

## 하이브리드형 전기식 제동장치의 성능에 대한 연구

송정훈\* · 부광석\* · 임철기\*\*

(2003년 1월 7일 접수, 2003년 7월 14일 심사완료)

### A Study on the Performances of Hybrid type Electric Brake System

Jeonghoon Song, Kwangsuck Boo and Chulki Lim

**Key Words:** Eddy Current Brake System(ECB)(와전류 제동장치), Conventional Brake System(CBS)(일반 제동장치), The Hybrid Type Electric Brake System(HEBS)(하이브리드형 전기식 제동장치), Slip Control(슬립 제어)

#### Abstract

This study proposes a new conceptual Hybrid Electric Brake System (HEBS) which overcomes problems of a conventional hydraulic brake system. HEBS adopt a contactless type brake system when a vehicle speed is high, to obtain superior braking performances by eddy current. On the contrary, when a vehicle speed is low, HEBS employs a contact type brake system such as conventional hydraulic brake system to generate higher brake force. Therefore, HEBS transfers faster the braking intention of drivers and guarantees the safety of drivers. Braking torque analysis is performed by using a mathematical model which is proposed to investigate the characteristic of a vehicle dynamics when the brake torque is applied. Optimal torque control is achieved by maintaining a desired slip corresponding to the road condition. The results show that HEBS reduces the stopping distance, saves the electric energy, and increases the stability.

#### 1. 서론

기존의 유압식 제동장치는 제동 압력 상승 시간의 지연과 고속에서 급제동시 잠김(locking) 현상의 발생 등으로 차량의 제동 거리 증가 및 조정성 상실을 발생시키 높은 신뢰성과 안정성을 제공하지 못하고 있다. 또한 마찰로 인한 브레이크 패드의 마모로 인하여 부품의 주기적인 교체로 제품의 보수 유지에도 불편함이 있을 뿐만 아니라, 마찰열에 의한 각종 소음 및 진동 등의 발

생으로 운전자에게 불쾌감을 유발한다.<sup>(1~3)</sup> 이에 와전류 제동장치(Eddy Current Brake System, ECB)는 기존 장치의 문제점을 보완하고 특히 운전자의 제동 의지를 보다 빨리 전달할 수 있는 장점과 고속 주행시 운전자의 안전을 보장하는 우수한 제어성능으로 인하여 차세대 제동장치로 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한, ECB는 전기적인 현상으로 제동력을 발생시키므로 시간 지연 현상이 기계식 제동 장치에 비해 거의 없고 마모가 생기지 않으므로 부품을 주기적으로 교체할 필요가 없다는 장점이 있다. 하지만, ECB의 경우, 발생하는 제동 토크가 바퀴의 회전속도에 비례하며 따라서 저속에서 제동거리가 길어지는 단점이 있다.<sup>(2,3)</sup>

따라서, 이 연구에서는 ECB와 일반적인 유압식 제동장치(Conventional Brake System, CBS)를 결합한 Hybrid type Electric Brake System(HEBS)

\* 책임저자, 회원, 인제대학교 기계자동차공학부

E-mail : mechsong@ijnc.inje.ac.kr

TEL : (055)320-3755 FAX : (055)324-1723

\* 회원, 인제대학교 기계자동차공학부

\*\* 인제대학교 일반대학원 기계자동차공학부

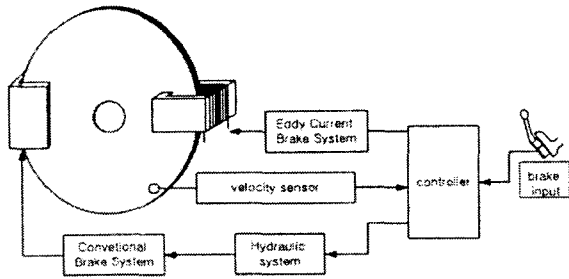


Fig. 1 A schematic of HEBS

을 제안하며, 이의 성능을 차량 및 제동장치의 수학적 모델식을 통하여 밝혀보고자 한다.

