

홀센서를 이용한 파워 윈도우용 안티핀치 시스템 Anti-Pinch System for Power Window by Using Hall Sensor

김상호 · 정석권

S. H. Kim and S. K. Jeong

(접수일 : 2010년 7월 19일, 수정일 : 2010년 9월 6일, 채택확정 : 2010년 9월 8일)

Key Words : Power Window(파워 윈도우), Anti-pinch System(끼임 방지 시스템), Hall Sensor(홀센서), FMVSS 118-S5 Regulation(FMVSS 118-S5 규정), Squeezing Force(반전력)

Abstract : Recently the power window system is widely used in automobiles to increase convenience of passengers and drivers. However some accidents or injuries have been caused by malfunction or misuse of the system. Therefore safety regulations of the system to cope up with these accidents have been strengthened gradually in many countries. Especially in America, since 2005, all vehicles which had power window system should be contented with FMVSS 118-S5 regulations. We suggest very low-cost anti-pinch window control system satisfying the regulation in this paper. Hall sensors are used and installed around a motor rotor with ring magnet to detect motor speed for anti-pinch. The optimum number of hall sensor and location angel of them are mainly investigated to get sufficient speed resolution for anti-pinch. Through some experiments, the validity of the suggested system was verified to satisfy the regulation.

1. 서 론

최근 승용차를 중심으로 운전자 편의 증대를 위한 파워 윈도우(power window) 시스템 장착이 보편화 되면서 사용자의 부주의, 기기의 오작동 등으로 인한 안전 사고가 빈발하고 있다¹⁾. 이 문제를 해결하기 위해, 각국에서는 파워 윈도우 작동시 장애물 끼임 방지를 위한 안티핀치 시스템에 관한 다양한 안전 규정을 제정하여 운용하고 있다. 또한 선진국을 중심으로 이 안전 규정은 점차 강화되고 있는 추세이다. 특히 우리나라 자동차 수출의 주력 시장인 미국은 자국으로 수입되는 차량의 모든 파워 윈도우 시스템에 대해 현재 강화된 안전 규정 FMVSS(Federal Motor Vehicle Standard Section) 118-S5를 충족시키도록 요구하고 있다²⁾. 따라서 대미 수출용 자동차의 경우, 강화된 안전 규정을 만족하는 파워 윈도우 시스템 개발은 필수적이다. 향후 국내에서도 KS 규격의 강화가 예상되는 바, 이 시스템의 개발은 스마트 자동차 개발 분야의 매우 시

급하고 중요한 현안으로 대두되고 있다.

안티핀치 시스템(Anti-Pinch System; 이하 APS)은 파워 윈도우의 자동 모드시 차체와 창문 사이에 인체 부위나 이물질의 끼임을 방지하는 안전 시스템이다. 이 시스템은 장애물의 창문 끼임을 감지하는 센서부와 창문의 상승 동작을 정지시켜 역전 구동시키는 모터 액츄에이터부로 크게 구성되어 있다.

현재 개발되어 있는 APS는 이물질 검출 센서 방식에 따라 접촉식과 비접촉식으로 구분된다. 접촉식은 홀센서(Hall sensor), 비접촉식은 마그네틱 컨덕터(magnetic conductor)나 자외선을 이용한 방법이 일반적이다. 접촉식은 모터의 회전축에 링 마그네트(ring magnet)를 설치하고, 홀센서로 모터의 속도를 감시하여 물체 끼임으로 인한 모터의 속도 느려짐을 판단, 일정 속도 이하인 경우에 모터를 역전 구동시키는 방식이다. 비접촉식은 창문 프레임에 전·자장을 발생시키는 센서를 설치하고, 물체 끼임으로 인한 전·자장의 왜곡을 감지하여 모터를 역전 구동시키는 방식이다. 이들 가운데 가격 경쟁력과 장착의 용이성 등으로 인해 홀센서를 이용한 방법이 국내에서는 널리 사용되고 있다. 그러나 현재 국내 차량에 장착 중인 홀센서를 이용한 기존의 APS는 미

정석권(교신저자) : 부경대학교 냉동공조공학과
E-mail : skjeong@pknu.ac.kr, Tel. 051-629-6181
김상호 : 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

국의 강화된 규정을 만족시키지 못하고 있다. 또한 비접촉식 시스템은 강화된 규정을 만족시키는 것으로 알려져 있지만 원리상 가격 경쟁력이 낮고, 그 상세한 내용도 자료나 문헌 상으로 알려져 있지 않다^{3~7)}.

