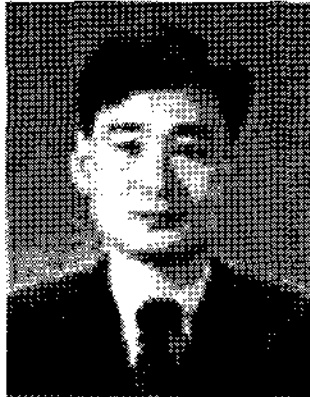


해외철도기술동향 : 전차선로-집전 분야



이 권 삼 영 |
한국철도기술연구원 집전전력연구실장

1. 머리말

2007년 4월 28일, 프랑스에서 바퀴식 열차로는 세계 최고 기록이자 경이적인 기록인 574.8km/h 라는 속도 주파 시험을 성공적으로 마쳤다. 이 시험을 참관하였던 사람의 말을 빌리면 (그는 선로를 지나는 도로교 위에서 열차가 지나갈 때 지켜보았다고 한다.) 귀를 때리는 강한 굉음과 함께 번개같이 열차가 지나갔으며, 이어서 열차 풍과 먼지가 뒤따랐다고 한다. 그래서 전차선로 집전계에서 일어나는 아크와 팬터그래프 공력 소음은 상대적으로 적은 스포트라이트를 받았으며 열차 소음과 열차 풍에 묻혀버렸다고 한다. 이를 보면서 앞으로 초고속의 열차는 밀폐된 공간에서 어느 정도의 진공상태에서 주행하는 것이 바람직하겠다는 생각을 갖게 된다. 아무튼 이 속도에서의 시험을 가능하게 한 것은 열차와 선로 분야 등 여러 분야에서 종합적 기술적 발전이 기여하였지만, 그 중에서 전차선로 집전 분야에서도 눈부신 기술 발전을 이룩하였기에 가능한 속도이었다고 생각된다.

본 글에서는 전차선로 집전 분야에서 철도 선진국을 비롯하여 세계적으로 이루어지고 있는 기술 발전 동향과 방향에 대하여 살펴보고자 한다. 이를 위하여 전차선로 집전분야를 크게 전차선로 가선 시스템 분야, 상태 모니터링 및 진단 분야, 팬터그래프 분야로 나누어 살펴보기로 한다.

2. 전차선로 가선 시스템 분야

전차선로 설비 분야에 대하여 일본의 연구 개발 동향을 요약 인용한 다음의 표를 참고하기 바란다.

일본에서는 그동안 신간선 전차선로로 헤비 컴파운드 커터너리(Heavy Compound Catenary) 타입의 가선 시스템이 오랫동안 사용되어 왔다. 헤비 컴파운드 가선은 전류용량과 전차선의 허용 마모량이 크고 가선의 진동이 비교적 작으므로 열차 수량이 많고 통과 팬터그래프의 수량이 많은 일본의 신칸센에 적합하다고 판단하여 적용된 가선 구조이다. 그러나 이 타입의 가선은 얻을 수 있는 집전 성능 측면의 장점에 비하여 가선의 구조가 복잡하다는 단점이 더 크게 부각되어온 것이

| | 성력화 | 신뢰성 | 원경로의 조화 | 기초연구 |
|--------|------------|-------------------------|------------|--------------|
| 가선구조 | 가선장력과 집전특성 | 교류용 섹션 | 고속화 가선의 검토 | 전차선용 무재의 신재료 |
| 가선재료 | 강제 전차선 적용 | 새로운 지지점 구조 | | 신재료 수평평가 |
| 팬터그래프 | | 팬터그래프 접촉성능 향상 | | 팬터그래프 이상검출 |
| 상태진단기술 | | 팬터그래프 접촉력에 의한 전차선 상태 진단 | | 이전 측정 장치의 개발 |