Fig. 1은 HEBS의 전체적인 개략도를 보여주고 있다. 시스템 구성은 브레이크 디스크, ECB, CBS 그리고 컨트롤러 및 센서부로 구성되어 있다.

센서부에서 차량의 휠 속도와 운전자의 페달로부터 들어오는 신호를 측정하며, 컨트롤러는 이들을 바탕으로 제동력을 발생시키는 매개체로서 ECB를 사용할 것인지 CBS를 사용할 것인지를 결정한다. 또한, 운전자의 제동 의지를 반영하여 제동 토크의 크기를 계산한다.

## 2. 와 전류 제동 장치 해석

Fig. 2는 EBS의 구조 및 동작 원리를 나타내고 있다. 와 전류형 제동 장치의 기본 동작 원리를 살펴보면 자속이 회전 도체 브레이크 디스크를 관통하면 도체 내부에 와 전류가 유도되고 와 전류와 자속 사이의 상호작용에 의하여 반발력이 발생한다. 즉, ECB는 이러한 반발력을 이용하여 제동토크를 발생시킨다. 이때 제동 토크는 디스크의 회전 속도에 비례하며, 디스크를 관통하는 자속 밀도에 비례하므로 입력 전류의 함수이다. 와 전류에 의하여 발생된 제동력을 차량용 제동 장치에 응용하기 위해서는 와 전류, 제동 장치의 특성 및 차량 동역학에 대한 전반적인 이해가 필요하다.

### 2.1 Eddy Current Brake System의 해석

ECB에서 발생하는 제동 토크를 해석하기 위하여 다음과 같은 수학적 해석이 필요하다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 ECB의 철심과 공극으로 이루어져 있는 자기회로를 흐르는 자속 밀도  $B$ 는 식 (1)의 첫 번째 항과 같이 정의되며 다

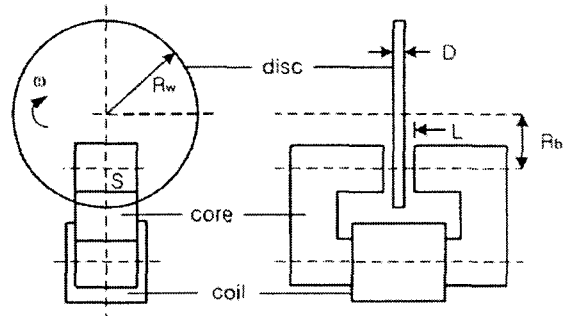


Fig. 2 A schematic of ECB

음과 같이 표현된다.<sup>(4,5)</sup>

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (1)$$

여기서  $\mu_0$ 는 공기의 투자율,  $N$ 은 철심에 감긴 권선 횟수,  $I$ 는 권선에 인가되는 전류를 나타낸다.

자속 밀도와 회전 도체의 상호 작용에 의하여 도체 디스크의 내부에 발생하는 전류 밀도  $J$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$J = \sigma(R_b \dot{\theta} \times B) \quad (2)$$

여기서  $\sigma$ 는 도전율을 나타낸다.

한편, 와 전류에 의하여 도체 내부에서 소비되는 전력,  $P_d$ 가 모두 제동력으로 변환된다고 가정하면 제동 토크  $T_b$ 는 소비 전력  $P_d$ 와 디스크의 회전 속도  $\dot{\theta}$ 로 표현할 수 있다.

$$T_b = \frac{P_d}{\dot{\theta}} \quad (3)$$

여기서 소비 전력을 다음과 같이 정의한다.<sup>(6)</sup>

$$P_d = \rho J^2 V \quad (4)$$

여기서  $\rho$ 는 도체 부피 당 비저항(resistivity)을 나타내며 도전율과는 역수 관계이다. 한편,  $V$ 는 디스크에서 자속이 관통하는 체적을 의미한다.

