

실차시험을 통한 팬터그래프 커버가 고속열차의 집전성능에 미치는 영향에 대한 분석

Analysis of Effect of Pantograph Cover on the Current Collection Quality of High Speed Train using Real Train Experiment

오혁근* · 김석원 · 조용현 · 광민호 · 권삼영

Hyuck Keun Oh · Seogwon Kim · Yong-hyun Cho · Minho Kwak · Sam Young Kwon

Abstract The contact force characteristic between the pantograph and the catenary wire represents the current collection quality of trains; it should be precisely controlled under international standard. Recently, a noise reduction cover has been installed around the pantograph of high speed trains. However, little study on the contact force by the pantograph cover has been conducted. In this study, the impact on the current collection performance of the pantograph cover was analyzed by dynamic contact force measurement using a next generation high speed train (HEMU-430X). As a result, it was confirmed that the attachment of a pantograph cover could lower the mean contact force by approximately 50N at 300km/h. In addition, the pure difference of the average contact force by the presence of pantograph cover, except for the static pressure, was measured and found to be up to 110N at 300km/h. It was also found that the standard deviation of the contact force of 3~5N could be changed by use of a pantograph cover.

Keywords : Pantograph, Pantograph cover, High speed train, Current collection quality

초 록 팬터그래프와 전차선간의 접촉력 특성은 열차의 집전성능을 나타내는 중요한 특성으로서 국제규격에 따른 엄격한 관리가 필요한 항목이다. 최근에는 소음저감 커버가 고속열차의 팬터그래프 주위에 설치가 되고 있으나 팬터그래프 커버에 의한 접촉력 특성에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다. 본 연구에서는 차세대고속열차(HEMU-430X)를 이용하여 팬터그래프 커버가 팬터그래프의 집전성능에 미치는 영향을 동적 접촉력 측정을 통하여 분석하였다. 그 결과 팬터그래프 커버가 부착이 되면 300km/h 주행 시 평균접촉력이 약 50N 낮아짐을 확인하였다. 또한 정적압상력을 제외한 순수한 팬터그래프 커버 유무에 의한 평균접촉력의 차이는 300km/h에서 최대 110N까지 측정되었다. 한편 팬터그래프 커버에 의하여 접촉력 표준편차가 약 3~5N 변화하는 것도 확인하였다.

주요어 : 팬터그래프, 팬터그래프 커버, 고속열차, 집전성능

1. 서 론

1960년대 일본의 신간선이 개통된 이래로 고속철도 시스템은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로도 빠르게 성장을 지속하고 있다. 최근의 고속열차 대부분은 케이블로 이루어진 전차선과 차량 지붕에 장착된 팬터그래프(집전장치)의 상호 접촉을 통하여 전력공급을 받는 전기철도 차량이다. 이러한 전기철도 차량은 안정적인 집전성능을 유지할 수 있어야 안정적인 운영속도 유지할 수 있으며, 특히 시속 300km/h 이상의 고속주행에서는 일정한 기준의 집전성능을 만족하지 못하면 전차선의 손상이나 이선아크로 인한 시스템의 전기·기계적 손상을 야기할 수 있어 엄격한 관리가 필요한 특성이다[1].

고속열차의 집전성능은 일반적으로 전차선과 팬터그래프 집전판 사이에 작용하는 동적 접촉력을 측정하여 평가되어진다. 따라서 국내 및 국외에서는 접촉력을 평가하기 위하여 UIC 794-O [2], BS EN 50119 [3], BS EN 50367 [4] 등의 시험규격을 적용하고 있다. 상기의 국제 규격을 통하여 평균접촉력 및 통계적 최대/최소 접촉력은 일정 범위를 만족하여야 한다. 특히 통계적 최대 접촉력은 일반적으로 전차선의 변형 및 마모와 관련되어 있으며, 통계적 최소접촉력은 이선아크로 인한 전차선 손상 및 차량 전장품의 손상을 야기할 수 있어 매우 중요하다. 한편 이러한 통계적 최대/최소 접촉력은 평균접촉력과 접촉력의 표준편

*Corresponding author. Tel.: +82-31-460-5216, E-mail: hkoh@krii.re.kr.

© 2016 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.4.409>

차를 통하여 결정되기 때문에 일정한 수준의 평균접촉력을 유지하는 것 역시 매우 중요하다. 한편 접촉력의 측정이 어려운 경우에는 이선아크 계측을 통한 이선율의 평가방법도 적용되고 있다[3].

