

# 브레이크 시스템의 미래

## The Future of Brake Systems



김수병 / Su-Byeong Kim  
현대모비스 / Hyundai Mobis



전재한 / Jae-Han Jeon  
현대모비스 / Hyundai Mobis



천재승 / Jae-Seung Cheon  
현대모비스 / Hyundai Mobis

### 서론

미래의 자동차는 운전자의 개입 없이 자동으로 출발지에서 목적지까지 안전하게 주행할 수 있을 것이다. 이와 같은 무인 자동차의 실현은 많은 자동차 엔지니어들의 꿈이기도 하다. 무인 자동차를 떠올리면 우선 안락함이 생각날 수 있으나 실제로 무엇보다 중요한 것은 안전성이다. 자동차의 안전성을 확보하기 위한 기반은 브레이크 시스템에서 시작한다.

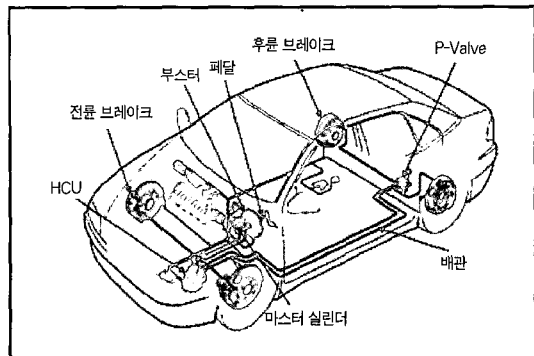
브레이크 시스템은 이러한 자동차의 개발 동향과 맞춰 발전하고 있다. 과거의 브레이크 시스템이 기계적 유압 시스템이었다면 미래의 브레이크 시스템은 전자적 제어 시스템이 될 것이다. 이에 따라 미래의 핵심 기술은 제어 로직, 센서, 모터, 통신 등이 될 것으로 전망된다. 본 논고에서는 이와 같이 변화하고 있는 브레이크 시스템의 기술 개발도를 소개하고자 한다.

### 브레이크 시스템 구성도 및 작동 메커니즘

차량에 있어서 제동이란 주행하고 있는 차량을 운전자의 판단에 의해 정지 또는 감속시키는 것을 의미한다.

다. 기존 브레이크 시스템 CBS (Conventional Brake System)의 각 구성요소는 <그림 1>과 같으며 이를 바탕으로 하는 작동 메커니즘의 설명은 다음과 같다.

먼저 운전자가 차량을 정지시킬 경우 브레이크 페달을 밟로 밟게 되면 페달의 지렛대 역할에 의해 운전자가 밟는 힘의 수배가 부스터로 전달된다. 이 힘은 다시 진공 부스터에서 수배의 힘으로 증폭되는데, 이는 부스터에 내장된 밸브가 진공과 대기압의 압력차를 이용하여 배력 작용을 하기 때문이다. 이 증폭된 힘은 마스터 실린더에서 유압으로 변환되며 이 때 유압의 세기



<그림 1> CBS 구성도 (Bosch 자료)

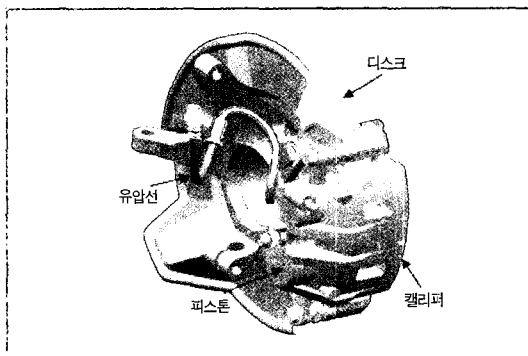
는 마스터 실린더 내경의 단면적에 의해서 결정된다.

이렇게 변환된 유압은 브레이크 오일 파이프를 통하여 각 바퀴에 장착된 브레이크 장치에 전달된다. 한편, 후륜에 전달되는 유압은 유압 비례 밸브를 통과하게 되는데, 이는 감압 효과를 통하여 앞·뒷바퀴의 제동 균형을 유지시켜 주기 위한 것이다. 균형이 맞는 유압은 각 브레이크 장치의 피스톤을 운동시켜 마찰재를 전륜의 디스크 / 후륜의 드럼 (또는 디스크)에 압착시킴으로 마찰에 의한 제동력을 발생시킨다.

