



# Một số phương pháp rửa đất phù hợp loại bỏ thủy ngân và bảo vệ môi trường

HOÀNG HỒNG GIANG, ĐỒNG THỊ THU HUYỀN, NGUYỄN THỊ THU HẰNG

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

BÙI THỊ PHƯƠNG THÚY\*

Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Văn Lang

**Ô nhiễm thủy ngân trong đất thường có ảnh hưởng lớn đến môi trường và sức khỏe con người do tính độc cao của thủy ngân. Trong nhiều phương pháp loại bỏ thủy ngân ra khỏi đất, phương pháp rửa đất được biết đến là một phương pháp ít tốn thời gian và có hiệu quả loại bỏ cao. Rửa đất là phương pháp loại bỏ thủy ngân qua các quá trình hóa học, tách vật lý hoặc hóa lý. Sử dụng kết hợp phương pháp vật lý và hóa học và kết hợp nhiều loại hóa chất với nhau thường cho hiệu quả loại bỏ thủy ngân cao hơn. Bài báo này nhằm tổng hợp các kỹ thuật rửa đất ô nhiễm thủy ngân đã được áp dụng trong các nghiên cứu trước đây. Trong đó, bài báo nhấn mạnh vào các thiết bị và hóa chất sử dụng, đồng thời phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả rửa đất. Kết quả của bài báo này là cơ sở để lựa chọn kỹ thuật rửa đất phù hợp để loại bỏ thủy ngân và BVMT cho từng trường hợp ô nhiễm thủy ngân trong đất riêng biệt.**

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rửa đất bị nhiễm thủy ngân (Hg) là phương pháp tách Hg khỏi đất thông qua các quá trình hóa học, tách vật lý hoặc hóa lý [6]. Chiết xuất hóa học thường được áp dụng khi Hg tồn tại ở dạng ion, trong khi đó tách vật lý phù hợp với các dạng hạt [7]. Quá trình tách vật lý có thể được sử dụng một mình hoặc kết hợp với phương pháp lọc hóa học [7]. Sự kết hợp của Hg với hạt đất là cơ sở cho việc lựa chọn áp dụng phương pháp rửa đất. Các quá trình phân tách vật lý có thể sử dụng khi Hg được hấp thụ có chọn lọc trên một loại thành phần đất cụ thể [21]. Nếu Hg bao phủ bên ngoài các hạt đất, chúng có thể được loại bỏ khỏi lõi của hạt đất bằng phương pháp mài mòn (chà mòn) hoặc hòa tan hóa học [21]. Khi Hg xâm nhập vào bên trong lỗ rỗng của các hạt đất, việc nghiền hạt là cần thiết để làm lộ ra bề mặt kết dính với Hg, từ đó áp dụng các quá trình chà xát tiêu hao hoặc hòa tan hóa học [21].

Từ hơn hai thập kỷ trước, rửa đất đã được sử dụng để loại bỏ kim loại nặng khỏi đất bị ô nhiễm [7, 19, 21]. Rửa đất bằng phương pháp tách vật lý cho thấy hiệu quả loại bỏ Hg thấp khi sử dụng nước là dung môi dùng để loại bỏ Hg ra khỏi đất bị ô nhiễm [15]. Các quá trình như tuyển nổi bọt, tập trung trọng lực, chà tiêu hao, tách kích thước, và tách từ tính thường được áp dụng để tách các hạt trong quá trình rửa đất vật lý [7, 21]. Các nghiên cứu mới hơn cho thấy hiệu quả rửa đất để loại bỏ Hg được cải thiện bằng cách sử dụng chiết xuất hóa học hoặc kết hợp giữa tách vật lý và chiết xuất hóa học [1, 9]. Các dung môi thường được sử dụng trong rửa đất ô nhiễm Hg như là axit, kiềm, dung dịch muối, chất hoạt động bề mặt hoặc chất chelat/phối tử. Các hóa chất riêng lẻ sử dụng để rửa đất bị nhiễm Hg được báo cáo là kém hiệu quả hơn so với việc sử dụng kết hợp các hóa chất. Các axit vô cơ như  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  và dung

dịch muối như KI,  $Na_2S_2O_3$  đã được sử dụng sớm nhất trong các nghiên cứu trước đây [3, 18]. Sự kết hợp giữa axit và muối, muối và chất oxy hóa/chất khử hoặc axit và chất chelat cũng đã được thực hiện [25]. Tuy nhiên một số hóa chất có tính độc hại cao và có thể gây ảnh hưởng đến cấu trúc đất, do đó, những hóa chất thân thiện với môi trường hơn đã được đề xuất sử dụng trong các nghiên cứu gần đây như là axit hữu cơ, chất hoạt động bề mặt, dung dịch điện phân... để bảo vệ cấu trúc đất và hệ sinh thái [1].

