

## 전류정보 기반의 파워 윈도우용 안티핀치 시스템의 전류 임계값 자동 설정 및 성능 분석

# Performance Analysis and Automatic Configuration of Threshold on Anti-Pinch System Based on Current Information for Power Windows

박승섭\* · 정석권\*\*†

Seung-Seob Park\* and Seok-Kwon Jeong\*\*†

(Received 01 August 2017, Revision received 03 October 2017, Accepted 10 October 2017)

**Abstract:** This paper deals with anti-pinch system based on current information which prevents some risks for trapping, squeezing or injury to people in smart window on vehicles. Automatic configuration of current threshold is suggested to recognize pinch states in the current based anti-pinch system. Also, some factors affecting to the squeezing force were analyzed by some experimental results and simulations. The validity of the suggested system was verified to satisfy the strengthened American safety regulation, FMVSS 118-S5, through some experimental results.

**Key Words :** Power window, Anti-pinch System, Current Information, FMVSS 118 Regulation, Squeezing Force, Threshold

## 1. 서 론

최근 승용차의 파워 윈도우 시스템 장착이 보편화 되면서<sup>1,11)</sup> 사용자의 부주의, 기기의 오작동 등으로 인한 안전사고가 빈발하고 있다<sup>1,2)</sup>. 이 문제를 해결하기 위해, 각국에서는 안티핀치시스템(APS)에 관한 다양한 안전 규정을 제정, 운용하고 있다. 특히 미국은 자국에 수입되는 차량의 모든 파워 윈도우 시스템이 자국의 강화된 안전 규정 FMVSS(Federal Motor Vehicle Standard Section) 118-S5를 만족하도록 요구하고 있다<sup>2)</sup>. 향후 국내

규정도 이를 준용할 가능성이 크며, 대미 수출용 자동차의 경우, 강화된 안전 규정을 만족하는 파워 윈도우 시스템의 장착은 필수적이다<sup>2)</sup>.

현재 개발된 APS는 접촉식과 비접촉식으로 구분되며, 접촉식은 홀센서(Hall sensor), 비접촉식은 마그네틱 컨덕터(magnetic conductor)나 초음파(ultra sonic)를 이용한다. 접촉식은 모터의 회전축에 링 마그네트(ring magnet)를 설치하고, 홀센서로 모터의 속도를 감시하여 물체 끼임으로 인한 모터의 속도 느려짐을 검출한 후, 모터를 역전시켜 장애물 끼임을 회피한다. 이에 비해 비접촉식

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

\*박승섭 : 부경대학교 컴퓨터공학과

\*\*† Seok-Kwon Jeong(corresponding author) : Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, PKNU.  
E-mail : skjeong@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6181

\*Seung-Seob Park : Department of Computer Engineering, PKNU.

은 전·자장, 또는 초음파를 발생시켜 물체 끼임으로 인한 전·자장의 왜곡 또는 초음파 반송을 감지해 장애물 끼임을 회피한다. 이들 가운데 가성비가 뛰어난 접촉식이 국내에서는 널리 사용되고 있다. 그러나 현재 국내 차량에 장착 중인 홀센서 기반의 APS는 미국의 강화된 안전 규정을 대부분 만족시키지 못하고 있다. 또한 비접촉식 시스템은 비용이 커 가격경쟁력이 낮고, 그 상세한 내용도 알려져 있지 않다<sup>3)</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방안으로 저자들은 강화된 FMVSS 118-S5를 만족함과 동시에 가격경쟁력이 뛰어난 새로운 두 타입의 APS를 제안한 바 있다<sup>2,3)</sup>. 제안된 APS는 홀센서 세 개를 이용한 접촉식과<sup>2)</sup> 전류정보 기반의 비접촉식<sup>3)</sup> 방식으로, 특히 전류정보를 이용한 방식은 과전류 검출용 센서만으로 구현되므로 추가적인 장치가 필요 없어 가격 경쟁력이 뛰어나다. 뿐만 아니라 전류의 빠른 응답성으로 인해 반전력(squeezing force)을 획기적으로 줄일 수 있어 강화된 파워 윈도우 안전 규정에 대응하기 용이하다. 다만 APS 성능에 민감한 영향을 미치는 전류의 임계값의 설정 방법과, APS 성능에 영향을 미치는 기타 주요 설계 인자들에 대한 분석이 충분하지 못한 문제점이 있었다. 따라서 본 논문에서는 이들 영향을 실험 데이터를 통해 상세히 분석하여 전류정보 기반의 APS 설계 자료로 제공하고자 한다.