### 브레이크 파운데이션

브레이크 시스템 구성에서 <그림 2>와 같이 피스톤의 운동으로 마찰재를 휠 디스크에 압착하여 제동력을 발생시키는 기계적인 구조를 브레이크 파운데이션이라고 한다. 이와 같은 브레이크 파운데이션은 다음 장에서 소개될 여러 브레이크 시스템에 공통적으로 포함되는 필수적인 요소로서 이에 대한 발전도 꾸준히 진행되고 있다.

가장 대표적인 기술 개발 방향은 신소재의 적용이다. <표 1>은 디스크 소재가 주철에서 알루미늄 합금재, 그리고 탄소 세라믹재질로 고성능/고마찰 재질로 개발 진행되고 있는 것을 보여주고 있으며, <표 2>



<그림 2> 브레이크 파운데이션

<표 1> 디스크 소재별 특징

구분	Unit	Carbon-Ceramic	Carbon-Carbon	Grey Cast Iron	Aluminum MMC
밀도	G/cm <sup>3</sup>	2.4	1.8	7.3	2.7
DISC 수명	km	300,000	20,000	60,000	250,000
최대작동온도	℃	1,350	1,400	700	450
열팽창 계수	10 <sup>-6</sup> /K	3	6	12	20
마찰계수		0.55	0.50	0.45	0.40
페이드 거동		Very good	Normal	Normal	Good
형상					

<표 2> 캘리퍼 기술개발 흐름도

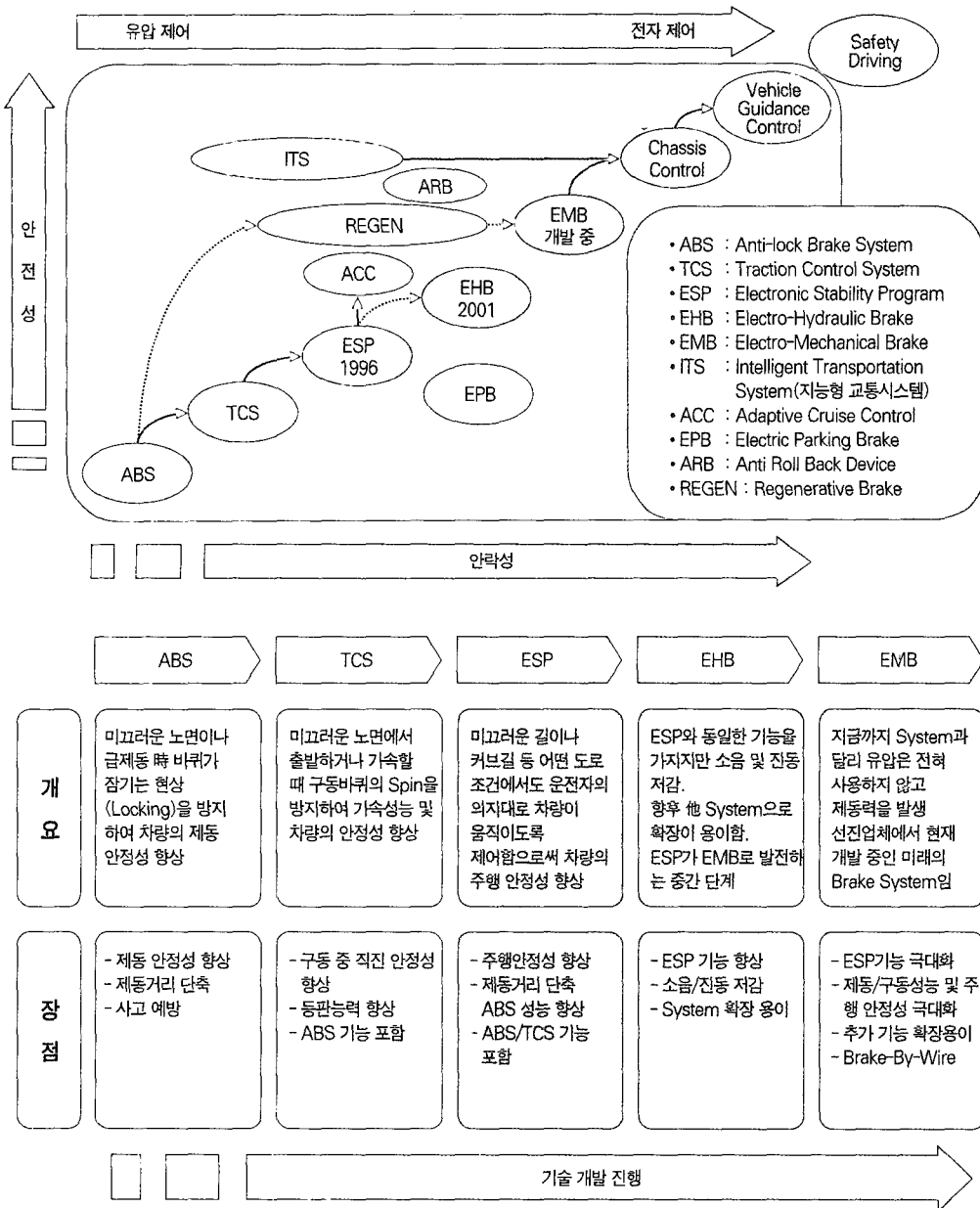
소재	주철/알루미늄	주철/알루미늄	주철/알루미늄	최신신양
TEVES				
TRW				

