

궤간변경 철도 수송 시스템의 기술적 평가

정광우¹, 김철수^{2*}, 장승호³

¹한국교통대학교 철도운전시스템공학과, ²한국교통대학교 철도차량시스템공학과

³한국철도기술연구원 에코시스템연구실

Technical Evaluation of Railway Transportation System with the Change of Gauge

Kwang-Woo Chung¹, Chul-Su Kim^{2*} and Seung-Ho Jang³

¹Dept. of Railway Operation System Engineering, Korea National University of Transportation

²Dept. of Railway Vehicle System Engineering, Korea National University of Transportation

³ECO-Transportation System Research Division, Korea Railroad Research Institute

요 약 최근 유럽과 아시아 사이의 물류 증가는 철도수송에 있어서 사회적/경제적으로 좋은 기회이며, 동시에 커다란 도전이 될 수 있다. 유라시아 대륙에는 다양한 궤간이 존재하고 있다. 이러한 궤간의 차이는 철도에 의한 화물수송시 장애요인중의 하나이다. 궤간 차이를 극복하기 위한 방법은 수송 화물의 유형에 따라 달라질 수 있으며, 국경 지점에 보관 창고 및 환적 설비와 같은 넓은 기반 시설과 많은 운영 인력수요와 같은 철도 수송 시스템의 운영에 많은 영향을 준다. 따라서 철도 수송 시스템의 효율성은 복잡한 하역 및 교환 기술에 관련된 궤간 극복 방법에 매우 의존한다. 본 논문은 궤간 극복 방법에 대한 기술적 평가를 기반으로 수송 시나리오의 효율성을 검토하고, 각 시나리오의 운영에서 요구되는 기술적 요소들을 기술하였다.

Abstract Recently the increase in the exchange of goods between Europe and Asia caused by social and economic factors creates good opportunities for railways. At the same time, however, it becomes an enormous challenge for railway transport. There are different rail track gauges (i.e narrow/standard/broad gauge) on the continental transportation between Korea (TKR) and Eurasian (TCR/TSR). The existence of various track gauges is one of obstacles preventing the smooth flow of goods by rail. The transferring process system from one track gauge to another could vary with the types of cargo. Service operation of these systems has a decisive effect on working time and cost of storage and transshipment facilities at border crossings. In relation to the above-mentioned factors, it is important to examine the comparison between different methods of transferring goods in different track gauges. In this study, it was performed to evaluate the effectiveness of continental railway transportation systems through analysis scenarios and to suggest technical factors of them.

Key Words : Rail Track Gauge, Handling System, Shift System, Gauge Changeover Bogie

1. 서론

세계 물동량에서 동북아 지역의 비중은 지속적인 경제 발전과 자원개발으로 인하여 '98년 27%에서 '06년 30.1%로 증가하고 있다.[1,2] 특히 러시아 극동지역은 풍부한 에너지 및 지하자원을 보유하고 있으며, 이 지역의

철도운송은 화물수송의 약 80% 정도의 높은 운송 분담률을 가지고 있다.

최근 우리나라는 유라시아대륙철도 연결의 시발점으로써의 지리적 이점을 통한 동북아 물류 중심국으로 부상하고 있다. 동북아 물류시장 선점을 위해서는 국가적 차원의 외교적 노력과 더불어 대륙철도 통합 연계기술에

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 "남북 및 대륙철도의 실용주의적 진출을 위한 상호연계기술 개발"의 과제 연구비 지원에 의해 수행하였습니다.

*Corresponding Author : Chul-Su Kim

Tel: +82-10-8791-7213 email: chalskim@paran.com

접수일 12년 02월 22일

수정일 12년 04월 09일

게재확정일 12년 05월 10일

대한 연구가 시급하다. 특히 국경 통과 시 서로 상이한 궤간(협궤/표준궤/광궤)의 인터페이스 문제는 화물 연계 처리에 상당한 수송시간의 연장을 유발하기 때문에 철도 수송의 장점을 희석시킬 수 있다. 이러한 궤간의 상이함에 따른 기술적-운영적 문제를 해결하기 위해서는 철도 수송 시스템의 효율성을 제고할 수 있는 최적의 해결책이 필요하다.

서로 다른 궤간 차이를 극복하기 위한 방안은 환적, 운축 또는 대차교환, 그리고 자동 궤간가변 운축에 의한 자동궤간 변환시스템이다.[3]

국내의 경우 2008년 한국철도기술연구원에서 화차용 궤간가변대차(KGCW-1)를 개발하여 시험 중에 있다.[4] 그러나 대차교환이나 환적없이 신속하고 안전하게 직결 운행할 수 있는 궤간변환 시스템의 기술적 개발뿐만 아니라, 대륙철도 연계에 따른 운영 및 효율화 방안 등에 대한 기술적/경제적 타당성 확보에 관한 연구가 매우 중요하다.

