

# 디젤엔진 차량의 배기 브레이크 기술

## Exhaust Brake Technique of Diesel Engine Vehicles



윤 소 남 · 한국기계연구원  
So-Nam Yun · Korea Institute of Machinery & Materials



성 백 주 · 한국기계연구원  
Baek-Ju Sung · Korea Institute of Machinery & Materials

### 1. 서론

화물 및 여객운송용으로 운행하는 중·대형 차량의 브레이크는 차량자체가 기본적으로 갖는 큰 관성으로 인하여 브레이크 후의 제동거리가 길어 안전 운행의 장애 요소가 됨은 물론, 기계적인 마찰식 브레이크의 패드를 닳게 하여 정비 보수에 의한 시간적, 경제적 손실 및 운행중지 기간으로 인한 경제적인 손실 또한 수반하게 된다. 특히 장거리를 운행하는 중·대형 차량에 있어서는 브레이크 파손, 타이어의 소손에 의한 손실이 막대하고 운전자의 피로를 가중시키기 때문에 이에 대한 적절한 대처 방법의 필요성이 제기되고 있다<sup>1)</sup>.

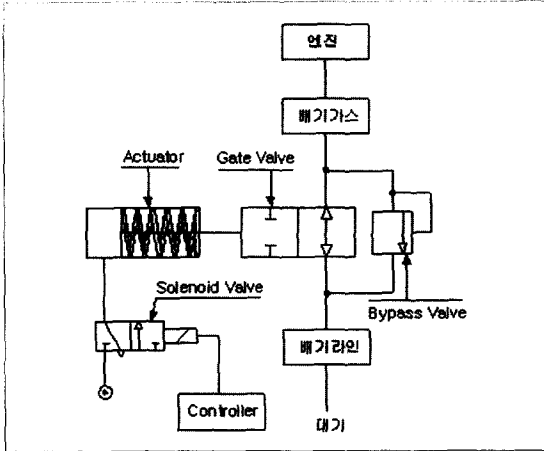
근래에는 전술한 문제점을 해결하고 기계적인 브레이크 손실 외에 타이어와 기타 링크부의 장수명화를 유도하기 위하여 엔진 배기측의 배기가스를 차단하여 브레이크 기능을 강화하는 배기 브레이크 시스템이 개발되었다. 배기브레이크 시스템은 배기 가스를 차단하는 슬라이딩 밸브나 게이트 밸브와 이들 밸브들을 동작시키는 솔레노이드 밸브로 이루어져 있다. 이들 배기 브레이크 시스템에 사용되는 구성품 중 솔레노이드는 장거리

운행 및 굴곡이 있는 도로 주행 여건들을 감안해야 하기 때문에 고신뢰성 및 장수명화가 요구된다.

본 문고에서는 배기브레이크의 국내·외 현황 및 배기브레이크의 핵심요소인 솔레노이드 밸브의 개발동향과 성능향상 방안에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 배기 브레이크의 원리

배기 브레이크의 원리를 설명하기 위하여 <그림 1>에 브레이크부의 공기압 회로도를 도시하였다. 일반적인 차량의 배기라인은 엔진에서의 배기가스가 배기라인을 통하여 대기로 방출되는 것이 기본이지만 배기 브레이크 시스템은 <그림 1>에서와 같이 배기라인에 메인밸브(게이트밸브 혹은 버터플라이밸브)와 바이패스 밸브를 설치하고 메인밸브와 액츄에이터를 링크기구로 직결하여 사용한다<sup>2)</sup>. 액츄에이터는 솔레노이드의 동작에 따라서 좌·우로 움직이게 되며 필요에 따라서 브레이크 동작 혹은 브레이크 해제 동작을 하게 된다. 솔레노이드 구동용 제어기는 일반 기계식 브레이크나 가속 페달의 신호를 이용하고 있다.



〈그림 1〉 Pneumatic Circuit of Exhaust Brake System

이 장에서는 현재 배기 브레이크용으로 사용되는 게이트밸브 형식과 버터플라이 밸브 형식에 대해서 서술하고, 배기 브레이크 시스템의 이점을 간단히 서술한다.

