

프랑스의 고속철도 구조안전기술 개발 현황



김 동 성(KIMM 신교통기술연구부)

- '77. 2 서울대학교 기계설계학과(학사)
- '90. 8 창원대학교 기계공학과(석사)
- '96. 9 Ecole Centrale de Nantes 기계공학과(박사)
- '77. 3 - '79. 12 코리아타코마(주) 기계기사
- '80. 1 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

철도차량의 구조안전기술 현황은 고속철도의 세계 첨단국인 프랑스의 고속전철(TGV : Train à Grande Vitesse)을 대상으로 하였다. 먼저 프랑스 고속철도 개발 역사를 살펴본 후 프랑스 국철 (SNCF : Société Nationale des Chemines de Fer, French national railway) 산하 전문연구실 Centre d'Essais de Vitry와 Laboratoire de Levallois 및 관련 학계의 전문시험실 Equipe de EuroCrash에서 수행하고 있는 구조안전에 관련된 시험시설 및 연구 현황을 살펴본다.

2. 프랑스의 고속철도 역사

1960년에 프랑스 국철(SNCF : Société Nationale des Chemines de Fer, French national railway)에서는 고속철도의 개념을 생각한 후 가스 터빈 추진 철도(ETG : Élément à Turbine à Gaz, Gas Turbine Unit)로서 시속 180-200km까지 속도를 향상시킨 후 그림 1의 TGV 001로 1972년 12월 비전철로서는 세계최고속도 시속 318 km의 기록을 세웠다. 그림 2는 TGV 001 turbotrain 의 입체 및 평면도를 보여 주고 있다.

