

## 전기자동차용 제동 시스템 해석 및 최적화에 관한 연구

오재응<sup>1)</sup> · 이준일<sup>2)</sup> · 이충휘<sup>\*3)</sup> · 조용구<sup>3)</sup> · 이유엽<sup>3)</sup> · 이정윤<sup>4)</sup>

한양대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 주식회사 케이알<sup>2)</sup> · 한양대학교 자동차공학과<sup>\*3)</sup> · 경기대학교 기계공학과<sup>4)</sup>

### The Analysis and Optimization for the Braking System in Electric Vehicle

J. E. Oh<sup>1)</sup> · J. I. Lee<sup>2)</sup> · C. H. Lee<sup>\*3)</sup> · Y. G. Joe<sup>3)</sup> · Y. Y. Lee<sup>3)</sup> · Y. J. Lee<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 131-791, Korea

<sup>2)</sup>Researcher, KR R&D Center, 2na 704 Block, Shihwa Industrial Complex, Jeongwang-Dong, Shiheung-si 429-450, Korea

<sup>3)</sup>Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 131-791, Korea

<sup>4)</sup>Department of Mechanical Engineering, Kyonggi University, Suwon-si 442-760, Korea

(Received 22 April 2002 / Accepted 5 December 2002)

**Abstract** : Driving range is one of the main problems in development of Electric Vehicles(EV). The Regenerative braking system is required to overcome the problem, which converts kinetic energy of the vehicle during braking into electrical energy. This paper discusses the braking system of EV and Robust design especially developed to maximize energy recovery and to optimize braking performance. This is promised to be applied to the design of elements for EV braking system.

**Key words** : Regenerative braking(회생 제동), State of charge(SOC: 충전상태), Braking simulation(제동 시뮬레이션), Energy regeneration ratio(에너지 회생률), Robust design(강건설계)

#### Nomenclature

$A$  : vehicle front area,  $m^2$   
 $B_f$  : front braking force,  $N$   
 $B_r$  : rear braking force,  $N$   
 $C_a$  : air resistance coefficient  
 $C_r$  : rolling resistance coefficient  
 $W$  : weight of vehicle,  $N$   
 $W_f$  : front static weight,  $N$   
 $W_r$  : rear static weight,  $N$   
 $W_t$  : total weight of vehicle,  $N$   
 $a$  : acceleration of vehicle,  $m/s^2$   
 $g$  : acceleration of gravity,  $m/s^2$   
 $h$  : height of center of gravity,  $m$

$l$  : wheel base,  $m$   
 $\mu_f$  : front wheel friction coefficient  
 $\mu_r$  : rear wheel friction coefficient  
 $\theta$  : angle of inclination, degree

#### 1. 서론

전기 자동차에 대한 연구는 환경오염에 대한 대책 기술 개발과 수출전략 차원에서의 새로운 기술 개발에 대한 필요성이 부합되면서 1990년대 초부터 활발히 추진되고 있다. 전기 자동차의 실용화에 있어 가장 큰 문제점은 축전지 개발의 미진으로 인해 일종전 주행거리가 기존 가솔린차량에 비하여 1/3 정도밖에 되지 않는 것이다. 이를 해결하기 위해 완성차 업체들은 경량화, 에너지 효율향상 등의 연구를 진행하고 있으며 이들 중 차량의 제동 에너지를

\*To whom correspondence should be addressed.  
choong@ihanyang.ac.kr

전기에너지로 변환시켜 축전지를 충전시킴으로써 에너지 소모를 줄일 수 있는 회생제동장치에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1)</sup>

전기 자동차는 무게배분과 중량이 일반 차량과 다르므로 운전자의 제동작용에 의한 차량의 응답성이 기존 차량과 다르고, 회생제동 장치를 사용하기 때문에 전기 자동차용 제동장치는 이에 대한 고려가 필요하다. 또한, 회생제동장치와 유압제동장치의 상황에 따른 적절한 배분과 최대의 에너지 회생을 위해서 최적화된 차량과 제동장치 사양의 제시가 필요하다.

