

자동차 와이퍼 시스템의 유연 다물체 동역학 해석

정성필* · 박태원*† · 정원선**

* 아주대학교 기계공학부, ** 자동차 부품 연구원

Flexible Multibody Dynamic Analysis of the Wiper System for Automotives

Sung Pil Jung*, Tae Won Park*† and Won Sun Cheong**

* School of Mechanical Engineering, Ajou Univ.

** Korean Automotive Technology Institute

(Received September 11, 2009 ; Revised November 24, 2009; Accepted December 2, 2009)

Key Words : Flat Type Blade(플랫 타입 블레이드), Hyper-Elastic Material(초탄성 물질), Modal Coordinate(모드 좌표계), Absolute Nodal Coordinate(절대 절점 좌표계), Structural Analysis(구조해석)

초록: 본 논문에서는 플랫 타입 블레이드를 장착한 와이퍼 시스템의 성능을 예측하기 위한 동역학 해석 방법을 제시하였다. 고무 재질로 이루어진 블레이드는 비선형의 특성을 갖기 때문에, 블레이드의 동적 특성을 나타내기 위하여 모달 좌표계와 절대 절점 좌표계를 이용하였다. 블레이드 단면의 굽힘 특성을 파악하기 위해 블레이드에 대한 구조 해석을 실시하였다. 해석 결과에 따라 블레이드 단면을 강체, 유연체 및 대변형체의 3 부분으로 구분하였다. 모달 좌표계와 절대 절점 좌표계를 이용하여 블레이드 단면의 유연체 및 대변형체를 표현하였다. 동역학 해석 결과를 검증하기 위해 실험을 실시하였고, 결과 비교를 통해 본 연구에서 생성한 블레이드에 대한 유연 다물체 모델의 신뢰성을 검증하였다.

Abstract: This paper presents the dynamic analysis method for estimating the performance of flat-type blades in wiper systems. The blade has nonlinear characteristics since the rubber is a hyper-elastic material. Thus, modal coordinate and absolute nodal coordinate formulations were used to describe the dynamic characteristic of the blade. The blade was structurally analyzed to find the bending characteristics of the cross section of the blade. According to the analysis results, the blade section is divided into three deformation bodies: rigid, small, and large. For the small deformation body, the modal coordinate formulation is used, while the absolute nodal coordinate formulation is used for the large deformation body. To verify the dynamic analysis result, an experiment was performed. The simulation and experiment results were compared to verify the flexible multi-body dynamic model.

1. 서 론

자동차용 와이퍼 시스템의 구성 요소 중 블레이드(Blade)는 윈드실드(Windshield)와 직접적으로 접촉하여 윈드실드 표면 상의 물, 눈, 먼지 등의 이물질을 닦아내는 핵심적인 요소로서, 블레이드의 성능은 곧 와이퍼 시스템 전체의 성능을 대변한다. 와이퍼는 블레이드와 윈드실드와의 접촉으로 인해 발생하는 누름압이 블레이드에 고르게 분포될 때 효과적인 닦임력과 내구 성능을 발휘한다. 특히 곡면 유리에 주로 사용되는 블레이드는 곡면 적응

성이 우수해야만 블레이드가 유리면과 분리되는 부분이 없이 접촉할 수 있다. 이를 위해 블레이드가 길이 방향으로 좋은 유연성(Flexibility)과 균일한 접촉하중 분포를 가져야 하고, 동시에 단면에 대한 비틀림 강성(Torsional stiffness)이 높아야 한다. 블레이드의 단면형상과 재질은 윈드실드와 블레이드사이의 접촉각을 일정 범위 사이에서 유지시키는 역할을 하고, 접촉각이 규정된 범위를 벗어나는 경우 블레이드 립의 떨림(Chattering) 및 소음(Noise) 등의 문제를 야기할 수 있다.

또한 블레이드는 모터에 연결된 링크지의 움직임에 따라 일정 구간에서 같은 운동을 반복하는 동적 시스템이다. 따라서 블레이드의 움직임에 따

† Corresponding Author, park@ajou.ac.kr

라 블레이드가 적응해야 하는 유리곡면의 곡률이 바뀌게 된다. 이 때문에 접촉하중의 불균일 분포 및 고무와 유리면 사이의 마찰계수의 변화가 일어나게 되고 이는 곧 블레이드의 닳임 성능 저하로 직결된다. 따라서 와이퍼 블레이드를 설계할 때 윈드실드의 곡률 변화에 상관없이 한곳으로 집중되는 블레이드의 누름압을 전체적으로 골고루 분산, 전달시켜 주는 것이 필요하다. 이를 위해서는 와이퍼 설계시 전체 와이퍼 시스템의 동적 거동 분석을 통해 블레이드와 윈드실드 사이의 적정 마찰계수 및 접촉각을 확보하고, 블레이드의 형상에 따라 누름압이 균일하게 분포되도록 해야 한다.