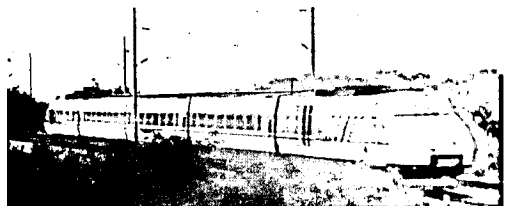


그림 1. TGV 001 turbotrain의 운행 모습

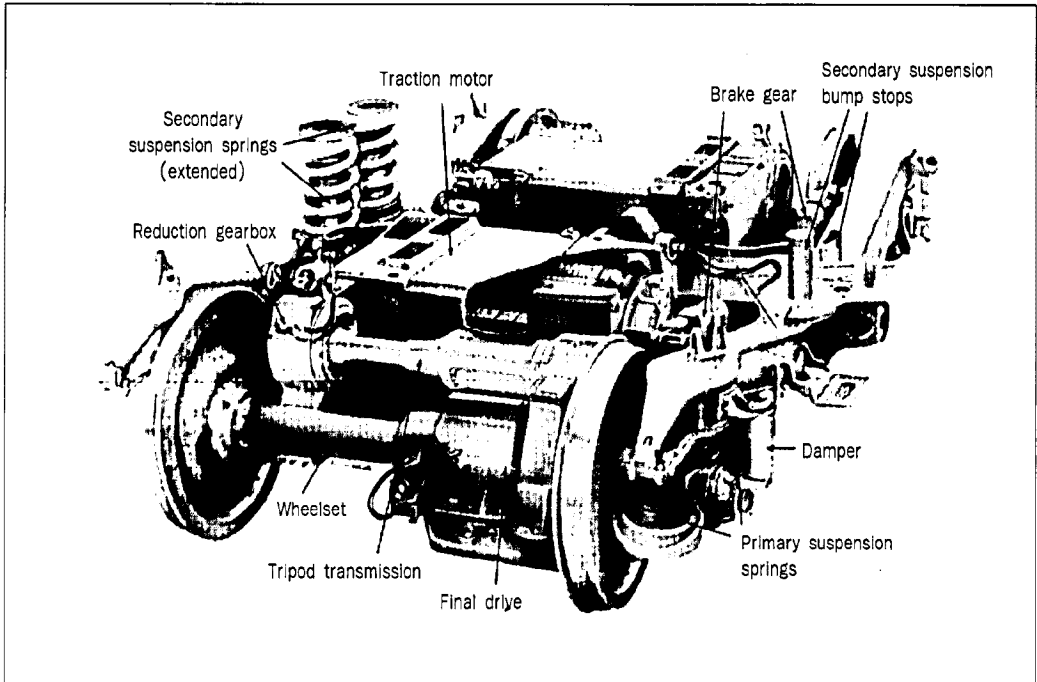


그림 4. New Y226 long-wheelbase power truck

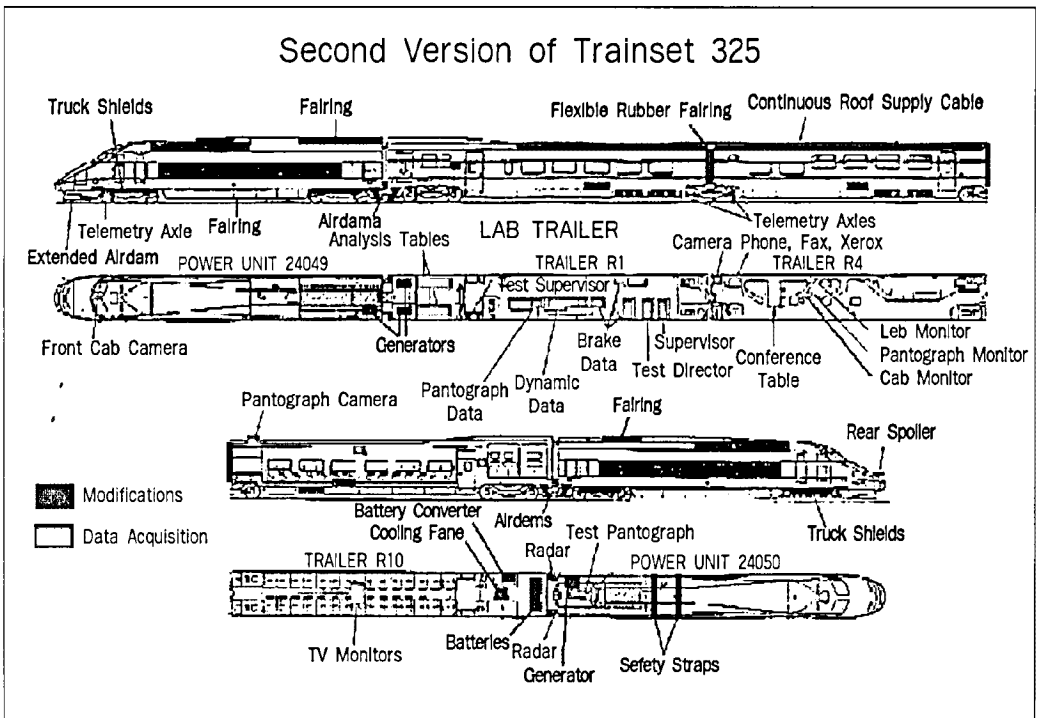


그림 6. 시험용 TGV Atlantique trainset 325의 2차 개선도

UIC(Union Internationale des Chemins de fer, International Union of Railways), ISO(International Organization for Standardization), ANSI(American National Standards Institute) 등을 활용하고 있다. 특히 Gec-Alsthom 사의 설계제작 도면에 의해 생산된 철도차량 및 고속철도 관련 부품과 구성품은 SNCF 산하 연구실험실 및 관련 연구기관에서 구조안전에 대한 시험평가 및 개선 안을 제출하고, 이에 대한 결과를 바탕으로 다시 SNCF와 Gec-Alsthom은 구조안전에 대한 시험규정을 더욱더 강화시켜 신세대 고속열차 개발에 필요한 구조안전기술을 개발하고 있다.

다음절부터 고속전철 및 일반 철도차량의 구조안전기술개발에 필요한 시험장비 및 시험방법에 대해 연구개발 중인 SNCF 산하의 전문연구실 Centre d'Essais de Vitry와 Laboratoire de Levallois 및 관련 학계의 전문연구실 Équipe de EuroCrash에서 수행하고 있는 연구시설 및 현황을 살펴본다.

3. 프랑스 Centre d'Essais de Vitry의 구조안전연구

프랑스의 Vitry 시험센터에서는 철도차량의 구조안전기술에 대한 연구분야는 동력학, 제동장치, 구조강도해석, 기계부품 시험평가 및 시험지원분야로 나누어 고속철도 및 일반철도의 구조안전기술을 위하여 시험 평가 및 개발에 대한 연구를 하고 있다.