를 통해 캘리퍼 신기술 개발 흐름도는 이와 발맞추어 개발되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 브레이크 파운데이션의 발전은 차량 경량화, 제동효율 향상, 환경친화성 등의 효과를 가져다 주고 있다.

### 브레이크 시스템 기술 개발도

일반적으로 브레이크 시스템의 개발도를 말하면 브레이크 파운데이션의 개발 보다는 브레이크 시스템의 제어 및 메커니즘 작동 방식의 발전을 가리킨다. <그림 3>은 이러한 브레이크 시스템의 기술 개발도를 보여준다.

브레이크 시스템의 첫 혁신은 ABS (Anti-Lock Braking System)의 개발이었다. ABS는 1978년 M.Benz사와 Bosch사에 의해 자동차용으로 처음 실



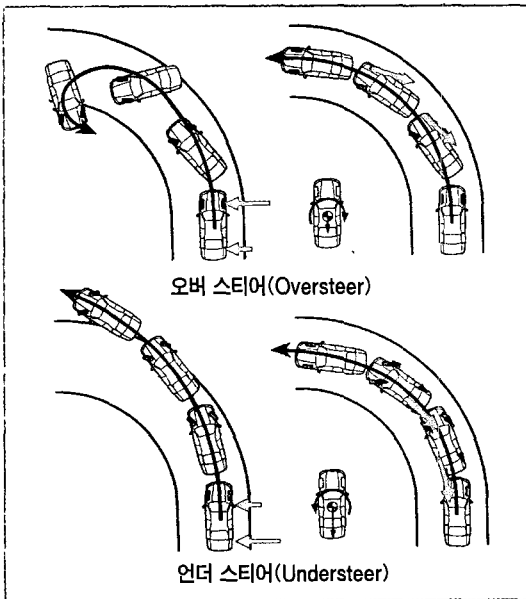
〈그림 3〉 브레이크 시스템 기술 개발도

용화된 첨단기술 제품으로, 미끄러운 노면이나 급제동 시 바퀴가 잠기는 현상(Locking)을 방지하여 차량의 안정성 및 조향성 유지, 제동거리 감소 등의 안전 예방 장치로써 이의 탁월한 효과가 입증되었다.

TCS (Traction Control System)는 미끄러운 노면에서 출발하거나 가속할 때 구동바퀴의 공회전을 방지하여 가속 성능 및 차량의 안정성을 향상하는 장치로서 ABS 기술을 기반으로 개발되었다.

