thống công nghệ, an toàn với sức khỏe và môi trường. Việc nghiên cứu, chế tạo, ứng dụng các sản phẩm này đang là xu hướng trên thế giới. Hiện nay, một số nhà sản xuất như Nalco, Champion đã tập trung phát triển dạng sản phẩm này [7, 8].

Phản ứng tạo ra alpha-hydroxy alkyl esther từ acid carboxylic và aldehyde được thể hiện như sau:

$$R - (C = O) - OH + R' - (C = O) - H\text{--} \rightarrow R - (C = O) - O - C(H)(R\text{^}') - OH$$

Acid carboxylic Aldehyde Alpha-hydroxy alkyl esther

Cấu trúc của sản phẩm phản ứng như sau:



alpha-hydroxy alkyl esther

Trong đó:

R - aliphatic, cyclic, acyclic, saturated, olefinic, aromatic;

R' - H, aliphatic, cyclic, acyclic, saturated, olefinic, aromatic [7].

Trong phản ứng trên, acid carboxylic có thể là mono, dicarboxylic, oligomer hoặc polymer của acid carboxylic, aldehyde cũng có thể là mono dialdehyde, oligomer hoặc polymer của aldehyde. Phụ thuộc vào cấu trúc của acid/

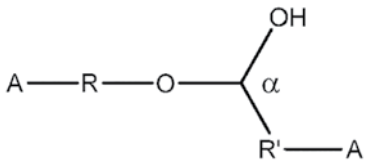
aldehyde mà sản phẩm có thể là bão hòa, không bão hòa hoặc là vòng thơm của polyester, vòng diester hoặc hỗn hợp của polyester và diester. Một số ví dụ về sản phẩm dạng này như: bis(hydroxymethyl) maleate; (2E, 4E)-hydroxymethyl hexa-2,4-dienoate; (E)-hydroxymethyl but-2-enoate; (E)-bis(hydroxymethyl) O,O'-(2-hydroxypropane 1,3-diyl) difumarate; hydroxymethyl 6-(2,5-dioxo-2,5-dihydro-1H-pyrrol-1-yl)hexanoate.

Phản ứng tạo ra alpha-hydroxy alkyl ether như sau:

$$A - R - OH + A - R' - (C = O) - H \rightarrow A - R - O - C(H)(A - R') - OH$$

Alcohol Aldehyde Alpha-hydroxy alkyl ether

Sản phẩm của phản ứng có công thức chung như sau:



alpha-hydroxy alkyl ether

Trong đó:

R - aliphatic, cyclic, acyclic, saturated, olefinic, aromatic;

R' - H, aliphatic, cyclic, acyclic, saturated, olefinic, aromatic;

A - -OH, -OPO3M, -SO3M, -PO3M2, -OSO3M.

Trong 2 phản ứng trên, phản ứng có thể xảy ra khi có/hoặc không có xúc tác, trong điều kiện nhiệt độ thường đến nhiệt độ 60 - 80°C. Xúc tác sử dụng có thể là H_2SO_4, H_3PO_4, KOH [7].

Hóa phẩm khử H_2S trên cơ sở dẫn xuất các hợp chất hydroxy trên thường được pha trong dung môi là các rượu/dung môi đồng hòa tan như: ethanol, isopropanol, butanol... Để tăng khả năng tương hợp với môi trường xử lý, tăng khả năng phân tán vào các pha khác nhau (như dầu/nước) có thể sử dụng thêm các chất hoạt động bề mặt. Trong trường hợp đường ống vận chuyển dầu chứa đồng thời 3 pha (dầu/nước/khí), việc lựa chọn các thành phần (như dung môi, chất phân tán) là yếu tố quan trọng giúp tăng hiệu quả xử lý của hóa phẩm khử H_2S.

Cả 2 loại H_2S scavenger này đều có cùng nguyên lý là được tổng hợp từ phản ứng giữa hợp chất chứa dẫn xuất hydroxy với aldehyde. Phản ứng giữa rượu và aldehyde tạo hemi-acetal là quá trình hóa học diễn ra qua 2 giai đoạn chính: (i) Một phân tử rượu phản ứng với 1 phân tử aldehyde tạo thành hemi-acetal (hoặc hemi-formal nếu aldehyde là formaldehyde); (ii) Một phân tử rượu thứ 2 tiếp tục phản ứng với hemi-acetal, giải phóng 1 phân tử nước và hình thành acetal (hoặc formal).

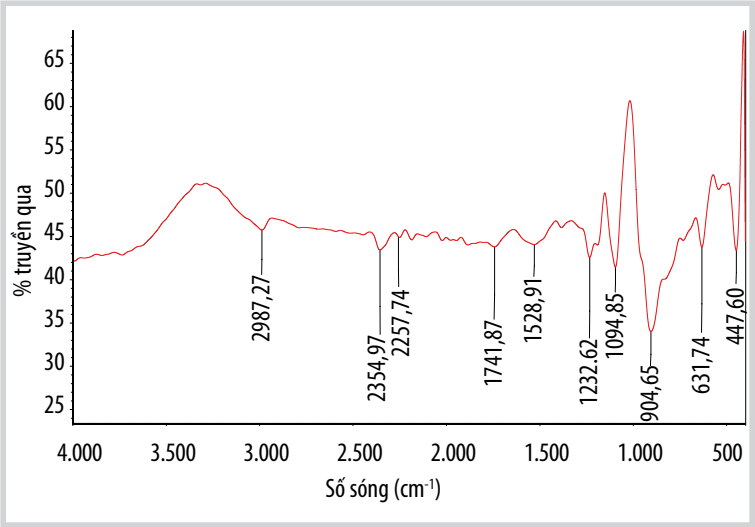
Quá trình hình thành hemi-acetal hoặc hemi-formal là phản ứng thuận nghịch, do đó có thể được xem như dạng cân bằng động giữa aldehyde (hoặc formaldehyde) và rượu tương ứng. Trong môi trường trung tính hoặc kiềm, hemi-acetal là sản phẩm phản ứng duy nhất, còn trong môi trường acid, phản ứng tiếp tục cho đến khi hình thành acetal (hoặc formal hoàn toàn). Các chất xúc tác như acid sulfuric, acid hydrochloric hoặc acid Lewis được sử dụng để điều khiển quá trình này. Ngoài ra, hiệu suất hình thành hemi-acetal giảm dần khi độ phức tạp cấu trúc của aldehyde (hoặc carbonyl) tăng lên. Formaldehyde có lợi thế do là hợp chất carbonyl đơn giản nhất, có khả năng hình thành hemi-acetal hoặc hemi-formal với hiệu suất cao.

Từ nguyên lý chung của quá trình tổng hợp, có thể thiết lập các tiêu chí lựa chọn nguyên liệu đầu vào để chế tạo hóa phẩm khử H_2S không chứa triazine. Đối với aldehyde, ưu tiên aldehyde mạch thẳng đơn chức hoặc hai chức có cấu trúc đơn giản (số lượng nhóm carbonyl thấp) như: acetaldehyde, propionaldehyde, butyraldehyde, glutaraldehyde, glyoxal, formaldehyde,… acid carboxylic có thể sử dụng aicd mono carboxylic, dicarboxylic, oligomer hoặc polymer của acid carboxylic (như acid maleic, acid citric).

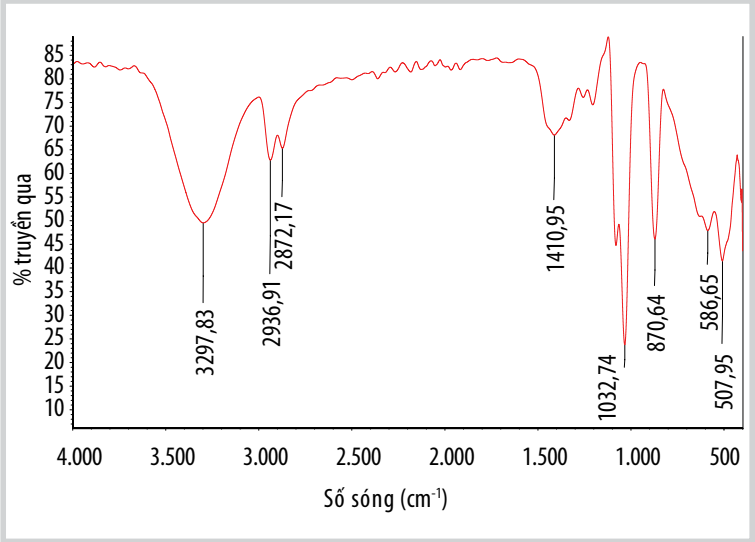
Rượu có thể là đơn chức hoặc đa chức như: ethylene glycol, propylene glycol, polyethylene glycol,...