본 연구에서는 표준궤/광궤(1435/1520mm) 궤간 변경 지점에서 발생될 수 있는 화물의 하역(Handling)과 교환(Shifting) 처리과정에 대한 수송 시나리오를 설정하고, 이를 기술적 지표에 근거하여 각 시나리오 평가를 수행하였다. 특히, 유해물질 화물 그룹의 수송 서비스 관점에서 각 시나리오의 실행 가능성을 분석하였다.

2. 이종궤간 극복을 위한 철도 수송 시스템

2.1 수송시스템

유라시아대륙에서 철도 수송의 화물 이동거리는 15,000km에 이르며, 2~3회 이상의 궤간의 변화를 거쳐 운행된다. 이러한 이종궤간의 문제를 극복하기 위한 방안은 크게 하역시스템과 교환시스템으로 나눌 수 있다.

2.2 하역 시스템

하역시스템은 하나의 궤간의 화차에서 다른 궤간의 화차로 화물을 이동하는 시스템으로서, 환적(trans-shipment), 양수(pumping), 유출(pouring) 등이 있다.

예를 들어, 석유제품과 같은 액체류 위험물 수송 시나리오는 ‘탱크 컨테이너의 환적’, ‘탱크 컨테이너에서 탱크 컨테이너로 양수’, ‘중간 탱크를 이용한 탱크 컨테이너간 양수’가 이에 해당한다.

양수방식은 이종궤간에서 탱크로 석유 제품과 액화 가스를 펌프로 직접 전달하며, 국경 지점의 선적역에서 현재 널리 이용되고 있다. 그러나 이 방식은 누유문제와 같

은 환경 및 안전성 측면에서 바람직하지는 않다.

환적방식은 이종 궤간구간의 환적 터미널에서 표준화된 적재 유닛(대용량 탱크)을 이동하는 것이다. 이 방법은 위험물 수송의 캡슐화를 요구하며, 터미널에서 자동화된 환적 장비를 갖추어야 한다. 또한 표준화된 적재 유닛을 적재하기 위해서는 1520mm와 1435mm 대차와 운축에 근거하여 동일하게 설계된 표준 플랫폼 화차를 요구한다.

2.3 교환 시스템

교환시스템은 하나의 궤간에서 다른 궤간으로 수송수단을 교환하는 것으로서, 이의 방식은 리프트 잭, 트랩도어, 궤간가변대차가 있다.

리프트잭(lift jack)방식은 국경 지점에서 차체를 들어 올려 대차를 교환하는 방식이며, 석유 및 화학제품과 같은 위험물 수송에 많이 사용한다. 리프트 잭에 의한 대차 교환 방식의 운영 조직 규모는 동시에 교환되는 화차의 수와 그룹 수에 따른 리프트 잭의 설치 수에 따라 다양하다. 참고로 최대 설치 가능한 리프트 잭의 수는 10개의 화차 그룹이며, 하나의 화차를 들어올리기 위해서는 25톤의 리프트 용량을 가지고 있는 4개의 복합 스크루 잭이 필요하다.

트랩 도어(trap door) 방식은 파이프 라인으로 제작된 두 개의 드롭핑 테이블로 구성되며, 트랩도어의 한쪽 끝에 1520mm 대차를 놓고 다른 궤간의 1435mm 대차를 반대편에 설치하여 이를 상하좌우 이동에 의해 대차를 교환하는 방식이다. 참고로 트랩도어는 30톤 용량의 유압과 스크루 잭에 의해 움직인다.

궤간가변대차(gauge changeover bogie)방식은 이종궤간 변환구간에서 대차교환이나 환적없이 직결 운행하도록 자동 궤간 변환장치를 장착한 대차를 말한다. 이 방식은 유라시아대륙철도의 통합연계 운행에 필요한 핵심적인 기술로서, 시간적·비용적·경제적·친환경적인 시스템이다.[5,6] 국내에서는 철의 실크로트를 연계하여 21세기 교통물류 중심지로 도약하고자 궤간가변 장치 KGCW-1를 개발하여 시험중이다. KGCW-1은 부품의 수, 장치의 부피, 무게, 유지보수 비용측면에서 해외의 개발품보다 적도록 설계되었다.[4,7]

