



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN, THỐNG KÊ

TỔNG
LUẬN

KHOA HỌC
CÔNG NGHỆ
KINH TẾ

ISSN 0866 - 7712

Số 7 - 2025

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ MỚI TRONG KIỂM SOÁT
Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ Ở MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI



Hà Nội, 7 - 2025

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24 Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội

Tel: (024)38262718; Fax: (024)39349127

BAN BIÊN TẬP:

TS. Trần Đức Hiến (*Trưởng ban*)

ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiến; ThS. Nguyễn Phương Anh

MỤC LỤC

LỜI GIỚI THIỆU	2
I. TỔNG QUAN VỀ Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ	3
1.1. Khái niệm ô nhiễm không khí	3
1.2. Các nguồn gây ô nhiễm không khí chính	4
1.3 Tác động của ô nhiễm không khí	5
II. CÁC CÔNG NGHỆ KIỂM SOÁT Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ.....	6
2.1. Khái niệm về công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí.....	6
2.2. Phân loại các nhóm công nghệ chính	6
2.3. Một số công nghệ tiên tiến để kiểm soát ô nhiễm không khí của một số quốc gia trên thế giới	7
III. CÔNG NGHỆ KIỂM SOÁT Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ TẠI VIỆT NAM .	45
3.1 Thực trạng áp dụng công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí tại Việt Nam	45
3.2. Thuận lợi và thách thức	47
3.3. Kiến nghị và định hướng	49
KẾT LUẬN	51
TÀI LIỆU THAM KHẢO	53

LỜI GIỚI THIỆU

Trong những thập kỷ gần đây, ô nhiễm không khí đã và đang trở thành một trong những thách thức nghiêm trọng nhất đối với sức khỏe con người và sự phát triển bền vững của các quốc gia trên toàn thế giới. Sự gia tăng dân số, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, cùng với quá trình công nghiệp hóa mạnh mẽ đã dẫn đến việc phát thải ngày càng lớn các chất ô nhiễm vào bầu khí quyển. Các hạt bụi mịn (PM2.5, PM10), khí độc hại như NOx, SO₂, CO và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi đang làm suy giảm nghiêm trọng chất lượng không khí, đặc biệt tại các đô thị lớn. Theo thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), ô nhiễm không khí hiện là nguyên nhân gây ra hơn 7 triệu ca tử vong sớm mỗi năm và là một trong những yếu tố hàng đầu gây bệnh tim mạch, hô hấp và ung thư.

Trước thực trạng đó, nhiều quốc gia trên thế giới đã chủ động tìm kiếm và ứng dụng những giải pháp công nghệ tiên tiến nhằm kiểm soát và cải thiện chất lượng không khí một cách hiệu quả. Các công nghệ hiện đại không chỉ giúp giám sát chất lượng không khí theo thời gian thực mà còn hỗ trợ việc dự báo xu hướng ô nhiễm, tối ưu hóa các chính sách quản lý môi trường và triển khai các giải pháp xử lý khí thải một cách thông minh, chính xác và hiệu quả. Trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn (Big Data), Internet vạn vật (IoT), công nghệ lọc không khí thế hệ mới, năng lượng sạch và các mô hình đô thị thông minh đang từng bước thay đổi cách con người tiếp cận và giải quyết vấn đề ô nhiễm không khí.

Xuất phát từ nhận thức về tầm quan trọng của vấn đề này, Tổng luận “Ứng dụng công nghệ mới trong kiểm soát ô nhiễm không khí ở một số nước trên thế giới” được thực hiện với mong muốn đóng góp một góc nhìn tổng quan, có hệ thống về các giải pháp công nghệ đang được triển khai trên thực tế. Mục đích của tổng luận là khảo sát và phân tích những công nghệ tiên tiến được ứng dụng thành công tại một số quốc gia tiêu biểu như Hoa Kỳ, Trung Quốc, Nhật Bản, Đức, Ấn Độ và Hàn Quốc...

Tài liệu được kỳ vọng có thể truyền tải thông tin nhằm góp phần nâng cao nhận thức về vai trò của công nghệ trong bảo vệ môi trường, đồng thời làm rõ tiềm năng của các giải pháp công nghệ mới trong việc xây dựng một môi trường sống trong lành, an toàn và phát triển bền vững cho thế hệ hiện tại và tương lai.

Trân trọng giới thiệu!

CỤC THÔNG TIN, THỐNG KÊ

I. TỔNG QUAN VỀ Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ

Ô nhiễm không khí đô thị là một trong những thách thức môi trường nghiêm trọng nhất mà các thành phố hiện đại đang phải đối mặt. Với mật độ dân cư cao, hoạt động kinh tế - xã hội diễn ra liên tục, các đô thị là nơi phát sinh nhiều nguồn ô nhiễm không khí khác nhau, tạo nên một bức tranh môi trường đầy lo ngại, ảnh hưởng sâu rộng đến sức khỏe cộng đồng, hệ sinh thái và sự phát triển bền vững của xã hội.

1.1. Khái niệm ô nhiễm không khí

Ô nhiễm không khí (Air Pollution): là “sự hiện diện của các chất lạ hoặc tăng nồng độ của một số thành phần tự nhiên trong không khí, đủ để gây hại đến sức khỏe con người, hệ sinh thái hoặc làm giảm chất lượng môi trường sống” (WHO, 2022).

Ngoài ra, theo Luật Bảo vệ môi trường Việt Nam 2020: “Ô nhiễm không khí là tình trạng không khí có chứa các chất ô nhiễm vượt quá ngưỡng giới hạn cho phép, ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người và môi trường”.

Chất ô nhiễm không khí (Air Pollutants): là những chất gây ảnh hưởng tiêu cực đến không khí, gồm:

- **Chất ô nhiễm sơ cấp (primary pollutants):** được phát thải trực tiếp vào khí quyển từ các nguồn như khí CO, SO₂, NO_x, bụi PM, VOCs...
- **Chất ô nhiễm thứ cấp (secondary pollutants):** được hình thành do phản ứng hóa học giữa các chất sơ cấp, như O₃ tầng thấp hoặc các hạt bụi mịn thứ cấp.

Bụi mịn PM2.5 và PM10 (Particulate Matter): là hỗn hợp gồm các hạt rắn hoặc giọt lỏng siêu nhỏ trong không khí. (WHO, 2021).

- PM10: Đường kính $\leq 10 \mu\text{m}$.
- PM2.5: Đường kính $\leq 2.5 \mu\text{m}$ - có thể xâm nhập sâu vào phổi và máu.

Carbon Dioxide (CO₂): là khí nhà kính chính, không độc ở nồng độ bình thường nhưng tích lũy quá mức gây biến đổi khí hậu và góp phần gián tiếp vào ô nhiễm không khí đô thị do tăng nhiệt độ và phản ứng quang hóa.

Chất lượng không khí (Air Quality)

Chất lượng không khí phản ánh mức độ ô nhiễm không khí tại một địa điểm, thường được biểu thị bằng Chỉ số chất lượng không khí (AQI) - chỉ số tổng hợp từ

các thành phần ô nhiễm chính như PM2.5, NO₂, SO₂, CO, O₃...

1.2. Các nguồn gây ô nhiễm không khí chính

Trong môi trường đô thị, ô nhiễm không khí bắt nguồn từ nhiều nguồn khác nhau, trong đó nổi bật là bốn nguồn chính:

- *Giao thông vận tải*: đây là một trong những nguồn phát thải lớn nhất tại các đô thị. Các phương tiện giao thông như ô tô, xe máy, xe tải, tàu điện... sử dụng nhiên liệu hóa thạch (xăng, dầu diesel) phát thải ra các loại khí độc hại như NO_x, CO, SO₂, cũng như các hạt bụi mịn (PM2.5, PM10). Tắc nghẽn giao thông và phương tiện cũ kỹ, không đạt tiêu chuẩn khí thải càng làm trầm trọng thêm tình trạng này.

- *Công nghiệp đô thị*: các khu công nghiệp, nhà máy, xí nghiệp và khu chế xuất nằm trong hoặc gần đô thị là nguồn phát sinh khói bụi và khí độc hại đáng kể. Quá trình đốt nhiên liệu, sản xuất vật liệu xây dựng, chế biến hóa chất... đều thải ra môi trường lượng lớn khí thải nếu không được xử lý triệt để.

- *Hoạt động xây dựng và bụi đường*: các công trình xây dựng, phá dỡ, cải tạo hạ tầng giao thông gây phát sinh bụi lớn, đặc biệt là bụi thô và bụi mịn. Ngoài ra, việc xe cộ di chuyển liên tục trên các tuyến đường kém chất lượng cũng làm tăng nồng độ bụi trong không khí.

- *Hoạt động sinh hoạt*: tại một số khu vực, người dân vẫn sử dụng than tổ ong để nấu nướng hoặc đốt rác sinh hoạt, tạo ra khí thải độc hại và bụi mịn nguy hiểm. Các hành vi sinh hoạt thiếu kiểm soát như đốt vàng mã, đốt cỏ khô cũng góp phần làm giảm chất lượng không khí đô thị.

Thành phần chính của không khí ô nhiễm

Không khí ô nhiễm trong môi trường bao gồm hỗn hợp các chất khí độc hại và hạt vật chất lơ lửng, với khả năng gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người và môi trường sinh thái. Các thành phần chính bao gồm:

- *Bụi mịn PM2.5 và PM10*: đây là các hạt vật chất có kích thước siêu nhỏ, đặc biệt PM2.5 có thể xâm nhập sâu vào hệ hô hấp và đi vào máu, gây ra các bệnh lý về tim mạch, hô hấp và thậm chí là đột quỵ. PM10 tuy lớn hơn nhưng vẫn đủ nhỏ để gây kích ứng phổi và đường thở.

- *NO_x (các oxit nito) và SO₂ (lưu huỳnh dioxit)*: là sản phẩm của quá trình đốt nhiên liệu trong giao thông và công nghiệp. Hai loại khí này không chỉ gây ảnh

hưởng đến hệ hô hấp mà còn là nguyên nhân dẫn đến mưa axit, ảnh hưởng đến cây trồng, đất và các công trình xây dựng.

- *CO (carbon monoxide)*: là khí không màu, không mùi nhưng cực kỳ độc, xuất hiện chủ yếu từ khí thải xe cộ. CO gây ức chế khả năng vận chuyển oxy trong máu, ảnh hưởng nghiêm trọng đến não bộ và tim nếu tiếp xúc trong thời gian dài hoặc nồng độ cao.

- *CO₂ (carbon dioxide)*: mặc dù không gây độc trực tiếp ở nồng độ thông thường, CO₂ là khí nhà kính chủ yếu góp phần vào biến đổi khí hậu toàn cầu. Nồng độ CO₂ trong không khí đô thị tăng cao chủ yếu từ giao thông, công nghiệp và đốt nhiên liệu hóa thạch, gây tác động gián tiếp đến môi trường và chất lượng cuộc sống.

- *VOCs (các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi)*: được giải phóng từ sơn, dung môi công nghiệp, nhiên liệu chưa cháy hết, và các hoạt động hóa học trong sinh hoạt. VOCs có thể gây kích ứng mắt, mũi, cổ họng và góp phần hình thành ozon tầng thấp.

- *O₃ tầng thấp (ozon mặt đất)*: được hình thành do phản ứng hóa học giữa NOx và VOCs dưới tác động của ánh sáng mặt trời. O₃ tầng thấp là một chất ô nhiễm thứ cấp cực kỳ nguy hiểm, gây kích ứng đường hô hấp, giảm chức năng phổi và làm trầm trọng các bệnh phổi mãn tính.

1.3 Tác động của ô nhiễm không khí

Ô nhiễm không khí không chỉ là vấn đề môi trường mà còn là mối đe dọa nghiêm trọng đối với sức khỏe cộng đồng, sự ổn định xã hội và nền kinh tế.

- *Tác động đến sức khỏe con người*: ô nhiễm không khí, đặc biệt là bụi mịn và các khí độc, là nguyên nhân trực tiếp hoặc gián tiếp của nhiều bệnh lý nguy hiểm như viêm phế quản mãn tính, hen suyễn, tim mạch, đột quỵ, ung thư phổi. Phụ nữ mang thai, trẻ em và người cao tuổi là những đối tượng chịu ảnh hưởng nghiêm trọng nhất.

- *Tác động đến hệ sinh thái và công trình xây dựng*: khí thải độc hại và mưa axit làm suy thoái đất đai, ô nhiễm nguồn nước, giảm đa dạng sinh học. Đồng thời, nhiều hợp chất hóa học trong không khí cũng ăn mòn, làm hư hại các công trình kiến trúc, tượng đài, và cơ sở hạ tầng đô thị.

- *Tác động kinh tế - xã hội*: chi phí y tế để điều trị các bệnh do ô nhiễm không

khí gây ra ngày càng tăng. Ngoài ra, tình trạng sức khỏe kém cũng làm giảm năng suất lao động, gia tăng gánh nặng an sinh xã hội và cản trở sự phát triển kinh tế - xã hội bền vững của các đô thị.

II. CÁC CÔNG NGHỆ KIỂM SOÁT Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ

2.1. Khái niệm về công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí

Công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí là tập hợp các giải pháp kỹ thuật và công nghệ được ứng dụng nhằm giảm thiểu, loại bỏ, hoặc hạn chế sự phát thải và lan truyền các chất ô nhiễm trong không khí, đồng thời nâng cao chất lượng môi trường không khí cho con người và hệ sinh thái.

Theo Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA):

“Các công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí bao gồm thiết bị, hệ thống và quy trình được thiết kế để loại bỏ hoặc làm giảm các chất gây ô nhiễm từ nguồn phát thải trước khi chúng đi vào khí quyển.”

2.2. Phân loại các nhóm công nghệ chính

Các công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí hiện nay có thể được chia thành bốn nhóm chính, tương ứng với các giai đoạn trong quản lý chất lượng không khí:

a. Công nghệ giám sát (Monitoring Technologies)

Bao gồm các thiết bị và hệ thống cảm biến để theo dõi, đo lường và thu thập dữ liệu về mức độ ô nhiễm không khí theo thời gian thực. Ví dụ:

- Cảm biến bụi mịn (PM2.5, PM10), NO₂, CO, SO₂, O₃.
- Trạm quan trắc không khí tự động (Air Quality Monitoring Station - AQMS).
- Hệ thống cảm biến IoT tích hợp AI.

b. Công nghệ dự báo (Forecasting Technologies)

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI), học máy (machine learning), mô hình hóa khí quyển để dự đoán chất lượng không khí trong tương lai dựa trên dữ liệu môi trường, thời tiết và phát thải. Ví dụ:

- Mô hình dự báo CMAQ (Community Multiscale Air Quality Model).
- Dự báo ô nhiễm không khí sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN).

c. Công nghệ xử lý (Treatment/Control Technologies)

Tập trung vào việc loại bỏ hoặc làm giảm các chất gây ô nhiễm từ khí thải trước khi chúng phát tán ra môi trường. Ví dụ:

- Bộ lọc bụi tĩnh điện (Electrostatic Precipitator - ESP).
- Tháp hấp phụ than hoạt tính (Activated Carbon Filter).
- Thiết bị lọc ướt (Wet Scrubber).
- Công nghệ xử lý khí thải VOCs bằng xúc tác (Catalytic Oxidation).

d. Công nghệ cải thiện môi trường không khí (Air Quality Improvement)

Gồm các giải pháp mang tính phòng ngừa và cải tạo lâu dài, giúp giảm nguồn phát thải và tăng cường khả năng tự làm sạch không khí của môi trường.

Ví dụ:

- Tăng cây xanh đô thị và "rừng nhân tạo".
- Xe điện thay thế xe xăng.
- Vật liệu xây dựng chống bụi và hấp thụ khí độc.
- Quy hoạch đô thị thân thiện với môi trường.

2.3. Một số công nghệ tiên tiến để kiểm soát ô nhiễm không khí của một số quốc gia trên thế giới

2.3.1. Hoa Kỳ

Công nghệ giám sát ô nhiễm không khí cục bộ của Aclima

Các hạt mịn và khí nhà kính từ nhiều nguồn như công nghiệp, giao thông, nông nghiệp và cháy rừng gây ô nhiễm không khí, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người và môi trường. Đặc biệt, các hạt có kích thước nhỏ hơn 2,5 μm là nguy hiểm nhất, gây ra nhiều bệnh về hô hấp, tim mạch, ung thư và làm trầm trọng thêm các bệnh hiện có. Ô nhiễm không khí cũng ảnh hưởng xấu đến sức khỏe trẻ sơ sinh và liên quan đến các vấn đề tâm thần như trầm cảm và tâm thần phân liệt. Hiện có đến 99% dân số toàn cầu tiếp xúc với mức ô nhiễm vượt tiêu chuẩn an toàn của WHO. Do đó, việc theo dõi và kiểm soát ô nhiễm không khí là rất cần thiết để bảo vệ sức khỏe cộng đồng và nâng cao hiệu quả các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm.

Aclima là một công ty công nghệ của Hoa Kỳ, với mục tiêu bảo vệ sức khỏe cộng đồng, giảm phát thải và cung cấp không khí sạch. Công ty đã phát triển nền tảng đo lường và phân tích không khí tiên tiến nhất thế giới để giám sát ô nhiễm

không khí. Công nghệ của Aclima sử dụng dữ liệu siêu cục bộ, giúp tạo ra một công cụ hiệu quả để kiểm soát ô nhiễm không khí.

Aclima xây dựng mạng lưới cảm biến phức tạp, gồm các thiết bị cố định và di động, thu thập dữ liệu chi tiết về mức độ và đặc tính ô nhiễm ở từng khu vực nhỏ. Công nghệ này đo ô nhiễm với độ phân giải theo từng khối phố, giúp phát hiện sự khác biệt về mức độ ô nhiễm và xác định những khu vực cần can thiệp nhất.

Các cảm biến chuyên dụng của Aclima lấy số liệu mỗi giây từ nhiều vị trí khác nhau, cả cố định và di động. Hệ thống phần mềm đảm bảo dữ liệu thu thập được chính xác và khoa học. Các nhân viên được tuyển dụng vận hành và bảo trì mạng lưới cảm biến suốt 24/7, giúp thu thập dữ liệu liên tục và đầy đủ.

Nhờ đó, giải pháp của Aclima giúp chúng ta hiểu rõ mức độ ô nhiễm không khí ở cấp độ rất chi tiết, với độ phân giải cao gấp đến 100.000 lần so với các hệ thống giám sát truyền thống. Công nghệ còn có khả năng theo dõi đồng thời nhiều loại chất ô nhiễm và khí nhà kính nhờ phương pháp “dấu vân tay hóa học”. Điều này giúp đo lường và phân tích ô nhiễm không khí, khí nhà kính và các chất độc hại cùng lúc.