Bảng 3. *Nguồn nguyên liệu và điều kiện tổng hợp hóa phẩm HS-525*

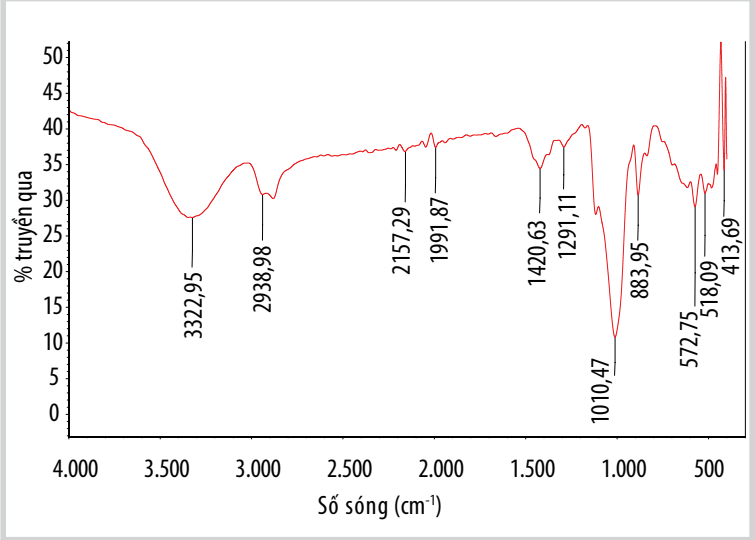
Nguồn nguyên liệu và điều kiện tổng hợp	HS-525
Aldehyde	Paraformaldehyde
Alcohol/acid carboxylic	Ethylene glycol
Xúc tác	NaOH 50%
Thời gian phản ứng	4 giờ
Nhiệt độ phản ứng	80°C



Hình 2. *Phổ FT-IR của hóa phẩm para-formaldehyde.*



Hình 3. *Phổ FT-IR của hóa phẩm ethylene glycol.*



Hình 4. *Phổ FT-IR của hóa phẩm HS-525.*

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nghiên cứu thành phần nguyên liệu và tổng hợp

Nhóm tác giả nghiên cứu tổng hợp hóa phẩm HS-525 với nguồn nguyên liệu và điều kiện tổng hợp theo Bảng 3.

Phổ FT-IR của mẫu cho thấy các đỉnh đặc trưng tại 2.987,27 cm^{-1}, 1.741,87 cm^{-1}, 1.232,62 cm^{-1} và 1.094,85 cm^{-1}... Trong đó, đỉnh 2.987,27 cm^{-1} đặc trưng cho dao động C–H sp^3 của –CH_2–, còn đỉnh 1.741,87 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo giãn C=O, cho thấy sự hiện diện của nhóm carbonyl trong cấu trúc formaldehyde (Hình 2). Đáng chú ý, các đỉnh đặc trưng ở vùng tín hiệu 1.232,62 - 904,65 cm^{-1} là đặc trưng của dao động C–O–C trong các cầu ether –O–CH_2–O–, phù hợp với cấu trúc mạch của paraformaldehyde. So với phổ formaldehyde đơn phân, mẫu đo vẫn giữ nguyên đỉnh C=O nhưng có thêm các đỉnh C–O–C rõ rệt, xác nhận sự tồn tại của chuỗi polymer. Đồng thời, không quan sát thấy các đỉnh N–H hoặc N–O, chứng tỏ mẫu không chứa hợp chất chứa nitrogen. Như vậy, kết quả FT-IR khẳng định mẫu là paraformaldehyde có độ tinh khiết cao, không lẫn tạp chất hữu cơ chứa nitrogen.

Phổ FT-IR của mẫu ethylene glycol thể hiện rõ các đặc trưng của một hợp chất diol mạch thẳng và trùng khớp gần như hoàn toàn với phổ chuẩn. Dải hấp thụ rộng tại 3.297 cm^{-1} được gán cho dao động kéo giãn O–H, phản ánh sự hiện diện của liên kết hydrogen nội và liên phân tử. Các đỉnh tại 2.936 cm^{-1} và 2.872 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo dãn C–H của nhóm –CH_2–, trong khi dải 1.410 cm^{-1} biểu thị dao động biến dạng δ(C–H). Đặc biệt, tín hiệu mạnh ở 1.032 cm^{-1} là đặc trưng cho dao động kéo giãn C–O của nhóm hydroxy gắn vào carbon bão hòa, đóng vai trò là bằng chứng quang phổ quan trọng xác nhận cấu trúc của ethylene glycol. Các tín hiệu bổ sung ở 870,64 cm^{-1}, 586,65 cm^{-1} và 507,95 cm^{-1} được gán cho dao động ngoài mặt phẳng và dao động biến dạng khung C–C (Hình 3).

Phổ FT-IR của sản phẩm HS-525 cho thấy những biến đổi đặc trưng so với phổ mẫu ban đầu, phù hợp với sự hình thành nhóm hemiacetal sau phản ứng giữa

paraformaldehyde và ethylene glycol. Cụ thể, một dải O–H rộng và mạnh xuất hiện tại 3.322,95 cm^{-1} cho thấy sự hiện diện của nhóm hydroxy và mạng liên kết hydro tăng cường; đỉnh C–H (sp^3) tại 2 vị trí 2.938,98 cm^{-1} và 2.889,86 cm^{-1} tương ứng với các nhóm methylene từ ethylene glycol; trong vùng vân tay (fingerprint) xuất hiện đỉnh điển hình của liên kết C–O–C tại 1.010,47 cm^{-1}, cùng các tín hiệu bổ trợ ở 1.291,11 cm^{-1} và 1.420,63 cm^{-1} liên quan đến biến dạng –CH_2–/CH_2–O, cho thấy sự hình thành liên kết acetal/bán acetal (Hình 4). Đồng thời, các đỉnh điển hình của nhóm aldehyde C=O (khoảng 1.720 - 1.740 cm^{-1}) gần như biến mất trong HS-525, chứng tỏ nhóm aldehyde đã bị tiêu thụ trong quá trình phản ứng. Sự xuất hiện thêm các dải ở 883,95 cm^{-1} và 518,09 cm^{-1} có thể phản ánh dao động đặc trưng của hệ vòng 5- hoặc 6-thành viên, tương ứng với cấu trúc hemiacetal vòng. Như vậy, biến đổi vị trí và cường độ các đỉnh FT-IR tăng cường dải O–H, xuất hiện đỉnh C–O–C ở 1.010,47 cm^{-1}, mất đỉnh C=O và các thay đổi trong vùng CH biến dạng đã cung cấp bằng chứng quang phổ rõ ràng rằng phản ứng tổng hợp đã diễn ra thành công và sản phẩm chứa nhóm chức hemiacetal, với mức chuyển đổi aldehyde sang bán acetal gần như hoàn toàn.

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng H_2S ban đầu đến khả năng khử của hóa phẩm scavenger

3.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng H_2S ban đầu tại nhiệt độ thường

Nhóm tác giả xây dựng hệ thống thử nghiệm khả năng khử H_2S của hóa phẩm lỏng phỏng theo thiết kế thí nghiệm của Mendez và Magalhaes [9] trong Hình 5.