지금까지 와이퍼 시스템의 특성 및 블레이드의 누름압을 예측하기 위한 많은 시도가 있었다. Yoo⁽¹⁾는 전체 와이퍼 시스템을 강체 및 유연체로 모델하였고, 동역학 해석을 통해 두 모델의 차이점을 비교하였다. Grenouillat⁽²⁾ 등은 윈드실드를 강체 커브(Curve)로, 블레이드를 탄성 빔(Elastic beam)으로 설정하고, 커브와 빔 사이에 여러 개의 스프링 요소(Spring element)를 삽입한 후 빔에 수직하중을 가했을 때 스프링 요소의 압축 반발력을 계산하여 블레이드의 누름압 분포를 예측하였다. 그러나 이 방식은 실제 시스템을 지나치게 단순화하였고, 윈드실드의 곡률을 정확하게 반영하지 못하고 있다는 단점이 있다. Yoon⁽³⁾ 등은 유한 요소 해석 기법(Finite element analysis method)을 이용하여 플랫폼 와이퍼용 레일 스프링(Rail spring)의 초기 곡률을 최적화 하였다. Lee⁽⁴⁾ 등은 상용 다물체 동역학 프로그램인 ADAMS 를 이용하여 와이퍼 시스템에 대한 삼차원 동역학 모델을 생성하고, 해석 결과를 실험결과와 비교하였다. 이상의 연구들은 정적인 상태에서 블레이드에 발생하는 누름압을 계산했기 때문에, 와이퍼가 동적상태에 있을 때 윈드실드의 곡률변화에 따르는 블레이드의 누름압 변화를 예측하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 플랫폼 블레이드(Flat blade)를 장착한 와이퍼 시스템의 동적상태에서의 닳임성능을 예측하기 위한 연구 중 첫번째 단계로, 와이퍼 시스템에 대한 기초 유연 다물체 동역학 모델을 생성하였다. MATLAB 을 이용하여 구축된 유연 다물체계의 운동 방정식을 풀 수 있는 해석기를 개발하였다. 전체 와이퍼 시스템에 대한 강체 동역학 모델을 생성하였고, 해석을 수행함으로써 해석기의 신뢰성을 검증하였다. 모드 좌표계⁽⁶⁾와 절대절점 좌표계⁽⁶⁾를 활용하여 블레이드 단면에 대한 유연체 모델을 생성하였고, 앞서 개발된 강체 동역

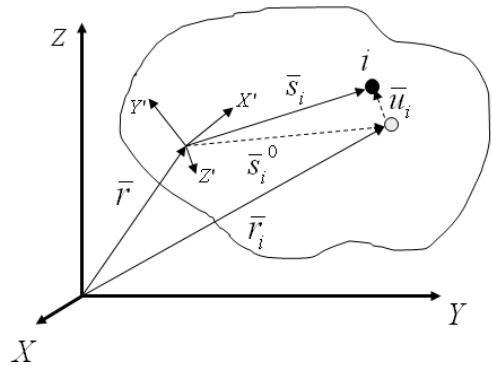


Fig. 1 Elastic body

학 모델에 접목시켜 해석을 수행하였다. 정적상태에서 실제 차량에 장착된 블레이드의 접촉각을 측정하였고, 이를 해석 결과와 비교함으로써 개발된 모델의 타당성과 해석기의 신뢰성을 평가하였다.

2. 유연체 동역학

2.1 모드 좌표계를 이용한 유연체 동역학

유연체 내부 임의의 질점에 대한 움직임이 Figure 1 에 나타나 있다. 3 차원 공간에서 운동하는 유연체 내부의 임의의 점 i 는 식 (1)과 같이 표현된다.⁽⁷⁾

$$\bar{r}_i = \bar{r} + A\bar{S}_i' = \bar{r} + A(\bar{S}_i^0 + \bar{u}_i') \quad (1)$$

여기서 A 는 좌표계 X'-Y'-Z' 에서 좌표계 X-Y-Z로의 변환행렬, \bar{S}_i^0 는 변형 전의 위치벡터, \bar{u}_i' 는 변형에 의한 점 i 의 병진노드 변위이다. 점 i 에 대응하는 병진 및 회전 자유도의 변형 모달 행렬은 다음과 같이 표시한다.