ESP (Electronic Stability Program)는 ABS 이후 브레이크 시스템의 두번째 혁신이다. 이는 <그림 4>와 같이 미끄러운 길이나 커브길 등 어떤 도로 조건에서도 운전자의 의지대로 차량이 움직이도록 제어해주는 첨단 안정성 향상 장치이다. 이는 세계적으로 특히 많은 고급차량에 장착되어 왔으며 국내에서는 현대모비스가 Bosch사와의 기술제휴로 2004년부터 생산하고 있다.

선진 브레이크 업체들은 ABS/TCS/ESP 초기모델 대비 소형화, 고성능, NVH 성능향상 등을 위해 지속



<그림 4> ESP 제어 원리

<표 3> 최신 ABS/ESP 개발 모델

구분		Bosch	Teves	TRW
모델명	ABS	ABS8	MK 70	EBC 440
	ESP	ESP8	MK 60	
중량	ABS	1.7 kg	1.6 kg	2.0 kg
	ESP	2.2 kg	2.3 kg	2.56 kg
형상				

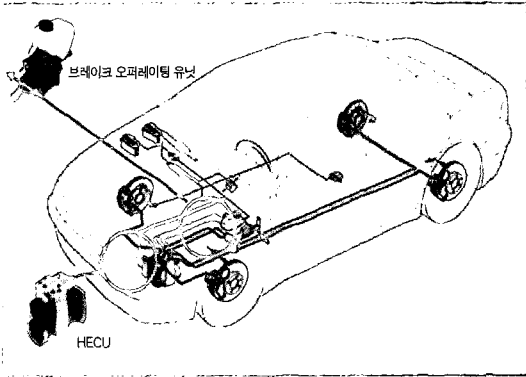
적인 연구개발을 수행하고 있으며 <표 3>은 이러한 최신 모델을 보여준다.

ABS/TCS/ESP 모두 제어 기술을 필요로 하는 장치로서 브레이크 시스템으로는 처음으로 ECU (Electronic Control Unit)를 포함하게 되었다. 그러나 이러한 브레이크 시스템의 액츄에이션 (Actuation)은 모두 유압으로 이루어졌다. 이와 같은 유압 장치를 사용하지 않고 전자장치로 제동력을 구현하는 차세대 브레이크 시스템은 다음장에 소개될 BBW (Brake-By-Wire) 시스템이다.

### BBW (Brake-By-Wire)

BBW, Steer-By-Wire, Shift-By-Wire, Throttle-by-Wire 등을 포함하는 XBW (X-By-Wire) 기술은 현재 미래형 자동차개발의 핵심이 되는 분야로서 세계의 모든 자동차 회사들이 적극적으로 개발 중에 있다.

XBW는 기존의 유압 방식에 의거한 기계적 장치들을 전기전자 장치들로 대체하여 모든 액츄에이션을 모터 및 기어 장치로 개발하는 기술이다. 이와 같이 유압 라인 대신 전자 라인을 기반으로 하는 것은 자동차 레이아웃 설계 자유도 향상, 환경친화성 강화 등의 효과를 가질 뿐 아니라, 전자제어의 가능성을 극대화 시켜줌으로 차량 제어의 새로운 시대를 열어주게 될



〈그림 5〉 EHB 구성도(Bosch 자료)

된 것을 알 수 있다. 이와 같은 EMB 시스템의 주 구성 요소 및 핵심기술은 전자제어 페달, 전자제어 캘리퍼 (Caliper), ECU, 그리고 제어 로직으로 볼 수 있다.

우선 운전자의 제동의지를 전자제어 페달이 감지하여 이를 전자신호로 변환시킨다. 이러한 신호를 받은 ECU는 운전자의 의지 및 주행 상황을 판단하여 로직에 의해 각 바퀴에 장착되어 있는 전자제어 캘리퍼에 요구 제동력 신호를 보내준다. 각 캘리퍼에서는 요구 제동력에 맞추어 모터가 토크를 발생시키고 이는 기어부를 통해 피스톤에 전달 되어 마찰 제동력이 발생하는 것이다.