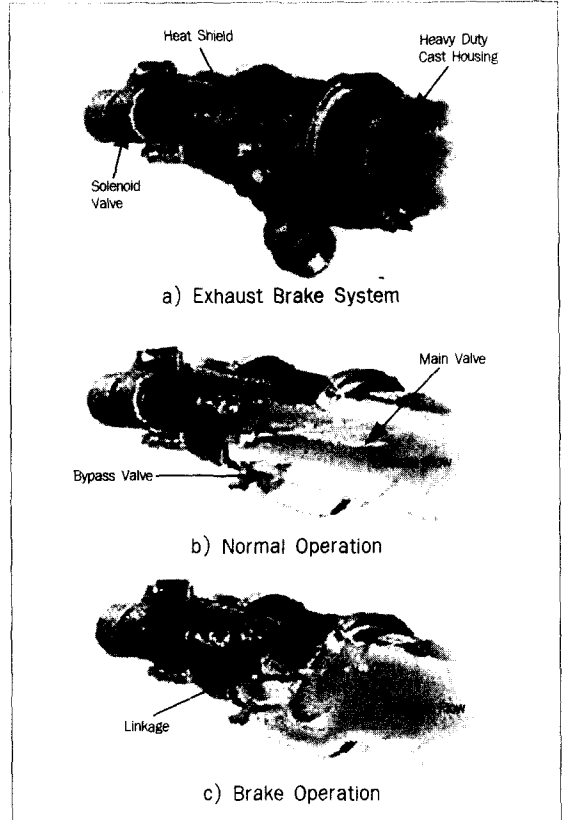
### 2.1 배기 브레이크의 구조

〈그림 2〉는 배기 브레이크 시스템의 구조를 도시한 것으로 a)는 장착도, b)는 정상상태의 배기가스 흐름 상태, c)는 브레이크시의 메인밸브 및 바이패스밸브의 동작상태를 나타낸다. 〈그림 2〉의 a)와 같이 배기브레이크 시스템은 배기라인에 설치되어 있으며 크게 메인밸브(〈그림 3〉 참조)와 링크기구, 소형실린더와 공압 솔레노이드 밸브, 브레이크시의 압력을 조절하는 바이패스밸브로 이루어진 구조를 하고 있으며 고온의 배기가스 온도로부터 실린더 및 솔레노이드밸브를 보호하기 위하여 열 차단 재료를 삽입하는 형태를 하고 있다.

### 2.2 배기브레이크 사용시의 장점

배기 브레이크 시스템을 차량에 장착하게 되면 다음과 같은 이점이 있다.

- 1) 브레이크 거리 감소와 내리막길에서 안전 운전이 가능하여 운전자의 피로감을 덜어줌.
- 2) 마찰 브레이크의 마모손실 및 열손실을 줄일 수 있어 장수명화 가능.

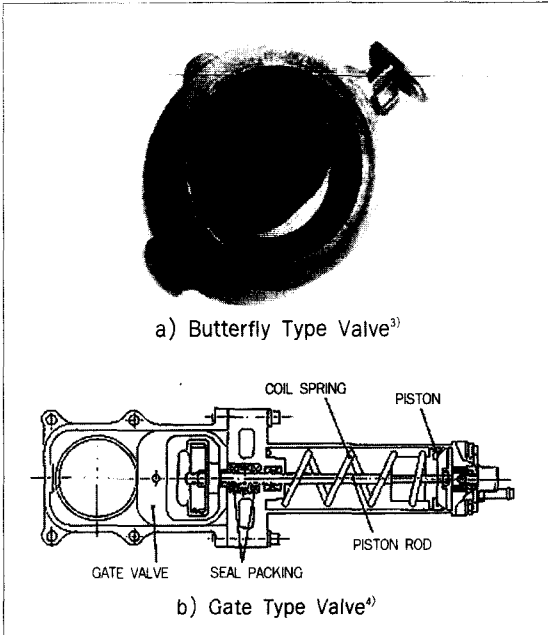


〈그림 2〉 Structure of Exhaust Brake System<sup>2)</sup>

- 3) 짧은 시간내에 엔진의 온도 상승을 유도할 수 있어 엔진 수명이 연장됨.
- 4) 엔진부 자체에 브레이크를 가하기 때문에 타이어에 무리가 없어 장시간 사용 가능.
- 5) 가속페달이나 풋브레이크(Foot Brake)페달의 신호를 이용하여 배기 브레이크가 작동되기 때문에 별다른 부가적 조작없이도 확실한 브레이크 동작을 얻을 수 있음.