따라서 본 논문에서는 FMVSS 118-S5를 만족함과 동시에 가격 경쟁력이 뛰어난 새로운 APS를 제안한다. 제안된 APS는 기존의 홀센서 시스템을 극히 일부만 수정하여 구현할 수 있으므로 부가적인 장치가 필요 없어 가격 경쟁력이 뛰어나다.

홀센서를 이용한 APS에서 강화된 규정을 만족시키기 위해서는 링 마그네트의 극수를 증가시키거나 홀센서의 수를 늘리는 두 가지 방법을 적용할 수 있다. 본 논문에서는 가격 경쟁력이 상대적으로 더 우수한 후자의 방법에 대해 검토한다. 특히 홀센서의 최적 배치각을 검토하고, 제안된 제어 로직에 대해 랩뷰(LabVIEW) 시스템을 이용한 다양한 실험을 통해 강화된 규정을 만족시킬 수 있음을 보인다.

시험 용도의 차량용 창문을 6개 구간으로 구분하여 각 구간별 반전력을 측정함으로써 제안된 제어 로직의 강화된 규정 충족 여부를 확인하였다. 측정 시에는 테스트 봉 대신 동일한 탄성계수를 가지는 스프링을 사용하였으며, 전 구간에서 강화된 규정을 만족함을 확인하였다.

2. 파워 윈도우 시스템의 규정과 홀센서 방식의 안티핀치 시스템

2.1 파워 윈도우 시스템 규정

Table 1은 파워 윈도우 시스템에 대한 한국과 미국의 안전 규정을 주요 항목별로 비교한 것이다.

이 Table에서 한국의 경우는 현재 적용되고 있는 최신의 규정을, 미국의 경우는 최근의 가장 강화된 규정인 FMVSS 118-S5를 상호 비교하였다. Table 1에서 반전력(squeezing force)과 반전 구간은 같고, 반전 거리 또한 3가지 가운데 하나를 선택하는 것이므로 동일함을 알 수 있다. 특히 주목할 것은 테스트 봉의 탄성계수(force deflection ratio)로서 강화된 규정에서는 창문의 열림 정도에 따라 2개 구간으로 구분하고 구간별 각기 다른 탄성계수의 테스트 봉을 사용하도록 규정하고 있다는 점이다.

식 (1)은 반전력 F 와 봉의 탄성계수 D 에 따른 창문의 이동 허용 거리 l 의 관계를 나타낸다.

Table 1 Comparison of safety regulation for power window system between Korea and U.S.A

Item	Korean Standard	FMVSS 118-S5
Squeezing force	not to exceed 100N	
Section of reverse	4~200mm	
Force deflection ratio of the test rod	10N/mm (4~200mm)	65N/mm (4~25mm) 20N/mm (26~200mm)
Distance of reverse	1) Position that is same with the closing time position.	
	2) Open distance is not less than 200mm.	
	3) 50mm down from the position at the window reversed direction	3) 125mm down from the position at the window reversed direction

$$l = \frac{F}{D} \quad (1)$$

이 식에서 F 는 동일하지만, 구간별로 D 가 다르기 때문에 창문의 이동 허용 거리 l 이 달라진다. 식 (1)에서 테스트 봉의 탄성계수가 10N/mm인 경우, 창문이 장애물에 닿은 후 상승 이동 허용 거리는 10mm이다. 즉, 이 거리만큼 상승하기 이전에 창문을 반전 구동하면 규정을 만족하게 된다. 하지만 탄성계수가 65N/mm인 경우, 장애물에 닿은 후 창문의 상승 이동 허용 거리는 1.54mm에 불과하다. 즉, 테스트 봉의 탄성계수가 클수록 창문의 상승 이동 허용 거리가 짧아지기 때문에 홀센서에서의 더욱 정밀한 속도 분해능(speed resolution)이 요구된다. 이를 통해 결과적으로 강화된 미국의 규정이 현재의 KS 규격보다 엄격함을 알 수 있다.

