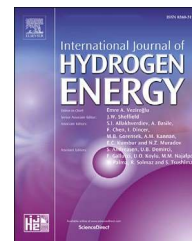




Có sẵn trực tuyến tại www.sciencedirect.com

ScienceDirect

trang chủ của tạp chí: www.elsevier.com/locate/he



Một hệ thống hỗ trợ quyết định trực tuyến (DSS) dành cho vị trí trạm nạp hydro và tối ưu hóa chuỗi cung ứng hydro



Hyunyoung Ryu *a*, Deoksang Lee *a*, Jaemin Shin *a*, Minseok Song *a,b,**,
Seungyeop Lee *a*, Hyunjoon Kim *c*, Byung-In Kim *a*

a Bộ môn Kỹ thuật Công nghiệp và Quản lý, Đại học Khoa học và Công nghệ Pohang, Cộng hòa Hàn Quốc

b Trung tâm Sáng tạo Mô dữ liệu (OIBC), Đại học Khoa học và Công nghệ Pohang, Cộng hòa Hàn Quốc

c Khoa Kỹ thuật, Đại học Gachon, Cộng hòa Hàn Quốc

điểm nổi bật

- Một hệ thống hỗ trợ quyết định được phát triển cho vị trí trạm nạp hydro và tối ưu hóa chuỗi cung ứng hydro.
- Yêu cầu thiết kế và tính năng cho DSS được thu thập thông qua cuộc phỏng vấn và đánh giá tài liệu.
- Mô hình hai giai đoạn tìm ra vị trí tốt nhất cho HRS và mạng lưới HSC.
- Giải pháp HRS và HSC trên toàn quốc cho các năm 2025 và 2030 tại Cộng hòa Hàn Quốc được thể hiện.

thông tin bài báo

Lịch sử bài báo:

Nhận vào ngày 12 tháng 4

năm 2023, Nhận trong

hình thức đã sửa vào ngày

4 tháng 6 năm 2023

Chấp nhận vào ngày 6 tháng 6 năm 2023

Có sẵn trực tuyến vào ngày 20 tháng 6 năm 2023

Từ khóa:

Xe chạy bằng năng lượng hydro
Trạm nạp hydro Tối ưu hóa chuỗi
cung ứng hydro Hệ thống hỗ trợ
quyết định

trích dẫn

Nghiên cứu này trình bày một hệ thống hỗ trợ quyết định trực tuyến mới (DSS) tối ưu hóa vị trí của các trạm nạp hydro (HRSs) và chuỗi cung ứng hydro (HSCs). Hệ thống được phát triển với phương pháp khoa học thiết kế xác định yêu cầu thiết kế chính và tính năng thông qua cuộc phỏng vấn và đánh giá tài liệu. Dựa trên các kết quả, một kiến trúc hệ thống và mô hình dữ liệu đã được thiết kế, tích hợp các thành phần quản lý kịch bản, mô hình tối ưu hóa, trực quan hóa và quản lý dữ liệu. DSS cung cấp một mô hình giải pháp hai giai đoạn liên kết nhu cầu với HRSs và cơ sở sản xuất với HRSs. Một bản thử nghiệm được thể hiện với kế hoạch cho năm 2025 và 2030 tại Cộng hòa Hàn Quốc, nơi 450 đến 660 trạm được triển khai trên toàn quốc và liên kết với cơ sở sản xuất. Đánh giá người dùng đã xác nhận hiệu quả của DSS trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu hóa và tiềm năng của nó để hỗ trợ chính phủ và các đô thị trong việc lập kế hoạch hạ tầng hydro.

© 2023 Các tác giả. Được xuất bản bởi Elsevier Ltd thay mặt cho Công ty Xuất bản Năng lượng Hydro LLC. Đây là một bài báo truy cập mở theo giấy phép CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

* Tác giả tương ứng. 77 Cheongam-Ro, Nam-Gu, Pohang, Gyeongbuk, 37673, Cộng hòa Hàn Quốc. Địa chỉ email: mssong@postech.ac.kr (M. Song).

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.06.064>

0360-3199/© 2023 Các tác giả. Được xuất bản bởi Elsevier Ltd thay mặt cho Công ty Xuất bản Năng lượng Hydro LLC. Đây là một bài báo truy cập mở theo giấy phép CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Giới thiệu

phát triển bởi Ban Tài nguyên Khí quyền California (CARB)
cung cấp các kịch bản triển khai HRS với chức năng so sánh

Khi số lượng xe chạy bằng năng lượng hydro (HFCVs) đang tăng, việc lập kế hoạch hạ tầng hydro trở nên cần thiết để đáp ứng nhu cầu nhiên liệu và cung cấp hydro. Đặc biệt, vị trí của trạm nạp hydro (HRS) là rất quan trọng đối với tính khả dụng của các tài xế. Hơn nữa, khác với các trạm nạp xe điện, HRS phải được kết nối một cách hiệu quả với một cơ sở sản xuất hydro (PF). Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp giải pháp hai bước cho thiết kế chuỗi cung ứng hydro trên toàn quốc: quyết định vị trí HRS xem xét nhu cầu khu vực và tối ưu hóa HSC cho hoạt động bền vững của các trạm. Các nghiên cứu quan trọng đã được tiến hành về mô hình vị trí HRS [1e9] và thiết kế HSC [10e15].

Thách thức lớn trong việc giải quyết vấn đề vị trí HRS và thiết kế HSC

là xem xét các điều kiện và giá trị tham số khác nhau trong mô hình giải pháp và thực hiện nhiều thí nghiệm. Các mô hình vị trí truyền thống như mô hình phủ, mô hình p-trung bình và mô hình vị trí nạp dòng (FRLM) được sử dụng [16]. Kết quả lựa chọn vị trí thay đổi từ phạm vi của khu vực mục tiêu, tổng số trang web ứng viên và ước lượng nhu cầu. Ngược lại, thiết kế mạng lưới HSC điều tra việc lựa chọn tối ưu của các phương pháp sản xuất và giao hàng hydro. Mô hình tối ưu hóa HSC xác định loại tài nguyên, công nghệ sản xuất, loại lưu trữ và phương tiện vận chuyển [17]. Các tùy chọn khác nhau trên mỗi tầng phân biệt khối lượng cung cấp và chi phí của hydro trong dài hạn. Do đó, các kịch bản khả thi được tạo ra và so sánh để chọn ra các giải pháp tốt nhất cho các vấn đề vị trí và tối ưu hóa. Tuy nhiên, việc thực hiện và xem xét nhiều kịch bản để ra quyết định là khó khăn vì thiết kế một phương pháp giải quyết cả hai vấn đề tối ưu hóa HRS và HSC là thách thức, ngay cả đối với một kịch bản duy nhất.

Trong bối cảnh này, một hệ thống hỗ trợ quyết định (DSS) có thể giúp.

Kế hoạch viên tạo ra các kịch bản có thể và so sánh chúng với kết quả được minh họa. Nói chung, DSS là một công cụ hiệu quả có thể phân tích và thể hiện các kế hoạch và thiết kế khác nhau trong quá trình ra quyết định. Người dùng có thể trực tiếp nhập dữ liệu thông qua giao diện đồ họa, thực hiện phân tích và thể hiện kết quả. Hệ thống DSS không gian (SDSS) với phần mềm hệ thống thông tin địa lý (GIS) thường được sử dụng, đặc biệt là để giải quyết vấn đề vị trí cơ sở và vận chuyển [18]. SDSS được đặc trưng bởi việc sử dụng thông tin không gian, bao gồm tọa độ địa lý, để phân tích và thể hiện các mối quan hệ không gian như gần, chồng chéo, chứa và mẫu phân phối [19]. Đối với triển khai HRS, Kuby và cộng sự [20] đã sử dụng FRLM để xác định phạm vi lái xe của xe và số lượng cơ sở sạc. Họ tích hợp dữ liệu mạng vào mô hình vào GIS và trình bày kết quả trên bản đồ và biểu đồ. Với cùng một mô hình FRLM, Kim [21] đã phát triển một DSS cho phép người dùng tính toán lưu lượng giao thông điểm xuất phát-điểm đến (OD) dựa trên các đặc điểm xã hội của điểm xuất phát. Hệ thống tính toán lượng thay đổi giao thông tại mỗi điểm để hiển thị vị trí tốt nhất của trạm nạp nhiên liệu. Hơn nữa, Công cụ Hạ tầng Hydrogen California (CHIT) được

giữa HRS hoạt động và các trang web mới được đề xuất trong mô hình, có thể hỗ trợ các nhà điều hành kinh doanh [22]. Liên quan đến HSC, Dagdougui [23] đã phát triển một DSS để đặt hệ thống sản xuất tại chỗ ở miền bắc Italy. Khả năng sản xuất hydrogen bằng năng lượng tái tạo được đo lường bằng cách xem xét tiềm năng gió và năng lượng mặt trời của mỗi khu vực. Tương tự, Kim và Kim [24] đã phân tích và giải quyết hệ thống cung cấp hydrogen với năng lượng gió tại đảo Jeju, Cộng hòa Hàn Quốc. Wu và cộng sự [25] đã kiểm tra vị trí lưu trữ hydrogen với năng lượng gió tại Trung Quốc. Baufume và cộng sự [26] đề xuất tính toán kịch bản dựa trên GIS cho hạ tầng đường ống hydrogen trên toàn quốc tại Đức. Một số công cụ đã được phát triển và hỗ trợ kế hoạch thực tế, ví dụ như Công cụ Năng lượng và Kinh tế được giải quyết không gian và thời gian (STREET) và Công cụ Đánh giá Kịch bản và Phân tích Vùng (SERA) được phát triển bởi Phòng thí nghiệm Năng lượng tái tạo Hoa Kỳ. Mô hình STREET nhằm vào tối ưu hóa đầu tư và giảm thiểu tác động môi trường của việc phát triển hạ tầng hydrogen, do đó xem xét khía cạnh sản xuất hydrogen, chẳng hạn như nguồn lực và vị trí cung cấp và tuyến đường [27]. Mô hình SERA cung cấp cả mô hình cung cấp và cầu cung của thị trường hydrogen bằng cách tích hợp các biến chi phí và tùy chọn công nghệ sản xuất hydrogen vào mô hình [28,29]. Các công cụ này đã được phát triển và sử dụng cho việc tạo và phân tích kịch bản; tuy nhiên, việc phát triển DSS tập trung vào người dùng liên quan đến tối ưu hóa HRS hoặc HSC vẫn còn hạn chế [30].

Gần đây, có sự ưa thích ngày càng tăng về DSS dựa trên web, cho phép tích hợp các công cụ SDSS trước đó vào các giải pháp hỗ trợ quyết định IT chính thống [31]. Ưu điểm chính của DSS dựa trên web là sự dễ truy cập, vì giao diện người dùng khách hàng độc lập với việc xử lý thực sự của DSS, điều này cung cấp tính linh hoạt lớn trong việc nhắm mục tiêu các nhóm người dùng khác nhau. Khác với các hệ thống SDSS dựa trên GIS truyền thống, là các hệ thống phức tạp đòi hỏi phần cứng và cơ sở hạ tầng tinh vi, các hệ thống dựa trên web cho phép nhiều người dùng truy cập và tăng khả năng tính toán để xử lý lượng dữ liệu lớn, thường là trong thời gian thực [32].

Do đó, nghiên cứu này phát triển một DSS dựa trên web mới cho tối ưu hóa HRS và chuỗi cung ứng. Chúng tôi tuân thủ một phương pháp nghiên cứu khoa học thiết kế (DSR), đầu tiên để điều tra các yêu cầu thiết kế của DSS cụ thể cho tối ưu hóa HRS và HSC. Trong quá trình này, chúng tôi nhằm phát triển một nguyên mẫu hệ thống hoạt động giải quyết cả hai vấn đề HRS và HSC. Chúng tôi thiết kế hệ thống với sở thích người dùng thực tế bằng cách mời các chuyên gia hydrogen tham gia phỏng vấn và đánh giá. Hệ thống cung cấp giao diện đồ họa người dùng cho phép người dùng tùy chỉnh các kịch bản đầu vào, cấu hình cài đặt tối ưu hóa, phân tích kết quả được thể hiện và lưu trữ các kịch bản đã xem xét vào cơ sở dữ liệu. Người ra quyết định có thể dễ dàng xem xét các kịch bản khác nhau trên DSS dựa trên web của chúng tôi mà không cần kiến thức chuyên sâu về kỹ năng lập trình và phương pháp tối ưu hóa.