## 2. 전류정보 기반의 APS

### 2.1 강화된 파워 윈도우 시스템 안전 규정

Table 1은 파워 윈도우 시스템(power window system)에 대한 유럽과 미국의 주요 안전 규정을 대비시켜 나타낸 것이다. 이 Table에서 미국의 경우는 최근 가장 강화된 규정인 FMVSS 118-S5(이하 FMVSS)를 나타내었다<sup>3)</sup>.

Table 1에서 반전력(SF)과 반전구간(SOR)은 두 규정 모두 동일하고, 반전거리(DOR) 또한 세 항목 가운데 하나를 택하므로 동일하다. 주목할 점은 시험봉(test rod)의 탄성계수(FDR)로 FMVSS에서는 창문 구간별 각기 다른 시험봉을 사용하도록 규정하고 있다.

Table 1 Safety regulation for power window system in Europe and U.S.A<sup>4,5)</sup>

Item	DIRECTIVE 2000/4/EC	FMVSS 118-S5
Squeezing force (SF)	not to exceed 100 N	
Section of reverse (SOR)	4~200 mm	
Force deflection ratio (FDR) of the test rod	10 N/mm	65 N/mm (≤ 25 mm test rod) 20 N/mm (>25 mm test rod)
Distance of reverse (DOR)	1) Position that is same with the closing time position 2) Position that permits a semi-rigid cylindrical rod which has 200 mm diameter	
	3) 50 mm down from the position at the window reversed direction	3) 125 mm down from the position at the window reversed direction

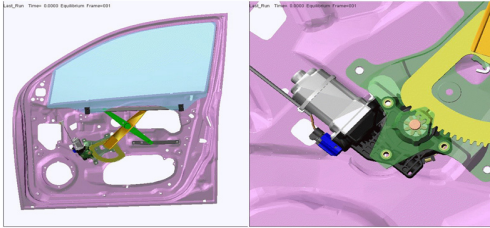
반전력을  $F$ , 봉의 탄성계수를  $D$ 로 할 경우, 물체 끼임 후 창문의 상승 이동 허용거리  $l$ 은  $l = F/D$ 로 된다. 결국 동일한 반전력 하에서는 탄성계수  $D$ 가 클수록  $l$ 은 짧아져 더욱 엄격한 조건으로 된다. 즉 시험봉이  $D = 10 \text{ N/mm}$ 인 경우는  $l = 10 \text{ mm}$ ,  $D = 65 \text{ N/mm}$ 인 경우는  $l = 1.54 \text{ mm}$ 로 이동 허용거리가 제한됨을 알 수 있다.

### 2.2 전류정보 기반의 APS

Fig. 1은 본 논문의 연구를 위해 벤치마킹한 파워 윈도우 시스템의 구성 요소들을 나타낸다<sup>2)</sup>.

Fig. 2는 실제 파워 윈도우 시스템의 DC모터와 윈도우 구동을 위한 기어 어셈블리의 상세 구조를 각각 나타낸다<sup>2)</sup>. 전류정보 기반의 APS는 장애물 끼임 시 모터의 전류값이 증가된 부하로 인해 정상적인 상태보다 현저히 증가하는 원리를 이용한다<sup>3)</sup>. 모터 구동회로에는 과전류 방지용 전류센서의 장착이 필수적이므로 이 전류센서의 정보를 이용하여 APS를 구축하면 설치 공간과 비용을 최소로 하는 경제적인 시스템 구축이 가능하다. 또

한 전류정보는 홀센서에 의한 속도정보에 비해 응답이 매우 빠르기 때문에 신속한 역전 지령으로 반전력을 줄여 강화된 규정 FMVSS를 용이하게 만족시킬 수 있는 장점이 있다.