Các nghiên cứu trước đây về rửa đất ô nhiễm Hg chủ yếu là những nghiên cứu cụ thể về sử dụng các hóa chất và thiết bị cụ thể khác nhau. Các nghiên cứu tổng quan về rửa đất ô nhiễm Hg là chưa phổ biến trong thời gian gần đây. Do đó, nghiên cứu này nhằm tóm tắt các phương pháp rửa đất ô nhiễm Hg đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước đây. Trong đó, các thiết bị, hóa chất và các điều kiện ảnh hưởng đến quá trình rửa đất được tổng hợp trong nghiên cứu này để làm cơ sở cho việc lựa chọn kỹ thuật rửa đất ô nhiễm Hg. Nghiên cứu này cung cấp một bức tranh tổng thể về phương pháp rửa đất ô nhiễm Hg.

## 2. CÁC QUÁ TRÌNH PHÂN TÁCH VẬT LÝ TRONG RỬA ĐẤT Ô NHIỄM THỦY NGÂN

Rửa đất là một bằng phương pháp vật lý là quá trình sử dụng nước để chà rửa đất nhằm loại bỏ các chất gây ô nhiễm [7]. Bản chất của quá trình vật lý là sử dụng các tác động vật lý để tách các chất gây ô nhiễm khỏi các hạt đất dựa trên sự khác biệt về kích thước, mật độ, tính kỵ nước của bề mặt hạt, tính chất từ và tính dẫn điện của các hạt. Đất bị ô nhiễm Hg được chuẩn bị và cho vào bình khuấy có chứa dung dịch chiết. Thiết kế cơ khí là yếu tố then chốt của quá trình trộn [7, 21]. Máy khuấy phải có khả năng phân tán bùn và đất sét đã lắng xuống đáy ống trụ và cũng



phải phân bố hạt đồng đều theo độ sâu. Nhiều kỹ thuật khác nhau đã được sử dụng để rửa Hg trong đất bị ô nhiễm như sàng lọc cơ học, phân loại thủy động lực, tập trung trọng lực, tuyển nổi bọt, tách từ, tách tĩnh điện và chà tiêu hao [7]. Bảng 1 tóm tắt các kỹ thuật phân tách vật lý để rửa đất nhiễm Hg.

**Bảng 1. Các kỹ thuật phân tách vật lý để rửa đất nhiễm thủy ngân**

Phương pháp	Cơ chế	Đặc điểm	Các công nghệ tiêu biểu
Sàng lọc cơ học	Tách dựa trên kích thước hạt	Sàng lọc cơ học sử dụng loại trừ kích thước thông qua hàng rào vật lý để cung cấp kích thước phù hợp cho việc xử lý	Vibrating grizzly; barrel trommel; sàng lọc trọng lực hoặc quay
Phân loại thủy động lực	Phân tách dựa trên vận tốc lắng	Phân loại thủy động lực phân tách các hạt bằng sự chênh lệch vận tốc lắng hoặc bằng lực ly tâm vào dòng nước. Được sử dụng rộng rãi	Hydrocyclones, máy rửa giải, máy phân loại cơ học (máy phân loại trực vít)
Trọng lực	Tách dựa trên mật độ hạt	Công nghệ tập trung trọng lực tách mật độ cao khỏi các khoáng chất hoặc hạt mật độ thấp trong bùn nước và đất (hàm lượng chất rắn tương đối cao) Được sử dụng rộng rãi. Khó khăn khi có đất sét và đất mùn	Máy tập trung xoắn ốc, bàn rung, đồ gá...
Tuyển nổi bọt	Tách dựa trên đặc tính kỵ nước của bề mặt hạt	Sự khác biệt về đặc tính kỵ nước của bề mặt hạt được khai thác để tách một số khoáng chất khỏi đất bằng cách gắn vào bọt khí được bơm vào bọt giấy (hàm lượng chất rắn thấp) Được sử dụng rộng rãi. Cần có phụ gia hóa học	Tuyển nổi trong tế bào hoặc trong cột (hệ thống khuấy trộn hoặc không khuấy trộn)
Tách từ	Tách dựa trên tính chất từ của các hạt	Các hạt khoáng được tách theo độ nhay từ khác nhau của chúng Mức độ phổ biến trong sử dụng là vừa phải. Chi phí vốn và vận hành cao	Máy tách khô hoặc ướt sử dụng cường độ cao (HIMS) hoặc cường độ thấp (LIMS)
Tách tĩnh điện	Tách dựa trên đặc tính dẫn điện của các hạt	Sự phân tách dựa trên sự khác biệt về độ dẫn điện bề mặt của các hạt được tách Hiếm khi được sử dụng. Vật liệu phải khô hoàn toàn	Máy tách tĩnh điện và điện động
Chà xát tiêu hao	Chà từ hạt này sang hạt khác	Quá trình chà tiêu hao sử dụng khuấy trộn năng lượng cao của bùn đất (hàm lượng chất rắn cao) để loại bỏ lớp phủ bề mặt hạt và phân tán cốt liệu đất Được sử dụng rộng rãi. Cần xử lý sơ bộ trước để cải thiện quá trình phân tách	Các loại máy lọc khác nhau