그림 1. 일본에서 요약한 전차선로 분야의 연구 개발 동향

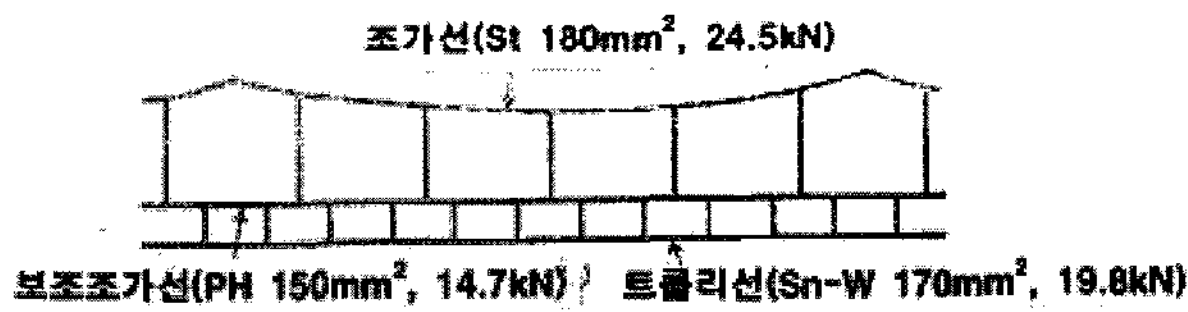


그림 2. 일본 신칸센의 헤비 컴파운드 커티너리

사실이다.

그러나, 이후 건설된 신칸센은 이전까지의 신칸센에 비해서 팬티그래프 통과 수량이 적어지고 전차선 부속품의 수량도 경감하고 전선의 총 장력도 경감하여 비용의 경감을 도모하는 것이 가능해졌다. 그래서 전차선(트롤리선)을 동복강선(CS) 전차선을 적용하고 보다 작은 직경으로도 동일한 장력을 인가하는 전차선의 개발로 260~300km/h의 고속운전이 가능한 심플 가선(simple catenary) 방식이 개발되어 적용되고 있다. 이것이 정비 신칸센 전차선로이다. 이 정비 신칸센 전차선로에 적용되고 있는 CS 전차선은 동과 강의 복합 구조에 의해 전기적 용량을 충족하면서 기계적 강도를 높이고 전차선로의 파동 전파속도를 높이는 데 핵심적인 역할을 했다.

열차속도가 300km/h를 초과하면서 후속 팬티그래프의 이선이 증가하며 CS 심플 가선방식은 현재 신칸센의 영업최고속도인 300km/h 까지 대응 가능한 적합한 성능을 가지는 것으로 확인되어 일본에서 평가하고 있다. 동북 신칸센에서 CS 전차선을 채용한 정비 신칸센이 최초로 고속용 심플 커티너리로서 사용된 이래로 일본에서도 이제는 심플 커티너리 방식이 고속용 가선으로 중심적 위치로 자리잡아가고 있는 느낌이다.

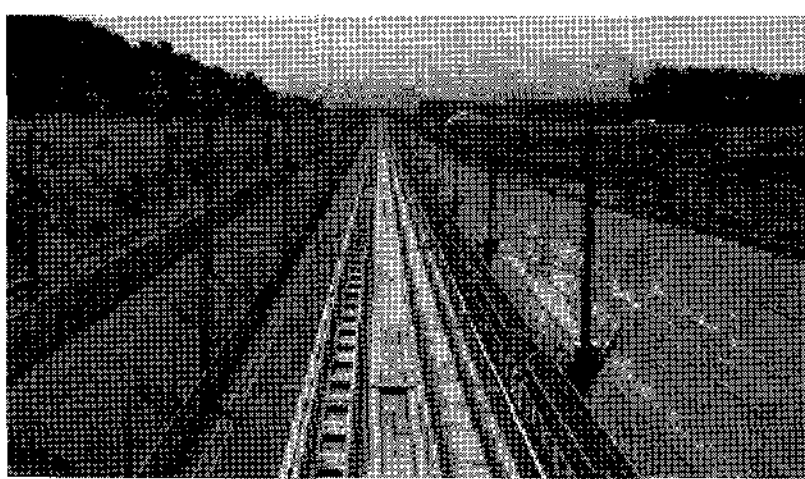


그림 4. 일본의 정비 신칸센 전차선로 전경

또 다른 일본의 기술 개발의 방향으로 CS 전차선 대신에 PHC 전차선을 사용한 심플 커티너리가 있다.

