

중국 스마트항만 구축 동향 조사: 기존 터미널 개조사례를 중심으로

China's Smart Port Development:
Focusing on Existing Terminal Retrofit Cases

김은우 · 김보경 · 김태일



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	김은우, 김보경, 김태일
내부연구진	연구책임자 김은우 한국해양수산개발원 항만산업연구실 연구위원 공동연구원 김보경 한국해양수산개발원 항만정책연구실 부연구위원 공동연구원 김태일 한국해양수산개발원 중국연구센터 선임연구위원
연구기간	2025. 1. 1. ~ 2025. 10. 31.
보고서 집필내역	
연구책임자	김은우 연구총괄, 제1장, 제3장, 제4장 일부, 제5장
내부연구진	김보경 제2장, 제4장 일부 김태일 제2장 일부

목차

01	서론_1	
	제1절 연구의 배경 및 목적	1
	1. 연구 배경	1
	2. 연구 목적	2
	제2절 연구의 차별성 및 주요내용	3
	1. 연구의 차별성	3
	2. 연구의 범위 및 주요 내용	3
02	컨테이너터미널 자동화 개조 동향_5	
	제1절 컨테이너터미널 자동화 동향 및 정책	5
	1. 컨테이너터미널 자동화 동향 및 여건	5
	2. 컨테이너터미널 개조 방식	8
	3. 컨테이너터미널 개조 동인 및 한계점	14
	제2절 중국 컨테이너터미널 개조 정책 및 동향	19
	1. 스마트항만 관련 국가 및 항만 정책	19
	2. 개조 관련 정책 및 추진 여건	23
03	중국의 컨테이너터미널 자동화 개조 사례_27	
	제1절 자동화 개조 동향	27
	1. 시기별 추세	27
	2. 개조 유형	29
	3. 하역장비 구성	32
	제2절 주요 항만 개조 사례 분석	38
	1. 단계적 개조 사례	38
	2. 전면 개조 사례	43
	3. 그린필드형 복합 개조 사례	47
	제3절 요약 및 시사점	50

1. 요약	50
2. 시사점	53

04 기존 컨테이너 터미널의 자동화 개조 방안 _55

제1절 개조의 기본 방향	55
1. 개조의 본질 및 필요성	55
2. 개조 추진의 기본 원칙	56
제2절 개조방식 및 범위 설정	58
1. 수평이송 영역	58
2. 안벽 및 야드 영역	61
3. 터미널 배치 및 운영시스템	63
제3절 소결	65

05 결론 및 시사점 _67

제1절 요약	67
제2절 국내 적용을 위한 시사점	68
1. 정책 패러다임을 운영 혁신 중심으로 전환	69
2. 국산화 기반의 기술 자립	69
3. 정부 재정지원과 금융수단의 제도화	70
4. 속도감 있는 개조를 위한 정책 기반 마련	70
5. 거버넌스 차이를 고려한 제도 설계	71

표 목차

〈표 2-1〉 컨테이너터미널 자동화 도입 효과	7
〈표 2-2〉 컨테이너터미널 자동화 도입 효과	10
〈표 2-3〉 중국 스마트항만 시범사업 추진 성과	19
〈표 2-4〉 스마트항만 관련 주요 정책	21
〈표 2-5〉 중국 항만 정책 중 개조와 관련한 내용	23
〈표 2-6〉 항만 개조와 관련한 주요 행사 사례	25
〈표 3-1〉 중국의 자동화 개조 컨테이너터미널(1)	28
〈표 3-2〉 중국의 자동화 개조 컨테이너터미널(2)	29
〈표 3-3〉 중국의 완전자동화 컨테이너터미널 개조 유형	32
〈표 3-4〉 중국의 반자동화 개조 컨테이너터미널 하역장비 구성(1)	34
〈표 3-5〉 중국의 반자동화 개조 컨테이너터미널 하역장비 구성(2)	35
〈표 3-6〉 중국 연해지역 완전자동화 개조 컨테이너터미널의 하역장비 구성	37
〈표 3-1〉 수평이송 장비 유형별 기술 특성 비교	58
〈표 3-2〉 수평이송 구간의 혼합주행과 분리주행 방식 비교	60
〈표 3-3〉 ARMG와 ARTG의 장단점 비교	62

그림 목차

〈그림 2-1〉 전 세계 자동화 항만 도입 전망	6
〈그림 2-2〉 스마트항만 시장 전망	6
〈그림 2-3〉 자동화 컨테이너터미널 그린필드 개발 사례	8
〈그림 2-4〉 자동화 컨테이너터미널 브라운필드 개발 사례	8
〈그림 2-5〉 그린필드형 개조 (호주 Fisherman Islands 터미널)	11
〈그림 2-6〉 전면개조 (호주 시드니 Autostrad 터미널)	12
〈그림 2-7〉 단계적 개조 (독일 CTB 터미널)	13
〈그림 3-1〉 야드 크레인 자동화 사례	38
〈그림 3-2〉 수평 이송장비 자동화 사례	38
〈그림 3-3〉 샤먼항 하이룬 컨테이너터미널 개조 전후 야드 레이아웃	40
〈그림 3-4〉 샤먼항 위안하이 터미널 레이아웃	46
〈그림 3-5〉 Ningbo저우산항 메이둥 터미널 조감도	50

약어 목록

- AGV: Automated Guided Vehicle
- AI: Authentic Intelligence
- AIV: Automated Intelligent Vehicle
- ARMG: Automated Rail Mounted Gantry
- ARTG: Automated Rubber-Tired Gantry
- ASC: Automated Stacking Cranes
- ATT: Autonomous Terminal Truck
- AT: Autonomous Truck
- CAPEX: Capital Expenditures
- CPS: Container Positioning System
- ECS: Equipment Control System
- FMS: Fleet Mangement System
- GPS: Global Positioning System
- IGV: Intelligent Guided Vehicle
- LCPS: Load Collision Prevention System
- OPS: Onshore Power Supply
- Q/C: Quay Crane
- QCMS: Quay Crane Management System
- QQCNT: Qingdao New Qianwan Container Terminal
- RTGC: Rubber Tired Gantry Crane
- S/C: Straddle Carrier
- SPSS: Ship Planning Support System
- S/W: Software
- SIPG: Shanghai International Port Group
- T/C: Transfer Crane

-
- TOS: Terminal Operating System
 - V2X: Vehicle-to-Everything
 - RTK: Real Time Kinematic

01

서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구 배경

항만산업의 경쟁 구도는 디지털 기술의 융합과 자동화 수준의 고도화에 의해 재편되고 있다. 특히 컨테이너터미널의 자동화는 단순한 효율성 제고의 문제가 아니라 글로벌 공급망의 안정성과 지속가능성을 좌우하는 핵심 인프라 혁신으로 인식되고 있다.

과거에는 신항만을 중심으로 한 완전 자동화 건설이 주요 흐름이었지만, 최근 들어 기존 운영 항만을 점진적으로 자동화하는 개조형 전환이 세계적인 추세로 부상하고 있다. 이러한 변화는 기존 인프라의 노후화, 도심 항만의 공간 제약, 인력 고령화 등 복합적 요인에 기인하며, 운영 효율성을 유지하면서 점진적으로 스마트화를 달성하려는 현실적 선택이라 할 수 있다.

중국은 이러한 흐름 속에서 가장 적극적인 자동화 개조 추진국으로 자리 잡았다. 2024년 6월 기준, 중국 본토에는 완전자동화와 반자동화를 포함하여 총 65개 자동화 컨테이너터미널이 운영되고 있으며, 이 가운데 51개 터미널(약 78%)이 기존 부두의 개조를 통해 완전 또는 부분 자동화 수준에

도달했다. 즉, 자동화 개조는 신규 건설보다 훨씬 폭넓게 확산된 형태로 중국 항만의 구조적 전환을 견인하는 핵심 축으로 자리 잡았다. 특히 2024년 이후 신규 자동화 신항만의 수보다 기존 항만의 개조 프로젝트가 빠르게 증가하고 있어, 중국의 항만 자동화 전략이 '신설 중심'에서 '개조 중심'으로 이동했음을 확인할 수 있다.

자동화로 개조는 기존 터미널의 부지와 자산 등을 활용한다는 측면에서 보다 신설보다 저 비용으로 자동화의 기능을 확보할 수 있으며, 보다 빠른 시간에 전환이 가능하다. 반면 기존 터미널의 운영 중단을 최소화하고 기술적 통합 측면에서 도전적인 과제도 존재한다. 우리나라 역시 신규 개발되는 터미널 외 기존 재래 방식의 터미널이 가지는 장비 운영의 한계, 효율성 저하, 인적자원 부족 등에 있어 자동화로 전환 필요성이 높아지고 있으므로 중국의 컨테이너터미널 개조는 국내 정책 수립에 유의미한 시사점을 제공할 수 있다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 중국의 컨테이너터미널 자동화 개조 추진 현황과 기술적 특징을 체계적으로 분석하고, 대표적인 항만 사례를 통해 개조형 자동화의 유형과 특징을 도출한 후 이를 바탕으로 한국형 자동화 개조의 방향과 추진 과제를 제시하는 데 있다.

이를 통해 단순한 신항 건설 중심의 접근에서 벗어나 기존 터미널의 운영 연속성과 비용 효율성을 동시에 고려한 현실적 자동화 개조 모델을 제시하고자 한다. 궁극적으로는 국내 항만의 스마트화 및 자동화 전략 수립을 위한 정책적·기술적 시사점을 도출하는 것을 연구의 목적으로 한다.

제2절 연구의 차별성 및 주요 내용

1. 연구의 차별성

현재 중국은 자동화 터미널 분야에서 세계적으로 가장 빠른 진전을 보이고 있으며, 특히 기존 부두의 운영을 유지한 채 자동화로 전환하는 ‘개조형 자동화’ 분야에서 독보적인 성과를 거두고 있다.

그러나 기존 연구들은 대부분 신설 자동화 터미널에 초점을 두고 진행되어 왔으며, 중국의 기존 터미널 자동화 개조 정책, 기술적 진화, 운영체계 변화를 종합적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다.

중국은 2016년 이후 주요 연해항을 중심으로 자동화 개조를 본격화하였으나, 이 과정을 정책적 지원 구조·기술적 구성·운영 효율성 등 다각적 관점에서 체계적으로 분석한 국내 연구는 여전히 미비하다.

이에 본 연구는 이러한 공백을 보완하기 위해 중국의 자동화 개조 정책, 기술 적용 방식, 주요 항만의 실제 운영 사례를 포괄적으로 분석하였으며, 이를 바탕으로 한국형 자동화 개조 모델의 설계 방향과 정책적 시사점을 제시함으로써 기존 연구와 명확히 구분되는 차별성을 갖는다.

2. 연구의 범위 및 주요 내용

본 연구의 시간적 범위는 2016년 이후 자동화 개조를 완료하거나 진행 중인 시점을 대상으로 하였으며, 공간적 범위는 중국의 주요 연해항만인 샤먼항, 닝보저우산항, 상하이항, 톈진항, 다롄항, 선전항을 중심으로 내륙의 주요 거점항만인 충칭항, 양쑤항, 루저우항 등을 포함했다.

연구의 범위는 크게 정책, 기술, 운영의 세 가지 측면으로 구분된다.

첫째, 정책적 측면에서는 중국 정부와 지방 항만그룹이 추진한 스마트항만 정책과 자동화 개조 지원체계를 분석하였다.

둘째, 기술적 측면에서는 안벽, 야드, 수평이송 등 주요 영역별 자동화 장비의 구성과 통합제어 기술을 검토하였다.

셋째, 운영적 측면에서는 운영 연속성, 시스템 통합, 인력 전환, 투자 효율성 등 개조형 자동화의 관리적 특성과 효과를 평가하였다.시유

이 연구는 다섯 단계의 분석 절차를 거쳐 진행되었다.

첫째, 글로벌 항만자동화의 발전 추세와 정책 프레임을 검토하여 자동화 개조가 전 세계적으로 어떤 방향으로 진화하고 있는지를 살펴보았다.

둘째, 중국의 스마트항만 정책과 자동화 개조 추진 현황을 분석하고, 지역별 추진 양상과 항만그룹의 기술 전략을 정리하였다. 특히 안벽, 야드, 수평이송 영역별 개조 방식을 유형화하여 중국 항만의 개조체계를 구조적으로 파악하였다.

셋째, 샤먼항, 닝보저우산항, 톈진항, 상하이항 등 대표적인 자동화 개조 항만을 사례로 선정하고, 각 항만의 개조 유형, 장비 구성, 시스템 통합 수준, 운영 효율성 개선 효과를 비교·분석하였다.

넷째, 개조 과정에서 드러난 주요 기술적·운영상의 쟁점들을 운영 연속성, 기존 시스템 통합, 인력 구조 전환, 안전관리, 투자 효율성 등의 측면에서 검토하고, 이에 대한 구체적인 해결 방안을 제시하였다.

마지막으로, 이러한 분석 결과를 바탕으로 한국 항만이 향후 추진해야 할 자동화 개조 방향과 적용 가능한 정책 모델을 제안하였다.

02

컨테이너터미널 자동화 개조 동향

제1절 컨테이너터미널 자동화 동향 및 정책

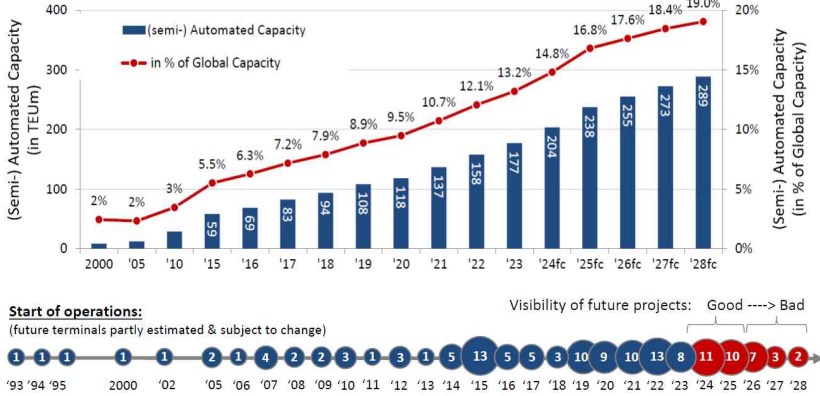
1. 컨테이너터미널 자동화 동향 및 여건

자동화 인프라 개발과 운영은 스마트항만을 실현하기 위한 기본적이고 핵심적인 요소라고 할 수 있다. 향후 20년 내 항만의 완전자동화가 실현될 수 있을 것으로 예측하기도 하고, 실제 많은(74%) 항만업계 종사자들은 항만 자동화를 경쟁력 유지의 중요한 요인으로 인식하고 있다.¹⁾ 향후 개발되는 컨테이너터미널의 역시 자동화터미널로 개발될 가능성이 높다. 현재 계획 중인 프로젝트를 살펴보면, 현재(2023년 기준) 운영 중인 103개 자동화 터미널은 2028년까지 33개가 추가되어 204백만 TEU에서 289백만 TEU를 처리하는 규모로 증가(8,500만 TEU 증가)할 것으로 예상된다. 이는 전 세계 컨테이너터미널 처리규모의 19%를 차지한다.

1) Port Technology International (2018)

〈그림 2-1〉 전 세계 자동화 항만 도입 전망

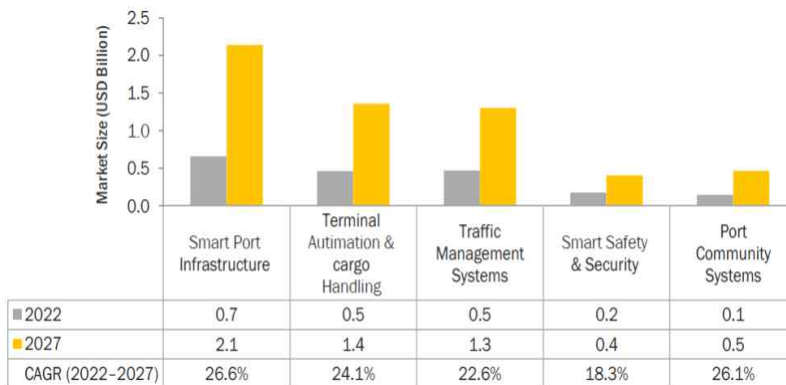
(Semi-) Automated Container Terminals*



자료: DS Research(2024), pp.47~48.

항만 자동화 확산에 따라 이를 대변하는 스마트항만 시장의 확대도 예상된다. 2012년 기준 19억 달러에서 2027년 약 257억 달러로 연평균 24.3%의 증가율을 나타낼 것으로 보이며, 분야별로는 항만 인프라 투자, 하역 및 자동화 설비 등이 높은 비중을 차지함을 알 수 있다.

〈그림 2-2〉 스마트항만 시장 전망



자료: Smart Port Market(2022), p.43.

항만 인프라의 자동화를 도입하는 주요 동인은 운영 효율성 제고, 비용 절감, 안전 및 친환경 제고 등이 대표적이다. Knatz G. et al.(2023)에서 보여주는 실제 조사 결과에서도 컨테이너 자동화 도입 효과는 안전성 향상, 비용(단가) 절감, 운영 안정성 확보, 인건비 절감 및 인적리스크 감소 등으로 높은 값으로 도출되었다. 특히 다수 요인에서 반자동화(Semi-automated) 보다 완전자동화(Fully Automated) 터미널에서 그 효과가 높다고 파악되었다. 이러한 자동화 요인은 상호 상관관계가 높으므로 그 효과는 더욱더 극대화 될 수 있다. 실제 많은 연구들에서 항만 자동화는 생산성(productivity)과 안정성(stability)의 달성이 가능하고, 터미널 운영 측면에서 신뢰성(reliability), 예측가능성(predictability), 운영 성능의 일관성(consistency of operational performance)을 보장할 수 있다 (Kim et al., 2022). 따라서 향후 생산성 향상 요구, 안전 및 환경적 규제 강화, 인력부족 문제 등의 극복을 위해서는 컨테이너터미널에서 자동화 도입은 대세가 될 것으로 보이며 다양한 효과를 기대할 수 있다.