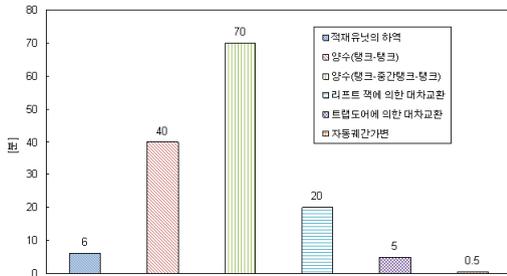
3. 궤간변경 철도 수송 시스템의 기술적 분석

3.1 화물 수송별 서비스시간

궤간 변환구간에서 철도 수송 시스템의 효율성 평가를

위해서 각각의 화물 수송시스템 과정에 대한 다양한 지표의 사전 분석이 필요하다. 이 중에서 화물 수송별 서비스 시간은 수송 시나리오의 경제적 효율성을 평가할 수 있는 하역과 교환 서비스의 운영 시간을 추정하기 위한 기술적 분석의 지표 중 하나이다.[8]

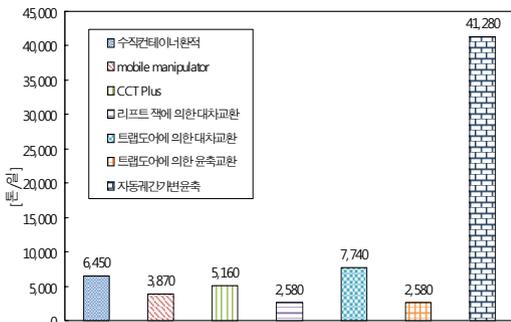
그림 1은 석유제품 등과 같은 위험물 수송과정에서 6개 수송방식별 화물 수송의 서비스 시간을 정리한 것이다. 궤간 변경 지점에서 적재 유닛의 하역 시간은 리프트 용량 $Q_{max}=50$ 톤과 폭 $L=34.7m$ 을 가지며, 2개의 컨테이너를 동시에 환적할 수 있는 2개의 이동 갠트리 크레인 을 이용한 경우의 서비스 시간이다. 탱크 용량 $100m^3$ 인 컨테이너의 환적은 2500/min 용량(draft directive 93/C7303)에 대한 양수 시간이다.



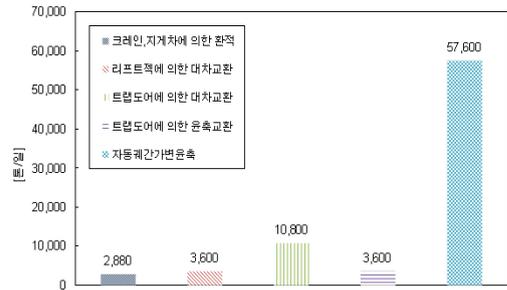
[그림 1] 화차 당 서비스 시간[2,5]
[Fig. 1] Service time per wagon[2,5]

3.2 화물 처리 능력

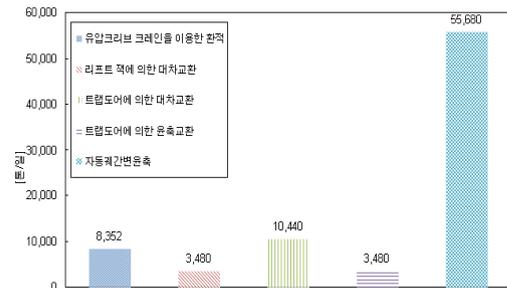
그림 2~4는 궤간변경 지점에서 철도 수송시스템별 1일 화물처리 능력을 나타낸 것이다. 참고로 표 1은 이를 종합적으로 정리한 것이다. 수송시나리오와 각 시나리오에 따라 한번에 처리할 수 있는 평균 서비스 그룹의 처리 시간, 서비스 그룹의 평균 교체시간에 영향을 미친다.



[그림 2] 컨테이너 처리능력
[Fig. 2] Container capacity



[그림 3] 포장화물(팔렛적재화물) 처리능력
[Fig. 3] Package cargo(pallet cargo) capacity



[그림 4] 벌크화물(철광석) 처리능력
[Fig. 4] Bulk cargo(iron ore) capacity

[표 1] 궤간 변경 지점에서 화물처리 능력(석유제품)
[Table 1] Freight capacity at gauge conversion place (petroleum product)

시나리오 ¹⁾	서비스 그룹 [화차]	설비	평균 서비스 그룹 처리 시간(분)	서비스 그룹의 평균 교체 시간(분)	1일 처리 가능한 서비스 그룹	1일 화물처리 능력 ²⁾	
						[화차] [컨테이너]	[톤]
I	30	2개의 갠트리 크레인	240	110	4	240	5,160
II	6	6개 펌프	40	60	14	84	5,040
III	6	6개 펌프	70	60	11	66	3,960
IV	10	40 리프트잭	200	30	6	60	3,600
V	30	트랩도어	210	30	6	180	10,800
VI	30	트랩도어	480	30	2	60	3,600
VII	30	지상설비	15	30	32	960	57,600