Thiết kế và thể hiện của DSS dựa trên bản đồ quốc gia của Cộng hòa Hàn Quốc. Số lượng xe chạy

bằng hydro trong Hàn Quốc đã đạt 10.000 vào năm 2020, tỷ lệ cao nhất là 29% so với các quốc gia khác [33]. Cùng năm đó, chính phủ đã công bố một lộ trình quốc gia sẽ cung cấp 850.000 xe chạy bằng hydro vào năm 2030 và 2,9 triệu vào năm 2040 và xây dựng 660 trạm nạp hydro vào năm 2030 và 1200 vào năm 2040 [34]. Tuy nhiên, chưa có một kế hoạch toàn diện cho vị trí cụ thể và phương pháp cung cấp cho HRS

được trình bày. Do đó, cũng cần có một chiến lược triển khai và phương pháp phù hợp xem xét các kế hoạch chính phủ hiện có và xu hướng phát triển xe chạy bằng hydro.

Quá trình tổng thể của việc phát triển DSS được trình bày trong các phần tiếp theo. Phần 2 tóm tắt các yêu cầu thiết kế và tính năng được trích xuất từ cuộc phỏng vấn và tài liệu. Mô hình tối ưu hóa được giải thích trong Phần 3. Phần 4 và Phần 5 minh họa việc mô hình hóa và phát triển hệ thống DSS, tương ứng. Việc thể hiện của hệ thống với các kịch bản thử nghiệm và đánh giá người dùng nằm trong Phần 6. Nghiên cứu kết luận trong Phần 7, chỉ ra hiệu quả của DSS và một số hạn chế.

Yêu cầu thiết kế và tính năng

Phương pháp nghiên cứu khoa học thiết kế

Nghiên cứu này tuân thủ phương pháp nghiên cứu khoa học thiết kế (DSR) từ Peffers và cộng sự [35], người đã đề xuất việc áp dụng nó trong nghiên cứu hệ thống thông tin. Phương pháp ban đầu tạo ra và đánh giá các sản phẩm IT với một khung công cụ để giải quyết các vấn đề tổ chức trong phát triển sản phẩm [36]. Quá trình tổng thể tuân theo các vòng lặp thiết kế và đánh giá từ việc xác định các vấn đề hiện tại đến tìm ra mục tiêu của một giải pháp, từ thiết kế và phát triển sản phẩm đến việc thể hiện và đánh giá. Nó kết thúc với việc giao tiếp bên ngoài [37]. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi cho việc phát triển DSS [38]. Trong nghiên cứu này, mục tiêu chính của việc sử dụng khung công cụ là phát triển DSS bằng cách phân tích hệ thống các yêu cầu thiết kế một cách có hệ thống để xác định vị trí HRS và tối ưu hóa HSC. Quá trình nghiên cứu tổng thể được thể hiện trong Hình 1.

Chúng tôi đã tiến hành một loạt các hội thảo với năm chuyên gia hydrogen từ các cơ quan công cộng đại diện cho hydrogen để xác định các tính năng chính của DSS và sở thích hệ thống. Các tổ chức tham gia, gồm H2Korea (tổ chức tư vấn liên quan đến hydrogen) và Viện Công nghệ Tiên tiến (một tổ chức phi lợi nhuận cho nghiên cứu và phát triển công nghệ công nghiệp) đều hoạt động trong lĩnh vực hydrogen.

nhóm dự án nghiên cứu tối ưu hóa do Bộ Thương mại, Công nghiệp và Năng lượng Hàn Quốc tài trợ.

Trong suốt chuỗi bảy buổi hội thảo, các ý tưởng đã được đưa ra, các nguyên mẫu được thiết kế và phát triển cũng như các phản hồi được tổng hợp. Hội thảo ban đầu (phiên 1) tập trung vào việc thu thập các yêu cầu cơ bản bằng cách động não và thảo luận cởi mở về các mô hình, dữ liệu và phương pháp trực quan hóa cần thiết cho DSS. Các ý tưởng thu thập được sau đó được phân loại thành các vấn đề để thảo luận và điều tra thêm. Các hội thảo tiếp theo (phiên 2e6) bao gồm các bài trình bày và thảo luận về các kết quả khảo sát cùng với tiến trình thiết kế và phát triển hệ thống cùng với các quyết định về cách kết hợp chúng vào DSS. Buổi học cuối cùng (buổi 7) kết thúc với việc hoàn thiện thiết kế nguyên mẫu.

Sau đó là ba phiên phản hồi (phiên 8e10)

được tiến hành, mời người dùng, bao gồm cả các quan chức từ các công ty nhà nước và tư nhân, đánh giá hiệu quả của hệ thống và xác định các lĩnh vực cần cải thiện trong tương lai. Những người tham gia được tuyển dụng thông qua H2Korea. Sau phần giới thiệu và trình diễn ngắn gọn về DSS, các câu hỏi mở được đặt ra để thu thập ý kiến của họ. Chúng tôi đã cung cấp những kết quả hội thảo này trong các chương của nghiên cứu này.

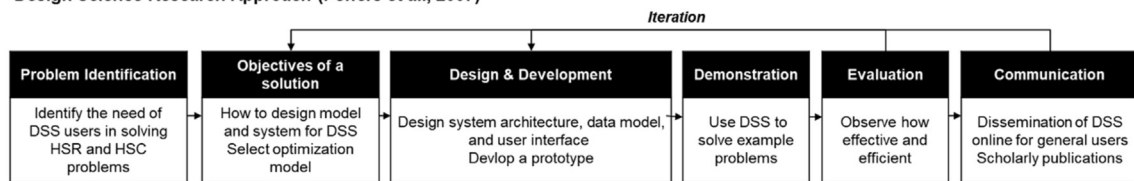
Yêu cầu thiết kế chính và tính năng

Yêu cầu thiết kế và tính năng cho Hệ thống hỗ trợ quyết định (DSS) đã được xác định thông qua cuộc phỏng vấn chuyên gia và khảo sát văn học trong suốt buổi hội thảo. Chúng tôi đã thu thập ý kiến chuyên gia từ nhiều cuộc thảo luận trong hội thảo, được tóm tắt và phân loại dựa trên sự tương đồng của chúng bởi các nhà nghiên cứu thành năm nhóm chính. Hơn nữa, các khảo sát văn học đã được tiến hành ban đầu trong suốt buổi hội thảo, tìm kiếm với sự kết hợp của các thuật ngữ 'hydrogen, refueling station, supply chain, optimization, DSS' từ Scopus và Web of Science, cũng như từ Korea Citation Index và DBpia cho các nghiên cứu trong nước. Các yêu cầu thiết kế và tính năng liên quan đến kết quả cuối cùng của DSS được hiển thị trong Hình 2.

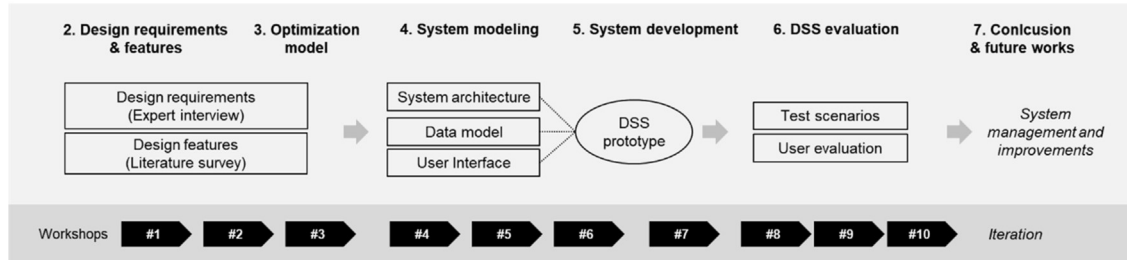
Đầu tiên, DSS chủ yếu được sử dụng cho cấp độ quốc gia dài hạn.

Kế hoạch. Trong cuộc phỏng vấn, người dùng tiềm năng đã được xác định.

Design Science Research Approach (Peppers et al., 2007)



Research process



Hình 1: Khung công nghệ nghiên cứu thiết kế.

Design Requirements			Design Features	
Expert Interview			Literature survey	
Domain	DR1 Enable country level long-term planning	<ul style="list-style-type: none"> Needs for national level station deployment results considering the growing demand of FCEVs Consider both central government and local municipalities as users Create scenarios for multiple periods and conditions 	Spatial scope > National and local Temporal scope > Diversified	Han et al. 2012 Itaoka et al. 2019 Ogumeran et al. 2018
	DR2 Consider both demand and supply aspects of HRS location problem	<ul style="list-style-type: none"> Include appropriate demand forecasting method for creating future scenarios Consider each echelon of hydrogen supply chain: resource, production, storage, transportation, and use 	Demand > Forecasting Supply > Hydrogen supply chain (HSC) design Two-step model ➤ HRS: Demand site - Refueling station ➤ HSC: Refueling Station – Production	Nicholas and Ogden 2006 Kuby et al. 2009 Itaoka et al. 2019 Li et al. 2019 Lin et al. 2020
	DR3 Reflect domestic context for demand and candidate station site, and supply chain	<ul style="list-style-type: none"> Set more realistic demand and candidate sites regarding the domestic refueling environment Consider technological implementation phases for the future planning Collect detail information on production facility or station construction plans from the government report 	➤ HRS: Demand points and candidate station sites ➤ HSC: Available options on hydrogen production, storage, transportation ➤ HSC: Implementation plan from the government and local municipalities	Almansoori and Shah 2009 Kim and Kim, 2016 Bique and Zondervan, 2018 Talebian et al. 2019 Stephens-Romero et al. 2010 Zhao et al. 2019 Choo and Boo, 2007 Kim et al., 2008 Boo et al. 2009 Kim et al. 2019 Seo et al. 2020 Choi et al. 2021
System	DR4 Create adequate system environment	<ul style="list-style-type: none"> Requires fast system calculation time Possible real-time route calculation 	Web-based system	Santos et al. 2011 Willing et al. 2017 Wu et al. 2020
	DR5 Develop user-centered DSS	<ul style="list-style-type: none"> Make users accessible with out any other program installation Consider multiple DSS users and reflect their viewpoints 	Multiple user options	Bagloee et al. 2017 Erdogan et al. 2019

Hình 2 yêu cầu thiết kế và tính năng được xác định từ cuộc phỏng vấn và nghiên cứu trước đó.

Các cơ quan quốc gia liên quan đến hydro, chính quyền địa phương và doanh nghiệp liên quan. Khi sử dụng một Hệ thống hỗ trợ quyết định (DSS), phạm vi không gian và thời gian của vấn đề phải được xác định trước. Trong trường hợp của các vấn đề HRS, quy mô không gian thường là trên toàn quốc [39], trong các thành phố lớn [4], hoặc cả hai [5]. Ngoài ra, người dùng tìm kiếm giải pháp từ các góc độ thời gian khác nhau. Ví dụ, vấn đề HRS có thể liên quan đến xác định vị trí trạm tiếp theo hoặc phân tích kế hoạch dài hạn trong vòng 20-30 năm, xem xét các thay đổi trong nhu cầu. Tương tự, các kịch bản HSC theo dõi các thay đổi điều kiện như chi phí sản xuất hydro qua các năm [14,40]. Do đó, một DSS phải cho phép người dùng thiết lập phân tích cấp quốc gia hoặc địa phương và đa dạng hóa phạm vi thời gian trong cài đặt kịch bản.

Thứ hai, cần phản ánh cả hai khía cạnh cung cầu trong mô hình vị trí HRS. Mục tiêu của các vấn đề HRS và HSC là thiết lập vị trí tối ưu của các trạm cho người dùng xe và vận chuyển đủ lượng hydro đến trạm. Tuy nhiên, thường mất quá nhiều thời gian để giải quyết cả cung và cầu trong mô hình cùng một lúc. Do đó, một mô hình hai giai đoạn nên được sử dụng trong DSS, và mỗi mô-đun nên chứa các biến số và dữ liệu quan trọng nhất. Có thể sử dụng các phương pháp khác nhau để dự báo và tính toán nhu cầu hydro khu vực, với số dân [1], các yếu tố kinh tế [7,41], doanh số xe hơi [5], hoặc

lượng giao thông [2]. Ngoài ra, nhu cầu hydro thay đổi tùy thuộc vào loại phương tiện, như ô tô con, taxi, xe tải và xe buýt [8,42]. Do đó, mô-đun cầu cho DSS nên bao gồm các biến số và dữ liệu cần thiết để người dùng tính toán nhu cầu.

