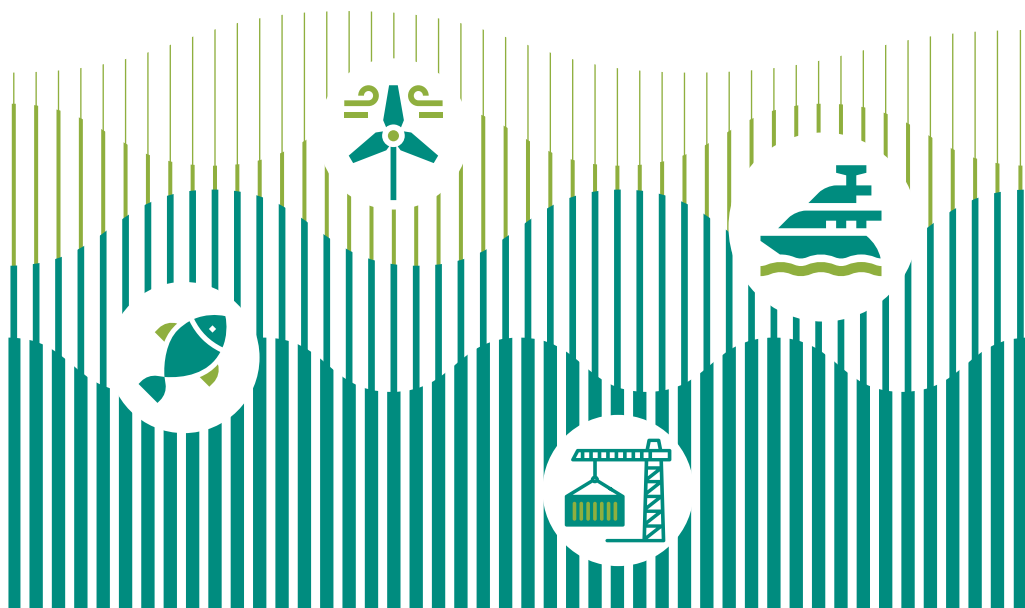


비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ)

- 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로

A Study on the Advancement of the Non-container Port
Throughput Forecasting Model(Ⅲ)
: A Focused Analysis on Iron Ore, Chemical Industry Product,
Other Ore, Miscellaneous Goods

이나영 · 신정훈 · 김영훈 · 이수영 · 이기열



비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ)

- 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로

A Study on the Advancement of the Non-container Port
Throughput Forecasting Model(Ⅲ)
: A Focused Analysis on Iron Ore, Chemical Industry Product,
Other Ore, Miscellaneous Goods

이나영 · 신정훈 · 김영훈 · 이수영 · 이기열



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	이나영, 신정훈, 김영훈, 이수영, 이기열				
내부연구진	연구책임자	이나영	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	신정훈	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	김영훈	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	이수영	한국해양수산개발원	항만연구본부	전문연구원
	공동연구원	이기열	한국해양수산개발원	항만연구본부	연구위원
연구기간	2024. 1. 1. ~ 2024. 10. 31.				
보고서 집필내역					
연구책임자	이나영 연구총괄, 제1장 일부, 제2장, 제3장, 제7장 일부				
	내부연구진	신정훈	제1장 일부, 제4장		
		김영훈	제1장 일부, 제5장		
		이수영	제1장 일부, 제6장		
		이기열	제7장 일부		
산·학·연·정 연구자문위원	김영삼	포스코경영연구원 수석연구원			
	조용원	산업연구원 연구위원			
	김유정	한국지질자원연구원 책임연구원			
	송민호	부산산업과학혁신원 팀장			
	최영중	해양수산부 항만정책과 주무관			

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

본 연구는 급변하는 글로벌 공급망과 무역 환경에서 항만물동량의 정확한 예측이 필수적임을 인식하고, 항만물동량 예측모형의 고도화를 통해 국가 항만정책과 투자 효율성을 높이고자 하는 필요에서 출발하였습니다. 특히 항만은 국가 경제의 중추적인 인프라로서, 우리나라 수출입 화물의 99.5%가 항만을 통해 운송됩니다. 이로 인해 항만시설의 적절한 확충은 무엇보다 중요하며, 이를 위해 정확한 항만물동량 예측은 필수적입니다. 본 연구는 이러한 중요성을 바탕으로 기존 예측모형의 한계를 분석하고, 변화하는 산업 구조와 최신 기술을 반영한 예측모형 고도화를 목적으로 수행되었습니다.

연구는 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화의 네 개 품목을 대상으로 하여 진행되었습니다. 각 품목에 대한 산업 구조와 대내외 환경 변화를 반영할 수 있는 변수를 발굴하고, 최신의 예측 기법을 적용함으로써 기존 모형의 예측력을 향상시키고자 하였습니다. 특히, 탄소중립 정책 확대에 따른 산업 구조 변화, 인공지능 기술 발전에 따른 데이터 융합 활용 등 최근의 기술 및 정책 동향을 면밀히 분석하여 모형에 반영 하였습니다. 이러한 연구 결과는 항만정책의 적시성과 효율성을 높이는 데 기여할 것입니다. 항만물동량의 정확한 예측은 항만 인프라의 적기 확충을 가능하게 하여 과잉 투자를 방지하고, 필요한 시설에 우선적으로 자원을 투입할 수 있도록 지원합니다. 이는 글로벌 기업들의 국내 항만 이용을 촉진하여 항만 경쟁력을 높이며, 국가 경제 전반의 안정성을 강화하는 데 기여할 것으로 기대됩니다.

끝으로 본 연구의 책임자인 이나영 전문연구원과 참여 연구진인 신정훈 전문연구원, 김영훈 전문연구원, 이수영 전문연구원, 이기열 연구위원의 노고에 깊은 감사를 표합니다. 아울러 본 연구의 품질 확보를 위해 많은 조언을 아끼지 않으신 항만연구본부 김근섭 본부장, 해양수산부 최영중 주무관, 포스코경영연구원 김영삼 수석연구원, 산업연구원 조용원 연구위원, 한국지질자원연구원 김유정 책임연구원, 부산산업과학혁신원 송민호 팀장에게 이 자리를 빌려 감사의 말씀을 전합니다.

2024년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약_i

Executive Summary_vii

01

서론_1

제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	4
제2절 연구 내용 및 방법	5
1. 연구 내용	5
2. 연구 방법	6
제3절 선행연구 검토 및 차별성	8
1. 선행연구 검토	8
2. 선행연구와의 차별성	15

02

항만 수요예측 방법론 검토_19

제1절 수요예측 방법론	19
1. 회귀 모형(Regression Model)	19
2. 시계열 모형(Time Series Model)	20
3. 머신러닝 기반 모형	23
제2절 예측모형 검증 방법론 및 평가지표	26
1. 검증 방법론	26
2. 평가지표	29
제3절 소결 및 시사점	31

03 철광석 항만물동량 예측모형 고도화_33

제1절 국내외 철광석 연관 산업 동향	33
1. 철광석 연관 산업 개요	33
2. 국내외 철광석 연관 산업 동향 분석	40
제2절 철광석 항만물동량 예측모형 진단	46
1. 철광석 항만물동량 현황 및 특징	46
2. 기존 철광석 예측모형의 특징 및 한계	49
제3절 철광석 항만물동량 예측모형 고도화	52
1. 변수 추가 및 모형 다양화: 수입 물동량 예측모형	53
2. 고로 조강생산량 전망 모형 개선	57
제4절 소결 및 시사점	63

04 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화_67

제1절 국내외 화학공업생산물 연관 산업 동향	67
1. 화학공업생산물 연관 산업 개요	67
2. 국내외 화학공업생산물 연관 산업 동향 분석	71
제2절 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 진단	78
1. 화학공업생산물 항만물동량 현황 및 특징	78
2. 기존 화학공업생산물 예측모형의 특징 및 한계	82
제3절 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화	89
1. 석유화학산업 수출 모형 개선	90
2. 탄소중립에 따른 선박연료 전환 반영	98
제4절 소결 및 시사점	113

05

기타광석 향만물동량 예측모형 고도화_117

제1절 국내외 기타광석 연관 산업 동향	117
1. 기타광석 연관 산업 개요	117
2. 국내외 기타광석 연관 산업 동향 분석	121
제2절 기타광석 향만물동량 예측모형 진단	125
1. 기타광석 향만물동량 현황 및 특징	125
2. 기존 기타광석 예측모형의 특징 및 한계	126
제3절 기타광석 향만물동량 예측모형 고도화	130
1. 석회석 예측모형 구축	131
2. 비철금속 예측모형 구축	134
제4절 소결 및 시사점	138

06

잡화 향만물동량 예측모형 고도화_141

제1절 국내외 잡화 연관 산업 동향	141
1. 잡화 연관 산업 개요	141
2. 국내외 잡화 연관 산업 동향 분석	145
제2절 잡화 향만물동량 예측모형 진단	151
1. 잡화 향만물동량 현황 및 특징	151
2. 기존 잡화 예측모형의 특징 및 한계	155
제3절 잡화 향만물동량 예측모형 고도화	157
1. 잡화물동량 산업군 세분화(기계류, 식품류, 섬유류)	158
2. 변수 추가 및 모형 다양화: 기계류 잡화 물동량 전망 모형 구축	163
3. 변수 추가 및 모형 다양화: 식품류 잡화 물동량 전망 모형 구축	167
4. 변수 추가 및 모형 다양화: 섬유류 잡화 물동량 전망 모형 구축	171
제4절 소결 및 시사점	174

07	결론 및 정책제언_191	
	제1절 연구 요약 및 결론	177
	제2절 연구의 기여 및 활용방안	182

참고문헌_185

부록_193

표 목차

〈표 1-1〉 SOC 예산에서 항만 부문 비중	3
〈표 1-2〉 품목별 변수 발굴 중심의 주요 선행연구	10
〈표 1-3〉 품목별 예측 방법론 관련 주요 선행연구	14
〈표 1-4〉 연구 차별성	17
〈표 2-1〉 예측모형 성능 평가지표	30
〈표 3-1〉 철강제품 종류 및 사용목적	38
〈표 3-2〉 지역별 철강 수요 전망	42
〈표 3-3〉 국가별(Top 10) 철강 수요 전망	42
〈표 3-4〉 국내외 주요 기업 전기로 시설 확대 계획	45
〈표 3-5〉 철광석 HS코드	46
〈표 3-6〉 철광석 매장량 및 생산량(2022년 기준)	47
〈표 3-7〉 철광석 항만물동량 현황	48
〈표 3-8〉 철광석 한계점 및 개선방향	52
〈표 3-9〉 철광석 수입 물동량 예측모형 변수 기초통계량(1994~2023)	54
〈표 3-10〉 철광석 수입 물동량 예측값 비교	56
〈표 3-11〉 철광석 수입 예측모형 간 예측 정확도 비교	56
〈표 3-12〉 고로 조강생산량 전망 모형 분석데이터	58
〈표 3-13〉 최종 선정된 국내 조강생산량 전망 모형 변수 기초통계량(2000~2023)	59
〈표 3-14〉 국내 고로 조강생산량 전망 모형 간 예측값 비교	61
〈표 3-15〉 고로 조강생산량 예측모형 간 예측 정확도 비교	62
〈표 4-1〉 화학공업생산물에 해당하는 품목(HS코드 두 자리 기준)	68
〈표 4-2〉 화학공업생산물 물동량 및 비중	79
〈표 4-3〉 주요 항만별 화학공업생산물 물동량 및 비중	81
〈표 4-4〉 화학공업생산물 예측의 한계점 및 개선방향	88
〈표 4-5〉 석유화학산업 수출 모형 변수 선정	91
〈표 4-6〉 석유화학산업 수출 모형 변수	92
〈표 4-7〉 모형 간 예측 정확도 비교 선정	97
〈표 4-8〉 국내 해운업 제품별 수요	99

〈표 4-9〉 국제 벙커링 수요	100
〈표 4-10〉 외항 물동량 및 외항선 입항 실적	102
〈표 4-11〉 국내 전국 항만의 외항 물동량 실적 및 전망	102
〈표 4-12〉 연료 종류별 장래 벙커링 수요 비중 가정	105
〈표 4-13〉 우리나라 외항선 입항 총톤수 회귀분석 결과 요약	107
〈표 4-14〉 연료 종류별 장래 벙커링 전환 물동량	109
〈표 4-15〉 주요 친환경 연료의 발열량	110
〈표 4-16〉 연료 종류별 장래 벙커링 수요	111
〈표 4-17〉 연료 종류별 장래 벙커링 수요 비중	112
〈표 5-1〉 기타광석의 HS코드	118
〈표 5-2〉 HS코드 상 비철금속 광물자원별 품목 구분	119
〈표 5-3〉 기타광석 예측의 한계점 및 개선방향	130
〈표 5-4〉 기타광석 연안 물동량과 변수 간 상관관계(2000~2023)	132
〈표 5-5〉 기타광석 연안 물동량과 예측모형 변수 기초통계량(2000~2023)	132
〈표 5-6〉 연안 물동량 전망 모형 간 예측값 비교	133
〈표 5-7〉 석회석 예측모형 간 예측 정확도 비교	134
〈표 5-8〉 기타광석 수입 물동량과 변수 간 상관관계(1994~2023)	135
〈표 5-9〉 최종 선정된 수입 물동량 변수 기초통계량(1994~2023)	135
〈표 5-10〉 수입 물동량 전망 모형 간 예측값 비교	137
〈표 5-11〉 비철금속 예측모형 간 예측 정확도 비교	137
〈표 6-1〉 잡화 구성 세부품목	142
〈표 6-2〉 일반기계산업의 생산액과 부가가치 추이	146
〈표 6-3〉 국내 기계산업 국가별 수출입 금액	147
〈표 6-4〉 국내 식품제조업 산업 현황	148
〈표 6-5〉 국내 농식품 수출입 현황	149
〈표 6-6〉 국내 섬유산업 현황	150
〈표 6-7〉 잡화물동량 세부품목(HS코드) 및 국문 품명	151
〈표 6-8〉 잡화 항만물동량 추이	152
〈표 6-9〉 잡화 한계점 및 개선방향	157

〈표 6-10〉 잡화물동량 산업군 세분화	158
〈표 6-11〉 잡화물동량 산업군별 실적 비중	159
〈표 6-12〉 기계류 잡화물동량 세부품목별 실적	159
〈표 6-13〉 식품류 잡화물동량 세부품목별 실적	160
〈표 6-14〉 기타류 잡화물동량 세부품목별 실적	162
〈표 6-15〉 기계류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터	164
〈표 6-16〉 기계류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계	165
〈표 6-17〉 최종 선정된 기계류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량	165
〈표 6-18〉 기계류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교	166
〈표 6-19〉 기계류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교	167
〈표 6-20〉 식품류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터	168
〈표 6-21〉 식품류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계	168
〈표 6-22〉 최종 선정된 식품류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량	169
〈표 6-23〉 식품류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교	170
〈표 6-24〉 식품류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교	170
〈표 6-25〉 섬유류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터	171
〈표 6-26〉 섬유류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계	172
〈표 6-27〉 최종 선정된 섬유류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량	172
〈표 6-28〉 섬유류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교	173
〈표 6-29〉 섬유류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교	173
〈표 7-1〉 품목별 모형 개선 결과 요약	181
〈표 7-2〉 연구의 기여사항	183
〈부록 1-1〉 품목별 변수 발굴 중심의 주요 선행연구	193
〈부록 1-2〉 품목별 예측 방법론 관련 주요 선행연구	198

그림 목차

〈그림 1-1〉 국내 항만물동량 추이	2
〈그림 1-2〉 연구 흐름도	7
〈그림 2-1〉 MLP 모형 구조	24
〈그림 2-2〉 RNN 모형 구조	25
〈그림 2-3〉 K-Fold 교차검증 개념도	27
〈그림 2-4〉 홀드아웃 개념도	28
〈그림 2-5〉 부트스트랩 도식도	29
〈그림 3-1〉 고로 공정	35
〈그림 3-2〉 환원제에 따른 철강 제조 공정 비교	37
〈그림 3-3〉 철강산업 전·후방 연계 산업	40
〈그림 3-4〉 세계 철강 생산량 추이	43
〈그림 3-5〉 한국 철강 생산량 추이	44
〈그림 3-6〉 철광석 항만물동량 예측 프로세스	50
〈그림 3-7〉 철광석 예측 고도화 절차	53
〈그림 3-8〉 국내 조강생산량과 추가 변수 간 상관관계(2000~2023)	59
〈그림 3-9〉 고로 및 전기로 비중	60
〈그림 3-10〉 고로 조강생산량 전망 모형 간 예측값 비교	62
〈그림 3-11〉 철광석 항만물동량 예측모형 고도화 결과	66
〈그림 4-1〉 석유화학산업의 범위	70
〈그림 4-2〉 석유화학제품과 화학공업생산물 해당 품목	71
〈그림 4-3〉 우리나라 석유화학산업의 발전 과정	72
〈그림 4-4〉 국내 석유화학 계통도	73
〈그림 4-5〉 국내 주요 석유화학단지 위치 및 현황	75
〈그림 4-6〉 2050 탄소중립 로드맵	77
〈그림 4-7〉 화학공업생산물 물동량 추이	79
〈그림 4-8〉 주요 항만별 화학공업생산물 물동량 및 비중 추이	80
〈그림 4-9〉 화학공업생산물 예측 프로세스	82
〈그림 4-10〉 제품, 중간원료, 기초유분의 생산·수요·수출 전망	85

〈그림 4-11〉 화학공업생산물 중 석유화학제품의 수입 및 수출 전망	85
〈그림 4-12〉 화학공업생산물 중 공산품·소비재 제품의 수입 총 및 컨 물동량 전망 · 86	
〈그림 4-13〉 화학공업생산물 중 소비재 제품의 수출 총물동량 전망	87
〈그림 4-14〉 화학공업생산물 예측 고도화 절차	89
〈그림 4-15〉 기초유분 수출량 및 주요국 GDP 추이	91
〈그림 4-16〉 기초유분 수출량 예측결과 비교	93
〈그림 4-17〉 VAR 모형 분석 결과	94
〈그림 4-18〉 RNN 모형 분석 결과	94
〈그림 4-19〉 LSTM 모형 분석 결과	95
〈그림 4-20〉 MLP 모형 분석 결과	95
〈그림 4-21〉 다중 선형회귀 모형 분석 결과	96
〈그림 4-22〉 단순 선형회귀 모형 분석 결과	96
〈그림 4-23〉 외항 물동량과 외항선 입항 실적 추세	101
〈그림 4-24〉 선박 및 항공 부문 에너지 소모량 비중 전망(IEA)	103
〈그림 4-25〉 시나리오별 교통분야 에너지 수요 전망(2022~2025년)	104
〈그림 4-26〉 bunker링 실적 및 전망(BAU) 비중	105
〈그림 4-27〉 연료별 bunker링 수요 전망 절차	106
〈그림 4-28〉 bunker링 실적 및 전망(BAU)	108
〈그림 4-29〉 타 연료로의 bunker링 전환수요	108
〈그림 4-30〉 선박연료별 증감 전망	110
〈그림 4-31〉 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화 결과	115
〈그림 5-1〉 기타광석 물동량 추이	125
〈그림 5-2〉 기타광석 예측 프로세스	127
〈그림 5-3〉 기타광석 예측 고도화 절차	131
〈그림 5-4〉 기타광석 항만물동량 예측모형 고도화 결과	140
〈그림 6-1〉 한국의 기계산업 분류	143
〈그림 6-2〉 한국의 식품산업 분류	144
〈그림 6-3〉 한국의 섬유산업 생산 구조	145
〈그림 6-4〉 對미국 기계 수출 주요 품목(2023년도 기준)	147

〈그림 6-5〉 국내 섬유 수출액 추이 변화('91~'23)	150
〈그림 6-6〉 잡화 주요 수입 향만물동량 실적(2022년 기준)	153
〈그림 6-7〉 평택·당진항 잡화 수입물동량 세부 품목(2022년)	154
〈그림 6-8〉 잡화 향만물동량 예측 프로세스	156
〈그림 6-9〉 잡화 예측 고도화 절차	158
〈그림 6-10〉 기계류 잡화물동량 종류별 실적 추이	160
〈그림 6-11〉 식품류 잡화물동량 종류별 실적 추이	161
〈그림 6-12〉 기타류 잡화물동량 종류별 실적 추이	163
〈그림 6-13〉 잡화 향만물동량 예측모형 고도화 결과	176

요 약

비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ)

-철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로

이나영 · 신정훈 · 김영훈 · 이수영 · 이기열

1. 연구의 배경 및 목적

- 항만은 국가 경제의 핵심 인프라로서, 수출입 화물의 약 99.5%가 항만을 통해 운송되는 우리나라에서 항만시설의 적절한 확충은 무엇보다 중요함
 - 특히, 최근 급변하는 글로벌 공급망과 무역 환경 속에서 적기의 항만시설 확충은 무엇보다 중요하며, 이를 위해서 정확한 항만물동량 예측은 필수적임
 - 항만물동량은 정부의 정책 결정, 민간 기업의 투자, 그리고 국제 교역 전략 수립의 중요한 기초자료로 활용되는 만큼 그 활용성과 중요성이 높다고 할 수 있음
- 항만물동량의 예측 정확도를 높이기 위해서는 다양한 환경 변화 요인을 보다 면밀히 분석하고, 이를 모형에 반영하는 것이 중요함
 - 탄소중립 정책 확대에 따른 산업 구조 변화 및 기술 개발로 인한 항만물동량 변화를 장기적으로 반영할 필요가 있음

-
- 또한, 디지털화와 인공지능 기술의 발전으로 다양한 기관의 데이터를 융합 및 활용하여 예측의 정확성을 높이는 많은 연구가 진행되고 있는 만큼 최신의 기술을 활용한 예측모형 고도화가 필요한 시점임
 - 이를 위해 본 연구에서는 국내 항만 개발 및 정책 판단의 근간이 되는 항만물동량 예측모형을 고도화하고자 함
 - 총 14개 항만물동량 품목 가운데 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화 품목을 대상으로 함
 - 품목별 특성에 따라 변화하는 산업 구조 및 대내외 환경을 반영할 수 있는 변수를 발굴하거나, 최신의 수요예측기법을 활용하여 기존 모형 대비 예측력을 개선하고자 함

2. 연구의 방법

1) 선행연구 및 연관 산업 동향 검토

- 예측모형 고도화를 위해 품목별 선행연구 및 관련 산업 동향 검토를 통해 추가적인 변수 발굴 및 신규 모형을 검토함
- 항만물동량뿐만 아니라 해당 품목의 수요, 공급, 가격 등을 예측하는 다양한 선행연구를 검토하여 최근 항만물동량 예측에 많이 활용되는 머신러닝 기법 등을 검토함
- 또한, 품목과 연관된 산업의 최근 동향이 수록된 보고서 검토를 통해 적용 가능한 추가 변수를 발굴함

2) 기존 예측모형 진단

- 품목별 항만물동량 특징 및 기존 예측모형을 진단하여 한계점 등을 도출함
 - 품목별·유형별 다각적 분석을 통해 항만물동량이 지니고 있는 특징을 도출하고, 기존의 예측모형이 가지고 있는 한계점을 진단함
 - 기존 철광석은 예측모형 및 변수가 단순하여 장래 탄소중립 정책에 따른 트렌드를 반영하지 못하고, 고로 조강생산량의 과대 추정 문제가 발생하고 있음
 - 기존 화학공업생산품은 최근 중국 자급화 증가에 따른 수출 구조 변화를 반영할 수 있는 변수가 부재하고, 탄소중립에 따른 연료 전환 등이 고려되지 못하고 있는 한계점이 있음
 - 기존 기타광석은 단일 변수를 활용함에 따라 다양한 광종의 특성을 반영하지 못하는 한계점이 있음
 - 기존 잡화는 다양한 산업군으로 구성되어 있어 잡화 물동량의 급변 요인 등을 파악하기 어려워 인과형 예측모형이 부재하였음

3) 예측모형 고도화

- 산업 동향 및 기존 예측모형 진단 결과, 전문가 의견 등을 활용하여 품목별 고도화 방안을 제시함
 - 철광석은 탄소중립 정책에 따른 철강 생산 방식 변화를 고려하기 위해 전기로 생산 비중을 추가 변수로 고려하였으며, 고로 조강생산량의 추정 방식을 기존 상향식(Bottom-up)에서 하향식(Top-down)으로 변경하는 것을 제시함
 - 화학공업생산품은 수출의 구조적인 변화를 고려하기 위해 중국과 미국의 거시경제지표를 추가적으로 고려하고, 탄소중립 정책에 따른 선박연료의 전

환을 반영하기 위해 친환경 연료 수요 모형을 추가적으로 개발하는 것을 제시함

- 기타광석은 광종의 다양성을 고려하기 위해 기타광석 예측모형을 주요 광종인 석회석, 비철금속, 기타(소금류, 슬래그류)로 구분하는 것을 고도화 방안으로 제시함
- 잡화는 광범위한 산업군의 특성을 반영하기 위해 세부 16개 품목을 기계류, 식품류, 섬유류 세 개 산업군으로 구분하고 해당 산업군에 따른 인과 변수 발굴 및 개별 예측모형 구축을 고도화 방안으로 제시함

3. 연구 결과

- 제시된 고도화 방안에 대해 k-fold 검증 방법론 및 평가지표(RMSE, MAPE) 등을 활용하여 고도화 결과의 타당성을 확보함
- 철광석 예측모형에 전기로 생산 비중을 추가 변수로 적용한 결과, 변수를 고려하지 않은 경우와 대비하여 예측 정확도가 개선되었으며, 고로 생산량의 예측 방법 변경은 기존 모형 대비 예측 오차율을 3.8%p 개선시킴
- 화학공업생산품 예측모형에 미국과 중국 거시경제변수를 추가로 고려한 결과, 기존 모형 대비 예측 성능이 개선되었으며, 친환경 연료 수요를 고려한 신규 모형을 제시함에 따라 향후 병커링 시설 도입에 따른 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단됨
- 기타광석의 경우 석회석 예측모형과 비철금속 예측모형으로 구분하여 예측한 결과 기존 모형 대비 예측 오차율이 각각 7.8%p, 8.2%p 개선된 것으로 나타남
- 잡화물동량의 경우 세 개 산업군으로 구분하여 예측모형을 고도화한 결과, 기계류의 경우 기존 모형 대비 오차율을 3.3%p, 식품류의 경우 2.7%p, 섬유

류의 경우 3.3%p 감소시킴

4. 기대효과

1) 정책적 기대효과

- 항만물동량 예측력 개선으로 국내 항만정책의 적시성과 효율성 향상이 기대됨
- 장래 항만물동량은 국내 항만시설의 수급 분석을 위한 기초자료로 활용되는 만큼 정확한 항만물동량 예측은 적기의 항만시설 공급을 가능하게 해줄 것으로 기대됨
- 또한 다양한 항만정책의 의사결정 단계의 기초자료로 활용됨에 따라 항만정책의 정확성과 효율성을 향상시킬 것으로 기대됨

2) 사회·경제적 기대효과

- 국내 항만시설에 대한 효율적인 투자로 국내 항만의 투자 효율성 및 경쟁력 증가가 기대됨
- 항만물동량의 정교한 예측으로 항만 인프라 투자를 적기에 효율적으로 시행함에 따라 불필요한 과잉투자를 줄이고, 필요한 시설에 우선적으로 자원을 투입하는 등 효율적인 투자가 가능함
- 적절한 항만시설의 투자는 글로벌 기업들이 국내 항만을 선택할 수 있는 요인으로 작용하며, 이는 곧 국내 항만의 경쟁력 향상으로 이어짐
- 또한, 정확한 항만물동량 예측은 글로벌 공급망의 불확실성이 높아진 상황에서 급변하는 외부 환경에 민첩하게 대응할 수 있는 대응력을 향상시켜 궁극적으로 국가 경제 전반의 충격을 완화하는 역할을 수행할 것으로 기대됨

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on the Advancement of the Non-container Port Throughput Forecasting Model(III)

: A Focused Analysis on Iron Ore, Chemical Industry Product, Other Ore, Miscellaneous Goods

Na-Young Lee · Jung-Hoon Shin · Young-Hoon Kim · Su-Young Lee
· Ki-Youl Lee

1. Background and Purpose

- Ports are a key infrastructure for the national economy. In Korea, where approximately 99.5% of import and export cargo is transported through ports, the appropriate expansion of port facilities is essential.
- Especially in today's rapidly changing global supply chain and trade environment, the timely expansion of port facilities is crucial, and accurate port throughput forecasting is vital to support this need.
- Port throughput serves as a critical foundation for government policy decisions, private sector investments, and the formulation

of international trade strategies, highlighting its high utility and importance.

- To improve the accuracy of port throughput forecasts, it is essential to thoroughly analyze a wide range of environmental change factors and incorporate them into the forecasting model.
- Consideration must be given to long-term shifts in port throughput resulting from industrial restructuring and technological advancements driven by the growth of carbon-neutral policies.
- Additionally, with the advancement of digitalization and artificial intelligence, diverse research is underway to enhance prediction accuracy by integrating and utilizing data from various sources, highlighting the need to refine forecasting models with cutting-edge technology.
- This study aims to advance the port throughput forecasting model, which is foundational for domestic port development and policy decision-making.
- It focuses on four items out of a total of 14 port throughput categories: iron ore, chemical industry products, other ores, and miscellaneous goods.
- By identifying variables that reflect changes in industrial structures and internal and external environments based on each item's characteristics, and by applying the latest demand forecasting techniques, the study seeks to improve the predictive power of the model compared to previous versions.

2. Methodology

1) Review of Previous Studies and Related Industry Trends

- To enhance the forecasting model, a comprehensive review of prior studies and related industry trends was conducted for each category to identify additional variables and examine new models.
- A variety of previous studies, encompassing not only on port throughput but also demand, supply, and pricing for each item, were reviewed to identify recent machine learning techniques frequently used in port throughput forecasting.
- Additionally, reports on recent trends in industries related to each item were reviewed to identify additional applicable variables.

2) Diagnosis of Existing Forecasting Models

- The characteristics of port throughput by item and the limitations of existing forecasting models were analyzed.
- A multi-faceted item-specific analysis was conducted to identify the characteristics of port throughput and diagnose the limitations of existing forecasting models.
- Iron ore: Existing models and variables are too simple to reflect trends related to future carbon-neutral policies, leading to issues like overestimating blast furnace crude steel production.

-
- Chemical industry products: Current models lack variables to address shifts in export structures caused by China's increasing self-sufficiency and fail to account for fuel transitions driven by carbon-neutrality.
 - Other ores: The use of a single variable prevents the model from reflecting the characteristics of various types of ores.
 - Miscellaneous goods: Given the diverse industries within this category, identifying the rapidly evolving factors influencing throughput is challenging, and no causal forecasting model is currently in place.

3) Enhancement of the Forecasting Model

- Based on industry trends, diagnosis of existing forecasting models, and expert opinions, enhancement strategies for each item were proposed.
- Iron ore: To account for changes in steel production methods driven by carbon-neutral policies, the model considers adding the share of electric furnace production as a new variable. Additionally, it proposes shifting from a top-down to a bottom-up approach in estimating blast furnace crude steel production.
- Chemical industry products: To reflect structural changes in exports, the model proposes incorporating macroeconomic indicators from China and the United States. Additionally, to account for the shift in ship fuel due to carbon-neutral policies, a new demand model for eco-friendly fuel is proposed.

- Other ores: To consider the diversity within ore types, the model enhancement strategy proposes dividing the forecasting model into major categories: limestone, non-ferrous metals, and other (such as salts and slags).
- Miscellaneous goods: To better capture the characteristics of a wide range of industries, the enhancement strategy categorizes 16 detailed items into three industry groups—machinery, food, and textiles—and to identify causal variables and develop separate forecasting models for each industry group.

3. Result

- The validity of the proposed enhancement strategies was verified using a k-fold validation methodology and evaluation metrics (RMSE, MAPE).
- Iron ore forecasting model: Adding the share of electric furnace production as a variable improved forecast accuracy compared to the model without it. Changing the method for predicting blast furnace production reduced the forecast error rate by 3.8% compared to the previous model.
- Chemical industry products forecasting model: Incorporating U.S. and Chinese macroeconomic variables improved the model's predictive performance over the existing model. The new model considering eco-friendly fuel demand is expected to serve as foundational data for future bunkering facility implementation.

-
- Other ores: The forecasting model was separated into limestone and non-ferrous metals, resulting in forecast error rate improvements of 7.8% and 8.2%, respectively, over the previous model.
 - Miscellaneous goods: Enhancing the model by dividing it into three industry groups led to improvements, with the machinery category reducing the error rate by 3.3% and the food category by 2.7% compared to the existing model.

4. Expected Outcomes

1) Policy effects

- Improved port throughput forecasting is expected to enhance the timeliness and efficiency of domestic port policies.
- Since future port throughput data serves as foundational information for analyzing the supply and demand of domestic port facilities, accurate forecasting is expected to enable timely provision of port facilities.
- Additionally, as this data will be used as a basis in the decision-making stages of various port policies, it is anticipated to improve the accuracy and efficiency of port policy formulation.

2) Socio-Economic Outcomes

- Efficient investment in domestic port facilities is expected to increase the investment efficiency and competitiveness of Korean ports.
- Accurate port throughput forecasting enables timely and efficient port infrastructure investments, reducing unnecessary overinvestment and prioritizing resources for essential facilities.
- Proper investment in port facilities can incentivize global companies to choose Korean ports, thereby enhancing the competitiveness of domestic ports.
- Moreover, accurate port throughput forecasting can strengthen response capabilities in a volatile global supply chain environment, enabling prompt responses to rapidly changing external conditions. This adaptability is ultimately expected to help mitigate shocks to the overall national economy.

01

서론

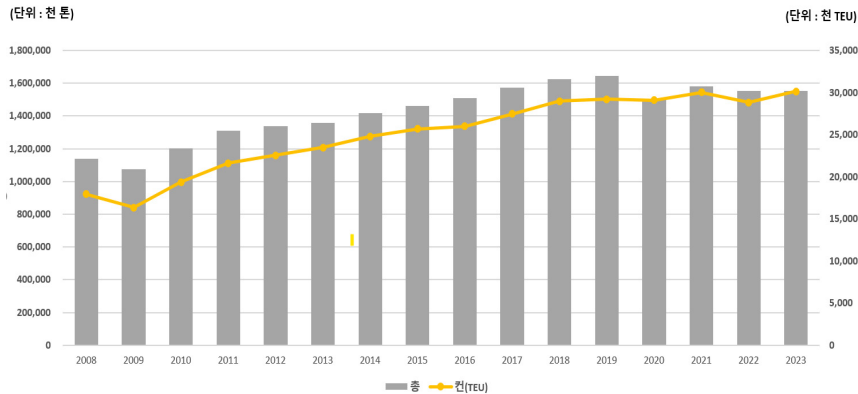
제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경 및 필요성

2023년 국내 총 항만물동량은 15억 5,113만 톤으로 지난해와 유사한 수준을 기록하였으나, 컨테이너 물동량은 전년 대비 4.6% 증가하여 역대 최대치인 3,015만 TEU를 기록했다.¹⁾ 항만물동량은 지난 10년간 연평균 1.3%, 컨테이너는 같은 기간 2.5% 성장하고 있으나, 최근 그 증가세는 둔화되고 있는 실정이다. 이는 최근 들어 코로나19 팬데믹, 러시아-우크라이나 전쟁 등 글로벌 경제 상황을 포함하여 국내외 다양한 변수의 빈도가 증가하면서 변동성이 커진 것으로, 이는 장래 항만물동량을 전망하는 것이 더 어렵고 복잡해진 것을 의미한다.

1) 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.4.2.)

〈그림 1-1〉 국내 항만물동량 추이



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.4.2.)

한편, 항만은 국가 경제 성장의 핵심 인프라로서, 수출입 화물의 약 99.5%가 항만을 통해 운송되는 우리나라에서 항만시설의 적절한 확충은 무엇보다 중요하다. 이러한 항만개발 계획은 항만물동량을 근거로 추진되는데 항만개발에는 막대한 재정, 민간 자본, 노동력 등이 투입되는 장기적인 사업인 만큼 중장기 항만개발 수립 시 정확한 항만물동량 예측은 필수적이라 할 수 있다. 2023년 기준 항만 부문의 예산은 1.43조 원으로 전체 SOC 예산에서 차지하는 비중은 감소하는 추세이나, 코로나19 팬데믹 이후 침체된 지역 경제 회복과 지역 상생 新항만 구축 등을 위해 2020년부터 점차 증가하고 있다. 또한 최근 급변하는 글로벌 공급망과 무역 환경 속에서 항만시설을 적기에 확충하는 것은 무엇보다 중요하며 이를 위해서도 정확한 항만물동량 예측은 필수적이다. 추가적으로 항만물동량 예측치는 정부의 정책 결정, 민간기업의 투자, 그리고 국제 교역 전략 수립에 중요한 기초자료로 활용되는 만큼 그 활용성과 중요성이 높다고 할 수 있다.

〈표 1-1〉 SOC 예산에서 항만 부문 비중

단위: 억 원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023
전체 SOC 예산	189,916	197,531	231,311	265,090	279,683	249,879
항만 부문 (비중)	13,068 (6.9%)	12,916 (6.5%)	14,581 (6.3%)	15,896 (9.0%)	15,182 (5.4%)	14,341 (5.7%)

자료: 해양수산부(2024), p. 43.

항만물동량 예측 정확도를 높이기 위해 다양한 환경 변화 요인을 보다 면밀히 분석하고 이를 모형에 반영하는 것이 중요하다. 최근 몇 년간의 항만물동량 추이를 보면 글로벌 공급망의 변화, 주요 교역국의 경제성장률 등 다양한 외부 요인이 항만물동량에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 국내 경제의 변화, 산업구조의 재편, 기술 발전 등도 물동량 변화에 큰 영향을 미친다. 특히, 디지털화와 인공지능 기술의 개발은 항만물동량 예측모형의 고도화를 가능하게 하고 있다. 빅데이터 분석 기술의 발전과 다양한 데이터의 융합 등이 가능해지면서 예측의 정확성을 높이는 많은 연구가 진행되고 있다. 데이터 활용의 중요성이 증가함에 따라 다양한 기관의 데이터를 적절히 활용한 고도화된 예측모형이 필요하다. 또한 항만물동량의 경우 중장기 항만개발 계획에 활용되기 때문에 단기적인 변화뿐만 아니라 장기적인 트렌드도 반영될 필요가 있다. 예를 들어 글로벌 기후변화에 대응하기 위한 탄소중립 정책 확대에 따른 산업 전반의 장기적인 사업 구조 변화 등을 고려하여 다양한 시간 스케일의 변화를 포착할 수 있는 예측모형 구축이 필요하다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 국내 항만개발 및 정책 판단의 근간이 되는 항만물동량 예측모형을 고도화하는 것이며 총 14개 항만 품목 가운데 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화 물동량을 대상으로 한다. 예측모형 고도화를 통해 더욱 정교하고 신뢰할 수 있는 예측치를 제공하여 항만의 효율적인 개발 및 운영을 통해 국가 경제 성장에 기여할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

이를 위한 세부적인 연구 목적은 다음과 같다. 첫째, 변화하는 산업 구조 및 대내외 환경을 반영할 수 있는 추가적인 변수를 발굴하는 것이다. 최근 탄소중립에 따른 환경규제 이슈는 철을 생산하는 방식을 변화시켜 철광석 수급에 영향을 미치고 있으며, 전기를 생산하는 에너지원이 신·재생에너지(메탄올, 암모니아, 수소 등)로 전환되면서 화학공업생산물 수요 증대, 전기자동차 시장 확대, 이차전지 개발에 따른 니켈, 리튬, 구리 등 기타광석 일부 광종 수급에도 영향을 끼치고 있다. 이외에도 세계 경제성장률 둔화에 따른 소비 및 투자 감소, 국가 간 무역장벽 확대 등 대외 경제 요인도 물동량에 영향을 미치는 변수로 작용할 것이다.

둘째, 최신의 수요예측모형을 적용하는 것이다. 대내외 경제 변동성 확대 및 정책 변화 등으로 장래 물동량을 전망하는 것은 더욱 어려운 일이 될 것이다. 그러나 최근 인공지능 기술의 개발 등으로 데이터 융합 및 활용성이 증가하면서 머신러닝, 실시간 데이터 분석, 시나리오 분석 등 다양한 수요예측 방법론을 활용하면 예측의 정확성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

본 연구는 총 일곱 개의 장으로 구성되어 있다. 제1장에서는 연구의 배경 및 목적, 연구 내용 및 방법을 기술하고 선행연구 검토를 통해 본 연구와의 차별성을 제시했다. 제2장에서는 선행연구를 포함하여 과거부터 최근까지 항만물동량 수요예측을 위해 많이 활용된 예측 방법론에 대해 검토하고, 예측모형 간의 비교·검토를 위한 검증 방법론 및 평가지표 등에 대해서도 살펴보았다.

제3장에서부터 제6장까지는 개별 품목별 예측모형 고도화 방안에 대해 기술했다. 이를 위해 각 품목별 연관 산업 동향을 살펴봄으로써 향후 고려할 만한 변수 등을 추가적으로 발굴하고자 한다. 또한 품목별 항만물동량의 특징 및 기존 예측모형의 한계점을 검토하고 개선방안을 제시하여 유형별(수입/수출/연안)·항만별 특징을 고려한 예측모형을 구축하고자 한다. 이러한 일련의 과정을 통해 실제 데이터 등을 활용하여 실증분석을 진행하고, 모형 간 비교·검증을 통해 개선된 모형이 기존 모형 대비 예측 정확도가 향상되었는지 등을 비교·검토하여 가장 최적의 예측모형을 제시하고자 한다.

마지막 제7장에서는 결론 및 정책제언으로 각 품목별 개선된 모형을 요약하고, 연구 진행 도중 도출된 한계점에 대해 추후 개선방향을 제시하였으며, 예측 결과의 정책적 활용성을 제고하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 연구 방법

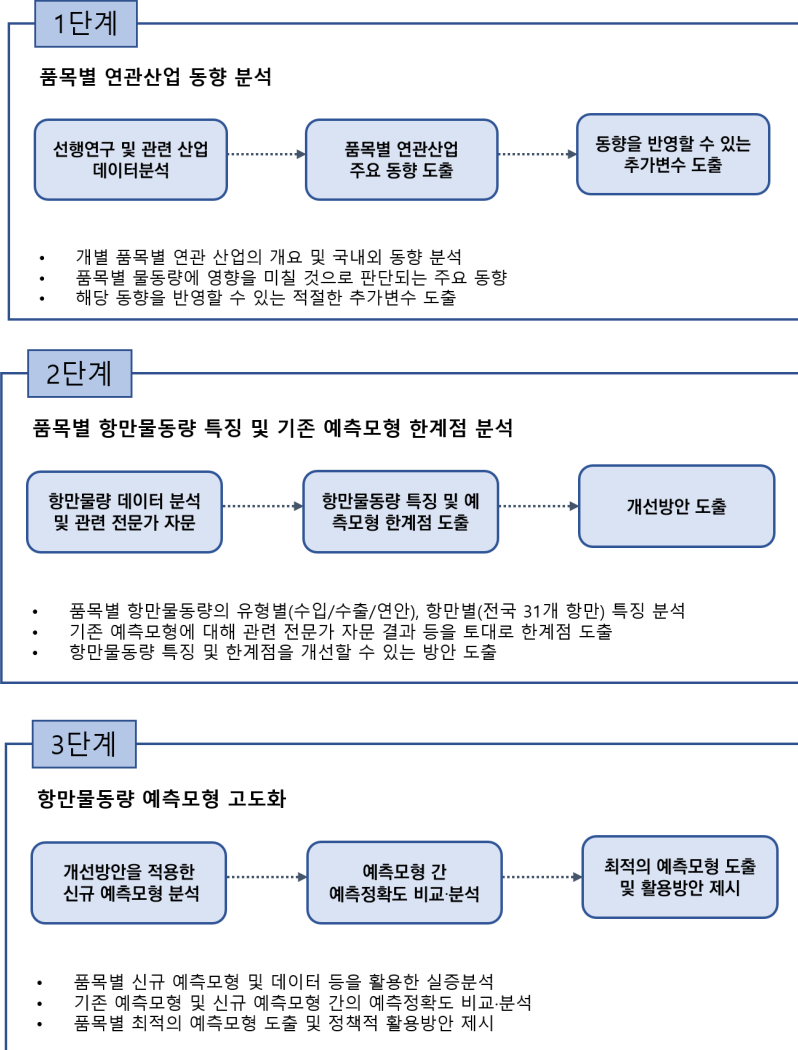
본 연구의 방법은 크게 선행연구 검토, 품목 연관 산업 관련 보고서 및 데이터를 활용한 산업 동향 분석, 품목별 항만물동량 특징 및 기존 예측모형 한계점 검토를 위해 해운항만물류정보시스템 자료 분석, 산업 전문가 자문 결과 활용, 최적의 예측모형 도출을 위한 다양한 수요예측 방법론 및 평가지표 적용 등 실증분석을 주요 방법으로 하고 있다.

연구 흐름도에 따라 단계별로 활용된 연구 방법론은 다음과 같다. 첫째, 1단계에서는 품목별 관련 산업 동향 분석을 위해 선행연구를 포함하여 관련 산업 데이터 분석을 통해 항만물동량에 영향을 미칠 만한 주요 동향을 제시하고자 한다. 이를 통해 이러한 동향을 반영할 수 있는 추가 변수 등을 도출하고자 한다.

둘째, 2단계에서는 항만물동량 데이터 분석 및 관련 산업 전문가 자문 등을 토대로 개별 품목별 항만물동량의 특징, 기존 예측모형의 한계점 등을 검토하고자 한다. 이를 위해 품목별 항만물동량을 유형별(수입/수출/연안)·항만별로 살펴보는 등 다각적 분석을 통해 품목별 항만물동량이 지니고 있는 특징을 도출하여 이러한 특징을 반영할 수 있는 개선방안을 제시하고자 한다. 또한 기존의 예측모형과 관련하여 관련 전문가 자문 등을 통해 예측변수 및 예측 방법의 적절성 등에 대해서 검토받고, 한계점에 대해서는 이를 보완할 수 있는 방안도 함께 도출하고자 한다.

셋째, 3단계에서는 도출된 개선방안을 중점으로 실제 데이터 등을 활용하여 신규 예측모형을 분석하고자 한다. 이후 기존 예측모형과 신규 예측모형 간의 예측 정확도를 비교·분석하여 품목별 최적의 예측모형을 도출하고 이를 활용할 수 있는 활용방안을 제시하고자 한다.

〈그림 1-2〉 연구 흐름도



자료: 저자 작성

제3절 선행연구 검토 및 차별성

1. 선행연구 검토

항만물동량 예측모형과 관련된 선행연구는 컨테이너를 중점으로 진행되어 품목별 항만물동량 선행연구는 극히 드문 편이다. 따라서 품목의 항만물동량을 포함하여 해당 품목의 수요, 공급, 가격 등 다양한 예측모형을 고려한 선행연구를 검토하고자 한다. 선행연구는 크게 품목별 관련 산업의 현황 및 전망을 바탕으로 추가적인 변수를 발굴하여 모형을 개선할 수 있는 선행연구와, 최신의 예측 방법론을 적용하여 예측모형을 개선한 선행연구로 구분하여 살펴보고자 한다.

1) 변수 발굴 중심의 선행연구

① 철광석

장원익(2010)은 해상물동량 가운데 큰 비중을 차지하는 철광석과 석탄 해상물동량 전망을 통해 향후 해운·조선 경기를 진단하고자 하였다. 이때 철광석 해상물동량을 전망하기 위한 주요 변수로 조강생산량과 세계 GDP를 독립변수로 고려했다. Wang et al.(2023)은 철광석 가격을 전망하기 위해 철광석 가격에 영향을 미치는 요인을 분석하여 총 여덟 가지 요인을 도출했다. 해당 요인은 철광석 가격에 영향을 미치는 요인이지만 철광석 가격은 철광석 수요 및 공급에 영향을 미치는 요인이기 때문에 해당 요인들을 추가적인 변수로 고려하여 유의미한 영향을 미치는지 검토할 필요성이 있다고 판단된다.

② 화학공업생산물

조용원(2018)은 정유기업이 자신들이 생산한 나프타를 원료로 하는 석유화학 부문으로 사업영역을 확대하는 움직임에 대한 영향을 분석하였다. 연구에서 수급분석은 선형로그 형태를 가정한 연립방정식 모형을 사용했으며, 수요 측면에서 에틸렌 가격, 합성수지 가격, 코스피 지수, 공급 측면에서 에틸렌 가격, 합성수지 가격, 국제 유가를 변수로 하였다. 박한솔(2015)은 유가와 석유화학산업이 우리나라 거시경제에 미치는 영향을 벡터자기회귀 모형을 활용해 실증분석하였다. 투입되는 변수는 두바이유, 에틸렌, 파라자일렌(P-X), 환율, 이자율, 소비자물가지수, 실업률, GDP를 변수로 하였다.

③ 기타광석

기타광석으로 분류되는 광물은 대부분 산업용 원료로 사용되며, 이러한 산업용 광물의 수요는 최종 용도에 따라 정해지는 경우가 많다. 이현복(2013)은 석회석, 고령토, 납석, 장석, 규석 등 국내 5대 산업광물의 국내 생산 및 수출입 등 수급구조를 분석하였다. 이들 산업광물들은 대부분 직간접적으로 시멘트 생산 및 건축용 자재 등에 사용되므로 국내 건설수주 동향 및 시멘트 생산량에 큰 영향을 받는 것으로 분석하였다. Anderson(2019)은 산업계의 핵심 원자재 중의 하나인 구리의 장기적 수요를 전망하기 위해 기존에 활용해 왔던 거시경제지표 외에 1인당 전력 소비량을 추가적인 변수로 고려하였다.

④ 잡화

고용기·이희용(2007)은 평택·당진항의 일반(잡화)화물 전망을 위해 항만 인근에 입지한 산업단지 면적과 입주기업 비율을 활용하였다. 이 밖에 표

준하역능력도 일반(잡화) 화물 예측의 독립변수로 선정하였다. 2007년 당시에는 일반(잡화)화물 범위에 화학공업생산물과 기타광석이 포함되어 있었기 때문에 당시 활용했던 변수를 모두 적용할 수는 없지만 기계류 잡화물동량의 인과관계 변수 개발 시 산업단지 입주기업 비율과 면적 등은 고려할 대상이라 판단된다. 박재운·원희연(2009)은 일반기계 산업을 통계청의 한국표준산업분류 산업연관표와 연계시켜 일반목적용기계, 특수목적용기계 등 두 개 부문으로 중분류한 후, 수주형 산업인 일반기계 산업 경기의 선행지표이자 성장기여요인을 도출하였다.

〈표 1-2〉 품목별 변수 발굴 중심의 주요 선행연구

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
철광석	• 논문명: 광물자원의 해상물동량 전망에 관한 연구: 철광석 및 석탄을 중심으로 • 저자명(연도): 장원익(2010) • 해상물동량 중 가장 큰 비중을 차지하는 철광석과 석탄 물동량 전망을 통해 향후 해운·조선 경기 진단	• 조강생산량 • 세계 GDP
	• 보고서명: Iron Ore Price Prediction Based on Multiple Linear Regression Model • 저자명(연도): Wang et al.(2023) • 철광석 가격에 영향을 미치는 요인을 분석하여 다중 선형 회귀분석을 활용하여 철광석 가격 예측	• 국민총소득 • 국내총생산 • 관세 • 고정자산투자액 • 철강 생산량 • 폐철강 소비량 • 철광석 생산량 • 철 정광의 생산비용
화학공업생 산물	• 논문명: 정유기업의 에틸렌시장 진입이 국내 석유화학산업에 미칠 영향과 시사점 • 저자명(연도): 조용원(2018) • 석유화학산업 시장 전망(과잉공급 문제)	• 에틸렌 가격 • 합성수지 가격 • 코스피 지수 • 국제유가
	• 논문명: 주요 원자재가격이 거시경제에 미치는 영향 - 석유화학산업을 중심으로 • 저자명(연도): 박한솔(2015) • 벡터자기회귀 모형을 활용, 유가와 석유화학	• 유가(두바이유) • 에틸렌 • P-X • 환율

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
	산업이 한국 경제에 미치는 영향을 실증분석	• 이자율 • 소비자물가지수 • 실업률 • GDP
기타광석	• 논문명: 국내 주요 5개 산업광물의 수급 분석 • 저자명(연도): 이현복(2013) • 석회석, 고령토, 납석, 장석, 규석 등 5개 광물의 수급을 분석함	• 건설수주액 등 국내 건설경기 동향 • 국내 시멘트 생산 및 출하량
	• 논문명: Determinants of Copper Demand: An End-Use Informed Model • 저자명(연도): Anderson(2019) • 구리 수요 전망을 위한 결정요인 도출을 위한 모델링 구축	• 1인당 전력 소비량
잡화	• 논문명: 평택·당진항 항만의 일반(잡화) 화물 물동량 추정 • 저자명(연도): 고용기·이희용(2007) • 항만 인근에 입지한 산업단지 면적과 입주 비율 등을 바탕으로 평택·당진항 잡화물동량 전망	• 인근 산업단지 면적 • 산업단지 입주 비율 • 표준하역능력
	• 논문명: 투입산출 구조분해를 통한 일반기계산업의 성장기여요인 분석 • 저자명(연도): 박재운·원희연(2009) • 투입산출 구조분해(Input-Output Structural Decomposition Analysis)를 통해 일반기계산업의 성장기여요인을 분석	• 최종수요 • 수출수요 • 최종재수입대체

주: 전체 선행연구는 부록 참고

자료: 저자 작성

2) 예측 방법론 중심의 선행연구

① 철광석

최근 철광석 물동량 및 가격 등을 전망하는 모형으로는 머신러닝 기법을 활용한 선행연구가 다수 존재했다. 그 가운데 주요한 선행연구인 이우창 외(2020)에서 월별 철광석 가격을 예측하기 위해 머신러닝 모형 가운데 MLP, RNN, LSTM(Long Short-Term Memory) 모형 등의 적용하여 분석한 결과 LSTM 모형의 예측 오차가 가장 낮은 것으로 나타났다. Farajian, Farajian, & Eghbali(2022)에서 월별 철광석 가격을 전망하기 위해서 신경망 모형인 MLP를 활용하였으며, 연구 결과 실제 시장 데이터 및 세계은행에서 발표하는 예측과 비교하여 높은 정확도를 나타냈다.