Nguyên lý của hệ thử nghiệm gồm 4 bước:

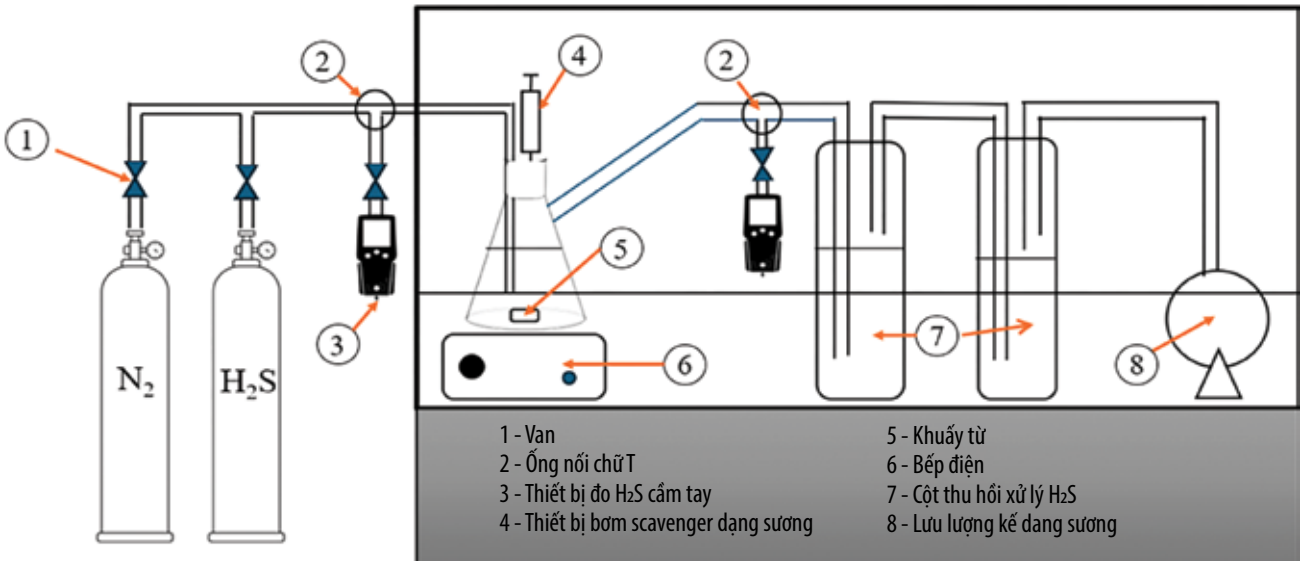
Bước 1: Bơm liên tục dòng khí bao gồm hỗn hợp N2/H_2S theo một tỷ lệ xác định qua 1 thiết bị phản ứng (cell thủy tinh) có chứa một hàm lượng xác định nước vỉa hoặc nước pha theo hàm lượng ion của mẫu nước tại giàn RP3;

Bước 2: Liên tục đo hàm lượng khí H_2S trong hệ cho đến khi hệ đạt hàm lượng nhất định;

Bước 3: Bơm 1 lượng hóa phẩm khử H_2S đã tính toán từ trước vào bình phản ứng để đạt được hàm lượng mong muốn;

Bước 4: Ghi lại hàm lượng của khí H_2S trong suốt quá trình cho đến khi hàm lượng đạt trạng thái ổn định [7].

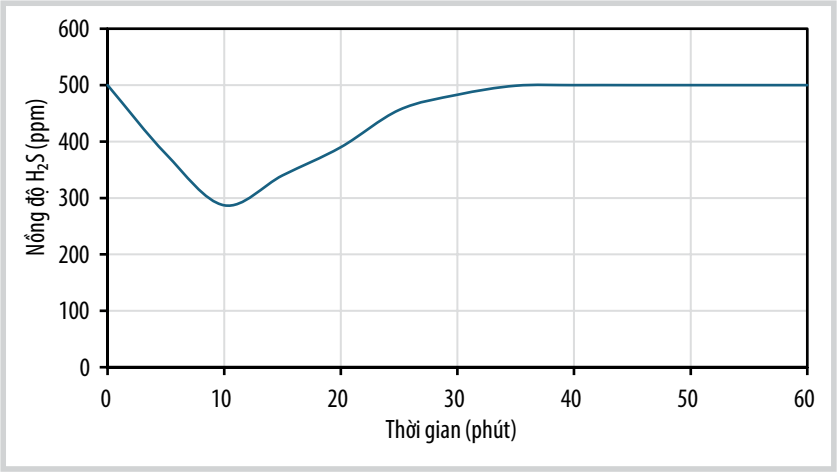
Các kết quả đo được nhằm đánh giá được 2 yếu tố ảnh hưởng đến quá trình khử H_2S của hóa phẩm bao gồm: hàm lượng H_2S cần xử lý ban đầu và tỷ lệ hóa phẩm khử H_2S/hàm lượng khí H_2S. Các kết quả được đánh giá ở 2 điều kiện nhiệt độ là nhiệt độ thường và 55°C. Trong thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng khí H_2S ban đầu đến khả năng khử H_2S của hóa phẩm HS-525, hàm lượng hóa phẩm được lựa chọn để thử nghiệm là 1.000 ppm. Khả năng khử của hóa phẩm HS-525 được đánh giá dựa trên 4 tiêu chí gồm:



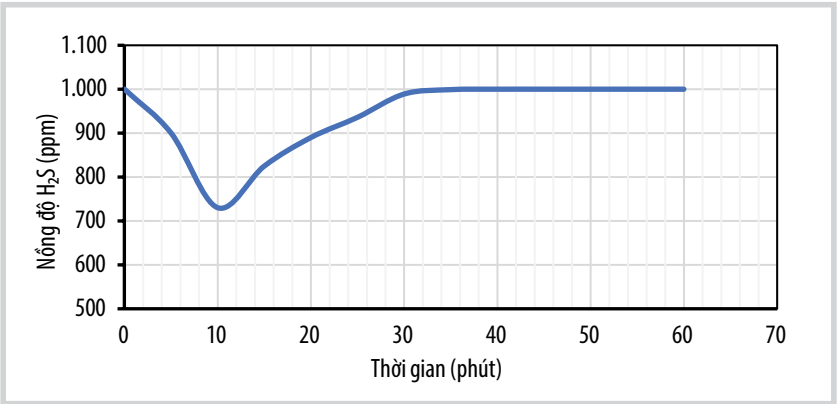
Hình 5. *Mô hình thử nghiệm chất khử H_2S.*

Bảng 4. *Hàm lượng ion trong mẫu nước tại giàn RP3*

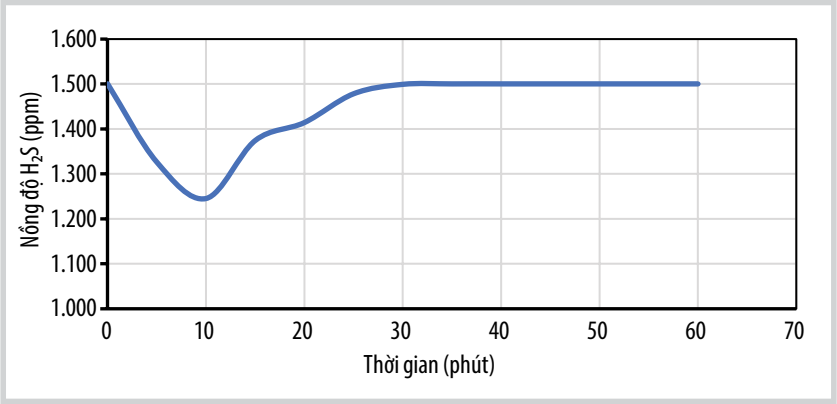
	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	HCO_3^-
Hàm lượng (mg/l)	11.336	33	2.135	5.427	883



Hình 6. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ thường hàm lượng ban đầu 500 ppm.*



Hình 7. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ thường hàm lượng ban đầu 1.000 ppm.*



Hình 8. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ thường hàm lượng ban đầu 1.500 ppm.*

- Nồng độ H_2S đạt thấp nhất trong thời gian thí nghiệm;

- Thời gian cần thiết để đạt hàm lượng khí H_2S thấp nhất (t_{min});

- Thời gian sử dụng hết 95% dung lượng hấp thụ của hóa phẩm (t_{95});

- Tổng hàm lượng khí H_2S bị hấp thụ.

Các kết quả thử nghiệm thể hiện ở Hình 6 - 8.

Ở hàm lượng 500 ppm H_2S đầu vào, hóa phẩm thể hiện hiệu suất khử rất tốt. Hàm lượng H_2S giảm xuống thấp nhất còn 287 ppm sau khoảng 11 phút phản ứng, chênh 213 ppm so với hàm lượng ban đầu. Thời gian sử dụng hết 95% công suất hấp thụ là 28 phút, cho thấy hóa phẩm không chỉ phản ứng nhanh trong giai đoạn đầu mà còn duy trì khả năng khử trong thời gian tương đối dài. Đặc biệt, tổng lượng khí H_2S được hấp thụ đạt 3.300 ppm, một kết quả ấn tượng nếu xét trên hàm lượng hóa phẩm sử dụng. Điều này cho thấy hóa phẩm hoạt động rất hiệu quả ở vùng hàm lượng H_2S thấp, phù hợp với mục tiêu xử lý khí độc trong các tình huống kiểm soát ban đầu hoặc hàm lượng thấp kéo dài.

