

이륜차 배기계의 전자식 2차 공기 공급장치에 대한 전자기장 해석 Electromagnetic Analysis of Electronic Air Suction System for Motorbike Exhaust system

*임광원¹, #박재우², 김호찬³

*K. W. Lim¹, #j. W. Park(pjw7550@dreamwiz.com)², H. C. Kim³

¹ 안동대학교 대학원, ² 경남정보대학교, ³ 안동대학교

Key words : Air Suction System, Solenoid valve, Exhaust Manifold, Electromagnetic Analysis

1. 서론

내연기관에서 배출되는 배기가스를 저감시키기 위한 방법으로는 전처리와 후처리 방법이 있다. 전처리 방법 흡입되는 공기와 연료를 최적의 상태로 혼합하기 위하여 흡기 포트의 형상을 변경하거나, 연료분사시의 최적화를 위한 전자식 연료분사 시스템 등이 있으며, 후처리 방법으로는 촉매를 사용하여 미연의 HC, CO 를 산화시키거나 HC, CO 등의 산화에 필요한 산소를 공급하기 위하여 2차 공기 분사 시스템이 있고, NOx 발생을 줄이기 위해서는 배기가스 재순환 장치 등을 사용한다. 이러한 방식 중에서 소형이며 상대적으로 저가인 이륜차에는 원가상승 등의 문제로 후처리 방식이 많이 사용된다.

강화되고 있는 배기가스 규제에 있어 HC의 저감이 상대적으로 강화되고 있는데, HC의 경우 발생량의 대부분이 초기 냉시동 구간에서 발생하며, 배출되는 HC를 산화시키고 촉매활성화 시간의 단축을 위해서 2차 공기를 공급하는 것이 효과적이다. 그러나 2차 공기 공급을 연속적으로 하게 되면 배기가스의 온도 분포가 균일하지 못해서 전반적으로 배기가스의 온도를 저하시켜 촉매의 활성화 시간이 길어지게 되어 HC의 저감율이 상대적으로 감소하는 결과를 초래한다.

전자식 연료분사장치에서는 피스톤의 왕복운동에 의한 흡입압력으로 일정한 분사압력을 확보할 수 있으나, 2차 공기 분사를 위하여 추가적인 압력을 발생시키는 장치(air injection system)가 필요하므로 승용차에 비해 상대적으로 저가인 이륜차에는 원가상승이나 구조가 복잡해지는 이유 등으로 적용하기가 상대적으로 어렵다. 대부분의 이륜차 배기계의 전자식 리드 밸브는 배기가스 맥동에 의해 부압이 형성될 때 2차 공기를 추가로 공급시켜 배기가스 중의 미연소 성분이 연소되도록 배기가스를 재연소 시킴으로써 유해 배출 가스를 줄이는 에어 석션 시스템(air suction system)을 사용한다. 에어 석션 시스템은 에어 클리너를 통해 들어온 공기를 전자적으로 단속하는 솔레노이드부와 배기가스 맥동에 의해 부압이 형성될 때 2차 공기를 기계적으로 공급하는 리드 밸브부로 나누어진다.

본 연구에서는 후처리 2차 공기 공급 장치인 에어 석션 시스템의 공기 공급을 제어하는 솔레노이드 밸브부에 대해 전자기장 해석을 통해 코어의 형상에 따른 밸브의 작동시간과 ACTUATOR의 흡입력을 계산하고 솔레노이드 밸브부의 최적설계에 필요한 기초연구를 수행하고자 한다.

2. 2차 공기공급장치의 설계

2.1 2차 공기 공급장치의 구성 및 동작과정

2차 공기분사장치는 크게 리드 밸브부, 솔레노이드부으로 나눌 수 있으며, 솔레노이드부는 밸브의 단속을 통하여 2차 공기의 분사시기를 조절한다. 솔레노이드 밸브를 통과한 공기는 리드밸브를 통과하여 각각의 실린더와 연결된 배기 매니폴드로 분사된다. 리드밸브는 2차 공기의 흐름에 있어 배기행정 후반부에 배기가스가 모두 배출된 뒤 배기가스의 속도저하로 인한 2차 공기 분사장치로의 배기가스 역류방지를 위하여 필요한 것으로, 별도의 추가적인 장치 없이 리드밸브의 탄성에 의하여 공기의 역류를 방지할 수 있는 장치이다.

