

전기철도 고속화에 대응한 가선구조에 대한 기초연구

A Basic Study of Catenary System Corresponding to Speed-Up of the Rail Way

양 응 초 + 최 창 규 ++ 창 상 훈+++
yang ung—chow choi chang—kyu chang sang—hoon

ABSTRACT

Dopper should performance not only to constrain rolling and yawing system but also to develop capability of pantograph.

In orde to get purpose, the survey and study that the type of dropper which convert "I" type dropper into "Y" type that performance to constrain rolling,yawing and jamping of catenary system simultaneously.

1. 서론

전차선로의 가선구조에서 전차선이 궤도면에 대하여 수평을 유지하기 위해 커티너리 곡선의 형태를 유지하는 조가선에 드로퍼를 이용하여 전차선을 지지하고 있다.

이러한 드로퍼는 전차선로 공간에 대하여 일정한 간격으로 여러개 설치되고 있으며 설치수량에 따라 열차의 속도가 증가되는 것이 실증에 의해 증명되고 있으며 최근에는 열차속도가 270km/h 까지 운행되고 있다.

전차선로 가선구조에서 이외에도 다양한 설비가 설치되며 특히 전차선로에서는 200-300m 마다 균압선을 이용하여 전차선과 조가선을 연결하여 등전위를 이루도록 하고 있으며 운전전류가 큰 구간(수도권)에서는 균압구간을 1/2 이하로 단축하여 설치하고 전기차가 상시 정차 출발하는 장소에서는 반드시 균압 설비를 설치하고 있다.

이에 따라 드로퍼의 형상을 개선하여 균압선의 역할과 드로퍼의 역할을 동시에 수행할수 있는 드로퍼가 전차선로에 설치된다면 전차선로의 전체 무게를 경감하여 상대적으로 파동전파속도를 증가 시킬수있을 뿐만 아니라 전차선로에서 기계적 접촉점을 감소시켜 경점을 경감시키고 아울러 유지,보수 측면에서도 기존선로방식(균압선 과 드로퍼 별도설치) 에서보다 경제성을 확보 할수있다.

따라서 기존의 I형 드로퍼 형태를 Y형으로 형태 변경하여 전차선로에 적용하였을 경우 기계적인 측면에서 진동계수의 변화를 검토해야 하므로 전차선로의 진동변화를 예측하고자 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 7.0 을 이용하여 전차선의 진동 특성 시뮬레이션을 실시하였으며 시뮬레이션결과 Y형태의 드로퍼도 I형 드로퍼에 비하여 진동특성의 변화는 차이가 없는 현상을 나타내었다.

본 논문은 이러한 내용에 대하여 연구 검토 하고자한다.

+ 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정,학생회원

++ 서울산업대학교 교수, 공학박사,단체회원

+++ 한국철도기술연구원 책임 연구원, 공학박사,정회원

2. 가선 구조에서 방진(防振) 기술 사례조사 분석

일본 철도종합 기술 연구소에서 발표된 집전기술에 관계된 논문(고속화에 있어서 가선계의 발전기술)에서는 가선 진동이 집전성능에 주는 영향에 대해 현(弦)-질점(質點)모델 및 시뮬레이션에 의한 해석 집전 실험 장치에 의한 기초, 현차주행실험 등에 실시하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 팬터 그래프의 접촉력 변동은 행거 지점등에서의 반사되나 선행 팬터그래프에 의한 진행파등 팬터 그래프로 입사하는 파동의 영향을 받는다.
- (2) 이파동의 영향을 경감하기 위해 파동전파의 감쇠향상, 반사파가 적은 가선구조로 하는 것 등이 유효하다.
- (3) 열차 주행시험 등으로 가선 진동 저감에 따른 집전성능의 개선 효과를 확인 하였다.

위와 같은 결론을 도출하고도 가선 진동과 집전 성능과의 관련에 대해서 현상해명이 충분하지 않아 앞으로 지속적인 연구가 필요하다는 의견을 제시하였다.

3. 일본의 방진 행거, 댐퍼 행거의 개발 현황

일본에서 개발된 방진 행거와 댐퍼행거는 감쇠 기구 및 스프링 정수가 다른 두 종류의 방진형 행거를 개발하였다. 그림1에 이들의 구조를 나타내었다.