따라서 기존의 연구[1,5-7]에서는 동적접촉력 측정이나 수치해석 등을 통하여 열차의 집전성능에 영향을 미치는 인자를 분석하고 집전성능을 개선하기 위한 방안 등을 제시하였다. 그러나 이러한 연구들은 전차선 및 팬터그래프의 동력학적 패러미터만을 고려하였고, 실제주행에서 영향을 주는 공기역학적 측면에서의 고려는 부족하였다.

특히 최근에는 열차의 고속화에 따라 주요한 소음원[8]인 팬터그래프의 공력소음을 저감하기 위하여 팬터그래프 주위에 커버나 실드[9] 등이 설치되고 있다. 그러나 이러한 팬터그래프 커버는 팬터그래프에서 발생하는 소음을 일차적으로 쉽게 차단한다는 장점은 있으나, 팬터그래프로 유입되는 유동특성을 변화시키고 이로 인한 접촉력 특성을 변화시킬 수 있다[10]. 이러한 이유로 Kang 등[10]은 $k-\omega$ SST 모델을 이용한 전산유체해석을 통하여, 팬터그래프 커버에 의하여 팬터그래프의 압상력 특성이 달라질 수 있음을 제시하였다. 또한 Lee 등[11]은 축소모델 풍동시험을 통하여 4가지 종류의 팬터그래프 커버에 따른 공기역학적 특성을 연구하여 최적의 팬터그래프 커버 형상을 제시하였다. 그러나 실제열차에서 팬터그래프 커버에 의한 팬터그래프의 집전성능 변화를 검토한 연구는 거의 없었으며, 수치해석 및 풍동시험에서 나온 경향이 실차에서도 유사한 지 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 차세대고속열차인 HEMU-430X 시험차량을 이용하여 팬터그래프 커버 유무 시 동적접촉력 특성을 다양한 속도대역에서 측정하였고, 이를 바탕으로 팬터그래프 커버가 차량의 집전성능에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 측정방법

2.1.1 팬터그래프 커버의 탈착 및 부착

팬터그래프 커버에 의한 팬터그래프 집전성능의 변화를 확인하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 차세대 고속열차 시험열차인 HEMU-430X의 M4 차량에 팬터그래프 커버를 탈착 및 부착하여 각각의 경우에 대한 속도별 동적 접촉력 측정을 수행하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 M4차량의 팬터그래프 진행방향 커버를 부착 및 탈착했을 때 차량진행방향에서 촬영한 사진이며, Fig. 4와 Fig. 5는 차량 측면에서 촬영한 사진이다. 그림에서 보이는 바와 같이 진행방향 커버 3개 탈거 시, 커버를 고정하는 프레임만 남아있고 팬터그래프가 완전히 유동에 노출이 되는 것을 알 수 있다. 반면에 진행방향 커버가 있을 때는 팬터그래프 정면으로 유입되는 유동이 커버에 의하여 어느 정도 막히게 되므로 커버의 탈부착에 따라 팬터그래프로 유입되는 유동특성을 달라지게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 팬터그래프 진행방향 커버의 탈착 및 부착 시, 팬터그래프 집전판과 전차선 사이의 동적접촉력을 속도별로 측정하여 그 영향을 분석하였다.



Fig. 1. Schematic of HEMU-430X train set and pantograph cover on M4 vehicle.



Fig. 2. Attachment of pantograph cover (front view).



Fig. 3. Detachment of pantograph cover (front view).

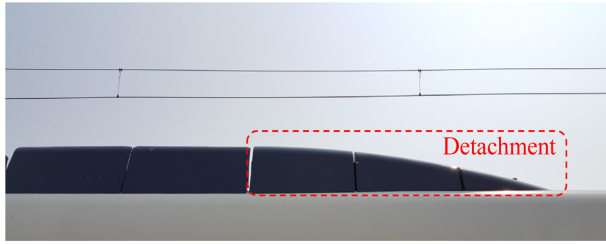


Fig. 4. Attachment of pantograph cover (side view).



Fig. 5. Detachment of pantograph cover (side view).

2.1.2 동적접촉력 측정방법

팬터그래프가 전차선과 접촉하면서 상호작용하는 동적접촉력($F_{contact}$)의 측정방법은 기존의 연구[5]에 상세하게 설명되어 있으므로 본 연구에서는 간략한 소개만을 한다.