Trong khu vực được định rõ. Ngoài ra, DSS nên tích hợp thêm các mô-đun bổ sung cho thiết kế HSC. Các cấu hình khác nhau bao gồm các phương pháp sản xuất hydro, các loại hydro, cơ sở lưu trữ và các phương tiện vận chuyển. Mạng lưới HSC đề cập đến toàn bộ quy trình nguyên liệu hydro, sản xuất, lưu trữ, vận chuyển, phân phối và sử dụng hydro. Nó có thể được chia thành giai đoạn sản xuất và vận chuyển hydro. Trong giai đoạn sản xuất, các phương pháp sản xuất công nghệ khác nhau có thể được sử dụng bằng cách sử dụng nhiều nguồn năng lượng, và hydro được sản xuất có thể được chuyển đổi thành khí, lỏng, rắn và các hình thức khác. Trong giai đoạn vận chuyển, loại nhiên liệu, hoặc khí hoặc lỏng, xác định các phương tiện vận chuyển và cơ sở đổ nhiên liệu cần thiết.

Thứ ba, DSS nên phản ánh điều kiện nội địa địa.

Cải thiện độ chính xác của giải pháp. Để làm điều này, việc xác định các địa điểm ứng cử viên phù hợp nhất và thực tế nhất, bao gồm các trạm xăng, và sử dụng các trạm khí hóa lỏng tự nhiên (LNG) và trạm khí nén tự nhiên (CNG) hiện có là rất quan trọng. Mô hình nên xem xét các địa điểm này cùng với kết quả kiểm tra an toàn. Hơn nữa, kịch bản nên tính đến thời điểm triển khai công nghệ. Các nghiên cứu trước đây được tiến hành tại Hàn Quốc [43e48] gợi ý rằng việc triển khai chiến lược của HSC nên được xem xét phù hợp với việc giới thiệu công nghệ mới và thương mại hóa. Hiện nay, nhiên liệu hydro có thể được sản xuất dưới dạng lỏng hoặc khí, sử dụng phương pháp reform hoặc by-product, với khả năng vận chuyển thông qua xe trailer ống hoặc xe tải chứa. Theo cuộc phỏng vấn, tỷ lệ của hydro dựa trên năng lượng tái tạo.

Sử dụng dự kiến sẽ tăng, dẫn đến giảm giá sản xuất điện và giảm chi phí sản xuất điện phân nước. Hơn nữa, nếu sản xuất hydro trong nước không đủ, hydro có thể được nhập khẩu từ nước ngoài. Thông tin này có thể được phản ánh trong Hệ thống hỗ trợ quyết định bằng cách cung cấp dữ liệu đầu vào về điều kiện sắp xếp vào thời điểm giới thiệu công nghệ hoặc bằng cách thiết kế các tùy chọn lựa chọn trong cài đặt kịch bản. Ngoài ra, kế hoạch của chính phủ và địa phương cũng có thể phục vụ như các tài liệu tham khảo hữu ích, cung cấp chi tiết về xây dựng cơ sở sản xuất, phương pháp vận chuyển và chi phí dự kiến.

Cuối cùng, hai yêu cầu hệ thống là như sau. Đầu tiên, cần thiết lập điều kiện phát triển hệ thống tối ưu. Đặc biệt, mô hình giải pháp yêu cầu một hệ thống có thể đồng thời phản ánh các thay đổi theo thời gian bằng cách xem xét HSC và HRS. Ngoài ra, sở thích cho tối ưu hóa tuyến đường xem xét giao thông thời gian thực đã được đề cập trong cuộc phỏng vấn. Những yêu cầu này có thể được quản lý tốt với một hệ thống dựa trên web. Thứ hai, cần phát triển DSS tập trung vào người dùng. Do đó, hệ thống nên chứa nhiều tùy chọn và truy cập dễ dàng hơn. Nói cách khác, DSS nên tích hợp các quan điểm khác nhau của người dùng, chẳng hạn như quản lý hệ thống và người dùng chung, và cung cấp truy cập mà không cần cài đặt bất kỳ chương trình bổ sung nào.

Mô hình tối ưu hóa

DSS nhằm mục đích cung cấp các giải pháp tối ưu hóa cho các tình huống khác nhau của người ra quyết định. Các giải pháp của DSS bao gồm các vị trí HRS được tối ưu hóa, lựa chọn PF thích hợp và mạng HSC từ PF đến HRS và từ HRS đến các điểm nhu cầu. DSS đề xuất phân tích toàn bộ bài toán HSC thành nhiều bài toán con và sử dụng các mô hình toán học để giải các bài toán con đó.

Như Kim và cộng sự. [42] đã chỉ ra rằng việc giải quyết vấn đề toàn bộ chuỗi cung ứng trên toàn quốc là một mô hình toán học khó giải quyết. Vì vậy, như Hình 3, chúng tôi xác định giải bài toán thiết kế HSC qua hai giai đoạn: giai đoạn đáp ứng nhu cầu và cung ứng. Trong giai đoạn đáp ứng nhu cầu, DSS quyết định vị trí của HRS để tối đa hóa phạm vi phủ sóng của HFCV và chỉ định HFCV cho các HRS sao cho tổng khoảng cách tiếp nhận nhiên liệu cho HFCV có thể được giảm thiểu. Ba bài toán con

đường thông thường, đường cao tốc và xe buýt chạy bằng hydro được giải quyết trong giai đoạn đáp ứng nhu cầu. Các giải pháp cho các vấn đề phụ được sử dụng trong giai đoạn đáp ứng nguồn cung, như trong Hình 3. Trong giai đoạn đáp ứng nguồn cung, DSS quyết định phân bổ giữa PF và HRS được chọn trong giai đoạn đáp ứng nhu cầu để giảm thiểu chi phí vận chuyển. Lưu ý rằng các vấn đề phụ trong giai đoạn đáp ứng nhu cầu có thể được giải quyết song song vì HRS độc lập trên đường bộ, đường cao tốc và xe buýt. Tuy nhiên, giải pháp của các vấn đề phụ phải được tích hợp vào giai đoạn thực hiện cung ứng vì HSC chia sẻ nguồn cung với HRS cho ba thành phần.

Tối ưu hóa vị trí của HRSs thuộc về vấn đề vị trí cơ sở. Nói chung, hầu hết các mô hình toán học giải quyết vấn đề vị trí cơ sở được phân loại thành ba loại: mô hình phủ, mô hình p-trung bình và mô hình vị trí nạp nhiên liệu đồng chảy (FRLM). Mô hình phủ, như mô hình phủ tập hợp và vấn đề phủ tối đa (Max cover) [54], tìm vị trí tối ưu của cơ sở để phủ các điểm yêu cầu. Mô hình p-trung bình tìm vị trí tối ưu của cơ sở để giảm thiểu khoảng cách giữa cơ sở và điểm yêu cầu [55]. FRLM tập trung vào dòng chảy nguồn-đích và tìm vị trí tối ưu của cơ sở để tối đa hóa dòng chảy có thể được phủ bởi các cơ sở triển khai [56]. Để biết thêm thông tin chi tiết về ba mô hình này, xem Kim et al. [42].

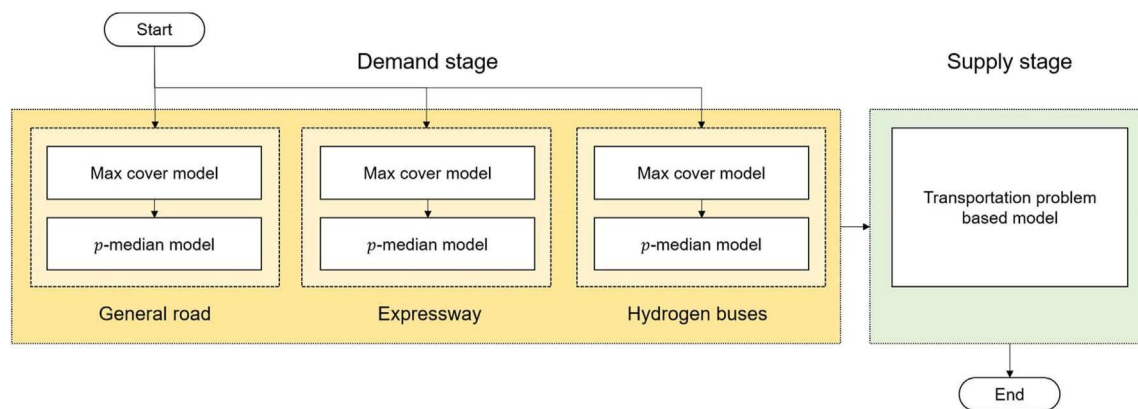
Nghiên cứu này sử dụng các mô hình Max cover và p-median cho mỗi cái.

Vấn đề phụ tại giai đoạn đáp ứng nhu cầu. Với số lượng HRS cần được lắp đặt, mô hình Max cover nhằm đến việc tối đa hóa phủ sóng cho HFCVs. Ngược lại, mô hình p-median trong nghiên cứu này xác định việc triển khai HRS và phân công HRS và HFCVs để giảm thiểu tổng khoảng cách cho việc nạp nhiên liệu cho HFCVs trong khi đảm bảo phủ sóng tối đa được xác định bởi mô hình Max cover. Chúng tôi đã sử dụng khung và mô hình toán học được đề xuất bởi Kim và cộng sự [42] cho giai đoạn đáp ứng nhu cầu. Trong bài báo này, chúng tôi tóm tắt các mô hình một cách ngắn gọn.

Max người mẫu bìa

Mục tiêu.

- Tối đa hóa số lượng HFCVs được gán cho các HRSs.



Hình 3 e Khung tối ưu hóa trong DSS.

Ràng buộc.

- Tổng số trạm nạp gas và HRS lỏng có thể lắp đặt được được cung cấp.
- Tổng số bộ sạc khí và hydro lỏng có thể lắp đặt được được cung cấp
- Các HRS hiện có phải được lựa chọn.
- Ràng buộc về điều kiện đủ điều kiện (ví dụ: hạn chế khoảng cách giữa điểm cầu cần và địa điểm ứng cử viên HRS, sự có sẵn của bộ sạc hydro lỏng tại địa điểm ứng cử viên HRS)
- Kích thước yêu cầu tại mỗi điểm yêu cầu được cung cấp.

mô hình p-
median

Mục tiêu.

- Tối thiểu hóa tổng khoảng cách giữa các HRSs và điểm yêu cầu.

Ràng buộc.

- Giống như người mẫu trên bìa tạp chí Max.
- Phải đảm bảo việc bảo đảm nhu cầu của mô hình bảo hiểm Max cover cho các xe chạy bằng hydro không khí (HFCVs).

Sau khi giải quyết giai đoạn đáp ứng nhu cầu, kế hoạch triển khai của HRSs và phân công điểm cầu đến HRSs được cố định. Do đó, lượng hydro cần thiết để nạp nhiên liệu cho HFCVs được xác định cho mỗi HRS được chọn. Xem xét vị trí đã chọn của HRSs, việc phân bổ lượng hydro từ PF đến HRS được xác định trong giai đoạn đáp ứng cung cấp. Trong giai đoạn này, tổng chi phí vận chuyển và lắp đặt của các PF bổ sung được tối thiểu hóa. Vấn đề này là một loại vấn đề vận chuyển, một mô hình nổi tiếng giảm thiểu chi phí vận chuyển (ví dụ, thời gian hoặc khoảng cách) từ điểm cung cấp đến điểm cầu trong khi lượng cung và cầu được đáp ứng. Vấn đề được xem xét bởi DSS là một vấn đề vận chuyển đa hàng hóa vì chúng ta xử lý cả khí và hydro lỏng. Ngoài ra, DSS có thể xác định vị trí và công suất của các HRS trên chỗ khi tổng lượng cung cấp hydro ít hơn tổng lượng cầu. HRS trên chỗ là một HRS có thể sản xuất và.

vận chuyển hydro đến các trạm gần đây. Mô hình toán học chi tiết sẽ được báo cáo trong một bản xuất bản khác trong tương lai gần [58].

Mô hình dựa trên vấn đề vận chuyển

Mục tiêu.

- Tối thiểu hóa tổng chi phí vận chuyển trọng số giữa các PFs và HRSs và chi phí xây dựng thêm HRS trên hiện trường.

Ràng buộc.