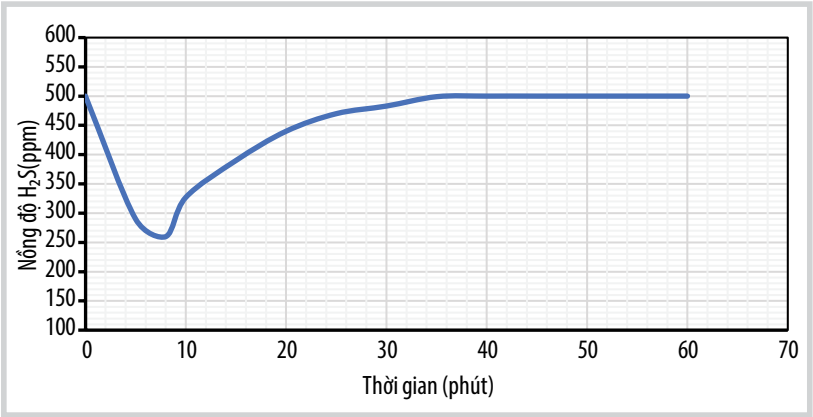
Ở mức hàm lượng H_2S trung bình là 1.000 ppm, hóa phẩm vẫn giữ được tốc độ phản ứng nhanh với thời gian t_{min} là 10 phút. Hàm lượng H_2S sau phản ứng giảm xuống 730 ppm, độ giảm tuyệt đối khoảng 270 ppm. Thời gian duy trì hiệu quả khử cũng giảm còn 26 phút. Mặc dù vậy, tổng lượng H_2S được hấp thụ vẫn đạt giá trị đạt 3.325 ppm, tương đương với mức hàm lượng 500 ppm khí H_2S ban đầu.

Bảng 5. *Bảng thông số khả năng khử của H2S của 1.000 ppm hóa phẩm HS-525 tại các hàm lượng ban đầu khác nhau ở nhiệt độ thường*

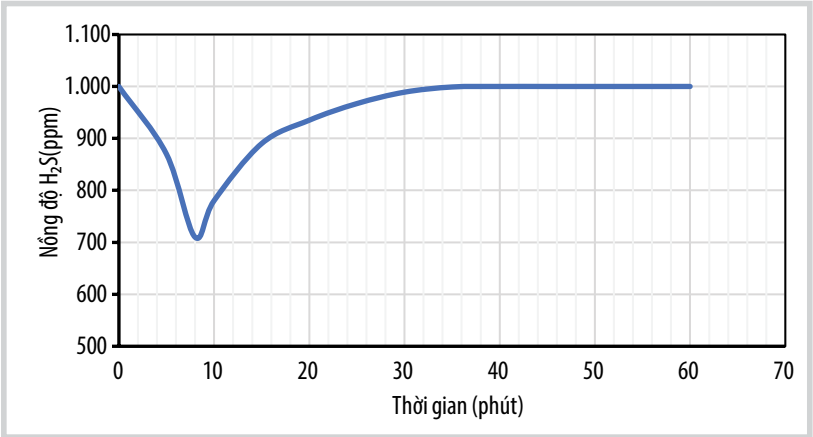
TT	Hàm lượng H_2S (ppm)	Hàm lượng H_2S thấp nhất (ppm)	t_{min} (phút)	t_{95} (phút)	Tổng lượng khí H_2S hấp thụ (ppm)
1	500	287	11	28	3.300
2	1.000	730	10	26	3.325
3	1.500	1.245	9,8	24	3.319

Khi hàm lượng H_2S đầu vào tăng lên đến 1.500 ppm, hiệu suất khử tiếp tục giảm mạnh. Hàm lượng thấp nhất đạt được là 1.245 ppm. Thời gian đạt hàm lượng thấp nhất là 9,8 phút nhanh nhất trong 3 trường hợp cho thấy phản ứng vẫn diễn ra nhanh chóng. Tuy nhiên, thời gian duy trì hiệu quả ngắn nhất, chỉ còn 24 phút. Mặc dù tổng lượng H_2S hấp thụ vẫn cao (3.319 ppm), gần bằng 2 trường hợp trước, nhưng hiệu suất xử lý giảm rõ rệt, phản ánh hiện tượng hóa phẩm bị bão hòa nhanh chóng trong môi trường H_2S cao.

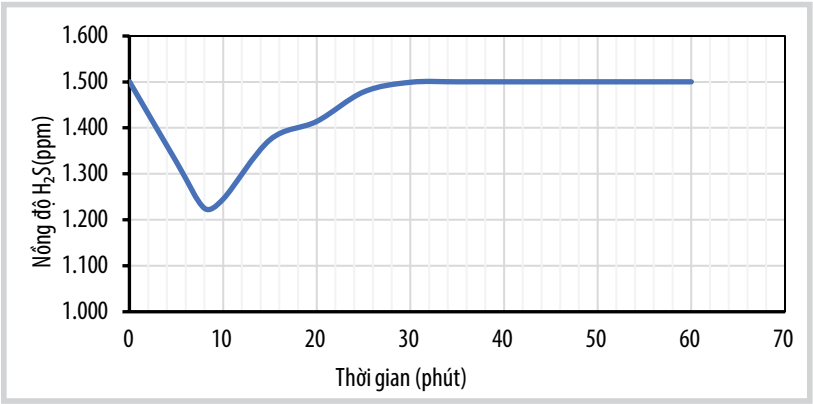
Từ 3 thí nghiệm có thể thấy, tốc độ phản ứng của chất khử HS-525 sẽ tăng dần theo hàm lượng H_2S ban đầu: khi tăng từ 500 ppm lên 1.500 ppm thời gian phản ứng giảm từ 11 phút xuống 9,8 phút. Nguyên nhân do khi hàm lượng H_2S tăng lên các phân tử chất khử dễ dàng "bắt gặp" các phân tử H_2S, dẫn đến số lượng va chạm tăng làm tăng tốc độ phản ứng. Bên cạnh việc thời gian t_{min} giảm thì t_{95} cũng tỷ lệ nghịch với hàm lượng H_2S ban đầu; lượng khí càng nhiều càng làm giảm thời gian duy trì của chất khử. Đây là một tín hiệu tốt, vì khi kết hợp với dữ liệu về tổng hàm lượng khí H_2S đã phản ứng có thể thấy trong cả 3 trường hợp với hàm lượng đầu vào khác nhau thì tổng lượng khí H_2S bị khử có giá trị gần bằng nhau. Điều này cho thấy khả năng hấp thụ H_2S của hóa phẩm không phụ thuộc vào hàm lượng đầu vào, nên có thể sử dụng trong các điều kiện hàm lượng H_2S khác nhau. Do đó, việc t_{95} giảm chỉ là dấu hiệu của việc tốc độ phản ứng tăng mạnh khi hàm lượng ban đầu tăng lên nhưng không làm ảnh hưởng đến khả năng khử của hóa phẩm.



Hình 9. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ 55°C và hàm lượng ban đầu 500 ppm.*



Hình 10. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ 55°C và hàm lượng ban đầu 1.000 ppm.*



Hình 11. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với chất khử HS-525 ở nhiệt độ 55°C hàm lượng ban đầu 1.500 ppm.*

Bảng 6. *Thông số khả năng khử của H_2S của 1.000 ppm hóa phẩm HS-525 tại các hàm lượng ban đầu khác nhau ở 55°C*

TT	Hàm lượng H_2S (ppm)	Hàm lượng H_2S thấp nhất (ppm)	t_{min} (phút)	t_{95} (phút)	Tổng lượng khí H_2S hấp thụ (ppm)
1	500	287	8	22	3.335
2	1.000	710	8	21,8	3.314
3	1.500	1225	8	22	3.451

3.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng H_2S ban đầu tại nhiệt độ 55°C

Bảng 6 thể hiện kết quả khảo sát hiệu quả hấp thụ khí H_2S của một hóa phẩm tại 3 mức hàm lượng đầu vào khác nhau: 500 ppm, 1.000 ppm và 1.500 ppm.

Ở hàm lượng 500 ppm H_2S đầu vào, hóa phẩm cho thấy khả năng hấp thụ tốt với hàm lượng H_2S thấp nhất đạt 287 ppm. Thời gian cần thiết để đạt giá trị này là 8 phút, cho thấy phản ứng hấp thụ diễn ra tương đối nhanh. Giá trị t_{95} tại điều kiện này là 22 phút, phản ánh thời gian mà hóa phẩm vẫn duy trì khả năng hấp thụ đáng kể trước khi bão hòa. Tổng lượng khí H_2S bị hấp thụ đạt 3.335 ppm cho thấy hiệu suất sử dụng hóa phẩm rất tốt.