팬터그래프 집전판에 작용하는 동적접촉력의 측정은 집전판 지지점에 설치된 하중센서(Load Cell)와 가속도 센서를 통하여 작용력 및 관성력을 측정하여 이루어진다. 측정된 신호는 팬터그래프에 설치된 마이크로프로세서 내장형 DAQ를 통하여 계측되고 무선통신을 통하여 열차내의 계측용 컴퓨터로 전송되어 차축에서 올라오는 속도 및 위치정보(KP)신호와 함께 1000 Hz의 샘플링 레이트(sampling rate)로 저장된다. 이 때 무선통신으로 팬터그래프의 동적 접촉력 신호를 측정하는 이유는 팬터그래프는 25kV의 고전압이 작용하기 때문에 차체와 전기적으로 절연이 되어야만하기 때문이다. 또한 측정되는 동적접촉력의 정밀도 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 국제규격인 BS EN 50317 [12]에서 요구하는 동적보정시험을 실시하고 계측센서의 동적보정 결과가 일정 범위 안에 들어와야 한다. 따라서 본 연구에서는 한국철도기술연구원의 MTS장비를 이용하여 0.5~20Hz까지 정현파 가진을 실시하여 계측센서의 동적 보정 시험을 실시하였으며 그 결과가 EN50317 기준을 만족함을 확인하였다.

2.1.3 동적접촉력 측정구간

팬터그래프의 집전판에 작용하는 동적접촉력을 측정하기 위하여 전차선 장력 20kN 구간인 경부고속선 광명-부산 구간에서 HEMU-430X시험열차의 시운전을 수행하였으며, 운행속도 200km/h~300km/h까지의 측정 데이터 중 개활지 구간을 택하여 분석을 수행하였다. 또한 팬터그래프 커버 유무에 따른 비교를 위해서는 각 속도대역에서 동일한 속도패턴으로 비교하는 것이 좋으나, 실차시험에서 총 중량 330ton이 넘는 열차를 일정한 속도패턴으로 유지하는 데 어려움이 있다. 또한 영업운행선에서 시운전시험을 진행하였기 때문에 전후열차와의 간격유지 및 신호대기 등도 열차 운행패턴에 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 각 속도대역별로 최대한 많은 시험을 통하여 데이터의 신뢰성을 확보하고 경향을 파악하고자 하였다. 총 시험회수는 팬터그래프 커버가 있는 경우에 대해서는 총 20회를 실시하였으며, 팬터그래프 커버가 없는 경우에 대해서는 총 22회였다.

2.2 측정결과

2.2.1 동적 접촉력 측정결과

팬터그래프 커버의 유무에 따른 300km/h 주행 시 동적접촉력 측정 결과를 Fig. 6와 Fig. 7에 각각 도시하였으며, 측정된 접촉력의 산술평균을 통하여 식(1)과 같이 평균접촉력을 계산하였고, 분석구간의 평균속도와 함께 Table 1에 나타내었다. 식(1)에서 F_c 는 분석구간에서 1000Hz로 샘플링 된 각 시간단계(time step)별 순간 접촉력이며, N 은 전체 시간단계의 개수이다.

$$F_{c(mean)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_c \quad (1)$$

Fig. 6과 Fig. 7을 비교해보면 속도패턴이 다소 차이가 있으며 이에 따라 평균속도 역시 약 5km/h 정도 차이가 나고 있다. 그러나 이 정도 속도차이는 2% 미만으로 실차시험임을 감안하면 비교에 무리가 없다고 판단된다. 또한 평균접촉력의 비교이기 때문에 속도패턴의 차이가 미치는 영향 역시 작을 것으로 보인다. 300km/h 주행 시 Table 1에서 보이는 바와 같이 팬터그래프 커버가 없을 때의 평균접촉력(약 170 N)이 커버가 있을 때의 평균접촉력(약 122 N)보다 약 50 N 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 고속열차의 팬터그래프는 Fig. 8과 같이 열차진행방향에 대하여 Closed knee 형태(<)로 유동에 노출되게 된다. 이 경우 하부 Arm에는 Lift force가 작용하고 상부 Arm에는 Down force가 작용하게 된다[13]. 그러나 팬터그래프 커버가 있을 경우에는 Fig. 8과 같이 팬터그래프의 상부 Arm만 유동에 노출이 되고 하부 Arm은 커버 속 유동에 잠겨있게 되어 팬터그래프 전체적으

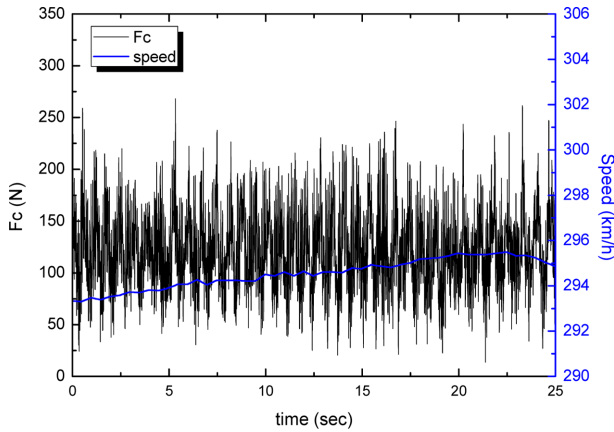


Fig. 6. Contact force measurement results with pantograph cover at 300km/h.

