

HỘI KỸ THUẬT NỔ Mìn VIỆT NAM

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT NỔ Mìn VIỆT NAM LẦN THỨ I

**KỸ THUẬT NỔ Mìn TIỀN TIẾN
AN TOÀN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG**

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

LỜI NÓI ĐẦU

Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam là tổ chức xã hội - nghề nghiệp hoạt động trong các lĩnh vực khai thác mỏ, kỹ thuật nổ mìn, vật liệu nổ công nghiệp và bảo vệ môi trường, được thành lập theo Quyết định số 947/QĐ-BNV ngày 13 tháng 8 năm 2010 của Bộ Nội vụ. Trải qua quá trình hình thành và phát triển, Hội luôn kiên định mục tiêu kết nối đội ngũ chuyên gia, nhà khoa học, cơ quan quản lý và doanh nghiệp; đồng thời thúc đẩy chuyển giao tri thức, ứng dụng công nghệ tiên tiến, nâng cao năng lực quản lý - điều hành và thực hành an toàn trong công tác khoan - nổ mìn.

Thực tiễn sản xuất cho thấy yêu cầu đổi mới công nghệ, cập nhật tri thức quốc tế, kiểm soát rủi ro và giảm thiểu tác động môi trường trong nổ mìn ngày càng cấp thiết. Bên cạnh những thành tựu đã đạt được, lĩnh vực này vẫn đứng trước không ít thách thức: mức độ phổ cập các giải pháp công nghệ, kỹ thuật hiện đại còn chưa đồng đều; chia sẻ thông tin chuyên môn đôi khi chưa kịp thời; sự cố và tai nạn liên quan đến nổ mìn vẫn có thể xảy ra nếu thiếu chuẩn mực kỹ thuật và kỷ luật an toàn nghiêm ngặt. Điều đó đòi hỏi một diễn đàn khoa học - nghề nghiệp đủ uy tín để trao đổi học thuật, chia sẻ kinh nghiệm, lan tỏa các thực hành tốt và củng cố văn hóa an toàn.

Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học “Kỹ thuật nổ mìn tiên tiến, an toàn và thân thiện với môi trường VBEA-2025” của Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam tập hợp các bài viết do các tác giả từ khắp mọi miền đất nước gửi tới tham gia hội nghị. Đây là những kết quả nghiên cứu, tổng quan chuyên đề, giải pháp công nghệ và kinh nghiệm thực tiễn tiêu biểu đúng với chủ đề, đã được tuyển chọn, biên tập công phu, là minh chứng thuyết phục cho sự thành công của Hội nghị VBEA-2025.

Thông qua các bài viết này, Ban Khoa học hy vọng góp phần cung cấp thêm một nguồn tài liệu tham khảo có giá trị cho công tác quản lý, đào tạo, thiết

kế - thi công nỗ lực tại các đơn vị trong và ngoài ngành. Nhân dịp này chúng tôi cũng trân trọng cảm ơn các tác giả, các nhà khoa học, chuyên gia, các cơ quan quản lý và doanh nghiệp đã quan tâm, đồng hành, đóng góp về nội dung và hỗ trợ cho ấn phẩm sớm ra mắt bạn đọc.

Ban Tổ chức và Ban Khoa học rất mong tiếp tục nhận được những ý kiến trao đổi, phản biện và các bài viết chất lượng để ấn phẩm ngày càng thiết thực, chuyên sâu, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành kỹ thuật nỗ lực Việt Nam.

BAN KHOA HỌC

BAN TỔ CHỨC

TS. Lê Ngọc Ninh, *Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Trưởng ban

GS.TS. Bùi Xuân Nam, *Phó Chủ tịch kiêm Tổng Thư ký Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Phó Trưởng ban

PGS.TS. Trần Quang Hiều, *Chánh Văn phòng Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Thư ký

PGS.TS. Phạm Văn Hòa, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

Đại tá, ThS. Nguyễn Văn Hải, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

KS. Nguyễn Quốc Huy, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

ThS. Phan Hồng Việt, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

Đại tá, KS. Phạm Quốc Mạnh, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

KS. Đỗ Đức Khoa, *Cục An toàn công nghiệp, Bộ Công Thương* - Ủy viên

ThS. Lê Đức Ánh, *Phó Giám đốc Sở Công thương Nghệ An* - Ủy viên

TS. Nguyễn Tam Tính, *Phó Trưởng ban, Tập đoàn công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam* - Ủy viên

ThS. Trần Văn Dũng, *Phó Tổng Giám đốc, Tổng công ty Công nghiệp Hoá chất mỏ - VINACOMIN* - Ủy viên

Đại tá, ThS. Tăng Văn Chi, *Tổng Giám đốc Tổng công ty Xây dựng Lũng Lô* - Ủy viên

ThS. Lê Tuấn Ngọc, *Phó Tổng Giám đốc, Tổng công ty Khoáng sản VINACOMIN* - Ủy viên

TS. Hoàng Hùng Thắng, *Hiệu trưởng Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh* - Ủy viên

TS. Nguyễn Anh Thơ, *Viện trưởng Viện Khoa học An toàn vệ sinh lao động* - Ủy viên

TS. Trịnh Xuân Đức, *Viện trưởng Viện Khoa học Kỹ thuật Hạ tầng và Môi trường* - Ủy viên

ThS. Nguyễn Khắc Quyền, *Phó Viện trưởng Viện Chính sách, Bộ Công Thương* - Ủy viên

TS. Phạm Huy Đông, *Phó Viện trưởng Viện Hoá học Công nghiệp* - Ủy viên

PGS.TS. Phan Đức Nhân, *Trưởng ban Sau Đại học, Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Bích, *Trưởng khoa, Trường Đại học Y tế Công cộng* - Ủy viên

TS. Ngô Kim Tú, *Phó Trưởng khoa, Trường Đại học Lao động - Xã hội* - Ủy viên

TS. Đoàn Văn Thanh, *Trưởng phòng, Viện Khoa học và Công nghệ mỏ* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Anh Tuấn, *Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Cơ điện mỏ* - Ủy viên

TS. Đào Văn Chi, *Giám đốc Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường* - Ủy viên

TS. Nguyễn Đình An, *Phó Giám đốc Trung tâm Bồi dưỡng và Tư vấn nổ mìn* - Ủy viên

BAN KHOA HỌC

- GS.TS. Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Tôn Đức Thắng* - Trưởng ban
- PGS.TS. Trần Quang Hiếu, *Trường Đại học Mở - Địa chất* - Thư ký
- GS.TS. Changwoo Lee, *Dong A University (Hàn Quốc)* - Ủy viên
- GS.TS. Nhữ Văn Bách, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên
- GS.TS. Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam* - Ủy viên
- GS.TS. Lê Văn Trình, *Hội Khoa học An toàn, vệ sinh lao động* - Ủy viên
- PGS.TS. Lê Quang Hồng, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên
- TS. Nguyễn Phụ Vụ, *Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam* - Ủy viên
- TS. Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên
- TS. Nguyễn Đăng Tế, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên
- PGS.TS. Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất* - Ủy viên
- TS. Đỗ Ngọc Hoàn, *Trường Đại học Mở - Địa chất* - Ủy viên
- TS. Hoàng Hùng Thắng, *Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh* - Ủy viên
- PGS.TS. Đàm Trọng Thắng, *Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên
- PGS.TS. Phan Đức Nhân, *Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên
- PGS.TS. Nguyễn Ngọc Bích, *Trường Đại học Y tế Công cộng* - Ủy viên
- TS. Ngô Kim Tú, *Trường Đại học Lao động - Xã hội* - Ủy viên
- TS. Nguyễn Anh Thơ, *Viện Khoa học An toàn và vệ sinh lao động* - Ủy viên
- TS. Trịnh Xuân Đức, *Viện Khoa học Kỹ thuật Hạ tầng và Môi trường* - Ủy viên
- ThS. Nguyễn Khắc Quyền, *Viện Chính sách Bộ Công Thương* - Ủy viên
- TS. Phạm Huy Đông, *Viện Hoá học Công nghiệp* - Ủy viên
- TS. Lê Đức Phương, *Tạp chí Công nghiệp mỏ* - Ủy viên
- TS. Đoàn Văn Thanh, *Viện Khoa học và Công nghệ mỏ* - Ủy viên
- TS. Nguyễn Văn Đức, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản* - Ủy viên
- TS. Nguyễn Tam Tính, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam* - Ủy viên
- PGS.TS. Nguyễn Anh Tuấn, *Trung tâm Nghiên cứu Cơ điện mỏ* - Ủy viên
- TS. Đào Văn Chi, *Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường* - Ủy viên