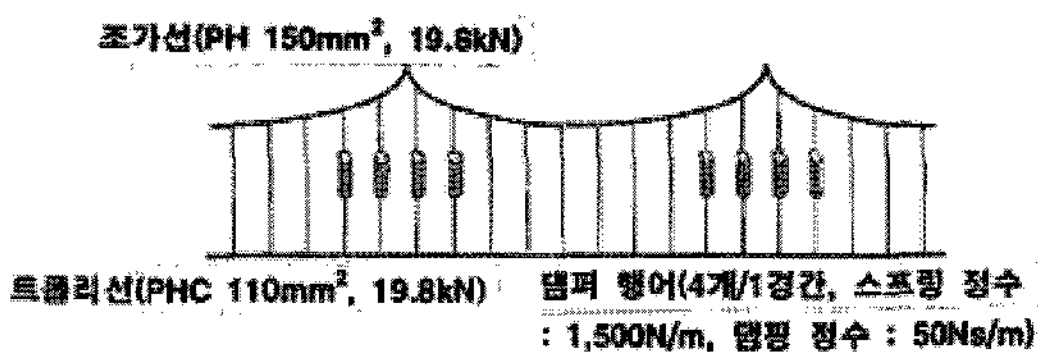


그림 5. PHC 심플 커티너리 가선 시스템

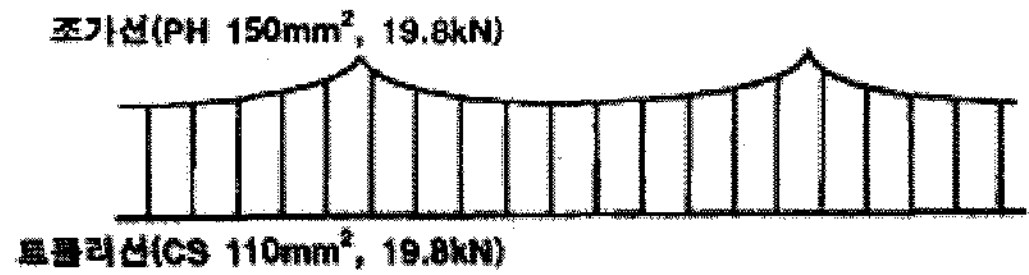


그림 3. 정비 신칸센 전차선로(CS 심플 커티너리)

PHC(Precipitation Hardening Copper Alloy)는 고강도와 고도전율을 함께 얻고자 하는 목표로 개발된 동합금으로서, 전차선의 마모 경감에 의한 교체 주기의 연장, 리사이클성이 우수한 재질의 적용 등 환경에 대한 배려의 요구에 부응하고 300km/h 이상의 고속성을 동시에 추구하는 목적으로 개발된 가선 방식이다.

PHC 전차선은 무산소동에 크롬 또는 지르코늄 등을 첨가한 석출 경화형 합금 동선으로서, 성능면에서 뛰어나지만 제조 비용이 조금 비싼 단점이 있으므로 도전성은 조금 부족하더라도 비용과 강도 측면에서는 뛰어난 Cu-Ni-Si 합금 전차선도 개발하여 시험하고 있다. PHC 심플 커티너리에서는 후속 팬티그래프의 이선 증가에 대응하기 위하여 지지점 부근에 4개의 댐퍼형 행거를 설치하여 전차선의 지지점과 지지점 사이에서 경간 전체의 스프링 정수의 평준화와 진동억제를 목표로 한 전차선 구조이다. 아울러 국부 마모에 대한 새로운 대책으로 균압선 겸용 행거의 개발 적용도 이루어지고 있다.

프랑스에서는 2007년에 새로 개통된 파리 동선부터 전차선과 조가선의 장력을 높이 새로운 가선을 선보이고 있다. 이 가선은 이전의 고속선과 마찬가지로 심플 커티너리 구조이나 전차선의 장력은 26kN, 조가선은 20kN을 사용한다. 전차선의 장력을 이렇게 높일 수 있었던 것은 청동을 섞은 동합금을 사용하였기 때문이다. 대신 전도율이 떨어지므로 조가선 단면적을 키워 통전 전류에 대하여 보완하는 구조로 하였다.

독일에서는 여전히 예전과 마찬가지로 Y-stitched 심플 가선 방식을 사용하고 있으며 전차선은 마그네슘 합금 동 전차선을 사용하여 전차선의 장력을 높이는 추세로 가고 있다.