〈표 2-1〉 컨테이너터미널 자동화 도입 효과

순위	요인	평균값	순위	요인	평균값
1	안전성 향상	6.28	7	트럭 턴타임 개선	5.03
2	컨테이너 핸들링 단가 절감	5.63	8	연중 24간 운영 가능	4.88
3	인적 리스크(질병, 파업 등) 감소	5.59	9	대형선 핸들링을 위한 효율성 향상	4.72
4	운영 안정성(변동성 감소)	5.47	10	생산성 향상	4.59
5	인건비 절감	5.44	11	항만의 기술 및 운영적 혁신 제고	4.34
6	대기/온실가스 배출량 감소	5.38	12	선사 요구사항 충족	3.75

주: 전 세계 63개 자동화 터미널 운영사를 대상으로 조사하였으며, 32개 응답을 통해 도출(1점 척도로 조사, 7점이 가장 중요)

자료: Knatz. G et al(2023) 바탕으로 저자 정리 및 재구성

2. 컨테이너터미널 개조 방식

1) 자동화 컨테이너터미널 개발 유형

(1) 그린필드

항만 인프라의 자동화 도입 방식은 크게 그린필드(Greenfield)와 브라운필드(Brownfield) 방식으로 구분할 수 있다. 그린필드는 신규 컨테이너터미널 개발 시 설계 단계에서부터 자동화를 염두에 두고 터미널 레이아웃 설정, 인프라, 장비, 시스템을 도입하는 것을 의미한다. 운영 효율과 안전성을 최적화할 수 있도록 설계 및 운영이 가능하고, 최신 장비 및 기술을 적용할 수 있다. 다만 건설비용에 대한 부담과 이에 대한 초기 투자 리스크가 크고, 완공까지 장시간 소요되는 단점이 있다. 따라서 대형 완전자동화 터미널 개발에 주로 적용된다. 최근 중국 다수 항만(상하이 양산항 4단계, 청도항 QQCTN 등), 싱가포르항(TUAS항), 네덜란드 로테르담항(RWG, APMT II 등)은 완전자동화 형태의 자동화터미널을 신규로 개발하여 운영 중으로, 대표적인 그린필드 방식에 해당된다.

〈그림 2-3〉 자동화 컨테이너터미널 그린필드 개발 사례



〈상하이 양산항 4단계〉

〈로테르담항 RWG 터미널〉

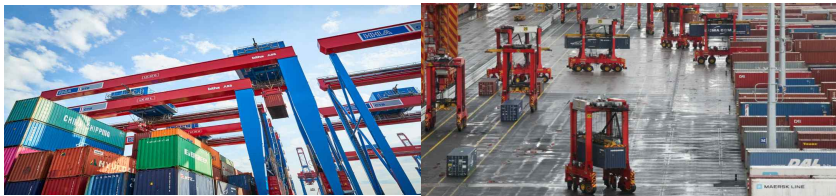
자료: Seatrade Maritime 및 RWG 홈페이지(검색일: 2025.10.18.)

(2) 브라운필드

브라운필드 방식은 기존 운영 중인 터미널을 개조 또는 재개발하여 자동화 터미널로 전환하는 방식으로 기존 안벽 및 야드 등의 토목 인프라를 최대한 유지 및 활용하면서 그밖에 시설 및 장비를 개조하는 방식이다. 본 연구에서 다루고자 하는 터미널 개조도 브라운필드 개발 방식에 해당한다고 할 수 있다. 브라운필드 방식은 주로 운영비용 절감, 생산성 향상, 인력 부족 문제를 해소 등을 목적으로 추진되며²⁾, 기존 인프라를 활용한다는 점에서 투자 규모가 그린필드 대비 적고 단계적 전환이 용이하다. 다만 설계상 제약이 존재하므로 운영 중단 발생 가능성이 있으며, 기존 인프라 및 시설, 장비 등과 통합 및 호환이 이루어져야 함에 따라 고도화된 기술 적용이 요구될 수 있다.

통상 브라운필드는 부분적인 자동화 전환에 유리함에 따라 주로 야드 자동화, 자동 이송장비 전환 등에 적용되어 왔다. 대표적으로 독일 함부르크항 HHLA CTB 터미널은 야드 자동화의 대표적 사례로 기존 스트래들 기반 운영을 블록 단위 ASC로 전환하였다. 호주 Fisherman Islands 터미널 및 시드니 Autostrad 터미널은 기존 유인 이송장비를 자동 스트래들캐리어(Auto S/C)로 전환하였고, 또한 영국 펠릭스토우항 및 말레이시아 탄중펠레파스항은 자동이송장비인 ATT를 도입하여 기존 유인트럭과 혼합하여 운영되고 있다.

〈그림 2-4〉 자동화 컨테이너터미널 브라운필드 사례



〈독일 함부르크항 HHLA CTB 터미널〉

〈호주 시드니항 Autostrad 터미널〉

자료: ABB 및 The Sydney Morning Herald 홈페이지(검색일: 2025.10.18.)

2) Gajardo et al.(2022)

(3) 자동화 컨테이너터미널 개발 방식 비교·정리

그린필드 방식은 완전 자동화 설계에 유리하며, 설계 단계에서부터 AGV/ATT, ASC 블록야드, 원격 조종 Q/C 등 전 과정 자동화를 통합적으로 구축 가능하다. 또한 디지털 트윈·스마트 에너지 관리 같은 스마트 솔루션과 통합하여 운영함으로써 스마트항만 실현에 유리하다고 할 수 있다. 반면 브라운필드는 야드 자동화, 기존 유인장비에서 자동 이송장비로 전환, Q/C 원격조정 등 부분적인 자동화 전환에 적합하고, 초기에 적은 투자비용과 기존 터미널의 운영을 유지하면서 추진할 수 있는 장점이 있다. 실제 글로벌 컨테이너터미널 개발 추세는 신규 대형 항만의 경우 그린필드 방식으로 완전자동화 터미널 구축, 기존 주요 항만은 브라운필드 방식의 단계적 자동화를 통해 자동화 터미널로 운영이 이루어진다고 할 수 있다.

〈표 2-2〉 컨테이너터미널 자동화 도입 효과

구분	그린필드	브라운필드
정의	• 신규 터미널 개발 시 자동화로 설계·건설하는 방식	• 기존 운영 터미널을 개조·업그레이드하는 방식
대표적 적용	• 대규모 신규 항만 프로젝트 (예: 양산항 4기, 싱가포르 TUAS)	• 기존 주요 항만 자동화 전환 (예: 함부르크 CTB, 시드니 Autostrad 터미널)
설계 자유도	• 최고 수준 - 최신 자동화 기술을 처음부터 반영 가능	• 제한적 - 기존 안벽, 크레인, 토목 구조 제약 고려 필요
투자 비용/기간	• 장기간 투자와 대규모 자본 필요	• 상대적으로 적음 • 단계적·부분적 투자 가능
운영 중단 리스크	• 없음 (신규 건설)	• 있음(운영과 개조를 병행해야 하므로 생산성 저하 가능성)
기술 도입 범위	• 완전자동화(AGV, ASC, 원격 Q/C, 스마트 에너지 등 통합 구축 가능)	• 부분 자동화부터 점진 확대 (야드 → 수평운송 → 선측)
투자수익률	• 장기적·대규모 효과 기대 가능	• 단기·중기 ROI 확보 용이, 초기 투자 부담 완화
조직·노무 영향	• 신규 인력 체계 구축, 노사관계 영향 상대적으로 적음	• 기존 인력 재배치·재교육 필요, 노사 합의 중요

자료: 저자 작성

2) 개조 추진 방식³⁾

(1) 그린필드형 개조

첫째는 그린필드형 개조방식이다. 이는 기존 터미널 운영을 중단하지 않고 새로운 토지에 새로운 자동화 터미널을 개발하여 운영하고, 점차적으로 기존 터미널과 통합하여 전체 자동화를 실현하는 방식이라고 할 수 있다. <그림 2-5>의 호주 Fisherman Islands 터미널의 사례와 같이 인근 토지에 컨테이너터미널을 확장·개발하여 자동화 시스템을 구축하여 운영을 시작하고(2005년), 이후 나머지 구역을 단계적으로 자동화로 전환하여 궁극적으로는 한 개의 터미널로 통합하여 운영할 수 있다(2009년).⁴⁾ 해당 터미널은 실질적인 운영 중단 발생을 최소화할 수 있으며, 그린필드 개발에서와 같이 최신 기술 및 장비 도입에 유리한 점이 있다.

<그림 2-5> 그린필드형 개조 (호주 Fisherman Islands 터미널)



자료: Gajardo et al.(2022)

3) 공식적인 개조 방식에 대한 분류는 없으며, Gajardo et al.(2022) 참조하여 정리함

4) Patrick Terminals(검색일: 2025.10.19.)

(2) 전면 개조

두 번째는 ‘전면개조’ 방식으로 자동화를 신속하게 추진하기 위해 터미널을 일시적으로 폐쇄하여 신규 장비 및 시스템을 도입하는 것이다. 이 경우 운영 중단은 필수이며, 개조 범위 및 도입 기술 특성에 따라 운영 중단 발생이 달라질 수 있다. 대표적 사례로 호주 시드니 Autostrad 터미널을 꼽을 수 있다.⁵⁾ 2015년 해당 터미널의 경우 기존 유인 S/C를 무인 자동화(Auto) S/C로 전환하는 개조작업을 추진하였다.

〈그림 2-6〉 전면개조 (호주 시드니 Autostrad 터미널)



자료: Gajardo et al.(2022)

개조 방법은 기존 터미널 외부에 시범운영구역을 지정하고 신규 장비(차량군)의 테스트를 수행하였다. 이후 약 4일간 전체 터미널을 폐쇄하고 신규 장비를 일괄 투입(S/W 통합 포함)하여 전환하고 운영을 재개하였다. 해당 사례 개조방식의 핵심은 짧은 기간의 폐쇄를 통해 운영 중단을 최소화한 것으로, 충분한 시범 테스트를 통해 장비운영 안정성을 확보한 것이다. 또한 신규 도입된 Auto S/C의 경우 기존 터미널의 레이아웃을 그대로 유지

5) Kalmar(검색일: 2025.10.19.)

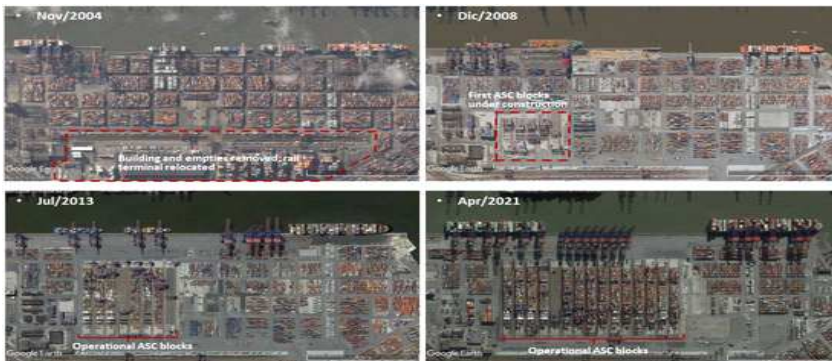
하면서 별도의 레일 또는 야드 토목공사가 불필요한 점이 개조 작업에 유리하게 작용할 수 있었다.

(3) 단계적 개조

마지막은 단계적 개조 방식으로, 터미널 운영을 중단하지 않고 여러 터미널 블록에 걸쳐 자동화 시스템을 점진적으로 도입하는 방식이다. 신규 부지 확보 및 개발이 불가능할 경우 신규 장비를 단계적으로 구현하는 방법이 일반적이다. 따라서 기존 터미널의 일부를 폐쇄한 상태로 전환이 필요하며 일부 구역의 사용이 제한되거나 운영 중단이 일어나기도 한다. 이 과정에서 하역능력이나 서비스 수준의 일시적인 감소가 발생할 수 있다.

단계적 개조 방식은 독일 함부르크항 HHLA CTB 터미널 야드 자동화가 대표적 사례이다. 해당 터미널은 ASC 도입을 통해 야드 자동화를 실현한 것으로 <그림 2-8>와 같이 야드 공간의 단계적 전환이 이루어졌다. 초기 (2004년) 야드 내 건물 및 철송장을 이전하여 야드 공간을 확보하고, 야드 내 일부 블록에 ASC를 설치하여 운영하였다(2013). 이후 점차적으로 ASC 공간을 확대 건설하는 방식을 통해 전체 터미널 야드의 자동화를 구축했다.

<그림 2-7> 단계적 개조 (독일 CTB 터미널)



자료: Gajardo et al.(2022)

3. 컨테이너터미널 개조 동인 및 한계점

1) 개조 동인 및 목적

앞서 살펴본 바와 같이 브라운필드 방식을 통한 자동화 터미널 개발 목적은 운영비용 절감과 생산성 향상을 주요 원인으로 파악하였다. 완전자동화 항만은 수백억원의 투자비용이 요구되므로 글로벌 터미널운영사 또는 대형 항만에만 적용할 수 있는 전유물로 인식되었다. 이에 비해 기존 전통 터미널의 자동화 개조는 비용 대비 효과가 높고, 지속 가능한 발전 방향으로 운영될 수 있기 때문에 개조의 필요성과 당위성은 점점 높아진다고 할 수 있다.⁶⁾ 실제 개조가 추진된 사례를 바탕으로 컨테이너터미널 개조 목적과 동인을 유형별로 정리하였다.

(1) 운영 효율성 향상 및 비용 절감

생산성 향상 및 운영비 절감이 자동화의 가장 큰 요인이 될 수 있다. 자동화로 야드 운영 및 이송장비 영역에서 최적화를 이룰 수 있으므로 생산성 향상이 기대된다. 자동화로 개조한 터미널에서 대체적으로 생산성 향상에 대해 긍정적인 평가를 하고 있으며, 기대에 충족되고 있다고 하였다 (Gajardo et al., 2022). 실제 재래식 터미널의 경우 장비 효율성 저하, 작업 불균형, 차량 체류시간 장기화 등 유인 운영 체제에서 발생하는 비효율을 제거하기 위해 자동화 장비로 전환이 이루어지기도 한다.⁷⁾ 그러나 생산성 향상이 반드시 수반되는 것은 아니다. 자동화 초기에는 장비의 기계적 학습에 시간이 소요되어 생산성이 극대화되지 않을 수도 있다.

또 다른 개조를 추진하는 동인은 운영비 절감이다. 실제 Gajardo et

6) Sohu.com (검색일: 2025.10.18.)

7) Hyqfocus (검색일: 2025.10.19.)

al.(2022)에서 언급한 바와 같이 개조를 추진한 12개 터미널 중 7개 터미널에서 개조로 인해 운영비 절감의 효과가 있었다고 응답하였다. 운영비를 차지하고 있는 요인 중 인건비, 유지 관리 및 전력비 절감이 가장 크게 작용한다. 특히 인건비 절감이 운영비 절감에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는데, 인건비가 높은 유럽, 일본 등 선진국에서 이러한 영향으로 인해 개조를 추진할 가능성이 높다.

(2) 인력 부족 및 사고 예방

노동인구 감소 및 인건비 증가에 따라 터미널에서 인력 축소에 대한 요구가 증대되고 있다. 자동화 개조를 통해 이러한 인력 부족에 효과적으로 대처할 수 있다. 기존 현장 인력을 대폭 감소하고 원격조정 및 유지관리 인력을 중심으로 소규모 운영이 가능하다. 즉, 원격 운영을 통해 단위 장비당 필요한 작업자 수를 줄일 수 있으므로 현장 인력의 감소가 가능해진다. 또한 사무실 근무는 더 나은 작업 환경을 제공하므로 인력 채용에 유리한 점이 있다. 특히 현장인력 감소는 인적사고 발생을 줄이고, 야간 또는 이상 기후 환경, 과거 코로나19와 같은 환경에서 작업 제한을 제거할 수 있으므로 보다 효율적인 운영이 가능해진다(Kim et al, 2022).

(3) 친환경, 에너지 효율 향상

자동화된 설비 및 장비는 대부분 전기에너지를 활용할 가능성이 높으며, 장비 운용에 있어 최적화를 달성할 수 있기 때문에 에너지 효율이 향상될 수 있다. 실제 최근 자동화된 장비로 전환할 경우 대부분 전기 기반의 야드 크레인, 이송장비를 도입하고 있다. 특히 최근 AI 등 최신 기술을 접목할 수 있으므로 터미널 운영 과정에서 에너지 사용량 및 배출량 모니터링이 가능해진다. 다만 기존 장비의 전환, 개조 과정에서 해당 시스템을 점진적으로 구축할 가능성이 높다.

(4) 마케팅 효과 및 지속가능성 제고

터미널 개조를 통해 자동화로 전환될 경우 운영 안정성, 신뢰성 및 친환경 터미널이라는 이미지 구축이 가능해지고, 이는 운영사의 마케팅 전략으로 활용할 수 있다. 자동화로 인한 서비스 수준 향상은 고객인 선사에 대한 경쟁력 확보에 중요한 요인으로 작용하기 때문이다.

그밖에 개조를 추진함에 따라 디지털 전환이 가능하고, 이를 바탕으로 데이터 기반 지능적 통합 항만운영이 가능해질 수 있다. 최근 스마트항만 구축이 대두됨에 따라 다양한 기술개발과 도입이 이루어지고 있는데, 개조를 통해 기술개발 및 도입, 운영 과정에서 경험 축적이 가능해지고 궁극적으로는 항만 기술 및 장비 시장을 선점할 수 있게 된다.