$$\psi^i = \begin{bmatrix} \psi_r^{i^T} & \psi_r^{i^T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

모달행렬을 이용한 병진 변위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_i' = \psi_i^{i'} \bar{a} \quad (3)$$

여기서 \bar{a} 는 모달 위치 벡터이다. 식 (1)을 모달 벡터를 이용하여 다시 쓰면 식 (4)와 같다.

$$\bar{r}_i = \bar{r} + A(\bar{S}_i^0 + \psi_i^{i'} \bar{a}) \quad (4)$$

\tilde{a} 를 \bar{a} 의 비대칭 행렬(skew symmetric matrix)로 정의하고, $\dot{A} = A\tilde{\omega}'$, $\tilde{a}\bar{b} = -\tilde{b}\bar{a}$ 임을 이용하여⁽⁸⁾

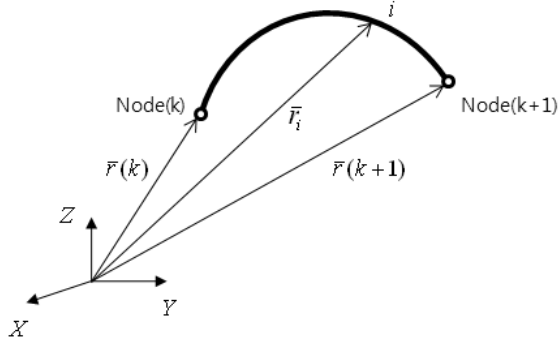


Fig. 2 Deformation of a beam element in the absolute nodal coordinate formulation

식 (4)를 미분하면 식 (5)와 같은 절점 i 의 속도벡터가 유도된다.

$$\dot{\bar{r}}_i = \dot{\bar{r}} - A\tilde{S}'_i \dot{\omega}' + A\psi'_i \dot{\bar{a}} \quad (5)$$

마찬가지로 $\ddot{\mathbf{A}} = A\ddot{\omega}' + A\dot{\omega}'\dot{\omega}'$ 임을 이용하여(8) 식 (4)를 두번 미분하면 식 (6)와 같은 절점 i 의 가속도 벡터가 유도된다.

$$\ddot{\bar{r}}_i = \ddot{\bar{r}} - A\tilde{S}'_i \ddot{\omega}' + A\dot{\omega}'\dot{\omega}'\tilde{S}'_i + A\psi'_i \ddot{\bar{a}} \quad (6)$$

2.2 절대 절점 좌표계를 이용한 유연체 동역학

Figure 2는 대변형을 하는 빔요소(Beam element)의 움직임을 표현하기 위한 절대 절점 좌표계를 보여준다.

빔요소는 두개의 절점(Node)을 갖고 있으며, 두 절점 사이의 임의의 점의 위치는 식 (7)과 같이 절대절점 좌표의 위치와 기울기를 이용하여 나타낼 수 있다.(9)

$$\mathbf{e}^{ie_k} = \left[\mathbf{r}^{ie_k T}, \left(\frac{\partial \mathbf{r}^{ie_k}}{\partial x^{ie}} \right)^T, \left(\frac{\partial \mathbf{r}^{ie_k}}{\partial y^{ie}} \right)^T, \left(\frac{\partial \mathbf{r}^{ie_k}}{\partial z^{ie}} \right)^T \right] \quad (7)$$

식 (7)에서 \mathbf{r}^{ie_k} 는 절점 \mathbf{k} 의 위치 좌표, $\partial \mathbf{r}^{ie_k} / \partial x^{ie}$, $\partial \mathbf{r}^{ie_k} / \partial y^{ie}$, $\partial \mathbf{r}^{ie_k} / \partial z^{ie}$ 는 절점 \mathbf{k} 의 기울기를 의미한다. 빔 내부의 임의의 점 P 의 위치는 빔요소의 형상함수(Shape function) \mathbf{S}^{ie} 와 절대 절점좌표 \mathbf{e}^{ie} 를 이용하여 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r}^{ie} = \mathbf{S}^{ie}(x^{ie}, y^{ie}, z^{ie})\mathbf{e}^{ie}(t) \quad (8)$$