Hydrocyclones được sử dụng rộng rãi trong quá trình rửa đất để tách đất mịn ra khỏi các hạt cát lớn hơn [26]. Lực ly tâm mạnh hơn lực hấp dẫn, do đó, thời gian vận hành để đạt được sự phân tách giảm đi đáng kể. Hydrocyclones có chi phí vốn và vận hành thấp so với các thiết bị phân loại khác [26]. Kỹ thuật tập trung trọng lực khai thác sự chênh lệch trọng lực của các hạt trong bùn để tách các hạt mang kim loại ra khỏi nền đất [19]. Tách trọng lực không hiệu quả khi được sử dụng để xử lý các hạt có phân bố kích thước rộng hoặc phân bố mật độ hẹp. Cần phân loại theo kích thước đất cần xử lý trước khi thực hiện tập trung trọng lực. Tách từ tính các kim loại nặng ra khỏi đất dựa trên việc các chất ô nhiễm kim loại có liên quan đến vật liệu sắt từ [26]. Nếu kim loại nặng không liên kết với pha sắt từ thì việc phân tách sẽ không hiệu quả. Khi đất không đồng nhất, hiệu quả của tách từ tính là không cao. Sự tách tĩnh điện dựa trên sự chênh lệch độ dẫn điện bề mặt của các hạt cần tách. Việc sử dụng phương pháp tách tĩnh điện để xử lý đất còn hạn chế và hiếm khi được sử dụng. Hiệu ứng chà xát tạo ra bề mặt hạt tươi và sạch (bằng cách loại bỏ lớp phủ oxy hóa và do đó có thể tăng cường quá trình tuyển nổi

bọt tiếp theo [19, 26]. Quá trình chà tiêu hao sử dụng quá trình khuấy trộn bùn đất với năng lượng cao (hàm lượng chất rắn cao) để loại bỏ lớp phủ trên bề mặt hạt và phân tán các cốt liệu đất [19]. Máy lọc tiêu hao cũng có thể được sử dụng để cải thiện quá trình chiết hóa học các chất gây ô nhiễm liên kết bề mặt (cation kim loại bị hấp phụ) từ các hạt rắn. Tuyển nổi bọt là một kỹ thuật hóa lý khai thác sự khác biệt về tính chất kỵ nước để tách các hạt mang kim loại ra khỏi nền đất [21, 26]. Tuyển nổi bọt là một kỹ thuật phù hợp để xử lý nền hạt mịn, đặc biệt là trầm tích nạo vét thiếu khí. Máy tuyển nổi hoạt động dựa trên kỹ thuật hóa lý. Sự kết hợp này giúp dễ dàng tách các hạt mang kim loại ra khỏi nền đất.

### 3. CÁC HÓA CHẤT SỬ DỤNG TRONG RỬA ĐẤT Ô NHIỄM THỦY NGÂN

Các chất gây ô nhiễm trong đất bao gồm cả Hg thường bám vào các hạt đất thông qua quá trình hấp phụ. Việc rửa đất phá vỡ sự cân bằng này bằng cách đưa vào các tác nhân hóa học thúc đẩy quá trình giải hấp, giải phóng các chất gây ô nhiễm từ các hạt đất vào dung dịch rửa. Dung dịch rửa đất thường là các hóa chất có khả năng hòa tan chất ô nhiễm thành pha lỏng. Các dung dịch rửa được lựa chọn dựa trên khả năng hòa tan các chất gây ô nhiễm cụ thể cũng như ảnh hưởng đến môi trường và sức khỏe của chúng [1, 5]. Rửa đất đã được sử dụng để loại bỏ kim loại nặng khỏi đất bị ô nhiễm bằng nước từ rất lâu trước đây nhưng hiệu quả của quá trình này tương đối thấp. Nhiều loại hóa chất như chất hoạt động bề mặt, chất tạo phức, axit và bazơ được sử dụng tùy thuộc vào loại chất gây ô nhiễm hiện có. Chất hoạt động bề mặt giúp hòa tan các chất gây ô nhiễm hữu cơ, trong khi các chất tạo phức liên kết với kim loại nặng, tạo điều kiện loại bỏ chúng. Vì vậy, trong các nghiên cứu mới hơn, các hóa chất đã được đề xuất dùng trong quá trình rửa đất nhiễm Hg để tăng cường khả năng di chuyển của Hg.

