

클러치 효과를 고려한 하이-파워 프리텐서너의 동역학 해석

Study on the Dynamic Analysis of a High-Power Pretensioner Considering the Clutch Effect

*박찬승¹, #박태원², 정성필¹, 정광열¹, 홍요선³

*C. S. Park¹, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)², S. P. Jung¹, K. Y. Cheong¹, Y. S. Hong³

¹ 아주대학교 기계공학부, ² 아주대학교 기계공학과, ³ (주)디비아이

Key words : Pretensioner, Seatbelt, Analytical Study

1. 서론

오늘날에는 도로 여건이 좋아지고 자동차들이 고속화, 고급화 되어감에 따라 승객의 안전이 점점 중요한 문제가 되고 있다. 차량 안전이 중요한 문제로 부각되는 가운데 안전벨트는 안전 시스템에서 중요한 장치로 인식되고 있다. 안전벨트는 승객이 올바른 자세로 앉아있을 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

대부분의 승객이 안전벨트를 착용하는 경우, 안전벨트가 승객에게 완전히 밀착되어 착용되지 않거나 혹은 어떤 승객은 편안함을 위해 안전벨트에 여유를 두고 착용한다. 이처럼 안전벨트 착용시 느슨함을 느끼게 하는 안전벨트의 여유분을 슬랙이라고 한다. 이러한 슬랙은 안전벨트의 성능을 낮추는 요인이다. 프리텐서너는 안전벨트가 강제적으로 인입하는 기능을 한다. 최근에 개발된 프리텐서너는 사고시 강제적으로 안전벨트를 인입시켜 슬랙을 제거하고 갑작스러운 에어백 팽창으로 인한 사고 혹은 승객이 튀어나감을 방지하기 위해 사용된다.⁽¹⁾⁽²⁾

안전벨트의 성능 향상이 요구되는 가운데 안전벨트 리트랙터는 차량의 충돌이나 전복 사고시 화약을 터뜨려서 리트랙터 축으로 웨빙을 감아 탑승자의 움직임을 막는 프리텐션(Pretension) 기능을 장착하고 있다. 현재에는 이러한 리트랙터에 모터를 장착하여 차량의 사고 전에 적극적으로 안전을 유지시켜 주는 모터 구동형 리트랙터에 대한 연구가 진행 중이다.⁽³⁾

이러한 모터 구동형 리트랙터의 연구가 진행 중인 가운데 화약으로 작용하는 프리텐서너의 성능 향상도 요구됨에 따라 이에 맞춰 요구를 만족시키기 위해 High-power 프리텐서너의 해석적 연구를 수행하였다.

2. 동역학 모델링

High-Power 프리텐서너가 장착되어 있는 안전벨트의 구성을 살펴보면, 안전벨트가 감겨져 있는 Webbing부, 평상시에 안전벨트가 다시 감길 수 있도록 스프링이 장치되어 있는 Return spring부, 차량 사고시 안전벨트가 신속히 승객의 움직임을 제한할 수 있도록 작동하는 High-Power 프리텐서너부로 되어있다.

그 중 High-power 프리텐서너부의 내부를 살펴본 것이 Figure.1이다. 프리텐서너부는 랙, 피니언, 클러치하우징, 클러치, 스푼, 브라켓으로 구성되어 있다. 브라켓은 프리텐서너의 부품들을 감싸 폭발력으로부터 승객을 보호하고, 랙이 직선운동을 할 수 있도록 가이드 역할을 한다. 브라켓을 제외한 나머지 프리텐서너부를 동역학해석 상용 프로그램인 ADAMS로 불러들여 해석하였다.

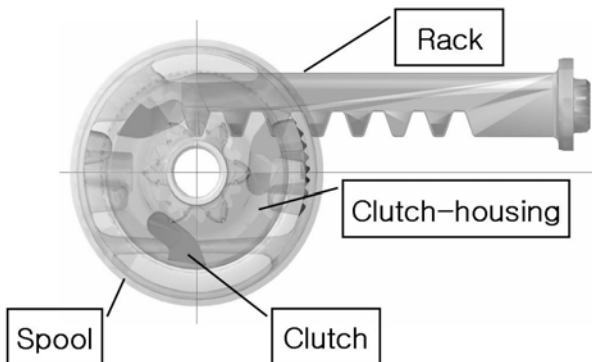


Fig. 1 Basic component of pretensioner

본 논문에서는 안전벨트의 인입량을 성능 파악 요소로 간주한다. 안전벨트의 인입량을 파악하는 방법으로 스푼의 회전각을 이용하였다. Figure.1의 모델에서 스푼의 ‘회전각x반지름’으로 안전벨트의 인입량, 안전벨트의 성능을 파악하였다.

