

# 실험계획법을 이용한 향상된 전자기력 특성을 갖는 최적 형상 설계치 도출에 관한 연구

## A study for deriving optimal shape design with improved Electromagnetic force by using D.O.E

\*김석준<sup>1</sup>, #양해정<sup>2</sup>, 이승재<sup>2</sup>

\*S. J. Kim<sup>1</sup>, #H. J. Yang(yhj@kpu.ac.kr)<sup>2</sup>, S. J. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)유압사랑, <sup>2</sup>한국산업기술대학교 기계설계공학과

Key words : EPPR Valve, Electromagnetic Force, Taguchi method, D.O.E

### 1. 서론

전자비례제어감압밸브는 입력전류에 비례하여 압력을 제어하는 밸브로 중장비의 Main Control Valve에 사용되는 Spool을 전자적으로 제어할 수 있는 핵심부품이다. 최근 MCV를 제어하는 기존의 Lever Type 및 유압식 Pilot Valve에 의한 방식들이 점차 전자비례제어방식으로 바뀌고 있다.[1] 따라서 EPPR Valve를 전자기력 해석 상용프로그램을 이용하여 특성해석을 하고, 보다 향상된 성능을 가지는 EPPR Valve의 형상설계치를 제시하기 위해 실험계획법의 스크리닝 설계법과 다구짜 기법을 이용하여 최적형상설계치를 제시하고자 한다.

### 2. 스크리닝기법을 이용한 설계인자 도출

EPPR Valve의 전자기력 균일도와 평균값의 크기에 영향을 미치는 주요 인자를 Fig.1과 같이 나타내었다. 전자기력 특성에 영향을 미치는 주요 인자를 경제적으로 찾아내기 위해 스크리닝 설계법을 이용하였고 스크리닝 설계법에 사용되는 실험계획법에서 다수의 설계요인 중 소수의 주요요인을 선별하는 부분배치법 선택하여 Table.1과 같이 7개의 인자와 2수준으로 설정하였다. 전자기력 특성 해석은 직교배열표상 설계인자 수준에 따라 총 32번 수행하였다.

Table. 1 Key Factor Data for Screening Method

1차 선정된 설계인자 및 수준				
설계인자	설계인자명	단위	수준 1	수준 2
A	Cone Angle	[°]	26	36
B	Cone Length	[mm]	3.2	4.2
C	Tip Width	[mm]	0.2	0.4
D	Clearance	[mm]	0.1	0.2
E	Plunger Width	[mm]	5.0	4.0
F	Plunger Length	[mm]	16.0	18.0
G	Material	None	SM10C	Pure iron

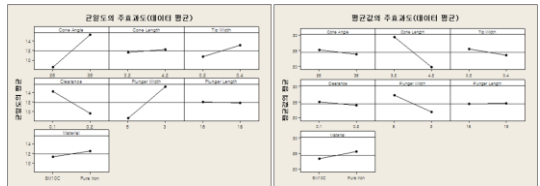


Fig. 2 Uniformity and Mean Value for Main Effect

Fig.2와 같이 EPPR Valve의 주요설계 인자를 분석하였고, Table.2과 같이 앞 단계의 스크리닝 설계법의 부분배치법을 통하여 전자기력 균일도와 평균값에 영향을 미치는 설계인자에 대한 기여율을 비교하였다. EPPR Valve의 전자기력 균일도와 평균값에 영향을 미치는 주요 설계인자를 A, B, D, E 즉 Cone Angle, Cone Length, Clearance, Plunger Width로 확인 할 수 있다. 여기서 Clearance의 경우 Plunger와 Sleeve 사이의 Gap이며 이 값이 커지게 되면 Plunger의 작동에 영향을 미치게 된다. 따라서 Clearance를 제외한 Cone Angle, Cone Length, Plunger Width를 최종 주요 설계인자로 선정하였다.

Table. 2 Key Factor Selection of EPPR Valve

설계인자	균일도	평균값	
A	<b>Cone Angle</b>	<b>31.101%</b>	1.286%
B	Cone Length	0.213%	<b>66.605%</b>
C	Tip Width	4.135%	2.619%
D	Clearance	<b>13.806%</b>	0.994%
E	<b>Plunger Width</b>	<b>30.138%</b>	<b>21.309%</b>
F	Plunger Length	0.054%	0.032%
G	Material	1.071%	4.039%

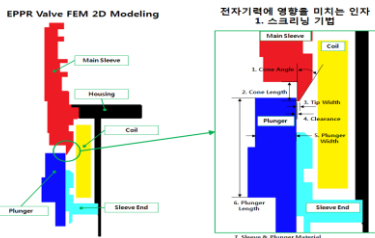


Fig. 1 Key Factor Shape for Screening Method

### 3. 다구찌기법을 이용한 최적형상설계

다구찌 기법은 일본의 다구찌 박사에 의해 창안된 품질 개선 기법으로 다구찌 기법의 목적은 제어할 수 있는 영향력이 강한 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대로 하고 잡음의 영향력을 최소로 하여 강건설계를 하는 것이다.[2]

EPPR Valve의 전자기력 균일도와 평균값에 대한 설계인자로는 스크리닝 설계법을 통하여 얻어낸 결과인 Cone Angle, Cone Length, Plunger Width로 선정하였고, 설계인자의 해석상 수준을 증가시켜 실질적인 최적화 값에 근사하도록 Table.3 과 같이 설계인자의 수준을 5 수준으로 선정하였다.