댐퍼 행거는 특히 스프링 정수를 작게 하기 위해 개발한 것으로 스프링 기구에 코일 스프링을 이용하고 있다. 스프링 정수는 2.5~3.5kN/m정도이며, 코일 형상을 바꿈으로써 스프링 정수를 변경할 수 있게 하였다. 또, 감쇠 기구는, 원통 내경(內徑)과 피스톤 링 간의 접동 마찰력을 이용하고 있으며 감쇠 계수는 50Ns/m 정도이다.

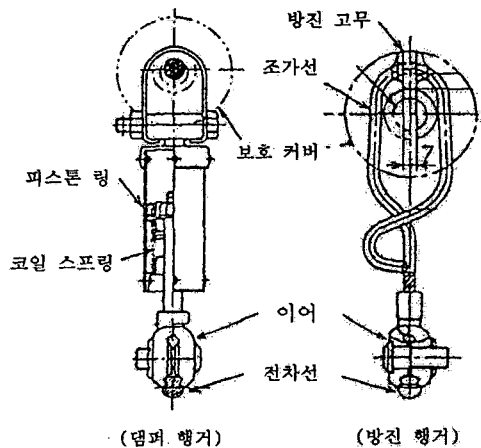


그림1. 방진형 행거의 구조

Fig.1 Configuration of damping type hanger

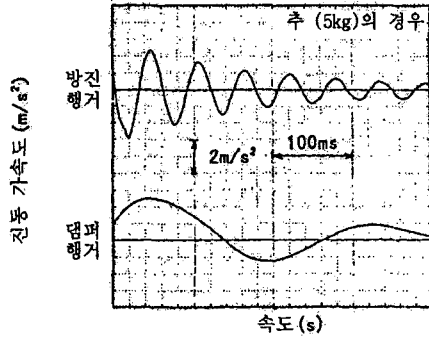
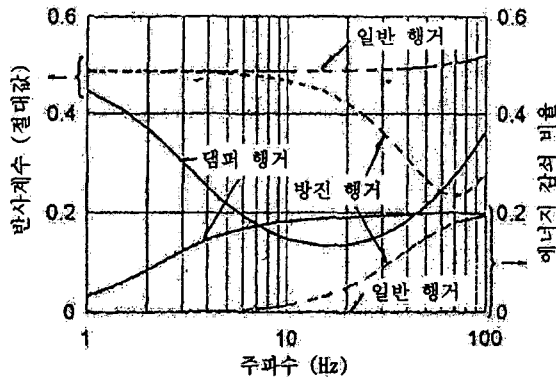


그림2. 방진형 행거의 자유 진동 파형

Fig.2 Free vibration of damping type hanger

한편, 방진 행거는 특히, 경제적이며 간소한 설비를 겨냥하여 개발한 것이며, 행거 커버에 접촉하는 행거 천정부분에 방진 고무를 가황(加黃) 접착한 구조로, 고무 재질은 내후성, 온도 의존성 등을 고려해서 클로로프렌(chloroprene)고무(CR)로 하고 있다.

스프링 정수는, 댐퍼 행거보다 높아 52~60kN/m 정도이다. 그리고, 감쇠계수는 85Ns/m 정도이다. 또한 상기(上記)의 스프링 정수 및 감쇠계수는 행거 이어 부분에 추를 내려뜨려 자유 진동시킨 경우의 이어 부분 진동 가속도 파형으로부터 구한 것이다. 그림3에 방진 행거 및 댐퍼 행거의 자유 진동파형을 나타내었고 헤비 컴파운드 가선의 전차선과 보조 조가선 간에 방진형 행거의 에너지 감쇠 비율 및 반사계수의 주파수 특성을 나타내었다. 에너지 감쇠 비율이 크면서 동시에 반사계수가 작은 주파수 범위는, 스프링 정수가 비교적 작은 댐퍼 행거에서는 수 Hz 이상의 비교적 넓은 주파수 범위인데 비해, 방진 행거는 수십Hz 이상이 되고 있다. 각각의 주파수에서 가선 진동 감쇠 효과를 기대할 수 있다.