제동의 안정성 측면에서 전후 제동력 배분에 관한 연구는 Puleo<sup>2)</sup>의 제동력 배분장치에 관한 연구를 비롯하여 Limpert,<sup>3)</sup> Nakamura<sup>4)</sup> 등의 실험 및 이론적 연구가 있고, Enomoto,<sup>5)</sup> Giorgetti<sup>6)</sup> 등이 전기자동차의 회생제동에 대한 연구를 수행하였으며, 여훈, 김현수<sup>7,8)</sup> 등이 하이브리드 차량의 최저 연비 주행 알고리즘 및 시뮬레이터 개발에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 전기 자동차의 차량 제동에 대한 동역학적 모델링 및 해석과 모터 및 축전지의 모델링을 수행하여, 기계계 및 전기계에 적용시킨 전기 자동차 전용 제동특성 해석 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하였다. 또한, 강건설계 기법을 사용해 차량과 제동장치의 각 부품을 최적화하여 도심지 주행모드에서의 20% 이상의 에너지 회생을 이루었다.

## 2. 전기자동차의 특성과 제동 안정성을 고려한 제동 특성 이론

### 2.1 제동기구의 모델링

Fig. 1과 같이 2개의 차축을 갖고있는 차량에서 제동할 경우에 대해서 전, 후륜의 동하중은 정지상태 때의 하중과는 달라지게 되고 브레이크의 성능은 이 동하중의 분배에 좌우된다. 이 때 전륜 및 후륜의 동적하중  $W_f, W_r$ 은 다음과 같다.

$$W_f = W_f + W a \frac{h}{L} = (1 - \phi + xa)W \quad (1)$$

$$W_r = W_r - W a \frac{h}{L} = (\phi - xa)W \quad (2)$$

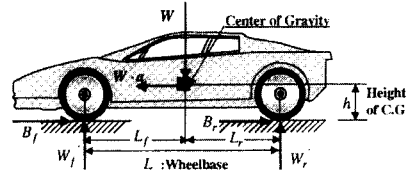


Fig. 1 Schematic diagram of braking

여기서  $\phi = W_r / W$ ,  $x = h/L$ 이다. 또한, 제동시 차량의 운동방정식은 다음과 같다.

$$B_f + B_r = W \cdot a \quad (3)$$

$$B_f = W_f \cdot \mu_f = (1 - \phi + xa)W \cdot \mu_f \quad (4)$$

$$B_r = W_r \cdot \mu_r = (\phi - xa)W \cdot \mu_r \quad (5)$$

위의 식 (3), (4), (5)를 이용하여 이상적인 제동 특성을 수행하기 위한 전/후륜의 제동력을 계산하면 다음과 같다.

$$B_r = \sqrt{\left(\frac{W(1-\phi)}{2x}\right)^2 + \frac{W \cdot B_f}{x} - \frac{W(1-\phi)}{2x} - B_f} \quad (6)$$

한편, 타이어와 노면간에 작용하는 마찰계수로 인해 발생하는 마찰력보다 큰 힘을 차륜에 가하면 타이어는 로크가 되어 차량의 안정성에 큰 영향을 미친다. 전륜 로크의 한계와 후륜 로크한계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$B_r = \left(\frac{1}{\mu_f x} - 1\right)B_f + \frac{(\phi - 1)}{x}W \quad (7)$$

$$B_r = \left(\frac{\mu_r}{1 + \mu_r x}\right)(\phi W - x B_f) \quad (8)$$

식 (6), (7), (8)을 이용하여 차량이 안정성을 유지하는 최적의 제동력을 구할 수 있다.

### 2.2 차량운동모델

자동차가  $v$ 의 속도로 달리고 있을 때 차에 요구되는 출력은 다음 식과 같다.

$$\text{차의 출력} = (F_r + F_a + F_i + F_A)v \quad (9)$$

$$F_r = C_r W_t$$

$$F_a = C_a A v^2 \quad (10)$$

$$F_i = W_t \sin \theta$$

$$F_A = (W_f + W_r) / g$$

여기서,  $F_r$ 는 구름저항,  $F_b$ 는 공기저항,  $F_i$ 는 구배저항,  $F_A$ 는 가속저항이다. 또한 다음과 같은 전동기 토크에 의해 회생제동과 기존 제동계가 연결된다.

$$T_m = \frac{r_w \times F}{r_t \times \eta_t} \tag{11}$$

여기서,  $T_m$ 은 전동기의 토크( $N \cdot m$ )이고,  $r_t$ 는 총 감속비,  $\eta_t$ 는 동력 전달 효율,  $r_w$ 는 차륜의 유효반경이다.