② 화학공업생산물

박철웅·박철호(2019)는 석유화학업종을 중심으로 DOLS, FM-OLS, CCR 등 세 가지 공적분 회귀분석을 사용하여 산업용 도시가스 수요함수를 추정하였다. 또한, 산업용 도시가스에 대한 비선형 기온효과, 특수 일을 반영한 유효 일수의 별도 추정, 가스산업지수, 석유류 대비 상대가격 등을 변수에 포함하여 모형의 적합도를 제고하고자 하였다. 신창훈·양한나(2020)는 부산항, 울산항, 여수·광양항 대상으로 석유화학제품군인 화학공업생산물, 석유정제품, 원유의 수입, 수출, 환적에 대한 구조적인 관계를 분석하기 위해 그랜저(Granger) 인과관계 검정을 통해 실증분석하였다. 또한, 정상시계열의 경우 VAR 모형, 비정상시계열의 경우 확장된 VAR 모형을 적용하였다.

③ 기타광석

김홍민(2009)은 희유금속 중 대표적인 크롬의 수요예측모형을 제시하였다. 과거 단순회귀 모형에 의해 수요를 전망해 왔으나, 불안정한 시계열 변수들을 고려함에 있어 확률적 특성이 모형에 반영되지 못한 한계가 있었다. 이에 수요와 변수에 대한 단위근검정과 공적분 검정을 통해 시계열의 안정성과 변수 간의 장·단기적 균형관계를 고려한 희유금속의 벡터오차수정모형을 구축하였다. Halada, Shimada, & Ijima(2008)는 1인당 금속 소비량 및 GDP 간 관계에 대한 선형 디커플링 모델(linear decoupling model)을 기반으로 2050년까지 금속별 소비량을 전망하였다.

④ 잡화

전현정·우희동(2012)은 고령화 식품산업과 밀접한 다양한 인과변수를 식품산업 매출액, 소득, 경제성장률, 식품 소비 등으로 선정하고, 회귀분석을 통해 장래 수요를 전망하였다. 이 밖에 ARIMA 모형을 통해 고령화식품 추세를 예측하였다. 이어진 외(2022)는 가격예측 분야 선행연구들을 분석하여 비선형 시계열 데이터의 예측에 높은 성과를 보이는 LSTM 모형을 활용하여 육계 시세를 예측하였다. 대한양계협회, 기상청, 국가가축방역통합 시스템, 통계청 등에서 공개되는 데이터 중 육계 시세의 형성과 관련된 다양한 시계열 데이터를 수집 및 분석하였고, 수집된 데이터들은 모두 동일한 시간단위로 정제하였다. 육계 시세 예측에 활용한 다변수 LSTM 모형은 학습 데이터와 분리된 10%의 테스트 데이터를 통해 검증한 결과, 약 94.0%의 정확도를 나타냈다.

〈표 1-3〉 품목별 예측 방법론 관련 주요 선행연구

구분	저자 및 연구 목적	방법론
철광석	• 논문명: 머신러닝을 이용한 철광석 가격 예측에 관한 연구 • 저자명(연도): 이우창 외(2020) • 머신러닝 기법을 활용한 철광석 거래 가격 예측모형 구축	• 머신러닝 기법(MLP 모형, RNN 모형, LSTM 모형)
	• 논문명: Forecasting the Global Price of Iron Ore Using Neural Networks • 저자명(연도): Farajian, Farajian, & Eghbali(2022) • 신경망 모형을 활용한 세계 철광석 가격 전망	• 신경망 모형(MLP 모형)
화학공업생 산품	• 논문명: 산업용 도시가스 수요함수의 추정: 석유화학업종을 중심으로 • 저자명(연도): 박철웅·박철호(2019) • 제조업 전체업종, 석유화학업종, 석유화학을 제외한 그 외 업종에 대한 산업용 도시가스 수요함수 추정 및 실증분석	• 국내외 문헌연구 • 시장분석 • 공적분 회귀분석
	• 논문명: 석유화학 액체화물의 환적과 수출입 물동량 관계연구 • 저자명(연도): 신창훈·양한나(2020) • 전국, 화학공업생산물, 석유정제품, 원유의 부산, 울산, 여수/광양 물동량을 수입, 수출, 환적으로 분류하여 인과관계 연구	• 국내외 문헌연구 • 그랜저 인과관계 • VAR 모형 • Toda and Yamamoto VAR
기타광석	• 논문명: 불안정 시계열의 특성을 고려한 국내 비축 희유금속의 수요예측모형 구축에 관한 연구 • 저자명(연도): 김홍민(2009) • 희유금속 중 크롬의 수요와 가격에서 나타나는 불확실성을 분석하여 적절한 수요예측모형을 제시	• 벡터오차수정모형(VECM 모형)
	• 논문명: Forecasting of the consumption of metals up to 2050 • 저자명(연도): Halada, Shimada, & Iijima(2008) • '50년까지 알루미늄, 구리, 철, 크롬 등 금속 소비량을 전망	• 선형 디커플링 모형(Liner decoupling model)

구분	저자 및 연구 목적	방법론
잡화	• 논문명: 고령친화식품산업의 성장과 규모 전망 -건강기능식품과 특수용도식품을 중심으로- • 저자명(연도): 전현정·우희동(2012) • 고령친화식품의 중심적인 상품군이 될 건강기능식품과 특수용도식품의 시장규모에 대한 예측	• 문헌연구 • 회귀분석 • 시계열 데이터 분석 (ARIMA 모형)
	• 논문명: 다변수 LSTM 딥러닝 네트워크를 이용한 육계 시세예측모델연구 • 저자명(연도): 이여진 외(2022) • 육계 가격 예측에 기존의 통계적 접근 방식을 벗어나 인공지능 기술을 도입한 과학적 예측모델 개발	• 머신러닝 기법(LSTM 모형)

주: 전체 선행연구는 부록 참고

자료: 저자 작성

2. 선행연구와의 차별성

본 연구의 목적은 국내 항만을 대상으로 비컨테이너 품목 가운데 철광석, 화학공업생산품, 기타광석, 잡화 물동량의 유형별(수입/수출/연안) 예측모형을 고도화하는 것이다. 그러나 항만물동량 예측과 관련된 선행연구는 컨테이너 위주로 진행됨에 따라 비컨테이너 품목과 관련된 선행연구는 극히 드문 편으로 물동량 외 수요, 공급, 가격 등을 예측하는 선행연구도 일부 참고하였다. 이러한 선행연구가 해당 품목 관련하여 예측한다는 측면에서는 유사성이 있을 수는 있으나 연구의 목표, 대상, 범위, 방법 등에 대해 다음과 같은 차별성을 가진다.

첫째, 본 연구의 목표는 국내 항만물동량을 예측모형을 고도화하는 것이다. 이는 기존의 선행연구는 비컨테이너 품목의 항만물동량 예측과 관련된 연구가 적고, 항만물동량에 중점을 두기보다는 해당 품목의 가격, 수요, 생산, 공급 등에 초점을 두고 예측모형을 개선하는 것이 목적이라는 점을 고

려하면 선행연구와 차별성을 지닌다고 할 수 있다.

둘째, 본 연구는 범위는 우리나라 전체 항만의 철광석, 화학공업생산품, 기타광석, 잡화 항만물동량을 대상으로 유형별(수입/수출/연안)에 따라 5년 이상의 중장기 물동량 예측이다. 선행연구에서는 특정 국가·항만 및 단일 품목을 대상으로 연구를 진행한 경우가 다수였으며 품목별·유형별로 세분화하여 연구를 진행하는 것이 본 연구의 차별성이라 할 수 있다. 또한 대부분의 선행연구는 단기 예측에 집중되어 있어, 5년 이상의 중장기 예측 모형을 구축한다는 점에서도 차별성을 지닌다.

마지막으로 본 연구는 선행연구에서 제시된 예측 방법론을 적용하여 예측을 한다는 점에서 유사하지만 여러 가지 모형을 비교·검정하고, 전문가 자문 의견 등을 고려하여 가장 최적의 모형을 제시한다는 점에서 차별성을 지닌다. 그리고 기존의 선행연구는 예측력을 기반으로 신규 모형을 제안하는 데 그치는 반면, 본 연구의 결과에 대해서는 정책적 활용성을 제고할 수 있는 활용방안을 제시한다는 점에서 차별성을 지닌다.

〈표 1-4〉 연구 차별성

구분	선행연구와의 차별성		본 연구
	요약	참고문헌	
연구 목표	• 항만물동량보다는 가격, 수요, 공급 측면의 예측에 중점	• 이우창 외(2020), 방은지·변희용·조재민(2022), Wang, Zhao, & He(2020), Dragan et al.(2021), Mafakheri, Sulaimany, & Mohammadi(2023), 최병욱·김배성(2013), 박요한·이용철(2020), Islami(2023) • 한국자원정보서비스(2023), IEA(2018), KIET(2024), SHIODA(2020)	• 품목별 항만물동량 신규 변수 및 예측 방법론 발굴 등을 통해 예측 정확도 개선 • 비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 제시
연구 대상	• 특정 국가·항만 및 단일 품목 대상	• 조상호 외(2020), Ma, Zhu&Wang(2013), Wang, Zhao, & He(2020), Zhang, Huang, & Zhao(2013), Wei, Huang, & Huang(2022), Dragan et al.(2021)	• 우리나라 전체 항만의 주요 비컨테이너 품목(철광석, 화학공업생산품, 기타광석, 잡화) 대상
연구 범위	• 상대적으로 특정 유형 및 단기 예측에 집중	• Farajian, Farajian, & Eghbali(2022), Wang, Zhao, & He(2020), KIET(2024)	• 항만별·유형별(수입, 수출, 연안) 특성에 따른 예측모형 구분 • 5년 이상의 중장기 물동량 예측
연구 방법	• 회귀 모형, 시계열 모형, 머신러닝 모형 등 단일 모형 적용	• 조용원(2018), Lee, Chou, & Huang(2022), 장원익(2010), Ma, Zhu&Wang(2013), Wei, Huang, & Huang(2022) • 이우창 외(2020), Farajian, Farajian, & Eghbali(2022), 조상호 외(2020), 김형욱·배도선(1976), Dragan et al.(2021), Sharma(2015)	• 다양한 수요예측 방법론 및 변수를 적용하고 비교 분석하여 최적의 모형 제시 • 전문가 자문 등을 통한 모형 개선 • 연구 결과의 정책적 활용성 제고

자료: 저자 작성

02

항만 수요예측 방법론 검토

본 장에서는 선행연구 등을 토대로 항만 수요예측에 많이 활용되고 있는 수요예측 방법론과, 예측모형 간 비교·검증을 위해 일반적으로 많이 활용되는 방법론 및 평가지표에 대해 검토하고자 한다.

제1절 수요예측 방법론

1. 회귀 모형(Regression Model)

회귀 모형은 수요예측에서 가장 오랜 시간 또는 가장 많이 활용되는 방법론의 하나로 종속변수와 독립변수 간의 관계를 수학적으로 모델링하여 미래의 수요를 예측하는 방법이다. 기본적인 회귀 모형은 선형회귀가 있으며 데이터의 특성에 따라 로지스틱 회귀, 다항 회귀 등으로 구분할 수 있다. 일반적으로 선형회귀 모형의 수식은 아래와 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \epsilon \quad \cdots \cdots \text{ [식 2-1]}$$

여기서 y 는 종속변수, β_0 는 절편, β_i 는 독립변수 X_i 는 계수, ϵ 는 오차이다.

회귀 모형은 비교적 단순한 수학적 구조를 가지고 있어 결과를 해석하고 설명하기가 쉬운 장점이 있다. 또한 충분한 데이터가 주어지면 높은 예측 정확성을 가질 수 있다. 이러한 데이터의 적합성 및 직관적인 해석 등으로 회귀 모형은 경제학, 생물학, 사회학 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

다만 회귀 모형은 데이터 간의 관계의 선형성을 가정하는데, 데이터가 선형성을 가지고 있지 않은 경우 모델의 예측력을 떨어뜨릴 수 있는 단점이 있으며, 복잡한 모델은 학습 데이터에 과적합(overfitting)될 위험이 있다. 또한 독립변수들 간의 높은 상관관계가 존재한다면 다중공선성 문제로 인해 모델의 안정성이 떨어질 수 있다.

그럼에도 불구하고 회귀 모형은 오랜 시간 많은 경험적 연구와 검증을 통해 신뢰성을 인정받은 모델로 아직까지도 수요예측을 위해 많이 활용되고 있는 모형이다. 이에 현재 대부분 기존 항만물동량 예측에서 회귀 모형이 주로 활용되고 있다. 본 연구에서는 기존 모형으로 활용하고 있는 회귀 모형과 더불어 다음에 설명할 시계열 모형과 머신러닝 모형을 비교·검토하고자 한다.

2. 시계열 모형(Time Series Model)

시계열 모형은 시간에 따라 변화하는 데이터를 분석하고 예측하는 기법으로 데이터의 추세, 계절성, 주기성 등을 고려하여 미래를 예측한다. 대표적인 시계열 모형에는 ARIMA 모형, 지수평활법, VAR 모형 등이 존재하며, 각 모형에 대한 설명은 다음과 같다.

1) ARIMA 모형

ARIMA 모형은 자기회귀(AR), 차분(I), 이동평균(MA) 세 가지 요소를 통합하여 시계열 데이터를 설명하는 모형으로, 수식은 아래와 같이 표현된다.

$$ARIMA(p,d,q) = (1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i)(1 - L)^d y_t = (1 + \sum_{j=1}^q \theta_j L^j) \epsilon_t \cdots \quad [\text{식 2-2}]$$

여기서 L 은 시차 연산자, ϕ 와 θ 는 각각 자기회귀와 이동평균의 계수, ϵ_t 는 오차항이다.

ARIMA 모형은 비정상적인 시계열 데이터를 다룰 수 있어 다양한 분야의 데이터에 적용이 가능하며, 필요에 따라 차분을 통해 추세와 계절성을 제거하여 데이터의 패턴을 정확하게 모델링할 수 있다.

다만, 데이터를 분석하고 적합한 모델을 선택하는 과정, 즉 적절한 p , d , q 값을 찾는 과정이 복잡하며, 데이터를 정상화하는 과정과 모델 검증 과정에서 상당한 시간이 소요될 수 있다. 또한 충분한 양질의 데이터가 필요하며, 데이터가 적을 경우 모델의 성능이 떨어질 수 있다.

2) 지수평활법

지수평활법은 최근 데이터에 더 큰 가중치를 두어 미래를 예측하는 방식으로 단기 예측에 유용한 시계열 방법이다.

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad \cdots \cdots \cdots \quad [\text{식 2-3}]$$

여기서 F_{t+1} 는 $t+1$ 시점의 예측값, Y_t 는 t 시점의 실제값, F_t 는 t 시점의 예측값, α 는 평활상수로 0과 1사의 값이다.

지수평활법은 계산이 간단하고 이해하기 쉬워서 많은 경우에 적용이 가

능하며, 최근 데이터를 더 많이 반영하는 구조로 빠르게 변화하는 데이터에 적합하다. 또한 많은 양의 데이터가 필요하지 않아 초기 데이터가 적을 때도 유용하게 사용할 수 있다.

그러나 장기적인 추세를 잘 반영하지 못하기 때문에 장기 예측에는 적합하지 않으며, 비선형적인 데이터 패턴을 잘 반영하지 못한다. 또한 평활상수인 α 의 선택이 결과에 크게 영향을 미치는데, 이는 주관적 결정이 들어가는 부분으로 적절하게 결정하는 것이 어려울 수 있다.

3) VAR 모형

VAR(Vector Auto Regression) 모형은 시계열 변수들 간의 선형 상호 의존성을 고려할 수 있는 모델로 다변량 시계열 데이터 분석에 널리 사용되고 있다. 앞서 소개된 시계열 모형인 ARIMA와 지수평활법은 단일 시계열을 고려하는 단변량 모형인 반면 VAR 모형은 여러 시계열을 동시에 고려할 수 있다. 모형 내에 각 변수는 자기 자신과 다른 모든 변수의 과거값들의 선형 함수로 표현되며 VAR 수식은 아래와 같다.

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \epsilon_t \quad \dots \quad [\text{식 2-4}]$$

여기서 Y_t 는 시간 t 에서의 변수 벡터, A_p 는 시차 p 에서의 계수 행렬, ϵ_t 는 시간 t 에서의 오차 벡터이다.

VAR 모형은 추정이 비교적 간단하고 변수 간의 기본 관계에 대한 자세한 정보 없이도 모형을 적용할 수 있다. 또한 여러 시계열 간의 상호 의존성을 모델링함으로써 단기 예측에서 좋은 성능을 보일 수 있다. 다만 여러 변수와 시차값을 포함하게 되면 매개변수가 많아져 신뢰할 수 있는 추정을 위해서는 큰 데이터 세트가 필요하게 되며 계수를 해석하는 것이 어려워지는 단점이 존재한다.

본 연구에서는 세 가지 시계열 모형 가운데 인과변수도 함께 고려할 수 있는 VAR 모형을 활용하여 모형을 고도화하고자 한다.

3. 머신러닝 기반 모형

머신러닝 기반의 모형은 대량의 데이터를 분석하여 패턴을 학습하고, 이를 바탕으로 미래의 수요를 예측하는 방법이다. 이러한 머신러닝 모형은 비선형 관계를 다룰 수 있으며 전통적인 통계적 방법보다 예측 정확성이 더 높아 최근 수요예측 관련 선행연구는 머신러닝 기반의 모형을 많이 활용하는 추세이다. 머신러닝 기반의 모형의 종류로는 인공신경망(ANN, Artificial Neural Network), 의사나무결정(Decision Tree), 랜덤 포레스트(Random Forest), 서포트 벡터 머신(SVM) 등이 있으며 본 연구에서는 선행연구에서 가장 많이 활용되었던 인공신경망 모형 가운데 MLP와 RNN 모형에 대해 살펴보하고자 한다.

1) MLP(Multi-Layer Perceptron) 모형

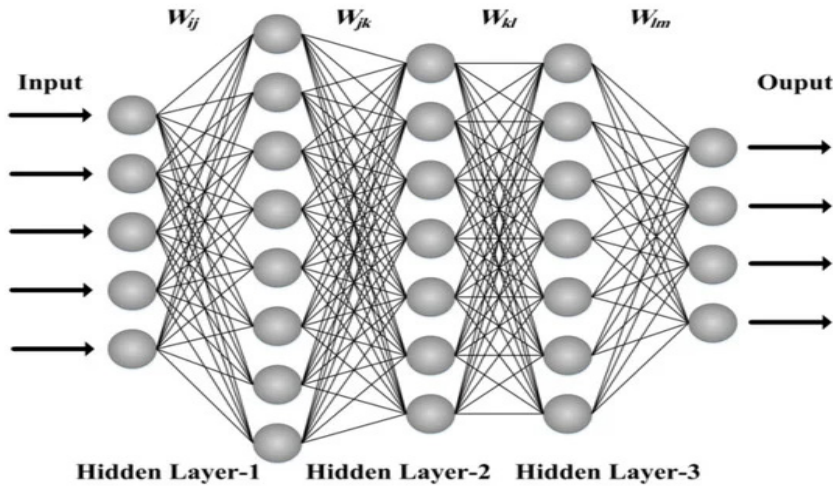
MLP 모형은 인공신경망의 한 형태로 입력층(Input Layer), 하나 이상의 은닉층(Hidden Layers), 출력층(Output Layer)으로 구성된 신경망으로 각 층은 뉴런으로 이루어져 있으며, 이들은 가중치와 활성화 함수를 통해 서로 연결되어 있다.

MLP 모형의 각 뉴런은 [식 2-4]와 같은 수식과 구조로 나타낼 수 있다.

$$y = \sigma \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b \right) \quad \dots\dots\dots \text{[식 2-4]}$$

이때, y 는 뉴런의 출력, x_i 는 입력값, w_i 는 가중치, b 는 편향, σ 는 활성화 함수를 나타낸다.

〈그림 2-1〉 MLP 모형 구조



자료: Hosseini & Samanipour(2015), p. 59.

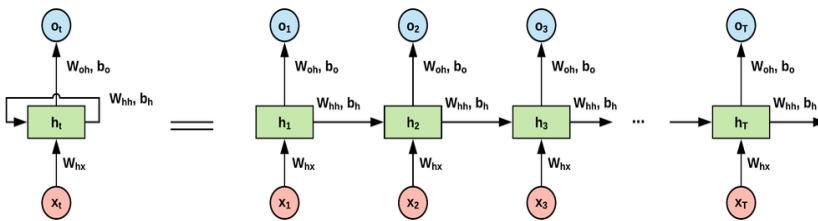
MLP 모형은 비선형 활성화 함수를 사용하여 복잡한 비선형 관계를 모델링할 수 있으며, 입력 데이터로부터 중요한 특징을 자동으로 학습하여 별도의 특징 추출 과정이 필요 없다. 또한 충분한 데이터와 계산 자원이 주어지면 매우 높은 예측 정확도를 제공한다.

다만 효과적인 학습을 위해서는 대량의 데이터가 필요하며 모델 학습과정이 복잡하고, 계산 비용이 많이 든다. 모델이 복잡할수록 결과를 해석하고 설명하는 것이 어려워지기 때문에 이러한 부분을 고려하여 모형을 적용해야 한다.

2) RNN(Recurrent Neural Network) 모형

RNN 모형은 시퀀스의 각 단계에서 입력 데이터뿐만 아니라 이전 단계의 출력을 기억하고 활용하여 다음 출력을 생성하는 구조로 시퀀스 데이터나 시간 순서가 중요한 데이터를 처리하는 데 사용되는 신경망 모형이다.

〈그림 2-2〉 RNN 모형 구조



자료: Colah's blog(검색일: 2024.4.20.)

RNN 모형은 이전 단계의 출력을 기억하고 활용하여 연속적인 데이터의 패턴을 학습할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이나, 장기 의존성을 학습시키는 과정에서 기울기 소멸 문제(vanishing gradient problem)²⁾가 발생할 수 있으며 순차적으로 데이터를 처리하기 때문에 학습 속도가 느리다는 단점이 있다.

본 연구에서는 예측모형의 고도화에 따른 목적에 맞게 최신 기법이자 선행연구에서 항만물동량 예측에 많이 활용된 두 가지 머신러닝 모형을 데이터의 성격 등을 검토하여 최대한 모두 활용하고자 한다.

2) 신경망의 활성화함수의 도함수 값이 계속 곱해지다 보면 가중치에 따른 결과값의 기울기가 0에 가까워지면 서, 가중치를 변경할 수 없게 되는 현상임

제2절 예측모형 검증 방법론 및 평가지표

1. 검증 방법론

예측모형 검증(Validation)은 해당 모델이 새로운 데이터에서도 잘 작동하는지 확인하는 과정으로, 예측모형 구축에서 중요한 과정의 하나이다. 검증 방법론은 다양하게 존재하나 본 연구에서는 가장 많이 활용되고 있는 K-Fold 교차검증, 홀드아웃(Holdout), 부트스트랩(Bootstrap) 방식에 대해 살펴보고자 한다.

1) K-Fold 교차검증

K-Fold 교차검증은 데이터 세트를 k 개의 동일한 크기의 폴드(fold)로 나누어 모델을 평가하는 방법이다. 각 폴드가 한 번씩 테스트 데이터로 사용되고, 나머지 폴드는 모델 학습에 사용되게 된다. 이러한 과정을 k 번 반복하여 각 폴드에 대한 성능을 측정한 후 평균을 내어 모델의 성능을 평가한다. 일반적으로 k 는 5 또는 10이 가장 많이 사용되고 있으며, k 값이 클수록 편향이 줄어들지만 분산은 커지는 경향이 있다. 반대로 k 값이 작으면 편향이 커지지만, 분산은 줄어든다.³⁾

해당 교차검증의 장점은 데이터 세트를 여러 번 나누어서 평가하기 때문에 단일 학습과 테스트 분할방식보다 편향이 적은 편이다. 또한 다양한 데이터 분할을 통해 모델의 일반화 성능을 더 정확하게 평가할 수 있다.

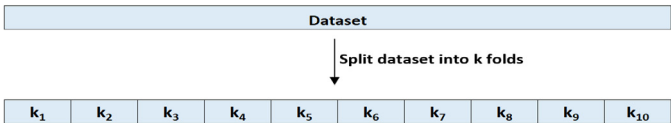
다만, 모델을 k 번 학습시켜야 하기 때문에 계산에 따른 비용이 많이 들고, 데이터의 셔플링과 여러 번의 학습과정이 필요해서 구현이 복잡하다는

3) Statology(검색일: 2024.4.15.)

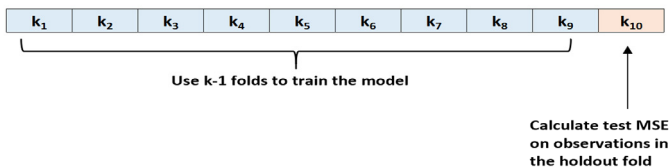
단점이 있다.

〈그림 2-3〉 K-Fold 교차검증 개념도

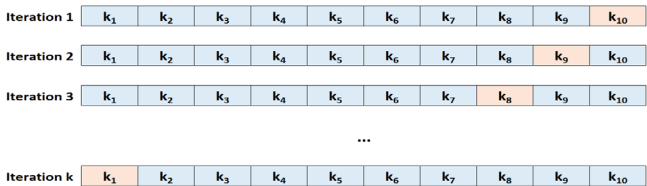
Step1. 데이터 세트를 동일한 크기의 k그룹으로 나눈다.



Step2. 폴드 중 하나를 테스트 데이터로 사용하고, 나머지 폴드는 모델학습에 사용한 후 MSE를 계산한다.



Step3. 매번 다른 폴드를 선택하여 Step2 단계를 k번 반복한다.



자료: Statology(검색일: 2024.4.15.) 자료를 저자가 번역하여 재작성

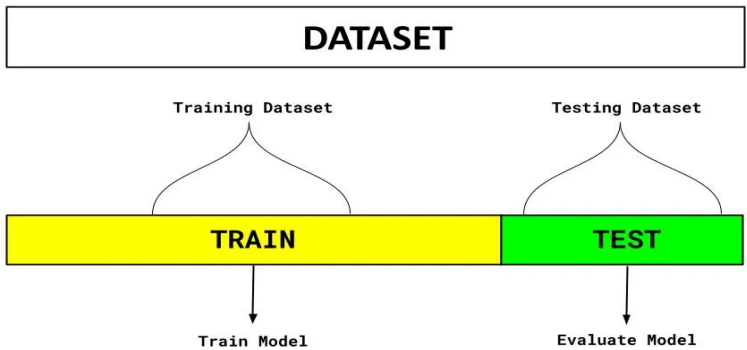
2) 홀드아웃(Holdout)

홀드아웃 검증 방법은 데이터 세트를 학습 세트와 테스트 세트로 나누어 모델을 평가하는 가장 기본적인 방법이다. 데이터의 약 70~80%는 학습 세트로 사용되고, 나머지 20~30%는 테스트 세트로 사용된다.

홀드아웃 방식은 구현이 간단하고 한 번만 학습 및 평가를 수행하기 때문에 계산비용이 적은 편이다. 또한 학습 세트와 테스트 세트가 독립적이기 때문에 학습과정에서 테스트 데이터가 모델에 영향을 미치지 않는다.⁴⁾

그러나 테스트 세트의 크기가 작기 때문에 높은 분산을 가지는 등 평가 결과가 불안정할 수 있다. 또한 모델이 테스트 세트에 과적합되기 쉬우며, 이는 모형의 일반화 성능을 저하시킬 수 있다.

〈그림 2-4〉 홀드아웃 개념도



자료: Comet(검색일:2024.4.15.)

3) 부트스트랩(Bootstrap)

부트스트랩 검증 방법은 데이터 세트에서 복원 추출을 통해 여러 번의 샘플을 생성하고, 각 샘플에 대한 모델을 학습 및 평가하는 대표본 추출 방법이다. 적어도 일정 횟수(보통 200회 이상) 이상을 반복하여야 하며, 이는 데이터의 다양한 변동성을 반영하여 모델의 성능을 보다 정확하게 추정하는 데 사용된다.⁵⁾

샘플링 과정이 여러 번 반복되기 때문에 통계적 신뢰가 높고, 데이터 분포에 대한 가정이 없어 다양한 데이터 세트에 적용이 가능하다. 또한 모델 평가뿐만 아니라 신뢰 구간, 가설 검정 등 다양한 통계적 분석에도 활용될

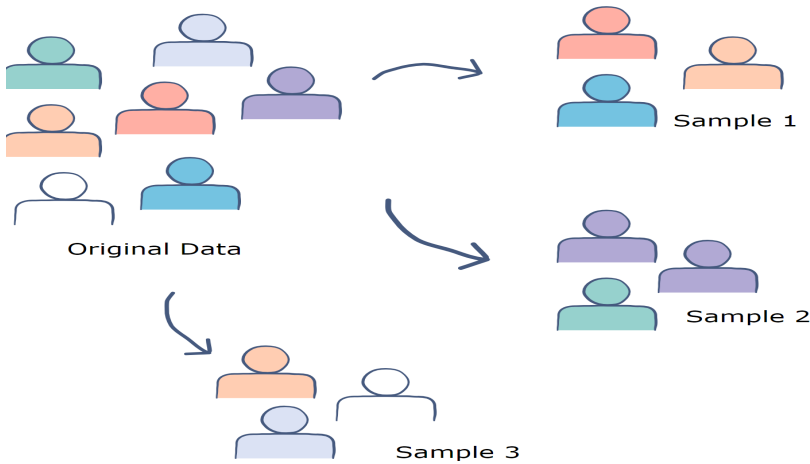
4) Comet(검색일:2024.4.15.)

5) Analytics Steps(검색일:2024.4.15.)

수 있다.

다만, 많은 반복이 필요하므로 계산 비용이 많이 들 수 있으며, 작은 샘플 크기를 사용하는 경우 추정치에 편향이 발생할 수 있다.

〈그림 2-5〉 부트스트랩 도식도



자료: Educative(검색일:2024.4.15.)

본 연구에서는 세 가지 검증 방법론 가운데 K-Fold 방식을 활용하여 모형 간의 성능을 비교하고자 한다. 다만 시계열 데이터의 특성을 반영하기 위해 교차검증은 시간의 순서를 보존하는 방식으로 진행했다.

2. 평가지표

평가지표는 예측모형의 성능을 평가하기 위한 기준으로 활용되는 지표를 말한다. 평가지표는 크게 범주형 데이터와 수치형 데이터에 따라 구분되는데, 범주형 데이터를 활용한 예측모형 성능을 평가하기 위한 지표로는 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 재현율(Recall), F1점수(F1Score)

등이 있고, 수치형 데이터에 활용되는 지표는 평균제곱오차(MSE), 평균절대오차(MAE), 평균제곱근오차(RMSE), R-제곱(R-Squared), 평균절대비율오차(MAPE) 등으로 구분된다. 본 연구는 수치형 데이터를 활용한 예측 모형 고도화 연구이므로 수치형 데이터를 활용한 모형에 활용되는 평가지표에 대해 살펴보았으며 각 지표의 특징과 수식은 <표 2-1>과 같다.

본 연구에서는 다양한 평가지표 가운데 해석이 직관적인 RMSE와 MAPE를 활용하여 예측모형의 성능을 비교하고자 한다.

<표 2-1> 예측모형 성능 평가지표

지표	설명	수식	특징
MSE	예측값과 실제값 간의 차이의 제곱 평균을 계산하여 회귀 모델의 성능을 평가	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$	간단하고 직관적이나 큰 오차에 민감하게 반응
MAE	예측값과 실제값 간의 절대 차이의 평균을 계산하여 평가	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i - \hat{y}_i $	차이를 절댓값으로 표현하여 해석이 용이하며 이상치에 덜 민감함
RMSE	예측값과 실제값 간의 차이의 제곱 평균을 계산한 후, 이를 제곱근한 값으로 평가	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}$	예측값과 실제값의 단위를 유지하기 때문에 해석이 직관적이나 큰 오차에 민감함
R-제곱	회귀 모델에서 설명된 분산의 비율을 나타냄	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$	직관적으로 이해하기 쉬우나, 독립변수 추가에 민감하며 과적합 문제 우려가 있음
MAPE	예측값과 실제값 간의 절대 백분율 오차의 평균을 계산	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right \times 100$	오차를 백분율로 표현하기 때문에 직관적인 해석이 가능하나 0값에 민감

자료: 저자 작성

제3절 소결 및 시사점

본 장에서는 비컨테이너 항만물동량 고도화를 위해 항만 수요예측에 많이 활용되고 있는 주요 수요예측 방법론과, 예측모형 간 비교검증을 위해 일반적으로 많이 활용되는 방법론 및 평가지표에 대해 검토했다.

회귀 모형의 경우 비교적 단순한 수학적구조 및 오랜 시간 연구와 검증을 통해 신뢰성을 받은 모델로 항만물동량 예측모형의 기존 모형으로 많이 활용되고 있다. 시계열 모형에는 ARIMA 모형, 지수평활법, VAR 모형 등이 있는데 특별한 인과관계 변수를 찾기 어려운 항만물동량을 예측하는 데 주로 활용되고 있다. 본 연구에서는 시계열 모형 가운데서 인과관계 변수를 추가적으로 고려하여 검토할 수 있는 다변량 시계열 데이터 분석 방법인 VAR 모형을 소개하고, 해당 방법론을 예측모형 고도화를 위해 활용하고자 한다. 또한, 머신러닝 모형의 경우는 비교적 최근에 도입된 모형으로 품목별 항만물동량 데이터 성격 등을 검토해서 최대한 본 연구에서 소개된 MLP와 RNN 모형을 모두 적용하고자 한다.

예측모델을 검증하기 위한 방법론으로는 K-Fold 방식을 활용하였으며, 시계열 데이터의 순서를 고려하기 위해 교차검증은 시간의 순서대로 이뤄질 수 있도록 했다. 다만, K-Fold 방식의 적용이 어려운 경우에는 교차검증이 아닌 최근 3개년의 RMSE와 MAPE의 평균값을 활용하고자 한다. 이때, RMSE와 MAPE는 많은 평가지표 가운데 비교적 해석이 직관적이기 때문에 본 연구에서는 해당 지표를 활용했다.

03

철광석 항만물동량 예측모형 고도화

철광석 항만물동량 예측모형 고도화 프로세스는 다음과 같다. 우선 국내외 철광석 연관 산업인 철강산업의 동향 분석을 통해 현재 및 장래 고려할 필요가 있는 산업 동향을 파악하고, 기존 항만물동량 예측모형의 한계점을 발굴하고자 한다. 이를 통해 철강산업 동향 반영 및 한계점을 개선하기 위해 추가 변수 발굴, 모형 다양화 등을 진행하여 예측모형을 고도화하고자 한다.

제1절 국내외 철광석 연관 산업 동향

1. 철광석 연관 산업 개요

철(Fe)은 제철 및 제강의 주원료로 사용되는 금속으로 지각 구성 요소 중 네 번째(약 5%)를 차지하고 있다. 이러한 철 함량의 최대 70%를 보유하고 있는 광석이 철광석이다. 따라서 철광석은 대부분 제철과 제강의 원료로 사용되고, 소량만이 시멘트, 중액제, 산화철 염료 등으로 사용되고 있어

철강산업과 연관이 깊다고 할 수 있다.⁶⁾

철을 생산하는 주요 방식은 크게 고로 방식, 파이넥스(직접환원철) 방식, 전기로 방식으로 이루어진다. 이 가운데 고로 방식과 파이넥스 방식이 철광석을 원료로 철을 생산하는 방식이며, 전기로 방식은 고철을 원료로 철을 생산하는 방식으로 본 절에서는 철광석을 연료로 철을 생산하는 고로 방식과 파이넥스 방식에 대해 살펴보고자 한다.⁷⁾

고로 방식은 전통적인 철 생산 방식으로, 고로 내부에 원료인 철광석과 철광석 중의 산소를 분리시키는 환원제 역할을 하는 연료탄인 코크스, 불순물을 제거하는 데 사용하는 용융제인 석회석 등을 넣어 철을 생산하는 방식이다. 이러한 고로를 통한 철 생산 과정은 크게 제선-제강-압연의 과정으로 구분된다. 제선공정은 쇳물을 생산하는 기초공정으로 원료인 철광석을 투입하기 전에 원산지에 따라 품질, 성분, 형상 등이 각기 다른 철광석의 품질을 고르게 하고 일정한 크기로 만드는 소결공정을 거친다. 소결공정을 마친 철광석은 연료탄(코크스) 등과 함께 고로에 투입되어 1,200℃ 정도의 뜨거운 바람을 불어넣어 연료탄에서 나오는 열에 의해 철광석이 녹아 쇳물이 생산되는데 이러한 쇳물을 용선이라고 한다.

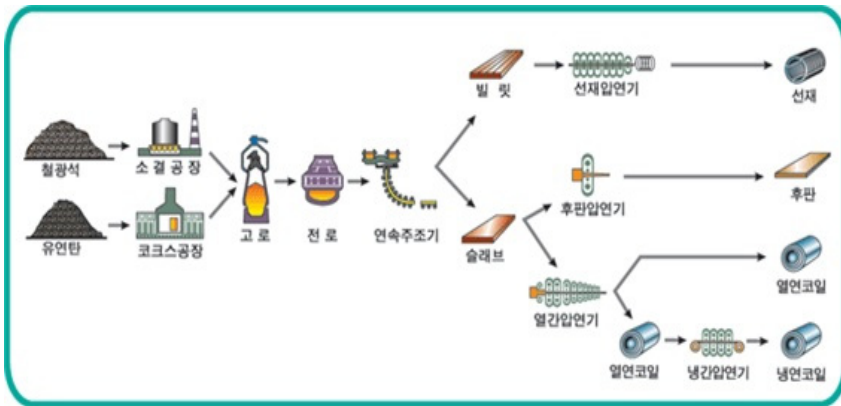
이때, 용선에는 순수한 철 성분 외에도 탄소나 유황 등의 불순물이 포함되어 있는데, 이러한 불순물을 제거하여 강철을 만드는 공정을 다음 공정인 제강공정이라고 한다. 용선을 고철과 함께 전기로 속에 넣은 후 순수한 산소를 불어넣으면 이 과정에서 탄소나 유황 등의 불순물이 걸러지게 된다. 이렇게 불순물을 제거한 깨끗한 쇳물을 용강이라고 한다.

6) 한국자원정보서비스(검색일: 2024.4.2.)

7) 철을 생산하는 방식 및 고로 방식에 대한 설명은 영상 내용 등을 토대로 저자가 재정리함. 한국철강협회(검색일: 2024.4.2.)

액체 상태인 용강이 고체 상태인 철이 되는 공정을 연주(연속주조)공정이라고 하며, 연속 주조기를 통과하면서 냉각, 응고되어 슬래브, 블룸, 빌릿 등 중간소재로 만들어진다. 마지막으로 압연공정은 연주공정에서 생산된 중간소재에 힘을 가해 늘리거나 얇게 만드는 과정을 통해 사용목적에 맞는 편리한 모양으로 가공해 고품질을 요구하는 후판, 선재, 열연코일 등 다양한 철강제품을 생산하게 된다.

〈그림 3-1〉 고로 공정



자료: 한국철강협회(검색일: 2024.4.2.)

〈그림 3-1〉과 같은 고로 방식은 철의 대량생산을 가능하게 하며 대규모 수요를 충족시키기에 적합하며, 원료를 연속적으로 처리할 수 있고 생산과정이 자동화되면서 효율성이 높아 오래전부터 철을 생산하는 방식으로 이용되어 왔다. 그러나 고로는 초기 투자 비용이 많이 들고 설비의 수명 주기 동안 상당한 유지보수 비용이 발생하는 등 막대한 자본이 필요한 방식이다. 또한 고로는 매우 많은 이산화탄소가 배출되어 환경피해를 발생키는 단점이 존재한다. 이러한 단점과 최근 탄소중립 정책에 따라 주목받는 방식이 파이넥스 방식이다.

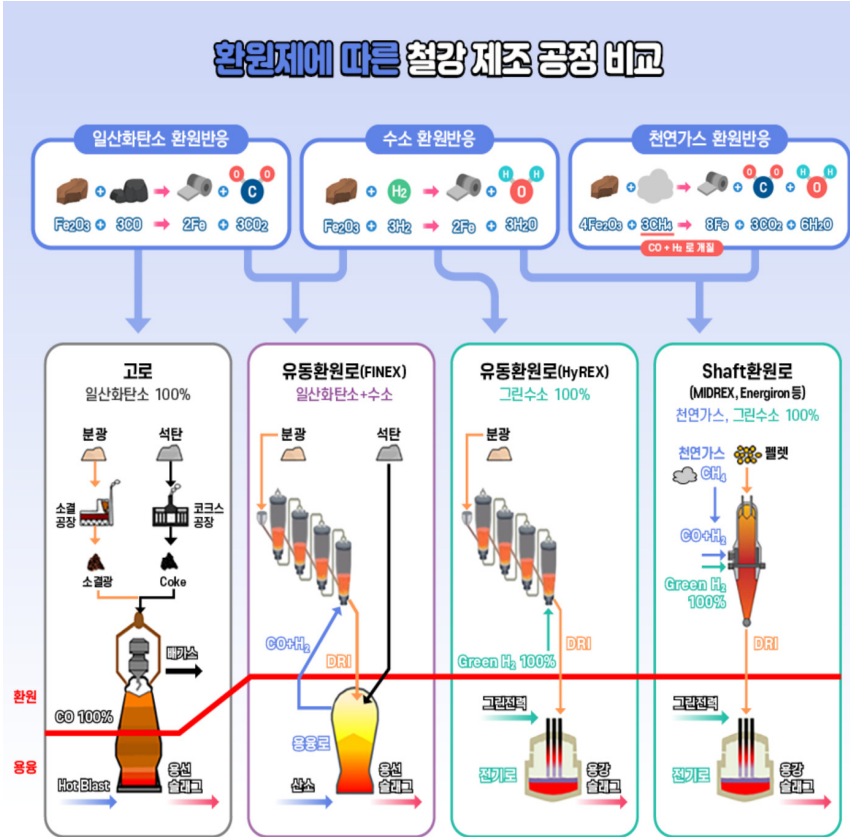
파이넥스 방식은 고로 방식과 유사하나 쇳물(용선)을 만드는 과정인 제선 과정이 다른 것으로 코크스가 아닌 천연가스나 수소 등을 환원제로 활용하여 고체 상태인 철광석을 순수한 철로 환원시키는 방식이다. 해당 방식은 포스코가 1992년 개발한 고유의 제철기술로 2007년부터 상용화하여 사용 중이다. 파이넥스 방식은 고로 방식 대비 환경오염 물질인 이산화탄소 및 황산화물 등의 배출이 적어 친환경 측면에서 장점이 큰 방식이라 할 수 있다. 또한 기존의 공정에서의 소결공정이 빠짐에 따라 비용이 적게 드는 장점이 있었으나 환원제로 활용되는 천연가스 공급에 필요한 경제적 이유 등을 이유로 활발하게 사용되지 못했으나 탄소중립이 전 세계 에너지 시장의 화두가 되면서 해당 기법에 대한 투자 및 관심이 높아지고 있는 추세이다.⁸⁾

파이넥스 방식은 환원제의 종류에 따라 공정과정이 달라지기도 하는데, 천연가스를 환원제로 사용하면 코크스(석탄) 사용 대비 탄소 배출이 감소하지만 여전히 이산화탄소가 발생하게 된다. 그러나 수소를 사용하게 되면 해당 과정에서 물이 발생하기 때문에 철강 생산 과정에서 발생하는 탄소를 혁신적으로 줄일 수 있다. 다만 현재 100% 수소를 활용한 환원제철 기술이 상용화되지 않고 있다. 한국은 파이넥스 공법을 활용한 제철 공장을 두 개(포스코 파이넥스 2·3공장을 보유하고 있다.)⁹⁾ 포스코는 파이넥스에 적용된 기술을 기반으로 수소를 100% 이용한 수소환원제철 기술 개발을 위해 정부를 포함하여 국내 철강사들과 함께 추진 중이다. 즉 쇳물인 용선을 만드는 과정에서 고로 방식과 차이가 있을 뿐, 파이넥스 공법도 용선이 만들어진 이후의 철강제품을 생산하는 방식은 고로 방식과 동일하다.

8) 파이넥스 방식에 대한 설명은 포스코 뉴스룸(검색일: 2024.4.2.)의 내용을 토대로 저자가 재정리함

9) 포스코 파이넥스 1공장은 3공장 준공을 앞두고 2014년 폐쇄

〈그림 3-2〉 환원제에 따른 철강 제조 공정 비교



자료: 포스코 뉴스룸(검색일: 2024.4.2.)

철강제품은 판재류, 봉형강류, 강관류 등으로 구분될 수 있으며 각 제품에 따라 쓰이는 용도가 상이하며 <표 3-1>를 통해 확인할 수 있다.¹⁰⁾ 판재류에는 후판, 열연코일, 냉연코일 등이 있으며 후판은 비교적 두꺼운 두께(6mm 이상)의 열연강판으로 주로 선박, 교량, 해양구조물 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있다. 열연코일은 일반적으로 두께 3mm 미만의

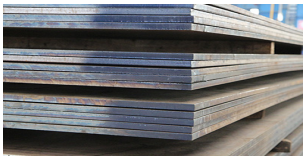
10) 철강제품의 종류 및 용도는 한국철강협회(검색일: 2024.4.17.)의 내용 등을 토대로 저자가 재정리함

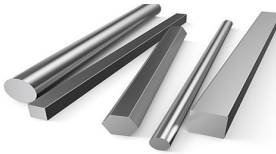
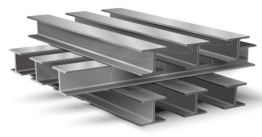
얇은 강판으로 자동차 프레임, 일반 기계 및 설비, 건축물 등에 활용된다. 냉연코일은 열연코일을 소재로 상온에서 냉간압연한 비교적 얇은 강판으로 주로 냉장고, 드럼세탁기 등 가전제품 및 자동차 차체 및 배터리팩 등에 사용되고 있다.

봉형강류에는 봉강, 형강, 선재, 철근 등이 포함되어 있으며 봉강은 단면이 원형, 육각형, 장방형인 봉(bar) 형태의 제품으로 주로 밸브, 산업용 기어 등 산업용 부품으로 활용되거나 자동차의 변속기 기어, 새시용 베어링에 사용된다. 형강은 용도에 따라 일정한 모양으로 가공한 제품으로 단면의 형상에 따라 H형강, C형강, I형강 등으로 구분되며 강도와 충격 흡수력이 우수하여 철골구조물의 뼈대 혹은 철도 레일 등 건설산업에서 많이 활용되고 있다. 선재는 단면이 둥글고 긴 선 형태를 띠며 코일상으로 감겨있는 제품을 말하며 주로 엘리베이터 와이어로프, 자동차 부품, 베어링 등의 기계 부품으로 사용되고 있다. 철근은 단면이 원형인 봉재의 일종으로 축방향 돌기와 횡방향 마디가 있어 콘크리트 부착력이 강한 제품으로 주로 건설산업의 토목구조용 자재로 활용되고 있다.

강관류에는 용접강관 및 무접합강관 등이 있는데 강관은 단면의 형상이 원형 또는 각형으로 내부가 비어있는 형태의 제품이다. 이러한 강관류는 가스관 등 에너지 수송용, 배관용(물, 증기, 화학 등), 보일러 및 열교환기 용 등을 만드는 데 사용되고 있다.

〈표 3-1〉 철강제품 종류 및 사용목적

제품종류	제품형태	용도
후판		• 조선(유조선, 벌크선, LNG 수송선) • 건설(교량, 건축물, 해양구조물) • 기계&설비(LPG 탱크, 보일러, 압력용기)

제품종류	제품형태	용도
열연코일		• 건설(건축물, 교량) • 자동차(자동차 프레임, 타이어 휠, 특수차량) • 강관용(일반배관, 송유관, 강관파이프) • 기계&설비(일반기계, 압력용기, 컨테이너)
냉연코일		• 자동차(자동차 차체, 배터리팩) • 가전(냉장고, 드럼세탁기) • 건설(건축물 외장재, 강구조물) • 기계&설비(에너지플랜트, 저장탱크)
봉강		• 기계&설비(산업용 기어, 밸브, 샤프트 등) • 자동차(엔진 캠샤프트, 변속기 기어, 샤시용 베어링)
형강		• 건설(철골구조물, 철도레일, 가설구조물) • 조선(후판 보강재, 데크하우스)
선재		• 건설(현수교, 사장교, 엘리베이터용) • 자동차(스프링용, 타이어보강재용) • 기계&설비(기계구조용, 베어링용, 볼트용)
철근		• 건설(고층건축물, 교량, 터널 등)
강관류		• 에너지용(수송용, 유정용) • 배관용(일반용, 플랜트용) • 구조용(토목, 건축, 교량) • 기계&설비(연전달용, 기계용)

자료: 한국철강협회(검색일: 2024.4.17.)

이렇게 철강제품은 조선, 자동차, 건설, 기계&설비 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 활용되고 있으며 이러한 철강 전방산업의 수요 등에 따라 철강 생산량이 결정되고, 철강을 생산하기 위한 연료인 철광석의 수요량이 결정된다고 할 수 있다. 즉, 철광석 연관 산업은 철강산업으로 볼 수 있으며 이러한 철강산업은 다양한 산업에 영향을 받는 구조로 <그림 3-3>을 통해 확인할 수 있다.

<그림 3-3> 철강산업 전·후방 연계 산업



자료: 추지미·장진규(2019), p. 119.

2. 국내외 철광석 연관 산업 동향 분석

최근 국내외 철광석 연관 산업의 주요 이슈는 크게 철강 수요 둔화, 탄소 중립 정책 추진 등에 따른 철강 생산 구조 변화로 뽑을 수 있다.

1) 철강 수요 둔화

세계철강협회(WSA: World Steel Association)는 2024년 올해 철강 수요를 전년 대비 1.7% 증가한 17억 9,310만 톤으로 전망하였으며 2025년에는 이보다 0.5%p 낮은 1.2% 증가한 18억 1,520만 톤으로 전망했다(〈표 3-2〉 참조). 세계 경제는 러시아-우크라이나 전쟁의 지속적인 영향, 높은 인플레이션, 기준금리 상승 등의 영향으로 어려운 상황에 직면하고 있으나 회복세를 점차 나타내고 있음에도 불구하고 세계 철강 수요는 성장세가 약하고 시장 변동성이 높게 유지될 것으로 예상하고 있다. 이러한 세계 경제의 어려움 외에도 각국에서의 철강제품을 둘러싼 탄소국경조정제도(CBAM)¹¹⁾, 관세 부과 등 무역장벽이 확대되면서 철강 수요 회복을 더욱 어렵게 하고 있다. 특히, 철강산업의 수요를 이끌어 온 중국의 부동산 위기 및 철강산업의 성숙기 진입에 따라 중국의 철강 수요는 2025년에 오히려 감소세를 기록할 것으로 전망된다. 중국을 대신하여 인도와 기타 신흥국 시장에서의 철강 수요 증가가 기대되며, EU 역시 2025년에 본격적인 회복세를 보일 것으로 전망된다.

〈표 3-3〉은 세계 10대 국가의 철강 수요 전망자료로 국내의 철강 수요는 2023년에 지난해 기저효과 및 자동차 생산량 증가, 조선업계 호황 등의 영향으로 전년 대비 6.7%로 크게 증가하였으나, 2024년은 세계 철강 수요 10대 국가 가운데 일본과 더불어 마이너스 성장세를 기록할 것으로 전망된다. 2023년 성장세를 이끌었던 자동차 및 조선 등의 수요 둔화 영향이 가장 큰 것으로 보이며 이에 따라 2025년도 0.2% 소폭 증가율을 기록할 것으로 전망된다. 이로써 국가별 차이가 있지만 세계 및 국내 철강 수요는 둔화세를 이어갈 것으로 전망된다.

