

# 사전이도 적용에 따른 드로퍼에 작용하는 하중 예측

## Prediction of the force on the dropper according to the pre-sag

이기원†      조용현\*      창상훈\*\*      김형철\*\*\*\*  
Kiwon Lee†, Hyeon Young Cho\*, Sanghoon Chang\*\*, Hyungchul Kim\*\*\*\*

### ABSTRACT

For the improvement of a train speed in the conventional line from overhead system point of view, it is necessary to approach not only in the aspect of the increasement of tension for catenary but the application of a pre-sag. A certain tension acting on a dropper is removed when it is slack by the pantograph passing. Right after the pantograph passes, the dynamic force caused by the mass of contact wire acts on the dropper. If the pre-sag is applied to the catenary, the static force on the dropper is increased. For the assurance of the safety for the dropper, it is necessary to predict the dynamic force. The purpose of this study is to predict and analyze the force on the dropper according to the applied pre-sag.

### 1. 서론

최근 우리나라 전차선로에 대한 연구는 호남선 및 충북선 등 기존선에 대한 속도향상, 200km/h급 전차선로 개발, 그리고 350km/h급 호남 고속철도의 개발 등 다양한 속도에 걸쳐서 수행되고 있다. 열차에 전력을 공급하는 전차선로 시스템은 이동하는 팬터그래프가 직접 접촉하면서 열차에 전기를 공급하는 전차선(contact wire), 드로퍼(dropper)를 통해 전차선을 현수하는 조가선(messenger wire)을 지지하는 가동브래킷, 그리고 전차선에 편위(stagger)를 주는 곡선당김금구(steady arem) 등으로 구성되어 있다.

전차선을 조가하는 목적으로 사용하는 드로퍼는 와이어(wire)를 꼬아서 만든 와이어 로프(stranded wire rope)인 드로퍼(선)와 전차선 및 조가선을 클램핑하는 스프링용 인칭동 등을 사용한 클램프로 이루어져 있다. 드로퍼는 전차선의 자중에 의해 일정한 인장 하중을 받고 있다가, 열차가 드로퍼 위치를 통과할 때 팬터그래프의 압상력에 의해 전차선이 들어 올리지면서 드로퍼가 느슨하게(slack) 된 후, 팬터그래프가 지나간 후 전차선 자중에 의해 다시 드로퍼가 팽팽해지는 변동 하중을 받는다. 또한, 전차선 장력과 드로퍼 간격 등의 전차선로 조건과 열차 속도에 따라 드로퍼에 작용하는 정적 및 동적 하중이 달라진다. 동적 하중을 받고 있기 때문에 파단 장애가 발생함에 따라 원인분석에 대한 연구가 수행되었고 [1, 2], 드로퍼 안전성을 확보하기 위한 시험방법에 대한 연구도 수행되었다[3, 4].

현재 최고 시속 150 km/h의 속도로 운영되고 있는 호남 기존선은 틸틸열차(TTX) 및 KTX의 증속을 위하여 기존 전차선로의 일부 개량을 통하여 속도 향상에 대한 연구를 진행하였다[5, 6]. 이 연구에서는 전차선 사전이도를 1/1,000까지 적용하면 집전성능이 향상되고 곡선당김금구 위치에서의 전차선 압상량이 작아져서 속도 향상을 할 수 있다는 결론을 도출하였다. 사전이도가 적용되면 드로퍼에 작용하는 정적하중이 커지고 속도 향상에 따라 진동 레벨이 올라간다. 따라서 드로퍼에 대한 안전성을 확보하기 위

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 선임연구원  
E-mail : kenlee@krti.re.kr  
TEL : (031)460-5422 FAX : (031)460-5459

\* 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 책임연구원

\*\* 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 수석연구원

\*\*\* 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 선임연구원

하여 속도 향상 및 사전이도 적용 시 현재 사용하고 있는 드로퍼에 작용하는 정적 하중 및 동적 하중에 대한 예측이 필요하다.

본 연구에서는 전차선로 동특성 예측 프로그램을 이용하여 전차선로의 사전이도 크기 및 열차 속도에 따라 드로퍼에 작용하는 정적 하중 및 동적 하중을 예측하였다.

## 2. 본론

사전이도 크기 등에 따른 드로퍼에 작용하는 정적 하중 및 동적 하중계산을 위하여 팬터그래프/전차선로간 동특성 예측 프로그램을 사용하였다. 한국철도기술연구원에서 개발한 프로그램은 드로퍼가 느슨해지는 비선형성도 고려하였다. 그리고 25 kV의 전기가 통하는 활선상태에서 열차가 통과할 때 전차선로의 동적 거동을 측정할 수 있는 텔레메트리 시스템[10]을 이용하여 현장 시험을 실시하였고, 현장 시험 결과와의 비교를 통하여 프로그램의 신뢰성을 확보하였다[7 ~ 9].