MỤC LỤC

TT	Tên bài báo và tác giả	Trang
1	Kỹ thuật nổ mìn tiên tiến trong khai thác lộ thiên: Xu hướng công nghệ, kiểm soát rủi ro và định hướng phát triển thân thiện với môi trường <i>Bùi Xuân Nam, Lê Ngọc Ninh, Trần Quang Hiếu</i>	11
2	Phi carbon hóa khai thác than lộ thiên tại Việt Nam: Nghiên cứu điển hình về vòng đời phát thải và các lộ trình giảm thiểu <i>Bùi Xuân Nam, Nguyễn Thị Tâm, Lê Ngọc Ninh, Quách Đức Tín, Trần Quang Hiếu, Chang-Woo Lee, Đỗ Văn Triều, Nguyễn Văn Đức</i>	45
3	Nghiên cứu khả năng sử dụng hệ thống cấp nổ điện tử nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn tại các mỏ lộ thiên Việt Nam <i>Trần Quang Hiếu, Phạm Đại Hải, Trần Văn Dũng, Phan Mạnh Lộc</i>	68
4	Nghiên cứu kỹ thuật nổ mìn an toàn và thân thiện với môi trường <i>Lê Ngọc Ninh</i>	86
5	Nghiên cứu sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) để tính toán lập hộ chiếu khoan - nổ mìn đào lò nhằm từng bước chuyển đổi số và tự động hóa công tác thiết kế khoan - nổ mìn tại các mỏ hầm lò thuộc TKV <i>Đặng Văn Kiên, Đoàn Đắc Thọ, Lê Quốc Khang, Trần Đăng Hải, Tạ Đăng Đại, Trần Công Thái, Nguyễn Văn Hải, Ngô Văn Giáp, Trần Quốc Đoàn</i>	103
6	Rủi ro trong công tác nổ mìn tại mỏ lộ thiên: phân tích, đánh giá và các giải pháp kiểm soát toàn diện <i>Trần Đình Bảo, Nguyễn Đình An, Trần Quang Hiếu</i>	120

7	Nghiên cứu phương án sản công tác nổi lắp ghép phục vụ việc khoan lỗ mìn dưới nước khi thi công công trình giao thông quy mô nhỏ	142
	<i>Nguyễn Mạnh Thường, Đàm Trọng Thắng, Trần Quang Hiếu</i>	
8	Xác định các thông số kỹ thuật của giải pháp phá vỡ đất đá bằng CO ₂ lỏng cho các mỏ lộ thiên Việt Nam	153
	<i>Hoàng Mạnh Thắng, Đàm Công Khoa, Đoàn Văn Thanh</i>	
9	Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả khoan-nổ mìn tại các đường lò của Công ty cổ phần Than Núi Béo	166
	<i>Đặng Văn Kiên, Lê Quốc Khang, Nguyễn Văn Định</i>	
10	Nghiên cứu khảo sát sự suy giảm cường độ sóng xung kích lan truyền trong không khí sau tường chắn do nổ lượng nổ tập trung bằng phương pháp số	177
	<i>Nguyễn Đức Khởi, Đàm Trọng Thắng, Nguyễn Văn Hiếu</i>	
11	Nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng của lỗ mìn đơn trong môi trường đất đá đến trường phân bố tốc độ xung quanh lượng nổ	192
	<i>Kiều Xuân Bách, Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu</i>	
12	Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá giải pháp gia cường kết cấu tường gạch khi chịu tải trọng nổ	210
	<i>Nguyễn Hữu Thế, Đàm Trọng Thắng, Nguyễn Mạnh Thường, Nguyễn Công Nghị</i>	
13	Nghiên cứu đổi mới phương pháp tính toán chỉ tiêu thuốc nổ và các thông số khoan - nổ mìn hợp lý cho các mỏ lộ thiên của TKV	220
	<i>Lê Đức Phương, Lê Việt Phương, Phí Trung Kiên, Phạm Xuân Tráng, Nguyễn Ngọc Dũng</i>	
14	Đề xuất ứng dụng ống tập trung năng lượng khi đào lò đá ở các mỏ hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than khoáng sản Việt Nam	235
	<i>Đào Văn Chi, Phạm Đức Hưng, Nguyễn Minh Đức</i>	

15	Kíp điện tử - nền tảng chuyển đổi số cho nổ mìn thông minh <i>Nguyễn Đình An, Hoàng Trung Thành, Trần Đình Bảo, Lê Quý Thảo, Trần Văn Dũng</i>	243
16	Mô hình hóa quỹ đạo đá văng theo điều kiện nổ mìn: Áp dụng cho mỏ đá Diêu Phong, Cao Bằng <i>Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Phạm Văn Hòa, Đỗ Ngọc Hoàn, Nguyễn Anh Kiên, Phùng Văn Thắng, Ngọc Thúy Oanh, Phùng Bảo Ngọc, Phùng Tuấn Kiệt</i>	254
17	Nghiên cứu khả năng tận dụng dầu ăn đã qua sử dụng để chế tạo thuốc nổ nhũ tương <i>Đàm Quang Sang, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Vũ Hùng</i>	274
18	An toàn, sức khỏe nghề nghiệp cho thợ nổ mìn trong cung ứng dịch vụ nổ mìn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh - Thực tiễn triển khai tại Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất Mỏ (MICCO) <i>Ngô Kim Tú, Lâm Kiều Anh, Trần Văn Dũng</i>	285
19	Đánh giá nguy cơ rủi ro và phòng ngừa ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn cho các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp <i>Lâm Kiều Anh</i>	300
20	Tác động môi trường của vật liệu nổ trong xung đột vũ trang và hàm ý đối với quản lý nổ mìn thân thiện môi trường <i>Lê Ngọc Ninh</i>	315

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO (AI) ĐỂ TÍNH TOÁN LẬP HỘ CHIẾU KHOAN - NỔ MÌN ĐÀO LÒ NHẪM TỪNG BƯỚC CHUYỂN ĐỔI SỐ VÀ TỰ ĐỘNG HÓA CÔNG TÁC THIẾT KẾ KHOAN - NỔ MÌN TẠI CÁC MỎ HÀM LÒ THUỘC TKV

Dặng Văn Kiên^{1, 2,*}, Đoàn Đắc Thọ³, Lê Quốc Khang³, Trần Đăng Hải⁴,
Tạ Đăng Đại⁵, Trần Công Thái⁵, Nguyễn Văn Hải⁶, Ngô Văn Giáp⁶, Trần Quốc Đoàn⁷

TÓM TẮT

Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) hằng năm đào hàng trăm ngàn mét lò như: 269.999 m tổng cộng năm 2024 và có kế hoạch đào tới 23.902 m lò. Năm 2025, TKV có kế hoạch đào lò rất lớn, với khối lượng mét lò lũy kế 5 tháng đầu năm đã đạt 114.300 m lò (41,8% kế hoạch năm), và kế hoạch tháng 6 ước tính khoảng 23.920 m lò; tổng kế hoạch năm 2025 cho khối lượng đào lò sẽ ở mức cao, tập trung vào các dự án mở vỉa, khai thác xuống sâu để đảm bảo sản lượng than bền vững, TKV đặt mục tiêu đào tổng cộng hơn 264.000 m lò để đáp ứng nhu cầu sản xuất than. Do khối lượng các đường lò đào lớn nên đội ngũ cán bộ kỹ thuật mỏ trong đó có Công ty xây lắp mỏ đã tích lũy được nhiều kinh nghiệm thiết kế hộ chiếu khoan - nổ mìn cũng như thi công đường lò. Do đó, không ít trường hợp, đối với một số công việc thiết kế đường lò thông thường, chỉ cần thực hiện thiết kế bằng cách chỉnh sửa hoặc bổ sung các trường hợp thiết kế tương tự trước đó, trừ khi đường lò có cấu trúc đặc biệt hoặc trong điều kiện địa chất đặc biệt. Đặc biệt, đối với thiết kế nổ mìn cho đường lò, việc tham khảo các trường hợp thiết kế tương tự trước đó là hợp lý vì thiết kế nổ mìn trong giai đoạn thiết kế là thiết kế sơ bộ, và thường thực hiện thêm các thiết kế nổ mìn qua các thử nghiệm nổ trước khi bắt đầu thi công đường lò. Trong khi đó, bước vào kỷ nguyên công

¹ Chi hội trưởng Chi hội **Nổ mìn** công trình ngầm, Hội Kỹ thuật nổ mìn Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất

³ Công ty CP Than Núi Béo - Vinacomin

⁴ Công ty Than Thống Nhất - TKV

⁵ Công ty Than Nam Mầu - TKV

⁶ Công ty Than Mạo Khê - TKV

⁷ Công ty Than Khe Chàm - TKV

* Email: dangvankien@humg.edu.vn

nghiệp 4.0, trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI), với khả năng ngày càng tăng trong toàn ngành công nghiệp, được ứng dụng rộng rãi trong công tác đào lò và nổ mìn. Đối với đường lò khoan và nổ mìn, AI chủ yếu được sử dụng để ước lượng chấn động do nổ mìn và phân loại khối đá. Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày nghiên cứu sử dụng AI tự động tính toán lập hệ chiếu chống giữ, lập hệ chiếu khoan - nổ mìn, đánh giá hiệu quả công tác đào chống lò nhằm từng bước chuyển đổi số và tự động hóa công tác thiết kế tại các mỏ hầm lò thuộc TKV.