Cảm biến của Aclima có thể thu thập dữ liệu ở nhiều môi trường khác nhau như đô thị, ngoại ô và nông thôn, phù hợp với nhiều loại địa hình. Khi được áp dụng rộng rãi, nền tảng này sẽ giúp các thành phố, khu vực và quốc gia hiểu rõ hơn về ô nhiễm không khí ở mức độ chưa từng có trước đây, từ đó trả lời những câu hỏi quan trọng ở cấp tổ dân phố.

Dữ liệu thu được sẽ giúp người ra quyết định biết được nơi nào và khi nào ô nhiễm không khí nguy hiểm nhất, đồng thời xác định những nhóm người dễ bị tổn thương nhất. Ví dụ, nếu xảy ra tắc đường gần trường học, trẻ em đi bộ đến trường sẽ tiếp xúc với mức độ ô nhiễm nguy hiểm. Việc có dữ liệu thực tế này giúp các nhà quản lý kịp thời đưa ra biện pháp cải thiện, như khuyến khích đi bộ để giảm thiểu ô nhiễm và bảo vệ sức khỏe.

Aclima đã từng sử dụng công nghệ này để phát hiện sự chênh lệch ô nhiễm ở Vùng Vịnh, góp phần thúc đẩy các biện pháp giảm ô nhiễm ở những khu vực trọng điểm. Công nghệ của họ thu thập dữ liệu siêu cục bộ và có thể đóng vai trò quan trọng trong việc giải quyết ô nhiễm không khí trên quy mô lớn.

Các nhà hoạch định chính sách cần dựa vào dữ liệu thực để đưa ra các quyết định phù hợp. Công nghệ cảm biến có thể chỉ ra những khu vực cấp độ khối phố có

nguy cơ ô nhiễm cao nhất và thời điểm ô nhiễm nghiêm trọng nhất trong ngày. Nhờ vậy, các chuyên gia có thể hiểu rõ nguyên nhân như giao thông giờ cao điểm và bảo vệ những người dễ tổn thương, đặc biệt là trẻ em sống gần các khu vực đông đúc.

Việc áp dụng rộng rãi công nghệ cảm biến sẽ giúp theo dõi ô nhiễm không khí tốt hơn và thiết kế các biện pháp can thiệp hiệu quả hơn. Ngoài ra, các chuyên gia toàn cầu cũng có thể cải tiến công nghệ này để theo dõi chi tiết hơn và hành động kịp thời. Tổng thể, công nghệ cảm biến đóng vai trò then chốt trong việc giảm phát thải và cải thiện chất lượng không khí.

Xe Google Street View được trang bị cảm biến có khả năng phát hiện các nguồn ô nhiễm “siêu cục bộ”

Các nhà nghiên cứu từ Đại học Utah và Đại học California tại Riverside đã thử nghiệm phương pháp theo dõi ô nhiễm không khí ở mức “siêu cục bộ” bằng cách gắn cảm biến lên các xe Google Street View.

Nhờ các phương tiện di động này, dữ liệu về ô nhiễm có thể được thu thập ở bất kỳ nơi nào xe đi qua để lập bản đồ ô nhiễm, bao gồm các nguồn ô nhiễm ngoài đường.

Ý tưởng chính của dự án rất đơn giản: các hệ thống giám sát không khí cố định chỉ cung cấp tổng quan về chất lượng không khí trên một khu vực rộng nhưng hạn chế về độ chi tiết. Trong khi đó, việc gắn cảm biến trên các xe di chuyển giúp thu thập dữ liệu rộng hơn nhiều và mô hình hóa chính xác vị trí các nguồn ô nhiễm, kể cả những nguồn ô nhiễm ngoài đường.

Dự án bắt đầu thử nghiệm từ năm 2019, khi nhóm hợp tác với Google để trang bị cảm biến chất lượng không khí trên xe Street View - những chiếc xe thường xuyên lưu thông khắp nơi, vừa chụp ảnh cho dịch vụ bản đồ của Google, vừa thu thập dữ liệu ô nhiễm. Kết quả cho thấy mức ô nhiễm tăng cao đột biến dọc theo các xa lộ. Ngoài ra, một phương pháp mô hình hóa khí quyển mới do nhà nghiên cứu Lin đề xuất đã xác định được ô nhiễm từ hai nguồn đã biết và một nguồn ô nhiễm mới chưa từng được phát hiện tại một khu công nghiệp gần sân bay Salt Lake City.

Bài học rút ra là mức ô nhiễm không khí có thể thay đổi rất lớn ngay cả trong phạm vi nhỏ, ví dụ từ đầu này đến đầu kia của một tòa nhà. Điều này đồng nghĩa với việc lượng khí độc hại mà con người tiếp xúc có thể rất khác nhau, trong khi các thiết bị giám sát theo quy định hiện nay và các chính sách của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) không phản ánh được sự biến động chi tiết này.

Do đó, cần phải xác định mức độ ô nhiễm trung bình ở từng cộng đồng cụ thể, sau đó tìm hiểu nguyên nhân gây ra sự thay đổi và các điểm nóng ô nhiễm để đề xuất giải pháp phù hợp. Công trình nghiên cứu này đã được công bố trên tạp chí Atmospheric Environment theo dạng truy cập mở.

2.3.2. Thụy Sĩ

Công nghệ thu giữ khí để bù lượng khí thải

Để giải quyết cuộc khủng hoảng khí hậu đòi hỏi cần có sự hợp tác toàn cầu vốn chưa từng có tiền lệ trong lịch sử loài người. Climeworks là một công ty cung cấp giải pháp độc đáo cho một vấn đề phức tạp và là một trong nhiều giải pháp công nghệ đang được khám phá trên toàn thế giới. Công ty Thụy Sĩ này được thành lập bởi hai kỹ sư cơ khí vào năm 2009. Tiến sĩ Christoph Gebald và Tiến sĩ Jan Wurzbacher đã kết hợp kiến thức của họ để tạo ra cơ sở thu giữ không khí trực tiếp quy mô công nghiệp đầu tiên trên thế giới được đặt tại Iceland. Hợp tác với Carbfix, Orca về cơ bản hút CO₂ trực tiếp từ không khí và lưu trữ trong các mỏ ngầm nơi nó không thể góp phần vào nóng lên toàn cầu và những biến động khí hậu hỗn loạn đi kèm. Công nghệ này được gọi là thu giữ và lưu trữ không khí trực tiếp (DAC+S).

Những nỗ lực của Climeworks không nhằm mục đích thay thế việc cắt giảm khí thải toàn cầu mà tập trung vào việc loại bỏ khí thải lịch sử đã có trong khí quyển. Hệ thống thu và lưu trữ không khí trực tiếp (DAC+S) của Orca có thể hoạt động 24/7, chủ yếu là tự động, ngoại trừ một nhóm nhỏ tham gia vào bảo trì. Nhà máy Orca được thiết kế như một nơi thử nghiệm và là cơ sở để mở rộng lớn hơn.

Nhà máy Orca gây ấn tượng mạnh. Diện tích của nhà máy chưa đến nửa mẫu Anh, nhưng lại đạt hiệu quả hơn trồng cây hàng nghìn lần, thường được coi là giải pháp thay thế để giảm phát thải. Orca có thể hấp thụ 4.000 tấn CO₂ từ khí quyển mỗi năm. Nếu thay thế bằng cây xanh, cùng một diện tích đất sẽ chỉ hấp thụ khoảng 4,7 tấn CO₂ mỗi năm. Cây cũng giải phóng lượng lớn carbon khi chúng chết đi.

Iceland là một hòn đảo tương đối trẻ, hàng triệu năm tuổi chứ không phải hàng trăm triệu năm, có những đồng bằng đá núi lửa rộng lớn, đáng chú ý là không có cây cối. Một phần nhỏ không gian, các hệ thống của Climeworks sử dụng những chiếc quạt khổng lồ với thiết kế dạng mô-đun, có thể xếp chồng lên nhau để hấp thụ khí, được kết nối với một bộ lọc thu gom CO₂. Khi đầy, hệ thống sẽ nóng lên đến điểm sôi và kết hợp các hạt với nước, đẩy hỗn hợp vào lớp vỏ trái đất. Ở đó, carbon vẫn bị giữ lại và khoáng hóa trong vòng 10.000 năm. Đây là một giải pháp đặc biệt thú vị,

ngay cả khi còn ở giai đoạn đầu, vẫn có tiềm năng mở rộng đáng kinh ngạc.

Nằm giữa các mảng kiến tạo, Iceland có địa hình độc đáo và không gian rộng lớn, cùng với nguồn năng lượng địa nhiệt, khiến các nhà máy DAC+S trở thành lĩnh vực đầu tư sinh lời cho khu vực.

Các công ty như Microsoft đang tìm cách tính toán lượng khí thải carbon trong nhiều thập kỷ. Đối với Climeworks và các công ty tương tự, mô hình kinh doanh xoay quanh việc bán tín chỉ carbon, đôi khi được gọi là bù trừ carbon. Climeworks tính phí khoảng 1000 euro cho mỗi tấn carbon được lưu trữ trong hệ thống của mình và Microsoft là một trong những khách hàng của họ. Một bên thứ ba xác minh hoạt động của Climeworks để đảm bảo tính hợp lệ của các tín chỉ đó và Microsoft cùng các công ty khác có thể mua trước khối lượng CO₂ đó, trước khi hệ thống mở rộng quy mô, Orca đóng vai trò là bản thiết kế cho Mammoth, cơ sở DAC+S lớn tiếp theo của Climeworks, được xây dựng cách địa điểm Orca ban đầu vài trăm mét. Khi đi vào hoạt động hoàn toàn, Mammoth sẽ loại bỏ tới 36.000 tấn CO₂ khỏi khí quyển.

2.3.3. Pháp

Công nghệ WindTrees

Một công nghệ mới có thể giúp Liên minh châu Âu (EU) đạt được mức trung hòa carbon. Aeroleaf, một công ty của Pháp do New World Wind thành lập, đã phát triển các tua-bin gió siêu nhỏ được thiết kế giống như cây cối. Công nghệ này có tên là WindTrees, bao gồm các cấu trúc kim loại được thiết kế để mô phỏng hình cây, trang bị các nhánh cây và các tua-bin gió nhỏ giống như những lá cây. Màu sắc của thân và lá có thể tùy chỉnh. Có thêm các tính năng bao gồm độ cao từ 5 đến 33 feet (10 mét), lắp đặt đơn giản, ngay cả trong bối cảnh đô thị, mà không cần nỗ lực kỹ thuật mở rộng.

Công nghệ WindTrees đã được lắp đặt trên toàn cầu, bao gồm Châu Âu, Hoa Kỳ, Hàn Quốc và một số địa điểm cụ thể như Birmingham (Anh), Vermont (Hoa Kỳ) và Thụy Sĩ.

Khi một tua-bin được định vị, việc hoàn thiện kết cấu chỉ cần một giá đỡ và ba bu lông. Ngoài ra, kích thước nhỏ hơn giúp giảm bớt một số thách thức mà tua-bin lớn hơn gặp phải, chẳng hạn như va chạm với chim; chúng cũng hoạt động êm ái hơn. Những đặc điểm như vậy mang lại một số lợi thế, bao gồm hình dạng sinh học hòa hợp với môi trường xung quanh, dễ lắp đặt nhờ kích thước nhỏ gọn.

Công nghệ này cho phép các tua-bin gió quy mô nhỏ cung cấp năng lượng trực tiếp cho hệ thống điện hiện có của tòa nhà, tuân thủ mô hình tự tiêu thụ. Các tua-bin này có khả năng sản xuất năng lượng liên tục, 24/7 và bất kỳ năng lượng dư thừa nào cũng có thể được lưu trữ trong pin có dung lượng 60Ah. Năm 2024, Công ty ra mắt thiết kế mới, tăng gấp ba lần công suất đầu ra của Aeroleaf.

Mỗi lá sẽ có khả năng tạo ra tới 1.000 kWh mỗi năm. Do đó, WindTree 36 lá được dự kiến sẽ đạt sản lượng hàng năm tối đa là 36.000 kWh khi tiếp xúc với tốc độ gió là 12 mét mỗi giây (m/s). Tuy nhiên, vì gió không luôn ở mức cao, ngay cả trong điều kiện thông thường là 8m/s, một WindTree duy nhất có thể tạo ra gần 18.000 kWh mỗi năm.

Lượng năng lượng này đủ để cung cấp điện cho một hộ gia đình có bốn người và có khả năng giảm lượng khí thải CO₂ hàng năm của ngôi nhà hơn 12 tấn. Nếu năng lượng dư thừa được tạo ra vượt quá nhu cầu tiêu thụ, dù là ban ngày hay ban đêm, nó có thể được lưu trữ trong pin có dung lượng 60Ah. Mỗi cây được trang bị bốn pin. Công ty đã triển khai 130 đơn vị trên toàn thế giới, trải dài các khu vực từ Châu Âu và Hoa Kỳ đến Hàn Quốc.

2.3.4. Đức

Hệ thống giám sát chất lượng không khí sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo

DEUS Pollutrack là một nền tảng giải pháp IoT chuyên dùng để giám sát ô nhiễm không khí và khí thải. Công ty tự hào sở hữu nền tảng dữ liệu môi trường kết nối lớn nhất châu Âu, với hơn 4.000 cảm biến di động đang hoạt động, đo chất lượng không khí cho hơn 45 triệu người dân tại 30 thành phố lớn ở châu Âu.

DEUS Pollutrack đã phát triển một hệ thống IoT đột phá, giúp theo dõi hiệu quả các yếu tố gây ô nhiễm không khí và phát thải khí nhà kính (GHG), bao gồm: CH₄ (metan), CO₂, bụi mịn (PM1, PM2.5, PM10), hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) và NO_x.

Hệ thống cảm biến của họ có thiết kế mô đun linh hoạt, dễ dàng tùy chỉnh và mở rộng với các cảm biến bổ sung. Quy trình lắp đặt thân thiện với người dùng, không yêu cầu kiến thức kỹ thuật, giúp khách hàng tiết kiệm đáng kể thời gian và chi phí.

Trong bối cảnh Liên minh châu Âu (EU) ban hành quy định mới về giám sát khí metan, các ngành dầu mỏ, khí đốt và than đá bắt buộc phải đo lường, báo cáo và xác minh lượng khí thải metan theo tiêu chuẩn cao. Với yêu cầu đo lường liên tục và xác

minh bởi các kiểm toán viên độc lập, hệ thống của DEUS Pollutrack mang lại lợi thế rõ rệt: độ chính xác cao (từ 0,1 ppm) và tuổi thọ cảm biến lên tới 7 năm. Đây là công cụ hữu hiệu giúp ngành công nghiệp giám sát khí metan một cách bền vững và đáng tin cậy.

Bên cạnh đó, công nghệ laser tiên tiến cho phép phát hiện rò rỉ khí nhanh chóng và chính xác, từ đó kịp thời sửa chữa, giảm thất thoát tài nguyên và nâng cao hiệu quả vận hành. Hệ thống này kết hợp cảm biến hiện đại, phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo (AI) để cải thiện đáng kể hiệu suất và độ chính xác trong phát hiện rò rỉ. Dữ liệu thu thập theo thời gian thực là tài nguyên quý giá phục vụ cho các báo cáo phát triển bền vững.

Hơn nữa, nhờ khả năng giám sát liên tục và toàn diện, DEUS Pollutrack giúp các đơn vị vận hành đạt được Cấp độ 5 trong bộ Tiêu chuẩn Vàng OGMP 2.0 – cấp độ cao nhất về minh bạch và kiểm soát phát thải metan.

Nền tảng còn tích hợp bảng điều khiển sử dụng AI, có thể tùy chỉnh theo nhu cầu cụ thể của từng khách hàng, mang đến trải nghiệm người dùng tối ưu. DEUS cũng cung cấp gói hỗ trợ toàn diện từ lập kế hoạch lắp đặt, phân tích dữ liệu, đánh giá chuyên sâu đến tư vấn giải pháp giảm khí thải thực tiễn.

Cuối cùng, nền tảng này đã tạo ra một cuộc cách mạng không chỉ giúp các doanh nghiệp đáp ứng yêu cầu về phát triển bền vững, mà còn định hình lại cách ngành công nghiệp giám sát khí thải, hướng đến một tương lai xanh và minh bạch hơn.

2.3.5. Vương quốc Anh

Breathe London: Công nghệ hỗ trợ phong trào không khí sạch từ cộng đồng cơ sở

London đã phải đối mặt với chất lượng không khí kém suốt nhiều thế kỷ, với những ghi nhận về các sự kiện ô nhiễm không khí chết người từ thế kỷ 13. Những đợt sương mù độc hại nghiêm trọng vào những năm 1940 và 1950 đã dẫn đến việc ban hành Đạo luật Không khí Sạch của Vương quốc Anh vào năm 1956. Mặc dù chất lượng không khí đã được cải thiện đáng kể kể từ đó, nhưng London vẫn vượt quá các giới hạn của Tổ chức Y tế Thế giới đối với các chất ô nhiễm chính như nitơ dioxide (NO₂) và bụi mịn (PM_{2.5}).

Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng chỉ riêng năm 2019, ô nhiễm không khí đã

góp phần gây ra hơn 4.000 ca tử vong sớm ở London. Tác động của ô nhiễm không khí đối với sức khỏe rất rộng, bao gồm tăng nguy cơ mắc bệnh hô hấp, bệnh tim mạch, các vấn đề bất thường về sinh nở và rối loạn thần kinh. Trẻ em, người già, nhóm người có hoàn cảnh kinh tế khó khăn và những người mắc các bệnh nền là những đối tượng dễ bị tổn thương nhất.

Để khắc phục tình trạng ô nhiễm không khí, London đã triển khai một trong những khu vực phát thải cực thấp đầu tiên trên thế giới (Ulez). Có hiệu lực từ năm 2019, Ulez là khu vực nằm ở trung tâm London, nơi các phương tiện phải đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt hoặc phải chịu phí hàng ngày. Dữ liệu ban đầu cho thấy Ulez đã góp phần làm giảm nồng độ NO₂ và PM2.5 trong khu vực này.

Theo truyền thống, việc giám sát chất lượng không khí xung quanh được thực hiện bởi các cơ quan chức năng địa phương bằng cách sử dụng các thiết bị chuẩn đắt tiền được đặt trong các cabin lớn ven đường. Mặc dù những hệ thống này rất cần thiết cho mục đích báo cáo pháp lý và nghiên cứu khoa học, nhưng chỉ bao phủ được một khu vực hạn chế và ít tạo cơ hội cho cộng đồng tham gia.