3.1 철도차량의 동력학

3.1.1 연구 분야

Vitry의 철도차량 동력학 실험실에서는 저주파 진동거동, 동적 거동, 탈선 및 차량의 특성에 대한 시험 연구를 하고 있다.

저주파 진동거동 분야에서는 승객의 안락성, modale 분석, 기능분석 및 부하특성을 연구하고,

동적 거동 분야에서는 안전도, 바퀴와 레일의 접촉력에 의한 선로의 하중피로특성, wagon의 주행성능, 차량의 안전성, 대차의 주행한계속도 및 열차의 고속주행성능의 개선에 관한 연구를 한다. 탈선분야에서는 열차의 비틀림 시험, 구배진 커브에서의 주행시험, 차량의 내압축성 및 차량의 전복에 관한 시험을 수행하고, 차량의 특성 분야에서는 현가 장치의 정적 및 동적 강도와 특성, 비틀림 강도 등, 차체와 대차의 회전우력, 부하 및 무게중심, 유연성 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

3.1.2 연구 수행 방법

특성화된 규격이나 기준에 의한 시험 연구를 수행하면서, 해당부분의 성능 및 안전도를 향상시키고 있다.

3.1.3 주요 연구 시설

- 저주파 진동거동 분석용의 차량진동시험장치 및 선로상 실차시험장치.
- 열차이동 실험실(Trainborne) : 종합 시험분석 장치를 구비한 전천후 시험용 열차로 모든 철도차량의 각종 규모의 시험에 활용되고 있다. 다음 그림 7은 실차 시험중인 이 실험실의 내부를 보여 주고 있다.
- 차량의 동적 거동 및 탈선 시험장을 그림 8에서 보여 주고 있다.



그림 7. Trainborne laboratory

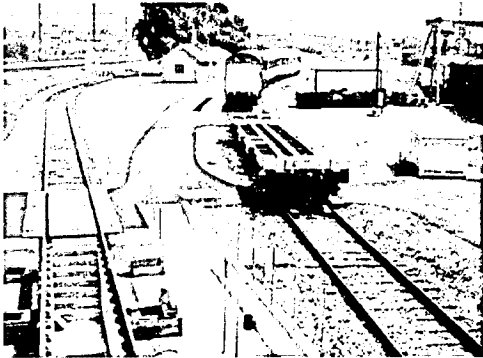


그림 8. 차량의 거동 및 탈선시험장

3.2 제동장치

그림 9와 같은 제동장치의 시험은 실험실 시험과 선로 상에서 실차시험으로 나누어 실시하며, 실험실에서는 wheel에 대한 brake block의 마찰시험과 disc에 대한 brake pad의 마찰시험으로 마찰시스템에 대한 검사를 하고, 실차시험에서는 모든 종류의 철도차량시험을 하고 있다.

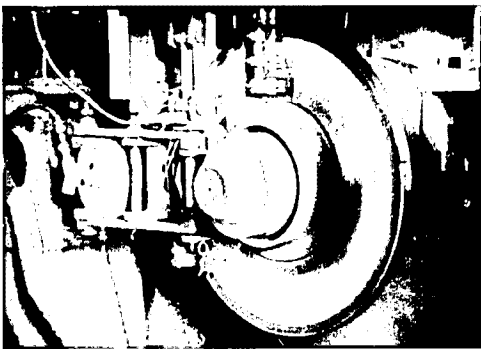


그림 9. 제동중인 Brake Disc

Vitry 시험센터에는 그림 10과 같은 최대 torque 14,000 Nm, 시속 500 km에서 제동시험을 할 수 있는 고성능 제동장치 성능시험기가 3대 설치되어 있다. 선로상의 실차시험에서는 그림 7의 Trainborne과 연결하여 제동시험을 하고, 또한 특수한 목적으로 "Slip test" 시험도 실시하고 있다.

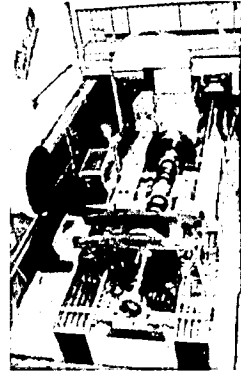


그림 10. 고성능 제동시험장치
(500 km/h, 14,000 Nm)

3.3 구조강도해석

Vitry의 구조강도해석 시험실에서는 차체 구조물의 정적시험, 피로시험 및 충돌시험을 test bench와 실차시험을 실시하고 있으며, 시험방법은 프랑스 시험규정 또는 유럽공동체의 규정에 의해 실시하여 형식승인을 하는 형식승인시험과 파손해석 및 연구개발을 위한 특수시험을 하고 있다.

