

# 솔레노이드-유량제어 방식 ABS의 응답성 향상에 관한 연구

## A Study on the Improvement on the Response of Solenoid-Flow control type ABS Modulator

송창섭(한양대), 김형태(한양대 대학원)

Chang-Sup Song(Hanyang Univ.), Hyung-Tae Kim(Graduate School, Hanyang Univ.)

### Abstract

In this study, a hydraulic modulator of solenoid-flow type ABS, the master cylinder, and the wheel cylinder are modeled and simulated for increasing and decreasing pressure characteristics of the brake. Response can be predicted by external force of the the master cylinder and pulses to the solenoid valve as input. For a demonstration of simulation result, experiment is done under the same condition as simulation condition after experimental apparatus of 1/4 car model is constructed. When factors of flow control valve are changed, the effect of each factor to response, how to improve response, and the most critical factors are considered from simulated result of time constant.

**key words** : Solenoid-flow control type ABS(솔레노이드-유량제어 방식 미끄럼방지 제동장치), Hydraulic Modulator(유압 장치), Design Factor(설계 요소), Response(응답), Flow Control Valve(유량제어밸브)

### 1. 서 론

현재 보급되어 있거나 개발중인 각종차량들에 장착될 ABS는 차종에 따라 요구되는 응답성이 서로 다르지만 각각에 대해 ABS를 개발한다면 시간과 비용이 많이 들게 된다. 그러므로 기존의 ABS 모델에 대해 응답성에 영향을 미치는 가장 예민한 인자를 찾아 차종에 맞게 알맞게 변화시킨다면, 개발기간과 비용을 훨씬 단축시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ABS 유압장치 부분을 해석하고 여러 가지 인자를 바꾸어 그 특성을 파악한 다음, 응답성을 향상시킬 수 있는 방안을 찾아 보았다.

### 2. 유압 모듈레이터 해석

#### 2.1 솔레노이드-유량제어 밸브 방식의 ABS 구조<sup>(1)</sup>

솔레노이드-유량제어 밸브 방식의 ABS는 솔레노이드-솔레노이드 밸브 방식의 Inlet valve를 유량제어 밸브로 대체한 것으로 4개의 유량제어 밸브는 각각 4개의 솔레노이드 밸브와 같이 연결되어 있는 것이 특징이다. 마스

터 실린더에서 발생된 압력은 통상시 브레이크 쪽으로 출입하다가 솔레노이드 밸브가 열리는 순간 유량이 펌프쪽으로 빠지면서 브레이크에서 솔레노이드 밸브로 유량이 빠지게 된다. 솔레노이드 밸브로 빠진 유량은 유량의 일시 저장소인 레저버를 거쳐 귀환 펌프로 유입되어 마스터 실린더로 되돌려지게 되며 귀환 펌프에서 토출되는 유량에 의한 압력의 맥동을 줄이기 위해 펌프와 마스터 실린더 사이에 댐퍼가 설치되어 있다. Fig. 1은 솔레노이드-솔레노이드 방식과 솔레노이드-유량제어 방식 각각의 구조를 비교한 것이다.

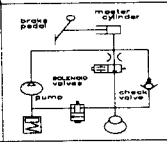
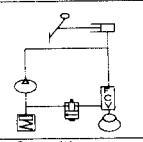
TYPE	Sol.-Sol. control	Sol.-Flow control
Hydraulic construction		
control modes	3-position (apply-dump-hold)	2-position (apply-dump)
Solenoid valves (with check valves)	8	4
ECV	0	4
Solenoid driving circuits	8	4

Fig. 1 Comparison of Sol.-Sol. type and Sol-Flow type ABS

## 2.2 유압 모듈레이터 해석

### 2.2.1 마스터 실린더

운전자가 페달을 밟으면 발생하는 압력을 진공 부스터가 증폭시키고 증폭된 압력이 마스터 실린더의 입력이 된다. 마스터 실린더의 해석은 Fig. 2와 같이 단순화 하여 Float Piston쪽을 Chamber 1, Push Rod Piston쪽을 Chamber 2로 하고, Intermediate Piston은 실험조건에서는 실질적으로 Float Piston에 항상 닿아 있기 때문에 Float Piston의 일부로 가정하였다.

