

화물 물동량의 방향별 특성을 고려한 철도 건설



김강석
선구엔지니어링 전문
T.010.5226.0962
gsvinkim@naver.com

1. 서언

철도는 전통적으로 동일한 선로에서 여객과 화물을 같이 수송하는 혼용교통(Mixed traffic)으로 운영으로 시작하여 여객전용, 화물전용 등으로 세분화되어 발전해 왔다. 우리나라에서도 1970년대 서울지하철 1호선을 시작으로 여객전용의 도시철도 운영을 시작하였고 2004년 경부고속철도 1단계 개통을 시작으로 간선철도에서도 여객전용의 운행 노선을 갖게 되었지만 화물전용 철도는 본선에서 분기하여 단거리로 운행하는 인입선 위주의 노선으로 운영되고 있다. 이는 화물 수송수단으로서 철도가 도로교통수단에 비하여 경쟁력을 가지기 어려운 국토의 면적과 형태를 가지고 있기 때문으로 이에 대한 관심과 연구가 다른 형태의 철도에 비하여 활발하지 못한 실정이다. 이에 비하여 해외의 여러 나라에서는 화물 위주의 운영 또는 장거리 화물 전용선을 운영하고 있으며 장래에도 지속적인 건설이 이루어질 것으로 예상된다.

화물전용 철도는 고속선에 비하여 매우 낮은 속도로 운영이 되고 여객열차에 비하여 저밀도 운영과 차량의 요구 사항도 높지 않음으로써 기술 분야에서 비교적 적은 관심을 보이고 있으며 사회적 측면에서도 관심이 낮은 것이 현실이다. 그러나 혼용운행을 위한 간선철도는 향후에도 철도 건설에 있어서 주된 내용이 될 것이며 화물전용 철도는 해외 건설, R&D에서도 일정 부분 영역을 차지하고 있음으로 화물철도의 특징에 대한 연구는 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

본고는 화물철도의 일반적인 특징과 이를 응용할 수 있

는 방향을 고찰함으로써 향후 철도의 건설과 기술개발에 있어서 고려할 사항과 논하고자 한다.

2. 통행과 물류의 방향성

2.1 여객과 화물의 방향성

통행은 기본적으로 시점(Origin)에서 종점(Destination), 종점에서 시점의 양방향으로 발생한다. 사람의 통행은 시점과 종점의 통행량과 종점과 시점의 양방향 통행량이 거의 비슷하며 통행을 발생시킨 사람은 동일한 사람이다. 화물의 경우는 이와 달리 양방향의 물동량이 다를 수 있는데 동일한 물품이 아닌 경우가 대부분으로써 원료 채취와 제품 생산, 소비라는 일방향의 과정을 거치기 과정에서 동일한 형태로 운송되지 않기 때문이다. 또한 화차가 벌크 품목과 같이 특정 품목의 전용차량으로 제작될 경우 반대 방향의 수송에 이용될 수 없는 단점을 내포하고 있기 때문이다.

컨테이너의 경우 수출품목을 적재하여 공장에서 해외로 수출하고 해외에서 수입한 제품이 적재된 컨테이너를 항구에서 도시 인근의 물류창고로 수송하는데 수출한 품목과 수입한 품목이 다르며 두 방향의 화물 중량도 다르다. 우리나라의 경우 수출량이 많고 품목이 다양하여 양방향의 물동량의 차이가 비교적 적으나 중동지역과 같이 대부분을 수입하고 수출품목이 없을 경우 항구에서 도시까지의 수입방향 컨테이너는 평균 이상의 중량을 가지고 있을 것이나 도시에서 항구로 보내는 컨테이너는 대부분 공컨테이너(Empty container)이다. 이 경우 두 방향의 화물

<표 1> 화물차량 영차 및 공차 주행거리(2013년)

(단위 : car-km)