Table 2는 국내 차량에서 사용 중인 KS 규격만족의 파워 윈도우 시스템에 대한 반전력 측정 결과(평균값)이다. 이 시스템은 탄성계수 10N/mm의 경우, 100N 이하의 반전력 규정은 만족했지만, 65N/mm의 경우, 3 구간에서 반전력이 평균 120N, 최대 135N으로 각각 나타났다. 따라서 미국의 강화된 규정을 만족시키지 못하고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Average squeezing force in pretest

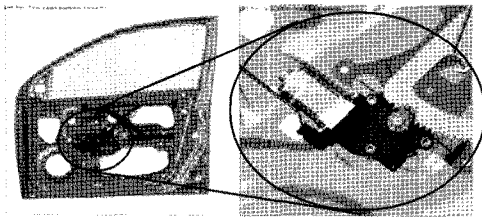
Force deflection ratio of the test rod	Sector		
	1	2	3
10N/mm	49.6	56	47.5
65N/mm	104.5	131	114.4

2.2 홀센서를 이용한 속도 검출 방식의 APS

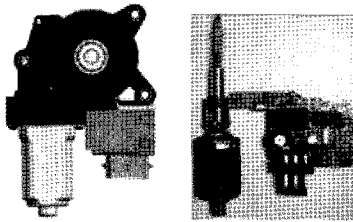
Fig. 1~Fig. 3은 홀센서를 이용한 속도 검출 방식의APS 개념과 그 작동 원리를 각각 나타낸다.



(a) concept of anti-pinch



(b) lifting system of power window



(c) lifting motor and rpm detecting system

Fig. 1 Anti-pinch system with Hall sensor and DC motor

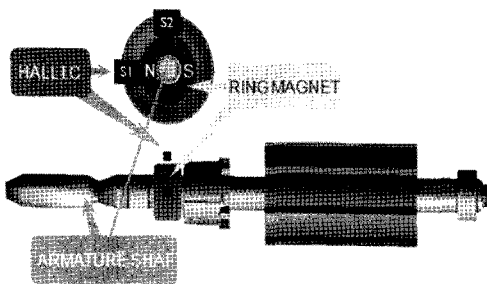


Fig. 2 Ring magnet and Hall sensor

KS 규격을 만족하는 현재의 APS는 Fig. 2와 같이 홀센서를 60°의 간격으로 2개 배치하여 사용하고 있다. 이 방식에서 창문에 물체가 끼임을 판단하는 메커니즘은 Fig. 3과 같이 홀센서를 통해 모터 축 회전에 따른 링 마그네트의 펄스 검출과 이 펄스 주기의 이상 상태를 확인하는 방식이다.

Fig. 4는 파워 윈도우 구동을 위한 모터의 각 기어 구성과 그 위치를 나타낸 것이다. 본 논문에서

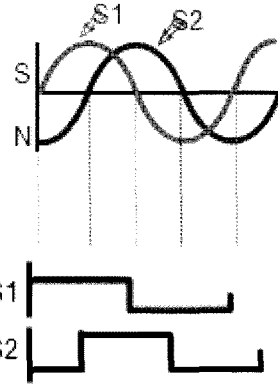


Fig. 3 Detecting rotational pulse from ring magnet in order to calculate motor speed

벤치마킹한 파워 윈도우 시스템은 총 4개의 기어로, 원통형 웜기어(G_1), 모터 내·외부 기어(G_2, G_3), 어셈블리 기어(G_4)의 순서로 구성되어 있다.

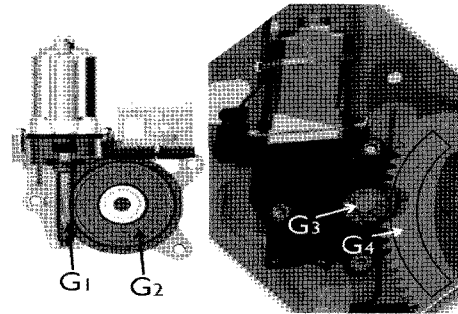


Fig. 4 Gear assembly for window lift

Table 3은 각 기어의 이수 및 기어 간의 회전비를 각각 나타낸 것이다.

Table 3 Tooth number of each gear and rotating ratio

	tooth number	rotating ratio
G_1	-	rotor : $RG_1 = 1 : 1$
G_2	79	$RG_1 : RG_2 = 79 : 1$
G_3	8	$RG_2 : RG_3 = 1 : 1$
G_4	32	$RG_3 : RG_4 = 4 : 1$

여기서 RG_n 은 각 기어의 회전수를 나타낸다. 각 기어 간의 회전수 비율을 고려하여 파워 윈도우를 구동하는 최종 기어인 G_4 에 대한 회전수를 식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$RG_4 = 4RG_3 = 4RG_2 = 316RG_1 \quad (2)$$

G_4 의 1회전에 필요한 모터 G_1 의 회전수는 316회전이다. 또한 G_4 1회전시 창문은 최하 위치에서 최상 위치까지 전부 이동하게 되며, 이 전체 이동 거리를 행정(stroke) s 로 정의하면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$s = RG_4 = 316RG_1 \quad (3)$$

본 논문에서 시험용으로 사용 중인 KS 규격 만족 파워 윈도우의 전체 이동거리 s 가 450mm이므로 모터 1회전(RG_1)당 창문의 이동거리는 식 (3)으로부터 1.43mm임을 알 수 있다.