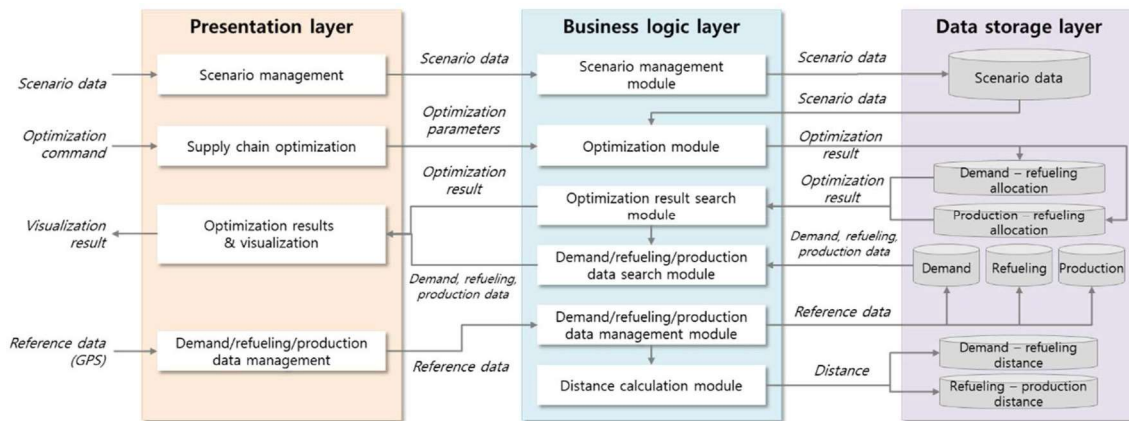
- Các PF hiện có phải được chọn lựa.
- Sức chứa sản xuất và vận chuyển của PFs phải được đáp ứng.
- Ràng buộc về điều kiện đủ điều kiện (ví dụ, sự có sẵn của vận chuyển khí ga và hydro lỏng giữa các cơ sở sản xuất và trạm nạp hydro).
- Ràng buộc bảo toàn luồng tại mỗi HRS (Số lượng luồng vào và ra tại HRS phải cân bằng)

Thông qua các mô hình toán học này, DSS có thể xác định vị trí của HRS, phân công giữa HRS và HFCV, cũng như phân công giữa HRS và PF, xem xét việc xây dựng các HRS bổ sung tại chỗ để hoạt động như PF. Các mô hình đề xuất có thể tối ưu hóa một phần vấn đề bằng cách định cấu hình các tùy chọn, chẳng hạn như chỉ xem xét HRS cho các tuyến đường chung và phân công giữa HRS và HFCV. Người dùng có thể thiết lập thời gian tính toán tối đa. Một bài toán thiết kế HSC trên toàn quốc có tính đến đường thông thường, đường cao tốc và xe buýt có thể được giải quyết trong một thời gian nhất định. Các mô hình toán học và cách tiếp cận giải pháp chính thức và chi tiết hơn được mô tả trong Lee et al. [58].

Mô hình hóa hệ thống

Kiến Trúc Hệ Thống

Kiến trúc của hệ thống DSS được hiển thị trong Hình 4. Hệ thống bao gồm ba lớp: 1) lớp trình bày, 2) lớp logic kinh doanh và 3) lớp lưu trữ dữ liệu [59].



Hình 4 e Kiến trúc hệ thống.

Lớp trình bày nhận lệnh từ người dùng và truyền chúng đến lớp logic kinh doanh. Nó thực hiện vai trò của việc hiển thị và hiển thị kết quả nhận được từ lớp logic kinh doanh cho người dùng. Lớp logic kinh doanh chuyển dữ liệu được truyền từ lớp trình bày sang lớp lưu trữ dữ liệu và chỉ đạo nó được lưu trữ. Ngoài ra, nó truyền thông kết quả cho lớp trình bày. Lớp lưu trữ dữ liệu quản lý dữ liệu cần thiết để thực hiện chức năng DSS, kiểm soát dữ liệu được cung cấp từ lớp trình bày, hoặc truy xuất dữ liệu đã lưu trữ và chuyển nó cho lớp logic kinh doanh.

Lớp trình bày

Thành phần quản lý kịch bản nhận dữ liệu kịch bản (ví dụ, tên kịch bản, năm kịch bản, trang web ứng cử viên HRS, PFs, trang web yêu cầu) từ người dùng và thực hiện xác minh dữ liệu chính. Khi xác minh hoàn tất, dữ liệu kịch bản cho việc xác minh đầu tiên đã hoàn tất được hợp nhất và chuyển đến lớp logic kinh doanh. **Lớp logic kinh doanh cung cấp thông báo lỗi cho người dùng trong trường hợp có lỗi dữ liệu.**

Phần tối ưu hóa HSC nhận lệnh thực thi triển khai tối ưu của người dùng, ID tình huống mục tiêu và các tham số triển khai tối ưu (ví dụ: số lượng HRS, dung lượng của HRS và chi phí vận chuyển). Sau đó, nó được chuyển đến lớp logic kinh doanh để tối ưu hóa.

Kết quả tối ưu hóa HSC và thành phần trực quan hóa nhận thông tin chi tiết về các địa điểm cần thiết, các địa điểm ứng cử HRS và PF từ lớp logic kinh doanh và trực quan hóa thông tin bằng cách sử dụng bản đồ.

Thành phần quản lý dữ liệu về nhu cầu/nap nhiên liệu/sản xuất đóng vai trò trong việc nhận thông tin dữ liệu tham chiếu về nhu cầu, HRS và PF từ người dùng và chuyển giao nó cho lớp logic kinh doanh. **Dữ liệu tham chiếu đề cập đến bộ dữ liệu cần thiết mà người dùng nhập khi thông tin về nhu cầu, HRS và các trang PF không đủ. Dữ liệu tham chiếu về nhu cầu bao gồm dữ liệu được tạo trước về khối lượng nhu cầu hydro được lấy từ các tài liệu chính sách của chính phủ Hàn Quốc. Dữ liệu tham chiếu về HRS bao gồm tọa độ GPS, tình trạng và năm lắp đặt, và công suất. Tương tự, dữ liệu tham chiếu cho PF chứa tọa độ GPS, công suất sản xuất và các loại hydro như khí và lỏng.**

Lớp logic kinh doanh

Mô-đun quản lý tình huống xác minh dữ liệu tình huống được thu thập từ lớp trình bày và cấu hình lại thành định dạng phù hợp để lưu trữ. Sau đó, mô-đun chuyển dữ liệu đã xử lý đến lớp lưu trữ dữ liệu và điều hướng nó để được lưu trữ.

Mô-đun tối ưu hóa chịu trách nhiệm tối ưu hóa vị trí của HRSs và kế hoạch HSC dưới dữ liệu kịch bản. Sau khi nhận thông số tối ưu hóa từ người dùng thông qua lớp trình bày, mô-đun truy xuất dữ liệu kịch bản liên quan và áp dụng logic tối ưu hóa vào dữ liệu đã truy xuất. Sau đó, sắp xếp tối ưu được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu để sử dụng trong tương lai bởi người dùng.

Mô-đun tìm kiếm kết quả tối ưu truy xuất và cung cấp kết quả tối ưu cho người dùng. Mô-đun nhận ID kịch bản từ lớp trình bày như một đầu vào chính. Tận dụng

Khi có ID kịch bản, module tìm kiếm kết quả sắp xếp tối ưu được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu. Sau đó, các kết quả sắp xếp tối ưu được truyền đến lớp trình bày. Ngoài ra, module tìm kiếm kết quả tối ưu cung cấp kết quả tối ưu cho module tìm kiếm dữ liệu về nhu cầu/tiếp nhiên liệu/sản xuất, cho phép module sau cung cấp thông tin chi tiết về nhu cầu/tiếp nhiên liệu/sản xuất trong kết quả tối ưu.

Mô-đun tìm kiếm dữ liệu về nhu cầu, nhiên liệu và sản xuất tìm kiếm trong cơ sở dữ liệu thông tin về địa điểm nhu cầu liên quan, địa điểm ứng cử HRS và PF sau đó chuyển giao nó cho lớp trình bày.

Mô-đun quản lý dữ liệu về yêu cầu/ nạp nhiên liệu/sản xuất lưu trữ thông tin dữ liệu tham chiếu nhận được từ lớp trình bày trong cơ sở dữ liệu. Thông tin dữ liệu tham chiếu được truyền đến mô-đun tính khoảng cách, tính toán khoảng cách giữa dữ liệu đã lưu trữ và dữ liệu tham chiếu mới được thêm vào. Nó bao gồm thông tin về ứng viên trạm yêu cầu/nạp nhiên liệu/cơ sở sản xuất.

Cuối cùng, mô-đun tính toán khoảng cách sử dụng thông tin dữ liệu tham chiếu nhận được để tính toán khoảng cách và lưu kết quả vào cơ sở dữ liệu.

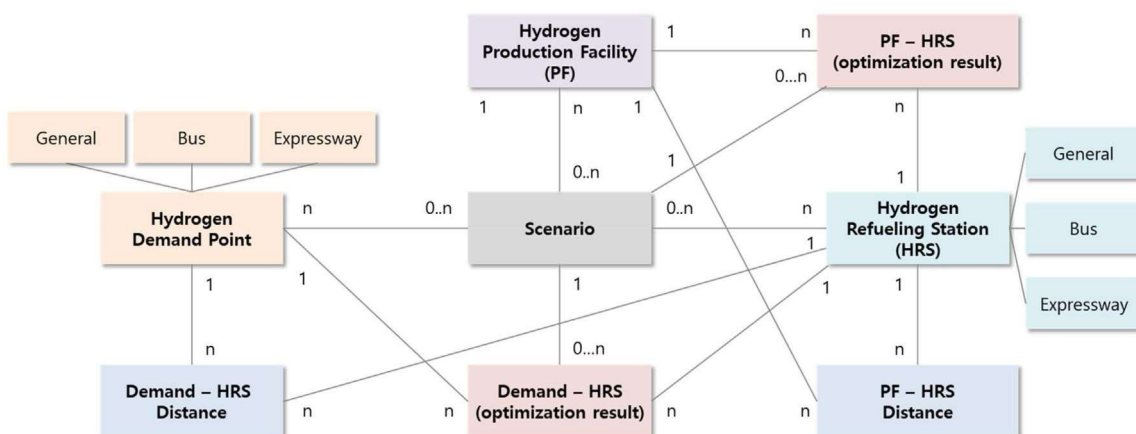
Lớp lưu trữ dữ liệu

Biểu đồ mối quan hệ thực thể (ERD) trong Hình 5 cho thấy cấu trúc dữ liệu của DSS. Phương pháp ERD thường được sử dụng để mô hình dữ liệu bằng cách sử dụng thông tin mối quan hệ giữa các thực thể. Mô hình dữ liệu bao gồm tám thực thể: một kịch bản, ba địa điểm (điểm cầu nhu cầu hydro, HRSs và PFs), hai khoảng cách (từ nhu cầu đến HRSs và từ PFs đến HRSs), và hai phân bố cho mỗi kết quả tối ưu hóa. Thực thể kịch bản bao gồm thông tin kịch bản do người dùng xác định như tên, năm và khu vực mục tiêu. Các thực thể địa điểm đại diện cho thông tin dữ liệu tham chiếu vĩ độ và kinh độ nơi xảy ra nhu cầu hoặc nơi HRSs và PFs được đặt. Các thực thể Nhu cầu và HRS được chia thành đường chính, cao tốc và xe buýt. Các thực thể phụ cho mỗi loại được cấu hình thêm. Các thực thể khoảng cách quản lý khoảng cách thực tế và thời gian di chuyển giữa hai điểm và sử dụng thông tin khoảng cách này cho việc tối ưu hóa. Cuối cùng, các thực thể phân bố quản lý mối quan hệ kết nối được suy ra từ kết quả tối ưu hóa.