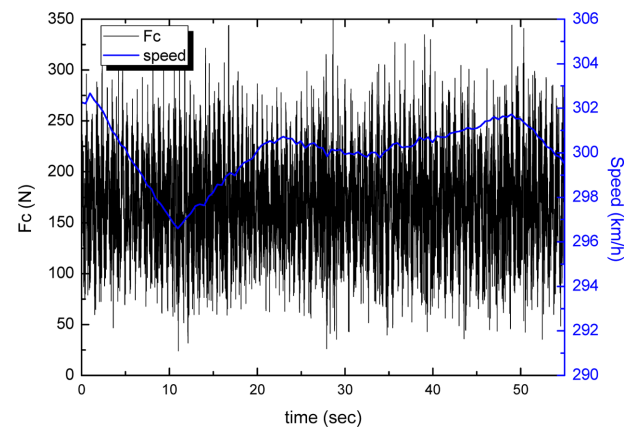


Fig. 7. Contact force measurement results without pantograph cover at 300km/h.

Table 1. Comparison of mean contact force with and without pantograph cover.

Status	Mean contact force (N)	Average speed (km/h)
With pantograph cover	121.7	294.6
Without pantograph cover	169.6	300.0

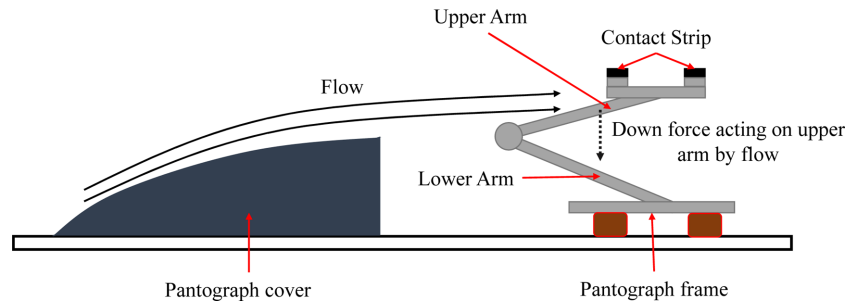


Fig. 8. Down force mechanism on pantograph by pantograph cover.

로는 Down force가 작용하게 되고 Table 1과 같은 접촉력의 차이를 발생시킨다. 반면에 팬터그래프 커버가 없는 경우에는 하부 Arm도 같이 유동에 노출이 되어 하부 Arm에 작용하는 공력 Lift force가 상부 Arm에 작용하는 Down force 이상의 힘을 발생시키는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존의 1/4 축소모델의 풍동 시험결과[11] 및 전산유체해석 결과[10]와 정성적으로는 유사한 경향을 보인다. 특히 기존의 전산유체해석 결과[10]를 살펴보면 팬터그래프 커버 적용 시 하부 Arm에 작용하는 압력이 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 한편 팬터그래프 커버가 있는 경우에는 Down force를 보상하고 안정된 집전성을 확보하기 위하여 속도증가에 따라 팬터그래프의 압상력을 올려주는 팬터그래프 반 능동(semi-active)제어가 적용된 결과이다. 만약 반 능동제어를 적용하지 않았다면 최소접촉력이 음수가 되어 이선아크의 다수 발생 및 차량전장품의 손상이 발생하였을 것이다. 반면에 팬터그래프 커버가 없는 경우에는 충분한 압상력이 작용하기 때문에 반 능동 제어를 적용하지 않았다.