3) 개조 시 한계점 및 극복 과제

(1) 개조 과정의 한계점

컨테이너터미널의 개조 과정은 그린필드 개발과 달리 기존 인프라와 터미널 운영을 유지하면서 전환해야 하므로 상당히 복잡하다고 할 수 있다. 개조 과정에서 기존 시스템과 자동화된 시스템의 혼합 과정에서 많은 난제가 발생하는데, 대표적으로 다음과 같다.⁸⁾

첫째 통합의 어려움이다. 자동화 시스템을 기존 수동 프로세스에 맞추는 과정에서 다양한 이해당사자 즉, 장비 제조사, 터미널 운영사, 그 외 서비스 공급자 간 의사소통 문제가 발생할 수 있고, 그 과정에서 작업 비효율 및 지연이 초래될 수 있다.

8) Portwise(검색일: 2025.10.19.) 참조하여 정리

둘째, 개조 과정에서 기존 및 신규 시스템 호환 문제, 장비 검증 및 소프트웨어 통합 문제로 인해 전환 과정이 상당히 복잡해진다. 특히 제어 시스템이 전체적인 설계가 아닌 단편적이거나 임시방편으로 개발·적용되는 경우 최적화가 이루어지지 않을 수 있다.

셋째, 근로자의 적응 및 수용성 문제이다. 기존 수동 시스템에 익숙한 근로자는 새로운 기술에 적응이 필요하며, 이 과정에서 업무속도 저하 및 생산성 저하로 이어질 수 있다. 이는 직무전환에 대한 교육·훈련이 요구된다.

넷째, 개조 과정에서 장비에 대한 테스트가 불충분하거나, 기능 및 사양에 대한 이해도가 떨어지면 운영 시 성능 저하로 이어질 수 있다.

마지막으로 개조 시 설정한 목표(예: 크레인 생산성, 선박 재항시간 등)와 운영 간에 차이가 발생할 수 있으며, 이는 설계 당시에 상세한 검토와 평가, 시뮬레이션을 통해 극복할 수 있다.

(2) 개조 시 한계점 극복 과제

앞서 살펴본 개조 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 극복하기 위해 몇 가지 고려하거나 검토해야 하는 요인들이 있다. 이를 통해 불필요한 작업 지연, 추가 비용 발생을 피하고, 개조 시 설정한 목표 달성이 가능해질 수 있다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.⁹⁾

첫째, 자동화 효과에 대한 과대평가를 지양해야 한다. 자동화로 개조 직후 바로 생산성 향상이 달성되지 않을 수 있기 때문이다. 수동 방식보다 작업 시간이 길 수 있으며, 정밀 제어가 필요한 작업에서는 처리 속도가 떨어질 수 있다. 따라서 현실적인 생산성 목표를 설정하고, 시뮬레이션과

9) Kaj and Pim(2024) 참조하여 저자 정리

파일럿 테스트로 검증하는 것이 필수적이다.

둘째, 부분적 개조라고 할지라도 단순한 장비 교체가 아닌 전반적인 운영시스템의 변화가 일어난다. 이는 원격 제어, 데이터 기반 의사결정, IT 유지보수 능력 등은 새로운 역량을 요구할 수 있다. 따라서 새로운 기술에 대한 인식 개선과 근로자의 교육·훈련의 반드시 수반되어야 한다.

셋째, 자동화로 개조작업 중 지연이 발생하는 가장 큰 요인은 시스템 통합 문제이다. 장비(H/W), TOS, FMS 등 다양한 시스템이 상호 적절히 연계되지 않을 경우 수작업이 불가피해진다. 이러한 문제는 단편적인 공급자(제조사)의 역량 문제가 아닌 전체 시스템의 통합에 대한 검증, 테스트를 거치는 등의 사전 검토와 준비에 따라 결정된다.

넷째, 앞서 살펴본 몇 가지 개조 방식에 대해 터미널 특성을 고려하여 최적의 방식을 선택해야 한다. 전면개조 방식은 단기간에 전환이 가능하지만 시스템 오류 시 대안 운영이 어려운 한계점이 있다. 반대로 단계적 개조는 기술적 리스크는 줄일 수 있으나 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 개조 대상 및 범위를 설정하고 합리적인 계획을 수립해야 한다.

마지막으로 개조 과정 특히 단계적 개조 시에는 수동 및 자동화 장비가 혼용되므로 복잡성이 가중될 수 있다. 이 과정에서 운영 효율 저하, 사고발생 등 다양한 문제에 직면할 수 있다. 따라서 그 영향에 대한 사전 분석, 예외 발생 시 처리 대안 마련 등이 요구된다.

제2절 중국 컨테이너터미널 개조 정책 및 동향

1. 스마트항만 관련 국가 및 항만 정책

중국의 스마트항만 구축은 정부의 공통된 정책방향에 따라 추진되며, ‘스마트항만 도입 가속화를 통해 세계 일류항만 건설’에 대한 목표를 일관적으로 지향하고 있다. 즉, 2019년 이후 스마트항만(智慧港口)을 14·15차 5개년 계획의 핵심으로 포함시켰다. 중국 정부의 스마트항만 추진방향¹⁰⁾은 1) 세계 일류 항만 인프라 건설 가속화, 2) 자동화 터미널을 중심으로 한 ‘스마트 항만’ 구축, 3) 스마트 기술의 응용 범위 확대 및 서비스 효율 향상, 4) 기업의 물류비용 절감 및 운영효율 제고 지원, 5) 스마트 항만 표준 체계 정비 및 표준의 선도적 역할 강화 등으로 요약될 수 있다.

대표적으로 정부에서 발표한 「교통운송 정보화 13.5 개발계획(2016)」¹¹⁾에서 최초로 스마트 항만 구축 및 시범사업 추진 계획을 언급하고, 2017년 교통운수부의 ‘스마트항만 시범 프로젝트 실시에 관한 통지’를 통해 스마트항만 건설을 본격적으로 개시했다. 스마트항만 시범사업은 항만의 디지털화 전환을 가속화하고 중국 항만이 스마트 기술과 장비 측면에서 점차 세계 우위를 점할수 있는 기회가 되었다고 평가된다.

10) 교통운수부(2024.10.31.) (검색일: 2025.10.19.)

11) 교통운수부(2016.4.25.) (검색일: 2025.10.20.)

〈표 2-3〉 중국 스마트항만 시범사업 추진 성과

구분	성과	시범사업 대상항만 및 내용
하역 자동화	완전자동화 터미널 건설로 하역작업 전 과정 무인화, 스마트화 견인	• 칭다오항/상하이항: 완전자동화 컨테이너 터미널 건설 • 텐진항/광저우항: 자동화, 스마트화 터미널 건설/개선
항만-도로 연계운송	항만 출입 '컨' 트럭 신분확인 및 예약 시스템을 도입	• 샤먼항/텐진항: '컨' 트럭 예약제를 도입 • 칭다오항: 터미널 게이트에서 신분확인 후 통과하는 시스템 도입
정보 연결공유	통합 클라우드 데이터센터 구축, 운송서류 전자화	• 칭다오항: 항만 작업 관련 20가지 서류 페이퍼리스 실현 • 텐진항: 항만 작업 관련 18가지 서류 페이퍼리스 실현
항만물류 공급사슬	항만물류 운영모델 혁신, 항만물류 공급사슬 정보 공유 촉진	• 상하이항: 강-해상 복합운송 협동 플랫폼을 구축하여 하역작업과 세관업무 조율 • 다롄항: 복합운송 관련 정보자원 통합을 통해 내륙 종합 집산운송체계 구축
신기술 도입	시범사업 참여 항만들은 빅데이터, 베이더우(北斗) 내비게이션, 블록체인, 5G 등 신기술 적극 도입	〈베이더우〉 • 칭다오항: 차량과 하역장비 간 실시간 포지셔닝 및 관리 • 허베이항만그룹: 베이더우 기반 포지셔닝, 충돌방지 및 시각화 관리 실현 〈블록체인〉 상하이항/칭다오항: 블록체인 기술을 통해 수입 화물 픽업 디지털화 실현 • 〈5G〉 텐진항/상하이 양산항/샤먼항/닝보저우산항 등: '5G+자율주행' 기술 탐색 및 운영에 활용

자료: 한국해양수산개발원(2025), p.315

중국의 자동화 컨테이너터미널은 터미널 레이아웃, 하역 프로세스, 장비 선택, 시스템 및 네트워크 구축 등에서 항만별로 고유한 특성을 반영해 개발 또는 개조되었으며, 이를 통해 현재까지 급속한 스마트항만 건설이 이루어지고 있다. 대표적인 성과로 2016년 아시아 최초의 완전자동화 터미널로 개장한 칭다오항 QQCTN은 운영 개시 이후 9차례에 걸쳐 작업효율 부문에서 세계 신기록을 경신했다. 또한 2017년 개장한 상하이항 양산항 4단계 역시 세계 최대 규모의 완전자동화 터미널로서 운영 초기부터 SIPG가 자체 개발한 지능형 생산운영 시스템(I-TOS)과 ZPMC가 자체 개발한

장비관리시스템(ECS)을 적용하여 중국 스마트항만의 기술 기반이 되었다.¹²⁾

시범사업 이후에는 보다 업그레이드된 스마트항만 정책이 마련되었다. 대표적으로 교통운수부는 2020년 「교통운수 분야 신형 인프라 건설 행동방안(2021-2025)」 및 2021년 스마트항만 구축 관련 프로젝트를 포함한 행동방안(2021-2025)을 발표했다. 여기에는 샤먼항, 닝보저우산항, 다롄항 기존 컨테이너터미널 대상 개조(업그레이드)를 통한 스마트화 추진과제가 주요 내용이며, 신규 스마트항만 구축 및 기존 터미널의 야드 자동화, 장비 원격 제어 도입, 장비 및 운영시스템 통합, 자동 이송장비 도입 등이 포함되어 있다. 그 외에도 중국 국무원은 교통운송체계에 관한 종합계획인 「145 현대 종합교통운송체계 발전계획」을 통해 스마트항만 사업을 언급하고 있다.

현재 중국 스마트항만 추진 방향은 기존 ‘자동화 인프라 구축’에서 AI를 접목한 ‘디지털화 인프라 구축’로 전환되고 있다. 즉, AI·5G·디지털트윈 등 ICT 기반 ‘지능형 항만(Intelligent Port)’으로 진화하고 있다. 이는 교통운수부의 「스마트 항만 및 스마트 수로 건설에 대한 의견」(2023)¹³⁾ 및 7개 부처 공동으로 발표한 「인공지능+교통 실행의견」(2025년)¹⁴⁾ 등에서 확인할 수 있다. 교통운수부(2023)는 항만의 전반적인 측면에서 디지털화로 전환을 제시하고 있고, 실행의견(2025)은 항만분야에서 지능형 항만으로 업그레이드를 추진할 것과 연계운송 및 스마트 물류 디지털화를 실현할 것을 포함하고 있다. 이러한 계획들은 스마트항만 구축을 기존 자동화에서 지능적이고 스마트한 운영으로의 진화할 것을 강조하는 것이라 할 수 있다.

12) 中国港口协会(2022), pp.4~5 참조하여 저자 작성

13) 中华人民共和国交通运输部(2023)(검색일: 2025.10.23.)

14) 中华人民共和国交通运输部(2025.9.26.)(검색일: 2025.10.21.)

〈표 2-4〉 스마트항만 관련 주요 정책

구분	주요 내용 및 과제
교통운송 정보화 13.5 개발계획 (2016, 교통운수부)	- 스마트 항만 구축 및 시범사업 추진 계획 언급 - 스마트 항만 구축을 위해 우선 중국 핵심 항만을 선정 - 시범사업 추진을 통해 항만 서비스 전 과정에 대한 자동화스마트화를 실현하고, 항만물류 효율성과 스마트화 수준을 향상
스마트 항만 시범사업 추진에 관한 통지 (2017, 교통운수부)	시범사업을 본격적으로 추진하기 위한 사업방안 제시
교통강국 건설요강 (2019, 중국 정부)	- 중국 항만의 발전방향을 제시 - 항만건설 부문에서는 과학기술 혁신과 스마트화를 통해 교통강국 건설을 강조
세계 일류 항만 건설에 관한 지도의견 (2019, 교통운수부)	- 항만 건설 목표를 제시 - 스마트 항만 건설 가속화를 위해 스마트 항만 시스템 구축 필요성 및 요구 제시
교통운수 분야 신형 인프라 건설 지도의견 (2020, 교통운수부)	뉴딜정책 일환으로 컨테이너터미널 개조, 유지보수 등 전반적인 추진 과제 제시
교통운수 분야 신형 인프라 건설 행동방안 (2021, 교통운수부)	- 스마트항만 중점 프로젝트를 제시 - 터미널 하역장비 자동화 추진과 스마트 물류서비스 플랫폼 구축을 2대 추진 과제로 설정 - 스마트 항만 표준 제정 및 개선, 스마트 항만 건설 지침 제정 등을 독려
14·5 현대 종합교통운송체계 발전계획 (2022, 중국 국무원)	- 교통운송체계에 관한 종합계획 - 교통 인프라 디지털화·네트워크화 업그레이드 프로젝트에 스마트 항만 사업을 포함
스마트 항만 및 스마트 수로 건설에 대한 의견 (2023, 교통운수부)	- 중국 항만 및 수로 인프라의 디지털화와 생산, 운영, 대외 서비스의 전면적 지능화 ① 항만 생산의 스마트화, ② 운영관리의 디지털화, ③ 서비스의 네트워크화, ④ 에너지·안전의 지능화를 제시
인공지능+교통 실행 의견 (2025, 7개 부처 공동)	- 핵심 기술 공급 확대, 혁신 시나리오 역량 강화 가속화, 핵심 요소 보장 강화, 산업 발전 생태계 최적화를 목표 - 종합적인 교통 모델 구축을 포함한 16가지 구체적인 과제를 제시

자료: 한국해양수산개발원(2023), pp.47~49 발췌·정리, 中华人民共和国交通运输部(2025.9.26.), 中华人民共和国交通运输部(2023) (검색일: 2025.10.21.)

2. 개조 관련 정책 및 추진 여건

앞서 살펴본 바와 같이 중국의 스마트항만 정책은 중국 정부를 중심으로 한 계획 발표와 이를 바탕으로 각종 지침을 통해 구체화 되고, 지역 항만그룹에서 자동화에 대한 구체적인 프로젝트를 시행하고 있다. 「교통운수 분야 신형 인프라 건설 지도의견(2021-2025)」 및 「행동방안」에 담긴 개조에 대한 추진 정책과 프로젝트를 바탕으로 기존 컨테이너터미널의 개조가 활발히 이루어지고 있다. 예를 들어 샤먼항 하이룬(海潤) 컨테이너 터미널 개조 프로젝트가 교통운수부의 「교통운수 분야 신형 인프라 건설 행동방안(2021-2025)」에 스마트항만 중점사업으로 포함되었다. 이는 2021년 시행된 중국 최초의 재래식 컨테이너터미널의 완전지능화 개조사업이다.

〈표 2-5〉 중국 항만 정책 중 개조와 관련한 내용

구분	내용
교통운수 분야 신형 인프라 건설 지도의견	• 컨테이너 터미널과 야드 자동화 개조 • 항만장비 원격제어, 스마트 보안과 조기 경보, 항만 내 자율주행 등 촉진
교통운수 분야 신형 인프라 건설 행동방안	(1) 터미널 하역장비 자동화 추진 • 신형 자동화 컨테이너 터미널, 야드 건설과 개조 추진 • 터미널 안벽크레인, 야드 크레인 등 시설에 대한 자동화 원격제어 개조 실시 • 터미널 운영시스템과 장비제어시스템 통합 • 자율주행 '컨' 트럭, AGV 등 대규모 도입 • 선박의 육상전력 사용 추진, 터미널 육상전력 시설 및 선박 수전시설 개조
14·5 현대 종합교통운송체 계 발전계획	• 교통 인프라 디지털화네트워크화 프로젝트에 스마트 항만 사업 포함 - 다롄항, 텐진항, 칭다오항, 상하이항, 닝보저우산항, 샤먼항, 선전항, 광저우항 등 기존 컨테이너 터미널을 스마트화로 개조
스마트 항만 및 스마트 수로 건설에 대한 의견	• 2027년까지 항만 및 내륙수로의 세계 수준의 스마트항만 구축, 자동화된 컨테이너 터미널의 건설과 개조를 포함 • 자동화 개조사업의 국가적 지원근거로 작용하고 있음
인공지능+교통 실행 의견	• 지능형 항만으로 업그레이드

자료: 한국해양수산개발원(2023), pp.47~49 발췌

이러한 국가 정책에 따라, 중국은 신규 건설되는 완전자동화 터미널과 병행하여 기존 터미널의 단계적 자동화 개조를 집중 추진 중이다. 즉, 투자 효율, 확장성, 공사 기간 측면에서 ‘개조 우선 추진’이 강한 흐름으로 굳어지고 있다. 특히 중국 자체 기술인 5G, 국산 TOS 결합을 통해 ‘개조형 스마트 항만’ 구축이 가능하다.

또 다른 측면으로 중국 내 기존 자동화 터미널 구축 및 운영 경험을 토대로 사전 기술 축적을 거쳐 중국 항만들은 컨테이너 및 벌크 터미널 핵심 장비와 관리 플랫폼을 빠르게 개조해 어느 정도 성과를 거두고 있다.¹⁵⁾ 즉, 기술개발과 함께 경험축적이 중국의 자동화 개조를 움직이는 큰 동력으로 작용한다고 할 수 있다. 대표적인 개조 사례로 꼽히는 샤먼항 위안하이(远海) 완전자동화 터미널은 중국 최초의 개조형 완전 자동화 터미널이자, 세계 최초의 4세대 자동화 터미널로 평가로, 야드의 수평 배치와 AGV 기반 수평이송 방식을 도입하여 전통적인 항만과는 다른 운영모델을 채택하고 있다. 특히 중국 내 재래식 터미널의 개조를 추진하는 데 의의를 가진다.¹⁶⁾

향후에는 AI를 적용한 지능형 항만을 실현하기 위한 터미널 개조의 정책 실현 방향으로 정책이 추진될 것으로 보인다. 즉, 단순 자동화 항만 구축을 넘어 해상물류 연계성 제고, 안전 및 보안 강화 등을 목적으로 하는 디지털화로 개조가 활발히 추진될 수 있다.