- I-탱크 컨테이너 환적, II-양수(탱크-탱크), III-양수(탱크-중간탱크-탱크), IV-리프트 잭에 의한 대차교환, V-트랩도어에 의한 대차교환, VI-트랩도어에 의한 윤축교환, VII-자동 궤간 가변윤축
- 계산을 위한 가정 - 60톤의 적재량 탱크차, 20피트 컨테이너(21.5톤), 하나의 화차에 20피트 컨테이너 2개를 운반

3.3 비용 구조

본 절에서는 이중궤간 대륙철도 화물 운송 비용을 ‘1435/1520mm 궤도에서의 화물운송비용’, ‘수송수단 및 적재 유닛의 비용’, ‘1520mm /1435mm 궤간변경지점의 장비 비용’ 및 ‘궤간변경 지점에서의 유지보수 비용’으로 나누어 고려하고자 한다. 여기서 수송 시나리오별 순수한 궤간가변의 기술적 비교검토를 위하여 1520mm와 1435mm 궤도에서 각각의 순수 화물 운송비용은 제외하였다.

3.3.1 수송 수단 및 적재 유닛

표 2~5는 각각 4가지 적재유닛(석유제품, 포장화물, 컨테이너 수송, 벌크화물)에 대하여 수송시스템의 시나리오별 비용구조를 정리한 것이다.

[표 2] 수송 수단과 적재 유닛(석유제품)

[Table 2] Transportation mode and loading unit(petroleum product)

시나리오 ¹⁾	수송 수단 혹은 유닛
I	1520mm 궤도용, 스윙모션대차, 컨검평판차
	1435mm 궤도용, 스윙모션대차, 컨검평판차
II	1435mm 궤도용 탱크화차, 용량 79m ³ ,
	1520mm 궤도용 탱크화차,
III	1435/1520mm 검용 탱크 화차, 용량 80.6m ³ ,
	1435mm와 1520mm 궤도용 Trolley-Standard
IV	윤축교환이 가능한 탱크화차
	1435mm와 1520mm 궤도용 윤축
V	탱크 화차(대차제외), 용량 80.6m ³
	자동궤간가변 대차

1) I-탱크 컨테이너 환적, II-양수, III-대차교환(리프트 잭, 트랩도어), IV-윤축교환(트랩도어), V-자동궤간가변

[표 3] 수송 수단과 적재 유닛(포장화물)

[Table 3] Transportation mode and loading unit(package cargo)

시나리오 ¹⁾	수송 수단 혹은 유닛
I	1520mm 궤도용, 전개형 화차
	1435mm 궤도용, 전개형 화차
II	1435/1520mm 검용 전개형 표준 화차,
	1435mm와 1520mm 궤도용 표준 Trolley-Standard
III	윤축교환이 가능한 전개형 표준화차
	1435mm와 1520mm 궤도용 윤축
IV	포장 화물 수송을 위한 전개형 표준 화차(대차제외)
	자동궤간가변 대차

1) I-크레인, 지게차에 의한 환적, II-대차교환(리프트 잭, 트랩도어), III-윤축교환(트랩도어), IV-자동궤간가변

[표 4] 수송 수단과 적재 유닛(컨테이너)

[Table 4] Transportation mode and loading unit(container)

시나리오 ¹⁾	수송 수단 혹은 유닛
I	1520mm 궤도용, 스윙모션대차, 컨검평판차
	1435mm 궤도용, 스윙모션대차, 컨검평판차
	Universal ISO Container 20피트
II	1520mm 궤도용, CCT Plus용 플랫폼 컨테이너
	1435mm 궤도용, CCT Plus용 플랫폼 컨테이너
	Universal ISO Container 20피트
III	1435/1520mm 검용 플랫폼 화차
	Universal ISO Container 20피트
	1435mm와 1520mm 궤도용 표준 Trolley-Standard
IV	윤축교환이 가능한 표준 플랫폼 화차,
	Universal ISO Container 20피트
V	1435mm와 1520mm 궤도용 윤축
	컨테이너 수송을 위한 표준 플랫폼 화차(대차제외)
	Universal ISO Container 20 ‘
	자동궤간가변 대차

1) I-켄트리 크레인을 이용한 수직 컨테이너 환적, mobile manipulator를 이용한 컨테이너 환적, II-CCT Plus 시스템을 이용한 컨테이너 환적, III-대차교환(리프트 잭, 트랩도어), IV-윤축교환(트랩도어), V-자동궤간가변

[표 5] 수송 수단과 적재 유닛(벌크화물)

[Table 5] Transportation mode and loading unit(bulk cargo)