성능을 파악하기 위한 프리텐서너의 동작 구성을 보면 다음과 같다. 폭발력이 랙에 작용하여 랙이 직선 운동을 하고, 피니언에 직선적인 힘이 작용한다. 피니언이 직선운동을 전달받아 회전운동을 한다. 회전운동으로 인해 피니언의 반대편 부분(클러치하우징)에 있는 클러치가 돌출한다. 클러치가 돌출하여 스푼과 결합하게 된다. 스푼이 피니언과 결합된 상태로 회전하면서 안전벨트가 감기게 된다.

이러한 과정이 짧은 시간(약 10ms)안에 발생하면서 Webbing부에 연결되어 있는 안전벨트를 감아 승객을 보호하는 것이다.

3. 클러치 모델링

사고가 발생하게 되면, 차량의 센서에서 ECU에 차량사고를 알리는 신호를 보내게 된다. 사고 신호를 받은 ECU가 승객의 안전을 위해 에어백과 같은 각 안전장치가 작동하도록 신호를 보내게 된다. 이 때, 프리텐서너의 경우 화약이 폭발하여 순간적으로 안전벨트가 감기는 것이다. 화약이 폭발하여 랙이 작동하여도 클러치가 안전벨트와 결합하지 않게 되면 안전벨트의 인입은 발생하지 않는다. 이처럼 클러치는 피니언부와 스푼이 결합하도록 하는 요소로서 매우 중요한 부품이다. 또한 클러치를 고정시키고 있는 고무스프링의 탄성계수를 변화시킴으로 클러치의 돌출 타이밍을 조절할 수 있다. 다시 말하면 클러치의 돌출속도를 빠르게 하여 프리텐서너의 효율을 좋아지게 할 수 있다는 의미이다.

우선 클러치가 돌출하는 순간의 회전속도를 알아보기 위하여 실험하였다. 실험을 통하여 모터가 180~190rpm로 회전할 때, 클러치가 돌출하는 것을 확인할 수 있었다. 동역학 모델링에 이를 반영하기 위해 Figure.2와 같이 클러치와 피니언을 스프링으로 연결하였다. 고무줄로 고정되어 있는 실제의 클러치처럼 작동하도록 모델링 되어있는 클러치가 180~190rpm에서 돌출하도록 ADAMS모델의 스프링 강성계수를 조절하였다. 또한 실제에서는 안전벨트가 인입되는 시점(화약 폭발 후 3ms이내)에서 클러치가 결합되도록 하였다.

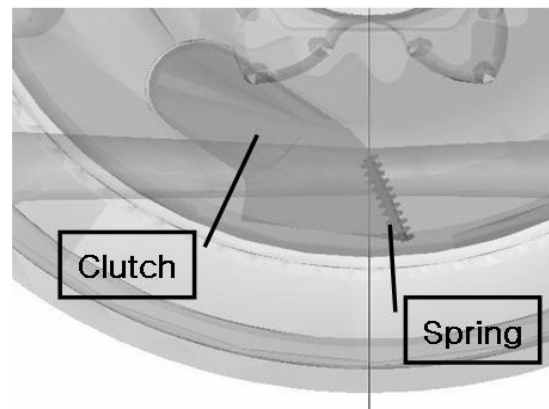


Fig. 2 Connection between clutch and pinion with spring

4. 실험결과 vs 해석결과

프리텐서너는 화약폭발력으로 작동하는 장치이다. 실제 화약 폭발압의 변화를 ADAMS에서는 spline곡선으로 입력하였다. 그리하여 위와 같은 동역학 모델링에 대한 안전벨트 인입량을 실험결과와 비교하였다.

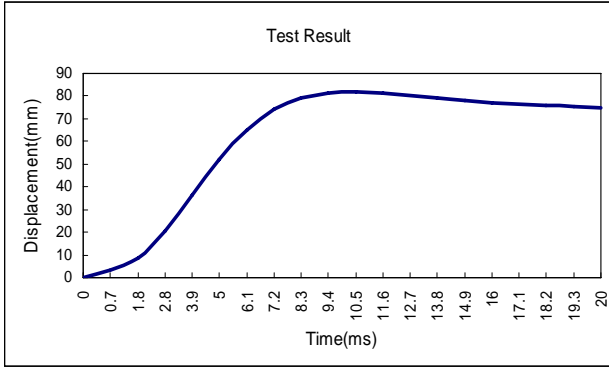


Fig. 3 The result of displacement

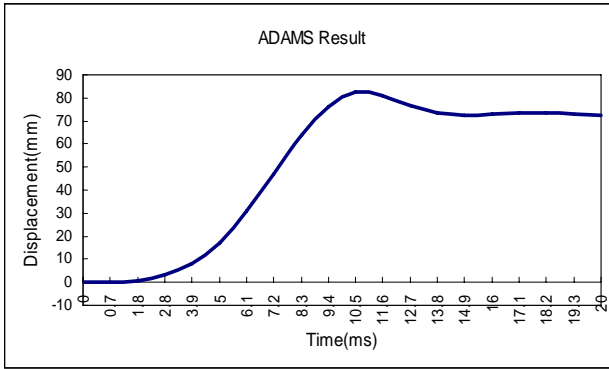


Fig. 4 ADAMS result of displacement

Figure.3은 실험결과이고 Figure.4는 해석결과이다. 두 그림을 살펴보면, 안전벨트의 인입이 10ms의 시간이 지나면서 80mm 정도의 최대 인입량을 나타내는 것을 알 수 있다. 폭발이 완료된 후에는 안전벨트가 약간 느슨해지는 것을 알 수 있다. 우리의 주요 관심은 동일한 폭발력이 프리텐서너에 작용했을 때, 안전벨트의 최대 인입량과 그 시간이다. 이러한 조건들을 충족시키므로 ADAMS모델의 해석결과가 만족할만한 결과를 나타내는 것을 확인하였다.