식 (4)에 식 (2)를 대입해서 정리하면

$$P_d = \sigma R_b^2 \dot{\theta}^2 B^2 S D \quad (5)$$

여기서  $D$ 는 디스크의 두께를 의미한다. 따라서, 식 (1), 식 (3)과 식 (5)를 이용하여 제동 토크를 구하면 다음과 같이 표현된다.

$$T_b = \sigma R_b^2 \left( \frac{\mu_0 N}{L} \right)^2 I^2 \dot{\theta} S D \quad (6)$$

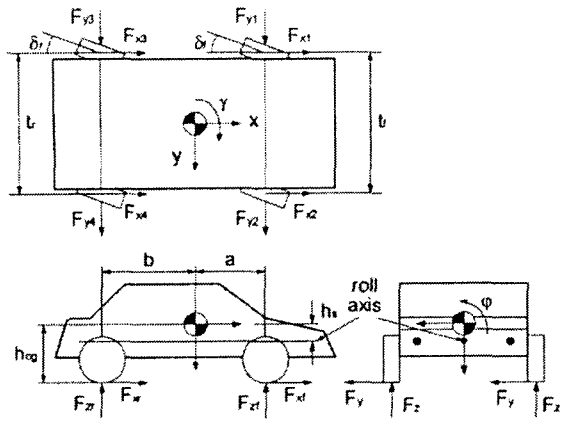


Fig. 3 A free body diagram of a vehicle

### 3. 차량의 동역학적 모델

주행 및 제동중인 차량 운동의 해석을 위해서 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 7 자유도를 가지는 수학적 차량 모델을 제안한다. 이 모델을 이용하여 차량의 정상상태 및 비 정상상태 운동의 동 특성을 해석한다. 또한 CBS, ECB 그리고 HEBS의 성능을 살펴보고 슬립을 제어 요소로 하는 ABS (Anti-lock Brake System) 기능을 장착한 차량의 동특성과 살펴보았다.

#### 3.1 종 방향 운동 방정식

차량이 선회 운동을 하는 동안 제동력이 가해지면 종 방향의 운동은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$m_{total}(\dot{v}_x - v_y \dot{\theta}) = \sum_{i=1}^4 FX_i - F_D \cos \theta \quad (7)$$

여기서,  $F_D$ 는 공기 저항력,  $\theta$ 는 조향각,  $v$ 는 차량 속도 그리고  $m_{total}$ 은 차량의 전체 질량을 나타낸다. 한편, 변수  $i$ 는 차량의 각 바퀴를 나타내며 1은 전륜 좌측, 2는 전륜 우측, 3은 후륜 좌측 그리고 4는 후륜 우측 바퀴를 각각 뜻한다. 한편, 각 바퀴에 인가되는 힘은 다음과 같이 표현된다.

$$FX_i = (FX_i - \mu_i Fz_i) \cos \delta_i - F_{y_i} \sin \delta_i \quad (8)$$

#### 3.2 횡방향 운동 방정식

횡 방향으로 작용하는 전체 힘은,

$$m_{total}(\dot{v}_y - v_x \dot{\theta}) = \sum_{i=1}^4 FY_i - F_D \sin \theta \quad (9)$$

이며, 마찬가지로 각 바퀴에 작용하는 횡방향의 힘은 다음과 같다.

$$FY_i = (Fy_i - \mu_i Fz_i) \sin \delta_i - F_{x_i} \cos \delta_i \quad (10)$$

한편, 타이어에 발생하는 종 방향의 힘,  $Fx_i$ 와 횡 방향의 힘,  $Fy_i$ 는 Dugoff model에 의해서 계산된다.<sup>(7,8)</sup>