Breathe London: Mô hình kết hợp công nghệ, cộng đồng và dữ liệu mở

Với tầm nhìn nhằm bổ sung cho hệ thống giám sát chuẩn hiện có của London và trao quyền cho người dân, Cơ quan Quản lý Đại đô thị London (Greater London Authority - GLA) đã hợp tác với Nhóm Nghiên cứu Môi trường thuộc Đại học Imperial College London để tài trợ cho mạng lưới Breathe London vào năm 2021. Mạng lưới này sử dụng các cảm biến giá rẻ Clarity Node-S, cung cấp cho người dân London dữ liệu ô nhiễm không khí ở cấp độ siêu địa phương, đồng thời thúc đẩy giáo dục, sự tham gia của cộng đồng và hỗ trợ quá trình ra quyết định chính sách.

Một yếu tố then chốt giúp mạng lưới Breathe London hoạt động hiệu quả là cảm biến Clarity Node-S. Node-S đo được nồng độ NO₂ và PM2.5, hai chất ô nhiễm chính ảnh hưởng lớn đến sức khỏe. Với kích thước nhỏ gọn và trang bị tấm pin năng lượng mặt trời, cảm biến này có thể được lắp đặt ở hầu hết mọi nơi để cung cấp dữ liệu chất lượng không khí ở cấp độ siêu địa phương.

Hạ tầng dữ liệu thông minh, đảm bảo độ tin cậy

Mô hình “cảm biến như một dịch vụ” (sensing-as-a-service) của Clarity đã đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ mạng lưới Breathe London quy mô lớn. Clarity vận hành một nền tảng dữ liệu dựa trên điện toán đám mây để tiếp nhận, xử lý và trực quan hóa các phép đo. Người dùng có thể truy cập dữ liệu chất lượng không khí

thông qua bảng điều khiển (dashboard) và API. Bảng điều khiển này cũng cung cấp các công cụ quản lý thiết bị và cấu hình cảnh báo, rất quan trọng để vận hành một mạng lưới ở quy mô lớn như vậy. Nếu bất kỳ cảm biến nào bị hư hỏng hoặc cần thay thế, Clarity sẽ nhanh chóng gửi thiết bị thay thế miễn phí nhằm giảm thiểu khoảng trống dữ liệu. Nhóm ERG đã phát triển các thuật toán riêng biệt để hiệu chỉnh dữ liệu cảm biến thô dựa trên dữ liệu từ mạng lưới cảm biến chuẩn của London.

Việc “chuyển giao giá trị” độc đáo từ mạng lưới cảm biến chuẩn giúp Breathe London cung cấp dữ liệu có chất lượng và độ tin cậy cao hơn so với các mạng lưới cảm biến ở những thành phố khác. Hiện nay, tất cả thiết bị Node-S của Breathe London đều được đặt cùng vị trí với các trạm đo không khí chuẩn của London trước khi hiệu chuẩn và triển khai chính thức.

Dữ liệu từ Breathe London được tích hợp với mạng lưới giám sát chất lượng không khí chuẩn hiện có của London, đảm bảo độ chính xác cao, đủ tin cậy để sử dụng trong các nghiên cứu khoa học, đồng thời vẫn được công khai để người dân dễ dàng truy cập. Nhờ đó, mạng lưới này đã giúp phân tích rõ ràng hơn tình trạng bất bình đẳng trong mức độ tiếp xúc với ô nhiễm không khí, cũng như xác định sự khác biệt về mức độ ô nhiễm giữa các khu vực do các nguồn như giao thông, sân bay, công nghiệp và việc đốt gỗ gây ra. Những phát hiện này đóng vai trò quan trọng trong việc đưa ra các giải pháp phù hợp, bao gồm: mở rộng vùng phát thải thấp, phát triển hạ tầng xanh, hạn chế hoạt động đốt gỗ và nhiều chính sách cải thiện môi trường khác.

Đưa cộng đồng trở thành trung tâm giám sát môi trường

Khác với nhiều sáng kiến giám sát chất lượng không khí cộng đồng theo mô hình từ trên xuống, Breathe London chủ động thúc đẩy các dự án do chính cộng đồng dẫn dắt. Nhóm dự án phân phối thiết bị Node-S thông qua các chương trình cộng đồng sáng tạo được tài trợ bởi Bloomberg Philanthropies, trong đó các nhóm địa phương được khuyến khích chia sẻ mối quan tâm, mục tiêu của họ và đăng ký xin thiết bị Node-S.

Thông qua sự hợp tác giữa Breathe London và cộng đồng, hai bên cùng xác định các vị trí tối ưu để lắp đặt cảm biến Clarity Node-S - thiết bị có khả năng đo PM2.5 và NO₂, vận hành bằng năng lượng mặt trời. Các nhóm địa phương chịu trách nhiệm quản lý thiết bị hằng ngày, trong khi Breathe London cung cấp các chương trình đào tạo, đảm bảo chất lượng dữ liệu, hỗ trợ kỹ thuật và một nền tảng để chia sẻ kết quả.

Cách tiếp cận từ cộng đồng này đảm bảo rằng mỗi thiết bị Node-S được lắp đặt dựa trên những ưu tiên thực tế của người dân địa phương. Các thiết bị Clarity đã được lắp đặt ở nhiều nơi khác nhau, từ trường học, bệnh viện, công viên cho đến các tuyến đường đông đúc, quây hàng ngoài trời và trạm xe buýt. Tính đến năm 2023, mạng lưới đã phát triển lên hơn 400 thiết bị Node-S, bao phủ toàn bộ 33 quận hành chính của London.

Đối với nhiều nhóm cộng đồng, việc tham gia vào mạng lưới Breathe London là bước đầu tiên của họ trong hành trình giám sát chất lượng không khí. Khả năng dễ dàng thu thập dữ liệu ô nhiễm tại địa phương trở thành chất xúc tác thúc đẩy sự tham gia của cộng đồng vào các hoạt động kiểm soát ô nhiễm không khí.

Điển hình là trường hợp của nhóm Clean Air 4 Schools - một nhóm phụ huynh tại Trường Tiểu học William Patten, thuộc quận Hackney, London. Sau khi phát hiện khu sân chơi của trường vượt quá giới hạn nồng độ NO₂, nhóm đã lắp đặt một thiết bị Node-S thuộc mạng lưới Breathe London vào năm 2021. Nhờ quyền truy cập vào dữ liệu giám sát theo thời gian thực, họ đã triển khai các chiến dịch tuyên truyền hiệu quả, từ đó thúc đẩy Hội đồng quận Hackney thực hiện các thay đổi chính sách cụ thể nhằm cải thiện chất lượng không khí tại Trường William Patten và các trường học lân cận.

Dữ liệu phục vụ cả cộng đồng và chính sách

Bên cạnh việc trao quyền cho cộng đồng, Breathe London còn tạo ra nguồn dữ liệu quan trọng nhằm hỗ trợ quá trình ra quyết định trong quy hoạch đô thị và xây dựng các chính sách nhằm cải thiện chất lượng không khí.

Với hơn 400 cảm biến và con số này vẫn đang tiếp tục tăng, Breathe London đã trở thành một mô hình giám sát chất lượng không khí cộng đồng được công nhận trên toàn cầu. Sáng kiến này cũng là nền tảng cho mạng lưới Breathe Cities Network - một chương trình do tổ chức C40 Cities và Thị trưởng London, Sadiq Khan, khởi xướng nhằm mở rộng mô hình giám sát chất lượng không khí cộng đồng ra toàn thế giới.

Bằng cách kết hợp giữa các thiết bị giám sát chuẩn với các cảm biến giá rẻ, dễ sử dụng, Breathe London đã thu hút sự tham gia tích cực của người dân trong việc cải thiện chất lượng không khí tại nơi họ sinh sống. Sáng kiến này là hình mẫu cho các cộng đồng đô thị trên toàn cầu trong việc tự chủ động giám sát và hành động vì một môi trường trong lành hơn - trao quyền từ chính cấp cơ sở.

Công nghệ hút bụi đường (Road Suction Technology)

Roadvent, do công ty Pollution Solution của Anh phát triển, chủ động thu gom khí thải từ xe cộ và các hạt siêu mịn phát sinh từ lốp xe và má phanh bị mòn. Công nghệ hút này được lắp đặt trực tiếp trên mặt đường mang đến giải pháp mới cho vấn đề ô nhiễm không khí đô thị.

Roadvent được lắp đặt kín đáo trên đường để thu gom, lọc và giải phóng không khí sạch ngay bên lề đường dưới các phương tiện giao thông. Hiệu quả này đã được kiểm chứng một cách độc lập và khoa học để giảm 91% mức độ tiếp xúc của con người với ô nhiễm không khí trên đường.

Một nghiên cứu mới do Giáo sư Paul Lewis của Đại học Swansea dẫn dắt cho thấy công nghệ Roadvent được đánh giá là ưu việt hơn so với một số phương pháp khác trong việc giảm nồng độ khí nitrogen dioxide (NO₂) xuống dưới mức tiêu chuẩn quy định của Vương quốc Anh.

Roadvent giúp giảm đáng kể nồng độ NO₂ và hạn chế gánh nặng kinh tế dài hạn đối với hệ thống y tế mà không cần thực hiện những thay đổi lớn đối với công chúng.

Butterfly - Giám sát chất lượng không khí trong nhà

Chất lượng không khí trong nhà (IAQ) là mối quan tâm toàn cầu liên quan đến sức khỏe, sự an toàn và hiệu suất làm việc, bởi con người dành tới 90% thời gian ở trong nhà. Trong một số trường hợp, chất lượng không khí trong nhà còn tệ hơn cả ngoài trời. Không khí kém chất lượng trong không gian kín có thể dẫn đến việc lây truyền mầm bệnh, nồng độ CO₂ cao làm suy giảm chức năng nhận thức và gây ra các vấn đề về hô hấp.

Cơ quan Nghiên cứu Xây dựng (BRE) gần đây đã công bố một báo cáo cho thấy 2,4 triệu ngôi nhà ở Anh đang gây nguy hại cho sức khỏe. Người lao động đang yêu cầu minh bạch hơn về chất lượng không khí trong nhà và nhận thức rõ tác động của chất lượng không khí đối với sức khỏe của họ. Theo Khảo sát tòa nhà lành mạnh 2022 (the Healthy Building Survey) của Honeywell, 62% người lao động toàn cầu sẽ cân nhắc nghỉ việc nếu người sử dụng lao động của họ không ưu tiên một môi trường trong nhà lành mạnh hơn.

Butterfly là hệ thống giám sát IAQ sáng tạo và được cấp bằng sáng chế, bao gồm một bộ phận cứng được thiết kế tinh tế tích hợp với phần mềm, đã được phát

triển tại Đại học Hoàng gia London trong bốn năm để giải quyết vấn đề này một cách có trách nhiệm.

Hệ thống Butterfly cung cấp hai chức năng chính: giám sát và quản lý. Bụi mịn (Particulate Matter - PM) là một trong những yếu tố được quan tâm hàng đầu trong quản lý công trình thế hệ mới. Butterfly có khả năng kiểm soát tối ưu luồng không khí ra vào của tòa nhà. Hệ thống cho phép đo lường chất lượng không khí cả trong nhà và ngoài trời, theo từng vị trí cụ thể trong công trình. Điểm đặc biệt là Butterfly mang đến khả năng quan sát toàn diện như “tầm nhìn 20/20” - lần đầu tiên có mặt trong ngành xây dựng - nhờ vào các cảm biến có thể đo được nhiều mức độ bụi mịn khác nhau, bao gồm: PM1, PM2.5 và PM10, giúp đánh giá chính xác mức độ ô nhiễm không khí và đưa ra giải pháp phù hợp.

Vì vậy, Butterfly có thể giúp giảm bụi mịn (PM) cho những người đang sinh sống và làm việc trong công trình, đồng thời tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng - mang lại những lợi ích rõ rệt về tính bền vững. Nhờ đó, hệ thống góp phần giảm phát thải và hướng đến một mô hình vận hành tuần hoàn hoàn chỉnh.

Hệ thống này đã được triển khai tại Đại học hoàng gia London, áp dụng cho nhiều loại tòa nhà khác nhau, từ hiện đại đến cổ điển, cho thấy khả năng thích ứng linh hoạt của Butterfly với nhiều loại bất động sản.

Butterfly không chỉ giám sát chặt chẽ chất lượng không khí, mà còn tối ưu hóa hoạt động vận hành của tòa nhà, với tiềm năng tiết kiệm tới 40% năng lượng tiêu thụ.

Hệ thống giám sát chất lượng không khí trong nhà (IAQ) Butterfly sử dụng công nghệ tiên tiến để cung cấp dữ liệu có độ chính xác cao và thân thiện với người dùng. Một điểm nổi bật của hệ thống là buồng cảm biến độc đáo mang tên LaminAIR flow, cho phép đo lường chính xác bằng cách kiểm soát luồng không khí mẫu đi qua thiết bị. Bên cạnh đó, giao diện gloWING trực quan sẽ thay đổi màu sắc để phản ánh chất lượng không khí, giúp người dùng dễ dàng nhận biết tình trạng môi trường xung quanh một cách nhanh chóng và trực tiếp.

Butterfly cung cấp một bộ sản phẩm linh hoạt, đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế cho nhiều loại công trình khác nhau - từ Sapho và Antenna sử dụng pin cho đến Morpho dùng nguồn điện qua dây cáp.

Bộ điều phối trung tâm Chrysalis kết nối tất cả các thiết bị giám sát và truyền dữ liệu về cổng thông tin Butterfly thông qua nhiều kênh bảo mật khác nhau.

Butterfly có thể tích hợp mượt mà với các hệ thống quản lý tòa nhà (BMS) để tối ưu hóa chất lượng không khí trong nhà (IAQ) và giảm thiểu tiêu thụ năng lượng, mang lại lợi tức đầu tư đáng kể thông qua việc nâng cao sức khỏe người dùng và thúc đẩy tính bền vững.

Nền tảng bảo mật của Butterfly liên tục thu thập dữ liệu từ tất cả các thiết bị, giúp khách hàng giám sát và quản lý không gian trong nhà một cách hiệu quả. Đồng thời, ứng dụng Butterfly trên thiết bị di động cho phép kết nối và truy cập dữ liệu mọi lúc, mọi nơi, mang lại trải nghiệm tiện lợi và dễ sử dụng cho người dùng.

2.3.6. Trung Quốc

Trung Quốc đã đạt được những tiến bộ đáng kể trong việc kiểm soát ô nhiễm không khí thông qua việc áp dụng các công nghệ hiện đại và chính sách quyết liệt. Dưới đây là một số công nghệ và biện pháp nổi bật:

Công nghệ thu giữ carbon trực tiếp từ không khí (Direct Air Capture - DAC)

Trung Quốc đã phát triển công nghệ DAC mang tên "CarbonBox", do Đại học Giao thông Thượng Hải và Tập đoàn Kỹ thuật Năng lượng Trung Quốc hợp tác nghiên cứu. Mỗi mô-đun "CarbonBox" có thể loại bỏ hơn 100 tấn CO₂ mỗi năm, tạo ra sản phẩm CO₂ tinh khiết 99% phù hợp cho các mục đích công nghiệp hoặc lưu trữ dài hạn. Các thiết bị này có kích thước tương đương một container giúp dễ dàng triển khai linh hoạt tại nhiều địa điểm khác nhau hoặc có thể lắp đặt tại chỗ và sử dụng nguồn năng lượng carbon thấp để vận hành như năng lượng gió, năng lượng mặt trời hoặc năng lượng địa nhiệt, giúp tăng tính bền vững.

Không giống như các phương pháp thu giữ carbon truyền thống chỉ tập trung vào chặn khí thải tại nguồn công nghiệp, DAC cho phép chúng ta loại bỏ vĩnh viễn CO₂ đã tồn tại trong khí quyển - loại CO₂ đang góp phần làm Trái đất nóng lên.

Quy trình công nghệ DAC gồm 3 bước chính:

- Thu giữ CO₂ từ không khí: Các cơ sở DAC sử dụng bộ lọc chuyên dụng để hút và tách CO₂ ra khỏi không khí xung quanh. Những bộ lọc này được thiết kế đặc biệt để chỉ thu giữ các phân tử CO₂.
- Tập trung và làm sạch CO₂: Sau khi được thu giữ, CO₂ sẽ được tập trung và tinh lọc, đảm bảo đạt chất lượng phù hợp cho việc lưu trữ. Quá trình này bao gồm các bước lọc và tách để loại bỏ tạp chất và tăng nồng độ CO₂.

- Lưu trữ dưới lòng đất: Khi đã tinh khiết, CO₂ được lưu trữ vĩnh viễn dưới lòng đất. Lưu trữ địa chất trong các tầng đá phù hợp được xem là giải pháp an toàn, có thể mở rộng và vĩnh viễn vì dựa trên một quá trình tự nhiên.

Ví dụ thực tế tại Iceland, đối tác lưu trữ Carbfix sử dụng một quy trình địa chất đặc biệt để lưu trữ CO₂ vĩnh viễn dưới lòng đất. CO₂ được bơm vào các lớp đá basalt sâu, nơi nó phản ứng với khoáng chất tự nhiên và tạo thành đá carbonate ổn định. Quá trình này giúp "khóa" CO₂ lại, ngăn chặn hoàn toàn việc nó quay trở lại khí quyển - và có thể lưu trữ an toàn trong hơn 10.000 năm.

CarbonBox được đánh giá là một bước tiến quan trọng trong nỗ lực của Trung Quốc nhằm đạt mục tiêu trung hòa carbon, cung cấp giải pháp nội địa trong việc loại bỏ CO₂ khỏi khí quyển.

Tháp lọc không khí quy mô lớn (Smog Tower)

Tại thành phố Tây An, Trung Quốc đã xây dựng một tháp lọc không khí cao 100 mét nhằm cải thiện chất lượng không khí ở thành phố - nơi thường xuyên không đạt chuẩn của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) về ô nhiễm không khí. Tháp này hoạt động bằng cách sử dụng năng lượng mặt trời để làm nóng không khí ở đáy tháp, tạo ra luồng không khí đi lên qua các bộ lọc để loại bỏ bụi mịn và các chất ô nhiễm khác.

Cấu trúc của hệ thống gồm:

- Các nhà kính đặc biệt đặt ở chân tháp, có nhiệm vụ hút không khí ô nhiễm từ môi trường xung quanh.
- Không khí được làm nóng bằng năng lượng mặt trời bên trong nhà kính.
- Sau đó, không khí nóng bốc lên qua nhiều tầng lọc và được làm sạch trước khi thải ra trở lại khí quyển.