2.2.2 속도별 평균 접촉력 분석결과

앞서 설명한 바와 같이 팬터그래프 커버에 따른 접촉력의 차이는 유동특성의 변화에 따른 팬터그래프에 작용하는 힘이 차이가 있다고 판단되었다. 따라서 팬터그래프 커버에 의한 접촉력 특성의 변화가 공력의 영향인지 확인하기 위하여 200km/h~300km/h 까지 차량의 운행속도를 변경하며 팬터그래프 커버의 유무에 따른 평균접촉력 특성의 변화추이를 확인하였고 그 결과는 Fig. 9와 같다. 그림에서 보이는 바와 같이 커버가 있는 경우에는 속도증가에 따라 압상력을 상승시키는 반 능동제어를 적용하였음에도 평균접촉력이 거의 변화가 없다. 그러나 팬터그래프 커버가 없는 경우에는 반 능동제어를 적용하지 않았음에도 속도증가에 따라 평균접촉력이 두드러지게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 또한 전체적인 평균접촉력의 크기 역시 200 km/h에서 팬터그래프 커버가 없는 경우가 약 25N 정도 크게 계측되었다. 한편 Fig. 10은 팬터그래프 실린더에 공급되는 공기압력의 속도에 따른

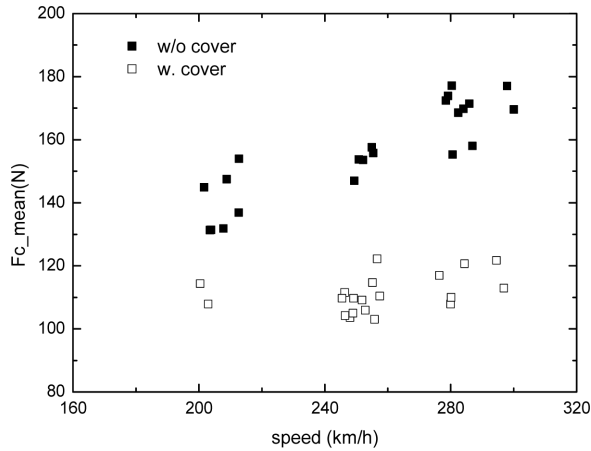


Fig. 9. Comparison of mean contact force w.r.t train speed.

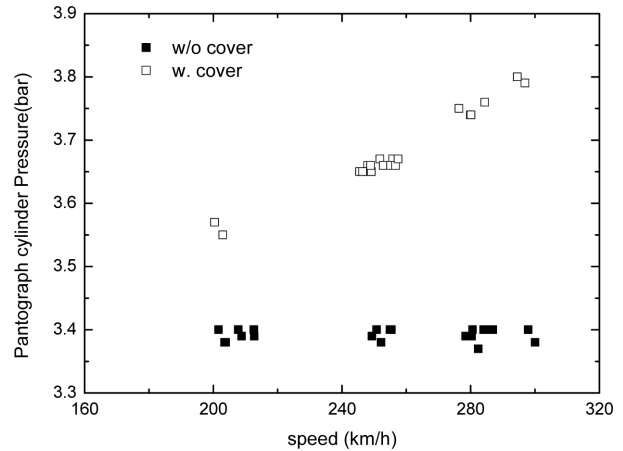


Fig. 10. Pantograph cylinder pressure w.r.t train speed.

그래프이다. 이 공기압력에 의하여 팬터그래프는 전차선에 대하여 적절한 정적압상력을 유지하게 된다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 팬터그래프 커버가 없는 경우에는 반 능동제어를 적용하지 않아 약 3.4bar의 압력이 속도에 상관없이 일정하게 공급되고 있음을 알 수 있다. 그러나 팬터그래프 커버가 있는 경우에는 팬터그래프에 작용하는 Down force를 보상하기 위하여 속도가 증가함에 따라 팬터그래프 공기압력도 3.55bar (200km/h)부터 3.8bar (300km/h)까지 상승하는 반 능동제어가 적용되어 있음을 알 수 있다. 따라서 팬터그래프 커버에 의한 순수한 공력의 영향을 확인하기 위해서는 팬터그래프 실린더 압력에 의하여 작용하는 정적압상력을 제외한 결과를 비교할 필요가 있다.

2.3 팬터그래프 커버 영향도 분석

2.3.1 평균접촉력 특성의 변화

순수한 팬터그래프 커버에 의한 영향도를 파악하기 위하여 측정된 평균접촉력 결과에서 팬터그래프에 작용하는 정적압상력을 제외한 결과를 비교할 필요가 있다. 커버가 없는 경우에는 팬터그래프 실린더에 일정한 압력이 작용하고 있으므로 전체 데이터에서 3.4bar에 해당하는 일정한 압상력을 제외하면 된다. 그러나 커버가 있는 경우에는 s반 능동제어에 의하여 속도별로 다른 압력이 작용하기 때문에 각 압력에 해당하는 압상력을 제외하여야 한다. 이를 위하여, 팬터그래프 실린더 압력 변화에 따른 접촉력의 변화를 차량이 정지한 상태에서 측정하는 정적압상력 측정 시험을 수행하였고 그 결과는 Fig. 11과 같다. 그림에서 보이는 바와 같이 실린더 압력 상승에 따라 선형적으로 정적압상력이 상승하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 10과 Fig. 11의 결과를 바탕으로 Fig. 9의 평균접촉력 측정결과에서 실린더에 의한 압상력을 제외시키면 팬터그래프 커버에 의한 순수한 평균접촉력의 특성의 변화를 알 수 있다.