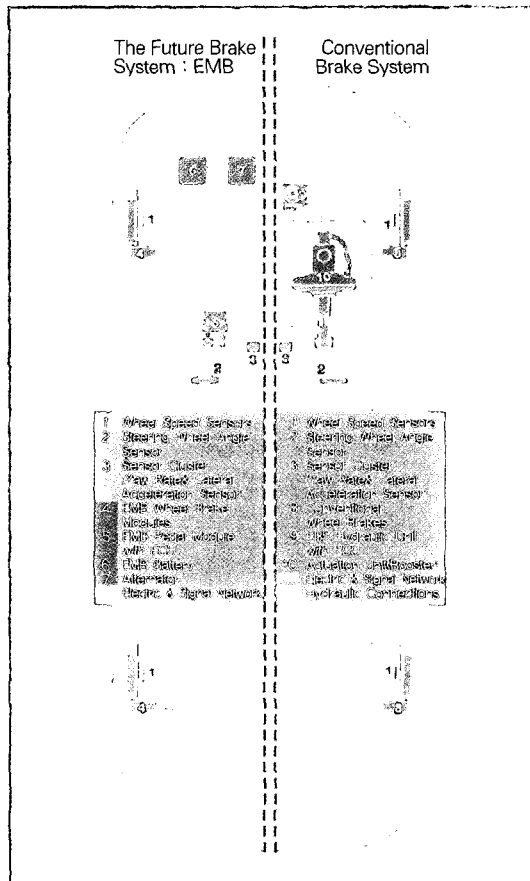
것이다.

BBW의 출시는 EHB (Electro-Hydraulic Brake)로 이루어졌다. 〈그림 5〉는 EHB의 구조를 보여준다. CBS의 액츄에이션 소스 역할을 하였던 부스터와 마스터 실린더가 없어진 것을 알 수 있다. 운전자의 제동 의지는 페달과 브레이크 오퍼레이팅 유닛을 통해 전자 신호로 HECU (Hydro-Electric Control Unit)로 전달된다. 전자 신호를 분석한 HECU는 유압제어를 통하여 각 바퀴의 제동을 독립적으로 제어해준다. 이와 같은 EHB는 저감된 소음과 진동으로 ABS/TCS/ESP 기능을 구현할 수 있다.

그러나 이와 같이 유압 장치가 잔존하는 EHB는 진정한 의미의 BBW로 보기는 어렵고 이보다는 ESP가 EMB (Electro-Mechanical Brake)로 발전 하는 중간 단계로 보는 것이 적합하다. 또한 최근에는 파워 소스 (Power Source) 문제, 내구성 문제 등 때문에 많은 브레이크 업체들에서 EHB 개발을 중단하고 있는 실정이다.

### EMB (Electro-Mechanical Brake)

진정한 의미의 BBW는 〈그림 6〉에서 보여주는 EMB이다. 기존 CBS 대비 유압 장치가 완전히 제거



〈그림 6〉 EMB와 CBS 비교 (Teves 자료)

