

Diaphragm-Type Pressure Gauge의 Pulse-GTAW 공정 최적화

Optimization of Pulse-GTAW Process of Diaphragm-type Pressure Gauge

박형진*, 황인성**, 박평원**, 강문진**, 이세현*

* 한양대학교 대학원 / 기계공학과

** 한국생산기술연구원 / 정밀접합팀

1. 서 론

다이하프램형 압력계이지는 화학섬유, 석유, 제지, 시멘트 및 식품 등의 화학공업에서의 압력 측정에 많이 사용되고 있다. 다이하프램형 압력계이지의 구동방식은 피 측정유체와 플랜지 사이에 다이하프램을 부착시키고 다이하프램을 통해 압력이 전달되는 방식으로써, 다이하프램이 받은 압력은 다이하프램과 연결되어 있는 링크를 작동시키게 되고 링크에 연결된 섹터가 움직이게 되며 이에 따라 지침이 압력 값을 가리키게 된다. 이때, 다이하프램은 플랜지와 용접으로 이루어지며, 이 용접부의 용접품질은 압력계이지의 성능에 중요한 영향을 미치게 된다.

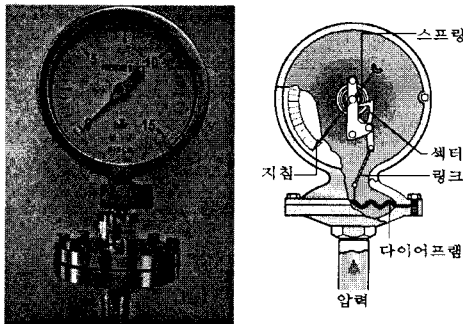


Fig. 1 diaphragm pressure gauge

다이하프램과 플랜지 용접부의 용접불량은 용접 후 다이하프램이 용착부에서 떨어지는 유형과 비이드 불균일의 불량이 대부분으로서, 이러한 용접불량을 발생시키는 원인은 아크의 분포불량과 과입열에 의한 용락발생이라 할 수 있다.

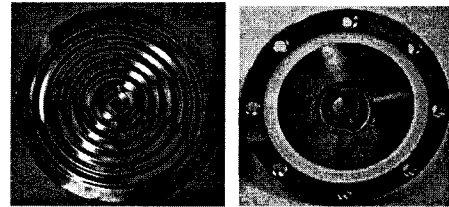
본 연구에서는 다이하프램형 압력계이지의 다이하프램과 플랜지 용접부의 용접 품질을 향상시키기 위하여 Pulse GTAW를 사용함으로써 아크의 분포 및 입열량을 제어하여 과입열을 방지하

고자 하였다.

본 연구에서는 Box-Behnken method를 사용하여 Pulse GTAW의 공정 파라미터를 이용하여 실험계획법을 설계하였으며, 실험 결과로 얻어진 2차 회귀식을 구하여 반응표면분석법을 통해 최적 용접공정 조건을 도출하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 실험재료 및 방법



(a) Diaphragm (b) Flange
Fig. 2 Shape of diaphragm and flange

본 연구에서 사용한 다이하프램과 플랜지는 Fig. 2 와 같은 형상을 가지고 있다. Table 1은 다이하프램과 플랜지의 두께 및 재질을 나타내고 Table 2는 SUS316의 화학 조성비를 나타낸다.

Table 1 Thickness and diameter of components

Component	Material	Thickness(mm)	Diameter(mm)
Diaphragm	SUS316	0.08	70
Flange	SUS316	9	90

Table 2 Chemical composition of SUS316(wt %)

C	Cr	Fe	Mn	Mo	Mi	P	S	Si
0.08	<18	62	2	<3	<4	0.045	0.03	1

Fig. 3은 Pulse GTAW를 이용한 다이하프램과 플랜지의 용접방법을 나타내고 있다. 그림과 같이 플랜지 윗부분에 0.08mm의 다이하프램이 놓이게 되고 플랜지와 다이하프램의 접합부를 Pulse GTAW를 사용하여 용접하였다.

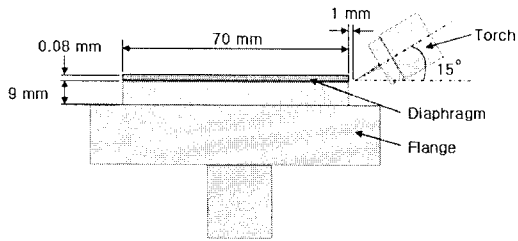


Fig. 3 Experiment set-up for Pulse GTAW

2.2 Box-Behnken 법에 의한 실험계획

본 연구에서는 Box-Behnken method에 의한 실험조건을 선정하였다. Pulse GTAW 공정변수는 Pulse current, Base current, Pulse duty, Frequency, Welding speed로 선정하였으며, 출력변수로는 다이아프램과 플랜지의 용접부가 견딜 수 있는 Hydraulic pressure로 선정하였다. Table 3은 각 용접공정변수의 실험 수준별 변수값을 나타내고 있다.