여기서 수행하는 대표적인 시험으로는 대차프레임의 정적시험, 그림 11의 대차프레임의 피로 시험, 모든 철도차량의 차체에 대한 그림 12와 같은 정적부하시험, 차체 구조물의 거동을 연구

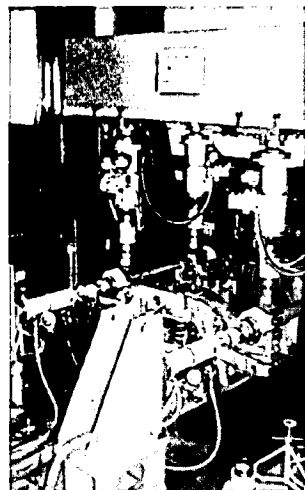


그림 11. Bogie frame의 fatigue test 장면

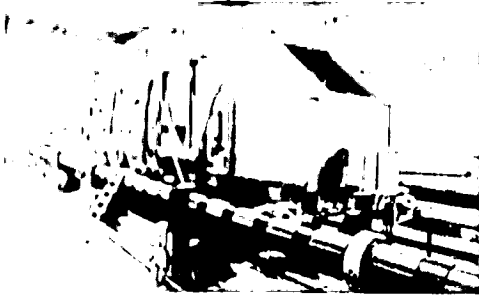
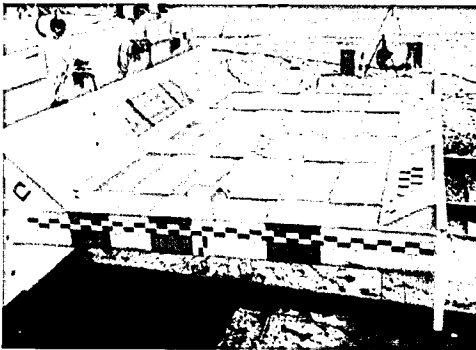


그림 12. TGV power car frame의 compression test

하기 위한 그림 13과 같은 충격시험, 모형 및 실차 충돌시험을 실시하여 차체구조물의 안전성을 향상시키고 있다.



(1) 충돌 전



(2) 충돌 후

그림 13. 차체 구조물의 충격시험 장면

4. 프랑스 Laboratoire de Levallois의 시험연구

앞의 3절에서는 SNCF의 Centre d'Essais de Vitry에서 수행하고 있는 구조안전기술 관련 연구 현황에 대하여 알아보았고 본 절에서는 Vitry 시험연구소보다 규모가 작은 Laboratoire de Levallois에 대해 알아본다. Levallois 시험실에서는 구조물을 구성하는 비금속재료의 특성과 거동, 금속 부품의 분석 및 검사에 대한 연구를 담당하고 있다.

4.1 비금속재료의 특성과 거동

Levallois 실험실의 이 부분은 고무 및 고무 금속, 각종 석유류 제품, 신소재 및 내장재, 각종 접착재, 그리고 비금속 마찰재료등에 관한 연구 개발 업무를 담당하고 있다.

현가 장치용 flexible joint 류, elastic transmission ring, seal 종류, hose, flexible mount 류, 객차내의 실내 mat 등에 사용되는 고무 및 고무 금속 부품의 재질 및 거동 특성에 관한 연구를 하고 있다. 그림 14는 오존환경에서 고무의 crazing 실험장면을 보여 주고, 그림 15는 본 연

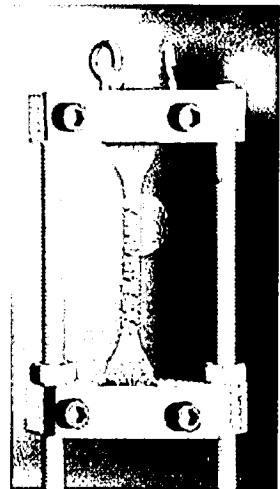


그림 14. 오존환경에서 고무의 crazing 실험장면

구실에서 취급하고 있는 TGV 객차내부의 비금속 내장재들을 보여 주고 있다.