Khi tăng hàm lượng H_2S ban đầu lên 1.000 ppm, hàm lượng thấp nhất sau hấp thụ là 710 ppm. Tuy nhiên, thời gian t_{min} vẫn giữ nguyên ở 8 phút và t_{95} chỉ giảm nhẹ xuống 21,8 phút. Tổng lượng khí H_2S hấp thụ đạt 3.314 ppm, gần tương đương với trường hợp 500 ppm. Điều này cho thấy mặc dù hiệu quả giảm hàm lượng H_2S tức thời suy giảm khi hàm lượng đầu vào tăng, nhưng dung lượng hấp thụ tổng thể của hóa phẩm vẫn được duy trì ổn định. Điều này có thể được lý giải do sự giới hạn trong tốc độ hấp thụ hoặc sự cạnh tranh giữa các phân tử H_2S tại các vị trí hấp thụ.

Tại hàm lượng H_2S ban đầu cao nhất là 1.500 ppm, hàm lượng H_2S thấp nhất ghi nhận được là 1.225 ppm. Tuy nhiên, cả t_{min} và t_{95} đều được duy trì ở 8 phút và 22 phút, tương tự với 2 điều kiện trước đó. Đặc biệt, tổng lượng khí H_2S hấp thụ tăng lên 3.451 ppm, là giá trị cao nhất trong 3 điều kiện khảo sát. Kết quả này cho thấy khi tải lượng khí đầu vào tăng, hóa phẩm vẫn có khả năng tiếp tục hấp thụ thêm H_2S. Việc tổng lượng khí hấp thụ tăng lên phản ánh khả năng tận dụng tốt các tâm hoạt động của hóa phẩm trong điều kiện tải cao.

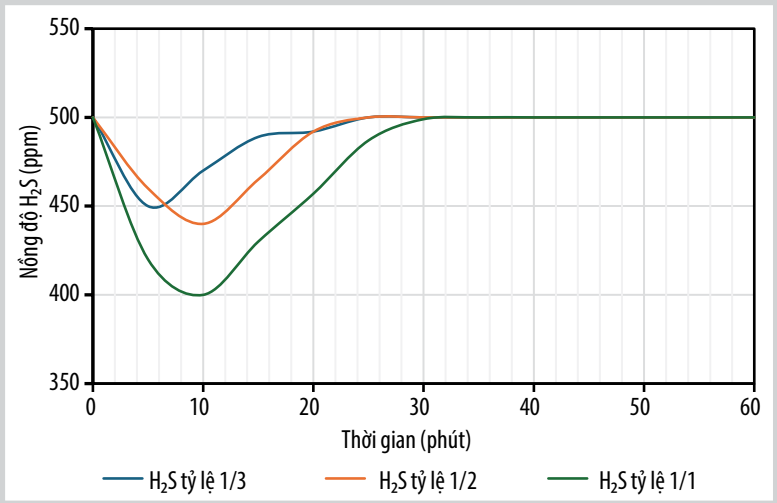
Dựa trên dữ liệu trong Bảng 5 và 6, thể hiện hiệu quả khử H_2S của hóa phẩm HS-525 tại nhiệt độ 25°C và 55°C, có thể nhận thấy rằng nhiệt độ có ảnh hưởng rõ rệt đến tốc độ phản ứng và khả năng hấp thụ H_2S của hóa phẩm này.

Tại nhiệt độ 55°C, thời gian để đạt hàm lượng H_2S thấp nhất là 8 phút cho cả 3 mức hàm lượng ban đầu (500, 1.000 và 1.500 ppm). Trong khi đó, tại nhiệt độ 25°C, t_{min} lần lượt là 11 phút, 10 phút và 9,8 phút cho 3 hàm lượng tương ứng. Như vậy, khi nhiệt độ tăng từ 25°C lên 55°C, thời gian cần thiết để mức khử H_2S thấp nhất giảm xuống khoảng 2 - 3 phút, cho thấy phản ứng diễn ra nhanh hơn đáng kể khi được gia nhiệt. Điều này phản ánh đặc tính tăng tốc độ phản ứng hóa học theo nhiệt độ theo định luật Arrhenius.

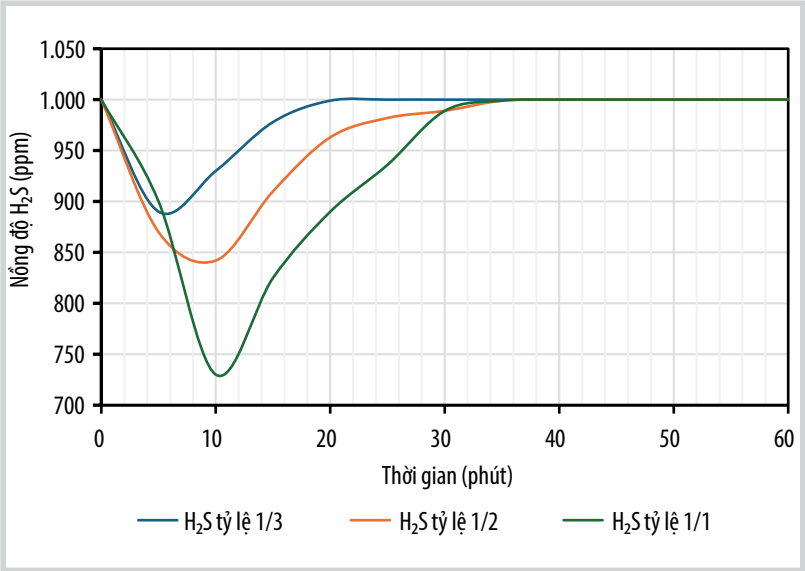
Bên cạnh đó, thời gian sử dụng 95% khả năng hấp thụ cũng giảm mạnh khi tăng nhiệt độ. Ở nhiệt độ 25°C, t_{95} dao động trong khoảng 24 - 30 phút, trong khi tại nhiệt độ 55°C, t_{95} chỉ còn 21,8 - 22 phút. Điều này cho thấy quá trình phản ứng tại nhiệt độ cao diễn ra hiệu quả hơn trong thời gian ngắn hơn, giúp giảm thời gian lưu giữ hóa phẩm trong hệ thống, từ đó tối ưu vận hành. Điều này có thể được lý giải do khả năng khuếch tán và phản ứng bề mặt của chất khử được cải thiện đáng kể khi nhiệt độ tăng, dẫn đến tốc độ phản ứng và hiệu suất xử lý H_2S tốt hơn.

Về khả năng khử H_2S, hàm lượng H_2S thấp nhất đạt được tại 2 mức nhiệt không có sự khác biệt đáng kể, dao động từ 287 ppm đến 1.225 ppm ở cả 2 điều kiện nhiệt độ. Tuy nhiên, điểm nổi bật là tổng lượng khí H_2S hấp thụ ở nhiệt độ 55°C có xu hướng cao hơn so với nhiệt độ 25°C. Cụ thể, tại hàm lượng H_2S ban đầu 1.500 ppm, lượng khí bị hấp thụ ở nhiệt độ 55°C đạt 3.451 ppm so với 3.319 ppm ở nhiệt độ 25°C, cho thấy hiệu suất khử tăng lên đáng kể khi nhiệt độ tăng.

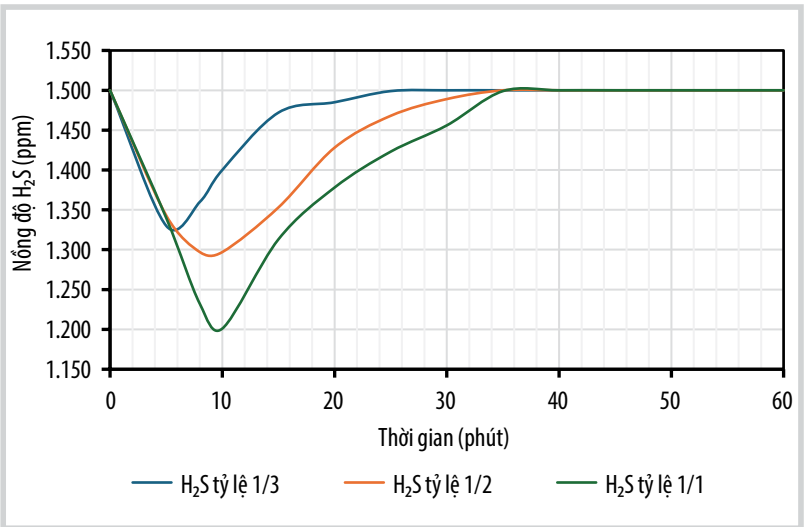
Tóm lại, tăng nhiệt độ từ 25°C lên 55°C làm tăng tốc độ phản ứng, rút ngắn thời gian xử lý và nâng cao hiệu suất hấp thụ H_2S của hóa phẩm HS-525. Điều này cho thấy việc gia nhiệt là một yếu tố quan trọng và có lợi trong việc tối ưu hóa quá trình khử H_2S bằng hóa phẩm này, đặc biệt trong các hệ thống công nghiệp yêu cầu tốc độ xử lý nhanh và hiệu quả hấp thụ cao.