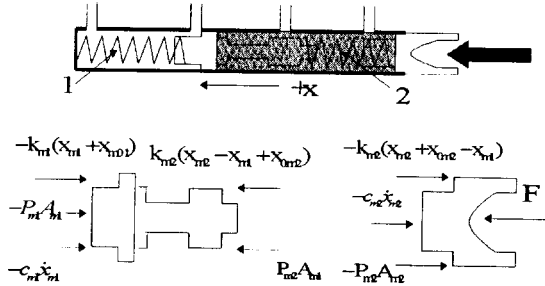


Fig. 2 Modeling of master cylinder

### 2.2.2 유량제어 밸브

유량제어 밸브의 유로는 스톱의 위치에 따라 다르게 형성되며 각 상태는 normal, dump, reapply 상태로 나누어진다. 모델링은 각 상태로 나누어 하지 않고 각 유로의 개구면적을 변위의 함수로 구현하여 한 상태에서 다른 상태로 넘어갈 때 생기는 Transient error를 줄일 수 있었고, 마스터 실린더에 힘을 가해 누른 다음 입력으로 신호만 주면 브레이크 쪽 압력이 나올 수 있도록 모델링이 되었다. 유로의 개구로 마스터 실린더에서 들어오는 포트를 ①, 통상 제동시 브레이크로 유량이 들어가는 포트는 ②, 덤프상태 및 재증압 상태시 유량이 출입하는 포트는 ③, 솔레노이드 밸브쪽 출구를 ④로 각각 명명하였다. Chamber는 Fig. 3과 같이 스톱 내부의 오리피스를 전후로 하여 윗쪽을 A, 아래쪽을 B로 하였다. 스톱의 위치에 따라 개도가 변하는 포트 ①과 ②는 포트가 원형이라고 가정한 다음 원형포트에 대한 공식을 스톱의 변위의 함수로 나타내었다.

### 2.2.3 솔레노이드 밸브<sup>(2)</sup>

솔레노이드 밸브는 유량제어 밸브 바로 아래 붙어 있으며, 전기 신호에 의해 개도가 개폐되는 On-Off Style이다. 솔레노이드 밸브의 검사 체적을 플런저 위쪽으로 가정하여 압력방정식과 유량 방정식을 유도해 내었고, 유

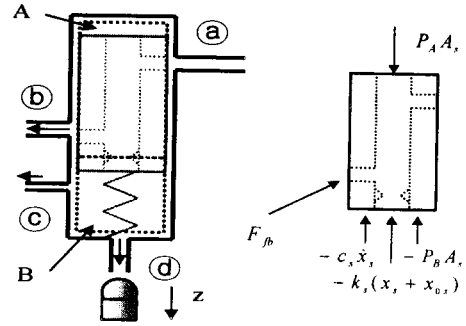


Fig. 3 Modeling of flow control valve

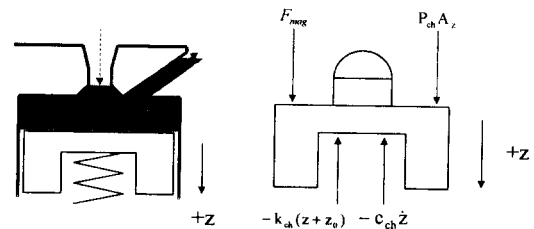


Fig. 4 Modeling of plunger

량제어 밸브쪽 포트의 개도는 보울 타입 포켓으로 가정한 다음 개구면적은 스톱의 변위의 함수로 나타내었다. 플런저의 운동 방정식을 유도할 때 전자력까지 계산하였다. 전자력은 가정자료법을 이용하여 구하였다. Fig. 4는 모델링한 검사 체적과 플런저를 나타낸 것이다.

### 2.2.4 휠 실린더

일반적으로 브레이크 피스톤은 압력이 0일 때도 브레이크 디스크에 거의 접촉할 정도로 브레이크 슈우를 밀어낸 상태이므로 체적변화율과 변위는 무시하였다. 일반적으로 브레이크와 모듈레이터 사이에는 긴 관로로 연결되어 있어 관로에 의한 압력 손실이나 압력전달의 지연 등을 고려할 필요가 있다. 따라서 관로의 영향을 나타내기 위해 관로 방정식<sup>(3)</sup>을 적용하였다.

### 2.2.5 레저버(Reservoir)

솔레노이드 밸브로 들어온 유량은 일단 레저버를 통과하여 펌프로 유입되며, 펌프가 송출할 수 있는 유량보다 유입되는 양이 많을 경우 일시적으로 브레이크 액을 저장하는 역할을 한다. 스프링, 레저버 피스톤으로 구성되어 있으며, 검사체적을 레저버 피스톤 위쪽으로 잡아 압

력 방정식과 유량 방정식을 세우고, 운동방정식은 레저버 피스톤을 기준으로 세웠다.

## 2.2.6 귀환 펌프

모터에 의해 회전하는 편심 캠에 의해 펌프 피스톤이 강제로 왕복운동을 하게 되고 2개의 체크 볼의 개폐가 서로 반대로 되면서 브레이크 액을 송출하는 구조로 되어 있다.<sup>(4)</sup> 해석은 Fig. 5와 같이 Chamber u1과 Chamber u2로 나누어 실시하였다.