3. 상태 모니터링 및 진단 분야

전차선로 유지보수 기법의 하나로서 시행하는 전차선로 상태 모니터링 및 진단 기술 분야에서는 독일의 경우 차량 측에 있는 팬티그래프에서 Dynamic 특성을 측정하여 이 데이터를

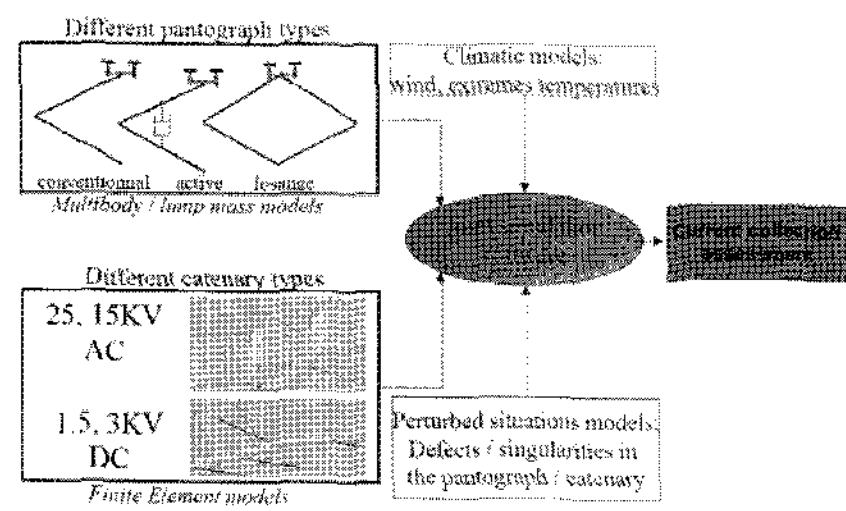


그림 6. EUROPACAS의 구축도

무선으로 전파로 전송하는 방식과 광센서를 이용하는 방식이 개발되어 실무적으로 투입되고 있다. 또한 일

본의 경우 전차선 모니터링 시스템을 텔레메트릭스 (Telemetry) 기술을 이용하는 상품을 개발하였고, 특수구간 및 중요한 구간에 설치하여 활용 중에 있다. 유럽의 철도를 위한 Telemetry 기술의 개발과 적용 사례는 EUROPAC (EUROpean Optimised PANTograph Catenary interface) 프로젝트에서 찾을 수 있다.

이 프로젝트는 팬터그래프와 전차선 사이 동적 상호작용의 특성을 파악하는데 Key Technology를 두고 있다. EUROPAC은 전차선과 팬터그래프의 측정 및 모니터링을 위한 소프트웨어 이식으로 포괄적인 시스템을 구축하였다.

EUROPAC에서 만든 EUROPACAS 소프트웨어는 전차선과 팬터그래프 사이의 다양한 형태의 영향을 받을 수 있는 기후 조건, 예상치 못한 인위적 조건, 그 외 다양한 상황에 대비하도록 고안되었으며 다음 그림은 EUROPACAS의 Schematic Diagram이다.

EUROPACAS는 선로변에 고정 설치된 센서를 통하여 전차선을 검측, 감시하고, 열차 지붕에 있는 센서를 통하여 팬터그래프의 정보를 수집하여, 두 수집된 정보를 관련 센터로 실시간으로 전송되어 모니터링 한다. 또한, EUROPACAS는 그림에