Từ khóa: Nổ mìn, AI, tự động hóa, thiết kế hệ chiếu, hiệu quả nổ mìn, hầm lò.

1. Đặt vấn đề

Tự động hóa, chuyển đổi số trong ngành khai thác mỏ hiện là xu hướng không thể đảo ngược trong kỷ nguyên số hóa toàn cầu. Từ những cỗ máy khổng lồ tự vận hành đến các hệ thống phân tích dữ liệu tiên tiến, cuộc cách mạng chuyển đổi số và tự động hóa đang định hình lại toàn bộ chuỗi giá trị trong lĩnh vực khai thác khoáng sản. Không chỉ giúp tăng năng suất và giảm chi phí vận hành, chuyển đổi số, tự động hóa trong ngành khai thác mỏ còn mang đến những giải pháp hiệu quả cho các thách thức về an toàn lao động và bảo vệ môi trường - những vấn đề cấp bách mà ngành công nghiệp khai khoáng truyền thống đang phải đối mặt. Trí tuệ nhân tạo (AI) và phân tích dữ liệu lớn đang thay đổi cách thức ra quyết định trong ngành khai thác mỏ. Các thuật toán học máy có thể phân tích khối lượng dữ liệu khổng lồ từ các cảm biến, drones và hệ thống giám sát để tối ưu hóa quy trình khai thác, dự đoán sự cố và đề xuất giải pháp. AI cũng được sử dụng hiệu quả trong thiết kế hệ chiếu khoan - nổ mìn (KNM) đào lò tại một số nước như: Trung Quốc, Hoa Kỳ, Nhật Bản (Hình 1). Lợi ích của AI trong công tác KNM có thể liệt kê bao gồm:

1. Giảm chi phí: thiết kế nổ mìn cải tiến và điều chỉnh khoan theo thời gian thực giảm đáng kể chi phí vận hành.
2. An toàn nâng cao: tự động hóa và AI giảm tiếp xúc của con người với môi trường nguy hiểm, cải thiện kết quả an toàn.
3. Bền vững môi trường: sử dụng thuốc nổ chính xác giúp giảm lãng phí và tác động đến môi trường.
4. Tăng năng suất: với hoạt động tối ưu và giảm thời gian chết, các mỏ có thể đạt được sản lượng cao hơn.

Tuy nhiên với ngành xây dựng công trình ngầm và mỏ tại Việt Nam, vấn đề ứng dụng AI trong thiết kế nổ mìn còn mới mẻ. Do đó việc đẩy nhanh các nghiên

cứu cơ bản, xây dựng cơ sở dữ liệu, ứng dụng AI thiết kế cụ thể các hệ chiếu, nổ thử nghiệm các hệ chiếu KNM cũng như đánh giá hiệu quả của các hệ chiếu này rất cần thiết và cấp bách nhằm từng bước đưa ngành khai thác mỏ chuyển đổi số các khâu kỹ thuật là hết sức cần thiết.



Hình 1. Sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) thiết kế hệ chiếu KNM

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết kế nổ mìn hầm lò

Ngành xây dựng có đặc điểm năng suất thấp so với các ngành khác, yêu cầu kiến thức và kinh nghiệm của nhiều chuyên gia trong các lĩnh vực khác nhau, cùng với nhiều sự không chắc chắn trong quá trình thực hiện dự án, do đó có khả năng rất cao trong việc đổi mới quy trình sản xuất và tạo ra giá trị thông qua cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư (Ahn và Kim, 2017). Vì vậy, trong ngành xây dựng cũng nổi lên vấn đề quan trọng là đổi mới công nghệ và quy trình xây dựng thông qua việc tích hợp các công nghệ liên quan đến cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư. Hiện nay chính phủ cũng đang khuyến khích phát triển và ứng dụng nhiều công nghệ xây dựng thông minh nhằm nâng cao năng suất, an toàn và tính kinh tế của xây dựng.

Trong thời đại cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, trí tuệ nhân tạo đang được ứng dụng trong tất cả các lĩnh vực, trong đó có lĩnh vực nổ mìn và khai thác hầm lò, đặc biệt trong phân loại đá và dự đoán nổ (Kim, 2021). Tuy nhiên, ít có các trường hợp áp dụng thiết kế hệ chiếu nổ mìn hầm lò phù hợp với thực tế trong nước. Dựa trên các phương pháp đề xuất của Langefors và Kihlström (1967) cùng

Olofsson (1990), Choi (2005) đã đề xuất công thức thiết kế để tự động hóa thiết kế nổ mìn. Năm 2009, Choi et al. đã đề xuất phương pháp thiết kế nổ mìn dựa trên kinh nghiệm phù hợp với lượng thuốc nổ đã xác định trước. Jang và Topal (2013) đã áp dụng phân tích hồi quy phi tuyến và mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) để dự đoán các vết nứt do nổ mìn gây ra, còn Lee (2016) đã thực hiện nghiên cứu dự đoán cường độ rung của nổ mìn bằng ANN và tối ưu hóa các hệ số khoan và thuốc nổ bằng thuật toán di truyền.

Trong khi đó, Hafner et al. (2019) đã áp dụng AI và công nghệ BIM (Building Information Modeling) để thiết kế tuyến đường hầm trong đô thị, còn Trivedi et al. (2014) đã đánh giá các ví dụ về ANN được sử dụng để dự đoán chấn động do nổ mìn, áp lực nổ, kích cỡ hạt, và phá vỡ đá trong nổ mìn, cũng như triển vọng trong tương lai. Ngoài ra, Wu et al. (2020) đã phát triển hệ thống thiết kế thông minh dựa trên cơ sở dữ liệu cho thiết kế nổ mìn trong hầm mỏ, nhằm thiết kế các mô hình nổ mìn và mẫu nổ, trong đó quy tắc tìm kiếm dữ liệu trong cơ sở dữ liệu này được xác định bằng mạng nơ-ron mờ T-S. Alipour et al. (2021) đã áp dụng thuật toán SVM (Support Vector Machine) để dự đoán lượng thuốc nổ cần thiết khi nổ mìn trong hầm, dựa trên các dữ liệu đầu vào như chỉ số chất lượng đá (RQD), cường độ nén đơn trục, diện tích cắt của hầm, chiều dài khoan, tỷ lệ ghép nối. Gần đây, Soranzo et al. (2022) đã thực hiện nghiên cứu chọn hệ chiều tối ưu cho hệ thống gia cố hầm bằng cách sử dụng học tăng cường (Reinforced Learning) và phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Difference Method).

2.2. Quy định về thiết kế nổ mìn trong hầm và các yếu tố chính của thiết kế

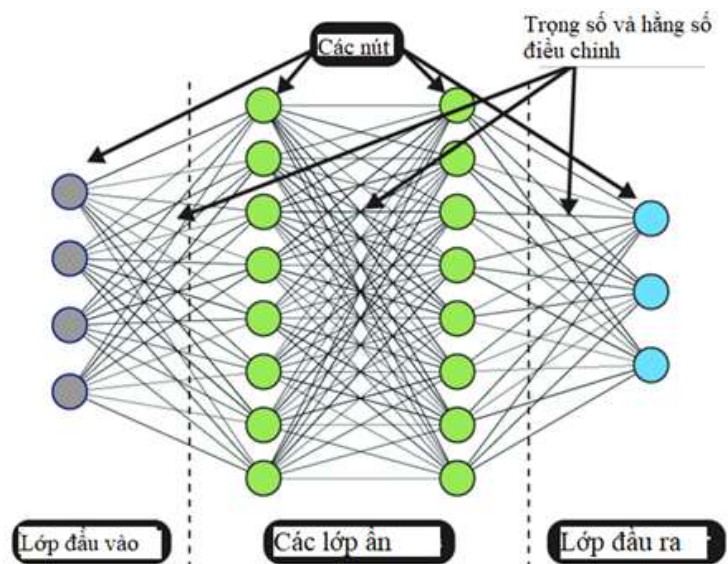
Trong phần tiêu chuẩn xây dựng quốc gia của Bộ Giao thông Vận tải của Hàn Quốc về đào hầm (MOLIT, 2016), quy định rằng khi thiết kế nổ mìn, cần chú ý đến các tham số bao gồm: ① kích thước và hình dạng của mặt cắt ngang đường hầm ② diện tích đào ③ sơ đồ bố trí lỗ mìn ④ đường kính, góc nghiêng và độ sâu khoan của lỗ mìn đột phá, lỗ mìn phá và lỗ mìn biên ⑤ loại thuốc nổ và lượng thuốc nổ ⑥ loại dây nổ và phương tiện gây nổ ⑦ trình tự nổ và sơ đồ kích nổ ⑧ kế hoạch thử nghiệm nổ tại hiện trường. Liên quan đến vấn đề này, trong ví dụ được trình bày trong bài báo này, các yếu tố liên quan trực tiếp đến thiết kế hệ chiều nổ như khu vực đào, hình thức nổ sâu, bố trí lỗ mìn chính và lỗ mìn phụ, độ sâu khoan, lượng thuốc nổ đã được phân tích. Để tham khảo, kích thước và hình dạng của mặt cắt đào được xác định trong giai đoạn thiết kế mặt cắt đào trước khi

thiết kế nổ mìn, do đó trong ví dụ này đã được loại trừ. Khi nổ mìn trong hầm, đường kính lỗ mìn là 45 mm, loại thuốc nổ là thuốc nổ dạng kem và dây cháy nổ là loại không dùng điện, phổ biến tại Hàn Quốc.