### 3. 배기 브레이크용 솔레노이드 밸브

배기브레이크용 솔레노이드 밸브는 DC형 온-오프밸브로서 서론에서도 밝혔던 바와 같이 빈번한 조작과 가혹한 환경에서 사용되기 때문에 장수명 및 고신뢰성이



〈그림 3〉 Main Valve for Exhaust Brake System

요구되는 부품이다. 이 장에서는 배기 브레이크에 사용되는 DC형 온-오프 솔레노이드의 장단점 및 특성을 AC형과 비례형 솔레노이드와 비교하기로 하며 솔레노이드의 성능향상을 위하여 재료를 선정할 때의 고려사항 및 최근에 많이 쓰이는 연자성 재료인 전자 스테인레스강의 특징에 대하여 알아보기로 한다.

### 3.1 On-Off 솔레노이드의 특성 비교

일반적으로 산업계에 사용하는 AC 및 DC 솔레노이드의 장단점을 <표 1>에 나타내었으며 온-오프 솔레노이드와 비례 솔레노이드의 특성을 <표 2>에 나타내었다.

또한, 연자성 재료의 종류로는 순철, 규소철, 퍼말로이 등 여러 종류가 있으나 현재에는 전자 스테인레스강이 많이 쓰이기 때문에 이 강의 종류와 특징에 대해서 <표 3>에 나타내었다.

### 3.2 솔레노이드용 연자성 재료

솔레노이드 밸브에 사용되는 연자성 재료에 요구되는

〈표 1〉 AC 및 DC 솔레노이드의 장단점 비교<sup>5)</sup>

형식	장 점	단 점
AC형 솔레노이드	- 짧은 개폐시간 - 큰 흡인력 - 스파크(Spark) 억제 불필요 - 정류기 필요없음	- 기계적 용력이 크고, 고전류 소비 - Air Gap이 균일하지 못하면 온도가 심하게 상승 - 서비스(Service) 수명 짧음 - 개폐주기 제한 - 부자(Buzzer) 잡음 발생 - 과부하, 자전압, 기계적 충격에 민감
DC형 솔레노이드	- 쉽게 동작하고 조용함 - 자전압에서 작동 - 자선비전력형 - 고(High)반복 수명	- Off 시 과전압 발생 - ARC 억제 회로가 필요 - 접촉마모가 큼 - AC 사용시 정류기 필요

〈표 2〉 온-오프 솔레노이드와 비례솔레노이드의 특성 비교<sup>6)</sup>

No	항 목	비례 솔레노이드	온-오프 솔레노이드
1	Amplifier	있음	없음
2	전지력과 변위관계	일정전류에서 변위에 관계없이 일정 전지력 발생	변위에 따라서 전지력 달라짐
3	비례관계	전류에 비례한 전지력 얻어짐	비례전지력 얻기가 곤란함
4	구조적 특징	- 자기누설 발생구조 - 자기포화 발생구조	최대일정전류에 규정전지력을 낼 수 있는 구조
5	가동자 특성	저지철 배어링 특성 필요	내마모성 중요
6	자성재료	S10C, SUM22, Fe-48Ni, Fe-80Ni	N합금, 순철(Fe), 규소강, 페라이트, 스테인레스강
7	Hysteresis	매우 중요	중요도 보통
8	Linearity	매우 중요	중요도 보통
9	포드백 제어	가능함	불가능
10	시스템 구성	Controller-D/A변환기→ Amplifier-비례제어밸브	Controller-전원-On/Off밸브

성질은 다음과 같다<sup>7)</sup>.

- 1) 철손이 작을 것
- 2) 보자력, 잔류자속밀도가 작을 것
- 3) 와전류 손실이 작을 것(전기저항치가 클 것)
- 4) 투자율이 클 것
- 5) 포화 자속밀도가 클 것
- 6) 가공성, 냉간단조성, 용접성이 용이할 것
- 7) 내식성이 양호할 것
- 8) 내마모성이 클 것

〈표 3〉 전자 스테인레스 강의 종류와 특징

분류	주 성분	특 징					
		자기 특성	고유 저항	내식성	마모 특성	냉간 단조성	가공성
용접용	13Cr-2Si	△	◎	△	○	×	△
	18Cr-2Si-2Mo-X	○	○	◎	○	×	×
	20Cr-2Si-2Mo-X	◎	◎	◎	○	×	×
	15Cr-1Si-4Mo-X	△	○	◎	◎	×	×
절삭용	13Cr-2Si-S	△	◎	△	○	×	○
	13Cr-1Si-Al-Pb	◎	△	△	△	△	◎
	17Cr-1Si-Al-Pb	○	△	○	△	△	○
	18Cr-2Si-2Mo-S·X	△	○	◎	○	×	○
18Cr-1Si-0.5Mo-S	△	△	○	△	×	◎	
냉간단조용	13Cr-Al	△	△	○	△	◎	×
	13Cr-Al·X	△	△	○	△	◎	×
냉간단조 및 절삭용	10Cr-3Al-X·Pb	△	◎	△	△	○	○
	13Cr-1Si-Al·Pb	◎	△	△	△	○	○
	13Cr-Al·X·Pb	○	△	○	△	○	○