Table. 3

최적화 인자	Level of design factor				
	1	2	3	4	5
Cone Angle	A 22.0°	24.0°	26.0°	28.0°	30.0°
Cone Length	B 3.2mm	3.5mm	3.7mm	4.0mm	4.2mm
Plunger Width	C 5.0mm	4.9mm	4.8mm	4.7mm	4.6mm

EPPR Valve는 Controller에 의해 전달되는 전류값에 의해 작동되므로 잡음의 원인을 Table.8과 같이 입력 전류값의 변동으로 선정하였고 설계인자는 3 인자 5 수준으로 선정한 후 각 인자의 2 인자 교호작용 및 고차 교호작용이 없다는 가정하에 최소한의 실험으로 각 인자를 배치할 수 있는 3 수준계 직교 배열표 L25(5<sup>3</sup>)를 이용하였다.

Table. 4 Noise Factor Selection of Taguchi Method

전류값	잡음인자	
	N1	N2
800mA	5%의 전류값 감소 760mA	5%의 전류값 증가 840mA

스크리닝 설계법의 요인배치법으로 전자기력 균일도 및 평균값에 영향을 미치는 인자를 선정 후 다구찌 기법을 통하여 전자기력 균일도 및 평균값에 대한 최적의 설계인자를 도출 하였다.

Table. 5 Optimum Shape Design Factor

No	Cone Angle	Cone Length	Plunger Width	균일도[%]	평균값[N]
1	24	3.2mm	4.6mm	19.90	30.448
2	24	3.5mm		11.65	28.73
3	26	3.2mm		9.98	30.959
4	26	3.5mm		2.25	29.034
5	28	3.2mm		11.65	28.73

기존 EPPR Valve와 최적 EPPR Valve의 입력 전류값에 대한 전자기력 균일도와 평균값의 전자기력 특성 해석 그래프는 다음 Table.6과 Fig.3에서 확인 할 수 있다. 기존 EPPR Valve는 MCV의 제어범위인 입력 전류값 800~400mA에서 균일도는 최대 약 15%에서 최소 약 9%의 값을

가진다. 최적 EPPR Valve는 최대 약 9%에서 최소 약 2%의 값을 가진다. 전자기력 평균값의 경우 최대 입력 전류값 800mA에서 기존 EPPR Valve는 31.244[N]로 MCV에 전달하는 제어압은 28.550[bar]이고 최적 EPPR Valve는 29.034[N]이며 제어압은 26.382[bar]로 최적 EPPR Valve의 경우 기존 EPPR Valve보다 전자기력은 약 2.2[N], 제어압 또한 약 2.2[bar] 감소하였지만 Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 EPPR Valve의 전체 Storke에서 전자기력 특성이 크게 안정되어 있음을 확인할 수 있다.

Table. 6 Analysis Result Comparison Data

기존 EPPR Valve 전자기력 특성 해석 결과								
구분	800mA	700mA	600mA	500mA	400mA	300mA	200mA	100mA
균일도[%]	12.28	15.45	15.02	12.93	9.24	13.3	25.02	34.31
평균값[N]	31.244	26.763	22.215	17.883	13.209	8.881	4.816	1.347
제어압[bar]	28.550	24.155	19.692	15.247	10.858	6.612	2.624	-0.779

최적 EPPR Valve 전자기력 특성 해석 결과								
구분	800mA	700mA	600mA	500mA	400mA	300mA	200mA	100mA
균일도[%]	2.25	3.92	5.95	6.12	9.71	16.39	25.87	32.45
평균값[N]	29.034	24.952	20.763	16.532	12.334	8.255	4.433	1.239
제어압[bar]	26.382	22.377	18.269	14.118	9.999	5.998	2.249	-0.885

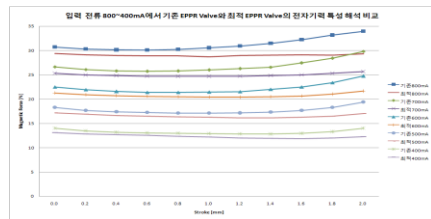


Fig. 3 Analysis Result Comparison Graph

### 4. 결론

실험계획법의 스크리닝 설계법과 다구찌 기법을 통하여 EPPR Valve의 최적형상설계치를 도출 하였으며 그 결과 값은 Cone Angle 26°, Cone Length 3.5mm, Plunger Width 4.6mm이다. EPPR Valve의 향상된 성능을 가지는 최적형상설계치를 실험계획법을 통하여 제시 하였으며 추후 EPPR Valve의 유동, 유압 특성 실험을 실시하기 전 중요한 전자기력 특성 데이터로 활용 할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 김석준, “다구찌 기법을 이용한 최적의 전자기력을 갖는 EPPR Valve의 형상설계 및 실험에 관한 연구”, 한국산업기술대학교 지식기반기술-에너지대학원, 공학석사논문, 2011
2. 이레테크 사업팀, “새 Minitab 실무완성”, 이레테크, 2009