

## 균일 분포하중을 주는 플랫와이퍼 스프링레일의 곡면형상식 유도

윤 영 삼 · 김 철\*

경북대학교 기계공학부

## The Curve Equation of a Flat Wiper Spring Rail Inducing Uniformly Distributed Loads

Youngsam Yoon · Cheol Kim\*

Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received 9 September 2009 / Accepted 27 October 2009)

**Abstract** : Recently, the flat wiper which is one piece wiper and subjected to a pressing force at a single center point is gaining wide applications on automotive windshields. However, nonuniform reactive pressure distributions takes place, so that wiping is not completed at such locations. The wiping performance of the flat wiper is best when a wiper and a curved windshield have perfect contact without gaps under the specified pressing force of 13 ~ 15 gf/cm. Therefore, it is necessary that the realistic curvature equation of a wiper spring-rail should be obtained. Finite element analysis, CATIA script-macro function, and the least square method were utilized to find out the curvature of a spring-rail for a perfect contact with a windshield under a specified concentrated load. The curvature equation became the third order polynomial.

**Key words** : Windshield wiper(유리창 와이퍼), Rubber blade(고무날), Flat wiper(평 와이퍼), Wiping force(닦음력), Method of least squares(최소자승법)

### 1. 서론

비 오는 날 중요한 역할을 하는 자동차 부품인 윈드실드 와이퍼(Windshield Wiper)의 역할은 앞 유리창과 뒷 유리창 표면에 빗물, 오수, 눈, 진눈깨비, 먼지 등이 달라붙을 때, 시계를 좋게 하기 위해 불필요하게 붙은 것을 제거하여 운전자의 안전을 확보해 준다. 또한, 와이퍼 블레이드는 내구성, 정숙성, 고속성이 요구되어 가압 하에서도 고무블레이드(Rubber Blade)의 형태가 유지되고, 열, 일광, 오존의 영향을 받는 가혹한 조건에서도 사용할 수 있어야 한다.

현재 전 세계적으로 보편화되어 과거로부터 오래

동안 사용되고 있는 스틸 와이퍼 블레이드(Steel Wiper Blade)는 형상이 진부하고, 왁스(Wax)등 유리 오염물질에 취약하며, 이음, 편마모 등으로 인하여 내구성이 짧으며 또한 고속에서의 와이퍼 떨림 현상 및 진동 소음 면에서 취약함을 보이고 있으며, 이러한 단점을 보완하기 위하여 외부 프레임이 없고 결합 구조가 간단한 평 와이퍼(Flat Wiper)가 새로이 개발되었다.<sup>1)</sup>

평 와이퍼는 오염물질에 내구성이 강한 그래파이트 블레이드(Graphite Blade) 코팅제 고무를 사용하고 있고, 고속주행(125Km/h)에도 들뜸에 의한 닦임 불량 현상이 없도록 스포일러(Spoiler)방식이며 연결구조가 간단하여 이음부의 마모를 방지할 수 있어 현재 전 세계적으로 사용 추세가 증가하고 있다.

\*Corresponding author, E-mail: kimchul@knu.ac.kr

국내에서는 새롭게 출시된 일부 자동차 신 모델에 장착되어 판매되고 있으며, 기존 차량에도 장착이 가능하여 그 사용이 확대되고 있다. 그러나 Fig. 1과 같이 배열되는 평 와이퍼는 내부의 스프링레일(Spring Rail)의 적절한 곡률 및 굽힘탄성에 따라서 그 닦임 성능(Wiping Performance)이 크게 좌우된다. 만일 스프링레일이 최적의 곡률 및 굽힘탄성을 갖게 되면 와이퍼와 유리창의 접촉압력분포가 균일하게 되어 우수한 닦임을 보일 것이다.

와이퍼 블레이드와 유리면 사이의 접촉압이 큰 경우에는 소음, 블레이드의 마모 등이 유발되고, 반면 접촉압이 작은 경우에는 이물질들을 제대로 닦을 수 없어 소비자의 불만을 유발할 수 있다. 이외에도 와이퍼 블레이드의 편 마모를 방지할 수 있어야 하고, 블레이드의 길이 방향으로 접촉 압력이 고르게 분포되어야만 한다. 이와 같이 와이퍼의 성능이 요구됨에 반해서 와이퍼 블레이드와 유리창 사이의 접촉압력에 대해서는 구체적으로 법령에 규정되어 있지 않으며, KS 규격에는 닦임 상태만을 규정하고 있어서 이와 같은 신형 와이퍼는 주로 설계자의 경험에 근거하여 설계되어지고 있는 실정이다.<sup>2,3)</sup>