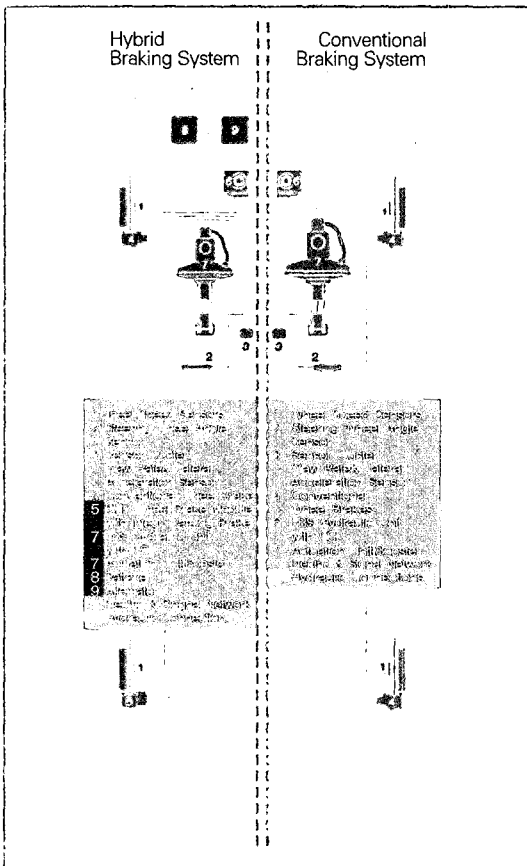
이와 같이 완전히 전자 신호로 동작되는 EMB는 기존 브레이크 시스템에 비해 전자제어의 범위가 확장되어 기존 ABS/TCS/ ESP/EHB 제어는 물론 새로운 개념의 제어를 가능하도록 해준다. 이와 같이 확장된 제어 범위는 자동차의 안전성 향상과 직결될 것이다. 한 예로, 기존 유압식 브레이크 시스템의 안전 방침(Fail-Safe)은 유압라인의 배치 설계로 한정되었던 것에 비해, EMB의 안전 방침은 로직 기술수준에 좌우되는 것으로서 로직만 받쳐주면 극단적인 경우에는 1개의 캘리퍼에 대한 제어만으로도 차량을 안전하게 정

지시킬 수 있을 것이다.

이와 같은 EMB 시스템이 아직까지 자동차 시장에 본격적으로 등장하지 못한 것은 크게 2 가지 이유 때문이다. 첫째는 파워 문제이다. 일반 차량에 사용되는 12V 배터리 (14V 시스템)의 용량으로는 완전한 EMB를 작동시키기에 부족하다. 따라서 36V 배터리 (42V 시스템)를 사용하는 차량의 개발이 이루어지고 있으나 여러 개발 비용 문제에 부딪치고 있는 실정이다. 파워소스 문제가 해결되기 이전에 EMB를 실용화하기 위하여 여러 브레이크 업체들은 중간단계로 12V 배터리로 충족되는 하이브리드 EMB 시스템을 개발하고 있다. (그림 7)과 같이 하이브리드 EMB는 전륜에는 CBS를 사용하고 후륜에만 EMB를 장착하는 시스템이다. 일상적으로 차량의 후륜은 전륜에 비해 작은 제동력을 요구하기 때문에 후륜 EMB를 위해서는 12V 배터리가 파워가 충분한 것이다.

EMB 실용화의 두번째 걸림돌은 통신 수단과 관련된 것이다. 오늘의 자동차는 대부분 CAN (Control Area Network) 통신 방법을 사용하고 있다. CAN은 일반 PC의 LAN과 유사한 이벤트 기준 방식 (Event Triggered)이다. CAN 기반 제어에서는 각 제어기의 시간 (Local Time)에 맞추어서 메시지를 전송하기 때문에 메시지 전송의 예측이 어렵다. 브레이크와 같이 실시간으로 작동해야 되는 시스템은 이러한 통신 수단에 의지하는 것이 위험하다.

이와 같은 한계를 극복하기 위하여 TTP (Time Triggered Protocol)라는 시간 기준 통신 수단이 개발되었다. TTP는 공통의 시간 (Global Time)을 기준으로 이미 정해진 스케줄에 의해 메시지를 전송하기 때문에 메시지 전송의 예측이 가능하며 전송의 신뢰성이 높다. TTP의 유연성을 증대하기 위하여 최근에는 FlexRay라는 통신방식도 개발되었다. 현재 여러 자동차 회사를 중심으로 TTP 및 FlexRay에 대한 표준화



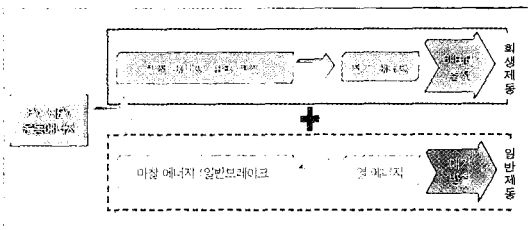
(그림 7) 하이브리드 EMB(Teves 자료)

작업이 이루어지고 있으나 아직 이러한 시간 기준 방식의 통신 수단이 실용화되지는 못하고 있는 상황이다.