Việc bổ sung  $I^-$  sẽ làm tăng khả năng hòa tan của Hg trong đất thông qua việc hình thành phức hợp  $HgI_4^{2-}$  hòa tan và ổn định [24]. EDTA là một chất chelat không chọn lọc đã được đề xuất là một hóa chất thích hợp để sử dụng trong việc xử lý đất bị ô nhiễm kim loại nặng [6]. Natri thiosulfate ( $Na_2S_2O_3$ ), thiosulfate, iodide và axit nitric ( $HNO_3$ ), axit clohydric (HCl), amoni hydroxit ( $NH_4OH$ ), kali iodua (KI) và một số axit hữu cơ (axit citric, axit oxalic, axit tartaric) đã được thử nghiệm về khả năng tách Hg khỏi đất [1, 20]. Trong số các chất chelat này, iodide, EDTA và thiosulfate được cho là có hiệu quả trong việc loại bỏ Hg khỏi đất với hiệu suất khoảng 30% [20] nhưng có tác dụng hạn chế đối với các tính chất vật lý và hóa học của đất. Ngược lại, các hóa chất mạnh hơn, chẳng hạn như hỗn hợp 100 mM KI với 50 mM HCl (pH 1,5) có thể loại bỏ gần 77% Hg trong đất [24], nhưng gây ảnh hưởng bất lợi đến tính chất của đất. Dung dịch lọc kali iodua (KI) (0,4 M) và iốt ( $I_2$ ) (0,2 M) đã được sử dụng để loại bỏ Hg khỏi nước mưa và trầm



tích cồng rãnh được thu thập từ địa điểm Oak Ridge Y-12. Nồng độ Hg trong trầm tích này (35.000 mg kg<sup>-1</sup>) có thể giảm 98% với nồng độ Hg có thể lọc được trong vật liệu được xử lý là 3-10 mg L<sup>-1</sup> [13]. Ngoài ra, các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy vai trò của chất hoạt động bề mặt và dung dịch điện giải trong việc tăng cường khả năng linh động của Hg [28]. Điều này mở ra những cơ hội mới để tăng cường loại bỏ Hg bằng cách rửa đất với sự hỗ trợ của chất hoạt động bề mặt và dung dịch điện phân.

Các hóa chất riêng lẻ được sử dụng như axit (HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, axit hữu cơ...), muối (NaOCl, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S, KI, MgSO<sub>4</sub>...), chất chelat (EDTA, NTA, DTPA, EDDS, MGDA...) hoặc một số chất khử (Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) và chất oxy hóa (NaClO, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). Trong các hóa chất này, các axit hữu cơ là những hóa chất ít ảnh hưởng tiêu cực đến cấu trúc đất, ít độc hại hơn và thân thiện với môi trường. Tuy nhiên, hiệu quả rửa sạch đất trong trường hợp sử dụng các hóa chất riêng lẻ, đặc biệt là axit yếu này, là không cao. Việc sử dụng kết hợp các loại hóa chất trong quá trình rửa đất có thể nâng cao hiệu quả loại bỏ Hg khỏi đất như là kết hợp muối và axit, hoặc kết hợp thêm chất hoạt động bề mặt hoặc chất điện giải trong dung dịch rửa để tăng cường khả năng di chuyển của Hg.

Axit hữu cơ bao gồm axit không bị làm ảm (axit citric, tartaric, oxalic, formic và fumaric) và axit hữu cơ được làm ảm (axit humic, fulvic và hymatomelanic) [25]. Các axit hữu cơ yếu tự nhiên này có đặc tính chelat hóa, huy động các kim loại nặng đồng thời có khả năng phân hủy sinh học và tạo thành các chất làm ảm hòa tan kim loại nặng [25]. Do đó, chúng có thể được sử dụng làm dung dịch rửa trong đất nhiễm Hg vì khả năng giải hấp Hg trong đất tăng cường. Jing và cộng sự (2007) đã chỉ ra rằng axit hữu cơ có trọng lượng phân tử lớn hơn có thể thu hút nhiều kim loại hơn vì nó mang nhiều điện tích âm hơn và có diện tích bề mặt lớn hơn [11]. Axit hữu cơ có nhiều nhóm chức hơn (đặc biệt là nhóm cacboxylic) có tác dụng khử Hg lớn hơn.

Hg trong đất chủ yếu hấp phụ trên bề mặt đất dưới dạng ion hoặc kết tủa các hợp chất kim loại [23]. Khác với các chất gây ô nhiễm hữu cơ trong đất, Hg chủ yếu được loại bỏ khỏi đất thông qua quá trình tạo phức liên quan đến chất hoạt động bề mặt và trao đổi ion [16, 26]. Do đó, phương pháp rửa tăng cường chất hoạt động bề mặt có thể được áp dụng để xử lý đất bị ô nhiễm Hg. Trong đó, chất hoạt động bề mặt không ion có nồng độ mixen tối hạn (CMC) thấp hơn và dễ hình thành các mixen hơn chất hoạt động bề mặt [1]. Ngoài ra, việc sử dụng kết hợp chất hoạt động bề mặt không ion và chất hoạt động bề mặt anion có thể tạo thành kích thước lớn hơn của các mixen dẫn đến khả năng hòa tan chất gây ô nhiễm cao hơn và hiệu quả loại bỏ cao hơn [5]. So với các chất hoạt động bề mặt anion, chất hoạt động bề mặt cation có nhiều khả năng hấp phụ trên bề mặt các hạt đất tích điện âm và vật liệu tăng ngậm nước, điều này

chắc chắn làm tăng mức tiêu thụ chất hoạt động bề mặt [5]. Vì vậy, nhiều trường hợp sử dụng chất hoạt động bề mặt anion thay vì chất hoạt động bề mặt cation để rửa đất.

