

코일 형상에 따른 솔레노이드 액츄에이터 특성의 실험적 고찰

성백주 이은웅\* 김형의  
한국기계연구원 \*충남대학교

Experimental Study of Solenoid Actuator's Characteristics according to Coil Shapes

Baek-Ju, Sung Eun-Woong, Lee\* Hyoung-Eui, Kim  
Korea Institute of Machinery & Materials \*Chung Nam National University

**Abstract** - 개폐형(On/Off) 솔레노이드 액츄에이터의 설계에서는 온도상승을 고려한 권선수 산출이 가장 중요하고, 제작과정에서는 설계단계에서 산출된 권선수를 정확하게 정렬권선 형태로 구현해 내는 것이 가장 중요하다. 본 연구에서는, 비 정렬권선이 개폐식 솔레노이드 액츄에이터의 동작에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 실험은 하나의 정렬권선 코일과 비 정렬 상태가 다른 세 권선을 사용하여 보빈과 연결된 요크가 있는 경우와 없는 경우를 각각 실험하고 그 때의 흡인력, 온도상승, 소비전력 등의 특성을 비교하였다. 특히, 온도상승 실험은 실제 사용시의 상황을 구현하기 위하여 권선상태가 다른 4종류의 코일 각각에 100만회의 내구성 시험을 실시하면서 작동횟수를 등분하여 코일, 요크, 물당부의 각 측정점 온도를 측정하였다.

의 코일 각각에 100만회의 내구성 시험을 실시하면서 작동횟수를 등분하여 코일, 요크, 물당부의 온도를 측정하였다.

1. 서 론

구조가 간단하고 경제적이기 때문에 유공압 밸브, 자동차 연료 분사기, 자동차 브레이크, 전기 릴레이, 전기 스위치 등의 전기, 전자, 기계산업의 핵심부품인 솔레노이드 액츄에이터(Solenoid Actuator)는 제어시스템의 최종 단계에서 전기신호를 기계적 운동으로 변환시키는 장치이다.

개폐형(On/Off) 솔레노이드 액츄에이터의 핵심 설계기술은 최대 흡인력, 풀런저 크기 및 형상 등을 결정하는 자속밀도 분포 해석과 온도상승을 고려한 권선수 산출이고 제작과정에서는 설계사양을 오차없이 구현해 내는 것이 가장 중요하다<sup>[1]</sup>.

개폐형(On/Off) 솔레노이드 액츄에이터의 제작과정에서는, 보빈에 코일을 권선할 때 발생하는 비 정렬권선, 요크와 보빈 사이의 불확실한 체결, 물당시 발생하는 권선의 부분적 단락현상 등이 일어날 수 있는데, 이 중 비정렬권선이 액츄에이터의 동작에 가장 심각하게 영향을 미친다.

비 정렬권선은 솔레노이드부 제작과정에서 코일 직경과 부합되지 않게 설정된 권선기(Winding Machine)의 장력, 권선피치(Winding Pitch) 간격, 그리고 권선속도 때문에 흔히 발생하는 현상으로서, 풀런저의 흡인력을 감소시키며, 코일에 부분적인 온도상승을 일으켜 단선을 일으키기도 한다<sup>[2]</sup>.

본 연구에서는, 비 정렬권선이 개폐식 솔레노이드 액츄에이터의 동작에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 실험은 하나의 정렬권선 코일과 비 정렬 상태가 다른 세 권선의 보빈과 연결된 요크가 있는 경우와 없는 경우를 각각 실험하고 그 때의 흡인력, 온도상승, 소비전력 등의 특성을 비교하였다. 특히, 온도상승 실험은 실제 사용시의 상황을 구현하기 위하여 권선상태가 다른 4종류

2. 시험대상 코일의 구분 및 명칭

그림1은 보빈에 감겨져 있는 4종 코일의 도식적 형상을 나타내고, 그림2는 실제 권선 상태를 나타낸다. 보빈의 의미를 갖기 때문에 B형이라 칭하고 각각을 B1, B2, B3, B4로 명명하였다. B1 코일은 매우 불규칙하게 감겨 있으며 리드선 쪽으로 오목하고 리드선 반대쪽으로 볼록한 사다리꼴 형태이고, B2는 정렬권선된 코일이다. 그리고, B3 코일은 중앙 쪽이 볼록한 형태이며, B4 코일은 정렬권선 형식이나 느슨하게 권선된 상태이다.