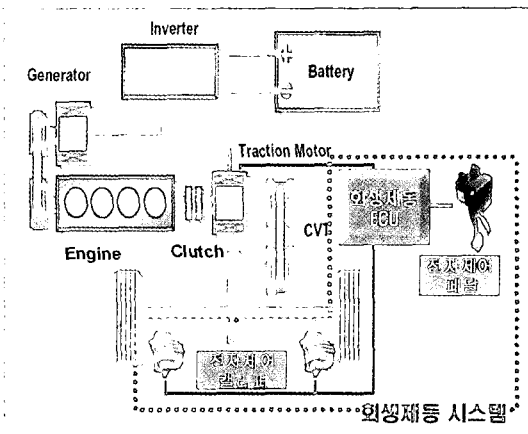
### 회생제동

미래 자동차 산업의 또 다른 큰 과제는 환경기술이다. 이를 위해 HEV (Hybrid Electric Vehicle), EV (Electric Vehicle), FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) 등 전기에너지로 구동되는 자동차의 개발이 활발하게 추진되고 있다. 이러한 전기자동차의 핵심기술 중 하나는 회생제동 시스템이다.

회생제동 시스템은 HEV/EV/FCEV의 주행거리 및 에너지 효율 증대를 위해 제동 시 차량의 운동에너지로 모터 (발전기)를 구동시켜 발생하는 전기에너지를 배터리로 회수하는 장치이다. 회생제동은 <그림 8>



<그림 8> 회생제동과 일반제동의 비교



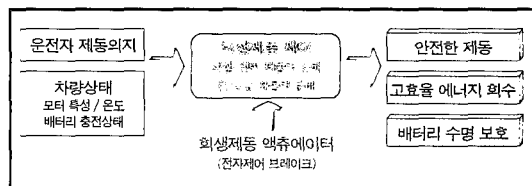
<그림 9> 회생제동 시스템 구성도

과 같이 일반 제동시 차량의 운동에너지가 마찰열 에너지로 방출되는 것과 구분된다. <그림 9>는 회생제동 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 모터 (발전기), 배터리, 회생제동 ECU, 전자제어 캘리퍼, 전자제어 페달 등의 구성 요소가 있는 것을 알 수 있다.

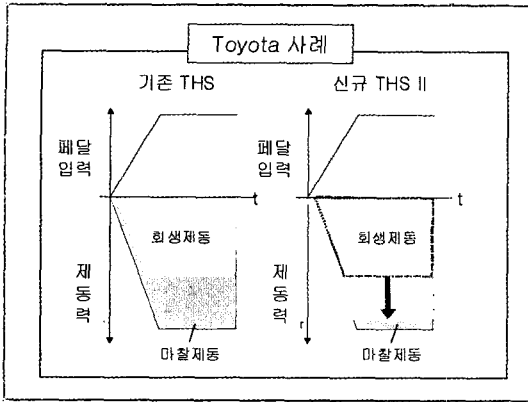
기본적으로 HEV/EV/FCEV 차량의 제동시에는 차량의 주행상태 및 운전자의 제동의지에 따라 회생제동을 우선 할 것인지 일반 마찰제동을 우선할 것인지 판단 되어야하며, 회생과 마찰제동을 동시에 수행할 경우 각각의 크기를 얼마로 할 것인지를 제어 할 수 있어야 한다.

회생제동의 비율이 높을수록 에너지 회수량은 높지만 배터리 충전 상태, 모터 온도 등에 따라 회생제동이 제한되어야 할 필요가 있으며, 이 상황에서 회생제동력의 제어가 이루어지지 않는다면 모터나 배터리에 치명적인 손상을 입히게 된다. 한편 회생제동력이 충분하지 않은 경우 일반 마찰제동력을 증가시켜 운전자의 감속 요구를 반드시 만족시켜 주어야 한다. <그림 10>은 이와 같이 회생제동 제어에서 고려되어야 하는 사항들을 보여준다.