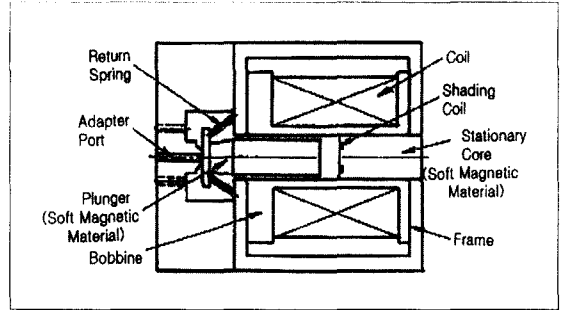
9) 표면처리가 용이할 것

#### 4. DC 솔레노이드의 기초

##### 4.1 설계 개념

〈그림 4〉는 DC형 솔레노이드의 기본 형태를 나타내는 것으로 크게 가동자와 고정자, 코일 및 보빈, 프레임과 리턴 스프링으로 구성되어 있다. DC 솔레노이드를 설계하기 위해서 설계자는 일반적인 전자기적 공식과 함께 설계하고자 하는 대상에 대한 고정된 표준 조건들을 이해하고 있어야 한다. 전기기기 설계분야에서 필요로 하는 이러한 지식들은 특정한 기기의 동작을 지배하는 물리적 법칙과 여러 가지 기기의 수많은 설계 및 제작 경험에서 추론되는 경험적 규칙들 그 자체를 의미한다.

물리적 법칙들은 거시적 관점에서의 설계를 가능하게 하여 설계 대상에 대한 전체적인 Out-Line적 설계를 가능하게 해 주지만 최적 설계가 되기 위한 세부적 설계는 경험적 지식이 없이는 불가능하다. 경험적 규칙들은 마그네트(Magnet)와 전류 및 자속밀도에 대한 경제적 설



〈그림 4〉 DC Type Solenoid

계요소를 결정짓는 중요한 규칙들이므로, 설계하고자 하는 대상에 따라 이에 부합되는 충분한 경험을 보유하는 것이 무엇보다 중요하다.

DC 솔레노이드를 설계하는데 필요한 기초적인 물리적 법칙과 경험적 규칙들을 요약해 보면 다음과 같다.

- 1) 스프링 혹은 유체의 힘과 같은 외부부하(초기 결정사항)
- 2) 솔레노이드의 최대 흡인력(안전율을 고려한 흡인력)
- 3) 자속밀도 계산(물리적 법칙에 근거를 둔 기초계산과 경험을 토대로 한 상수 결정)
- 4) 플런저 크기 결정(흡인력과 전체적 외관 크기를 고려한 계산)
- 5) 보빈 크기 결정(외관 크기와 플런저 크기를 고려하여 결정)
- 6) 코일 감김(Turn)수 계산(흡인력과 소비전력을 고려한 1차 계산 및 경험과 스톡(Stock) 크기에 근거를 둔 2차 계산 필요)
- 7) 기자력 계산(물리적 법칙과 경험적 규칙을 근거로 한 계산)
- 8) 자성재료 결정(필요한 자속밀도와 포화 자속밀도를 고려하여 결정)
- 9) 스페이스 인자(Space Factor) 결정(경험적 규칙을 적용하여 계산)
- 10) 온도 상승분 계산(코일 감김수와 저항, 상승온도 허용분을 고려하여 계산)
- 11) 스프링 상수 결정(흡인력과 작용 유체의 힘을 고려하여 결정)

##### 4.2 설계상의 주의점

솔레노이드 설계상의 주의사항을 요약해 보면 다음과 같다.

###### 1) 플런저 형상의 결정

플런저 형상에 따라 요구되는 기자력의 차이가 크며, 이것은 소비전력, 온도상승 등에 큰 영향을 미치므로 신

중히 검토하여 결정하여야 한다.