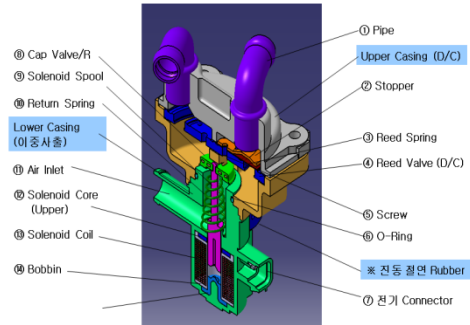


Fig. 1 Air Suction System

입력전압	12V
코일저항	20 Ω
입력전류	0.475A
코일 Turns	1300Turns
코일 단면적	7.5x19mm
응답시간	20ms 이하
ACTUATOR 작동거리	3.9mm
ACTUATOR 흡입력	7.7228N 이상
ACTUATOR 무게	12.13g
Return 스프링 상수	134N/m

Table. 1 Design date of Solenoid Valve

2.2 솔레노이드 코어의 설계

솔레노이드에 전류가 흐르게 되면 ACTUATOR가 움직이게 되고, 이를 통하여 공기의 통로를 개폐시키는 밸브의 역할을 하게 된다. 하지만 단순한 코일과 ACTUATOR의 구성만으로 자기장의 세기가 충분치 못하기 때문에, 충분한 흡입력, 작동 시간을 확보하기 위하여 코일의 외부에 코어를 추가하게 된다. 코어는 자력선의 통로 역할을 함으로서 더욱 자기장의 밀도가 높아지게 된다. 코일에 의해 발생한 자기장은, 코어를 따라 흐르며 다시 코일로 돌아오게 된다. 이렇게 하여 전자석의 S-N 극이 결정되는데, 코일 내부에 투자율이 강한 ACTUATOR가 존재하면, ACTUATOR를 통하여 자력선이 흐르게 되어 자속 밀도가 커지게 된다. 또한 코일 외부에 코어를 설치 함으로서 ACTUATOR의 경우와 마찬가지로 자속 밀도가 커지는 효과를 가져오게 된다.

3. 전자기장 해석

3.1 전자기장 해석 및 경계조건

본 연구에서는 2D 해석을 통하여 두 가지 형태의 코어(a, b)를 해석, 비교 하였으며, 2D 해석에서 선택된 코어를 바탕으로 2 가지 형태의 코어를 3D 모델링(c, d) 하여 최종적인 코어의 형상을 결정 하였다. ACTUATOR와 코어의 재료는 각각 SUM24L, STEEL1010으로 하며, 각각의 B-H CURVE 데이터를 입력하였다. 그 외 비자성체 부품은 모델링에서 제외하였다.

2D 해석의 경우 축 대칭으로 해석을 하였으며, 0~0.5초까지 0.001 초 단위로 51 STEP의 해석을 수행하였다. 3D 해석에서는 축 대칭 1/4 모델을 ACTUATOR가 최하점에 도달한 상태에서의 정자기 해석을 수행하였다.

3.3 2D 전자기장 해석 결과

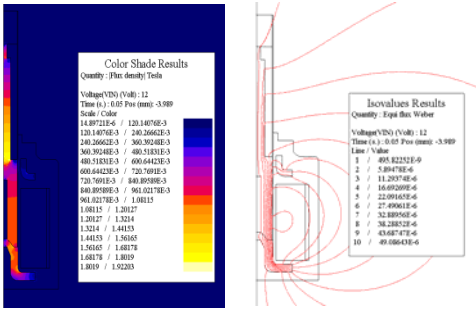


Fig. 2 Flux Density (a) Fig. 3 Magnetic Field (a)

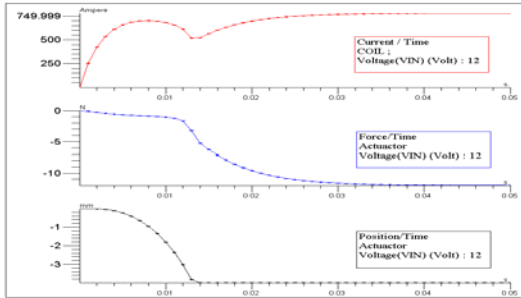


Fig. 4 Current, Force, Position Graph (a)

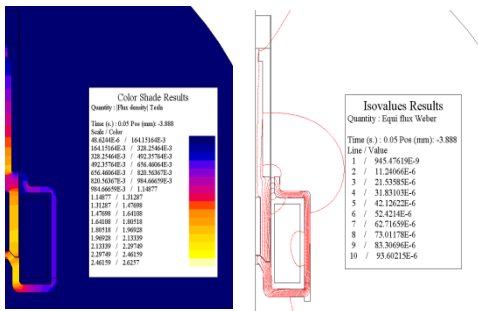


Fig. 5 Flux Density (b) Fig. 6 Flux Density (b)

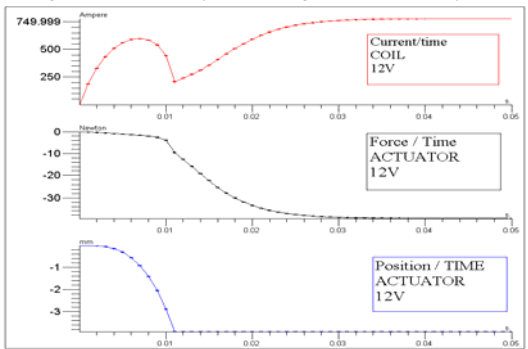


Fig. 7 Current, Force, Position Graph (b)