그림 15. TGV Atlantique 1등석 객차내부의 비금속 내장재

4.2 금속 부품의 분석 및 검사

Wheel에서부터 pantograph까지 철도차량의 모든 금속 부품을 취급하고 있으며, wheel, axles, axlebox 등의 구동기어류, 제동장치 부품, 대차 및 용접 또는 볼트 체결 조립품, 차내 및 차체와 대차 연결부품에 대하여는 중점적으로 다루고 있다.

Wheel, 대차 등의 금속부품과 복합재의 비금속 부품에 대하여는 비파괴 검사를 실시하고, 구동기어류 및 용접 체결품은 피로시험을 실시하고 있다. 특히 부품의 잔류응력 측정을 위하여 초음파, strain gage, X-ray 등의 다양한 방법을

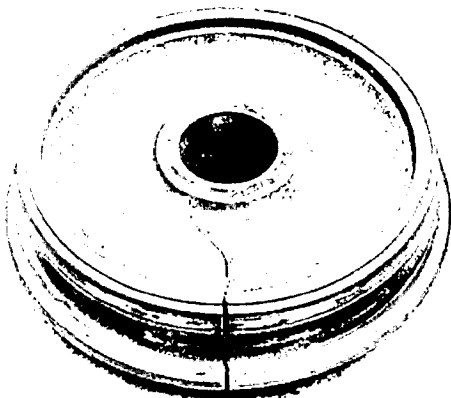


그림 16. Wheel의 crack 검사

사용하고 있다.

그림 16은 crack을 검사한 wheel을 보여 주고, 그림 17은 1:3으로 축소한 axle의 피로시험 장면을 보여 주고 있다. 그림 18은 TGV Thalys PBKA 용 Faiveley CX pantograph 동작 내구 시험 장면을 보여 주고 있다.

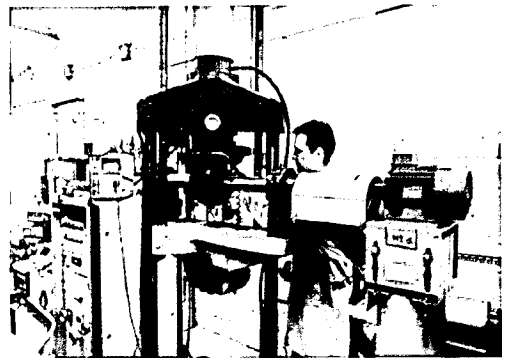


그림 17. Axle의 피로시험 (1:3 축소 모형)

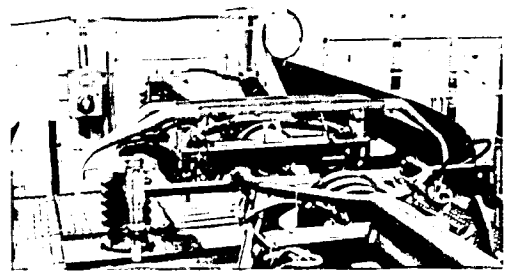


그림 18. TGV 용 Pantograph 동작 내구 시험

5. 프랑스 Équipe de EuroCrash의 시험 연구

SNCF의 Centre d'Essais de Vitry의 구조강도 해석시험실에서 실시하는 충돌시험은 충돌 속도가 15 km/h 으로서 파괴 충돌시험을 할 수 없기 때문에 고속충돌 및 파괴 충돌시의 구조물 및 부품의 동적 거동을 알기 위하여 ECN(Ecole Centrale de Nantes)에 있는 Laboratoire Mécanique et Matériaux의 EuroCrash 실험실과

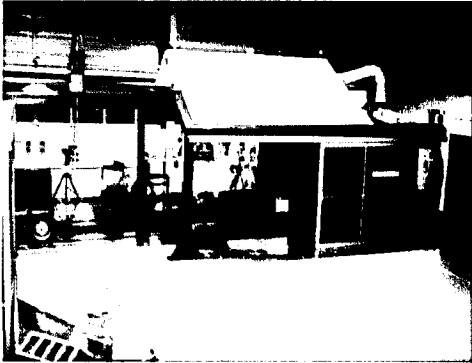


그림 19. Catapulte (1 MJ)

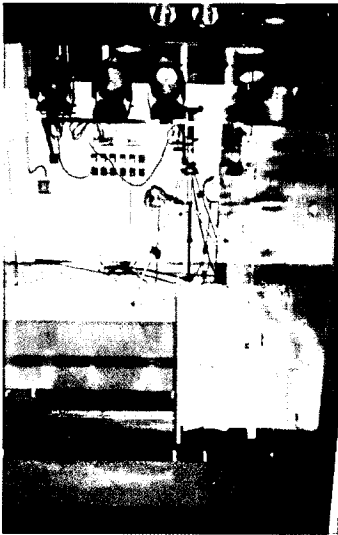


그림 20. 차세대 고속전철 구조물의 충격시험후 모양



그림 21. 차세대 철도차량용 신소재 개발을 위한 충돌후의 시험편

공동연구를 하고 있다.