Thí nghiệm tại Tây An có nét tương đồng với dự án Smog Free Project do Daan Roosegaarde, Hà Lan khởi xướng năm 2016 tại Bắc Kinh gồm một tháp cao 7 mét hút và lọc không khí ô nhiễm ở cấp độ nano. Carbon từ bụi mịn được chuyển hóa thành kim cương. Nhiều tháp lọc không khí nhỏ hơn đang được triển khai tại công viên và sân chơi ở các thành phố Trung Quốc, nơi không khí dự kiến sẽ sạch hơn từ 70 - 75% so với phần còn lại của thành phố.

Hệ thống giao dịch phát thải (Emissions Trading System - ETS)

Trung Quốc đã triển khai hệ thống giao dịch phát thải nhằm sử dụng cơ chế thị trường để khuyến khích các công ty giảm lượng khí thải. Hệ thống này cho phép các doanh nghiệp mua bán quyền phát thải, tạo động lực kinh tế cho việc giảm ô nhiễm.

Hệ thống giao dịch phát thải ETS là một cơ chế thị trường giúp các tổ chức (ví dụ: công ty, nhà máy sản xuất) có thể mua và bán "phát thải" (quyền thải khí nhà kính) với nhau. Mục tiêu chính của ETS là giảm phát thải khí nhà kính bằng cách tạo ra một mức giá cho carbon.

Không giống như các thị trường carbon khác, ETS của Trung Quốc (ETS) có điểm đặc biệt là tập trung vào cường độ carbon - tức là lượng phát thải CO₂ trên mỗi đơn vị sản lượng - thay vì tập trung vào tổng lượng phát thải. Hệ thống này ban đầu áp dụng cho ngành điện, trở thành lĩnh vực đầu tiên được đưa vào thị trường carbon.

Theo kế hoạch phát triển, trong năm 2025, tám ngành công nghiệp trọng điểm - bao gồm điện, vật liệu xây dựng, thép, kim loại màu, lọc dầu và hóa dầu, hóa chất, giấy và hàng không - sẽ từng bước được tích hợp vào thị trường, với điều kiện đáp ứng đủ các yêu cầu cần thiết.

Cách tiếp cận

ETS của Trung Quốc sử dụng phương pháp tiếp cận từ dưới lên, bằng cách phân bổ miễn phí hạn ngạch phát thải cho các doanh nghiệp thuộc phạm vi điều chỉnh, dựa trên một chuẩn mực quốc gia về cường độ carbon, so sánh giữa các ngành và sản phẩm với lượng phát thải đã được kiểm chứng. Hạn ngạch được cấp tương ứng với lượng phát thải thực tế, tập trung vào việc giảm cường độ carbon thay vì áp trần tổng phát thải. Điều này biến ETS thành bước đệm tiến tới một hệ thống trần và giao dịch hoàn chỉnh.

Với 2.257 doanh nghiệp tham gia, ETS phản ánh chiến lược từng bước của Trung Quốc trong việc xây dựng một thị trường carbon toàn diện, đồng thời cân bằng giữa mục tiêu môi trường và phát triển công nghiệp.

Hạn ngạch phát thải

Hạn ngạch trong ETS của Trung Quốc được phân bổ miễn phí theo phương pháp định chuẩn dựa trên sản lượng, với các điều chỉnh sau đó để phản ánh sản lượng thực tế. Các chuẩn mực bao gồm các loại nhà máy nhiệt điện than và nhà máy điện khí tự nhiên. Năm 2023, Trung Quốc đề xuất siết chặt chuẩn mực, đặc biệt là đối với các nhà máy nhiệt điện than. Ví dụ: ban đầu, các đơn vị được phân bổ hạn

ngạch tương đương 70% lượng phát thải đã được xác minh năm 2021, sau đó điều chỉnh lại dựa trên sản lượng điện thực tế. Các tổ máy kém hiệu quả, hoạt động dưới 85% công suất, có thể được nhận nhiều hạn ngạch hơn.

Giá carbon trên thị trường ETS dao động từ 41-61 Nhân dân tệ (tương đương €5,70 - 8,48) mỗi tấn - thấp hơn nhiều so với mức khoảng €80/tấn tại thị trường EU, phản ánh thực tế ETS của Trung Quốc vẫn đang trong giai đoạn đầu phát triển.

Tác động toàn cầu

ETS được kỳ vọng sẽ là chìa khóa giúp Trung Quốc chuyển đổi năng lượng theo hướng tiết kiệm chi phí hơn. Một hệ thống ETS vững mạnh và hiệu quả tại Trung Quốc có thể trở thành cột mốc quan trọng trong tiến trình thống nhất hơn 64 hệ thống định giá carbon hiện đang tồn tại trên toàn cầu.

Bắc Kinh đã triển khai các biện pháp như mở rộng hệ thống xe buýt và tàu điện ngầm, khuyến khích sử dụng xe điện, và áp dụng quy định hạn chế lưu thông xe hơi theo biển số để giảm lượng khí thải từ giao thông.

Ngoài ra, Trung Quốc chuyển đổi năng lượng và giảm phụ thuộc vào than đá, Trung Quốc đã đầu tư mạnh mẽ vào năng lượng tái tạo như điện gió và điện mặt trời, đồng thời giảm dần sự phụ thuộc vào than đá. Tuy nhiên, việc cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường vẫn là một thách thức lớn.

Những nỗ lực này đã giúp Trung Quốc đạt được những kết quả tích cực trong việc cải thiện chất lượng không khí. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều thách thức cần vượt qua để đạt được mục tiêu phát triển bền vững và bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

Pin có thể tái sử dụng

Green, Renewable, Sustainable Technology (GRST) - một startup đến từ Hồng Kông - được vinh danh là một trong năm đơn vị chiến thắng Giải thưởng Earthshot, với công nghệ sản xuất và tái chế pin lithium thân thiện với môi trường.

Giải pháp đột phá của GRST sử dụng nước thay vì hóa chất độc hại để chế tạo và tái chế pin lithium-ion, giúp giảm tới 40% khí thải nhà kính trong quá trình sản xuất và 80% trong giai đoạn tái chế. Với thành tích này, GRST đã giành chiến thắng ở hạng mục “Làm sạch không khí” (Clean Our Air) của Earthshot - một giải thưởng môi trường toàn cầu do Hoàng tử William sáng lập năm 2020.

GRST trở thành công ty đầu tiên của Hồng Kông nhận giải thưởng danh giá này và sẽ nhận 1 triệu bảng Anh (1,2 triệu USD) để mở rộng quy mô công nghệ ra toàn

cầu.

Công nghệ "gốc nước" - Giải pháp sạch cho pin tương lai

Hiện nay, phần lớn pin lithium-ion được sản xuất bằng nhiệt độ cao, môi trường kiểm soát độ ẩm khắt khe và hóa chất từ nhiên liệu hóa thạch, gây ra phát thải độc hại và tiêu tốn năng lượng. GRST đã phát triển một quy trình thay thế hoàn toàn bằng nước, giúp pin trở nên dễ tái chế hơn, an toàn hơn và thân thiện với môi trường hơn.

Công nghệ của GRST đã được TUV Rheinland - đơn vị thử nghiệm và chứng nhận quốc tế - xác nhận hiệu suất. Theo GRST, đây là bước tiến thiết yếu giúp ngành pin toàn cầu tiến đến mục tiêu phát thải ròng bằng 0 (net zero) vào năm 2050. Với phương pháp sản xuất và tái chế pin lithium-ion sử dụng nước, GRST mở ra một con đường giúp xe điện trong tương lai trở nên sạch hơn.

Theo dự báo của công ty tư vấn McKinsey, quy mô thị trường pin lithium toàn cầu có thể đạt tới 4.700 tỷ KWh, tương đương giá trị hơn 400 tỷ USD, với chuỗi cung ứng tăng trưởng trên 30% mỗi năm đến năm 2030. Năm bắt cơ hội này, GRST đặt mục tiêu huy động 50 triệu USD trong 2 năm tới để triển khai các dự án tại châu Âu và Bắc Mỹ - hai thị trường đang dẫn đầu cuộc đua chuyển đổi năng lượng. Trong đó, công ty kỳ vọng gọi vốn 25 triệu USD từ vòng Series B để thu hút các đối tác chiến lược cùng đồng hành.

Tương lai bền vững bắt đầu từ công nghệ sạch

“Thế giới cần rất nhiều pin để đạt được net zero vào năm 2050, nhưng chúng ta cần một cuộc cách mạng để sản xuất chúng sạch hơn,” đại diện GRST chia sẻ. “Công nghệ dựa trên nước của chúng tôi đang thúc đẩy quá trình chuyển đổi đó - vì một tương lai năng lượng bền vững hơn cho tất cả mọi người.”

2.3.7 Ấn Độ

Trung tâm giám sát và cải thiện chất lượng không khí tại IIT Kanpur

Viện Công nghệ Ấn Độ Kanpur (IIT Kanpur) đã thành lập một Trung tâm mang tên ATMAN, chuyên về công nghệ giám sát chất lượng không khí. Trung tâm này tập trung phát triển các cảm biến đo chất lượng không khí chi phí thấp sản xuất trong nước, kết hợp với trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (ML) để giám sát và cải thiện chất lượng không khí tại cả thành thị và nông thôn.

ATMAN hoạt động theo định hướng của Cố vấn Khoa học Ấn Độ, với mục tiêu

biến các công nghệ bền vững thành các sản phẩm và dịch vụ thực tế có thể áp dụng rộng rãi trên toàn cầu.

IIT Kanpur đã có nhiều bước tiến đáng kể trong việc đối phó với ô nhiễm không khí. Thông qua ATMAN, trường đang triển khai các hoạt động như:

- Đánh giá tác động của các chất ô nhiễm không khí đến sức khỏe con người
- Xem xét và cập nhật các tiêu chuẩn chất lượng không khí hiện hành

Một dự án tiêu biểu là AMRIT - giám sát chất lượng không khí nông thôn bằng công nghệ nội địa. Dự án này sẽ lắp đặt khoảng 1.400 thiết bị cảm biến tại các khu vực nông thôn của bang Bihar và Uttar Pradesh - những nơi trước đây gần như không có dữ liệu về chất lượng không khí. Đây là lần đầu tiên có một mạng lưới giám sát không khí quy mô lớn được triển khai tại khu vực nông thôn Ấn Độ.

Dự án AMRIT được thực hiện với sự hợp tác của Ủy ban Kiểm soát Ô nhiễm bang Bihar và Sở Môi trường, Rừng & Biến đổi Khí hậu bang Uttar Pradesh, nhằm thúc đẩy các giải pháp cải thiện chất lượng không khí tại địa phương.

Ngoài ra, trung tâm còn đang triển khai mô hình phân tích nguồn gây ô nhiễm tại từng địa điểm cụ thể (DHSA) - một phương pháp tiết kiệm chi phí đang được thử nghiệm tại hai thành phố Lucknow và Kanpur. Dữ liệu từ mô hình này sẽ giúp chính quyền địa phương đưa ra các quyết định chính xác hơn trong việc quản lý và kiểm soát ô nhiễm.

Trung tâm ATMAN cũng là đơn vị đi đầu tại Ấn Độ trong việc chế tạo cảm biến trong nước kết hợp AI/ML, giúp đo lường chính xác và đáng tin cậy các chỉ số chất lượng không khí.

Một bước đi nổi bật là việc bang Bihar hợp tác với IIT Kanpur để lắp đặt thiết bị cảm biến chất lượng không khí tại toàn bộ 534 đơn vị hành chính cấp huyện. Dữ liệu thu được sẽ giúp xây dựng kế hoạch hành động bảo vệ sức khỏe người dân nông thôn.

Sáng kiến Chakr giúp giảm thiểu ô nhiễm không khí từ xe cộ

Chakr Innovation là một công ty đã đăng ký phát triển các sáng kiến nhằm giảm lượng khí thải góp phần gây ô nhiễm không khí. Chakr, do Kushagra Srivastava, sinh viên kỹ thuật tại IIT-Delhi, phát triển, là thiết bị kiểm soát khí thải (RECD) cải tiến đầu tiên trên thế giới dành cho máy phát điện diesel. Công nghệ Chakr Sheild được cấp bằng sáng chế, có thể thu được hơn 70 % lượng khí thải dạng hạt từ các

máy phát điện diesel.

Công nghệ này đã được triển khai tại hơn 1.000 địa điểm và Công ty Chakr Innovation đã có hơn 150 khách hàng. Trong số đó có Reliance Industries, Tata Group, ITC, Amazon và Coca-Cola Com, cùng nhiều công ty khác. Cho đến nay, hơn 40.000 tấn CO₂ được ngăn chặn thoát ra ngoài không khí bằng cách triển khai công nghệ kiểm soát khí thải này tại nhiều địa điểm khác nhau.

Một cải tiến khác đã được thực hiện trong ba năm qua là công nghệ lưu trữ năng lượng bản địa có thể giúp giảm sự phụ thuộc của Ấn Độ vào lithium-ion, hiện là giải pháp lưu trữ năng lượng mặc định. Tính đến thời điểm hiện tại, Ấn Độ phụ thuộc rất nhiều vào Trung Quốc và Hồng Kông để đáp ứng nhu cầu về lithium của mình.

Công nghệ lưu trữ năng lượng bản địa bằng nhôm của Chakr có chi phí đầu tư ban đầu thấp hơn 40 % so với lithium-ion và chi phí vận hành thấp hơn 30 % so với động cơ đốt trong. Công nghệ lưu trữ năng lượng này có thể tái chế, không giống như pin lithium-ion, cần phải thải bỏ. Trong xe điện, công nghệ lưu trữ bản địa này sẽ không bắt lửa (không giống như lithium-ion), có phạm vi hoạt động gấp ba lần và không tạo ra chất thải.

Công ty khởi nghiệp công nghệ sạch này cũng đang phát triển một nền tảng phần mềm để kết nối các nguồn năng lượng phi tập trung, hiện đang trong giai đoạn nghiên cứu và phát triển. Srivastava tuyên bố rằng Chakr là một công ty có lợi nhuận, với doanh thu trung bình hơn 10 crore Rupee một tháng.

Phương pháp dựa trên IoT, khoa học dữ liệu để giám sát ô nhiễm di động

Các nhà nghiên cứu tại Viện Công nghệ Ấn Độ Madras (IIT Madras) gần đây đã phát triển một khung giám sát ô nhiễm không khí di động giá rẻ trong đó các cảm biến ô nhiễm được gắn trên xe công cộng có thể linh động giám sát chất lượng không khí của một khu vực mở rộng với độ phân giải không gian và thời gian cao. Theo truyền thống, chất lượng không khí xung quanh được đo tại các trạm giám sát và được báo cáo bằng “Chỉ số chất lượng không khí” (AQI). Vì các trạm này nằm ở các vị trí cố định nên chúng chỉ đo chất lượng không khí của một khu vực địa lý nhỏ.

Tuy nhiên, ô nhiễm không khí là động, với các địa điểm chỉ cách nhau vài trăm mét có mức độ ô nhiễm khác nhau. Mức độ cũng có thể thay đổi vào các thời điểm khác nhau trong ngày. Tuy nhiên, việc thiết lập nhiều trạm hơn là không thực tế vì chi phí cao.

Để giải quyết vấn đề này, các nhà nghiên cứu của IIT Madras đã phát triển một công nghệ giám sát ô nhiễm không khí di động dựa trên IoT mới, trong đó các cảm biến chất lượng không khí có giá thành rẻ được gắn trên xe để thu thập dữ liệu chất lượng không khí theo không gian và thời gian. Đối với chi phí của một trạm giám sát tham chiếu duy nhất nó có thể lập bản đồ toàn bộ thành phố ở độ phân giải cao bằng việc sử dụng các thiết bị giám sát di động giá rẻ này.

Dưới sự dẫn dắt của giáo sư Raghunathan Rengas Wamy, Trưởng khoa (Hợp tác toàn cầu) và Khoa Kỹ thuật hóa học, IIT Madras, Dự án Kaatru (tiếng Tamil: không khí) tận dụng IoT, dữ liệu lớn và khoa học dữ liệu để đạt được các mục tiêu sau:

Trong một quan sát thú vị về một địa điểm cụ thể cho thấy mức ô nhiễm PM2.5 trong khoảng từ 2 giờ sáng đến 3 giờ sáng tăng đột biến đáng kể. Điều này liên quan đến xe tải chở sữa từ một trung tâm phân phối sữa lớn tại địa điểm này vào thời điểm đó. Mức tăng đột biến PM2.5 cũng được tìm thấy ở các khu vực trường học vào đầu và cuối giờ học và ở các khu thương mại vào giờ cao điểm.

Cảm biến chất lượng không khí di động sẽ được sử dụng rộng rãi trong cả sáng kiến sức khỏe cá nhân và cộng đồng. Các thiết bị giám sát cá nhân có thể giúp mọi người biết được mức độ ô nhiễm trong khu phố của họ để họ có thể thực hiện các biện pháp bảo vệ. Giao thông có thể được định tuyến lại nếu biết mức độ ô nhiễm tại địa phương. Những thay đổi về chính sách của chính phủ và quy hoạch thành phố thông minh sẽ được hưởng lợi rất nhiều từ việc sử dụng máy theo dõi chất lượng không khí di động.

Mạng lưới giám sát di động dựa trên IoT có giá cả phải chăng, kết hợp với các nguyên tắc khoa học dữ liệu, mang lại lợi thế chưa từng có trong việc thu thập thông tin chi tiết siêu cục bộ về chất lượng không khí. Đây là lựa chọn khả thi duy nhất hiện nay, có khả năng cung cấp số liệu giúp chính quyền đưa ra các quyết sách và giảm thiểu ô nhiễm không khí một cách sáng suốt.

Các thiết bị có thể đo nhiều thông số, từ PM1, PM2.5 và PM10 và các loại khí như NOx và SOx. Ngoài việc đo các chất gây ô nhiễm, thiết bị còn có thể đánh giá độ nhám của đường, ổ gà và chỉ số UV, cùng nhiều thông số khác. Thiết kế mô-đun của thiết bị cho phép thay thế các cảm biến theo nhu cầu.

Giám sát chất lượng không khí cho ngành công nghiệp thép

Ngành công nghiệp thép tạo ra một lượng lớn ô nhiễm không khí, bao gồm các khí độc hại như lưu huỳnh đioxit và nitơ oxit, thông qua quy trình lò cao truyền

thông. Oizom, một công ty giám sát chất lượng không khí từ Ahmedabad, đang cung cấp một giải pháp sáng tạo để giám sát chất lượng không khí trong ngành công nghiệp này. Giải pháp này được thiết kế để giúp ngành công nghiệp thép tuân thủ các quy định về môi trường cũng như giảm thiểu tác động đối với môi trường và cộng đồng địa phương.

Máy theo dõi chất lượng không khí thông minh Oizom được thiết kế với các cảm biến mạnh mẽ, phân tích dữ liệu và phần mềm dựa trên đám mây để cung cấp thông tin thời gian thực về chất lượng không khí. Các máy theo dõi này cung cấp cho các công ty thông tin chi tiết, chính xác để thực hiện các hành động phòng ngừa và duy trì trong giới hạn quy định về môi trường.