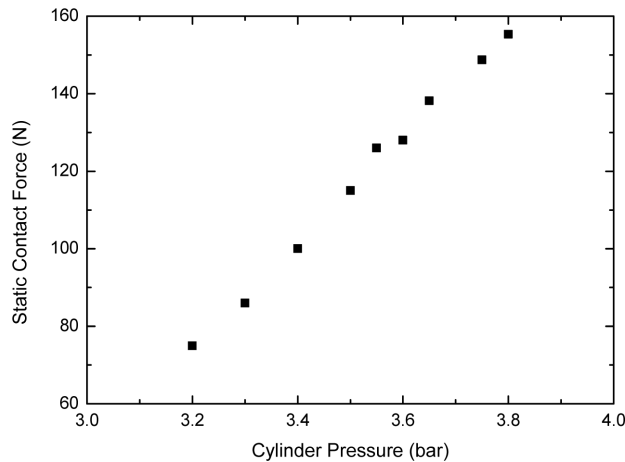


Fig. 11. Static contact force w.r.t cylinder pressure.

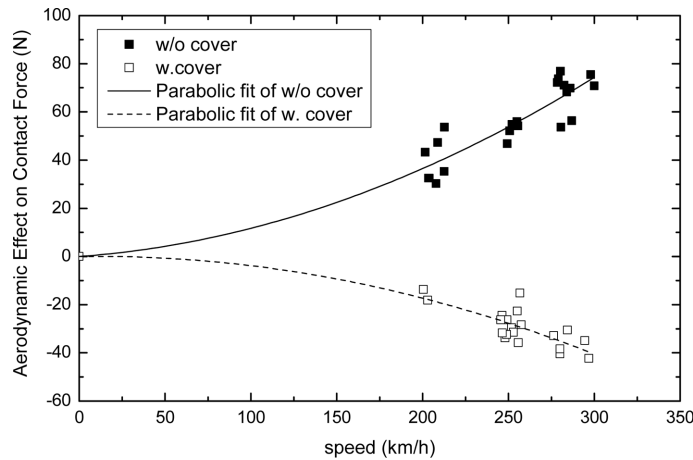


Fig. 12. Aerodynamic effect of pantograph cover on mean contact force.

Fig. 12는 열차속도에 따른 평균접촉력 측정결과에서 실린더 압상력을 제외한 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 팬터그래프 커버가 있는 경우는 속도가 증가함에 따라 팬터그래프에 2차식의 형태로 나타나는 Down Force가 작용함을 알 수 있다. 반면에 팬터그래프 커버가 없는 경우는 속도가 증가함에 따라 2차식 형태의 Lift Force가 작용한다. 이러한 2차식의 특성은 전형적인 유동에 공기역학적 특성이다. 다만 그림 상에서 결과는 다소 선형적 추세가 보이긴 하나 이는 속도구간이 200~300km/h로 비교적 짧기 때문이며, 속도가 0일 때 작용하는 힘이 0임을 생각하면 1차식 보다는 2차식 형태가 적합해 보인다. 따라서 팬터그래프 커버에 의하여 팬터그래프에 작용하는 유동특성이 변화함을 알 수 있고 이로 인하여 집전성능인 동적 접촉력 특성이 변화를 야기한다는 것을 실험적으로 확인하였다. 또한 팬터그래프 커버 유무에 따른 순수한 평균접촉력의 차이는 300km/h에서 최대 110 N까지 차이가 발생하는 것 역시 그림으로부터 알 수 있으며, 이는 기존의 수치해석 결과[10] 및 풍동시험 결과[11]와 경향적으로 일치하는 결과이다.

이렇듯 팬터그래프 커버에 의하여 중요한 집전성능 지표 중의 하나인 평균접촉력 특성이 크게 변하는 이유는 앞서 설명한 바와 같이 팬터그래프 커버에 의하여 유동이 막히면서 하부 Arm 방향으로 거의 유동이 들어가지 않고 상부 Arm 방향으로 주로 유동이 흐르기 때문이라고 판단된다. 따라서 팬터그래프의 설계 및 해석 시 팬터그래프 커버를 반영한 설계(반 능동제어 시스템의 반영 등)가 되어야 실제 차량의 집전성능을 충분히 확보할 수 있다. 또한 팬터그래프의 공력성능을 평가하기 위한 풍동 시험에서도 팬터그래프 커버를 같이 설치하여 시험을 하는 것이 보다 의미 있는 데이터를 추출할 수 있는 방안이라고 판단된다. 특히 본 시험결과는 실차시험 결과로서 향후 풍동시험이나 수치해석 시 경계조건의 보정 등에 활용될 수 있어 의미 있는 데이터로 판단된다.