#### 3.3 요잉 운동

차량의 X-Y 평면에서 Z 축으로 발생하는 Torque,  $\Gamma$ 로 인하여 요잉(yawing) 운동이 발생하며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Gamma &= I \frac{d^2 \theta}{dt^2} \\ &= aFY_1 + \frac{t_f}{2} FX_1 + aFY_2 - \frac{t_f}{2} FX_2 \\ &\quad - bFY_3 + \frac{t_f}{2} FX_3 - bFY_4 - \frac{t_f}{2} FX_4 \end{aligned} \quad (11)$$

#### 3.4 수직 방향의 하중 이동

차량의 선회 및 제동시 롤(roll) 및 피치(pitch) 운동 등의 원인으로 차량의 각 바퀴에 가해지는 수직방향의 하중은 변화한다. 이러한 변화는 각 바퀴와 도로면의 마찰력을 변화시켜 차량의 운동에 많은 영향을 미치게 된다.<sup>(1,9)</sup> 일반적인 차량의 동역학적 거동 모델에는 차량의 roll 운동에 의한 하중변화, 차량의 선회운동시 sprung mass와 roll 축과의 불일치로 인한 하중변화, unsprung mass와 roll 축과의 불일치로 인한 하중 이동, 제동시 pitch 운동에 의한 하중 이동 그리고 차량의 질량에 의한 하중 등을 고려한다.<sup>(3,9)</sup> 하지만 이 연구는 직진 주행 중, HEBS의 제동 성능만을 살펴보기 위한 것이며 따라서 마지막 두 개의 항목만을 모델식에 고려한다. 즉 수직 하중은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$Fz_1 = -0.5F_{br} + 0.5F_{mr} \quad (12)$$

$$Fz_2 = -0.5F_{br} + 0.5F_{mr} \quad (13)$$

$$Fz_3 = -0.5F_{br} + 0.5F_{mr} \quad (14)$$

$$Fz_4 = -0.5F_{br} + 0.5F_{mr} \quad (15)$$

여기서  $F_{br}$ 는 제동시 전륜에 가해지는 하중의 변화를 나타내며 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$F_{br} = (m_{ur}h_f + m_s h_{cg} + m_{ur}h_r) \frac{a_x}{a+b} \quad (16)$$

마찬가지로 후륜에 제동에 의하여 변화하는 하

중  $F_{br}$ 은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$F_{br} = -(m_{ur}h_f + m_s h_{cg} + m_{ur}h_r) \frac{a_x}{a+b} \quad (17)$$

한편 앞, 뒷바퀴에 인가되는 차량의 정지 질량에 의한 하중  $F_{mf}$ 와  $F_{mr}$ 은 각각 다음과 같다.

$$F_{mf} = \frac{b}{a+b} m_{total}g \quad (18)$$

$$F_{mr} = \frac{a}{a+b} m_{total}g \quad (19)$$

### 3.5 바퀴의 운동 모델

차량의 속도가 감소할 때 차륜에는 제동 토크가 작용하게 되며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I_{wl}\omega_l = T_e + F_x i R_w - T_b - \mu F_z i R_w \quad (20)$$

여기서  $T_e$ 는 엔진에서 발생되어 동력전달기구를 거쳐 바퀴에 전달되는 토크이며  $T_b$ 는 브레이크 패드에서 발생하는 제동 토크이다.

### 3.6 제동 장치 모델

HEBS의 경우, 차속에 따라 제동력을 발생시키는 메커니즘이 변화한다. 즉, 고속에서는 와전류를 이용한 ECB가 사용되며 저속에서는 일반적인 유압식 제동장치인 CBS가 사용된다. ECB에서 발생하는 제동토크는 식 (6)에 표시하였으며 CBS의 경우 다음 식으로 표현된다.

$$T_b = K P_{wi} A_w R_b \quad (21)$$

여기서  $K$ 는 비례상수이며  $P_{wi}$ 는 브레이크 유압,  $A_w$ 는 브레이크의 마스터 실린더의 단면적 그리고  $R_b$ 는 바퀴의 중심에서 브레이크 패드의 중심까지의 거리를 나타낸다.