시나리오 ¹⁾	수송 수단 혹은 유닛
I	1520mm 궤도용, 무개 화차
	1435mm 궤도용, 무개 화차
II	1435/1520mm 검용 무개형 표준 화차,
	1435mm와 1520mm 궤도용 표준 Trolley-Standard
III	윤축교환이 가능한 무개형 표준화차
	1435mm와 1520mm 궤도용 윤축
IV	포장 화물 수송을 위한 전개형 표준 화차(대차제외)
	자동궤간가변 대차

1) I-크레인을 이용한 환적, II-대차교환(리프트잭, 트랩도어), III-윤축교환(트랩도어), IV-자동궤간가변

3.3.2 궤간변경 지점의 장비

궤간변환지점에서 수송시스템의 시나리오별 장비에 대한 기술사양은 표 6~8과 같다.

[표 6] 궤간변경지점의 장비(석유제품)

[Table 6] Equipment of gauge conversion place(petroleum product)

시나리오 ¹⁾	기술적 장비 사양
I	2대의 겐트리 크레인 Q = 50톤, L = 34.7 m
II	6개의 펌프
III	펌프, 중간 탱크
IV	40개 리프트(Q = 25톤), 대차 이동을 위한 3개의 크레인(Q=5톤, L=15.5m)
V	대차/윤축교환을 위한 trapdoor, 2개의 screw 잭, Q = 30톤, 대차 이동을 위한 2개의 크레인(Q=5톤, L=15.5m)
VI	궤간변경 지상설비, 차륜 이동 감시 시스템

1) I-탱크 컨테이너 환적, II-양수(탱크-탱크), III-양수(탱크-중간탱크-탱크), IV-리프트 잭에 의한 대차교환, V-트랩도어에 의한 대차/윤축교환, VI-자동궤간가변

[표 7] 궤간변경지점의 장비(포장/벌크화물)

[Table 7] Equipment of gauge conversion place(package/bulk cargo)

시나리오 ¹⁾	기술적 장비 사양
I	2대의 지게차 Q = 6.3톤 4대의 지게차, Q = 2톤 겐트리 크레인 (Q=16.5톤, L=12.5)
II	6개의 겐트리 크레인 (Q=12.5톤, L=9.5m)

1) I-크레인, 지게차에 의한 환적(포장화물), II-유압 그리브 크레인을 이용한 환적(벌크화물)

[표 8] 궤간변경지점의 장비(컨테이너)

[Table 8] Equipment of gauge conversion place(container)

시나리오 ¹⁾	기술적 장비 사양
I	2대의 겐트리 크레인 (Q = 50톤, L = 34.7 m)
II	2대의 리프트 트럭, Q = 50톤 1대의 리프트 트럭(빈 컨테이너), Q = 12.5톤
III	2개의 CCT Plus 시스템

1) I-겐트리 크레인을 이용한 수직 컨테이너 환적, II-mobile manipulator를 이용한 컨테이너 환적, III-CCT Plus 시스템을 이용한 컨테이너 환적

3.3.3 궤간변경 지점의 운영 인력

궤간변경 지점의 운영 인력은 표 9와 같이 폴란드의

궤간가변구간에서 하역 및 교환지점의 인원을 참고하였다. 이의 가정은 다음과 같다.[8,9]

- 환적과 교환 지점에서의 작업은 24시간 연속으로 수행하며(1년당 360일), 12시간 작업 후에 (3개조) 교대한다.
- 각 수송 시나리오를 위한 직원의 수는 역 서비스와 입환 작업의 인원을 제외한다.

3.4 화차 회귀일 및 소요 화차의 수

궤간변경 지점에서의 철도 수송 시스템의 기술적 평가 지표중의 하나인 화차 회귀일과 소요화차 수를 비교하기 위하여 다음과 같은 수송 시나리오를 가정하여 계산하였다.

- 수송 시나리오 : 자동궤간가변장치와 리프트 대차교환방식
- 수송 화물 그룹 및 수송량 : 위험물(석유제품) - 1,200,000톤/년
- 화차 적재 능력 : 50톤 적재 능력의 탱크 차
- 운송 거리 : 4,979km
남북철도(경부선-경원선-평라선)-TSR:
부산-서울-원산-나진-두만강-함산-하바로프스크-치타-울란우데