모터의 1회전당 창문 이동거리 개념을 이용하여 안전 규정 만족을 위한 모터의 허용 회전수를 구해보면 식 (4)와 같다.

$$r = \frac{l}{l_r} \quad (4)$$

여기서 r 은 안전 규정을 만족하기 위한 모터의 허용 회전수이고, l 은 식 (1)에서의 이동 허용 거리, l_r 은 모터 1회전당 이동거리이다. 식 (1)에서 KS 규격인 경우(탄성계수 10N/mm), 창문의 이동 허용 거리 l 은 식 (1)로부터 10mm이고, 이를 식 (4)에 대입하면, 모터의 허용 회전수 r 은 약 7회전이다. 반면에, 미국의 강화된 규정의 경우, 창문의 이동 허용 거리가 1.54mm이므로 r 은 1.1 회전에 불과하다. 즉 대략 1회전 이내에 끼임을 정확히 감지하여 모터를 반전 구동시켜야만 미국의 강화된 규정을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서 강화된 규정 만족을 위해서는 모터의 속도 분해능이 KS 규격 만족 시스템 보다는 상대적으로 더 높아야 함을 알 수 있다.

3. 강화된 규정 FMVSS 118-S5를 만족하는 홀센서 방식의 안티핀치 시스템

3.1 홀센서의 수에 따른 속도 분해능

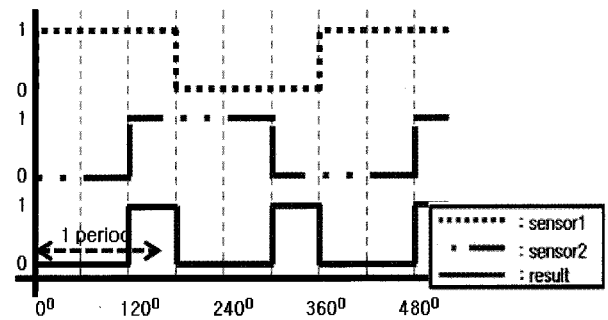
Fig. 5는 홀센서의 수에 따른 모터의 속도 파형 변화를 개념적으로 도식화 한 것이다.

그림의 (a)와 (b)를 비교해 보면, 홀센서가 3개인 경우가 2개인 경우보다 속도 분해능이 1.5배 높음을 알 수 있다. 이 관계를 표현하면 식 (5)와 같다.

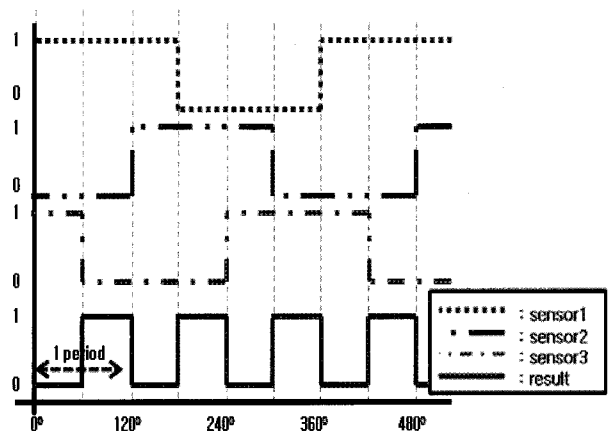
$$N_i \propto E_i = \frac{C_s}{R_s} \quad (5)$$

여기서 E_i 는 반전력 증가 비율, N_i 는 속도 분해능

증가 비율, C_s 는 현재의 반전력, R_s 는 규정상의 반전력을 각각 나타낸다. 예비실험을 통해, 홀센서 2개를 갖는 시험용 파워 윈도우의 65N/mm 구간에 대한 현재의 최대 반전력은 135N, 규정상의 반전력은 100N이므로, 규정 충족을 위해 요구되는 반전력 증가비는 식 (5)로부터 1.35가 구해진다. 속도 분해능과 반전력증가비는 비례 관계에 있으므로 현재 시스템의 속도 분해능을 1.35배 정도 향상시켜야 미국의 강화된 규정을 만족한다. Fig. 5로부터 홀센서 3개의 속도 분해능은 2개인 경우에 비해 1.5배 향상되므로 결국 3개 이상의 홀센서를 사용하면 65N/mm의 경우에도 100N 이하의 반전력을 달성할 수 있는 속도 분해능이 얻어짐을 알 수 있다.