### 2.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션에서는 경부고속철도 및 호남선에서 운행 중인 KTX의 GPU 팬터그래프를 고려하였고, 팬터그래프의 수학적 모델링의 파라미터는 그림 1 및 표 1과 같다.

표 1 KTX GPU 팬터그래프 파라미터 [11]

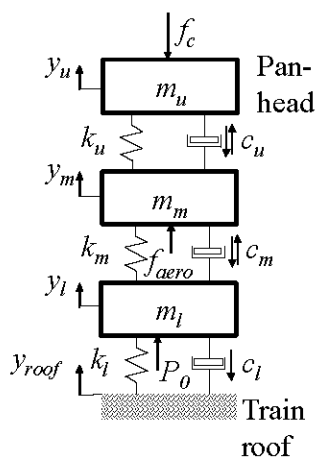


그림 1 KTX GPU팬터그래프의 수학적 모델링

파라미터	Value
팬헤드 무게 [kg]	$m_u = 8$
상부 프레임 무게 [kg]	$m_m = 9.1$
하부 프레임 무게 [kg]	$m_l = 23$
상부 프레임과 팬헤드사이의 댐핑 계수 [Ns/m]	$c_u = 0$
상부 프레임과 하부 프레임사이의 댐핑 계수 [Ns/m]	$c_m = 60$
열차 지붕과 하부 프레임사이의 댐핑 계수 [Ns/m]	$c_l = 140$
정적 압상력 [N]	$P_0 = 70$
공력계수 [N] (V in m/s)	$f_{aero} = 0.018 V^2$
상부 프레임과 팬헤드사이의 스프링 계수 [N/m]	$k_u = 9,000$
상부 프레임과 하부 프레임사이의 스프링 계수 [N/m]	$k_m = 1,200$
열차 지붕과 하부 프레임사이의 스프링 계수 [N/m]	$k_l = 1$

그리고 호남선 전차선로 조건은 표 2와 같다.

표 2 호남선 전차선로 조건

전차선로 조건	Value
전차선 선종	Cu110 mm <sup>2</sup>
전차선 장력	1,2000 N
조가선 선종	Bronze 65 mm <sup>2</sup>
조가선 장력	1,2000 N
가고	960 mm

표 3 시뮬레이션 케이스

케이스		열차 속도	사전이도
케이스 1	케이스 1.1	150 km/h	N/A
	케이스 2.1	150 km/h	1/2,000
케이스 2	케이스 2.2	180 km/h	"
	케이스 3.1	150 km/h	1/1,000
케이스 3	케이스 3.2	180 km/h	"

위와 같은 호남선 전차선로 조건을 고려하여 전차선로는 10 경간을 모델링하였고, 가운데 1경간을 유효 데이터로 처리하였다. 열차 속도에 따라 드로퍼에 작용하는 정적 하중의 크기를 비교하기 위하여 호남선 최고속도인 150 km/h 그리고 속도 향상을 위한 속도인 180 km/h에서 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 사전이도의 크기에 다른 영향을 고려하기 위하여 사전이도 비적용, 사전이도 1/2,000 및 1/1,000을 고려하여 50 m 표준경간에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 케이스를 정리하면 표 3과 같다.

## 2.2 정적 하중 예측

정적하중을 계산하기 위하여 전차선로를 그림 2와 같이 모델링하였다. 그림 3 ~ 그림 5는 드로퍼에 작용하는 정적 하중을 계산한 결과이다. 앞 절에서 고려한 케이스 모두 첫 번째 드로퍼에서 제일 큰 하중이 작용하였다. 사전이도가 없을 때 최대 정하중은 약 59 N이 작용하였고, 사전이도가 1/1,000일 때 약 96 N의 하중이, 그리고 사전이도가 1/2,000일 때는 약 61 N의 정적 하중이 드로퍼에 작용하였다.

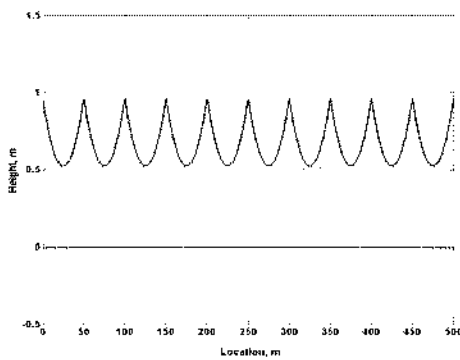


그림 2 전차선로 형상(케이스 1)