댐퍼 행거 $m_r=0.2\text{kg}$, $m_s=0.6\text{kg}$, $k=2.7\text{kN/m}$, $D=60\text{Ns/m}$
 방진 행거 $m_r=0.2\text{kg}$, $m_s=0\text{kg}$, $k=55\text{kN/m}$, $D=85\text{Ns/m}$
 선조(線條) $\rho_r=1.51\text{kg/g}$, $\rho_w=1.375\text{kg/g}$, $T_r=14.7\text{kN}$, $T_w=14.7\text{kN}$

그림3. 방진형 행거의 반사계수-에너지 감쇠비율
 Fig.3 Reflection factor and energy damping ratio

4. Y-형 드로퍼의 진동,도약특성 해석

4-1 유한요소 해석 방법

가선구조에 대한 기초연구를 위하여 현행 열차에서 사용되고 있는 기존 드로퍼를 대상으로 유한요소 해석을 수행하였으며, 본 연구에서는 실질적인 구조에 접근하여 조가선과 드로퍼는 링크로 가정하고 전차선은 빔 요소로서 설정하였다

가선구조의 기하학적 형상은 상용 CAD 소프트웨어인 Auto-Cad 를 이용하여 2차원에 모델로 부분 구성하였고, 해석에 사용된 소프트웨어는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 7.0이고, Fig.1에서 보는 바와 같이 기존 드로퍼 형상에 사용되는 요소는 해석에 사용되는 Beam3과 링크 해석에 사용되는 Rink1의 요소를 사용하였다

응력 해석 시에 전차선과 조가선사이의 드로퍼의 체결에 의한 응력효과는 고려치 않았으며, 또한 상온에서는 시간에 따라 물질상수의 변화를 일정하다고 가정하고 해석을 수행한다.

경계조건으로는 Fig.2 는 조가선과 전차선의 자중에 의한 변위를 보여주며, 실제 조가선과 전차선에는 그 자체무게와 중력을 고려해서 분포하중을 가하는 것으로 가정하였다.

또한, 드로퍼 길이에 따른 처짐을 알아보기 위하여 현재 드로퍼 허용길이인 150~960mm 사이에서의 임의의 한점에서 해석을 수행하였다.

Table 1,2,3은 본 해석에 사용된 조가선, 전차선 및 드로퍼의 물리적 물성치이다.

Table 1. Material properties for FEM analysis (The aid line)

Propertise	Numercial values
Density, ρ (kg/m ³)	8.87×10^3 kg/m ³
Module, Pa (kg/m ³)	1.121688×10^{10} kg/m ³
Pungasong	0.335
Per unit weight(kg/m)	0.605 kg/m
Section (m ²)	6.54×10^{-5} m ²
단면 이차 모멘트 (m ⁴)	3.42464×10^{-10} m ⁴

Table 2. Material properties for FEM analysis (Thestreetcarline)

Propertise	Numercial values
Density, ρ (kg/m ³)	8.87×10^3 kg/m ³
Module, Pa (kg/m ³)	1.121688×10^{10} kg/m ³
Pungasong	0.335
Per unit weigt(kg/m)	1.565 kg/m
Section (m ²)	0.00017636 m ²
단면 이차 모멘트 (m ⁴)	2.313×10^{-9} m ⁴

Table 3. Material properties for FEM analysis (Droper)

Propertise	Numercial values
Density, ρ (kg/m ³)	8.87×10^3 kg/m ³
Module, Pa (kg/m ²)	1.121688×10^{10} kg/m ²
Pungasong	0.335
Per unit weight (kg/m)	0.013 kg/m
Section (m ²)	1.2×10^{-5} m ²
단면 이차 모멘트 (m ⁴)	9.808×10^{-12} m ⁴