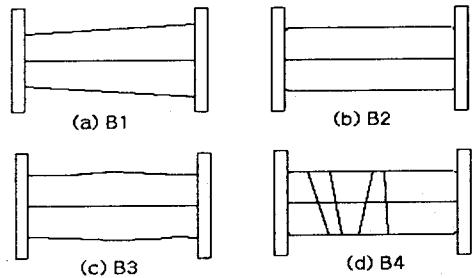


그림1 보빈에 권선된 코일의 도식적 형상

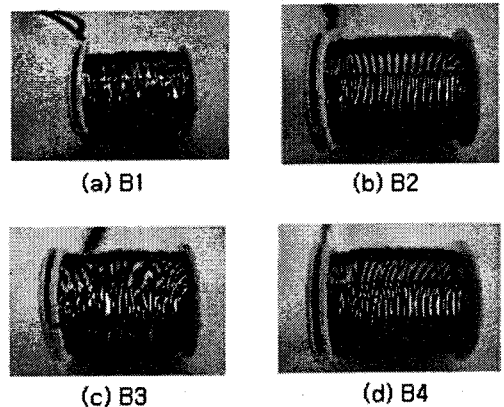


그림2 보빈에 권선된 코일의 실제 형상(B형)

그림3은 그림2의 코일에 물딩을 하고, 요크까지 결합된 것을 보이는 것으로, 요크의 의미를 갖기 때문에 Y형이라 칭하고 순서에 따라 Y1, Y2, Y3, Y4라 명명하였다. 그리고, Y형 코일에 플런저와 고정자를 취부하고 밸브몸체와 조립하여 완제품화 한 것을 AY형이라 명명하였고 그림4에 나타내었다.

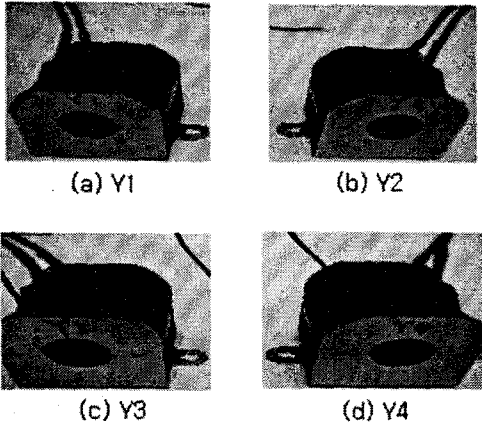


그림3 요크가 결합된 상태의 코일(Y형)

### 3. 솔레노이드 액츄에이터의 실험 및 결과

솔레노이드 액츄에이터의 실험은 DC Solenoid를 사용한 가스밸브 시험에 관한 규정인 KS C 4532, JIS C 4553, ASME B16.44와 공기압 밸브에 관한 한국신뢰성평가기준인 RS B 0006을 참고로 하여 실시하였다. 그리고, 시험대상 솔레노이드 액츄에이터는 가스밸브용으로 한국기계연구원에서 개발한 제품의 시작품을 사용하였고, 그 주요 사양은 표1과 같다.