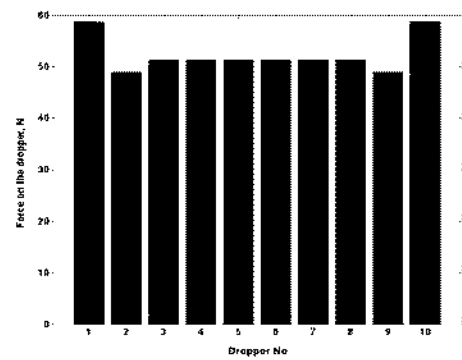


그림 3 정적하중(케이스 1)

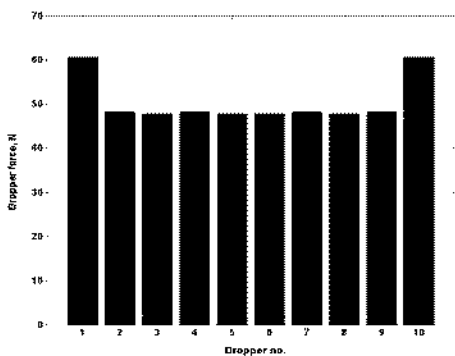


그림 4 정적하중(케이스 2.1 & 2.2)

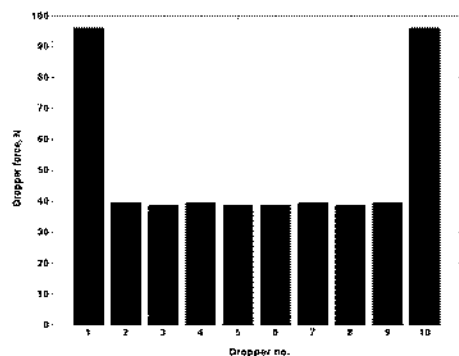


그림 5 정적하중(케이스 3.1 및 3.2)

### 2.3 동적 하중 예측

표준 경간 50 m에서 사전이도가 없고 열차 속도가 150 km/h일 때 정하중이 가장 큰 첫 번째 드로퍼에 작용하는 동적 하중을 계산 결과는 그림 6과 같다. 그리고, 사전이도를 1/2,000로 적용하고, 열차 속도가 150 km/h 및 180 km/h일 때 첫 번째 드로퍼에 작용하는 동적 하중을 계산한 결과는 각각 그림 7 및 8과 같다. 고속인 180km/h에서 팬터그래프가 통과한 직후에 드로퍼에 작용하는 진동 레벨이 상대적으로 더 높게 나타났다. 케이스 1의 사전이도가 없는 경우와 정하중이 조금 큰 케이스 2.1(사전이도 1/2,000 적용)과 비교하여 사전이도가 있는 경우가 드로퍼에 작용하는 정하중이 조금 큰데도 불구하고 최대 동하중이 작게 나타난 이유는, 사전이도에 의하여 전차선로의 진동 특성이 변하기 때문인 것으로 추론된다.

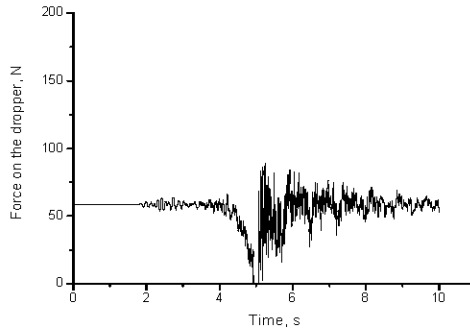


그림 6 동적 하중(케이스 1)

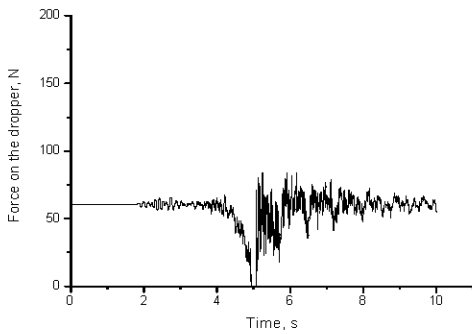


그림 7 동적 하중(케이스 2.1)

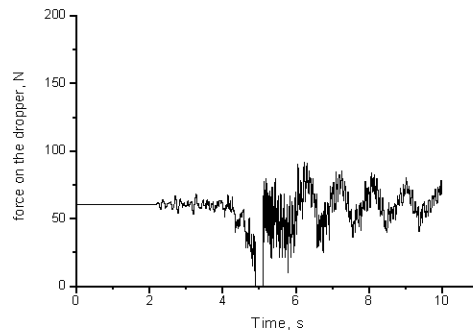


그림 8 동적 하중(케이스 2.2)

마지막으로 사전이도를 1/1,000로 적용하고, 열차 속도가 150 km/h 및 180 km/h일 때 정적 하중이 가장 큰 첫 번째 드로퍼에 작용하는 동하중 계산결과는 각각 그림 9 및 10과 같다. 사전이도가 1/2,000일 때와 비슷한 경향을 보이고 있지만, 팬터그래프가 통과한 직후에 진동 레벨이 상대적으로 고속인 180km/h에서 더 높게 계산되었다. 사전이도가 제일 크고 속도가 클 때(케이스 3.2) 드로퍼에 작용하는 최대 동하중이 제일 크고 팬터그래프가 통과한 직후의 진동 레벨도 컸다.