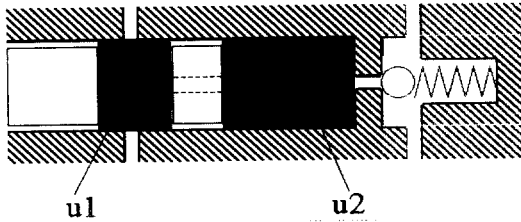


Fig. 5 Control volume of pump

## 2.2.7 댐퍼

귀환펌프에서 마스터 실린더로 유량이 토출될 때 생기는 압력의 맥동을 줄이기 위해서 댐퍼가 설치되어 있다. 댐퍼 끝에는 압력의 맥동을 줄이기 위한 오리피스와 마스터 실린더에서 댐퍼로 브레이크 액의 유입을 막기 위한 체크밸브가 오리피스에 붙어 있다.

## 3. 실험장치 및 방법<sup>(5)</sup>

실험장치는 브레이크 압력을 측정하기 위한 목적으로 Fig. 6와 같이 구성하였다. 실험은 다음과 같은 과정으로 진행되었다. 먼저 공압 콤프레서에서 압축공기를 발생시킨 후, 방향제어 밸브를 열어 공압실린더가 마스터 실린더를 누르게 한다. 유로에 남아 있는 공기를 없애기 위해 공기빼기를 실시하고, 작업이 완료된 후에는 공압 실린더로 마스터 실린더를 눌러 마스터 실린더와 브레이크 압이 목표 압력까지 올리고 모터를 동작시킨다. 솔레노이드 밸브를 구동시키면서 휠 실린더 쪽의 압력을 받기 위해 DAQ 보드를 미리 짜여진 프로그램으로 작동시킨다. 전류와 전압을 증폭시키는 듀티 컨트롤러는 직접 제작하였다.

## 4. 실험, 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 증압 및 감압 실험결과이고 Fig. 9와 Fig. 10은 시뮬레이션 결과로 듀티가 10%, 20%,

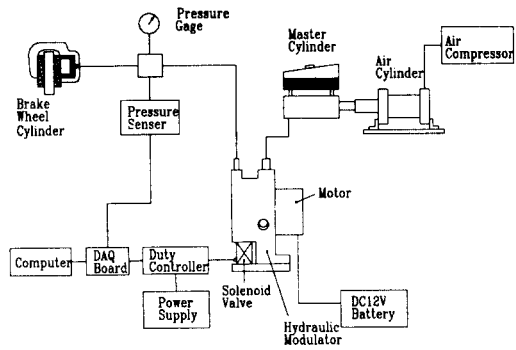


Fig. 6 Experimental apparatus

30%, 50%일 때 결과이다. 각 결과는 듀티가 증가함에 따라 개도가 열리는 시간이 많으므로 steady-state 상태까지 증압은 느리게 되고 감압은 빨리 되는 것을 보여주고 있다. 저압보다는 고압상태에서 비교적 압력 맥동의 폭이 크고 날카로운 경향이 있다. 또한 듀티에 따라 전체적으로 평균압이 낮아지는 경향이 실험결과와 시뮬레이션 결과에 공통적으로 나타나 이론적 해석결과가 타당함을 알 수 있다.

시뮬레이션을 수행하기 위해 바꿔본 인자들은 유량제어 밸브의 스프링의 탄성계수·초기 압축변위, 포트 ①·②·③·④ 직경, 스톱내 오리피스 직경, 유량제어 밸브 내의 체적 A·B, 스톱의 직경과 질량, 휠 실린더의 체적 등이다. Fig. 11은 10Hz, Duty 10%의 증압 결과를 기준으로 시뮬레이션 상에서 변화시킨 각 인자들의 값과 기준 값을 나눈 결과를 x 축으로, 변화된 time constant를 기준이 되는 time constant로 나눈 값을 y 축으로 하여 도시한 것이다. 그래프 상에서 spool의 직경이 기울기가 가장 크므로 가장 예민한 인자가 됨을 알 수 있으며, 그 다음으로 스프링 상수와 스톱 내부의 오리피스 직경이 예민한 인자임을 알 수 있다. 감압의 경우 응답성 변화가 거의 없었다.