삼차원 빔요소의 운동 에너지(Kinetic energy)는 빔에 대한 연속체 이론을 이용하여 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T^{ie} &= \frac{1}{2} \int_{V^{ie}} \rho^{ie} \dot{\mathbf{r}}^{ie T} \dot{\mathbf{r}}^{ie} dV^{ie} \\ &= \frac{1}{2} \dot{\mathbf{e}}^{ie T} \left(\int_{V^{ie}} \rho^{ie} \mathbf{S}^{ie T} \mathbf{S}^{ie} dV^{ie} \right) \dot{\mathbf{e}}^{ie} = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{e}}^{ie T} M_a^{ie} \dot{\mathbf{e}}^{ie} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 ρ^{ie} 와 V^{ie} 는 각각 밀도와 부피를 의미하고 미하고, M_a^{ie} 는 빔요소에 대한 질량행렬이다. 빔요소에 대한 탄성 포텐셜 에너지(Elastic potential energy)는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U^{ie} = \frac{1}{2} \int_{V^{ie}} \boldsymbol{\varepsilon}^{ie T} E^{ie} \boldsymbol{\varepsilon}^{ie} dV^{ie} = \frac{1}{2} \mathbf{e}^{ie T} K_a^{ie} \mathbf{e}^{ie} \quad (10)$$

식 (10)에서 K_a^{ie} 는 강성행렬이다. 이때 탄성력(Elastic force)는 식 (11)과 같이 탄성 포텐셜 에너지를 일반 좌표계(Generalized coordinate)로 미분하여 구할 수 있다.

$$\mathbf{Q}_k^{ie} = - \left(\frac{\partial U^{ie}}{\partial \mathbf{e}^{ie}} \right)^T \quad (11)$$

2.3 유연 다물체 운동 방정식 풀이 과정

Figure 3 은 본 연구에서 개발한 유연 다물체 해석 프로그램의 구성을 보여준다. 전처리기에서는 각 물체(Body)의 위치, 속도, 외력등의 초기조건을 정의한다. 다음, 유연체 모델의 물성치를 입력하고, 절점의 좌표 및 요소 정보를 불러들인다. 모드 좌표계에 기반한 소변형체의 경우 강성 행렬을 바탕으로 구속모드를 추출하고, 정규 모드와 구속 모드를 정규화 시킨다. 해석기에서는 강제 및 유연체를 모두 포함한 시스템 전체의 질량 및 힘 행렬을 생성하고, 구속조건을 조합하여 구속식의 자코비안(Jacobian)을 계산한다. 어셈블리 해석을 통해 초기 조건을 만족하는지 여부를 확인하고, 잉여 구속 제거과정을 거쳐 운동 방정식 행렬의 특이성(Singularity)을 방지한다. 다음 일반좌표를 독립좌표와 종속좌표로 분리한 후 위치, 속도, 가속도 값을 구하고, 미분 방정식에 대한 초기치 문제를 풀 후 결과를 저장한다. 후처리기에서는 해석기에서 구한 결과를 그래프 또는 데이터로 출력한다.

3. 와이퍼시스템 해석 모델

Figure 4 는 본 연구에서 대상으로 한 플랫폼 블레이드를 장착한 와이퍼 시스템의 구성도를 보여준다. 와이퍼 시스템은 블레이드(Blade), 암(Arm)과 암 헤

