

모터 구동형 시트벨트 Retractor 개발

Development of a Motorized Seatbelt Retractor

신윤수* · 김명동** · 박준형*** · 김일환****

(Yun-Su Shin · Myung-Dong Kim · Joon-Hyung Park · Il-Hwan Kim)

Abstract - Motorized retractors enhance the safety of passengers by removing the slack of webbing and by holding upright driving position. Reliability of a driving mechanism that includes one-way clutch between the driving motor and webbing is directly linked to the safety of passenger. In this research, conditions for locking one-way clutch and also conditions for sustaining locking are theoretically investigated. the operation of a motorized retractor under realistic conditions is simulated in order to validate the proposed retractor design.

Key Words : Motorized Retractor, Seatbelt, Current, CAN

1. 서론

자동차 안전장치의 개발추세는 각 시스템을 통합적으로 제어하여 승객보호기능을 극대화하는 방향으로 진행되고 있다. 시트벨트의 pre-tension기능이란 충돌 순간 탑승객의 전방 이동량을 제어함으로써 상해치를 감소시키는 하나의 시스템이다. 하지만 이전의 리트랙터는 충격 시 벨트와 탑승자간의 이격을 제거하기 위한 기능만을 구현해왔다. 자동차 선진국에서는 이미 기본적인ELR(Emergency Locking Retractor)^(1,2)와 프리텐서너 뿐 아니라 모터 구동형 리트랙터가 장착된 안전벨트가 고급차종을 중심으로 활발하게 적용되고 있다. 이에 그치지 않고 리트랙터에 모터를 장착하여 충돌이 예견되는 상황에서 벨트에 장력을 가하여 충돌에 대한 사전 경고 및 충격완화의 효과 뿐만이 아니라 충돌 후에 벨트의 과도한 장력으로부터 승객을 보호하기 위한 장력을 조절 할 수 있는 모터 구동형 리트랙터 개발이 목표이다. 이에 따라 전류를 이용한 토크 가변 기술과 함께 센서 신호에 따라서 적절한 장력로의 변환을 위한 컨트롤로 설계 기술을 구현하였고 자동차용 배터리를 활용할 수 있는 모터를 선정하고 그 모터를 제어하기 위한 모터 드라이버를 설계하였다. 마이크로프로세서는 센서 신호에 의하여 전류 로직을 만들고, 비교기의 출력에 의하여 pwm듀티를 조절해 전류 조절을 할 수 있게 하였다. 또 이러한 동작을 충돌 상황 전에 구현할 수 있게 하기 위한 마이크로프로세서와 센서간의 통신은 CAN통신을 사용하였고, 이를 통해 모터가 제어되는 기술까지 구현하였다. 그리고 실제 상황과 비슷한 조건 아래서 사람에게 가해지는 힘을 테스트 하여 알맞은 장력과 함께 동작모드를 설정하였다.

2. 본론

저자 소개

- * 신윤수: 江原大學 電氣電子情報通信工學部 學士課程
- ** 김명동: 江原大學 電氣電子情報通信工學部 碩士課程
- *** 박준형: 江原大學 電氣電子情報通信工學部 學士課程
- ****김일환: 江原大學 電氣電子情報通信工學部 教授 · 工博

2.1 모터 구동형 리트랙터의 구조

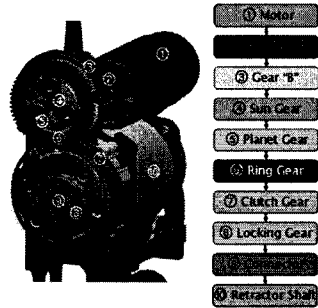


그림 1. 리트랙터의 구조 및 명칭

델파이 코리아에서 개발중인모터 구동형 리트랙터의 구조와 명칭을 그림 1에서 보여주고 있다. 전력 전달은 그림에 표시된 1~10의 순서이고, 클러치(=8)장끼기어)의 작동에 따라 리트랙터 축에 웨빙이 감기게 되어 에어백이 터지기 전에 승객을 시트에 밀착시켜 충돌에 의한 2차 피해를 줄이게 한다. 기어의 구동 메커니즘은 총 3단계에 걸쳐 감속이 이루어

진다. 2차 감속에서 3차 감속(클러치 기어)으로 이어지는 유성기어 시스템을 이용하였다. 이와 같은 감속을 통해 모터의 구동력이 클러치 기어로 전달되고 리트랙터 축에 연결된 웨빙을 감아서 탑승자를 보호하게 되는 것이다.