(a) 2 Hall sensor system



(b) 3 Hall sensor system

Fig. 5 Comparison of speed resolution according to the change of Hall sensor number

3.2 홀센서의 최적 배치 각도

Fig. 6은 강화된 규정을 만족시키기 위한 홀센서 3개의 배치 각도와 이에 따른 합성 파형을 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 센서 1, 2, 3은 60° 간격, 센서 1, 3, 4는 120° 간격으로 각각 배치되어 있다. 이 3개의 홀센서를 통해 얻어진 단독 파형을 합성한 것이

맨 아래쪽 파형이다.

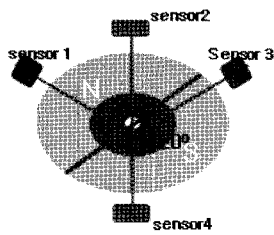
식 (6)과 (7)은 센서 간격이 60°와 120°일 때의 각 홀센서의 출력으로부터 통합 파형을 만들기 위한 논리식을 각각 나타낸다.

$$O_1 = \overline{S_1} \cdot S_2 \cdot S_3 + \overline{S_1} \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{S_3} + S_1 \cdot S_2 \cdot \overline{S_3} \quad (6)$$

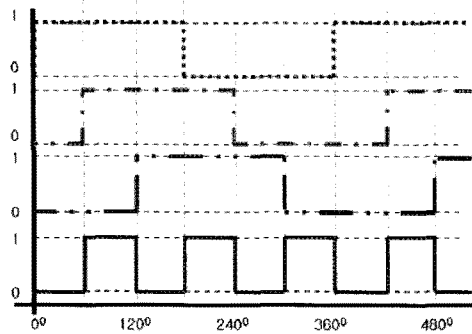
$$O_2 = \overline{S_1} \cdot \overline{S_3} \cdot S_4 + \overline{S_1} \cdot S_3 \cdot \overline{S_4} + S_1 \cdot \overline{S_3} \cdot \overline{S_4} \quad (7)$$

식에서 기호 ‘-’는 not 연산, ‘•’은 and 연산, ‘+’는 or 연산을 각각 의미한다.

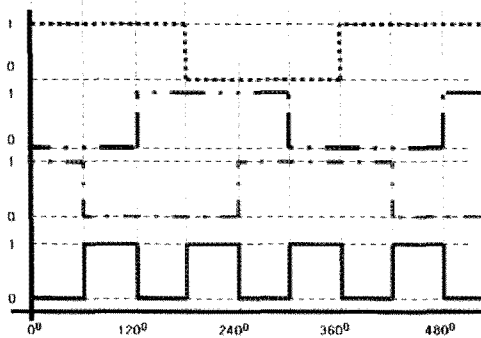
실제 시스템에서는 홀센서의 내부에 정현파로부터 펄스 파형으로 정형시켜 주는 시미트 트리거 (schmidt trigger)가 내장된 홀 IC를 사용하였다.



(a) location of Hall sensor



(b) case of 60° location (sensor1, 2, 3)



(c) case of 120° location (sensor1, 3, 4)

Fig. 6 Pulse pattern versus location of Hall sensor

Table 4는 각 센서의 출력값에 대해 논리식 (6),

(7)을 이용하면, 60°간격의 센서 1, 2, 3의 경우나 120°간격의 센서 1, 3, 4의 경우가 모두 동일 결과를 얻을 수 있음을 나타낸다.

Table 4 Summation of each Hall sensor

S1	S2	S3	S4	output
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
1	1	1	0	0
0	1	1	0	1
0	0	1	1	0
0	0	0	1	1

3.3 파워 윈도우의 안티핀치용 시퀀스제어 로직

파워 윈도우 기본 작동을 위해서는 정지(stop), 정전(forward), 역전(reverse)의 3가지 동작 모드가 필요하다. 따라서 2개의 릴레이(relay)로서 필요한 구동 모드를 충분히 만들 수 있음을 알 수 있다. Table 5는 각 릴레이의 동작에 따른 모터의 구동 모드를 나타낸다.

Table 5 Truth table of each relay

R1(forward)	R2(reverse)	operation mode
0	0	stop
1	0	forward
0	1	reverse
1	1	stop

Fig. 7은 이러한 동작 모드 구현을 위한 시퀀스 제어도이다. 모터는 사용자의 제어 입력과 창문의 이상 상태에 따른 내부 제어 로직 연산 결과에 따라 릴레이를 통해 정·역전 구동된다.

