동남아지역 철도사업 진출을 위한 협궤 선로기준 정립에 관한 연구

A Study on the Establishment of Narrow-gauge Track Standard for an Entry into the Southeast Asian Rail Business market

김덕수*†, 이장호*

Kim Duk Su*†, Lee Jang Ho*

Abstract Most Southeast Asian countries that use narrow-gauge tracks have pursued the upgrading of the deteriorated tracks and international rail links, but their track design standards are not good enough in quality and different from one another. In this study, we intend to provide a narrow-gauge track standard which is economical and practical and by which the consistency of international rail connections can be secured. For this purpose, we will compare and theoretically analyze major countries' track standards. We believe that this standard could be very useful for companies that try to enter the narrow-gauge rail upgrading business market.

Keywords **:** Narrow-gauge tracks, Southeast Asian, Upgrading, International rail connections

초 록 협궤 선로를 사용하는 국가는 인도, 일본, 동남아시아 등 전 세계 17만㎞(15%) 이상이다. 일본을 제외하고 협궤를 사용하는 대부분의 국가는 유지관리 및 시설투자 미비로 인한 시설 노후화로 조속한 개량 및 현대화가 필요한 실정이다. 최근 동남아시아를 중심으로 국가간 철도연결 및 기존 철도개량사업이 활발히 추진되고 있으나 선로설계기준이 없는 국가가 많고 인접국가간 기준이 상이한 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 주요 국가의 협궤 철도의 선로기준 비교 및 이론적 분석을 통하여 경제적이고 실용적이며 국가간 철도 연결의 일관성 확보가 가능한 협궤 선로설계기준을 제시하고자 한다. 이를 통하여 최근 활발히 진행되고 있는 협궤 철도 개량사업 진출시 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 협궤, 동남아시아, 기존선 개량, 선로기준, 철도연결

1. 서 론

일본을 제외한 협궤 선로를 사용하는 국가의 대부분은 유지관리 및 시설투자 미비로 선로상태(급 곡선, 급기울기, 노반 및 시스템 노후화 등), 철도차량 성능 등이 매우 열악하여 수송수요가 지속적으로 감소하고 있다. 따라서 기존 철도의 개량 및 현대화를 통하여 철도의 장점인 안전성, 정시성, 대량 수송 및 수요 확대뿐만 아니라 국가 및 지역의 경제 발전, 지역 및 국가간 교류 확대에 기여할 것으로 판단된다.

† 교신저자: (주)유신 철도부 이사 (kds1413@naver.com)
* 한국교통대학교 철도시설공학과 교수

최근 동남아시아에서는 SKRL(Singapore Kunming Rail Link, ASEAN), GMS(Great Mekong Subregion) 등 국가간 철도연결 계획과 ODA(공적개발원조) 및 WB(세계은행), ABD(아시아개발은행) 등의 투자 유치를 통한 기존선의 개량 및 철도건설 계획이 활발히 진행되고 있다. 그러나 일부 국가의 경우 선로설계기준이 없거나 관련 기준이 있더라도 이론적 근거가 미흡하고 이웃 국가간 기준이 상이한 것으로 조사되었다.

이에 따라 본 연구에서는 동남아시아를 중심으로 기존 협궤 철도의 개량과 국가간 철도 연결을 위해서 무엇보다 중요한 협궤 철도의 선로기준정립을 하고자 하며, 궤간은 대부분 국가에서 사용하고 있는 1,000mm를 기준으로 하였다. 선로기준 정립 연구 방법으로는 주요 협궤 국가의 선로설계기준을 조사, 분석하고 국내의 철도건설규칙(국토교통부, 2014년) 및 일본, 유럽의 적용기준에 대한 이론적 근거를 바탕으로 협궤 선로에 맞는 합리적이고 경제적인 적정 기준을 제시한다. 이를 통하여 기존선 개량에 있어서는 안전성을 바탕으로 속도 향상에 용이하고 국가간 철도 연결에 있어 일관성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

2. 본 론

2.1 주요 국가의 선로설계기준 조사 및 분석

동남아시아 국가의 선로기준은 베트남, 미얀마를 기준으로 동남아시아 국가와 철도연결 계획인 있는 인도, 협궤 선로에 대한 상세 기준을 보유하고 있는 일본을 대상국가로 하여 선로기준의 조사 및 분석을 시행하였다.