### 3.7 제어기의 설계

이 연구는 ECB, CBS 그리고 HEBS의 제동성능을 분석, 비교하기 위한 것이다. 따라서 제어기에 의한 영향을 최소화시키기 위하여 잠김 현상의 방지를 위한 ABS 제어는 간단한 형태로 구성하였다. 즉, 슬립을 기준으로 유압 또는 전류를 제어한다. 슬립이 0.11을 넘을 경우, CBS는 브레이크 압력을, ECB는 입력전류를 감소시켰으며 슬립이 0.09보다 작을 경우, 반대의 역할을 수행하는 제어기를 설계하였다.

## 4. 수학적 해석의 결과 및 토의

이 연구에서 사용된 차량의 간단한 재원을 Table 1에 나타내었다. 보다 자세한 사항은 참고 문헌 (7) 및 (8)을 참고하기 바란다. 한편 ECB 및 HEBS 장착 차량의 경우, 전체 차량 질량은 40kg 증가시켰으며 이는 unsprung mass의 증가 때문이다.

### 4.1 ECB와 CBS의 제동 토크 비교

Fig. 4는 ECB 및 CBS의 제동 토크 특성을 보여주고 있다. ECB의 경우, 식 (8)에 나타난 것처럼 바퀴의 회전속도에 비례하는 제동토크를 발생한다. 즉 차량의 속도가 증가함에 따라 제동 토크는 비례하여 커지며 이는 코일에 포화 현상 (saturation)이 발생할 때까지 지속된다. 하지만, CBS의 경우, 발생하는 제동 토크는 운전자의 제동의지에 의하여 결정되며, 이 연구에서는 차량의 속도와는 관계없이 일정하다고 가정한다. 즉,

Table 1 Vehicle data used for simulation

$m_{total}$	1280kg	$h_{cg}$	0.5m
$m_s$	1160kg	$h_f, h_r$	0.1m
$m_{ur}, m_{ur}$	60kg	$t_f, t_r$	1.33m
$a$	1.203m	$R_b$	0.16m
$b$	1.217m	$R_w$	0.3m
$N$	2000turns	$\mu_0$	0.00000126
$L$	0.002m	$S$	0.006m <sup>2</sup>
$D$	0.01	$\sigma$	20000000.0