5. 포스 모델링

프리텐서너의 동역학 해석의 목적은 정적인 상태에서 120mm의 인입을 위한 화약폭발력을 제시하기 위함이다. 우선 실제와 같은 인입량을 나타내는 프리텐서너의 모델링을 통해서 검증하였다. 여기에서 안전벨트가 120mm 인입되도록 폭발력의 최대힘을 간단히 계산해 본 다음, 실제 실험을 통하여 검증하기로 했다.

그 과정은 다음과 같다. 랙에 가해지는 충격량은 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\text{충격량} = \text{그래프의 면적} \times \text{힘이 가해지는 랙의 면적} \quad (1)$$

안전벨트의 최대 인입량이 발생하는 시점은 폭발 후, 10~11ms이다. 그리고 안전벨트 인입의 시작은 약 3ms가 지나면서이다. 이 3ms동안에 클러치가 돌출하여 스프링과 결합한다. 다시 말해 3ms이전의 충격력은 안전벨트의 인입에 전혀 사용되지 못하는 것이다. 폭발 시작부터 최대 인입량이 발생하는 시점의 면적과 3ms이전의 면적을 계산해보면 약 7%의 손실이 있다는 것을 식(2)를 통해 알 수 있다.

$$\frac{0\text{ms} \sim 3\text{ms} \text{충격량}}{0\text{ms} \sim 10\text{ms} \text{충격량}} = \frac{517\text{bar} \cdot \text{ms}}{(517 + 6767)\text{bar} \cdot \text{ms}} \times 100 \approx 7\% \quad (2)$$

또한 안전벨트 인입시 랙의 이동을 살펴보면, 80mm의 안전벨트 인입량에 랙의 기어가 5개 정도 이동한다. 하지만 3ms정도 시간이 흐르면서 랙의 기어가 1개 정도 진행한다. 다시 말해 랙의 기어 4개가 안전벨트의 인입에 관여하는 것이다. 식(3)의 비례관계로 몇 개의 기어가 이동해야 120mm의 인입량이 발생하는지 계산해보았다.

$$\text{기어4개} : 80\text{mm} = x : 120\text{mm} \quad (3)$$

랙의 기어 6개가 이동해야 안전벨트가 120mm 인입한다는 것을 알 수 있다. 위의 과정을 통해 식(4)와 같이 실제 안전벨트 인입에 관여하는 기어 6개와 충격량 손실 영역인 3ms동안 이동한 기어 1개를 포함하여 총 7개의 기어가 이동해야 120mm의 인입이 발생한다는 것을 알아내었다.

$$\begin{aligned} \cancel{\text{기어1개}}(\text{loss}) + \text{기어4개} : 80\text{mm} \\ = \cancel{\text{기어1개}}(\text{loss}) + x : 120\text{mm} \end{aligned} \quad (4)$$

위의 두 과정을 통해서 랙이 7개 이동하기 위한 폭발력 선도를 구해내어 동역학 모델에 적용하였고, 해석결과 안전벨트가 120mm 인입함을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 비선형적인 요소는 제외하고 프리텐서너가 작동하는데 반드시 필요한 부품들만으로 구성하였다. 상용 동역학 프로그램인 ADAMS를 이용하여 구성된 요소들을 해석하였다. 프리텐서너의 성능(안전벨트의 인입량)에 직접적으로 관여하는 클러치와 스프링의 결합 타이밍도 실험과 해석을 통해 검증하였다. 또한 원하는 안전벨트의 인입량(120mm)을 얻기 위해 화약의 최대 폭발압을 계산해보았다. 위와 같은 과정으로 구해 낸 폭발력을 동역학 해석모델에 적용하여 해석한 결과, 안전벨트가 120mm 인입하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Simon He, Mike Wilkins, "A Method to Evaluate the Energy Capability of Seat Belt Pretensioners", 1999., SAE
2. 이연복, 유원화, 현일암, "시트벨트 하이-파워 프리텐서너 개발 및 상해치에 미치는 영향 평가", MSC Korea Users Conference
3. 박재순, 국민구, 김대회, 탁대오, "충돌 예상 시나리오에 따른 모터 구동형 리트랙터의 잠김 작용 평가", 대한기계학회 춘추 학술대회 강연 및 논문 초록집 pp212-217, 2007.