

레일을 중심으로 한 철도의 기원 및 발전 과정(Ⅱ)¹⁾

■ 韓國高速鐵道建設公團 中央軌道基地事務所長 鐵道技術士 徐 士 範

11. 우두레일과 쌍두레일

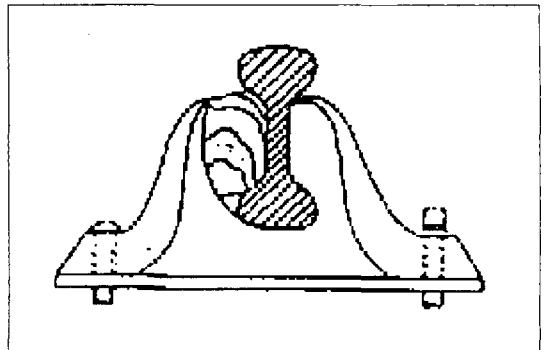
1830년에는 영국의 Clarence가 16.4 kg/m의 압연레일을 제작하였다. 이것은 그후 영국에서 널리 사용되었던 우두(牛頭)레일(bull-head rail)이라 부르는 형의 원조라고도 한다.

2) 편집자 주 : 편집위원회에서는 이 기사의 원고량이 1회에 전부 게재하기에는 부적절하다고 판단하여 2회에 걸쳐서 게재하기로 결정하였으며, 동시에 목차를 포함시켜 원고의 전체적인 내용을 이해하는데 도움이 되도록 하였습니다. 이번 호에는 지난 호에 이어서 "11. 우두레일과 쌍두 레일"부터 끝까지 게재합니다.

목차

1. 서론
2. 레일과 차륜의 시초
3. 탄광에서 생긴 사다리레도
4. 사위가 명성을 올린 철판레일
5. 주철 L형레일
6. 점착의 장애를 넘은 철타레일
7. 마차철도와 증기기관차의 탄생
8. 철도의 탄생
9. 연철레일의 개발 및 동력차의 발달
10. 궤간 싸움 - 의지가 통하지 않는 다수결
11. 우두레일과 쌍두레일
12. 평저레일
13. 레일 재질의 발달
14. 재료가 역사를 말하는 철도궤도
15. 우리나라 궤도의 발달
16. 도시철도의 탄생과 발달
17. 철도의 증흥과 발전
18. 고속철도의 궤도구조
19. 결론

1837년에는 영국의 J. Locke가 그림 9와 같은 쌍두(雙頭)레일(double head rail)을 고안하였다. 쌍두레일은 두부와 저부가 같은 단면으로 하여 레일 교환시에 상하를 전도하여 다시 사용할 목적이 있었다. 그러나, 목적에 반하여 경년(經年)과 함께 레일 하부의 레일을 지지하는 체어(chair)부에 접하는 개소가 손상하기 때문에 저부를 주행면으로 사용하기에는 지장이 생기기 쉽고, 이때문에 영국에서는 1844년에 고안된 우두레일로 바뀌었다. 이것은 두부와 저부의 단면이 대칭적이지 않고 두부가 약간 크다. 이 레일은 제조상 비교적 압연이 용이하고 냉각이 보다 빠르기 때문에 똑바른 레일을 얻기가 쉽지만, 레일의 횡방향 안정성 등에 문제가 있다.

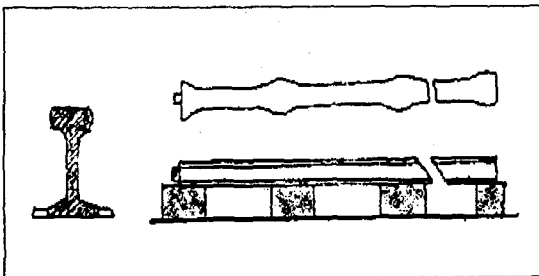


<그림 9> 쌍두레일

영국에서는 제2차 세계대전 후까지 오로지 쌍두레일이 사용되었다. 이상과 같은 우두 또는 쌍두레일은 영국 이외에서는 거의 사용되지 않았다. 그후 영국에서는 우두레일이 대형·장척화되어 1905년에 43 kg/m, 10.97 m, 더욱이 47 kg/m의 것이 표준화되었으며, 평저레일이 도입되기까지 오랫동안 사용되었다. 그러나, 1949년 이후 보수·경제상의 견지에서 차차 평저레일로 변경되어 가고 있으며, 영국에서 현재 부설하는 레일은 56.39 kg/m의 평저레일이 가장 많다.

12. 평저레일

쌍두레일 또는 우두레일에 사용되는 체어를 제거하기 위하여는 레일 저부 폭을 넓게, 더욱이 무겁게 하는 것이 필요하다. 미국인 R. L. Stevens는 1831년에 오늘날 일반적으로 사용되고 있는 평저(平底)레일(flat-bottom rail)의 원조라고 하는 그림 10과 같은 17.9 kg/m(36 lb/yd), 5.484 m(6 yd)의 연철의 T형 레일을 설계하여 영국에서 제작해 가지고 그가 사장이던 뉴저지 주의 캄던·앤드·암보이 철도에 부설하였다. 이 레일은 단면형상이 I형보다도 T형에 가까웠으므로 당시에 T레일(Tee rail)이라 불렀다. 각이 있는 돌(角石)의 가운데에 매설한 나무에 철못으로 취부하고 이음매는 꽂아넣음으로 하여 징을 박아 넣는 구조이다.



<그림 10> 스티븐스의 연철 T형 레일

이것보다 약간 늦게 1836년 영국에서 C. Vignoles이 복부가 낮은 T레일을 발명하여 이것이 파리지의 지중철도에 이용되었다. 이것은 나중에 유럽 각국의 레일 단면형상의 기본형식으로 된 것으로 유럽에서는 비그놀 레일(Vignoles rail)이라고도 한다. 그 후 19세기 중기까지 U형 레일, 혹은 T형의 두부를 크게 한 레일이 미국에서 고안되는 등 여러가지 레일의 단면형상이 개발되었지만 철도용으로서 평저레일과 같이 보편적으로 실용화된 것은 나타나지 않았다.