2.3. Thuật toán học máy

Học máy (Machine Learning) là phương tiện cốt lõi để thực hiện trong ví dụ này, mặc dù các học giả hoặc chuyên gia có thể định nghĩa khác nhau một chút, nhưng Mitchell (1997), người đã đóng góp lớn vào sự phát triển của học máy, đã định nghĩa rằng: “khi một chương trình máy tính thực hiện một công việc nào đó được đo bằng các chỉ số hiệu suất và hiệu suất đó được cải thiện khi tích lũy kinh nghiệm, thì có thể nói rằng chương trình máy tính đó đã học từ kinh nghiệm liên quan đến công việc và các chỉ số hiệu suất đó. Quá trình này được gọi là học máy”.

Học máy có thể được phân loại thành các loại dựa trên loại hình học, quá trình và phương pháp học, như học có giám sát (Supervised Learning), học không giám sát (Unsupervised Learning), học tăng cường (Reinforcement Learning), học tập hợp (Ensemble Learning), ANN và học sâu (Neural Networks and Deep Learning), nhưng chúng có liên quan chặt chẽ với nhau tùy theo cách ứng dụng.

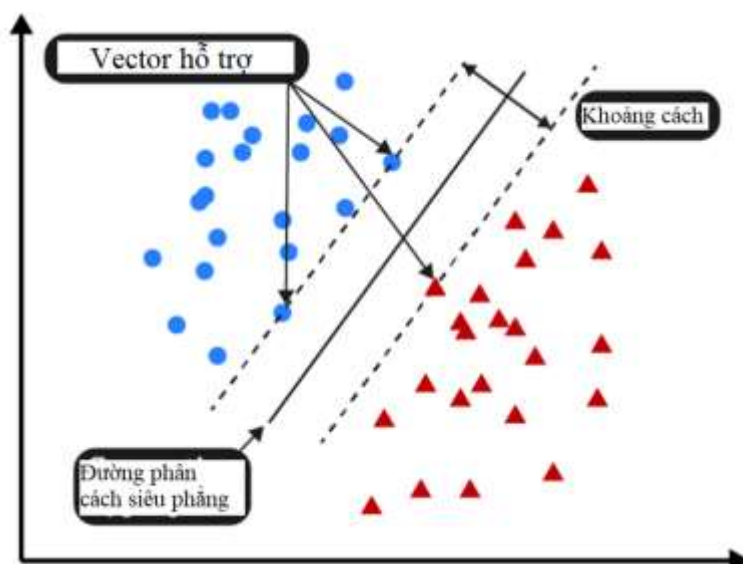


Hình 2. Ví dụ điển hình của ANN (Lee et al., 2021, Yangkyun Kim, 2022)

Ngoài ra, mỗi phương pháp học còn có thể được phân thành các thuật toán chi tiết khác nhau dựa trên nguyên lý và cấu trúc của chúng. Trong nhiều nghiên cứu về đá móng và hầm, các kỹ thuật học máy như: rừng ngẫu nhiên (Random

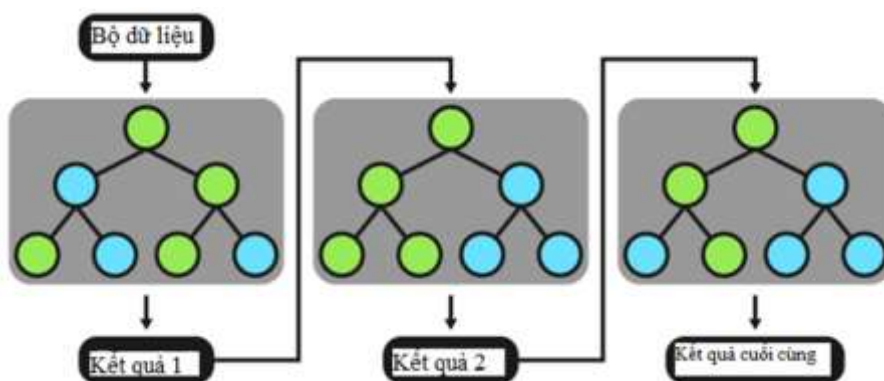
Forest), phân tích thành phần chính (PCA), học hợp Ensemble,... được sử dụng rộng rãi, nhưng thuật toán được áp dụng nhiều nhất là ANN (Kim, 2021) như Hình 2 (Lee et al., 2021, Yangkyun Kim, 2022). Dưới đây là tổng quan về 3 thuật toán thường được sử dụng trong mô phỏng nổ mìn hầm lò.

Mô hình máy vector hỗ trợ (SVM- Support Vector Machine) về cơ bản là một phương pháp phân chia dữ liệu thành hai nhóm, trong đó trước tiên xác định một siêu phẳng (Hyperplane) cách xa dữ liệu nhất có thể. Sau đó, khi xuất hiện điểm mới chưa được phân loại, hệ thống sẽ xác định xem điểm đó thuộc phía nào của siêu phẳng để phân loại (Hình 3). Thông thường, người ta sử dụng vector hỗ trợ (Support Vector) để phân biệt các biến khác nhau, nhưng nếu học để tối đa hóa số lượng dữ liệu nằm trong khoảng cách của vector hỗ trợ, thì nó có thể được sử dụng cho mục đích hồi quy.



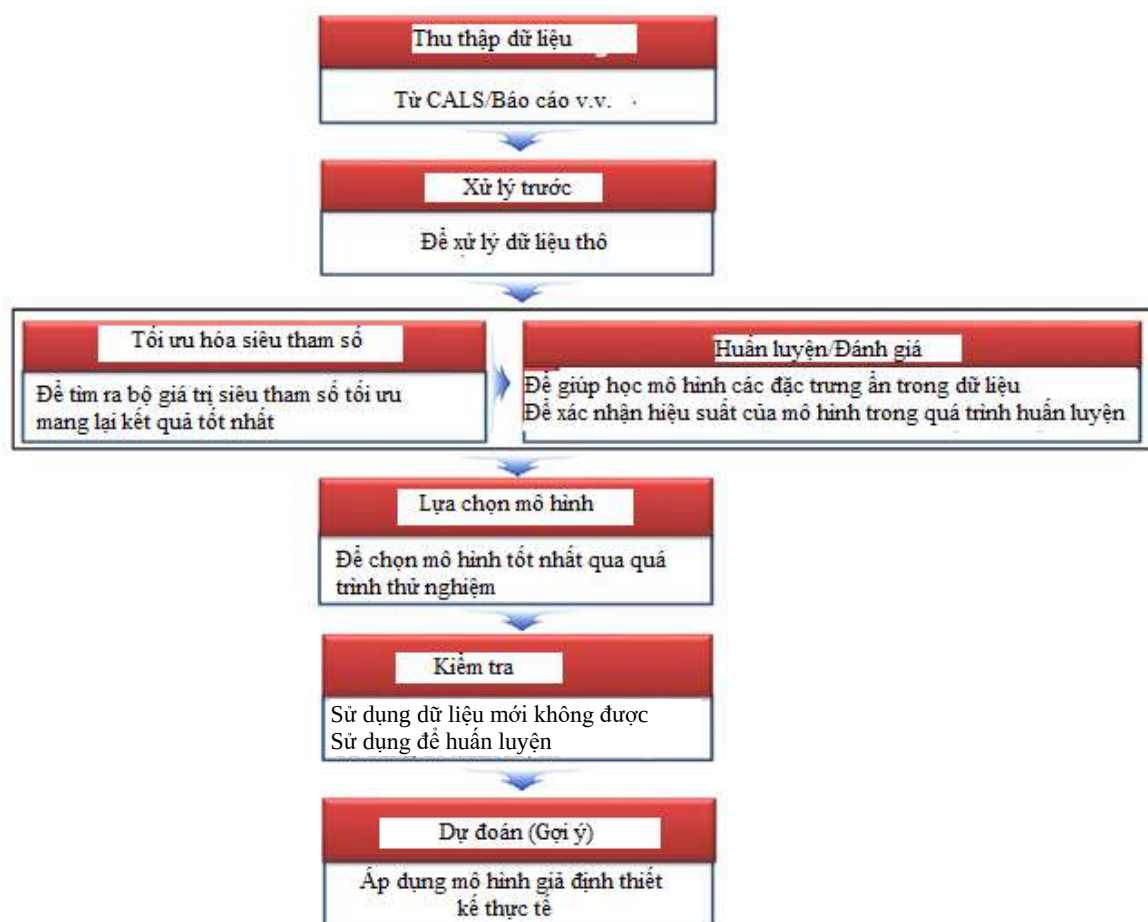
Hình 3. Ví dụ điển hình của SVM (Lee et al., 2021)