(a) Lifting system of power window



(b) Lifting motor and rpm detecting system

Fig. 1 APS with Hall sensor and a DC motor

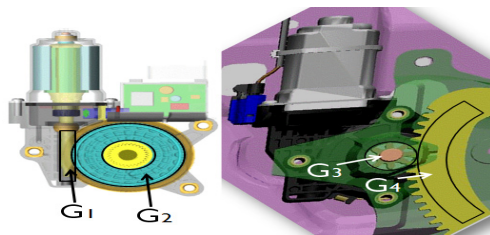


Fig. 2 Gear assembly for window lift

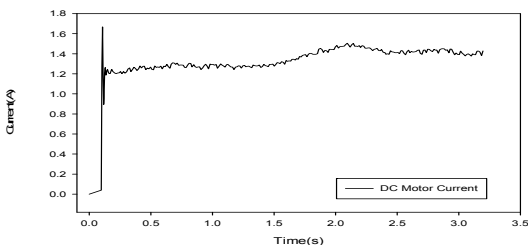


Fig. 3 Current response of a power window system

Fig. 3은 본 연구를 위해 벤치마킹한 파워 윈도우 시스템의 기동부터 창문이 완전히 닫힐 때까지의 실제 전류 응답을 나타낸다. 기동 초기에 파워 윈도우 시스템의 큰 이너서(inertia)로 인해 피크 전류가 발생함을 볼 수 있다.

3. 전류의 임계값 자동 설정 및 APS 성능에 미치는 인자들의 영향 분석

### 3.1 DC모터 전달함수 모델과 파라미터 동정

Fig. 4는 DC모터의 입력인 전기자전압  $V_a$ 로부터 출력인 각속도  $\omega$ 까지의 전달함수를 나타낸 블록선도이다. 여기서  $R_a$ ,  $L_a$ 는 모터의 전기자 저항과 인덕턴스,  $J$ 와  $B$ 는 기계계의 이너서와 마찰계수, 그리고  $K_e$ 와  $K_t$ 는 역기전력 및 토크 상수를 각각 나타낸다. 한편,  $i_a$ 는 전기자 전류 그리고  $T_e$ ,  $T_l$ ,  $T_m$ 은 전자기적 토크, 외란 토크 및 실제 기계계에 전달되는 토크를 나타낸다.

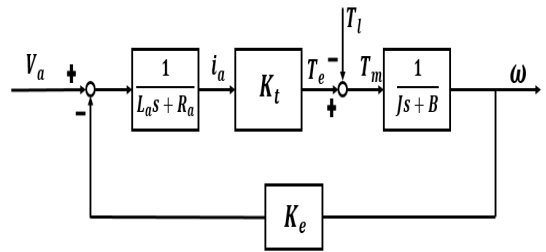


Fig. 4 DC motor block diagram

입력 전압으로부터 출력 전류까지의 전달함수를 구해 보면 식 (1)과 같이 2차계(second order system)의 형태로 유도된다.

$$\frac{I_a(s)}{V_a(s)} = \frac{Js + B}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K_e K_t} \quad (1)$$

식 (1)의 모터 베어링의 마찰력  $B$ 는 윈도우 시스템의 마찰계수  $B_w$ 를 포함한다. Fig. 3에서 보듯이 전류는 기동 시 크게 증가한 후 일정 값을 유지하다, 대략 1.5초 이후에 다시 미소 증가한다. 이는 파워 윈도우의 기계적 작동 메커니즘에 기인한 것으로 윈도우의 특정 구간에서 윈도우 시

시스템의 마찰계수  $B_w$ 가 미소 증가하기 때문으로 해석된다. Fig. 3의 응답을 바탕으로 Matlab 시뮬레이션을 통해 식 (1)의 각 파라미터를 동정하여 식 (2)의 전달함수를 얻었다. 이 식에서  $B_w$ 의 영향은  $B$ 에 포함되지 않았다.

$$\frac{I_a(s)}{V_a(s)} = \frac{0.1119 + 0.00025s}{0.0000416s^2 + 0.0004s + 1} \quad (2)$$

Fig. 5는 식 (2)를 이용, 입력 전압으로 12 V를 인가한 경우의 Matlab 시뮬레이션 시의 전류 응답이다.

### 3.2 핀치상태 판정을 위한 전류의 임계값 설정

Fig. 6은 벤치마킹한 파워 윈도우 시스템을 기동시키고 대략 2초 후에 강제로 핀치상태를 발생시킨 뒤 APS가 작동된 경우의 실제 전류 응답의 한 예이다.