11) 해외에서 생산되는 물품들의 탄소배출량 추정치를 EU 배출권 거래제와 연동하여 세금을 부과 및 징수하는 제도로 2023년 10월 시범운영을 시작으로 2026년 1월 본격 시행될 예정임

〈표 3-2〉 지역별 철강 수요 전망

지역	수요량(백만 톤)			증가율(%)		
	2023	2024(f)	2025(f)	2023	2024(f)	2025(f)
European Union (27) & United Kingdom	136.8	140.7	148.1	-10	2.9	5.3
Other Europe	44.3	47.9	46.1	13.5	8.1	-3.7
Russia & other CIS + Ukraine	56.1	58.4	58.9	8.6	4.1	0.8
USMCA	131.7	133.6	136.2	-1	1.4	1.9
Central and South America	45.7	45.5	46.8	0.9	-0.5	2.8
Africa	35	36.9	38.5	-1.7	5.4	4.4
Middle East	54.9	57.2	58.7	-0.4	4.1	2.6
Asia and Oceania	1,258.5	1,273.1	1,281.9	-1	1.2	0.7
World	1,763.0	1,793.1	1,815.2	-1.1	1.7	1.2

주 : f는 전망치를 의미함

자료: World Steel Association(검색일: 2024.5.17.) 자료를 저자가 번역하여 재작성

〈표 3-3〉 국가별(Top 10) 철강 수요 전망

국가	수요량(백만 톤)			증가율(%)		
	2023	2024(f)	2025(f)	2023	2024(f)	2025(f)
China	895.7	895.7	886.7	-3.3	0.0	-1.0
India	133.4	144.3	156	14.8	8.2	8.2
United States	90.5	92.2	94	-4.2	1.8	2.0
South Korea	54.7	54.3	54.4	6.7	-0.8	0.2
Japan	53.3	53.3	53.9	-3.0	-0.1	1.1
Russia	44.6	46.4	46.4	7.0	4.0	0.0
Türkiye	38.1	41.5	39.4	17.2	9.0	-5.0
Mexico	28.5	28.8	29.3	14.0	1.2	1.6
Germany	28	28.9	31.8	-13.7	3.2	10.0
Brazil	23.9	24.1	24.5	1.5	1.0	1.6

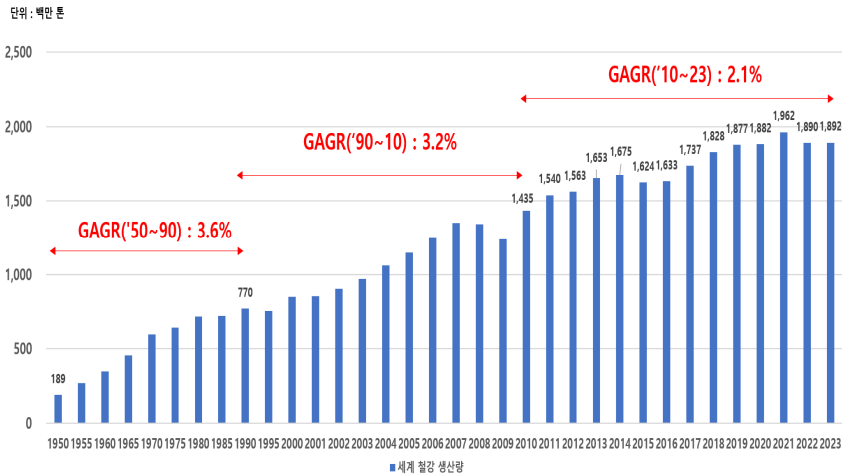
주 : f는 전망치를 의미함

자료: World Steel Association(검색일: 2024.5.17.) 자료를 저자가 번역하여 재작성

이러한 철강 수요 전망치 둔화는 <그림 3-4>와 같이 세계 철강 생산량을 통해서도 확인할 수 있다. 세계 철강 생산량은 1950년에서 2010년까지는 3%대의 연평균 증가율을 기록하였으나, 이후 초기 철강산업을 이끌었던 선진국을 중심으로 철강산업이 성숙기에 접어들면서 증가 속도는 둔화됐다. 한국 역시 초기 철강산업을 주도했던 국가로서 2010년 전까지는 3.2%의 연평균 성장률을 기록하였으나, 2023년에는 2011년 수준에도 못 미치는 생산량을 기록하는 등 국내 철강 생산량은 정체되어 있는 것을 <그림 3-5>에서 확인할 수 있다.

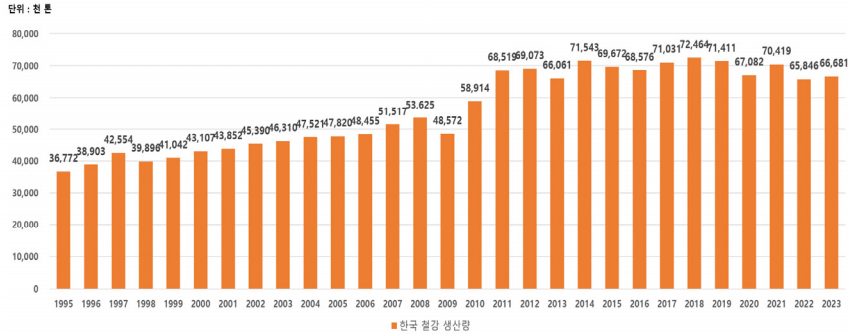
이렇듯 국내외 철강 수요 및 생산량은 최근 동향 등에 따라 장래 둔화세를 지속할 것으로 예상되며 이러한 철강산업의 영향으로 국내 철광석 수요량 역시 큰 폭의 증가세를 기록하지는 않을 것으로 전망된다.

<그림 3-4> 세계 철강 생산량 추이



자료: World Steel Association(검색일: 2024.5.2.) 자료를 저자가 번역하여 재작성

〈그림 3-5〉 한국 철강 생산량 추이



자료: 한국철강협회(2024), p. 17.

2) 탄소중립 정책에 따른 생산 방식 변화

다음 주요 이슈로는 탄소중립 정책 확대에 따라 지속 가능한 철강산업으로 전환을 맞이하고 있다는 점이다. 앞서 철광석은 철강을 생산하는 주요 원료임을 확인했다. 철광석을 원료로 하여 철을 생산하는 방식에는 고로 방식과 파이넥스 방식이 있으며, 최근 탄소중립 정책에 따라 고로 방식에서 파이넥스 방식으로 전환하기 위한 투자 등이 확대되고 있다. 그러나 두 방식 모두 환원제에 따른 제선 과정이 다를 뿐 궁극적으로 철광석을 사용하는 것은 동일하다. 투입되는 철광석의 형태(분광, 괴광) 및 종류 등의 변화는 있겠지만 철광석 총수입량에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 보인다.

다만, 환원제에 따른 쇳물 생산 방식을 변경하는 것은 혁신적인 기술 개발 등에 많은 시간이 소요되기 때문에 해당 기술 개발 전까지는 전기로를 활용한 철강 생산이 늘어날 것으로 전망되고 있다. 고로나 파이넥스 방식과 달리 전기로를 활용하는 방법은 철광석이 아닌 철스크랩(고철)을 원료로 사용하고 있다. 전기로 방식은 일부 고급 철강제품을 생산하는 데 한계가 있고, 철스크랩의 가격 변동성, 높은 전력 비용과 같은 단점 등으로 비중이

높지 않았다. 그러나 고로 방식 대비 탄소 배출이 훨씬 적어 최근 탄소중립 정책으로 인해 다시 주목받고 있는 방식이다. 이러한 전기로를 활용한 철강 생산이 비중이 증가한다면 철광석 수입량에 미치는 영향이 클 수 있다. 2024년 4월 기준 전 세계 철강 생산량 중 전기로 비중은 31.8%이며, 국제 에너지기구(IEA: International Energy Agency)의 2050년 탄소중립 시나리오에 따르면 전기로 비중은 2030년 37%, 2050년 53%로 확대될 전망이다.¹²⁾ 국내 역시 철강 생산량에서 전기로가 차지하는 비중은 최근 5년간(2019~2023) 31.1% 수준을 기록하고 있으며¹³⁾ 이러한 기조에 따라 국내 철강업계를 포함하여 주요 해외 철강업계 역시 전기로 확대 계획 등을 발표하는 등 전기로 생산 확대 비중을 키워가기 위한 사업 로드맵 등을 구축하고 있다. 따라서 이러한 탄소중립 정책에 따른 철강 생산 방식의 변화는 철광석 수요량 감소에 영향을 미칠 것으로 전망된다.

〈표 3-4〉 국내외 주요 기업 전기로 시설 확대 계획

철강업체	주요 계획
타다스틸(영국)	• 포트 텔벗 공장의 기존 고로 2기를 전기로 대체 계획(2027년 완료 예정)
리버티스틸(호주)	• 화이알라 공장에서 고로를 전기로로 대체(2025년 완료 예정)
JFE Steel(일본)	• 고로 1기를 전기로 전환 계획 발표(2028년 완료 예정)
U.S Steel(미국)	• 아칸소주 오세올라에 신규 전기로 건설 계획 발표(2024년 완공 예정)
포스코(한국)	• 광양제철소에 신규 전기로 건설 계획 발표(2026년 완공 예정)
현대제철(한국)	• 연간 100만 톤 규모의 신규 전기로 투자(2029년 완공 예정)

자료: 스틸데일리(검색일 : 2024.05.02); 철강금속신문(검색일 : 2024.05.02.); 페로타임즈(검색일 : 2025.05.02.); 포스코 뉴스룸(검색일 : 2024.05.02.); 딜사이트(검색일 : 2024.05.02.) 등을 토대로 저자 정리

12) Global Energy Monitor(2023), p. 28.

13) 한국철강협회(검색일: 2024.5.2.)

제2절 철광석 항만물동량 예측모형 진단

1. 철광석 항만물동량 현황 및 특징

철광석은 해운물류 화물품목 분류 기준으로 HS코드 2601로 시작하는 ‘철광과 그 정광’을 의미한다. 국내의 경우 철광석 매장량이 부족하여 대부분 수입하고 있는 실정으로 2023년 기준 국내 철광석 주요 수입 국가는 호주(71.9%), 브라질(11.9%), 남아프리카공화국(5.0%) 순이다.¹⁴⁾ 해당 국가는 전 세계 철광석 생산량의 약 54.6%를 차지하고 있으며 특히 우리나라의 경우 호주에 대한 수입 의존도가 높은 실정이다.

〈표 3-5〉 철광석 HS코드

HS코드	국문 품명
2601	철광과 그 정광(精鑛)[배소(焙燒)한 황화철광을 포함한다]
2601.1	철광과 그 정광[배소(焙燒)한 황화철광은 제외한다]
2601.11	응결시키지 않은 것
2601.11.1000	적(赤)철광
2601.11.2000	자(磁)철광
2601.11.9000	기타
2601.12	응결시킨 것
2601.12.1000	적(赤)철광
2601.12.2000	자(磁)철광
2601.12.9000	기타
2601.20.00005	배소(焙燒)한 황화철광

자료: 2024 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 이용코드집, p. 72

14) 한국무역협회(검색일: 2024.5.22.)

〈표 3-6〉 철광석 매장량 및 생산량(2022년 기준)

순위(생산량)	국가	광석량 (백만 톤)	생산량 (백만 톤)	생산량 점유율(%)
1	호주	51,000	880	35.2
2	브라질	34,000	410	16.4
3	중국	29,000	380	15.2
4	인도	20,000	290	11.6
5	러시아	6,500	90	3.6
6	남아프리카공화국	6,000	76	3.0
7	이란	5,500	75	3.0
8	카자흐스탄	3,000	66	2.6
9	캐나다	2,700	58	2.3
10	우크라이나	2,600	76	3.0
세계		180,000	2,500	100.0

자료: USGS(2023), p.99; Investing News Network(검색일: 2024.4.15.) 자료를 참고하여 저자가 재작성

철광석 매장량을 보유한 국가로부터 수입함에 따라 철광석 항만물동량의 지난 5년간 약 99.2%가 수입 물동량으로 구성되어 있다. 수입 물동량은 국내 항만 중 광양항, 포항항, 평택·당진항에서만 발생하고 있다. 앞서 철광석은 고로 방식 및 파이넥스 방식을 활용한 철강 생산 방식에서 원료로 활용된다고 했는데, 국내의 경우 포스코의 광양제철소, 포항제철소, 현대제철의 당진제철소만이 고로 및 파이넥스 시설을 보유하고 있기 때문이다.

수출 물동량의 경우 국내 유일의 상업용 철광석 광산인 신예미광산(강원도 정선군)에서 철광석이 생산됨에 따라 일부 생산량은 포스코로 납품을 하고 있으며, 납품 외 일부 물량은 동해·묵호항을 통해 중국 등으로 수출되고 있어 해당 광산의 생산량에 따라 수출 물동량 비중이 크게 변동되는 특징을 가지고 있다.

연안 물동량은 국내 제철소 간 철광석 연료 이동과, 제철용이 아닌 시멘트, 증액제, 산화철 염료 등에 소량 활용되는 철광석 물동량이 국내 항만

간 이동에서 발생하는 것으로 변동성이 크고 비중이 낮은 것이 특징이다.

즉, 철광석 항만물동량은 수입 물동량 비중이 99% 이상으로 대부분을 차지하고 있으며 이러한 수입 물동량 역시 특정 항만을 통해서 취급되고 있어 해당 항만을 이용하는 철강기업 동향 등을 파악하여 수입 물동량 예측모형을 중심으로 개선할 필요가 있다.

〈표 3-7〉 철광석 항만물동량 현황

단위 : 천 톤

구분	수입	수출	연안	합계
2013	63,374	207	1,242	64,822
2014	73,423	148	993	74,564
2015	78,597	37	1,127	79,761
2016	76,932	24	929	77,885
2017	77,075	87	723	77,885
2018	78,512	127	886	79,525
2019	79,439	0	557	79,995
2020	74,429	182	695	75,306
2021	79,196	191	476	79,863
2022	70,635	201	324	71,159
2023	70,772	509	67	71,349
평균비중 (‘19~’23)	99.2%	0.3%	0.6%	100.0%

주: 수입에는 수입환적, 수출에는 수출환적이 포함된 수치임
자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.2.)

2. 기존 철광석 예측모형의 특징 및 한계

1) 기존 철광석 예측모형

(1) 수입 물동량

수입 물동량의 경우 철광석의 주요 수요처인 고로 제철소를 운영 중인 광양항, 포항항, 평택·당진항의 조강생산량을 활용한 원단위법을 적용하여 수입 물동량을 추정하고 있다.

$$\theta_{i,t+1} = \frac{1}{n} \sum_{j=t-n+1}^t \theta_{ij} \quad \dots\dots\dots [\text{식 3-1}]$$

여기서 $\theta_{i,t} = Y_{i,t}/Z_{i,t}$ 는 i 항만의 t 기 조강생산량 대비 수입 물동량의 원단위, $Y_{i,t}$ 은 고로 제철소 입지 i 항만의 t 기 수입 물동량, $Z_{i,t}$ 는 i 항만의 t 기 고로 조강생산량, n 은 이동평균 기간이다. 국내 고로 조강생산량은 한국철강협회에 및 개별 제철소 홈페이지 등에서 제공하고 있으나, 전망치를 따로 발표하는 기관이 부재하여 고로 조강생산량을 자체적으로 전망하고 있다. 고로 조강생산량의 과거 추세 및 국내 건설·제조업 GDP를 단일 변수로 한 로그 회귀분석을 통해 추정하고 있으며, 이후 개별 업체의 향후 개보수 계획, 항만별(제철소별) 비중을 반영하여 총 고로 조강생산량을 항만별로 배분하는 방식을 이용하고 있다.

$$\ln Z_t = r_0 + r_1 \ln X_t \quad \dots\dots\dots [\text{식 3-2}]$$

최종 항만별 철광석 수입 물동량은 원단위 전망치와 고로 조강생산량 예측치의 곱을 통해 예측하고, 이를 합산하여 전체 철광석 수입 물동량을 산정하고 있다.

(2) 수출 및 연안 물동량

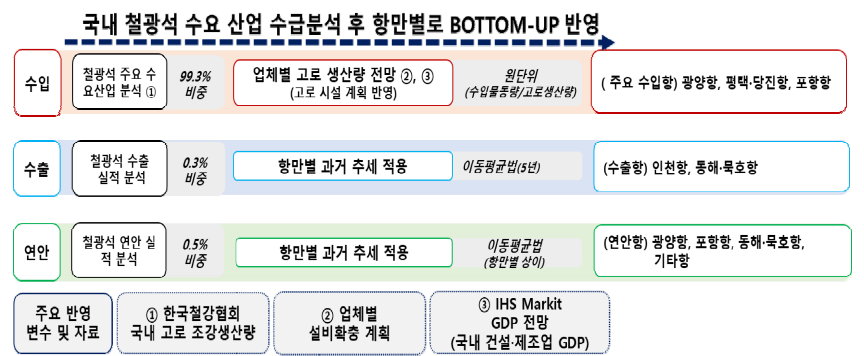
수출 및 연안 물동량은 철광석 총물동량의 약 0.9% 비중을 차지하고 있으며, 물동량 편차 등이 심해 물동량 발생의 인과관계를 설명하기 어려워 가중이동평균법을 이용하여 예측하고 있다.

$$Y_{t+1} = w_t Y_t + w_{t-1} Y_{t-1} + \dots + w_{t-n+1} Y_{t-n+1} \quad \dots\dots\dots [식 3-3]$$

단, $w_t + w_{t-1} + \dots + w_{t-n+1} = 1$

여기서 Y_t 는 각 항만의 t 기 수출(연안) 물동량, w_t 는 연도별 가중치, n 은 이동평균 기간이다.

〈그림 3-6〉 철광석 항만물동량 예측 프로세스



자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 58.

2) 한계점과 개선방향

(1) 예측모형 및 변수의 단순화

철광석 수입 물동량 예측모형은 국내 항만별 고로 조강생산량과 수입 물동량과의 원단위법을 활용하여 예측하고 있다. 원단위법은 계산이 단순하고 직관적으로 이해하기 쉬운 방법이나 다양한 변수와 상황을 고려하지 못하여 예측 정확도가 떨어질 수 있으며, 과거 데이터를 기반으로 하기 때문에 데이터의 품질과 신뢰성에 크게 의존하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 오랜 시간 적용해 온 원단위법 외 다양한 예측모형을 원단위법 방법과 비교·분석하고자 한다.

또한, 원단위법 활용에 따라 변수도 단일 변수인 고로 조강생산량만을 고려하였으나, 추가적인 변수 발굴을 통해 새로운 모형과 함께 적용하고자 한다. 신규 변수는 앞서 철광석 연관 산업 동향 등에서 살펴본 것과 같이 친환경 정책 확대 등에 따른 전기로 생산 방식 확대를 고려할 수 있는 전기로 생산 비중 변수를 추가적으로 적용하고자 한다.

(2) 고로 조강생산량 장기 예측치 부재

철광석은 철을 생산하는 원료로 이용되고 있기 때문에 국내 제철소의 고로 조강생산량은 필수적인 변수로 활용될 필요가 있다. 그러나 철 생산 방식별로 생산량을 따로 전망하지 않고 있으며, 총생산량 역시 국가별이 아닌 세계 조강생산량에 대한 단기 전망에 그치고 있다. 국내 고로 조강생산량에 대한 장기 예측치가 필요함에 따라 자체적으로 국내 건설·제조업 GDP를 활용하여 전망하고 있으나, GDP를 변수로 활용함에 따라 고로 조강생산량이 과대하게 예측되는 문제점이 발생하고 있다. 이는 철강산업이 증가하는 과거에는 적절한 방법이었으나, 최근 세계 철강 수요 둔화 및 고로 생산 방식이 축소되고 있는 상황에서는 철광석 수입 물동량의 과대 예

측으로 이어지는 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 한계점을 보완하기 위해 국내 고로 조강생산량의 장기 예측치를 전망하는 모형을 보완하여 철광석 수입 물동량 예측모형을 개선하고자 한다.

〈표 3-8〉 철광석 한계점 및 개선방향

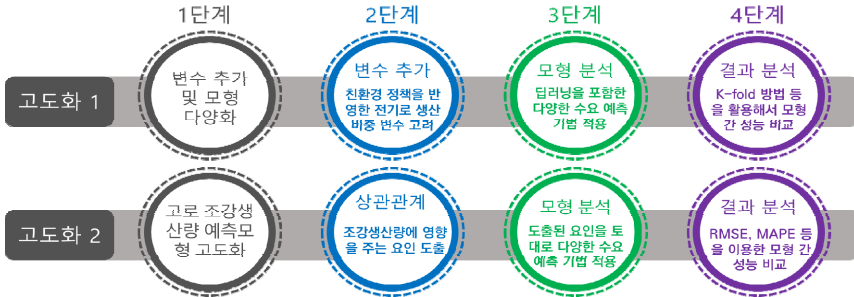
항목	한계점	개선방향
모형 및 변수 단순화	고로 조강생산량 단일 변수로 모형의 다양성 부족	• 친환경 정책 확대에 따른 전기로 비중을 추가 변수로 고려 • 덤러닝 모형 도입
주요 변수의 장기 예측치 부재	고로 조강생산량 변수의 장기 예측치 과대 추정	• 고로 조강생산량 예측 방법 수정 (하향식, 변수 추가)

자료: 저자 작성

제3절 철광석 항만물동량 예측모형 고도화

앞서 제1절 및 제2절을 통해 철광석 연관 산업의 동향과 기존 모형의 한계점을 검토하였으며, 이를 통해 도출된 개선방향은 크게 모형 및 변수 다양화, 고로 조강생산량 전망 모형 개선으로 나타났다. 고도화의 첫째 단계는 변수 추가 및 모형 다양화로 친환경 정책 확대에 따른 철강산업에서의 철 생산 방식 변화를 고려하기 위해 전기로 생산 비중을 추가 변수로 고려하고 덤러닝 방식의 모형 등을 추가했다. 둘째 고도화 방안은 고로 조강생산량의 장기 예측치 부재에 따른 과대 추정 문제를 해결하기 위해 고로 조강생산량 예측 방식을 기존 상향식에서 하향식으로 변경하였고, 앞서 고려한 전기로 생산 비중을 고려해서 모형을 구축했다. 〈그림 3-7〉은 본 절에서 다룬 철광석 항만물동량 예측모형 고도화 방안을 단계적으로 표현한 그림이다.

〈그림 3-7〉 철광석 예측 고도화 절차



자료: 저자 작성

1. 변수 추가 및 모형 다양화: 수입 물동량 예측모형

철광석 물동량은 99% 이상이 수입 물동량으로 구성되어 있어 수입 물동량 예측모형의 고도화가 중요하다. 현재는 국내 고로 조강생산량과 수입 물동량 간의 원단위를 도출하여 활용하고 있다. 철광석이 대부분 고로의 원료로 투입되기 때문에 직관적으로 해당 방법론을 사용하기에 적합했다. 다만, 철강산업의 성숙기 진입에 따른 철강 생산량 둔화 및 환경 정책 강화에 따른 브리지 기술 개발(석탄 환원제를 대신하여 천연가스, 수소 등 활용), 철스크랩 사용량 증대 전망은 고로 조강생산량과 수입 철광석 물동량 간 직관적인 원단위 산정만으로 예측하기에는 산업이 다양화됨을 의미한다. 이에 철광석 수입 물동량 예측모형을 고도화하기 위해 친환경 정책에 따른 산업 환경 변화를 반영할 수 있는 변수를 추가적으로 고려함과 동시에 다양한 모형을 적용하고자 한다.

1) 분석데이터

철광석 수입 물동량 예측 고도화를 위해 탄소중립에 따른 전기로 비중 확대를 추가 변수로 활용하고자 한다. IEA는 2050년 탄소중립 시나리오에 따라 전기로 비중이 2050년 53%까지 확대될 것이라고 전망했다.¹⁵⁾ 2024년 4월 기준 전 세계 철강 생산량에서 전기로 생산 비중이 31.8%인 점을 고려할 때 최근 5개년(2019년~2023년) 국내 철강 생산량의 전기로 생산 비중은 31.1%로 세계 비중과 유사한 수준이므로 해당 전기로 확대 비중 시나리오를 국내에 적용하는 것에 큰 무리가 없다고 판단된다. 데이터 분석 기간은 철광석 수입 물동량이 성숙기에 진입한 1994년부터 2023년까지의 데이터를 활용했다.

〈표 3-9〉 철광석 수입 물동량 예측모형 변수 기초통계량(1994~2023)

단위 : 천 톤, %				
구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
국내 고로 조강생산량	48,716	21,610	34,638	10,441
전기로 비중	47	30	39	5

자료: 한국철강협회(검색일 : 2024.5.2.)

2) 모형 설계

기존 철광석 수입 물동량 주요 예측 변수인 고로 생산량과 환경 정책 강화에 따른 대리변수인 전기로 비중을 추가적으로 고려했을 때의 예측력을 비교·검증하기 위해 다중회귀 모형, 머신러닝의 RNN 모형, MLP 모형을 활용하고자 한다. 이때, 추가 변수를 고려한 경우와 고려하지 않는 경우를 구분하여 신규 변수의 투입 적절성 여부도 함께 살펴보하고자 한다. 이때, 모형 분석 프로그램으로는 파이썬을 활용하였으며 RNN 모형은 순차적으로

15) Global Energy Monitor(2023), p. 28.

레이어를 쌓아가는 가장 일반적인 Keras 모델을 활용한 패키지 ‘tensorflow.keras’를 활용했으며, RNN 모형의 레이어의 뉴런 수는 100으로 지정하고, dense 레이어에는 50개의 뉴런을 지정하였으며, 최종 학습 반복 횟수는 100으로 설정하였다. 또한 딥러닝을 통해 인공지능 모델을 학습시킬 때 오차를 줄이기 위해 사용하는 경사하강법 알고리즘에서는 가장 널리 사용되고 있는 아담(adam)이라는 방법을 사용해서 진행했다. MLP 모형의 경우 데이터의 비선형성을 잘 포착하기 위해 두 개의 은닉층을 사용하였으며, 각 은닉층에서는 50개의 뉴런을 설정했다. 활성화 함수에는 딥러닝에 일반적으로 많이 사용되는 ReLU(Rectified Linear Unit)를 적용했다. 또한 경사하강법으로는 RNN 모형에서와 같이 아담을 사용했다. 마지막으로 최대 반복 횟수는 500으로 설정해 모형을 설계했다.

모형 간 성능 비교를 위해서 K-Fold 방법을 활용하였으며, 이때 k값은 10을 사용했다. 이때, 시계열 데이터임을 감안하여 데이터를 시간의 순서대로 학습하고 검증하는 ‘TimeSeriesSplit’ 옵션을 활용했다.

3) 분석 결과 및 검증

추가 변수인 전기료를 포함한 경우 총 세 가지 모형에 따른 수입 물동량 예측 결과 RNN 모형은 2017년~2018년 기간에서 물동량 변화를 반영하지 못했으며, 다중회귀 모형과 MLP 모형은 상대적으로 실제값과 유사하게 나타났다. 다만, 두 모형 역시 2022년 이후 급감한 철광석 수입 물동량 변화는 반영하지 못했다. 추가 변수를 고려하지 않은 경우 RNN 모형이 전반적으로 실제값을 제대로 반영하지 못하였으며, MLP 모형의 경우에는 실제값과 대비하여 다소 과소하게 예측되는 경향을 나타냈다. 변수 추가 여부의 적절성 및 세 가지 모형에 대한 예측 정확도를 비교하기 위해 10-fold 교차검증을 활용한 결과 추가 변수를 고려한 경우 모두 예측 정확도가 높

게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 추가 변수인 전기로 비중을 고려한 경우 모형에 따라 최소 0.8%에서 5.7%까지 예측 오차율이 낮게 나타난 것으로 확인됐다. 그중에서도 다중회귀 모형과 MLP 모형의 MAPE 값이 각각 5.9%, 6.1%로 다중회귀 모형이 예측 오차율이 가장 낮게 나타났다.

〈표 3-10〉 철광석 수입 물동량 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	추가 변수(전기로 비중) 포함			추가 변수(전기로 비중) 미포함		
		다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형	다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
2014	73,423	75,403	78,079	77,329	75,827	54,443	75,221
2015	78,597	77,267	79,733	79,212	77,579	75,569	75,221
2016	76,932	75,746	76,051	77,614	76,094	59,511	74,882
2017	77,075	75,936	65,154	77,868	76,328	67,249	74,882
2018	78,512	76,860	65,142	78,856	77,246	64,599	74,882
2019	79,439	77,569	76,832	78,856	77,906	75,838	75,812
2020	74,429	73,787	76,832	75,554	74,180	60,329	74,474
2021	79,196	76,504	79,448	78,441	76,861	67,574	74,474
2022	70,635	71,992	74,753	73,670	72,429	62,094	72,346
2023	70,772	74,966	77,184	76,761	75,302	60,728	75,401

자료: 저자 작성

〈표 3-11〉 철광석 수입 예측모형 간 예측 정확도 비교

구분		다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
추가 변수 (전기로 비중) 포함	RMSE	35.9	41.4	37.5
	MAPE	5.9	8.2	6.1
추가 변수 (전기로 비중) 미포함	RMSE	39.2	86.9	44.0
	MAPE	6.6	14.0	7.8

자료: 저자 작성

2. 고로 조강생산량 전망 모형 개선

현행 철광석 수입 물동량 예측에는 업체별 고로 조강생산량을 단일 변수로 하여 원단위법을 적용하고 있다. 이때, 업체별 고로 조강생산량은 전국 고로 조강생산량을 국내 건설·제조업 GDP를 이용하여 전망한 후 업체별 고로 생산능력 비중을 바탕으로 배분하고 있다. 국내 건설·제조업 GDP를 단일 변수로 활용하다 보니 고로 조강생산량이 과대하게 예측되고 있다는 관련 업계 전문가의 의견에 따라 추가적인 변수 발굴 및 예측모형 다양화를 통해 고로 조강생산량 전망 모형을 개선하고자 한다.

이때, 앞서 친환경 정책 확대에 따른 철 생산 방식 변화를 반영하기 위해 전기로 비중을 주요 변수로 활용한 바 있다. 따라서 고로 조강생산량 전망 모형은 우선 총 조강생산량을 전망한 후 전기로 비중을 통해 고로와 전기로 조강생산량을 구분해서 사용하는 방식으로 모형을 개선하고자 한다.

즉, 기존에는 고로 조강생산량과 전기로 조강생산량을 따로 예측하는 상향식을 적용하였으나, 본 연구에서는 국내 총 조강생산량을 예측한 후 고로 조강생산량과 전기로 조강생산량을 배분하는 하향식 방식을 적용하여 과대 추정되는 것을 개선하고자 한다.

1) 분석데이터

국내 조강생산량을 예측하기 위해 추가적으로 고려할 수 있는 변수로는 철강 생산량과 관련이 있는 거시경제지표인 한국 및 세계 전 산업생산지수(Production Index, Industry), 한국제조업 생산지수(Production Index, Manufacturing), 한국 및 세계 GDP, 세계 철강 생산량, 철광석 가격 등이 있다. 해당 데이터는 글로벌 산업의 마켓 인사이트를 제공하는 S&P Global Intelligence, 전 세계 철강 생산국을 회원으로 참여하고 있

어 철강 관련 정보를 제공하는 세계철강협회(World Steel Association), 세인트루이스 연방준비은행 데이터로 데이터의 신뢰성, 정확성, 일관성 등을 고려하여 선정하였으며 2000년~2023년까지의 데이터이다.

〈표 3-12〉 고로 조강생산량 전망 모형 분석데이터

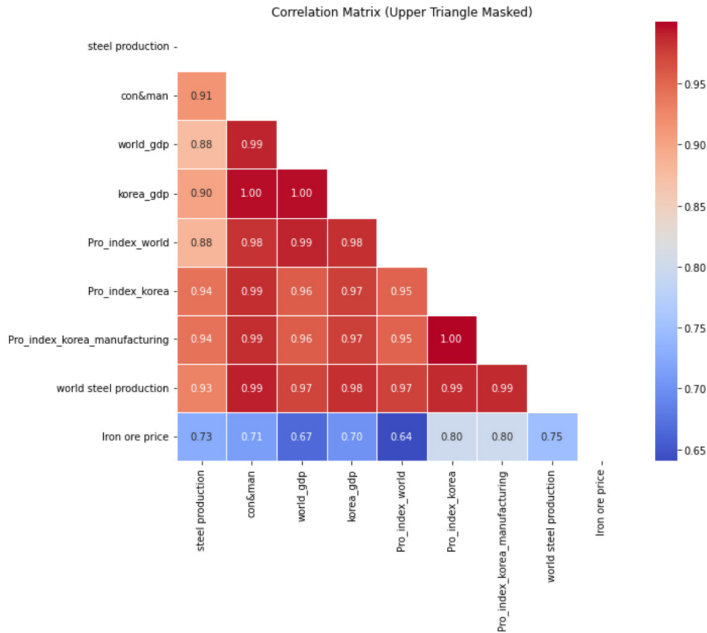
구분	출처	장기전망치 여부
국내 건설·제조업 GDP	S&P Global	O
국내 총 GDP	S&P Global	O
세계 총 GDP	S&P Global	O
국내 전 산업생산지수	S&P Global	O
세계 전 산업생산지수	S&P Global	O
국내 제조업 생산지수	S&P Global	O
철광석 가격	FRED(St.Louis)	X
세계 철강 생산량	WSA	X

자료: 출처를 참고하여 저자 재정리

우선 기존 국내 건설·제조업 GDP를 포함하여 추가적으로 발굴한 데이터와 국내 조강생산량 간의 상관관계 분석을 한 결과 철광석 가격(Iron ore price) 변수를 제외하고는 모두 조강생산량과 80% 이상의 높은 상관계수를 나타냈다. 상관계수가 90% 이상이면서 독립변수 간 다중공선성을 우선적으로 배제하기 위해 변수 성격이 유사한 그룹별로 나누어 가장 높은 상관관계를 나타내는 변수를 최종 선택했다. GDP 관련 변수 중에서는 국내 건설·제조업 GDP(0.91)가 국내 총 GDP(0.90)와 세계 총 GDP(0.88)보다 상관계수가 높게 나타남에 따라 GDP 변수에서는 국내 건설·제조업 GDP를 선정했다. 산업생산지수 관련 변수에서는 국내 전 산업생산지수(0.9412)가 국내 제조업 생산지수(0.941)와 세계 전 산업생산지수(0.88)보다 높아 국내 전 산업생산지수를 최종 선정했다. 그 외 세계 철강 생산량 역시 0.93으로 높은 상관관계를 나타냄에 따라 추가 변수로 최종 선정하였으며 그 결과 국내 건설·제조업 GDP, 국내 전 산업생산지수, 세계 철강 생

산량이 최종 분석 데이터로 선정됐다. <표 3-13>은 해당 데이터의 기초통계량이다. 이때, 독립변수로 선정된 세 가지 변수 가운데 세계 철강 생산량의 경우 장기 전망치가 부재함에 따라 추세분석을 통해 2040년까지 예측하여 활용했다.

<그림 3-8> 국내 조강생산량과 추가 변수 간 상관관계(2000~2023)



자료: 한국철강협회(검색일: 2024.5.2.); S&P Global(검색일: 2024.8.2.); World Steel Association(검색일: 2024.8.2.) 자료를 활용하여 저자 분석

<표 3-13> 최종 선정된 국내 조강생산량 전망 모형 변수 기초통계량(2000~2023)

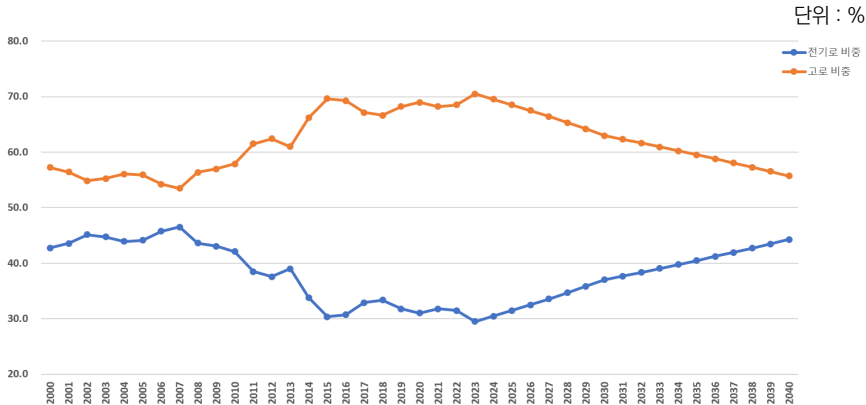
단위 : 10억 달러, 백만 톤

구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
국내 건설·제조업 GDP	753	336	566	129
국내 전 산업생산지수	109	46	82	20
세계 철강 생산량	1,962	850	1,465	354

자료: S&P Global(검색일: 2024.8.2.); World Steel Association(검색일: 2024.8.2.)

국내 총 조강생산량 전망 후 전기로 비중 확대 시나리오를 적용한 고로 및 전기로 비중을 참고하여 최종적으로 고로 조강생산량을 전망하고자 한다.

〈그림 3-9〉 고로 및 전기로 비중



주: 2023년 이후는 IEA의 전기로 비중 확대 시나리오를 참고하여 저자 예측
 자료: 한국철강협회(검색일: 2024.5.2.)

2) 모형 설계

기존 예측 방법인 국내 건설·제조업 GDP를 활용한 로그 회귀분석 방법과 예측력을 비교·검증하기 위해 앞서 선정된 추가적인 데이터를 바탕으로 제2장에서 살펴본 회귀분석, 시계열 VAR 모형, 머신러닝의 RNN 및 LSTM 모형을 활용하여 고로 조강생산량 예측모형의 정확도를 개선하고자 한다. 이때, 모형 분석 프로그램으로는 파이썬을 활용하였으며 VAR 모형은 ‘statsmodels’ 패키지를 활용하여 최대 시차는 $p=2$ 를 고려하여 분석했다. RNN 모형은 순차적으로 레이어를 쌓아가는 가장 일반적인 Keras 모델을 활용한 패키지 ‘tensorflow.keras’를 활용했으며, RNN 모형의 레이어의 뉴런 수는 100으로 지정하고, dense 레이어에는 50개의 뉴런을 지정하였으며, 최종 학습 반복 횟수는 100으로 설정하였다. 또한 딥러닝을 통해 인공지능 모델을 학습시킬 때 오차를 줄이기 위해 사용하는 경사하강법

알고리즘에서는 가장 널리 사용되고 있는 아담이라는 방법을 사용해서 진행했다. LSTM 모형은 RNN과 마찬가지로 둘 다 순환신경망의 일종으로 같은 패키지 및 학습 알고리즘을 활용하였으며, 유닛의 수는 50개, 배치 크기는 32개로 데이터를 처리했다.

본 모형 간 성능 비교를 위해서 K-Fold 방법 적용이 불가능하여, 최근 3개년에 대한 RMSE와 MAPE 평균값을 토대로 모형의 성능을 평가했다.

3) 분석 결과 및 검증

전반적으로 LSTM 모형은 과소 예측되는 경향이 강하게 나타났으며, 그 외 모형은 최근 시점으로 갈수록 실제값보다 높은 예측치를 나타냈다. 특히 VAR 모형은 실제값과 비교하여 전반적으로 과대하게 예측되는 경향이 나타나면서 실제값 가장 큰 차이를 나타냈다. 회귀 모형 역시 2020년 이후 실제값과 비교하면 다소 높게 예측이 되고 있는 것으로 나타났다. RNN 모형은 2020~2023년은 다소 높게 예측되었으며 전반적으로는 실제값과 대비하여 과소하게 예측되는 것으로 나타났다.

〈표 3-14〉 국내 고로 조강생산량 전망 모형 간 예측값 비교

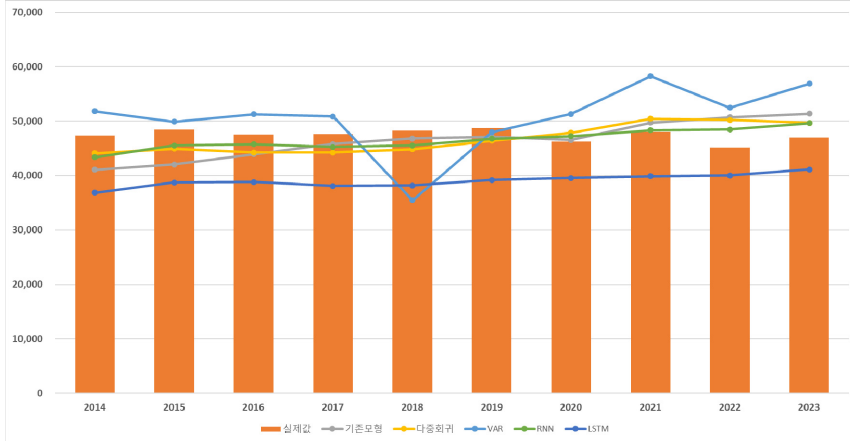
단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형 (단순회귀)	다중회귀 모형	VAR 모형	RNN 모형	LSTM 모형
2014	47,345	41,094	44,114	51,815	43,367	36,856
2015	48,500	42,027	44,928	49,896	45,520	38,758
2016	47,521	43,952	44,243	51,270	45,762	38,830
2017	47,676	45,835	44,274	50,877	45,268	38,111
2018	48,281	46,821	44,832	35,461	45,535	38,162
2019	48,716	47,120	46,418	47,970	46,798	39,187
2020	46,259	46,530	47,888	51,319	47,246	39,566
2021	48,028	49,716	50,472	58,294	48,322	39,892
2022	45,105	50,719	50,228	52,485	48,487	40,028
2023	46,999	51,355	49,695	56,900	49,633	41,138

자료: 저자 작성

〈그림 3-10〉 고로 조강생산량 전망 모형 간 예측값 비교

단위 : 천 톤



자료: 저자 작성

모형의 성능을 평가하기 최근 3년간 RMSE와 MAPE의 평균값을 비교한 결과 RNN 모형에서 RMSE와 MAPE 값이 가장 낮게 나타난 것으로 나타남에 따라 RNN 모형이 예측 정확도가 가장 높다고 할 수 있다. 특히 기존 모형 대비 MAPE 값을 비교하면 RNN 모형이 오차율을 3.8%p 감소시킨 것으로 나타났다. 이로써 철광석 수입 물동량을 예측하기 위해 가장 중요한 변수인 고로 조강생산량의 전망 모형을 고도화하였으며 해당 모형으로 예측한 고로 조강생산량 전망치를 활용하여 철광석 수입 물동량 주요 변수로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

〈표 3-15〉 고로 조강생산량 예측모형 간 예측 정확도 비교

연도	기존 모형 (단순회귀)	다중회귀 모형	VAR 모형	RNN 모형	LSTM 모형
RMSE	42.2	36.3	92.7	24.8	64.9
MAPE	8.4	7.4	19.6	4.6	13.6

자료: 저자 작성

제4절 소결 및 시사점

철광석은 대부분 철강을 생산하는 원료로 사용됨에 따라 철강산업과 밀접한 연관이 있다. 철을 생산하는 주요 방식에는 고로 방식, 파이넥스 방식, 전기로 방식이 있으며, 이 중 고로와 파이넥스 방식에서 철광석을 원료로 사용하고 있다.

과거에는 고로 방식의 철강생산이 대규모 생산에 따른 비용 절감효과로 큰 비중을 차지하고 있었으나, 최근 탄소중립에 따른 영향으로 고로 대비 탄소 배출이 적은 파이넥스 방식 혹은 전기로 방식으로 생산 방식이 변경되고 있는 추세이다. 다만, 현재 파이넥스 방식은 수소와 천연가스를 혼합하여 환원제로 활용하고 있는데, 이를 수소 100%로 전환하기 위한 기술 개발에는 상당한 시간이 소요될 전망이다. 따라서 해당 기술 개발과 더불어 철강업계는 전기로 방식을 확대하여 철강을 생산하는 사업 계획을 발표하고 있다. 이러한 철강생산 방식의 변화는 철광석의 수요 감소로 이어질 수 있기 때문에 해당 생산 방식의 변화를 철광석 물동량 예측을 위해 고려할 필요가 있다.

철광석을 생산하는 방식 외 최근 국내외 철강산업의 동향 역시 철광석 예측을 위해 주의 깊은 모니터링이 필요하다. 글로벌 철강 수요는 세계 경제 둔화, 지정학적 불안 지속, 무역장벽 확대에 따른 영향으로 둔화세를 지속할 것으로 전망된다. 또한 초기 철강 수요를 이끈 선진국과 현재 최대 철강 수요 국가인 중국의 철강산업 성숙기 진입으로 수요가 크게 회복할 만한 요인이 부족한 실정이다. 이러한 철강 수요의 둔화는 철을 생산하는 원료인 철광석 수입량에 영향을 미칠 수 있기 때문에 철강산업 동향과 관련된 이슈 등을 반영할 수 있는 물동량 예측모형을 고려해야 한다.

또한 철광석 항만물동량은 지난 5년간 약 99.2%가 수입 물동량으로 구성되어 있으며, 고로 제철소가 위치한 광양항, 포항항, 평택·당진항에서 대부분 발생하고 있다. 수출 및 연안 물동량은 총물동량에서 차지하는 비중이 1% 미만으로 비중이 작고 변동성이 큰 것이 특징이다. 따라서 기존의 철광석 항만물동량 예측모형은 수입 물동량 예측모형에 중점을 두고 있다.

수입 물동량 예측모형은 항만별 조강생산량과 수입 물동량 간의 원단위를 산정하여 최근 5년간의 원단위 평균값을 적용하여 전망하고 있다. 이때 항만별 조강생산량 장기 데이터가 부재하여, 이를 국내 건설·제조업 GDP를 활용하여 자체 전망하고 있다. 수출과 연안은 변동성 요인을 파악하기 어려워 가중이동평균법을 활용하여 예측하고 있다.

기존 철광석 수입 물동량 예측모형은 다음과 같은 한계점을 가지고 있다. 첫째, 원단위법을 활용함에 따라 예측모형 및 변수가 단순하다는 점이다. 철광석이 고로 생산 방식의 원료로 활용됨에 따라 원단위법이 과거에는 적절한 방법이었으나, 최근 고로 생산 방식의 변화 등으로 기존 예측모형과 변수가 적절한지 여부를 검토할 시점이라 판단된다. 둘째, 고로 조강생산량을 국내 건설·제조업 GDP를 활용하여 전망함에 따라 과대하게 예측되는 경향이 있다. 이는 최근 철강산업의 둔화 및 장래 친환경 정책 확대에 따른 고로 생산 방식 변경 등을 반영할 수 없는 구조이다.

이러한 한계점을 토대로 다음과 같은 사항을 반영하여 예측모형을 개선하고자 한다.

첫째 고도화 방안은 철강산업의 성숙기 진입 및 환경 정책 강화 등에 따른 산업 변화로 인한 추가 변수를 발굴하는 것이다. 특히, 본 연구에서는 친환경 정책에 따른 산업 환경을 반영하기 위해 IEA의 탄소중립 시나리오에 따른 전기로 비중 전망치를 추가 변수로 활용했다. 2050년 탄소중립 시나리오에 따라 전기로 비중이 2050년 53%까지 확대될 것이라는 전망을

국내에 적용하여 국내 전기로 비중을 추가 변수로 활용했다. 추가 변수에 따른 적절성을 검토하기 위해 추가 변수를 고려한 경우와 고려하지 않는 경우를 구분하여 모형을 평가했다. 그 결과, 세 가지 모형에 대해 모두 추가 변수인 전기로 비중을 포함한 경우가 포함하지 않은 경우에 비해 예측 정확도가 높게 나타났다. 그중에서도 다중회귀 모형의 MAPE값이 5.9%로 가장 낮게 나타나 신규 철광석 수입 예측모형을 활용하기에 가장 적합한 것으로 판단된다.

둘째는 철광석 예측의 주요 변수인 고로 조강생산량의 전망 모형을 개선하는 것으로 기존 국내 건설·제조업 GDP 단일 변수를 이용해 전망하고 있는 모형에서 고로 조강생산량을 과대하게 예측되는 문제를 가지고 있었다. 이를 개선하기 위해 추가적인 변수를 발굴하고 예측모형을 다양화하였다. 이때, 우선적으로 앞서 첫째 고도화 방안에서 고려한 전기로 비중 확대 시나리오를 참고하여, 국내 총 조강생산량을 먼저 예측한 다음 전기로 비중 확대 시나리오에 따라 고로와 전기로 조강생산량을 구분하는 하향식으로 개선하였다. 추가 변수로는 기존 국내 건설·제조업 GDP를 포함하여 국내 전 산업생산지수, 세계 철강 생산량이 포함되었다. 추가된 변수를 활용하여 예측모형 간 성능을 평가하기 위해 RMSE와 MAPE 값을 비교한 결과 RNN 모형이 기존 단순회귀 모형과 대비하여 예측 오차율을 3.8%p 감소 시킨 것으로 나타났다. 이로써 철광석 수입 물동량을 예측하기 위한 가장 중요한 변수인 고로 조강생산량 전망치를 해당 모형을 적용해 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

결과적으로 철광석 수입 예측모형 고도화 결과 예측 변수는 국내 고로 조강생산량과 국내 전기로 생산 비중을 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이때, 국내 전기로 생산 비중은 IEA의 탄소중립 시나리오에 따른 전기로 생산 비중을 고려해서 활용하고, 국내 고로 조강생산량은 국내 총 조강생산량을 우선 예측한 후 IEA의 탄소중립 시나리오에 따른 전기로 생산 비중

을 참고해서 배분하는 모형을 활용하고자 한다. 이때, 국내 총 조강생산량 전망 모형의 경우 국내 건설·제조업 GDP, 국내 전 산업생산지수, 세계 철강 생산량 변수를 고려한 RNN 모형으로 예측한 결과값이 기존 자체 전망 모형 대비 예측 정확도가 높게 나타남에 따라 해당 모형을 활용한 고로 생산량 예측 결과값을 철광석 수입 항만물동량 변수로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

다만, 머신러닝 모형의 경우 중장기 항만물동량을 예측하기에 데이터의 수가 부족한 것이 사실이다. 단순한 시계열이라 할지라도 최소 50~100개의 데이터를 확보하는 것이 좋다. 그러나 항만물동량 통계가 집계된 것은 1994년으로 30개의 데이터가 확보되기 때문에 머신러닝 모형의 경우에는 월 데이터를 활용한 단기 예측 및 향후 적용을 위해 충분한 검증이 필요할 것으로 생각된다.

〈그림 3-11〉 철광석 항만물동량 예측모형 고도화 결과



자료: 저자 작성

04

화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화

화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화 프로세스는 다음과 같다. 우선 화학공업생산물의 연관 산업인 석유화학산업의 국내외 동향을 파악하고, 기존 화학공업생산물 항만물동량 예측모형의 한계점 등을 파악하고자 한다. 이를 통해 석유화학산업의 동향 반영 및 한계점 개선을 위해 추가 변수 발굴, 모형 다양화 등을 진행하여 예측모형을 고도화하고자 한다.

제1절 국내외 화학공업생산물 연관 산업 동향

1. 화학공업생산물 연관 산업 개요

화학공업생산물은 32개 품목으로 분류한 해운항만통계의 해운물류 품목의 하나이며, 품목 예측 시 단일 품목으로 예측하고 있다. 화학공업생산물은 HS코드 두 자리 기준, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38로 시작하는 품목을 모두 포함하고 있다. HS코드 분류상, 제6부 '화학공업이나 연관공업의 생산품'에 28~38류가 포함되는데 31류인 '비료'를 제외한 열 개류가 '화학공업생산물'에 해당한다. 즉, 화학공업생산물과 연관된 산업은

화학공업으로 볼 수 있다. 다만, 화학공업생산품은 성격이 다양한 많은 품목을 포함하고 있다.

제28류와 제29류는 화합물로 화학공업생산품 중, 원료 성격의 품목들이 포함되어 있다. 제28류로 분류되는 무기화합물은 탄소(Carbon)를 함유하지 않는 화합물과 탄소를 함유한 일부 화합물을 의미하며, 제29류로 분류되는 유기화합물은 무기화합물을 제외한 탄소 함유 화합물을 의미한다. 제30류부터 제37류까지는 제품화된 품목들로 대부분 도매·소매 유통될 수 있는 품목들로 구성되어 있다. 다만, 제38류는 ‘각종 화학공업 생산품’으로 범위가 광범위하며, 바이오디젤(382600)을 비롯한 각종 유지·알코올·페기물 등을 포함하고 있다. 즉, 제28류, 제29류, 제38류는 액체별크 성격의 화물, 그 외의 화학공업생산품은 개별 포장되어 컨테이너 등에 실리는 화물로 구분할 수 있다. <표 4-1>에 화학공업생산품에 해당하는 품목을 두 자리인 ‘류’에 맞춰 정리하였다.

〈표 4-1〉 화학공업생산품에 해당하는 품목(HS코드 두 자리 기준)

HS코드(두 자리, 중분류, 류)	국문 품명
28	무기화합물
29	유기화합물
30	의료용품
32	염료·안료·페인트잉크
33	향료·화장품
34	비누·계면활성제·왁스
35	카세인·알부민·변성전분·효소
36	화학류·성냥
37	필름인화지·사진용재료
38	각종 화학공업 생산품

자료: 해양수산부(2023a, p. 93; 2023b, p. 9)

따라서 화학공업생산물과 연관된 산업으로는, 해당 품목 전체를 아우르는 산업을 특정하기가 어려우나, 액체별크 품목을 중심으로는 석유화학산업을 꼽을 수 있겠다. 그 외 화학공업생산물에 해당되는 품목은 특정 산업보다는 공산품·소비재임을 고려하여 분석하는 것이 적절할 것으로 보인다.