Gradient Boosting (như XGBoost): thuật toán tối ưu hóa dựa trên chuỗi cây quyết định để giảm thiểu sai số. Phương pháp kết hợp nhiều bộ phân loại (mô hình) để tạo ra các dự đoán chính xác hơn so với việc sử dụng một mô hình duy nhất được gọi là kỹ thuật ensemble (hội tụ). XGBoost (Hình 4) và Rừng ngẫu nhiên là các thuật toán tiêu biểu, trong đó XGBoost thực hiện huấn luyện nhiều bộ phân loại theo thứ tự, gán trọng số cho các bộ phân loại tiếp theo trong quá trình huấn luyện và dự đoán.



Hình 4. Ví dụ điển hình của XGBoost (Lee et al., 2021)

Trong thiết kế hệ chiếu KNM đào lò, người ta còn hay sử dụng thuật toán Random Forest - một thuật toán mạnh mẽ dựa trên việc kết hợp nhiều cây quyết định để tăng độ chính xác trong quá trình lựa chọn tính toán các thông số lập hệ chiếu chống giữ.



Hình 5. Quy trình thực hiện nghiên cứu

Thông thường, thiết kế nổ mìn đào lò trong đường lò được điều chỉnh dựa trên diện tích mặt cắt của hầm, hộ chiếu chống (hoặc phân loại khối đá), loại hình đường như quốc lộ hoặc cao tốc, và tình hình các vật thể bảo vệ xung quanh. Tuy nhiên, do trong ví dụ này mới ở giai đoạn cơ bản nên không xem xét các vật thể bảo vệ, do đó đã chọn 4 yếu tố còn lại làm dữ liệu đầu vào gồm diện tích mặt cắt trên (hoặc mặt cắt ngang), diện tích gương dưới, hộ chiếu chống, và loại công trình. Đồng thời, nghiên cứu đã chọn 16 dữ liệu đầu ra liên quan đến các phương pháp nổ mìn, số lượng lỗ mìn, lượng thuốc nổ, khoảng cách lỗ mìn và đường cản, như trong Hình 5.

Số lượng lỗ mìn trên diện tích đơn vị (số lỗ mìn trên diện tích mặt cắt) có thể tính bằng cách chia số lỗ mìn trong mỗi lần nổ (không tính lỗ mìn sâu) cho diện tích mặt cắt của hầm, còn lượng thuốc nổ đặc trưng có thể tính bằng cách chia tổng lượng thuốc nổ trong mỗi lần nổ cho diện tích mặt cắt của hầm và chiều dài khoan.

3. Minh họa việc dựng sử dụng AI để tính toán lập hộ chiếu KNM

3.1. Thu thập và tổ chức dữ liệu

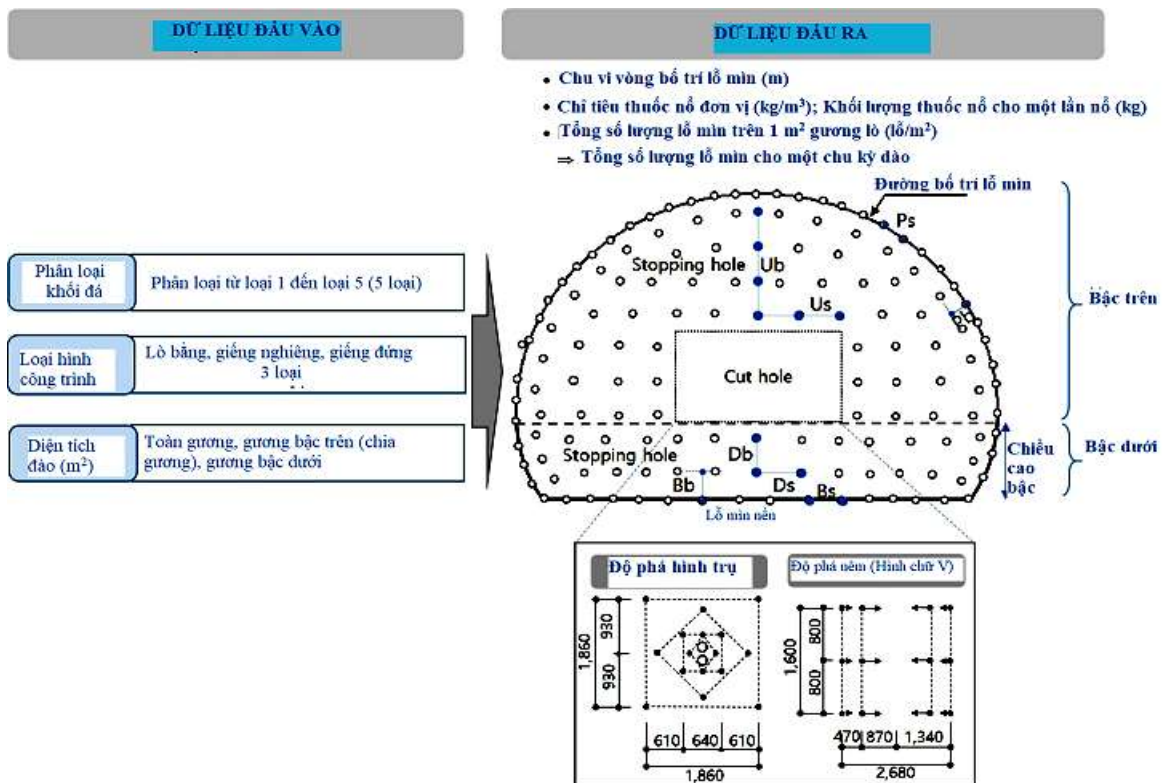
Trong ví dụ giới thiệu dưới đây, bài báo thể hiện kết quả thống kê tại 25 hầm đường bộ tại Hàn Quốc thông qua hệ thống CALS xây dựng của Bộ Giao thông vận tải (Construction CALS, 2022) và các nhà thiết kế,... như Bảng 1. Các dữ liệu thống kê gồm 4 loại: (i) chiều dài đường hầm; (ii) diện tích mặt cắt ngang đường hầm; (iii) loại đá đường hầm đào qua và (iv) loại đột phá được sử dụng trong hộ chiếu KNM.

Bảng 1. Ví dụ về tổng hợp các dự án thiết kế sẽ được phân tích trong nghiên cứu (Yangkyun Kim, 2022)

TT	Tên đường hầm	Chiều dài đường hầm (m)	Diện tích mặt cắt ngang đường hầm (m ²)	Đá gốc	Loại đột phá
1	Maryongjae	1.300	82.205	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
2	Hoenamjae	1.710	79.088	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
3	Kunnae	2.715	82.064	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V

TT	Tên đường hầm	Chiều dài đường hầm (m)	Diện tích mặt cắt ngang đường hầm (m ²)	Đá gốc	Loại đột phá
4	Hanti	470	67.963	Breccia	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
5	Jukjang 1	762	87.379	Breccia	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
6	Jukjang 2	974	87.919	Breccia	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
7	Masa	853	68.261	Shale	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
8	Kigok	571	89.653	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
9	Sindo	1.120	75.714	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
10	Samun	292	70.267	Limestone	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
11	Yeoncho 1	767	67.072	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
12	Yeoncho 2	1.250	74.108	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
13	Daegokchi B	985	71.158	Diorite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
14	Hahul	540	76.541	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
15	Jangyeon	325	76.683	Porphyry	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
16	Whadong	500	78.683	Granite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
17	Myeongjin	1.585	82.002	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
18	Unmun	1.870	76.032	Andesite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
19	Ungdong	2.117	79.205	Andesite	Đột phá Supex

TT	Tên đường hầm	Chiều dài đường hầm (m)	Diện tích mặt cắt ngang đường hầm (m ²)	Đá gốc	Loại đột phá
20	Keumgok	705	75.626	Andesite	Đột phá Supex
21	Songkwangsa2	2.010	80.602	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
22	Choenhosan	1.250	69.938	Diorite	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
23	Maan	3.871	91.025	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
24	Yangseo	3.384	89.543	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V
25	Maebong	383	83.463	Gneiss	Đột phá hình trụ/ Đột phá hình chữ V