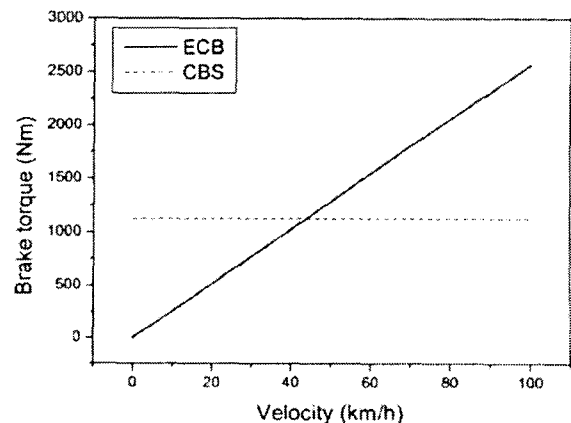


Fig. 4 A comparison of brake torque with ECB and CBS

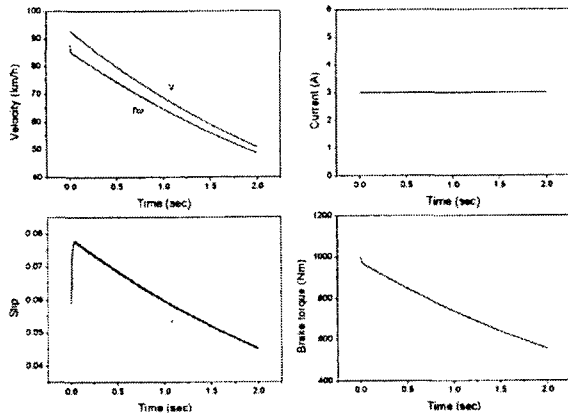


Fig. 5 Performances of ECB without slip control

CBS의 제동압력을 50bar로, ECB의 입력전류를 3A로 가정하면, 차량의 속도가 약 45km/h 이상일 경우 ECB가 보다 큰 제동 토크를 나타내며, 이하의 속도일 경우, CBS가 보다 큰 제동 토크를 발생시킴을 알 수 있다. 한편, 최대입력전류를 3A로 결정한 것은 이 보다 높은 전류가 흐를 경우, 자속의 포화현상이 발생할 가능성이 높으며, 과전류로부터 차량 내부의 전기회로를 보호하기 위해서이다.

4.2 슬립제어가 적용되지 않을 때 ECB의 제동성능

일반적으로 제동 토크가 작아지면 제동 거리가 길어지거나 반대로 제동 토크가 커진다 하여 반드시 제동 거리가 짧아지는 것은 아니다. 이는 바퀴의 잠김 현상 때문이다.<sup>(16)</sup> Fig. 5는 아스팔트 노면 위를 92km/h의 속도로 직진 주행 중 급제동을 하였을 때 슬립 제어를 적용하지 않았을 때 나타나는 EBS의 제동 성능 및 특징을 보여주고 있다. Fig. 5에 나타낸 것과 같이 제동 토크가 제어되지 않을 경우, 최대제동토크를 발생시키기 위하여 ECB는 3A의 최대입력전류를 지속적으로 공급함을 알 수 있다. 하지만 바퀴의 회전속도가 감소함에 따라 제동토크도 줄어들며 따라서 저속에서의 감속은 고속에서의 감속보다 적음을 확인할 수 있다.

한편 슬립은 제동 초기 급격히 높아지다가 낮아지는 것을 확인할 수 있으며 이는 제동토크가 작아져 잠김 현상이 감소되기 때문이다. 이러한 특성은 차량 바퀴의 잠김 현상이 발생하는 것을 일부 막아줄을 나타낸다. 즉, ECB에 잠김 방지 장치(ABS)를 장착할 경우, CBS에 비하여 보다

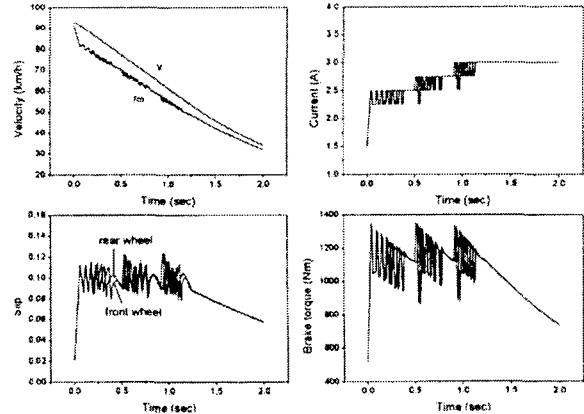


Fig. 6 Performances of ECB with slip control

우수한 기능을 얻을 수 있음을 시사한다.

4.3 슬립제어가 적용될 때 ECB의 제동성능

Fig. 6은 앞 절의 초기 주행조건과 동일하지만 슬립제어가 적용되었을 경우에 발생하는 ECB의 동적 성능을 보여주고 있다. 앞에서와 마찬가지로 차속이 감소함에 따라 입력전류는 점차 커짐을 알 수 있다. 하지만 슬립 제어에 의하여 제동에 요구되어지는 입력전류는 감소하였으며 반면에 감속은 보다 커짐을 알 수 있다. 즉, 슬립을 기준으로 간단한 형태의 제어라도 적절히 수행되었을 경우, 제동거리를 단축할 수 있으며 전기 에너지의 소모량도 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

하지만 저속에서의 경우, 입력전류가 커지더라도 제동토크의 저하로 감속량은 줄어들었으며 따라서 저속에서 차량을 감속시킬 수 있는 적절한 메커니즘이 필요함을 알 수 있다.