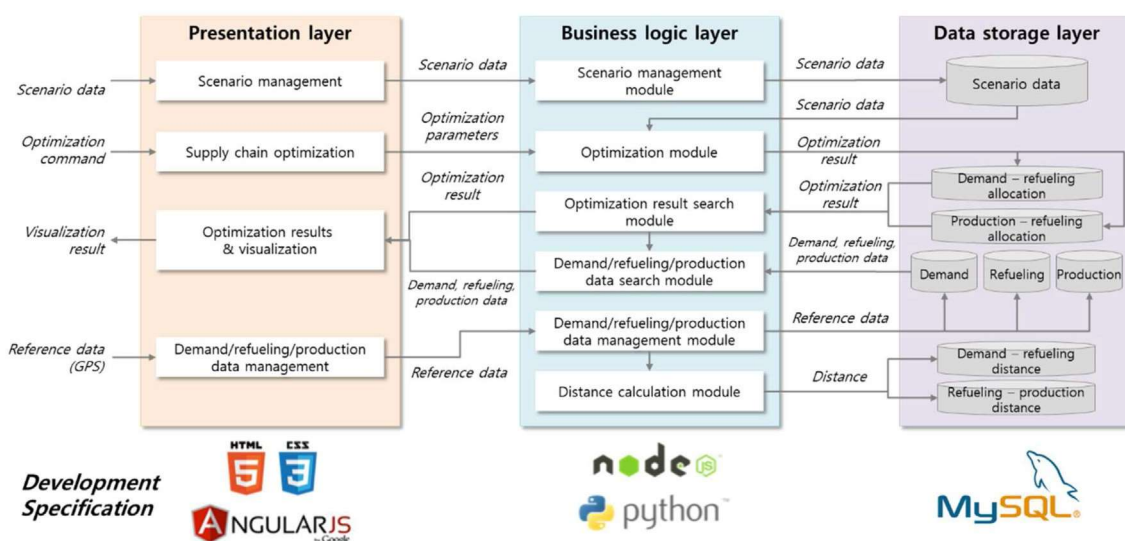
Phát triển hệ thống

Đặc tả phát triển

Đặc tả phát triển được hiển thị trong Hình 6. AngularJS là khung ứng dụng một trang (SPA) dựa trên ngôn ngữ đánh dấu siêu văn bản (HTML), biểu định kiểu xếp tầng (CSS) và JavaScript được sử dụng để phát triển lớp trình bày. Đối với lớp logic nghiệp vụ, node.js và python đã được sử dụng. Trong khi nút.js kết nối và quản lý cơ sở dữ liệu, công cụ tối ưu hóa hydro được phát triển trong python được kết nối và thực thi, sau đó kết quả tối ưu hóa được hiển thị với node.js vào cơ sở dữ liệu. Ngoài ra, phần được phát triển với node.js và python được triển khai dưới dạng giao diện lập trình ứng dụng (API) để dữ liệu có thể được



Hình 5 e Mô hình dữ liệu.



Hình 6 e Đặc tả phát triển.

được xử lý thông qua yêu cầu giao thức truyền siêu văn bản (HTTP) trong lớp trình bày. Cơ sở dữ liệu được xây dựng bằng MySQL.

Giao diện người dùng và chức năng

Màn hình chính của DSS và các chức năng người dùng được hiển thị trong Hình 7.

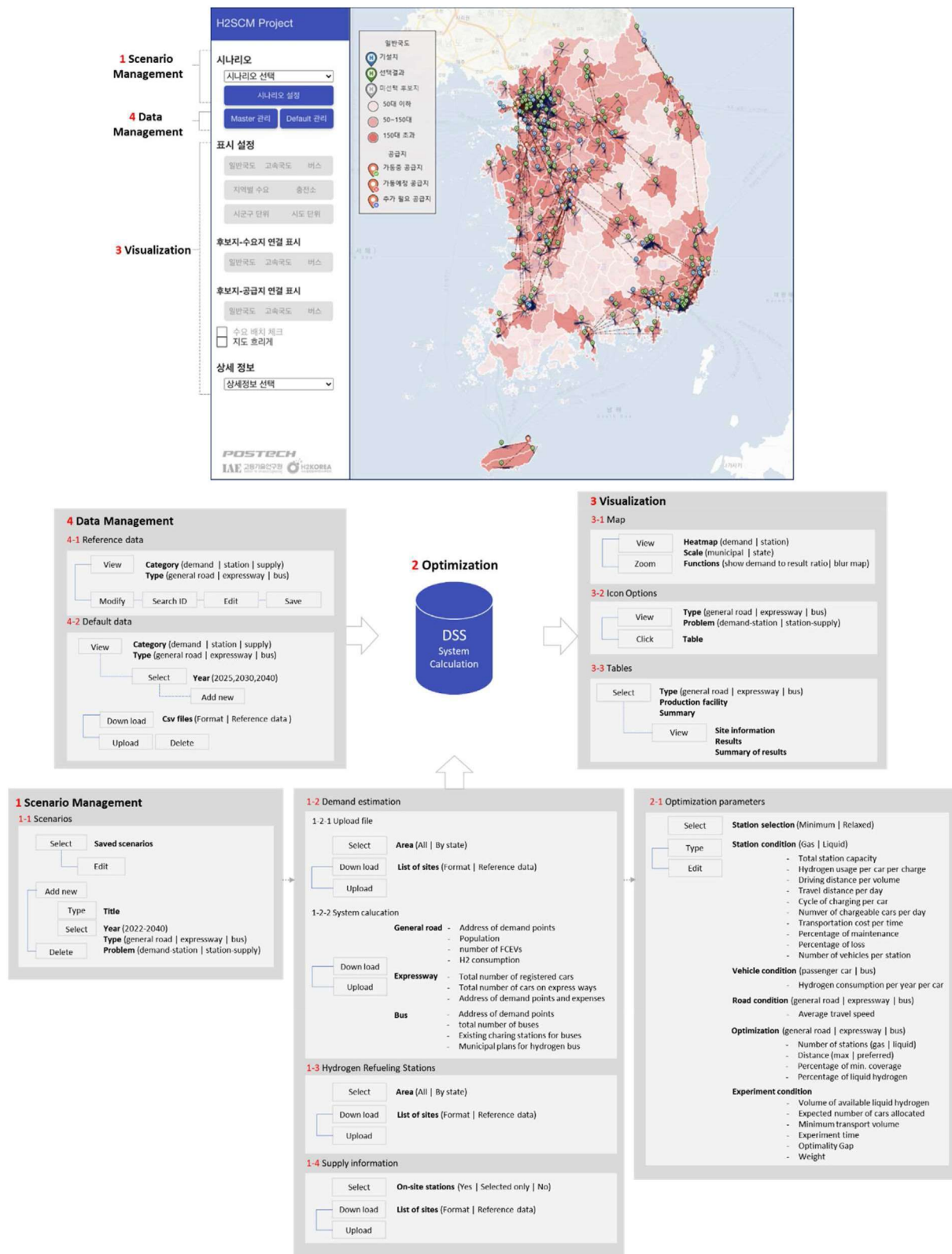
Trong cửa sổ quản lý kịch bản (1), người dùng có thể tạo một kịch bản mới hoặc chọn một kịch bản đã lưu trước đó. Để tạo một kịch bản mới (1-1), người dùng có thể nhập tiêu đề kịch bản và chọn năm, loại và vấn đề. Loại bao gồm đường chính, cao tốc và xe buýt, sau đó chọn giải pháp hai bước cho nhu cầu đến trạm và trạm đến cung cấp. Ngoài ra, các kịch bản có thể được tải và xóa. Ở giai đoạn ước lượng nhu cầu (1e2), người dùng có thể tải lên tệp dữ liệu hiện có hoặc sử dụng tính toán hệ thống. Việc nhập dữ liệu là bắt buộc, chẳng hạn như thống kê dân số theo quận hành chính, số lượng

HFCV được lên kế hoạch bởi bang và dữ liệu tiêu thụ hydro hàng năm theo loại phương tiện giao thông. Những dữ liệu này được cung cấp dưới dạng tệp giá trị được phân tách bằng dấu phẩy (CSV) với

Vị trí của các điểm cầu. Người dùng cũng có thể chọn khu vực mục tiêu ở cấp độ bang. Đối với các tùy chọn HRS (1e3), người dùng có thể nhập vị trí của các trạm ứng cử viên và chọn khu vực mục tiêu ở cấp độ bang. Đối với thông tin cung cấp (1e4), người dùng có thể nhập vị trí của PF. Ngoài ra, người dùng có thể quyết định liệu có bao gồm HRS tại chỗ như PF nếu lượng hydro không đủ từ PF hiện có.

Tối ưu hóa (2) được tính tự động trong hệ thống. Người dùng có thể kiểm tra trạng thái xử lý thông qua thanh tiến trình. Trước khi tính toán, người dùng cũng có thể nhập hoặc chỉnh sửa giá trị của các tham số tối ưu hóa (2e1) liên quan đến trạm, phương tiện, đường, tối ưu hóa và điều kiện thí nghiệm. Các giá trị được cung cấp ban đầu với dữ liệu mặc định.

Phân hiển thị hình ảnh hiển thị kết quả kịch bản (3). Số lượng ước lượng nhu cầu và các trạm HRS được chọn trên bản đồ (3e1) được cung cấp dưới dạng bản đồ nhiệt. Các chức năng khác, như làm mờ hoặc thu phóng vào và ra, được cung cấp để tiện cho người dùng. Người dùng có thể thay đổi cài đặt hình ảnh thông qua các tùy chọn biểu tượng (3e2), các cài đặt hiển thị này cho thấy kết quả cho mỗi loại và vấn đề. Các biểu tượng của các trạm và liên kết kết nối sẽ được hiển thị trên bản đồ khi được chọn.



Hình 7 e Giao diện người dùng và chức năng.

Người dùng có thể nhận thông tin chi tiết và kết quả từ các

bảng tóm tắt (3-3). Ví dụ, thông tin về trạm bao gồm tên của trạm, vị trí của huyện hoặc hướng cao tốc, dạng hydro như

khí.	và chất lỏng, và số lượng phương tiện tối đa và dung tích hydro. Thông tin về trang web sản xuất bao gồm năm xây dựng, mức sản xuất tối thiểu và tối đa, chi phí xây dựng, chi phí vận hành hàng năm, đơn vị.
------	---

chi phí sản xuất, phương pháp sản xuất và phương pháp chế tạo. Người dùng cũng có thể kiểm tra kết quả tóm tắt về các liên kết giữa HRSs và sản xuất, như tổng số đơn vận hành, tổng số phương tiện được phân bổ và tỷ lệ sử dụng.

Ngoài việc nhập liệu từ người dùng, quản trị viên cũng có thể quản lý dữ liệu tham chiếu và mặc định thông qua các tùy chọn quản lý dữ liệu.

(4). Dữ liệu tham chiếu (4e1) có thể được cập nhật để phản ánh các thay đổi bằng cách quản lý các ID của các điểm cầu, các trang web ứng cử HRS và danh sách PF. Ví dụ, các quản trị viên có thể thêm ID mới trong trường hợp các trạm mới được xây dựng. Hơn nữa, các quản trị viên có thể thay đổi dữ liệu mặc định (4e2) được cung cấp trong mỗi năm được chỉ định, vì nhu cầu và cung cấp có thể thay đổi theo thời gian.

Đánh giá DSS

Biểu diễn

Hai kịch bản đã được thiết lập và thể hiện để đánh giá hiệu suất của DSS, như được thể hiện trong Bảng 1. Chúng tôi đã chọn những kịch bản này để hiệu quả thể hiện chức năng của DSS, xem xét sự sẵn có hiện tại của dữ liệu. Các đầu vào mô hình bao gồm nhu cầu hydro, cung cấp và cấu hình trạm. Trong kịch bản A, dự kiến cho năm 2025, tổng nhu cầu hydro cho 200.000 ô tô hạng nhẹ, 4600 xe buýt, 100 xe taxi và 900 xe tải được ước lượng là 79.201 tấn mỗi ngày. Trong Kịch bản B, dự kiến cho năm 2030, nhu cầu sẽ tăng lên 377.350 tấn mỗi ngày để đáp ứng nhu cầu nhiên liệu của 835.000 ô tô, 20.000 xe buýt, 10.000 xe taxi và 10.000 xe tải. Sản xuất hydro có thể là sản phẩm phụ hoặc phương pháp reforming bằng hơi nước. Cơ sở sản xuất bao gồm 20 đến 21 PF hiện có và HRS trên chỗ phục vụ như các cơ sở sản xuất hydro nhỏ mà số lượng sẽ phụ thuộc vào việc lựa chọn HRS trước tối ưu HSC. Ban đầu, 750 HRS có thể được lắp đặt cho sản xuất trên chỗ nếu hydro không đủ từ các PF hiện có. Loại hydro là khí hoặc lỏng, và phương pháp vận chuyển là xe trailer ống và xe tải chứa. Chi phí vận chuyển là 1 Won Hàn Quốc (KRW) cho khí và 1.527 KRW cho hydro lỏng. Vào năm 2025, sẽ có 450 HRS được lắp đặt, với 660 kế hoạch cho năm 2030. Số lượng tối đa của các trạm theo loại là 450 cho.

gas và 170 cho chất lỏng vào năm 2025, điều đó có nghĩa là một số địa điểm ứng cử không thể lắp đặt bộ sạc hydro lỏng. Dung tích mặc định cho mỗi trạm được đặt ở mức 0,5 tấn mỗi ngày, điều mà thí nghiệm sẽ xác định tổng dung tích hydro để nạp nhiên liệu và dung tích thực tế cho mỗi trạm.