본 논문에서는 이러한 와이퍼의 곡률에 따른 닦임 성능의 향상을 목적으로, 제품에 대해 면밀히 분석하고 유한요소해석을 통하여 와이퍼의 길이방향으로 균일한 유리창 접촉면압(14 gf/cm)을 유도할 수 있는 스프링레일 커브의 곡률식을 구하였다. 이러한 곡률이 적용되면 길이방향으로 균일 접촉압력을 분포시킬 수 있어서 우수한 닦임 성능을 가지며 블레이드의 편마모를 줄여 내구성을 향상시킬 수 있다.<sup>4)</sup>

## 2. 평 와이퍼의 구조

### 2.1 와이퍼 구조

Fig. 1은 플랫 와이퍼의 전체적인 3차원 형상을 나타내며, Fig. 2에는 각 부품별 상세 형상 및 명칭을 나타나 있다. 본 연구에서는 와이퍼의 전체적인 성능에 가장 큰 영향을 미치는 강철제 스프링레일 단품에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 각 부품들이 조립된 플랫 와이퍼는 전통적인 구형 스틸 와이퍼 블레이드에 비해 부품의 수가 현저

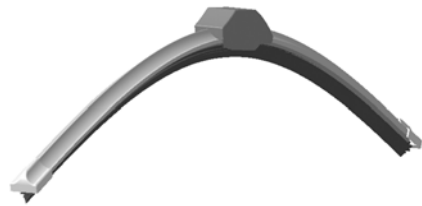


Fig. 1 CAD model of a flat wiper

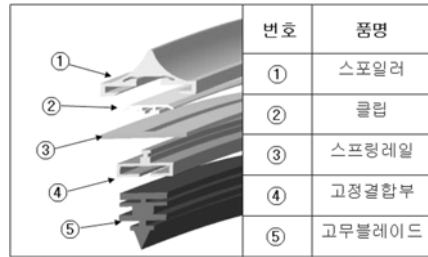


Fig. 2 The nomenclature of a wiper blade

하게 줄어들었고 그 결합 방법도 간단하면서도 정교함을 볼 수 있으며, 전체적으로 그 형상이 구형 와이퍼 블레이드에 비해 단순해진 것을 알 수 있다.

### 2.2 와이퍼 조립 형상

스프링레일의 상단에는 스포일러가 장착되고, 하단에는 고무 블레이드가 결합되는 통상의 와이퍼 블레이드 장치에 있어서, 상기 고무 블레이드의 상단에는 스프링레일의 결합 홈의 하부에서 상부로 통과한 후 일정부분 돌출 될 수 있도록 하는 걸림 홈이 양측에 형성된 걸림 돌출부를 구비시키는 한편, 상기 스프링레일의 결합 홈의 상향으로 삽입 돌출된 돌출부에는 걸림구를 가진 클립을 끼워 고정할 수 있도록 한 것이 특징이다.

Fig. 2의 부품들과의 조립공차도 매우 중요한 것을 알 수 있다. 각 부품과의 틈새가 적정 치수보다 크면 고무블레이드와 유리면의 접촉 경사각이 너무 작아지게 되어서 고무재질과 고무블레이드의 단면 형상, 암(Arm) 압력 등이 이상적으로 설계되었다고 하더라도 와이퍼의 닦임 성능이 나빠질 수 있다.

