

미니건설장비 Power unit 용접부의 최적 용접기법 개발에 관한 연구

A Study on welding process of power unit for multi-functional construction equipment

*김지선¹, #김입수², 손성우¹, 정재철¹, 나현호¹, 남기성³

*J. S. Kim¹, #I. S. Kim(ilsookim@mokpo.ac.kr)², S. W. Son¹, J. W. Jeong¹, H. H. Na¹, K.S.Nam³

¹ 목포대학교 기계공학과, ² 목포대학교 기계조선해양공학부, ³ 코막중공업(주) 기술연구소

Key words : Fillet weld, Welding process, Construction equipment, Taguchi method

1. 서론

최근 전 세계적으로 에너지 자원 고갈에 대한 우려가 높아지고, 특히 중국 등 신흥 공업국의 급속한 산업화에 따른 에너지 확보전쟁이 벌어짐에 따라 국제유가가 급속히 치솟고 있으며, 이러한 고유가의 상황은 그대로 연료를 다소비하는 수요자에게 부담으로 작용하게 되었다.

최근 굴삭기 최종 수요자인 작업자는 연료 절감형 건설기계의 개발을 절실히 요구하고 있다. 이러한, 건설장비 운영시의 연료절감을 위한 방안으로는 크게 엔진 효율 향상 및 중량 절감을 통한 경량화가 핵심이며, 엔진효율향상은 각 굴삭기 제조사마다 엔진의 형식이 다르고, 개별기업의 기술력으로 해결 가능하고 건설장비 경량화는 고강도소재 개발부터 건설장비 구조설계의 변경, 제조기술 개발 등 종합적 접근이 필요하고 경량화시에 엔진성능 효율화가 덧붙여지면 더욱 상승 작용이 발생할 것으로 기대된다.

현재 국내 건설 중장비 중 도심권 빌딩의 개보수 작업시 협소한 공간 안에서 작업 할 수 있는 소형 장비 중 미니굴삭기(1ton 이하, 장비 폭 900mm이하로 doorway 진출입)와 스키드로더(1.7ton 이하)가 한 조를 이루어 철거 작업을 하고 있으며 미니굴삭기에 콘크리트 파쇄용 브레이크 및 크라샤를 부착하여 파쇄 작업을 마친 후에 스키드로더로 폐기물을 덤프트럭에 상차 하는 일련의 작업이 진행되고 있다. 이러한 관계로 미니굴삭기 작업 시간에는 스키드로더가 대기 상태로 있으며 반대로 스키드로더 작업 시에는 굴삭기가 대기 상태로 있어야 하는 작업 형태가 이루어지고 있어 고가의 외화로 들여온 수입 장비의 운영 효율성이 50% 이하로 낮은 상황이다.

이로 인하여 건물 철거 공사용 장비를 구비함에 있어 상이한 기종(굴삭기와 스키드로더)을 항상 보유해야 하는 관계로 필요 이상의 경제적 부담을 안고 있는 실정이며 또한 장비의 과잉 공급에 따른 외화의 낭비 및 장비의 폐기시 환경을 파괴시키는 폐유압부품의 발생으로 인하여 자연이 파괴되고 있는 실정이다. 또한 친환경 다기능 건설장비 개발시에 굴삭기의 Breaker와 스키드로더의 Loader를 경량화를 통하여 연료소비 감소 및 국제경쟁력 확보가 시급한 실정이다. 따라서 장비 1대로 굴삭기 및 로더의 각각의 기능을 100% 발휘할 수 있는 신개념의 장비인 '친환경 다기능 미니 건설장비 개발'이 시급히 요구되고 있다.

본 연구는 친환경 다기능 미니 건설장비의 Power unit 주요 부위의 용접품질의 최적화를 위하여 SS400강의 필릿이음에 대한 실험을 수행하였다. 또한 다구찌(Taguchi)법을 이용한 용접조건 예측 모델 개발을 통하여 최적의 용접조건 선정을 위한 예측모델 개발을 수행하고자 한다.

2. 필릿 용접 실험

일반적으로 FCAW 용접공정과 같은 복잡한 시스템에서 최적의 공정변수를 선택할 때에는 하나의 변수만 변화시키고 나머지 변수를 고정시키는 단일변수 실험방법 선정은 많은 문제점을 갖고 있다. 또한 Factorial design 기법에 기초한 통계적인 실험설계 방법은 모든 입력변수를 동시에 변화시키므로 실험횟수를 크게 줄이고 수학적으로 신뢰할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이러한 접근법은 다른 분야에서 이미 성공적으로 적용되고 있다. 최근에 다구찌(Taguchi) 방식은 공정변수를 최적화하여 비용의 증가 없이 높은 용접품질을 얻을 수 있다는 장점 때문에 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 다구찌 방식과 통계적인 방법을 결합한

형태로 실험설계를 수행하여 실험 횟수를 최소화 하였다.