[표 9] 궤간변경지점의 운영인력

[Table 9] Operation personnel of gauge conversion place

시나리오	인력	구성 내역
탱크 컨테이너 환적	26명	21명-작업자, 5명-행정
양수(탱크-중간탱크-탱크)	20명	15명-작업자, 5명-행정
컨테이너 환적	23명	6명-크레인, 12명-로프 작업자, 5명-행정
mobile manipulator를 이용한 컨테이너 환적	21명	8명-운전자, 8명-보조자, 5명-행정
CCT Puls을 이용한 컨테이너 환적	9명	3명-운영자, 3명-보조자, 3명-행정
크레인, 지게차에 의한 환적	64명	18명-trolley 운영자, 36명-작업자, 3명-적재량 조정, 7명-행정
유압 그리브 크레인을 이용한 환적	64명	18명-trolley 운영자, 36명-작업자, 3명-적재량 조정, 7명-행정
리프트잭 대차교환	107명	30명-조립공, 30명-제어자, 30명-분해자, 9명-크레인, 8명-행정
트랩도어 대차교환	76명	6명-크레인, 12명-분해자, 48명-조립공, 3명-제어자, 7명-행정
트랩도어 윤축교환	76명	6명-크레인, 12명-분해자, 48명-조립공, 3명-제어자, 7명-행정
자동궤간가변	12명	6명-차륜이동 감시, 3명-제어시스템 운영, 3명-행정

[표 10] 위험물 수송에서 화차 회귀일
 [Table 10] Wagon turn-back days in hazardous materials haulage

파라미터	기호	자동궤간가변장치		리프트 대차교환 방식	
		값	계산값(시간)	값	계산값(시간)
적재 그룹의 수	n_{lg}	6개 화차, 10개 그룹	-	6개 화차, 10개 그룹	-
적재 시간	t_{lg}	30분	5	30분	5
출발역에서 사전준비-종료 시간	t_{p1}	-	10	-	10
역에서 기관차 교환의 수	n_{lc}	2	-	2	-
기관차 교환 시간	t_{lc}	1시간	2	1시간	2
1520mm 궤도에서 수송 시간	t_{wt}	$s=3,652\text{km}, V_h=50\text{km/h}$	73(146)	$s=3,652\text{km}, V_h=50\text{km/h}$	73(146)
교환지점에서 하역시간	t_{vh}	자동궤간가변 사용	1(2)	10개 화차, 6개 그룹 1그룹의 대차교환, 200분 전체 그룹 교환그룹의 변경, 30분 전체 교환 그룹의 변경 사전준비-종료시간	- - 20(40) - 3(6) 11(22)
1435mm 궤도에서 수송 시간	t_{nt}	$s=1,327\text{km}, V_h=60\text{km/h}$	22.1(44.2)	$s=1,327\text{km}, V_h=60\text{km/h}$	22.1(44.2)
화하 그룹의 수	n_{hg}	6개 화차, 10개 그룹	-	6개 화차, 10개 그룹	-
화하 시간	t_h	30분	5	30분	5
종착역에서의 정지시간	t_{p2}	-	12	-	12
보정계수	η	1.2	-	1.2	-
화차 회귀율		271.5 시간 = 11.3일		351 시간 = 14.6일	

□ 운행 방법 : 서틀 운행

수송 화물 그룹은 러시아의 천연 자원 수송을 선택하였으며, 운송거리는 국경통과 횡수와 궤간변경 횡수가 가장 적은 노선을 선정하였다. 수송회랑에 대한 화차 회귀율(Return Flow Ratio)은 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$RFR = \frac{1}{24} [n_{lg} \cdot t_{lg} + t_{p1} + n_{lc} \cdot t_{lc} + 2t_{wt} + 2t_{vh} + 2t_{nt} + n_{hg} \cdot t_h + t_{p2}] \eta \quad (1)$$

○ 기본 가정 :

- 열차는 표준궤간노선에서 30개의 화차로 구성되고 광궤에서는 60개의 화차로 구성
- 수송 시스템에서 자동궤간가변 화차는 국내에서 개발한 KGCW-1 윤축을 사용
- 교환 지점에서의 서비스 시간에는 국경 통과 절차에 필요한 행정적 시간을 포함하지 않음.
- 교환 지점에서의 서비스 시간은 표 3을 적용
- 1435mm 궤간에서 열차의 표정속도는 $V_h = 60 \text{ km/h}$, 1520mm궤도에서는 $V_h = 50\text{km/h}$ 로

가정.

산출된 화차 회귀율(RER)과 연간 수송량을 이용하여 궤간 극복을 위한 수송 시나리오에서 요구되는 소요 화차량은 식 (2)로부터 계산되며, 결과는 표 11과 같다.