EuroCrash 실험실에는 200 kJ 용량의 Catapulte와 그림 19의 1 MJ 용량의 Catapulte를 보유하여 차세대 고속전철의 구조물 및 차세대 철도차량용 신소재 개발을 하고 있다. 그림 20은 차세대 고속전철의 구조물 충격시험후의 모양을 보여 주고, 그림 21은 차세대 철도차량용 신소재 개발을 위한 충돌후의 시험편 들을 보여 주고 있다.

5. 결 론

프랑스의 고속철도는 프랑스 국철(SNCF)에서 개발을 주도하면서 사회적인 요구 조건 따라 고속철도를 개발하여 왔고 이에 부응하는 구조안전기술개발뿐만 아니라 철도차량 관련 기술개발을 위하여 관련 전문연구기관과 밀접한 관계를 유지하면서 지속적으로 개발하고 있다는 사실을 알 수 있다.

초기의 고속철도로서 1960년에 가스터빈 추진 철도(ETG)로서 시속 180-200km/h 까지 속도를 향상시켰고, 비전철로서 TGV 001이라는 이름으로 1972년 12월 세계 최고속도 시속 318km의 기록을 세웠다. 1974년 오일 쇼크의 영향으로 전철의 중요성이 재인식되어 시험용 고속전철(TGV : Zébulon)을 건설하면서 새로운 long-wheelbase power truck 개발 및 성능향상을 위한 여러 차례 개선의 과정을 거쳐 그 당시 최고속도 시속 309km의 기록을 세웠었고, 이후 기술개발을 거듭하여 1990년 5월 18일 시험용 TGV Atlantique 가 세계최고기록 시속 515.3km를 세웠다. 이와 같은 기록갱신의 밑바탕은 고속전철 및 관련 분야의 지속적인 연구개발과 이를 검증 및 평가할 수 있는 시험평가기술과 관련 시험설비에 있다는 것을 알 수 있었다.

SNCF 산하 전문 시험연구실로는 Centre d'Essais de Vitry와 Laboratoire de Levallois 이 있고, 또 연구개발기능을 보완 할 수 있는 관련

연구소 및 학계의 전문 시험실 등으로 구성되어 있다. Centre d'Essais de Vitry에서는 철도 차량의 구조안전기술에 관련된 동력학, 계동장치, 구조강도 뿐만 아니라 음향 및 공기역학, 견인 및 전기장치, 기계부품 시험평가 및 시험 지원분야로 나누어 고속철도 및 일반철도의 종합적인 연구개발 및 시험 평가 기술을 개발하고 있었다. Laboratoire de Levallois에서는 비금속재료의 특성과 거동, 금속 부품의 분석 및 검사, 환경 및 방재기술에 대한 연구 및 시험 평가 기술을 담당하고 있었다. 학계의 전문 시험실 중의 한 시험실인 Équipe de EuroCrash에서는 차세대 고속전철의 구조물 및 차세대 철도 차량용 신소재 개발을 위한 연구개발 및 실험을 수행하고 있었다.

참 고 문 헌

- [1] "The TGV Pages", The European Railway Server, Oct. 1998.
- [2] "The European Railway Picture Gallery", The European Railway Server, Oct. 1998.
- [3] "Centre d'essais et laboratoire: Vitry et Levallois", SNCF Server, Oct. 1998.
- [4] "Proceedings: World Congress on Railway Research", WCRR '97, Nov. 1997.
- [5] "Le Nouveau Banc d'Essais de Freinage du Centre d'Essais de Vitry-sur-Seine", Revue Générale des Chemins de Fer, pp.29-32, Mar., 1995.
- [6] "Le Nouveau Banc des Transmissions du Centre d'Essais de Vitry-sur-Seine", Revue Générale des Chemins de Fer, pp.5-8, Mar., 1995.