

AVR을 이용한 Multi-Stage 코일건 설계

안현모, 박국남, 장대규, 윤영환, 김태우, 임진우, 임채영, 배상길, 김정일, 한성진
 동아대학교 전기공학과

Design of Multi-Stage Coilgun Using AVR

Hyun-Mo Ahn, Guk-Nam Park, Dae-Gyu Jang, Young-Hwan Yun, Tae-Woo Kim, Jin-Woo Lim,
 Chae-Young Lim, Sang-Kil Bae, Jeong-Il Kim, Sung-Chin Hahn
 Dept. of Elec. Eng. Dong-A University

Abstract - 본 논문에서는 Multi-stage 코일건의 동작시간에 따른 성능향상 및 솔레노이드의 최적화에 대해 연구하였다. 동일한 저항값을 가진 솔레노이드에 자기차폐효과를 적용시켜 최적화된 솔레노이드 형상을 설계하였으며, 이 솔레노이드 3개를 이용해 Multi-stage 코일건을 제작하였다. 제작된 Multi-stage 코일건의 성능 향상을 위해 본 논문에서는 AVR(ATmega128)을 이용하여 각 솔레노이드의 동작시간을 제어하고 Multi-stage 코일건의 각 동작시간에 따라 발사체의 속도가 증가한다는 것을 측정값을 통해 검증하였다.

1. 서 론

Electro-Magnetic Launcher(EML)는 전기에너지를 운동에너지로 변환하여 발사체를 추진 가속시키는 장치이다. EML은 폭발성 물질을 이용하여 에너지를 얻는 장치들보다 친환경적이고 폭발위험이 없어 안전하다. 이러한 이점으로 인해 선진국에서는 활발한 연구가 진행되고 있으며 현재는 군사적인 목적으로 실용화 단계에 있다.

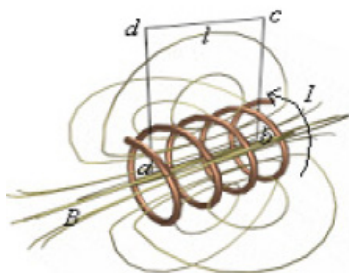
EML의 두 종류인 레일건과 코일건은 전류와 자기장으로 인해 발생하는 힘을 사용한다는 점에서 동일하지만 서로 다른 특징을 가지고 있다. 레일건은 높은 속도와 힘을 발생시키지만 발사체와 레일의 마찰손실로 발사장치의 재사용이 불가능하다. 반면에 코일건은 발사체의 마찰손실이 없어 에너지 효율이 좋고 반발력이 없지만 레일건에 비해 속도와 힘이 약하다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 속도와 힘이 약하다는 코일건의 단점을 보완하기 위해 솔레노이드를 최적설계 하였고, 설계된 솔레노이드 3개를 Multi-stage로 구성함으로써 발사체의 속도와 힘을 증대시켰다. 발사체가 각각의 솔레노이드에서 가장 큰 힘을 받을 수 있도록 각각의 솔레노이드 동작시간을 AVR로 제어하였고, 실제 Multi-stage 코일건을 제작해 각 Stage를 통과하는 발사체의 속도 및 동작시간 등을 측정하였다.

2. 본 론

2.1 코일건의 구조와 동작원리

그림 1은 코일건의 구조와 동작원리를 나타내고 있다. 솔레노이드에 전류를 인가하면 암페어의 주회법칙에 의해 전류의 수직 방향으로 자기장이 형성된다. 전류와 형성된 자기장은 플레밍의 왼손법칙에 의해 솔레노이드의 양쪽 끝에서 힘이 발생하게 되고 이 힘에 의해 솔레노이드의 한쪽 끝에 위치한 발사체는 솔레노이드의 중심을 통과하여 발사된다.



〈그림 1〉 솔레노이드의 자기장

암페어의 주회법칙에 의해 자기장 세기를 임의의 폐곡로를 따라 선적분하면 그 폐곡로로 둘러싸인 전류와 같으므로 솔레노이드 내부의 자기장 세기는 다음과 같다.

$$\vec{H} = \frac{N \times I}{l} \hat{z} \quad (1)$$

여기서, N 은 턴수, I 는 솔레노이드에 흐르는 전류, l 는 솔레노이드의 길이이다.

솔레노이드 내부의 자속밀도는 \vec{B} 는 식 (1)에서 구해진 자기장 세기 \vec{H} 를 이용하면 다음과 같다.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (2)$$

여기서, μ_0 는 자유공간의 투자율이다.

솔레노이드에 저장되는 전기에너지는 다음과 같다.

$$\overline{W_e} = \frac{1}{2} L I^2 \quad (3)$$

여기서, L 은 솔레노이드의 인덕턴스이다.