한국석유화학협회에서 발간하는 미니북에서 석유화학산업을 ‘석유제품(Naphtha) 또는 천연가스를 원료로 합성수지(플라스틱), 합성섬유 원료(Polyester, Nylon), 합성고무 및 각종 기초 화학제품을 생산하는 산업’으로 정의하고 있다. 또한, 통계청의 제10차 한국표준산업분류를 기준으로 석유화학산업의 범위와 세부 분류를 소개하고 있다. <그림 4-1>은 석유화학산업의 범위를 보여주고 있다. 2024년 1월 1일 제11차 한국표준산업분류가 개정 고시, 7월 1일 시행되었으나,¹⁶⁾ 석유화학산업 분류에서는 큰 변화가 없어 제10차 한국표준산업분류를 기준으로 한 자료를 활용하였다. HS품목을 기준으로 비교하면, 해운항만물류통계의 화학공업생산물 중 유기화합물인 제29류가 석유화학에 포함되며, 화학공업생산물에 포함되지 않는 제27류 제39류 제40류도 석유화학에 포함된다. 반면, 화학공업생산물 중 제32류, 제33류, 제34류 및 제38류 일부는 ‘화학물질 및 화학제품제조업’에 해당되나 ‘석유화학’으로 분류되지 않는다.

16) 통계청(검색일: 2024.5.16.)

〈그림 4-1〉 석유화학산업의 범위

산업세분류		분류번호	HS품목 비교	
화학물질 및 화학제품 제조	● 석유화학계 기초화학 물질 제조업 ● 석탄화학계 화합물 및 기타 기초 유기화학 물질 제조업 ● 합성고무 제조업 ● 합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조업	20111 20119 20201 20202	2901-2904 3817 2706-2708 2905-2935, 2942 4002 3901-3911	유기화학품 타르/피치/크로스 유기화학품 합성고무 합성수지
	● 비료 및 질소화합물 제조업 ● 살균·살충제 및 농약 제조업 ● 잉크, 페인트, 코팅제 및 유사제품 제조업 ● 세제, 화장품 및 광택제 제조업 ● 화학섬유 제조업 ● 기타	2031 2032 2041 2042 205	31 3808 3208-3215 33 34 54 55	비료 살충제/제초제 등 페인트/바니쉬/잉크 향료/화장품 등 비누/개인화장품/텍스 등 인조 장섬유 인조 단섬유
광업의 화학산업	● 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 ● 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 ● 화학물질 및 화학제품 제조업 ● 의약품 물질 및 의약품 제조업 ● 고무 및 플라스틱제품 제조업 ● 비금속 광물제품 제조업	17 19 20 21 22 23	47 48 27 2936-2941 3016-3026 4003-4017 68 70	목재용 펄프지와 판지/ 제지용 펄프 광물성인료/광물유 등 의약품용 유기화학품 플라스틱제품 고무제품 시멘트/석면 등 유리의 유리제품

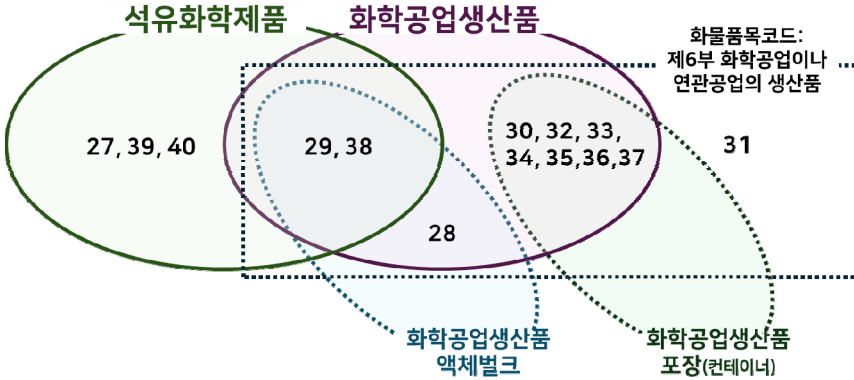
* (자료) 통계청(제10차 한국표준산업분류)

자료: 한국석유화학협회(2023), pp. 3-4.

즉, 화학공업생산물과 가장 연관 깊은 산업은 석유화학산업으로 볼 수 있으나, 석유화학산업 중 기초 화학물질 제조에 국한되며, 그 외 석유화학 산업의 산출물 중 상당 부분은 화학공업생산물에 해당하지 않으므로 화학 공업생산물과 관련된 동향을 파악하거나 물동량을 예측할 시에는 이 같은 특성을 고려해야 한다.

앞서 언급한 내용을 종합하면, 전반적인 석유화학산업의 제품과 화학공업생산물에 해당되는 제품에 대해 〈그림 4-2〉와 같이 분류할 수 있다.

〈그림 4-2〉 석유화학제품과 화학공업생산물 해당 품목



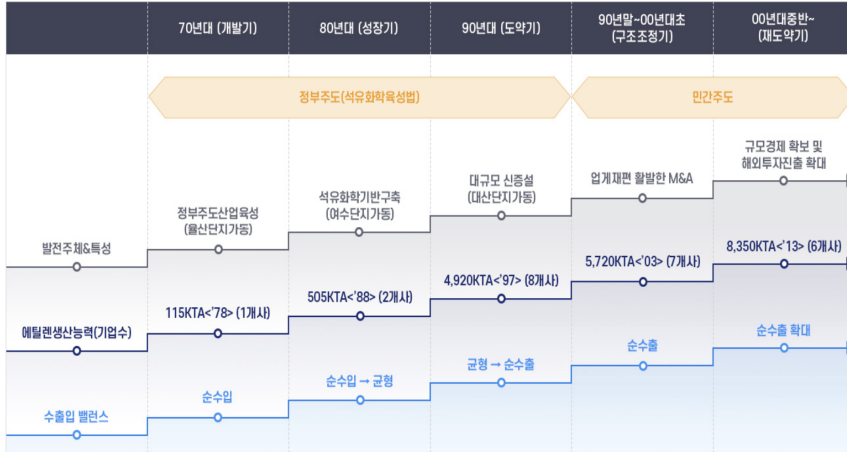
주: 해양수산부(2023a, p. 93; 2023b, p. 9) 참고하여 저자 작성

2. 국내외 화학공업생산물 연관 산업 동향 분석

1970대 초, 우리나라는 초기 공업육성 단계에서 각 공업분야를 직접적으로 지원하고 육성하기 위해 정부 주도하에 특정 산업별로 개별법을 제정·시행하였다. 석유화학산업 분야에서는 1970년 1월 1일, 석유화학공업육성법이 제정되어 울산 석유화학단지, 여수 석유화학단지, 대산석유화학단지가 각각 1972년, 1979년, 1991년 가동을 시작하였다. 이 과정에서 수입에 의존했던 석유화학제품은 순 수출로 전환되었다. 우리나라 공업이 일정 수준으로 향상됨에 따라 정부의 공업 발전 정책은 시장경제의 자율과 경쟁 원리에 맡기는 방향으로 전환되었다. 이에 따라 1986년 1월 8일 석유화학공업육성법이 폐지되고, 공업발전법이 제정되었다.¹⁷⁾ 우리나라 석유화학산업의 발전 과정은 〈그림 4-3〉을 통해 확인할 수 있다.

17) 행정안전부 국가기록원(검색일: 2024.5.16.)

〈그림 4-3〉 우리나라 석유화학산업의 발전 과정



자료: 한국석유화학협회, 산업현황(검색일: 2024.5.15.)

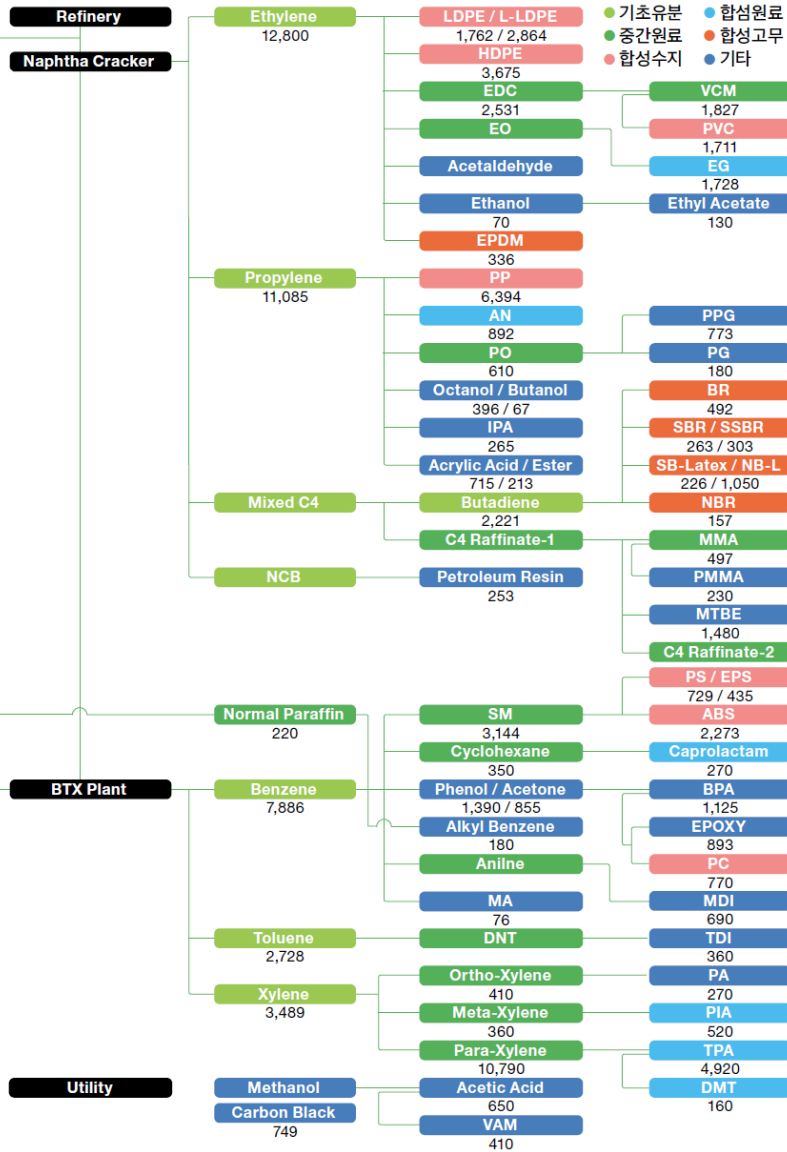
우리나라는 석유화학산업과 석유화학산업의 후방산업인 정유산업이 모두 발달하였다. 우리나라 석유화학산업의 규모는 중국, 미국, 일본, 독일에 이은 세계 5위로 세계시장의 3.8%를 점유(2021년 기준)하고 있다. 그 외 석유화학산업의 규모는 ‘석유화학산업의 쌀’이라고도 표현되는 에틸렌(Ethylene, C2)의 생산능력으로 평가하기도 한다. 우리나라의 에틸렌 생산 능력은 연 1,280만 톤으로 중국, 미국, 사우디아라비아에 이은 세계 4위를 기록(2022년 기준)하고 있다. 에틸렌은 주로 원유를 정제한 나프타(Naphtha)를 NCC(Naphtha Cracking Center)에서 크래킹하여 생산하는데, 우리나라는 나프타 등 석유제품을 생산하는 정유산업도 정제능력 기준 세계 5위를 기록하고 있다.¹⁸⁾

18) 한국석유화학협회(2023), p. 5.

〈그림 4-4〉 국내 석유화학 계통도

국내 석유화학 계통도 (총괄)

2023. 6 기준 (단위 : 1,000MTA)



자료: 한국석유화학협회(2023), p. 35.

정유공정에서 생산된 나프타는 NCC에 투입되는데, 이를 통해 에틸렌, 프로필렌(Propylene, C3), 부타디엔(Butadiene, C4)을 생산하며 일부는 BTX(Benzene·Toluene·Xylene, C6) 설비에 투입되어 벤젠, 톨루엔, 자일렌을 생산한다. 이들을 ‘기초유분’이라고 하며, 각종 석유화학의 원료로서 공정에 투입되는 기초 원료가 된다. 기초유분 일부는 추가 공정을 통해 ‘중간원료’가 되는데, 스타이렌모노머(SM), 파라자일렌(P-X), 오쏘자일렌(O-X), 시클로hex산(C-H), 염화에틸렌(EDC), 염화비닐(VCM) 등이 이에 해당된다. 기초유분과 중간원료는 다양한 공정에 투입되어 ‘합성수지’, ‘합섬원료’, ‘합성고무’ 및 ‘기타 화학제품’으로 재탄생하게 된다. 다만, 합성수지와 합성고무는 해운물류 품목상 잡화에 해당되므로 화학공업생산품의 동향 파악 및 예측 시에 고려하여야 한다. <그림 4-4>는 석유화학산업의 공정과 산출물에 대한 도식이며, 제품들의 투입 및 산출에 대한 전반적인 구조를 나타낸다.

석유화학산업은 <그림 4-5>를 통해 볼 수 있듯이 울산, 여수·광양, 대산 등 주로 정유소, 항만과 인접하여 대규모 단지를 형성되었다. 울산항이 위치한 울산에는 SK에너지, S-OIL과 함께 석유화학사들이 위치하며, 광양항이 위치한 여수·광양에는 GS칼텍스와 석유화학사, 대산항이 위치한 서산에는 HD현대오일뱅크와 석유화학사가 위치하여 원료 공급 및 수출에 유리하다.

이처럼 석유화학산업은 원유를 정제한 석유제품인 나프타를 원료로 사용하고, 나프타가 제조원가의 상당 부분을 차지하고 있어 석유의존도가 높으며 유가변동에 민감한 산업이다. 또한 석유화학산업을 통해 생산된 제품이 다양한 산업에서 중간재로 사용되고 있어 글로벌 경기변동과 수급에 큰 영향을 받고 있다.

〈그림 4-5〉 국내 주요 석유화학단지 위치 및 현황
석유화학단지별 설비현황 (2023.6 기준)

정유기업	석유화학산업		가동시점
	NCC	유도품	
울산단지*	2	79	1972년
여수단지	1	72	1979년
대산단지	1	42	1991년
기타지역	1	19	-
합계	5	212	-

* (주) 온산 포함



자료: 한국석유화학협회(2023), p. 33.

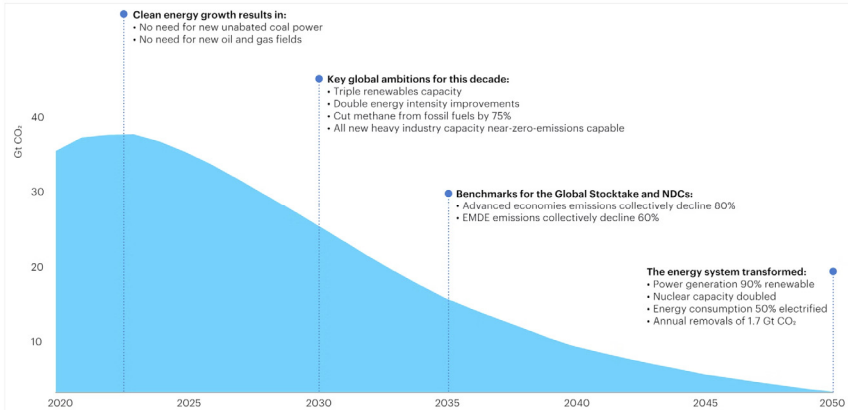
최근 석유화학산업은 크게 두 가지의 흐름을 보이고 있다. 첫째는 '석유 화학 시장의 경쟁 과열'이다. 중국과 중동 등에서 대규모 석유화학 설비가 가동되면서 글로벌 시장에서의 공급 과잉 상태가 지속되고 있다. 공급 증가로 시장 점유율 유지를 위한 가격 경쟁이 과열되면서 제품 가격이 하락하는 반면, 러시아-우크라이나 전쟁, 이스라엘-팔레스타인 전쟁 및 중동 정세 불안, OPEC+의 석유 감산에 따른 유가 상승까지 겹치면서 생산 원가

는 상승하고 있다. 즉, 판매가격에서 원료비를 뺀 스프레드가 줄어들면서 2022년 하반기부터 석유화학사들의 수익성이 악화되기 시작했다. 석유화학제품의 수요가 증가하지 않은 상황에서 시장 내 공급이 증가하였고, 경제 회복세가 더뎠지면서 업황 부진이 장기화되고 있다.

특히 주목해야 할 부분은 ‘중국의 자급률 상승에 따른 장기적인 수출시장 축소’이다. 중국의 석유화학산업은 그간 빠른 경제 성장으로 수요가 생산보다 많아 우리나라는 석유화학제품의 對중국 수출을 통해 동반 성장해왔다. 다만 최근 중국은 석유화학 육성 정책을 통해 대규모 설비를 추가하면서 자급률이 100%에 달하는 것으로 알려졌으며, 조만간 순 수출국으로 전환될 것으로 보인다. 중국이 순 수출국으로 전환되면, 우리나라의 석유화학 수출은 더욱 위축될 수 있다. 시장의 여러 상황을 고려할 때, 우리나라의 석유화학 시장이 직면한 문제는 일시적·단기적인 문제가 아닌 것으로 보인다.

둘째는 ‘탄소중립 추진에 따른 에너지원 변화’이다. 탄소중립은 배출되는 이산화탄소의 양만큼 이산화탄소를 흡수하는 대책을 통해 이산화탄소의 순 배출량을 ‘0(제로)’으로 만든다는 넷제로(Net Zero)의 개념이다. IEA는 2021년 5월 탄소중립 로드맵(Net Zero Roadmap)을 발표했으며, 2050년까지의 순 탄소 배출 제로(NZE: Net Zero Emissions) 시나리오를 2023년 9월 업데이트하여 수정·공개하였다. IEA는 이 보고서를 통해 가장 큰 온실가스 배출원인 에너지 부문이 2050년까지 순 탄소 배출 제로를 달성하고, 1.5°C 목표 달성에 기여할 수 있는 경로를 제시하였다. <그림 4-6>은 탄소중립을 위한 로드맵을 간략하게 보여준다. 특히, 이 보고서에는 화석연료를 줄이고 수소와 수소 기반 연료, 바이오 에너지 등 청정 에너지원 사용을 강조하였다.

〈그림 4-6〉 2050 탄소중립 로드맵



자료: IEA(검색일: 2024.5.15.)

최근, 탄소중립을 위한 차세대 무탄소 에너지원으로 수소(H_2)와 함께 암모니아(NH_3)가 거론되고 있다. 압축된 수소의 저장·운송을 위해서는 높은 압력을 견딜 수 있는 보관 용기가 필요한데, 용기의 부피가 커지고 용기 외벽이 두꺼워지면서 무게가 늘어나게 된다. 반면, 수소를 액화시키면 기체 대비 부피가 1/800로 줄어들기 때문에, 수소의 효율적인 저장·운송을 위한 액화수소(LH_2)가 주목받고 있다. 다만, 수소의 끓는점은 영하 252.7℃이므로 수소의 액화를 위한 기술의 상용화가 이루어져야 한다. 높은 기술력이 필요한 LNG 수송도 끓는점이 영하 161.5℃인 천연가스를 액화시킨 것임을 감안하면 액화수소의 활용에는 더 큰 어려움이 따르게 된다.

이러한 기술적인 장벽으로 수소 활용에 제약이 발생하면서 암모니아가 주목받게 되었다. 암모니아는 그 자체로도 무탄소 에너지원이며, 수소를 저장하고 운송할 수 있는 ‘수소캐리어’의 역할을 할 수 있다. 암모니아는 수소와 질소로 이루어진 화합물이므로 질소를 분해하여 수소를 얻을 수 있기 때문이다. 무엇보다 암모니아의 끓는 점은 영하 33.4℃이므로 저장·운송 측면에서 수소나 천연가스보다 더 유리하기 때문이다. 다만, 암모니아는 독

성이 있으며 금속을 부식시킬 수 있다. 그 외에도 무탄소로 가기 위한 브리지 연료로서 메탄올, 바이오디젤 등이 활용될 것으로 보인다.

전통적인 글로벌 석유·정유회사들도 탄소중립을 위해 친환경 에너지 관련 사업을 포함한 종합에너지 기업으로 변화하고 있으며, 석유화학사들도 이러한 변화 추세에 맞춰 사업영역을 변화·확대하고 있다.

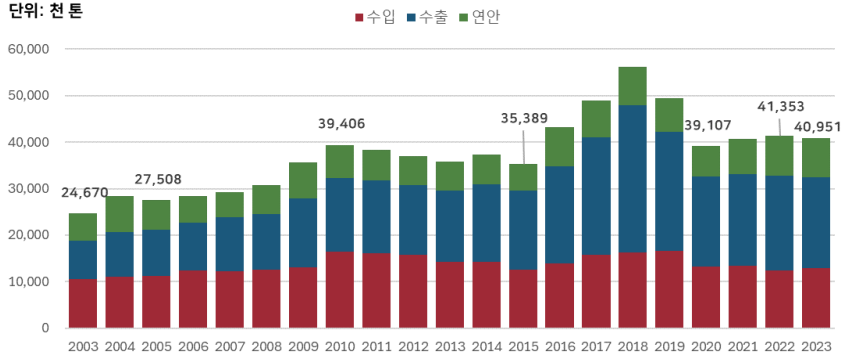
제2절 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 진단

1. 화학공업생산물 항만물동량 현황 및 특징

항만에서 처리된 화학공업생산물은 2003~2023년 사이에 연평균 2.6% 증가한 4,100만 톤을 기록하였다. <그림 4-7>에서 볼 수 있듯이 화학공업생산물 물동량은 전반적으로 완만한 증가추세를 보였으나, 2017년 하반기부터 2019년 상반기까지 석유정제품 물동량 일부가 화학공업생산물로 신고되는 오류가 발생하여 물동량의 편차가 크게 나타났다.

화학공업생산물은 수출이 약 40%대 후반, 2천만 톤 정도를 기록하는 등 가장 높으며, 수입과 연안이 각각 30%대 초반, 20%대를 기록하고 있다. 수출은 전반적인 증가세를 보여왔으며, 통계 오류가 발생한 2017~2019년을 제외하면 50%에 근접하는 실적을 기록했다. 반면 수입은 전반적인 감소세를 보여왔으며, 2000년대 초 40%대에서 2023년 30%대 초반까지 하락하였다.

〈그림 4-7〉 화학공업생산물 물동량 추이



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-2〉 화학공업생산물 물동량 및 비중

단위: 천 톤, %

구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
전체	24,670	28,490	27,508	28,456	29,263	30,833	35,685	39,406	38,373	36,994	35,827
수입	10,619	11,070	11,226	12,328	12,282	12,637	13,036	16,438	16,054	15,765	14,304
	(43.0)	(38.9)	(40.8)	(43.3)	(42.0)	(41.0)	(36.5)	(41.9)	(41.8)	(42.6)	(39.9)
수출	8,127	9,518	9,955	10,303	11,561	11,938	14,926	15,774	15,715	14,941	15,241
	(32.9)	(33.4)	(36.2)	(36.2)	(39.5)	(38.7)	(41.8)	(40.0)	(41.0)	(40.4)	(42.5)
연안	5,924	7,902	6,328	5,824	5,420	6,258	7,723	7,139	6,604	6,288	6,282
	(24.0)	(27.7)	(23.0)	(20.5)	(18.5)	(20.3)	(21.6)	(18.1)	(17.2)	(17.0)	(17.5)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	연평균 증가율
전체	37,295	35,389	43,243	49,028	56,220	49,486	39,107	40,782	41,353	40,951	2.6
수입	14,204	12,554	13,911	15,759	16,280	16,564	13,285	13,453	12,462	12,880	1.0
	(38.1)	(35.5)	(32.2)	(32.1)	(29.0)	(33.5)	(34.0)	(33.0)	(30.1)	(31.5)	
수출	16,760	17,021	20,930	25,272	31,621	25,589	19,251	19,668	20,356	19,622	4.5
	(44.9)	(48.1)	(48.4)	(51.5)	(56.2)	(51.7)	(49.2)	(48.2)	(49.2)	(47.9)	
연안	6,331	5,813	8,402	7,997	8,319	7,333	6,570	7,661	8,536	8,438	1.8
	(17.0)	(16.4)	(19.4)	(16.3)	(14.8)	(14.8)	(16.8)	(18.8)	(20.6)	(20.6)	

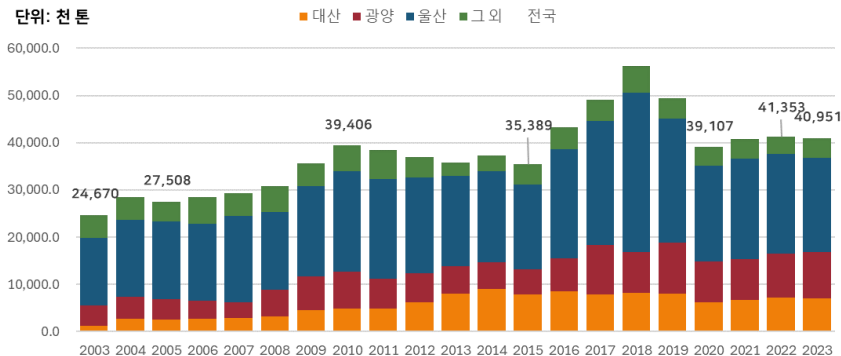
주: 괄호 안은 부문별 비중

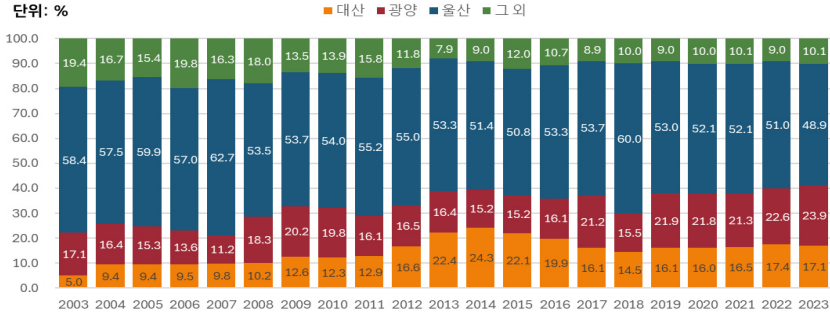
자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 참고하여 저자 작성

앞서 1절에서 살펴본 바와 같이, 화학공업생산품은 석유화학산업과 연관되어 있어 석유화학 산업단지가 위치한 항만에서 물동량이 발생한다. <그림 4-8>에서 볼 수 있듯이 화학공업생산품 물동량은 울산항, 광양항, 대산항 등 주요 세 개 항만에서 주로 처리되고 있다. 가장 높은 비중을 차지하는 울산항이 약 50%, 2천만 톤 정도를 기록하고 있으며, 광양항과 대산항이 각각 약 20% 초반, 10%대 후반을 기록하고 있다. 세 개 항만을 제외한 나머지 항만 비중은 약 10%에 불과하다. 전반적으로 주요 세 개 항만의 화학공업생산품 물동량은 증가하고 있으나, 비중은 광양항과 대산항이 증가, 울산항은 소폭 감소하는 추세를 보인다.

석유화학산업은 장치산업으로 대규모 설비가 필요하고 집적화되어 있으며, 비컨테이너로 처리되는 화학공업생산품은 대부분 유기화합물이므로 소수의 주요 항만에서 물동량이 집중적으로 발생하는 경향을 보인다. 이 같은 특성은 지속될 것으로 보이나 차세대 에너지원으로 사용되는 무기화합물의 공급이 본격화될 경우, 다양한 수요처와 인접한 항만에서 수입·연안 화물을 중심으로 물동량이 발생할 것으로 보인다.

〈그림 4-8〉 주요 항만별 화학공업생산품 물동량 및 비중 추이





자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-3〉 주요 항만별 화학공업생산품 물동량 및 비중

단위: 천 톤, %

구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
전체	24,670	28,490	27,508	28,456	29,263	30,833	35,685	39,406	33,373	36,994	36,827
대산	1,235 (5.0)	2,675 (9.4)	2,591 (9.4)	2,704 (9.5)	2,882 (9.8)	3,144 (10.2)	4,494 (12.6)	4,865 (12.3)	4,954 (12.9)	6,156 (16.6)	8,018 (22.4)
광양	4,229 (17.1)	4,673 (16.4)	4,222 (15.3)	3,883 (13.6)	3,271 (11.2)	5,642 (18.3)	7,200 (20.2)	7,813 (19.8)	6,180 (16.1)	6,120 (16.5)	5,868 (16.4)
울산	14,417 (58.4)	16,380 (57.5)	16,466 (59.9)	16,226 (57.0)	18,347 (62.7)	16,507 (53.5)	19,176 (53.7)	21,260 (54.0)	21,170 (55.2)	20,362 (55.0)	19,094 (53.3)
그 외	4,790 (19.4)	4,762 (16.7)	4,228 (15.4)	5,643 (19.8)	4,763 (16.3)	5,540 (18.0)	4,815 (13.5)	5,468 (13.9)	6,069 (15.8)	4,367 (11.8)	2,846 (7.9)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	연평균 증가율
전체	37,295	35,389	43,243	49,028	56,220	49,486	39,107	40,782	41,363	40,961	2.6
대산	9,066 (24.3)	7,817 (22.1)	8,592 (19.9)	7,882 (16.1)	8,168 (14.5)	7,962 (16.1)	6,268 (16.0)	6,730 (16.5)	7,197 (17.4)	7,002 (17.1)	9.1
광양	5,683 (15.2)	5,362 (15.2)	6,942 (16.1)	10,415 (21.2)	8,694 (15.5)	10,847 (21.9)	8,542 (21.8)	8,679 (21.3)	9,336 (22.6)	9,773 (23.9)	4.3
울산	19,180 (51.4)	17,984 (50.8)	23,064 (53.3)	26,351 (53.7)	33,749 (60.0)	26,242 (53.0)	20,369 (52.1)	21,269 (52.1)	21,102 (51.0)	20,029 (48.9)	1.7
그 외	3,366 (9.0)	4,246 (12.0)	4,645 (10.7)	4,381 (8.9)	5,609 (10.0)	4,436 (9.0)	3,927 (10.0)	4,115 (10.1)	3,717 (9.0)	4,146 (10.1)	-0.7

주: 괄호 안은 항만별 비중

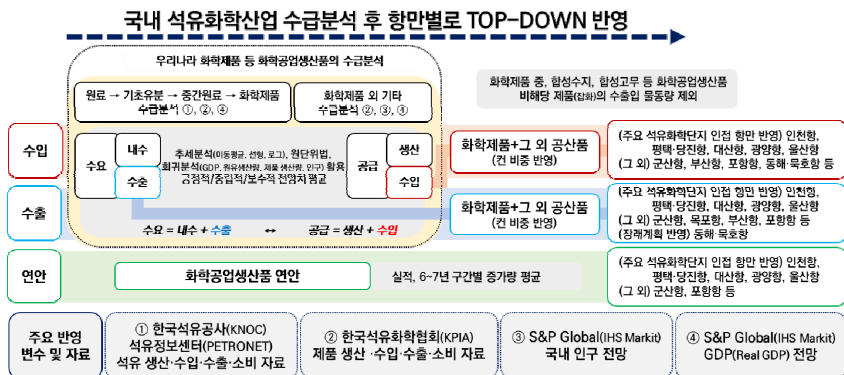
자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 참고하여 저자 작성

2. 기존 화학공업생산물 예측모형의 특징 및 한계

1) 예측모형 개요

화학공업생산물은 앞서 소개한 바와 같이 석유화학제품의 일부와 다양한 공산품·소비재 제품을 포함하고 있어 수급이 복잡하고 예측 시 각기 다른 변수와 모형이 적용된다. 다만, 복잡한 여건을 모두 고려하여 예측하는 것은 불가능하며 거시적인 항만물동량을 예측하려는 기존의 예측 목적과도 거리가 멀기 때문에 모형 구축 시 주요 산업인 석유화학산업의 전반적인 수급과 공산품·소비재 품목들의 수요를 고려하였다. 수급분석 및 항만물동량 예측을 위한 전반적인 프로세스는 <그림 4-9>와 같다.

<그림 4-9> 화학공업생산물 예측 프로세스



자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 149.

현재 화학공업생산물을 예측할 때에는 석유화학산업 제품에 해당되는 ‘석유화학제품’과 석유화학제품은 아니나, 화학공업생산물에 해당하는 ‘그 외 공산품’으로 구분하여 각각 수급을 분석하여 수입, 수출 물동량을 산출하고 있다. 즉, 세부적인 품목과 부문별 물동량은 상향식으로 우리나라 전체 수요를 산정한 다음 각 항만에서 처리되는 물동량을 하향식으로 분배하

고 있다. 전체 화학공업생산품은 [식 4-1]을 통해 산정한다.

$$CP = PP + E \quad \dots\dots\dots [\text{식 4-1}]$$

여기서 CP 는 화학공업생산품(Chemical Product) 수요량이며, PP 는 석유화학제품(Petrochemical Product), E 는 그 외 공산품·소비재 제품(ETC) 수요량이다. 해당 구분은 해운물류 품목 구분이 아니며, 예측 시 반영되는 품목의 성격에 따른 구분이다.

화학공업생산품의 주요 품목이자 큰 비중을 차지하는 유기화합물 수요는 크게 내수와 수출로, 수요 충족을 위한 공급은 생산과 수입으로 나누어 분석하였다. 기본적으로 국내 생산이 내수와 수출 등 수요에 사용되고, 생산에 대한 부족분은 수입을 통하여 조달하는 것으로 모형을 구성하였다. 품목 각각에 대한 수급분석은 [식 4-2], [식 4-3], [식 4-4], [식 4-5]를 적용하여 산정한다.

$$D = S \quad \dots\dots\dots [\text{식 4-2}]$$

$$D = DD + EX \quad \dots\dots\dots [\text{식 4-3}]$$

$$S = P + IM \quad \dots\dots\dots [\text{식 4-4}]$$

$$IM = DD + EX - P \quad \dots\dots\dots [\text{식 4-5}]$$

여기서 D 는 수요량(Demand), S 는 공급량(Supply), DD 는 내수량(Domestic Demand), EX 는 수출량(Export), P 는 생산량(Production), IM 은 수입량(Import)이다.

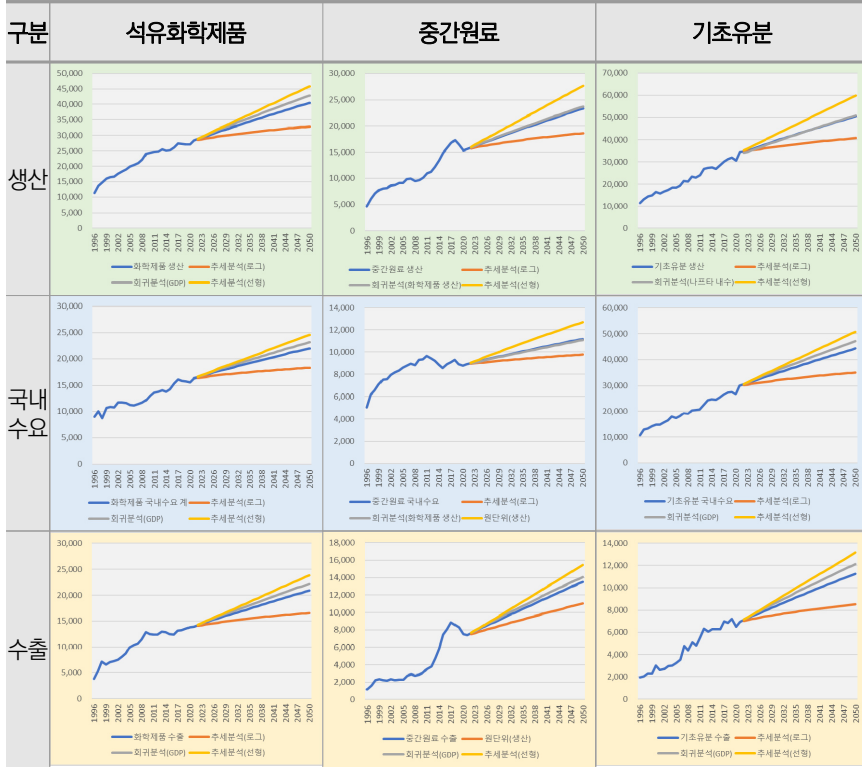
2) 석유화학제품 수급분석 및 물동량 예측

기초유분을 생산하는 석유화학사는 인접한 정유사로부터 석유화학에 투입되는 나프타와 석유가스 등을 송유관 또는 석유제품운반선을 통해 조달 받거나 수입하여 조달한다. 다만, 나프타와 석유가스는 유류로 분류되어 화학공업생산품 물동량에 영향을 주지 않아 화학공업생산품 예측에서는 고려하지 않았다. 석유화학제품의 수급은 한국석유화학협회(KPIA)의 산업통계를 기반으로 하였다. 해당 통계는 생산·판매 통계로서 기초유분 6종, 중간원료 6종, 합성수지 10종, 합섬원료 5종, 합성고무 2종, 기타제품 9종에 대해 생산, 국내 판매, 수출, 수입, 국내 수요에 대한 정보를 제공한다.

기초유분이나 중간원료 등은 타 공정을 위한 수요이며 소비재 성격의 제품이 최종 수요이므로, 국내 전체 소비재 수요를 먼저 예측한다. 그 다음 소비재 생산에 필요한 원료 및 반제품 등 상류공정 수급을 역으로 산정하였다. 즉, 제품(합성수지, 합섬원료, 합성고무, 기타제품), 중간원료, 기초유분 순서로 단계적인 수급분석을 시행하였으며, 각 단계에서 발생하는 투입·산출물 중 화학공업생산품에 해당하는 수치만을 최종 물동량으로 반영하였다. 다만, 수입 물동량은 특별한 추세를 보이지 않기 때문에 앞서 가정한 바와 같이 생산 대비 국내 수요 및 수출에 대한 부족분을 수입하는 것으로 반영하였다. <그림 4-10>은 석유화학제품, 중간원료, 기초유분 각각의 생산·수요·수출을 산정한 결과이며, <그림 4-11>은 각각의 단계에서 반영된 수급을 통해 산정한 석유화학제품의 수입 및 수출 전망 결과를 보여준다.

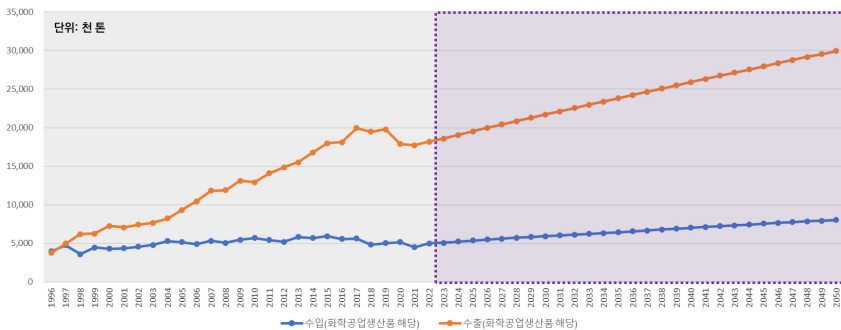
산출된 석유화학제품, 중간원료, 기초유분 물동량 중, 화학공업생산품에 해당하는 물동량만을 별도로 분리하여 수입과 수출 물동량을 산정하였다. 다만, 석유화학산업 동향 및 추세와 큰 연관성이 없는 연안 물동량은 석유화학제품과 소비재의 구분 없이 전체 물동량을 기간별 증가율을 반영하여 산정하였다.

〈그림 4-10〉 제품, 중간원료, 기초유분의 생산·수요·수출 전망



자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.)를 활용하여 저자가 예측한 결과자료

〈그림 4-11〉 화학공업생산품 중 석유화학제품의 수입 및 수출 전망



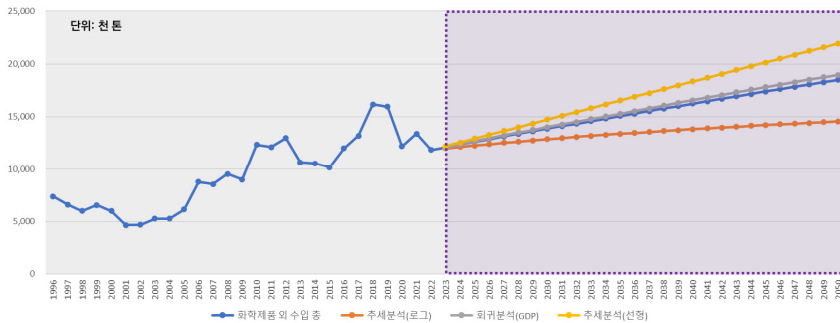
자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.)를 활용하여 저자가 예측한 결과자료

3) 그 외 공산품 수급분석 및 물동량 예측

앞서 제1절에서 살펴본 바와 같이 석유화학제품 외 공산품·소비재의 경우, 벌크 물동량은 제28류의 무기화합물 등 석유화학제품에 해당되지 않는 일부 화학제품(공산품)과 개별 유통이 가능한 소비재 제품인 것으로 보인다. 화학공업생산물 중, 비석유화학제품에 해당하는 공산품·소비재의 특성과, 분석을 통해 산출된 모형의 신뢰성을 고려한 결과 수입과 수출 모형 일부에는 차이가 있다.

수입의 경우, 전체 수입량 중 석유화학제품 수입량을 제외한 비컨테이너 수입 물동량은 공산품, 컨테이너로 수입되는 소비재 제품으로 가정하여 분석하였다. 화학제품 외 전체 공산품·소비재 제품 수입 총물동량에서 컨테이너를 통해 수입되는 소비재 물동량을 제외한, 공산품 물동량을 산출하였다. <그림 4-12>는 공산품·소비재 제품의 수입 총물동량 전망치 산정 결과이다.

<그림 4-12> 화학공업생산물 중 공산품·소비재 제품의 수입 총 및 컨 물동량 전망

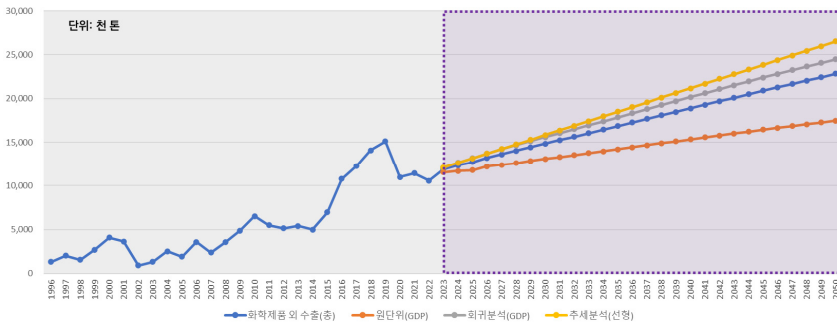


자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.)를 활용하여 저자가 예측한 결과자료

수출의 경우, 화학제품 외 전체 공산품·소비재 제품 수출 총물동량에서 앞서 산정한 화학제품의 수출 총물동량을 합쳐 화학공업생산물 전체의 총

물동량을 산정한 다음, 컨테이너를 통해 수입되는 물동량을 제외하여 비컨테이너 물동량을 산출하였다. <그림 4-13>은 공산품·소비재 제품의 수출 총물동량 전망치 산정 결과이다.

<그림 4-13> 화학공업생산물 중 소비재 제품의 수출 총물동량 전망



자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.)를 활용하여 저자가 예측한 결과자료

4) 한계점과 개선방향

(1) 경쟁국 변수 미고려

기존 화학공업생산물 수요예측모형에는 국내 변수가 주를 이루고 있으며, 대외 변수가 부재하다. 그간 중국이 우리나라 석유화학산업의 수요처로 자리매김하면서 소위 ‘만들면 팔린다’라는 얘기가 시장에서 통했다. 따라서 생산능력(capacity)이 중요한 요소였기 때문에 우리나라 GDP 등 국내 변수가 중요하게 여겨졌다. 다만, 중국이 석유화학 설비를 급격히 늘리고 효율적인 공정을 도입하면서 시장이 급격하게 변화하고 있다. 중국이 자국 수요를 충당할 만큼 생산이 증가했으며, 곧 초과 생산분을 수출하는 순 수출국이 될 전망이다. 우리나라의 석유화학 고객이 경쟁자가 되는 것이다.

본 연구에서는 최근 변화하고 있는 시장의 구조적인 변화에 맞게 중국과 미국을 예측 변수에 반영하고, 덤러닝 기법을 도입하여 고도화를 추진하고자 한다.

(2) 탄소중립 변화 미반영

기후위기에 대한 우려가 높아지면서 탄소 배출을 줄이고 순 배출량을 제로로 만드는 노력이 지속되면서 무탄소 연료를 사용한 친환경 에너지가 주목받고 있다. 이와 함께 관련된 기술이 개발되고 상용화를 위한 노력이 지속되고 있다. 연료원으로는 바이오 연료를 비롯하여 메탄올, 암모니아, 수소 등이 주목받고 있는데, HS코드상으로는 탄소를 함유하고 있지 않은 제28류의 품목과, 바이오 연료와 관련 있는 제38류의 품목이 이에 해당된다. 다만 아직 기술적으로 상용화되지 않아 많은 실증연구가 진행되고 있어 어떤 연료가 얼마나 사용될지는 여전히 불투명한 상황이다. 다만 다양한 산업분야에서 국제기구, 에너지 단체, 리서치 기관 등이 탄소중립 실현을 위한 로드맵을 제시하고 있다.

본 연구에서는 탄소중립과 관련하여 탄소중립이 추진됨에 따라 해운분야 연료의 친환경 전환수요를 전망하고 유류 감소 대비 화학공업생산품의 증가량을 추정해 보고자 한다. 그 외 탄소중립에 따른 다양한 산업에서의 수요 변화는 본 연구 이후에 단계적으로 예측하고자 한다.

〈표 4-4〉 화학공업생산품 예측의 한계점 및 개선방향

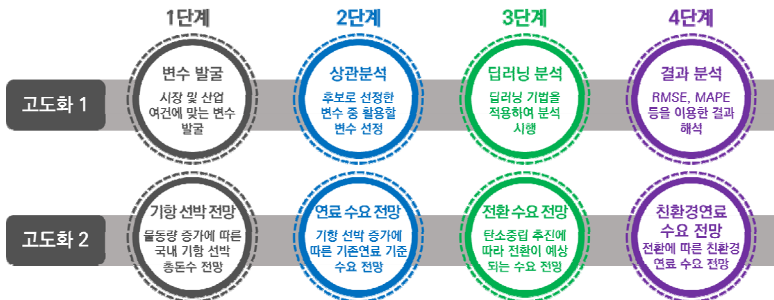
항목	한계점	개선방향
경쟁국 등장	현재 모델에 경쟁국 관련 변수 미고려	• 경쟁국 변수 발굴 및 적용 • 덤러닝 모형 도입
탄소중립 추진	현재 모델에 탄소중립 관련 예측치 미반영	• 해운·항만과 밀접한 관련이 있는 해운분야 연료 전환 예측모형 구축

자료: 저자 작성

제3절 화학공업생산품 항만물동량 예측모형 고도화

제1절 및 제2절을 통해 화학공업생산품과 연관된 산업 동향과 기존 예측 모형의 특징 및 한계를 살펴보았다. 이번 연구에서는 기존 모형을 고도화 하기 위해 예측 방법론을 다양화하여 딥러닝 등 새로운 기법을 적용해 보았다. 딥러닝 적용 시 중국과 미국을 변수로 추가하여 석유화학 시장의 구조 변화를 반영하도록 노력하였다. 또한 탄소중립 추진으로 항만에서 발생하는 선박연료 전환 물동량을 추정하여 기존에 반영되지 않았던 친환경 병커링 수요 모형을 구축하였다. 탄소중립에 대한 관심이 증가하고 중요성이 커지면서 해운·항만산업에서도 필연적으로 수용해야 하는 과제가 되었기 때문이다. <그림 4-14>는 본 절에서 다룬 고도화 방안을 단계적으로 표현한 그림이다.

<그림 4-14> 화학공업생산품 예측 고도화 절차



자료: 저자 작성

1. 석유화학산업 수출 모형 개선

중국은 급격한 경제 성장으로 석유화학제품의 수요가 공급보다 많았으며, 우리나라는 중국에 기초유분을 중심으로 다양한 석유화학제품을 수출하였다. 다만 최근 중국이 많은 양의 석유화학 설비를 증설하면서 수출 구조가 변화하고 있으며, 미국도 셰일가스를 통해 저가에 에틸렌을 생산하고 있다. 기초유분에서의 경쟁이 심화되면서 우리나라도 고부가가치 제품 생산을 확대하는 등 경쟁에서 살아남기 위해 노력하고 있다. 따라서 모형은 ‘기초유분’의 수급 중, 수출 부문에 대한 개선이 우선시되어야 할 것으로 보여 종속변수로는 ‘기초유분 수출량’을 선정하였다.

1) 분석 데이터

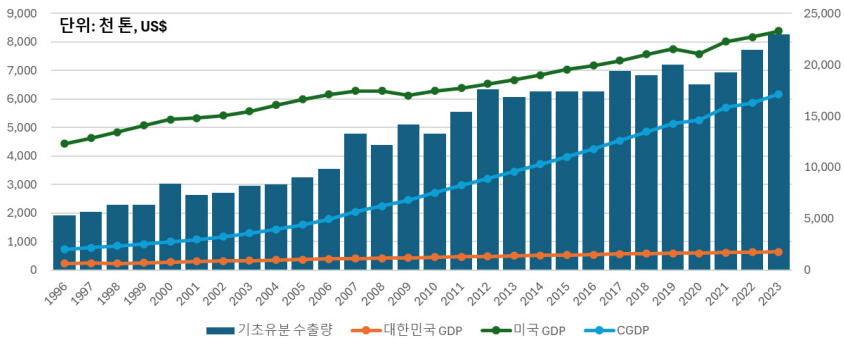
독립변수로는 산업과 연관이 깊은 ‘중국’과 ‘미국’을 중심으로 한 변수가 적절할 것으로 판단, 앞서 철광석의 ‘고로 조강생산량 전망 모형 개선’ 부분과 마찬가지로 석유화학산업에 대한 거시경제지표를 조사하였다. 석유화학산업이 다른 산업의 기초가 된다는 점에서 전 산업생산지수(Production Index, Industry)와 GDP가 가장 적절할 것으로 보았다. 그 외 다른 지표로는 인구 등이 있으나, 산업과 관련된 지표를 중심으로 독립변수 후보군을 선정하였다. 다만, 국내 기초유분 수출량과 변수 후보들 간의 상관관계 분석을 한 결과 미국과 중국의 산업생산지수는 적합하지 않은 것으로 나와 우리나라와 미국, 중국의 GDP를 변수로 최종 선정하였다. <표 4-5>에 각 변수의 출처와 장기전망치 제공 여부, 종속변수와 상관계수를 정리하였다. <그림 4-15>에는 종속변수인 기초유분 수출량과 선정된 독립변수 간의 관계를 그래프로 나타내었다. <표 4-6>은 종속변수와 독립변수 후보들의 시계열 값을 정리한 표이다.

〈표 4-5〉 석유화학산업 수출 모형 변수 선정

구분	출처	장기전망치 여부	상관계수
국내 실질 GDP	S&P Global	O	0.98
미국 실질 GDP	S&P Global	O	0.96
중국 실질 GDP	S&P Global	O	0.97
미국 산업생산지수	S&P Global	O	-0.30
중국 산업생산지수	S&P Global	O	-0.60

자료: 저자 작성

〈그림 4-15〉 기초유분 수출량 및 주요국 GDP 추이



자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.); S&P Global(검색일: 2024.9.3.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-6〉 석유화학산업 수출 모형 변수

단위: 천 톤, 달러

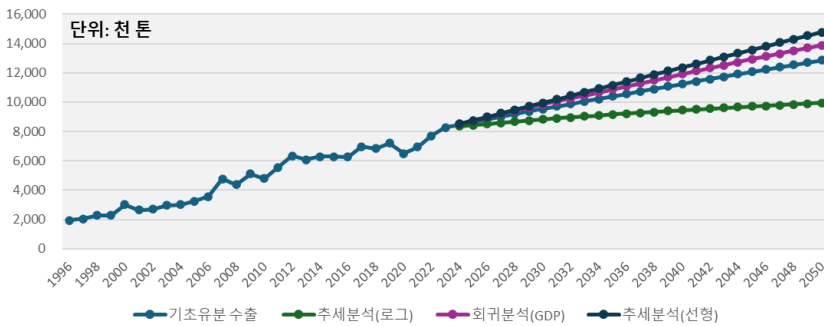
구분	기초유분 수출량	GDP(real, harmonized)			산업생산지수	
		대한민국	미국	중국	미국	중국
1996	1,930	658	12,318	2,013	4.5	13.2
1997	2,052	698	12,866	2,199	7.2	11.1
1998	2,284	662	13,443	2,372	5.9	8.5
1999	2,290	738	14,087	2,554	4.4	8.9
2000	3,024	805	14,661	2,771	3.9	11.5
2001	2,633	844	14,801	3,001	-3.0	9.6
2002	2,708	910	15,053	3,275	0.3	12.7
2003	2,966	938	15,474	3,603	1.3	16.7
2004	3,009	987	16,069	3,967	2.7	16.5
2005	3,254	1,029	16,629	4,419	3.4	16.3
2006	3,554	1,084	17,092	4,981	2.3	16.5
2007	4,779	1,146	17,434	5,690	2.6	18.0
2008	4,386	1,181	17,454	6,236	-3.5	13.0
2009	5,104	1,190	17,004	6,825	-11.4	10.8
2010	4,794	1,271	17,463	7,550	5.6	15.7
2011	5,560	1,318	17,736	8,271	3.1	13.7
2012	6,329	1,350	18,142	8,920	3.0	10.0
2013	6,076	1,393	18,526	9,613	2.0	9.7
2014	6,274	1,437	18,994	10,324	3.0	8.3
2015	6,275	1,478	19,553	11,048	-1.4	6.1
2016	6,259	1,521	19,909	11,805	-2.1	6.0
2017	6,979	1,569	20,398	12,622	1.3	6.6
2018	6,826	1,615	21,003	13,472	3.2	6.2
2019	7,204	1,651	21,521	14,278	-0.7	5.7
2020	6,508	1,639	21,045	14,594	-7.1	2.8
2021	6,941	1,710	22,266	15,828	4.4	9.6
2022	7,710	1,755	22,697	16,295	3.4	3.6
2023	8,273	1,778	23,274	17,149	0.2	4.6

자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.); S&P Global(검색일: 2024.9.3.) 참고하여 저자 작성

2) 모형 설계

앞서 1절에서 언급한 바와 같이 화학공업생산품 중, 석유화학제품은 기초유분, 중간원료로 나뉘며 생산 공정에 따라 수급을 분석한다. 기존 모형에서 기초유분은 로그 추세분석, GDP를 변수로 하는 회귀분석, 선형 회귀분석 등 세 가지 모형의 결과를 평균하여 전망하였다. 그리고 그 결과 <그림 4-16>과 같은 장기 추세를 보일 것으로 예측하였다.