Table 1 Welding process(20t-12t Fillet)

Symbol	Process parameter	Level 1	Level 2	Level 3
I	Arc Current (A)	240	260	280
V	Welding Voltage (V)	23	24	25
S	Welding Speed (cm/min)	40	45	50

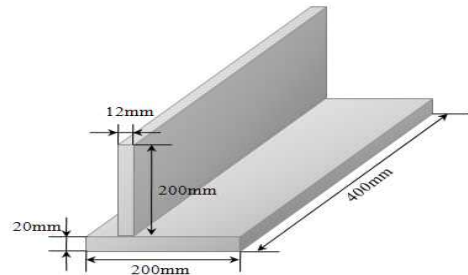


Fig. 1 Geometry of specimen for fillet weld(20t-12t)

예비실험을 통하여 입력변수로 아크전류, 용접전압, 용접속도를 선정하였으며, 시험편의 두께에 따라 선정된 공정변수 및 적용범위를 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서 선택한 공정변수는 Fig. 1에서 보는 것처럼 Power unit의 적용부위(20t-12t Fillet)에 따라 입력변수는 아크전류, 용접전압, 용접속도이고 출력변수는 비드폭 및 비드높이를 선정하였다.

3. 용접공정변수 모델개발

용접부 비드형상을 측정하기 위하여 용접부의 중간부분을 절단하여 횡단면을 만들고 양 끝부분은 절삭하였다. 시험편의 단면을 Polishing한 다음 2.5% 질산 용액으로 부식시킨 후 광학 현미경과 화상 분석시스템을 이용하여 비드형상을 측정하였다. Fig. 2은 전형적인 Fillet 용접부 비드크기를 나타낸다. Fig. 3에 나타낸 비드형상 측정장치를 이용하여 실험 후 각각의 용접시험편에 대하여 비드형상을 측정하였으며, 실험결과를 Table 2에 나타내었다.

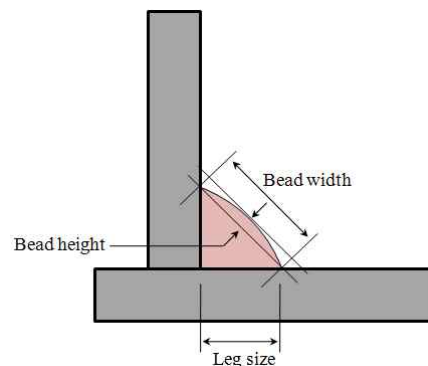


Fig. 2 Bead geometry of fillet welding

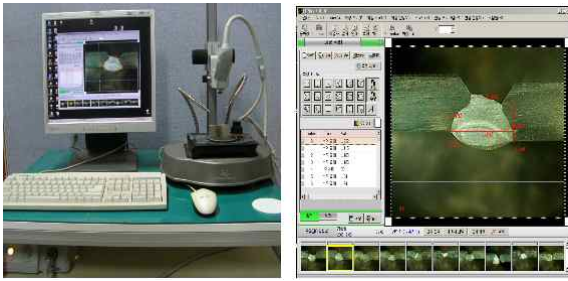


Fig. 3 Measurement device for weld bead geometry

Table 2 Experimental results of fillet welding

Welding Condition	Bead Width	Bead Height
1	5.3	1.4
2	5.7	0.8
3	6.5	0.6
4	6.2	1.1
5	6.5	0.7
6	6.0	1.1
7	6.5	1.2
8	7.6	0.5
9	6.5	1.0

실험 결과값을 통하여 이면 비드폭 및 이면비드 높이를 예측할 수 있는 선형방정식과 2차방정식을 개발하였으며 다음과 같다.