역명	하행(Down)					상행(Up)				
	영차	공차	차장차	계	영차 비율 (%)	영차	공차	차장차	계	영차 비율 (%)
경부선	41,872,962	12,622	17,888	54,513,303	76.8	40,910,108	14,658,959	19,701	55,588,768	73.6
중앙선	10,353,421	18,585,952	60544	28,999,917	35.7	22,779,267	4,027,362	35442	26,842,071	84.9
영동선	1,657,894	3,962,128	16,365	5,636,387	29.4	4,013,690	1,014,137	26,266	5,054,092	79.4
태백선	883,659	4,800,829	209	5,684,695	15.5	5,270,762	301,593	0	5,572,355	94.6
장항화물선	80	19,190	0	19,270	0.4	4,654	71	0	4,725	98.5
남부화물기지선	525,254	142,762	123	668,140	78.6	422,506	345,822	114	768,442	55.0
광양제철선	392,837	395,490	0	758,327	51.8	919,068	40,770	0	959,838	95.8
부산신항선	1,820,211	42,501	0	1,862,712	97.7	1,291,502	560,440	0	1,851,942	69.7

자료 : 한국철도통계연보2013, 2014, 한국철도공사

<표 2> 화물수송수요 예측 결과 (사례)

(단위 : 톤/일)

역명	하행			상행			비율 (B/A, %)
	발송	도착	통과 (A)	발송	도착	통과 (B)	
A	541	0	541	0	1,790	0	0
B	105	1	645	290	26	1,790	277
C	0	91	553	1,252	4,499	1,506	272
계	645	92	1,739	1,561	6,315	3,296	-

수송량은 극단적으로 차이를 보일 것이다.

양방향 수송량의 극단적 차이를 보이는 화물은 벌크화물로서 현재 상업운행 중인 최대 중량화물 벌크 열차는 하머슬레이철도(Hamersley Railway)의 리오티토 철광석 열차(Rio Tinto iron ore train)로서 화차 236량 편성에 적재 중량 25,000톤으로 광산에서 항만까지 운행하고 항구에서 광산까지는 적재량이 거의 없이 운행하고 있다. 우리나라에서 양방향의 극단적 물동량 차이를 보이는 사례는 시멘트 수송이다. 강원도의 시멘트 공장에서 전국의 시멘트 사일로(Silo)로 수송하는데 생산지에서 사일로로 출발하는 화차의 적재량은 100%에 근접하지만 사일로에서 생산지로 회귀하는 화차의 적재량은 0%에 가깝다.

2.2 우리나라 기존선 방향별 화물 물동량 비율

우리나라 철도의 상하행 방향별 화물 통과량은 공식적

인 통계의 입수에 한계가 있어 분석에 제약적이나 영차와 공차 운행거리 기준의 방향별 통계는 다음 <표 1>과 같다. <표 1>에서와 같이 경부선은 수출입 물동량의 비중이 높아서 하행의 영차운행 비율이 76.8%이고 상행의 영차운행 비율은 73.6%로서 양방향의 영차 비율 차이가 작으나 중앙선 영차 운행 비율은 하행 35.7%, 상행 84.9%이며 영동선 하행 29.4%, 상행 79.4%, 태백선 하행 15.5%, 상행 94.6%로 하행과 상행의 영차 운행비율 차이가 크게 나타나고 있다. 이는 주요 화물 품목이 벌크로서 전술한 것과 소비지에서 생산지로 수송할 수 있는 것이 제한적이기 때문이다.

한편 <표 2>는 기존선 중에 개량 대상 노선에 대한 장래 예측결과에 대한 사례로서 하행과 상행의 통과량 비율이 약 2.7배를 나타내고 있는데 이는 화물의 방향별 물동량 차이를 고려할 수 있는 노선이 있다는 것을 의미한다.

3. 화물 열차와 선로기울기

열차의 성능을 평가하는데 여러 요소가 있으나 여객 열차의 핵심요소는 속도이고 화물열차는 적재량이다. 철도 인프라의 기하학적 요소에서 속도를 제약하는 것은 곡선 반경으로 속도가 높을수록 큰 곡선반경을 필요로 함으로써 경제적 건설계획을 어렵게 만든다. 선로의 기울기는 통과하는 노선의 지형과 관련이 있는데 경제적인 지형 극복을 위해서는 선로의 최급기울기가 클수록 토공의 연장을 길게 하고 교량과 터널의 연장을 짧게 하여 건설비를 최소화할 수 있다. 그러나 기울기를 급하게 할 경우 열차 중량에 작고 견인력이 충분한 여객열차와 달리 고중량의 화물열차는 상향 기울기에 대한 등판 저항이 커져 편성중량을 줄여야 하는 단점이 있다.