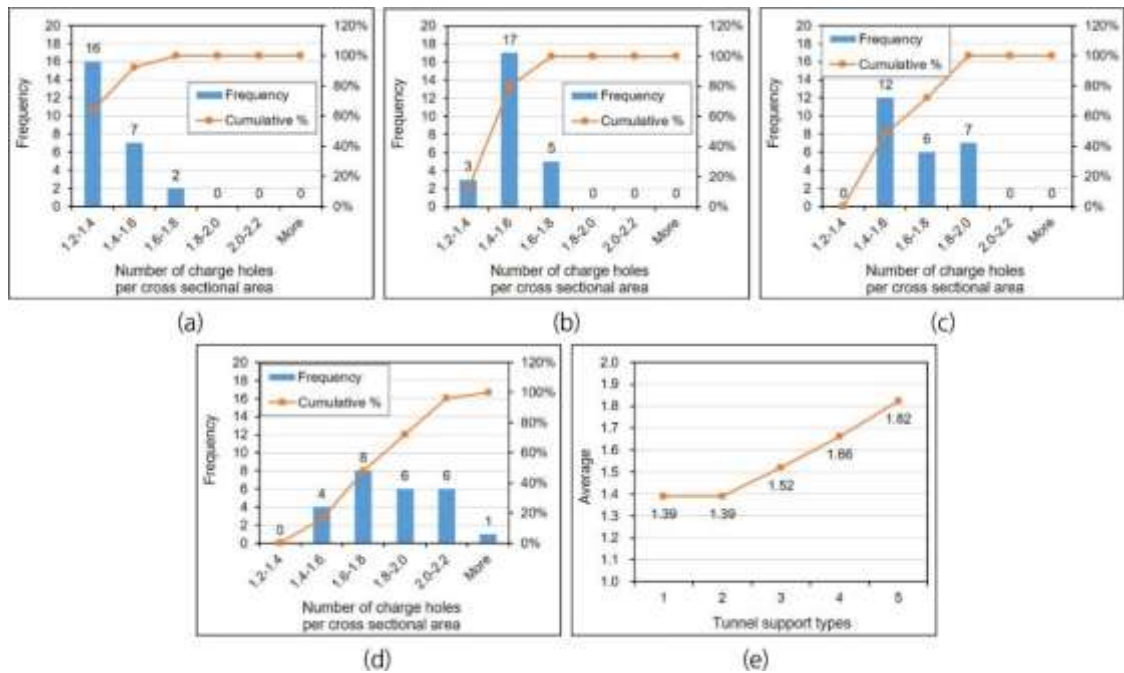
Hình 6. Dữ liệu đầu ra và đầu vào (Yangkyun Kim, 2022)

Thông thường, thiết kế hệ chiếu KNM trong hầm được điều chỉnh dựa trên diện tích mặt cắt ngang của hầm, loại hình kết cấu chống (hoặc cấp độ đá), loại đường hầm như hầm đường bộ, hầm thủy điện, hầm mỏ... và tình hình các công trình cần bảo vệ xung quanh. Tuy nhiên, do trong ví dụ này mới ở giai đoạn cơ bản nên không xem xét các công trình bảo vệ, do đó đã chọn 4 mục còn lại làm dữ liệu đầu vào gồm: diện tích mặt cắt trên (hoặc mặt cắt ngang trước), diện tích mặt cắt dưới, loại hình kết cấu chống giữ và loại hầm. Đồng thời, đã chọn 16 dữ liệu đầu ra liên quan đến các loại phương pháp nổ mìn, số lượng lỗ mìn, lượng thuốc nổ, khoảng cách không gian, và đường chống cản trở,... (Hình 6, Bảng 2). Số lượng lỗ mìn trên diện tích đơn vị (số lỗ mìn trên mỗi diện tích mặt cắt) có thể tính bằng cách chia số lỗ mìn trong mỗi lần nổ (không tính lỗ mìn sâu) cho diện tích mặt cắt của hầm; lượng thuốc nổ đặc trưng có thể tính bằng cách chia tổng lượng thuốc nổ trong mỗi lần nổ cho diện tích mặt cắt của hầm và chiều dài khoan.

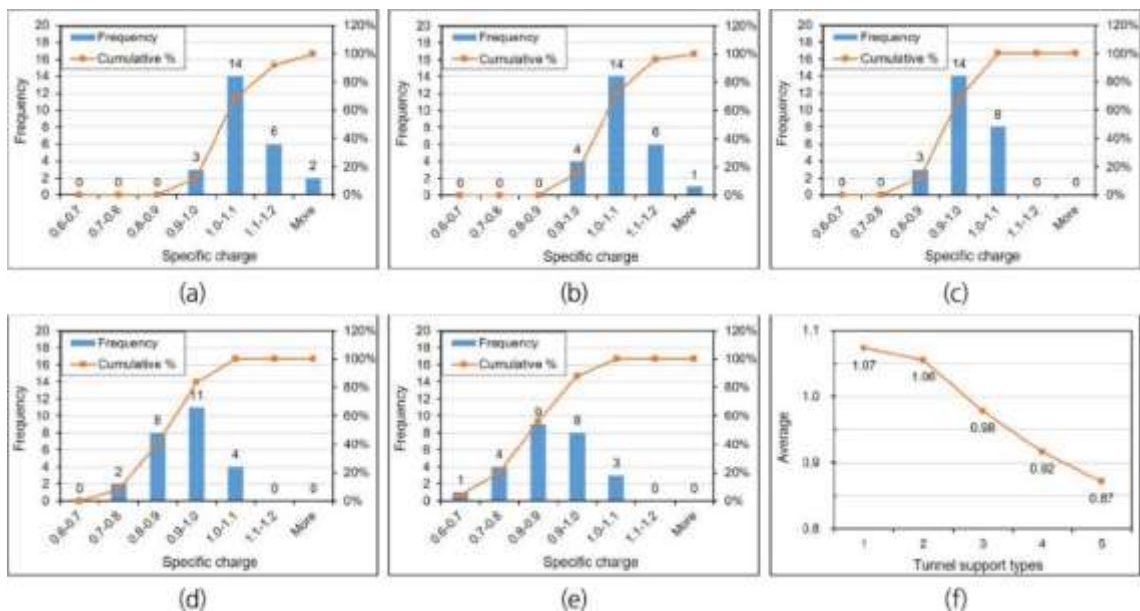
Bảng 2. Chi tiết dữ liệu đầu ra (Yangkyun Kim, 2022)

Mặt cắt	Tiến độ nổ chu kỳ (m)	Chiều cao bậc (m)	Loại đột phá	Số lượng lỗ mìn/m ² (lỗ/m ²)	Chỉ tiêu thuốc nổ đơn vị (kg/m ³)	Khoảng cách (cm)		Đường cản (cm)	
						Stopping (U _s)	Contour (P _s)	Stopping (D _b)	Bottom (B _b)
Toàn mặt cắt trên	①	-	④	⑤	⑦	⑨	⑪	⑬	⑮
Phân bậc	②	③	-	⑥	⑧	⑩	⑫	⑭	⑯

Phân bố dữ liệu chính của các hệ chiếu nổ mìn trong bộ dữ liệu đã chọn của công trình nghiên cứu được giới thiệu trong bài báo này được thể hiện từ Hình 7 đến Hình 10. Tỷ lệ số lỗ mìn trên mỗi đơn vị diện tích để tính toán số lượng nổ cho toàn bộ mặt cắt hầm được thể hiện trong Hình 7. Trong đó, trong các loại kết cấu chống kiểu 1 và kiểu 2, tỷ lệ 1,2~1,4 lỗ/m² chiếm 64%, còn với kết cấu chống trong kiểu 3 và kiểu 4, tỷ lệ 1,4~1,6 lỗ/m² lần lượt chiếm 68% và 48%, trong kiểu 5, tỷ lệ 1,6~1,8 lỗ/m² chiếm 32%, là tỷ lệ cao nhất. Khi tổng hợp theo loại kết cấu chống (hoặc phân loại khối đá), như thể hiện trong Hình 8 (e), trung bình số lỗ mìn trên mỗi đơn vị diện tích từ kiểu 1 đến kiểu 5 lần lượt tăng từ 1,39 lỗ/m² lên 1,82 lỗ/m², điều này cho thấy, khi chất lượng đá xấu đi, khi thiết kế và thi công khoan nổ đều áp dụng quy tắc giảm lượng khoan và lượng thuốc nổ trên mỗi lỗ, đồng thời tăng số lượng lỗ khoan.