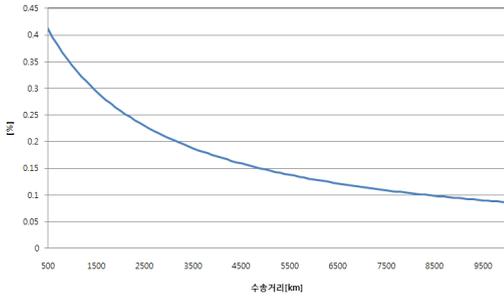
$$N_{fc} = \frac{YTQ \cdot RFR}{365 \cdot W_l} (1+r) \quad (2)$$

여기서 YTQ 는 연간 수송량, RFR 는 화차 회귀율, W_l 는 화차 적재 중량, r 은 화차 예비율($r = 15\%$)이다.

[표 11] 소요 화차 수
 [Table 11] Number of freight required

시나리오	연간 수송량	소요 화차 수 [화차]
리프트 잭에 의한 대차교환	120만톤	1106
자동궤간가변	1,20만톤	856

그림 5는 석유제품 수송에서, 리프트 잭에 의한 대차 교환 방식(현재 사용되고 있는 궤간 극복방법)과 비교하여 자동궤간가변 방식의 소요 화차 감소 백분율을 나타낸 것이다. 소요 화차수의 감소 백분율은 수송 거리의 함수로써 나타내었다.



[그림 5] 소요화차 감소 백분율
[Fig. 5] Percentage decrease of demand for freight

그림 5에서 수송거리의 증가에 따라 소요화차 감소 백분율은 감소한다. 이의 원인은 수송거리 증가에 따라 교환 지점에서 하역시간의 영향이 전체 수송 시간에서 차지하는 비율로 감소하기 때문이다.

3.5 위험물 수송 서비스의 기술적 지표비교

위험물 철도 수송에서 현재 널리 사용되고 있는 궤간

극복을 위한 화물 처리 서비스 과정의 기술적 지표를 종합하면 표 12와 같다. 궤간 변경 지점에서의 서비스 과정과 이에 필요한 장비, 수송 수단 및 운영 인력은 궤간 변경 지점에서의 수송 시나리오에 따라 많은 영향을 받게 되며, 이는 철도 수송 시스템의 효율성에 많은 영향을 주게된다. 리프트 잭을 이용한 대차교환 방식은 궤간 변경 지점의 국경역에서 현재 널리 사용되고 있는 방법이지만 자동궤간가변 장치와 비교하여 1일 처리 능력은 17% 수준에 불과하고, 궤간 변경 지점에 화물 환적을 위한 많은 추가적인 장비의 설치가 필요하며, 1435/1520mm 겸용 Trolley-Stand와 탱크, 1435mm와 1520mm 궤도용 대차가 각각 필요하다. 또한 교환 지점에서 많은 서비스 시간이 요구됨에 따라 소요 화차수와 화차 회귀일이 자동궤간가변 대차에 비하여 상대적으로 많이 요구되며, 운영 인력 측면에서도 많은 인력이 요구되고 있다.

그러나 자동궤간가변 대차방식은 리프트 대차교환방식과 비교하여 기술적 지표에서 상대적인 많은 이점을 가지고 있지만, 각 화차에 자동궤간가변 윤축을 장착한 대차가 필요하며, 일반 대차에 비하여 초기 투자비용이 많이 소요되는 단점을 가지고 있으며, 유지보수 측면에서도 많은 비용이 소요될 것으로 예상된다.

두 방식의 경제성을 비교하기 위해서는 LCC 분석과 같은 추가적인 연구가 필요하며, 이때 본 논문에서 분석한 기술적 지표값들을 사용할 수 있을 것이다.

[표 12] 서비스 과정의 파라미터(위험물, 120만톤/년)
[Table 12] Parameter of service processing (hazardous materials, 1,200,000 tons/year)

구분		수송 시나리오	
		리프트 대차교환	자동궤간가변
서비스 과정	교환 그룹	10개 화차	30개 화차
	평균 교환 시간	200분	15분
	그룹 교환시간	30분	30분
	1일 교환 그룹 수	6개 그룹	32개 그룹
	1일 처리 능력	60개 화차(3,000톤)	960개 화차(48,000톤)
궤간 변경 지점의 장비 (1435/1520mm)		10개의 스탠드 (40개의 리프트 잭)	궤간 변경을 위한 지상설비
		대차 이동을 위한 3개의 갠트리 크레인 (Q=5톤, L=15.5m)	차륜이동 감시 시스템
수송 수단	적재 유닛	1435/1520mm 겸용 트롤리 스탠드 및 탱크(80.6m ³)	탱크(80.6m ³)
	화차	1435mm 궤도용 대차 1520mm 궤도용 대차	자동궤간가변 윤축을 장착한 대차
	화차 회귀일	14.6일	11.3일
	소요 화차 수	1106량	856량
교환 지점에서의 운영 인력		107명	12명

4. 결론

현재 국제적으로 궤간 변경 지점에서 화물 수송 서비스의 형태는 화물 유형별로 다양한 방법이 개발되어 사용되고 있으나 대부분의 방법이 궤간 변경지점에서 화물의 환적 혹은 차량 교환이 필요하게 된다. 이런 수송 서비스 형태는 운영에 많은 비용이 발생되며, 서비스 제공 시간이 크고, 궤간 변경 지점에서 대단위 창고 및 환적 시설을 갖춘 기반 시설을 요구한다. 또한 화물 수송 시간의 연장을 유발하기 때문에 철도 수송의 장점을 희석시킬 수 있으며, 위험물 수송의 안전성에 심각한 위협을 주게 된다.