최종적으로는 두부의 마모, 체결 성능 등을 고려하여 현재의 주요한 레일의 대부분은 I형의 평저레일의 단면형상으로 되어 있다. 즉, 1855년에는 후술의 강제(鋼製)레일이 제작됨으로서 레일의 길이 및 형상 모두 오늘날에 사용되는 것에 가까운 것이 제작되기 시작하였고, 이것이 철도의 발전에 크게 기여하였다.

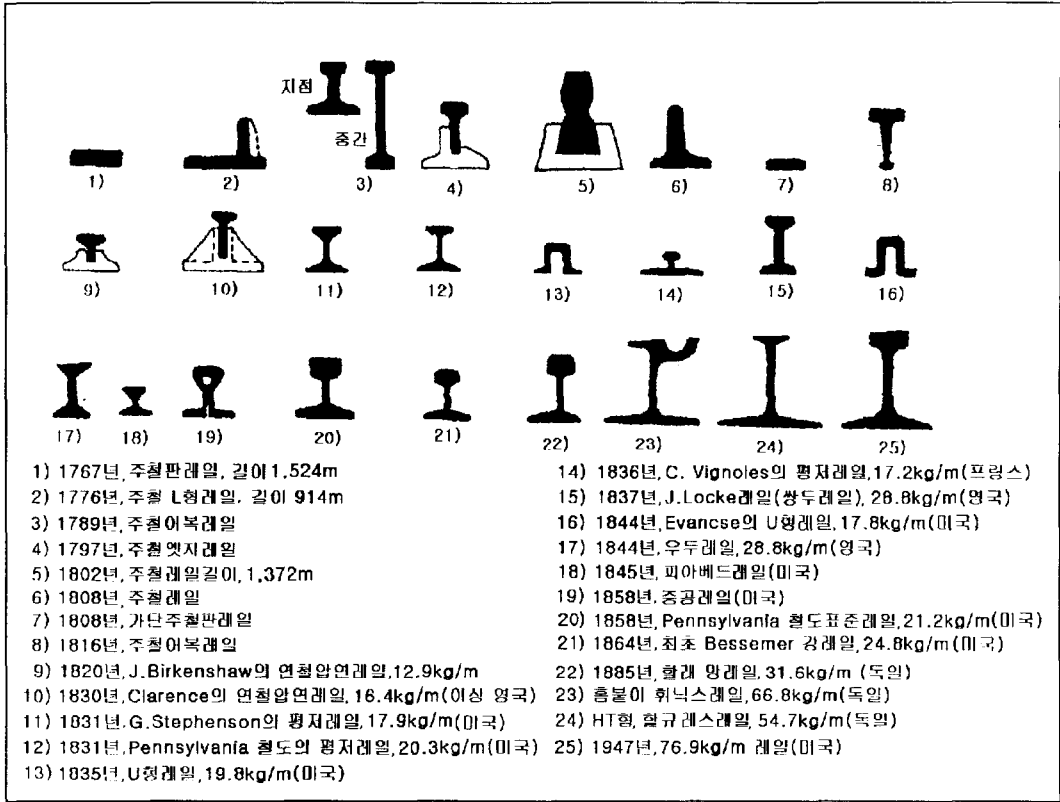
한편, 당초의 레일 이음매는 꽂아넣는 방식 또는 조합하는 방식에 의하여 왔다. 현대와 같이 레일 끝 복부의 내측에 한쌍의 이음매판을 대고 그것을 볼트로 체결하는 덧붙임식 이음법은 B. Adams에 의하여 1847년에 발명되어 1850년 이후 널리 사용되었다.

레일의 변천사를 그림 11에 나타내었으며, 참조하기 바란다.

13. 레일 재질의 발달

레일의 재질은 철(鐵) 제조법의 발전에 따라 내마모성이 우수하지만 크게 무른 주철(鑄鐵) 및 인성(靱性)이 많지만 연약한 상기의 연철(鍊鐵)로부터 현재 왕성하게 사용되고 있는 강(鋼)으로 치환되었다. 이것은 연철에 비교하여 강도적으로 뛰어나기 때문이다.

1855년에 영국의 H. Bessemer가 발명한 산성 전로제강법을 1856년에 레일에 적용하여 최



<그림 11> 레일의 발달

초의 강 압연레일이 출현하였다. 이로써 연철에서 강의 시대로 바뀌어 용강의 대량생산이 가능하게 되었다. 그러나, Bessemer에 의한 제조법은 인(phosphorus) 또는 유황(sulphur) 등이 적은 원료를 사용하지 않으면 안되었으므로 이와 같은 점을 개량한 영국의 S.G.Thomas에 의한 염기성 전로제강법이 그후 1878년에 발명되었다.

전로의 발명과 거의 동일한 시기인 1856년에 선철(銑鐵)과 철광석을 혼합, 용해, 정련하여 강을 제조하는 노상이 평평한 평로의 특허가 영국의 Siemens에 의하여 출원되었다. 그래서, 1862년에 처음으로 평로에 의한 제철공장이 건설되었다. 평노법에도 전로와 마찬가지로 노의 내면재인 내화벽돌의 성질에 따라 산성과 염기성이 있

으며, 일반적으로 염기성이 이용되었다. 또한, 이 방법은 선철(銑鐵)과 설철(屑鐵)의 비율을 자유로 변화시킬 수 있어 제품의 품질도 일정하게 할 수 있으므로 미국 등을 중심으로 널리 채용되어 후술하는 순산소상취 전로에 의한 제조까지 이 방법이 사용되어 왔다.