중국에서는 컨테이너터미널 개조에 대해 이해관계자들 간 운영 경험 및 기술 공유 등을 통해 공감대 형성도 활발히 이루어지고 있다. 개조작업을 이행하는 각 항만그룹 및 컨테이너터미널, 기술개발기업 등은 비용 대비 효과가 높고, 지속 가능한 개발 및 운영 방향에 부합함을 공통적으로 인식하고 있고, 협력을 통한 기술개발 및 최적 솔루션 개발의 중요성을 강조하

15) 中国港口协会(2022), p.2

16) 中国港口协会(2022), p.3

고 있다.

〈표 2-6〉 항만 개조와 관련한 주요 행사 사례

구분	분석방법	참석자	개조 관련 논의사항 및 내용
2023.5	컨테이너항만 자동화 개조 기술 발전 포럼 (텐진)	• 텐진항만그룹 • Ningbo Mei Dong (梅东) 터미널 및 베이룬 제1컨테이너 터미널 • 연톈둥항(盐田东港) • 홍콩국제컨테이너 터미널	• 전통 항만의 자동화 개조를 위한 기술 경로와 시스템 솔루션을 논의 • 개조를 위해 다자간 협력을 통해 효율성 향상을 위한 시스템적 문제 해결이 필요. 이에 따른 효율성을 평가하는 표준 제정 필요 • 최소한의 토목공사로 최대 효율을 가져올 수 있는 방향으로 개조가 바람직 • 표준화되지 않은 통신기술 및 인식시스템으로 개조의 복잡성을 높이고 있음 • 텐진항 타이핑양(太平洋) 컨테이너터미널 개조 현장 시찰(14대 4로프 RTGC 자동화)
2018.9	컨테이너터미널 자동화 추진 및 기술교류회 (상하이)	• 칭다오항, 상하이항 • Kalmar, ABB, Siemens • Westwell, TuSimple	• 신규 자동화 항만보다 기존 항만의 스마트 개조가 핵심 트렌드 • 고비용의 신규 건설보다, 기존 터미널의 점진적 자동화 개조가 세계적 추세 • 대형선 입항에 대응하기 위해 생산성 효율성 향상 및 경쟁력 있는 서비스 제공을 위해서는 야드 자동화 개조 필요

자료: Sohu 및 Portcontainer(검색일: 2025.10.18.)

03

중국 컨테이너터미널 자동화 개조 사례

제1절 자동화 개조 동향

1. 시기별 추세

중국의 컨테이너터미널 자동화 개조는 2016년 샤먼항 위안하이 터미널에서 시작되었다. 이후 2018~2019년 기간에는 톈진, 탕산, 칭다오 등 북방 항만권으로 확산되며 야드 중심의 자동화 실험이 본격화되었다.

2021년 이후에는 연해 대형 항만뿐만 아니라 내륙 중소형 항만으로 확산되는 전국적 전환기에 접어들었으며, 2022년에는 단일 연도 기준 최대 개조 프로젝트가 등록되어 중국의 항만 자동화가 실험기에서 보급기로 이행했음을 보여주었다.

2024년 6월 기준 중국 본토에는 총 65개 자동화 컨테이너터미널(완전·반자동화 포함)이 운영 중이며, 이 중 51개(78.5%)가 기존 부두의 개조를 통해 완전 또는 부분 자동화를 달성하였다. 즉, 개조형 자동화는 신규 건설을 넘어 중국 항만의 구조적 전환을 이끄는 핵심 축으로 자리 잡았다.

〈표 3-1〉 중국의 자동화 개조 컨테이너터미널(1)

순번	항만	터미널	연도	유형
1	잉커우항	바위취안 컨테이너 터미널	2022	반자동화
2	톈진항	얼라이언스 국제 컨테이너 터미널	2021	반자동화
3		우저우 국제 컨테이너 터미널	2019	반자동화
4	웨이하이항	칭웨이 컨테이너 터미널	2022	반자동화
5	웨이팡항	보하이만 웨이팡항구	2023	반자동화
6	탕산항	징탕항구	2018	반자동화
7	황화항	종합항구 다용도터미널	2024	반자동화
8	상하이항	양산 1기	-	반자동화
9		양산 3기	2022	반자동화
10		와이가오차오 3기	2021	반자동화
11		와이가오차오 5기	-	반자동화
12	닝보저우산항	다시에 자오상터미널	2020	반자동화
13		베이룬항구 베이컨테이너터미널	2023	반자동화
14		베이룬항구 베이얼컨테이너터미널	2022	반자동화
15		촐산항구 베이산컨테이너터미널	2022	반자동화
16		촐산항구 위안둥터미널	2023	반자동화
17		닝보전하이강부	2024	반자동화
18	렌윈강항	강묘오링 작업구 24#-28#	-	반자동화
19	옌청항	옌청항 다평항구	2022	반자동화
20	샤먼항	하이텐 터미널	2023	반자동화
21	푸저우항	장인항구1-5번 선석	2022	반자동화
22	선전항	엔티엔 국제	2024	반자동화
23	주하이항	주하이 가오란 터미널	2022	반자동화
24	둥관항	둥관항 컨테이너 터미널	2024	반자동화
25	산터우항	산터우 자오상항구	2022	반자동화
26	양푸항	양푸 국제컨테이너 터미널	2021	반자동화
27	타이창항	쑤저우 현대 컨테이너 터미널	2024	반자동화
28	장자강항	보세항구	2022	반자동화
29	자싱항	짜푸항	-	반자동화
30	난징항	룽탄 컨테이너 터미널	2024	반자동화

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

〈표 3-2〉 중국의 자동화 개조 컨테이너터미널(2)

순번	항만	터미널	연도	유형
31	허페이항	페이허항구 국제 컨테이너 터미널	2023	반자동화
32	징저우항	징저우 송즈항	2022	반자동화
33	이빈항	이빈항	2024	반자동화
34	루저우항	루저우항	2024	반자동화
35	광저우항	난사 3기	2022	반자동화
36	다롄항	다롄항 컨테이너 부두(DCT)	2022	완전자동화
37	텐진항	타이핑양 국제 컨테이너 터미널	2022	완전자동화
38		어우야 국제 컨테이너 터미널	2024	완전자동화
39	르자오항	스지우 자동화 터미널	2021	완전자동화
40	상하이항	와이가오차오 4기	2022	완전자동화
41		뤄징항구 컨테이너 터미널	2023	완전자동화
42	샤먼항	위안하이 터미널	2016	완전자동화
43		하이룬 터미널	2022	완전자동화
44	선전항	선전 마완항	2021	완전자동화
45	양뤄항	양뤄 수이티에렌원 2기	2021	완전자동화
46		양뤄항 2기 터미널	2023	완전자동화
47	충칭항	충칭 귀위안항	2018	완전자동화
48	지닝항	지닝항 항룽궁항*	2022	완전자동화
49	닝보저우산항	메이산항구 메이둥 컨테이너 터미널*	2020	완전자동화
50		진탕항구 저우산용저우 컨테이너 터미널*	2022	완전자동화
51	베이부완항	친저우항 다란핑난*	2022	완전자동화

주: * 개조와 신설 병행

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

2. 개조 유형

중국의 컨테이너터미널 자동화 개조는 추진 방식과 적용 범위에 따라 단계적 개조형, 전면 개조형, 그린필드형 복합 개조형으로 구분할 수 있다. 단계적 개조형은 운영 연속성, 전면 개조형은 구조 혁신, 그린필드형 복합

개조형은 확장성과 통합성에 중점을 두는 경향이 있다.

1) 단계적 개조

단계적 개조형은 기존 부두의 운영을 유지하면서 자동화 설비를 순차적으로 도입해 점진적으로 자동화 수준을 제고하는 방식이다. 즉, 해측(안벽)-수평이송-야드 전 구간을 한 번에 자동화하기보다 기술적 안정성과 운영 연속성을 확보하면서 단계적으로 확장하는 전략이다.

이러한 변화의 중심에는 반자동화 터미널의 급속한 확산이 있다. 2024년 6월 기준, 중국 본토의 개조형 자동화터미널 51개 중 35개가 반자동화 형태로 운영되고 있으며, 이들 대부분은 완전자동화를 향한 과도기적 전환 가능성이 있다.

특히 다롄항 컨테이너터미널, 톈진항 타이핑양 및 어우야(欧亚) 국제터미널, 상하이항 와이가오차오 4기, 샤먼항 하이룬 터미널 등은 단계적 개조를 거쳐 완전자동화 터미널로 개조된 대표적 사례에 속한다.

2) 전면 개조

전면 개조형은 기존 부두의 기능이나 구조를 근본적으로 재편하여 완전 자동화 컨테이너터미널로 전환하는 방식이다. 이는 단순한 장비 교체나 제어시스템 개선을 넘어 하역공정·공간배치·운영체계를 전면적으로 재설계하는 종합적 재구축 과정이라 할 수 있다.

대표적으로 샤먼 위안하이 터미널은 중국 최초의 완전자동화 개조 사례로, 기존 컨테이너터미널의 일부 선석을 자동화로 전환하여 새로운 운영체

계를 구축하였다.

또한 중국에서는 기존에 비(非)컨테이너 기능을 수행하던 부두를 자동화 컨테이너터미널로 전환하는 사례가 두드러진다. 상하이 뤼징항구 컨테이너 터미널과 선전 마완항은 기존 벌크터미널을, 르자오항 스지우 터미널은 범용부두를, 양취항은 건잡화 부두를 완전자동화 컨테이너터미널로 기능을 전환한 사례다.

3) 그린필드형 복합 개조

그린필드형 복합 개조형은 기존 부두의 자동화 개조와 신항만의 신규 건설을 병행해 하나의 통합 운영체제로 연결하는 방식이다. 이 모델은 기존 터미널을 자동화로 업그레이드하면서 인접 지역에 완전자동화 부두를 신설하여 운영 효율성과 처리 능력의 확장성을 동시에 확보한다. 즉, 기존 인프라를 효율적으로 활용하면서 장기적으로 완전 자동화 항만으로 전환하기 위한 ‘확장형 개조모델’이라 할 수 있다.

대표 사례로는 닝보저우산항 메이둥 컨테이너터미널, 진탕 용저우(甬舟) 컨테이너터미널, 베이부완 친저우항 다란핑난(大榄坪南) 터미널 등이 있다. 이들 항만은 기존 부두의 일부 구간을 자동화로 업그레이드하고 인접 지역에 신설된 자동화 부두를 단일 통합 플랫폼으로 연계해 운영함으로써, 신설 구간과 기존 구간 간의 데이터 연동과 공정 협조를 실현하여 항만 전체의 스마트화 수준을 향상시키고 있다.

〈표 3-3〉 중국의 완전자동화 컨테이너터미널 개조 유형

항만	터미널	연도	유형
다롄항	다롄항 컨테이너 부두(DCT)	2022	단계적 개조
톈진항	타이핑양 국제 컨테이너 터미널	2022	단계적 개조
	어우야 국제 컨테이너 터미널	2024	단계적 개조
르자오항	스지우 자동화 터미널	2021	전면 개조(기능 전환)
상하이항	와이가오차오 4기	2022	단계적 개조
	뤄징항구 컨테이너 터미널	2023	전면 개조(기능 전환)
샤먼항	위안하이 터미널	2016	전면 개조
	하이룬 터미널	2022	단계적 개조
선전항	선전 마완항	2021	전면 개조(기능 전환)
양쑤항	양쑤 수이티에렌원 2기	2021	전면 개조(기능 전환)
	양쑤항 2기 터미널	2023	전면 개조(기능 전환)
충칭항	충칭 귀위안항	2018	단계적 개조
징닝항	징닝항 항릉궁항	2022	그린필드형 복합개조
닝보저우산항	메이산항구 메이둥 컨테이너 터미널	2020	그린필드형 복합개조
	진탕항구 저우산용저우 컨테이너 터미널	2022	그린필드형 복합개조
베이부완항	친저우항 다란핑난	2022	그린필드형 복합개조

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

3. 하역장비 구성

1) 반자동화 터미널

중국의 반자동화 개조형 컨테이너터미널은 전반적으로 기존 부두의 운영을 유지하면서 단계적으로 자동화를 적용하는 브라운필드형 모델이 주류를 이루고 있다. 이들 터미널은 완전 자동화로의 즉각적인 전환보다는 야드 중심의 부분 자동화를 통해 작업 효율을 높이고, 점차 수평이송과 안벽작업 영역까지 자동화 범위를 확장하는 단계적 발전 구조를 보인다.

대부분의 항만은 기존 RTGC 또는 RMGC를 자동 혹은 원격조종 기능이 있는 ARTG 또는 ARMG로의 교체를 통해 야드의 고밀도 장치와 자동제어를 실현하였다. 이러한 유형은 ‘야드 중심 자동화형’으로 분류되며, 반자동화 터미널의 대다수를 차지한다.

한편, 수평이송 자동화 장비의 도입은 점진적으로 확산되는 추세다. 탱산 징탕항, 롄윈강항, 허페이항 등은 유인 트럭을 대체하기 위해 IGV나 AT를 도입하여 야드와 안벽 간 이송 공정을 자동화하고 있다. 다만, 교통 안전과 운행 간섭 관리 등 복합적 제어가 요구되기 때문에 현재까지는 부분 적용 또는 실증단계에 머물러 있다.

내륙 및 중소형 항만의 경우, 대규모 설비 교체 대신 AT를 중심으로 한 저비용 자동화가 확산되고 있다. 이러한 모델은 대형 항만의 완전 자동화 방식과 달리 단일 공정 중심의 저비용 실증형 자동화 전략으로 평가되며, 중국 내륙 항만 자동화의 새로운 접근 방식으로 자리 잡고 있다.

〈표 3-4〉 중국의 반자동화 개조 컨테이너터미널 하역장비 구성(1)

순번	항만	터미널	Q/C	수평이송	야드크레인
1	잉커우항	바위취안 컨테이너터미널	-	-	ARMG
2	텐진항	얼라이언스 국제 컨테이너 터미널	-	-	ARTG
3		우저우 국제 컨테이너터미널*	자동화 개조	AT	ARMG
4	웨이하이항	칭웨이 컨테이너터미널	-	-	ARMG
5	웨이팡항	보하이만 웨이팡항구	-	AT	트윈켄틸레버 ARMG
6	탕산항	징탕항구*	자동화 싱글트롤리	ICT/AT	ARMG
7	황화항	종합항구 다용도터미널	자동화	-	자동화 T/C
8	상하이항	양산 1기	자동화	-	-
9		양산 3기	-	-	ARMG+ ARTG
10		와이가오차오 3기	자동화	-	ARMG
11		와이가오차오 5기	-	-	ARTG
12	닝보저우산항	다시에 자오상터미널	원격조종	AT	-
13		베이룬항구 베이컨테이너터미널	-	-	트윈켄틸레버 ARMG
14		베이룬항구 베이얼컨테이너터미널	-	-	ARTG
15		촨산항구 베이산컨테이너터미널	원격조종	-	ARTG
16		촨산항구 위안둥터미널	-	-	ARTG
17		닝보전하이강부	-	-	ARMG
18	렌원강항	강묘오링 작업구 24#-28#	자동화	IGV	ARTG
19	옌청항	옌청항 다평항구	-	-	트윈켄틸레버 ARMG
20	샤먼항	하이텐 터미널	자동화	-	ARMG+ ARTG
21	푸저우항	장인항구1-5번 선석	자동화	-	ARMG
22	선전항	옌티엔 국제	자동화	-	ARTG
23	주하이항	주하이 가오란 터미널	-	AT	-
24	둥관항	둥관항 컨테이너터미널	-	-	원격반자동화 ARMG

주: * 개조 중

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

〈표 3-5〉 중국의 반자동화 개조 컨테이너터미널 하역장비 구성(2)

순번	항만	터미널	Q/C	수평이송	야드크레인
25	산터우항	산터우 자오상항구	-	-	ARMG
26	양푸항	양푸 국제컨테이너 터미널	-	-	ARMG+ ARTG
27	타이창항	쑤저우 현대 컨테이너 터미널	-	-	ARTG
28	장자강항	보세항구	-	-	ARMG
29	자싱항	짜푸항	-	IGV+AT	-
30	난징항	룽탄 컨테이너 터미널	-	-	ARMG+ ARTG
31	허페이항	난페이허항구 국제 컨테이너터미널	자동화	IGV	-
32	징저우항	징저우 송즈항	-	AT	-
33	이빈항	이빈항	-	AT	-
34	루저우항	루저우항	-	AT	-
35	광저우항	난사 3기*	-	-	트윈켄틸레버 ARMG

주: * 개조와 신설 병행

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

2) 완전자동화 터미널

중국 연해지역의 완전자동화 개조 터미널은 외형적으로는 수평형 자동화 레이아웃, IGV 기반 자율운송, ARMG 또는 ARTG, 싱글트롤리형 Q/C 체계 등으로 표준화되어 있으나, 내부적으로는 항만별 인프라 여건과 운영 목적에 따라 다양한 기술 조합이 공존하는 복합적 구조를 보인다.

야드 구조는 대부분 수평형이며, 샤먼 위안하이, 닝보 메이둥 및 융저우, 톈진 타이핑양, 상하이 와이가오차오 4기, 다롄 DCT 등 주요 항만이 모두 이러한 수평형 구조를 채택하였다. 반면 베이부완 친저우항 다란핑난 터미널은 넓은 부지와 신규 블록 확장이 가능한 입지적 조건을 활용해 U자형

수직 레이아웃을 도입한 예외적 사례다.