Hình 12. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với tỷ lệ HS-525/H_2S = 1/3 ở nhiệt độ thường (500 ppm).*



Hình 13. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với tỷ lệ HS-525/H_2S = 1/3 ở nhiệt độ thường (1.000 ppm).*



Hình 14. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với tỷ lệ HS-525/H_2S = 1/3 ở nhiệt độ thường (1.500 ppm).*

3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ HS-525/H_2S tới khả năng khử của hóa chất scavenger

3.3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ HS-525/H_2S ở nhiệt độ thường

Các nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ HS-525/H_2S được đánh giá ở 3 giá trị khác nhau, bao gồm 1/1, 1/2 và 1/3.

Kết quả khảo sát khả năng khử H_2S của hóa chất HS-525 với hàm lượng đầu vào cố định 500 ppm và 3 tỷ lệ hóa phẩm/hàm lượng H_2S khác nhau cho thấy tỷ lệ hóa phẩm có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả hấp thụ. Khi sử dụng tỷ lệ 1/1, hàm lượng H_2S giảm nhanh chóng xuống mức thấp nhất là 400 ppm trong vòng 10 phút, thời gian đạt đến 95% hàm lượng cân bằng là 22 phút và tổng lượng H_2S bị hấp thụ đạt 1.535 ppm. Ở tỷ lệ 1/2, hàm lượng H_2S thấp nhất chỉ còn 428 ppm, t_{95} giảm xuống còn 18 phút, và tổng lượng hấp thụ chỉ còn 762 ppm. Tại tỷ lệ thấp nhất 1/3, hiệu quả khử giảm đáng kể với hàm lượng H_2S tối thiểu là 450 ppm, t_{min} chỉ còn 6 phút và t_{95} ngắn nhất là 14,3 phút, tổng lượng H_2S hấp thụ đạt 495 ppm.

Tại hàm lượng 1.000 ppm H_2S đầu vào, khả năng khử H_2S của hóa chất HS-525 tiếp tục thể hiện xu hướng tỷ lệ thuận với lượng hóa phẩm sử dụng. Với tỷ lệ hóa phẩm/hàm lượng H_2S là 1/1, hàm lượng H_2S giảm xuống mức thấp nhất là 730 ppm sau 10 phút, t_{95}

Bảng 7. *Tóm tắt các thông số đo đối với mẫu HS-525 với các tỷ lệ khác nhau ở nhiệt độ thường*

Hàm lượng ban đầu (ppm)	Tỷ lệ	Hàm lượng H_2S thấp nhất (ppm)	t_{min} (phút)	t_{95} (phút)	Tổng lượng khí H_2S hấp thụ (ppm)
500	1/1	400	10	22	1.535
	1/2	428	10	18	762
	1/3	450	6	14,3	495
1.000	1/1	730	10	26	3.325
	1/2	842	8	16	1.565
	1/3	890	5	14	1.015
1.500	1/1	1.201	10,4	26	4.450
	1/2	1.297	8	16	2.224
	1/3	1.330	6	14	1.570

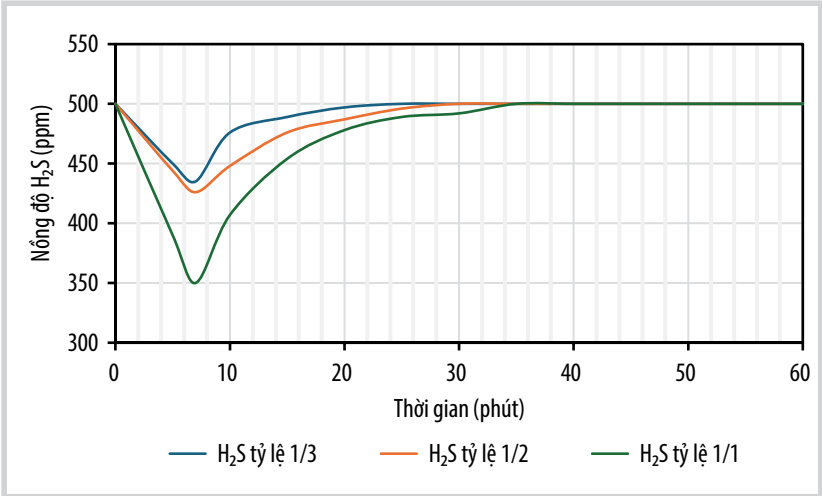
là 26 phút và tổng lượng H_2S bị hấp thụ đạt 3.325 ppm. Khi giảm tỷ lệ xuống 1/2, hàm lượng thấp nhất chỉ còn 842 ppm, thời gian t_{min} rút ngắn còn 8 phút và t95 giảm còn 16 phút, với tổng lượng hấp thụ là 1.565 ppm. Tại tỷ lệ thấp nhất 1/3, hiệu quả xử lý suy giảm rõ rệt, khi hàm lượng H_2S thấp nhất chỉ đạt 890 ppm, t_{min} là 5 phút, t_{95} ngắn nhất 14 phút và lượng H_2S bị hấp thụ chỉ còn 1.015 ppm.

Tại hàm lượng 1.500 ppm H_2S đầu vào , khả năng khử H_2S của hóa chất HS-525 tiếp tục thể hiện xu hướng tỷ lệ thuận với lượng hóa phẩm sử dụng. Với tỷ lệ hóa phẩm/hàm lượng H_2S là 1/1, hàm lượng H_2S giảm xuống mức thấp nhất là 1.201 ppm sau 10,4 phút, thời gian đạt 95% hàm lượng cân bằng là 26 phút và tổng lượng H_2S bị hấp thụ đạt 4.450 ppm. Khi giảm tỷ lệ xuống 1/2, hàm lượng thấp nhất chỉ còn 842 ppm, thời gian t_{min} thấp rút ngắn còn 8 phút và t_{95} giảm còn 16 phút, với tổng lượng hấp thụ là 2.224 ppm. Tại tỷ lệ thấp nhất 1/3, hiệu quả xử lý suy giảm rõ rệt, khi hàm lượng H_2S thấp nhất chỉ đạt 1.330 ppm, t_{min} thấp là 5 phút, t_{95} ngắn nhất 14 phút và lượng H_2S bị hấp thụ chỉ còn 1.570 ppm.

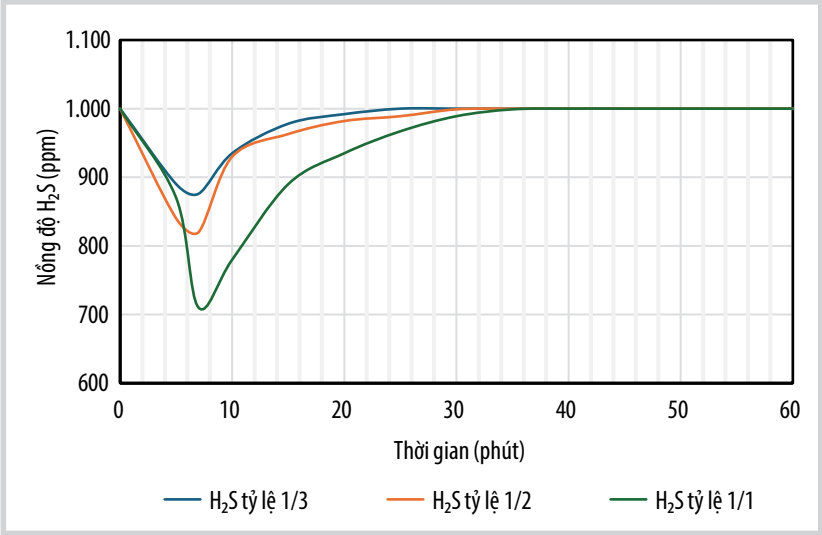
Kết quả thực nghiệm với hàm lượng H_2S ban đầu khác nhau, có thể nhận thấy ảnh hưởng rõ rệt của tỷ lệ hóa phẩm/hàm lượng H_2S đến hiệu quả xử lý khí độc của hóa chất HS-525. Ở cả 3 mức hàm lượng, khi tăng tỷ lệ hóa phẩm từ 1/3 lên 1/1, hiệu suất khử H_2S được cải thiện đáng kể, thể hiện qua 3 yếu tố chính: (i) hàm lượng H_2S tối thiểu đạt được thấp hơn, (ii) thời gian duy trì hấp thụ kéo dài hơn và (iii) tổng lượng H_2S bị hấp thụ lớn hơn.