에너지 보존법칙에 의해 전기에너지는 발사체의 운동에너지로 변환되므로 발사체의 속력은 다음과 같다.

$$\overline{W_e} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \overline{W_e}}{m}} \quad (4)$$

여기서, m 은 발사체의 질량이다.

2.2 솔레노이드 최적설계

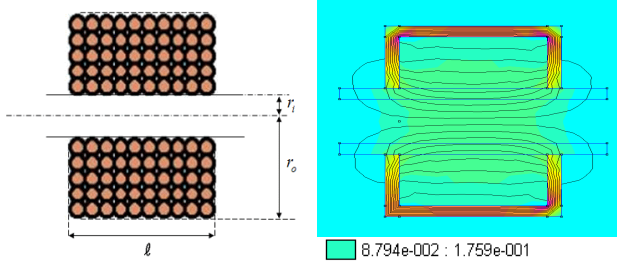
솔레노이드의 설계를 위하여 그림 2와 같이 솔레노이드의 길이, 내반경, 외반경, 턴수등을 설계변수로 선정하였다.

솔레노이드의 저항값이 동일하도록 제한조건으로 하여 표 1과 같이 3가지 솔레노이드 사양을 선정하였으며, 선정된 3가지 모델의 누설자속을 최소화시키기 위해 솔레노이드 외부에 자기차폐를 적용하였다. 자기차폐된 3가지 솔레노이드의 전류와 자속밀도를 Matlab Simulink와 유한요소해석을 이용해 구하였고, 표 1에서 보듯이 모델 I의 형상이 최대 자속밀도를 가진다는 것을 알 수 있었다.

이에 본 논문에서는 Multi-stage코일건 제작을 위하여 모델 I의 솔레노이드를 이용하였다.

〈표 1〉 솔레노이드의 사양

구분	길이 ℓ	내반경 r_i	외반경 r_o	턴수 N	전류 I	자속밀도 B
I	40[mm]	7[mm]	15[mm]	273[Turns]	26.5[A]	151.5[mT]
II	50[mm]	7[mm]	13.5[mm]	294[Turns]	23.5[A]	106.8[mT]
III	60[mm]	7[mm]	13[mm]	295[Turns]	27.7[A]	99.8[mT]



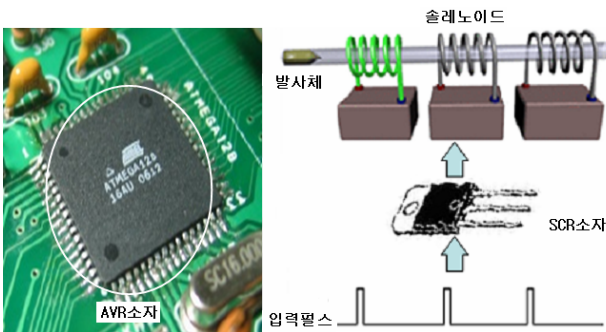
〈그림 2〉 솔레노이드 모델

〈그림 3〉 모델 I의 자기장 분포

2.3 AVR을 이용한 코일건의 제어

AVR은 미국의 Atmel사에서 제공하는 RISC 타입의 고속 8비트 마이크로컨트롤러이다. 특히, 물체를 감지한 후에 반응하는 광센서나 적외선 센서보다 반응속도가 빨라 미세한 시간까지 제어가 가능하여 Multi-stage 코일건 설계에 있어서 각각의 솔레노이드를 정확한 시간에 제어하는 것이 가능하다.

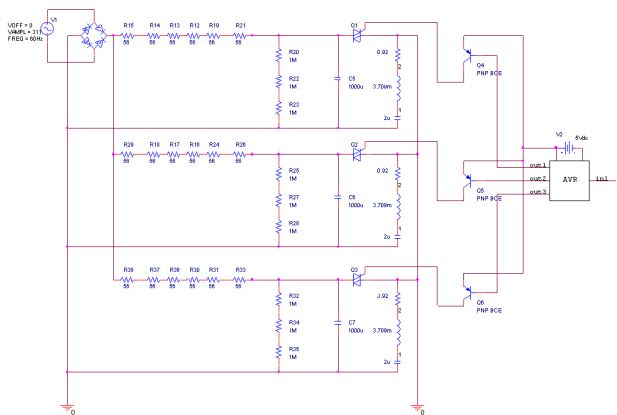
AVR에서 솔레노이드의 제어를 위해 시간간격을 두고 발생한 펄스신호는 스위칭 소자인 SCR을 각각 동작시킴으로써 각 솔레노이드의 동작시간을 제어한다. AVR에서 발생된 신호가 솔레노이드에 전달되는 모습을 그림 4에 나타냈다.