야드 크레인의 경우 전면 개조형 터미널(샤먼 위안하이, 선전 마완항, 상하이항 뤼징항구, 르자오항 스지우)과 다수 그린필드형 복합 개조형 터미널(닝보저우산항 용저우, 베이부완한 친저우항 다란핑난)은 ARMG를 도입했다. 반면 단계적 개조형 터미널(샤먼 하이룬, 텐진 타이핑양, 상하이 와이가오차오 4기)은 인프라 교체 부담을 줄이기 위해 기존 RTGC를 ARTG로 개조하는 방식을 채택하였다.

안벽 크레인의 경우 2016년 샤먼 위안하이 터미널이 더블트롤리형 자동화 Q/C를 도입하면서 자동화 전환의 출발점을 열었다. 이후 대부분의 항만은 자동화 싱글트롤리형 Q/C를 채택하였다. 모든 자동화 Q/C는 원격조종을 기본으로 하며, 항만에 따라 완전무인화 수준에는 차이가 있으나 선측-야드 간 컨테이너 이송을 완전 자동화로 수행할 수 있는 체계를 갖추고 있다.

수평이송 장비는 자동화 개조의 핵심으로, 기술 진화에 따라 초기의 AGV(샤먼 위안하이)에서 최근에는 트랜스폰더 매립이 필요 없는 IGV 중심의 구조로 빠르게 수렴하고 있다. IGV는 베이더우 위성항법, 라이다, 카메라 센서 등을 결합한 복합 인식 체계를 통해 고정밀 주행과 충돌 회피, 실시간 TOS 연동이 가능하다.

다만 일부 항만은 완전 무인화 대신 유인 차량과의 혼합주행 체계를 유지하고 있다. 다롄항 DCT, 르자오항 스지우, 닝보 용저우 터미널 등은 IGV와 AT를 병행 운용하는 방식을 택하였다. 이러한 혼합주행형 모델은 완전 무인화로의 기술 이행을 위한 과도기적 체계로, IGV 중심의 정밀 무인 운송체계와 AT 중심의 실용형 자동운송체계가 병존하는 형태로 발전하고 있다.

〈표 3-6〉 중국 연해지역 완전자동화 개조 컨테이너터미널의 하역장비 구성

순번	항만	터미널	연도	야드구조	Q/C	수평이송	야드크레인
1	샤먼항	위안하이 터미널	2016	수평(L자형)	자동화 더블트롤리	AGV+IGV	ARMG
2		하이룬 터미널	2022	수평	자동화 싱글트롤리	IGV	ARTG
3	선전항	선전 마완항**	2021	수평	자동화 싱글트롤리	AT	ARMG
4	닝보저우산항	메이산항구 메이둥 컨테이너터미널*	2020	수평	원격조종 싱글트롤리	AT	ARTG
5		진탕항구 저우산용저우 컨테이너터미널*	2022	수평	원격조종	AT+IGV	ARMG
6	베이부완항	친저우항 다란핑난*	2022	수직(U자형)	자동화 더블트롤리	IGV	ARMG
7	상하이항	와이가오차오 4기	2022	수평	원격조종 자동화	IGV	ARTG
8		뤄징항구 컨테이너 터미널**	2023	수평	자동화 싱글트롤리	IGV	ARMG
9	텐진항	타이핑양 국제 컨테이너터미널	2022	수평	원격조종 싱글트롤리	IGV	ARTG
10		어우야 국제 컨테이너터미널	2024	수평	원격조종 싱글트롤리	IGV	ARTG
11	르자오항	스지우 자동화 터미널**	2021	수평	원격조종 싱글트롤리	IGV+AT	ARMG
12	다롄항	다롄항 컨테이너 부두(DCT)	2022	수평	원격조종	AT+IGV	ARMG

주: * 개조와 신설 병행

** 기존 벌크/건잡화/범용 터미널을 완전 자동화 컨테이너 터미널로 개조

자료: 港口圈(2024), pp. 6~7을 바탕으로 저자 정리

〈그림 3-1〉 야드 크레인 자동화 사례



〈텐진항 ARTG〉

〈다롄항 ARMG〉

자료: World Cargo News(a), Xinde Marine News (검색일: 2025.10.23.)

〈그림 3-2〉 수평 이송장비 자동화 사례



〈닝보저우산항 IGV〉

〈르자오항 AT〉

자료: People's Daily Online, World Cargo News(검색일: 2025.10.23.)

제2절 주요 항만 개조 사례 분석

1. 단계적 개조 사례

1) 샤먼항 하이룬 터미널

(1) 사업 개요 및 추진 배경

샤먼항 하이룬 터미널의 스마트화 개조사업은 조업을 중단하지 않고 기존 컨테이너터미널의 전 공정을 지능형 체계로 전환한 국가급 시범 프로젝트로 추진되었다. 본 사업은 2020년 7월 착수되어 약 500일간 단계적으로 진행되었으며, 2022년 1월 시운전을 통해 2023년 12월 준공 검수를 통과했다.

개조 이전 하이룬 터미널(하이창 항구 4~6번 선석)은 싱글 트롤리 QC 8기, RTGC 22기, 내부 컨테이너 트럭 44대를 운용하던 수평형 야드 구조(6개 구역, 48개 블록)였다. 그러나 RTGC 중심의 수평 운영은 장비의 잦은 구역 이동과 차로 횡단을 유발해 충돌 위험과 경로 혼잡이 누적되었고, 이로 인해 생산효율이 저하되었다.

이에 샤먼항은 기존 인프라를 최대한 유지하면서 생산 공정 지능화·장비 자동화·통신망 고도화를 통합하는 전 공정 스마트화 개조를 추진했다.

(2) 설계 및 시스템 구성

하이룬 터미널은 기존의 수평 레이아웃은 유지하면서 ‘싱글 트롤리 Q/C + 컨테이너 트럭 + RTGC’ 시스템을 ‘자동화 싱글 트롤리 Q/C(8기) + IGV(44대) + ARTG(22대)’로 시스템을 전환하였다.

수평 이송에는 Westwell의 IGV를 도입해 초기에는 IGV와 유인 트럭이 동일 도로망에서 안전하게 공존하는 혼합주행을 운용하고, 이후 전용 교환 구역을 설치해 자동화 장비와 외부 트럭을 물리적으로 분리하는 분리 주행으로 이행할 수 있도록 설계했다. 야드 장비는 RTGC를 ARTG로 업그레이드하여 한 명의 운전자가 원격으로 최대 6대를 동시에 제어할 수 있게 했고, 이를 통해 인력 효율과 안전성을 동시에 제고했다.

운영의 중심에는 샤먼항이 자체 개발한 i-TOS가 있다. 이 시스템은 3D 가시화, 지능형 의사결정, 예측 분석을 통해 작업 명령의 자동 생성·실행·피드백이 가능한 폐루프를 구성하며, 5G 전용망이 항만 전역에 저지연·고신뢰 통신을 제공함으로써 무인 운송의 안정성과 실시간 데이터 제어를 뒷받침했다. 결과적으로 항만의 모든 생산 요소 데이터가 실시간으로 수집·전송·분석·제어되는 지능형 운영체계가 구축되었다.

(3) 공간 구조 개선 및 공정 적응

하이룬 터미널은 스마트화 개조 과정에서 야드의 평면 구조를 단순화하고 공간 효율성을 극대화하는 방향으로 설계를 조정하였다.

기존의 6개 구역·48개 블록을 4개 구역·32개 블록으로 통합해 장비 운행 동선을 단순화하고 작업 밀집도를 최적화했다. 이 재편으로 ARTG 한대가 담당하는 작업 구역 비율은 1:2.18에서 1:1.45로 개선되어 장비 간 전환 이동이 현저히 줄고, 야드 내 교차 이동과 불필요한 대기도 감소했다. 공간 활용도가 높아지고 자동화 장비의 회전 효율이 눈에 띄게 향상되면서, 단순 배치 변경을 넘어 자동화 하역 공정과의 정합성을 확보하는 기반이 마련되었다.

〈그림 3-3〉 샤먼항 하이룬 컨테이너터미널 개조 전후 야드 레이아웃



자료: Li Xiangda(2024), p.29

(4) 수평이송 장비 운행체계

수평이송 장비 운행체계는 위험을 낮추면서 자동화 수준을 단계적으로 높이는 방향으로 재설계되었다. 무인 이송장비의 주력으로 IGV가 채택된 이유는 명확하다. AGV는 트랜스폰더 매립 공사 등으로 개조 비용과 시공량이 커 기존 항만 개조에 비경제적이며, ICT는 인력 개입이 필요한 반자동 모델로 완전 무인화에는 구조적 한계가 있다. 반면 IGV는 라이더와 비전 인식, 5G 통신을 활용해 완전 무인 주행과 공정 맞춤 제어가 가능하고, 운영비와 유지관리 측면에서도 장점이 크다. 초기에는 IGV와 유인 트럭이 동일 도로망을 공유하되 경로계획, 운행 우선순위 제어, 차량-도로 협동제어(V2X), 충돌 회피 기술을 결합해 안전을 확보했고, 이후 전용 컨테이너 교환구역을 통해 양 체계를 물리적으로 분리하여 완전 무인화로 이행했다. 이 단계형 전략은 단기적으로 인프라 변경 없이 전환을 가능케 하고, 중장기적으로는 무인 운송의 안정성과 효율을 확보하는 효과를 거두었다.

2) 텐진항 타이핑양 국제 컨테이너터미널

(1) 추진 배경

텐진항 타이핑양 국제 컨테이너터미널은 중국 북부 해상물류의 중심항만으로, 오랜 기간 북중국 지역의 수출입 거점 역할을 수행해왔다. 그러나 물동량의 급격한 증가와 초대형 선박의 연이은 투입으로 인해, 기존의 인력 중심 운영 방식으로는 효율성과 안전성을 동시에 유지하기 어려운 구조적 한계에 봉착했다.

특히 이 터미널의 야드 설계는 ‘6+1 구조’, 즉 여섯 줄의 컨테이너 블록 옆에 한 줄의 차량 통로만 배치된 형태였다. 이 구조는 한정된 면적을 효율적으로 활용할 수 있다는 장점이 있었지만, 트럭 이동이 단일 차로로 제한

되어 교통 혼잡과 작업 지연이 빈번하게 발생하는 병목 구조를 형성했다.

일부 구간에서는 트럭이 레일 위를 침범해 추월을 시도하는 위험한 상황이 발생하기도 했으며, 야드 간 임시 추월 차로를 활용하는 것도 불가능했다. 이는 야드 사이에 전력 공급선이 매설되어 있어 차량 통행이 제한되었기 때문이다.

결과적으로 차량 흐름이 구조적으로 제약을 받으며 생산성과 안전성 모두 저하되는 악순환이 반복되었다.

(2) 개조 방식

이러한 구조적 문제를 해결하기 위해 텐진항은 ‘운영 중 자동화 개조’라는 방식을 선택했다. 하루에도 수천 개의 컨테이너를 처리하는 대형 항만의 특성상, 생산을 전면 중단한 상태에서 공사를 진행하는 것은 현실적으로 불가능했기 때문이다.

이에 따라 텐진항은 생산을 유지하면서 단계적으로 개조를 병행하는 원칙을 세웠다. 공사는 터미널 전체를 동시에 진행하지 않고, 구역별 순차 공사 방식으로 추진되었다. 일부 구역에서는 개조가 진행되는 동안 다른 구역에서는 기존 방식으로 작업을 지속하였으며, 공사 구역과 작업 구역을 철저히 분리하여 생산성 저하와 안전사고를 최소화했다. 또한 지면 평탄화, 차량 통로 표식 정비, 안전 펜스 설치 등 자동화 장비의 안정적 운영을 위한 세밀한 현장 조정이 병행되었다.

이 과정에서 싱글 트롤리형 완전 자동화 QC 10기, IGV 24대, ARTG 18대가 도입되었다.

(3) 야드 공간구조 재편

텐진항은 이러한 개조 과정에서 기존 인프라를 유지한 채 야드 공간 구조를 재편하는 혁신적 해법을 도입했다. 그 결과 탄생한 것이 ‘5+2 병행 6+1’ 모델이다.

기존의 ‘6열 컨테이너 + 1열 차량 통로’ 구조에서 컨테이너 블록을 한 줄 줄이고, 차량 통로를 하나 추가하여 ‘5열 컨테이너 + 2열 차량 통로’로 재구성한 것이다. 즉, 기존 시설을 해체하지 않고 내부 레이아웃만 재배치하여 교통흐름을 개선한 방식이었다. 이 구조에서는 한쪽 차로에서 하역 작업이 이루어지는 동안, 다른 차로에서는 차량이 자유롭게 추월할 수 있어 트럭의 대기 시간을 크게 줄이고 작업 흐름을 연속적으로 유지할 수 있었다.

이는 단순한 차로 증설이 아니라, 야드 운영체계 전반을 재설계한 구조적 혁신이었다. ‘5+2 병행 6+1’ 모델의 핵심은 유연성에 있다. 텐진항은 이 구조를 일시적 조치가 아닌 가변형 운영체계로 설계하였다. 현재는 교통 효율성을 극대화하기 위해 ‘5+2’ 구조로 운영하지만, 향후 물동량 증가로 장치공간이 부족해질 경우, 다시 ‘6+1’ 구조로 전환할 수 있도록 했다.

즉, 단기적으로는 작업 효율과 안전성을 확보하고, 장기적으로는 공간 활용도를 극대화할 수 있는 복합형 자동화 구조를 완성한 것이다.

2. 전면 개조 사례

중국 최초의 완전자동화 개조 터미널인 샤먼항 위안하이 터미널은 전면 개조형 사례에 속한다.

1) 사업개요 및 추진배경

샤먼 위안하이 컨테이너 터미널은 선박 대형화와 급증하는 물동량에 대응하기 위해 2012년부터 본격적인 자동화 전환을 추진하였다. 2012년에 건설 계획을 수립한 이후, 2013년에 착공하여 2014년 주요 장비 설치를 완료했으며, 2015년 3월 시범운영을 거쳐 2016년 3월 정식 상업운영을 개시하였다.

개조 대상은 위안하이 터미널의 14~17번 선석 중 일부 구간으로, 14번 선석(길이 377m, 수심 17m) 과 15번 선석 일부(70m)를 통합하여 12만 톤급 완전 자동화 컨테이너 전용 선석 1개를 신설했다. 후방 야드는 이에 맞춰 자동화 설비로 개조·건설되었으며, 연간 설계 처리능력은 약 95만 TEU로 계획되었다.

2) 설계 및 시스템 구성

샤먼 위안하이 터미널은 기존 인프라를 최대한 활용해 공사비 절감과 시공 기간 단축을 목표로 하였으며, 이를 위해 수평형 야드 레이아웃을 유지했다. 전체 시스템은 ‘자동화 QC - AGV - AGV-mate - ARMG’로 이어지는 4단계 자동화 공정 체계로 구성되었다.

안벽 하역장비로는 ZPMC의 더블 트롤리형 자동화 QC 3기가 투입되었으며, 평균 25~27 move/h의 생산성을 보인다. 수평 이송장비로는 전기 구동형 AGV 18대가 사용되며, 주행로에는 2m 간격 트랜스폰더가 매설되어 자동 경로 인식이 가능하다. AGV-mate 구역은 AGV와 ARMG 간 컨테이너 인계가 이루어지는 완충지대로, AGV의 대기시간을 최소화해 작업 연속성을 확보한다.

3) 기술 구현 및 시스템 확장

샤먼 위안하이 터미널은 자동화 설비의 안정적 운영을 위해 기존 인프라의 구조적 한계를 보완하고, 정보통신 및 제어체계의 성능을 향상시키는 방향으로 기술 구현을 진행하였다.

우선, 자동화 장비의 정밀 주행 성능을 확보하기 위해 기존 RTGC용 레일 기초(C30등급 철근콘크리트 구조)를 보강하였다. 기존 기초가 자동화 장비의 위치 정밀도 기준을 충족하지 못할 가능성이 제기되자 완전 철거 대신 기존 기초 위에 이중 강철 받침판을 설치하고 그 위에 ARMG용 레일을 부설하는 보강형 개조안이 채택되었다. 이 방식은 기존 구조를 최대한 활용하면서도 궤도 정밀도, 구조 안정성, 시공 효율성을 동시에 확보할 수 있었다.

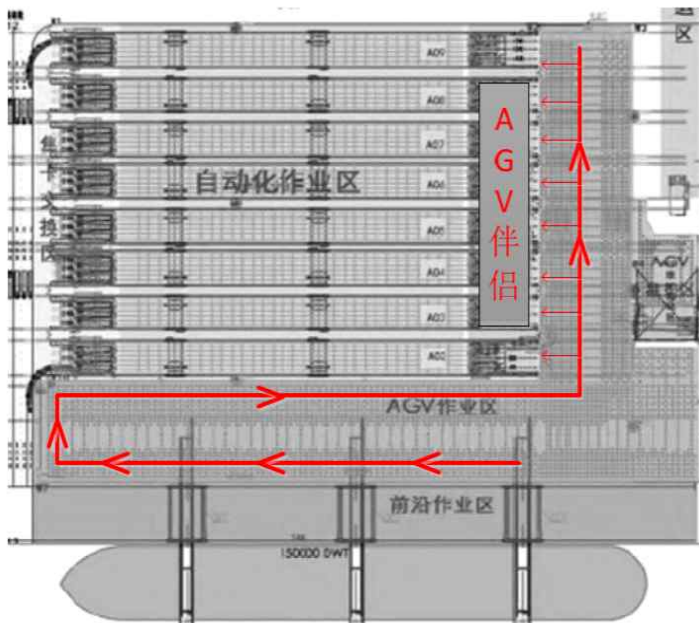
물리적 인프라의 보강과 함께 정보통신 및 제어체계의 고도화도 병행되었다. 터미널의 모든 자동화 장비는 TOS(통합운영시스템)를 통해 실시간 연동되며, QC-AGV-ARMG 간 작업 지시, 장비 상태, 운행 경로를 통합 관리한다. 이를 통해 하역 공정 간의 데이터 교환 속도와 작업 효율이 크게 향상되었다. 또한, 통신 인프라는 기존 Wi-Fi 기반에서 전면 5G 네트워크로 전환되어 제어 신뢰성과 데이터 전송 속도가 대폭 향상되었다. 이 통신 인프라는 IGV와의 혼합주행 환경을 지원할 수 있도록 설계되었다.