Kết quả

Kết quả trình diễn DSS được trình bày trong Hình. 8e10. Quả sung. Hình 8 và 9 trình bày giải pháp toàn quốc về đường chung, đường cao tốc và xe buýt cho Kịch bản A và B. Nó cung cấp cái nhìn tổng quan về những thay đổi giữa hai kịch bản. Ngoài ra, hình 10 mô tả chi tiết những thay đổi về nhu cầu tới các ga, tập trung vào khu vực đô thị Seoul. Cuối cùng, Hình 11 thể hiện kết quả từ trạm đến nguồn cung cấp với các PF được chọn gần khu vực đô thị Seoul.

Hình 8 hiển thị kết quả của Kịch bản A và B, các địa điểm ứng cử viên được chọn và nguồn cung cấp hydro cho các trạm. Kết quả tối ưu hóa chi tiết xuất hiện trong bảng tóm tắt (xem Hình 9).

Trong Kịch bản A, trong số 7599 địa điểm đề xuất, 224 trạm đã được lắp đặt, bao gồm 157 trạm khí và 67 trạm lỏng. Như vậy, 98,4% trong tổng số 230.199 HFCV có thể được sạc và tổng lượng hydro vận chuyển là 34 tấn. Thời gian di chuyển trung bình của mỗi xe là 13,24 phút và quãng đường di chuyển trung bình là

9,13 km. Trong số các vị trí trên đường cao tốc, có 128 trạm được lắp đặt, đáp ứng nhu cầu 99,6% tổng phương tiện. Về xe buýt, đã có 98 bến được thành lập, đáp ứng 95,7% tổng nhu cầu. 20 PF hiện tại đáp ứng 98,7% tổng nhu cầu hydro từ HRS, với công suất 245 tấn cho 320.412 chiếc xe.

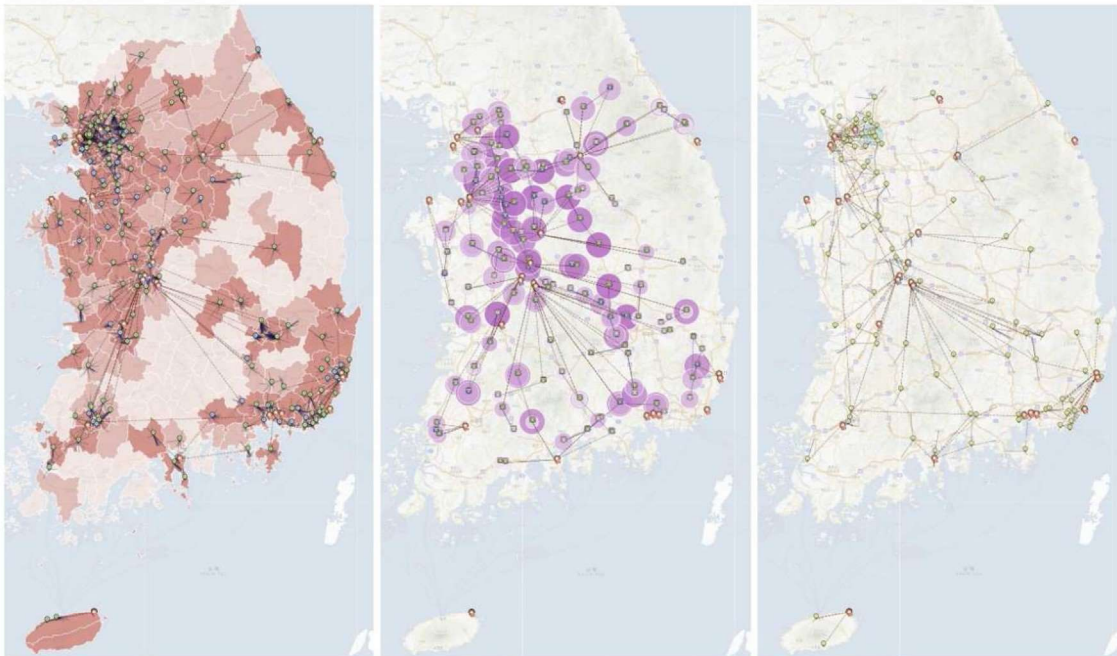
Tương tự, trong Kịch bản B, đã được lắp đặt 326 trong số 7615 trạm nạp nhiên liệu tiềm năng, 315 cho xăng và 11 cho chất lỏng. Trong số 1.220.720 phương tiện, có thể sạc được 67,9%, và tổng lượng hydro được vận chuyển là 124,3 tấn. Thời gian di chuyển trung bình mỗi phương tiện giảm xuống còn 2,9 phút, và quãng đường di chuyển trung bình là 2,35 km. Hơn nữa, đã được lắp đặt 188 trạm trên các xa lộ, phục vụ 77,5% nhu cầu phương tiện, trong khi 146 trạm phục vụ nhu cầu xe buýt, chiếm 40,5%. 21 trạm nạp nhiên liệu hiện có đáp ứng 70,2% nhu cầu hydro, tổng cộng 703,7 tấn cho 1.205.704 đơn vị phương tiện.

Bảng 1 và Kịch bản kiểm tra.

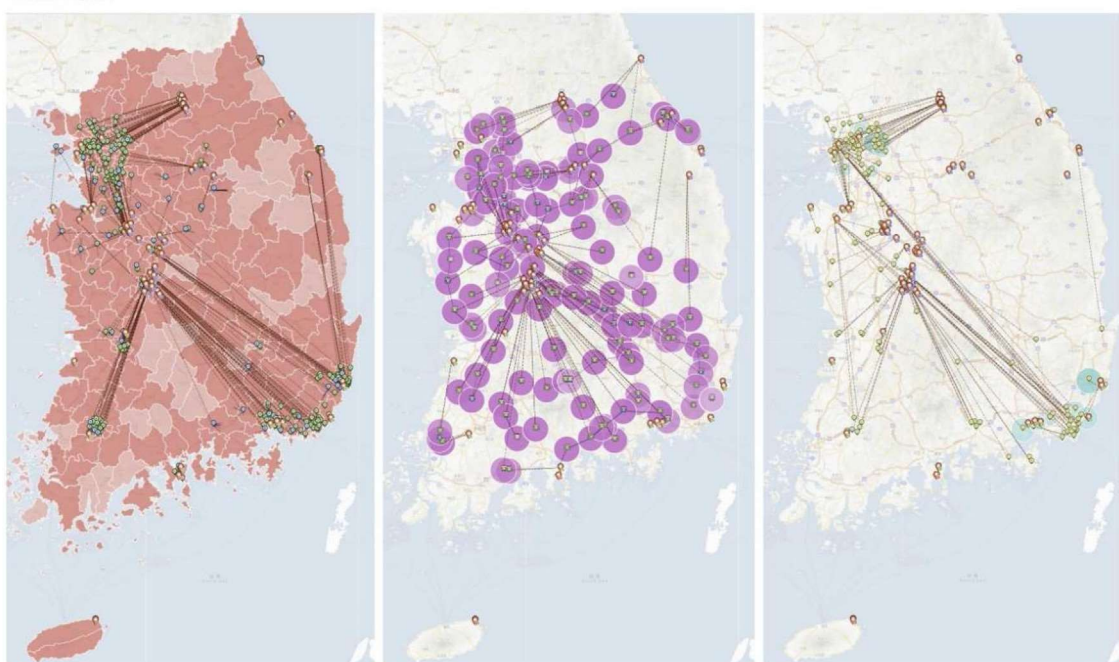
Tùy chọn		Kịch bản A		Kịch bản B	
Năm		2025		2030	
Ước lượng nhu cầu	Xe hơi hành khách	200,000 (xe hơi)	30,000 tấn	835,000 (xe hơi)	125,250 tấn
	Xe buýt	4600 (xe hơi)	44,620 tấn	20,000 (xe hơi)	194.000 tấn
	Xe taxi	100 (xe hơi)	81 tấn	10,000 (xe hơi)	8100 tấn
	Xe tải	900 (xe hơi)	4500 tấn	10,000 (xe hơi)	50,000 tấn
	Tổng	79,201 tấn		377,350 tấn	
Chuỗi Cung Ứng Hydro (HSC)	Phương pháp sản xuất	Sản phẩm phụ/Tái cấu trúc hơi.		Sản phẩm phụ/Tái cấu trúc hơi.	
	Cơ sở sản xuất (PF)	20		21	
	Có thể có HRS trên cơ sở.	750		750	
	Loại hydro.	Gas	Lỏng	Gas	Lỏng

Trạm nạp hydro (HRS)	Chế độ vận chuyển	Xe rơ moóc ống	Xe tăng chứa	Xe rơ moóc ống	Xe tăng chứa
	Chi phí vận chuyển	1 (KRW)	1.527 (KRW).	1 (KRW)	1.527 (KRW).
	Số lượng tối đa các trạm theo loại	450	170	660	70
	Sức chứa mặc định mỗi trạm	0.5 tấn/ngày	0.5 tấn/ngày	0.5 tấn/ngày	0.5 tấn/ngày
	Tổng số trạm	450		660	

Scenario A



Scenario B



General road

Expressway

Bus



Kết quả của các kịch bản kiểm tra theo đường chính, đường cao tốc và xe buýt.

Hình 10 minh họa sự khác biệt về điểm cầu tới các trạm giữa hai kịch bản trong khu vực đô thị Seoul. Số xe được

phân bổ tăng từ 23.834 lên 37.605. Đến năm 2030, số trạm HRSs sẽ tăng từ 14 lên 18 trạm và.

các đơn vị sạc, có thể được lắp đặt theo nhiều bộ, sẽ tăng từ 60 lên 180. Tỷ lệ sử dụng trung bình của HRSs tăng từ 88% lên 100%, với tối đa là 100% và tối thiểu dao động từ 50,3% đến 99,7%. Những kết quả này ngụ ý rằng

(Scenario A) HRS deployment and HSC optimization in 2025, national-level

	General road	Expressway	Bus	Production facility
No. of demand points	3,434	206	352	-
No. of candidate sites	7,599	206	416	8 (onsite)
No. of production facility	-	-	-	20
Total no. of charging facility	450			-
Total no. of selected stations	450			-
No. of selected stations	224	128	98	-
No. of gas stations	157	128	80	-
No. of liquid stations	67	0	18	-
Total no. of cars allocated	230,199	89,745	4,600	324,544
No. of covered demand (cars)	226,586	89,426	4,400	320,412
Ratio of covered demand	98.4%	99.6%	95.7%	98.7%
Total hydrogen transported (ton/day)	34	13.4	42.2	245
Travel time per car (min)	13.24	11.93	5.03	29.3
Travel distance per car (km)	9.13	11.93	3.84	48.9

(Scenario B) HRS deployment and HSC optimization in 2030, national-level

	General road	Expressway	Bus	Production facility
No. of demand points	3,452	210	368	-
No. of candidate sites	7,615	210	425	57 (onsite)
No. of production facility	-	-	-	21
Total no. of charging facility	660			-
Total no. of selected stations	660			-
No. of selected stations	326	188	146	-
No. of gas stations	315	188	97	-
No. of liquid stations	11	0	49	-
Total no. of cars allocated	1,220,720	476,171	20,000	1,716,891
No. of covered demand (cars)	828,675	368,927	8,102	1,205,704
Ratio of covered demand	67.9%	77.5%	40.5%	70.2%
Total hydrogen transported (ton/day)	124.3	55.3	77.8	703.7
Travel time per car (min)	2.9	3.66	0	50.4
Travel distance per car (km)	2.35	3.66	0	84

Bảng Tóm tắt kết quả kịch bản.

các trạm không được lựa chọn vào năm 2025 đã được lựa chọn vào năm 2030 với tỷ lệ khai thác tăng lên. Ví dụ: vào năm 2025, một trạm được xây dựng sẵn (B0011416) có một bộ sạc loại khí được phân bổ cho 1317 phương tiện, với tỷ lệ sử dụng 100% đáp ứng toàn bộ nhu cầu trong khu vực. Đến năm 2030, ba trạm bổ sung đã được chọn gần đó, mỗi trạm có hai trạm sạc xăng có khả năng phục vụ 2439 xe mỗi trạm.