Tính năng cảnh báo tự động cho phép đội bảo trì hành động ngay lập tức khi vượt quá ngưỡng giới hạn ô nhiễm cho phép. Các hệ thống có role cho phép tự động hóa các hệ thống giảm thiểu như máy chà sàn và máy lọc. Với hệ thống giám sát không khí EHS của Oizom, các công ty thép có thể đảm bảo rằng nhân viên của họ được an toàn trước mọi mối nguy hiểm về sức khỏe do bụi gây ra.

Ngành công nghiệp thép nằm trong số 17 ngành công nghiệp chịu trách nhiệm về lượng khí thải ô nhiễm lớn đối với môi trường. Do đó, điều quan trọng là phải tìm ra cách để các công ty thép có thể theo dõi ô nhiễm không khí và thực hiện các bước phòng ngừa. Các máy theo dõi chất lượng không khí đa thông số cung cấp dữ liệu thời gian thực và thông tin chi tiết, chính xác, cho phép các công ty đưa ra quyết định sáng suốt để giảm thiểu tác động tiêu cực và cải thiện tính bền vững.

Giải pháp của Oizom đã được một số công ty thép hàng đầu tại Ấn Độ và trên toàn thế giới áp dụng.

Các thiết bị giám sát chất lượng không khí được hiệu chuẩn giúp giảm thiểu nguyên nhân gây ra bụi dư thừa, giúp chủ sở hữu nhà máy thép tránh các hình phạt do vượt quá giới hạn ô nhiễm không khí. Do đó, bằng việc cung cấp dữ liệu và thông tin chi tiết theo thời gian thực ngay cả trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt, Oizom đang giúp các công ty duy trì việc tuân thủ và chứng minh cam kết của mình trong việc giảm ô nhiễm không khí và chăm sóc cho nhân viên của họ.

Công nghệ wifi xung để kiểm soát ô nhiễm không khí trong các ngành công nghiệp nặng

Devic Earth cung cấp các thiết bị kiểm soát ô nhiễm không khí theo dạng "cắm là chạy" (plug-and-play), hướng đến các ngành công nghiệp nặng, nhà máy, doanh

nghiệp và không gian ngoài trời.

Sản phẩm chủ lực của công ty, có tên Pure Skies, hoạt động dựa trên công nghệ xung WiFi, cho phép bao phủ các khu vực rộng lớn - cả trong nhà lẫn ngoài trời - với chi phí tiết kiệm. Thiết bị phát ra các xung nhanh trong dải tần số WiFi, giúp tạo ra điện tích tạm thời trên các hạt bụi siêu nhỏ (PM2.5 và PM10) trong không khí. Nhờ được tích điện, các hạt ô nhiễm kết tụ lại và rơi xuống nhanh hơn thông qua quá trình gọi là lắng đọng khô (dry deposition).

Nhờ đó, chỉ số chất lượng không khí (AQI) ngoài trời thường được cải thiện từ 50% đến 90%. Pure Skies đã trải qua 13 năm nghiên cứu và phát triển, đồng thời đã được bên thứ ba kiểm nghiệm và chứng nhận về hiệu quả cũng như mức độ an toàn.

Phương châm của Devic Earth là mang đến giải pháp công nghệ an toàn, hiệu quả, tiết kiệm chi phí và có khả năng triển khai trên diện rộng. Phản hồi từ khách hàng cho thấy sức khỏe nhân viên được cải thiện, số ngày nghỉ ốm giảm, và sự hài lòng của khách hàng tăng lên - tất cả đều giúp doanh nghiệp tiết kiệm chi phí, tùy theo quy mô hoạt động.

Một trong những ưu điểm nổi bật của sản phẩm là khả năng bao phủ diện tích lớn. Nhóm phát triển nhận thấy cần phải đưa công nghệ đến những nơi bị ảnh hưởng ô nhiễm nặng nhất, nên đã tập trung vào các ngành như thép, xi măng, khai khoáng và các nhà máy điện - nơi có nhu cầu cao về kiểm soát ô nhiễm.

Trong bối cảnh các công ty cần chứng minh cam kết với Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDGs) của Liên Hợp Quốc, Devic Earth đang mở rộng sang mô hình B2G (doanh nghiệp làm việc với chính phủ). Công ty đã triển khai thành công một số dự án thí điểm hợp tác với các cơ quan nhà nước, và hiện đang trong quá trình đàm phán thương mại cho nhiều dự án khác.

2.3.8. Israel

Điều hòa không khí thông qua độ ẩm trong không khí

Công ty khởi nghiệp ThermoTerra của Israel đang phát triển một hệ thống năng lượng tái tạo có khả năng thu năng lượng từ sự biến đổi độ ẩm trong không khí. Hơi nước trong không khí khi được một vật liệu hấp thụ sẽ truyền một lượng năng lượng đáng kể. Quá trình bay hơi của nước tạo ra hiệu ứng làm mát. Quy trình này giống như cơ chế hoạt động của cơ thể con người - khi chúng ta nóng, cơ thể tiết mồ hôi, và khi bay hơi, nó giúp chúng ta làm mát.

Khi hơi nước được hấp thụ hoặc ngưng tụ trên một vật liệu, điều ngược lại xảy ra: nó tạo ra nhiệt. Vào những ngày nóng, công nghệ của ThermoTerra sẽ đưa không khí ẩm và khô từ môi trường bên ngoài vào trong nhà hoặc văn phòng. Không khí này được lưu trữ trong lớp vật liệu cách nhiệt của tường - như hempcrete (bê tông gai dầu), gel silica hoặc sợi gỗ ép, là những vật liệu có khả năng hấp thụ độ ẩm rất tốt. Khi không khí này bay hơi sau đó, nó hấp thụ năng lượng và làm mát không gian bên trong.

Ngược lại, khi thời tiết lạnh hơn, công nghệ sẽ đưa không khí lạnh và ẩm vào, và khi không khí này được hấp thụ, nó giải phóng nhiệt, từ đó làm ấm không gian sống hoặc làm việc.

Hệ thống ThermoTerra được điều khiển bởi các cảm biến tích hợp trong tường. Các thuật toán thông minh sẽ theo dõi thời điểm nên đưa không khí nóng hoặc lạnh vào và khi nào nên giải phóng nó. Các thuật toán này sẽ tìm hiểu thói quen và sở thích của người dùng, từ đó tự động điều chỉnh nhiệt độ phù hợp. Ngoài ra, hệ thống còn có khả năng kết nối với các dự báo thời tiết bên ngoài để tối ưu hiệu quả vận hành. Ví dụ, nếu hiện tại trời rất nóng nhưng hệ thống biết rằng trong một tuần tới thời tiết sẽ lạnh, nó có thể lưu trữ nước từ trước để sử dụng sau này.

Nhu cầu đối với các công nghệ mới như ThermoTerra là điều không thể phủ nhận: khoảng 40% năng lượng tiêu thụ trong các tòa nhà trên toàn cầu được dùng cho việc sưởi ấm và làm mát, và các tòa nhà chiếm tới 30% tổng mức tiêu thụ năng lượng toàn thế giới. Để hoạt động hiệu quả, ThermoTerra cần được tích hợp hệ thống ống dẫn và kênh lưu thông không khí vào trong cấu trúc tường mới. Đối với các tòa nhà hiện có, có thể lắp thêm một lớp mặt dựng mới với lớp cách nhiệt và hệ thống ống dẫn tích hợp. Mặc dù điều này có thể làm tường dày thêm vài inch, nhưng theo công ty, tác động tích cực đến môi trường và khoản tiết kiệm chi phí mang lại là rất đáng kể.

Đây là một hệ thống gồm quạt, ống dẫn và van điều chỉnh. Một chiếc quạt thông minh được lắp đặt trong tường, được điều khiển bởi các thuật toán, giúp điều phối không khí nóng hoặc lạnh theo nhu cầu. Đây là phần duy nhất của hệ thống cần sử dụng điện.

ActiveMemBrain bao gồm các cảm biến thông minh IoT, bộ điều khiển, các thuật toán và hệ thống điện toán đám mây. Bình chứa một loại vật liệu hấp thụ đặc biệt được đóng gói bên trong tường, kết hợp với các kênh dẫn khí được thiết kế tối

ưu để đảm bảo luồng không khí lưu thông tối đa. Sử dụng các vật liệu đặc biệt có khả năng hấp thụ lượng lớn nước, kết hợp với hệ thống điều khiển, ThermoTerra tận dụng sự biến đổi độ ẩm để “nạp” năng lượng cho vật liệu cách nhiệt - làm cho nó khô hơn vào mùa đông hoặc ẩm hơn vào mùa hè - sau đó đẩy không khí qua vật liệu này để phát tán không khí nóng hoặc lạnh khi cần thiết. Bằng cách liên tục đưa không khí môi trường xung quanh đi qua hệ thống của mình, ThermoTerra giúp tạo ra những chu kỳ nhiệt độ ổn định hơn, từ đó mang lại môi trường sống và làm việc thoải mái hơn.

Trong tương lai, ThermoTerra có thể được ứng dụng để làm mát ô tô. Khi xe đậu dưới ánh nắng mặt trời, nhiệt độ bên trong sẽ tăng lên. Công nghệ này có thể làm mát xe bằng cách sử dụng nước bay hơi được thu thập qua đêm. Công ty hiện đang xin tài trợ nghiên cứu của EU, tìm kiếm sự hợp tác vì công ty đang trong giai đoạn phát triển sản phẩm, tiến hành các thí nghiệm ở nhiều nơi khác nhau tại Israel.

2.3.9. Hàn Quốc

Cảm biến khí lai hữu cơ - vô cơ

Thế giới ngày càng công nghiệp hóa, công nghệ đã mang lại sự tiện nghi cho số đông con người. Tuy nhiên, những người lao động trong môi trường công nghiệp thường phải đối mặt với nguy cơ tiếp xúc với nhiều loại khí độc hại, chẳng hạn như khí NO₂. Việc hít phải loại khí này có thể dẫn đến các bệnh hô hấp nghiêm trọng như hen suyễn và viêm phế quản, đồng thời ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe của người lao động. Do đó, việc giám sát liên tục nồng độ NO₂ là điều cần thiết để đảm bảo môi trường làm việc an toàn.

Để giải quyết vấn đề này, nhiều loại cảm biến khí chọn lọc đã được phát triển, sử dụng các vật liệu hữu cơ và vô cơ khác nhau. Một số loại cảm biến như cảm biến sắc ký khí hay cảm biến khí điện hóa có độ chính xác cao nhưng lại đắt tiền và cồng kềnh. Ngược lại, cảm biến điện trở và điện dung dựa trên vật liệu bán dẫn được xem là một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn, trong đó cảm biến khí dùng bán dẫn hữu cơ (OSC) là lựa chọn linh hoạt và chi phí thấp. Tuy nhiên, các loại cảm biến khí này vẫn gặp phải một số vấn đề về hiệu suất, chẳng hạn như độ nhạy thấp và tính ổn định kém, gây khó khăn trong việc ứng dụng rộng rãi trong thực tế.

Trong bối cảnh đó, một nhóm nghiên cứu đến từ Hàn Quốc, do Giáo sư Yeong Don Park thuộc Khoa Kỹ thuật Năng lượng và Hóa học tại Đại học Quốc gia Incheon dẫn đầu, đã bắt tay vào nghiên cứu nhằm tìm ra các chiến lược đột phá để

nâng cao công nghệ cảm biến NO₂ sử dụng bán dẫn hữu cơ (OSC). Nghiên cứu này được công bố trực tuyến vào ngày 15 tháng 8 năm 2023 và xuất hiện trong Tập 473 của Tạp chí Kỹ thuật Hóa học (Chemical Engineering Journal) vào ngày 1 tháng 10 năm 2023. Công trình này được thực hiện với sự hợp tác của các nhà nghiên cứu từ Đại học Quốc gia Jeonbuk.

Để đạt được mục tiêu này, nhóm nghiên cứu đã đề xuất một thiết kế cảm biến khí lai hữu cơ - vô cơ, dựa trên sự kết hợp giữa polymer hữu cơ dẫn điện và tinh thể nano perovskite (Perovskite là tên gọi chung của các vật liệu gồm có cấu trúc tinh thể giống với cấu trúc của vật liệu gồm calci titanat - CaTiO₃). Họ đã tích hợp perovskite CsPbBr₃ vào bên trong một lớp nền polymer dẫn điện để nâng cao hiệu suất cảm biến khí, đồng thời duy trì tốc độ phản ứng nhanh. Ngoài ra, họ còn biến đổi bề mặt của các tinh thể nano perovskite bằng cách gắn thêm các ligand polymer zwitterion (polymer có cả nhóm tích điện dương và âm trên cùng một phân tử). Khi các ligand này hấp thụ nước, chúng tăng đáng kể ái lực của cảm biến đối với các phân tử khí NO₂, nhờ đó tăng hiệu quả hấp thụ khí, cải thiện độ nhạy tổng thể của cảm biến.

Các thí nghiệm tiếp theo cho thấy thiết kế cảm biến được đề xuất vượt trội hơn so với các cảm biến truyền thống về độ nhạy hóa học đối với khí NO₂. Hơn nữa, hệ thống này có khả năng chống oxy hóa rất cao, nhờ vào tác dụng bảo vệ của các tinh thể nano perovskite. Nhờ đó, cảm biến có thể chịu được điều kiện bảo quản ngoài không khí trong nhiều tuần, cho thấy độ bền ấn tượng và tiềm năng cao cho các ứng dụng lắp đặt lâu dài.

Vì các cảm biến khí sử dụng chất bán dẫn hữu cơ (OSC) có thể được thiết kế mềm dẻo, nhẹ và tương đối rẻ khi sản xuất hàng loạt, chúng có thể mở ra con đường ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Không chỉ giới hạn trong môi trường công nghiệp, cảm biến khí OSC còn có thể được tích hợp vào các thiết bị phổ biến như đồng hồ thông minh, giúp người dùng dễ dàng kiểm tra mức độ ô nhiễm không khí xung quanh.

Ngoài ra, các cảm biến này còn có tiềm năng ứng dụng trong chẩn đoán y khoa, bằng cách hỗ trợ phát hiện sớm một số tình trạng bệnh lý. Do đó, công nghệ này không chỉ hữu ích trong an toàn công nghiệp, mà còn có thể được ứng dụng trong các lĩnh vực như an toàn thực phẩm, giám sát hóa chất, và chẩn đoán y tế.

Máy lọc và khử trùng không khí tất cả trong một (all in one)

Liên đoàn các Hiệp hội Kỹ thuật Cơ khí Hàn Quốc đã vinh danh “thiết bị xả điện, lọc và khử trùng không khí nhằm loại bỏ vi khuẩn và virus lơ lửng trong không khí,” do Công ty Kumoh Industry phối hợp cùng Viện Công nghệ Công nghiệp Hàn Quốc phát triển, là một trong 10 công nghệ cơ khí hàng đầu của năm 2020.

KIAS All-in-One là một thiết bị khử trùng không khí cao cấp và sáng tạo, kết hợp giữa công nghệ làm sạch và công nghệ khử trùng. Máy lọc không khí lai này tích hợp đồng thời chức năng khử trùng và lọc không khí, cho phép quản lý chất lượng không khí trong nhà một cách toàn diện và hiệu quả. Thiết bị còn được trang bị công nghệ plasma DBD, ứng dụng công nghệ khử trùng tiên tiến đã được cấp bằng sáng chế. Plasma này có khả năng loại bỏ bụi mịn, vi khuẩn và virus có kích thước nhỏ hơn 0,3 μm , đồng thời tạo ra các gốc hydroxyl - một chất có khả năng khử trùng và tiêu diệt vi khuẩn mạnh mẽ. Nhờ đó, thiết bị có thể loại bỏ 99,9% vi khuẩn trong không khí, bao gồm cả siêu vi khuẩn và E. coli.

Trong số các sản phẩm máy lọc không khí có mặt trên thị trường toàn cầu, chỉ có hai loại máy lọc không khí phức hợp có chức năng khử trùng loại bỏ vi khuẩn và virus, trong đó có sản phẩm KIAS của Kumoh Industry. Mặc dù gia nhập thị trường sau nhưng Kumoh Industry lại sở hữu “lợi thế cạnh tranh” so với các máy lọc không khí phức hợp khác về giá cả, hiệu quả tiêu thụ điện năng và chi phí bảo trì.

Sản phẩm KIAS của Kumoh Industry tạo ra plasma ở điện áp thấp nhằm bắt giữ vi khuẩn, virus và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC). Công nghệ của KIAS, dựa trên việc tạo ra “plasma phóng điện rào cản điện môi” (dielectric barrier discharge plasma), được phát triển sau hai năm nghiên cứu giữa Kumoh Industry và Viện Công nghệ Công nghiệp Hàn Quốc.

Công nghệ tạo plasma của KIAS có thể hoạt động ở điện áp thấp (tối đa 60 W/giờ), giúp nó cạnh tranh với các sản phẩm khác sử dụng công nghệ tạo plasma điện áp cao. Đồng thời, sản phẩm này cũng có giá thành phải chăng hơn, chỉ khoảng một phần ba so với các đối thủ cạnh tranh.

Bê tông kích hoạt bằng ánh sáng để loại bỏ ô nhiễm không khí trong các đường hầm giao thông

Giao thông là một trong những nguồn gây ô nhiễm không khí lớn nhất, nhưng nếu chính các con đường có thể giúp làm sạch không khí thì sao? Các kỹ sư tại Hàn Quốc đã chứng minh rằng bê tông quang xúc tác có thể giúp giảm ô nhiễm trong các

đường hầm.

Mặc dù chúng ta cần chuyển sang sử dụng các phương tiện xanh càng sớm càng tốt, nhưng điều đó sẽ mất vài thập kỷ. Trong thời gian chờ đợi, việc tìm kiếm những giải pháp khác để giảm thiểu ô nhiễm không khí là rất quan trọng. Vậy tại sao không tận dụng vật liệu xây dựng phổ biến nhất thế giới để hỗ trợ? Trong những năm gần đây, các nhà khoa học đã phát triển loại bê tông có khả năng chuyển đổi một số chất gây ô nhiễm trong không khí xung quanh thành những sản phẩm vô hại.

Hệ thống bê tông làm sạch không khí này dựa vào một lớp phủ oxit titan (titanium dioxide), chất này phản ứng với ánh sáng mặt trời để tạo ra các phân tử gọi là các gốc oxy phản ứng (Reactive Oxygen Species - ROS). Những gốc này có khả năng oxy hóa mạnh, giúp phân hủy các chất ô nhiễm không khí như hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs), oxit nitơ, oxit lưu huỳnh và ammonia, từ đó ngăn ngừa sự hình thành các hạt bụi mịn.