Table 2는 핀치 발생 실험을 10회 반복한 후, Fig. 6에 정의한 각 구간별로 얻어진 전류의 평균값들을 나타낸 것이다. 각 구간은 기동, 정상, 핀치, 역전 상태를 각각 나타낸다. 기동(starting) 구간을 제외하면 핀치상태의 전류  $I_{pch}$ 와 정상상태(steady-state)의 전류값  $I_{sst}$  차이는 약 0.22 A로 나타났다.

전류정보 기반의 APS에서 핀치상태는 전류의 임계값 설정을 통해 쉽게 판별할 수 있다. 임계값은 Fig. 6과 같은 선행 실험을 통해 수동으로 적절한 고정값을 설정하거나 또는 식 (3)과 같이 윈도우 작동시의 전류의 최대값  $I_{max}$ 에 연계해 적절한 계수  $K_p$ 를 곱하는 방식으로 자동 설정이 가능하다. 다만, 차량은 다양한 노면과 기상 상태 하에 노출됨과 동시에 경년 변화(aging) 특성을 갖는다. 이들 경우  $I_{max}$ 가 변동될 수 있으므로 이에 대한 추가 검토가 향후 필요할 것으로 생각된다.

$$I_{th} = K_p \times I_{max} \quad (3)$$

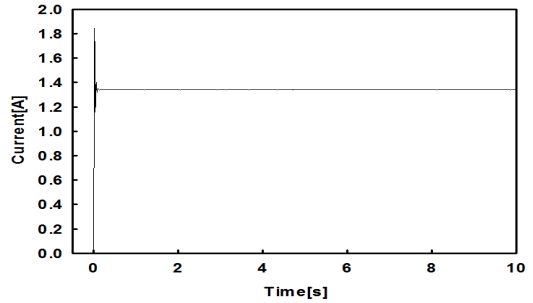


Fig. 5 Current response of power window system

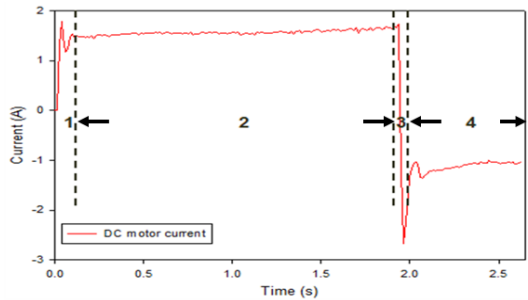


Fig. 6 Current response including pinch state

Table 2 Current at each section on the test system

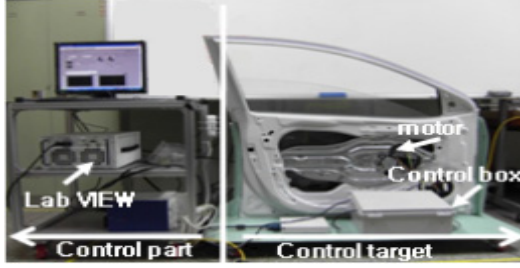
No.	State	Current (A)	Symbol
1	starting	1.77	$I_{max}$
2	steady state	1.50	$I_{sst}$
3	pinch	1.72	$I_{pch}$
4	reverse	-1.30	$I_{rev}$

## 4. 실험 방법 및 실험 결과 고찰

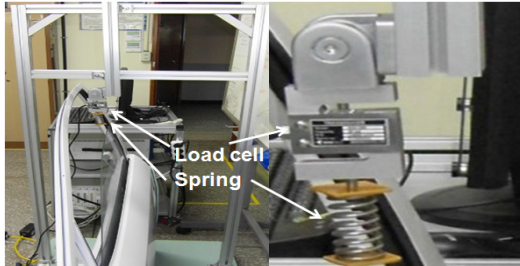
### 4.1 실험 장치 및 실험 방법

Fig. 7은 APS 성능 확인용 실험 장치이다. 본문에서는 (a)에서와 같이 DC모터로 구동되는 파워 윈도우 시스템과 LabVIEW 시스템을 이용한 APS 제어 시스템을 구성하였다. (b)는 반전력을 측정하기 위한 시험봉과 동일한 탄성계수를 갖는 스프링 및 로드셀을 각각 보여준다<sup>3)</sup>.

Fig. 8은 APS 실험 시의 각종 제어, 조작, 그리고 검출 신호의 흐름을 나타낸다.