Mạng lưới HSC được trình bày trong Hình 11. Vào năm 2025, sẽ có ba cơ sở sản xuất ở vùng lân cận Seoul: HRS tại chỗ Sangam (P13), Inch A sử dụng phương pháp cải cách (P6) và Inch B sản xuất bởi -sản phẩm hydro (P16). Khối lượng sản xuất P16 lớn nhất dao động từ 41 đến

82 tấn mỗi ngày, cung cấp khí hydro cho 97 HRS, bao gồm 58 đường công cộng, 9 đường cao tốc và 30 xe buýt. Với tỷ lệ sử dụng 100% là 82.003 chiếc xe, lượng cung cấp tương đương với tổng sản lượng là 200.000 tấn. P6 có thể cung cấp khí hydro cho hai trạm sạc xe buýt, với tổng sản lượng là 3171 tấn. Trong trường hợp trạm tại chỗ P13 Sangam, khí hydro sẽ được cung cấp với tỷ lệ vận hành 100% trên 9366 tấn của 3840 phương tiện vận chuyển đến 5 HRS, bao gồm 4 đường chung và 1 bến xe. Vào năm 2030, các PF này sẽ hoạt động hết công suất và cần phát triển thêm nhiều PF để đáp ứng nhu cầu của khu vực. Nhà cung cấp chính cho các ga ở khu vực đô thị Seoul sẽ ở khu vực phía đông Gangwon, nơi chín ga tại chỗ sẽ được tăng cường để đáp ứng nhu cầu của khu vực. Do sản lượng tối thiểu 4,36 tấn/ngày vượt quá công

suất 0,5 tấn/ngày của một HRS tại chỗ nên địa điểm cần có

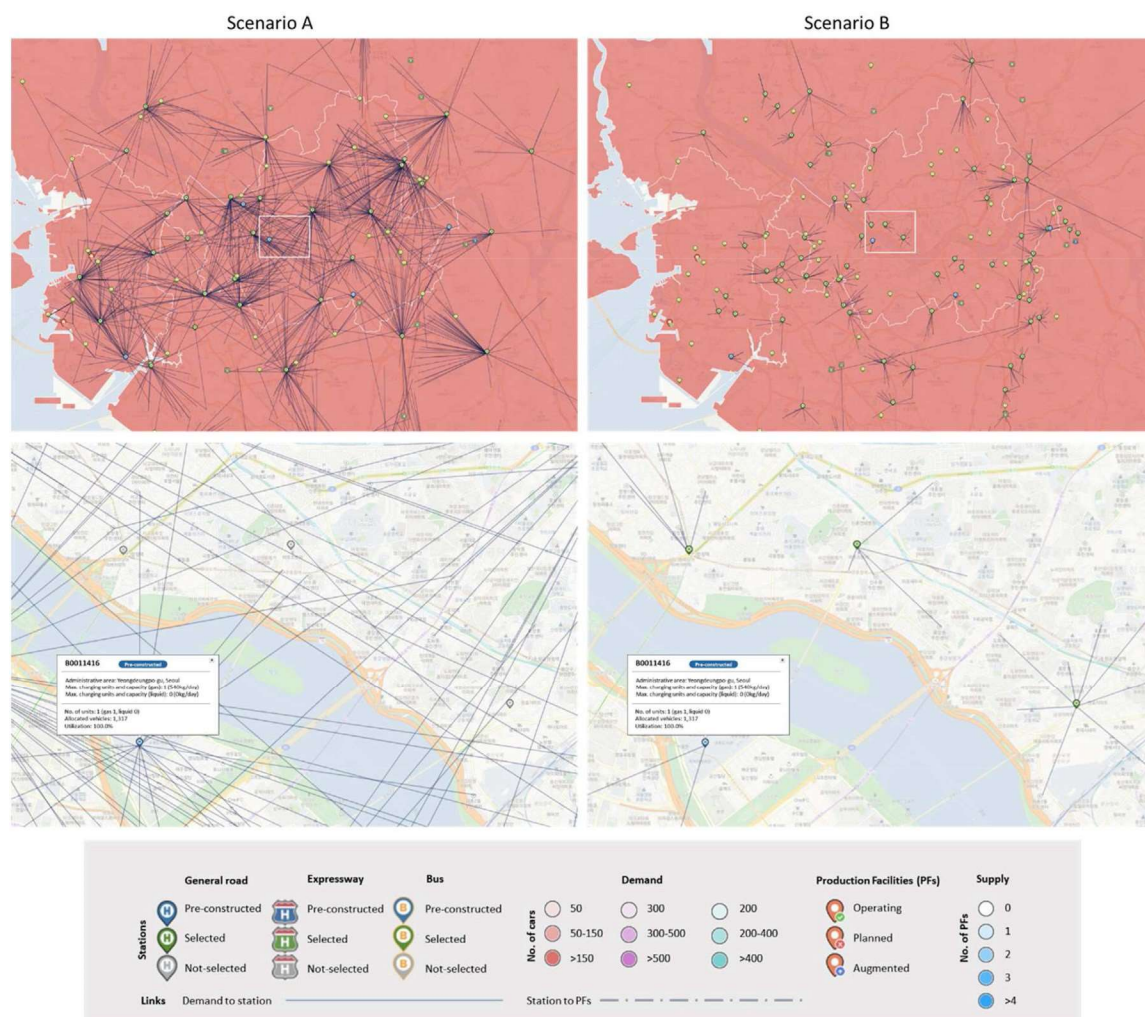
thêm các cơ sở sản xuất quy mô lớn để đáp ứng nhu cầu trong khu vực.

Hệ thống giới thiệu DSS đã chứng minh rằng hệ thống hoàn toàn hoạt động trong việc giải quyết các kịch bản năm 2025 và 2030 tại Cộng hòa Hàn Quốc. Người dùng có thể tạo và so sánh sự thay đổi giữa hai kịch bản, tối ưu hóa các giải pháp trên toàn quốc với phân tích cấp địa phương, và kiểm tra kết quả trên mỗi điểm quan tâm. Kết quả có thể được hiển thị trong hai bước: từ nhu cầu đến trạm để chọn HRS và từ các trạm đến các PF để tối ưu hóa HSC. Hệ thống DSS cũng cho phép phân tích cá nhân về đường bộ chung, cao tốc và xe buýt.

Đánh giá người dùng

Chúng tôi đã tiến hành đánh giá người dùng với năm chuyên gia tham gia cuộc phỏng vấn từ đầu quá trình phát triển DSS. Danh sách kiểm tra đã được cung cấp để đánh giá DSS và xác nhận việc đáp ứng yêu cầu thiết kế (xem Hình 12). Mỗi tính năng được phản ánh trong bốn danh mục của các thành phần lớp DSS: quản lý kịch bản, tối ưu hóa, trực quan hóa và quản lý dữ liệu. Người dùng cũng đã đánh giá DSS một cách chất lượng bằng cách trả lời các câu hỏi mở về trải nghiệm của họ khi sử dụng hệ thống. Kết quả như sau.

Hệ thống DSS cung cấp tiện ích cho người dùng, các tình huống và đa dạng tham số, cùng với khả năng trực quan xuất sắc. Hệ thống cho phép kiểm tra vị trí HRS, có thể được kiểm tra trực tiếp trên bản đồ thông qua trực quan hóa. Tiện ích này được đánh giá cao, vì việc lựa chọn địa điểm trạm có thể gặp khó khăn.



Kết quả của yêu cầu trò đến các trạm trong khu vực đô thị Seoul.

Ngoài ra, DSS phù hợp để triển khai HRS, vì người dùng có thể tạo nhiều kịch bản và phản ánh các thông số khác nhau. Ước lượng chi tiết về cầu và cung cấp và các tùy chọn biến phong phú cho phép có kết quả chính xác hơn trong việc lựa chọn địa điểm. Cuối cùng, chức năng chọn của các màn hình là tiện lợi và hữu ích.

Tuy nhiên, sự phức tạp và cần phải bổ sung trải nghiệm người dùng đã được xác định là nhược điểm. Với tính linh hoạt, hệ thống trở nên phức tạp hơn đối với người dùng. Ví dụ, quá trình thiết lập kịch bản đòi hỏi nhiều đầu vào dữ liệu. Tuy nhiên, quá nhiều tùy chọn để thay đổi các tham số khác nhau làm cho việc sử dụng hệ thống trở nên khó khăn đối với người dùng thông thường, như các quan chức chính phủ địa phương hoặc nhà điều hành kinh doanh. Ngoài ra, các nhà đánh giá yêu cầu cải thiện trong quá trình phát hiện và thông báo lỗi đầu vào kịch bản và cung cấp thông tin về thời gian ước lượng cần thiết khi chờ xử lý tính toán.

Ngoài ra, chúng tôi đã tổ chức ba phiên hỏi ý kiến với người dùng chung, bao gồm các quan chức từ các công ty tư nhân và công ty công cộng liên quan đến hydro. Có năm quan chức địa phương từ các tỉnh; ba chuyên gia từ các công ty tư

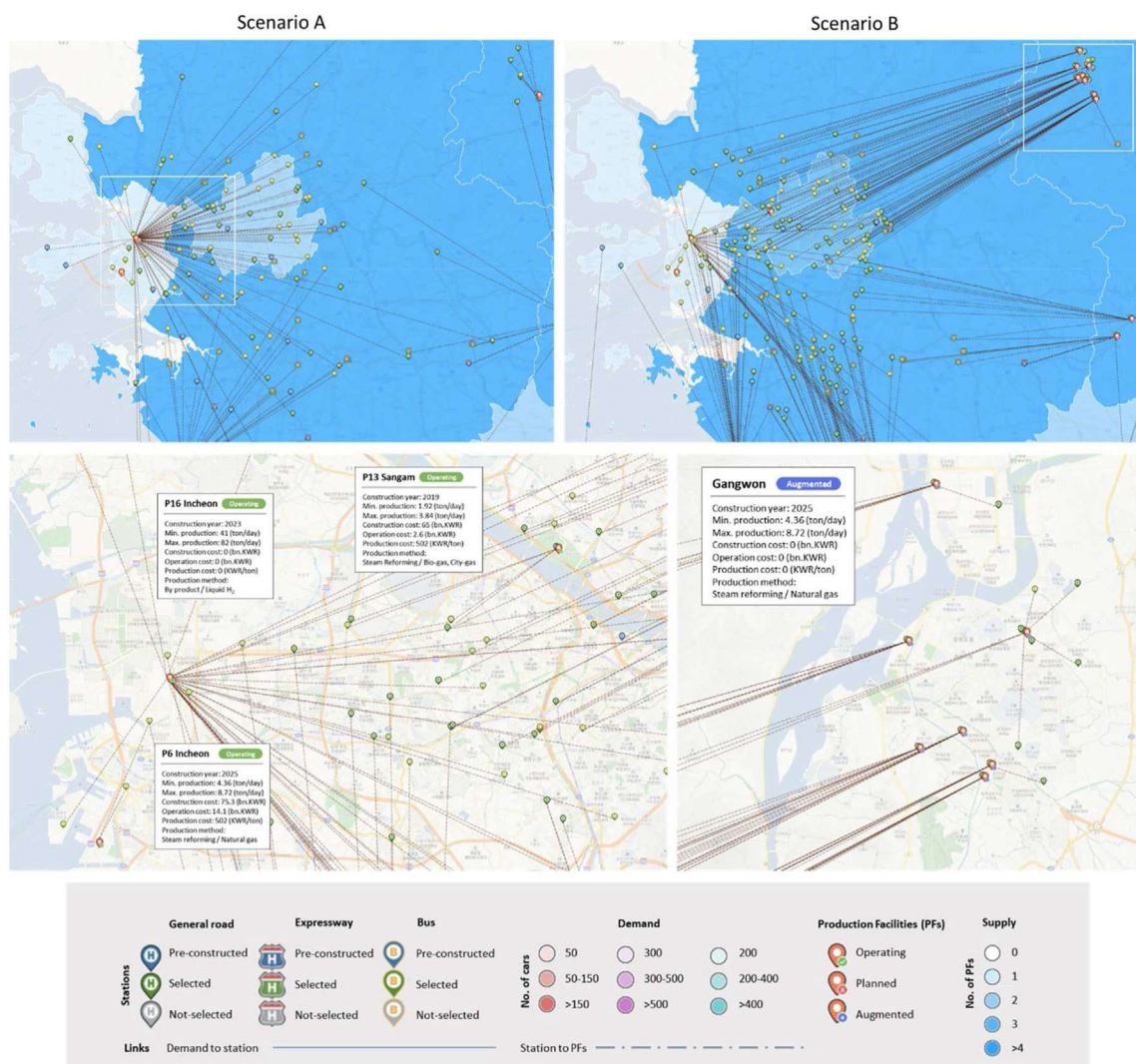
nhân và công ty công cộng trong ngành công nghiệp hydro, sáu quan chức từ Viện Đánh giá và Lập kế hoạch Công nghệ Năng lượng Hàn Quốc.