Trong nghiên cứu mới này, các nhà khoa học tại Viện Kỹ thuật Xây dựng và Công trình Hàn Quốc (KICT) đã phát triển loại bê tông quang xúc tác như vậy và tiến hành thử nghiệm trong một đường hầm giao thông, nơi mà mức độ ô nhiễm thường cao hơn do không khí lưu thông kém. Các đèn nhân tạo được lắp dọc theo các bức tường để cung cấp năng lượng cho các phản ứng kích hoạt bằng ánh sáng trên bê tông.

Nhóm nghiên cứu phát hiện rằng nồng độ các oxit nitơ đã giảm khoảng 18% trong vòng 24 giờ, và các sản phẩm cuối cùng của phản ứng là muối - một phần được hình thành từ canxi trong bê tông. Những muối này nhanh chóng bị rửa trôi bởi nước mưa. Thậm chí tốt hơn nữa, nhóm nghiên cứu cho biết quy trình này cho phép bê tông quang xúc tác hoạt động lâu dài mà không cần bảo trì thêm ngoài việc bảo trì thông thường cho bê tông.

Nhóm nghiên cứu dự định sẽ tiếp tục nghiên cứu công nghệ này để giúp thương mại hóa và nâng cao hiệu quả hoạt động. Một số ví dụ khác thậm chí đã đạt được mức giảm oxit nitơ tới 45%, hoặc thậm chí đáng kinh ngạc là 70% khi được kết hợp với graphene.

Công nghệ xây dựng sử dụng chất xúc tác quang có thể mang lại hiệu quả tức thì trong việc giảm bụi mịn trong môi trường sống. Hiện Hàn Quốc đang có kế hoạch hợp tác với chính quyền địa phương và các doanh nghiệp nhà nước để mở rộng thử nghiệm ra nhiều địa điểm khác, tiến tới thương mại hóa và triển khai rộng rãi để

mang lại hiệu quả thực tiễn.

Công nghệ lọc khí độc tùy chỉnh

Các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs) có mặt trong nhiều sản phẩm hằng ngày như sơn, keo dán, đồ nội thất, mỹ phẩm và chất khử mùi. Việc tiếp xúc thường xuyên với các chất này có thể gây ra những vấn đề nghiêm trọng về sức khỏe như bệnh hô hấp, đau đầu, viêm da và ung thư. Thông gió tự nhiên là phương pháp hiệu quả nhất để giảm VOCs trong không khí trong nhà. Tuy nhiên, trong thời gian gần đây, máy lọc không khí đã trở thành một giải pháp phổ biến nhằm duy trì chất lượng không khí trong nhà do các điều kiện môi trường bên ngoài ngày càng khắc nghiệt (ví dụ: nồng độ bụi mịn cao, nắng nóng gay gắt và giá rét cực đoan).

Thông thường, máy lọc không khí loại bỏ VOCs bằng cách hấp phụ chúng qua than hoạt tính - loại vật liệu có bề mặt carbon không phân cực và diện tích bề mặt riêng lớn. Than hoạt tính có thể loại bỏ hiệu quả các chất không phân cực như toluen và benzen, nhưng lại không hiệu quả với các chất phân cực như xeton và andehit.

Viện Khoa học và Công nghệ Hàn Quốc (KIST) thông báo rằng TS. Jiwon Lee và TS. Youngtak từ Trung tâm Nghiên cứu Môi trường Bền vững đã phát triển một công nghệ chất hấp phụ mới có khả năng hấp phụ hiệu quả các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi lưỡng tính (amphiphilic VOCs) - những chất vừa có tính ưa nước vừa có tính kỵ nước, vốn rất khó loại bỏ bằng công nghệ than hoạt tính hiện tại.

Nhóm nghiên cứu tại KIST đã tổng hợp thành công cấu trúc dị thể graphene oxit sắt bằng cách kiểm soát chính xác quá trình oxy hóa bề mặt của graphite và sắt. Nhờ sự gia tăng của các nhóm chức chứa oxy và oxit sắt trên bề mặt, vật liệu này có khả năng hấp phụ rất cao đối với VOCs lưỡng tính. Loại chất hấp phụ đặc biệt này cho thấy hiệu suất hấp phụ các VOCs lưỡng tính cao gấp 15 lần so với các chất hấp phụ than hoạt tính thông thường.

Nhóm nghiên cứu cũng phát hiện rằng việc kiểm soát chính xác các nhóm chức oxy và hàm lượng oxit sắt trong chất hấp phụ cho phép tối ưu hóa bề mặt một cách linh hoạt, phù hợp với đặc tính của từng loại chất ô nhiễm. Khi thử nghiệm với bốn loại ketone - những hợp chất khó xử lý bằng than hoạt tính - họ phát hiện mối tương quan giữa độ dài chuỗi carbon và hiệu suất hấp phụ. Bằng cách tối ưu tỷ lệ các nhóm chức oxy và oxit sắt, họ đạt được hiệu quả loại bỏ tối đa đối với các ketone này.

Ngoài ra, nhóm nghiên cứu còn phân tích hiện tượng truyền electron ở cấp độ dưới nanomet giữa chất hấp phụ và các phân tử VOCs. Lần đầu tiên, họ phát hiện mối liên hệ giữa hình dạng hình học của phân tử ô nhiễm và xu hướng hấp phụ của nó. Phát hiện này mở ra khả năng phát triển các công nghệ phát hiện và xử lý không khí tùy biến theo từng loại khí ô nhiễm cụ thể trong môi trường sống.

Không giống như các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung vào việc cải thiện hiệu suất hấp phụ và hiệu quả tái sinh của chất hấp phụ, nghiên cứu này đã giúp nhóm nghiên cứu thành công trong việc phát triển một vật liệu đột phá vượt qua giới hạn của các chất hấp phụ hiện có bằng cách sử dụng các vật liệu dễ tiếp cận như than chì và sắt, có tiềm năng thương mại hóa cao.

KIST được thành lập vào năm 1966 với tư cách là viện nghiên cứu đầu tiên do chính phủ tài trợ tại Hàn Quốc. KIST hiện đang nỗ lực giải quyết các thách thức quốc gia và xã hội, đồng thời đảm bảo động lực tăng trưởng thông qua nghiên cứu tiên tiến và sáng tạo.

Nghiên cứu đã được tiến hành như một dự án lớn của KIST (Chương trình nghiên cứu môi trường không khí) với sự hỗ trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ thông tin, đã được công bố trên Tạp chí Kỹ thuật Hóa học.

Chương trình nhiên liệu hàng không bền vững (SAF)

Hãng hàng không lớn nhất Hàn Quốc, Korean Air, đã khởi động một chương trình bền vững mới nhằm khuyến khích khách hàng vận chuyển hàng hóa hàng không đóng góp nhiều hơn để mua nhiên liệu hàng không bền vững (SAF).

Chương trình SAF của Korean Air Cargo cho phép khách hàng và các công ty giao nhận hàng hóa đóng góp theo nhu cầu để “giảm lượng khí thải carbon” của họ. Số tiền đóng góp này sẽ được hãng sử dụng để mua thêm nhiên liệu SAF và trao đổi với khách hàng về các nỗ lực giảm lượng khí thải carbon.

Theo Korean Air, chương trình này tiếp tục giữ vai trò “tuyến đầu” trong việc mở đường cho việc sử dụng SAF tại Hàn Quốc, bao gồm vai trò của hãng trong Liên minh kích hoạt nhiên liệu sinh học thân thiện với môi trường của chính phủ.

SAF đã trở thành một trong những trọng tâm chính của ngành hàng không trong cuộc chiến hướng tới hoạt động bền vững hơn trong ngành công nghiệp vốn có lượng khí thải rất lớn. Hiệp hội Vận tải Hàng không Quốc tế (IATA) dự kiến nhiên liệu này sẽ chiếm khoảng 65% lượng carbon cần giảm để đạt được mức phát thải

ròng bằng 0 vào năm 2050.

Xu hướng sử dụng nhiên liệu sinh học này đã thu hút sự đầu tư lớn từ các tập đoàn như Google, Shell, International Airlines Group, Microsoft và Virgin Atlantic, trong đó Virgin Atlantic dự kiến sẽ thực hiện chuyến bay đầu tiên xuyên Đại Tây Dương sử dụng SAF.

Giám sát chất lượng không khí qua vệ tinh

Chính phủ Hàn Quốc, thông qua Cơ quan Hợp tác Quốc tế Hàn Quốc (KOICA) và Cơ quan Vũ trụ Philippines (PhilSA), đã ký kết một thỏa thuận hợp tác vào ngày 2 tháng 8 năm 2023 nhằm tăng cường năng lực quốc gia trong việc giám sát chất lượng không khí và cải thiện các kế hoạch, chính sách liên quan tại Philippines.

Dự án hợp tác có tên PAPGAPI-PAN (Pan-Asia Partnership for Geospatial Air Pollution Information and the Pandora Asia Network) là một sáng kiến chuyển giao công nghệ, chia sẻ dữ liệu và nâng cao năng lực về ô nhiễm không khí. Dự án sử dụng dữ liệu từ thiết bị GEMS (Geostationary Environment Monitoring Spectrometer) gắn trên vệ tinh GEO-KOMPSAT 2B của Hàn Quốc, kết hợp với các thiết bị cảm biến quan trắc mặt đất có tên Pandora.

GEMS - được Hàn Quốc phóng lên vào tháng 2 năm 2020 - là thiết bị cảm biến trên vệ tinh địa tĩnh đầu tiên trên thế giới được thiết kế để giám sát chất lượng không khí. Công nghệ này cho phép theo dõi mức độ ô nhiễm không khí mỗi giờ tại gần 20 quốc gia ở châu Á, trong đó có Philippines.

Dự án sẽ giúp PhilSA có khả năng kết hợp dữ liệu từ vệ tinh và mặt đất để có cái nhìn toàn diện hơn về chất lượng không khí tại Philippines. Các thiết bị Pandora sẽ được lắp đặt và vận hành tại quốc gia này trong năm 2024 và sẽ trở thành một phần của Mạng lưới Toàn cầu Pandonia (PGN) - hệ thống thu thập dữ liệu Pandora toàn cầu, cung cấp dữ liệu chất lượng không khí theo thời gian thực với độ chính xác, hiệu chuẩn và xác minh cao.

Thông tin thu được sẽ giúp lấp đầy những khoảng trống dữ liệu, từ đó hỗ trợ xây dựng chính sách dựa trên bằng chứng khoa học rõ ràng nhằm giải quyết các vấn đề về ô nhiễm không khí tại Philippines.

KOICA và PhilSA sẽ cùng cung cấp hỗ trợ kỹ thuật và vận hành để triển khai dự án tại các khu vực được chọn. Những địa điểm lắp đặt thiết bị Pandora bao gồm Puerto Princesa (tỉnh Palawan) và Đài quan sát Manila tại Quezon City (Metro

Manila). Các địa điểm này được chọn dựa trên cơ sở hạ tầng sẵn có, yếu tố hậu cần và giá trị khoa học - cụ thể là khả năng đại diện cho các mức độ ô nhiễm khác nhau (ví dụ: NO₂ và bụi mịn PM) dựa trên dữ liệu lịch sử từ cả trạm mặt đất và vệ tinh. Các yếu tố khí tượng như lượng mưa và mây bao phủ cũng được xem xét. Các địa điểm tiềm năng khác bao gồm Ilocos Norte và thành phố Cebu.

Các phép đo thẳng đứng từ thiết bị Pandora sẽ được sử dụng kết hợp với dữ liệu từ GEMS để giám sát chính xác và toàn diện hơn chất lượng không khí tại Philippines và khu vực châu Á - Thái Bình Dương. Với cảm biến quang phổ siêu phân giải và vị trí quỹ đạo địa tĩnh, GEMS có thể đo nồng độ các chất ô nhiễm như nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), ozone (O₃), formaldehyde, và bụi mịn (PM) với tần suất mỗi giờ vào ban ngày.

Dự án này có tổng ngân sách 12,6 triệu peso (khoảng 230.000 USD), hướng đến mục tiêu giám sát chất lượng không khí tại Philippines, kết hợp giữa dữ liệu vệ tinh và mặt đất, qua đó nâng cao năng lực quốc gia và thu hẹp khoảng cách dữ liệu để hiểu rõ hơn về tình hình ô nhiễm không khí.

Dự án là sự hợp tác giữa nhiều tổ chức: KOICA, PhilSA, Ủy ban Kinh tế - Xã hội Liên Hợp Quốc khu vực châu Á - Thái Bình Dương (UNESCAP), Viện Nghiên cứu Môi trường Quốc gia Hàn Quốc (NIER) và Tổng công ty Môi trường Hàn Quốc (KECO).

Dự án kỳ vọng sẽ củng cố và phát triển hơn nữa mối quan hệ hợp tác chặt chẽ và năng động giữa Philippines và Hàn Quốc thông qua việc chia sẻ dữ liệu vệ tinh về chất lượng không khí, ứng dụng thực tiễn từ dữ liệu GEMS, nghiên cứu chung và triển khai dự án thành công.

2.3.10. Thái Lan

Tháp lọc không khí tiên tiến

Tập đoàn Điện lực Thái Lan (EGAT) mới đây đã giới thiệu nguyên mẫu tháp lọc không khí nhằm giải quyết vấn đề ô nhiễm bụi mịn PM_{2.5}. Sáng kiến này là kết quả của sự hợp tác giữa các nhà nghiên cứu và kỹ sư EGAT, với mục tiêu triển khai công nghệ này tại các cộng đồng trên toàn quốc.

Tháp lọc không khí có chiều cao 6 mét, nặng 6 tấn, hoạt động dựa trên kỹ thuật tạo plasma, tạo ra điện tích giúp bắt giữ các hạt bụi PM_{2.5} - loại bụi siêu mịn có đường kính nhỏ hơn 2,5 micromet, có thể gây ra các vấn đề sức khỏe nghiêm trọng

nếu hít phải trong thời gian dài. Tháp này có khả năng loại bỏ hơn 80% bụi PM2.5 và lọc được tới 30.000 mét khối không khí mỗi giờ, bao phủ hiệu quả khu vực bán kính khoảng 250 mét.

Ban đầu, các tháp lọc được lắp đặt tại khu vực thuộc EGAT để đánh giá hiệu quả hoạt động, trước khi mở rộng ra các địa phương khác trên toàn quốc. Khu vực miền Bắc Thái Lan, nơi thường xuyên chịu ảnh hưởng nghiêm trọng bởi ô nhiễm không khí, được kỳ vọng sẽ sớm được triển khai thiết bị này.

Ngoài ra, những kiến thức thu được từ quá trình nghiên cứu cũng có thể được ứng dụng để nâng cao hiệu quả của các bộ lọc bụi trong thiết bị bảo hộ cá nhân, như khẩu trang và máy lọc không khí gia đình.

Nguyên mẫu tháp lọc không khí này được xem là một bước tiến quan trọng trong việc đối phó với thách thức môi trường và sức khỏe do ô nhiễm bụi mịn PM2.5 gây ra. Việc tiếp xúc lâu dài với PM2.5 có thể làm tổn thương hệ hô hấp và mạch máu, thậm chí dẫn đến tử vong trong một số trường hợp.

Các sáng kiến đến từ Thái Lan và Trung Quốc đã cho thấy những cách tiếp cận sáng tạo trong việc xử lý ô nhiễm không khí bằng hệ thống lọc quy mô lớn. Những công trình này có tiềm năng cứu sống hàng chục nghìn người mỗi năm bằng cách giảm nồng độ ô nhiễm không khí tại các khu vực đô thị.

Tuy nhiên, một số chuyên gia cũng cảnh báo rằng cần xem xét chi phí năng lượng để xây dựng và vận hành các tháp này, cũng như hiệu suất lọc bụi thực tế. Về lâu dài, giải pháp triệt để cho ô nhiễm không khí ngoài trời vẫn là giảm phát thải từ các nguồn chính, như: công nghiệp nặng, nhà máy nhiệt điện than, phương tiện giao thông, và hoạt động nấu nướng - sưởi ấm trong dân cư.

Dự thảo Luật Không khí Sạch

Bộ Tài nguyên và Môi trường (MNRE) đã xây dựng Dự thảo Luật Không khí Sạch nhằm ngăn chặn tình trạng ô nhiễm không khí vượt khỏi tầm kiểm soát.

Dự thảo luật tập trung vào các biện pháp phòng ngừa ô nhiễm, đồng thời cắt giảm thủ tục hành chính trong quá trình triển khai các hành động chống ô nhiễm. Khi được ban hành, luật sẽ gỡ bỏ các rào cản trong việc xử lý các nguyên nhân gây khói bụi từ cháy rừng - một vấn đề xuyên biên giới kéo dài - và cho phép phối hợp tổng lực giữa các bên theo mô hình hợp tác “Công - Tư - Nhân dân” trong việc cải thiện chất lượng không khí.

Với việc thành lập Trung tâm Giảm thiểu Ô nhiễm (CAPM), các báo cáo về ô nhiễm bụi mịn PM2.5 sẽ được đăng tải hàng ngày lúc 8 giờ 30 sáng trên trang Facebook của trung tâm. Trung tâm cũng sẽ phát cảnh báo khi nồng độ PM2.5 vượt ngưỡng an toàn.

Một ủy ban quốc gia về phòng chống cháy rừng, sương mù và ô nhiễm không khí cũng sẽ được thành lập. Ủy ban này sẽ phụ trách quản lý quốc gia đối với cháy rừng tại các khu vực nông nghiệp, xử lý các vấn đề ô nhiễm không khí xuyên biên giới, và hợp tác với các quốc gia láng giềng nhằm chấm dứt tình trạng ô nhiễm ảnh hưởng đến khu vực.

MNRE cũng thiết lập các trung tâm điều hành tại 17 tỉnh phía Bắc để thực hiện các chương trình hành động cấp quốc gia tại địa phương.

Tiêu chuẩn chất lượng không khí được sửa đổi

Thái Lan đã quyết định áp dụng tiêu chuẩn mới cho bụi mịn PM2.5, giảm từ 50 microgam/m³ xuống còn 37,5 microgam/m³, và tiêu chuẩn chỉ số chất lượng không khí (AQI) giảm từ 91 xuống còn 75,1, bắt đầu từ ngày 1/6, nhằm đưa các chỉ số này tiệm cận tiêu chuẩn của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO).