Các dung dịch điện phân như NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaBr... là dung dịch thường chứa các ion, nguyên tử hoặc phân tử bị mất hoặc thu thêm electron và có tính dẫn điện [1]. Một số nghiên cứu gần đây cho thấy dung dịch điện phân có khả năng làm tăng tính linh động của kim loại trong đất do khả năng tạo phức của anion với kim loại (cạnh tranh với OH<sup>-</sup>) và sự cạnh tranh của cation với điện tích dương của kim loại đối với vị trí hấp phụ trên pha rắn [14]. Một ưu điểm khác của dung dịch điện phân khi sử dụng với chất hoạt động bề mặt trong quá trình rửa đất là dung dịch điện phân có thể làm tăng độ dẫn thủy lực của đất, độ dẫn này bị giảm đi khi có mặt chất hoạt động bề mặt. Do đó, dung dịch điện phân có thể là ứng cử viên sáng giá để nâng cao hiệu quả rửa đất nhiễm Hg. Bảng 2 thống kê một số nghiên cứu rửa đất ô nhiễm Hg đã được thực hiện trước đây.

**Bảng 2. Tóm tắt các nghiên cứu rửa đất ô nhiễm thủy ngân đã được thực hiện trước đây**

Quốc gia/ Khu vực	Mục đích của nghiên cứu	Kỹ thuật	Dung dịch rửa và thiết bị	Hiệu suất (%)	Quy mô	Tài liệu tham khảo
Đài Loan	Loại bỏ thủy ngân từ đất ô nhiễm sử dụng các hóa chất thân thiện với môi trường	Rửa đất	Axit hữu cơ Chất hoạt động bề mặt NaCl	79-94	Phòng thí nghiệm	[1]
Thụy Điển	Ảnh hưởng của phân bố kích thước hạt, các-bon hữu cơ, pH và clorua đến quá trình rửa đất bị ô nhiễm thủy ngân	Rửa đất	HCl 0.1M & HNO <sub>3</sub>	80-97	Phòng thí nghiệm	[27]
-	Phục hồi tại chỗ đất bị ô nhiễm bởi kim loại nặng bằng axit hữu cơ sử dụng phương pháp rửa đất trong các cột	Xả đất	Citrate, tartarate, EDTA, DTPA	20-92	Phòng thí nghiệm	[25]
-	Công nghệ khắc phục tại chỗ cho đất bị ô nhiễm thủy ngân	Rửa đất	Axit citric, axit tartaric, axit clohydric hoặc natri hydroxit/methanol/ EDTA, iodide	76-90	Phòng thí nghiệm	[10]
-	Đánh giá tổng quan về khắc phục các địa điểm bị ô nhiễm thủy ngân	Rửa đất	Natri thiosunfat (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), thiosunfat, iodua và axit nitric (HNO <sub>3</sub> ), nước cường toan, axit clohydric (HCl), natri hydroxit (NaOH) và kali iodua (KI), EDTA	30-77	Phòng thí nghiệm	[23]
Nhật Bản	Phục hồi đất bị ô nhiễm thủy ngân bằng kali iodide	Chiết xuất hóa học	KI 100 mM + HCl 50 mM	76	Phòng thí nghiệm	[24]
-	Phát triển hệ thống kết nối sinh học hai giai đoạn để phục hồi đất bị ô nhiễm thủy ngân	Chiết xuất hóa học	EDTA	77	Phòng thí nghiệm	[4]
Hoa Kỳ	Loại bỏ Hg khỏi đất bị ô nhiễm bằng cách kết hợp H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> S	Chiết xuất hóa học	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> S	87	Phòng thí nghiệm	[18]
Đức	Xác định các dạng liên kết thủy ngân trong đất bị ô nhiễm thủy ngân bằng phương pháp chiết xuất tuần tự	Chiết xuất hóa học	1 M NH <sub>4</sub> OH + HCl đậm đặc + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%) + 0.02 M HNO <sub>3</sub> + 1 M NH <sub>4</sub> Ca/HNO <sub>3</sub> (6%)	71	Phòng thí nghiệm	[2]
US	Đánh giá các phương án rửa axit và xử lý sơ bộ bằng phương pháp sinh học để loại bỏ thủy ngân khỏi than	Rửa axit và lọc sinh học	HCl (35%)	60-90	-	[8]
Tổ chức Sở hữu trí tuệ thế giới	Loại bỏ Hg khỏi đất bị ô nhiễm bằng tảo cát	Rửa đất	Nước nóng + tảo cát	99%	-	[22]



#### 4. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH RỬA ĐẤT Ô NHIỄM THỦY NGÂN

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả của quá trình rửa đất ô nhiễm Hg bao gồm loại ô nhiễm Hg, nồng độ Hg, tỉ lệ thành phần cơ giới của đất, kích thước hạt đất, pH, hàm lượng chất hữu cơ, khả năng trao đổi cation, khả năng giải phóng Hg, và các loại hóa chất và các thiết bị vật lý sử dụng.