마지막으로 위안하이 터미널은 AGV 운영과 병행하여 IGV를 시험 운용하였다. 이를 통해 자율주행 기반의 경로 자동 배정, 충돌 회피, 에너지 효율 향상 기능을 실증함으로써, 샤먼 위안하이는 AGV-IGV 병행 운용 모델의 실증 기지로 자리매김하였다.

4) 구조적 한계 및 개선 과제

샤먼 위안하이 자동화 터미널은 중국 내 첫 완전 자동화 컨테이너 터미널로 건설되었지만, 실제 운영 과정에서 여러 구조적 제약이 드러났다. 우선 평면 배치 설계가 AGV의 운행 효율성 측면에서 비합리적이었다. AGV-mate 구역이 안벽 전면에서 지나치게 떨어져 있고 주행 동선이 L자형으로 구성되어 있어 3회의 회전이 필요했다. 이로 인해 차량 주행 거리와 시간, 에너지 소비가 증가하고, 교차점에서의 회피 제어 빈도가 높아지며, 토지 활용률 또한 저하되었다. 결과적으로 공사비 절감과 시공 기간 단축이라는 초기 설계 목표는 달성했지만, 장기적 운영 효율성과 유지관리 효율에서는 한계가 뚜렷했다.

〈그림 3-4〉 샤먼항 위안하이 터미널 레이아웃



자료: Li Xiangda(2024), p.55.

또한 AGV 18대가 일정한 제어 로직 없이 일괄 가동되는 방식으로 운용되면서 공차 운행이 빈번하게 발생하였다. 이는 작업 효율 향상 없이 에너지 소비와 장비 마모를 증가시키는 비경제적 운용 구조로 이어졌고, 자동화 항만의 핵심 목표인 고효율·저탄소 운영체계와는 상충되는 결과를 초래하였다.

한편, 위안하이 터미널의 단일 선석 중심 구조 역시 규모의 경제를 제한하는 요인으로 작용하였다. 자동화의 효율은 대규모 연속작업 환경에서 극대화되는데, 위안하이 터미널은 1개 선석 중심의 제한된 작업 범위로 인해 자동화의 잠재 효과를 충분히 실현하지 못했다. 특히 20만 DWT급 초대형 선박이 접안할 경우 인접 전통 터미널의 장비를 병행 사용해야 하는 구조적 한계로 인해 시스템 통합성 및 운영 일체성이 떨어졌다.

3. 그린필드형 복합 개조 사례

닝보저우산항 메이산항구 메이둥 컨테이너터미널의 자동화는 단순히 기존 터미널을 교체하거나 새로운 자동화 터미널을 신설한 사례가 아니다. 이는 기존 인프라 유지와 신설 확장의 투트랙 전략을 통해 단계적 자동화를 실현한 복합형 모델이다.

1) 사업 개요

2015년 1~5번 선석(메이산 1기)의 준공을 기점으로 메이둥 터미널은 두 가지 작업을 병행했다. 하나는 완공 직후의 1~5번 선석을 ‘운영 중 개조’ 형태로 원격제어 기능을 부여하는 것이었고, 다른 하나는 6~10번 선석(메이산 2기)을 처음부터 자동화를 전제로 신설하는 것이었다.

이 두 축은 약 8년에 걸쳐 서로 맞물리며 발전했다. 2023년 12월 6~10번 선석 준공으로 자동화 체계가 완성되면서 메이동 터미널(총 3,950m)은 연간 1,000만 TEU급 통합 자동화 터미널로 도약했다.

2) 설계 및 시스템 구성

메이산항 1~5번 선석은 기존 RTGC 기반의 전통형 야드를 운영 중 개조 방식으로 전환하여 ARTG와 원격조정 Q/C를 단계적으로 도입하였다. 2016년 첫 원격조정 Q/C가 투입된 이후, 2022년 11월 기준으로 총 44기 중 30기가 원격조정 방식이며, 야드 크레인 144대 중 76대가 ARTG다.

반면 6~10번 선석은 1~5번 구간과 동일한 수평 레이아웃을 유지하면서도 설계 단계에서부터 자동화를 전제로 구축된 구간이다. 싱글 트롤리형 자동화 Q/C, 스마트 컨테이너 트럭, ARTG가 결합된 완전자동화 시스템이 전면 구현되었다. 2024년 6월 기준으로 총 50기 Q/C 중 36기가 원격조정 방식으로 운영되고 있으며, 175대 야드 크레인 중 110대가 ARTG, 스마트 컨테이너 트럭은 102대에 이르러 본격적인 대규모 자동화 운영체계를 확립하였다.

Q/C는 싱글 트롤리 시스템이 도입되었다. QCMS가 TOS로부터 명령을 자동으로 수신하고, SPSS가 선박의 외형 데이터를 분석하여 최적의 하역 경로를 자동 생성한다. CPS와 스웨이·비틀림 방지 제어 기술이 결합되어 크레인의 움직임이 자동화되었고, 조종사의 개입 비율은 전체 작업의 약 20%로 감소했다.

야드 구간의 자동화는 RTG를 기반으로 한 원격제어 ARTG 시스템을 통해 실현되었다. 고정밀 위치 인식 기술과 8-로프 스프레더 자세 제어 기술을 도입함으로써 정밀도가 향상되었으며, LCPS 등 하위 제어 시스템이 통

합되어 자동 정렬 기능이 구현되었다. ARTG는 광섬유와 5G 통신망을 병행 사용하여 초저지연 원격 제어가 가능하고, 1명의 조종자가 3대의 크레인을 동시에 제어하는 1:3 원격 운영체계를 확립했다.

수평이송 시스템에서는 스마트 컨테이너 트럭이 핵심 역할을 담당한다. 이 차량은 기존 AGV의 고정 경로 운행 방식을 탈피해, 차량-클라우드 통합 의사결정 체계(V2X)를 기반으로 실시간 동적 경로계획을 수행한다. GPS, RTK, 베이더우 위성항법을 통한 정밀 위치 측정과 라이다, 카메라, 초음파 센서의 융합 인식 기술을 결합해 L4 수준의 자율주행이 가능하다. 초기에는 유인 트럭과의 혼합주행 체제를 유지하며 시간대 분리 운행을 실시했지만, 이후 시스템 안정화와 함께 완전 자율 운행 구간이 확대되었다.

메이산 2기는 자율주행시범구역으로 지정되었으며, 5번 선석과 6~8번 선석은 5G+V2X 기반 자율협력 실증 구역으로 다양한 무인 교통 시뮬레이션과 통합 제어 테스트가 진행된다.

3) 통합 제어 및 운영 플랫폼

메이둥 터미널의 두뇌 역할을 하는 운영체계는 n-TOS(터미널 운영 시스템)과 iECS(지능형 장비 제어 시스템)으로 구성되어 있다. n-TOS는 게이트, 검수, 야드, 장비 상태 등 전 공정을 통합 관리하며, iECS는 장비 배치와 스케줄링을 자동 최적화하는 기능을 수행한다. 두 시스템은 AI 기반의 차량관리시스템(VMS)과 실시간으로 연동되어, 유인 차량과 무인 차량이 혼합 운행하는 복잡한 교통 환경에서도 충돌 없이 운행이 가능하도록 제어한다.

닝보저우산항그룹은 차이나모바일, 알리바바 클라우드, FABU 등과 협력하여 5G, V2X, 클라우드, 북두 위성항법을 결합한 차량-도로-클라우드

일체형 통신망을 구축하였다. 이러한 통신 인프라는 장비·차량·인력 간의 데이터 교환을 실시간으로 수행할 수 있게 하였으며, 이를 기반으로 중국 최초의 ‘자율주행 항만 통행 규정’을 제정하여 무인 차량의 제도적 운행 기반을 마련했다.

〈그림 3-5〉 닝보저우산항 메이둥 터미널 조감도



자료: 浙江省海港集团(2022.11.)(검색일: 2025.9.19.)

제3절 요약 및 시사점

1. 요약

중국의 컨테이너터미널 자동화는 이미 ‘신설의 시대’를 지나 ‘운영 중 개조의 시대’로 전환되었다. 2016년 샤먼항 위안하이 터미널에서 처음 시작된 자동화 개조는 2021년 이후 전국적으로 확산되었으며, 2022년에는 단일 연도 기준으로 가장 많은 프로젝트가 추진되면서 실험기에서 본격적인

보급기로 진입하였다. 2024년 6월 기준, 중국 본토의 자동화 컨테이너 터미널 65개 중 51개(약 78%)가 기존 부두의 개조를 통해 완전 또는 부분 자동화를 실현하였고, 이는 신규 부두 건설보다 개조형 프로젝트가 주류로 정착했음을 보여준다. 이러한 변화는 환발해, 장강삼각주, 주강삼각주 등 주요 연해 항만뿐 아니라 충칭, 허페이, 루저우 등 내륙 거점항으로 확산되며 중국 항만산업의 구조적 재편을 이끌고 있다.

1) 구조적 전환과 핵심 모델

중국의 자동화 개조는 생산을 중단하지 않고 장비와 시스템을 단계적으로 교체하는 ‘운영 중 개조’ 방식이 주류로 자리 잡았다. 이는 생산 중단 없이 단계별 전환을 가능케 하며, 항만 운영의 연속성을 확보한다는 점에서 경제성과 현실성을 동시에 확보한다.

하역체계는 대부분 기존의 수평형 야드 구조를 유지하되, ‘원격 Q/C + IGV·AT + ARMG·ARTG’의 혼합 자동화 구성을 채택하고 있다. 이러한 구조는 ‘부분 자동화 → 구역 자동화 → 전면 자동화’로 발전하는 단계적 진화 모델을 가능하게 하며, 초기 투자 부담을 완화하면서도 장기적으로 완전 자동화를 실현할 수 있는 현실적 경로를 제공한다.

2) 주요 사례의 교훈

샤먼항 위안하이 터미널은 중국 최초의 자동화 개조형 항만으로, 공사비 절감에는 성공했으나 평면 배치의 비합리성으로 인해 장기적 운영 효율이 낮았다. 특히 L자형 주행 동선과 비효율적 AGV-mate 구역 설계는 차량 운행 거리와 에너지 소비를 증가시켜 구조적 한계를 드러냈다. 반면 텐진 타이핑양 터미널은 기존의 ‘6+1’ 병목 구조를 ‘5+2 병행형’으로 재편함으

로써 트럭의 추월이 가능해졌고, 교통 혼잡을 줄이면서 공간 활용과 작업 효율을 동시에 개선하였다. 샤먼 하이룬 터미널은 조업 중단 없이 IGV와 ARTG를 단계적으로 도입하고, 야드 블록을 6개 구역 48개 블록에서 4개 구역 32개 블록으로 단순화하여 장비 이동 효율을 극대화하였다. 또한 혼합주행에서 분리 주행으로 이행하는 단계형 전략을 통해 안전성과 생산성을 높였다. 닝보저우산 메이둥 터미널은 기존 부두의 개조와 신항 신설을 결합한 복합형 모델로, 기존 구간의 원격조종 Q/C 및 ARTG 개조와 함께 신규 구간을 완전 자동화로 구축하여 운영 연속성과 확장성을 동시에 달성하였다.

이들 사례는 장비의 첨단화보다 야드 레이아웃의 합리성, 교통 동선의 유연성, 통합 운영체계의 정합성이 자동화 개조의 성패를 좌우한다는 점을 보여준다.

3) 기술·운영·시스템 통합의 진화

자동화 개조는 단순한 장비 교체를 넘어 생산체계·운영방식·디지털 통합 관리의 일체화로 진화하고 있다. 운영 측면에서는 혼행(유인·무인 차량 병행) 환경의 안전 확보를 위해 교통조직과 우선권 정책, 차량-도로 협동제어(V2X) 기술이 도입되고 있다. 시스템 측면에서는 TOS와 ECS를 통합하여 전 공정을 실시간 제어하는 데이터 기반 운영체계가 구축되었다. 특히 닝보저우산항은 차이나모바일, 알리바바 클라우드 등과 협력해 5G, V2X, 클라우드, 베이더우 항법을 결합한 차량-도로-클라우드 통합망을 구축하고, 중국 최초의 ‘자율주행 항만 통행 규정’을 제정함으로써 자율운행의 제도적 기반을 마련하였다. 또한 장비 및 소프트웨어의 국산화가 빠르게 진행되며, 중국의 스마트항만 정책과 기술 자립화 전략이 유기적으로 결합되고 있다.

2. 시사점

중국의 자동화 개조는 운영 연속성과 투자 효율성을 동시에 달성한 점진적 전환형 모델로 평가된다. 이는 대형 항만의 조업 중단 없이 자동화 수준을 단계적으로 높일 수 있는 현실적 접근으로, 향후 한국 항만이 참고할 수 있는 실질적 발전 경로를 제시한다. 기술적으로는 IGV가 트랜스폰더 매립 없이 기존 인프라에 적용 가능한 저비용 무인 이송 솔루션으로 자리 잡았으며, ARTG는 RTGC를 활용한 실용적 모델로 확산되고 있다. 공간 구조 측면에서는 단순한 장비 투입보다 평면 배치의 최적화가 효율을 좌우하며, 텐진항의 '5+2 병행형'처럼 유연한 공간 설계가 병목을 해소하는 핵심 해법이 되고 있다. 또한 TOS-ECS-VMS의 일체화와 5G/V2X 통신망 구축은 혼행 환경에서 안전성과 효율성을 동시에 보장하는 필수 인프라로 정착하였다.

나아가 인력구조의 변화와 제도 정비도 자동화 확산의 핵심 조건으로 부상하고 있다. 원격 운영과 관제 중심으로 직무가 재편되면서 전문 인력 양성 and 교육체계 구축이 요구되고, 혼행 안전 기준, 보험 및 책임 제도의 정립이 병행되어야 한다.

종합하면, 중국의 컨테이너터미널 자동화 개조는 기술, 운영, 시스템, 정책이 상호 결합된 전략적 진화의 결과이다. 이는 운영 중단을 최소화하면서 투자 효율을 극대화한 구조적 모델로, 향후 항만의 스마트 전환이 지향해야 할 현실적이고 지속 가능한 방향을 제시한다.

04

기존 컨테이너터미널의 자동화 개조 방안

제1절 개조의 기본 방향

1. 개조의 본질 및 필요성

기존 컨테이너터미널의 자동화 개조는 단순한 설비 현대화가 아니라 운영·공간·기술체계의 전면적 재설계 과정이다. 그린필드형이 처음부터 자동화를 전제로 설계된 반면, 기존 터미널은 이미 구축된 인프라, 작업 체계, 전력·통신 인프라가 고정되어 있어 운영을 유지한 채 점진적으로 자동화 기술을 도입하는 ‘운영 병행형’ 방식이 불가피하다.

이러한 개조의 필요성은 세 가지로 요약된다. 첫째, 운영 연속성이다. 항만은 연중무휴로 운영되기 때문에 생산 중단은 불가능하다. 둘째, 인프라의 고정성이다. 기존 부두의 지반·전력·배선 구조를 전면 철거하기에는 기술적·경제적 부담이 크다. 셋째, 투자 효율성이다. 기존 장비와 설비를 재활용함으로써 신규 건설 대비 약 40~60%의 투자비 절감이 가능하다.

따라서 자동화 개조는 새로운 항만을 짓는 사업이 아니라 운영을 중단하

지 않고 기존 항만을 ‘지능적으로 진화시키는’ 혁신 과정이다. 즉, 이는 기술적 문제라기보다 운영 패러다임의 진화이자 자산가치의 재창조 과정으로 이해되어야 한다.

2. 개조 추진의 기본 원칙

기존 터미널의 자동화 개조는 단순한 장비 교체가 아니라 운영체제와 기술구조 전반을 재편하는 복합적 전환 과정이기 때문에 명확한 추진 원칙을 설정하는 것이 무엇보다 중요하다.

개조형 자동화의 성공을 위해서는 운영 연속성, 기존 인프라의 재활용, 통합 지휘체계 구축, 단계적 전환이라는 네 가지 기본 원칙이 동시에 작동해야 한다.

첫째, 운영의 연속성 확보가 절대적이다. 항만은 연중무휴로 운영되기 때문에 개조 공정이 생산 활동을 중단시켜서는 안 된다. 따라서 구역별 순차 개조 방식을 통해 하역 작업이 이루어지는 동안 다른 구역에서 공사가 병행될 수 있도록 계획해야 한다. 이 과정에서 터미널의 생산계획과 공정계획을 연동해 하루 처리 물동량 감소를 최소화하고, 야간 시공과 가설 전력망 구축 등 조업 병행형 공정관리 체계를 표준화하는 것이 필수적이다.

둘째, 기존 인프라의 재활용이다. 기존 RTGC, Q/C, 야드 설비, 전력·통신 인프라 등은 항만 자산의 대부분을 차지하므로 이를 전면 교체하기보다 가능한 범위 내에서 재사용하는 것이 바람직하다. 특히 제어시스템의 업그레이드를 중심으로 개조를 추진하면 장비 교체에 따른 비용을 절감하면서도 운영 효율을 높일 수 있다. 노후 장비는 완전 자동화로 대체하기보다 기계적 구조는 유지하고 제어장치만 첨단화하는 ‘기계-시스템 혼합형’ 구

조로 전환해 단계별 자동화를 달성할 수 있다.

셋째, 통합 지휘체계의 구축이다. 자동화 개조는 다양한 장비와 시스템의 연동 없이는 완성될 수 없다. 현재 대부분의 터미널은 장비제어시스템(ECS), 차량관리시스템(VMS), 터미널운영시스템(TOS)이 분리되어 운영되고 있는데 이를 통합한 i-TOS + iECS 구조로 발전시켜야 한다. 통합 지휘체계가 구축되면 하역장비, 무인차량, 작업자, 관제센터 간의 실시간 데이터가 연결되어 작업 명령·장비 상태·교통 흐름이 하나의 플랫폼에서 자동으로 관리된다. 이는 자동화 효율을 극대화하는 동시에, 안전성과 생산성의 균형을 보장하는 기반이 된다.