표1. 시험대상 솔레노이드 액츄에이터의 주요 사양

항목	사양
사용전압[V]	DC 12
소비전력[W]	5
코일권수[Turn]	1806
흡인력[N]	25
코일선경[mm]	0.31
스트로크[mm]	1.1
보빈직경[mm]	22
온도상승[℃]	80

#### 3.1. 코일의 특성 실험 및 결과

고정자와 플런저가 없는 B형 코일과 Y형 코일의 특성 실험은, 먼저 주위온도에서의 코일 저항값을 측정하고, 정격전압의 110%에 해당하는 전압을 2분간 인가한 뒤 코일과 보빈의 상태를 육안으로 검사하고, 이 때의 코일 저항값을 측정하고 이 값들을 근거로 하여 소비전력과 온도상승을 계산하는 방식으로 수행하였다. 코일의 온도는 식(1)로서 정의되는 저항법을 사용하여 계산하였다.<sup>[5]</sup>

$$\theta = \left( \frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (234.5 + t_1) - (t_2 - t_1) \dots\dots\dots(1)$$

여기서,  $\theta$  : 온도상승치[℃],  $R_1$  : 초기 저항치[Ω],  $R_2$  : 온도 포화시 저항치[Ω],  $t_1$  : 초기 주위온도[℃],  $t_2$  : 온도 포화시 주위온도[℃]

표2는 B형 코일에 대한 실험결과를 나타내고, 표3은 Y형 코일에 대한 실험결과를 나타낸다.

표2. B형 코일의 실험결과

코일종류	B1	B2	B3	B4
시험항목				
주위온도(20℃)에서의 권선저항[Ω]	26.5	26.3	26.5	26.4
정격의 110%(13.2V) 전압인가	양호	양호	양호	양호
온도상승후의 권선저항[Ω] 및 온도[℃]	67 t2=25 R2=34	59.8 t2=25 R2=33	57.4 t2=25 R2=33	75.9 t2=25 R2=34.8
소비전력[W]	5.43	5.47	5.43	5.45

표3. Y형 코일의 실험결과

코일종류	Y1	Y2	Y3	Y4
시험항목				
주위온도(20℃)에서의 권선저항[Ω]	26.5	26.3	26.6	27
정격의 110%(13.2V) 전압인가	양호	양호	양호 </td <td>양호</td>	양호
온도상승후의 권선저항[Ω] 및 온도[℃]	75.7 t2=25 R2=34.9	64.6 t2=26 R2=33.6	70.5 t2=25 R2=34.6	64 t2=27 R2=34.5
소비전력[W]	5.44	5.47	5.41	5.33

#### 3.2 솔레노이드 액츄에이터의 온도실험 및 결과

솔레노이드 액츄에이터의 온도실험은 현장에서의 실제 사용조건을 구현해 내기 위하여 100만회의 작동실험을 수행하면서 실시하였다<sup>[6]</sup>. 실험에 사용한 액츄에이터는 3.1절의 코일 실험에서 온도 상승률이 가장 높았던 Y1 코일과 온도 상승률이 가장 낮았던 Y2형 코일을 밸브몸체에 조립한 완제품을 사용하였다. 실험은 무부하 조건(가스공급 무, 외부부하 무)에서 1[Hz]의 속도로 구형파를 입력하여 반복작동 실험을 실시하면서 각 부의 온도를 측정하였다. 그림4는 솔레노이드 액츄에이터 조립체 각 부의 온도 측정점을 나타낸다.



그림4 밸브 조립체(AY형)의 온도 측정점

그림5와 그림6은 작동횟수 증가에 따른 AY1 액추에이터와 AY2 액추에이터 각 부에서의 연속적인 온도분포를 각각 나타내고, 그래프 위의 번호는 그림4에서의 측정점이다.