2.2 일방향 클러치의 작동 해석

모터 구동형 리트랙터는 일방향 클러치의 원리를 이용하여 작동한다. 클러치의 작동은 평상시에 해리 상태를 유지하는 클러치에 일정한 토크 이상이 가해지면 클러치 기어의 회전에 의해 클러치 기어 패널이 회전한다. 그림 2에서와 같이 잠금 스프링에 의해 풀에 작용하는 힘은 접촉면에 수직인 힘과 마찰 스프링에 의한 토크, 잠금 스프링에서 풀에 수직인 힘만 작용한다. 여기서 T_s 는 마찰 스프링에 의한 토크, F_{P1} 과

F_{P2} 는 풀 접촉면에 수직인 힘, α 는 풀과 잠김 스프링의 접촉점에 수직방향과 클러치 원점이 이루는 각도, r_p 는 원점과 접촉점 사이의 거리이다. 여기서 l_p 는 피봇점에서 잠김 스프링과 풀의 접촉점까지의 거리, M_p 는 풀의 회전 모멘트, l_{Py} 는 풀의 무게중심점에서 피봇점까지의 수직거리, l_{Px} 는 풀의 무게중심점에서 피봇점까지의 수평거리이다. 충돌이 발생하였을 경우, 가속도의 크기는 ng 이다.

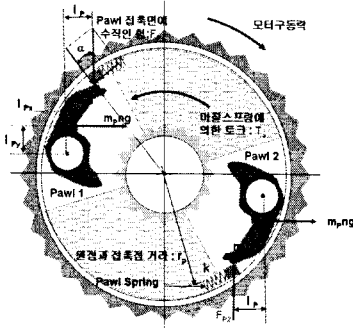


그림 2. 클러치 기어의 잠김 작용

풀 1에 작용하는 모멘트는 식(1)과 같다.

$$F_{P1}l_p + nl_{Py}m_{fg} + l_{Px}m_{fg} = 0 \quad \text{식(1)}$$

식(1)을 정리하면 식(2)와 같다.

$$F_{P1} = -\frac{nl_{Py} + l_{Px}}{l_p}(m_{fg}) \quad \text{식(2)}$$

풀1과 같이, 풀2에 작용하는 모멘트를 정리하면 식(3)과 같다.

$$F_{P2} = \frac{nl_{Py} + l_{Px}}{l_p}(m_{fg}) \quad \text{식(3)}$$

따라서 $l_{Px} = l_{Py} = 0$ 이면 $F_{P1} = F_{P2} = 0$ 이다. 즉, 질량 중심이 풀이 도는 축에 가까울 수록 작은 힘으로 풀을 제어할 수 있는 것이다. 마찰 스프링의 작용으로 인해 일정한 시간동안 클러치의 작동이 지연되는데 이때 이격이 발생한다. 풀 스프링이 이격을 방지시켜주는데 이것은 식(4)로 설명된다.

$$\begin{aligned} T_s &= r_p(F_{P1}\sin\alpha + F_{P2}\sin\alpha) \\ &= r_p(F_{P1} + F_{P2})\sin\alpha \\ &= r_p \cdot 2k_p(l - l_0) \end{aligned} \quad \text{식(4)}$$

여기서, l 은 풀 스프링이 작용할 때 변화하는 길이, l_0 는 풀 스프링의 초기 길이, k 는 풀 스프링의 스프링 상수이다. 식(4)는 클러치가 작동하면 좌우 2개의 풀을 밀어내려고 하기 때문에 스프링 길이의 변화가 생겨서 마찰 스프링에 의한 토크에 영향을 준다는 것이다. 지금까지 알아본 것은 모터 구동형 리트랙터에서 일방향 클러치의 작동을 통해 웨빙이 잠기기까지의 각 요소들을 수학적으로 검증한 결과이다. 모터로부터 클러치 기어까지 동력이 전달되어 마찰스프링에 의해 풀 가이드가 움직여서 풀의 이동을 통해 클러치가 잠기어 돌게 되어 웨빙이 잠기는데 각 부품들의 연관성 있는 작동으로 클러치가 잠기기 위해서 F_c 와 마찰 스프링에 의한 토크 T_s 의 중요성을 알아보았다.