선로기준 조사 및 분석결과 일본의 경우는 관련기준에 대한 근거를 바탕으로 경제적이고 실용적인 반면에 그 외 국가는 관련기준에 대한 근거가 미흡하며 보수적인 기준을 적용하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 2 주요국가의 선로현황

구 분		인도		일본		베트남		미얀마	
궤간(mm)		1,000		1067		1,000		1,000	
설계속도 (km/h)		노선에 따라 75이상. 이하		최대 160 곡선, 기울기 등 110기준		1급선	120	간선 : 100 지선 : 75	
						2급선	100		
						3급선	60		
최소곡선반경 (m)		$R = \frac{8.33V^2}{C_a + C_d}$		110초과	600	1급선	800	100초과	500
				90~110	400	2급선	600	90	400
				70~90	250	3급선	300	70	250
Cant (mm)	최대	90		105		95		105	
	부족	50		70		-		70(화물 50)	
완환곡선 길이 (m)주1		0.008C, 0.072C 중 큰값		400C or 300C		-		400C, 8.536.C.V, 9.603.Cd.V 큰값	
최급기울기 (‰)		평지	6.7	기관차 25 기관차 이외 35		1급선	12	평지	6.0
		산지, 구릉지	10			2급선	18		
						3급선	25	산지, 구릉지	10
종곡선	삽입 기준	기울기 변화 10/1000이상		기울기 변화 10/1000이상		기울기 변화 4/1,000이상		기울기 변화 10/1000이상	

구 분		인도	일본	베트남	미얀마
	반경(m)	2,500	2,000 (곡선 600이하 3,000)	5000	3,000 (부득이한 경우 2,000)
건축한계 (폭x높이, m)		-	3.80x5.90	교량 4.40x5.30 터널 4.00x4.95	3.80x5.90
시공기면폭(m)		2.925	2.75~3.50	2.70	2.75
궤도중심간격(m)		3.96	3.80	-	4.42(기존선)
노반폭 단선	흙쌓기	5.85	5.5~7.0	5.40	5.50
	땅깍기	5.25	5.50	5.40	5.50
노반폭 복선	흙쌓기	9.81	9.3~10.8	-	9.92
	땅깍기	9.21	9.30	-	9.92
선로부담력		2 Co-Co 최대 16t	운행차량 (실하중)	T14(상부): 14t T16(하부): 16t	UIC표준하중 (축중 120t)

2.2 협궤 선로의 선로기준 정립

2.2.1 최대설정캔트

균형캔트(Ceq)

$$C_{eq} = \frac{GV^2}{gR} = \frac{1065(mm) \times V(km/hr)^2}{9.8(m/\sec^2) \times 3.6^2 \times R(m)} = 8.4\frac{V^2}{R} \quad (1)$$

여기서, G(궤도 중심간 거리) = 1065㎜ 적용

설정캔트(C)

$$C = 8.4\frac{V^2}{R} - C_d \quad (2)$$

풍하중에 의한 전도안전율, 운행 차량 중심높이별 최대 캔트는 다음과 같다.

Table 3 차량의 중심 높이별 최대캔트

차량중심높이 (H)	협궤(궤도중심 1060mm)		표준궤(궤도중심1500mm) (한국 규정, 전도안전율3.5)
	전도안전율 3.0	전도안전율 3.5	
1.6m	118.1	101.3	200.9
1.7m	111.2	95.3	189.1
1.8m	105.0	90.0	178.6
1.9m	99.5	85.3	169.2
2.0m	94.5	81.0	160.7

국내에서 적용하는 전도안전율 3.5(차량 높이 1.8m)을 기준으로 할 때 최대캔트는 90㎜이나, 협궤의 차량높이가 상대적으로 낮고 일본의 사례(전도안전율 3.0, 최대캔트 105㎜) 등을 고려할 때 최대캔트로 105㎜ 적용에 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

2.2.2 최대부족캔트

부족캔트의 결정요인은 국내외 관련 기준 검토 결과 승객의 승차감 및 외측 전복에 대한 안전율로 결정하고 있으며, 국내외 규정에서 적용한 부족캔트에 의한 원심가속도, 승차감을 고려한 부족캔트 한계값, 외측전도에 대한 최대 부족캔트 한계값을 정리하면 다음과 같다.