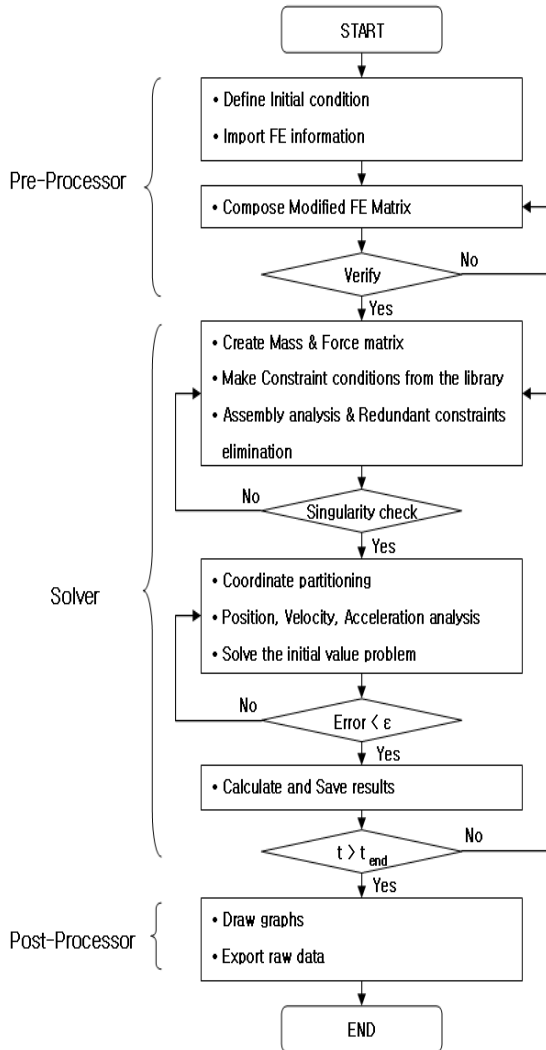


Fig. 3 Structure of the analysis program

드(Arm head), 링크기구(Linkage) 그리고 모터(Motor)로 구성된다. 암 헤드의 피봇 지점(Pivot point)은 차체와 연결되는 동시에 링크기구와도 연결되어 있어서 링크기구의 움직임에 따라 암이 일정한 궤적을 그리며 왕복 운동한다. 암과 암 헤드의 연결부에 스프링이 삽입되어 있어서 암과 암 헤드의 상대각도에 따라 스프링이 인장된다. 스프링 인장력은 암을 통해 블레이드로 전달되고, 이 힘은 블레이드 내부에 삽입된 레일 스프링(Rail spring)의 곡률 변화로 인해 발생하는 탄성 복원력과 더해져 블레이드 고무에 누름압을 발생시킨다. Figure 4에 와이퍼 시스템에 대한 유연 다물체 동역학 모델링 방법이 나타나 있다. 링크지, 암 및 윈드실드는 강체(Rigid body)로 설정하였고, 블레이드는 유연체(Flexible body)로 가정하였다. 암내부에는 스프링 요소가 삽입되어 있고, 블레이드와 윈드실드사이에는 접촉 모듈(Contact module)이 적용되어 있다.

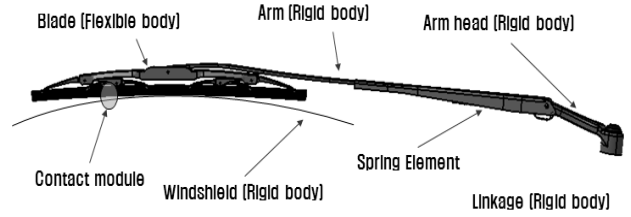


Fig. 4 Dynamic modeling method of the wiper system

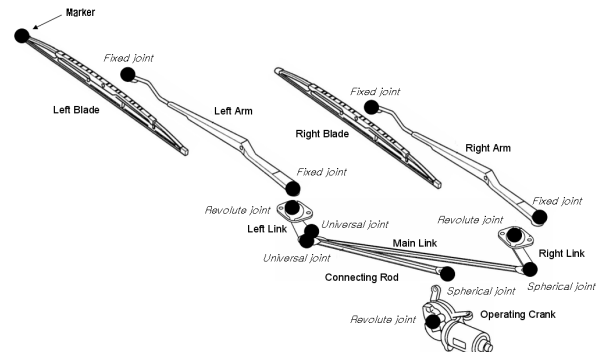


Fig. 5 Dynamic model of the rigid wiper system

3.1 강제 동역학 모델

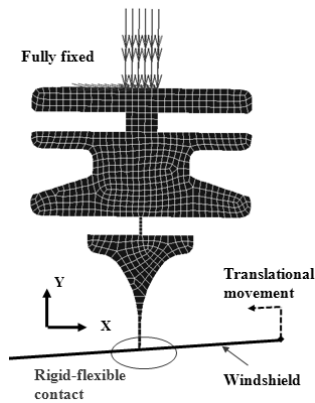
Figure 5는 와이퍼 시스템에 대한 강제 동역학 모델을 보여준다. 동역학 모델은 9개의 강체 부품으로 구성되어있고, 11개의 기구학 조인트를 사용하여 부품간 연결관계를 정의하였다. 강제 동역학 모델을 활용하여 링크지의 구성 방식, 모터의 회전속도, 암의 길이등 와이퍼 시스템의 기구 설계가 가능하다. 본 모델의 운동 방정식을 MATLAB을 이용해 개발한 해석기로 풀어봄으로써 해석기의 성능 및 신뢰성을 검증하였다.