제2차 세계대전후 1949년 오스트리아의 Linz 및 Donawitz에서 발명된 순산소상취 전로제강법(LD법, BOF)은 생산효율이 대폭적으로 좋아지고 품질도 향상되었지만, 이것이 대량으로 사용된 것은 최근의 일로서 1960년대 후반부터 각국에서 평로 대신에 급격하게 채용되어 현재의 제강법의 중심을 점하고 있다. 이것에 의하여 평로에 의한 6시간의 제강 시간이 40분으로 단축 가능하게 되었으며, 강종의 함유가스(N, O, H)

가 감소되었다.

최근의 레일의 제강기술에는 일부에서 연속주조법(C.C법)이나 1960년대에 채용된 진공탈가스법이 실시되고 있다. 연속주조법은 고속·대량의 용강처리법으로서 종래의 조괴분괴법(강괴법)이 바뀌어 강괴를 만들지 않고 직접 소정의 최종주편인 불륨으로 냉각 응고시키는 방법으로서 표면성상의 향상, 파이프나 편석(偏析)의 제거에 의한 재질의 균일화가 이루어 졌다. 진공탈가스법은 서터 균열의 원인으로 되는 강(鋼)중의 수소 용해도의 감소가 진행되어 현재 극히 청정한 강이 제조되고 있다.

14. 재료가 역사를 말하는 철도궤도

콘크리트 침목은 1880년에 프랑스에서 고안되었다. 미국에서 1893년 콘크리트 침목을 실험적으로 부설하여 계속 35간 Pennsylvania 주에 의하여 추가적으로 부설하였으나 이들 대부분이 체결구 부식, 콘크리트 균열 및 열화 등의 이유로 몇년 못가서 철거되었다. 이태리 국철은 1906년과 1908년 사이에 20만 개의 콘크리트 침목을 부설하였다. 영국의 Great Northern은 1920년에 실험적으로 부설하였다. 같은 시기에 블록침목(단단한 금속 연결재 또는 T바에 걸친 콘크리트 블록)은 프랑스 Paris-Lyon-Marseilles선에서 만족할만한 사용가치를 인정받았다. 빔침목은 일찌기 유럽과 미국에서 체결구의 부식과 이완·충격에 의한 파괴 및 레일 아래의 분쇄 등으로 실패하였다.

유럽에서 실용의 PC침목이 처음 개발된 것은 1942년경이라고 한다. PC침목은 제2차 세계대전 직후 목재가 부족한 유럽과 영국에서 널리 도입되었다. 빔침목은 독일, 영국, 러시아 등에서 쓰이고 있다. 블록침목의 수정된 RS합성침목은 프랑스 철도에서 사용한다. 철침목은 철도 초기

1860년경 영국에서 시험적으로 쓰여졌고 그후 독일, 스위스에서 많이 사용되었으나 목침목의 주약방부 처리가 보급되어 차차 사용량이 감소되었다.

제2차 세계대전 후에 콘크리트가 토목재료의 주류를 이루고, 고무 등의 유기재료가 채용되는 것에 의하여 근대 궤도의 형태가 갖춰졌다.

영국에서는 평저레일을 채용하였고, 팬드를 레일체결장치가 발달하였다. 팬드를 레일체결장치는 1957년 노르웨이 국철의 Per Pand-Rolfsen이 발명하였다. 프랑스에서는 2블록 RC 침목에 의하여 300 km/h를 실현하였다. 프랑스는 세계 최초로 개발된 2중탄성 레일체결장치인 RN을 사용하여 왔지만, 1981년 TGV 남동선의 개업시 Nabra형을 개발하여 사용하고 있다. 독일에서는 긴 PC침목이 발달하고, 슬래브 궤도도 고속선로의 터널구간에 일부 부설하였다.

독일의 슬래브 궤도는 일본의 그것과 형태는 다르지만 근대적인 신궤도 구조이다. 일본의 플라스틱침목은 새로운 것이다. 레일이 목재에서 철로 되기까지 200년을, 도상이 자갈에서 콘크리트와 고무로 되는 것에 더욱이 200년을 요하고 있다. 최초의 분기기는 영국에 있는 광업단지를 위하여 1796년 John Curr가 발명한 이래 거의 200년 동안 존재하여 오고 있으며, 재료와 구조면에서 많은 발전을 하였다. 현대의 고속 분기기는 문헌[1, 2]를 참고하기 바란다.

한편, 장대레일은 독일의 경우 1924년에 320 m를 시험 부설한 것이 제일 오래 된 것이며, 다음이 미국으로 1938년 시험 부설이 시작되었다. 일본의 경우는 1937년에 仙山線 터널내에 처음으로 부설하기 시작하여 1939년 新鶴見 조차장 구내에 시험 부설한 211 m가 시초가 된다.

분기기는 영국의 광업 단지를 위하여 1796년 John Curr가 최초의 분기기를 발명한 이래 거의 200년 동안 유사한 장치로 존재하여 왔다. 기본

아이디어는 변하지 않았으나, 오늘날의 분기기 기술은 상당히 발전하여 고속으로 통과할 수 있는 분기기를 설계·제작할 수 있게 되었다.

철도가 탄생하고 처음 10년 동안의 궤도선형은 직선과 원곡선만으로 구성되었다. 완화곡선은 1864년에 오스트리아의 Brenner 철도에서 Wilhelm Prressel에 의하여 처음으로 도입되었다. 오늘날 유럽의 표준인 Klotoid는 1890년 오스트리아의 Max Ritter Von Leber에 의하여 처음 도입되었다.