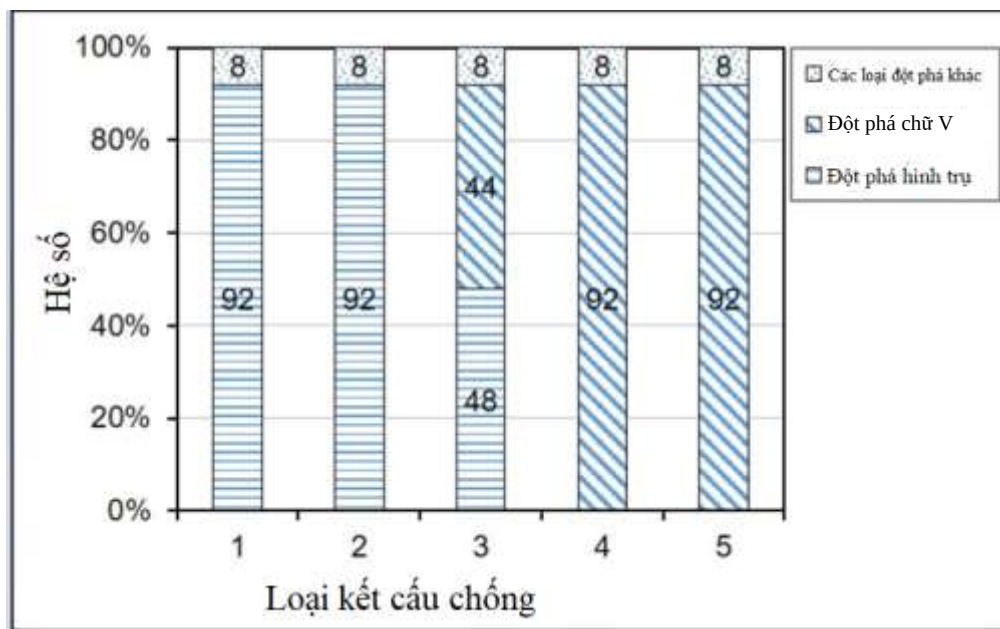
Hình 7. Số lượng lỗ mìn nạp thuốc tích trên diện tích mặt cắt ngang gương hầm theo loại hình kết cấu chống: (a) Loại 1 và 2, (b) Loại 3, (c) Loại 4, (d) Loại 5 (e) Trung bình với các loại hỗ trợ hầm (Yangkyun Kim, 2022)



Hình 8. Chỉ tiêu thuốc nổ : (a) Loại 1, (b) Loại 2, (c) Loại 3, (d) Loại 4 (e) Loại 5, (f) Trung bình với hầm (Yangkyun Kim, 2022)

Tiêu chuẩn xác định lượng thuốc nổ phù hợp cho từng loại kết cấu chống là khoảng 1,0~1,1 kg/m³, chiếm tỷ lệ 56% trong loại 1 và loại 2, trong khi ở loại 3

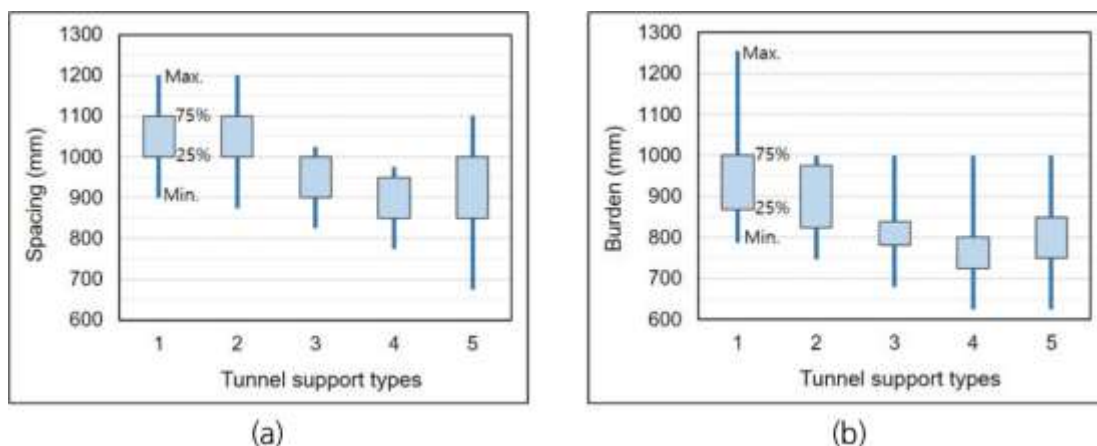
khoảng $0,9 \sim 1,0 \text{ kg/m}^3$, chiếm tỷ lệ 56%, là tỷ lệ cao nhất (Yangkyun Kim, 2022) (Hình 9). Ngoài ra, trung bình lượng thuốc nổ theo từng loại hỗ trợ là $1,07 \text{ kg/m}^3$ đối với loại 1 và loại 2, trong khi ở loại 5 giảm còn $0,87 \text{ kg/m}^3$ (giảm 18,7%). Điều này cho thấy nguyên lý chung của nổ mìn là giảm lượng thuốc nổ khi chất đá kém.



Hình 9. Ảnh hưởng của nhóm đột phá **đến** (Yangkyun Kim, 2022)

Trong trường hợp nổ mìn trong hầm, quyết định thành bại của việc nổ mìn đã được trình bày trong Hình 9 (Yangkyun Kim, 2022), ở các loại 1~3 nổ mìn theo mặt cắt ngang với các lỗ khoan dài hơn 2 m, thường áp dụng phương pháp cắt trụ (đột phá kiểu hình trụ); còn ở các loại 4 và loại 5, với việc phân chia khai thác theo chiều dọc và chiều ngang, phần trên thường khoan dưới 2 m thì áp dụng phương pháp cắt V (V-cut).

Trong khi đó, khoảng cách dựa trên khoảng trống và đường cản của vòng bố trí lỗ mìn, đối với khoảng trống trung gian của lỗ khoan trên cao, trong loại 1 và loại 2, khoảng cách không gian thường là từ 1.000 đến 1.100 mm (25÷75%), còn trong loại 5, phạm vi áp dụng rộng hơn so với các loại kết cấu chống lò khác, từ 850÷1.000 mm (Hình 10a). Đối với đường cản của lỗ khoan trung gian trên cao, trong loại 1, mức bình thường là từ 870÷1.000 mm, nhưng giảm dần khi chất lượng đá kém đi, trong loại 4 là từ 730÷800 mm (Yangkyun Kim, 2022).



Hình 10. Sự thay đổi của khoảng cách, đường cản các lỗ mìn theo loại hình kết cấu chống lò

3.2. Điều chỉnh siêu tham số

Học máy là quá trình học từ dữ liệu cho sẵn sau đó dự đoán hoặc phân loại chính xác kết quả khi dữ liệu mới được đưa vào. Để làm được điều này, các thuật toán mà chúng ta muốn sử dụng phải được thiết lập ở trạng thái tối ưu để đạt hiệu suất dự đoán cao nhất, và quá trình này gọi là điều chỉnh siêu tham số (hyperparameter tuning).

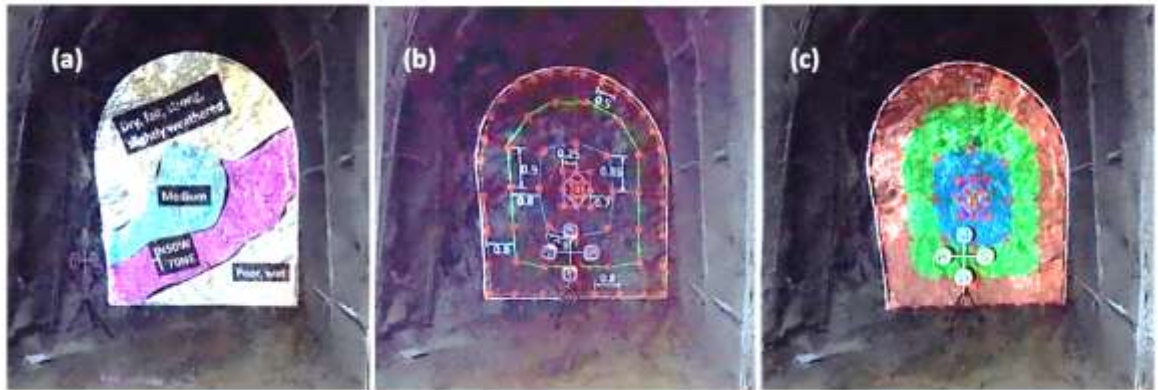
Trong trong ví dụ này, từ ba thuật toán học máy đã mô tả ở trên, ví dụ sẽ chọn mô hình mang lại kết quả tốt nhất để áp dụng. Để làm điều này, nghiên cứu đã thực hiện điều chỉnh siêu tham số của từng thuật toán trên cùng một dữ liệu.