Table 4 UIC 703R : 1989 부족캔트 원심가속도 적용시 부족캔트

속도 V(km/h)		II(120~200)		
		표준	최대	예외*
aq (m/ sec^2)		0.67	0.80	1.00
Cd(mm)	표준궤	100	120	150
	협궤	72	86	108

주) * 예외한계값 : 안전 및 승차감 확보가 가능한 특수열차 예외적용

Table 5 철도에 관한 기술기준(일본)의 승차감을 고려한 부족캔트 한계값

불평형 횡가속도 (m/sec^2)	협궤 G=1,067mm	표준궤 G=1,435mm
1.0m/sec2	85	115

Table 6 차량중심높이별 외측전도에 대한 최대부족캔트

차량중심높이 (H)	협궤(궤도중심 1065mm)		표준궤(궤도중심1500mm) (한국 적용 규정 준용)
	전도안전율 4.0	전도안전율 3.5	
1.6m	88.6	101.3	175.8
1.7m	83.4	95.3	165.4
1.8m	78.8	90.0	156.3
1.9m	74.6	85.3	148.0
2.0m	70.9	81.0	140.6

UIC 및 일본의 불평형 가속도 적용 사례, 전도에 대한 안전율 등을 고려할 때 70㎜가 적정할 판단되며, 기존선구간의 개량이나 신설 구간의 부득이한 경우 85㎜ 까지 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2.2.3 완화곡선

본선의 직선과 원곡선 사이 또는 두개의 원곡선 사이에 열차운행의 안전성 및 승차감을 확보하기 위해 완화곡선을 설치하며, 일반적으로 3차 포물선을 적용한다. 완화곡선 길이는 차량의 3점지지에 의한 탈선을 방지하기 위한 안전한도, 캔트 및 부족캔트 변화량의 시간변화율을 고려한 승차감 한도 중 최대 값을 적용하며, 일반적으로 승차감 한도에 의해서 완화곡선 길이가 결정된다. 국내외 표준궤에서 적용된 캔트변화량 시간변화율 최대값 38㎜/sec과 부족캔트 변화량 시간변화율 최대값 45㎜/sec를 협궤의 기준으로 환산 적용하여 관련식을 정리하면 다음과 같으며 이중 최대값을 적용한다.

$$L_1 = \frac{V}{3.6}\frac{\angle C}{(dC/dt)_{\lim}} = 0.01V\angle C \quad (3)$$

$$L_2 = \frac{V}{3.6}\frac{\angle C_d}{(dC_{d/dt})_{\lim}} = 0.087V\angle C_d \quad (4)$$

여기서,

$$\angle C \ : \text{캔트변화량}(mm)$$
$$\angle C_d : \text{부족캔트변화량}(mm) \quad (5)$$

2.2.4 종곡선

종곡선의 설치 조건은 차량한계와 차량의 주행안전성 및 승차감을 고려하여 결정되며, 일반적으로 종곡선의 설치조건은 차량하부와 레일사이의 접근량에 따라 결정된다. 보수적인 국내의 차량 접근량 기준 상한값인 27.5㎜를 적용하여도 협궤 운행 차량의 연장이 상대적으로 짧은 점 등을 고려할 때 종곡선 삽입 기울기 차를 8‰이하로 하고 부득이한 경우 10‰를 적용하여도 문제가 없을 것으로 판단된다. 종곡선 반경은 승차감과 직접적인 영향이 있으며, 국내외 규정을 종합할 때 종곡선 반경(Rv)은 국내 규정인0.35V2, 부득이한 경우 0.25V2 적용이 타당할 것으로 판단된다.

2.2.5 기울기

선로의 기울기는 건설비 및 차량의 중량, 견인력, 제동력 등의 차량 특성요소에 대한 종합적인 고려가 필요하다. 주요 국가의 최대기울기는 다음과 같다.