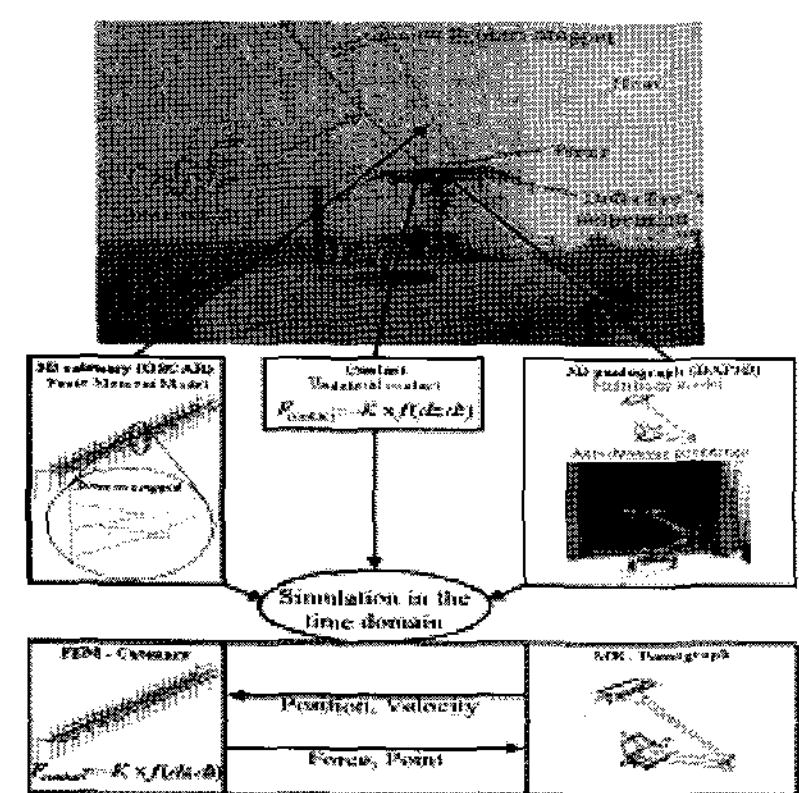


그림 7. 종합 데이터 수집 처리 경로

나타난 것처럼 OSCAR(프랑스 SNCF에서 자체 개발한 동역학 시뮬레이션 소프트웨어)와 DAP3D와 같은 버추얼 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 실시간으로

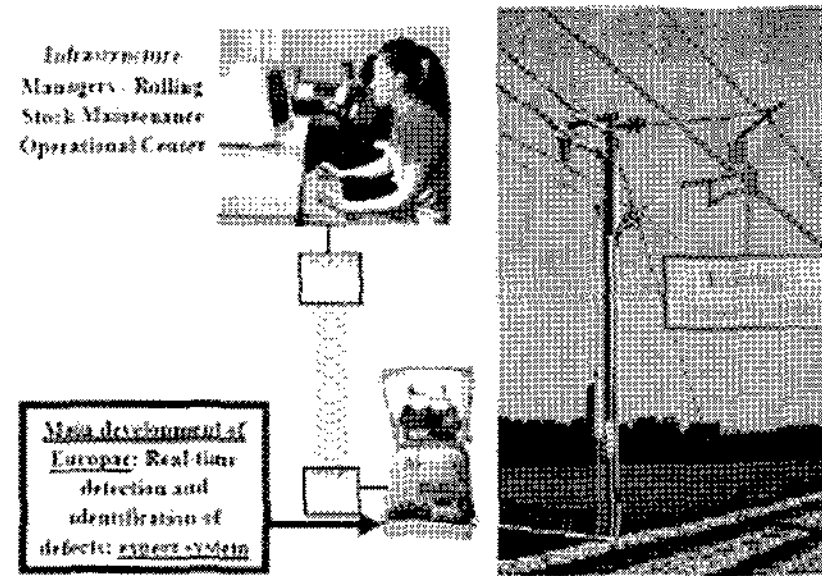


그림 8. 지상 Path 데이터 수집 경로

처리되는 정보와 연계하여 컴퓨터상에서 이상 징후를 모델링된 방법에 따라 파악할 수 있다. 센서 네트워크 및 컴퓨팅 기술은

유럽의 경우 IST 공동 연구 프로젝트로 자율적인 통신이 가능한 환경을 구축하고 있다.

전차선로 차상 검측 시스템의 경우 철도의 고속화에 따라 고속용과 기존선용으로 나누어 검측시스템이 개발되어 상품화되어 있는 상황이다. 전차선로 검측 시스템을 선도적으로 연구 개발하고 상품화한 국가로서는 이탈리아, 독일, 프랑스를 들 수 있으며 측정 방식은 레이저, 화상, 광에 기반을 둔 기술을 채택하고 있다. 검측대상으로는 전차선 높이, 편위, 마모 및 이선율 등이며 시스템 자동화, 통합화가 이미 완료되었거나 진행 중에 있다. 이선율에 대한 계측 장비로서 이선 시 발생하는 아크를 검측, 계량하는 기술 및 장치의 개발도 이루어지고 있는데 EN50317의 측정 규정을 만족하는 장비의 개발이 속속 상용화 되고 있다.