## 3. 유한요소해석

### 3.1 해석 절차

Fig. 2의 스프링레일이 자동차 유리면과 밀착할

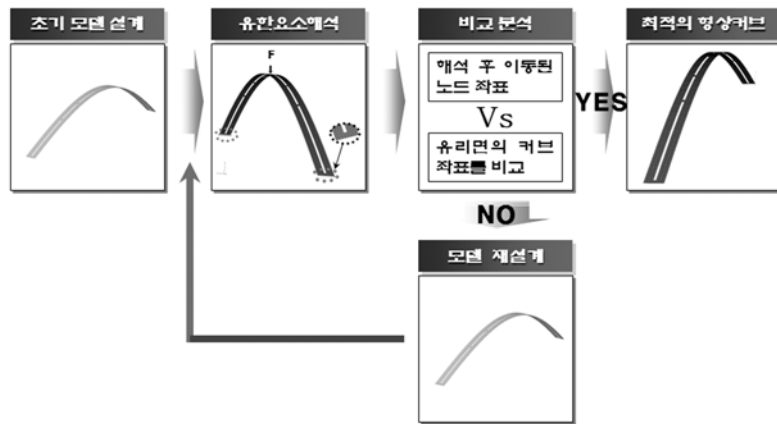


Fig. 3 Analysis flow diagram

경우 기존의 스틸 와이퍼 블레이드는 완전히 밀착하지 못하고 종종 중간에 들뜸 현상이 발생하여 그 닦임 성능이 저하됨을 알 수 있다. 그 이유는 스프링레일의 곡률이 유리면의 곡률에 대비하여 그 형상이 비 적합함에 따라 불균일한 접촉하중 분포에 의한 접촉 분리 현상이 발생하기 때문이다. 자동차 유리 곡면은 자동차에 따라 각 각 상이함으로 해석을 수행할 시 그 기준을 정해야 하며 이번 연구에서는 현재 자동차 업계에서 주로 사용하고 있는 곡률 3000R을 이용하여 해석을 수행하였으며 해석 절차는 Fig. 3의 순서도에 정리되어 있다.

Fig. 3의 순서도와 같이 우선적으로 임의의 커브를 선정하고 스프링레일의 초기 유한요소모델에 대한 힘-변형 해석을 수행하였다. 해석 후 커브와 유리 곡면상의 유한요소 절점의 좌표값을 확인하고 이동된 변위차이를 비교 분석하고 새로운 모델에 그 차이만큼의 수치를 반영하여 변경된 곡률을 갖는 스프링레일 구조를 다시 유한요소 모델링한 후 재해석을 수행하는 절차를 반복하였다.

### 3.2 해석 모델

해석 모델의 커브 형상은 외부파일을 이용하여 모델링하는 방법 중에서 여기서는 MS Excel을 이용하여 CATIA에서 점과 스플라인을 생성하였다.

본 해석에서는 총 297개의 적절한 분포된 점을 이용하여 곡선을 생성하여야 하므로 시간 절약을 위해서는 스크립트매크로(Script Macro)기능을 필수



Fig. 4 Finite element model of a blade

적으로 사용해야 한다. Fig. 4는 스프링레일의 유한요소모델을 나타낸 것으로 구성하고 있는 요소의 종류는 ABAQUS 4절점 적층 쉘 요소(S4R5)를 사용하였으며 이 요소는 각 절점당 5개의 자유도를 지니며 해석 모델 요소의 수는 2376개다.

유한요소모델 생성시의 경계조건은 양 끝단에 각각 핀지지와 롤러지지를 하였으며 중앙 지점에 일정한 와이퍼 압력을 집중하중을 가하는 조건으로 주었다(Fig. 5). 해석시 사용된 기계적 물성치는  $E = 12,000 \text{ kgf/mm}^2$ ,  $\nu = 0.3$ 인 압연강을 사용하였고 두께는 0.84 mm를 사용하였다.

### 3.3 해석 결과

시행착오법으로 6회의 과정을 거치면서 원하는 형상의 커브 좌표를 얻을 수 있었다. Fig. 6의 그래프를 보면 X-좌표는 유리곡면 3000R의 방향이고 CASE 1,2,3은 변형해석 후 얻어진 절점의 좌표들 중 임의로 3회만 선정한 결과이다. 표에서 보는 것과 같이 CASE 1은 최초의 형상에서 1차 유한요소 변위

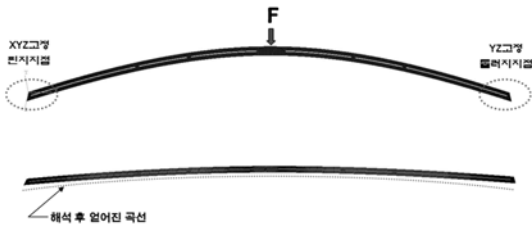


Fig. 5 Force and boundary conditions and the calculated curve result

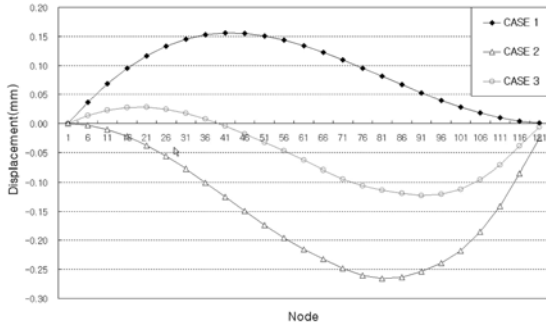


Fig. 6 Displacements at FE nodes

해석 후 얻은 결과이며, CASE 2는 3회 계산수행 후 얻은 결과 값이고, CASE 3은 4회째 해석 후 얻은 결과이다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 해석이 수행될 수록 시행착오를 거치면서 점점 유리곡면의 곡률에 근접해 감을 볼 수 있다.

5회와 6회의 해석을 수행 후에는 그 차이가 없었으며 그 후에는 오히려 유리면과의 거리가 더 멀어짐을 볼 수 있었으며, 6회 해석의 결과 값은 CASE 3과 유사하여 그래프에는 제외하였다.