15. 우리나라 궤도의 발달

우리나라는 세계 최초의 공공철도 개업 이후 74년 뒤인 1899년 9월 18일에 노량진-제물포(현 인천역) 사이에 33.2 km의 철도(경인선, 당시 7개 역)를 개통하여 기관차 4량, 객차 6량으로 최초의 철도영업을 개시하였다. 그후 경부선이 1905년 1월, 경의선 1906년, 호남선·경원선 1914년, 전라선 1936년, 중앙선이 1942년에 각각 개통되었다.

이들 초창기 철도의 궤도는 경인선 개통 당시 미국 일리노이스 스틸회사 제품인 30 kg/m(60 lb/yd) 레일, 경부선 건설시에는 미국 카네기 회사 제품인 37 kg/m(75 b/yd) 레일, 그외에 경의선, 경원선 등에는 9 kg/m(18 b/yd)에서 37 kg/m(75 b/yd)까지 다양한 종류의 레일을 사용하였고, 침목과 도상은 목침목(일부 소재침목), 친자갈 또는 막자갈을 사용하였다. 1945년 제2차 세계대전 종전후 궤도재료 공급이 어려워 유지에 급급하던 선로는 1950년 6.25 사변으로 막대한 피해를 입었다. 그리고, 레일은 전체적으로 마모가 심하고 내구년한이 많이 경과되었다.

1953년 휴전 이후 50PS, 50ARA 레일이 도입되고, 산림의 황폐화로 대만, 남양, 북미에서 목침목이 들어 왔으며, 도상은 하천

자갈을 채가름한 친자갈이 주종이었다.

1963년 이후 경제개발 5개년 계획에 의하여 KFX(Korea Foreign Exchange, 국내조달 외자) 자금으로 미국, 일본, 인도에서 37 kg/m 또는 50 kg/m(ARA, PS, N)레일을 수입하여 갱환하였다. 1966년부터 50N 레일이 도입되기 시작하여 그동안 사용하던 50PS, 37 kg/m 레일을 1976년부터, 그리고 50ARA 레일을 1977년부터 50N 레일로 갱환하였다. 또한, 1978년에 50N 레일(레일 길이 25 m로 표준화), 1982년에 60 kg/m 레일을 국산으로 부설하기 시작하였다. 경인선을 비롯하여 수도권 전철구간 및 경부선 교량상에는 60 kg/m로 레일 중량화를 시행중이다. 경두레일은 1974년에 시험부설하여 현재 급곡선 부에 사용하고 있다.

열차의 속도향상과 승차감 향상을 위한 장대레일은 1959년 100 m 레일 3 개소, 300 m 레일 1 개소를 시험 부설하였다. 1966년에 20 m 레일 5 개를 가스압접으로 100 m로 용접하여 현장에 부설한 다음 테르밋 용접으로 1,200~1,800 m로 한 장대레일을 경부선 영등포~시흥간(3 개소)에 부설하기 시작하여 1999년 1월 현재 국철의 궤도 연장 6,683 km(본선 4,745.3 km, 측선 1,937.7 km)중 1,471 km(28 %)가 장대레일(장대화율 : 경부선 67.6 %, 호남선 43.8 %), 539.4 km(12 %)가 장척레일로 부설되어 있으며, 중량별로는 60 kg/m가 264.6 km(4 %), 50 kg/m가 5,605.6 km(84 %)이다.

침목은 주약침목을 사용하여 오다가 콘크리트 침목의 개발을 위한 기술제휴를 1958년 독일과 맺어 PC침목을 시험 부설하여 개발에 성공함에 따라 1958년부터 PC침목을 부설하기 시작하여 1999년 1월 현재 국철에는 1,078만 개의 침목중에 369만 개(34 %)가 PC침목이고 나머지 709만 개는 목침목이다. 이음매 침목도 1978년부터 사용하기 시작하였다. PC침목의 레일체결장치는

1970년에 한성식과 동아식의 장점을 살린 합성 식이 사용되고, 더욱이 1984년부터 코일 스프링 식(팬드롤형)으로 개량되었다. 목침목에도 1960년대 후반에 타이 플레이트를 활용한 2중 탄성체 결구를 급곡선부에 사용하여 오다가, 코일 스프링용 베이스 플레이트를 채택하고 있다.

도상은 막자갈 또는 천자갈을 사용하여 오다가 1960년부터 갠 자갈을 사용하고, 1982년부터는 완전 쇠석화하여 살포 및 보충하고 있다. 분기기는 1960년 후반부터 50 kg NS 분기기와 망간 크로싱을 부설하고 있으며, 1967년부터 분기기용 70S 레일이 도입되었다. 1999년 1월 현재 국철의 분기기수는 9,780 틀이다. 이와 같이 1960년대부터 궤도강도 향상이 이루어졌으며 보선작업도 1957년부터 소형장비를 도입하여 현장에 투입, 보선 기계화의 효시라고 보며, 1972년부터 IBRD 차관자금으로 멀티를 타이 탬퍼 4대등 9대의 대형 보선장비를 도입하는 등 본격적으로 기계화되기 시작하였다. 또 1976년부터 궤도검측차에 의한 동적검측을 시행하고 있다.

16. 도시철도의 탄생과 발달

19세기의 철도의 보급과 산업경제의 발전은 도시에의 급격한 인구집중을 가져왔다.

서구에서 당시의 마차에 의한 도시교통은 위생 문제 등으로 종말을 고하게 되고, 노면전차(路面電車)가 실용화 보급되었다. 그러나, 더욱더 격증하는 도시교통은 수송력 부족으로 함락되고, 더욱이 자동차의 격증에 의한 도로의 체중도 있어 채용된 것이 지하철과 고가철도이었다.

세계 최초의 도시철도는 1863년에 개업한 런던 동서(東西)의 철도 종착역을 지하 터널선(線)으로 연결한 헬링톤~파딩톤간 6 km로서, 증기기관차 견인에 의하여 운행되

고 연료에 연기가 적은 코크스를 사용하였으며, 역에는 배연구(排煙口)가 설치되었다.