2.3.2 접촉력 표준편차 특성의 변화

평균접촉력 특성 외에도 집전성능을 결정하는 중요한 인자는 접촉력 표준편차(σ)이다[5]. 평균접촉력과 접촉력 표준편차를 통하여 통계적 최소접촉력($F_{c(mean)} - 3\sigma$)과 통계적 최대접촉력($F_{c(mean)} + 3\sigma$)을 계산할 수 있고 이 두 개의 값은 각각 0N 이상 350N 이하여야 한다[5]. 일반적으로 접촉력 표준편차가 작을수록 우수한 집전성능을 보이게 되는데 이는 전차선과 팬터그래프 집전판 사이의 접촉력의 변동이 일정하게 유지된다는 의미이다. 또한 접촉력 표준편차는 차량의 속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이며[1,5], 전차선 장력에 따른 한계 운영속도가 존재한다. 따라서 팬터그래프 커버가 동적접촉력에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 속도에 따른 접촉력 표준편차 특성의 변화도 확인하여야 한다. Fig. 13은 팬터그래프 커버 유무에 따른 동적접촉력의 속도별 표준편차 특성이다. 그림에서 보이는 바와 같이 팬터그래프 커버가 없는 경우의 접촉력 표준편차가 있는 경우보다 평균 3~5N 정도 큰 것을 알 수 있다. 이는 팬터그래프 커버가 없는 경우에 팬터그래프로 유입되는 유동이 더욱 강하기 때문이라고 판단되며 이로 인한 Arm 및 집전판의 공기역학적 진동이 커졌기 때문이라고 생각되나 추후 전산유체해석 등을 통하여 그 원인을 명확하게 파악할 필요가 있다고 생각된다.

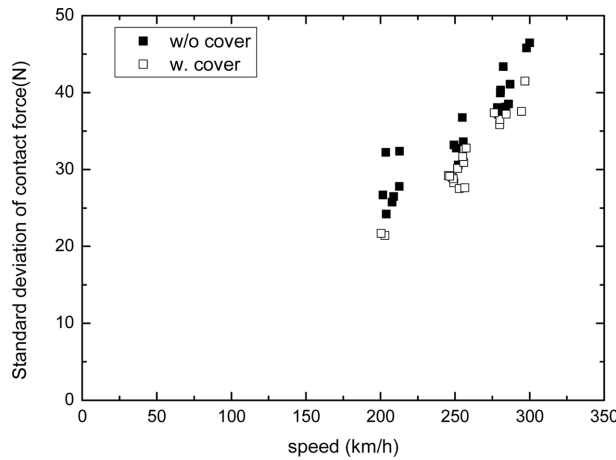


Fig. 13. Effect of pantograph cover on the standard deviation of contact force.

3. 결 론

팬터그래프 커버가 집전성능에 미치는 영향을 연구하기 위하여 팬터그래프 커버의 탈착 및 부착에 따른 동적 접촉력을 200km/h~300km/h 주행속도에서 측정 및 분석하였고 그 결과를 다음과 같이 요약하였다.

첫째, 300km/h 주행 시 팬터그래프 커버가 있는 경우에는 커버가 없는 경우보다 평균접촉력이 약 50N 낮게 측정되었다. 이는 팬터그래프 커버에 의하여 유동이 상부 Arm에만 영향을 미쳐 Down Force를 작용시키는 것으로 추측된다. 반면에 팬터그래프 커버가 없는 경우에는 유동이 상부 Arm과 하부 Arm에 동시에 영향을 미쳐 하부 Arm에 의한 Lift force가 상대적으로 강하게 작용하는 것으로 보인다.

둘째, 팬터그래프 커버 유무에 의한 순수한 평균접촉력의 차이는 300km/h에서 최대 110N까지 발생하며, 이는 팬터그래프 실린더 공압에 의하여 작용하는 정적압상력을 제외한 결과이다. 이는 기존의 수치해석 결과 및 풍동시험 결과와 경향적으로 일치하는 결과이며, 특히 본 시험결과는 실차시험 결과로서 향후 풍동시험이나 수치해석 시 경계조건의 보정 등에 활용될 수 있는 데이터로서 팬터그래프 시스템의 설계 신뢰성을 향상시킬 것으로 기대된다.