Theo tiêu chuẩn mới, chỉ số AQI sẽ được chia thành 5 cấp độ và mã hóa màu sắc như sau:

- AQI từ 0-25 (Màu xanh dương): Chất lượng không khí rất tốt, phù hợp cho mọi hoạt động ngoài trời và du lịch.
- AQI từ 26-50 (Màu xanh lá): Chất lượng không khí tốt, người dân có thể sinh hoạt và làm việc bình thường ngoài trời.
- AQI từ 51-100 (Màu vàng): Chất lượng không khí trung bình, người khỏe mạnh vẫn có thể hoạt động ngoài trời bình thường. Tuy nhiên, những người có vấn đề sức khỏe nên giảm thời gian hoạt động ngoài trời nếu xuất hiện ho hoặc khó thở.
- AQI từ 101-200 (Màu cam): Chất lượng không khí bắt đầu ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng. Người dân nên gặp các triệu chứng như ho, khó thở, cay mắt nên hạn chế ra ngoài hoặc đeo khẩu trang. Ai có dấu hiệu như đau ngực, đau đầu, mệt mỏi, buồn nôn hoặc rối loạn nhịp tim cần đến cơ sở y tế.
- AQI trên 200 (Màu đỏ): Chất lượng không khí rất xấu, người dân nên tránh hoạt động ngoài trời, đeo khẩu trang và đi khám bác sĩ nếu cảm thấy không khỏe.

Bộ Tài nguyên và Môi trường đã yêu cầu tất cả cơ quan nhà nước chuẩn bị các biện pháp đối phó với bụi mịn PM2.5 theo tiêu chuẩn mới. Đồng thời, Cục Kiểm soát Ô nhiễm và Quỹ thúc đẩy sức khỏe Thái Lan sẽ có trách nhiệm thông tin và tuyên truyền đến người dân về những thay đổi này.

2.3.11 Ô nhiễm không khí: Các công nghệ giải quyết tình trạng đốt chất thải nông nghiệp ở Nam Á

Ô nhiễm không khí là một thách thức nghiêm trọng ở Nam Á, ảnh hưởng sâu rộng đến sức khỏe con người, môi trường và kinh tế. Các quốc gia như Ấn Độ, Bangladesh, Nepal, Pakistan và Sri Lanka đang đối mặt với tình trạng ô nhiễm gia tăng do công nghiệp hóa nhanh, giao thông quá tải, đô thị hóa mạnh, đốt rác thải ngoài trời, sử dụng sinh khối để nấu ăn và đặc biệt là đốt rơm rạ sau thu hoạch.

Ô nhiễm không khí gây hại cho sức khỏe (gây bệnh hô hấp, tim mạch, vô sinh), ảnh hưởng đến trẻ em và người già, làm suy thoái môi trường, giảm năng suất nông nghiệp và thúc đẩy biến đổi khí hậu. Hiện tượng ô nhiễm xuyên biên giới do đốt rơm rạ càng làm tình hình nghiêm trọng hơn.

Giải pháp để giải quyết vấn đề ô nhiễm không khí ở Nam Á đòi hỏi phải có sự phối hợp nhiều mặt như: chính sách, công nghệ, nâng cao nhận thức và hợp tác khu vực. Các nghiên cứu gần đây cho thấy công nghệ xử lý sinh khối và quản lý rơm rạ có thể đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu ô nhiễm.

Đốt tàn dư cây trồng ở Nam Á

Việc đốt tàn dư cây trồng là nguyên nhân trực tiếp gây ô nhiễm không khí ở Nam Á, phát thải hàng loạt chất độc hại như PM2.5, CO, CO₂, SO₂, NO_x... gây ô nhiễm theo mùa và ảnh hưởng xuyên biên giới. Mặc dù nông nghiệp là ngành chủ lực tại Nam Á (chiếm 13-19% GDP và 40-60% lao động), việc quản lý tàn dư cây trồng gặp nhiều khó khăn: thiếu lao động, chi phí xử lý cao, khoảng cách giữa các mùa vụ ngắn, và thiếu công nghệ phù hợp.

Nông dân thường chọn đốt rơm rạ vì tiết kiệm chi phí, dù nhiều nước đã cấm hành vi này. Tỷ lệ đốt rơm rạ thay đổi theo vùng và mùa, đặc biệt cao ở các bang nông nghiệp như Punjab (Pakistan và Ấn Độ). Việc đốt sinh khối vào mùa thu hoạch đã trở thành nguồn chính gây bụi mịn PM2.5, góp phần lớn vào tình trạng ô nhiễm không khí nghiêm trọng ở các thành phố như Delhi, đặc biệt vào tháng 11 hằng năm.

Tình trạng này đang ngày càng gia tăng do thay đổi cơ cấu sản xuất nông nghiệp, đòi hỏi các giải pháp bền vững và hỗ trợ công nghệ hiệu quả hơn cho nông dân.

Các giải pháp công nghệ quản lý chất thải cây trồng

Các công nghệ sáng tạo và phù hợp với điều kiện địa phương có thể giúp quản lý hiệu quả việc xử lý phụ phẩm nông nghiệp theo cả hai hướng: **xử lý tại chỗ (in-situ)** và **xử lý ngoài cánh đồng (ex-situ)**. Tuy nhiên, chi phí máy móc vẫn là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quyết định của nông dân, đặc biệt là với những hộ nông dân quy mô nhỏ.

Về mặt kỹ thuật, để quản lý phụ phẩm tại chỗ (in-situ), nông dân có thể giữ lại hoặc băm nhỏ rơm rạ ngay trên đồng, sau đó trộn vào đất và phân hủy bằng các chế phẩm vi sinh. Đây là phương pháp dễ triển khai nhờ công nghệ địa phương. Ngược lại, phương pháp xử lý ngoài cánh đồng (ex-situ) bao gồm việc ép kiện và vận chuyển rơm rạ ra khỏi ruộng để sử dụng vào các mục đích khác. Cả hai phương pháp đều đòi hỏi phải sử dụng nhiều loại máy móc, công nghệ và kỹ thuật khác nhau phù hợp với đặc điểm đất đai, cây trồng và điều kiện địa phương.

Việc nội địa hóa (localizing) các thiết bị có sẵn để phù hợp hơn với từng loại đất, cây trồng và điều kiện sản xuất cụ thể là điều cần thiết nhằm tăng hiệu quả và khả năng tiếp cận cho người dân.

- **Công nghệ xử lý phụ phẩm ngay tại ruộng (in-situ)**

Việc xử lý rơm rạ tại chỗ ít được nông dân ưa chuộng, đặc biệt với phụ phẩm từ cây lúa do thời gian phân hủy trong đất khá dài. Tuy nhiên, biện pháp này mang lại nhiều lợi ích cho đất, giúp cải thiện đặc tính vật lý, hóa học và sinh học (ESCAP.e, 2023).

Việc lựa chọn công nghệ xử lý tại ruộng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại cây trồng, đặc điểm đất đai, khí hậu và quy mô canh tác. Ngoài ra, chi phí đầu tư và vận hành máy móc cũng là rào cản lớn đối với người nông dân.

Ứng dụng cơ giới hóa và nông nghiệp bảo tồn

Sử dụng phụ phẩm ngay tại ruộng là một trong những giải pháp đơn giản và tiết kiệm nhất để giảm thiểu đốt rơm rạ. Trong đó, nông nghiệp bảo tồn (conservation agriculture) nổi lên như một lựa chọn bền vững, dựa trên ba nguyên lý:

- Giảm xáo trộn đất: Gieo hạt trực tiếp mà không cày xới giúp giữ lại chất hữu

ơ và tăng cường sức khỏe đất.

- Giữ lớp phủ hữu cơ: Sử dụng cây phủ hoặc tàn dư cây trồng giúp bảo vệ bề mặt đất, giữ ẩm và hỗ trợ kiểm soát sâu bệnh tự nhiên.

- Đa dạng hóa cây trồng: Luân canh, xen canh giúp nâng cao khả năng thích ứng và phục hồi của hệ thống canh tác.

Một nghiên cứu của Bộ Nông nghiệp và Phúc lợi Nông dân Ấn Độ cho thấy phương pháp tốt nhất là cày vùi rơm rạ vào đất - vừa cải thiện chất lượng đất, vừa giảm phát thải ô nhiễm.

Thách thức trong triển khai công nghệ

Dù hiệu quả, việc ứng dụng máy móc xử lý phụ phẩm gặp nhiều rào cản, bao gồm:

- Yêu cầu kỹ năng canh tác mới;
- Lo ngại ảnh hưởng đến năng suất;
- Thiếu nhận thức về công nghệ;
- Hạn chế về chính sách hỗ trợ và hệ thống khuyến nông.

Để vượt qua những rào cản này, cần triển khai các chương trình trình diễn thực tế, đào tạo kỹ thuật cho nông dân, và phát triển cơ chế khuyến khích phù hợp. Đặc biệt với các hộ canh tác nhỏ lẻ, việc trợ giá máy móc và cung cấp dịch vụ thuê/mượn thiết bị CRM là điều cần thiết để khuyến khích áp dụng trên diện rộng.

• **Các công nghệ quản lý ngoài đồng ruộng (Ex-Situ)**

Nhiều công nghệ hiện có và đang phát triển đã được khuyến nghị cho việc xử lý phụ phẩm rơm rạ ngoài đồng, đặc biệt là từ cây lúa. Một số công nghệ tiêu biểu bao gồm:

- Pyrolysis (nhiệt phân) để tạo ra biochar (than sinh học);
- Biomethanation để sản xuất biogas;
- Chuyển đổi thành nhiên liệu sinh học như: Briquettes (than bánh); Pellets (viên nén sinh học); Bio-CNG (khí thiên nhiên nén sinh học); Và nhiên liệu sinh học Biodiesel.

Ngoài những công nghệ này, các phương pháp truyền thống cũng nên được áp dụng như: Sử dụng rơm rạ làm thức ăn chăn nuôi; làm nguyên liệu cho trồng nấm;

sản xuất giấy; chế tạo vật liệu xây dựng; và làm đồ thủ công mỹ nghệ.

Chuỗi cung ứng phụ phẩm nông nghiệp và việc sử dụng chúng làm thức ăn gia súc, phát điện, hoặc các phương án xử lý ngoài đồng đòi hỏi nhiều công đoạn cả trong và ngoài trang trại, bao gồm: Thu gom, đóng gói, xử lý, vận chuyển, bảo quản, và xử lý trước khi cho ăn hoặc sử dụng.

Bất kỳ khoảng trống hay thách thức nào trong quy trình này đều có thể làm gián đoạn việc sử dụng phụ phẩm một cách kinh tế. Ví dụ, để đảm bảo nguồn cung ổn định cho người sử dụng cuối cùng, cần có một mạng lưới trung tâm thu gom và các cơ sở quản lý chuỗi cung ứng (SCM) dày đặc.

Tuy nhiên, chi phí cao cho việc thu gom và vận chuyển phụ phẩm từ đồng ruộng đến người dùng cuối được coi là rào cản chính trong việc mở rộng các phương pháp xử lý ex-situ. Do đó, các doanh nghiệp tham gia chuỗi cung ứng thường không thấy hấp dẫn về mặt kinh tế khi xử lý phụ phẩm nông nghiệp.

Các yếu tố khác để quản lý tàn dư cây trồng

Kế hoạch hành động cụ thể cùng các chiến lược ngắn hạn và dài hạn được xây dựng trên cơ sở hợp tác giữa tất cả các bên liên quan cần được phát triển nhằm mang lại giải pháp bền vững. Một số yếu tố hướng dẫn chính để đạt được mục tiêu này bao gồm:

Hỗ trợ dữ liệu

Lượng lớn phụ phẩm nông nghiệp được tạo ra từ sản xuất cây trồng. Lượng phụ phẩm dư thừa này phụ thuộc vào việc sử dụng tại chỗ (in-situ) nhằm duy trì độ phì nhiêu của đất cũng như việc cạnh tranh sử dụng phụ phẩm cho các mục đích nông nghiệp hoặc công nghiệp khác. Việc sử dụng phụ phẩm cây trồng cho các mục đích ngoài đồng ruộng (ex-situ), chẳng hạn như sản xuất năng lượng sinh học (ví dụ: rơm rạ, thân cây, bắp, lá hoặc lõi ngô), đòi hỏi phải có dữ liệu chính xác về nguồn cung phụ phẩm theo từng loại, cũng như biến động theo khu vực và theo từng năm. Việc ước tính chính xác lượng phụ phẩm có thể tận dụng để sản xuất năng lượng sinh học giúp xác định vị trí phù hợp nhất và quy mô tối ưu cho nhà máy sản xuất năng lượng.

Do đó, bước quan trọng nhất là thu thập dữ liệu chính xác về sản lượng phụ phẩm và các giai đoạn sử dụng khác nhau của chúng. Ví dụ, cần đánh giá chính xác lượng phụ phẩm có thể dùng cho mục đích ex-situ và ước tính tiềm năng sinh khối

từ các loại cây trồng khác nhau. Dữ liệu đầy đủ và chính xác là cơ sở cần thiết để xây dựng kế hoạch hành động hiệu quả trong quản lý phụ phẩm nông nghiệp. Ngoài ra, việc ứng dụng các công nghệ hiện đại như Trí tuệ nhân tạo (AI) có thể hỗ trợ việc thu thập, xử lý và quản lý dữ liệu, tuy nhiên cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển thêm để tối ưu hóa hiệu quả ứng dụng này.

Tăng giá trị trực tiếp của cây trồng, sản phẩm sinh khối và sản xuất năng lượng

Quản lý phụ phẩm nông nghiệp ngoài đồng ruộng (ex-situ) có thể là một giải pháp khả thi để sử dụng phế phẩm nông nghiệp trong nền kinh tế tuần hoàn một cách kinh tế, hiệu quả và hấp dẫn đối với người nông dân. Để đạt được điều này, cần quản lý chuỗi cung ứng hiệu quả, bao gồm mạng lưới kho lưu trữ sinh khối rộng khắp, áp dụng giá tối thiểu hỗ trợ cho phế phẩm và sản phẩm từ phế phẩm, cũng như xây dựng thị trường dễ tiếp cận cho các phế phẩm và sản phẩm của chúng.

Việc nghiên cứu và phát triển để tìm ra nhiều cách sử dụng phế phẩm nông nghiệp hơn cũng rất cần thiết. Một số công nghệ mới sử dụng phế phẩm làm nguyên liệu bao gồm quá trình khí hóa (Gasification) và sản xuất nhiên liệu sinh học (Biofuel Production). Khí hóa là quá trình chuyển đổi sinh khối (gỗ, phế phẩm nông nghiệp, viên nén...) hoặc nguyên liệu chứa cacbon dựa trên nhiên liệu hóa thạch thành khí.

Ấn Độ là một trong số ít các quốc gia trên thế giới có chương trình nghiên cứu và trình diễn công nghệ khí hóa sinh khối quy mô nhỏ. Khoảng 1,2-1,4 kg sinh khối được sử dụng để tạo ra 1 kWh điện (sử dụng động cơ chạy hoàn toàn bằng khí sản xuất). Phế phẩm nông nghiệp có thể được dùng làm nhiên liệu cho máy khí hóa sinh khối, phục vụ nhiều mục đích như phát điện, chế biến nông sản, và vận hành kho lạnh phân tán ở cấp xã. Giải pháp này cũng giúp người nông dân chuyển sang trồng cây ăn quả hoặc hoa màu mà hiện nay họ còn e ngại vì thiếu kho lạnh ở địa phương.

Một nhà máy khí hóa sinh khối công suất 250 kW có thể sử dụng khoảng 2.000 tấn rơm rạ hàng năm, đồng thời hỗ trợ kho lạnh công suất làm lạnh 50 tấn và sản xuất điện (Datta et al., 2020).

Tiềm năng lớn còn nằm ở việc thay thế nhiên liệu hóa thạch bằng cách sản xuất ethanol từ phế phẩm nông nghiệp với công nghệ thương mại hiệu quả. Mỗi tấn phế phẩm khô có thể tạo ra khoảng 250-350 lít ethanol. Hiện nay, chỉ khoảng 20% rơm rạ lúa thế giới được sử dụng cho mục đích này, nếu tận dụng hết sẽ cho sản lượng

ethanol lên đến 40 tỷ lít mỗi năm, có thể thay thế khoảng 25 tỷ lít xăng dựa trên nhiên liệu hóa thạch (Bhattacharyya và Barman, 2018).

Chẳng hạn, tại Ấn Độ, tiềm năng sản xuất bio-ethanol hàng năm từ phế phẩm dư thừa (178 triệu tấn) được ước tính đạt 51,12 tỷ lít, trong khi tiềm năng tổng thể dao động từ 13,08 đến 38,04 tỷ lít tùy theo mùa vụ. Sinh khối từ cây mía có tiềm năng sản xuất bio-ethanol lớn nhất, tiếp theo là lúa, bông, và lúa mì.

III. CÔNG NGHỆ KIỂM SOÁT Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ TẠI VIỆT NAM

3.1 Thực trạng áp dụng công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí tại Việt Nam

Ô nhiễm không khí tại Việt Nam, đặc biệt là ở các đô thị lớn như Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh, Hải Phòng, đang là một trong những thách thức môi trường nghiêm trọng. Việc áp dụng các công nghệ hiện đại nhằm kiểm soát và xử lý ô nhiễm không khí đã có một số bước tiến, song vẫn còn nhiều hạn chế về quy mô, đầu tư và hiệu quả thực tế. Dưới đây là đánh giá thực trạng theo 4 nhóm công nghệ chính: **giám sát - dự báo - xử lý - cải thiện.**

Công nghệ giám sát chất lượng không khí

Việt Nam đã bước đầu xây dựng hệ thống giám sát chất lượng không khí thông qua các trạm quan trắc không khí tự động tại Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh, Bắc Ninh, Hưng Yên, Bình Dương... Tuy nhiên, số lượng trạm hiện tại vẫn còn hạn chế so với yêu cầu quản lý chất lượng không khí đô thị. Việc vận hành các trạm cũng gặp khó khăn về bảo trì, cập nhật dữ liệu và chia sẻ minh bạch thông tin với cộng đồng.

Nhằm khắc phục vấn đề này, một số tỉnh và tổ chức nghiên cứu đã ứng dụng cảm biến IoT giá rẻ và tích hợp AI trong phân tích dữ liệu. Hệ thống cảm biến mới giúp mở rộng vùng giám sát và tiết kiệm chi phí, tuy độ chính xác vẫn cần hiệu chuẩn định kỳ.

Theo Chi cục Bảo vệ Môi trường miền Bắc, đến năm 2023, cả nước mới có khoảng 70 trạm quan trắc không khí tự động, tập trung chủ yếu ở các thành phố lớn.

Công nghệ dự báo chất lượng không khí

Hiện nay, Việt Nam đang thử nghiệm một số mô hình dự báo chất lượng không khí trong ngắn hạn (24 - 48 giờ), ứng dụng thuật toán học máy, mô hình hóa khí quyển và dữ liệu thời tiết.