Như đã trình bày trước đó, các siêu tham số của mô hình máy vector hỗ trợ SVM bao gồm: khoảng cách của đường biên tạo ra và kernel để phân biệt dữ liệu, còn đối với ANN là số lớp ẩn (số lớp), số nút trong mỗi lớp ẩn (số nút), loại hàm kích hoạt, loại hàm mất mát. XGBoost có các siêu tham số như số lượng mô hình sử dụng, số lượng dữ liệu dùng để huấn luyện từng mô hình.

Việc áp dụng trí tuệ nhân tạo để phân tích dữ liệu từ hàng ngàn thiết bị, giúp dự đoán các sự cố kỹ thuật trước khi chúng xảy ra, tiết kiệm hàng triệu đô la từ việc tránh được các sự cố gián đoạn sản xuất. Các mô hình AI cũng được sử dụng để tối ưu hóa quy trình khai thác, lựa chọn vị trí khoan và điều chỉnh chiến lược khai thác dựa trên điều kiện địa chất thay đổi trên gương lò như Hình 11.

Công nghệ “digital twin” (song sinh số) cho phép tạo ra bản sao kỹ thuật số của toàn bộ mỏ, giúp mô phỏng các kịch bản khác nhau và đánh giá tác động của

các quyết định trước khi triển khai trong thực tế. Điều này không chỉ giúp tối ưu hóa hoạt động mà còn giảm thiểu rủi ro và tác động môi trường.



Hình 11. Các ứng dụng thực địa của việc sử dụng AI trong thiết kế hộ chiếu KNM: (a) Phân lớp khối đá trên gương, (b) Hình ảnh hóa mô hình khoan, và (c) Hình ảnh hóa các nhóm nổ (Mehrishal Seyedahmad et al., 2025)

4. Kết luận

Sử dụng AI trong tính toán thiết kế hệ chiếu KNM đào lò, dự báo các thông số đánh giá hiệu quả công tác KNM thông qua việc sử dụng ANN đóng vai trò quan trọng trong việc dự đoán hiệu quả công kích cỡ đá sau nổ mìn, phân tích các mẫu dữ liệu địa chất để dự báo kết quả nổ mìn với độ chính xác cao. Các thuật toán tối ưu hóa hiện đại tự động xác định vị trí nổ mìn và trình tự thời gian tối ưu, trong khi các hệ thống nhận dạng mẫu xác định các đặc điểm địa chất ảnh hưởng đến hiệu suất nổ mìn. Ngoài ra hiện nay thế giới bắt đầu áp dụng AI với công nghệ thị giác máy tính cho phép điều chỉnh thông số tự động dựa trên điều kiện thực tế tại địa điểm, tạo ra các hệ thống phản ứng nhanh, thích ứng với các yêu cầu thay đổi hệ chiếu KNM phù hợp với từng khu vực.

Trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ, AI không còn là khái niệm xa vời mà đã trở thành yếu tố cốt lõi trong tiến trình chuyển đổi số của nhiều ngành kỹ thuật. Hòa vào xu thế đó, TKV đang đẩy mạnh công tác chuyển đổi số, tích cực nghiên cứu và ứng dụng AI trong quản lý, điều hành sản xuất. Với công tác đào lò tại các mỏ hầm lò, công tác tính toán thiết kế hộ chiếu chống, hộ chiếu KNM thường phải tính toán thủ công, thiết kế từng mặt cắt, bản vẽ khi thiết kế hộ chiếu chống lò và hộ chiếu KNM. Việc tự động hóa quá trình thiết kế tại các mỏ than hầm lò trong TKV rất có ý nghĩa và tiết kiệm được thời gian cho cán bộ kỹ thuật mỏ và cho phép điều chỉnh nhanh các thiết kế để phù hợp với

điều kiện địa chất hiện trường. Do đó, việc nghiên cứu sử dụng AI tính toán lập hồ chiếu KNM, đánh giá hiệu quả công tác KNM nhằm từng bước chuyển đổi số và tự động hóa các khâu khai thác tại các đơn vị hầm lò rất có ý nghĩa quan trọng đối với an toàn và hiệu quả khai thác của TKV trong những năm tiếp theo.

Lời cảm ơn

Các tác giả trân trọng cảm ơn Công ty cổ phần Than Núi Béo - Vinacomin; Công ty Than Thống Nhất – TKV; Công ty Than Nam Mẫu – TKV và các đơn vị hầm lò khác đã hỗ trợ chúng tôi thực hiện trong bài này.

Tài liệu tham khảo

[1]. Ahn, Y.H., Kim, S.Y. (2017). *Construction industry transition with the 4th industrial revolution technology*. Journal of the Korea Institute of Building Construction. Vol. 17, No. 2 (special issue), pp. 19 - 23.

[2]. Alipour, A., Mokhtarian-Asl, M., Asadizadeh, M. (2021). *Support vectormachines for the estimation of specific charge in tunnel blasting*. Periodica Polytechnica Civil Engineering, Vol. 65, No. 3, pp. 967-976. 10.3311/PPci.17790.

[3]. Choi, B.H., Ryu, C.H., Jeong, J.H. (2009). *Tunnel blasting design suited to given specific charge*. Explosives and Blasting, Vol. 27, No. 2, pp. 33 - 41.

[4]. Choi, Y.K. (2005). *Development of automated pattern generation method for tunnel blasting*, Explosives and Blasting, Vol. 23, No. 4, pp. 19 - 29.

[5]. Yangkyun Kim, Je-Kyum Lee, Sean Seungwon Lee. (2022). *A fundamental study on the automation of tunnel blasting design using a machine learning model*. Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association. 2022. Vol.24, Issue 5. 30 September 2022, pp. 431 - 449.

[6]. Hafner, M., Rajšter, D., Žibert, M., Tušar, T., Ženko, B., Žnidaršič, M., Fuat, F., Vladušič, D. (2019). *Artificial intelligence support for tunnel design in urban areas*. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology. Architecture and Art, Taylor & Francis, London, pp. 2196 - 2205. 10.1201/9780429424441-232.

[7]. Nguyễn Hoàng (2025). *Nghiên cứu một số mô hình trí tuệ nhân tạo dự báo chấn động nổ mìn trong khai thác mỏ lộ thiên*. LATS Kỹ thuật. Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Hà Nội. 2020.

[8]. Kim, Y. (2021). *An analysis of artificial intelligence algorithms applied to rock engineering*. Tunnel and Underground Space. Vol. 31. No. 1, pp. 25 - 40. 10.7474/TUS.2021.31.1.025.

[9]. Kim, Y., Bruland, A. (2015). *Comparison of tunnel excavation cycle time for Norwegian and Korean tunnels*. Proceedings of the 41th ITA World Tunnel Congress. Dubrovnik. Croatia.

[10]. Mehrishal Seyedahmad, Junsu Leem, Il-Seok Kang, Young Jin Shin, Juhyi Yim, Jae-Joon Song (2025). *Pattern Projection Solution for Rapid and Accurate Tunnel Face Blasting Implementation, Tunnel and Underground Space*. 31 August 2025, Pp. 415 - 430.

[11]. Lee, J.K., Choi, W.H., Kim, Y., Lee, S.S. (2021). *A study on the rockmass classification in boreholes for a tunnel design using machine learning algorithms*. Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 23, No. 6, pp. 469-484. 10.9711/KTAJ.2021.23.6.469.

[12]. Yangkyun Kim, Je-Kyum Lee, Sean Seungwon Lee (2022). *A fundamental study on the automation of tunnel blasting design using a machine learning model*. Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, 24(5)43, pp. 1-449(2022).

[13]. Lee, T.H. (2016). *Development of an artificial neural network for optimization of tunnel blasting design, Doctoral Thesis*. City University of Hong Kong, pp. 143 - 194.

[14]. MOLIT (2016), Korean design standard, KDS 27 20 00, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp. 3 - 4.

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Số 8 phố Tăng Bạt Hổ, P. Cửa Nam, TP. Hà Nội

Điện thoại: 024.39423346, 024.39424620 * Fax: 024.38224784

Website: www.nxbgtvt.vn

* Email: nxbgtvt@fpt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN - NỘI DUNG:

GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP:

Nguyễn Minh Nhật

BIÊN TẬP:

Ngô Thị Bích Diệp

TRÌNH BÀY:

Vương Thị Mai

ĐỐI TÁC LIÊN KẾT
Công ty cổ phần In Bản Việt
Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội

In 250 cuốn, khổ 19x27 cm, tại Công ty cổ phần In Bản Việt.

Địa chỉ: Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội.

Số xác nhận đăng ký xuất bản:-2025/CXBIPH/...-.../GTVT.

Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3270-1

Quyết định xuất bản số: .. LK/QĐ-XBGT ngày tháng năm 2026.

In xong và nộp lưu chiểu năm 2026.