Table 3 Factors and levels for experimental design

Level	Pulse Current	Base Current	Pulse Duty	Frequency	Welding Speed
	(A)	(A)	(%)	(Hz)	(mm/min)
-1	70	20	30	10	500
0	80	30	50	20	600
1	90	40	70	30	700

Box-Behnken method는 인자의 수가 k 개인 경우에 3^k 요인배치법보다 실험점의 수가 많지 않으면서도 직교블록을 만들기 용이하고, 2차 회귀방정식을 구할 수 있다.

2.3 Hydraulic Pressure 실험

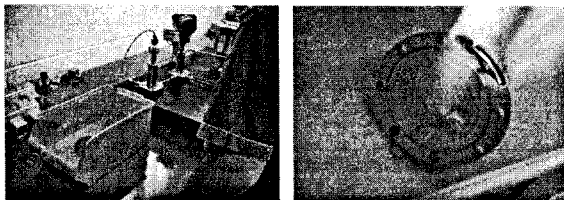


Fig. 4 Hydraulic pressure test

다이아프램과 플랜지 접합부의 용접성을 평가하기 위해 Fig. 4와 같이 수압 시험기를 사용하여 다이아프램과 플랜지의 용접부의 파손 시에 Hydraulic pressure를 측정하였으며 Table 4는 각 조건별 결과를 보여주고 있다.

Table 4 Result of hydraulic pressure test

NO.	Hydraulic Pressure	NO.	Hydraulic Pressure	NO.	Hydraulic Pressure
	(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)
1	1.89	17	1.88	33	1.65
2	2.37	18	1.75	34	2.37
3	1.73	19	1.55	35	2.04
4	1.71	20	1.87	36	1.57
5	1.63	21	1.58	37	1.49
6	1.95	22	1.71	38	1.92
7	1.62	23	1.87	39	1.54
8	1.39	24	1.67	40	1.87
9	1.78	25	1.59	41	2.01
10	1.68	26	1.73	42	2.07
11	2.01	27	1.23	43	1.41
12	1.27	28	1.92	44	1.73
13	1.98	29	1.09	45	1.89
14	1.64	30	2.23	46	2.03
15	2.17	31	1.74		
16	1.25	32	2.37		

3. 실험 결과

3.1 회귀분석

Box-Behnken method에 의한 Hydraulic pressure 실험결과를 이용하여 입력변수인 Pulse GMAW 공정변수와 출력변수인 0.08mm 다이아프램과 플랜지 접합부가 견디는 Hydraulic pressure에 대한 회귀식을 구하였다.

$$\begin{aligned}
 P = & 2.00333 + 0.09625x_1 - 0.05437x_2 - 0.03x_3 \\
 & - 0.05938x_4 + 0.0475x_5 - 0.26792x_1^2 \\
 & - 0.18042x_2^2 - 0.16125x_3^2 + 0.13125x_4^2 \quad (1) \\
 & - 0.1912x_5^2 + 0.0025x_1x_2 + 0.115x_1x_3 \\
 & - 0.04x_1x_4 - 0.1625x_1x_5 + 0.055x_2x_3 \\
 & - 0.03x_2x_4 + 0.2x_2x_5 - 0.1775x_3x_4 \\
 & + 0.1525x_3x_5 + 0.03x_4x_5
 \end{aligned}$$

Table 5는 식(1)의 2차 회귀식에 대한 분산분석의 결과를 나타낸다. 위의 회귀식에 대한 유의수준을 0.05로 선택하면, 기각치는 이며, 값과 비교해보면 회귀식이 유의함을 알 수 있다.