*Loại ô nhiễm và nồng độ thủy ngân:* Hg tồn tại ở nhiều dạng hóa học khác nhau, bao gồm Hg nguyên tố ( $Hg^0$ ), Hg vô cơ ( $Hg_2^{+}$ ) và các hợp chất Hg hữu cơ (ví dụ như metyl thủy ngân) [17]. Phân loại Hg trong đất và nồng độ ô nhiễm quyết định các tác nhân rửa và điều kiện xử lý phù hợp cần thiết để loại bỏ hiệu quả. Nồng độ cao hơn có thể yêu cầu điều kiện rửa mạnh hơn và các bước xử lý bổ sung để đạt được mục tiêu khắc phục mong muốn [21].

*Tỉ lệ thành phần cơ giới của đất:* Các đặc tính của đất như kết cấu, hàm lượng chất hữu cơ, độ pH và thành phần khoáng chất ảnh hưởng đến sự tương tác giữa Hg và các hạt đất [7]. Khoáng sét có diện tích bề mặt lớn và có thể hấp thụ các ion Hg, khiến việc loại bỏ Hg khỏi đất giàu đất sét trở nên khó khăn hơn [7]. Có thể cân điều kiện rửa mạnh và thời gian tiếp xúc lâu hơn để tách Hg khỏi các hạt đất sét một cách hiệu quả.

*Kích thước hạt:* Kích thước hạt của đất là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến khả năng áp dụng phương pháp tách vật lý. Thông thường, phương pháp tách vật lý sử dụng bộ phân loại thủy lực và bộ cô đặc trọng lực có thể được áp dụng hiệu quả cho phần hạt thô (> 63  $\mu m$ ) [21]. Do đó, nếu hàm lượng bùn/sét (< 63  $\mu m$ ) vượt quá 30-50% thì quy trình này có thể gặp vấn đề [1, 21]. Quá trình tách kết hợp tuyển nổi bọt có thể có hiệu quả để xử lý các hạt tương đối mịn (< 63  $\mu m$ ) [17]. Tuyển nổi bọt là một kỹ thuật hóa lý khai thác sự khác biệt về độ phân cực và sức căng bề mặt để tách các hạt mang kim loại ra khỏi nền đất [21, 23]. Nguyên lý này dựa trên sức căng bề mặt của bề mặt kỵ nước của hạt đối với bọt khí được bơm vào bùn đất. Tuyển nổi bọt chủ yếu được áp dụng kết hợp với phân loại thủy lực và nồng độ trọng lực.

*pH:* pH là thông số chính quyết định sự tồn tại của Hg trong dung dịch đất. Có mối tương quan trực tiếp giữa độ pH của đất và khả năng giữ kim loại, và sự thay đổi độ pH có thể có ảnh hưởng lớn đến khả năng giữ lại Hg của đất [1, 27]. pH là yếu tố quan trọng kiểm soát quá trình giải hấp  $Hg_2^{+}$  [1]. Môi trường axit thuận lợi cho quá trình giải hấp  $Hg_2^{+}$  và do đó, quá trình axit hóa đất có thể làm tăng sự giải phóng Hg khỏi đất và sau đó đến các dung dịch rửa.

*Hàm lượng chất hữu cơ:* Hàm lượng chất hữu cơ cao trong đất có xu hướng cản trở quá trình giải hấp Hg, do đó hạn chế hiệu quả rửa đất [27]. Sự hiện diện của chất hữu cơ trong đất cản trở cả sự phân bố Hg ở dạng hạt và sự huy động Hg bằng tác nhân chelat di động, chẳng hạn như clorua [27]. Muối của axit hữu cơ yếu, ví dụ như citrate và tartrate, đã được sử dụng để tạo điều kiện thuận lợi cho

việc huy động Hg trong đất giàu chất hữu cơ. Có tới 92% Hg đã được loại bỏ khỏi đất sét, với tỷ lệ Hg liên quan đến chất hữu cơ lên tới 60% [20, 25]. Các phương pháp vật lý cũng có thể được tích hợp để nâng cao hiệu quả rửa Hg cho đất hữu cơ. Trong quá trình xử lý toàn diện các vật liệu nạo vét từ cửa sông cảng New York/New Jersey, tỷ lệ loại bỏ 92% Hg đã đạt được bằng cách kết hợp chiết xuất hóa học và lọc tiêu hao, với tổng lượng các-bon hữu cơ dao động từ 3 đến 10% (w/ w) [12].