2.3 구동 메커니즘의 검증

일방향 클러치의 구동메커니즘을 검증하기 위해 ADAMS를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 모델의 각 부품의 연결은 크게 기어 부분과 클러치 부분으로 나뉘어져 있다. 기어 부분은 각 기어의 기어 비를 이상적으로 나타내기 위해 회전 조인트와 기어 조인트를 이용하여 모델링 하였는데, 기어 대 기어는 기어조인트를 사용하였고 각 기어의 축은 회전 조인트를 사용하였다. 클러치 부분은 풀의 잠김 작용과 마찰 스프링의 모델링을 위해 접촉 요소를 사용하여 모델링 하였다. 위의 자료를 이용하여 해석한 결과 그림 3과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

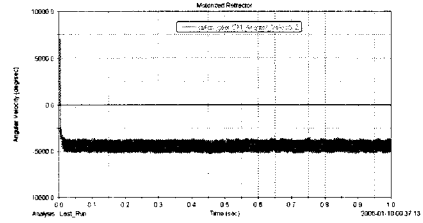


그림 3. 클러치 기어의 각속도

실제 모터 구동형 리트랙터가 작동하는 것에서 0.4~0.5초 구간의 값이 중요하다. 여기서 해석된 결과는 평균 4500deg/sec(CCW)로서 모터 구동형 리트랙터가 작동할 때 1초에 12.5바퀴(=4500/360)가 돌고, 웨빙이 감기는 축의 반지름이 22.5mm이면 외력이 작용하지 않는다고 가정할 때, 22.5mm X 2 π 가 되어 한 바퀴당 636mm의 웨빙이 감기고 1초에 7960mm가 감긴다. 하지만, 웨빙이 돌에 밀착되고 나면 일정량의 변위가 생기고 그 이후로는 그 상태가 유지되기 때문에 실제로는 약 65mm 정도 웨빙이 감긴다. 이것은 그림 8의 그래프에서 보듯이, 처음 0.008초 동안 갑자기 웨빙이 남겨지고, 그 이후로는 그 상태가 유지되기 때문이다.

0.008초 정도부터 웨빙이 감긴 상태가 유지된다는 의미는 풀이 가이드 패널을 따라 이동하여 클러치와 맞물려 클러치가 0.008초부터 잠기기 시작한다는 것이다. 이것은 그림 4의 풀이 잠기는 각도 변화를 통해 확인할 수 있다. 풀이 그만큼 빠른 시간 안에 잠겨야 한다는 것을 의미한다. 신속한 반응 일수록 승객을 안전하게 보호할 수 있다는 의미이다. 그래프에서 보듯이 0.03초부터는 풀이 완전하게 잠겨서 변화가 없다는 것은 풀과 클러치가 해리가 없다는 것을 의미하기도 한다. 이 그래프의 측정 조건은 앞서 제시한 모터 선도와 모델링을 이용하여 리트랙터가 외부의 힘에 의해 어느 방향으로 움직이지 않고 정지 상태에 있다는 가정 아래에서 측정한 것이다.

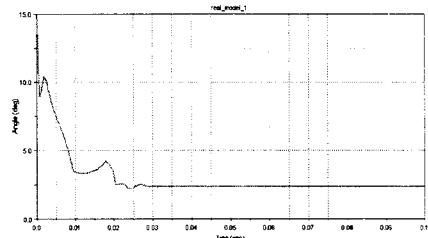


그림 4. 잠김시 풀의 각도 변화

모터 구동형 리트랙터를 정적 테스트를 한다고 가정한다. 웨빙과 접촉하는 인체의 탄성효과에 대한 특성값은 정확하게 알 수 없기에 리트랙터 작동시 웨빙이 받는 영향을 가정하여 시뮬레이션에 옮겼다. 웨빙이 감기는 것은 일방향 클러치가 작동하여 리트랙터 축을 회전시키는 것이기 때문에, 클러치와 연결된 커넥터에 토션 스프링을 넣어서 사람이 받는 물성치를 대신하였다. 토션 스프링의 물성치는 스프링 상수 $500 N \cdot mm/deg$, 댄핑 상수 $500 N \cdot mm \cdot sec/deg$ 을 사용하였다. 이 값을 적용시켜 클러치에 걸리는 최종 출력 토크는 다음 그림 5와 같다. 시뮬레이션 결과는 0.023초에서 강한 토크가 걸렸다가 0.035초 이후 5700N·mm 로 수렴함을 알 수 있다.