<그림 4-16> 기초유분 수출량 예측결과 비교



자료: 한국석유화학협회, 제품통계(검색일: 2024.5.15.); S&P Global(검색일: 2024.9.3.)를 활용하여 저자가 예측한 결과자료

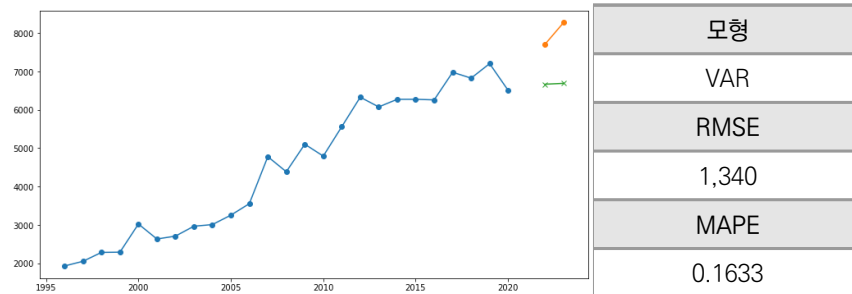
이번 연구에서는 통계적 시계열 분석 기법인 VAR 모형, 딥러닝 기법의 RNN 모형, LSTM 모형, MLP 모형 등을 활용하였다. 다만, 기존에는 세 개의 모형을 평균한 복합모형을 사용하였기 때문에 RMSE, MAPE 등을 통한 비교하기 어렵다. 따라서 기존 모형에 사용되었고 최종 기초유분 수출과 유사한 결과를 도출한 회귀분석을 시행하여 상호 간의 비교를 하였다. 각 모형은 파이썬을 활용하여 모형을 분석하였고, 모든 모형의 훈련세트(Train set)는 1996~2020년, 테스트세트는 2021~2023년으로 설정하였으며, RMSE와 MAPE를 활용하여 모형 간 성능을 평가하였다.

(1) VAR 모형

VAR 모형은 다변량 시계열 데이터를 분석하는 방법으로 독립변수들 간의 상호 의존성을 고려한 모형이다. 분석에는 ‘statsmodels’ 패키지를 활용하였고, 최대 시차는 $p=2$ 를 고려하였다. <그림 4-17>이 분석 결과이다.

<그림 4-17> VAR 모형 분석 결과

단위: 천 톤



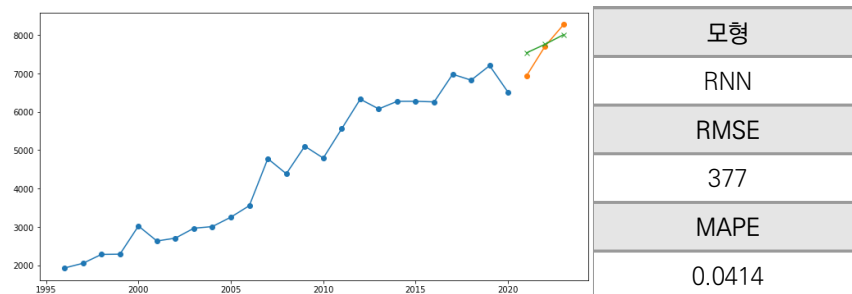
자료: 저자 작성

(2) RNN 모형

RNN 모형은 Keras의 ‘tensorflow.keras’를 활용하였다. 시계열 데이터의 패턴을 학습하는 RNN 레이어 뉴런 수는 50개, Dense 레이어 뉴런 수는 1개를 지정하였다. 학습 반복 횟수는 50회로 설정하고, 최적화 알고리즘인 아담을 사용하였다. <그림 4-18>이 분석 결과이다.

<그림 4-18> RNN 모형 분석 결과

단위: 천 톤



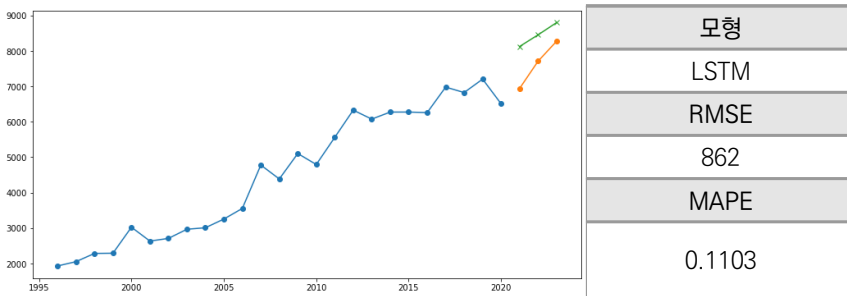
자료: 저자 작성

(3) LSTM 모형

LSTM 모형도 Keras의 'tensorflow.keras'를 활용했으며, 뉴런 수는 첫 번째 LSTM 레이어 100개, 두 번째 LSTM 레이어 50개, 출력 레이어에는 Dense 뉴런 1개를 지정하였다. 학습 반복 횟수는 100회로 설정하고, RNN 모형과 마찬가지로 아담을 사용하였다. <그림 4-19>가 분석 결과이다.

<그림 4-19> LSTM 모형 분석 결과

단위: 천 톤



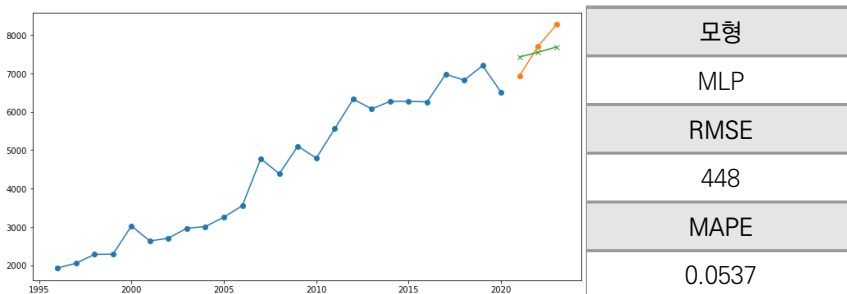
자료: 저자 작성

(4) MLP 모형

MLP 모형은 MLPRegressor를 사용하고 은닉층(hidden layer) 두 개의 뉴런 수는 각각 50개로 지정하였다. 최적화 알고리즘으로 아담을 사용하였으며, 학습 반복 횟수는 500회로 설정하였다. <그림 4-20>이 분석 결과이다.

<그림 4-20> MLP 모형 분석 결과

단위: 천 톤



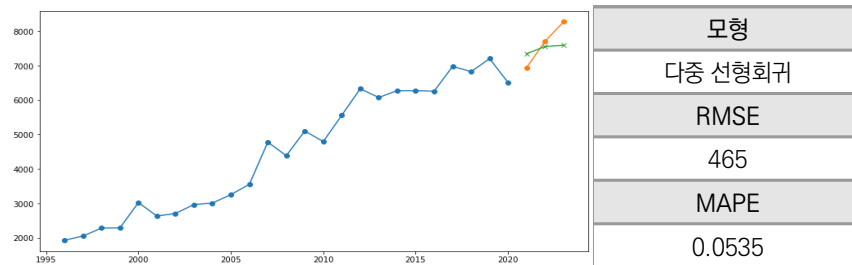
자료: 저자 작성

(5) 다중 선형회귀 모형

기존 단순 선형회귀 모형과 비교하기 위해 이번 연구에 활용한 미국의 실질 GDP와 중국의 실질 GDP를 추가 변수로 반영하여 분석하였다. <그림 4-21>이 분석 결과이다.

<그림 4-21> 다중 선형회귀 모형 분석 결과

단위: 천 톤



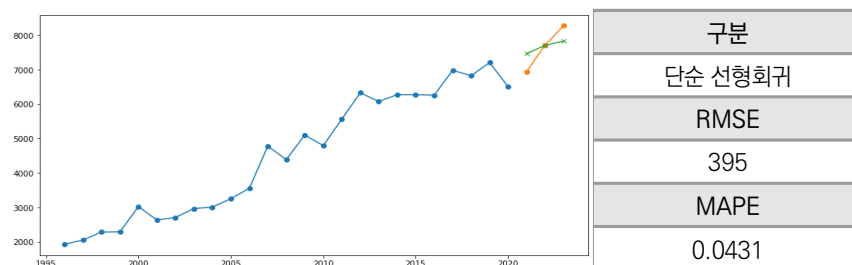
자료: 저자 작성

(6) 단순 선형회귀 모형

앞서 분석한 모형들과 비교하기 위한 모형이며, 기존 모형과 가장 유사한 형태이다. 우리나라의 실질 GDP만을 변수로 하는 단순 선형회귀 모형이다. <그림 4-22>가 분석 결과이다.

<그림 4-22> 단순 선형회귀 모형 분석 결과

단위: 천 톤



자료: 저자 작성

3) 분석 결과 및 검증

2021년에는 모든 모형의 예측값이 실제값보다 높게 나왔으나, 2023년에는 LSTM 모형을 제외하고는 전반적으로 예측이 실제값보다 낮게 나왔다. 코로나19 팬데믹의 영향을 받아 2021년 실적이 상대적으로 저조했던 영향을 받은 것으로 보인다. 다만 연도별 시계열 자료는 가용 자료의 한계가 존재함에 따라 전체 구간을 대상으로 분석을 시행하였다.

〈표 4-7〉은 모형의 분석 결과를 요약한 표이다. 모형의 정확도를 평가하기 위해 각 모형의 RMSE와 MAPE를 비교해 본 결과, RNN 모형에서 RMSE와 MAPE 값이 가장 작게 나왔다. RNN 모형의 RMSE가 작다는 것은 오차가 작다는 것을 의미하며, MAPE가 작다는 것은 상대적인 오차율이 낮음을 의미한다. 따라서 RNN 모형이 기존의 단순회귀 모형 대비 우수한 것으로 나타났다. 그 외 MLP 모형과 다중회귀 모형의 RMSE와 MAPE도 상대적으로 낮게 나온 편이나, 기존 모형 대비 더 개선된 모형이라고 보기는 힘들다.

본 연구에서는 우리나라 석유화학산업에 큰 영향을 미치는 미국과 중국을 추가 변수로 고려하였으며, 다수의 모형을 활용하여 비교해 보았다. 연구 결과 RNN 모형의 예측 성능이 기존 모형 대비 개선됨을 도출하였으며, RNN을 사용함으로써 모형을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

〈표 4-7〉 모형 간 예측 정확도 비교 선정

단위: 천 톤

구분		VAR	RNN	LSTM	MLP	다중회귀	단순회귀	실제값
예측 테스트	2021	-	7,537	8,125	7,429	7,346	7,464	6,941
	2022	6,669	7,760	8,454	7,553	7,556	7,705	7,710
	2023	6,691	8,010	8,799	7,690	7,595	7,832	8,273
RMSE		1,340	377	862	448	465	395	-
MAPE		0.1633	0.0414	0.1103	0.0537	0.0535	0.0431	-

자료: 저자 작성

2. 탄소중립에 따른 선박연료 전환 반영

기후변화로 전 세계는 탄소중립 정책을 추진하고 있으며 우리나라도 이 같은 추세에 맞춰 2050년 탄소중립을 목표로 정책을 추진하고 있다. 기존 탄소를 중심으로 하는 에너지원이 저탄소, 무탄소로 전환되는 정책이므로 이 같은 정책 추진은 항만을 통해 대부분의 에너지를 수입하는 우리나라의 항만물동량에 영향을 미칠 것으로 보인다. 다만 탄소중립은 에너지, 산업, 수송, 건물 등 전 부문에 걸쳐 있고, 산업별로 기술 수준·도입 정책 등이 상이하므로 부문별 영향변화의 분석과 단계적인 항만물동량 예측 반영이 필요할 것으로 보인다. 이번 연구에서는 항만에서 직접적인 소비가 발생하는 선박연료에 대한 수요변화를 분석하여 전망 모형에 반영하고자 한다.

1) 분석 데이터

분석에 사용되는 데이터는 ‘선박 급유 실적’, ‘국내 수출입 물동량’, ‘국내 항만 선박 입항 실적’ 등이 있으며, ‘국내 항만물동량 전망치’, ‘국제기구의 연료 전환 전망’ 등을 활용하여 분석하였다.

① 선박 급유 실적

선박 급유 실적은 한국석유공사가 운영하는 페트로넷(PETRONET)과 국가통계포털(KOSIS)을 통해 확보가 가능하며, 국내 해운업체가 사용하는 수요(내수)와 외국계 외항선에 급유하는 국제병커링 수요(수출)로 나뉜다. 국내 해운업 제품별 수요는 <표 4-8>, 국제 병커링 수요는 <표 4-9>에 정리하였다.

<표 4-8> 국내 해운업 제품별 수요

단위: 천 배럴

구분	휘발유	등유	경유	경질중유	중유	벙커C	용제	LPG	기타제품	부생연료유	바이오연료	소계
1997	7	11	3,880	802	335	23,826	-	13	-	-	-	28,874
1998	5	47	4,513	777	325	23,081	-	4	-	-	-	28,752
1999	4	29	6,195	1,166	271	23,629	-	35	-	-	-	31,329
2000	0	24	5,027	1,140	197	23,921	-	5	-	-	-	30,314
2001	9	12	3,821	747	187	22,960	-	6	-	6	-	27,748
2002	1	35	3,984	704	229	23,525	-	15	-	13	-	28,506
2003	8	9	3,830	722	229	23,955	-	10	-	4	-	28,767
2004	1	10	3,844	755	207	21,671	-	9	-	0	-	26,497
2005	-	4	3,270	832	231	21,936	-	5	-	-	-	26,278
2006	2	1	3,506	1,072	238	23,673	1	3	-	0	-	28,495
2007	1	0	4,027	1,115	254	21,928	1	4	-	0	-	27,330
2008	0	0	3,622	926	247	19,457	1	22	12	0	-	24,288
2009	-	0	2,914	996	242	17,262	1	5	-	-	-	21,420
2010	-	0	2,885	1,042	260	16,982	0	4	-	-	-	21,173
2011	-	2	2,676	1,179	240	17,591	0	4	-	-	-	21,692
2012	0	0	2,520	1,041	186	16,476	0	7	-	24	-	20,254
2013	-	0	2,599	851	247	11,980	0	20	-	0	-	15,697
2014	7	6	2,172	723	243	11,754	0	5	-	12	-	14,922
2015	4	9	3,138	939	247	14,659	0	20	-	23	-	19,039
2016	59	6	3,009	1,069	242	17,188	0	22	-	-	-	21,595
2017	68	1	3,320	973	216	18,173	0	9	-	33	-	22,793
2018	67	2	2,647	952	204	16,600	0	10	-	25	-	20,507
2019	24	0	3,448	950	115	12,534	0	10	-	38	-	17,120
2020	1	1	4,512	707	42	14,812	0	10	-	40	-	20,125
2021	0	-	5,558	608	16	14,440	0	10	-	30	-	20,662
2022	0	-	7,096	485	21	15,965	0	10	-	28	-	23,605
2023	0	-	5,338	454	17	13,042	0	10	-	0	44	18,905

자료: 한국석유공사 페트로넷(검색일: 2024.8.30.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-9〉 국제 벙커링 수요

단위: 천 배럴

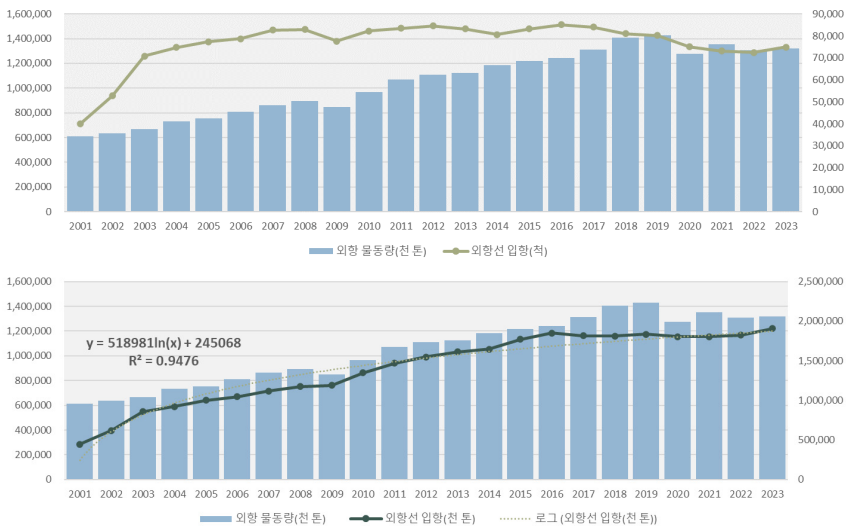
구분	경유	경질 중유	벙커C	바이오 연료	소계
1997	7,153	573	32,548	-	40,274
1998	7,943	761	33,110	-	41,814
1999	7,906	678	36,734	-	45,318
2000	5,638	843	35,714	-	42,195
2001	5,701	327	35,379	-	41,407
2002	5,775	243	33,499	-	39,517
2003	6,307	146	37,644	-	44,097
2004	6,303	295	41,911	-	48,509
2005	5,501	325	42,612	-	48,438
2006	4,990	367	40,800	-	46,157
2007	4,287	428	37,333	-	42,048
2008	3,955	472	37,771	-	42,198
2009	3,354	364	35,009	-	38,727
2010	3,493	513	37,401	-	41,407
2011	2,861	539	36,582	-	39,982
2012	2,512	507	36,447	-	39,466
2013	2,859	270	38,065	-	41,194
2014	3,582	223	38,425	-	42,230
2015	5,761	171	39,729	-	45,661
2016	5,258	42	44,787	-	50,087
2017	5,655	66	40,650	-	46,371
2018	5,550	62	38,899	-	44,511
2019	6,737	27	33,149	-	39,913
2020	6,715	5	41,094	-	47,814
2021	8,435	1	43,807	-	52,243
2022	9,672	2	47,296	-	56,970
2023	10,110	-	46,166	5	56,281

자료: 한국석유공사 페트로넷(검색일: 2024.8.30.) 참고하여 저자 작성

② 국내 수출입 물동량 및 선박 입항 실적

국내 수출입 물동량 실적과 외항선 입항 실적은 해양수산부가 운영하는 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS)의 통계를 활용하였다. 물동량은 외항 실적을 활용하였으며, 내항 실적은 통계 집계·반영 시점이 외항과 상이하여 추세를 왜곡시킬 수 있어 제외하였다. 또한 외항선은 선박 대형화로 인해 물동량의 증가에도 척수는 보합 및 소폭 감소세를 보이고 있으나 선박의 총톤수(Gross Tonnage)는 증가세를 보인다. 이 같은 추세는 <그림 4-23>에서 확인할 수 있으며 세부 실적은 <표 4-10>에 정리하였다. 또한 외항선 입항 전망을 위해 ‘2023년 품목별 항만물동량 예측보고서’의 외항 물동량 전망치를 수집하였으며, <표 4-11>로 간략하게 나타내었다.

<그림 4-23> 외항 물동량과 외항선 입항 실적 추세



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.8.30.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-10〉 외항 물동량 및 외항선 입항 실적

단위: 천 톤, 척

구분	외항 물동량	전체 외항선 입항		국적 외항선 입항		외국적 외항선 입항	
		척수	총톤수	척수	총톤수	척수	총톤수
2001	610,910	39,956	447,203	10,841	64,581	29,115	382,622
2002	635,545	52,744	619,601	15,506	113,029	37,238	506,572
2003	667,608	70,766	858,575	18,374	125,652	52,392	732,923
2004	733,377	74,779	922,142	19,846	135,230	54,933	786,911
2005	754,936	77,287	1,001,654	21,618	151,741	55,669	849,913
2006	809,830	78,631	1,044,366	22,137	155,476	56,494	888,890
2007	862,523	82,702	1,117,041	23,289	165,228	59,413	951,813
2008	894,693	82,853	1,172,581	23,475	173,594	59,378	998,988
2009	848,299	77,670	1,188,326	22,669	168,494	55,001	1,019,832
2010	966,193	82,235	1,347,328	22,257	155,815	59,978	1,191,513
2011	1,069,566	83,439	1,469,262	22,817	159,312	60,622	1,309,951
2012	1,108,510	84,531	1,547,696	23,108	139,380	61,423	1,408,316
2013	1,123,172	83,182	1,611,815	22,977	140,061	60,205	1,471,754
2014	1,184,641	80,640	1,645,384	21,617	142,692	59,023	1,502,691
2015	1,216,782	83,133	1,771,398	21,293	152,367	61,840	1,619,031
2016	1,242,597	85,040	1,849,903	21,774	155,105	63,266	1,694,798
2017	1,312,489	84,015	1,817,429	21,597	159,569	62,418	1,657,860
2018	1,405,912	80,971	1,812,411	20,622	148,169	60,349	1,664,241
2019	1,429,150	80,217	1,836,375	19,849	155,509	60,368	1,680,866
2020	1,276,228	75,049	1,803,257	17,540	161,571	57,509	1,641,686
2021	1,352,575	73,156	1,804,767	17,550	174,326	55,606	1,630,441
2022	1,307,642	72,469	1,823,707	16,190	176,051	56,279	1,647,656
2023	1,320,142	74,949	1,907,236	16,772	206,468	58,177	1,700,768

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.8.30.) 참고하여 저자 작성

〈표 4-11〉 국내 전국 항만의 외항 물동량 실적 및 전망

단위: 백만 톤, %

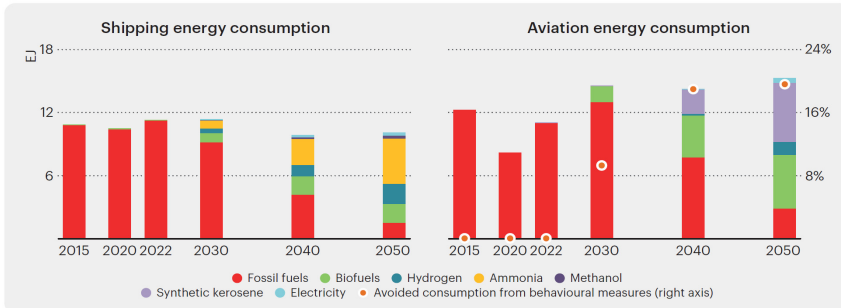
실적	전망				연평균 증가율			
	2025	2030	2040	2050	'22~'25	'25~'30	'30~'40	'40~'50
1,308	1,453	1,588	1,831	2,024	3.6	1.8	1.4	1.0

자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 164 참고하여 저자 작성

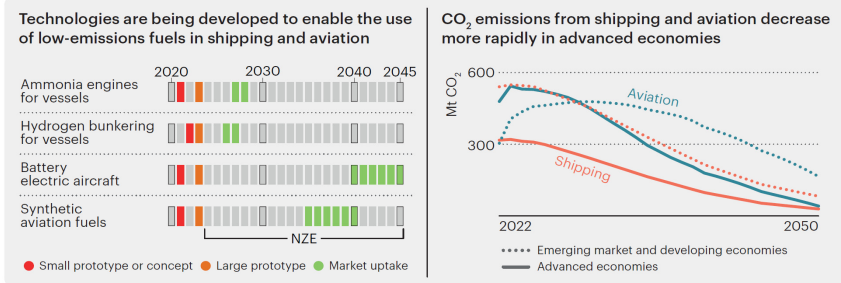
③ 국제기구의 연료 전환 전망

제1절에서 언급한 바와 같이 IEA는 '탄소중립 로드맵(Net Zero Roadmap 2023 Update)' 보고서를 발표하여 <그림 4-24>와 같이 2050년까지 에너지 부문의 순 탄소 배출 제로 달성을 위한 경로를 제시하였다.

<그림 4-24> 선박 및 항공 부문 에너지 소모량 비중 전망(IEA)



Milestones	2022	2030	2035	2050
Shipping				
International shipping activity (trillion tonne-kilometres)	125	145	165	265
Share in final energy consumption				
Biofuels	0%	8%	13%	19%
Hydrogen	0%	4%	7%	19%
Ammonia	0%	6%	15%	44%
Methanol	0%	1%	1%	3%
Aviation				
International and domestic aviation activity (trillion passenger-kilometres)	6.0	10.9	11.4	16.5
Avoided demand from behavioural measures	0%	9%	14%	20%
Share in final energy consumption				
Biofuels	0%	10%	22%	33%
Synthetic hydrogen-based fuels	0%	1%	4%	37%

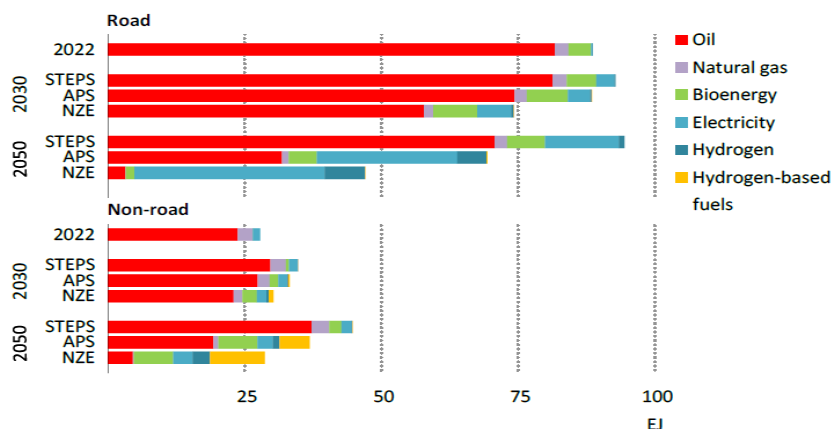


자료: IEA(2023a), p. 94.

보고서 분석 결과에 따르면, 교통(transport) 부문 중 해상운송(maritime shipping)의 경우, 연료는 바이오 연료, 수소, 암모니아, 메탄올로 전환이 될 것으로 보았다. 2030년과 2050년을 기준으로 바이오 연료는 각각 8%, 19%, 수소는 각각 4%, 19%, 암모니아는 각각 6%, 44%, 메탄올은 각각 1%, 3%로 전망하였다. 다만 연도별 비중을 별도로 표기하지 않았으며, 화석연료의 비중을 구분하지 않아 일부 수치는 가정하여 보완·정리하였다.

‘세계 에너지 전망(World Energy Outlook 2023)’ 보고서에서는 국가별 최근 정책을 반영한 ‘정책 시나리오(STEPS: Stated Policies Scenario)’, 국가별 발표 공약 달성을 전제로 한 ‘공약 시나리오(APS: Announced Pledges Scenario)’, 2050년까지 순 배출량을 0으로 만드는 ‘순 배출량 제로 달성 시나리오(NZE: Net Zero Emissions)’로 구분하여 시나리오별 연료 변화를 전망하고 있다. <그림 4-25>는 교통분야 에너지 수요 전망을 나타내며, IEA의 연료 종류별 장래 병커링 수요를 보완하여 <표 4-12>에 정리하였다. 같은 값의 연도별 변화를 <그림 4-26>에 표현하였다.

〈그림 4-25〉 시나리오별 교통분야 에너지 수요 전망(2022~2050년)



자료: IEA(2023b), p. 113.

〈표 4-12〉 연료 종류별 장래 벙커링 수요 비중 가정

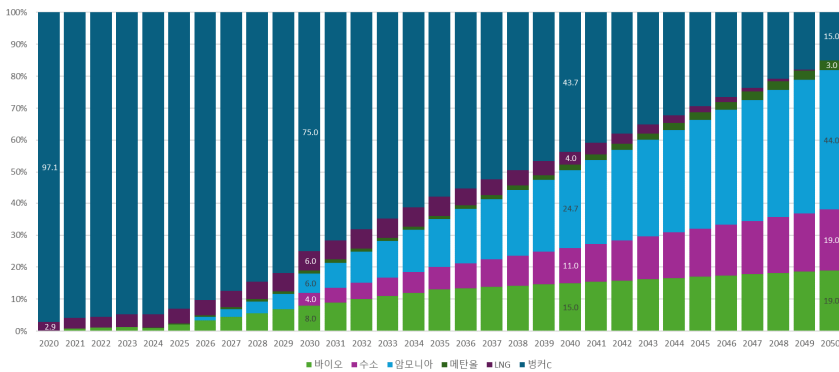
단위: %

구분	친환경 연료					화석 연료		
	바이오	수소	암모니아	메탄올	소계	LNG	석유	소계
2020	0.0	-	-	-	0.0	2.9	97.1	100.0
2030	8.0	4.0	6.0	1.0	19.0	6.0	75.0	81.0
2040	15.0	11.0	24.7	1.7	52.3	4.0	43.7	47.7
2050	19.0	19.0	44.0	3.0	85.0	-	15.0	15.0

주: LNG는 APS 시나리오의 6%를 가정하여 반영하고 석유는 친환경 및 LNG를 제외한 값을 반영함

자료: IEA(2023a, p. 94; 2023b, p. 115)

〈그림 4-26〉 벙커링 실적 및 전망(BAU) 비중



자료: IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

2) 모형 설계

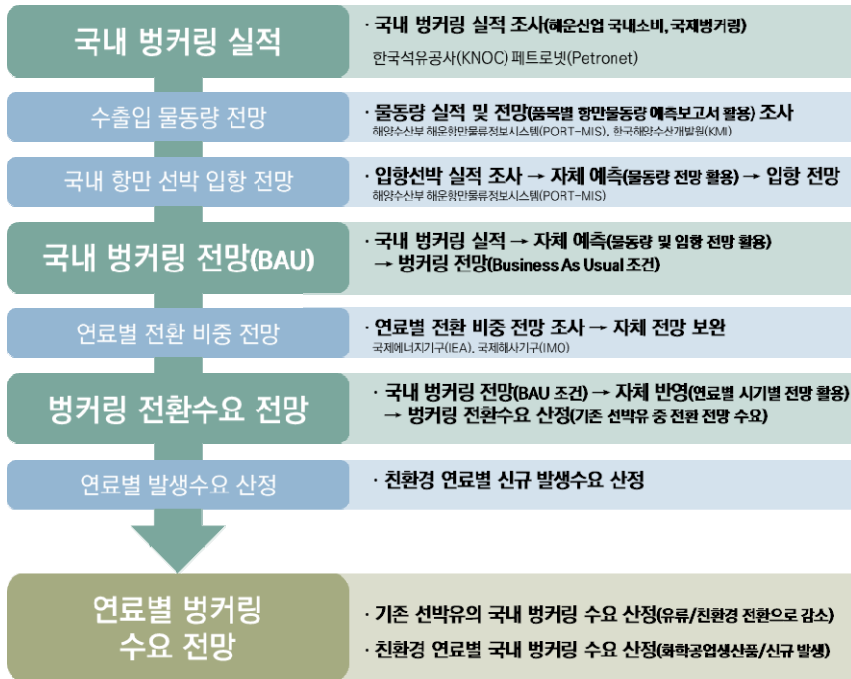
① 예측 프로세스 설계

예측모형은 국내 벙커링이 현재 상태를 유지(BAU: Business As Usual)했을 경우의 장래 벙커링 수요를 산정하도록 하였다. 항만물동량 증가와 입항 선박의 톤수 증가를 고려하여 장래 벙커링 수요를 전망하였다. 다음

으로 벙커링 수요 전망치 중, 친환경으로 전환되는 기존 선박유 수요를 산정하고, 발열량 등을 고려하여 전환으로 발생하는 친환경 연료의 수요를 산정하도록 구성하였다.

전반적인 전망 모형은 <그림 4-27>과 같은 절차를 거치게 된다. 최종 산출물은 친환경 전환에 따른 연료별 장래 수요이다. 즉, 전환으로 감소되는 기존 선박유인 유류와, 전환으로 신규 발생하는 친환경 연료인 화학공업생 제품의 발생량이다.

<그림 4-27> 연료별 벙커링 수요 전망 절차



자료: 저자 작성

② 국내 벙커링 전망(BAU)

국내 입항 외항선의 총톤수는 외항 물동량을 변수로 하는 회귀분석 모형과 로그 추세모형을 활용하여 전망하였다. 국내 항만물동량 실적과 전망은 앞서 <표 4-10>과 <표 4-11>에 제시하였으며, 외항 물동량을 변수로 하여 외항선 입항 총톤수를 추정하는 회귀분석 결과는 <표 4-13>과 같다. [식 4-6]은 회귀 모형과 로그 추세모형을 활용한 외항 물동량 전망식이며, 로그 추세모형식은 [식 4-37]에 표기되어 있다.

<표 4-13> 우리나라 외항선 입항 총톤수 회귀분석 결과 요약

변수	계수	표준오차	t 검정	f 검정	다중 R ²	조정 R ²
상수	-272867.5	87788.4	-3.1	390.1***	0.9741	0.9465
외항 물동량	1603.4	81.1	19.8***			

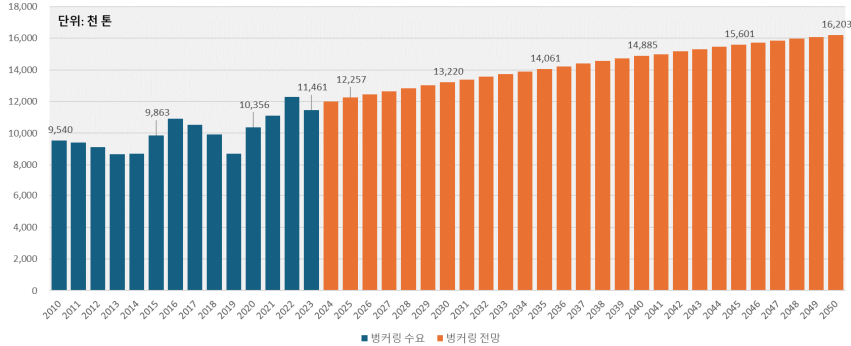
주: *는 p-value < .05, **는 p-value < .01, ***는 p-value < .001을 의미함
자료: 저자 작성

$$Z_t^{OGT} = \frac{1}{2} [(a_0 + a_1 X_t^{OT}) + (b_0 + b_1 \ln(X_t^{Year} - X_0^{Year}))] \dots\dots\dots [\text{식 4-6}]$$

여기서 Z_t^{OGT} 은 t기의 외항 입항 선박의 총톤수이며, X_t^{OT} 은 t기의 외항 물동량이다.

입항 선박의 규모 대비 급유량 비중을 각각 국적 외항선과 외국적 외항선으로 구분하여 반영하면 2023년 1,146만 1천 톤 규모인 선박유 수요는 2040년 1,488만 5천 톤, 2050년 1,620만 3천 톤으로 증가할 것으로 전망된다. <그림 4-28>은 벙커링 실적과 전망을 보여주고 있으나, 전망치는 현재 추세를 적용한 값이므로 벙커C유 등 석유 97.1%를 장기 반영한 값이다. 또한 석유공사의 통계를 활용하여 LNG를 통한 벙커링 실적은 제외되어 있다.

〈그림 4-28〉 벙커링 실적 및 전망(BAU)

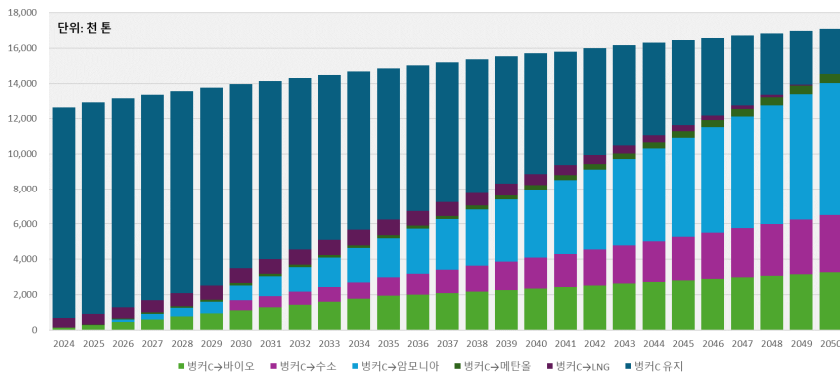


자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 페트로넷 (검색일:2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

③ 국내 벙커링 전환수요 및 연료별 발생수요 전망

본 연구에서 선박의 친환경 연료 전환은 앞서 정리한 〈표 4-12〉와 같이 이루어질 것으로 가정하여 벙커C유로 환산한 장래 수요에 비중을 반영하였다. 벙커C유 중, 친환경 연료로 전환되는 수요를 산정하면, 〈그림 4-29〉 및 〈표 4-14〉와 같은 결과가 나온다.

〈그림 4-29〉 타 연료로의 벙커링 전환수요



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 페트로넷 (검색일: 2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

〈표 4-14〉 연료 종류별 장래 벙커링 전환 물동량

단위: 천 톤

구분	친환경 연료로 전환으로 감소하는 수요(벙커C유→해당 연료)						유지수요 벙커C유
	바이오	수소	암모니아	메탄올	LNG	전환수요 계	
2024	126	-	-	18	531	676	11,973
2025	280	-	-	37	582	899	12,032
2026	438	-	158	56	631	1,283	11,864
2027	601	-	320	76	681	1,678	11,671
2028	768	-	488	97	732	2,084	11,466
2029	940	-	660	118	784	2,502	11,251
2030	1,116	558	837	139	837	3,487	10,460
2031	1,272	650	1,102	141	848	4,013	10,116
2032	1,431	744	1,374	143	859	4,551	9,760
2033	1,594	840	1,652	145	869	5,100	9,388
2034	1,760	939	1,936	147	880	5,662	9,007
2035	1,928	1,038	2,225	148	890	6,230	8,604
2036	2,011	1,171	2,541	170	840	6,733	8,274
2037	2,095	1,306	2,864	192	789	7,247	7,935
2038	2,181	1,444	3,194	215	737	7,771	7,586
2039	2,268	1,584	3,531	238	683	8,304	7,227
2040	2,355	1,727	3,873	262	628	8,846	6,857
2041	2,434	1,865	4,204	284	569	9,356	6,448
2042	2,529	2,017	4,568	309	512	9,936	6,073
2043	2,618	2,165	4,923	334	452	10,493	5,667
2044	2,707	2,316	5,284	359	391	11,058	5,252
2045	2,798	2,469	5,651	384	329	11,631	4,828
2046	2,885	2,620	6,013	409	265	12,192	4,388
2047	2,974	2,774	6,383	434	201	12,767	3,944
2048	3,065	2,930	6,758	460	135	13,348	3,491
2049	3,156	3,088	7,137	486	68	13,936	3,031
2050	3,248	3,248	7,521	513	-	14,529	2,564

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 펌트로넷
(검색일: 2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

각 연료는 발열량에 차이가 있어 같은 힘을 내기 위해 소모되는 양에 차이가 있으며, 주요 선박연료의 발열량은 <표 4-15>로 정리하였다. 예를 들어, 벙커C유의 저위발열량은 9,793kcal/kg이나, 수소는 28,662kcal/kg, 암모니아는 4,443kcal/kg이므로 같은 양의 벙커C유가 수소와 암모니아로 전환될 때, 수소는 1/3 정도만 발생하나, 암모니아는 두 배 이상 발생하게 된다. 따라서 전환되는 벙커C유의 양에 연료별 저위발열량을 반영하여 산정해야 전반적인 물동량 변화를 파악할 수 있다.

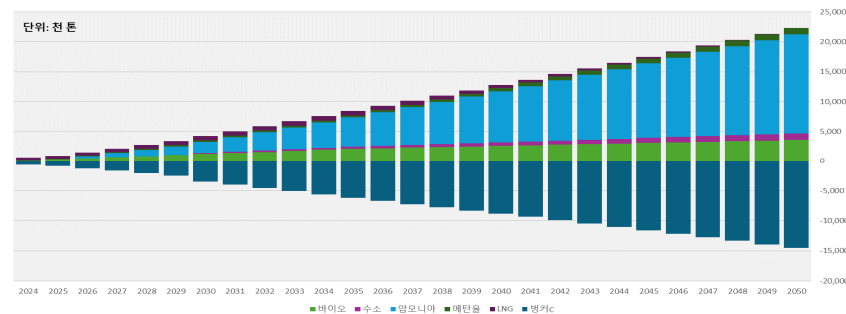
<표 4-15> 주요 친환경 연료의 발열량

구분	바이오텔	수소	암모니아	메탄올	LNG	벙커C유
저위 발열량 (kcal/kg)	8,885	28,662	4,443	4,753	11,727	9,793
벙커C유 대비 비율	0.91	2.93	0.48	0.49	1.20	1.00

자료: 임영섭(2023), p. 13. 자료를 참고하여 저자 산출

대체로 친환경 연료의 발열량이 기존 연료 대비 낮아 연료 전환에 따른 기존 연료의 감소량보다 친환경 연료의 증가량이 더 많은 것으로 산정되었다. <그림 4-30>은 증가하는 연료와 감소하는 연료의 종류와 양을 비교한 그래프이며, 연료 종류별 장래 벙커링 수요는 <표 4-16>에 정리하였다.

<그림 4-30> 선박연료별 증감 전망



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 페트로넷(검색일: 2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

〈표 4-16〉 연료 종류별 장래 벙커링 수요

단위: 천 톤

구분	신규 발생수요(벙커C유→해당 연료)						유지수요
	바이오	수소	암모니아	메탄올	LNG	전환수요 계	벙커C유
2024	139	-	-	37	444	620	11,973
2025	309	-	-	76	486	871	12,032
2026	483	-	348	116	527	1,474	11,864
2027	662	-	706	157	568	2,094	11,671
2028	846	-	1,075	199	611	2,732	11,466
2029	1,036	-	1,455	243	655	3,388	11,251
2030	1,230	191	1,845	287	699	4,251	10,460
2031	1,401	222	2,429	291	708	5,052	10,116
2032	1,577	254	3,028	295	717	5,872	9,760
2033	1,757	287	3,641	299	726	6,709	9,388
2034	1,940	321	4,268	302	735	7,566	9,007
2035	2,125	355	4,905	306	743	8,434	8,604
2036	2,216	400	5,601	350	702	9,270	8,274
2037	2,309	446	6,314	396	659	10,124	7,935
2038	2,403	493	7,041	443	616	10,996	7,586
2039	2,499	541	7,783	491	571	11,885	7,227
2040	2,596	590	8,538	539	525	12,788	6,857
2041	2,682	637	9,266	586	475	13,647	6,448
2042	2,788	689	10,069	638	428	14,611	6,073
2043	2,885	740	10,852	688	378	15,543	5,667
2044	2,984	791	11,648	739	327	16,490	5,252
2045	3,084	844	12,456	791	275	17,450	4,828
2046	3,180	895	13,255	843	222	18,394	4,388
2047	3,278	948	14,071	895	167	19,359	3,944
2048	3,378	1,001	14,897	948	112	20,337	3,491
2049	3,478	1,055	15,733	1,002	57	21,325	3,031
2050	3,580	1,110	16,579	1,057	-	22,324	2,564

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 페트로넷
(검색일: 2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

3) 분석 결과

본 연구에서 시도한 선박연료 전환 물동량 예측 결과, 전반적인 화학공업생산물 물동량은 2030년 420만 7천 톤, 2040년 1,268만 4천 톤이 추가로 발생하게 되며, 유류 물동량은 2030년 348만 7천 톤, 2040년 884만 6천 톤이 감소하게 된다. 따라서 물동량의 순 증가량은 2030년 72만 1천 톤, 2040년 383만 8천 톤이 된다. <표 4-17>이 물동량 증가를 정리한 표이다.

<표 4-17> 연료 종류별 장래 벙커링 수요 비중

단위: 천 톤

구분	화학공업생산물 (증가량)	유류 (감소량)	순 증가량
2030	4,207	3,487	721
2035	8,354	6,230	2,124
2040	12,684	8,846	3,838
2045	17,320	11,631	5,689
2050	22,168	14,529	7,639

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.); 한국석유공사 페트로넷(검색일: 2024.8.30.); IEA(2023a, 2023b) 자료를 참고하여 저자 분석 및 작성

기후변화에서 비롯된 탄소중립 정책 강화 움직임과 친환경 에너지로의 전환 패러다임이 속도를 내면서 친환경 연료 수요에 대한 관심이 증가하게 되었다. 본 연구는 이러한 시대 흐름에 적절하게 대응하고자 친환경 연료 수요를 산정하였다는 것에 의의가 있다. 연구를 통해 산정된 결과값은 장기적으로 친환경 벙커링 시설 도입 시 참고 자료로 활용이 가능할 것으로 보인다. 다만, 전 세계적인 탄소중립 추진에도 불구하고 친환경 선박연료로의 전환은 불확실성이 높아 관련 정책과 시장 동향에 대한 지속적인 모니터링이 필요하고, 주기적인 수정이 이루어져야 할 것이다. 또한, 정책적인 부분 외에도 친환경 연료 기술의 도입, 친환경 연료 추진선 건조, 항로 연

계와 연료의 공급망 관리 등 시장 및 다양한 산업과 관련이 있기 때문에 기술 성숙 및 상용화 단계에서 기존의 계획과 전망 간 차이가 발생할 것이다. 현재 국제기구와 시장조사 기관에서도 다양한 가능성을 두고 시나리오를 설정하여 전망치를 내놓고 있다. 본 연구에서 산정한 친환경 연료 전망치도 시장의 변화에 맞는 수정·보완이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

제4절 소결 및 시사점

석유화학산업은 우리나라 기간산업으로서 국가 생산의 큰 비중을 차지할 뿐 아니라 주요 수출 품목으로 항만에서 처리되고 있다. 그간 전반적인 증가 추세(trend) 속에 경기에 따른 증감이 반복되는 계절성(seasonality)을 가지고 있었다. 다만, 앞서 살펴본 바와 같이 석유화학 시장의 전반적인 구조가 변하게 될 것으로 예상된다. 우리나라의 대중국 석유화학 수출 주요 품목은 기초유분인 에틸렌이었으나, 중국의 자급화로 수출경쟁력 제고 및 차별화를 위해 고부가가치 제품 생산을 위한 설비에 투자하고 있다. 이 같은 구조적인 변화로 해운물류 품목 분류상 화학공업생산품 수출은 감소할 것으로 전망된다. 화학공업생산품 물동량 예측모형에서도 이러한 변화를 반영할 수 있는 개선이 필요하다.

아울러 탄소중립 물동량에 대한 예측도 필요해졌다. 탄소중립에 사용될 차세대 에너지원은 해운물류 품목 분류상 모두 화학공업생산품에 해당된다. HS코드 기준으로 살펴보면, 무탄소 에너지는 용어 그대로 탄소를 포함하지 않기 때문에 화물품목 분류상 ‘제28류 무기화합물’에 해당하는데, 수소는 280410, 암모니아는 무수암모니아가 281410, 암모니아수가 281420

이다. 또한, 브리지 연료로 사용될 저탄소 연료인 메탄올은 290511, 바이오디젤은 382600이다. 탄소중립이 진행됨에 따라 석탄, 유류(원유, 석유제품, 가스류) 등의 화석연료는 감소하는 반면, 화학공업생산물에 해당하는 저탄소·무탄소 에너지원의 수요가 증가하게 될 것이다. 따라서 예측모형에는 이 같은 시장의 동향이 충분히 반영될 수 있어야 한다.

최근 민간 및 공공분야에서는 자체적으로 탄소 배출량을 감축하고 연료를 전환하는 등 탄소중립을 추진하고 있다. 저·무탄소 에너지원은 에너지 전환 패러다임에 따라 새롭게 발생하는 물동량이며, 공급망 확보 및 보관·하역을 위한 시설이 필요하므로 시장의 요구를 수용할 필요가 있다. 따라서 탄소중립으로 발생될 화학공업생산품의 물동량은 정부의 목표에 맞춰 상향식 방식으로 총량을 산정하고 설비 계획이 확정된 사업 관련 시설에 하향식 방식으로 분배하는 등 별도의 예측 및 관리가 필요할 것으로 보인다.

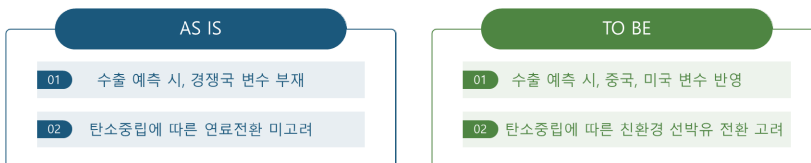
앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 최근 변화하고 있는 화학공업생산품과 관련된 두 가지를 고려할 필요가 있다. 첫째는 ‘석유화학업계 수출 및 주요 품목의 구조적 변화’이다. 중국 및 기초유분 중심의 수출구조 탈피 움직임에 따라 수급 불균형에 따른 장기적인 변화를 반영해야 할 것으로 보인다. 둘째는 ‘탄소중립에 따른 에너지원 변화’이다. 기존 에너지원을 대체할 것으로 예상되는 신규 에너지원이 화학공업생산물에 해당한다. 따라서 국가의 탄소중립 로드맵에 따른 전체 물동량을 전망하고 실제 진행되는 탄소중립 추진 계획에 따른 적절한 항만별 물동량 반영이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 기초유분 수출 물동량 예측모형 개선과 탄소중립 정책에 따른 병커링 수요 추정을 제시했다. 우선 기초유분의 경우 수출의 구조적인 변화를 고려하기 위해 기초유분 수출 물동량 예측모형에 우리나라 외에 미국과 중국의 거시경제지표를 고려하여 다양한 예측모형의 결과를 비교했다. 거시경제지표는 전 산업생산지수와 GDP 등을 고려하였으

며, 최종 상관관계 분석을 통해 우리나라, 미국, 중국 GDP가 독립변수로 선정됐다. 모형의 경우 VAR, RNN, LSTM, MLP, 회귀 모형을 비교 분석하였으며, 그 결과 RNN 모형이 기존 모형 대비 예측 성능이 개선됨에 따라 향후 기초유분 수출 물동량 예측모형으로 RNN 모형을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

다음 개선 사항은 탄소중립 정책 추진에 따라 기존 탄소를 중심으로 하는 에너지원이 저탄소, 무탄소로 전환되는 수요를 고려했다. 특히, 항만을 통해 대부분의 에너지원이 수입되는 만큼 이러한 정책은 우리나라 항만물동량에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 탄소중립에 따른 선박연료 전환을 반영하기 위해 국내 병커링 수요를 전망하고 국제기구(IEA, IMO) 등에서 전망한 연료별 전환 비중 계획을 참고하여 친환경 연료 수요를 산정하도록 모형을 구성했다. 즉, 선박연료 전환으로 인해 기존 선박유인 유류가 신규 발생하는 친환경 연료인 화학공업생산물으로 변환되는 규모를 산정했다. 친환경 정책 강화에 따른 친환경 연료 수요를 산정한 것으로 친환경 병커링 시설 도입 시 참고 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 다만 연료별 전환 비중, 국가의 탄소중립 정책 변화 등에 따라 해당 모형의 수정·보완도 지속적으로 이뤄질 필요가 있다.

〈그림 4-31〉 화학공업생산물 항만물동량 예측모형 고도화 결과



자료: 저자 작성

05

기타광석 항만물동량 예측모형 고도화

기타광석 항만물동량 예측모형 고도화를 위해 우선 기타광석 연관 산업을 검토하고 기존 기타광석 항만물동량 예측모형의 한계점을 도출하고자 한다. 이때 기타광석의 경우 광물의 종류가 다양해서 연관 산업도 다양한 만큼 기타광석의 주요 사용처인 건설, 에너지, 자동차 산업 등에서의 동향 키워드를 도출하고 분석을 진행했다. 동향 분석 및 기존 모형 한계점 검토가 완료되면 이를 개선하기 위해 모형 다양화 및 변수 추가 발굴 등을 통해 기타광석 항만물동량 예측모형 고도화를 진행하고자 한다.

제1절 국내외 기타광석 연관 산업 동향

1. 기타광석 연관 산업 개요

항만물동량의 32개 세부품목 중 기타광석으로 분류되는 품목은 ‘기타광석 및 생산품’에 해당한다. 해운물류의 화물품목 분류 기준으로 화물품목코드(HS코드)상 광물성 생산품으로, 25(토석류·소금), 26(광, 슬랙, 회), 27(광물성 연료·에너지 일부)이 포함된다. 이 중 천연모래, 시멘트, 철광석,

석탄, 유류(원유, 석유가스, 석유정제품)는 항만분류체계상 타 품목으로 분류되어 기타광석에서는 제외된다. 화물품목 코드상 기타광석으로 분류되는 국문 품명 및 코드(4자리)는 다음 <표 5-1>과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 기타광석은 대부분의 광물자원을 포함하며, 크게 금속 광물과 비금속 광물로 구분할 수 있다. 기타광석의 금속 광물은 금속이 주성분인 광물을 의미하며, 철광석을 제외한 금, 은, 동, 납, 아연, 망간, 주석, 희토류 등 비철금속이 해당된다. 비금속 광물의 경우 금속 광물이 아닌 나머지 광물을 말하며, 대표적으로 석회석, 백운석, 규석, 주석, 흑연 등이 포함된다.