완전히 유리곡면에 밀착한 스프링레일의 커브좌표를 찾을 수는 없었지만 CASE 3을 보면 최고값이 0.13mm이며 그 평균값은 0.056mm로서 자동차 유리곡면과 가장 가까운 좌표를 얻을 수 있었다.

### 3.4 커브 피팅

유한요소법으로 얻어진 297개의 원하는 절점의 좌표를 통과하는 곡선의 식을 구하기 위해서는 커브 피팅(Curve Fitting)이 필요하다. 본 논문에서는 MATLAB의 POLYFIT 함수의 최소자승법(Method of Least Squares)을 이용하여 n차 다항식에 계산결과를 맞추며 자료를 가장 잘 설명하는 다항식을 얻었다.<sup>5)</sup>

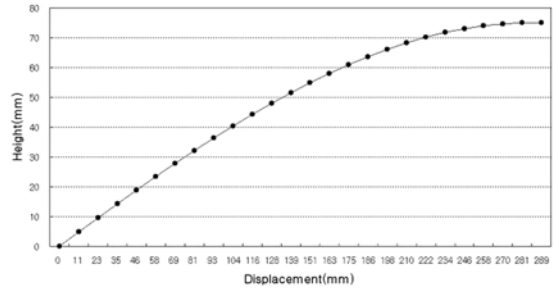


Fig. 7 Curve fitting

Fig. 7은 커브의 형태가 좌우대칭이어서 반쪽 결과만 나타내었고 여기서 점(Point)은 유한요소해석 결과에서 얻어진 절점의 좌표이고 선은 커브피팅을 수행하여 나타낸 곡선이다.

Fig. 7에서 보는 것과 같이 해석 후 얻어진 최적의 좌표가 불규칙적인 형상이 아니며 3차함수의 형상이어서 커브피팅한 곡선이 좌표의 중심을 통과하는 보다 정확한 곡선을 얻을 수 있었다. 아래의 식 (1)은 플랫폼 와이퍼 스프링레일 곡선을 3차 함수로 나타낸 식이다.

$$Y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \tag{1}$$

$$\begin{cases} A = -1.21e-6 \\ B = -2.13e-4 \\ C = 0.4223 \\ D = -0.021692 \end{cases}$$

## 4. 결론

본 연구에서는 플랫폼 와이퍼 닦임 성능향상에 큰 영향을 미치는 스프링레일의 곡률을 구하기 위하여 유한요소해석을 사용하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 플랫폼 와이퍼와 유리곡면의 접촉 시 중앙부위가 들뜨는 현상이 발생하면 접촉경사각이 작아져서 고무재질과 고무블레이드의 단면 형상, 압(Arm) 압력 등이 이상적으로 설계되었다고 하더라도 와이퍼의 닦임 성능이 나빠지는데, 이를 개선할 수 있는 설계절차가 개발되었다.
- 2) 일정한 와이퍼 가압력 하에서 유리면에 균일한 닦임력이 분포되도록 상용 코드인 ABAQUS를 사용하여 힘-변형해석을 수행하여 스프링레일의 최적의 곡률 좌표(절점)를 구할 수 있었다.

3) 시행착오법으로 얻은 와이퍼 스프링레일의 곡률 좌표를 MATLAB의 최소자승법을 이용하여 커브피팅한 결과 균일한 분포하중을 주는 스프링 레일의 곡면 형상식을 얻었으며, 경험에 의존해서 설계하던 것을 계산된 곡면식을 사용하여 정확히 설계할 수 있게 하였다.

### References

- 1) S. C. Chang and H. P. Lin, "Chaos Attitude Motion and Chaos Control in an Automotive Wiper System," International Journal of Solids and Structures, Vol.41, No.13, pp.3491-3504, 2004.
- 2) B. S. Hun, K. M. Lee, S. D. Kim, S. G. Oh, S. Y. Cho, D. M. Lee, S. I. Park, S. G. Park and K. W. Jung, A Study on Performance Factors for Optimal Contact Condition between Windshield Glass and Wiper Blade(I), Ministry of Science and Technology Report, 1988.
- 3) Korean Industrial Standard KS R 3015, Wiper Blade and Wiper Arm for Automobile, 2007.
- 4) D. H. Kim, S. H. Park, Y. H. Kim and J. H. Kim, "Contact Pressure Measurement of Windshield Wiper Blade using Piezoelectric Sensor," Spring Conference Proceedings, Vol.2, KSAE, pp.463-467, 2002.
- 5) M. E. Herniter, Programming in MATLAB, Thomson, pp.464-472, 2000.