셋째, 팬터그래프 커버가 없는 경우의 접촉력 표준편차 특성이 전 속도대역에서 약 3~5N 정도 커버가 있는 경우보다 크게 측정되었다. 이는 팬터그래프 커버가 없을 때 팬터그래프로 유입되는 유동이 더욱 강하기 때문이라고 판단되나 추후 전산유체 해석 등을 통하여 그 원인을 명확하게 파악할 필요가 있다고 생각된다.

이상의 결과로부터 팬터그래프의 설계 및 해석 시 팬터그래프 커버의 반영이 차량의 집전성능 확보를 위하여 반드시 필요함을 알 수 있었다. 따라서 팬터그래프 커버 설계 시 소음특성 뿐 아니라 평균접촉력과 접촉력 표준편차와 같은 집전성능에 대한 검토 역시 고려되어야 함을 본 연구를 통하여 확인하였다. 또한 다양한 팬터그래프 커버 형상에 따른 접촉력 특성 역시 향후 실차시험 등을 통하여 연구될 필요가 있으며, 팬터그래프 커버에 의한 소음저감 특성과 집전성능의 상관관계 역시 보다 심도한 고찰이 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업인 '경량저소음 팬터그래프 개발'과제와 국토교통부 철도기술연구사업인 '430km/h급 고속열차 시운전시험 연구'과제의 지원으로 수행하였습니다.

References

[1] J.H. Lee, T.W. Park, H.K. Oh, Y.G. Kim (2015) Anysis of dynamic interaction between catenary and pantograph with experimental verification and performance evaluation in new high speed line, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 53(8), pp. 1117-1134.

- [2] International Union of Railways (1996) Pantograph-Overhead line interaction on the European high-speed network, UIC Code 794-O.
- [3] British Standards Institution (2013) Railway application-Fixed installations-Electric traction overhead contact lines, BS EN 50119:2009+A1:2013.
- [4] British Standards Institution (2012) Railway applications-Current collection systems-Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access), BS EN 50367:2012.
- [5] H.K. Oh, H.M. Ji, Y.G. Kim, S. Kim (2014) Analysis of the current collection quality for next generation high-speed trains with measurements of the dynamic contact force, *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(3), pp.157-164.
- [6] C.K. Park, Y.G. Kim, K.H. Kim, J.S. Paik (2010) Study on the test of dynamic performance of pantograph for high-speed train, *Proceeding of the Korean Society for Precision Engineering Conference*, Spring 2010, Jeju, pp. 1481-1482.
- [7] Y.H. Cho (2014) Analysis of the major design parameters of a pantograph-railway catenary system for improving the current collection quality, *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(1), pp.7-13.
- [8] H. Noh, S. Choi, H. Koh, S. Hong (2012) Aerodynamic noise characteristics of high-speed trains by the beamforming method, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(3), pp.231-236.
- [9] Y. Wakabayashi, T. Kurita, M. Horiuchi (2008) Development of pantograph noise insulating panels, *JR East Technical Review*, No.12, pp. 28-33.
- [10] H.M. Kang, C.W. Kim, T.H. Cho, D.H. Kim, S.H. Yoon, H.B. Kwon (2012) Investigation for the aerodynamic characteristics of high speed train pantograph with cover, *Journal of Computational Fluids Engineering*, 17(3), pp.18-24.
- [11] Y. Lee, M. Kwak, K.H. Kim, D-h. Lee (2011) Experimental studies on aerodynamic characteristics of pantograph system according to the pantograph cover configurations for high speed train, *Proceedings of ASME/ASCE/IEEE 2011 Joint Rail Conference(JRC2011)*, March 16-18, Pueblo, Colorado, USA, JRC2011-56110.
- [12] British Standards Institution (2012) Railway applications - Current collection systems - Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line, BS EN 50317:2012.
- [13] H.B. Kwon, Y.H. Cho, K. Lee, K.N. Kim (2009) A real-scale wind tunnel testing on a pantograph for high-speed train to assess the aerodynamic characteristics, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(5), pp.732-737.

(Received 4 May 2016; Revised 15 June 2016; Accepted 27 July 2016)

Hyuck Keun Oh : hkoh@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-763, Korea

Seogwon Kim : swkim@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-763, Korea

Yong-Hyun Cho : yhcho@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-763, Korea

Minho Kwak : mhkwak@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-763, Korea

Sam Young Kwon : swkwon@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-763, Korea