(a) Benchmark system of the power window system



(b) Load cell & spring

Fig. 7 Experimental system for the APS

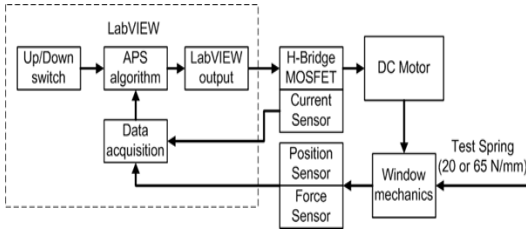


Fig. 8 Signal flow for APS experiments

실험에서는 고정값  $I_{th}$ 와 식 (3)에 의한 자동값 설정 시, 반전력의 크기 변화를 중점적으로 확인하였다. 파워 윈도우와 전류정보 기반의 APS를 작동시키고 창문이 스프링에 닿아 반전까지의 전류를 모터 구동회로에 장착된 전류센서의 값으로 판단하였다. 핀치상태로 판정된 경우 모터를 역전시키고 이때의 반전력을 로드셀로 측정하였다. DC모터의 구동회로는 MOSFET로 자체 제작한 H-bridge를 사용하였다.

#### 4.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 9와 Table 3은  $I_{th}$ 를 1.6 A로 고정시킨 경우, FDR이 다른 두 시험봉을 적용한 실험 결과이다.

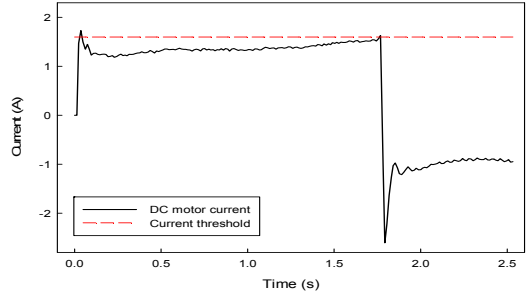
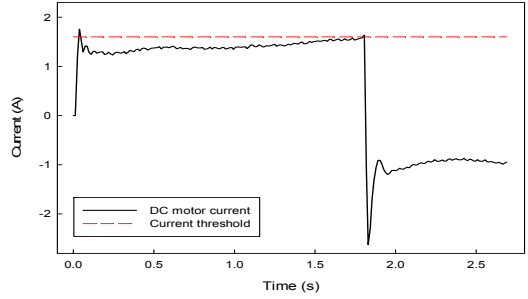


Fig. 9 Current responses by manual threshold (top : 20 N/mm test spring, bottom : 65 N/mm test spring)

Table 3 Squeezing force for two types test spring in the case of manual selection of  $I_{th}$

No.	20 N/mm spring	65 N/mm spring
	Squeezing force (N)	Squeezing force (N)
1	38.10	71.95
2	50.45	68.41
3	39.05	88.60
4	43.72	81.20
5	43.37	74.70
6	55.06	60.40
7	59.57	85.87
8	54.53	71.76
9	48.37	79.23
10	52.84	86.29
Ave	48.51	76.84

Table 3은 10회의 반복 실험을 통한 반전력 값을 나타낸다. 반전력 평균값은 20 N/mm 시험봉 (test spring)의 경우가 48.51 N, 65 N/mm의 경우가 76.84 N으로 각각 나타났다. 두 시험봉 모두 FMVSS의 반전력 조건인 100 N 이하를 완전하게 충족시켰다.

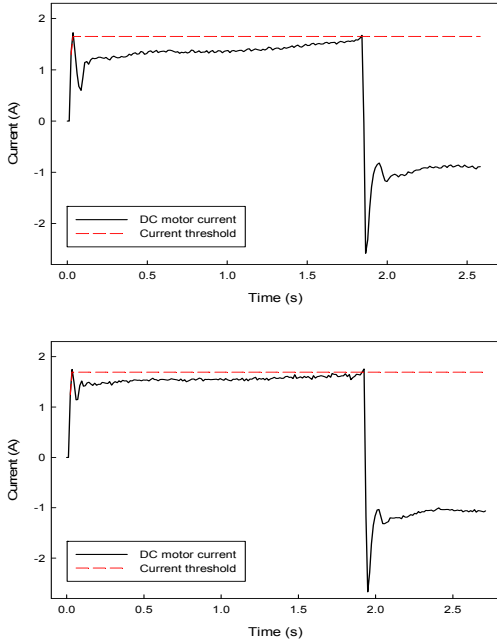


Fig. 10 Currents by automatic threshold (top : 20 N/mm test spring, bottom : 65 N/mm test spring)