이 지하철은 메트로폴리탄 철도회사에 의하여 운영되었기 때문에 후년에 지하철이 메트로라고 불려지는 연원(淵源)이 되었다.

1890년에 전철화되어 전기기관차로 바뀌었고, 뒤이어 1896년에 부다페스트, 1900년에 파리에 전차운전의 지하철이 개업하였다. 당초의 전차는 노면전차의 성능이었다. 그후에 런던에서도 전차운전이 채용되고 이용의 증가와 기술의 진보에 의하여 전차는 고성능화·장편성화되어 고속전차



<그림12> 세계 최초의 지하철(런던)

의 지하철 방식이 확립되었다.

뉴욕에서는 1868년에 최초의 고가철도 11 km가 증기운전으로 개업하고, 뒤이어 1870년에 소구간의 지하철도 개업하였지만, 매연이 불평을 받아 오로지 고가방식이 채택되었다. 그 후에, 도시의 경관이나 소음이나 건설공사의 곤란 등 때문에 1904년에 최초의 전차운전 방식의 지하철이 개업하였고, 그후는 지하철이 적극적으로 건설되었다. 한편, 시카고에서는 고가방식으로 1882년에 개업하였고, 도로상의 고가 방식인채로 연신되어, 터널구간이 11 %인 예외적인 도시철도로 되어있다.

이와 같이 자동차의 보급 이전에 도시교통의

필요에서 건설한 지하철로서 19세기말에서 1930년대까지 거의 현재의 지하철망을 완성한 도시는 런던, 파리, 뉴욕, 시카고, 보스턴, 베를린, 필라델피아 등이 있다. 그러나, 비교적 간선철도가 발달되어 있었기 때문에 지하철의 발달이 늦어져 제2차 세계대전 이전에 착수되어 근대까지에 지하철망을 완성한 도시는 스톡홀름, 모스크바, 마드리드, 바르셀로나, 우에노아이레스, 아테네, 함부르크, 東京, 大阪 등이 있다.

세계적으로 소련(11 도시), 미국(10 도시)에 이어 일본의 지하철 보유는 9개 도시이다. 최근에는 지하철 추진의 하나의 방향으로 도시교외에 위치하는 공황에 직결하는 노선이 건설되어, 런던, 파리, 뉴욕, 워싱턴, 보스턴, 福岡 등에서 개업하였고, 많은 도시에서도 계획되고 있다. 우리나라도 인천의 영종도에 건설되고 있는 신공항과 서울을 연결하기 위하여 추진중인 인천국제공항 전용철도도 그 유형의 하나이다.

우리나라의 지하철은 서울에서 1974년 8월 15일 1호선(서울역~청량리)이 최초로 개통되었고, 이를 시작으로 6 대도시에서 도시철도가 건설되었거나 추진중에 있다. 서울과 부산 지하철의 정거장에는 콘크리트 도상, 기타 구간은 자갈 도상을 채택하였으며, 서울과 부산의 2기 지하철 및 대구, 광주, 대전 등의 도시철도는 콘크리트 도상 궤도의 일종인 Stedef 궤도를, 인천 도시철도는 Sonnevile 궤도로 건설되었거나 추진되고 있다.

높은 수송효율과 저공해성 때문에 대도시권에서 도시계 철도의 역할은 종래보다도 점점 증대하고 통근수송과 다양한 목적을 가진 도시교통에 중요한 역할을 계속하여

노선망이 확충되고 있다. 그중에서도 중량(中量)수송의 영역에 있어서 종래의 철도의 개념을 넘는 모노레일이나 신교통시스템 등의 새로운 수송시스템이 출현하였다. 또한, 대도시의 주요한 역은 종합터미널로서 각종의 도시기능을 구비함

과 함께 역을 중심으로 도시활동이 집중·집적하는 것에서 지역·도시 계획상 중요한 거점(핵)을 형성하게 되었다.

17. 철도의 증흥과 발전

1938년경 구미에서는 최고 130 km/h 정도의 급행열차를 영업운행하였으며, 시운전으로서는 1936년 독일에서 3량 편성의 디젤동차가 205 km/h, 1955년 3월 프랑스의 전기기관차 2량이 객차 6량을 견인하여 339 km/h의 기록을 수립하였다. 그러나, 1964년에 일본의 東海道 신간선이 개업하기까지 보통철도의 최고영업속도는 160 km/h 정도이었다. 시험에서는 상기와 같은 속도기록이 있지만, 궤도·가선(架線)의 보수 등 때문에 실용의 최고속도로서는 160 km/h 정도가 한계라고 보고 있었다.

철도가 탄생하고부터 약 1백년 동안의 철도는 육상교통수송에서 압도적인 시장점유율을 갖고 있었지만, 20세기에 들면서 자동차가 보급되기 시작하고, 특히 제2차 세계대전 이후는 도로정비도 진행되어 단거리 수송에서는 모터라이제이션(motorization)이, 중·단거리 수송에서는 항공기의 발달이, 또한 중거리 버스의 발달 등이 철도의 존립기반을 위협하여 그결과 세계 각국에서 철도의 사양화를 부르짖게 되었다.

육상교통에 군림하였던 철도의 상태는 과거의 일로 되었다. 그렇지만, 이것은 철도역할의 종언(終焉)을 의미하는 것은 물론 아니며, 근거리에서 중·장거리의 대·중량(大·中量) 수송을 담당하는 고속교통기관으로 새로운 탈피를 시도하는 과도기라고도 한다. 이 때문에 부단의 경영노력과 공학적 기술의 가일층의 혁신이 불가결하지만, 자동차나 항공기와 경쟁이 오히려 철도 진보의 촉진제로서 작용하는 것으로 바람직하다고 한다.