*Khả năng trao đổi cation (CEC):* CEC của đất là thước đo khả năng hấp thụ và trao đổi cation (ion tích điện dương) của đất. Trong đất bị ô nhiễm Hg, các ion thủy ngân ( $Hg_2^{+}$ ) có thể hấp thụ vào các hạt đất thông qua trao đổi cation [11]. Đất có CEC cao hơn có xu hướng có nhiều vị trí hấp thụ Hg hơn, có khả năng khiến việc giải hấp và loại bỏ Hg trong quá trình rửa đất trở nên khó khăn hơn [11]. Sự hiện diện của các cation khác trong dung dịch đất, chẳng hạn như canxi ( $Ca_2^{+}$ ), magiê ( $Mg_2^{+}$ ) và kali ( $K^{+}$ ), có thể cạnh tranh với Hg để giành vị trí hấp thụ trên các hạt đất [11]. Đất có CEC cao hơn có thể có nhiều cation cạnh tranh hơn, điều này có thể làm giảm hiệu quả rửa đất bằng cách làm giảm khả năng giải hấp Hg.

*Mức độ giải phóng:* Mức độ giải phóng đề cập đến khả năng giải phóng Hg và các hợp chất của nó tùy theo mối liên hệ khác nhau với các hạt đất, điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc dự đoán khả năng ứng dụng của quá trình tách vật lý. Quá trình phân tách vật lý gặp khó khăn hoặc không khả thi khi Hg liên kết cụ thể trên các hạt đất ở mọi kích cỡ hạt hoặc thậm chí được kết hợp trong mạng khoáng chất [7]. Sàng ướt là cách dễ nhất để loại bỏ các hạt mịn bám vào các thành phần đất thô hơn [27]. Quá trình chà tiêu hao thường được sử dụng để phân tách các hạt nhỏ liên kết mạnh hơn với các hạt thô hoặc để loại bỏ lớp phủ trên bề mặt hạt [21]. Quá trình chà xát tiêu hao điển hình nhằm mục đích cọ rửa và phá vỡ, được thực hiện chủ yếu thông qua sự tiêu hao giữa các hạt và thông qua sự tương tác giữa các cánh khuấy và các hạt đất [21]. Chiết xuất hóa học cũng có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc rửa đất nếu chất gây ô nhiễm Hg được liên kết cụ thể hoặc kết hợp trong một hạt đất. Axit và kiềm có thể hòa tan toàn bộ khoáng chất có chứa Hg [7].

*Các loại hóa chất và các thiết bị vật lý sử dụng:* Việc lựa chọn các loại hóa chất và thiết bị sử dụng trong quá trình rửa đất ô nhiễm Hg là yếu tố quan trọng quyết định đến hiệu quả loại bỏ Hg. Các loại hóa chất có khả năng tạo thành các phức chất ổn định với Hg sẽ tăng cường khả năng hòa tan và loại bỏ Hg khỏi các hạt đất. Các quá trình vật lý như khuấy, sàng lọc và ly tâm được lựa chọn dựa vào kích thước, mật độ, hay một số tính chất vật lý khác của hạt đất để tách các hạt đất khỏi Hg. Quá trình khuấy giúp loại bỏ Hg ra khỏi các hạt đất, trong khi sàng lọc và ly tâm tách các hạt đất dựa trên sự khác biệt về kích thước và mật độ.



## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài viết tổng hợp các nghiên cứu trước đây về rửa đất ô nhiễm Hg. Trong đó, các kỹ thuật khác nhau của rửa đất để loại bỏ Hg ra khỏi đất đã được tổng hợp và thảo luận. Sự kết hợp giữa tách vật lý và chiết xuất hóa học và sử dụng kết hợp các hóa chất khác nhau trong dung dịch rửa giúp cải thiện hiệu quả rửa đất. Tuy rửa đất là một phương pháp ít tốn thời gian và nhân công thực hiện nhưng việc sử dụng một số hóa chất làm dung dịch rửa có thể gây ảnh hưởng đến cấu trúc đất và tạo ra chất ô nhiễm thứ cấp. Do đó, cần có thêm các nghiên cứu chi tiết hơn về tác động lâu dài của các hóa chất này đối với môi trường cũng như phát triển các kỹ thuật thân thiện với môi trường hơn. Đây có thể là cơ sở cho các nghiên cứu trong tương lai để giải quyết vấn đề này. ■