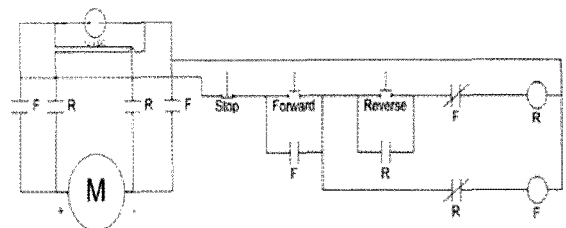


Fig. 7 Sequential control diagram

Fig. 8은 본 논문에서 제안하는 APS의 플로우 차트이다. APS는 창문 하강시에는 작동하지 않고,

상승 동작 시에만 작동한다.

전력을 측정하였다.

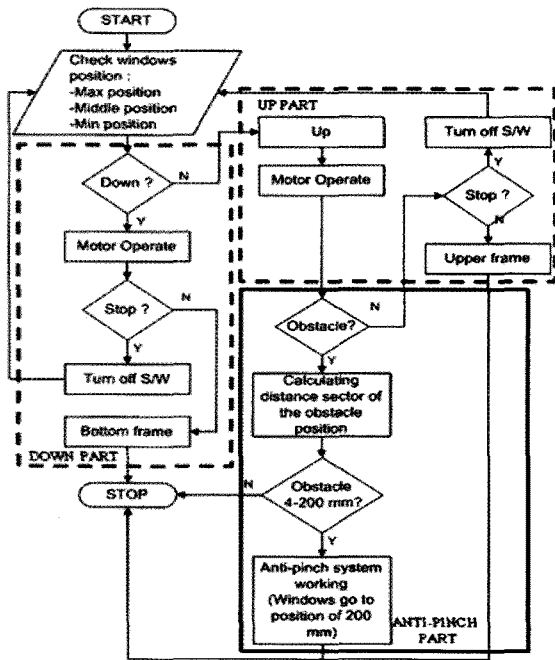


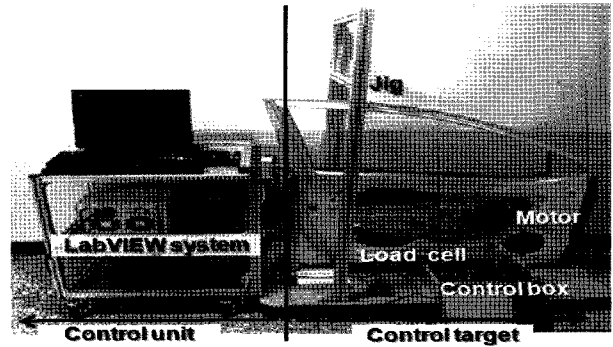
Fig. 8 Flow chart for anti-pinch

창문 작동 중에 정지 버튼을 누르거나 창문이 창틀 샤프에 닿으면 모터는 정지하게 된다. 창문이 상승 동작 모드일 때, 장애물이 창문에 닿으면 APS가 작동하게 되며, 감지된 위치가 4~200mm인 경우, 모터는 반전 구동하고, 그 외의 위치에서는 정지하게 된다. APS가 작동하여 모터가 반전 구동할 때는 창문이 200mm 지점까지 하강하도록 작동한다.