상기와 같은 철도경영의 위기중에 그간 철도가

가진 대량·고속 수송의 특성을 최대한으로 발휘하여 철도의 소생과 차세대의 교통기관으로 탈피하기 위하여 많은 노력이 계속되어 왔다. 그 중에서도 영업운전의 최고속도가 200 km/h 대를 넘는 일본의 東海道 신간선의 개업은 중·장거리 수송에 있어서 철도의 고속 수송성을 재평가하는 계기가 되었고, 또한 철도의 기술발달사에 있어서도 획기적인 사건이었다. 이 신간선의 성공은 국제적으로 큰 영향을 주었고, 특히 이에 자극받은 서구에서도 200 km/h 이상의 속도향상을 목표로 하는 기술 개발이 추진되어 왔다. 그 다음해인 1965년에 서독에서 문첸 국제철도박람회에 즈음하여 재래선의 짧은 구간 62 km에서 E103 전기기관차가 견인하는 특별열차에 의하여 200 km/h의 운전을 3개월 시행하였다.

프랑스에서는 선형이 좋은 재래의 간선을 개량하여 1967년부터 고성능 전기기관차 견인의 특급열차로 본격적인 200 km/h의 운전을 시작하여 순차적으로 구간을 확대하였다.

뒤이어, 파리-리용간에 높은 규격의 동남(東南) 신선(新線) 389 km를 건설하여 초고속 열차 TGV-SE를 주행시키는 계획을 구체화하였다. 당초는 항공기용의 소형경량 최대출력 가스터빈 기관을 탑재한 터보트레인으로 계획하여 선행의 편성차량을 시작(試作)하여 장기시험을 하였다. 1972년의 석유과동 등에 의하여 동력효율이 우수한 전기열차로 변경하여 시험을 계속하였다. 1981년 신선의 부분개업시에 양단 동력차 방식의 전기열차로 최고속도 260 km/h의 운전을 시작하여 전구간을 개업한 1983년에 270 km/h로 향상하였다. 계속하여 1989년 개업의 대서양 신선 TGV-A, 더욱이 1993년 개업의 북부 신선 TGV-R, 1994년 개업의 영-불 해협 터널선 통과의 유로스타 등에 의하여 최고속도 300 km/h의 운전을 하고 있다.

독일에서는 재래의 간선을 개량하여 1977년부

터 103형 전기기관차 견인에 의한 200 km/h의 특급열차 운전을 시작하고, 또한 ET403 전차를 시작(試作)하였다. 그후에 고속 신선 496 km의 완성과 아울러 1991년부터 양단 동력차 방식의 전기열차 ICE에 의하여 280 km/h(기본 최고속도는 250 km/h)의 운전이 이루어졌다.

영국에서는 1970년대에 재래간선에서의 250 km/h를 목표로 한 진자(振子)형의 전기열차 APT의 개발이 시작되었지만, 대부분의 새로운 방식이 지나치게 많고 고장이 잇달아 좌절되었다. 대신하여 등장한 것이 1976년부터의 양단 동력차 방식의 디젤 특급열차 HST로 재래의 간선을 개량하여 200 km/h의 운전을 시작하여 고출력 기관에 대한 고심의 보수를 수반하면서 순차적으로 설정 구간을 확대하였다. 그후에 1991년의 동해안선 전구간의 전철화에 대응하여 91형 고성능 전기기관차에 의한 편단 기관차 방식에 의하여 225 km/h(재래선에서는 최고속도)로 향상하였다.

이탈리아에서는 로마~휘렌체간의 고속 신선 260 km(1992년에 전구간이 완성)의 건설에 대응하여 1986년부터 전기기관차 견인으로 200 km/h의 운전을 하고, 1988년부터 고속전차 ETR450으로 250 km/h의 운전을 시작하였고, 앞으로 양단 동력차 방식의 전기열차 ERT500에 의한 275 km/h를 목표로 하고 있다.

스웨덴에서는 재래간선인 스톡홀름~요테보리간 495 km를 개량하고 장기시험을 거쳐서 편측 동력차 방식의 X2000 진자형 고속 전기열차에 의하여 1990년부터 200 km/h의 운전을 시작하여 다른 간선에도 확대하고 있다.

스페인에서는 마그리드~세비리아간 471km에 고속 신선(궤간은 1435 mm)를 건설하여 프랑스의 TGV-A를 기초로 한 고속 전기열차 AVE로 1992년부터 250 km/h의 운전을 하고 있다.

미국에서는 뉴욕~워싱턴간의 북동 회랑선



<그림13> 한국형 고속 열차

346 km에 대하여 1967년 당초의 메트로라이나는 전차운전으로 최고속도 258 km/h(160 mph)를 목표로 하였지만, 트러블이 많아 193 km/h(120 mph)로 억제되었다.

전차운전과 병행하여 터보트레인에 의한 초고속운전의 시도가 미국과 캐나다에서 있었지만 신뢰성이나 소음 등에 문제가 있어 실용화될 수 없었다. 그후에 북동 회랑선은 전면적으로 시설이 개량되어 당초의 전차 대신에 스웨덴제의 고성능 AEM7형 전기관차의 견인에 의하여 1986년부터 200 km/h로 향상되어 있다. 또한, Amtrack은 미국 북동부축인 보스턴-뉴욕-워싱턴간 734 km의 기존선로를 개량·전철화하여 틸팅열차(tilting train) Acela의 20 편성을 2000년 상반기에 240 km/h로 운행할 계획으로 1966년 3월부터 추진중이다.

구소련에서는 1970년에 고속전차 ER200을 시작하여 장기시험을 계속하고 1986년부터 모스크바~산크토펬테이블간의 재래간선(궤간 1524 mm, 전기방식 DC 3 kV)로 주 1왕복의 200 km/h의 운전을 하고 있다. 최근 동구간의 고속신선의 건설이 착공되어 있다.