4. 팬터그래프 분야

팬터그래프 분야는 다른 분야보다도 빠르게 기술 개발이 이루어지는 분야이다. 새로운 모델의 개발이 속속 이루어지고 있으며, 보다 경량화 되고 보다 고기능화 되고 심플화 되는 방향으로 기술 발전이 이루어지고 있다. 보다 고속에 적합한 모델로 바뀌어가고 추세이다. 일본의 경우를 보더라도 다이아몬드 타입이 싱글암(Single Arm)으로 바뀌고 있으며, 저속에서도 싱글암 타입이 주류를 이루어나가는 추세로 보인다.

다른 한편으로는 일본의 새로운 신칸센 열차에서 선보인 타입으로 공기역학적 양력의 영향을 최소화 하는 방향으로의 타입의 변경이 있었다. 이것이 아래 그림과 같은 잠망경 타입의 팬터그래프이다. 이 잠망경 팬터그래프는 공기역학적 측면에서의 양호한 특성을 바탕으로 일본, 독일, 스웨덴 등에서 새로운 고속용으로 채택되고 있는 상황이다.

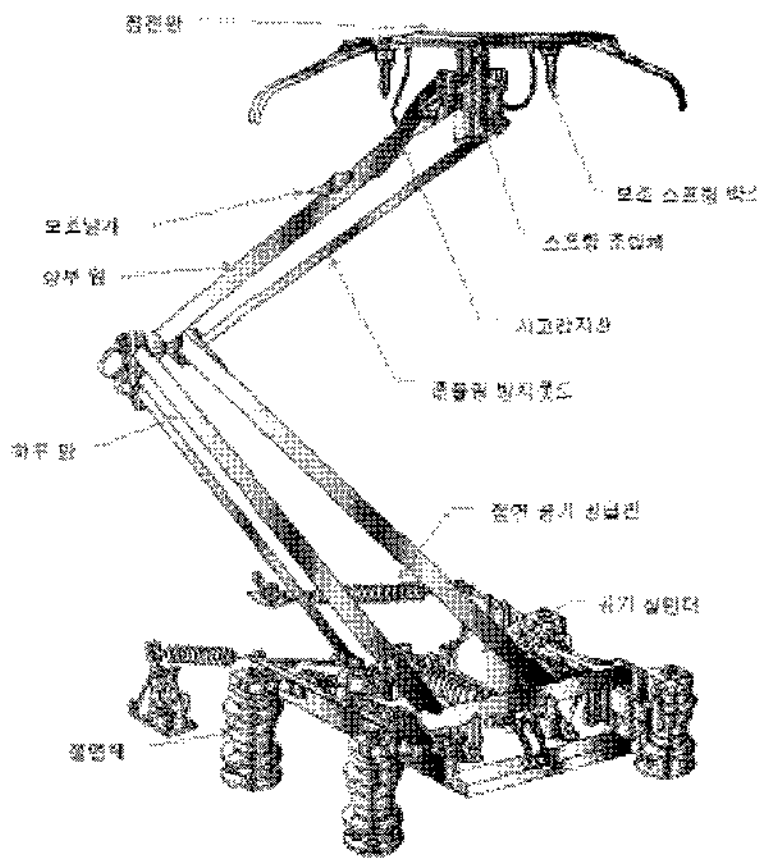


그림 9 기존의 전형적인 싱글암 패터그래프

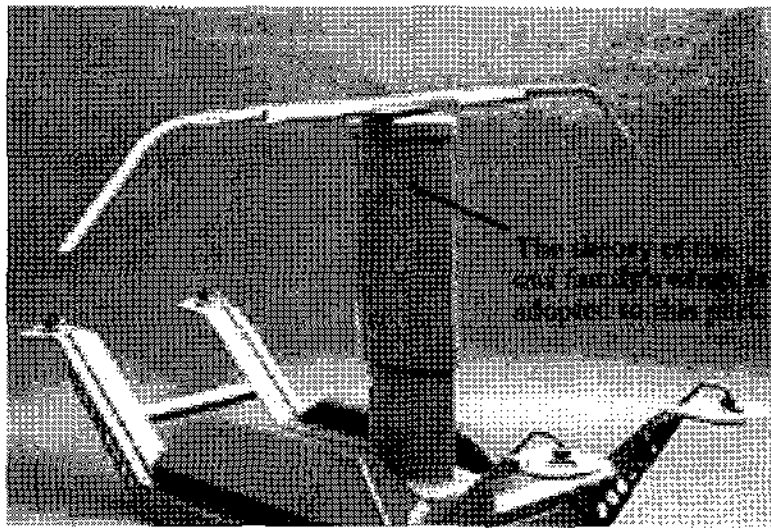


그림 10. 잠망경 형태의 패터그래프

이런 상식을 깨는 타입이 비밀스럽게 등장하였는데 2007년 4월 프랑스 574.8km/h 최고속도 시험에서 사용된 패터그래프가 그것이다. 이것은 집전 전류 용량 측면에서 단일 카본 스트랩으로 커버가 가능하다는 연구 결과를 바탕으로 경량화를 추구하고 아울러 듀얼 카본 스트랩으로 인한 동역학적 단점을 제거한다는 개념에서 등장한 것으로 보이며 일반적인 상식을 뛰어넘는 매우 실험적인 구조를 가지고 있어 전문가들을 놀라게 하고 있다.