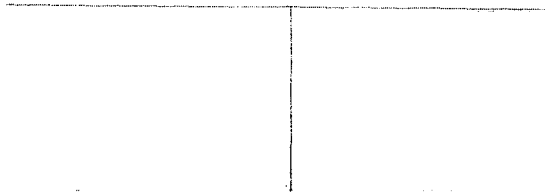
Fig 4-1. 기존 드로퍼 Modeling

DISPLACEMENT
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 DMX =-.01051

.OCT.
 PLOT

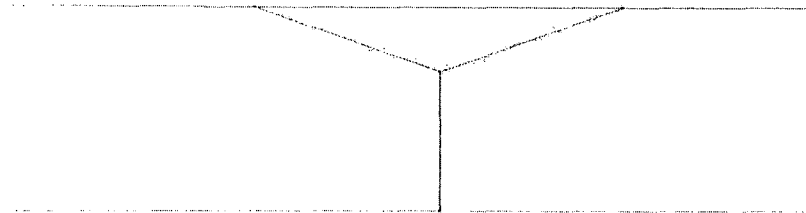


Fig 4-2. 기존 드로퍼 Modeling 확대



전체 자중을 고려하여 양단 고정 하여 해석
 변위는 약 1cm 정도의 처짐이 발생 한 걸 볼 수 있다

5. 유한요소해석 결과

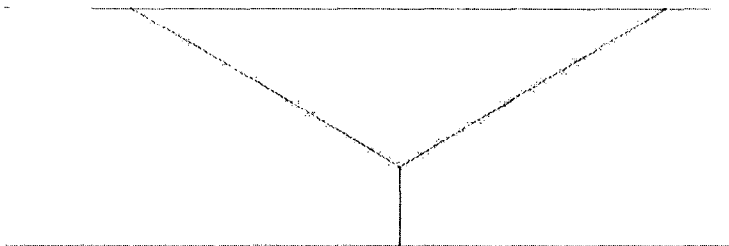


DISPLACEMENT OCT
 STEP=1 PLC
 SUB =1
 TIME=1
 DMX =.072824



Fig 5-1. 개선 드로퍼 Modeling (1/3)

전체 자중을 고려하여 양단 고정 하여 해석
 변위는 약 7cm 정도의 처짐이 발생 한 걸 볼 수 있다



DISPLACEMENT OCT
 STEP=1 PLC
 SUB =1
 TIME=1
 DMX =.068631



Fig 5-2. 개선 드로퍼 Modeling 확대(2/3)

전체 자중을 고려하여 양단 고정 하여 해석
 변위는 약 6cm 정도의 처짐이 발생 한 걸 볼 수 있다

모델해석 결과

	기존	1/3 Y	2/3 Y
1	0.29817E-01	0.14566E-01	0.12989E-01
2	0.52235E-01	0.21058E-01	0.25036E-01
3	0.98389E-01	0.23132E-01	0.3612E-01
4	0.11406	0.24169E-01	0.40964E-01

6. 결론

조가선과 전차선을 Y드로퍼 형상으로 연결 하였을 때 전체길이에 반해 위치별 형태를 변화시켜 보아도 처짐에 정도는 별다른 차이가 없다는 것을 위의 해석결과에서 보는 것과 마찬가지로 알 수가 있다.

또한 5kgf의 압상력이 가해지는 경우에는 자중에 비하여 미소한 값이기 때문에 응력의 차이를 발견하지 못했다.

고유진동수의 경우 Y드로퍼형상을 사용한 경우 다소 진동수가 감소하였으나 전체 성능에는 큰 영향을 미치지 못하였다.

따라서 위치에 따른 처짐 상태나 진동도약의 차이도 거의 없다는 것을 알수 있으며 따라서 I-형 드로퍼를 Y-형태로 형상을 개선하고 균압선의 역할을 동시에 수행 하도록 하였을때 전차선로 전체 가선구조상으로 고려하여 보면 별도의 균압설비를 설치하지 않아도 되므로 경제적인뿐만 아니라 유지,보수 측면 에서도 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

- | | | |
|------------|-------------------------|------------------|
| 1. 김양수,유해출 | 전기철도 공학 | 동일출판사 1999. 4 |
| 2. 철도경영연수원 | 고속철도 전차선로 (1) (2) | 철도경영연수원 2000. 11 |
| 3. 창 상 훈 | 고속화에 대응한 가선구조의 특성 최적화방안 | 한국철도기술원 2000. 12 |
| 4. 창 상 훈 | 가선시스템 설계요소기술 최적화방안 | 한국철도기술원 2001. 12 |
| 5. 철 도 청 | 고속철도 설비시설도 및 부품도 | 철도청 |
| 6. 中田一成 외1 | 고속화에 있어서 가선계의 방진기술 | 철도종합기술연구소1995. 9 |
| 7. 中田一成 외2 | 가선 진동감쇄에의한 이선저검수법 의 연구 | 철도종합기술연구소 1997. |
| 8. 한국전력공사 | 이도설계 | 한국전력공사 1998. |