<표 5-1> 기타광석의 HS코드

구분	HS코드	국문 품명
제5부 광물성 생산품	25	소금, 황, 토석류, 석고·석회·시멘트 *2505(천연모래), 2523(시멘트) 제외
	26	광·슬래그·회(Ores, Slag and Ash) *2601(철광석) 제외
	27	광물성 연료·광물유와 이들의 증류물, 역청물질, 광물성 왁스 *2705·2709·2710·2711·2712·2713(원유, 석유, 석유가스 및 기타가스 등 유류), 270111·270112(무연탄, 유연탄 등 석탄) 제외

자료: 해양수산부(2023b), p.9 이후 내용을 참고하여 저자 재작성.

비철금속 광물의 경우, 기타광석으로 분류되는 광물자원들은 제품이 아닌 광석(정광¹⁹⁾) 형태의 광물류만 해당된다. 일례로 니켈의 경우, ‘니켈광과 그 정광’은 기타광석으로 분류되는 한편, ‘니켈의 괴’, ‘니켈 합금’ 등 제품류는 잡화 품목으로 분류된다.

19) 정광은 선광으로 얻어지는 높은 품도의 광물로 대부분의 경우 제련원료 또는 공업원료로 직접 사용할 수 있을 정도로 품위가 높여진 광석을 의미함. 대부분 광산에서 채굴된 이후 원광을 선광하여 목적하는 금속 성분의 함유율이 높은 정광의 형태로 바꾼 후에 제련함

〈표 5-2〉 HS코드 상 비철금속 광물자원별 품목 구분

구분	품목	HS코드	국문 품명
구리	기타광석	2603	구리광과 그 정광
	화학공업생산물	282550	산화구리와 수산화구리
	잡화	74류	구리와 그 제품
니켈	기타광석	2604	니켈광과 그 정광
	화학공업생산물	282540	산화니켈과 수산화니켈
	철재	720260	페로니켈
코발트	기타광석	2605	코발트광과 그 정광
	화학공업생산물	282200	산화코발트, 수산화코발트, 상광습상의 산화코발트
	잡화	8105	코발트의 매트와 코발트 제련으로 생산된 그 밖의 중간생산물, 코발트와 그 제품
알루미늄	기타광석	2606	알루미늄광과 그 정광
	화학공업생산물	2818	산화알루미늄, 수산화알루미늄
	잡화	76류	알루미늄과 그 제품
납	기타광석	2607	납광과 그 정광
	화학공업생산물	2824	산화납·연단·오렌지납
	잡화	78류	납과 그 제품
아연	기타광석	2608	아연광과 그 정광
	화학공업생산물	281700	산화아연과 과산화아연
	잡화	79류	아연과 그 제품
주석	기타광석	2609	주석광과 그 정광
	잡화	80류	주석과 그 제품
텅스텐	기타광석	2611	텅스텐광과 그 정광
	화학공업생산물	284180	텅스텐산염
	철재	720280	페로텅스텐과 페로실리코 텅스텐
	잡화	8101	텅스텐과 그 제품
티타늄	기타광석	2614	티타늄광과 그 정광
	화학공업생산물	282300	산화티타늄
	철재	720291	페로티타늄과 페로실리코티타늄
	잡화	8108	티타늄과 그 제품

자료: 해양수산부(2023b), p.66 이후 내용을 참고하여 저자 재정리

기타광석에 해당하는 다양한 광종 중 국내에서는 석회석을 비롯하여 구리, 니켈, 아연, 동 등이 많이 활용된다. 이들 광종은 제철용, 시멘트 생산, 아연 및 합금철 생산 등 대부분 산업용 재료로 사용된다. 특히 동, 아연 등 비철금속 광물들은 철강, 자동차, 가전, 전기, 건설산업의 중요한 기초 소재 산업 재료로 활용되고 있다. 우리나라는 자원부족국가로 석회석 등 일부 비금속 광물을 제외하고는 대부분 수입에 의존하고 있다.

산업용 재료로 사용되는 아연, 동 등 비철금속 광물들의 경우 광석(정광) 형태로 수입하여 제련과 정련 과정을 거쳐 다양한 형태의 순도가 높은 금속 제품을 생산한다. 이때 광물은 원광이 아닌 정광의 형태로 대부분 해상 운송을 통해 수입하고 있다. 광산에서 채굴된 광석이 선광 공정을 거치면 유용한 광물이 농축된 정광을 얻게 되는데, 이때 목적으로 하는 금속 원소를 추출한 뒤 정제 과정을 통해 원하는 순도의 화합물 또는 금속으로 회수하는 과정을 제련이라고 부른다. 리튬광과 니켈광, 코발트광 등은 이러한 제련 공정을 거쳐 배터리 핵심 원료인 수산화리튬, 황산니켈, 황산코발트 등으로 생산되며, 해당 생산품들은 품목분류 체계상 ‘화학공업생산품’으로 분류된다.

한편, 최근 2050 탄소중립 달성을 위해 세계 주요 국가들이 에너지 전환을 적극적으로 추진하는 가운데 재생에너지 및 수소산업 등에 구리, 니켈 등 비철금속 광물들이 주목을 받고 있다. 또한 전기차가 대중화되기 시작하면서 중요성이 더욱 확대되고 있다.²⁰⁾ 한편, 그간 비철금속 기업들은 제조 공정상 환경 오염이 불가피해 부정적인 이미지가 많았으나, 최근 친환경 제련 기술 개발, 전기차 배터리 재활용 사업에 진출하는 등 다양한 노력을 통해 녹색 제련소로 이미지 변신을 시도하고 있다.

20) 전국투자자교육협의회(검색일: 2024.5.17.)

2. 국내외 기타광석 연관 산업 동향 분석

기타광석은 해당하는 광물의 종류가 다양한 만큼 연관되는 산업군도 다양한 편이다. 기타광석에 해당하는 광물류 중 대표적인 비금속광물인 석회석은 건축재료로 쓰이는 시멘트 생산을 위한 주원료로 화학공업, 제지, 의약품 등에도 널리 사용되고, 고령토의 경우에는 종이, 화장품의 원료로 주로 쓰인다. 금속광물인 텅스텐의 경우에는 특수강의 합금(금속을 단단하게 만드는 일) 원료로 사용되며, 스마트폰, 전기차, 첨단 무기 제조시에도 반드시 필요한 광물이다.

본 절에서는 기타광석의 주된 사용처를 고려하여 연관된 산업의 동향을 분석해 보고자 한다.

1) 저탄소 에너지 전환 정책 추진

전 세계적으로 에너지 전환 정책이 추진되고 있는 가운데 태양광, 풍력 발전 등 재생에너지 수요는 점점 더 중요해지고 기존 화석에너지 수요는 감소할 것으로 전망된다.²¹⁾ 이러한 저탄소 에너지로의 전환은 에너지 시장 뿐만 아니라 광물 시장에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 태양광·풍력 발전설비와 전기자동차의 보급 확대는 실제 작동을 위한 연료는 필요로 하지 않지만, 설치 시에는 화석연료 기반의 설비보다 더 많은 광물을 필요로 하기 때문이다. IEA가 2021년에 발표한 자료²²⁾에 따르면, 전기자동차의 광물 수요가 기존 내연기관 자동차의 여섯 배, 육상풍력 발전은 가스화력의 아홉 배에 달하는 광물자원을 필요로 한다. 리튬, 니켈, 코발트, 마그네슘, 흑연 등은 이차전지의 성능 및 수명에 핵심적인 역할을 하는 광물이

21) 김태현·박지민(2021), p. 4.

22) IEA(2021), p. 5.

며, 희토류는 풍력발전 터빈, 전기차 모터 핵심 부품인 영구 자석 제조에 필수적인 소재이다. 구리와 알루미늄은 송배전망 건설 시 많은 양이 필요한 등 청정에너지로의 전환시 시스템 구축을 위해 광물자원의 소비가 대폭 늘어날 것으로 전망된다. 실제로 2010년 이후 신규 투자에서 재생에너지의 비율이 증가함에 따라 신규 발전설비 용량당 필요한 광물량은 약 50% 이상 증가했다. 또한 IEA도 2050 탄소중립 달성을 위해 2040년까지 핵심광물의 수요가 2020년 대비 약 4배, 2050년까지는 약 여섯 배 이상 증가할 것으로 전망하였다.

특히 전기자동차의 보급 확대에 따른 이차전지, 태양전지 등의 소재로 사용되는 광물 수요가 크게 증가할 것으로 전망된다. 전기자동차용 이차전지의 경우 우리나라가 전기자동차의 제조 경쟁력을 가지고 있기 때문에 핵심광물자원인 니켈, 코발트, 흑연 등에 대한 공급망 확보가 더욱 중요하다. 아울러 EV 및 배터리 저장 관련 광물 수요는 기존보다 약 30배 이상 증가할 것으로 전망되는 등 화석연료 기반 설비보다 청정에너지 시스템 구축을 통해 많은 광물 수요가 발생할 것으로 전망된다.

2) 화력발전소 폐쇄 등 탈탄소 정책 트렌드

발전산업은 전기를 생산하고 이를 전력시장을 통해 전기판매 사업자에게 공급함을 주된 목적으로 하는 사업이다. 전기를 생산하기 위해 원자력, 석탄, LNG 등 다양한 발전원을 이용하지만, 이 중에서도 석탄을 이용한 화력발전소는 석회석을 원료로 많이 사용한다.

화력발전소는 발전과정에서 생기는 유해물질인 황산화물(SO_x)을 탈황설비를 통해 제거하는데, 석회석은 이 탈황작업에 사용된다. 제철소(포스코, 현대제철)에서는 제철 과정에서 부산물로 발생하는 석회슬래그가 화력발전소에서는 탈황제로 사용된다. 당진제철소를 운영 중인 현대제철은 중부발

전과의 업무협약을 통해 석회슬래그를 매년 7만 톤 이상 보령화력발전소에 탈황제로 제공한 바 있다.²³⁾ 화력발전소에서 사용되는 탈황용 석회석은 산업의 트렌드보다는 화력발전소의 구매에 따라 판매 또는 생산량이 좌우된다.²⁴⁾

현재 산업통상자원부의 ‘제10차 전력수급기본계획(2022~2036)’이 수립되어 있으며, 노후 발전설비 폐지, LNG 연료 전환, 노후석탄의 봄철 가동 중지, 석탄발전 상한제약 등 설비용량과 발전량을 축소하는 등, 전 세계적인 탈석탄 정책 트렌드에 따라 화력발전 설비는 지속적으로 감소하는 추세를 보일 것으로 전망된다. 이에 따라 화력발전소에서 사용되는 석회석 등 기타광석류의 수요 감소가 전망된다.

3) 핵심광물 확보의 불확실성

제련은 광산에서 채굴된 광석, 즉 원광(原鑛)을 이용하는 경우도 있으나, 대부분은 사전에 목적으로 하는 금속 성분의 품위를 높이는 작업을 진행한다. 구리, 아연, 니켈 등 비철금속들 대부분 광산에서 채굴한 자연상태의 광물에서 필요한 부분만 골라내 품위를 높이는 작업을 하는데, 이를 선광이라고 하며, 선광처리 후 제련소로 이동하는 광물을 정광이라고 한다.

다만, 정광이라고 하더라도 필요로 하는 성분이 100% 모인 상태가 아니기 때문에 필요 없는 성분을 한 번 더 걸러내는 과정이 ‘제련’이다. 즉, 정광형태의 비철금속 광물들은 제련과정을 통해 모든 제품의 광물 재료로 활용된다. 국내 대표적인 제련기업으로는 고려아연, LS MnM(舊 LS-Nikko) 등이 있다.

23) 한국철강협회(검색일: 2024.5.15.)

24) 한국지질자원연구원(2021), p. 167.

최근 전 세계 국가들을 중심으로 핵심광물자원의 안정적인 공급망을 구축하기 위해 소리없는 전쟁이 치열하게 벌어지고 있다. 우리나라는 자원부족 국가로서, 전기차용 배터리 소재에 사용되는 주요 핵심광물의 경우 대 중국 수입의존도가 80~90%에 이르는 등 핵심광물자원에 대한 공급망 리스크가 크다. 우리나라는 이를 해소하기 위해 지난 2023년 2월 산업통상자원부가 ‘핵심광물 확보전략’을 수립하였으며, 총 33종의 핵심광물과 10대 전략 핵심광물을 지정하고, 안정적인 공급망 구축을 위해 세 개 분야 여덟 개의 구체적인 Action plan을 제시하였다. 그 전략의 하나가 핵심광물 비축과 정·제련 경쟁력 확보를 내용으로 하는 핵심광물 공급망 안정화이다.

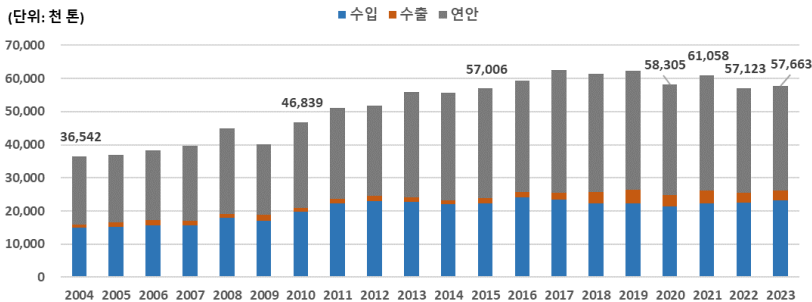
핵심광물 확보전략의 주요 내용을 살펴보면, 10대 전략 핵심광물로 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 흑연, 희토류 5종(세륨, 란탄, 네오디뮴, 디스프로슘, 터븀)을 선정하고, 수급위기 대응을 위해 핵심광물 비축일수를 현재 54일에서 100일로 확대하였다. 또한 핵심광물 비축기지 신설을 추진하며, 긴급상황 발생 시 8일 내 수요기업에게 원료를 공급할 수 있는 비축물자 신속 방출제도 도입을 통해 수급 충격에 적시에 대응할 수 있도록 한다는 방침이다. 이를 통해 2030년까지 핵심광물의 수입 의존도를 현재 80% 수준에서 50%대로 완화하는 것을 목표로 하고 있다.

제2절 기타광석 항만물동량 예측모형 진단

1. 기타광석 항만물동량 현황 및 특징

기타광석의 항만물동량은 수입, 수출, 연안 물동량으로 구분하고 있으며, <그림 5-1>에서 볼 수 있듯이 2023년 기타광석의 총물동량은 5,766만 3천 톤을 기록하였다. 기타광석 가장 큰 비중을 차지하는 연안 물동량은 3,137만 8천 톤으로 전체 물동량 중 59.6%를 차지한다. 같은 기간 수출입 비중은 각각 34.8%(2,320만 2천 톤)와 5.6%(307만 8천 톤)이다. 우리나라는 자원빈국으로서 산업용 재료로 사용되는 광물은 대부분 수입에 의존하고 있다.

<그림 5-1> 기타광석 물동량 추이



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 참고하여 저자 작성

기타광석 중 가장 큰 비중을 차지하는 석회석의 경우 국내에서 생산되는 비금속 광물이다. 석회석은 강원권에서 채굴하여 동해항에서 선적해 연안 운송을 통해 제철소가 위치한 광양항, 포항항, 평택·당진항에 하역하는 유통구조를 가지고 있다. 또한 동해·묵호항, 옥계항, 삼척항 등에서는 시멘트 생산을 위한 원료로 투입되고 있다.²⁵⁾

금속광물 중 아연정광은 아연제련소의 주원료로 광산에서 캐내는 아연광석을 미세하게 분쇄하여 선별작업(부유선광)을 거쳐 암석덩어리를 가려내고, 아연 함량을 50~60% 정도로 높인 광석을 말한다. 국내 아연광의 주요 수요처는 고려아연 온산제련소와 영풍 석포제련소이며, 대부분 GHW, 페루, 미국, 멕시코 등지에서 수입하여 사용하고 있다. 2023년 기준 국내에서 수입한 아연정광은 177만 7천 톤이며, 2021년부터 2023년까지 최근 3개년 동안 평균 약 176만 2천 톤을 수입하였다.²⁶⁾

동정광의 경우 전량 수입하고 있으며, 2023년 기준 219만 8천 톤을 수입하였다. 주요 수입 국가는 칠레가 20.7%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 밖에 인도네시아(19.2%), 페루(14.0%), 호주(13.9%), 캐나다(7.7%) 등이 있다.²⁷⁾

2. 기존 기타광석 예측모형의 특징 및 한계

1) 예측모형의 개요 및 특징

기타광석은 앞서 설명하였듯이 해운물류의 화물품목 분류 기준상 HS코드 25, 26, 27에 해당하는 ‘기타광석 및 생산품’으로 분류된다. 기타광석의 항만물동량은 수입, 수출, 연안으로 구분되며, 항만별로 용도에 따른 주된 취급 광종이 상이하기 때문에 물동량 예측은 항만별로 예측한 후 전국 항만물동량을 합산하는 상향식 방식을 사용한다.

기타광석의 물동량 예측은 항만별 특성을 고려하여 활용변수를 다르게 적용한다. 기타광석은 다양한 광종을 보유하고 있어 연관 산업들이 다양하

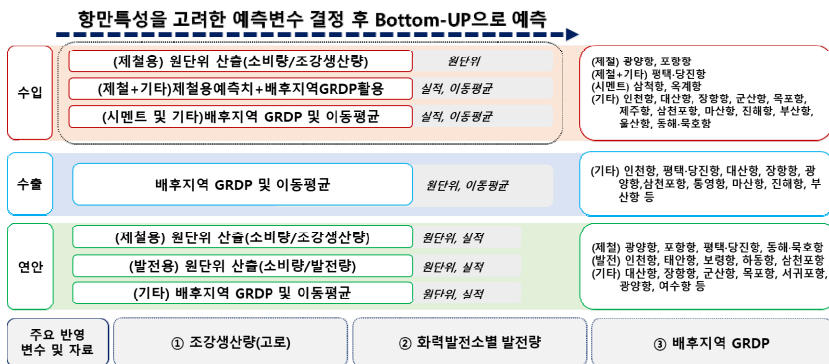
25) KDI(2012), p. 25.

26) 한국지질자원연구원 광물자원통계포털, 통계DB(아연광)(검색일: 2023.5.15.)

27) 한국지질자원연구원 광물자원통계포털, 통계DB(동광)(검색일: 2023.5.15.)

다. 기타광석의 물동량 예측은 기본적으로 실적에 기반한 원단위법을 이용하고 있다. 제철수요가 있는 항만의 경우 인근에 위치한 제철소의 고로 조강생산량을 이용한 원단위를 사용하며, 그 외 항만에 대해서는 배후지역의 지역내총생산(GRDP)을 활용하여 예측한다. 다만, GRDP의 경우 실적 기반의 시계열 데이터를 바탕으로 우리나라 GDP 성장률을 이용한 자체 예측치를 변수로 활용하고 있다. 또한 수출 및 연안 물동량은 기본적으로 수입 물동량과 동일한 예측 방법을 적용하고 있다. 기타광석의 항만물동량 예측을 위한 전반적인 프로세스는 <그림 5-2>와 같다.

<그림 5-2> 기타광석 예측 프로세스



자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 67

① 수입 물동량

기타광석의 수입 물동량을 예측하기 위한 변수는 항만별 특성을 고려하여 적용한다. 포스코 포항제철소 및 광양제철소 인근에 위치한 포항항과 광양항은 제철 관련 수요의 비중이 높으므로 고로 조강생산량을 활용해 원단위를 산출하였다. 평택·당진항은 제철용 및 기타 용도의 기타광석 물동량이 혼재하므로 조강생산량 및 GRDP를 기반으로 물동량을 전망한다. 옥계항과 삼척항은 대부분 시멘트 생산원료로, 동해·묵호항은 아연, 합금철 등

의 생산원료로 기타광석을 수입하므로 배후권역의 GRDP를 이용하여 원단위를 산출한다. 그 외 항만도 배후권역에 입지한 관련 산업에서 다양한 용도로 기타광석이 활용되기 때문에 각 배후권역의 GRDP를 이용하여 장래 물동량을 예측한다.

기타광석의 수입 물동량 전망을 위해 우선 항만별로 영향을 미치는 지역의 GRDP와 실제 수입량 간 원단위를 산출하고 최근의 추세를 반영하여 가중이동평균법을 이용하여 전망하며, 산식은 [식 5-1]과 같다.

$$\theta_{i,t+1} = \sum_{j=t-n+1}^t w_{ij} \theta_{ij} \quad \dots\dots\dots [\text{식 5-1}]$$

단, $w_t + w_{t-1} + \dots + w_{t-n+1} = 1$

여기서 $\theta_{i,t} = Y_{i,t}/Z_{i,t}$ 는 GRDP 대비 수입 물동량의 원단위이며, $Y_{i,t}$ 는 i 항만의 t 기 수입 물동량, $Z_{i,t}$ 는 t 기 해당 지역의 GRDP, w_{ij} 는 i 항만의 연도별 가중치, n 은 이동평균 기간을 의미한다. 다만, 제철소가 위치한 포항항, 광양항의 경우 GRDP를 대신해서 조강생산량을 활용해 원단위를 산출한다. 이후 최종 항만별 수입 물동량은 원단위와 GRDP 전망치의 곱으로 예측하고, 이를 합산하여 전체 기타광석 수입 물동량을 산정한다.

② 수출 및 연안 물동량

기타광석 수출 및 연안 물동량은 수입 물동량 예측과 동일한 방법으로 장래 물동량을 전망한다. 수출 및 연안 물동량 예측은 수입 물동량 예측 방법과 동일하게 항만별 수출 물동량 실적과 배후지역의 GRDP를 활용하여 원단위를 산출 후 장래 GRDP 추정치와의 곱으로 전망한다.

동해·묵호항 및 옥계항의 연안 물동량은 광양항, 포항항 및 평택·당진항 등으로 입항하는 제철용도의 석회석 물량이므로 조강생산량의 합계로 나눈

값의 가중이동평균값을 원단위로 적용하였다. 다만 연안 물동량이 전체 항만물동량의 1% 미만 수준이지만 지속적으로 물동량이 발생하는 항만은 최근 5년간 평균 물동량을 적용하였다.

2) 기존 예측모형의 한계점과 개선방향

① 제한적인 변수 활용

기존의 기타광석 항만물동량 예측모형은 변수의 활용이 제한적이라는 한계점이 있다. 제철수요가 있는 평택·당진항, 포항항, 광양항의 경우 항만물동량 전망 시 국내 조강생산량을 투입변수로 활용하고 있는데, 장기 예측자료의 부재로 자체 예측치를 활용함으로써 과대 예측의 우려가 상존해 있다. 또한 배후지역의 GRDP 역시 실적치와 장래 GDP 증가율을 이용하여 자체 전망한 데이터를 변수로 활용하고 있는 상황이다.

현재 기타광석 전망 시 활용 변수로는 배후지역의 GRDP, 고로 조강생산량, 화력발전소 발전량 등이 있다. 그러나 석회석, 아연, 니켈, 망간 등 기타광석으로 분류되는 광종의 특성 및 주된 용도를 고려했을 때 건설수주액(건설경기), 시멘트 생산량, 관련 산업 동향 등이 종합적으로 고려되지 못하는 측면이 있다.

② 다양한 광종 특성 및 수급구조 미고려

HS코드 분류상 기타광석으로 분류되는 광종들은 매우 다양하며, 광물에 따라 활용되는 산업군 또한 다양할 것으로 판단된다. 그러나 기존 예측모형에서는 광종 구분 없이 항만별 물동량의 시계열 데이터와 배후지역의 산업군 반영을 위해 시도별 GRDP 변수를 이용하여 예측을 진행하고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 기타광석으로 분류되는 광물의 종류가 다양한데, 모든 산업군을 고려한 예측은 불가능하기 때문에, 국내에서 소비량이 많은

광물, 즉 석회석, 아연, 동 등 주요 광종을 중심으로 국내 수요 및 공급구조 등을 고려한 예측모형 개선이 필요하며, 이를 위해서는 우선 광종별 특성을 고려한 유형화가 우선되어야 한다. 유형 분류를 통해 유형별로 적용 가능한 변수를 발굴한 후 그에 맞는 예측모형을 구축하고자 한다.

〈표 5-3〉 기타광석 예측의 한계점 및 개선방향

항목	한계점	개선방향
제한적 변수 활용	기존 예측모형에 활용 변수 제한적	• 추가 변수 발굴 및 적용
광종별 특성 및 공급 구조 미고려	다양한 광종별 특성 및 공급구조를 고려한 예측 미고려	• 주요 광종을 중심으로 유형화하고, 그룹별 특성을 고려한 신규 예측모형 구축

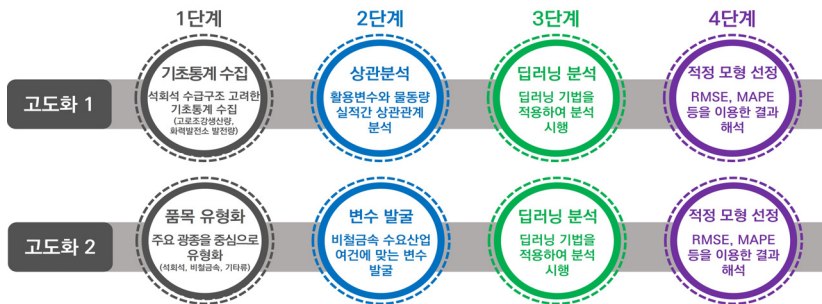
자료: 저자 작성

제3절 기타광석 항만물동량 예측모형 고도화

기타광석의 경우 다양한 광종에 따른 수요 산업의 영향으로 명확한 인과 관계를 나타내는 변수 발굴이 제한적이어서 고도화하는 데 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 기타광석 가운데 주요 광종의 공급 구조를 고려하여 광종별 예측모형 구축을 통해 변수 추가 및 모형 다양화를 진행하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 기타광석을 주요 광종인 석회석, 비철금속, 기타(소금류, 슬래그류) 등으로 구분하고, 구분된 광종에 대해 예측모형을 구축하고자 한다. 다만, 기타광석의 다양한 광종으로 인해 광종의 특징 등을 고려하여 분류하더라도 분류의 수가 적지는 않다. 구분된 모든 광종에 대해 예측모형을 구축하는 것은 시간적·물리적 한계가 있으며, 또한 다년도에 걸쳐 심도 있는 접근이 필요하기 때문에 본 연구에서는 연안 물동량의 대부분을 차지하고 있는 석회석과 수입 물동량에서 가장

큰 비중을 차지하고 있는 비철금속에 대한 예측모형을 개선하였다. <그림 5-3>은 본 절에서 다룰 두 가지 고도화 방안의 단계별 프로세스이다. 한편, 기타광석 수출 물동량의 경우 전체 물동량 중 약 5%의 수준으로 다소 미미한 비중을 차지함에 따라 별도의 고도화 작업은 수행하지 않기로 한다.

<그림 5-3> 기타광석 예측 고도화 절차



자료: 저자 작성

1. 석회석 예측모형 구축

1) 데이터 수집 및 변수 선정

기타광석으로 분류되는 광물류 중 석회석은 대부분 연안 물동량으로 처리되고 있다. 석회석 생산지역인 강원도에서 석회석이 필요한 제철소 및 화력발전소 인근 항만으로 연안 운송되고 있는 구조이다. 따라서 석회석 예측물동량의 종속변수는 연안 물동량으로 산정하여, 석회석 연안 물동량의 주요 수요처인 제철소 및 화력발전소 관련 변수를 독립변수로 고려하고자 한다. 이를 위해 2000~2023년도 국내 고로 조강생산량과 화력발전소 발전량의 데이터를 수집하였으며, 두 변수와 연안 물동량 간의 상관관계 분석 결과 모두 80% 이상으로 높게 나타났으며 기초통계량은 <표 5-4> 및

〈표 5-5〉와 같다. 이때, 두 변수 모두 장기 전망치가 부재하나, 앞선 제3장에서 철광석 예측모형 고도화에 따른 개선 사항으로 고로 조강생산량 예측모형을 개선한 바 있다. 따라서 고로 생산량의 경우 제3장 제3절의 모형에 따른 전망치를 활용하고, 화력발전량의 경우 추세분석을 통해 2040년까지 예측하여 사용했다. 이때, 화력발전량은 최근 친환경 정책 확대에 따라 둔화된 증가세를 고려하기 위해 2000년 이후 추세를 고려하여 전망했다.

〈표 5-4〉 기타광석 연안 물동량과 변수 간 상관관계(2000~2023)

변수	고로 생산량	화력발전량	연안 물동량
고로 생산량	1.000	-	-
화력발전량	0.854	1.000	-
연안 물동량	0.958	0.842	1.000

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.9.9.); 한국철강협회(검색일: 2024.9.9.); 전력통계정보시스템(검색일: 2024.9.9.)

〈표 5-5〉 기타광석 연안 물동량과 예측모형 변수 기초통계량(2000~2023)

단위: 천 톤, GWh

변수	최대값	최소값	평균	표준편차
고로 생산량	48,716	24,666	37,463	10,018
화력발전량	231,887	99,427	176,005	39,313

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.9.9.); 한국철강협회(검색일: 2024.9.9.); 전력통계정보시스템(검색일: 2024.9.9.)

2) 모형 설계

기존 기타광석 연안 물동량 예측모형과 예측력을 비교하기 위해 앞서 선정된 추가 변수를 바탕으로 회귀분석, RNN 모형, MLP 모형을 활용하고자 한다. 이때 모형 분석 프로그램은 파이썬을 활용했다.

또한, 모형 간 성능비교를 위해 K-Fold 방식을 활용하였다. 다만, 기존 연안 물동량 예측모형의 경우 항만별로 원단위 및 추세분석 등 예측 방법론을 달리 적용하는 상향식을 적용하고 있어 K-Fold 방식으로는 비교·검증이 어렵다. 따라서 기존 모형에 대해서는 K-Fold 방식이 아닌 2000~2013년도를 훈련세트, 2014년~2023년을 테스트세트로 지정하여 RMSE와 MAPE를 도출하여 모형 간 예측값을 비교·검증했다.

3) 분석 결과 및 검증

석회석 예측모형의 분석 결과 <표 5-6>과 같이 대부분 과소 추정되는 경향이 나타나고 있으나 특히 기존 모형이 과소 추정되는 경향이 강하게 나타났다. 반면, 새로 추가된 세 모형은 모두 최근으로 갈수록 실제값을 어느 정도 유사하게 반영하고 있는 것으로 나타났다.

<표 5-6> 연안 물동량 전망 모형 간 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형	다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
2014	32,307	29,388	33,434	33,131	33,540
2015	33,033	29,903	34,090	33,617	34,111
2016	33,687	30,172	33,599	32,843	33,711
2017	36,929	33,443	33,983	32,930	34,583
2018	35,811	33,409	34,299	34,700	34,721
2019	35,923	31,596	34,360	34,067	34,536
2020	33,495	27,019	32,644	31,517	31,742
2021	34,820	27,245	33,596	33,144	32,338
2022	31,675	26,934	32,028	32,438	31,582
2023	31,378	25,855	32,926	31,721	31,800

자료 : 저자 작성

모형 간 성능비교를 위해 K-Fold 방식을 활용하여 RMSE와 MAPE를 검토한 결과 <표 5-7>과 같이 RMSE는 MLP 모형에서 가장 낮은 값을 나타냈으나, MAPE는 회귀 모형에서 가장 낮은 값을 나타냈다. RMSE의 경우 절대적인 오차 크기를 측정하는 판단지표로 큰 오차를 줄이는 것이 중요한 경우에 해당 판단지표를 고려할 수 있다. MAPE의 경우 백분율을 기반으로 비율적인 오차 크기를 판단하는 지표로 전체적인 비율로 오차를 관리하는 것이 중요한 경우 이를 고려하여 판단할 수 있다. 본 연구에서는 큰 오차보다는 전체적인 비율로 오차를 관리하는 것이 중요하다고 판단하여 MAPE 지표가 가장 낮은 회귀 모형을 최종 연안 물동량 회귀 모형으로 선정하고자 한다.

<표 5-7> 석회석 예측모형 간 예측 정확도 비교

연도	기존 모형	다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
RMSE	46.9	16.4	18.3	15.9
MAPE	13.1	5.2	6.3	5.3

자료: 저자 작성

2. 비철금속 예측모형 구축

1) 데이터 수집 및 변수 선정

기타광석으로 분류되는 광물류 중 철이 아닌 금속인 비철금속에는 구리, 아연, 납, 니켈 등이 포함되며 해당 금속은 기타광석 수입 물동량에서 약 38.5%(2019~2023년 평균) 비중을 차지하고 있다. 이러한 비철금속은 주로 건설, 제조, 전자, 자동차 산업 등 전 산업에 광범위하게 활용되고 있으며 대부분 수입에 의존하고 있다. 이 같은 비철금속 수요 산업의 특성을 반영하기 위해 본 연구에서는 국내 총 GDP, 국내 제조업 생산지수, 국내

비금속 광물제품 제조업 지수 등 거시경제지표를 추가 변수로 고려하고자 한다. 또한 이러한 비철금속은 원자재 시장에서 큰 변동성을 가지고 있으며 주로 달러로 거래되고 있기 때문에 주요 통화의 환율 변동이 해당 금속에 직접적인 영향을 미칠 수 있어 환율 역시 주요 변수로 고려하고자 한다.

추가로 선정된 변수와 기타광석 수입 물동량 간의 상관관계 분석 결과 <표 5-8>과 같이 환율 변수를 제외하고는 모두 70% 이상의 상관관계를 나타냄에 따라 해당 변수를 추가 변수로 적용하고자 한다. 다만 전 산업생산 지수에 제조업 산업이 포함되어 있으므로 본 연구에서는 상관관계가 더 높게 나타난 전 산업생산지수를 최종 변수로 사용하도록 한다. 최종적으로 모형에 활용되는 데이터는 1994~2023년까지이며 기초통계량은 <표 5-9>와 같다.

<표 5-8> 기타광석 수입 물동량과 변수 간 상관관계(1994~2023)

변수	한국 제조업 생산지수	비금속 광물 제품 제조업 지수	국내 GDP	환율 (원/달러)	수입 물동량
한국 제조업 생산지수	1.00	-	-	-	-
비금속 광물제품 제조업 지수	0.79	1.00	-	-	-
국내 GDP	0.99	0.79	1.00	-	-
환율(원/달러)	0.36	0.01	0.39	1.00	-
수입 물동량	0.98	0.81	0.96	0.36	1.00

자료: 해양수산부 통합 PORT-MIS, S&P Global(검색일: 2024.9.9.); 통계청(검색일: 2024.9.9.)

<표 5-9> 최종 선정된 수입 물동량 변수 기초통계량(1994~2023)

구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
국내 전 산업생산지수	109	46	82	21
국내 GDP	1,894	8,43	1,387	328

자료: S&P Global(검색일: 2024.9.9.)

2) 모형 설계

앞서 선정된 두 개의 추가 변수를 고려하여 기타광석 수입 물동량 예측 모형을 회귀분석, RNN, MLP 모형을 적용하여 모형 간 예측력을 비교·검증하고자 한다. 모형 설계는 앞선 석회석 모형 설계를 참고하여 진행했다. 또한, 모형 간 성능 비교를 하기 위해 통상 본 연구에서는 K-Fold 방식을 적용하는데, 기존 기타광석 수입 예측모형의 경우 제철용, 시멘트, 기타 등으로 수요처를 구분하여 항만별로 원단위 및 GRDP 회귀 모형 등 예측 방법론을 달리 적용하고 있어 기존 모형의 경우 K-Fold 방식이 아닌 2000~2013년도를 훈련세트, 2014년~2023년을 테스트세트로 지정하여 RMSE와 MAPE를 도출하여 모형 간 예측값을 비교·검증했다.

3) 분석 결과 및 검증

비철금속 예측모형의 분석 결과 기존 모형은 대부분 과대 추정되는 경향이 높게 나타나고 있다. 새로 추가된 세 모형은 모두 최근으로 갈수록 실제 값과 비교하여 소폭 과대 추정되는 경향을 나타냈다. 특히 RNN 모형의 경우 2019년 이후부터는 실제값 대비 과대 추정된 결과를 나타내고 있으며 그 차이도 크게 나타나고 있다. 회귀 모형과 MLP 모형의 경우는 2021년~2022년 실제값을 반영하지 못하고 있으나, 2023년에는 차이값이 크게 개선된 결과를 나타냈다. 분석 결과는 다음 <표 5-10>과 같다.

〈표 5-10〉 수입 물동량 전망 모형 간 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형	다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
2014	21,937	25,328	21,794	20,629	21,276
2015	22,352	25,950	21,432	20,880	21,249
2016	24,041	25,468	21,640	22,062	22,493
2017	23,480	25,576	22,170	22,548	22,002
2018	22,364	25,917	22,283	22,343	22,284
2019	22,227	26,163	22,019	23,765	22,361
2020	21,437	24,884	22,059	23,234	22,290
2021	22,340	25,842	23,953	24,462	24,201
2022	22,518	24,352	23,943	24,523	23,588
2023	23,202	25,348	23,020	24,704	23,316

자료: 저자 작성

모형 간 성능비교를 위해 K-Fold 방식을 활용하여 RMSE와 MAPE를 검토한 결과 〈표 5-11〉과 같이 회귀 모형에서 RMSE와 MAPE가 가장 낮게 나타났다. 회귀 모형은 기존 모형과 비교하여 약 8.2%p의 예측 오차율을 개선시킨 것으로 나타났다.

〈표 5-11〉 비철금속 예측모형 간 예측 정확도 비교

연도	기존 모형	다중회귀 모형	RNN 모형	MLP 모형
RMSE	30.2	10.3	13.9	11.8
MAPE	12.9	4.7	6.4	6.3

자료: 저자 작성

제4절 소결 및 시사점

국내에서 산업용 소재로 주로 사용하는 광석류는 석회석 등 국내 생산이 가능한 일부 광종을 제외하고는 대부분 수입에 의존하고 있다. 특히 우리나라는 자원부족국가이기 때문에 원료로 사용되는 핵심광물에 대한 해외 의존도가 절대적이라고 할 수 있다. 이에 따라 국내뿐만 아니라 국제 정세 및 동향에 직접적인 영향을 받을 수밖에 없는 구조이며, 물동량 예측 시에도 이러한 동향을 반영할 수 있도록 개선이 필요하다.

또한 광종별로 주된 사용처가 상이하므로, 국내에서 주로 취급되는 광종을 중심으로 건설 및 친환경 에너지 등 관련 산업을 고려해야 할 것이다. 최근 전기자동차 및 이차전지용 배터리 등의 사용이 확대되면서 주된 소재인 니켈, 리튬 등 핵심광물에 대한 수요 증가 및 공급망 구축이 중요시되고 있다. 또한 화력발전소 폐쇄 등 탈탄소 정책 트렌드가 예측모형 및 결과에 충분히 반영되어야 할 것이다.

현재 기타광석 항만물동량 예측 시 활용하고 있는 주요 변수는 자체 예측변수를 활용하는 등 제한적으로 활용하고 있으므로, 이를 개선하기 위한 신규 투입변수 발굴 및 다변화를 고려해야 할 필요가 있다. 기타광석으로 분류되는 광물의 주요 수요처인 제철 및 제련소, 화력발전소 등의 업계 동향 및 수급구조 분석을 통해 소비량에 영향을 미칠 요인을 추가 발굴하여 모형에 적용할 필요가 있다.

또한 HS코드 분류상 기타광석으로 분류되는 광종들이 다수 있으나, 기존 예측모형에서는 광종 구분 없이 항만별 물동량 시계열 데이터와 단일 변수를 이용하여 예측하고 있다. 석회석, 아연, 동 등 국내에서 주로 소비되는 주요 광종을 중심으로 국내 수요 및 수급구조 등을 고려한 예측모형

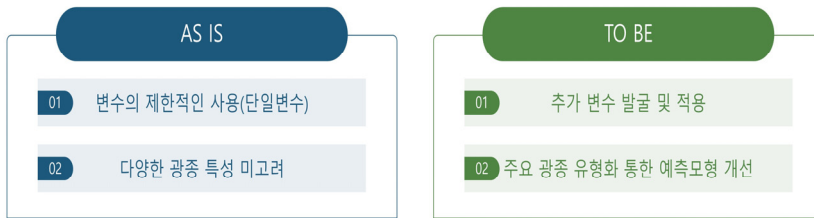
구축을 통해 업제의 동향 및 경기 변화에 따른 예측치의 결과가 보다 현실적이고 안정화될 수 있도록 보완할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 기타광석을 주요 광종인 석회석, 비철금속, 기타(소금류, 슬래그류) 등으로 구분하고, 이 가운데 연안 물동량의 대부분을 차지하는 석회석과 수입 물동량에서 가장 큰 비중을 차지하는 비철금속에 대한 예측모형을 구분하여 예측하였다. 첫째로 석회석 예측모형 구축을 위해 해당 석회석을 연안 운송을 제공받는 제철소 및 화력발전소 산업과 관련된 고로 조강 생산능력과 화력발전소 발전량을 주요 변수로 고려했다. 추가된 변수를 통해 다양한 예측모형을 적용한 결과 회귀 모형이 가장 낮은 MAPE 값을 나타냈으며 기존 모형과 대비하여 약 7.8%p의 예측 오차율이 개선된 것으로 나타났다.

둘째로 비철금속 예측모형 구축을 위해서 비철금속 산업과 관련된 국내 전 산업생산지수, 국내 제조업 산업지수, 국내 비금속 광물제품 제조업 지수, 국내 GDP, 환율 등을 추가적으로 검토한 결과 최종적으로 국내 전 산업생산지수와 국내 GDP가 최종 변수로 선정됐다. 추가된 변수를 토대로 모형을 다양화하여 검토한 결과 회귀 모형에서 RMSE와 MAPE가 가장 낮게 나타났으며 기존 모형과 대비하여 약 8.2%p 오차율이 개선된 것으로 나타났다. 기타광석 항만물동량 예측모형의 고도화 결과는 <그림 5-4>와 같다.

다만, 수입 물동량의 경우 물리적·시간적 한계로 비철금속 관련 모형을 활용하기는 하였으나, 그 외 소금류와 슬래그 비중도 높은 편이다. 향후 소금류와 슬래그 등 기타 광종에 대한 예측모형을 구축한 후 광종별 예측 결과 합산을 통해 수입 물동량 예측의 정확성을 제고할 필요가 있다.

〈그림 5-4〉 기타광석 항만물동량 예측모형 고도화 결과



자료: 저자 작성

06

잡화 항만물동량 예측모형 고도화

잡화 항만물동량 예측모형 고도화를 위해 우선 국내외 잡화 연관 산업을 검토하고, 기존 잡화 항만물동량 예측모형의 한계점을 발굴하고자 한다. 이때 잡화 연관 산업은 기계류, 식품류, 기타류로 구분하여 살펴보고 이를 통해 해당 산업의 동향 반영 및 기존 모형의 한계점을 개선하기 위해 추가 변수 발굴 및 모형 다양화를 진행하여 고도화하고자 한다.

제1절 국내외 잡화 연관 산업 동향

1. 잡화 연관 산업 개요

잡화는 육류, 비료, 기계류 등 16개의 세부품목으로 구성되어 있다. 모든 세부품목과 연관된 산업을 하나로 특정할 수는 없기 때문에 16개 품목을 기계류, 식품류, 기타로 구분한 다음 관련 산업의 특징을 살펴보았다.

〈표 6-1〉 잡화 구성 세부품목

구분	화물품목명	HS code
기계류 (4)	비철금속 및 그 제품	• 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83
	기계류 및 그 부품	• 84, 90
	전기기기 및 그 부품	• 85
	항공기·선박 그 부품	• 88, 89(8908 제외)
식품류 (7)	육류	• 02
	어패·갑각류	• 03
	제분공업생산물	• 11
	기타 동·식물성 생산물	• 01, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 12, 13, 14
	동식물성 유지류	• 15
	당류	• 17
	음료·주류·조제식품	• 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
기타 (5)	비료	• 31
	플라스틱·고무제품	• 39, 40
	피혁류 및 그 제품	• 41, 42, 43
	방직용 섬유 및 그 제품	• 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63
	기타	• 48, 49, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

자료: 2024 해양수산부 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 코드집, p. 10을 바탕으로 저자 재구분

1) 기계류 산업 개요

통계청의 표준산업분류(KSIC)에 따르면 기계산업은 금속제품, 일반기계, 전기기계, 정밀기계, 수송기계 등 5대 업종으로 나뉜다.

〈그림 6-1〉 한국의 기계산업 분류



자료: 자료: 한국기계산업 진흥회, 기계산업의 특성 및 분류(검색일: 2024.5.10.)

기계산업은 산업현장에 각종 설비를 공급하는 산업으로 철강·자동차·반도체 등 주력산업의 핵심기반산업이다. 또한 장기적인 투자가 필요하고 산업 간 연관효과가 큰 고부가가치 산업이다. 기초소재에서 완성 기계 생산까지 최소 4~5단계가 필요하며, 단기간에 경쟁력을 확보하기가 어렵다. 그래서 선·후진국 간 기술 격차가 크며, 선진국 수준에 도달할 경우 국제 무역수지 흑자의 원동력으로 작용한다. 한편 기계산업은 자본·기술집약형 산업이다. 최초 생산 시설 투자에 많은 자본과 부품·소재가 다양하게 소요되는 산업으로, 부품·소재산업의 전문화·공동화 체제가 경쟁력 확보의 관건이다.

2) 식품류 산업 개요

식품은 사람들이 섭취 가능한 먹거리를 의미하는 것으로 농어업·농어촌 및 식품산업 기본법에 따르면 사람이 직접 먹거나 마실 수 있는 농수산물 또는 농수산물을 원료로 하는 모든 음식물로 정의할 수 있다. 이를 근거로 식품산업은 1차 산업인 농림어업을 포함하여 여기에서 생산한 농림수산물을 원료로 가공식품을 생산하는 2차 산업인 식품제조업과 3차 산업인 식품 유통산업 및 외식산업 등으로 정의할 수 있다.²⁸⁾

식품산업의 전통적인 특징을 살펴보면 다음과 같다. 우선 소수 대기업과 다수 영세기업이 병존하는 이중구조를 보이고 있다. 다음으로 영세성이 다른 제조업에 비해 훨씬 높게 나타나고 있다. 셋째로 식품산업은 제조비용에 재료비가 차지하는 비중이 높으며 다른 산업에 비해 부가가치율이 낮다. 마지막으로 식품산업은 노동집약적인 산업이지만 다른 제조업에 비해 고용유발효과나 수입 유발효과가 적은 것이 특징이다.²⁹⁾

〈그림 6-2〉 한국의 식품산업 분류



자료: 식품산업통계정보(FIS), 식품산업의 범위 및 법령 (검색일: 2024.5.10.)

28) 황재현(2014), p.3

29) Deloitte(검색일: 2024.5.10.)

3) 기타(섬유·플라스틱·비료 등) 산업 개요

우리나라의 섬유산업의 구조는 원자재의 1/3을 수입하여 국내에서 완제품으로 가공한 뒤, 그 완제품의 2/3를 수출하는 해외 의존형, 수출주도형 산업 구조를 가지고 있다. 국내 섬유산업의 구조는 <그림 6-3>과 같이 원료·원사·직물·염색·의류·제조·유통으로 이어지는 다단계로 형성되어 있으며 단계별로 고용 창출과 고부가가치 실현이 가능한 것이 특징이다.³⁰⁾

<그림 6-3> 한국의 섬유산업 생산 구조



자료: 한국섬유산업연합회(검색일: 2024.5.10.)

2. 국내외 잡화 연관 산업 동향 분석

1) 기계류 산업 동향 분석

국내 일반기계 산업의 생산은 우리나라 제조업 평균을 상회하는 증가세를 기록하며 2010년 이후 한국 제조업의 성장세를 견인하였다. 2012년 이후 일반기계 산업의 연평균 증가율은 생산 3.9%, 부가가치 4.2%로 생산 부문에 있어서 제조업을 0.7%p 상회하고 있다.

30) 한국섬유산업연합회(검색일: 2024.5.10.)

〈표 6-2〉 일반기계산업의 생산액과 부가가치 추이

단위: 조 원, %

구분		2012	2014	2016	2018	2022	연평균 증가율 ('12~'22)
생산	제조업 (A)	1,511.5	1,489.2	1,415.1	1,576.0	2,073.8	3.2
	일반기계 (B)	102.1	102.4	101.1	123.3	150.3	3.9
	(B/A)	-6.8	-6.9	-7.1	-7.8	-7.2	-
부가 가치	제조업 (A)	480.7	484.5	504.3	565.2	722.3	4.2
	일반기계 (B)	36	37.3	39.3	46.7	54.5	4.2
	(B/A)	-7.5	-7.7	-7.8	-8.3	-7.5	-

자료: 통계청(검색일: 2024.5.10.)

2023년도 우리나라 기계산업 수출금액은 2,205억 달러로 전년 대비 9.4% 증가했으나 수입금액은 0.6% 소폭 증가한 1,397억 달러를 기록하였다. 국내 기계산업의 국가별 수출금액은 미국, 중국, 베트남, 일본 순으로 4개국으로 수출되는 금액의 비중은 51.4%(2023년 기준)이다. 수입 부문에서도 상위 4개국에 대한 의존도가 높는데 국내 기계산업 총수입금액의 59.2%(2023년도 기준)가 4개국과의 교역에서 발생하고 있다.

〈표 6-3〉 국내 기계산업 국가별 수출입 금액

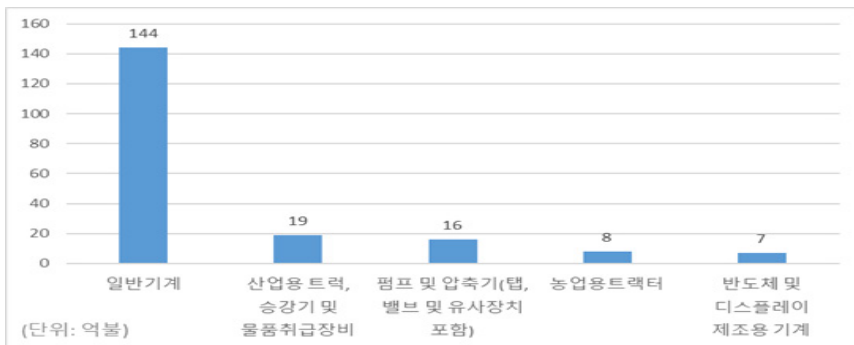
단위: 억 달러, %

구분	2022년		2023년		증가율	
	수출액	수입액	수출액	수입액	수출액	수입액
총계	2,016	1,388	2,205	1,397	9.4	0.6
1 미국	582	241	738	221	26.8	-8.3
2 중국	280	383	240	407	-14.2	6.3
3 베트남	99	39	86	45	-13.7	13.6
4 일본	68	179	70	155	3.5	-13.9
5 캐나다	49	5	63	5	29.1	4.7
6 멕시코	57	18	61	26	7.5	42.6
7 독일	51	148	58	160	12.6	8.6
8 인도	50	7	52	7	3.7	1.6
9 영국	36	22	38	25	6.8	17.4
10 사우디 아라비아	30	0	37	0	24.7	468.3

자료: 한국기계산업 진흥회, 수출입총괄(검색일: 2024.5.10.)

수출입 모든 부문에서 가장 많은 교역을 하고 있는 미국으로 수출되는 상위 수출 품목은 일반기계, 산업용 트럭, 농업용 트랙터와 같은 운송기계 및 반도체 제조용 기계를 꼽을 수 있다.

〈그림 6-4〉 對미국 기계 수출 주요 품목(2023년도 기준)



자료: 한국기계산업 진흥회, 국가별 수출입(검색일: 2024.5.10.) 자료를 바탕으로 저자 재작성

2) 식품류 산업 동향 분석

우리나라 식품제조업 사업체 수는 약 74,000개(2022년 기준)로 전년 대비 0.8% 증가하였다. 총사업체 수는 7만 건을 훨씬 상회하지만 10인 이상의 식품제조업 사업체 수는 6,634개(8.9%)로 타 산업 대비 제조업의 규모가 영세한 것을 확인할 수 있다. 국내 식품제조업체들의 출하액 총액은 약 169조 5천억 원으로 전년 대비 큰 폭의 증가세(14.0%)를 나타냈다. 앞서 살펴본 10% 미만의 10인 이상 기업에서 대부분의 제품을 출하하고 있는 것을 확인할 수 있다(〈표 6-4〉 참조). 2022년도 국내 식품제조업 기업들의 부가가치액은 44조 6,270억 원으로 전년 대비 9.0% 증가하였다.

〈표 6-4〉 국내 식품제조업 산업 현황

단위: 십억 원, %

구분	2020	2021	2022	전년 대비
사업체 수	71,965	73,915	74,505	0.8
사업체 수(10인 이상)	6,079	6,462	6,634	2.7
출하액	125,886	148,711	169,466	14.0
출하액(10인 이상)	102,838	113,133	129,766	14.7
부가가치(10인 이상)(C)	39,408	40,933	44,627	9.0
1인당 부가가치(C/인구)	165	167	177	5.9
부가가치율(C/인구×100)	38	36	34	-5.0

자료: 식품산업통계정보(FIS), 국내 통계 (검색일:2024.5.10.)