<그림 11>은 회생제동 제어의 개선 효과를 도요타사의 사례를 통해 보여주고 있다. 이와 같은 회생제동과 일반제동의 제어가 최적화 되기 위해서는 BBW 기술이 필수적이다. 현재 자동차 시장에 진입한 HEV의 대표 도요타 Prius는 EHB 시스템을 사용하고 있으나, 향후에는 EMB 시스템의 실용화와 함께 회생제동 시스템도 EMB 시스템과 같이 혼합되어 브레이크



<그림 10> 회생제동 제어



〈그림 11〉 회생제동 제어 개선 효과

효율의 극대화를 이룰 것으로 전망된다.

### 결론

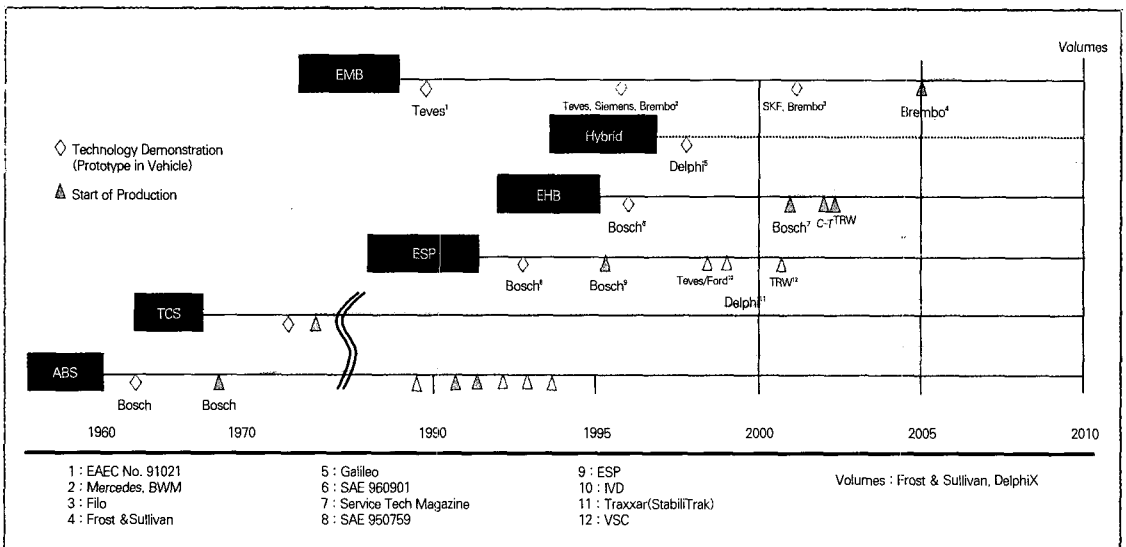
〈그림 12〉의 브레이크 시스템 개발 전망이 보여주듯이 자동차 산업의 미래는 전자 제어 기술, 모터 기술, 센서 기술에 의해 좌우 될 것이라고 해도 과언이

아니다. 자동차 브레이크 시스템은 지금까지 CBS, ABS, TCS, ESP, EHB 단계를 거쳐 발전하였으며 미래는 전자제어를 핵심으로 하는 EMB가 주류를 이룰 것으로 전망된다.

특히 미래 자동차 산업의 주축이 될 HEV/EV/FCEV 차량과 EMB 시스템의 떨어질 수 없는 관계를 고려하면 EMB 시스템에 대한 지속적인 발전을 기대할 수 있다.

또한 EMB 기술을 통한 브레이크 시스템 제어의 극대화는 자동차 산업에 여러 파급효과를 가져다 줄 것이다. 브레이크 시스템은 자동차의 안전을 책임지는 시스템으로서 ACC (Adaptive Cruise Control), VGC (Vehicle Guidance Control) 등과 같은 안전성/안락성을 위한 기술 개발의 핵심이 된다. 더불어 많은 자동차 엔지니어들이 꿈꾸는 무인자동차 시대를 열기 위해서는 EMB 기술의 계속된 발전이 필요할 것이다.

(김수병 선임연구원 : sbkim7000@mobis.co.kr)



〈그림 12〉 브레이크 시스템 개발 이력 및 전망