- Trung tâm Quan trắc môi trường miền Bắc triển khai mô hình WRF-CMAQ cho một số khu vực đô thị trọng điểm.

- Ứng dụng di động như PAM Air, AirVisual sử dụng kết hợp cảm biến cá nhân và dữ liệu vệ tinh để cung cấp thông tin thời gian thực.

Tuy nhiên, hầu hết hệ thống dự báo chưa đạt độ tin cậy cao, do còn phụ thuộc vào dữ liệu đầu vào thiếu ổn định và chưa được hiệu chỉnh theo điều kiện khí hậu – địa hình địa phương.

Công nghệ xử lý khí thải - bụi mịn tại nguồn

Tại các khu công nghiệp, khu chế xuất và một số nhà máy, Việt Nam đã áp dụng các công nghệ xử lý khí thải như:

- Lọc bụi tĩnh điện (ESP) và lọc ướt: áp dụng trong ngành xi măng, nhiệt điện, luyện kim.
- Hấp phụ VOCs bằng than hoạt tính: trong các ngành sơn, dệt may.
- Buồng đốt thứ cấp và thiết bị xúc tác: trong xử lý khí thải có chứa NO_x/SO_x.

Tuy nhiên, phần lớn chỉ áp dụng ở các cơ sở sản xuất quy mô lớn hoặc doanh nghiệp có vốn đầu tư nước ngoài (FDI). Trong khi đó, nhiều làng nghề và doanh nghiệp vừa và nhỏ vẫn chưa có hệ thống xử lý khí thải đạt chuẩn, hoặc chỉ mang tính hình thức.

Công nghệ cải thiện chất lượng không khí

Một số giải pháp cải thiện không khí bước đầu được triển khai:

- Giao thông xanh: Đẩy mạnh sử dụng xe buýt điện (VinBus), xe máy điện, hạ tầng sạc công cộng.
- Phát triển cây xanh đô thị, tăng cường diện tích mặt nước trong quy hoạch đô thị mới.
- Ứng dụng ảnh viễn thám vệ tinh để đánh giá và cảnh báo phát thải không khí quy mô lớn.

Ngoài ra, Chính phủ cũng đã ban hành Kế hoạch Hành động quốc gia quản lý chất lượng không khí, hướng đến kiểm soát nguồn phát thải từ giao thông, công nghiệp, xây dựng và dân cư.

Việt Nam đã bước đầu tiếp cận và ứng dụng nhiều công nghệ kiểm soát ô nhiễm

không khí hiện đại, tuy nhiên vẫn còn khoảng cách lớn giữa chính sách và thực tiễn triển khai, đặc biệt là ở cấp địa phương và trong các ngành nghề nhỏ lẻ. Để đạt được hiệu quả bền vững, cần có sự đầu tư mạnh mẽ hơn vào mở rộng hệ thống giám sát chất lượng không khí; thúc đẩy chuyển giao công nghệ xử lý khí thải; kết hợp dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo trong dự báo; gắn kết quy hoạch đô thị với hạ tầng môi trường xanh - sạch - thông minh.

3.2. Thuận lợi và thách thức

3.2.1. Thuận lợi

a. Về chính sách

Chính sách ngày càng hoàn thiện: Việt Nam đã xây dựng nhiều văn bản pháp luật và quy định liên quan đến kiểm soát ô nhiễm không khí, như Luật Bảo vệ Môi trường (sửa đổi 2020), là khung pháp lý tổng thể về bảo vệ môi trường, trong đó có các quy định về kiểm soát ô nhiễm không khí, tiêu chuẩn khí thải và trách nhiệm của các tổ chức, cá nhân trong phòng ngừa, giảm thiểu ô nhiễm; Nghị định 08/2022/NĐ-CP - quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Bảo vệ môi trường, đặc biệt là các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khí thải công nghiệp, phương tiện giao thông, và các nguồn thải khác và Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí (QCVN 05:2013/BTNMT), là tiêu chuẩn tham chiếu để đánh giá mức độ ô nhiễm không khí và yêu cầu kỹ thuật cho các thiết bị kiểm soát khí thải; Chương trình quốc gia về kiểm soát ô nhiễm không khí và biến đổi khí hậu.

Chính sách ưu đãi, khuyến khích đầu tư công nghệ sạch

Ưu đãi thuế: Doanh nghiệp đầu tư công nghệ xanh, thiết bị xử lý khí thải được hưởng các chính sách ưu đãi thuế thu nhập doanh nghiệp, thuế nhập khẩu thiết bị công nghệ cao.

Hỗ trợ kỹ thuật và đào tạo: Nhà nước phối hợp với các tổ chức quốc tế tổ chức các khóa đào tạo, tập huấn về vận hành và bảo trì thiết bị kiểm soát ô nhiễm.

b. Tài chính đầu tư

• Nguồn ngân sách Nhà nước

- *Đầu tư trực tiếp*: Chính phủ phân bổ ngân sách cho các bộ ngành, địa phương thực hiện các dự án nâng cấp công nghệ kiểm soát khí thải và giám sát môi trường.

- *Quỹ Bảo vệ Môi trường Việt Nam*: Cung cấp nguồn vốn hỗ trợ cho doanh

ng nghiệp và địa phương thực hiện các dự án xử lý ô nhiễm không khí.

- ***Vốn từ doanh nghiệp và đầu tư tư nhân***

- Doanh nghiệp lớn trong các ngành công nghiệp nặng, năng lượng, và giao thông đầu tư mạnh vào công nghệ xử lý khí thải để đáp ứng tiêu chuẩn môi trường.

- Sự quan tâm ngày càng tăng của các nhà đầu tư tư nhân vào công nghệ xanh, công nghệ sạch trong lĩnh vực môi trường.

- Tăng cường đầu tư cho công nghệ sạch: Một số doanh nghiệp lớn và các nhà máy công nghiệp bắt đầu đầu tư vào các công nghệ kiểm soát khí thải tiên tiến để đáp ứng yêu cầu ngày càng khắt khe về môi trường.

- ***Hỗ trợ từ các chương trình quốc tế***

Việt Nam nhận được sự hỗ trợ từ các tổ chức quốc tế và các dự án hợp tác phát triển (WB, UNDP, GIZ, ADB...) về tài chính, kỹ thuật, chia sẻ công nghệ tiên tiến và đào tạo nhằm nâng cao năng lực kiểm soát ô nhiễm không khí.

- Chương trình “Giảm phát thải khí nhà kính Việt Nam” (VN-LEDS): Hỗ trợ phát triển công nghệ xanh, bao gồm công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí trong các ngành công nghiệp.

- Dự án hợp tác với Ngân hàng Thế giới (WB), UNDP, ADB, GIZ: Tài trợ kinh phí, chuyển giao công nghệ, hỗ trợ kỹ thuật và xây dựng năng lực quản lý môi trường.

- Chương trình Quản lý chất lượng không khí đô thị: Các dự án thí điểm ứng dụng công nghệ giám sát và kiểm soát ô nhiễm không khí, ví dụ như lắp đặt hệ thống cảm biến chất lượng không khí tại Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh.

c. Nhận thức cộng đồng ngày càng tăng

Sự gia tăng nhận thức về tác động của ô nhiễm không khí đối với sức khỏe và môi trường đã thúc đẩy sự quan tâm của người dân, doanh nghiệp và các cơ quan quản lý trong việc áp dụng các công nghệ sạch, thân thiện môi trường.

3.2.2 Thách thức

- ***Hạn chế về nguồn vốn:*** Việc đầu tư vào công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí đòi hỏi chi phí lớn, trong khi nhiều doanh nghiệp vừa và nhỏ gặp khó khăn trong tiếp cận vốn, gây cản trở cho việc áp dụng công nghệ hiện đại.

- *Thiếu đồng bộ trong chính sách và thực thi:* Mặc dù có nhiều chính sách, nhưng việc áp dụng và kiểm tra thực thi còn chưa nghiêm ngặt, dẫn đến hiệu quả kiểm soát ô nhiễm chưa cao.

- *Nhận thức cộng đồng chưa đồng đều:* Ở một số khu vực, nhất là vùng nông thôn, nhận thức về ô nhiễm không khí và tầm quan trọng của công nghệ kiểm soát còn hạn chế, gây khó khăn cho việc huy động sự tham gia của cộng đồng.

- *Thách thức trong vận hành và bảo trì thiết bị:*

- *Thiếu nguồn nhân lực chuyên môn:* Việc vận hành, bảo trì các thiết bị kiểm soát ô nhiễm đòi hỏi kỹ thuật cao và chuyên môn sâu, tuy nhiên lực lượng kỹ thuật có trình độ chuyên môn và tay nghề còn hạn chế ở nhiều địa phương.

- *Chi phí bảo trì cao:* Bảo trì các thiết bị kiểm soát ô nhiễm thường tốn kém, trong khi doanh nghiệp chưa thực sự quan tâm đầu tư đầy đủ cho việc duy trì hiệu quả hoạt động của thiết bị.

- *Khó khăn về phụ tùng, linh kiện thay thế:* Một số công nghệ mới phải nhập khẩu phụ tùng, linh kiện, dẫn đến chi phí và thời gian chờ đợi cao, ảnh hưởng đến việc vận hành liên tục.

- *Thiếu hệ thống giám sát và đánh giá hiệu quả:* Việc thiếu các hệ thống giám sát tự động và đo đạc chính xác khiến việc kiểm soát chất lượng không khí và đánh giá hiệu quả công nghệ gặp nhiều khó khăn.

3.3. Kiến nghị và định hướng

Từ những thuận lợi và thách thức trên, kiểm soát ô nhiễm không khí tại Việt Nam cần được tiếp cận một cách **toàn diện, đồng bộ và bền vững** thông qua năm định hướng chính:

Thứ nhất: Hoàn thiện khung thể chế và nâng cao hiệu quả thực thi chính sách

- *Tăng cường tính thực thi và giám sát:* cần rà soát, hoàn thiện các văn bản hướng dẫn thi hành Luật Bảo vệ môi trường và các quy định liên quan, đặc biệt là quy định về kiểm tra, xử lý vi phạm về khí thải và chất lượng không khí.

- *Đồng bộ chính sách từ Trung ương đến địa phương:* đảm bảo các chính sách môi trường được lồng ghép vào quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội, gắn trách nhiệm cụ thể cho từng cấp quản lý.

- *Đẩy mạnh cơ chế ưu đãi minh bạch*: rà soát và đơn giản hóa thủ tục để doanh nghiệp dễ dàng tiếp cận các ưu đãi thuế, vốn vay, hỗ trợ kỹ thuật khi đầu tư công nghệ xanh.

Thứ hai: Đẩy mạnh ứng dụng công nghệ và giải pháp xanh

- *Phát triển hạ tầng quan trắc thông minh*: lắp đặt rộng rãi hệ thống cảm biến chất lượng không khí theo thời gian thực tại các đô thị lớn, khu công nghiệp và vùng có nguy cơ cao.

- *Ứng dụng công nghệ hiện đại vào xử lý khí thải*: ưu tiên phát triển công nghệ nội địa để giảm lệ thuộc vào linh kiện nhập khẩu, đồng thời có chính sách hỗ trợ doanh nghiệp nội phát triển sản phẩm thay thế.

- *Kết hợp giải pháp tự nhiên*: thúc đẩy phủ xanh đô thị, phát triển và bảo vệ không gian xanh như hành lang sinh thái, rừng đô thị, mái nhà xanh... để hấp thụ khí thải và cải thiện vi khí hậu đô thị.

- *Phát triển năng lượng tái tạo*: khuyến khích sử dụng năng lượng mặt trời, điện gió, năng lượng sinh khối... thay cho nhiên liệu hóa thạch, đặc biệt trong giao thông và sản xuất công nghiệp.

Thứ ba: Tăng cường hợp tác công - tư và huy động nguồn lực xã hội

Thúc đẩy hợp tác công - tư là yếu tố then chốt để huy động nguồn lực tài chính, kỹ thuật và sáng kiến từ khu vực tư nhân, đồng thời tăng hiệu quả thực thi chính sách thông qua các mô hình đồng quản lý; cụ thể như sau:

- *Thúc đẩy mô hình hợp tác công - tư (PPP)* trong các dự án quan trắc không khí, xử lý khí thải và giáo dục môi trường.

- *Phát huy vai trò doanh nghiệp tư nhân và startup công nghệ* trong nghiên cứu, triển khai các giải pháp giám sát và xử lý ô nhiễm hiệu quả, chi phí thấp.

- *Khuyến khích tài chính xanh*: xây dựng các quỹ đầu tư xanh, trái phiếu xanh để huy động vốn xã hội hóa cho các dự án môi trường.

Thứ tư: Tăng cường đào tạo, nâng cao năng lực và nhận thức cộng đồng

- *Đào tạo nguồn nhân lực kỹ thuật chất lượng cao*: tập trung vào các lĩnh vực như vận hành thiết bị xử lý khí thải, quan trắc môi trường, phân tích dữ liệu không khí...

- *Xây dựng chương trình đào tạo tại chỗ* cho cán bộ địa phương, doanh nghiệp

nhỏ nhằm tăng khả năng vận hành và bảo trì thiết bị hiệu quả.

- *Đẩy mạnh truyền thông và giáo dục môi trường*: tổ chức các chiến dịch truyền thông đa kênh về tác hại của ô nhiễm không khí và trách nhiệm cộng đồng trong bảo vệ môi trường.

Thứ năm: Công khai, minh bạch dữ liệu và quản lý dựa trên bằng chứng

Cần tăng cường quản lý và giám sát chất lượng không khí bằng cách hoàn thiện hệ thống quan trắc, công khai dữ liệu minh bạch và kịp thời, từ đó hỗ trợ người dân chủ động bảo vệ sức khỏe và tạo nền tảng cho các quyết sách môi trường hiệu quả hơn. Đây là những bước đi thiết thực nhằm hướng đến mục tiêu phát triển bền vững và cải thiện môi trường sống tại Việt Nam. Cụ thể gồm:

- *Xây dựng nền tảng dữ liệu mở* về chất lượng không khí, giúp người dân và nhà nghiên cứu tiếp cận và sử dụng thông tin kịp thời.

- *Hỗ trợ người dân tự giám sát và phản ánh* thông qua các ứng dụng di động kết nối hệ thống quan trắc không khí.

- *Đánh giá hiệu quả định kỳ* các công nghệ xử lý khí thải, chính sách môi trường và đưa ra điều chỉnh phù hợp dựa trên số liệu thực tế.

KẾT LUẬN

Ô nhiễm không khí đang ngày càng trở thành thách thức lớn đối với phát triển bền vững và chất lượng sống tại các quốc gia trên toàn cầu, nhất là các quốc gia có tốc độ đô thị hoá và công nghiệp hoá nhanh. Trước thực trạng đó, nhiều nước đã tích cực triển khai các công nghệ tiên tiến nhằm kiểm soát, giám sát và cải thiện chất lượng không khí. Tổng luận này đã hệ thống hóa và phân tích các nhóm công nghệ chủ chốt - từ giám sát, dự báo, xử lý khí thải đến giải pháp cải thiện môi trường không khí - đang được áp dụng tại nhiều quốc gia như Hoa Kỳ, Anh, Đức, Pháp, Thụy Sĩ, Trung Quốc, Ấn Độ, Hàn Quốc... Các giải pháp công nghệ chủ yếu được ứng dụng bao gồm: Công nghệ số như IoT, AI, dữ liệu lớn trong giám sát và dự báo chất lượng không khí; công nghệ xử lý khí thải hiệu quả, ít tiêu hao năng lượng; tích hợp các giải pháp cải thiện không khí đô thị như cây xanh, vật liệu thông minh và giao thông xanh; đẩy mạnh công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon (DAC+S) như một phần của chiến lược trung hòa carbon... Tuy nhiên, việc triển khai các công nghệ

này cần phù hợp với đặc điểm kinh tế - kỹ thuật của từng quốc gia, đặc biệt với các nước đang phát triển như Việt Nam.

Hiện nay, Việt Nam mới chỉ từng bước áp dụng các công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí ở quy mô hạn chế. Để tăng hiệu quả, cần có chiến lược đầu tư bài bản vào hạ tầng quan trắc, xây dựng hệ sinh thái công nghệ trong nước, thúc đẩy chuyển giao công nghệ và hợp tác quốc tế. Trong thời gian tới, các cơ quan quản lý, các nhà nghiên cứu và doanh nghiệp công nghệ tại Việt Nam cần tập trung vào một số nhiệm vụ, giải pháp như:

Một là, phát triển hệ thống quan trắc và dữ liệu chất lượng không khí đáng tin cậy, mở và tích hợp;

Hai là, lựa chọn công nghệ xử lý phù hợp với điều kiện phát thải thực tế;

Ba là, thúc đẩy các giải pháp công nghệ xanh trong giao thông, xây dựng, năng lượng đô thị;

Bốn là, tăng cường cơ chế chính sách hỗ trợ, khuyến khích đổi mới sáng tạo, đầu tư và chuyển giao công nghệ kiểm soát ô nhiễm không khí.

Năm là, tăng cường hợp tác công - tư, huy động hiệu quả nguồn lực xã hội trong nghiên cứu và triển khai các dự án trong lĩnh vực môi trường.

Sáu là, nâng cao nhận thức cộng đồng và khuyến khích sự tham gia của người dân vào công tác bảo vệ môi trường, coi đây là sự nghiệp của toàn dân.

Tổng luận hy vọng sẽ là nguồn tài liệu tham khảo hữu ích, góp phần nâng cao nhận thức và thúc đẩy hành động ứng dụng công nghệ vì một môi trường sống trong lành, an toàn và phát triển bền vững./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. European Environment Agency (2020). Air pollution sources
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
3. United States Environmental Protection Agency (2021). Air pollutants.
4. World Health Organization (2021). Ambient air pollution: Health impacts.
5. World Health Organization (2022). Air quality and health.
6. United States Environmental Protection Agency (2021). Air Pollution Control Technology Fact Sheet.
7. Giani, P., et al. (2020). Short-term air pollution response to COVID-19 lockdown in India. *Science of the Total Environment*, 742, 140620.
8. United Nations Environment Programme (2020). Actions on Air Quality: A Global Summary of Policies and Programmes to Reduce Air Pollution.
9. World Economic Forum (2021). Clean Air for All: 10 Innovations to Watch.
10. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia.
11. Hợp Nhất Môi Trường (2023). Tình trạng và giải pháp xử lý ô nhiễm không khí.
12. UNEP (2020). Actions on Air Quality.
13. Tạp chí Môi trường (2024). Đưa công nghệ vào giải quyết ô nhiễm không khí.
14. APCTT (2023). Innovative Technologies for Air Pollution Control