2) 온도 상승을 고려한 코일 감김(Turn)수 계산

이것은 DC 솔레노이드를 설계할 때 간과하기 쉬운 항목중의 하나인데, 작동 중에 코일 온도가 상승하면 코일 저항도 같이 상승하여 전류가 감소하게 되고, 결국에는 흡인력이 떨어져 작동불능 상태가 되므로 반드시 최대온도를 기준으로 감김수를 결정하여야 함.

3) 플런저 및 안내관(Guide Tube)의 정밀 가공

이 두가지의 가공면이 정밀하지 못하면 마찰손 및 플런저 편심 현상이 발생하므로 정밀한 가공이 필요함.

4) 자성재료의 선택

계산된 자속밀도를 근거로 하여 자성재료 생산업체가 제공하는 B-H 선도를 검토하여 최적의 연자성 재료(Soft Material)를 선정해야 만이 소비전력 감소효과, 코일 온도상승 억제효과 등을 얻을 수 있고, 수명 또한 연장시킬 수 있다.

5. 국내외 개발 동향 및 전망

배기 브레이크는 Riker사, TST사, USGEAR사, Jacobs사(이상 미국), USUI사(일본), Lange Brake사(캐나다), Leaflet사(영국) 등이 세계적 수준의 제품을 생산하고 있으며 이 들 기업들은 저전류화, 소형화, 고속응답화, 고압화, 저소음화, 저가격화, 장수명화를 위한 연구와 가공용이성화 및 성능균일화에 대한 연구도 병행하여 수행하고 있다. 국내에서는 일반산업분야에서의 솔레노이드 밸브는 비교적 국내 고유모델들이 개발되고 있으나 배기브레이크 분야에서의 솔레노이드 밸브는 전량 수입에 의존하고 있는 실정으로 이에 대한 대처가 신속히 이루어져야 될 것으로 사료된다. 또한, 생산 중인 솔레노이드나 개발을 추진하는 솔레노이드에 있어서는 4장에서 서술한 바와 같은 문제점들을 고려하여야 할 것이다.

〈표 4〉는 솔레노이드의 설계, 제작, 사용중에 일어날 수 있는 문제점과 이들의 해결을 위한 내용들을 정리한

〈표 4〉 고내구성 솔레노이드 확보를 위한 전략

문제점	원인 분석	문제의 해결
- 코일 열화 - 코일 단선	- 코일온도 상승분 미고려 - Yoke부 설계 미흡	100(°C) 이상의 온도보상이 고려된 코일설계
- Hysteresis 손실 - 코일부하 커짐 - 흡인력 떨어짐	- Yoke의 자속밀도 포화 (Saturation) - 구조설계미흡	BH특성이 우수한 자성재료 사용
- 코일집중부하 발생 - 불안정한 자속분포 - 흡인력 떨어짐	- Winding 불량에 따른 자속밀도 집중	균일한 Winding 및 측정 방법 연구
- 기계적 Hysteresis 발생 - 흡인력 떨어짐	- 미절특성 불량 - 공극특성 불량	Plunger 설계 및 Air Gap 균일화를 위한 기술적 문제 해결

것으로 설계 초기에서부터 반드시 체크해야 할 것으로 생각된다. 또한 이와 더불어 솔레노이드 밸브가 사용되는 환경에 적절한 내식성 및 내열성을 갖는 연자성 재료의 선택도 필요하다.

〈참고 문헌〉

- 1) Jacobs, "Jacobs Exhaust Brake-Installation Manual", P/N025292A, 1998
- 2) Usgear, Diesel Exhaust Brake, Usgear Catalogue", 1999
- 3) Riker, "How Does the Riker Exhaust Brake Work?", Riker Catalogue, 1999
- 4) Usui, Exhaust Brake Valve, Usui Cata-logue, 1999
- 5) 김기엽 외 10, "소형 뉴트로닉스 인터페이스 밸브 설계 및 제조기술 개발", 산자부 보고서, 한국기계연구원, 1991
- 6) Tanaka Hirohisa, "Proportional Solenoid", Fluid Power System, Vol.31, No.3, 2000, pp.200~207
- 7) Isiyama Yosinori, "Soft-materials for Hydraulics and Pneumatics", Fluid Power System, Vol.30, No.7, 1999, pp.532~537

〈윤소남 : ysn688@kimm.re.kr, 성백주 : sbj682688@kimm.re.kr〉