Table 4 Squeezing force for two types test spring in the case of automatic threshold of  $I_{th}$

No.	20 N/mm spring		65 N/mm spring	
	$I_{th}$ (A)	SF (N)	$I_{th}$ (A)	SF (N)
1	1.65	67.30	1.69	87.81
2	1.67	61.67	1.67	52.58
3	1.65	52.70	1.71	69.51
4	1.66	37.21	1.72	87.57
5	1.65	58.98	1.68	63.79
6	1.65	66.53	1.69	88.65
7	1.62	65.48	1.70	74.94
8	1.62	47.47	1.68	79.02
9	1.67	88.75	1.70	56.55
10	1.66	76.47	1.71	88.68
Ave	1.65	62.26	1.70	74.91

Fig. 10과 Table 4는  $I_{th}$ 를 고정시키지 않고, 식 (3)과 같이 검출된  $I_{max}$ 에 의해 자동으로 결정되도록 프로그램한 후, 두 시험용 스프링으로 실험한 결과이다. 이때 계수  $K_p$ 는 0.97로 설정하였다.

Table 4의 경우에도 반전력의 평균값은 20 N/mm 시험봉의 경우가 62.26 N, 65 N/mm의 경우가 74.91 N으로 나타났다. 두 시험봉 모두 FMVSS의 반전력 조건인 100 N 이하를 완전하게 충족시켰다. 한편, 임계값  $I_{th}$ 의 크기는 식 (3)과 같이 자동으로 설정한 경우에도 수동으로 설정한 고정값인 1.6 A에 근사한 1.65 A와 1.70 A로 각각 나타났다.

Table 3과 Table 4를 통해 볼 수 있듯이 동일한  $I_{th}$ 값 또는 동일한 시험봉의 경우에도 반전력이 제각기 다르고, 그 편차도 매우 크게 나타났다. 그 원인을 분석한 결과 전류정보를 관리하는 마이크로프로세서(CPU)에서 핀치상태를 인지하는 시점과 역전 동작 지령에 관여하는 샘플링 타임(제어주기)과의 관련성이 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 5 Squeezing force versus total time TT

No.	FT (s)	ET (s)	TT (s)	SF (N)
4	1.90	1.97	0.07	87.57
10	1.91	1.98	0.07	88.68
6	1.89	1.95	0.06	88.65
7	1.90	1.96	0.06	74.94
9	1.90	1.96	0.06	56.55
8	1.81	1.87	0.06	79.02
1	1.90	1.96	0.06	87.81
3	1.93	1.98	0.05	69.51
5	1.82	1.87	0.05	63.79
2	1.91	1.95	0.04	52.58

Table 5는 APS 알고리즘 상에서 장애물의 인지 시점(FT)과 이를 통해 역전 동작 종료시점(ET)까지의 총 소요시간(TT)에 따른 반전력 분석 자료이다.

이 결과는 Table 4에서 65 N/mm의 시험봉의 실험 결과만을 추출하여 TT가 큰 순서로 재배열한 것이다. Table 5로부터 시점에 대한 관측 오류로 인해 반전력 SF 크기의 일관성이 결여된 일부 데이터가 있지만 전체적인 경향은 TT가 클수록 SF도 커짐을 알 수 있다. 이는 핀치상태가 발생된 후 얼마나 빨리 이를 인지하고 역전 지령을 통해 구동 모터의 역전 동작을 일으키느냐가 반전력 크기에 영향을 준다는 것을 의미한다. 즉 장애물

끼임 인지시점 FT와 역전 동작 종료시점 ET와의 차인 TT를 짧게 할수록 반전력 SF를 작게 유지시킬 수 있음을 의미한다. 따라서 전류정보 기반의 APS에서는 전류센서의 분해능과 더불어 적절한 샘플링 타임의 확보가 강화된 규정 FMVSS 충족을 위해 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

본 연구에서의 샘플링 타임은 0.02초, 전류센서 (Winson WCS1702)의 전류값 분해능은 1 mA였다. 식 (4)는 식 (3)의  $I_{max}$  변동 특성을 파악하기 위해 식 (1)의 최대값(maximum peak value)에 대한 근사식을, 그리고 식 (5)는 식 (4)의  $M_p$ 에 영향을 미치는 감쇄비  $\zeta$ 값을 각각 나타낸다.