Fig. 2 와 Fig. 3 은 코일의 위, 아래에만 코어가 있는 경우로, 자력선이 코일주변에서 형성되어 외부로 발산하려는 경향을 보이기 때문에 전체적으로 자속 밀도, 자력선이 코어(b)보다 작게 나타난다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 코일주변을 코어가 감싸고 있는 경우로 자력선이 코어를 통해 코일주변을 순환하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4 과 Fig. 7 의 그래프를 비교하면 코어 형상에 따라 작동시간, 흡입력에서도 많은 차이가 있다. 솔레노이드 밸브의 가장 중요한 요소인 흡입력에 있어서는 두가지 코어의 형상에 따라 약 3 배 이상의 차이가 발생한다. 또한 솔레노이드 밸브가 닫히는 순간 힘의 세기를 살펴보면, 코일 주변을 감싸고 있는 코어 형상 일 때 초기 설계시 목표로 했던 흡입력보다 큰 값이 발생한다.

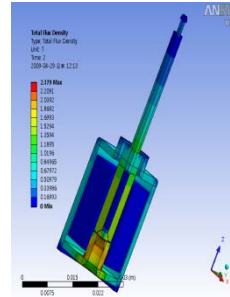


Fig. 8 Flux Density (c)

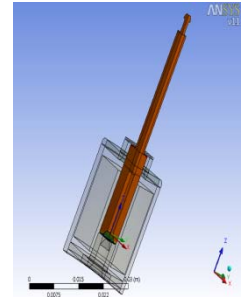


Fig. 9 Directional Force Z axis (c)

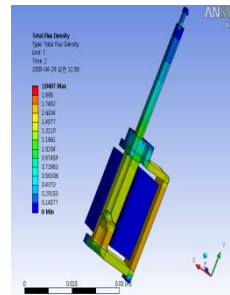


Fig. 10 Flux Density (d)

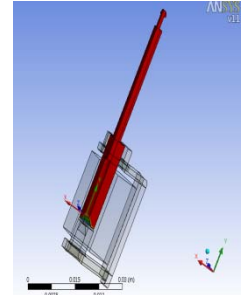


Fig. 11 Directional Force Y axis (d)

3.4 3D 전자기장 해석결과

Fig. 8 의 코어는 코일주변을 뚜껑과 같이 덮은 형상으로 2D 해석 결과와 비슷한 경향으로 자속 밀도가 분포하고 있다. 하지만 Fig. 10 은 코어부가 더 강하게 나타나고 있는데 이는 Fig. 8 의 코어 형상에서 양쪽을 제거한 형상을 가지는 코어로서 자력선이 상대적으로 작아진 코어로 집중되면서 코어부분의 자속 밀도가 높아진 것으로 판단된다. 두 가지 형상 모두 자속 밀도에 있어 최대값의 차이는 있지만 ACTUATOR 의 자속 밀도는 거의 같은 값을 가지며, 코일의 중심방향으로 작용하는 힘에 있어서는 약 3N 의 차이를 보인다.

4. 결론

- 1) 코어의 형상에 따라 자기장해석 결과에 차이를 보이는데, 코어가 부분적으로 배치된 경우, 자력선이 발산하는 경향으로 보이며, 자속 밀도가 작다.
- 2) 코일주변을 감싸는 형상으로 배치한 코어가 작동시간이 짧고, 흡입력이 강하였다.
- 3) 3D 형상의 코어의 경우 전체적인 형상이 다르게 되더라도 최종적인 흡입력에 있어서는 많은 차이를 보이지 않는다.

참고문헌

1. 김재철, 조규백, 최교남, 정동수, 장영준, 김영희 "소형 4Stroke 엔진에서 2 차 공기 분사장치의 특성에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, 41~46, 2000
2. 박기수, 조영진, 박심수 "2 차 공기 분사 및 냉각수 제어에 의한 SI 엔진의 탄화수소 배기 저감", 한국자동차공학회 논문집 제 8 권 제 4 호, 51~58, 2000
3. 이승재, 함윤영, 전광민 "스파크 점화기관에서 이차 공기분사가 냉시동시 THC 배출량에 미치는 영향에 관한 실험적인 연구", 한국자동차공학회 논문집 제 11 권 제 1 호, 1~6, 2003
4. 윤동원, 윤소남, 박중호, 인현철 "커먼레일용 솔레노이드의 특성 해석", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, 325~330, 2006
5. 김동수, 전용식 "AC 솔레노이드 밸브의 설계 및 특성", 대한기계학회 춘계학술대회, 2595~2600, 2006