### 2.3 전지모델

축전지 모델은 Ampere-Hour방식을 이용하였다. 이 방식은 충방전시 전류와 시간을 적분하여 계산된 총 Ah용량과 비교하여 충전상태를 표시하는 방식으로 현재 전기자동차용으로 가장 많이 쓰이고 있다.<sup>7)</sup> 충전상태 (SOC)는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있으며, 축전지는 현재의 충전상태, 충전 및 방전율, 온도, 수명과 같은 요인들에 의해 영향을 받는데, 이들 요인들은 비선형적으로 반응하므로 이론과 실제 측정치를 병행하여 적용한다.

$$SOC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum i(\Delta t)}{Q} \right\} \tag{12}$$

여기서,  $i$ 는 축전지 출력전류이고  $\Delta t$ 는 시간,  $Q$ 는 축전지용량이다.

### 2.4 기존제동기구 모델링

차 앞 바퀴에 많이 적용되는 디스크 브레이크 또는 캘리퍼(Caliper) 브레이크를 Fig. 2에 나타내었다. 이때 디스크 브레이크의 제동력은 다음과 같다.

$$F_b = A_b P_b \tag{13}$$

$$T_b = 2\mu_b r_b F_b \tag{14}$$

여기서,  $F_b$ 는 디스크 입력압력이고  $A_b$ 는 브레이크 피스톤 면적,  $P_b$ 는 브레이크 피스톤 압력,  $T_b$ 는 제동 토크,  $\mu_b$ 는 브레이크 슈우와 디스크 사이의 마찰계수,  $r_b$ 는 작동점의 반경이다.

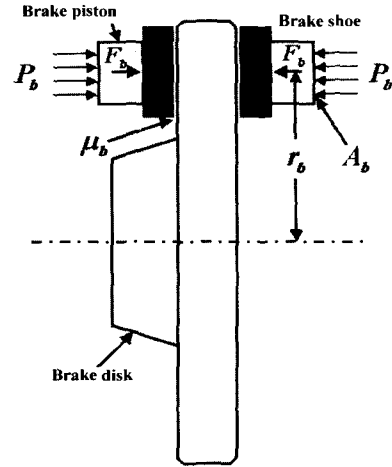


Fig. 2 Disk brake

### 2.5 회생제동 및 제어 알고리즘

회생제동이란 전기자동차의 추진장치인 모터를 제동시에 발전기로 사용하여서 종전의 자동차에서 디스크 브레이크나 드럼 브레이크에 의해 열 손실로 버려졌던 에너지의 재사용을 유도하는 장치이다. 회생제동 효율(regenerative efficiency)을 증가시키기 위해서는 유압 제동력(hydraulic breaking force)을 최소화해야 하며 이를 위해 회생 제동력의 적절한 제어 및 해석, 유압 제동과 회생 제동력의 안정적 배분과 시스템의 안정성을 고려하여야 한다.

차량의 제동 시 제동력  $F_B$ 가 타이어를 통해 지면에 전달되면 차량은 식 (15)와 같이  $a_v$ 의 감속도로 감속하게 된다.

$$a_v = \frac{F_B}{M_V} = \frac{T_B / r}{M_V} \tag{15}$$

전기자동차의 경우 기존의 내연기관과는 달리 브레이크 패드와 디스크 사이의 마찰력에 의한 기계적 제동력,  $T_M$ 과 구동전동기의 역회전력에 의한 전기적인 제동력  $T_R$ 이 존재한다.

$$T_B = T_M + T_R \tag{16}$$

자동차의 제동과정은 차량의 운동에너지가 제동 일률  $P_B$ 로 소모되는 과정으로 해석할 수 있고,  $P_B$ 는 다시 그 제동력에 따라 기계적 제동일률  $P_M$ 과 전기적 제동일률  $P_R$ 로 나누어 진다. 이 때, 기계적 제동일률  $P_M$ 은 브레이크 디스크와 패드 사이의 마찰열

로 소모되어진다.