$$M_p = \exp(-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}) \quad (4)$$

$$\zeta = \frac{L_a B + J R_a}{2\sqrt{L_a J} \sqrt{R_a B + K^2}} \quad (5)$$

여기서  $K_e = K_t = K$ 로 간주하였다. 결국 식 (4)와 식 (5)로부터 전류의 최대값은 전기계와 기계계의 파라미터들이 모두 결합된 형태로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 전기계인 모터의 파라미터는 대부분 모터 단독 시험으로 알 수 있거나, 모터 구입 시 주어지는 값들이다. 하지만 기계계의 경우는 윈도우 시스템을 구성하는 각종 기어 어셈블리 등의 영향으로 인해 그 값을 정확히 동정하기 어렵다. 또한 전기계의 시정수는 기계계의 시정수에 비해 매우 짧아 그 영향이 무시될 수 있다. 따라서 과도시의 전류 최대값에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 이너서 J와 마찰계수 B임을 알 수 있다. 따라서 향후 전류정보를 이용한 APS의 경우, 이들 기계계의 파라미터 변동이  $I_{max}$ 에 미치는 영향을 보다 엄밀히 분석하고 이 값들을 고려하여 파라미터 변동에도 강인한 APS의 구축이 필요할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 파워 윈도우에 관한 미국의 강

화된 규정 FMVSS 118-S5를 만족하면서 동시에 가격 경쟁력이 뛰어난 전류정보 기반의 APS를 구현하기 위한 전류의 임계값 자동 설정 방법을 검토하였다. 핀치상태 검출을 위한 전류의 임계값 설정은 모터 기동 시의 전류 최대값을 검출하고 이 값에 연계해 프로그램 상에서 자동으로 구현할 수 있음을 보였다. 또한 전류정보 기반의 APS의 성능에 영향을 미치는 설계 인자에 대해서도 정밀 분석하였다. 특히 반전력의 크기가 샘플링 시간과 밀접한 관련성이 있음을 명확히 하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 모터 구동회로의 과전류 검출용 전류센서만으로도 구현될 수 있으므로 가격경쟁력이 매우 뛰어난 방법이다. 다만 이 경우에도 강화된 규정 FMVSS를 만족하는 APS 구축을 위해서는 전류센서가 수십 mA 단위의 분해능을 가질 것과 CPU인 마이크로프로세서가 적절한 샘플링 타임을 가질 것이 동시에 요구된다.

## 후 기

본 연구는 부경대학교 C-D-2013-0912의 지원으로 수행된 연구 결과임.

## References

1. J. S. Lee et al., 2007, "A Development of Window Safety System Module Considering Active Safety Technology", Trans. of KSAE, Vol. 16, No. 3, pp. 23-29.
2. S. H. Kim and S. K. Jeong, 2010, "Anti-Pinch System for Power Window by Using Hall Sensor", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 5, pp. 63-70.
3. K. W. Wahyu, S. K. Jeong, J. S. Kum and S. S. Park, 2012, "Anti-Pinch System for Power Window Based on Current Information", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 98-105.

4. U.S Department of Transportation, 2006, Laboratory Test Procedure for FMVSS 118.
5. DIRECTIVE 2000/4/EC of the European Parliament and of the Council, 2000, Official Journal of the European and Communities.
6. 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.
7. H. J. Lee, W. S. Ra, T. S. Yoon and J. B. Park, 2005, "Robust Pinch Estimation and Detection Algorithm for Low-Cost Anti-Pinch Window Control Systems", IEEE, Industrial Electronics, pp. 269-274.
8. H. J. Lee, W. S. Ra, T. S. Yoon and J. B. Park, 2005, "Practical Pinch Detection Algorithm for Low-Cost Anti-Pinch Window Control Systems", IEEE, Industrial Electronics, pp. 995-1000.
9. D. H. Ban, Y. T. Kim, S. S. Kim and B. H. Wang, 2005, "Anti- Pinch Algorithm for Sunroof System Using Fuzzy Logic", International Symposium on Advanced Intelligent System, pp. 1041-1046.
10. S. Y. Jeon, K. H. Kim and Y. T. Byun, 1998, "Study on the Drive Characteristics of Automotive Power Window", Proc. of Korean Society of Precision Engineering (Spring), pp. 1020-1023.
11. K. W. Wahyu, 2012, "Current Based Anti-Pinch System for Automotive Power Window System", Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.