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ahsan, Wazir Aitizaz và các cộng sự. (2023), "Solvent-based soil washing of mercury-contaminated soil with eco-friendly washing agents", *Water, Air, and Soil Pollution*. 234(2), tr. 69.
2. Biester, Harald và Scholz, Christian (1996), "Determination of mercury binding forms in contaminated soils: mercury pyrolysis versus sequential extractions", *Environmental Science & Technology*. 31(1), tr. 233-239.
3. Brouwers, HJH (1996), "Experimental and theoretical study of combined solvent and steam stripping of 1, 2, 3, 4, 5, 6-hexachlorocyclohexane (HCH) and mercury from contaminated natural soil", *Journal of Hazardous Materials*. 50(1), tr. 47-64.
4. Chen, SC và các cộng sự. (2018), "Development of a two-stage biotransformation system for mercury-contaminated soil remediation", *Chemosphere*. 200, tr. 266-273.
5. Chu, Wei (2003), "Remediation of contaminated soils by surfactant-aided soil washing", *Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management*. 7(1), tr. 19-24.
6. Dermont, G và các cộng sự. (2008), "Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies", *Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management*. 12(3), tr. 188-209.
7. Dermont, G và các cộng sự. (2008), "Soil washing for metal removal: a review of physical/chemical technologies and field applications", *Journal of hazardous materials*. 152(1), tr. 1-31.
8. Dronen, Laura C và các cộng sự. (2004), "An assessment of acid wash and bioleaching pre-treating options to remove mercury from coal", *Fuel*. 83(2), tr. 181-186.
9. Effendi, Agus Jatnika, Lestari, Vina và Irsyad, Mohammad (2020), "Optimizing soil washing remediation of mercury contaminated soil using various washing solutions and solid/liquid ratios", *E3S Web of Conferences, EDP Sciences*, tr. 05004.
10. He, Feng và các cộng sự. (2015), "In situ remediation technologies for mercury-contaminated soil", *Environmental Science Pollution Research*. 22, tr. 8124-8147.
11. Jing, YD, He, ZL và Yang, XE (2007), "Effects of pH, organic acids, and competitive cations on mercury desorption in soils", *Chemosphere*. 69(10), tr. 1662-1669.
12. Jones, Keith W và các cộng sự. (2001), "Dredged material decontamination demonstration for the port of New York/New Jersey", *Journal of hazardous materials*. 85(1-2), tr. 127-143.
13. Klasson, K Thomas và các cộng sự. (1997), *Removal of mercury from solids using the potassium iodide/iodine leaching process*, Department of Energy, US, Oak Ridge National Lab., TN (United States).
14. Lee, Ahjin và các cộng sự. (2008), "The effects of mechanical actions on washing efficiency", *Fibers Polymers*. 9(1), tr. 101-106.
15. NATO/CCMS (1998), "Evaluation of demonstrated and emerging technologies for the treatment and clean up of contaminated land and groundwater", *Phase II final report, Number 219*, NATO, Brussels, Belgium.
16. Ochoa-Loza, Francisco J, Artiola, Janick F và Maier, Raina M (2001), "Stability constants for the complexation of various metals with a rhamnolipid biosurfactant", *Journal of Environmental Quality*. 30(2), tr. 479-485.
17. Raj, Deep và Maiti, Subodh Kumar (2019), "Sources, toxicity, and remediation of mercury: an essence review", *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(9), tr. 566.
18. Ray, Asim B và Selvakumar, Ariamalar (2000), "Laboratory studies on the remediation of mercury contaminated soils", *Remediation Journal*. 10(4), tr. 49-56.
19. Richter, Rüdiger B và Flachberger, Helmut (2010), "Soil washing and thermal desorption: reliable techniques for remediating materials contaminated with mercury", *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*. 155(12), tr. 571-577.
20. Subirés-Muñoz, JD và các cộng sự. (2011), "Feasibility study of the use of different extractant agents in the remediation of a mercury contaminated soil from Almaden", *Separation and Purification Technology*. 79(2), tr. 151-156.
21. USEPA (2007), "Treatment technologies for mercury in soil, waste, and water", Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460
22. Wang, Bo (2005), "Mercury adsorbent composition, process of making same and method of separating mercury from fluids", *Patents*.
23. Wang, Jianxu và các cộng sự. (2012), "Remediation of mercury contaminated sites-a review", *Journal of hazardous materials*. 221, tr. 1-18.
24. Wasay, SA, Arnfalk, P và Tokunaga, S (1995), "Remediation of a soil polluted by mercury with acidic potassium iodide", *Journal of Hazardous Materials*. 44(1), tr. 93-102.
25. Wasay, SA, Barrington, S và Tokunaga, S (2001), "Organic acids for the in situ remediation of soils polluted by heavy metals: soil flushing in columns", *Water, Air, and Soil Pollution*. 127(1-4), tr. 301-314.
26. Xu, Jingying và các cộng sự. (2015), "Sources and remediation techniques for mercury contaminated soil", *Environment International*. 74, tr. 42-53.
27. Xu, Jingying và các cộng sự. (2014), "Influence of particle size distribution, organic carbon, pH and chlorides on washing of mercury contaminated soil", *Chemosphere*. 109, tr. 99-105.
28. You, Rui và các cộng sự. (2016), "Effect of low molecular weight organic acids on the chemical speciation and activity of mercury in the soils of the water-level-fluctuating zone of the three Gorges reservoir", *Huanjing kexue*. 37(1), tr. 173-1