H2Korea đã tuyển dụng những người được phỏng vấn này vì họ cung cấp một nền tảng quan trọng để kết nối các chuyên gia hydrogen trong ngành công nghiệp và giáo dục đại học tại Hàn Quốc.

Trong buổi phản hồi, mẫu DSS đã được giới thiệu và thực hiện một cách ngắn gọn; sau đó, người dùng đã có cơ hội tạo ra các kịch bản thực tế và đưa ra ý kiến của họ thông qua các câu hỏi mở. Kết quả, người dùng chỉ ra năm điểm chính cho việc phát triển DSS trong tương lai.

Đầu tiên, người dùng đã bày tỏ mong đợi rằng DSS sẽ cung cấp một loạt các lựa chọn rộng hơn cho nguồn cung cấp hydro. Cụ thể, họ đã hỏi về việc cải thiện mô hình DSS để phù hợp với hướng công nghiệp hóa công nghệ, xem xét sở thích của thị trường đối với hydro lỏng và cung cấp qua đường ống. Ngoài ra, người dùng đã đề xuất rằng DSS nên có khả năng tính toán các lựa chọn tự cung cấp trong khu vực cho các phương tiện địa phương. Ví dụ, trong trường hợp thiếu hụt sản xuất, DSS có thể đề xuất các trạm nạp hydro tại chỗ sử dụng phương pháp điện phân nước hoặc phương pháp chiết xuất thay vì di chuyển đến tỉnh láng giềng.

Thứ hai, người dùng yêu cầu thông tin bổ sung về HRSs. Họ đề cập đến việc bao gồm thông tin giá hydro và xác định loại hydro, chẳng hạn như hydro xanh được sản xuất từ các nguồn năng lượng tái tạo.



Kết quả của HRSs đối với PFs trong khu vực đô thị Seoul.

Hơn nữa, khi chọn các địa điểm trạm ứng cử, người dùng nhấn mạnh về sự quan trọng của việc xem xét các yếu tố vượt ra ngoài tiêu chí đánh giá an toàn hiện có, như các khiếu nại dân sự gần đó. Thứ ba, người dùng nhấn mạnh về nhu cầu quản lý dữ liệu nhanh chóng và cập nhật trong hệ thống DSS. Họ nhấn mạnh về việc cập nhật cơ sở dữ liệu định kỳ để đảm bảo tính đáng tin cậy của hệ thống, vì thông số đầu vào chính xác là rất quan trọng. Người dùng cũng bày tỏ mong muốn về đồng bộ dữ liệu thời gian thực. Đóng góp vào sự phát triển tiếp theo của DSS.

Thứ tư, người dùng đã nhận ra tiềm năng của DSS trong việc xác định mô hình kinh doanh và nhấn mạnh sự cần thiết phải có bằng chứng thực nghiệm bổ sung về khả năng tồn tại của doanh nghiệp. Họ gợi ý rằng các mức giá cung cấp khác nhau cho từng cơ sở cung ứng có thể hỗ trợ quá trình ra quyết định của các cơ quan xây dựng HRS. Hơn nữa, việc thu thập dữ liệu về số lượng phương tiện chạy bằng hydro được cung cấp gần nhà ga và lưu lượng phương tiện giao thông có thể cung cấp cái nhìn sâu sắc về tính khả

thi trong kinh doanh, hỗ trợ thiết lập chính sách và vận hành nhà ga. Tuy nhiên, người dùng lưu ý rằng mức độ công bố thông tin cần được điều chỉnh để tránh gây bất lợi quá mức cho các nhà điều hành doanh nghiệp.

Cuối cùng, khả năng mở rộng của các kịch bản trong tương lai đã được nhấn mạnh. Người dùng đã thảo luận về việc mở rộng phạm vi thời gian của DSS đến năm 2050 và đề xuất bao gồm khả năng mô phỏng không chỉ cho việc lựa chọn địa điểm HRS mà còn cho cả hoạt động của trạm.

Cuộc thảo luận

DSS được phát triển cho các vấn đề HRS và HSC là một công cụ có giá trị để phát triển cơ sở hạ tầng hydro trong tương lai và mang lại một số lợi ích cho các bên liên quan. Thứ nhất, hệ thống có tính linh hoạt cao, cho phép người dùng tạo, sửa đổi và so sánh các kịch bản một cách dễ dàng. Người dùng có thể tạo ra nhiều tình huống khác nhau để giải quyết các vấn đề HRS và HSC cũng như tiến hành các thử nghiệm để ra quyết định trong nhiều điều kiện khác nhau. Thứ hai, DSS sử dụng quy trình thiết kế chuỗi cung ứng toàn diện, cho phép người dùng tiếp cận có hệ thống hơn để ước tính cung và cầu hydro khi triển khai các trạm. Hệ thống cũng hiển thị đồng thời vị trí của các trạm và mạng lưới sản xuất. Cuối cùng, DSS cung cấp giao diện thân thiện với người dùng, dữ liệu mặc định và thông tin thu được từ kế hoạch của chính phủ cho đến năm 2040. Người dùng có thể tùy chỉnh

Design Requirements	Design Features	Scenario management	Optimization	Visualization	Data management
DR1 Enable country level long-term planning	Spatial scope > National and local	<input checked="" type="checkbox"/> Designed to select scope of regions for problem solving		<input checked="" type="checkbox"/> Offered regional level heatmap and zoom in functions	<input checked="" type="checkbox"/> Included categories of the region based on the address
	Temporal scope > Diversified	<input checked="" type="checkbox"/> Offered default target years between 2020-2040 and options to type in values			<input checked="" type="checkbox"/> Offered default data by year
DR2 Consider both demand and supply aspects of HRS location problem	Demand > Forecasting	<input checked="" type="checkbox"/> Included demand calculation module and estimated values	<input checked="" type="checkbox"/> Considered estimated demand as an input for HRS model	<input checked="" type="checkbox"/> Showed heatmap for demand	
	Supply > Hydrogen supply chain (HSC) design	<input checked="" type="checkbox"/> Included location and information of production facilities	<input checked="" type="checkbox"/> Considered stations to HSC model	<input checked="" type="checkbox"/> Showed heatmap for station deployment	
	Two-step model HRS: Demand site - Refueling station HSC: Refueling Station – Production	<input checked="" type="checkbox"/> Designed select function for problem solving	<input checked="" type="checkbox"/> Separated two different modules in system	<input checked="" type="checkbox"/> Designed two different linkages for showing result	<input checked="" type="checkbox"/> Managed two data modules for distance calculation
DR3 Reflect domestic context for demand and candidate station site, and supply chain	HRS: Demand points and candidate station sites	<input checked="" type="checkbox"/> Included existing gas stations and CNG supply chain as candidate sites	<input checked="" type="checkbox"/> Divided general road, expressway, bus	<input checked="" type="checkbox"/> Designed icons and functions in each category	<input checked="" type="checkbox"/> Divided pathways and entities in data model
	HSC: Available options on hydrogen production, storage, transportation	<input checked="" type="checkbox"/> Considered on-site station as production facilities and included options to choose in or out		<input checked="" type="checkbox"/> Offered detail information with icon tables	<input checked="" type="checkbox"/> Included production method, type of hydrogen, and capacity
	HSC: Implementation plan from the government and local municipalities				<input checked="" type="checkbox"/> Included construction year of facilities and future options
DR4 Create adequate system environment	Web-based system		<input checked="" type="checkbox"/> Utilized both node.js and python for fast processing in business logic layer	<input checked="" type="checkbox"/> Considered real-time base map and http request in presentation layer	<input checked="" type="checkbox"/> Used MySQL for data storage layer
DR5 Develop user-centered DSS	Multiple user options	<input checked="" type="checkbox"/> Offered upload and download functions for CSV files for easier user modification		<input checked="" type="checkbox"/> Created various map visualization and selection options	<input checked="" type="checkbox"/> Offered master data management for system managers

Hình 12 e Danh sách kiểm tra để đánh giá người dùng.

kịch bản với dữ liệu và kế hoạch được cập nhật, đảm bảo hệ thống luôn phù hợp và hữu ích theo thời gian.

Tuy nhiên, đánh giá của người dùng cho thấy DSS đã trở nên phức tạp hơn để phản ánh các điều kiện khác nhau. Vì vậy, cần phải cải thiện giao diện người dùng theo mức độ phức tạp của nó. Vấn đề này sau đó đã được bổ sung bằng cách cung cấp hướng dẫn người dùng để tạo kịch bản với lời giải thích ngắn gọn về nền tảng phát triển DSS. Tuy nhiên, hệ thống có thể được cập nhật ở chế độ cơ bản hoặc nâng cao, phân biệt mức độ tùy chọn do người dùng tạo và lựa chọn các chức năng để cho phép người dùng phổ thông truy cập dễ dàng hơn.

Việc đánh giá được thực hiện với người dùng phổ thông đã nhấn mạnh tầm quan trọng của khả năng sử dụng thực tế của DSS. Phản hồi từ các công ty tư nhân và nhà nước liên quan đến lĩnh vực hydro nhấn mạnh sự cần thiết của mô hình để phản ánh chính xác các điều kiện thực tế. Cũng có sự quan tâm bày tỏ trong việc chứng minh khả năng tồn tại của doanh nghiệp và hoạt động của nhà ga. Ngoài ra, việc quản lý DSS, đặc biệt là về cập nhật dữ liệu kịp thời, nổi lên như một vấn đề quan trọng cần cân nhắc cho sự phát triển trong tương lai.

Kết luận và sự phát triển trong tương lai

Nghiên cứu này đã phát triển DSS dựa trên web cung cấp giải pháp thuận tiện cho sự phức tạp của các vấn đề HRS và HSC. DSS được thiết kế thông qua các cuộc phỏng vấn và tài liệu, tạo ra một mô hình và hệ thống tối ưu hóa cung

cấp các chức năng cần thiết. DSS được phát triển cung cấp mô hình giải pháp hai bước để phân tích các vấn đề HRS và HSC dài hạn ở cấp quốc gia. Nó cho phép người dùng tạo các kịch bản với các biến số và dữ liệu phù hợp nhất với điều kiện trong nước và tính toán cung cầu với nhiều không gian khác nhau.

và các tùy chọn phạm vi thời gian. Hơn nữa, các hệ thống dựa trên web cung cấp cho người dùng khả năng truy cập dễ dàng hơn và tính toán tuyến đường nhanh hơn trong thời gian thực, phân biệt nó với DSS không gian trước đây dành cho hydro hoặc các mô hình vị trí chủ yếu dựa trên GIS. Những phát hiện từ cuộc phỏng vấn và tài liệu đã góp phần cải thiện thiết kế DSS dành riêng cho HRS và HSC. DSS được phát triển đã được thử nghiệm thí điểm bởi một số chuyên gia về lĩnh vực.

Để nâng cao hơn nữa DSS, chúng tôi dự định mở rộng cơ sở người dùng của mình để bao gồm nhiều ý kiến đa dạng hơn. Mặc dù năm chuyên gia và 14 quan chức từ các tổ chức liên quan đến hydro đã tham gia vào quá trình phát triển và đánh giá, chúng tôi nhận thấy sự cần thiết phải có cơ sở người dùng rộng rãi hơn. Ngoài ra, chúng tôi dự định đưa vào nhiều yếu tố tối ưu hóa hơn, chẳng hạn như quy mô cơ sở hạ tầng và các cân nhắc về môi trường, bao gồm việc sử dụng năng lượng tái tạo và lượng khí thải carbon. Những tính năng này có thể được bổ sung bằng cách cải tiến mô hình trong tương lai và thiết kế chức năng thiết lập kịch bản để làm cho DSS hiệu quả hơn trong việc giải quyết các vấn đề HRS và HSC.

Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có lợi ích tài chính hoặc mối quan hệ cá nhân cạnh tranh nào có thể ảnh hưởng đến công việc được báo cáo trong bài viết này.

Sự nhìn nhận

Công trình này được hỗ trợ bởi Viện Quy hoạch và Đánh giá Công nghệ Năng lượng Hàn Quốc (KETEP) do