3.2 블레이드 단면 모델

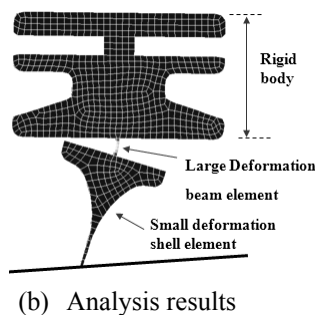
본 연구에서 대상으로 하는 플랫폼 블레이드는 매우 복잡한 단면을 갖고 있고, 재질이 고무로 이루어져 있기 때문에 특성을 해석하기 매우 어렵다. 이에 본 논문에서는 블레이드 모델을 개발하기 위한 1차 연구로 블레이드 단면에 대한 유연 다물체 모델을 생성한 후, 앞서 개발한 강제 동역학 모델에 적용시켜 해석을 수행하였다. 추후 블레이드 단면을 레일 스프링의 곡률에 맞춰 3차원으로 확장함으로써 블레이드에 대한 보다 정확한 모델을 생성할 계획이다.

먼저, 블레이드 단면에 대한 유한요소해석을 수행하여 윈드실드와의 접촉시 단면의 굽힘특성을 파악하였다. Figure 6의 (a)와 같이 삼차원 셸(Shell) 요소를 사용하여 블레이드 단면에 대한 유한요소

모델을 생성하였다. 단면 상부의 5 개의 절점을 완전 구속하였고, 커브를 생성하여 윈드실드로 가정 한 후 윈드실드를 -x 방향으로 강제 이동 시켰다. 블레이드와 윈드실드사이에 강체-유연체 접촉조건을 부여하였고, 마찰계수는 0.8 로 설정하였다. 0.8 은 블레이드 고무가 건조한 상태에서 유리면을 미미끄러질 때의 발생하는 일반적인 값이다. Figure 6 의 (b)는 해석 결과를 보여준다. Figure 6(b)에서 블레이드 단면의 상단부는 거의 변형이 일어나지 않고, 상단부와 하단부를 연결하는 얇은 부분에서 대부분의 변형이 일어남을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 블레이드 단면을 3 가지의 다른영역으로 구분하였고, 각 영역에 대해 상단부는 강체, 하단부는 소변형체, 중간 연결부는 대변형체로 가정 하였다. 모드 좌표계를 이용한 3 차원 셸(Shell)요소를 이용하여 하단부의 소변형체를 모델하였고, 절대 절점 좌표계를 이용한 3 차원 빔(Beam)요소를 이용하여 중간 연결부의 대변형체를 모델하였다. 상단부 강체는 단면의 굽힘 특성에 전혀 영향을 끼치지 않으므로 집중질량으로 대체하여 3.1 절에서 개발한 와이퍼 강체 동역학 모델에 연결하였다. Figure 7 은 개발된 블레이드 단면 동역학 모델을 보여준다.



(a) Finite element model and boundary conditions



(b) Analysis results

Fig. 6 Finite element analysis of the cross section of the flat blade

3.3 와이퍼 시스템 해석 모델

블레이드를 고려한 전체 와이퍼 시스템을 해석 하기 위하여 3.1 절의 강체 모델에 3.2 절의 블레이드 단면 모델을 결합하였다. 이때 레일 스프링의 탄성복원력을 대신하기 위해 3.1 절의 강체 모델에서 블레이드 부분을 모드좌표계를 이용한 탄성 빔 요소를 사용하여 모델하였다. Figure 8 은 3 차원 와이퍼 시스템 해석 모델을 보여준다.

3.4 접촉력 계산 모듈

기초적인 강체-유연체 접촉 모듈을 개발하여 윈드실드와 블레이드사이의 접촉력 및 마찰력을 계산하였다. 접촉 모듈은 크게 접촉점 탐색 과정과 접촉력 및 마찰력 계산 과정으로 구성된다. Figure 9 는 개략적인 접촉점 탐색과정을 보여준다. Figure 9 에서 강체 커브는 윈드실드를 나타내는 것으로서, CATIA 등의 CAD 프로그램에서 추출한 윈드실드의 곡률 방정식으로 표현된다. 유연체의 절점과 강체 커브간의 거리가 1×10^{-5} 보다 작을 때 접촉이 일어난다고 설정하고, 접촉이 일어난 모든 절점에서 수직방향 힘(Normal force)이 발생한다. 수직방향 힘은 Hertz 의 탄성이론을 바탕으로 식 (12)와 같이 계산된다.⁽¹⁰⁾