넷째, 단계적 전환이다. 기존 항만의 자동화는 한 번의 기술 도입으로 완성되지 않는다. 운영·시공·조직의 복잡성을 고려할 때 ‘부분 자동화 → 통합 자동화 → 지능형 전환’ 3단계 구조로 접근해야 한다. 1단계에서는 원격 Q/C, ARTG 등 핵심 장비의 자동화를 먼저 도입하고, 단계에서는 IGV·AT 등 이동체계와 통합 제어시스템을 연동하며, 3단계에서는 디지털 트윈 기반의 예측운영 체계를 완성하는 것이 이상적이다. 이러한 단계적 접근은 기술적 안정성과 조직의 적응성을 확보하며 인력구조의 점진적 재편을 가능하게 한다.

결국 이 네 가지 원칙은 항만 운영의 지속성과 투자 효율성을 동시에 달성하기 위한 개조형 자동화의 근본 방향을 제시한다. 즉, 자동화 개조는 ‘멈추지 않는 혁신’으로, 운영을 중단하지 않고 기존 인프라를 지능적으로 진화시키는 지속가능한 전환 모델로 발전해야 한다.

제2절 개조방식 및 범위 설정

1. 수평이송 영역

터미널 자동화 개조의 핵심은 수평이송 장비의 세대교체다. 중국 항만의 초기 완전자동화는 AGV를 중심으로 구축된 격리형 시스템이었다. AGV는 높은 정밀도와 안정성을 갖지만, 트랜스폰더 기반 인프라가 필요하기 때문에 토목공사 규모가 크고, 기존 부두 개조에는 적용이 어렵다는 한계를 지닌다. 따라서 현재의 개조형 자동화에서는 위성 및 센서 기반의 IGV가 운영 유연성과 비용 효율성 측면에서 새로운 표준으로 자리 잡고 있다.

〈표 3-1〉 수평이송 장비 유형별 기술 특성 비교

구분		AGV	ASC	IGV	AT
측위 방식		트랜스폰더+센서	위성+센서	위성 + 센서	위성 + 센서
측위 정밀도		높음	낮음	낮음	낮음
Q/C 호환성	더블 트롤리	좋음	-	좋음	좋음
	싱글 트롤리	낮음	좋음	낮음	낮음
T/C 호환성		좋음	좋음	좋음	낮음
신설 적합성		좋음	좋음	좋음	좋음
개조 적합성		매우 낮음	중간	좋음	좋음
기술 성숙도		성숙	기본적으로 성숙	시범 적용단계, 항만 내에서는 기본적으로 성숙됨	
장비 가격		높음	높음	중간 (AGV의 약 1/2)	낮음 (AGV의 1/4~1/3)
터미널 인프라 구축비용		높음	낮음	낮음	낮음
운영 및 유지 보수 비용		높음	높음	중간	낮음

자료: 张德文(2021), p.16

최근 들어 항만 자동화 개조의 핵심 쟁점 중 하나는 수평이송 장비의 운행 방식을 어떻게 설계할 것인가 하는 문제다. 현재 중국의 주요 항만들은 혼합주행과 분리주행이라는 두 가지 운영 모델을 병행하고 있다.

혼합주행은 유인 차량(외부 트럭)과 무인트럭(IGV·AT 등)이 동일한 야드 블록 내에서 함께 작업하는 방식이다. 기존 도로망과 평면 배치를 그대로 유지할 수 있어 토목공사 부담이 적고 초기 구축비가 낮다는 장점이 있다. 하지만 작업 중 교차·회피·감속 등 상호 간섭이 잦아 시스템 효율이 떨어지고, 특히 충돌 위험·안전 책임 규정 미비 등으로 인해 운영 리스크가 높다. 또한 사람과 기계가 혼합 운행하기 때문에 법·제도적 안전 기준이 완전히 정립되지 않아, 운영 규칙·우선권 통제·사고 대응 프로토콜을 현장별로 자체 설계해야 한다는 한계가 있다.

반면 분리 주행은 무인트럭과 외부 트럭의 작업구역을 완전히 분리하고, 두 영역을 연결하는 컨테이너 교환구역을 별도로 설치하는 방식이다. 이 경우 차량 간 간섭이 거의 없고, 시스템 제어 논리도 단순하여 안정성과 효율성이 높다. 기술·제도적으로 성숙한 모델로 평가되지만, 교환구역을 추가로 설치해야 하므로 공간 활용률이 떨어지고 초기 구축비가 증가한다는 단점이 있다. 즉, 안정성과 효율을 확보하는 대신 토목비와 공간 손실이 발생하는 구조다.

한편, IGV·AT의 본격 도입 이후 혼행(유인·무인 차량의 공존)은 모든 항만이 직면한 공통 과제가 되었다. 혼행은 단순한 기술 문제가 아니라 도로 우선권 규칙, VMS-TOS의 지휘권 배분, 안전사고 책임 귀속, 표준·법제 공백이 얹힌 종합 난제로, 규모가 커질수록(수십~수백 대 투입) 지휘 시스템과 안전 리스크가 기하급수적으로 커진다. 이 때문에 항만 현장에선 차로 분리(엔드·사이드 인터페이스), 속도·우선권 통제, 충·방전·락스테이션의 동선 규칙 등 ‘기술+규칙’ 동시 설계가 사실상의 진입요건이 되었다.

〈표 3-2〉 수평이송 구간의 혼합주행과 분리주행 방식 비교

구분	혼합주행	분리주행
작업 공정 및 배치	내·외부 트럭이 직접 야드 블록에 진입하여 컨테이너 상·하차 작업을 수행함. 기존 공정과 평면 배치를 변경하지 않음	내·외부 트럭이 각자의 전용 작업구역에서 독립적으로 운행하며, 전용 컨테이너 교환 야드(교환구역)를 별도로 계획·설치함
규제 적합성	사람과 기계가 혼합 운행하며, 관련 법규나 안전 기준이 아직 완전히 정립되지 않음	완전 무인화·지능화 운영 방식으로, 기술 및 제도적으로 비교적 성숙된 모델
안전성	유인 차량과 무인 장비가 함께 운행하여 충돌 위험이 존재하며, 안전성이 낮음	현장 무인화로 인한 인적 리스크 최소화, 운영 안전성이 높음
작업 효율성	혼합 운행으로 인해 교차·회피·감속·작업 간섭 등이 빈번하여 시스템 효율이 저하됨	동일 방향·순차 운행이 가능하여 교차 및 회피 상황이 크게 감소, 작업 효율 향상
시스템 복잡도 및 개발 난이도	제어 논리가 복잡하고, 지능형 관리·스케줄링 시스템의 개발 난이도가 높으며, 테스트 기간과 비용이 큼	논리가 단순하고, 시스템 개발 및 시험 소요 기간이 짧으며, 시간·비용 부담이 적음
경제적 효과	초기 구축비용은 낮으나, 운영 관리비와 테스트 비용이 높음	교환구역 운영으로 인한 간접 비용은 증가하나, 관리비와 테스트 비용은 상대적으로 낮음

자료: 黃鸞旭(2021), p.61

실제 중국 항만에서도 이러한 혼합주행 문제를 주요 난제로 인식하고 있으며, 실제 Ningbo저우산항 메이둥 컨테이너터미널에서는 개조 이후에도 혼합주행으로 인해 장비 사각지대 발생, 선박 일정 복잡화, 안전 리스크 발생 및 운영 효율성 저하가 발생하기도 하였다.¹⁷⁾ 중국은 이러한 문제를 기술적 즉 데이터 기반 최적화 시스템 구축, 플랫폼을 통한 작업자 인터페이스 구축 등을 통해 해결하고 있다.

17) Sina(검색일: 2025.10.23.)

2. 안벽 및 야드 영역

일반적으로 전통적인 터미널 자동화 개조는 비용 문제로 기존 하역장비의 재사용을 필요로 한다.

1) 안벽 영역

안벽 영역은 주로 Q/C의 자동화 개조를 중심으로 이루어진다. 기존 터미널의 대부분은 싱글 트롤리 Q/C를 운용 중이며, 이 장비는 구조적 한계로 인해 더블 트롤리로 개조가 불가능하다.

더블 트롤리를 신규 도입할 경우 케이블·전력라인·컨테이너 교환구역 등 기존 하역 인터페이스의 재설계가 불가피하여 비용 부담이 크고 공사기간 동안 운영 중단이 발생한다.

이 때문에 다수의 항만에서는 기존 싱글 트롤리 Q/C를 유지하면서 자동 제어 기능과 원격조종 시스템을 결합하는 방식을 선택하고 있다. 이 방식은 장비 교체 없이도 작업자의 안전성을 확보하고 중앙관제실에서 복수의 크레인을 통합 관리할 수 있어 인력 효율을 높인다. 즉, 안벽 영역의 자동화는 장비 구조의 혁신보다 제어·운영 방식의 지능화에 초점을 맞추고 있다.

2) 야드 영역

항만 자동화 개조의 중심축은 야드 장비의 현대화에 있다. 현재 신설 자동화 터미널의 경우에는 ARMG가 주류를 이루고 있다. ARMG는 레일 기반의 고정식 구조로 위치 정밀도와 안정성이 뛰어나 완전자동화 터미널에 적합하며, 고밀도 장치 운영과 반복 작업 효율이 높다.

그러나 ARMG는 운영 중인 기존 터미널의 개조에는 제약이 크다. 레일 부설을 위한 지반 평탄도·침하 안정성·전력 인프라 구축 등의 요건이 까다롭고, 토목공사 및 부지 조성이 필수적이기 때문에 공사비가 높고 공정기간이 길다. 또한 장비가 레일에 고정되어 있어 야드 블록 구성을 유연하게 변경하기 어렵고, 운영 중단 없이 개조를 진행하기에는 현실적 한계가 존재한다.

이와 달리 기존 터미널의 자동화 개조에서는 ARTG 방식이 빠르게 확산되고 있다. ARTG는 기존 RTGC를 그대로 활용할 수 있어 설치비가 낮고 부지 변경이 거의 필요 없으며, 운영 중에도 자동화 기능을 단계적으로 확장할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다. 즉, 운영 연속성과 비용 효율성을 동시에 확보할 수 있어 운영 병행형(운영 중 개조형) 터미널에 가장 적합한 방식으로 평가된다.

〈표 3-3〉 ARMG와 ARTG의 장단점 비교

구분	장점	단점
ARMG	• 위치 정밀도와 반복 정밀성이 높아 완전 자동화에 적합함 • 레일 기반 운행으로 주행 속도와 작업 효율이 높음 • 고정형 구조로 대형·고밀도 적재가 가능함	• 전용 운행궤도 부설 및 전력 인프라 구축 등 초기 투자비와 유지보수비가 큼 • 지반 평탄도·침하 등 토목 조건 제약이 커 기존 부두 개조에 부적합함 • 운행 경로가 고정되어 탄력적 운영이 어려움
ARTG	• 기존 RTGC 인프라 활용이 가능해 설치가 간편하고 비용이 경제적임 • 레일이 필요 없어 다양한 블록·부지 구조에 적용 가능함 • 유연한 이송 작업으로 운영 중단 최소화형 개조에 적합함	• 레일 고정형 대비 주행 안정성과 포지셔닝 정밀도가 낮음 • RTGC 개조 시 제조사별 인터페이스·제어계 차이로 기술 난이도가 높음 • 타이어 기반으로 유지보수 주기가 짧고 기계적 마모 발생

자료: 港口圖(2023)을 바탕으로 저자 정리

다만 ARTG는 ARMG에 비해 정밀한 포지셔닝과 주행 안정성 확보가 어렵다. 노면 상태나 GPS 신호 간섭 등 외부 요인에 따라 오차가 발생할 수

있으며, 제조사별 제어계 인터페이스 차이로 인해 RTGC 개조의 기술 통합 난이도가 높다. 전문가들 역시 기존 RTGC를 자동화로 개조하는 과정을 가장 복잡하고 어려운 기술 영역으로 지적한다.¹⁸⁾

최근에는 이러한 기술적 한계를 보완하기 위한 혁신이 빠르게 이루어지고 있다. 8줄 구조, LiDAR·비전센서 융합 인식, AI 기반 자세 보정 및 예측 제어 알고리즘이 적용되면서 ARTG의 작업 정밀도와 안전성이 크게 향상되었다. 이로써 지반이 불균일하거나 내진 성능이 요구되는 부두, 또는 대규모 CAPEX 투자가 어려운 항만에서는 ARTG 방식이 가장 현실적이고 비용 효율적인 선택지로 부상하고 있다.

3. 터미널 배치 및 운영시스템

기존 컨테이너터미널을 자동화로 전환하는 과정은 단순한 장비 교체가 아니라 공간 구조·운영 체계·정보 시스템의 통합 재설계 과정으로 접근해야 한다. 특히 부지 제약이 크고, 터미널 운영사가 다수 존재하는 한국 항만의 현실을 감안하면 운영 중단 최소화형 개조 전략, 국산 기술 생태계 기반의 통합 운영체계 구축이 핵심 방향이 되어야 한다.

1) 터미널 배치

터미널을 자동화로 전환할 때 가장 큰 제약은 한정된 부지와 인접 부두와의 물류 간섭이다. 따라서 신규 자동화 항만처럼 완전한 재배치를 하기보다는 기존 도로망과 장치장 구성을 유지한 채 수평형 개조 방식을 도

18) Imsilkroad(검색일: 2025.10.23.)

입하는 것이 현실적이다.

초기 신설 자동화 터미널에서 일반적으로 채택된 수직형 구조는 작업 효율은 높지만 교차로 혼잡, 안전사고 위험, 장비 마모 등 운영 안정성 측면에서 취약하다.

반면 수평형 배치는 교차 구간을 줄이고 혼합주행(유인·무인 차량 병행)의 통제력을 높일 수 있어 운영 중단 없이 점진적으로 자동화 범위를 확장하기에 적합하다.

2) 운영시스템

기존 TOS는 대부분 하역 스케줄 관리, 장비 배치, 게이트 운영 등 기본적인 기능 중심의 중앙집중형 구조를 갖고 있다. 그러나 자동화 개조가 이루어지면, 야드장비(ARTG·ARMG), 수평이송장비(IGV·AT), 게이트, 안전시스템 등이 동시에 연동되어야 하므로 분산지능형 운영 아키텍처로의 전환이 필수적이다.

따라서 터미널을 자동화로 개조하는 경우 기존의 중앙집중형 TOS를 기반으로 하되, 장비군별 자율제어 시스템(QCMS·BMS·VMS 등)을 병행하여 상황별 대응력을 높이는 하이브리드형 통합지휘체제로 발전해야 한다.

이 체계는 클라우드 컴퓨팅 기반의 실시간 부하 분산, AI 기반 작업 예측 및 자원 스케줄링, 빅데이터 플랫폼을 통한 다기관 연계(항만공사-운행사-세관-물류기업)를 지원해야 한다. 즉, 단일 터미널의 운영 효율을 넘어 항만 단위의 ‘디지털 통합 운영 생태계’를 구축하는 것이 목표가 되어야 한다.

한편, 기존의 야드 계획이 중앙 집중식 접근 방식이었던 반면, 자동화 개조 이후에는 분산형 야드 계획이 도입되어야 한다. 이는 구역별 수입·수출

계획과 혼합형 스케줄링을 결합하여 장비 가동률을 극대화하고, 실시간 계획 변경에도 능동적으로 대응하도록 하는 구조다. 분산형 계획은 다단계 매개변수 조정(최대 24단계)을 통해 장비 잠재력을 최대한 활용하고 계획 변경 시에도 운영 효율을 유지할 수 있다.¹⁹⁾

3) 국산 TOS 개발 및 기술 자립

현재 다수의 항만은 외산 TOS에 높은 의존도를 보이고 있다. 이는 기술적 안정성은 확보하지만 소스코드 접근 제한, 유지보수비용 부담, 현장 맞춤형 기능 개발의 제약이라는 한계를 안고 있다.

따라서 향후 자동화 개조 추진 시에는 국산 TOS 개발 및 통합 플랫폼 구축이 병행되어야 한다. 이는 단순한 기술 자립의 문제가 아니라 운영 효율성·데이터 보안·응용 확장성 측면에서 지속 가능한 항만 운영구조를 확보하기 위한 필수 조건이다.

국산 TOS는 단순히 외산 대체재가 아니라 국내 항만의 데이터·보안·운영 표준을 통합하는 스마트항만 운영 인프라의 핵심 축으로 자리잡아야 한다.

제3절 소결

자동화 개조는 전면적 일괄 도입이 아니라 시범구역 설정 → 검증 → 확대의 단계적 구조로 추진되어야 한다. 중국의 대부분 항만은 이 방식으로 공정 리스크를 최소화하고, 생산 중단 없이 기술 안정성과 운영 신뢰성을 동시에 확보하였다.

19) Hyqfocus(검색일: 2025.10.19.)

자동화 개조의 공통 난점은 시스템 간 표준 불일치이다. TOS-ECS-VMS의 인터페이스를 통합하지 않으면 운영 효율이 떨어지고 유지보수비가 급증한다. 따라서 국가 차원의 데이터 표준화와 장비제조사 간 프로토콜 통합이 필요하다. 이는 향후 항만 간 연동·통합운영의 전제조건이 된다.

자동화 개조는 기술보다 인력의 문제에서 실패하는 경우가 많다. 기존 장비조작 인력을 원격조종사, 시스템운영자, 데이터관리자로 전환해야 하며, 항만공사·대학·기업이 연계된 ‘스마트항만 교육체계’를 구축해야 한다.