국가 전체 수출 대비 약 2% 비중을 점유하고 있는 농식품 수출액은 119억 6천 달러(2022년 기준)로 전년 대비 5.2% 증가했다(〈표 6-5〉 참조). 농림축산 식품의 수출 금액이 두 배 이상 크지만 최근 수산식품의 수출이 큰 폭의 증가세를 기록하고 있는 것을 확인할 수 있다. 농식품 수입액은 수출액 대비 약 5배 큰 규모로 2022년 국내 농식품 수입액은 554억 8,800만 달러를 기록하였다. 농림축산식품과 수산식품 수입액 모두 가파른 증가세를 보이고 있는데 농림축산식품의 경우 최근 3년간 연평균 18.0%의 증가세를 나타냈다.

2022년 수산식품 수입액도 69억 1,700달러로 전년 대비 12.5% 증가했다.

〈표 6-5〉 국내 농식품 수출입 현황

단위: 백만 달러, %

구분	2020	2021	2022	전년 대비
수출액(식품·비식품 포함)	9,869	11,374	11,962	5.2
※ 국가 전체 수출 대비 비중	1.9	1.8	1.7	-5.6
농림축산식품	7,564	8,558	8,824	3.1
수산식품	2,304	2,816	3,138	11.5
수출액(비식품 제외)	7,979	9,456	9,918	4.9
농림축산식품	5,739	6,707	6,845	2.1
수산식품	2,241	2,750	3,072	11.7
수입액(식품·비식품 포함)	39,876	48,053	55,488	15.5
※ 국가 전체 수입 대비 비중	8.5	7.8	7.6	-2.6
농림축산식품	34,279	41,905	48,571	15.9
수산식품	5,597	6,149	6,917	12.5
수입액(비식품 제외)	26,818	31,617	36,286	14.8
농림축산식품	21,464	25,706	29,685	15.5
수산식품	5,354	5,911	6,602	11.7

자료: 식품산업통계정보(FIS), 농식품수출입 (검색일:2024.5.10.)

3) 기타(섬유·플라스틱·비료 등) 산업 동향 분석

섬유산업은 사(yarn), 직물(fabric), 편물(knit), 의류 등 섬유류를 제조·생산·판매하는 사업으로, 국내 섬유생산액은 국내 생산 여건 악화 및 생산기지 해외 이전 등으로 감소하는 추세를 보고 있다. 수출은 2000년 188억 달러를 기록한 이후 감소 추세를 보이다 2010년부터 회복세를 보였지만, 후발국의 성장 등으로 최근 감소국면을 보이고 있다(〈그림 6-5〉 참조). 이후 민간소비 부진으로 인해 섬유산업 수출 금액은 전년 대비 11.2% 감소한 109억 달러

(2023년 기준)를 기록하였다. 한편 섬유 부문 수입은 수출 부진에 따른 원자재 수요 위축과, 인플레이로 인한 중저가 의류 수입 감소로 인해 2023년 수입금액이 전년 대비 5.2% 감소한 189억 달러를 기록한 데 그쳤다.

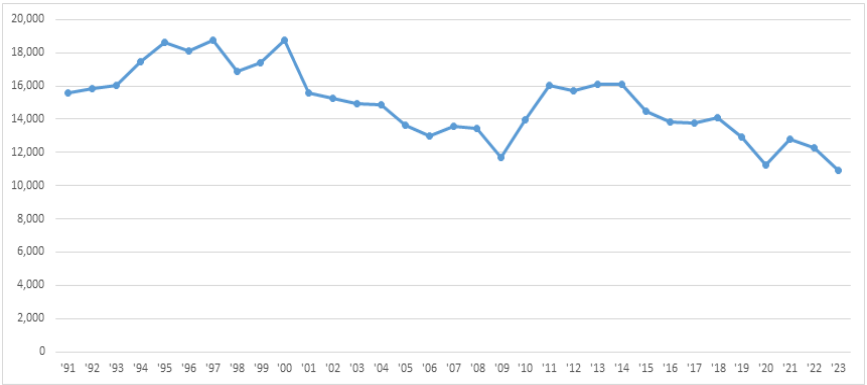
〈표 6-6〉 국내 섬유산업 현황

단위: 백만 달러, %

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023
생산액	40,113	39,393	37,887	37,834	40,231	-
수출액	14,080	12,959	11,238	12,807	12,301	10,922
수입액	17,120	17,110	16,203	18,299	19,901	18,873

자료: e-나라지표(검색일:2024.5.10.)

〈그림 6-5〉 국내 섬유 수출액 추이 변화('91~'23)



자료: e-나라지표(검색일:2024.5.10.) 데이터를 활용하여 저자 재작성

제2절 잡화 향만물동량 예측모형 진단

1. 잡화 향만물동량 현황 및 특징

해운향만물류정보시스템 분류 기준에 따라 잡화 향만물동량은 육류, 어패·갑각류, 기계류 등 16개의 세부품목으로 구성되어 있다. 잡화 물동량을 구성하는 세부품목의 HS코드는 01~09, 11~24, 31, 39~43, 48~71, 74~85, 88~97(8908 제외)로 13개 별크 품목 중 가장 광범위한 분야를 포함한다고 할 수 있다.

〈표 6-7〉 잡화물동량 세부품목(HS코드) 및 국문 품명

세부품목	HS코드	국문 품명
육류	02	육과 식용설육
어패·갑각류	03	어패류
제분공업생산물	11	곡물의 분과 조분 밀가루·전분
기타 동·식물성 생산물	01, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 12, 13, 14	산동물, 낙농품 조란·천연꿀, 기타 동물성생산물, 산수목·꽃, 채소, 과일·견과류, 커피·차·향신료, 채유용종자·인삼, 식물성 엑스, 기타 식물성생산물
동·식물성 유지류	15	동식물성유지
당류	17	당류·설탕과자
음료·주류·조제식품	16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	육·어류조제품, 코코아·초코렛, 곡물, 곡분의 주제품과 빵류, 채소·과실의 조제품, 기타의 조제식품, 음료, 주류, 식초, 조제사료, 담배
비료	31	비료
플라스틱·고무 제품	39, 40	플라스틱과 그 제품, 고무와 그 제품
피혁류 및 그 제품	41, 42, 43	원피·가죽, 가죽제품, 모피, 모피제품
방직용 섬유	50, 51, 52,	견·견사견직물, 양모·수모, 면·면사면직물, 마류의사와 직물,

세부품목	HS코드	국문 품명
및 그 제품	53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63	인조필라멘트섬유, 인조필라멘트섬유, 워딩·부직포, 양탄자, 특수직물, 침투·도포한 직물, 편물, 의류(편물제 이외), 기타 섬유제품·닝마
비철금속 및 그 제품	74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83	동과 그 제품, 니켈과 그 제품, 알루미늄과 그 제품, 연과 그 제품, 아연과 그 제품, 주석과 그 제품, 주석과 그 제품, 기타의 비금속, 비금속 제공구·스펀·포크, 각종 비금속제품
기계류 및 그 부품	84, 90	보일러 기계류, 광학·의료·측정·검사·정밀기기
전기기기 및 그 부품	85	전기기기·TV·VTR
항공기·선박 그 부품	88, 89 *8908 제외 (고철로 분류)	항공기, 선박
기타	48, 49, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97	지와 판지, 서적·신문인쇄물, 신발류, 모자류, 우산·지팡이, 조제우모·인조제품, 석·시멘트·석면제품, 도자제품, 유리, 귀석·반귀석·귀금속, 시계, 약기, 무기, 가구류·조명기구, 완구·운동용품, 잡품, 예술품 골동품

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 코드집, p.10; 한국무역통계진흥원

잡화물동량 비중은 수입(51.8%), 수출(28.8%), 연안(19.4%) 순으로 나뉘고 있으며 수출입, 연안 모두 최근 10년간 감소추세를 나타내고 있다. 잡화 수입 물동량은 최근 10년간 연평균 2.5%의 물동량 감소율을 보였으며 수출의 경우 수입보다 더 큰 폭의 감소세(-4.7%)를 나타냈다.

〈표 6-8〉 잡화 항만물동량 추이

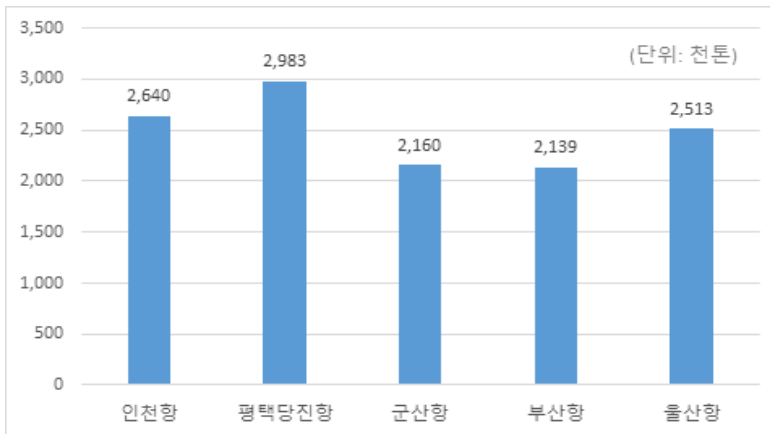
구분	단위: 천 톤, %			
	수입	수출	연안	합계
2012	19,291	13,510	6,892	39,693
2013	19,273	10,412	5,140	34,825
2014	18,563	11,389	3,458	33,409
2015	16,574	9,883	4,204	30,661

구분	수입	수출	연안	합계
2016	16,113	6,655	3,834	26,602
2017	15,335	6,912	7,600	29,847
2018	15,508	6,918	4,641	27,067
2019	15,633	7,163	4,477	27,273
2020	13,898	6,377	5,197	25,472
2021	14,841	7,731	4,101	26,672
2022	14,965	8,332	5,617	28,914
연평균 증가율 (‘12~’22)	-2.5	-4.7	-2.0	-3.1

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.)

국내 잡화물동량 주요 수입항만은 인천항, 평택·당진항, 군산항, 부산항, 울산항으로 5대 항만의 수입 물동량 비중은 약 83.1%이다.

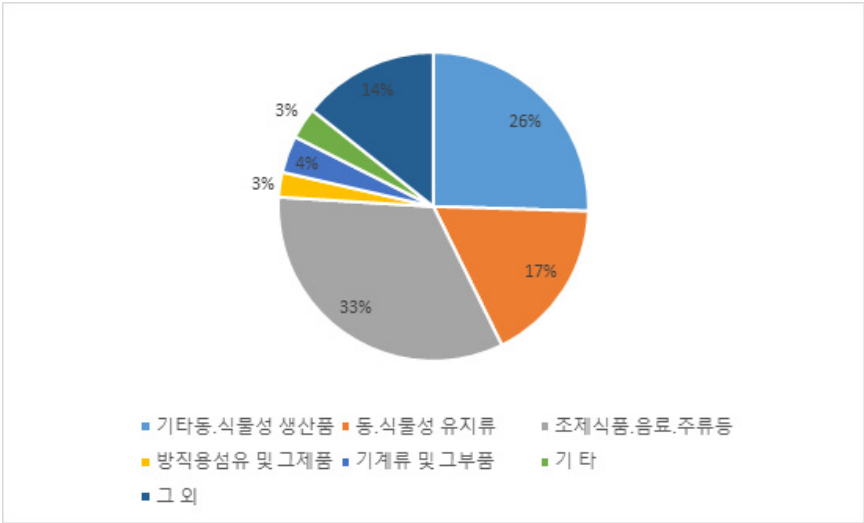
〈그림 6-6〉 잡화 주요 수입 항만물동량 실적(2022년 기준)



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 자료를 바탕으로 저자 재작성

가장 많은 잡화물동량이 수입되는 평택·당진항의 세부품목을 살펴보면 조제식품이 33%, 기타 동식물성 생산품이 26%, 동식물성 유지류가 17% 비중을 차지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 기계류 수입도 14% 비중을 점유하고 있지만 잡화 수입은 주로 식품군의 품목들이 높은 비중인 것을 확인할 수 있다.

〈그림 6-7〉 평택·당진항 잡화 수입물동량 세부 품목(2022년)



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 자료를 바탕으로 저자 재작성

잡화 물동량의 경우 다양한 산업군을 포함하고 있어 특정 산업과의 연관성을 파악하는 데 한계가 있다. 이에 예측 방법 개선 및 고도화를 위해서는 세부 품목별 상세 실적을 바탕으로 잡화 16개 품목을 두세 개 연관 산업으로 묶은 후 산업 경기 변화에 따른 물동량 실적 추이를 살펴볼 필요가 있다.

2. 기존 잡화 예측모형의 특징 및 한계

1) 기존 잡화 예측모형

현재 잡화 수입 물동량은 로그 추세모형과 이동평균법으로 구분하여 전망하고 있다. 다른 벌크 품목과 대비되는 특징은 잡화 수입 물동량의 경우 예측 전에 실적 데이터 전처리 작업을 수행한 후 장래 물동량을 전망하고 있다. 인천항, 평택·당진항, 군산항, 부산항, 울산항에서 잡화로 신고되고 있지만 실제로는 양곡 수입실적인 물동량이 다수 집계(약 500만~600만 톤)되고 있기 때문에 해당 항만 잡화 실적에서 차감한 후 보정된 물동량을 잡화 수입 물동량 예측 시 실적으로 반영하고 있다.

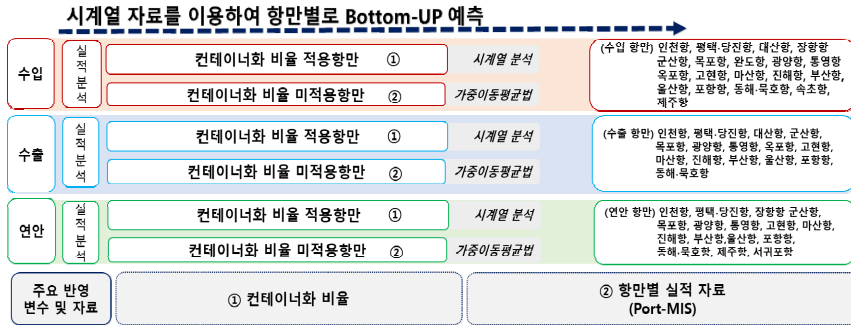
잡화 수입 물동량 데이터 전처리 후 잡화 수입 물동량 주요 처리항만인 군산항, 광양항, 부산항, 울산항은 로그 추세모형으로 장래 잡화 수입 물동량을 전망하고 있다. 여기서 Z_{t+1}^N 는 $t+1$ 기의 장래 잡화 수입 물동량이며, X_{t+1} 는 $t+1$ 기의 연도, X_0 는 초기 연도, a_0 와 a_1 은 계수를 의미한다.

$$Z_{t+1}^N = a_0 + a_1 \ln(X_{t+1} - X_0) \dots\dots\dots [\text{식 6-1}]$$

네 개 항만 외에 잡화 물동량을 처리하는 항만들은 물동량 처리 비중(총 수입 물동량의 7.4%)이 낮고, 실적에 뚜렷한 추세를 나타내지 않아 이동평균법을 활용하여 장래 물동량을 전망하고 있다. 아래의 수식에서 Y_{t+1} 은 $t+1$ 기의 수입 물동량, n 은 이동평균 기간을 의미하고 있다.

$$Y_{t+1} = \sum_{i=t-n+1}^t Y_i \dots\dots\dots [\text{식 6-2}]$$

〈그림 6-8〉 잡화 항만물동량 예측 프로세스



자료: 한국해양수산개발원(2023), p. 123.

2) 한계점과 개선방향

① 물동량 변동에 대한 인과관계 규명 미흡

잡화물동량은 13개 벌크화물 중 가장 넓은 범위의 품목군으로 구성되어 있으며 세부품목 수도 16개로 가장 많다. 이에 특정 산업군과 잡화물동량 간 연관 관계를 도출하는 것이 용이치 않았다. 이에 기존 잡화물동량 예측은 시계열 모형을 활용하여 수행되어 왔다. 시계열 모형의 경우 실적 변화를 예측모형에 민감하게 반영하여 장래 물동량을 전망할 수 있다는 장점은 있지만 물동량 변동에 대한 원인 분석에 취약한 한계점을 가지고 있다. 이에 감소 추세 국면인 잡화 물동량 제고 방안 및 항만별 대응전략 마련이 용이치 않다. 이에 본 연구에서는 우선 다양한 산업군에 걸쳐 있는 잡화물동량을 기계류, 식품류, 기타류로 구분하여 물동량 변화 요인들을 도출하고 검토하였다. 향후 물동량 급변의 원인을 파악하고자 할 때 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

② 산업군별 예측모형 구축 및 적정성 검토

다양한 산업군으로 구성되어 있어 물동량 변동의 요인변수를 도출하지 못했던 잡화물동량을 세 가지(기계류, 식품류, 섬유류) 대표 산업군으로 구분한 후 각 산업군 잡화물동량과 밀접하게 연동되는 변수를 발굴하고 이를 활용하여 예측모형을 구축하였다. 본 연구에서는 실적 대비 기존 추세모형의 예측 결과와, 회귀분석모형, 딥러닝 모형인 RNN의 예측 결과를 비교하여 가장 적절한 예측모형을 선정하였다.

〈표 6-9〉 잡화 한계점 및 개선방향

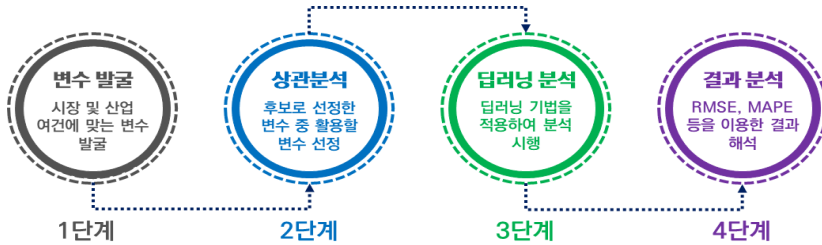
항목	한계점	개선방향
물동량 변동에 대한 인과관계	16개 품목으로 구성된 잡화 총물동량 변동에 대한 요인 도출에 한계, 물동량 변화에 대한 대응력 저하	• 경쟁국 변수 발굴 및 적용 • 딥러닝 모형 도입
예측모형 고도화	다양한 산업군을 포함하는 품목 특성상 인과형 모형이 아닌 추세 예측모형만을 활용하여 장래 물동량 전망	• 세 가지 산업군으로 구분 후 산업별 인과관계 변수 도출 • 딥러닝 모형 도입

자료: 저자 작성

제3절 잡화 항만물동량 예측모형 고도화

앞서 제1절 및 제2절에서는 잡화 연관 산업의 동향과 기존 모형의 한계점을 검토하였다. 이를 통해 잡화 물동량 예측모형의 개선방향을 잡화 구성 16개 품목의 세분화와, 예측모형 및 변수의 다양화로 설정하였다. 자세한 예측모형 개선 내용은 〈그림 6-9〉와 같다.

〈그림 6-9〉 잡화 예측 고도화 절차



자료: 저자 작성

1. 잡화물동량 산업군 세분화(기계류, 식품류, 섬유류)

잡화 물동량은 13개 별크 품목 중 가장 다양한 품목들로 구성되어 있어 물동량과 뚜렷한 인과관계 변수를 발굴하는 데 많은 제약이 있어 왔다. 이에 실적 추세를 바탕으로 장래 물동량을 예측해 왔으나 물동량 변화에 대한 원인을 제시하지 못하는 한계가 발생하였다. 이를 개선하고 물동량과 유의미한 변수를 발굴하기 위해 우선 16개 세부품목으로 이루어진 잡화물동량을 표준산업분류(KSIC), 품목 고유 성질(HS코드), 하역방식, 수요 산업군의 유사성에 따라 기계류, 식품류, 섬유류 세 가지로 구분하였다.

〈표 6-10〉 잡화물동량 산업군 세분화

구분	HS코드	세부품목명
기계류 (4개)	74~85 88~90	비철금속 및 그 제품, 기계류 및 그 부품, 전기기기 및 그 부품, 항공기·선박 그 부품
식품류 (7개)	01~09 11~24	육류, 어패·갑각류, 제분공업생산물, 기타 동·식물성 생산물, 동·식물성 유지류, 당류, 음료·주류·조제식품
기타류 (5개)	31, 39~43 48~49 50~71 91~97	비료, 플라스틱·고무 제품, 피혁류 및 그 제품, 방직용 섬유 및 그 제품, 기타

자료: 저자 작성

산업군별 잡화물동량 실적 비중 추이를 살펴보면 식품류가 약 45~47%, 기계류가 약 24~34%, 기타류가 21%~30%를 차지하고 있는 것을 확인할 수 있다.

〈표 6-11〉 잡화물동량 산업군별 실적 비중

단위: %

구분	2019	2020	2021	2022	2023
기계류	26.1%	25.2%	23.6%	32.2%	34.3%
식품류	44.8%	45.1%	46.8%	45.1%	44.7%
기타류	29.1%	29.7%	29.5%	22.8%	21.0%

주: 식품류 물동량은 양곡물동량(하역사 통계)과 보정한 수치임
 자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 데이터를 바탕으로 저자 재작성

1) 기계류 잡화물동량 실적 및 특징

기계류 잡화물동량은 2019년부터 2023년까지 연평균 6.0% 증가한 것을 확인할 수 있다. 한편 네 가지 품목으로 구성된 기계류 잡화물동량 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 기계류로 약 83% 비중을 차지하고 있다.

〈표 6-12〉 기계류 잡화물동량 세부품목별 실적

단위: 천 톤

구분	2019	2020	2021	2022	2023
비철금속	949	892	863	1,415	1,018
기계류	4,999	4,796	4,715	7,155	7,407
전기기기	1,003	438	537	528	412
항공기·선박	164	290	184	199	142
합계	7,115	6,417	6,298	9,297	8,978

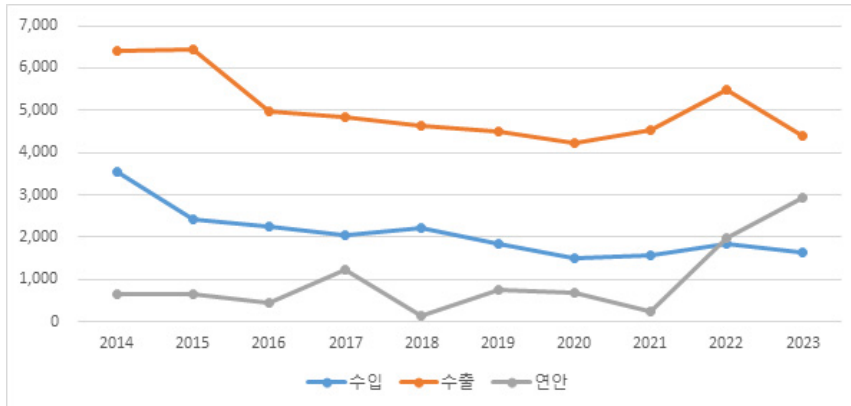
자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.)

2023년 기준 기계류 잡화 수출 물동량은 440만 3천 톤으로 전년 대비 19.6% 큰 폭의 하락세를 보인 반면 같은 기간 연안 물동량은 47.7% 증가

하였다. 수출 물동량이 가장 높은 비중을 차지하고 있지만 지난 10년간 점차 실적과 비중이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

〈그림 6-10〉 기계류 잡화물동량 종류별 실적 추이

단위: 천 톤



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 데이터를 바탕으로 저자 재작성

2) 식품류 잡화물동량 실적 및 특징

2023년 식품류 잡화물동량은 어패류와, 기타 동식물성 생산품의 감소로 전년 대비 10.3% 감소한 1,168만 6천 톤을 기록하였다. 일곱 개 품목으로 재구성한 식품류 잡화 물동량은 잡화물동량 중 가장 큰 비중(약 45%)을 차지하고 있지만 지난 5년간 연평균 1.1% 감소하고 있다.

〈표 6-13〉 식품류 잡화물동량 세부품목별 실적

단위: 천 톤

구분	2019	2020	2021	2022	2023
육류	155	46	131	190	161
어패류	790	917	1,420	1,340	863
제분공업 생산품	344	714	668	622	521

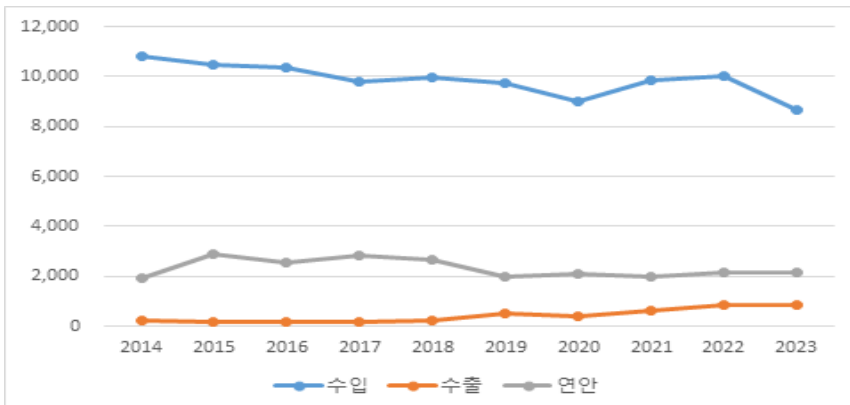
구분	2019	2020	2021	2022	2023
기타 동식물 성 생산품	4,576	4,579	4,710	4,722	4,370
동식물성 유지류	1,034	1,034	1,199	1,021	1,194
당류	2,147	1,919	1,944	2,080	1,893
조제식품, 음 료, 주류 등	3,168	2,288	2,424	3,053	2,685
합계	12,215	11,496	12,495	13,028	11,686

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.)

식품류 잡화물동량은 기계류 잡화물동량과 달리 수입의 비중이 월등히 높은 것이 특징이다. 2023년 기준 식품류 잡화 수입 물동량은 865만 9천 톤을 기록하였다. 같은 기간 식품류 연안 물동량은 217만 9천 톤을 기록하였으며 수출 물동량은 84만 7천 톤으로 가장 낮은 비중을 기록하였다. 코로나19 팬데믹 시기(2021년~2022년) 감소했던 처리 비중이 16%대로 감소했던 식품류 연안 물동량은 2023년 18.6%를 기록하였다.

〈그림 6-11〉 식품류 잡화물동량 종류별 실적 추이

단위: 천 톤



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 데이터를 바탕으로 저자 재작성

3) 기타류 잡화물동량 실적 및 특징

기타류 잡화물동량은 기계류, 식품류와 달리 수요 산업, 품목 고유 성질, 하역방식 등으로 묶이기 힘든 그 외 품목들을 모아 분류한 산업군으로 비료, 플라스틱, 방직용 섬유 등이 포함되어 있다. 2023년 기타류 잡화물동량은 549만 2천 톤으로 지난 5년간 연평균 8.8% 감소하고 있다. 기계류, 식품류 대비 컨테이너 용기를 통한 운송이 용이한 점이 세 가지 산업군 중 가장 큰 폭의 감소세를 보인 원인이라고 판단된다.

〈표 6-14〉 기타류 잡화물동량 세부품목별 실적

단위: 천 톤

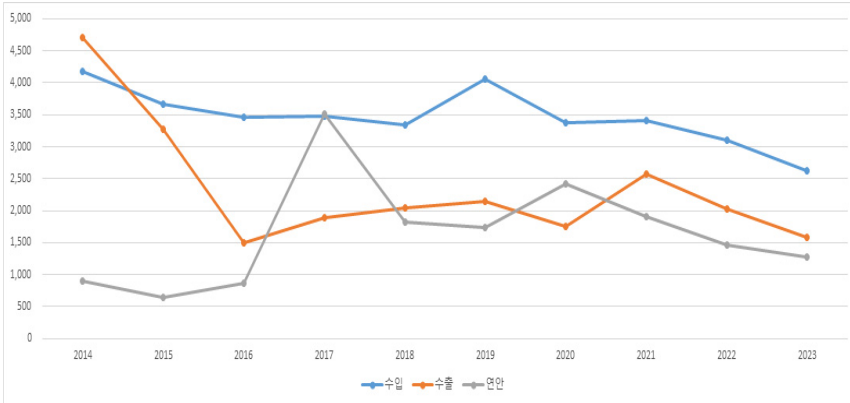
구분	2019	2020	2021	2022	2023
비료	2,928	2,878	3,009	2,375	2,221
플라스틱·고무제품	458	217	735	493	302
피혁류 및 그 제품	16	3	26	21	1
방직용 섬유 및 그 제품	927	677	831	882	628
기타	3,613	3,784	3,279	2,819	2,340
합계	7,943	7,560	7,879	6,589	5,492

자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 데이터를 바탕으로 저자 재작성

기타류 잡화물동량은 기계류, 식품류와 달리 수입, 수출, 연안의 실적 및 비중 추이가 일정한 패턴을 보이지 않는 특징을 가지고 있다. 대체로 수입의 비중이 가장 높지만, 수출 또는 연안 물동량이 가장 많이 처리되어 비중 추이가 역전되는 현상을 보이기도 한다. 특정 산업군의 수요 화물로 규정하기 어렵고, 가장 많은 HS코드세부품목으로 집계되는 기타 품목이 포함되어 있어 나타나는 현상으로 판단된다.

〈그림 6-12〉 기타류 잡화물동량 종류별 실적 추이

단위: 천 톤



자료: 해양수산부 해운항만물류정보시스템(검색일: 2024.5.15.) 데이터를 바탕으로 저자 재작성

16개 품목으로 구성된 잡화물동량을 세 가지 산업군으로 나누고, 실적 현황 및 추이를 분석한 결과 기계류와 식품류 잡화물동량이 일정한 화물 구성 패턴을 보이고 비교적 특정 산업군의 수요화물로 지정이 용이하여 잡화물동량 전망 모형을 개선 대상으로 선정하였다. 다음으로는 세 가지 산업군 물동량과 유의미한 변수를 발굴하고, 모형을 구축하여 그 결과값을 비교하고자 한다.

2. 변수 추가 및 모형 다양화: 기계류 잡화 물동량 전망 모형 구축

1) 분석데이터

기계류 잡화물동량은 산업현장에 다양한 설비를 공급하며 발생하는 물동량으로 자본이 풍부하고 기술력이 높은 선진국이 주로 수출하는 품목이라 할 수 있다. 우리나라도 기계류 잡화 수출 물동량의 비중이 가장 높은데 2023년 기준 미국, 중국, 베트남, 일본 순으로 수출되었다(〈표 6-3〉 참조).

주요 수출 품목은 일반기계의 비중이 펌프 및 압축기, 농업용, 산업용, 반도체 제조용 대비 가장 높다(〈표 6-3〉 참조). 이에 기계류 잡화 물동량 예측모형 개선을 위해 물동량 비중이 가장 높은 기계류 잡화 수출 물동량의 교역 대상국인 미국, 중국, 베트남의 전 산업생산지수를 검토하였다. 한편 기계류 수입의 경우 우리나라의 경기 여건과 밀접하기 때문에 국내 총 GDP, 국내 전 산업생산지수도 분석데이터로 선정하였다. 전 산업지수와 구별하여 특별히 제조업 생산지수도 신규 모형 구축에 가용할 수 있는 변수인지 분석하였다.

〈표 6-15〉 기계류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터

국내 총 GDP	출처	장기전망치 여부
국내 총 GDP	S&P Global	O
국내 전 산업생산지수	S&P Global	O
국내 제조업 생산지수	S&P Global	O
중국 전 산업생산지수	S&P Global	O
베트남 전 산업생산지수	S&P Global	O
미국 전 산업생산지수	S&P Global	O
세계 전 산업생산지수	S&P Global	O
일본 제조업 생산지수	S&P Global	O
미국 제조업 생산지수	S&P Global	O

자료: 출처를 참고하여 저자 재정리

잡화 기계류 예측모형의 신규 구축을 위해 발굴한 변수들과 기계류 잡화 물동량 간의 상관관계 분석을 한 결과 미국 전 산업생산지수(PI)를 제외한 모든 변수들이 매우 낮은 상관계수를 나타내었다. 국내 전 산업생산지수와 국내 GDP는 기계류 잡화물동량과 각각 -0.261, -0.359의 상관계수를 나타냈다. 한편 기계류 잡화물동량의 주요 수출 대상국들의 산업지수와 기계류 잡화물동량 간의 상관계수는 미국이 0.510, 중국 -0.325, 베트남 -0.394를 나타냈다. 제조업 생산지수와 기계류 잡화물동량 간의 상관관계도 매우 낮게 분석됨에 따라 최종적으로 미국 전 산업생산지수만을 신규

예측모형 구축의 분석데이터로 선정하였다. <표 6-17>은 해당 데이터의 기초통계량이다. 기계류 잡화물동량 예측모형의 독립변수로 선정된 변수인 미국 전 산업생산지수의 장기 전망치(~2040년)를 예측에 활용하였다.

<표 6-16> 기계류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계

구분	국내IPI	중국IPI	세계IPI	베트남IPI	미국IPI	국내 GDP
기계류 잡화 물동량	-0.2609	-0.3247	-0.2148	-0.3938	0.5099	-0.3592

자료: S&P Global 자료를 토대로 저자 작성(검색일: 2024.9.10.)

<표 6-17> 최종 선정된 기계류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량

구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
미국 전 산업생산지수	100.71	92.87	98.56	2.44

자료: S&P Global 자료를 토대로 저자 작성(검색일: 2024.9.10.)

2) 모형 설계

기계류 잡화 물동량의 신규 예측모형을 구축하기 위해 단순회귀 모형, 머신러닝의 RNN 모형을 활용하였다. 단순회귀 모형의 분석 프로그램은 SPSS를 사용하였으며 머신러닝 RNN 모형은 파이썬을 활용하여 분석하였다. RNN 모형은 순차적으로 레이어를 쌓아가는 가장 일반적인 Keras 모델을 활용한 패키지 'tensorflow.keras'를 활용했으며, RNN 레이어의 뉴런 수는 100으로 지정하고, dense 레이어에는 50개의 뉴런을 지정하였으며, 최종 학습 반복 횟수는 100으로 설정하였다. 또한 딥러닝을 통해 인공지능 모델을 학습시킬 때 오차를 줄이기 위해 사용하는 경사하강법 알고리즘에서는 가장 널리 사용되고 있는 아담이라는 방법을 사용해서 진행했다.

모형 간 성능 비교를 위해서 K-Fold 방법을 활용하였으며, 이때 k값은 10을 사용했다. 이에 훈련세트 데이터의 90%가 활용되었으며, 검증세트는 10%가 사용되었다. 이후 이러한 훈련세트가 총 열 번 다르게 지정되면서

모형이 반복되며 최종적으로 열 개의 RMSE와 MAPE 평균값을 토대로 모형의 성능을 평가했다.

3) 분석 결과 및 검증

총 세 가지 모형에 따른 기계류 잡화 물동량 예측 결과 기존 모형과 회귀 모형, RNN 모형 모두 2022년 경기침체에 따른 물동량 감소는 충분히 반영하지 못한 것으로 나타났다. 단순회귀 모형이 상대적으로 실제값과 유사한 결과를 나타냈는데 이에 반해 RNN 모형은 전반적으로 실제값을 제대로 반영하지 못하였는데, 대체로 RNN 모형의 경우에는 실제값 대비 다소 과대하게 예측되는 경향을 나타냈다.

〈표 6-18〉 기계류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
2014	10,599	9,572	9,200	11,707
2015	9,500	8,382	8,232	9,885
2016	7,672	6,944	7,096	8,079
2017	8,135	7,662	7,821	9,056
2018	6,989	6,640	6,778	6,419
2019	7,115	6,745	6,882	7,467
2020	6,417	6,382	6,455	7,157
2021	6,298	6,601	6,519	7,255
2022	9,297	10,610	10,454	11,211
2023	8,978	9,537	9,810	10,245

자료: 저자 작성

모형의 성능을 평가하기 위해 열 개의 MAPE의 평균값을 비교한 결과 단순회귀 모형에서 RMSE와 MAPE 값이 가장 낮게 나타났다. 이에 단순회귀 모형의 예측 정확도가 가장 높다고 할 수 있다. 특히 기존 모형 대비

MAPE 값을 비교하면 단순회귀 모형이 오차율을 3.3% 감소시킨 것으로 나타났다. 이로써 기계류 잡화물동량 신규물동량 예측모형으로 회귀분석 모형을, 주요 변수로 미국 전 산업지수를 활용하고자 한다.

〈표 6-19〉 기계류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교

연도	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
MAPE	9.1	5.8	7.4

자료: 저자 작성

3. 변수 추가 및 모형 다양화: 식품류 잡화 물동량 전망 모형 구축

1) 분석데이터

식품류 잡화물동량은 1차 산업품목(육류, 어패류)과, 생산한 원료로 가공식품을 생산하는 2차 산업인 식품제조업 관련 품목들로 구성되어 있다. 기계류와 정반대로 수입의 물동량 비중이 가장 높은 것이 특징이다. 이에 식품류 잡화 물동량 예측모형 개선을 위해 가장 물동량 비중이 높은 식품류 잡화 수입 물동량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 국내 GDP를 분석데이터로 선정하였다. 이 밖에 1차 산업품목 물동량에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 추정되는 1인당 육류소비량과 식품제조업에 간접적으로 영향을 줄 것으로 판단되는 1인당 양곡소비량을 신규 모형 구축에 활용할 수 있는 변수인지 분석하였다. 마지막으로 식품류 잡화 물동량은 최종 식품제조업의 원료로 활용되기 때문에 관련 변수들의 모형 활용도도 검토하였다.

〈표 6-20〉 식품류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터

구분	출처	장기전망치 여부
1인당 양곡소비량	통계청	O
1인당 육류소비량	한국육류유통수출협회	O
농식품수출액(식품, 비식품포함)	통계청	X
국내 GDP	S&P Global	O
국내 전 산업생산지수	S&P Global	O
식품제조업 매출액	식품산업통계정보	X
식품제조업 설비투자	통계청	X

자료: 출처를 참고하여 저자 재정리

식품류 잡화 물동량 예측모형의 신규 구축을 위해 발굴한 변수들과 식품류 간의 상관관계 분석을 한 결과 식품제조업 매출액을 제외한 모든 변수들은 매우 낮은 상관계수를 나타내었다. 1인당 양곡소비량과 1인당 육류소비량은 식품류 잡화물동량과 각각 0.398, -0.238의 상관계수를 나타냈다. 한편 한국농촌경제연구원에서 발표하고 있는 식품과 비식품이 포함된 농식품 수출액은 예상과 달리 식품류 잡화물동량과 낮은 상관관계(0.136)를 보였다. 이 밖에 국내 GDP(-0.170)와 한국 전 산업지수(0.058)와도 낮은 상관관계를 나타내, 최종적으로 식품제조업의 매출액을 신규 예측모형 구축의 분석데이터로 선정하였다. 〈표 6-22〉는 해당 데이터의 기초통계량이다. 식품류 잡화물동량 예측모형의 독립변수로 선정된 변수인, 식품제조업의 매출액은 통계청에서 실적치를 발표하고 장래 전망치를 한국해양수산개발원에서 추정하여 예측에 활용하였다.

〈표 6-21〉 식품류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계

구분	1인당 양곡소비량	1인당 육류소비량	농식품 수출액	국내 GDP	한국PI	식품제조업 (매출액)	식품제조업 (설비투자)
식품류 잡화 물동량	0.3979	-0.23811	0.1355	-0.1700	0.0584	0.5891	0.3682

자료: 저자 작성

〈표 6-22〉 최종 선정된 식품류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량

구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
식품제조업 지수(매출액)	102.1	84.0	94.9	3.38

자료: 통계청

2) 모형 설계

식품류 잡화 물동량의 신규 예측모형 개발을 위해 단순회귀 모형과, 머신러닝의 RNN 모형을 활용하고자 한다. 기계류 잡화물동량 예측모형 신규 개발과 같이 단순회귀 모형의 분석 프로그램은 SPSS를 사용하였으며 머신러닝 RNN 모형은 파이썬을 활용하여 분석하였다.

RNN 모형 설계는 앞서 수행한 기계류에서 적용한 방법을 적용하였으며, 모형 성능 평가 역시 10-fold를 활용했다.

3) 분석 결과 및 검증

총 세 가지 모형에 따른 식품류 잡화 물동량 예측 결과 단순회귀모형의 예측값은 실제값을 제대로 반영하지 못하고 과소 예측하는 것으로 나타났다. 기존 추세분석을 통한 예측모형은 전반적으로 실적 대비 과소 추정하는 경향을 보이는 반면 회귀 모형과 RNN 모형은 다소 과대 추정되는 양상을 보이고 있다.

〈표 6-23〉 식품류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
2014	13,009	13,360	13,278	13,125
2015	13,574	13,344	13,356	13,685
2016	13,110	12,908	13,598	13,195
2017	12,827	12,637	12,985	12,915
2018	12,861	12,590	12,986	12,968
2019	12,215	11,927	12,359	12,259
2020	11,496	11,397	11,698	11,597
2021	12,495	12,070	12,687	12,689
2022	13,028	13,278	13,789	13,115
2023	11,686	12,379	12,469	12,005

자료: 저자 작성

모형의 성능을 평가하기 위해 열 개의 MAPE의 평균값을 비교한 결과 RNN 모형에서 가장 낮게 나타났다. 이에 RNN 모형의 예측 정확도가 가장 높다고 할 수 있다. 특히 기존 모형 대비 MAPE 값을 비교하면 RNN 모형이 오차율을 2.7% 감소시킨 것으로 나타났다. 이로써 식품류 잡화 물동량 신규물동량 예측모형으로 RNN 모형을, 주요 변수로 식품제조업 매출액을 활용하고자 한다.

〈표 6-24〉 식품류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교

연도	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
MAPE	9.1	13.4	6.4

자료: 저자 작성

4. 변수 추가 및 모형 다양화: 섬유류 잡화 물동량 전망 모형 구축

1) 분석데이터

섬유류 잡화물동량은 직물, 편물, 의류 등 섬유류를 제조, 생산, 판매하는 데 소요되는 품목으로 구성되어 있다. 본 연구에서 섬유류 잡화물동량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인으로 섬유산업 생산액, 부가가치액, 수출입액을 선정하였다. 이 밖에 섬유산업 생산량에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 변수로 한국섬유산업연합회에서 집계하고 있는 섬유산업 생산력 지수 및 가동률 지수 선정하여 예측모형 활용도를 검토하였다.

〈표 6-25〉 섬유류 잡화물동량 전망 모형 분석데이터

구분	출처	장기전망치 여부
섬유산업 생산액	e-나라지표	X
섬유산업 부가가치액	e-나라지표	X
섬유산업 수출액	e-나라지표	X
섬유산업 수입액	e-나라지표	X
생산력 지수	한국섬유산업연합회	X
가동률 지수	한국섬유산업연합회	X

자료: 출처를 참고하여 저자 재정리

잡화 섬유류 물동량 예측모형의 신규 구축을 위해 발굴한 변수들과 상관관계 분석을 한 결과 섬유산업 생산액과 수입액이 높은 상관관계를 보였다. 섬유산업 생산액과 수입액은 섬유류 잡화물동량과 각각 0.6798, 0.7659의 상관계수 값을 나타냈다. 한편 한국섬유산업연합회에서 집계 및 발표하고 있는 섬유산업 생산력 및 가동률 지수는 섬유류 잡화물동량과 낮은 상관관계(0.2568, 0.1897)를 보였다. 〈표 6-27〉은 해당 데이터의 기초통계량으로 섬유산업 생산액과 수입액의 장래 전망치를 KMI에서 추정하여 신규 모형 구축 및 장래 물동량 예측에 활용하였다.

〈표 6-26〉 섬유류 잡화물동량과 신규 발굴 변수 간 상관관계

구분	섬유산업				생산력 지수	가동률 지수
	생산액	부가가치액	수출액	수입액		
섬유류 잡화 물동량	0.6798	0.4568	0.3658	0.7659	0.2568	0.1897

자료: 저자 작성

〈표 6-27〉 최종 선정된 섬유류 잡화물동량 전망 모형 변수 기초통계량

단위: 십억 원

구분	최댓값	최솟값	평균	표준편차
섬유산업 생산액	43,874	37,834	40,234	1,983
섬유산업 수입액	19,901	14,376	16,584	2,011

자료: e-나라지표(검색일: 2024.9.20.)

2) 모형 설계

섬유류 잡화 물동량의 신규 예측모형 개발을 위해 단순회귀 모형, 머신러닝의 RNN 모형을 활용하고자 한다. 기계류 잡화물동량 예측모형 신규 개발과 같이 단순회귀 모형의 분석 프로그램은 SPSS를 사용하였으며 머신러닝 RNN 모형은 파이썬을 활용하여 분석하였다.

RNN 모형 설계는 앞서 수행한 기계류에서 적용한 방법을 적용하였으며, 모형 성능 평가 역시 10-fold를 활용했다.

3) 분석 결과 및 검증

총 세 가지 모형에 따른 섬유류 잡화 물동량 예측 결과 기존 모형인 추세 분석 모형은 과대 예측하는 것으로 나타난 반면 단순회귀 모형과 RNN 모

형의 경우 추세 모형 대비 과소 예측되었다.

〈표 6-28〉 섬유류 잡화물동량 전망 모형 간 예측값 비교

단위: 천 톤

연도	실제값	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
2014	2,018	1,958	2,005	1970
2015	1,490	1,724	1,546	1550
2016	895	1,526	1,005	1009
2017	2,210	1,820	1,358	1354
2018	823	1,390	1,207	1213
2019	927	1,379	1,159	1173
2020	677	1,148	1,059	1072
2021	831	1,119	985	991
2022	882	1,050	856	917
2023	628	932	759	768

자료: 저자 작성

모형의 성능을 평가하기 위해 열 개의 MAPE의 평균값을 비교한 결과 회귀 모형에서 가장 낮게 나타났다. 이에 회귀 모형의 예측 정확도가 가장 높다고 할 수 있다. 특히 기존 모형 대비 MAPE 값을 비교하면 회귀 모형이 오차율을 3.3% 감소시킨 것으로 나타났다. 이로써 섬유류 잡화물동량 신규물동량 예측모형으로 회귀 모형을, 주요 변수로 섬유산업 생산액 및 수입액을 활용하고자 한다.

〈표 6-29〉 섬유류 잡화물동량 예측모형 간 예측 정확도 비교

단위: 천 톤

연도	기존 모형 (추세분석)	단순회귀 모형	RNN 모형
MAPE	8.8	5.5	7.4

자료: 저자 작성

제4절 소결 및 시사점

잡화 품목은 구성 품목과 연관된 산업군의 광범위성으로 인해 총물동량을 바탕으로는 유관 산업군을 도출하기 용이치 않다. 이에 본 연구에서는 잡화 구성 16개 품목을 세 개 산업군으로 구분하여 분석하였다. 우선 기계류 산업군에 해당하는 품목으로 전기기기, 항공기 및 선박 부품, 비철금속, 기계류 네 개 품목을 선정하였다. 다음으로 식품류에는 육류 외 여섯 개 품목을 분류하였으며 기계류와 식품류로 구분 짓기 어려운 다섯 개 품목으로 비료, 피혁류, 방직용 섬유 품목을 선정하였다.

잡화 품목과 유관한 산업군을 세 개로 선정하고 각각의 특징들을 살펴본 결과 기계류의 경우 수출 의존도가 높은 품목으로 주요 수출 대상국들의 경기변동에 민감할 것으로 예상되었다. 한편 식품류의 경우 수산 부문 대비 농축산업 부문의 비중이 크기 때문에 향후 잡화 식품류 물동량과 인과관계가 높은 변수 발굴 시 농축산업 관련 전망 또는 현황 보고서를 참고할 필요성이 높다고 판단된다.

특히 잡화 물동량은 지난 10년간 연평균 3.1% 감소하고 있는 품목으로 수입의 비중이 약 50% 비중을 차지하고 있다. 주요 수입항만으로는 인천항, 평택·당진항, 군산항, 부산항, 울산항을 꼽을 수 있으며 상위 다섯 개 항만에서 처리하는 물동량이 전국 잡화 수입 물동량의 80% 이상을 차지한다. 잡화물동량 구성품목은 16개 품목으로 HS코드 상 포함되는 산업군의 수도 13개 벌크화물 중 가장 많다. 이에 잡화 총물동량을 바탕으로 한 분석 결과로는 인과형 변수 발굴 및 모형 개발에 많은 제약이 있어 기존 잡화물동량 예측모형은 물동량 추세분석을 바탕으로 한 시계열 모형에 중점을 두고 있다.

즉, 기존 잡화 물동량 예측모형의 한계점은 다음과 같다. 많은 세부품목 수로 구성되어 있으며 광범위한 산업군에 걸쳐 있는 잡화물동량은 연계산업을 특정하지 못해 그동안 인과관계 모형 및 관련 변수 발굴이 미흡하였다. 이에 실적 변동을 적극 반영한 추세모형을 통해 장래 물동량을 전망해왔으나 물동량 변동 원인 규명에 많은 한계점을 나타냈다. 아울러 수입, 수출, 연안 모든 부문에서 감소추세인 잡화물동량 제고 방안 및 항만별 대응 방안 도출도 쉽지 않았다,

이러한 한계점을 개선하기 위해 다음과 같은 개선 사항을 제시하였다. 첫째, 16개 품목 실적 상세 분석을 통해 잡화 물동량과 연관된 산업군을 도출할 계획이다. 둘째, 도출된 연계 산업군과 잡화물동량 간 인과형 변수를 발굴하고 모형을 개발하고자 한다. 기존 시계열 모형은 물동량 변화 추이에 민감하게 반응하여 장래 물동량을 전망할 수 있는 장점은 있지만 물동량 변동에 대한 원인 변수 규명에 극명한 한계를 드러냈다. 이에 신규 모형 및 변수 다양화를 통해 기존 모형의 한계점을 개선하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 표준산업분류(KSIC), 품목 고유 성질(HS코드), 하역방식, 수요 산업군의 유사성에 따라 잡화물동량을 기계류, 식품류, 섬유류로 구분하였다. 이 가운데 기계류와 식품류의 경우 일정한 화물 구성 패턴을 나타내고 비교적 특정 산업군의 수요화물인 특징이 뚜렷이 나타남에 따라 해당 산업군에 대한 예측모형을 개별적으로 구축하였다. 우선 기계류의 경우 수출 물동량 중심의 산업인 점을 감안하여 주요 수출 국가의 전 산업생산지수를 추가 변수로 고려하였으며, 이 가운데 미국의 전 산업생산지수가 유의미한 변수로 나타났다. 추가 변수를 고려하여 다양한 모형의 예측력을 검증한 결과 회귀 모형이 기존 모형 대비 오차율을 3.3% 개선시킨 것으로 나타났다. 다음으로 식품류에 대해서는 수입 물동량 중심인 점을 고려하여 국내 GDP 및 1차 산업품목 물동량에 직간접적으로 영향을 미칠 것으로 예상되는 1인당 육류소비량, 1인당 양곡소비량 등을 추가 변

수로 고려하였으며, 이 가운데 식품제조업 매출액이 유의미한 변수로 나타났다. 추가된 변수를 고려하여 다양한 모형에 대해 예측 정확도를 비교한 결과, 식품류 잡화물동량 예측모형에서는 RNN 모형이 기존 예측모형 대비 예측 오차율을 2.7% 감소시킨 것으로 나타났다. 마지막으로 섬유류 잡화물동량 신규 모형은 기존 예측모형 대비 예측 오차율을 3.3% 감소시키는 것으로 확인되었다. 즉, 잡화물동량 예측모형 고도화 결과 잡화물동량의 인과형 변수 발굴을 위해 산업 특성에 따라 기계류, 식품류, 기타류로 구분하여 예측을 세분화하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이 가운데 기계류는 미국 전 산업생산지수를 활용한 회귀 모형, 식품류는 1인당 양곡소비량을 활용한 RNN 모형, 섬유류는 섬유산업 생산액과 수입액을 활용한 회귀모형을 새롭게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

〈그림 6-13〉 잡화 항만물동량 예측모형 고도화 결과



자료: 저자 작성

07

결론 및 정책제언

제1절 연구 요약 및 결론

본 연구의 목적은 중장기 국내 항만 개발 및 정책 판단의 근거가 되는 항만물동량 예측 정확도를 높이기 위해 총 14개 항만물동량 품목 가운데 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화 예측모형을 고도화하는 것이다. 이를 위해 변화하는 산업 구조 및 환경 변화 등을 검토하여 추가적인 변수를 발굴하거나, 최신의 수요예측모형인 머신러닝 기반의 예측모형을 적용하여 기존의 예측 결과와 비교 분석하였으며 이는 총 세 단계에 걸쳐 수행되었다. 첫 단계에서는 국내외 선행연구 및 관련 산업 데이터 분석 등을 통해 품목별 주요 동향을 파악하였으며, 다음 단계에서는 항만물동량 데이터 분석 및 관련 산업 전문가 자문 등을 통해 품목별 항만물동량 데이터 특징과 기존 예측모형의 한계점을 파악하여 한계점을 제시했다. 마지막 단계에서는 도출된 개선방안을 중점으로 실제 데이터를 활용한 실증분석을 통해 고도화된 예측모형을 도출하였다.

품목별로 이를 살펴보면 철광석의 경우 약 99% 이상이 수입 물동량으로 구성되어 있어 수입 물동량 예측모형을 중심으로 개선이 필요하며, 대부분 철강을 생산하는 원료로 사용하고 있어 철강산업과 밀접한 관련이 있다.