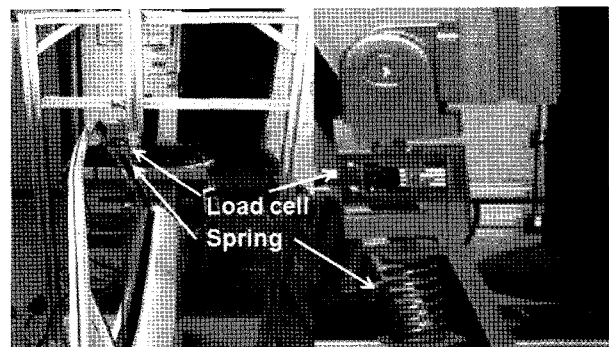
4. 실험 방법 및 실험 결과

4.1 실험장치 및 실험방법

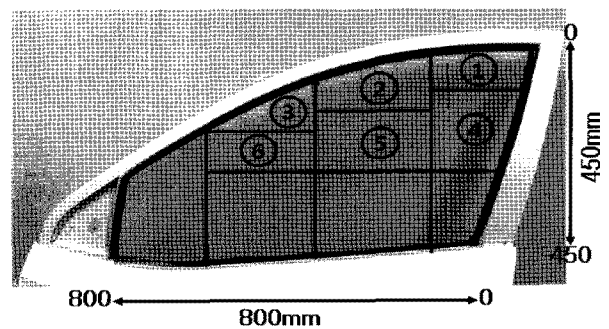
Photo. 1은 본 논문에서 제안한 방법이 강화된 규정을 만족하는지에 대한 제어 성능 확인용 파일럿 시험장치이다. 본 논문에서는 (a)에서와 같이 모터 구동의 파워 윈도우 시스템과 LabVIEW 시스템을 이용하여 제어 시스템을 구성하였다. 반전력을 측정하기 위해 (b)와 같은 로드셀과 스프링을 하중 측정을 위해 특별히 제작된 지그에 부착하였다. 로드셀은 하중 측정용 센서이며, 스프링은 시험봉을 대신한 탄성체이다. 정확한 탄성계수를 가진 시험봉을 구하기 어려웠으므로 시험봉과 동일한 탄성계수를 갖는 스프링으로 이를 대체하였다. 반전력은 (c)와 같이 창문을 6개의 구간으로 나누어 각 구간별 반



(a) experimental system



(b) load cell & spring



(c) sector of window

Photo. 1 Testing device and check point of squeezing force

실험은 Fig. 8의 제어로직을 LabVIEW 프로그램으로 구성한 후, 제어대상인 파워 윈도우 구동용 모터의 회전자 주위에 배치한 홀센서로부터 모터의 회전 주기를 계측한다. 각 홀센서의 계측 정보를 제어부에서 논리 연산을 통해 통합 파형을 만든다. 장애물이 창문에 끼일 경우 파형의 주기가 길어지는 원리를 이용하여 장애물 끼임의 이상상태를 판단하고, 이상상태로 판정된 경우 모터를 역전 구동시켜 끼임을 방지하게 하였다.

홀센서의 배치 각도에 따른 반전력을 각 구간별로 측정하여 강화된 규정 만족 여부와 더불어 센서의 최적 배치 각도를 확인하였다. 또한 로드셀 측정을 통해 최적 각도의 홀센서 시스템에서 반전력의 크기를 측정하여 강화된 규정을 충분히 만족함을 입증하였다.

4.2 실험결과 및 고찰

Fig. 9는 홀센서를 60°와 120°간격으로 각각 배치하여 각 구간별로 측정한 반전력을 나타낸다. 반전력 측정 결과 1~3의 구간에서 최대값이 100N을 넘지 않음을 확인하였다. 또한, 모든 구간에서 홀센서의 배치 각도에 따른 반전력의 차이가 그다지 크지 않았고 허용 반전력 범위를 넘어서지 않았기 때문에 최종적으로는 작은 면적을 차지하는 60° 간격으로 홀센서를 배치하여 강화된 규정 충족여부를 실험하였다.

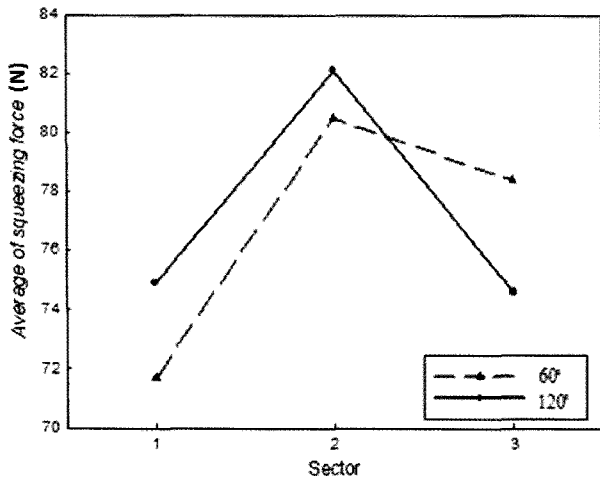


Fig. 9 Squeezing force at each sector

Fig. 10은 정상상태 및 장애물 감지시의 속도 검출 파형의 주기가 변하는 모습과 이에 따른 반전력 변화를 나타내고 있다.

시험 시작 40sec 시점에서 장애물을 감지하고, 42sec 시점에서 정지한 후, 45sec 시점에서 반전 구동하는 것을 볼 수 있다. 이 때의 미소 시간 지연은 릴레이 사용에 따른 것이며, 로드셀에 걸리는 하중은 최대 72N임을 알 수 있다.