3.3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ HS-525/H_2S ở nhiệt độ 55°C

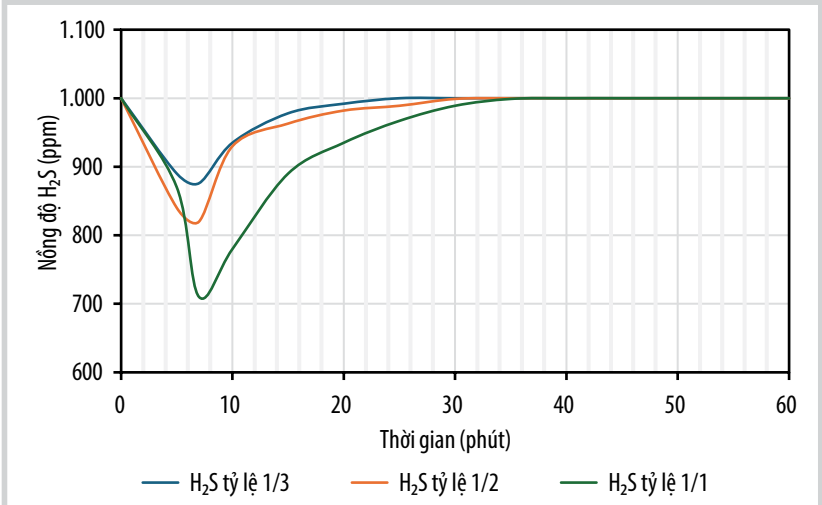
Đồ thị biểu diễn sự thay đổi hàm lượng khí H_2S theo thời gian khi sử dụng hóa phẩm HS-525 với 3 tỷ lệ khác nhau tại hàm lượng ban đầu 500 ppm cho thấy hiệu quả hấp thụ H_2S tăng lên khi



Hình 15. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với các tỷ lệ HS-525/H_2S khác nhau ở nhiệt độ 55°C (500 ppm).*



Hình 16. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với các tỷ lệ HS-525/H_2S khác nhau ở nhiệt độ 55°C (1.000 ppm).*



Hình 17. *Đường biểu diễn hàm lượng khí H_2S theo thời gian với các tỷ lệ HS-525/H_2S khác nhau ở nhiệt độ 55°C (1.500 ppm).*

Bảng 8. *Kết quả đo đối với mẫu HS-525 ở nhiệt độ 55°C*

Hàm lượng ban đầu (ppm)	Tỷ lệ	Hàm lượng H_2S thấp nhất (ppm)	t_{min} (phút)	t_{95} (phút)	Tổng lượng khí H_2S hấp thụ (ppm)
500	1/1	350	8	20	1.575
	1/2	426	7,8	16	794
	1/3	440	7,4	14	504
1.000	1/1	710	8	21,8	3.314
	1/2	820	7,7	16	1.625
	1/3	890	7,8	15	1.105
1.500	1/1	1.158	8	24	4.531
	1/2	1.297	7,5	17	2.265
	1/3	1.330	7,7	16	1.680

tăng lượng hóa phẩm. Ở tỷ lệ 1/1, hàm lượng H_2S giảm mạnh xuống mức thấp nhất là 350 ppm sau 8 phút, sau đó tăng dần và đạt trạng thái gần như ổn định sau khoảng 20 phút. Với tỷ lệ 1/2, giá trị tối thiểu đạt được là 426 ppm tại thời điểm 7,8 phút và hồi phục về mức ổn định nhanh hơn (16 phút). Tỷ lệ 1/3 có xu hướng hiệu quả thấp nhất, thể hiện qua đường cong có mức giảm thấp rõ rệt và phục hồi sớm.

Số liệu cho thấy tổng lượng H_2S bị hấp thụ ở tỷ lệ 1/1 là 1.575 ppm, gần gấp đôi so với tỷ lệ 1/2 (794 ppm). Điều này khẳng định vai trò quyết định của liều lượng hóa phẩm đối với khả năng xử lý khí H_2S, đặc biệt trong điều kiện hàm lượng thấp. Hiệu ứng hấp thụ rõ rệt nhất ở tỷ lệ cao và cả tốc độ phản ứng cũng được kéo dài, cho thấy thời gian tác động hiệu quả lâu hơn.

Khi hàm lượng ban đầu của H_2S tăng lên 1.000 ppm, hiệu quả xử lý của hóa phẩm HS-525 vẫn cho thấy sự phụ thuộc đáng kể vào tỷ lệ hóa phẩm. Tại tỷ lệ 1/1, hàm lượng H_2S giảm xuống còn 710 ppm tại thời điểm 8 phút và hồi phục sau khoảng 21,8 phút là khoảng t_{95} dài nhất trong 3 tỷ lệ, cho thấy hiệu quả duy trì hấp thụ được kéo dài. Với tỷ lệ 1/2 và 1/3, hàm lượng H_2S thấp nhất lần lượt là 820 ppm và 890 ppm, với t_{95} rút ngắn còn 16 và 15 phút.

Tổng lượng H_2S được hấp thụ cũng phản ánh rõ sự chênh lệch hiệu suất theo tỷ lệ: tỷ lệ 1/1 đạt mức hấp thụ 3.314 ppm, cao gấp đôi tỷ lệ 1/2 (1.625 ppm) và gấp hơn 3 lần tỷ lệ 1/3 (1.105 ppm). Đặc biệt, tỷ lệ 1/1 cho thấy đường cong có độ dốc rõ rệt và khả năng duy trì hàm lượng thấp lâu hơn, cho thấy sự bền vững của hiệu ứng hấp thụ trong điều kiện hàm lượng khí trung bình.

Ở mức hàm lượng cao nhất là 1.500 ppm, hiệu quả xử lý khí H_2S của hóa phẩm HS-525 tiếp tục phụ thuộc mạnh vào tỷ lệ pha loãng. Tỷ lệ 1/1 đạt mức hàm lượng H_2S thấp nhất là 1.158 ppm sau 8 phút và phục hồi về trạng thái ổn định sau 24 phút. Trong khi đó, tỷ lệ 1/2 và 1/3 chỉ giảm xuống được lần lượt là 1.297 ppm và 1.330 ppm, với thời gian hồi phục lần lượt là 17 và 16 phút.

Tổng lượng khí H_2S bị hấp thụ tăng đáng kể theo tỷ lệ hóa phẩm, với giá trị tương ứng là 4.531 ppm (tỷ lệ 1/1), 2.265 ppm (tỷ lệ 1/2) và 1.680 ppm (tỷ lệ 1/3). Điều đáng chú ý là mặc dù hiệu suất tương đối giảm theo tỷ lệ hóa phẩm, tổng khối lượng khí bị hấp thụ vẫn tăng theo hàm lượng ban đầu, phản ánh tiềm năng ứng dụng của HS-525 trong môi trường có tải lượng H_2S cao.

Khả năng khử H_2S của hóa phẩm HS-525 được đánh giá thông qua các thông số thực nghiệm tại điều kiện nhiệt độ 25°C và 55°C với 3 mức hàm lượng khí H_2S đầu vào là 500 ppm, 1.000 ppm và 1.500 ppm. Kết quả thu được cho thấy nhiệt độ phản ứng có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả xử lý của hóa phẩm, thể hiện qua sự thay đổi của hàm lượng H_2S thấp nhất đạt được, thời gian hấp thụ đặc trưng, và tổng lượng H_2S bị hấp thụ.

Ở cùng một hàm lượng đầu vào và tỷ lệ hóa phẩm, khi tăng nhiệt độ từ 33°C lên 55°C, hàm lượng H_2S thấp nhất sau phản ứng giảm mạnh, chứng tỏ hiệu suất hấp thụ tăng lên rõ rệt. Ví dụ, tại hàm lượng 500 ppm và tỷ lệ 1/1, hàm lượng H_2S tối thiểu đạt 400 ppm ở 33°C, trong khi ở 55°C chỉ còn 350 ppm. Tương tự, ở hàm lượng 1.500 ppm và tỷ lệ 1/1, mức thấp nhất là 1.201 ppm tại 33°C nhưng giảm xuống chỉ còn 1.158 ppm tại 55°C.

Thời gian đạt hàm lượng thấp nhất có xu hướng rút ngắn hoặc giữ ổn định khi tăng nhiệt độ, trong khi t_{95} có xu hướng tăng nhẹ. Đáng chú ý là tổng lượng H_2S bị hấp thụ tăng đáng kể ở nhiệt độ cao hơn.