종래에 이용되던 궤간 극복방안보다 더 효과적인 서비스 제공 방법은 자동 슬라이딩 운착을 갖고 있는 궤간가변 대차이다. 궤간가변 대차는 기존의 방법과는 달리 궤간 변경 지점에서 대차 교환이나 환적 없이 신속하고 안전하게 직결 운행이 가능하며, 기타 수송 수단에 비하여 철도 수송 경쟁력을 한층 높일 수 있는 장점을 갖고 있어 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 일부 국가에서는 상용 서비스를 제공하고 있다.

향후, 대륙철도 연계 수송 시스템에서 궤간 극복을 위한 의사 결정은 궤간 변경을 위한 수송 시스템의 초기 투자 비용뿐만 아니라, 수송 서비스 신뢰성과 효율성, 안전성 및 경제성 측면의 검토가 필요하며, 수송 시스템의 전체 수명주기 동안에 발생하는 소유 및 운영비용에 대한 고려가 필요하다. 수송 시스템의 효율성 분석을 위해 적용 가능한 방법은 손익분기점분석(Break Even Point Analysis), 순현재가치 방법(Net Present Value), 내부수익률(Internal Rate of Return), 수명주기비용(Life Cycle Cost) 등이 널리 사용되고 있다. 이중 LCC 분석은 기존의 경제성 평가 방법과는 달리 수송 시스템의 신뢰성을 고려할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 운영 및 유지보수 비용 측면에서 효율적으로 설계된 시스템을 획득하는 것이 가능하다.

References

[1] ERA INTEROPERABILITY UNIT, "Feasibility study for the EU 1520/1524 rail system interoperability", 2008.

[2] H.Jurgen Geissle, "Results of Feasibility Study : Automatic Gauge Changeover Systems", UIC Seminar, Russia Sochi, 2009-10-27/28.

[3] M.Szkoda, A.Tulecki, "Decision Model in Effectiveness

of Europe-Asia Transportation Systems", Seoul, Korea, WCRR 2008.

[4] KRRI Report, Technical Development of Variable Gauge Device, 2008.

[5] M.Kanclerz, "Study on European Automatic Track Gauge Changeover Systems (ATGCS)", Second International Seminar 1435/1520, UIC, 2007.

[6] Y.S.Ham, J.N.Yoon, "International Development Direction of Variable Gauge Vehicles", Proc. of Korea Society for Railway, pp.418-423, Oct., 2003.

[7] H.S.Na et al., "A Comparative Study of the Technical Characteristics of Variable-Gauge Systems", Proc. of Korea Society for Railway, pp.63-69, June, 2004.

[8] M. Szkoda, "Organizational and economical analysis of East-West variants system with gauge change 1435/1520", Master's thesis No DTT 135/02-SM, University of Technology, Institute of Rail Vehicles, Krakow, Poland, 2002.

[9] Working group IPSz PK, "Analysis of organizational and economic options for transportation of petroleum products on the railways with different gauge", Krakow, Poland, 1995,

[10] Working group IPSz PK, "Characteristics of transport systems in terms of rail transport", Krakow, Poland, 1995.

[11] A. Tulecki, "Technical - organizational problems of gauge changes in the 1520/1435 European transport corridors East-West", Scientific Conference : The use of European transport corridors, Kielce-Cedzyna, 1996.

[12] A.Tulecki, "A logistic centre in the transcontinental transport system Europe-Asia", Tokyo, Japan, WCRR 1999.

정 광 우(Kwang-Woo Chung)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 성균관대학교 일반대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1996년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도운전시스템공학과 교수

<관심분야>

철도차량, 철도신호, 철도RAMS

김 철 수(Chul-Su Kim)

[정회원]



- 2002년 8월 : 한양대 일반대학원 기계설계학과 졸업(공학박사)
- 2008년 ~ 현재 : 국토해양부, 철도기술 심의위원, 도시철도정책전문위원
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도차량시스템공학과 부교수

<관심분야>

철도차량설계, 철도차량RAMS

장 승 호(Seung-Ho Jang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량기계, 소음진동