우리나라에서는 서울~부산간 412 km를 최고속도 300 km/h로 연결하는 고속 신선을 1992년

6월에 착공하고 TGV 방식을 채용하여 1단계 구간(서울~대구) 개업은 2004년 4월(2003년말 대전까지 우선 개통)을 예정하고 있으며 2단계 구간(대구~부산 및 대전·대구 도심 구간)의 건설은 2004~2010년으로 계획하고 있다.

가까운 일본에서는 東海道 新幹線에 이어서 山陽·東北·上越 신간선이 건설되어 총연장이 1,879 km에 이르고 있으며, 이용 여객수, 열차횟수는 다른 나라에 비하여 압도적으로 많다. 최고속도는 上越 신간선의 짧은 구간에서 275 km/h에 달하고 1992년부터 東海道 신간선에서 270 km/h의 "노조미"가 운전되고 가까운 장래는 300 km/h를 목표로 하고 있다.

이상의 실적경위를 보면 보안(保安)에 대하여 특히 신중히 하면서 높은 철도기술 수준이 기초로 되고있다. 고속 신선의 실현은 상당한 수송수요가 있어야 하며, 재래선의 고속운전은 곡선반경이 크고, 특히 선형이 우수하여야 하며, 건물목이 없던가 극히 적어야 하는 등이 조건이 충족되어야 한다.

기타 각국에서도 고속철도의 채택이 구체화 또는 기획되고 있다.

고속철도는 육상수송에서는 대신할 기관이 없는 것으로 판단된다. 여객·화물의 수송량당 소

요 에너지나 용지면적은 도로수송에 비하여 수(數)분의 1 밖에 되지 않는 등 여러 가지 면에서 높게 평가되고 있다. 앞으로도 우리들의 생활을 유지개선하기 위해서라도 철도는 변함없이 중요시되어야 할 것이다.

18. 고속철도의 궤도구조

고속철도의 개발단계에서 가장 문제가 되었던 것은 고속운전에 필요한 동력의 확보와 이것을 지지할 수 있는 고품질의 궤도를 실현하는 것이었다. (1) 고속철도의 동특성을 감안한 소요의 궤도강도, (2) 주행안전과 승차감을 감안한 궤도관리 수준, (3) 궤도관리 수준에 대하여 투지비와 보수비를 감안

한 궤도구조 및 (4) 수단, 빈도, 비용을 감안한 보수 가능성을 검토하여야 하며, (5) 소음과 진동 등 환경보전을 만족하는 궤도의 부설과 이를 과학적이고 효율적인 방법으로 보수관리하는 것이 중요한 과제이다. 즉, 고속운전의 경우에 선로의 파괴가 속도의 2승에 비례하여 크게 된다고 예상되므로 이에 대하여 선로보수가 완수되어 대응할 수 있을까, 안전하고 더욱이 승차감을 위하여 어느 정도로 궤도틀림을 억제하여야 하는가 등이 과제로 부각된다.

300 km/h의 속도영역에서 궤도에 미치는 힘이나 동적저동은 종래 전통적으로 궤도응력 해석에 사용되어 왔던 궤도역학이론으로는 정확한 해석이 불가능하며, 최근 공학분야의 발달된 역학이론체계에 입각한 새로운 접근이 필요하다. 특히, 고속주행시의 불규칙한 극대하중과 고주파 진동에 대하여 그 발생 메카니즘과 궤도파괴에 미치는 영향 등에 대한 이론적인 규명과 실물궤도 시험이 필요하다. 고속철도 궤도의 설계는 궤도파괴 이론 또는 운중변동 이론에 의하여 차량의 스프링하 질량을 포함한 수 100 kHz 정도까지의

주파수 범위에 대하여 궤도의 질량과 스프링계수를 고려한 동적응답을 해석하고, 실재하는 조건에 대하여 궤도의 각 구성재료의 역할을 평가하여 궤도구조를 결정하고 있다.

세계 각국은 지속적으로 궤도의 형식을 개량하고 개발하여 철도의 고속화를 실현시켰다. 상기와 같이 프랑스의 TGV는 300 km/h의 최고영업속도를 달성하였고, 또한 1990. 5. 18에 대서양선의 자갈도상 궤도에서 515.3 km/h라는 시험주행의 기록을 세운바 있다. 이와 같은 속도기록은 이를 뒷받침한 궤도의 덕분이며, 특히 501 km/h로 통과한 분기기의 덕분에 달성할 수 있었다.

콘크리트도상 궤도에서는 일본의 슬래브 궤도가 275 km/h의 최고운행속도와 336 km/h의 시험주행에 성공하였는데, 이는 약 2000 km의 영업연장을 가지고 실용화된 궤도라는 점에서 9 km의 영업연장에서 달성한 280 km/h의 최고운행속도와 406 km/h의 시험주행을 거친 독일의 Rheda 궤도보다 신뢰면에서 앞선다고 생각된다.

경부 고속철도 궤도구조의 특징을 살펴보면, 고속철도차량의 차륜에 적합한 단면형상을 가짐과 함께 재질이 향상된 국제규격의 UIC60 레일을 사용하되, 분기기를 포함하여 100 % 장대화되어 있다. 레일체결장치는 강성이 풍부한 팬드롤형(10 mm의 고무패드 사용)을 사용한다. 또한, 궤도의 안전성을 고려하여 콘크리트의 강도가 향상된 중량 약 300 kg (길이 2.6 m)의 침목을 사용한다. 침목에서 받은 힘을 넓게 분산하여 충격과 진동을 줄이도록 도상층의 두께(35cm)를 크게 하고, 도상재료는 고품질의 갠 자갈을 사용한다. 그 외에 강화 노반을 채택하고, 고가교 등에서는 궤도 밑에 도상매트를 부설하고 있다. 또한, 길이가 긴 터널에서는 궤도의 보수·유지를 감안하여 슬래브 궤도를 부설한다. 고속 분기기

는 리드 곡선반경을 크게 하고 완화곡선을 삽입 하며, 탄성 포인트와 노스가동 크로싱을 채택한다. 분기기의 레일은 일반의 궤도처럼 1/20의 경사를 두고있다. 또한, 고속 분기기에는 고품질의 PC침목을 사용하고, 접촉감지장치, 잠금장치, 전열식 용설기 등을 설치하여 안전도를 향상시키고 있다.