또한, 전기적 제동일률  $P_R$ 은 자동차의 운동에너지가 전기에너지로 변환된 회생전력으로서 축전지로 재충전 되어진다. 이러한 관계를 식 (17)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} M v^2 &= P_B \times t = T_B \times \omega_v \times t \\ &= (T_M + T_R) \times \omega_v \times t \\ &= (P_M + P_R) \times t \end{aligned} \quad (17)$$

하지만 실제로 회생제동은 축전지가 흡수할 수 있는 최대전류와 인버터와 전동기를 보호하기 위한 직류 링크 전압, 저속에서의 회생 제동력에 의해 회생되는 전력의 감소 등에 제한을 받는다. 이러한 사항을 고려한 회생제동 결정 알고리즘의 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다.

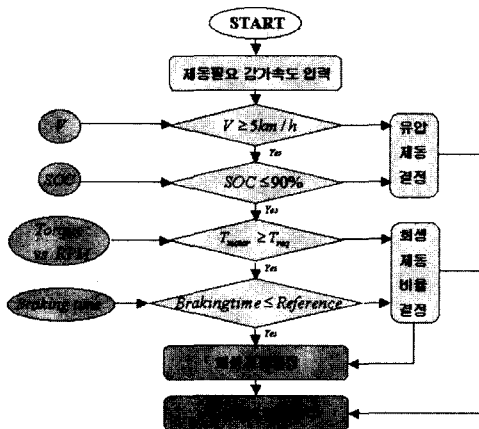


Fig. 3 Flow chart of regenerative braking determination

### 3. 제동특성 및 회생제동 시뮬레이션

본 연구에서는 City 모드로 운행중인 고등기술연구원 DEVS 전기자동차의 실차 실험데이터와 개발된 전기자동차용 제동 특성 해석 소프트웨어를 이용하여 차량의 토크와 SOC에 대한 실험데이터와의 비교 및 성능평가를 수행하였다. 또한, 회생제동 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 하였다.

전기자동차용 제동 특성 해석 소프트웨어는 Mathworks사의 Simulink를 이용하여 개발되었으며 이것을 Fig. 5에 나타내었다.

City 모드는 가속 후 정지나 감속을 빈발하게 하

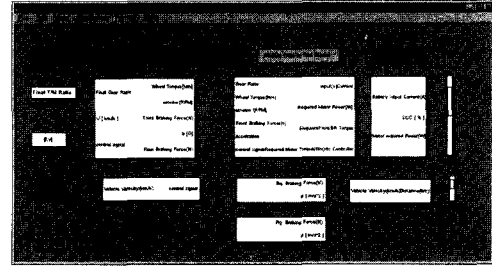


Fig. 5 Developed analysis software of braking characteristics

는 시내도심 주행모드이며, 소프트웨어에 입력된 시간당 속도는 Fig. 6(1st)에 나타내었다.

실차의 모터 토크와 시뮬레이션 소프트웨어에서 계산된 모터토크의 비교는 Fig. 6(2nd)에 나타내었다. 토크는 잘 일치하고 있으며, 0 이하에서의 약간의 불일치는 고속에서 급격한 제동으로 인한 실차의 역토크 증가에 따른 현상으로 보인다.

충전상태 (SOC)는 Fig. 6(3rd)에 나타내었다. 역시 잘 일치하고 있으나 실험에 쓰인 배터리의 수명 및 상태로 인한 오차로 생각된다.

회생제동 제어 알고리즘을 소프트웨어에 적용하여 얻은 시뮬레이션 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 입력력은 일본의 City mode를 이용하였고 Fig. 7(1st)에 나타내었다. 초기 SOC는 95%로 주어졌으며 SOC 90%이하, 시속 5km/h 이상, 연속제동시간 15초 이하에서 회생제동을 채택하도록 하였다.

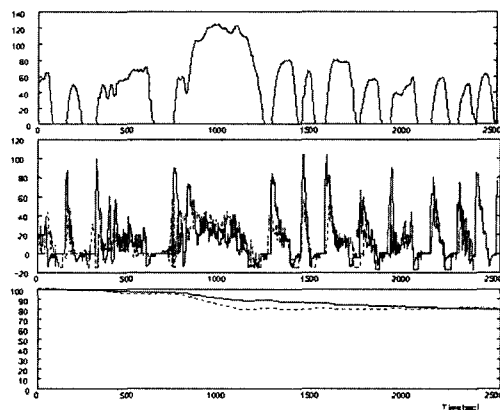


Fig. 6 Comparison between simulation and experiment (1st: test mode (velocity [km/h]), 2nd: Traction torque [Nm], 3rd: SOC [%], -: Experiment, --: Simulation)