패터그래프는 열차 속도에 제곱에 비례하는 풍압을 받으므로 고속열차의 패터그래프는 공력의 영향을 강하게 받게 된다. 패터그래프에 작용하는 공기력은 패터그래프를 가선에 압착시키는 압상력을 변화시켜 가선-패터그래프계의 접촉성능에 큰 영향을 주거나 패터그래프에 의해 난기류로 되어 공력음이 발생하여 소음 발생원이 된다. 일본에서는 패터그래프에 감압

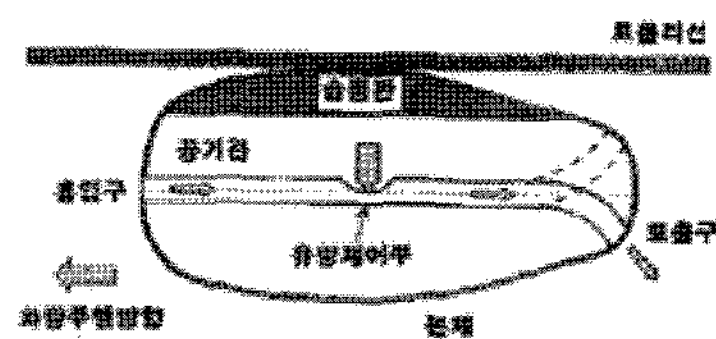


그림 11. 패터그래프 양력제어 메커니즘

또 다른 한 가지는 프랑스에서 새로 등장한 싱글 카본 스트랩(Single Carbon Strap) 타입이다. 일반적으로 이제까지 대부분의 패터그래프는 듀얼 카본 스트랩을 갖는 타입이었다. 그러나 이런 상식을 깨는 타입이 비밀스럽게 등장하였는데 2007년 4월 프랑스 574.8km/h 최고속도 시험에서 사용된 패터그래프가 그것이다. 이것은 집전 전류 용량 측면에서 단일 카본 스트랩으로 커버가 가능하다는 연구 결과를 바탕으로 경량화를 추구하고 아울러 듀얼 카본 스트랩으로 인한 동역학적 단점을 제거한다는 개념에서 등장한 것으로 보이며 일반적인 상식을 뛰어넘는 매우 실험적인 구조를 가지고 있어 전문가들을 놀라게 하고 있다.

패터그래프는 열차 속도에 제곱에 비례하는 풍압을 받으므로 고속열차의 패터그래프는 공력의 영향을 강하게 받게 된다. 패터그래프에 작용하는 공기력은 패터그래프를 가선에 압착시키는 압상력을 변화시켜 가선-패터그래프계의 접촉성능에 큰 영향을 주거나 패터그래프에 의해 난기류로 되어 공력음이 발생하여 소음 발생원이 된다. 일본에서는 패터그래프에 감압도료를 칠하고 감압도료에 의한 압력 계측기술을 개발하고 있다. 감압도료는 압력변화에 대해서 발광 특성이 변화하는