4.4 슬립제어가 적용될 때 CBS의 제동성능

CBS의 특성에 대한 연구는 ABS/TCS 등에 대한 연구를 통하여 지금까지 많은 연구자들에 의하여 이루어져 왔다.<sup>(3,8-11)</sup> 따라서 이 연구에서는 차량에 CBS를 장착하고 슬립제어가 적용될 때의 경우만을 살펴보도록 한다. 또한 차량의 초기주행조건은 앞 절과 동일한 것으로 한다.

Fig. 7은 슬립 제어가 적용되어진 경우, CBS의 특성을 보여주고 있다. 이 경우, CBS의 제동성능은 앞에서 살펴본 슬립제어가 적용된 ECB와 유사한 성능을 보이고 있다. 슬립 역시 아스팔트 노면에서 최대의 마찰력을 발생시키는 적절한 범위 (0.09~0.11)를 유지하고 있음을 알 수 있다.

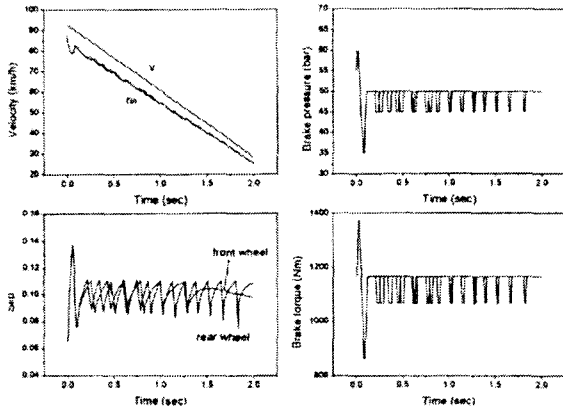


Fig. 7 Performances of CBS with slip control

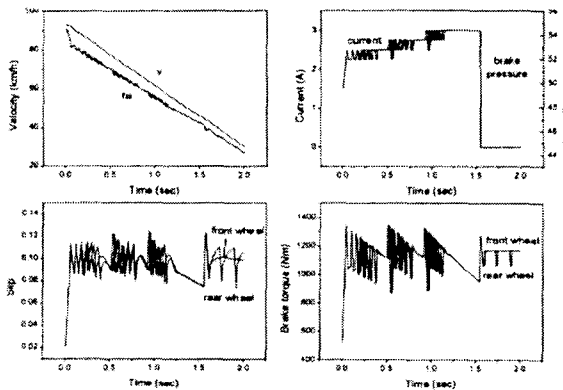


Fig. 8 Performances of HEBS with slip control

또한 제동토크는 저속에서도 일정한 값을 유지하고 있어 ECB의 단점을 충분히 보상할 수 있음을 알 수 있다.

하지만 CBS는 접촉식 제동장치이며 고속주행 시 제동 토크가 인가될 경우, 소음 또는 진동 등의 원인으로 인한 승차감의 악화, 브레이크 패드의 마모와 이로 인한 각종 문제점들로 인하여 제동장치의 성능 및 수명을 저하시키는 단점을 발생시킨다.

4.5 슬립제어가 적용될 때 HEBS의 제동성능

Fig. 8은 HEBS의 제동 성능을 보여주고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 HEBS는 고속에서 비접촉 제동장치인 ECB를 사용하여 제동력을 발생시키며 저속에서 접촉식 제동장치인 CBS를 사용하여 제동력을 발생시킨다. 즉, Fig. 8의 오른쪽 위의 그림에 나타낸 것과 같이 고속에서는 입력전류를 이용하여 슬립을 제어하며 저속에서는 유압을 이용하여 슬립을 제어하게 된다. 이와 같은 방식의

제동장치는 저속에서도 일정한 감속성능을 나타내어 ECB의 단점을 보완함을 알 수 있다. 또한 제동토크 역시 저속에까지 지속적으로 발생되어 슬립은 0.09~0.11의 범위 내에서 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

이 연구에서는 와전류를 이용한 비접촉식 제동장치인 ECB와 일반 유압 접촉식 제동장치인 CBS를 결합한 하이브리드 타입의 제동장치인 HEBS의 특성을 수학적 모델을 통하여 살펴보았다. 또한 잠김 현상의 방지를 위하여 슬립을 기준으로 간단한 제어를 설계하여 모델에 적용하였다.