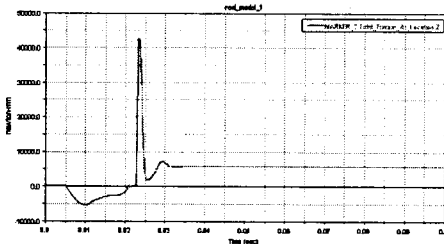


그림 5. 클러치의 최종 출력 토크

2.4 DC모터 드라이버 설계 및 모드별 동작 검증

그림6은 설계된 DC 모터 드라이버 블록을 나타낸다. 파워소자로 MOSFET를 사용하였고, GATE 회로는 IRF사의 IR2184를 사용하였으며 이 소자의 경우 Bootstrap 방식을 사용하며 이 방식은 단일 전원으로 High 사이드와 Low Side FET를 구동할 수 있는 것이 특징이다. 전원은 DC12V 단일 전원을 사용하며 컨트롤러 전원은 선형 레귤레이터 IC를 사용하여 만들었다. 전류 제어는 shunt 저항을 이용하여 검출하고 이를 지령치와 비교하여 하드웨어적으로 전류제어가 되도록 하였다. 마이크로 프로세서에서는 제어모드를 키패드를 통하여 입력 받고 센서 신호에 의하여 Commutation(전류)로직을 만든다. 전류 제어를 위하여 비교기의 출력에 의하여 PWM의 듀티를 조절한다. 이렇게 전류제어를 해서 각각의 상황에 맞는 작동모드를 프로그램 하였다. 그림 7은 3가지 모드에 따른 전류파형이다.

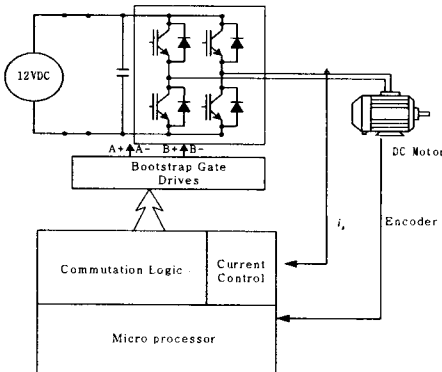


그림 6. 설계된 DC 모터 드라이버 블록도

①번 모드는 자동차가 충돌을 감지했을때, 프리텐서너가 폭발하기 전 벨트에 장력을 강한 장력을 가하여 6초정도를 의자에 밀착시켜 충격을 최소화한 후 탑승자의 과도한 장력으로부터의 보호를 위해 마지막 0.5초 정도 역방향으로 풀어 준다. ②번 모드는 위험시 경보 모드이다.

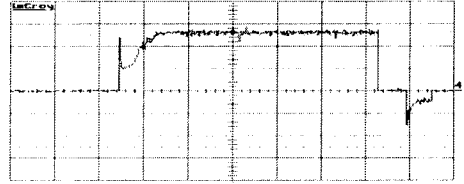


그림 7. ①번 모드 시 전류 파형

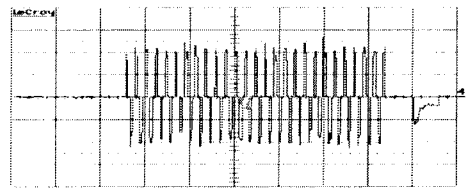


그림 8. ②번 모드시 전류 파형

3. 결론

자동차가 충돌할 때 안전벨트 리트랙터의 프리텐서너가 폭발하고 에어백이 터지면서 승객을 보호한다. 이때 에어백으로 인한 2차 피해를 막기 위해 최적의 상태에서 에어백이 터지는 자세를 만들기 위해 모터 구동형 리트랙터가 쓰인다.

본 논문에서는 모터 구동형 리트랙터의 설계에 맞추어 구동 메커니즘을 해석해보았고, 이러한 메커니즘을 통해서 모터 구동형 리트랙터를 설계하고, CAN통신을 통해서 마이크로 프로세서로 입력을 받아 모터를 원하는 모드로 제어하는 부분까지 구현하였다. 향후 발전 과제로 개발 제품의 안전 타당성을 입증하고, 안전벨트 버클과 연결하여 관성해리⁽³⁾, 벨트 피트(Fit)등 통합적인 안전벨트 시스템을 연구할 수 있다. 그리고 유성기어 시스템의 변화를 통해 모터 구동형 리트랙터의 작동시 결과값을 예측하여 개발 제품보다 안전한 안전벨트가 연구되어야 한다.

참고 문헌

- [1] Steven E. meyer, Davis Hock, Brian Herbst and Stephen Forrest, 2001, "Dynamic Analysis of ELR Retractor Spoolout," SAE International Messe Düsseldorf, No. 2001-01-3312
- [2] Christopher D. Morgan, Basavapatna P. Naganarayana and S. Shankar, 2004, "Comparative Evaluation of Seat Belt Retractor Websense Mechanism Rattle Noise," SAE World Congress Detroit, Michigan, No. 2004-01-0391
- [3] Jon Bready, Michael James, Gregory Smith and Sean Tolman, John J. Gordon, 2005, "Issues in Seatbelt Inertial Release," SAE World Congress Detroit, Michigan, No. 2005-01-1706