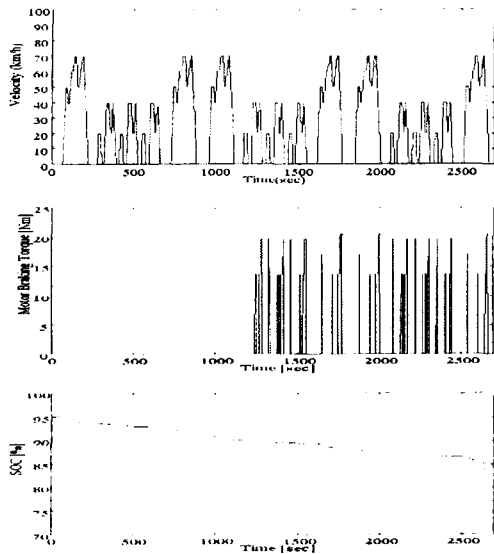


Fig. 7 Result of the regenerative braking control(1st: test mode (velocity [km/h]), 2nd: Regenerative braking torque [Nm], 3rd: SOC [%], -: After control, --: Before control)

Fig. 7(2nd)는 Controller에서 출력된 신호와 회생/유압제동 비율배분 알고리즘에 의한 회생제동 토크를 나타낸다. Controller에서 출력된 신호에 따라 1200 sec 까지 유압제동만 수행하며, 그 후부터는 회생/유압제동 비율배분 알고리즘에 의해 회생제동과 분배되어 적용됨을 알 수 있다.

Fig. 7(3rd)에 회생제동 토크로 인해 회생된 SOC의 상승을 나타내었으며 1200sec 이후로 에너지 상승을 보이고 있다.

#### 4. 강건설계에 의한 최적화<sup>9,10)</sup>

##### 4.1 강건설계와 S/N비

강건설계법은 기본적으로 품질이라는 개념을 가지고 모든 제품의 성능을 평가하는데 주로 사용한다. 품질은 제품 출하 후에 발생하는 세가지 손실의 합으로 정의한다.

이 세가지 손실은 기능의 산포에 의한 손실, 사용코스트, 피해 항목에 의한 손실이다. 그리고 이에 따른 손실함수를 사용하여 S/N비를 유도해 낸다. 측정값이  $y$ 이고 목표값이  $m$ 이라 할 때 손실함수 (Lost function)  $L(y)$ 를  $m$ 에 대하여 Taylor 급수 전개한 것

Table 1 Class of quality characteristics

	Loss Function	S/N Ratio
망목특성	$k_1 \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \right]$	$10 \log \left[ \frac{(\bar{y})^2 - V/n}{V} \right]$
망대특성	$k_1 \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$	$-10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$
망소특성	$k_2 \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$	$-10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$

A: 성능손실, Δ: 목표치와 차이,  $k_1 = A/\Delta^2, k_2 = A\Delta^2$

은 식 (18)과 같다.

$$L(y) = L(m) + L'(m)(y - m) + \frac{L''(m)}{2}(y - m)^2 + \dots \quad (18)$$

여기서,  $L(m) = L'(m) = 0$ 이고 3차이상의 항을 무시한 손실 함수는 식 (19)와 같다.

$$L(y) = k(y - m) \quad (19)$$

이렇게 유도된 손실 함수와 강건설계에서 제시하는 S/N비는 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서는 강건설계를 위해 먼저 특성치로 에너지 회생률을 선택하고, 민감도 해석을 통해 변수 인자를 선택하였다. 인자를 결정한 후 직교배열표를 구성하고 제동 특성 해석 소프트웨어를 이용한 결과값으로 S/N비를 산출하여 분산분석과 요인 분석을 통해 에너지 회생률의 향상을 위한 주인자 범위 내의 최적값을 결정하였다.

그리고 이 최적값을 제동 특성 해석 소프트웨어에 적용하여 향상된 에너지 회생율을 얻을 수 있었다.

##### 4.2 $L_{18}$ 직교배열에 의한 설계

###### 4.2.1 인자 및 수준

전기자동차의 에너지 회생률을 얻기 위해서는 제동장치뿐만 아니라 전기자동차 전체의 구성요소 설계가 뒷받침 되어야만 한다. 따라서, 전기자동차의 구성 요소 중 전면 투영 면적, 공기 저항계수, 브레이크 디스크 유효단면적, 최종 감속비, 타이어 반경, 최대 배터리 용량, 배터리 특성, 모터 특성을 민감도 해석을 통해 변수를 선정하였으며 이중 전면

투영면적과 공기저항계수는 이미 전체성을 고려하여 설계가 이루어져 있으므로 3수준 더미인자로 사용하였다.