Table 6은 각 구간별 평균 반전력이다. 홀센서 3개를 60° 간격으로 배치함으로써, 전 구간에 걸쳐 강화된 규정을 충분히 충족시킬 수 있음을 보였다. 실험에서 평균 반전력은 75N, 최대 반전력은 95N

으로 나왔기 때문에 이 시스템은 강화된 규정을 완벽히 만족함을 알 수 있다.

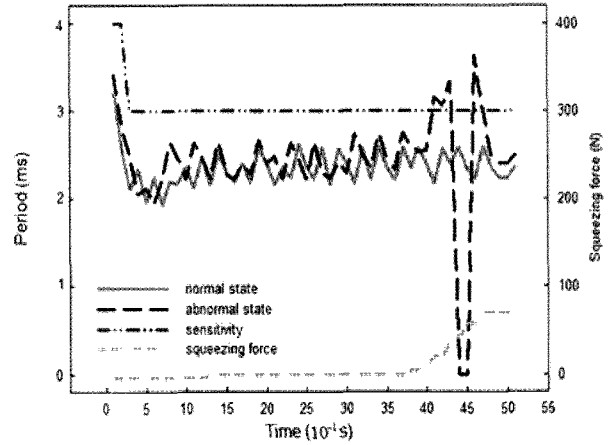


Fig. 10 Real output period of the system

Table 6 Experimental result of squeezing force

Sector	1	2	3	4	5	6
Average value of squeezing force[N]	72	78.6	76.4	79.1	78.9	79.4

이 시스템은 홀센서의 가격이 매우 저렴하기 때문에 센서 1개 추가에 따른 비용은 그다지 크지 않으며, 기존의 PCB 상에서도 충분히 장착 가능하므로 다른 시스템에 비해 가격 경쟁력이 뛰어나다.

5. 결론

본 논문에서는 미국의 강화된 규정 FMVSS 118-S5를 만족하면서 동시에 가격 경쟁력이 뛰어난 APS 구현 방안을 제안하였다. KS 규격 및 강화된 미국 규정 이전의 APS를 만족하는 홀센서 이용 속도 검출 방식의 컨트롤러를 극히 일부분만 수정함으로써 강화된 규정을 충분히 만족시킬 수 있음을 보였다. 또한, 홀센서의 배치 각도에 따른 출력 파형을 분석하였다. 가격 경쟁력을 가지는 시스템 구축을 위해 필요한 홀센서의 최소 개수와 최적 배치 각도를 실험적으로 분석하였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 가격이 저렴한 홀센서로 배치 각도를 60° 간격으로 장착할 수 있기 때문에 PCB 설계가 용이하여 최소의 비용으로 강화된 규정을 만족할 수 있는 APS 구현이 충분히 가능함을 보였다.

후 기

본 연구는 부경대학교 수송기계 안전편의 융합부품소재 인재양성센터의 지원으로 수행된 산학협동 연구과제 연구결과임.

참고문헌

1. 이중순, 손일문, 박효연, 2008, “능동적 안전성을 고려한 윈도우 셰이프티 모듈의 개발”, Trans. of KSAE, Vol. 16, No. 3, pp. 23~29.
2. 김상호 외 4인 2010 “FMVSS 118-S5 규정을 만족하는 스마트 윈도우용 안티핀치 시스템”, 한국동력기계공학회 춘계학술대회논문집, pp. 79~83.
3. 전상열, 김권희, 변용태, 1998, “승용차 파워윈도우의 승하강 특성에 관한 연구”, 한국정밀공학회, pp. 1020~1023.
4. N. Syed-Ahmad and F. M. Wells, 1993, “Torque Estimation and Compensation for Speed Control of A DC Motor Using an Adaptive Approach”, Proc. of the 36th MWSCAS, Vol. 1, pp. 68~71.
5. H. J. Lee et al., W. S. Ra, T. S. Yoon, J. B. Park, 2005, “Robust Pinch Estimation and Detection Algorithm for Low-Cost Anti-Pinch Window Control Systems”, IEEE, Industrial Electronics, pp. 269~274.
6. H. J. Lee et al., W. S. Ra, T. S. Yoon, J. B. Park, 2005, “Practical Pinch Detection Algorithm for Low-Cost Anti-Pinch Window Control Systems”, IEEE, Industrial Electronics, pp. 995~1000.
7. D. H. Ban, Y. K. and B. H. Wang, 2005, “Anti-Pinch Algorithm for Sunroof System Using Fuzzy Logic”, International Symposium on Advanced Intelligent System, pp. 1041~1046.