다음 <표 3>은 철도의 건설기준에 관한 규정에서 최급기울기 관련 규정이며 <표 4>는 부득이한 경우 <표 3>의 최급기울기를 확대할 수 있는 한계이다. 철도의 건설기준에 관한 규정에서 철도의 분류를 여객전용선과 여객화물 혼용선, 전기동차전용선으로 구분하였으며 인입선과 같이 화물열차만을 운영하는 화물전용선에 대한 규정은 없다. 화물열차에 대한 부분은 여객화물혼용선으로 설계속도 70km/h에서 200km/h까지 속도가 높아질수록 최급기울기가 낮아지나 200km/h를 초과하고 250km/h 이하의 설계속도에서는 25%로 다시 높아진다. 하지만 현재 건설 중이거나 설계 중인 노선은 중간 구간의 해발과 시중점의

<표 3> 최급기울기

설계속도 V(킬로미터/시간)		최대 기울기(천분율)
여객 전용선	250 $V \leq 350$	35(1),(2)
여객화물 혼용선	200 $V \leq 250$	25
	150 $V \leq 200$	10
	120 $V \leq 150$	12.5
	70 $V \leq 120$	15
	<math>v 70<="" \leq="" math><="" td=""> <td>25</td> </math>v>	25
전기동차 전용선		35

자료 : 철도의 건설기준에 관한 규정, 2014.10. 국토교통부

- 주 : 1) 연속한 선로 10킬로미터에 대해 평균기울기는 1천분의 25이하여야 한다.
- 2) 기울기가 1천분의 35인 구간은 연속하여 6킬로미터를 초과할 수 없다.
- 3) 단, 선로를 고속화하는 경우에는 운행차량의 특성 등을 고려하여 열차운행의 안전성이 확보되는 경우에는 그에 상응하는 기울기를 적용할 수 있다.

<표 4> 부득이한 경우의 최급기울기

설계속도 V(킬로미터/시간)	최대 기울기(천분율)
200 $V \leq 250$	30
150 $V \leq 200$	15
120 $V \leq 150$	15
70 $V \leq 120$	20
<math>v 70<="" \leq="" math><="" td=""> <td>30</td> </math>v>	30

자료 : 철도의 건설기준에 관한 규정, 2014.10. 국토교통부

주 : 단, 선로를 고속화하는 경우에는 운행차량의 특성을 고려하여 그에 상응하는 기울기를 적용할 수 있다.

해발 차이가 매우 큰 원주~강릉 철도를 제외하고 대부분 설계속도 230km/h에서 최급기울기 12.5%를 기준으로 하고 있는데 이는 화물열차의 경제성을 극대화하기 위해서는 최급기울기를 낮게 할 필요가 있기 때문으로써 철도의 건설에 관한 규정에서 정하고 있는 최급기울기와는 차이를 보이고 있다.

한편 앞서 설명한 것과 같이 설계속도가 증가할수록 고속영역의 열차속도에 맞추어 저속영역의 열차속도를 증가시킬 필요가 있으므로 기울기를 완화시켜야 하나 200km/h 초과 구간에서 250km/h의 구간에서는 최급기울기가 증가하도록 되어 있어 향후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