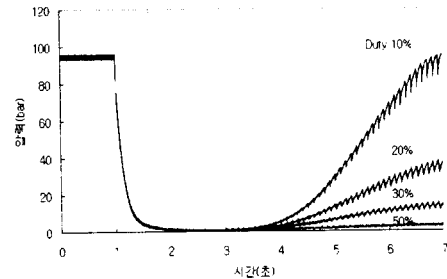


Fig. 7 Experimental result of pressure increase

## 5. 결론

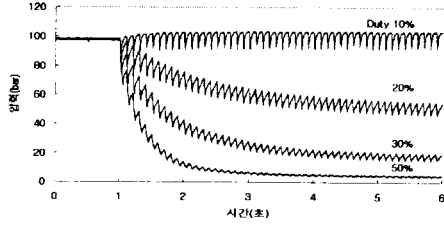


Fig. 8 Experimental results of pressure decrease

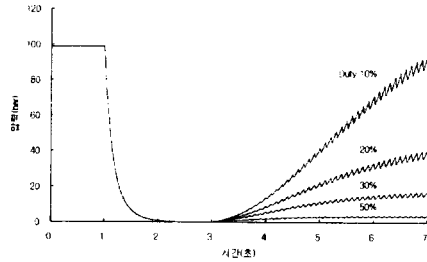


Fig. 9 Simulated result of pressure increase

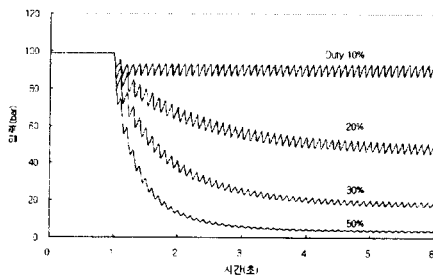


Fig. 10 Simulated result of pressure decrease

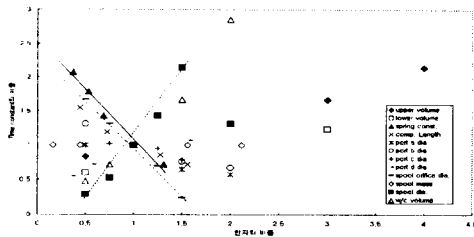


Fig. 11 Factors and time constant

ABS 유압 모듈레이터의 증압 및 감압시 특성을 해석하기 위해 마스터 실린더, 브레이크 휠 실린더와 유압 모듈레이터등을 모델링 하였으며 마스터 실린더의 압력 100bar, 주파수 10Hz에서 듀티를 변경하여 증압 및 감압 실험과 시뮬레이션을 실시하였고, 인자를 바꾸었을 때 응답을 예측하였다. 예측된 결과를 바탕으로 time constant를 구한 다음, 10Hz, Duty 10%의 결과를 기준으로 바뀐 각 인자들의 비율과 time constant의 비율을 구해 인자들의 예민성을 고찰하였다. 이를 바탕으로 추론된 본 논문의 결과는 다음과 같다.

(1) 유량제어 밸브의 인자 중 다른 인자에 비해 증압의 영향을 크게 주는 인자로는 포트 ①·②·③·④ 직경, 유량제어 밸브 위쪽 체적, 휠 실린더 체적등이다. ABS의 대부분의 동작이 증압임을 감안하면 증압특성을 개선하는 것으로도 ABS 성능을 개선할 수 있다.

(2) 시뮬레이션을 수행한 인자 중에서 가장 예민한 인자는 스프링의 직경이다.

(3) 응답성을 높이기 위해 스프링의 직경을 작게하거나 유량제어 밸브 내의 체적을 크게 변경시키는 것은 스프링의 강도와 유로의 크기등을 고려하여 변경해야 한다.

(4) 응답성을 높이기 위한 가장 간단한 방법은 탄성계수가 큰 스프링을 사용하거나 초기 압축력을 크게 하여 유량제어 밸브에 삽입하면 응답성을 향상시킬 수 있다.

(5) 휠 실린더의 체적은 응답성에 비교적 크게 영향을 미쳤고, 체적은 라이닝의 마모정도에 따라 결정되므로 응답성을 유지하기 위해 라이닝을 적절한 시기에 또는 정기적으로 교체해야 한다.

## 참고문헌

1. Robert Bosch GmbH, "Automotive Brake Systems", Robert Bentley Publishers, 1995.
2. 송창섭, 양해정, "미끄럼 방지 제동장치용 솔레노이드 모델링에 관한 연구", 한국정밀공학회지 제 12권 제 12호, 1995.
3. D. McCloy, H.R. Martin, "Control of Fluid Power", John Wiley & Sons, pp. 81-83, 1980.
4. 이병호, "구동 펄스의 변화에 따른 ABS 제동 압력 특성에 관한 연구", 고려대학교 석사학위 논문, 1993.
5. 양해정, "PWM 제어에 의한 솔레노이드-유량제어 방식 ABS의 제동 압력 특성", 한양대학교 박사학위 논문, 1996.