각 설계 변수와 수준은 Table 2와 Table 3, Table 4에 나타내었다.

Table 2 Control factors and levels

Control factor	Level		
	0	1	2
A	0.105	0.120	×
B	7.5	8.03	8.53
C	0.266	0.283	0.307
D	793152	928800	1068120
E	Table 3		
F	Table 4		

A: 브레이크 디스크 유효단면적[m]  
 B: 최종 감속비 C: 타이어 반경 [m]  
 D: 최대 배터리 용량[kJ]  
 E: 배터리 특성 F: 모터 특성

Table 3 Battery characteristics (SOC vs VOC)

SOC	0	20	40	60	80	100
Level 0	100	120	140	165	190	220
Level 1	100	160	190	185	175	175
Level 2	100	115	140	195	210	220

Table 4 Motor characteristics (RPM vs Input current)

RPM	Level 0	Level 1	Level 2
0	39.74	39.74	39.74
1000	138.79	112.79	80.79
2000	238.34	165.34	100.34
3000	275.30	210.30	155.30
3500	276.10	256.10	206.10
4000	276.17	266.17	280.17
5000	276.70	289.70	280.70
6000	276.10	296.10	280.10
7000	262.23	282.23	275.23
8000	226.61	266.61	250.61
9000	199.18	250.18	250.18

4.2.2 직교 배열표

앞에서 정의한 설계 변수들과 수준을 평가하기 위해서는 (2<sup>1</sup>3<sup>7</sup>)의 조건을 만족하는 실험을 수행해야 한다. 본 연구에서 설계에 사용된 인자는 6개이므로 직교배열표에서 사용된 열은 2수준 인자가 1개, 3수준 인자가 5개이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 L<sub>18</sub> 직교 배열표를 이용하여 Table 5와 같은 배치를 하여 실험을 수행하면 각각의 실험 결과

에 대한 특성치를 얻을 수 있고, 이 특성치로부터 S/N비를 구한 결과는 Table 6에 나타내었고 각 변수의 요인별 분석도는 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에 망대 특성을 적용하여 최적 수준은 A1 B1 C0 D1 E2 F0 이고, 특성치에 민감한 설계 변수는 C(타이어 반경), E(배터리 특성), F(모터 특성)임을 알 수 있다.

최적수준을 사용하여 제동 특성 시뮬레이션을 수행한 결과 Table 7과 같이 12.76%에서 20.84%로 약 8%의 향상된 에너지 회생률을 얻을 수 있었으며 향상된 충전상태(SOC)와 에너지 회생율을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

Table 5 L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>) orthogonal array table

Experiment No.	Factor								Data
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	0	0	0	0	0	0	1	1	y <sub>1</sub>
2	0	0	1	1	1	1	1	1	y <sub>2</sub>
3	0	0	2	2	2	2	1	1	y <sub>3</sub>
4	0	1	0	0	1	1	1	1	y <sub>4</sub>
5	0	1	1	1	2	2	1	1	y <sub>5</sub>
6	0	1	2	2	0	0	1	1	y <sub>6</sub>
7	0	2	0	1	0	2	1	1	y <sub>7</sub>
8	0	2	1	2	1	0	1	1	y <sub>8</sub>
9	0	2	2	0	2	1	1	1	y <sub>9</sub>
10	1	0	0	2	2	1	1	1	y <sub>10</sub>
11	1	0	1	0	0	2	1	1	y <sub>11</sub>
12	1	0	2	1	1	0	1	1	y <sub>12</sub>
13	1	1	0	1	2	0	1	1	y <sub>13</sub>
14	1	1	1	2	0	1	1	1	y <sub>14</sub>
15	1	1	2	0	1	2	1	1	y <sub>15</sub>
16	1	2	0	2	1	2	1	1	y <sub>16</sub>
17	1	2	1	0	2	0	1	1	y <sub>17</sub>
18	1	2	2	1	0	1	1	1	y <sub>18</sub>