Sự cải thiện hiệu quả xử lý khi tăng nhiệt độ có thể được lý giải bằng việc nhiệt độ cao thúc đẩy quá trình

khuếch tán khí H_2S vào pha lỏng hoặc vật liệu phản ứng, đồng thời tăng tốc độ phản ứng hóa học giữa H_2S và hoạt chất trong hóa phẩm HS-525. Ngoài ra, nhiệt độ cao có thể làm giảm độ nhớt và tăng khả năng tương tác giữa các pha, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình chuyển khối và phản ứng xảy ra hiệu quả hơn.

Trong thực tế, hệ hóa phẩm khử H_2S khi được đưa vào sử dụng trong hệ thống thu gom, xử lý và vận chuyển dầu khí sẽ tiếp xúc trực tiếp với nhiều thành phần có thể ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý gồm nước đồng hành, dầu thô, và các loại hóa phẩm hiện đang sử dụng trong hệ thống như hóa phẩm khử dầu trong nước, hóa phẩm ức chế lắng đọng muối vô cơ, chất ức chế ăn mòn, chất diệt khuẩn, chất phá nhũ, chất giảm nhiệt độ đông đặc.

Việc đánh giá tính tương hợp (hòa tan, phân tán, không kết tủa, không phản ứng phụ...) giữa hệ hóa phẩm khử H_2S và các thành phần trên là cần thiết nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả khi triển khai công nghệ trong điều kiện thực tế. Nhóm tác giả đã đánh giá sơ bộ về khả năng tương thích của hóa phẩm HS-525 đối với các loại hóa phẩm trong quy mô phòng thí nghiệm. Kết quả ban đầu cho thấy HS-525 tương thích tốt với các chất và không xảy ra hiện tượng tạo nhũ, kết tủa, không xảy ra hiện tượng bất thường về tính chất vật lý.

Với khả năng phản ứng mạnh của hóa phẩm với khí H_2S, hàm lượng hóa phẩm sử dụng được tối ưu. Theo tính toán của nhóm tác giả, lượng hóa phẩm khử HS-525 thải ra môi trường kèm với nước đồng hành đạt khoảng 0,25 mg/L nước đồng hành, không ảnh hưởng đến môi trường.

4. Kết luận

Chất khử H_2S HS-525 mới dựa trên paraformaldehyde và ethylene glycol cho kết quả ấn tượng về tốc độ phản ứng và khả năng hấp thụ H_2S. Phổ FT-IR chứng tỏ HS-525 chứa nhóm hemiacetal đặc trưng, phù hợp thiết kế không triazine. Trong tất cả các điều kiện thử nghiệm, HS-525 giảm nhanh hàm lượng H_2S và dung lượng hấp thụ tối đa theo tỷ lệ HS-525/H_2S được đề xuất là 1:3. Ngoài ra các thí nghiệm cũng đã chứng minh HS-525 có khả năng xử lý H_2S ở các khoảng nhiệt độ khác nhau mà không bị suy giảm chất lượng của hóa phẩm. Những đặc tính này cho thấy HS-525 hoạt động ổn định dưới các điều kiện khác nhau và khắc phục được các nhược điểm của chất khử H_2S gốc triazine như có pH = 6 - 8 trung tính, tránh gây lắng đọng cặn Ca^{2+} gây tắc nghẽn đường ống, thân thiện với môi trường... Kết quả nghiên cứu đã xác nhận tính khả thi của hướng phát triển hóa phẩm khử H_2S không chứa triazine và cung cấp cơ sở để phát triển và tối ưu hóa thành phần cho các nghiên cứu tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

[1] Võ Thị Thương, Trần Vĩnh Lộc, Lê Dương Hải, Trần Nam Thanh, Nguyễn Anh Tuấn, Lê Mai Phương, Huỳnh Minh Thuận, "Đánh giá và đề xuất phương án công nghệ loại bỏ H_2S trong khí từ mỏ Cá Voi Xanh", *Tạp chí Dầu khí*, số 2, trang 47 - 53 , 2017.

[2] PVN, *"Thông báo về việc khảo sát sự quan tâm để hợp tác, triển khai hoạt động dầu khí tại Lô 01/97&02/97"*.

[3] Obakore W. Agbroko, Karishma Piler, and Tracy J. Benson, "A comprehensive review of H_2S scavenger technologies from oil and gas streams", *ChemBioEng Reviews*, Volume 4, Issue 6, pp. 339 - 359, 2017. DOI: 10.1002/cben.201600026.

[4] Ismail A. Elhaty, "Development in the scavenging efficiency of H_2S scavengers in oil and gas industry", *Natural Volatiles & Essential Oils Journal*, Volume 9, Issue 2, pp. 219 - 229, 2022.

[5] F. Chaudhry, G.L. Mobley, Y.H. Tsang, S. Ramachandran, V. Jovancicevic, S.C. Braman, E.N. Rowton, A.P. McDonald, and J.A Davis, "Laboratory development of a novel, non-triazine-based hydrogen sulfide scavenger and field implementation in the haynesville shale", *SPE International Conference on Oilfield Chemistry*, The Woodlands, Texas, USA, 8 - 10 April 2013. DOI: 10.2118/164077-MS.

[6] J.J. Wylde, G.N. Taylor, K.S. Sorbie, and W.N. Samaniego, "Synthesis and reaction byproduct characterization and mechanistic understanding of hemiformal based hydrogen sulfide scavengers", *Energy and Fuels*, Volume 34, Issue 4, pp. 4808 - 4821, 2020. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c00110.

[7] Aaron D. Martinez, Erick J. Acosta Otero, Maximilian A. Silvestri, Joseph P. Bailey, and Jose M. Macias, *"Functionalized hydrogen sulfide scavengers"*, United States Patent US20140166282A1, 19/6/2014.

[8] Aaron D. Martinez, Ravindranath Mukkamala, Erick J. Acosta Otero, Joseph P. Bailey, *"Scavenging hydrogen sulfide"*, United States Patent US20140166289A1, 19/6/2014.

[9] Conchita Mendez, Alvaro A. Oliveira Magalhaes, Pedro Altoe, and Eduardo Acosta, "H_2S scavengers injection: A novel evaluation protocol to enhance the

integrity of production lines", *Offshore Technology Conference*, Houstan, Texas, 4 - 7 May 2009. DOI: 10.4043/20168-MS.

[10] Giuseppe Messina, Giovanna Chessa, Loreno Lorenzoni, and Riccardo Mansani, *"Process for the synthesis of alpha-hydroxy-esters"*, European Patent EP0463676A1, 2/1/1992.

[11] Jerry J. Weers, Soma Chakraborty and Vaithilingam Panchalingam, *"Functionalized aldehydes as H_2S and mecartan scavengers"*, United States Patent US10829699B2, 10/11/2020.

[12] Jeffery Caleb Clark, Matthew Trevino and Lawrence J. Karas, Julian M. Gallardo, Prakasa Anantaneni, Rafaela Carvalhal Passos, Christopher Burrell, and Geeta Rana, *"Hydrogen sulfide scavengers"*, United States Patent US10538710B2, 21/1/2020.

DEVELOPMENT OF A NON-TRIAZINE H_2S SCAVENGER FOR OIL AND GAS GATHERING, TREATMENT, AND TRANSPORTATION SYSTEMS

Nguyen Minh Tien[1], Vu Van Duc[1], Do Thanh Trung[1], Ngo Thi Nguyen[1], Le Huy Thuong[2], Nguyen Ngoc Diep[2]
[1]PVChem-Tech Company Limited
[2]Cortek Company Limited
Email: tiennm@pvchem.com.vn

Summary

This study presents the synthesis and performance evaluation of a non-triazine hydrogen sulfide (H_2S) scavenger, designated as HS-525, prepared from paraformaldehyde and ethylene glycol. FT-IR analysis confirmed the formation of characteristic hemiacetal linkages, indicating successful synthesis and the absence of nitrogen-containing structures. Experimental investigations assessing the effects of H_2S concentration, temperature, and scavenger-to-gas ratio indicate that HS-525 reacts rapidly with H_2S, maintains stable scavenging capacity across a wide range of tested conditions, and exhibits high absorption performance even at elevated H_2S concentrations. Increasing temperature enhances both reaction rate and removal efficiency, while higher scavenger dosage provides superior performance. Under neutral pH conditions, HS-525 does not cause corrosion or calcium carbonate precipitation and is more environmentally benign than conventional triazine-based scavengers. The study results demonstrate the potential of developing non-triazine H_2S scavengers for oil and gas collection, treatment, and transportation systems.

Key words: Hydrogen sulfide, non-triazine, pipeline, alpha-hydroxy alkyl, corrosion.