〈그림 4〉 AVR 구성도

2.4 AVR을 이용한 Multi-stage 코일건 설계

2.2절에서 선정된 모델 I의 형상을 가진 솔레노이드 3개를 연결해 Multi-stage 코일건을 설계하였다. 이때, 각각의 솔레노이드는 50[mm]의 간격을 갖도록 설계하였으며, 설계된 Multi-stage 코일건의 회로도도 그림 5와 같다. 220[V]로 공급되는 교류전압을 브릿지 다이오드를 통해 정류하고 커패시터를 이용해 맥류성분을 제거했다. 스위칭회로는 펄스신호를 발생하는 AVR과 코일건의 스위칭 소자인 SCR로 구성하였다.

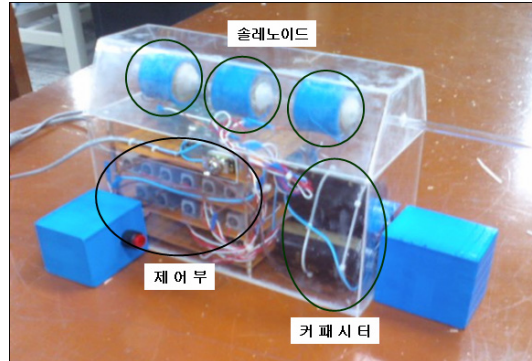


〈그림 5〉 Multi-stage 코일건 회로도

2.5 Multi-stage 코일건의 제작 및 시험

2.4절에서 설계된 Multi-stage 코일건 회로를 바탕으로 실제 코일건을 제작하였다. 그림 6은 AVR을 이용해 제작된 Multi-stage 코일건 모델이다. 발사체의 속도와 각각의 솔레노이드가 동작되는 시간은 측정값과 예측값을 통해 얻을 수 있었다. 첫 번

째 솔레노이드에서 발사되는 발사체의 속도를 측정해 발사체가 두 번째 솔레노이드의 동작점에 도달 하는 시간을 구할 수 있었고 이와 같은 방법으로 세 번째 솔레노이드의 동작시간을 예측할 수 있었다. 예측된 동작시간을 AVR로 제어하여 발사체가 각 솔레노이드를 통과하는 시간과 속도를 표 2에 나타내었고, 그 결과 발사체의 속도가 각각의 솔레노이드를 통과할 때마다 가속된다는 것을 확인하였다.



〈그림 6〉 완성된 Multi-stage 코일건

〈표 2〉 Multi-stage 코일건의 측정값

구 분	솔레노이드 I	솔레노이드 II	솔레노이드 III
동작시간	0 [ms]	1.67 [ms]	2.47 [ms]
속 도	29.85 [m/s]	62.19 [m/s]	94.22 [m/s]

3. 결 론

본 논문에서는 AVR을 이용한 Multi-Stage 코일건을 설계 및 제작을 하였고, 표 2에서 보듯이 발사체가 각 솔레노이드를 통과할 때 발생하는 흡인력에 의해 속도가 증가함을 알 수 있었다. 향후 코일건의 휴대성을 강화하기 위해 220[V] 전원을 휴대용 전원으로 대체 하고, 최적화된 Multi-stage 코일건을 설계하고자 한다.

[참고 문헌]

- [1] Ian R. McNab, "Early Electric Gun Research", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 35, No. 1, pp.250-261, Jan 1999.
- [2] J. A. Adams and M.A. Fischetti, "SDI : The grand experiment", *IEEE Spectrum*.
- [3] Qibin Deng, Jun Li, Yinchun Gui, Jiansheng Yuan, Zanji Wang, "Study of a Single-stage Electromagnetic Launcher System Using Pancake Coil", *Electromagnetic Launch Technology 2004 12th Symposium*, pp.282-284, 2005.
- [4] Kaye, R.J, Truman, B.N, Shope, S.L., "Application of coilgun electromagnetic propulsion technology", *Power Modulator Symposium, 2002 High-Voltage Workshop Conference Record of the 25th International*, pp.703-707, 2002.
- [5] 장성만, 김석환, 한송엽, "유도형 코일건의 에너지 및 속력특성 해석", *Journal of Korean Magnetic Society*, Vol. 2, No. 1, 1992.
- [6] E. Levi, Z. Zabar, J. L. He, L. Birenbaum, Y. Naot, "Analysis of induction-type Coilgun Performance Based on Cylindrical Current Sheet Model", *IEEE Trans. on magnetics*. Vol. 27, No. 1, pp.579, 584, Jan 1991.
- [7] Ronald J. Kaye, "Operational Requirements and Issues for Coilgun Electromagnetic Launchers", *IEEE Trans. on magnetics*. Vol. 41, No. 1, pp.194-199, Jan 2005.