Table 5 ANOVA of Hydraulic pressure

Source of variance	Degree of freedom	Sum of squares	mean squares	F ₀	F
Regression	20	2.702	0.1351	2.14	2.03
Error	25	1.5761	0.06305		
Total	45	4.2781			

3.2 반응표면분석

Fig. 5은 Pulse current와 Pulse duty 사이의 반응표면을 나타낸다. 반응표면에서 Pulse current는 85 [A], Pulse duty는 약 40% 정도에서 최고의 Hydraulic pressure 값을 나타내고 있다. 또한, 반응표면을 통해 Pulse duty의 영향보다 Pulse current의 영향을 많이 받음을 확인할 수 있다. Fig. 6는 Welding speed와 Pulse duty 사이의 반응표면을 나타내고 있다. 반응표면이 Welding speed가 590 [mm/min], Pulse current가 60 %에서 최고의 Hydraulic pressure 값을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있으며, Welding speed가 빨라지면 반응표면이 급격한 경사를 이루며 이러한 영향으로 다이아프램과 플랜지의 접합부가 견디는 최고 Hydraulic pressure 값이 낮아짐을 확인할 수 있었다.

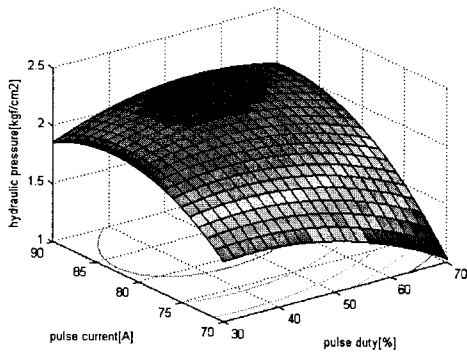


Fig. 5 Response surface of Pulse duty and Pulse current

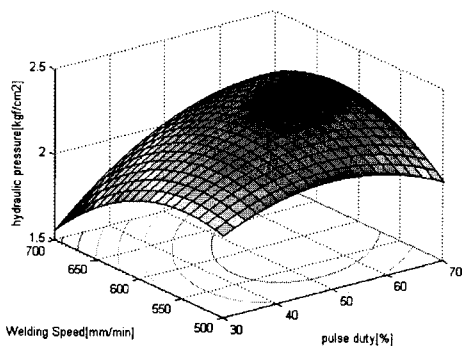


Fig. 6 Response surface of Welding speed and Pulse duty

Table 7 Optimal condition of Plse GTAW

Pulse Current	Base Current	Pulse Duty	Frequency	Welding Speed	Hydraulic Pressure
(A)	(A)	(%)	(Hz)	(mm/min)	(kg/cm ²)
84.4	29.6	58.8	10	596	2.388

Table 6은 관심실험영역 구간에서 격자탐색법을 이용하여 구한 최적 용접 조건을 보여주고 있다. Fig. 7은 격자탐색법을 이용하여 구한 최적 용

접 조건에서의 비드 형상 및 단면 형상을 나타낸다. 비드의 형상을 보면, 과입열이 일어나지 않아 과용융부가 발생하지 않았고 용융 형상이 일정하여 비드 형상이 미려함을 알 수 있다. 또한, 비드의 단면 형상을 보면 다이아프램과 플랜지의 용접부가 완전하게 용입되어 접합되었음을 알 수 있다.

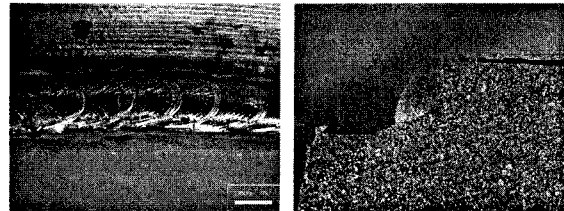


Fig. 7 Bead shape and bead section of optimal condition

4. 결 론

다이아프램형 압력게이지의 0.08mm 다이아프램-플랜지 용접부의 용접 품질 향상을 위하여 Pulse GTAW 공정변수를 최적화 하였다.

- 1) 적은 회수의 실험과 관심영역에서의 효과적인 회귀 모델을 구하기 위해 Box-Behnken method를 이용하여 실험계획을 수립하였다.
- 2) 각 조건별 Hydraulic Pressure 시험을 통하여 용접성을 평가하였고 그 결과로 Hydraulic pressure에 대한 2차 회귀식을 구하였다.
- 3) 관심실험영역 구간에서 격자탐색법을 이용하여 최적 용접 조건을 구하였으며 실제 실험을 통해 최적 용접 조건을 검증하였다.

참 고 문 헌

1. S. Kim and M. Kim : Application of TIG Pulse Wave Form for Clean and Beautiful Welding Bead, Proceedings of the KWS conference, Vol.3(2003), 165-168
2. H. Jung, S. Hong and Y. Park : The study on the weldability of STS 304 thin sheet by GTAW Process, Proceedings of the KWS Conference, 1998, 150-154
3. H. Son and D. Sim : A Study on effective factor of penetration depth in TIG welding, Proceedings of the KWS Conference, 1997, 148-150