혼행 환경에서 발생할 수 있는 충돌·정지·통신 오류를 예방하기 위해 AI 영상인식, 예측제어, V2X 통신 기반의 지능형 안전관리 체계를 법제화해야 한다. 이는 기술이 아니라 제도와 운영규칙의 문제이기도 하다.

자동화 개조는 단순 효율화가 아니라 친환경 전환 전략과 병행되어야 한다. 전기·수소 기반의 무인 이송장비, OPS(육상전력공급), AI 에너지관리 시스템을 도입해 ‘그린-디지털 융합 항만’으로 발전시켜야 한다.

결국 기존 항만의 자동화 개조는 단순한 기술 업그레이드가 아니라 운영 패러다임의 혁신이다. ‘운영 병행형 개조’를 중심으로 기존 인프라의 재 활용·통합 지휘체계·단계적 추진이 조화를 이루어야 하며, 정책적으로는 표준화·인력전환·투자다변화·안전법제·친환경 연계가 병행되어야 한다.

이러한 복합적 전환이 이루어질 때 기존 항만은 운영의 효율성·지능성·지속가능성을 동시에 확보하며, 단순 하역거점을 넘어 지능형 물류 생태계로 도약하게 된다.

05

결론 및 시사점

제1절 요약

본 연구는 중국 컨테이너터미널의 자동화 개조 동향과 대표 사례를 분석하고, 이를 바탕으로 한국형 컨테이너터미널의 자동화 개조의 방향과 과제를 도출하였다. 중국은 강력한 국가 정책을 기반으로 기존 터미널의 개조를 추진하고 있다. 특히 스마트항만 정책 초기 신규 건설 중심의 ‘건설형 자동화’에서 나아가 기존 인프라를 유지한 채 지능형 시스템을 단계적으로 이식하는 ‘운영 중 개조형’으로 전환하였다. 2016년 샤먼항 위안하이를 출발점으로 2022년 이후 톈진·닝보·칭다오항 등으로 빠르게 확산되었고, 2024년 6월 기준 자동화 터미널 65개 중 51개(약 78%)가 기존 부두의 개조를 통해 구축되었다.

중국 사례에서 얻을 수 있는 교훈을 다음과 같이 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 기존 부두를 점진적으로 바꾸는 전략이 경제성과 지속가능성을 동시에 확보한다. 둘째, 국산화된 기술 생태계가 자립 기반을 만든다. 셋째, 혼행 안전과 데이터 통합 중심의 시스템 설계가 효율과 안전을 함께 끌어

올린다. 이는 단기성과보다 장기 경쟁력과 지속가능성을 확보하는 전략적 전환이며, 중국은 그 현실적 레퍼런스를 제공한다.

각 항만은 여건에 맞는 ‘선택적 자동화’를 추진해야 하며, 정책적 측면에서 기술 통합을 뒷받침할 표준, 재정, 법제, 인력전환 체계가 필수적이다. 결국 자동화 개조는 장비 교체의 문제가 아니라, 운영 구조와 정책 구조를 함께 개조하는 국가적 사업임을 확인하였다.

이러한 경험은 국내 항만에도 중요한 시사점을 제공한다. 한국 역시 신규항만 건설 중심의 자동화에서 벗어나, 운영 중인 기존 부두의 자원을 최대한 활용할 수 있는 개조형 스마트화를 추진할 필요가 있다.

제2절 국내 적용을 위한 시사점

중국의 컨테이너터미널 자동화 개조는 단순한 기술 도입이 아니라 국가 차원의 체계적 산업정책이다. 국유기업 중심의 일원 거버넌스와 강력한 정부 투자·표준화 정책에 힘입어 중국은 2022년 이후 ‘운영 중 개조형 자동화’를 사실상의 산업 표준으로 정착시켰다.

반면 한국은 항만의 소유-운영-관리 주체가 분산되어 있고, 개조 관련 법·재정 수단의 부재로 기술적 필요성에도 불구하고 정책 추진력이 약한 구조라고 할 수 있다. 이러한 차이를 감안하면 한국의 자동화 개조 정책은 다층적 지원 프레임(정책·재정·표준·거버넌스·인력)을 갖춰 속도와 일관성을 확보해야 한다. 자동화 개조는 정부의 정책 지원, 국산화 생태계 구축, 신속한 제도 집행이 결합될 때 산업 전환의 실질적 성공 모델이 된다.

1. 정책 패러다임을 운영 혁신 중심으로 전환

한국의 항만정책은 지금까지 신항 건설을 통한 시설 확충 중심의 성장전략에 집중되어 왔다. 그러나 대부분의 대형 항만이 이미 시설 포화 단계에 근접한 상황에서 운영 효율화 중심의 성장전략, 즉 기존 인프라를 활용한 지능형 전환으로 정책 패러다임을 바꿔야 한다.

기존 부두를 자동화로 개조하는 것은 단순한 비용 절감이 아니라 투자 효율성의 구조적 향상을 의미한다. 운영 중 개조는 신규 부두 건설 대비 평균 투자비 40~50% 절감, 공사기간 1/3 수준의 단축 효과를 기대할 수 있으며, 생산 중단 없이 시스템을 업그레이드할 수 있어 국가 물류 경쟁력을 유지하면서 산업의 기술 전환을 병행할 수 있다.

2. 국산화 기반의 기술 자립

자동화 개조의 추진 과정에서 가장 큰 장애는 장비와 시스템의 수입 의존 구조이다. 현재 국내 항만에서 운영되는 자동화 장비의 대부분은 ZPMC, Siemens, ABB 등 해외 제조사 제품이며, 통신·제어시스템 역시 외산 플랫폼에 의존하고 있다.

정부는 항만 자동화 장비를 전략 산업군으로 지정하고, 국내 기업·연구기관·항만공사 간 컨소시엄을 구성해 AI 기반 제어기술, 자율주행 인식 시스템, 안전제어 PLC, 사이버보안 등 핵심 부품의 독자 기술 확보를 지원해야 한다.

국산 장비와 시스템의 초기 도입 시에는 가격 경쟁력 확보가 어렵기 때문에 정부가 일정 비율의 장비 구입비를 보조하고, 공공조달 시 국산 자동화 설비 우선구매제를 도입할 필요가 있다. 이는 단순한 보호조치가 아니

라 국가 공급망 자립과 기술주권 확보를 위한 전략적 투자이다.

3. 정부 재정지원과 금융수단의 제도화

현재 항만 자동화 개조를 위한 별도 정부 지원제도는 존재하지 않는다. 민간 운영사는 개별 장비를 자율적으로 교체하거나 외자 프로젝트로 추진하고 있으며, 국가 차원의 투자보조나 세제 인센티브는 미비한 상황이다.

따라서 정부는 ‘항만 자동화 개조 전용기금’을 신설해 항만공사 및 민간 운영사가 자동화 장비와 시스템을 도입할 때 저리 용자와 보조금 형태로 지원하도록 설계되어야 한다. 또한 투자세액공제 및 가속상각제도를 도입해 민간 투자를 촉진할 필요가 있다. 예를 들어 국산 자동화 장비를 도입하는 기업에 대해 투자액의 10~15% 세액공제, 설비 감가상각 기간을 현행 10년에서 5년 이하로 단축하여 초기 투자비 회수 부담을 줄여야 한다.

이와 함께 성과연동형 보조제를 도입해 자동화율·생산성·에너지 절감 등 성과 지표 달성 시 일정 비율을 보전하는 구조로 설계하면 민간의 기술 투자와 정부의 정책목표를 연동시킬 수 있다.

4. 속도감 있는 개조를 위한 정책 기반 마련

자동화 개조사업은 기존 터미널의 생산을 중단하지 않은 상태에서 추진되기 때문에 허가 절차와 행정규제가 복잡하면 사업 추진이 사실상 불가능하다.

현재는 항만시설공사, 통신공사, 전력 인입, 안전 인증이 각각 별도로 절차로 운영되고 있어 개조사업마다 최소 1~2년의 행정 지연이 발생한다. 이를 해소하기 위해 정부는 자동화 개조사업을 ‘국가핵심 신속사업(Fast-Track

Project)’으로 지정하고 전력·통신·차로 구성 등 항만 운영 관련 인허가를 원스톱 심사체제로 통합할 필요가 있다.

5. 거버넌스 차이를 고려한 제도 설계

한국형 자동화 개조는 다양한 이해관계자 간의 협조를 전제로 해야 한다. 중국이 국영 일체형으로 신속하게 추진할 수 있었던 이유는 정책-투자-운영이 동일 체계 내에 있었기 때문이다.

반면 한국은 항만공사·운영사·하역사·노조·지자체가 분리되어 있어 정책 결정과 실행 과정에서 이해충돌이 발생하기 쉽다. 이에 따라 한국형 자동화 개조 추진을 위해서는 항만공사 주도의 공동 의사결정 플랫폼 구축, 성과 기반의 운영사·공사 간 수익공유제 도입, 인력구조 전환을 위한 노사·정부 공동지원제 마련이 필요하다.

특히 자동화로 전환되는 과정에서 감축되는 기존 인력에 대해 재교육과 직무 전환을 보장하는 ‘항만 디지털 전환 인력지원 프로그램’을 정부가 주도적으로 마련해야 한다. 이는 기술적 전환보다 노사 협력과 사회적 합의를 통해 추진되어야 한다.

참고문헌

국내 문헌

해양수산부(2021), 「2017~2019년 기준 해양수산업 통계조사」, 민간위탁과제 결과 보고서.

해양수산부(2024), 스마트항만 자동 이송장비 적용 확대방안 마련 연구 (2차년도 보고서)

한국해양수산개발원(2023), 중국 항만물동량 및 관련산업 현황분석 연구

한국해양수산개발원(2025), 스마트 항만 전망과 과제, 2025 해양수산전략리포트

국외 문헌

DS Research(2024), Container Terminal Projects 2024

Kaj G. and Pim L.(2024), Brownfield Terminal Automation: Five Major Pitfalls, Portt echnology E-Journal, Edition 136, 2024.1.26.

Kim B. Kim G. and Kang M(2022), Study on Comparing the Performance of Fully Automated Container Terminals during the COVID-19 Pandemic, Sustainability, 9415(14)

Knatz. G, Notteboom T. and Pallis A.(2023), Container terminal automation: assessment of drivers and benefits, Maritime Policy & Management, Vol 21, No.6, pp.1252-1276

Li Xiangda(2024), Research on Optimizing Land Area Layout and Facility & Equipment Configuration for Container Terminal Automation Upgrading, Dalian University of Technology

Port Technology International (2018), Navis Survey: Terminal Automation 'Critical' to Survival.

Smart Port Market(2022), Global Forecast to 2027, Markets and Market

陈曙权(2017), 厦门远海自动化码头平面布置及设备配置优化研究, 华南理工大学

港口圈(2023), Global Automated Container Terminal

港口圈(2024), Global Automated Container Terminal

李美贞(2023), 厦门港传统集装箱码头智能化改造, 港口科技

林洪为(2019). 传统集装箱码头堆场自动化改造和操作工艺革新[J]. 港口科技

胡旭程(2022), 传统集装箱码头自动化作业链的研究及实践, 中国水运

黄鹭旭(2021), 传统集装箱码头智能化改造平面运输工艺与装备, 中国港口

孙迎(2023), 基于传统码头自动化堆场改造多种堆码模式兼容性的优化设计, 港口科技

张德文(2021), 自动化集装箱码头水平运输设备的发展与分类标准建议, 中国港口

中国港口协会(2022), 中国智慧港口发展报告

인터넷 자료

ABB, https://new.abb.com/news/detail/115653/abb-automation-proves-transformative-at-hamburgs-largest-container-terminal?utm_source=chatgpt.com (검색일: 2025.10.18.)

China Water Transport Network, <https://www.zgsyb.com/news.html?aid=725517>(검색일: 2025.10.23.)

GES Shenzhen(2022.1.28.), 中国首个传统集装箱码头智能化改造项目投产, <https://mp.weixin.qq.com/s/yw6gXZqaEDB4x1A5oc3LNQ>(검색일: 2025.9.17.)

Hyqfocus, <https://www.hyqfocus.com/jsp/model.jsp?id=17424&modelType=1>

- (검색일: 2025.10.19.)
- Imsilkroad, <https://www.imsilkroad.com/news/p/475201.html> (검색일: 2025.10.23.)
- Kalmar, https://www.kalmarglobal.com/news—insights/press_releases/2015/kalmars-autostrad-delivery-to-patricks-port-botany-sets-the-benchmark-for-the-industry/?utm_source=chatgpt.com (검색일: 2025.10.18.)
- Patrick Terminals, <https://patrick.com.au/locations/brisbane/> (검색일: 2025.10.19.)
- Portcontainer, <http://www.portcontainer.com/newsAction.do?command=viewData&rootCategoryId=8a9287fa300b0b0001300b5864990011&categoryId=8a9287fa300b0b0001300b59245f0013&dataId=e563d28485993f3e01> (검색일: 2025.10.18.)
- Portwise, <https://www.portwiseconsultancy.com/research/high-performance-and-efficiency-in-automated-container-terminals/> (검색일: 2025.10.19.)
- People's Daily Online, <https://en.people.cn/n3/2024/0527/c90000-20174579.html> (검색일: 2025.10.23.)
- RWG, <https://www.rwg.nl/en> (검색일: 2025.10.18.)
- Seatrade-maritime, <https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/shanghai-international-port-group-2024-profits-up-13-> (검색일: 2025.10.18.)
- Sina, <https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-06-06/doc-inexceum5620842.shtml?from=ggmp> (검색일: 2025.10.23.)
- Sohu.com, https://www.sohu.com/a/253033404_179247 (검색일: 2025.10.18.)
- The Sydney Morning Herald, <https://www.smh.com.au/national/nsw/sydneys-patrick-terminal-goes-automated-with-fewer-staff-but-dancing-robots-20150617-ghqc24.html> (검색일: 2025.10.18.)
- Xinde Marine News, <https://www.xindemarinenews.com/en/ports/2020/0122/17642.html> (검색일: 2025.10.23.)
- Xueqiu, <https://xueqiu.com/9371001315/238029161> (검색일: 2025.10.23.)
- World Cargo News(a), <https://www.worldcargonews.com/ict-automation/2025/06/achieving-20-mph-with-artgs-in-tianjin/> (검색일: 2025.10.23.)

World Cargo News(b), <https://www.worldcargonews.com/cargo-handling-equipment/2025/06/chinese-terminals-embracing-agvs/> (검색일: 2025.10.23.)

福建港口集团(2022.1.20.), 全国首个传统集装箱码头全流程智能化改造项目迎来试投产, https://mp.weixin.qq.com/s/B_q-rMUXaBrOL3Ccp3LrXg(검색일: 2025.9.17.)

福建省人民政府门户网站(2022.8.26), 厦门港: 打造行业智慧化标杆 提升国际集装箱干线港活力, https://gxt.fujian.gov.cn/zwgk/xw/hydt/snhdyt/202208/t20220826_5982427.htm(검색일: 2025.9.17.)

福建省人民政府门户网站(2023.7.31), 智慧绿色港口的探路者, https://www.fujian.gov.cn/zwgk/ztzl/xxgcxjpxsdzgtsshzysx/xxgc/202307/t20230731_6216829.htm(검색일: 2025.9.17.)

交通运输部水运科学研究院(2021.9.24.), 关于传统集装箱码头全智能化改造的思考, <https://mp.weixin.qq.com/s/4E6XIXlnk5w2RllBqpFhMA>(검색일: 2025.9.17.)

天津港集装箱码头有限公司(2022.7.3.), TCT全球首创传统集装箱码头全流程自动化升级改造项目全面竣工, <https://mp.weixin.qq.com/s/p12t1a4SdmHAA X4wTDIOAw>(검색일: 2025.9.18.)

现代港口物流, http://www.xdgkwl.com/gy/info_24.aspx?itemid=8263 (검색일: 2025.10.19)

浙江海港(2025.9.19.), 走遍浙江海港 | 超级大港的“智慧心跳”, https://mp.weixin.qq.com/s/riX_7rzHP-ksJfJlK8K9Mg(검색일: 2025.9.19.)

浙江省海港集团(2022.11.), 梅东公司“千万标箱级智慧集装箱码头”建设, <https://share.google/GFoFoL4dhwxm5C3MT>(검색일: 2025.9.19.)

中国港口(2021.1.25), 精益求精“技术控”——业内顶尖团队出品自动化集装箱码头调研报告, <https://mp.weixin.qq.com/s/l3ZrkNPDR8d8Z5linHZnNw>(검색일: 2025.9.17.)

中共南阳市纪律检查委员会(2023.9.25.), 远海智港 无人有序 探访全球首个第四代自动化码头厦门远海集装箱自动化码头, https://www.kflz.gov.cn/sitesources/nysjwjw/page_pc/ywyl/article8ac015cc2a2143b6818d7dd56df67d0

- 1.html(검색일: 2025.9.17.)
- 中国科学技术协会(2022), https://www.scei.org.cn/djgz/dqxddfh/kjcxzzlzqp/art/2022/art_b5c252c618cb4943b6f30b61f6d48410.html(검색일: 2025.9.17.)
- 中华人民共和国交通运输部(2016.4.25), 交通运输信息化“十三五”发展规划, , http://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3319675.html(검색일: 2025.10.20.)
- 中华人民共和国交通运输部(2023.12.4.), https://xxgk.mot.gov.cn/jigou/syj/202312/t20231204_3961959.html (검색일: 2025.10.23.)
- 中华人民共和国交通运输部(2024.10.31), https://www.mot.gov.cn/2024wangshangzhibo/2024tenth/zhibozhaiyao/202410/t20241031_4158738.html (검색일: 2025.10.19.)
- 中华人民共和国交通运输部(2025.9.26.), https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202509/t20250926_4177305.html (검색일: 2025.10.21.)

일반사업 2025-09

중국 스마트항만 구축 동향 조사: 기존 터미널 개조사례를 중심으로

인쇄 2025년 10월 29일

발행 2025년 10월 31일

발행인 조정희

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 애드원플러스 (070-4390-3850)

비매품