<table>
<tr><td rowspan="5">한 국</td><td colspan="2">설계속도 V (km/h)</td><td>최대 기울기(‰)</td></tr>
<tr><td>여객 화물 혼용선</td><td>150 〈 V ≤ 200</td><td>10</td></tr>
<tr><td></td><td>120 〈 V ≤150</td><td>12.5</td></tr>
<tr><td></td><td>70 〈 V ≤120</td><td>15</td></tr>
<tr><td></td><td>V ≤70</td><td>25</td></tr>
<tr><td>유 럽</td><td colspan="3">Rail 800.0110:2006(독일) 본선 야외선로의 최급기울기 12.5‰
프랑스를 포함한 대부분의 국가는 25‰이상 적용</td></tr>
<tr><td>인 도</td><td colspan="3">평지의 경우 1/150(6.67‰), 산지 및 구릉지의 경우 1/100(10‰)</td></tr>
<tr><td>일 본</td><td colspan="3">일반철도 및 신간선 모두 25‰ 로 규정</td></tr>
<tr><td>베트남</td><td colspan="3">선로등급에 따라 1급선 12‰, 2급선 18‰, 3급선 25‰ 등으로 구분</td></tr>
<tr><td>미얀마</td><td colspan="3">평지의 경우 6.0‰, 산지 등 부득이한 경우 10‰</td></tr>
</table>

최급기울기의 국내외 적용현황과 사례 등을 종합해 보면 최급기울기는 국내 규정과 유사한 12‰가 적정할 것으로 판단되며, 부득이한 경우 15‰까지 확대하여 계획의 유연성 및 경제성을 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2.2.6 표준 열차하중

주요 국가의 표준열차하중은 다음과 같으며, 기존 운행되는 다양한 열차의 반영, 장래

국가간 철도의 연결, 비용효과 등을 종합 고려하여 반영되어야 한다. 주요 국가에서 사용하는 표준열차하중에 대한 지간별 최대휨모멘트 산정 결과 다음표와 같으며 국내 일반철도(표준궤)에서 적용하고 있는 KRL2012 대비 대부분 50~82% 범위에 있는 것으로 검토되었다. 동남아시아 및 인도 등 이웃 국가간 철도연결을 고려할 때 표준하중이 필요할 것으로 판단되며 하중의 규모, 최근 시행한 미얀마 양곤~만달레이 개량사업(약 620km, 사업비 약 20억불) 적용 사례 등 고려시 UIC표준하중(축중 200kN)이 적정할 것으로 판단된다.

Table 7 주요 지간별 최대휨모멘트

(단위 : kN, m)

구 분	20 m	30 m	40 m	50 m	비 고
인도(2Co-Co)	2,904.0	6,579.9	11,789.8	18,326.8	1대차 3축 차량
인도(2Bo-Bo)	2,428.9	5,662.9	10,244.4	16,173.4	1대차 2축 차량
베트남(T16)	3,586.4	7,128.2	11,950.2	18,278.5	
미얀마(H.L)	4,255.3	9,282.3	16,325.9	24,495.8	중량 화물
미얀마(M.L)	3,258.5	7,095.9	12,472.2	18,716.0	주요 간선
UIC(축중200kN)	4,451.4	9,266.6	15,682.6	23,698.6	미얀마 양곤~만달레이 개량사업
한국 KRL2012	5,374.7	11,272.2	19,171.0	29,070.3	한국 표준열차하중

3. 결 론

본 연구에서는 동남아시아를 중심으로 협궤 선로를 사용하는 국가의 선로설계기준을 조사, 비교 분석하였으며, 최근 개정된 국내 철도건설규칙과 일본, 유럽의 규정에서 반영된 안전율, 승차감 한도 등을 바탕으로 협궤의 선로기준에 환산 적용하여 최대캐트, 최대부족캔트, 완환곡선, 종곡선 등의 기준을 제시하였다. 더불어 각국의 표준열차하중의 지간별 최대휨모멘트 분석 및 최근 적용사례 등을 통하여 최적 표준열차하중을 제시하였다.

동남아시아를 중심으로 최근 활발히 추진되고 있는 기존 협궤철도 개량사업 및 국가간 철도연결 사업 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] GOVERNMENT OF INDIA MINISTRY OF RAILWAYS(2004), INDIAN RAILWAYS PERMANENT WAY MANUAL

[2] 일본 국토교통성(2001), “철도기술기준 해설(鉄道に関する技術基準)” 국토교통성령

[3] Socialist Republic of Vietnam(2015), National technical regulations on railway operations (QCVN 08/2015/BGTVT, TCVN 8893:2011)

[4] Myanma Railways(2016), Detailed Design for Yangon~Mandalay Railway Improvement Project Phase I

[5] 국토교통부(2014), 철도건설규칙 해설서, 국토교통부