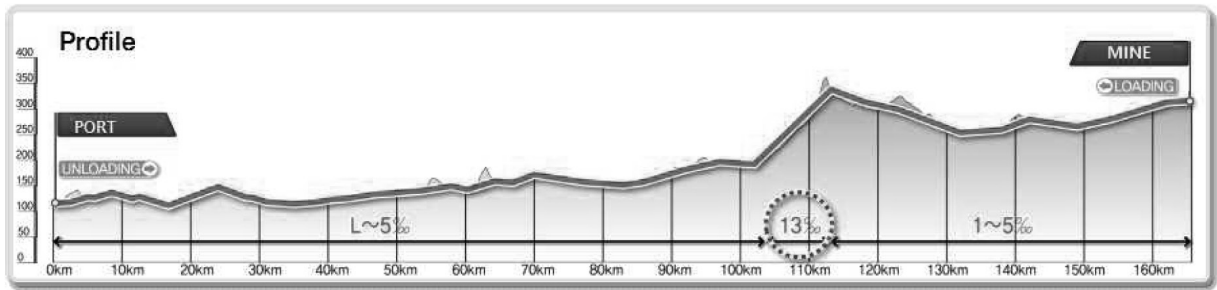
4. 방향별 물동량을 고려한 경제적인 건설

우리나라의 지형 특성상 노반 공사에서 교량과 터널의 비율이 70% 정도를 차지함으로써 철도사업비 중 노반공사비가 높은 비중을 차지하고 있다. 노반 공사비는 최소곡선반경과 최급기울에 영향을 받는데 최급기울기가 높을수록 토공의 비율이 증가하고 교량과 터널의 비율이 감소하게 되면서 노반공사비가 감소하게 된다. 해발이 높은 산악지가 연속되어 있는 경우에는 터널 공종의 비율이 높게 되어 노반공사비 감소가 적는 되지만 비교적 해발이 낮고 대규모 산맥을 통과하지 않는 지형조건에서는 최급기울기에 따라서 노반공사비가 효과적으로 감소시킬 수 있다.

<표 5>는 광산에서 채굴된 철광석을 운반하는 호주의 화물철도 전용선에 대한 설계기준으로 영차(Loaded train)

〈표 5〉 호주 광산 화물 전용 철도 설계기준

Design Aspect	Design Criteria
Mainline Train Consist	2 Locomotive and up to 200 Ore Wagons.
Maximum Train Speed	70km/h to 80km/h, 100km/h for light engines
Vertical Gradients for Mainline	Ruling grade for loaded train shall be 0.36% and shall be 1.50% for empty train. All grades shall be curve compensated. Horizontal curve compensation shall be 0.04% per degree of curvature. ($0.04 \times 1746/R$, where R= radius of curve in meters)



〈그림 1〉 Electric rail cars, Germany, 1903

〈표 6〉 화물의 방향별 물동량을 고려한 최급기울기 (예시)

구분	철도건설기준		양방향		방향별		비고
	상행	하행	상행	하행	상행 (하향)	하행 (상향)	
여객 기준	-	-	25	25	25	25	전기 동력
화물 기준	-	-	12.5	12.5	25	12.5	디젤 동력
기준(적용)	25	25	12.5	12.5	25	12.5	-

의 최급기울기는 0.36%(3.6%)이고 공차(Empty train)의 최급기울기는 1.5%(15%)로 정하고 있다. 여기서 최급기울기는 견인력에 저항하는 기울기으로써 상향기울기를 의미한다. <그림 1>은 이를 예시한 것으로 광산에서 항구쪽으로 영차로 운행하는 열차에 대해서는 상향기울기를 최대 5%로 제한하되 하향기울기는 15%로 제한함으로써 영차 상태의 열차와 공차 상태의 열차에 대해 효과적으로 운영이 가능토록 한 것이다. 여기서 항구쪽 하향기울기 15%를 적용함으로써 교량 또는 고성토의 토공을 최소화할 수 있게 된다.

<표 6>은 상기와 같은 개념으로써 현행 철도의 건설기

준에 관한 규정에서 25%를 여객열차운행과 양방향 물동량 차이를 고려하여 상향과 하향의 최급기울기 기준을 각각 설정한 예시이며 방향별 화물 물동량 차이가 클 경우 한 쪽 방향으로 25%를 적용하여 공사비를 절감할 수 있음을 나타내는 것이다.

5. 맺음말

철도계획과 건설은 항상 현재의 상황을 잘 분석하여 경제성을 극대화하는 방향과 예측치 못하는 장래의 변화를

고려하여 성능의 여유를 확보하는 방향에서 합리적인 판단을 해야 한다. 화물의 물동량 특징은 국토의 산업개발과 방향과 미래의 통일 등을 고려하며 현재와 다르게 변화할 가능성은 항상 존재한다. 그러나 장래의 예측하지 못하는 상황이 장기적이고 기술발전이 향후 이를 극복할 수 있다면 가급적 국가재원의 한계와 사업의 경제성을 고려하여 저비용의 건설 방안이 우선되어야 할 것이다.

방향별 물동량 차이가 큰 여객화물혼용선과 인입선 노

선에 상향 최급기울기와 하향 최급기울기를 별도로 적용할 경우 공사비 감소는 지형적 여건과 설계속도 등에 따라 다르나 경험적 결과에 따르면 5~30%의 절감 효과를 얻을 수 있으며 경제적 효과 이외에 대절토 축소에 따른 환경영향의 최소화와 고성토 축소에 따른 유지보수 비용 감소효과도 얻을 수 있다. 따라서 향후 철도건설에 적용될 수 있도록 다양한 연구와 검토가 필요하다고 판단된다. ☺