이러한 수학적 연구를 통하여 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 이 연구에서 고안된 HEBS는 저속에서 제동토크를 발생시키는 메커니즘으로 CBS를 채용하며 고속에서는 EBS를 사용한다. 이 경우, HEBS는 CBS 및 EBS가 가지는 단점을 상호 보완할 수 있음을 보여주었다.

(2) EBS 및 CBS의 제동 토크는 이론적 근사를 통하여 도출하였으며, 차속이 약 45km/h 인 경우 두 제동장치의 제동 토크가 유사하였다. 따라서, 이 속도를 기준으로 HEBS는 EBS 및 CBS의 적용 여부를 결정한다.

(3) ECB, CBS 및 HEBS에 슬립을 기준으로 간단한 토크 제어가 적용 될 경우 적절한 슬립을 유지할 수 있으므로 제동 성능을 보다 향상시킬 수 있었다. 특히 ECB 및 HEBS의 경우, 제동성능을 향상시키면서 전기 에너지를 절약할 수 있었다.

(4) 이와 같은 수학적 연구를 통하여 HEBS는 기존 제동장치의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 확인시켜 주었다. 따라서 HEBS의 실용여부 및 성능 개선에 대하여 앞으로 보다 많은 연구가 이루어져야 될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2001년도 인제학술연구조성비의 지원을 받아서 이루어졌습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌



- (1) Wong, J. Y., 1993, *Theory of Ground Vehicle*, John Wiley & Sons, New York, 2nd ed.
- (2) Kim, C. K., and Sung, B. Y., 1998, "Thermal Behavior Analysis of Disc Brake System During Quick Braking," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 22, No. 6, pp. 1106~1113.
- (3) Lim, C., Song, J., Boo, K., and Hong, S., 2002, "Development of the Hybrid Type Electric Brake System," *International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*.
- (4) Lee, G. J., 1997, Development and Application of a Brake Hardware-In-the-Loop Simulation System for Vehicle Active Brake Control System Development, M. S. Thesis, Kwangju Institute of Science and Technology, Kwangju.
- (5) Simeu, E., and Georges, D., 1996, "Modeling and Control of an Eddy Current Brake," *Control Engineering Practice*, Vol. 4, No. 1, pp. 19~26.
- (6) Lee, K., and Park, K., 1999, "Optimal Robust Control of a Contactless Brake System Using an Eddy Current," *Mechatronics*, Vol. 9, pp. 615~631.
- (7) Dugoff, H., Fancher, P. S., and Segel, L., 1970, "An Analysis of Tire Traction Properties and Their Influence on Vehicle Dynamic Performances," *SAE paper 700377*, pp. 341~366.
- (8) Smith, D. E. and Starkey, J. M., 1995, "Effects of Model Complexity on the Performance of Automated Vehicle Steering Controllers: Model Development, Validation and Comparison," *Vehicle System Dynamics*, Vol. 24, pp. 163~181.
- (9) Anthony, B. W., 1997, "Intelligent Vehicle Braking and Steering Control System," Ph. D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- (10) Bang, M. S., Lee, S. H., Han, C. S., Maciucă, D. B., and Hedrick, J. M., 2001, "Performance Enhancement of a Sliding Mode Wheel Slip Controller by the Yaw Moment Control," *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 215, Part D.
- (11) Park, J. H., 2001, "Anti-lock Brake System Controller for Buses Based on Fuzzy Logic and a Sliding Mode Observer," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 10, pp. 1398~1407.