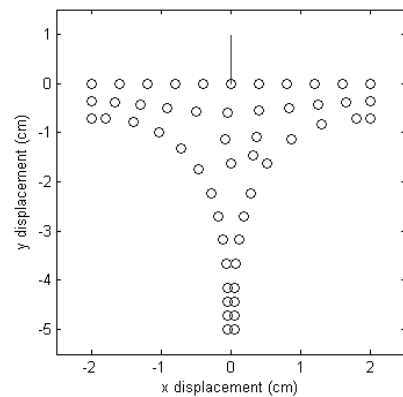


Fig. 7 Dynamic model of the cross section of the flat blade

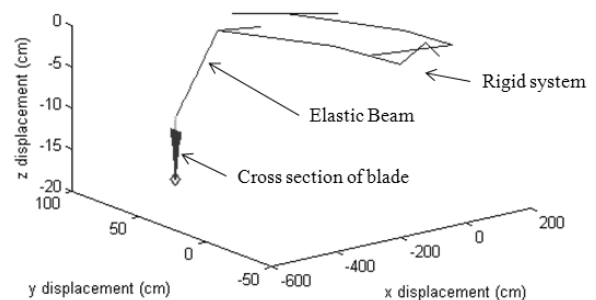


Fig. 8 Dynamic model of the whole wiper system including the flat blade

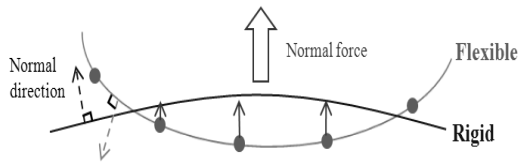


Fig. 9 Schematic diagram of the searching method for the contact module

$$F = K\delta^n \left[1 + \frac{3(1-e^2)}{4} \frac{\dot{\delta}}{\dot{\delta}_0} \right] \quad (12)$$

식 (12)에서 δ 는 침투량, $\dot{\delta}$ 는 침투속도, $\dot{\delta}_0$ 는 초기 침투 속도, e 는 반발계수를 나타낸다. K 는 충돌 강성으로서 충돌하는 물체의 형상과 재질에 의해 결정된다.

4. 해석 결과

4.1 강체 동역학 모델 해석 결과

Figure 10은 3.1절에서 개발한 와이퍼 시스템 강체 동역학 모델에 대한 해석 결과를 보여준다. 시간의 흐름에 따라 와이퍼 모델이 잘 구동되고 있으므로 향후 와이퍼 기구설계에 개발된 모델이 충분히 활용될 수 있음을 입증하였고, 개발된 해석기의 신뢰성을 확인하였다.

4.2 와이퍼 시스템 모델 해석 결과

3.3절에서 개발한 와이퍼 시스템 해석모델의 신뢰성을 검증하기 위해 Figure 8의 해석 모델에 윈드실드를 삽입하여 해석을 수행하였다. 윈드실드는 곡률이 없는 평평한 평판(Flat plate)으로 가정하였고, 블레이드 단면모델과의 접촉으로 인한 수직 방향 힘과 마찰력이 발생한다. 이때 마찰계수는 0.8로 설정하였다. Figure 11의 (a)는 실제차량에서 왼쪽 암을 초기 장착위치로부터 30°회전한 지점에 올려놓고, 그때의 블레이드 단면의 변형을 촬영한 사진이다. 블레이드와 윈드실드와의 접선을 기준으로 봤을 때 블레이드의 단면이 약 57.3° 기울어져 있음을 알 수 있다. Figure 11의 (b)는 와이퍼 시스템 해석 모델에서 암이 초기 장착위치부터 30° 이동했을 때 블레이드 단면의 변형 결과이다. 해석 결과 경사각이 약 49.2로 실험결과와 어느정도 차이를 보임을 알 수 있다. 오차가 나는 이유는 다음과 같다고 판단된다.