Table 6 S/N ratio

Experiment no.	S/N ratio	Experiment no.	S/N ratio
1	23.71	10	23.47
2	22.04	11	17.60
3	20.48	12	23.54
4	22.75	13	25.16
5	21.34	14	22.42
6	23.85	15	20.34
7	20.91	16	21.22
8	20.78	17	25.10
9	23.00	18	22.21

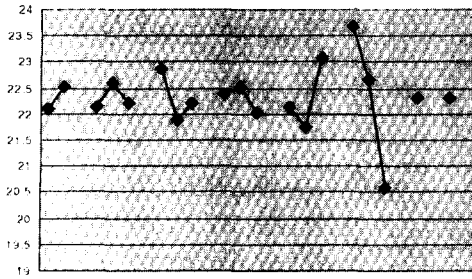


Fig. 7 S/N ratio versus design parameter

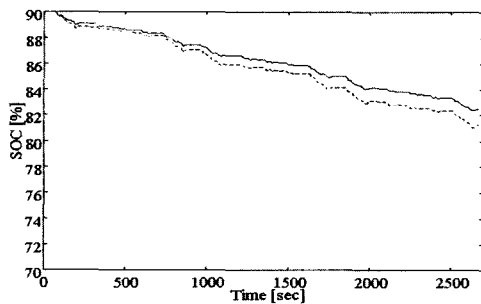


Fig. 8 SOC Comparison between optimum spec. and current spec. (---: Current spec. - - : Optimum spec.)

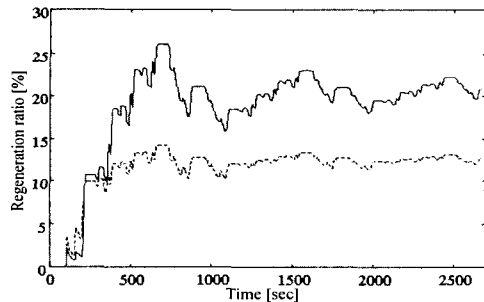


Fig. 9 Energy regeneration comparison between optimum spec. And current spec. (---: Current spec. - - : Optimum spec.)

Table 7 Energy regeneration comparison of current & optimum specification

Specification	Current specification	Optimum specification
Energy regeneration	12.76 %	20.84 %

### 5. 결론

제동시 차량의 거동 안정성 및 최대의 에너지 회수율을 거둘 수 있는 전기자동차의 사양과 제동장치 최적화를 강건설계기법을 적용하여 얻은 결론

은 다음과 같다.

1) 차량동역학과 전기, 기계시스템의 모델링을 통한 전기자동차용 제동특성 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하였으며 실험 데이터와의 비교를 통해 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

2)  $L_{18}$  직교배열표와 S/N비를 이용한 강건설계 결과 특성치에 민감한 설계 변수는 C(타이어 반경), E(배터리 특성), F(모터특성)임을 확인하였다.

3) 개발된 소프트웨어에 강건 설계에 의한 최적 수준을 적용하여, 12.76%에서 20.84%로 향상된 에너지 회생률을 얻을 수 있었다.

### References

- 1) T. Taniai, Y. Inagaki, "Brake System Unit for Electric Vehicle," NEC Vol.51, No.2 pp.1993-1998, 1997.
- 2) G. Puleo, "Automatic Brake Proportioning Devices," SAE 700375, 1970.
- 3) R. Limpert, "Proportional Braking of Solid Frame Vehicles," SAE 710047, 1971.
- 4) H. Nakamura, "An Investigation of Braking Balance for Straight and Curved Braking," SAE 741086, 1974.
- 5) N. Enomoto, T. Sakai, "Harmonized Control System of Regenerative Brake for Electric Vehicles," JSAE 9930964, 1999.
- 6) A. Giogetti, L. Cavestro, "Design of a Lightweight Braking System for Electric Cars," SAE 920649, 1992.
- 7) D. H. Choi, H. S. Kim, "An Operation Algorithm for a 2 Shaft Parallel Type Hybrid Electric Vehicle for Optimal Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.9, No.5, pp.122-130, 2001.
- 8) H. Yeo, H. S. Kim, "Development of Stroke Simulator for a Hybrid Electric Vehicle," Proceedings of KSAE, pp.760-765, 2000.
- 9) S. H. Park, Modern Experiments Design, Minyoung, 1995.
- 10) W. S. Lee, Design of Experiment, Youngpoong, 1998.