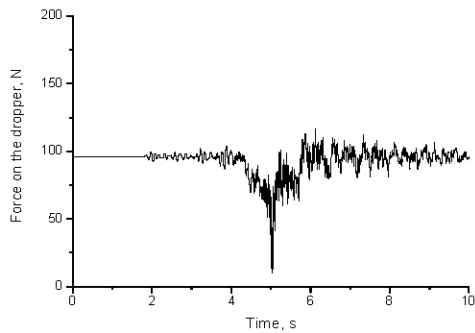


그림 9 동적 하중(케이스 3.1)

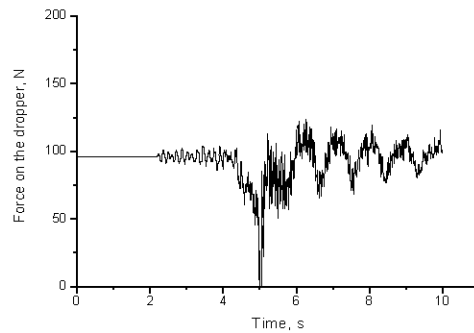


그림 10 동적 하중(케이스 3.2)

### 3. 결론 및 고찰

기존선 속도향상을 위하여 사전이도를 적용하는 것에 대한 연구가 진행된 바 있고, 사전이도를 적용하면 드로퍼에 작용하는 하중이 달라지기 때문에 드로퍼의 안전성을 확보하기 위하여 이에 대한 검토가 필요하다. 드로퍼는 전차선의 자중에 의해 일정한 인장 하중을 받고 있다가, 열차가 드로퍼 위치를 통과할 때 팬터그래프의 압상력에 의해 전차선이 들어 올리지면서 드로퍼가 느슨하게(slack) 된 후, 팬터그래프가 지나간 후 전차선 자중에 의해 다시 드로퍼가 팽팽해지는 변동 하중을 받는다.

따라서 본 연구에서는 한국철도기술연구원에서 개발하여 신뢰성을 검증한 전차선로/팬터그래프 동특성 예측 프로그램을 이용하여 사전이도의 크기를 달리하여 드로퍼에 작용하는 정적 하중 및 동적하중을 예측하였다. 또한 열차 속도에 따라 하중 변화에 대한 예측도 실시하였다. 열차 속도가 상대적으로 고속으로 되면 첫 번째 드로퍼에 작용하는 정하중 및 동하중이 커졌다. 그리고 사전이도의 크기가 커질때 도 첫 번째 드로퍼에 작용하는 정하중 및 동하중이 크게 계산되었다.

위와 같은 연구 결과를 기초로 기존선 속도 향상시 드로퍼의 수명을 예측할 수 있을 것이다. 그리고 이러한 연구 결과는 전차선로 용품의 안전성 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 주관하는 미래철도기술개발사업 탈팅열차 시험선 전차선로 성능평가연구의 연구결과입니다.

### 참고문헌

1. 김정남, 권성태, 강계명, “전차선로 드로퍼 클램프 파단 원인 분석”, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, 2004
2. 이태훈, 박기범, 전용주, 류영태, “고속철도 전차선로 드로퍼 와이어 파단 원인 기초연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2008
3. 이기원, 조용현, 박영, 민병일, 권삼영, 석창성, “전차선로 드로퍼 클램프 안전성 확보(I)”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2007.
4. “전력시스템 성능향상 기술연구”, 한국철도기술연구원, 2008
5. “속도 향상에 따른 가선설비 개량방안 연구”, 건설교통부, 2007
6. “속도 향상에 따른 가선설비 개량방안 연구”, 건설교통부, 2008

7. “전기시스템 성능향상 기술연구,” 한국철도기술연구원, 2006
8. “전력시스템 성능향상 기술연구,” 한국철도기술연구원, 2007
9. Yong Hyeon Cho, “Numerical simulation of dynamic responses of railway overhead contact lines to a moving pantograph, considering nonlinear dropper,” *Journal of Sound and Vibration* 315 pp. 433–454, 2008
10. 특허등록, “특허 제10-0711737호, 활선조건에서의 전차선로 및 판토틀래프 상태측정 시스템,” 특허청, 2007
11. “Honam line electrification: Final report – Col 4/6 Dynamic simulations,” SYSTRA, 2002