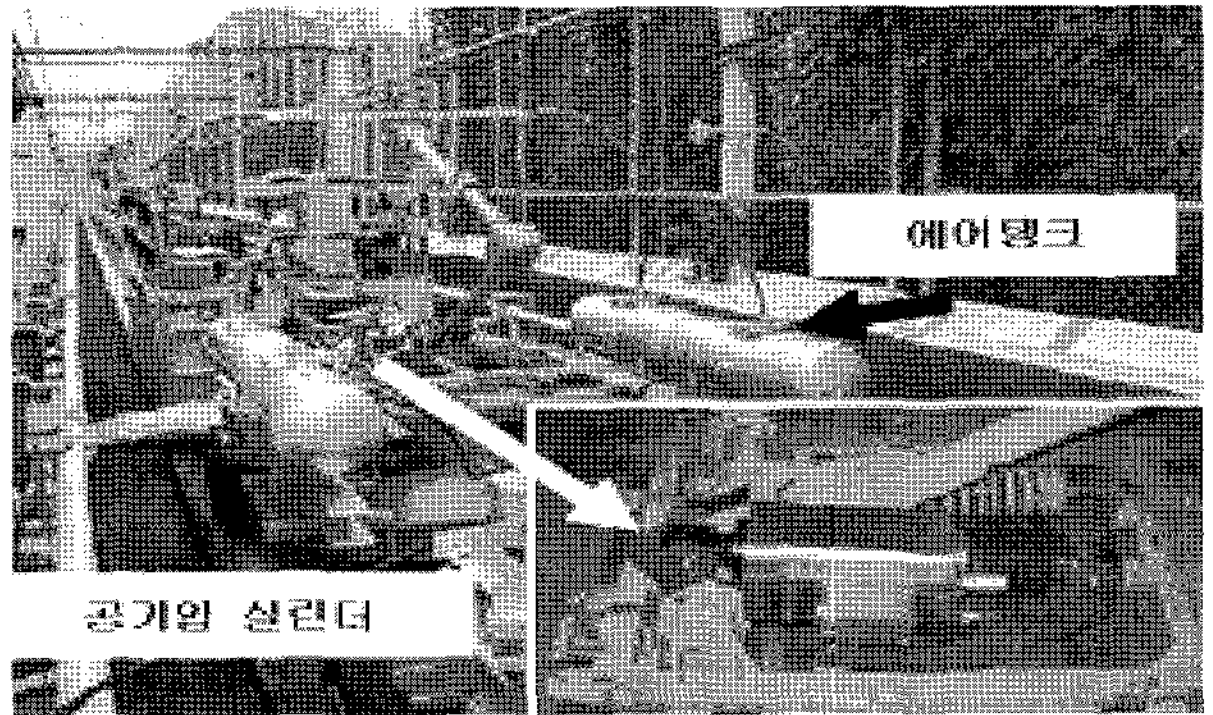


그림 12. 접촉력 능동 제어 패터그래프

특성을 가지는 특수도료로 이 도료를 패터그래프 또는 그 부속품에 도포하고 그 발광량의 변화를 TV 카메라 등으로 계측하면 패터그래프 표면의 압력분포를 계측할 수 있다. 감압도료에 의한 압력 계측은 산소농도에 의해 발광강도가 변화하는 감압색소와 그 색소를 결합시키는 파인더로 구성된다. 공기전체 압력의 21%가 산소의 압력이고 산소농도는 산소의 압력에 비례하므로 산소의 농도를 알면 산소의 압력을 알 수 있으며 최종적으로 공기의 압력인 공력의 분포를 측정하는 것이 가능하다.

한편 패터그래프의 공력 특성을 제어하여 패터그래프의 양력을 제어하는 방법의 적용성 검토도 연구되고 있다. 다음의 그림은 패터그래프의 양력 제어 메커니즘의 예를 보이고 있다. 전차선과 패터그래프 사이의 접촉력을 실시간으로 제어하여 집전 성능 특성을 향상시키기 위한 능동 제어(Active Control) 패터그래프에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으며 시작 모델까지 개발되고 있다.

5. 맺음말

전차선로-집전계 분야는 앞에서 언급한 세부 분야 외에도 많은 기술 분야가 있다. 여기서 언급한 것은 일부분에 불과하다. 따라서 본 글을 전차선로-집전계의 해외 기술 동향이라고 타이틀을 붙인 것에 대하여 부끄러움을 숨길 수 없다. 그러나 자명한 것은 전차선로-집전계는 지속적으로 기술 발전이 이루어지고 있으며, 그 속도는 더욱 가속화 되고 있다는 점이다. 이러한 세계적인 추세를 면밀히 파악하여 우리의 기술 개발 방향 설정에 반영하여야 할 것이며, 그렇게 함으로써 시행 오류를 줄일 수 있을 것이다. ☺