철강산업의 경우 최근 글로벌 철강 수요 둔화와 친환경 정책에 따른 생산 방식 변경으로 철광석 수요가 둔화될 가능성이 크다. 이를 위해 본 연구에서는 수입 물동량 예측모형에서 가장 중요한 변수로 활용되고 있는 고로 조강생산량 전망 모형을 개선하여 최근 철강산업의 둔화세를 반영하고자 하였으며, 친환경 정책에 따른 생산 방식의 변경으로 전기로 생산 방식 비중이 높아지는 추세를 고려하기 위해 전기로 생산량 비중을 추가적인 변수로 고려하고자 했다. 먼저 고로 조강생산량 예측모형의 개선을 위해 기존 국내·제조업 GDP 단일 변수에서 국내 전 산업생산지수와 세계 철강 생산량 변수를 추가적으로 고려했다. 분석 결과 추가된 변수를 고려한 경우 기존 단순회귀 모형과 대비하여 RNN 모형이 예측 오차율을 3.8%p 감소시킨 것으로 나타났다. 다음 고도화 방안으로 전기로 생산 비중을 수입 물동량 주요 변수로 고려한 결과, 전기로 생산 비중을 고려하지 않은 경우보다 고려한 경우에 예측 오차율이 낮게 나타났다. 즉, 철광석 예측모형 고도화 결과 수입 예측물동량의 주요 변수로 조강 생산능력과 전기로 생산 비중으로 고려할 수 있으며, 이 가운데 장기 전망치가 없는 조강 생산능력의 경우 세계 철강 생산량 등을 고려한 RNN 모형을 적용해서 나온 결과값을 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

화학공업생산품의 경우 최근 중국의 자급화 등의 영향으로 우리나라 대 중국 석유화학 수출 주요 품목인 기초유분 중 에틸렌의 수출 구조가 변화하고 있으며, 탄소중립 추진에 따라 탄소중립 수요 물동량에 대한 예측 필요성이 증가하고 있다. 이를 고려하기 위해 본 연구에서는 석유화학업계 수출 구조 변화를 고려하기 위한 중국 및 미국 등의 거시경제 상황을 반영하여 기초유분 수출 물동량 예측모형을 개선하고자 하였으며, 탄소중립에 따른 에너지원 전환수요를 고려한 친환경 연료 수요 추정 모형을 제안했다. 먼저 기초유분 수출 물동량 예측모형의 고도화를 위해 미국과 중국의 경제여건을 반영할 수 있는 GDP를 추가적으로 고려하였으며, 그 결과 추가된

변수를 고려한 경우 기존 회귀 모형과 대비하여 RNN 모형에서 예측 오차율이 가장 낮게 나타났다. 다음으로 기존 탄소를 중심으로 하는 에너지원의 저탄소 및 무탄소로 전환수요를 고려하기 위해 국내 병커링 전망치에서 국제기구의 연료별 전환 비중을 참고하여 친환경 연료수요를 산정했다. 즉, 화학공업생산품의 경우 기초유분의 수출 구조 변화를 반영하고 장래 친환경 병커링 시설 소요에 따른 물동량을 제시함으로써 예측모형 고도화를 수행했다.

기타광석은 다양한 광종으로 이루어져 있어 광종별로 수요처가 상이하는 등 예측모형의 고도화에 한계점이 있었다. 이러한 한계점을 개선하기 위해 본 연구에서는 광종별로 예측모형을 세분화하여 새로운 변수를 발굴하고, 다양한 예측 방법론을 적용했다. 주요 광종 가운데 본 연구에서는 연안 물동량의 대부분을 차지하는 석회석과 수입 물동량에서 가장 큰 비중을 차지하는 비철금속에 대한 예측모형을 구축하고자 했다. 첫째로 석회석 예측모형의 경우 석회석 연안 물동량의 주요 수요처가 제철소와 화력발전소인 점을 감안하여 고로 조강생산량과 화력발전소 발전량을 주요 변수로 하여 예측모형을 구축했다. 분석 결과 해당 변수를 추가하여 회귀 모형을 적용했을 때 기존 모형인 원단위 방법론보다 예측 오차율을 개선되는 것으로 나타났다. 둘째로 비철금속 예측모형 구축을 위해 비철금속의 다양한 수요 산업을 반영할 수 있는 전 산업생산지수, 제조업 생산지수, 비철금속 광물 제품 제조업 지수, 국내 GDP, 환율 등을 고려한 결과 최종적으로 국내 전 산업생산지수와 국내 GDP가 유의미한 변수로 선정됐다. 해당 변수를 토대로 모형을 다양화하여 전망한 결과 회귀 모형에서 가장 낮은 예측 오차율을 나타냈다. 즉, 기타광석의 경우 광종별로 상이한 수요처에 따른 연계 산업 반영을 통해 변수와 모형을 다양화함으로써 예측모형 고도화를 수행했다.

잡화의 경우 13개 별크 품목 가운데 가장 다양한 품목들로 구성되어 있어 명확한 인과관계 변수를 발굴하는 데 제약이 있었다. 이에 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 잡화의 품목을 기계류, 식품류, 섬유류로 구분하고, 이 가운데 일정한 화물 구성 패턴을 보이면서 비교적 특정 산업군의 수요 화물로 지정이 용이한 기계류, 식품류, 섬유류 잡화물동량에 대한 인과변수 발굴 및 모형 다양화를 제안했다. 첫째로 기계류 잡화물동량의 경우 수출 물동량 비중이 높은 특성을 반영하여 주요 수출 국가의 전 산업생산지수 등을 주요 변수로 검토한 결과, 미국의 전 산업생산지수가 유의미한 변수로 선정됐다. 변수를 추가하여 모형의 성능을 비교한 결과 회귀 모형에서 가장 낮은 예측 오차율을 나타냈다. 다음으로 식품류 잡화물동량의 경우 수입 물동량 중심의 특징을 반영하기 위해 국내 GDP 및 1차 산업품목 물동량에 직간접적으로 영향을 미칠 것으로 추정되는 1인당 육류소비량과 1인당 양곡소비량 등을 추가 변수로 검토한 결과 최종 1인당 양곡소비량이 유의미한 변수로 선정됐다. 1인당 양곡소비량 변수를 추가하여 모형의 성능을 평가한 결과 RNN 모형이 기존 모형 대비 예측 오차율을 1.5%p 감소시킨 것으로 나타났다. 마지막으로 섬유류 잡화물동량의 경우 섬유산업의 생산액과 수입액을 주요 변수로 하여 모형의 성능을 비교한 결과, 회귀 모형의 예측정확도가 기존 모형 대비 3.3%p 향상된 것으로 나타났다. 즉, 잡화물동량의 경우 잡화 산업군을 기계류, 식품류, 섬유류로 구분하여 기계류의 경우 미국 전 산업생산지수를 변수로 활용한 회귀 모형을, 식품류의 경우 1인당 양곡소비량을 주요 변수로 한 RNN 모형을, 섬유류는 섬유산업 생산액과 수입액을 주요 변수로 한 회귀 모형을 적용함으로써 향후 잡화물동량 예측모형 고도화에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

결론적으로 네 개 품목의 모형 고도화에 따른 결과는 <표 7-1>에 요약되어 있다. 기존 모형의 한계점 도출을 통해 이를 개선할 수 있는 방법으로 변수 추가, 모형 다양화, 신규 수요 추정 제시 등을 진행했다. 대부분 개선

방법에 따라 기존 모형 대비 예측 오차율이 감소하는 결과를 가져왔다. 그러나 본 연구에서 제시된 모형을 활용하기 위해서는 일정 기간 모형의 안정화 기간이 필요할 것으로 판단된다. 추가된 변수 및 산업 전망에 대한 지속적인 모니터링을 통해 일정 기간 개선된 모형의 성능을 평가하여 모형 도입의 타당성을 확보할 필요가 있다.

〈표 7-1〉 품목별 모형 개선 결과 요약

품목	개선 사항	개선 방법	개선 결과
철광석	• 조강생산량 전망 모형 개선	• 세계 철강 생산량 등 추가 변수 및 모형 다양화	• 기존 모형 대비 RNN 모형 적용 시 오차율 감소
	• 탄소중립 정책에 따른 전기로 생산 방식 확대 반영	• 전기로 생산 비중 변수 추가 및 모형 다양화	• 전기로 생산 비중을 고려한 경우 오차율 감소
화학 공업생산품	• 기초유분 수출 구조 변화 반영	• 중국 및 미국 GDP 추가 적용 및 모형 다양화	• 기존 모형 대비 RNN 모형 적용 시 오차율 감소
	• 탄소중립에 따른 선박 에너지원 전환 반영	• 국제기구의 연료별 전환 비중 계획을 참고하여 국내 친환경 벙커링 수요 산정	• 친환경 연료 국내 벙커링 수요 산정 모형 신규 개발
기타광석	• 주요 광종별 예측모형 구축	• 주요 광종별(석회석, 비철금속) 구분 • 광종별 수요 산업 특성을 반영한 변수 추가 및 모형 다양화	• 석회석: 기존 모형(원단위) 대비 회귀 모형(고로 조강생산량, 화력발전소 발전량) 적용 시 오차율 감소 • 비철금속: 기존 모형(원단위) 대비 회귀 모형(국내 전 산업생산지수, 국내 GDP) 적용 시 오차율 감소
잡화	• 잡화 산업군 세분화	• 표준산업분류(KSIC), 하역방식, 수요 산업군 등을 반영하여 산업군 세분화	• 잡화물동량 기계류, 식품류, 섬유류로 세분화
	• 세분화에 따른 변수 발굴 및 모형 다양화	• 기계류와 식품류 잡화 물동량에 대한 추가 변수 및 모형 다양화	• 기계류: 미국 전 산업생산지수, 회귀 모형 • 식품류: 1인당 양곡소비량, RNN 모형 • 섬유류: 섬유산업 생산액과 수입액, 회귀 모형

자료: 저자 작성

제2절 연구의 기여 및 활용방안

중장기 항만물동량 전망은 항만시설의 처리능력과 더불어 우리나라 항만 시설의 수급 분석을 위한 기초자료로 활용되며, 분석 결과에 따라 항만시설의 추가 공급 여부가 결정된다. 특히, 부존자원이 빈약하고 삼면이 바다로 둘러싸여 수출입 비중이 높은 우리나라의 경우 항만시설의 수급 분석 결과에 따른 적기의 항만시설 공급은 국가 물류망의 원활한 작동을 지원할 수 있으며, 나아가 국가 경제의 지속적인 성장을 위해서도 필수적인 요소이다. 따라서 항만정책 의사결정 단계에서 기초자료로 활용되는 중장기 항만물동량 예측의 정확도 향상을 위한 투입 변수의 발굴과 신규 방법론 적용 등이 수행되어 왔으며, 앞으로도 이러한 노력은 지속되어야 한다.

이에 본 연구는 항만에서 처리되는 14개 품목 중 선행연구에서 검토되었던 열 개 품목을 제외한 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화 등 네 개 품목의 예측 방법론에 대해 개선 방안을 연구하였으며, 신규 변수 발굴 및 새로운 예측 방법론을 적용함으로써 예측치의 오차율을 낮추었다. 철광석과 화학공업생산물은 기존 예측모형과 대비하여 투입 변수 추가 발굴 및 신규 방법론을 적용하여 예측 정확도를 향상시켰다. 반면 잡화와 기타광석은 예측 방법론의 구조 변화를 통해 예측모형을 개선하였다. 특히, 잡화는 항만통계 분류상 16개 품목을 포괄하고 있으므로 다양한 산업에서 필요한 원자재부터 소비자가 사용하는 최종 소비재까지 포함되어 있다. 따라서 잡화의 항만물동량과 상관관계가 높은 경제지표의 발굴이 거의 불가능하여 단순 추세로 전망했던 한계가 있었으며, 이를 해소하기 위하여 기계류, 식품류, 기타류로 분류하였다. 그 결과, 기계류는 미국의 전 산업생산지수, 식품류는 1인당 양곡소비량을 신규 변수로 발굴하였으며, 이를 기반으로 예측모형을 수립하여 정확도를 향상시켰다. 또한, 항만통계 분류상으로는

단일 품목으로 분류되는 기타광석 역시 철광석과 석탄을 제외한 모든 광석류가 포함되어 있으며, 다양한 용도로 활용되고 있어 분류가 필요한 것으로 판단되었다. 이에 따라 제련 및 합금에 주로 이용되는 비철금속류, 제철소 및 화력발전소에 공급되는 석회석류, 그 외 기타류로 분류하였다. 비철금속류의 항만물동량은 국내 제조업 생산지수를, 석회석류는 고로 조강생산량과 화력발전소 발전량을 투입 변수로 적용하여 기존 예측모형과 대비하여 오차율을 낮추었다.

〈표 7-2〉 연구의 기여사항

구분	연구의 기여 부분
철광석	• 친환경 정책 반영(전기로 생산 비중을 추가 변수로 고려) • 예측 오차율 개선(오차율 3.8%p 감소)
화학 공업생산품	• 석유시장의 구조 변화 반영(중국 및 미국 변수 추가) • 친환경 정책 반영(친환경 선박유 신규 수요 모형 구축)
기타광석	• 다양한 광종의 특성 고려(광종의 유형화를 통해 모형 구축) • 예측 오차율 개선(오차율 최대 8.2%p 감소)
잡화	• 다양한 산업군으로 구성된 품목군의 특성을 고려하여 세 가지 산업군으로 분류 • 예측 오차율 개선(오차율 최대 3.3%p 감소)

자료: 저자 작성

품목별 중장기 항만물동량 예측 결과는 우리나라의 항만정책 수립의 기초자료로 활용되어 왔으며, 향후에도 그 역할은 지속될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해 개선된 예측모형을 해당 품목의 중장기 항만물동량의 예측에 활용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 통해 우리나라 항만정책의 적시성과 효율성이 향상될 것으로 기대된다.

또한 현재 KMI는 해양수산부 위탁과제인 ‘빅데이터 기반 지능형 항만 모니터링 및 수요예측 시스템’을 구축하고 있는 중으로, 이러한 고도화된 방법론을 지능형 시스템에 탑재하여 신속한 항만물동량 모니터링 및 예측이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구의 결과는 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화 등 해당 품목의 증장기 항만물동량 예측모형의 지속적인 개선 연구에도 활용이 가능할 것으로 판단된다. 예측모형의 오차율을 감소시키기 위해서는 대상 품목과 관련된 산업의 동향 분석과 경제지표의 발굴이 중요하다. 특히 기타광석과 잡화는 다품목으로 구성되어 있기 때문에 해당 품목의 세분화 기준을 수립하고, 분류된 항목별 상관관계가 높은 신규 지표를 발굴해야 한다. 향후에는 본 연구에서 검토하지 못했던 잡화와 기타광석 중 기타류로 분류된 항목에 대한 예측모형의 개선이 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 잡화, 기타광석 항만물동량의 분류를 기존의 항만통계 분류 기준보다 세분화가 가능한 기준이 마련되어야 하며, 해운항만물류정보시스템과 한국무역통계 정보포털(Trass) 데이터의 연계 분석으로 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

국내 문헌

- 고용기·이희용(2007), 평택·당진항 항만의 일반(잡화) 화물 물동량 추정, 한국국제상학회, 22(4), pp. 129-146.
- 김태현·박지민(2021), 주요국 핵심광물 확보 전략 분석, 에너지경제연구원.
- 김형욱·배도선(1976), 석유화학공업의 수요예측 및 분석 - 다변수회귀분석 및 소비원단위를 중심으로, 한국화학공학회, 14(5), pp. 309-323.
- 김홍민(2009), 불안정 시계열의 특성을 고려한 국내 비축 희유금속의 수요예측모형 구축에 관한 연구, 숭실대학교 대학원.
- 박요한·이철용(2020), 국내외 리튬 이온 배터리 수요 및 가격 예측, 한국혁신학회지, 15(2), pp. 209-235.
- 박재운·원희연(2009), 투입산출 구조분해를 통한 일반기계산업의 성장기여요인 분석, 한국응용경제학회, 11(1), pp. 131-154.
- 박철웅·박철호(2019), 산업용 도시가스 수요함수의 추정: 석유화학업종을 중심으로, 환경정책, 27(1), pp. 1-25.
- 박한술(2015), 주요 원자재가격이 거시경제에 미치는 영향 - 석유화학산업을 중심으로, 중앙대학교 대학원.
- 방은지·변희용·조재민(2022), 장단기 앙상블 모델과 이미지를 활용한 주가예측 향상 알고리즘 - 석유화학기업을 중심으로, 멀티미디어학회논문지, 25(22), pp. 157-165.
- 산업통상자원부(2023), 제10차 전력수급기본계획(2022~2036).

-
- 신창훈·양한나(2020), 석유화학 액체화물의 환적과 수출입 물동량 관계연구, 한국항만경제학회지, 36(4), pp. 1-16.
- 이여진 외(2022), 다변수 LSTM 딥러닝 네트워크를 이용한 육계 시세예측모델연구, 한국통신학회논문집, 47(12), pp. 2058-2064.
- 이우창 외(2020), 머신러닝을 이용한 철광석 가격 예측에 관한 연구, 한국산업정보학회, 25(2), pp. 57-72.
- 이현복(2013), 국내 주요 5개 산업광물의 수급 분석, 광물과 산업, 26, pp. 49-69.
- 장원익(2010), 광물자원의 해상물동량 전망에 관한 연구: 철광석 및 석탄을 중심으로, 자원·환경경제연구, 19(2), pp. 341-360.
- 전현정·우희동(2012), 고령친화식품산업의 성장과 규모 전망 -건강기능식품과 특수용도식품을 중심으로-, 한국식품위생안전성학회지, 27(4), pp. 339-348.
- 조상호 외(2020), 단계적 회귀분석과 인공신경망 모형을 이용한 광양항 석탄·철광석 물동량 예측력 비교 분석, J Navig Port Res., 44(3), pp. 87-194.
- 조용원(2018), 정유기업의 에틸렌시장 진입이 국내 석유화학산업에 미칠 영향과 시사점, 산업연구원.
- 추지미·장진규(2019), 글로벌 가치사슬 관점에서 본 한국 철강산업의 부가가치 무역구조 연구, 산업연구, 3(1), pp. 116-155.
- 최병욱·김배성(2013), 한국 식용 천일염 시장규모 전망에 관한 연구, 한국산화기술학회지, 14(10), pp. 4812-4818.
- 한국자원정보서비스(2023), '23년 4분기 6대 전략광종 시장전망, 자원정보포커스 23(4), pp. 5-15.
- 한국지질자원연구원(2021), 2020-2021 광산물 수급분석.
- 한국석유화학협회(2023), 2023 석유화학 미니북.
- 한국섬유산업연합회(2024), 섬유패션통계(2024년 반기).
- 한국철강협회(2024), 철강통계연보 2023.
- 한국해양수산개발원(2023), 2023년 품목별 항만물동량 예측보고서.
- 해양수산부(2024), 2023-2024 항만업무편람.
- 해양수산부(2024), 2024 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 이용코드집

- 해양수산부(2023a), 2024 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 이용코드집 I .
- 해양수산부(2023b), 2024 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) 이용코드집 II.
- 황재현(2014), 식품산업과 식품안정성, 서울경제, 12, 서울연구원, pp. 3-9.

국외 문헌

- Anderson, S. H.(2019), Determinants of Copper Demand: An End-Use Informed Model, The University of Utah.
- Dickson, Duane, Hussain, Aijaz, & Kumpf, Bob(2019), The Future of Petrochemicals - Growth Surrounded by Uncertainty, Deloitte.
- Dragan, Dejan et al.(2021), Throughput forecasting of different types of cargo in the adriatic seaport Koper, Maritime Policy & Management, 48(1), pp. 19-45.
- Farajian, Pouria, Farajian, Nima, & Eghbali, Hossein(2022), Forecasting the Global Price of Iron Ore Using Neural Networks, University of Eyvanekey.
- Global Energy Monitor(2023), Pedal to the Metal 2023.
- Halada, Kohmei, Shimada, Masanori, & Ijima, Kiyoshi(2008), Forecasting of the consumption of metals up to 2050, MATERIALS TRANSACTIONS, 71(10), pp. 831-839.
- Hosseini, S. H., & Samanipour, M.(2015), Prediction of final concentrate grade using artificial neural networks from Gol-E-Gohar iron ore plant, American Journal of Mining and Metallurgy. 3(3), pp. 58-62.
- IEA(2018), The Future of Petrochemicals - Towards more sustainable plastics and fertilisers Together Secure.
- IEA(2021), World Energy Outlook 2021.
- IEA(2023a), Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach.
- IEA(2023b), World Energy Outlook 2023.
- Islam, Monirul(2023), Mineral import demand and wind energy deployment in the

-
- USA: Co-integration and counterfactual analysis approaches, *Mineral Economics*, 36(4), pp. 1-21.
- KIET(2024), Korean Economic and Industrial Outlook for 2024.
- Lee, Chia-Yen, Chou, Bai-Jian, & Huang, Chen-Feng(2022), Data science and reinforcement learning for price forecasting and raw material procurement in petrochemical industry, *Advanced Engineering Informatics*, 51(8), 101443.
- Mafakheri, Aso, Sulaimany, Sadegh, & Mohammadi, Sara(2023), Predicting the establishment and removal of global trade relations for import and export of petrochemical products, *Energy*, 269, 126850.
- Ma, Zhu&Wang(2013), Forecasting iron ore import and consumption of China using grey model optimized by particle swarm optimization algorithm, *Resources Policy*, 38(4), pp. 613-620.
- Sharma, S. K.(2015), Demand Forecasting Techniques vis-à-vis Demand Forecast for Lead, *Procedia Earth and Planetary Science*, 11, pp. 418-424.
- Shioda, Tetsuya(2020), Outlook of Iron Ore Supply, *NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT*, 123.
- Song, Nuo&Yu(2019), Temporal and spatial evolution of global iron ore supply-demand and trade structure, *Resources Policy*, 64, 101506.
- USGS(2023), *Mineral Commodity Summaries 2023*, pp.99.
- Wang, Yanyi et al.(2023), Iron Ore Price Prediction Based on Multiple Linear Regression Model, *Resources Policy*, 64, 101506.
- Wang, Zheng-Xin, Zhao, Yu-Feng, & He, Ling-Yang(2020), Forecasting the monthly iron ore import of China using a model combining empirical mode decomposition, non-linear autoregressive neural network, and autoregressive integrated moving average, *Applied Soft Computing*, 94(4), 106475.
- Wei, Lin, Huang, Lei, & Huang, Haifeng(2022), Research on Forecasting of Port Bulk Freight Volume during the COVID-19 Pandemic Based on Time Series Analysis, *2022 International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences(ICMSS)*.
- Zhang, Chi, Huang, Lei, & Zhao, Zhichao(2013), Research on combination forecast

of port cargo throughput based on time series and causality analysis, Journal of Industrial Engineering and Management, 6(1).

인터넷 자료

Analytics Steps, <https://www.analyticssteps.com/blogs/bootstrapping-method-types-working-and-applications>(검색일: 2024.4.15.)

Colah's blog, <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>(검색일: 2024.4.20.)

Comet, <https://www.comet.com/site/blog/understanding-hold-out-methods-for-training-machine-learning-models/>(검색일: 2024.4.15.)

Deloitte, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2016/20_201606/kr_insights_deloitte-newsletter-20_insight_01.pdf(검색일: 2024.5.10.)

Educative, <https://www.educative.io/answers/what-is-the-bootstrap-method-in-data-science>(검색일: 2024.4.15.)

e-나라지표, https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1160(검색일: 2024.5.10; 2024.9.20.)

Investing News Network, <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/iron-investing/top-iron-producing-countries/>(검색일: 2024.4.15.)

Statology, <https://www.statology.org/k-fold-cross-validation/>(검색일: 2024.4.15.)

S&P Global, <https://connect.ihsmarkit.com/home>(검색일: 2024.8.2; 2024.9.3; 2024.9.9.)

World Steel Association, World Steel in Figures 2023, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwji8bbQ1qCGAxWS3TQHHCghB1wQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fworldsteel.org%2Fdata%2Fworld-steel-in-figures-2023%2F&usg=AOvVaw1gOi66YP8o>

kNgHO6JbG0uZ&opi=89978449(검색일: 2024.5.2.)

World Steel Association, <https://worldsteel.org/media/press-releases/2024/worldsteel-short-range-outlook-april-2024/>(검색일: 2024.5.17.)

World Steel Association, https://worldsteel.org/data/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND(검색일: 2024.8.2.)

딜사이트, <https://dealsite.co.kr/articles/102767>(검색일: 2024.5.2.)

스틸데일리, <https://www.steeldaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=161234>
(검색일: 2024.5.2.)

전국투자자교육협의회, https://www.kcie.or.kr/mobile/yeoutv/actualReport/web_view?type=3&series_idx=&content_idx=1871(검색일: 2024.5.17.)

전력통계정보시스템, <https://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkccIntro.do?menuId=090101>(검색일: 2024.9.9.)

식품산업통계정보(FIS), 식품산업의 범위 및 법령, <https://www.atfis.or.kr/home/board/FB0027.do?act=read&bpoId=3046&bcaId=0&subSkinYn=N&pageIndex=7>(검색일: 2024.5.10.)

식품산업통계정보(FIS), 농식품수출입, <https://www.atfis.or.kr/home/food/stats/main.do?tabGubun=BASIC&category1=FARM&beginYear=2018&endYear=2021>(검색일: 2024.5.10.)

식품산업통계정보(FIS), 국내통계, <https://www.atfis.or.kr/home/food/statsnew/in.do>(검색일: 2024.5.10.)

철강금속신문, <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=529530>
(검색일: 2024.5.2.)

통계청, 한국표준산업분류 제11차 개정 고시, https://kostat.go.kr/board.es?mid=a10403040000&bid=107&act=view&list_no=428660(검색일: 2024.5.16.)

통계청, 1인당 양곡소비량, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ED0001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F14_10&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE(검색일: 2024.9.10.)

통계청, 식품제조업 설비투자, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114057_B14&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=J1_001_002&seqNo=

- &lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE(검색일: 2024.9.10.)
- 통계청, 광업제조업조사, https://kosis.kr/common/meta_onedepth.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&listid=L_5(검색일: 2024.5.10.)
- 포스코 뉴스룸, <https://zrr.kr/k4nS>(검색일 : 2024.04.02.)
- 포스코 뉴스룸, <https://newsroom.posco.com/kr/%ED%8F%AC%EC%8A%A4%EC%BD%94-%EA%B4%91%EC%96%91%EC%97%90-%EC%A0%84%EA%B8%B0%EB%A1%9C-%EA%B3%B5%EC%9E%A5-%EC%B0%A9%EA%B3%B5-%EC%A0%80%ED%83%84%EC%86%8C-%EC%83%9D%EC%82%B0%EC%B2%B4%EC%A0%9C/>(검색일 : 2024.05.02.)
- 페로타임즈, JFE 스틸 전기로 투자, <https://www.ferrotimes.com/news/articleView.html?idxno=21979>(검색일 : 2024.05.02.)
- 페로타임즈, 리버스틸 전기로 도입, <https://www.ferrotimes.com/news/articleView.html?idxno=26123>(검색일 : 2024.05.02.)
- 한국기계산업진흥회, 기계산업의 특성 및 분류, <https://www.koami.or.kr/cyber/viewSpecification.do>(검색일: 2024.5.10.)
- 한국기계산업진흥회, 수출입 총괄, <https://www.koami.or.kr/dbcenter/tradestats/trade/tradenewList.do>(검색일: 2024.5.10.)
- 한국무역협회, <https://stat.kita.net/stat/kts/port/PortCtrImpExpList.screen>(검색일: 2024.5.22.)
- 한국육류유통수출협회, http://www.kmta.or.kr/kr/data/stats_spend.php(검색일: 2024.9.10.)
- 한국석유공사 페트로넷, <https://www.petronet.co.kr/v3/index.jsp>(검색일: 2024.8.30.)
- 한국석유화학협회, 산업현황, <https://kcia.kr/petrochemical-industry/petrochemical-industry-status>(검색일: 2024.5.15.)
- 한국석유화학협회, 제품통계, <https://kcia.kr/petrochemical-industry/statistics>(검색일: 2024.5.15.)
- 한국섬유산업연합회, <http://www.kofoti.or.kr/textile/indstrPresent.do>(검색일: 2024.5.10.)

한국자원정보서비스, 광종정보, <https://www.komis.or.kr/komis/info/mineralinfo/mineralreport/selectMineralInfoList.do>(검색일: 2024.4.2.)

한국철강협회, 철 생산방식, https://kosa.or.kr/statistics/qa_view_2015.jsp?index=7130(검색일: 2024.4.2.)

한국철강협회, 철강 제품 종류 및 용도, <https://steelpr.kosa.or.kr/promote/sub/subList.jsp>(검색일: 2024.4.17.)

한국철강협회, 현대제철 석회슬러지 재활용 MOU 체결, https://www.kosa.or.kr/news/member_view.jsp?index=6565(검색일: 2024.5.15.)

한국철강협회, Steel Data, <https://stat.kosa.or.kr/intro>(검색일: 2024.5.2., 검색일: 2024.9.9)

행정안전부 국가기록원, 석유화학공업육성법, <https://www.archives.go.kr/next/newsearch/listSubjectDescription.do?id=001650&pageFlag=&sitePage=>(검색일: 2024.5.16.)

해양수산부 해운항만물류정보시스템, <https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/intro.xml>(검색일(2024.4.2, 검색일: 2024.5.2., 검색일: 2024.5.15., 검색일: 2024.8.30., 검색일: 2024.9.9.)

부 록

1. 품목별 변수 중심의 주요 선행연구

〈부록 1-1〉 품목별 변수 발굴 중심의 주요 선행연구

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
철광석	• 논문명 : 광물자원의 해상물동량 전망에 관한 연구 : 철광석 및 석탄을 중심으로 • 저자명(연도): 장원익(2010) • 해상물동량 중 가장 큰 비중을 차지하는 철광석과 석탄 물동량 전망을 통해 향후 해운·조선 경기 진단	• 조강생산량 • 세계 GDP
	• 보고서명 : Iron Ore Price Prediction Based on Multiple Linear Regression Model • 저자명(연도): Wang, Yanyi et al.(2023) • 철광석 가격에 영향을 미치는 요인을 분석하여 다중 선형 회귀분석을 활용하여 철광석 가격 예측	• 국민총소득 • 국내총생산 • 관세 • 고정자산투자액 • 철강 생산량 • 폐철강 소비량 • 철광석 생산량 • 철 정광의 생산비용
	• 보고서명 : Outlook of Iron Ore Supply • 저자명(연도): Tetsuya SHIODA(2020) • 철광석 공급 시장 전망	• 강화된 환경 규제로 고품위 철광석 생산 증대 예상 • 철광석 가격 변동성 확대로 신속하고 유연하게 대응할 수 있는 기술 개발 확대 필요성 증대

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
	• 보고서명 : '23년 4분기 6대 전략광종 시장 전망 • 저자명(연도): 한국자원정보서비스(2023) • '24년 철광석 시장 전망	• 환경규제 강화 및 철광석 메이저 대형관산의 생산량 증가로 철광석 가격은 하방 압력 지속 전망 • 철광석 수요는 철강산업 둔화에 따라 0.4% 소폭 증가, 공급은 1.1% 증가 전망
화학공업생 산품	• 보고서명 : 골든타임이 얼마 남지 않은 한국 석유화학 산업 • 저자명(연도): 안혜영(2023) • 예상보다 빠르게 다가온 중국의 자급률 확대와 글로벌 환경규제 강화에 따른 석유화학 산업 진단	• 중국 자급률 확대 • 환경규제 강화 가속화 • 에틸렌 생산능력
	• 논문명 : 정유기업의 에틸렌시장 진입이 국내 석유화학산업에 미칠 영향과 시사점 • 저자명(연도): 조용원(2018) • 석유화학산업 시장 전망(과잉공급 문제)	• 에틸렌 가격 • 합성수지 가격 • 코스피 지수 • 국제유가
	• 논문명 : 주요 원자재가격이 거시경제에 미치는 영향 - 석유화학산업을 중심으로 • 저자명(연도): 박한솔(2015) • 벡터자기회귀 모형을 활용, 유가와 석유화학 산업이 한국 경제에 미치는 영향을 실증분석	• 두바이유 • 에틸렌 • P-X • 환율 • 이자율 • 소비자물가지수 • 실업률 • GDP
	• 보고서명 : The Future of Petrochemicals - Growth Surrounded by Uncertainty • 저자명(연도): Duane Dickson·Aijaz Hussain·Bob Kumpf(2019) • 석유화학산업 시장 전망	• 시장분석 • 최종 시장이나 상류 석유가스 관련 요인, 국가정책, 제조기술 도입 등에 따라 큰 시장 변화 발생 가능 • 원유와 천연가스의 가격은 향후 예도 방식, 지역, 추가되는 화학 물질 등에 따라 크게 영향을 미칠 것으로 예상

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
	• 보고서명 : The Future of Petrochemicals - Towards more sustainable plastics and fertilisers Together Secure • 저자명(연도): IEA(2018) • 석유화학산업 시장 미래 예측	• 시장분석 • 석유화학에 투입되는 원료는 석유 및 천연가스이며, 1차 수요의 각 14%, 8% 차지하나 과소평가 경향 • 1) 기존 발표된 정책에 의한 장래 전망 예측 • 2) 장래 목표치 도달을 위한 전망 검토 등 두 가지 미래 대조
	• 논문명 : Predicting the establishment and removal of global trade relations for import and export of petrochemical products • 저자명(연도): Aso Mafakheri, Sadegh Sulaimany, Sara Mohammadi(2023) • 석유화학제품 수출입을 위한 글로벌 교역관계 전망	• 시장분석 • 실증분석(링크 예측 알고리즘) • 석유에서 파생되는 부가가치 제품인 석유화학제품의 계산적 접근은 이해관계자의 미래 시장 및 공급자 식별에 도움 • 2017-2019년 기간의 세계 석유화학 수출입 데이터를 추출 및 전처리 후 양, 음의 링크 예측 알고리즘을 구현하여 결과를 전산 및 실험적 검증
	• 논문명 : Data science and reinforcement learning for price forecasting and raw material procurement in petrochemical industry • 저자명(연도): Chia-Yen Lee· Bai-Jian Chou·Chen-Feng Huang(2022) • 석유화학산업 가격 예측 및 원료 조달을 위한 데이터 과학 및 강화 학습	• 시장분석 • 추세분석 • 부타디엔은 합성고무를 생산하는 핵심 소재이나 가격은 수요-공급 불일치 혹은 외부요인에 따라 변동 • 부타디엔의 중간 가격 예측 및 조달 결정 최적화를 위해 2단계 데이터 과학 프레임워크 제안 • 1단계: 여러 가격 예측 모델 제안, 2단계: 최적의 조달 결정 정책을 도출하고 총 조달 비용을 절감, 최종 가격 예측의 정확성과 원자재 조달 비용 절감 향상

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
	• 논문명 : Forecasting the Energy Capacity of Petrochemical Productions Under Conditions of Technological Transformations • 저자명(연도): Dinara Kh. Gallyamova1, Marina V. Shinkevich(2022) • 기술변화에 따른 석유화학제품의 에너지용량 예측	• 시장분석 • 실증분석(역동성 분석, 변이상관 분석, 회귀분석) • 혁신 도입 상황에서 석유화학산업의 에너지 절약적 발전 양상을 파악하고, 경제학적·수학적 모델링을 기반으로 산업의 에너지 집약도 예측 • 러시아 석유화학산업 발전에서 에너지 소비와 혁신활동 비용의 역동성 평가 후, 석유화학산업의 에너지 집약도 변화에 대한 예측 모형 구축
기타광석	• 논문명 : Forecasting of the consumption of metals up to 2050 • 저자명(연도): Kohmei Halada·Masanori Shimada·Kiyoshi Ijima(2008) • '50년까지 알루미늄, 구리, 철, 크롬 등 금속 소비량을 전망	• 1인당 금속 소비량
	• 논문명 : 한국 식용 천일염 시장규모 전망에 관한 연구 • 저자명(연도): 최병욱 외(2013) • 한국의 식용 천일염 수요 및 공급 규모를 예측	• 생산업체 수 • 소금 소비추세 • 수출입 동향
	• 논문명 : 국내 주요 5개 산업광물의 수급 분석 • 저자명(연도): 이현복(2013) • 석회석, 고령토, 납석, 장석, 규석 등 5개 광물의 수급을 분석함	• 건설수주액 등 국내 건설경기 동향 • 국내 시멘트 생산 및 출하량
	• 논문명 : Determinants of Copper Demand: An End-Use Informed Model • 저자명(연도): SH Anderson(2019) • 구리 수요 전망을 위한 결정요인 도출을 위한 모델링 구축	• 1인당 전력 소비량

구분	저자 및 연구 목적	활용 변수 및 산업 동향
	• 논문명 : Mineral import demand and wind energy deployment in the USA: Co-integration and counterfactual analysis approaches • 저자명(연도): Monirul Islam(2023) • 광물 수입 수요와 풍력발전 설치 용량 간의 공적분 연관성을 분석	• 유가, 환율, 소득 역학
	• 논문명 : 평택·당진항 항만의 일반(잡화) 화물 물동량 추정 • 저자명(연도): 고용기·이희용(2007) • 항만 인근에 입지한 산업단지 면적과 입주비율 등을 바탕으로 평택·당진항 잡화물동량 전망	• 인근 산업단지 면적 • 산업단지 입주비율 • 표준하역능력
	• 논문명: 투입산출 구조분해를 통한 일반기계산업의 성장기여요인 분석 • 저자명(연도): 박재운·원희연(2009) • 투입산출 구조분해(Input-Output Structural Decomposition Analysis)를 통해 일반기계산업의 성장기여요인을 분석	• 최종수요 • 수출수요 • 최종재수입대체
잡화	• 논문명 :Throughput forecasting of different types of cargo in the adriatic seaport Koper • 저자명(연도): Dejan Dragan et al (2021) • -아드리아해 Koper port의 다양한 유형의 항만물동량 전망 모형 개발	• 1인당 국내생산액, 수입액, 수출액, 구매력 평가
	• 논문명 :Korean Economic and Industrial Outlook for 2024 • 저자명(연도): KIET(2024) • 2024 한국의 부문별(생산, 수요) 경기와 수출입 전망	• 2024년 우리나라 기계산업 부문은 전년 대비 2.7% 성장할 것으로 전망됨 • 경기침체에도 불구하고 일반기계 분야의 수출증가가 성장 지속을 이끌 것으로 예상됨 • 반면 2024년 기계산업 수입은 1.3% 감소할 것으로 예상됨 • 해양플랜트 블록의 수입은 확대될 것으로 예상되나 일반기계 수입은 전년 대비 -3.1% 감소 전망

2. 품목별 예측 방법론 관련 주요 선행연구

〈부록 1-2〉 품목별 예측 방법론 관련 주요 선행연구

구분	저자 및 연구 목적	방법론
철광석	• 논문명 : 단계적 회귀분석과 인공신경망 모형을 이용한 광양항 석탄·철광석 물동량 예측력 비교 분석 • 저자명(연도): 조상호 외(2020) • 국내 최대 석탄 및 철광석 처리항만인 광양항의 석탄·철광석 물동량 예측모형 구축	• 단계적 회귀분석 • 인공신경망 모형
	• 논문명 : 머신러닝을 이용한 철광석 가격 예측에 관한 연구 • 저자명(연도): 이우창 외(2020) • 머신러닝 기법을 활용한 철광석 거래 가격 예측모형 구축	• 머신러닝 기법(MLP 모형, RNN 모형, LSTM 모형)
	• 논문명 : Forecasting the Global Price of Iron Ore Using Neural Networks • 저자명(연도): Pouria Farajian·Nima Farajian·Hossein Eghbali(2022) • 신경망 모형을 활용한 세계 철광석 가격 전망	• 신경망 모형(MLP 모형)
	• 논문명 : Forecasting the monthly iron ore import of China using a model combining empirical mode decomposition, non-linear autoregressive neural network, and autoregressive integrated moving average • 저자명(연도): Zheng·Xin·WangYu·Feng Zhao·Ling·Yang He(2020) • 중국의 월별 철광석 수입량 예측	• EMD-NARNN-ARIMA 결합 모형
	• 논문명 : Temporal and spatial evolution of global iron ore supply-demand and trade structure • 저자명(연도): Song, Nuo&Yu(2019)	• 장이론 활용

구분	저자 및 연구 목적	방법론
	• 세계 철광석 생산 및 소비 구조 변화 검토 • 논문명 : Forecasting iron ore import and consumption of China using grey model optimized by particle swarm optimization algorithm • 저자명(연도): Ma, Zhu&Wang(2013) • 입자 군집 최적화 알고리즘을 적용한 그레이 모델을 활용한 중국 철광석 수입 및 소비량 예측모형 구축	• 그레이 모델
화학공업생 산품	• 논문명 : 석유화학공업의 수요예측 및 분석 - 다변수회귀분석 및 소비원단위를 중심으로 • 저자명(연도): 김형욱·배도선(1976) • 국내 석유화학산업 제품에 대한 수요예측 (1976-1981)	• 국내외 문헌연구 • 시장분석 • 다중회귀분석
	• 논문명 : 산업용 도시가스 수요함수의 추정: 석유화학업종을 중심으로 • 저자명(연도): 박철웅·박철호(2019) • 제조업 전체업종, 석유화학업종, 석유화학을 제외한 그 외 업종에 대한 산업용 도시가스 수요함수 추정 및 실증분석	• 국내외 문헌연구 • 시장분석 • 공적분 회귀분석
	• 논문명 : 석유화학 액체화물의 환적과 수출입 물동량 관계연구 • 저자명(연도): 신창훈·양한나(2020) • 전국, 화학공업생산물, 석유정제품, 원유의 부산, 울산, 여수/광양 물동량을 수입, 수출, 환적으로 분류하여 인과관계 연구	• 국내외 문헌연구 • 그랜저 인과관계 • VAR 모형 • Toda and Yamamoto VAR
	• 논문명 : 장단기 앙상블 모델과 이미지를 활용한 주가예측 향상 알고리즘 - 석유화학기업을 중심으로 • 저자명(연도): 방은지·변희웅·조재민(2022) • 석유화학 기업의 매출액과 영업이익 추정	• 시장분석 • 실증분석(LSTE)
	• 논문명 : Data science and reinforcement learning for price forecasting and raw material procurement in petrochemical industry • 저자명(연도): Chia-Yen Lee· Bai-Jian Chou·Chen-Feng Huang(2022)	• 시장분석 • 추세분석(선형로그)

구분	저자 및 연구 목적	방법론
	석유화학산업 가격 예측 및 원료 조달을 위한 데이터 과학 및 강화 학습	
기타광석	- 논문명 : 불안정 시계열의 특성을 고려한 국내 비축 희유금속의 수요예측모형 구축에 관한 연구 - 저자명(연도): 김홍민(2009) - 희유금속 중 크롬의 수요와 가격에서 나타나는 불확실성을 분석하여 적절한 수요예측모형을 제시	벡터오차수정모형(VECM)
	- 논문명 : 국내외 리튬 이온 배터리 수요 및 가격 예측 - 저자명(연도): 박요한·이용철(2020) - 리튬 이온 배터리 가격을 반영한 수요예측모형을 개발	- Benchmarking 모형 - 시나리오 분석
	- 논문명 : Forecasting of the consumption of metals up to 2050 - 저자명(연도): Kohmei Halada·Masanori Shimada·Kiyoshi Ijima(2008) '50년까지 알루미늄, 구리, 철, 크롬 등 금속 소비량을 전망	선형 디커플링 모형(Liner decoupling model)
	- 논문명 : Demand Forecasting Techniques vis-à-vis Demand Forecast for Lead - 저자명(연도): S.K.SHARMA(2015) - 납의 단기 및 중장기적 수요를 예측	추세분석(평균성장률, 이동평균)
잡화	- 논문명 : 고령친화식품산업의 성장과 규모 전망 -건강기능식품과 특수용도식품을 중심으로- - 저자명(연도): 전현정·우희동(2012) - 고령친화식품의 중심적인 상품군이 될 건강기능식품과 특수용도식품의 시장규모에 대한 예측	- 문헌연구 - 회귀분석 - 시계열 데이터 분석(ARIMA 모형)
	- 논문명: 다변수 LSTM 딥러닝 네트워크를 이용한 육계 시세예측모델연구 - 저자명(연도): 이여진 외(2022) - 육계 가격 예측에 기존의 통계적 접근 방식을 벗어나 인공지능 기술을 도입한	머신러닝 기법(LSTM 모형)

구분	저자 및 연구 목적	방법론
	과학적예측모델 개발	
	• 논문명 :Research on combination forecast of port cargo throughput based on time series and causality analysis • 저자명(연도): Chi Zhang et al (2013) • 예측모델의 정확도 향상을 위해 Grey 모형과 로지스틱 성장 곡선 모형이 결합한 예측모형 개발	• 로지스틱 성장곡선 모형 • Grewy 모형
	• 논문명 :Research on Forecasting of Port Bulk Freight Volume during the COVID-19 Pandemic Based on Time Series Analysis • 저자명(연도): Lin Wei et al. (2022) • 광저우항의 2020년 벌크 물동량을 계절 ARIMA 모델을 활용하여 전망	• ARIMA 모형

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	섬·바다·강 연계 관광 네트워크 구축방안 연구	최일선
02	해양 스타트업 실패 자산화 방안 연구	좌미라
03	시민친화적 바닷가 공간 조성에 관한 연구	정지호
04	연안이용 관리 법제 정비방안 연구	최석문
05	특별관리해역 관리제도 재편 방안 연구	최수빈
06	해양관할구역 과세권한의 체계적 배분방안 연구	이혜영
07	어업인의 디지털 전환 수용성 제고방안 연구	오서연
08	수산물 무역(수출입) 단기 전망모형 구축 연구	한기욱
09	어촌소멸에 따른 사회경제적 영향분석과 대응전략 연구	이상규
10	어촌다움에 기반한 어촌공간관리 방안 연구	이승혜
11	파생상품을 이용한 해운선사의 위험관리에 관한 연구 - 운임선도거래(FFA)를 중심으로 -	김한나
12	내항상선 해양사고 경감방안 연구	허성례
13	항만재개발사업 공공성 강화 방안 연구	김세원
14	해외 항만터미널 확보 전략 연구	김근섭
15	항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구	이화섭
16	국내 무역항 거버넌스 체계 개편방안 연구	김근섭
17	선박의 원격운항을 위한 제도 개선방안 연구	박혜리
18	국제물류기업 육성을 위한 법제 개선방안 연구	최나영환
19	글로벌 공급망 리스크 대응 정책효과 분석 모형 개발 연구	강무홍
20	한-북미 무역구조 분석 및 물류공급망 변화 대응방안 연구	이성우

2023년

01	자율운항선박 운항을 위한 해상교통관제 대응방안 연구	박상원
02	인공지능(AI)을 활용한 무역규범의 해양수산분야 영향 분석 연구	임병호
03	공급망 안정화를 위한 항만의 대응방안 연구	이나영
04	연안재해 정보 활용 개선 방안 연구	김찬웅
05	항만의 생활물류 기능 활성화 방안 연구	최석우
06	마을어장 이용·관리 개선방안 연구	마창모
07	해양생태계 복원정책 개선방안 연구 - 사회·생태복원 중심으로 -	최석문
08	주민행태기반 해양정책 수용성 제고 설계 방안 연구	이슬기
09	항만연관산업 고도화 방안 연구	김세원
10	탄소배출권 거래제가 해운선사에 미치는 영향 분석 연구	조아현
11	물류 연계 효율화를 위한 스마트항만 구축방안 연구 - 항만물류 데이터 공유 플랫폼을 중심으로 -	서정용
12	어업분야 중대재해처벌법 대응방안 연구	고동훈
13	수산물의 디지털 수출 활성화 방안 연구	이상건
14	항만개발사업의 정책영향평가 연구	이수영
15	해운산업의 미래 변화 예측과 국내 대응 전략 연구	이호춘
16	어선현대화 촉진을 위한 금융제도 개선방안 연구	엄선희
17	연안도시의 쇠퇴와 대응방안 연구	강창우
18	해양범죄 실태 진단을 통한 대응체계 개선방안 연구	민영훈
19	민간기업의 해양환경분야 ESG 활성화 방안 연구	김지윤
20	식량안보를 고려한 수산물 수급관리 방안 연구	허수진
21	지방분권시대의 수산업·어촌분야 대응전략 연구	이호림
22	해운산업 고도화를 위한 선박투자 활성화 방안 연구	김한나
23	글로벌 공급망 리스크 대응 물류망 최적화 방안 연구 : 한국-북미 물류공급망 중심	이성우

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	해양정보산업 진흥을 위한 제도 개선 방안 연구	김찬웅
02	한-아프리카 국제수산협력 체계 개선 연구	이채령
03	해양안보 MDA 체계 협력적 운용 방안 연구	민영훈
04	인천항 자유무역지역의 효과적 운영을 위한 전략 방안	한장협
05	해양문화자원을 활용한 연안도시활력 증진 방안 연구	이슬기
06	부산항 물동량 유치방안 연구	김은우
07	국제사회의 대북제재 동향과 우리의 대응:해양수산분야를 중심으로	채수란
08	국내 연안여객선 관광·이용 활성화 방안 연구	이정아
09	내수면어업 허가·신고 제도 개선방안 연구	최순
10	어업 선진화를 위한 어업관리체계 개편 방안 연구	심성현
11	글로벌 공급망 변동에 따른 해운물류 지원방안	황수진
12	연안 중소선사의 탄소중립 달성을 위한 친환경정책 지원방안	류희영
13	항만기술산업 활성화를 위한 법제도 정비 방안 연구	김보경
14	해양모태펀드 투자활성화 방안 연구	한기원
15	특별관리해역 내 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 강화방안	장원근
16	중대재해처벌법 대응 양식장 안전성 개선 방안 연구	윤미경
17	국가관리연안항 발전전략 수립체계 연구	신정훈
18	글로벌 공급망 대응 해운항만물류 전문인력 양성 발전방안 연구	권보배
19	해양수산 국제개발협력 중장기 전략 연구	전혜은

2023년

01	양식어업 비과세 합리화 방안 연구	이정필
02	복합해양레저관광도시 개념정립 및 추진방안에 관한 연구	최일선
03	항만기술산업 육성을 위한 법제도 마련 연구	안승현
04	블루푸드테크 전문기관의 도입 필요성에 대한 연구	이동림
05	지방자치단체의 해양관할구역 설정 요인 연구	이혜영
06	양식장 내 어류 복지 기준 마련을 위한 연구	오서연
07	해양플라스틱 재활용산업 공급사슬 기반 조성 연구	이윤정
08	중소·중견 물류기업의 ESG경영 가이드라인 구축 연구	이재호
09	신항만건설사업의 민간투자 확대를 위한 제도개선 연구	김보경
10	해수욕장 이용객 집계·관리체계 개선방안 연구	이정아
11	유엔 플라스틱 협약의 주요쟁점 분석 및 대응방향 연구	박수진
12	어촌 활력 제고를 위한 제도 개선방안 연구	문지원
13	어선의 친환경에너지 전환방안 연구	고동훈

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2024년

01	한-북극권 청색경제 협력사업 추진 방안	김엄지
02	전환기 글로벌 해양환경규범의 대응력 강화 연구	박수진
03	해양 지속가능성 시범 평가 연구	최희정
04	Scope 3 기준 원양산업 탄소배출추정 및 대응방안 연구 - 원양저연승어업을 중심으로	조현주
05	수산물 공급망 관리 개선 방안 연구(한-태 무역을 중심으로)	한기욱
06	신통상규범 확대에 따른 수산분야 영향 및 대응방안	박혜진
07	탄소배출규제 대응을 위한 컨테이너 선대 교체 수요 추정연구	최건우
08	연안항개발사업의 경제적 편익에 관한 연구	김성아
09	한국과 미동부 항만 간 녹색해운항로 구축방안 연구	김가현
10	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ) -철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

Ⅰ 2023년

01	해양수산업 조기경보지수 개발 - 컨테이너 해운시장을 중심으로	권장한
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구(Ⅱ) - 우리나라 주요 항만을 중심으로	강무홍
03	우리나라 수산식품 소비 활성화 방안 마련 연구	한기욱
04	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅱ) - 유류, 철재, 모래, 목재, 양곡을 중심으로	이화섭
05	대기행렬모형을 활용한 선박대기비용 절감 편익 산정 연구	조아현
06	항만개발사업 정책효과 세부항목별 효과산정 방법 연구	이종필
07	해양 지속가능성 평가체계 구축 연구	최희정
08	국내 해운기업의 ESG 경영 확산 방안 연구	황진희
09	해운 경기순환 분석 및 예측 연구	황수진
10	수산물 공급 안정을 위한 수입수산물 전략품목 관리 방안 연구	박혜진
11	항만산업 여성인력 확대방안 연구	이지원
12	선사공동행위의 규제 및 행동 변화에 따른 영향 분석과 정책방안 연구	류희영

일반연구 2024-10

비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화방안 연구(Ⅲ)
- 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로

인쇄 2024년 12월 29일

발행 2024년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

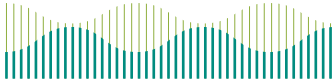
연락처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 캡스앤디 컴퍼니 (051-911-9890)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 6,000원



비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(III)

- 철광석, 화학공업생산물, 기타광석, 잡화를 중심으로

A Study on the Advancement of the Non-container Port
Throughput Forecasting Model(III)

: A Focused Analysis on Iron Ore, Chemical Industry Product,
Other Ore, Miscellaneous Goods



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

TEL. 051-797-4800

FAX. 051-797-4810



9 791168 662308



93300

ISBN 979-11-6866-230-8 값 6,000원