고속열차가 안전하고 승차감이 좋게 주행될 수 있도록 하기 위한 궤도관리는 첨단 시스템에 의하여 궤도검측, 검측 데이터 분석, 작업지시 등을 하게 된다. 또 궤도의 장과장 틀림, 레일의 단과장 영역의 틀림과 윤중변동을 엄격하게 관리한다. 이들의 검측과 작업 및 평가는 일련의 시스템으로 이루어진다.

19. 결론

철도에 있어 “선로”는 “차량” 및 “구동동력”과 함께 철도를 구성하는 3대 요소라고 말하여지고 있다. 궤도의 성장은 레일과 지지체 재료의 역사이다. 철도의 발달이 그 통로설비와 동력의 혁신에 의하여 이루어진 역사적 사실에서 보아 궤도는 철도의 명수(命數)를 결정하는 하나의 큰 요소이다.

철도의 상징인 강제(鋼製) 레일은 차량의 중량을 직접 지지하고, 차륜으로부터의 1점 하중을 침목과 도상으로 분포시켜 차량에 원활한 주행면을 제공하며, 차륜이 탈선하지 않도록 안내하고, 또한 신호전류의 궤도회로, 동력전류의 통로를 형성하고 있다.

철도에는 많은 장점과 함께 단점이 있지만, 레일을 중심으로 한 대표적인 특질은

다음과 같이 열거할 수 있다. 장점으로는

(1) 레일로 안내되기 때문에 장대한 열차를 편성할 수 있고 대량수송이 가능하다. (2) 강제(鋼製)의 레일 위를 강제의 차륜을 가진 차량이 주행

하기 때문에 주행저항이 대단히 저다. (3) 레일에 안내되어 외부에서 급전할 수 있기 때문에 동력 효율이 우수한 전기운전이 가능하다. (4) 전용의 레일로 안내되고 보안설비가 설치되어 있으므로 고속안전운전이 가능하다. (5) 전용의 선로를 보유하므로써 정시성이 확보된다. (6) 안전성이 대단히 높다.

단점으로는 (7) 선로나 정거장 등 전용의 시설에 상당한 투자를 필요로 하기 때문에 상당한 수송량이 없으면 채산이 맞지 않는다. (8) 강제(鋼製)레일 위를 주행하는 강차륜의 마찰이 적기 때문에 제동 거리가 길어 열차의 운전에는 보안설비가 불가결하다. (9) 시설이나 차량의 일부에 지장이 발생하면 전체에 영향을 미치므로 시설이나 차량의 정비보수에 특히 중점을 두어야 한다. (10) 역에서 역까지의 수송이므로 보완수송을 수반하는 경우가 있다.

따라서, 철도가 자동차나 항공기와와의 선의의 경쟁을 하면서 육상교통기관의 중요한 위치를 계속 확보하도록 철도를 발전·유지하여 가기 위하여는 상기와 같은 장점을 더욱 향상시키고 단점을 보완하는 것이 바람직하다. 또한, 위에서 고찰한 철도의 발달과정에 미루어 볼 때 앞으로 가일층의 경영노력과 철도기술 수준의 향상이 더욱 요망된다.

끝으로 철도 발전을 위하여 수고하시는 관계자 여러분에게 감사드리며 이 글을 맺는다.

■ 참고 문헌

- (1) 서사범, 선로공학, 도서출판 삶과 꿈, 1999. 4.
- (2) 徐士範, 軌道施工學, 蘆海出版社, 1995. 8.
- (3) 徐士範, “鐵道の 기원과 軌道の 발달”, 고속철도 소식(통권 제16호, 제17호), 한국고속철도건설공단, 1995. 1. 2.
- (4) 徐士範, “鐵道の 起原과 軌道の 發達”, 大韓土木學會誌, Vol. 42, No. 6, 1994. 12.

- (5) 徐士範, “力學의 발전과 軌道力學의 성립” 鐵道施設, No. 58, 韓國鐵道技術協會, 1995. 12.
- (6) 徐士範, “콘크리트 枕木의 이해”, 鐵道施設, 韓國鐵道技術公社(게재 예정)
- (7) 吳鍾國, “우리나라 철도보선의 현재와 장래”, 鐵道保線, No. 1, (財)韓國鐵道保線技術協會, 1991. 12.
- (8) 尹益相 : 鐵道工學, 共和出版社, 1970. 11.
- (9) 金正玉, 朴德祥, “鐵道工學”, 土木工學핸드북, 大韓土木學會, 1983.
- (10) 李種得 : 鐵道工學, 盧海出版社, 1993. 9.
- (11) 이길영, “한국철도의 과거, 현재와 미래”, 한국철도학회지, Vol. 2, No. 2, 1999. 9.
- (12) 김선호, “철도 100주년에 즈음한 보선업무 개선사항”, 鐵道線路, No. 29, (재)한국철도선로기술협회, 1999. 7.
- (13) 최강희, “한국철도의 1백년(1)”, 대한토목학회지, Vol. 44, No. 1, 1996. 1.
- (14) Jean ALIAS : LE RAIL, EYROLLES, Paris, 1987.
- (15) Cogifer : 501 km/h within Cogifer Turnout
- (16) Helmt Hainitz, Walter Heindl and Gerard Presle : New Curve - Geometry to reduce Maintenance