- 1) 실험은 정적상태, 해석은 동적 상태에서 수행됨
- 2) 블레이드 단면모델이 실제 블레이드의 재질인 고무의 특성이 잘 반영하지 못함

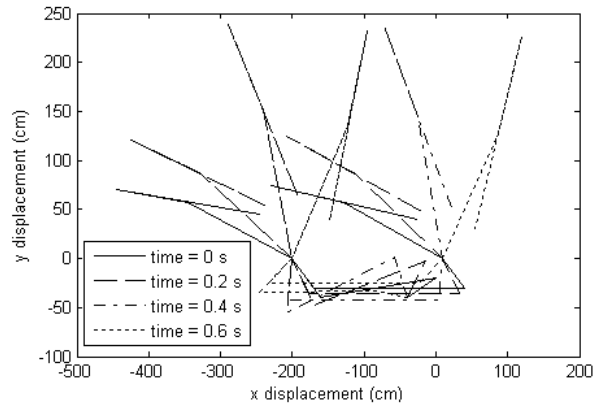


Fig. 10 Simulation result of the rigid wiper model

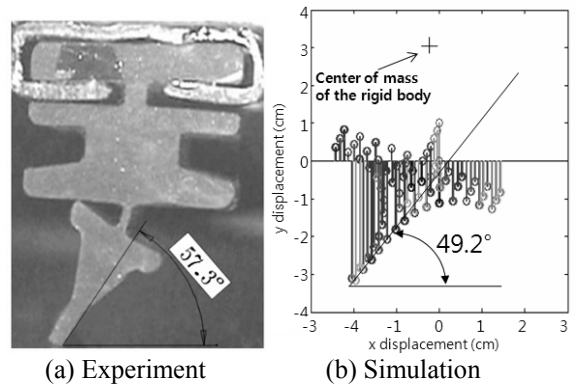


Fig. 11 Result comparison of the contact angle between the windshield and blade

- 3) 실제 윈드실드는 곡률이 있는 반면, 해석에 사용된 윈드실드는 곡률이 없음
- 4) 블레이드와 윈드실드사이의 마찰계수가 부정확하게 설정되었고, 마찰수직 방향 접촉력과 마찰력을 계산하는 접촉 모듈이 신뢰성 있는 결과를 내놓지 못함

5. 결론

본 연구에서는 플랫 블레이드를 장착한 와이퍼 시스템의 성능을 예측하기 위하여 전체 와이퍼 시스템에 대한 탄성 다물체 동역학 모델을 생성하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 강체, 모드 좌표계를 이용한 소변형체 및 절대절점좌표계를 이용한 대변형체가 모두 포함된 구속 다물체계의 운동방정식을 풀 수 있는 해석기를 개발하였다.
- (2) 개발된 와이퍼 시스템의 강체 동역학 모델은 초기 와이퍼 설계시 링크 구조와 암의 형상 및 길이등 기구학적인 조건을 설계하는데 활용될 수 있다.
- (3) 블레이드 단면모델을 생성하였고, 간단한 접

축 모듈을 개발하였으며, 강체모델과 다면 모델, 윈드실드 모델을 결합한 시스템 해석모델을 구성함으로써 전체 와이퍼 시스템에 대한 동역학 해석의 기본 모델을 구축하였다.

(4) 향후 블레이드 모델이 블레이드 고무의 특성을 잘 대변할 수 있도록 모델을 수정/보완하고, 접촉 모듈을 개선하여 와이퍼 시스템 해석 모델의 신뢰성을 향상시킬 계획이다.

후 기

본 연구는 ‘부품·소재 신뢰성 기반 기술 구축 확산 사업’에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Yoo, W. S., 1986, "Dynamic Analysis of a Flexible Windshield Wiper Mechanism," *Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 10, No. 4, pp. 450~455.

(2) Grenouillat, R. and Leblanc, C., 2002, "Simulation of mechanical pressure in a rubber-glass contact for wiper systems," *SAETechnicalPaperSeries2002-01-0798*.

(3) Yoo, Y. S. and Kim, T. H., 2007, "Development of an

Optimum Curve of an One-point Supported Flat Wiper Spring Rail with Uniform Pressure," *Spring Conf. Proc., Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 8~12.

(4) Lee, B. S. and Shin, J. Y., 2006, "Contact Pressure Analysis of a Windshield Wiper blade," *Transactions of Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 51~57.

(5) Yoo, W. S. and Haug, E. J., 1986, "Dynamics of Articulated structures. Part I. Theory," *J. STRUCT. MECH.*, 14(1), pp. 105~126.

(6) Shabana, A. A., 2005, *Dynamics of Multibody systems, 3rd edition*, Cambridge university press.

(7) Jung, S. P. and Park, T. W., 2008, "Analysis and Control of the Flexible Multibody System Using MATLAB," *Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 32, No. 5, pp.437~443.

(8) Haug, E. J., 1989, *Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical System, Vol. 1 : Basic Method*, Prentice-Hall, Inc.

(9) Yoon, J. W., Park, T. W. and Yim, H. J., 2008, "Fatigue Life Prediction of a Cable Harness in an Industrial Robot using Dynamic Simulation," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, pp.484~489.

(10) Kwon, B. H., Ahn, K. Y. and Kil, S. J., 2003, "Development of ADAMS/View Toolkit for Reliable contact Force Modeling," *Proceedings of MSC Korea user's conference*.