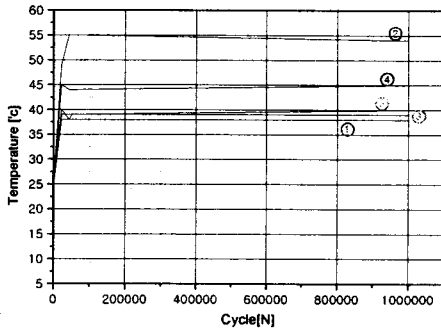


그림5. AY1 액추에이터의 온도분포

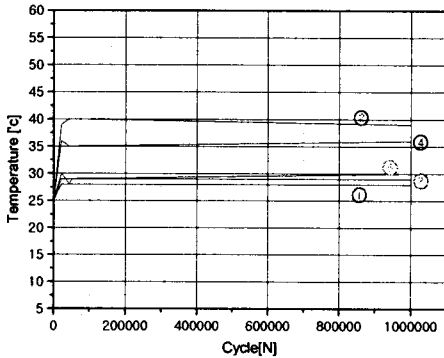


그림6. AY2 액추에이터의 온도분포

### 3.3. 흡인력시험

4종의 AY형 액추에이터를 성능에 영향을 받지 않는 지대에 각각 부착한 뒤, 상온에서 정격전압을 가하고 변위(Stroke)를 가변시키면서, 순간적으로 흡인할 수 있는 하중의 최대치를 측정하였다. 그림7에 실험결과를 나타내었다.<sup>[3][4][5]</sup>

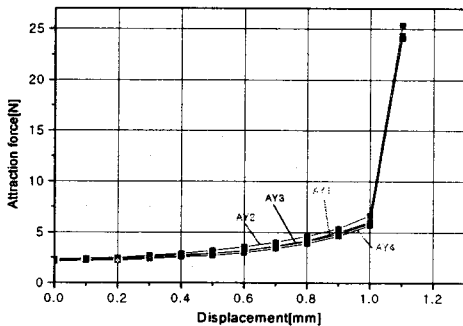


그림7. 흡인력 실험결과

## 4. 결 론

솔레노이드 액추에이터는 사용 코일이 정렬권선 되어 있을 때 코일의 온도상승율이 가장 둔화되고, 흡인력이 최대로 될 수 있다는 것은 이론적으로도 충분히 유추할 수 있지만, 본 연구에서는 이러한 사실을 실험적으로 확인하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 표2로부터 동일한 권선수를 갖는 코일이라도 권선하는 방법이나 모양에 따라 온도상승율이 다르고, 사다리꼴 모양의 권선(B1형)과 느슨하게 권선한 코일(B4형)의 온도상승율이 특히 크다는 사실을 알 수 있다. 이 때 소비전력도 각 코일마다 약간의 차이는 있었지만 온도상승을 만큼의 차이는 나지 않았다.
- (2) 표2와 표3의 결과로부터 코일 단독인 경우보다 요크가 취부된 코일에서 더 높은 온도상승이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 이 때에는 사다리꼴 모양(Y1형)의 코일과 보빈 가운데로 권선이 집중된 코일(Y3형)의 온도상승율이 가장 높았다.
- (3) 그림5와 그림6에서, 코일의 온도상승이 솔레노이드 액추에이터 외부의 요크나 밸브 몸체에 미치는 영향은 매우 작으나, 코일과 접한 물당부에는 상당한 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.
- (4) 그림7에서, 동일 전압 인가시 발생하는 솔레노이드 액추에이터의 흡인력은 정렬권선된 코일을 사용했을 때가 가장 크고, 정렬권선 형태를 벗어난 코일들은 약간의 차이는 있지만 서로 비슷한 크기의 흡인력을 발생시키고 그 크기가 정렬권선에는 미치지 못함을 알 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 성백주, 이은용, 김형의, "개폐식 솔레노이드 액추에이터용 설계 프로그램 개발", 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집B, pp929-931, 2002. 7. 10
- [2] 성백주, 이은용, 김형의, "공기압밸브 개폐용 솔레노이드 액추에이터의 속용성 해석", 2002 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp84 - 87, 2002. 11. 14
- [3] KS C 4532-1991 : DC solenoids for general purpose
- [4] JIS C 4553-1984 : DC solenoids for general purpose
- [5] ASME B16.44-1995 : Manually operated metallic gas valves for use in house piping systems
- [6] RS B 0006 : 공기압 방향제어 밸브, 산업자원부 기술표준원, 2001. 11. 28