- 선형방정식

$$W_f = -3.51 + 0.0158I + 0.2V + 0.05S$$

$$H_f = 2.21 - 0.005I - 0.0125V - 0.0125S$$

- 2차 방정식

$$W_c = -117.4 - 0.48I + 13.2V + 0.14S - 0.4V^2 + 0.02S^2 + 0.03IV - 0.005SI$$

$$H_c = 126.2 + 0.1I - 10.8V - 0.04S + 0.25V^2 - 0.01S^2 - 0.01IV + 0.003SI$$

최적의 용접조건을 선정하기 위하여 추가실험을 수행하였다. 먼저 Table 3에 나타난 용접조건을 기초로, 각각의 개발한 실험식을 이용하여 예측 값과 실험값을 비교·분석한 결과를 Figs. 4~5에 나타냈다. Figs. 4~5에 따르면, 2차 모델은 비교적 실제 측정값과 잘 수렴함을 확인할 수 있었다. 하지만 직선방정식을 이용하여 예측한 결과값은 상당한 오차가 존재함을 알 수 있다. 이면 비드높이에 있어 전체적으로 상당한 신뢰성을 가지며, 특히 2차 방정식의 경우 오차 백분율이 15%를 초과하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 이면 비드폭에 대해서는 2차 방정식을 이용한 추정된 결과값의 오차 백분율 범위가 적어 용접공정 자동화나, 제어모델로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3 Welding process for additional experiment

Trial No.	Arc Current	Welding Voltage	Welding Speed
1	180	24	20
2	180	25	25
3	180	26	30
4	200	24	25
5	220	25	30

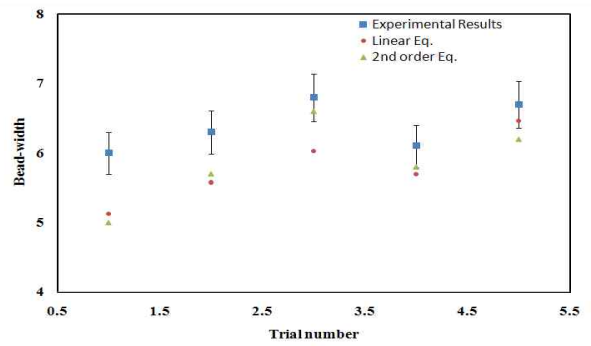


Fig. 4 A plot of measured bead width with calculated bead width

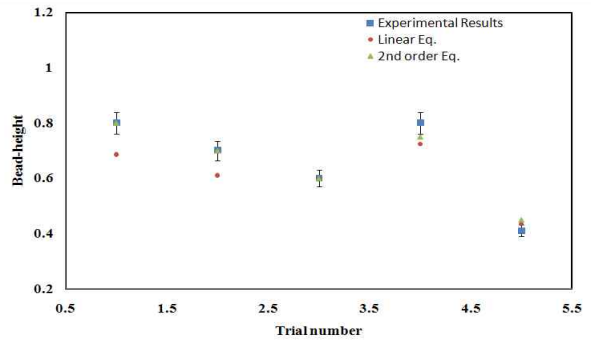


Fig. 5 A plot of measured bead height with calculated bead height

4. 결론

본 연구는 친환경 다기능 미니건설장비의 주요부위에 대한 용접실험을 수행함으로써, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Power unit의 적용부위(20t-12t Fillet)에 대해 다구찌(Taguchi)법을 이용하여 실험설계를 수행하였다. 또한 실험결과를 이용하여, 입력변수에 따른 출력변수의 상관관계를 나타내었다.

2) 용접조건 최적화를 위하여, 이면 비드폭 및 이면비드 높이를 예측할 수 있는 선형방정식 및 2차방정식을 개발하였다. 또한 추가실험을 통하여, 개발된 방정식의 신뢰성을 검증하였으며, 개발된 2차 방정식을 이용하여 계산된 결과값의 오차 백분율의 범위가 비교적 작아 용접공정 자동화나 제어모델로 이용 가능함을 입증하였다.

후기

본 연구는 지식경제부의 우수제조기술연구센터(ATC) 사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Shin Taguchi-Diane Byrne, "The taguchi approach to parameter design," ASQC Conference Award Best written Technical Paper, 1989.
2. J.S Son, I.S Kim, C.E Park, I.J Kim, and H.S Jeong, "Development of Experimental Model for Bead Profile Prediction in GMA Welding", Journal of KWS 23-4, 41-47, 2005.
3. G. Taguchi, "System of experimental design," English Trans. by L. W. Tung, Vols. 1 and 2, New York : UNIPUB/Kraus International Publications and Michigan : American Supplier Institute, pp. 16
4. Domanidis, G., Hale, M., and Hart, D. E., "Multi-variable control of arc welding processes," Proceedings of an International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, USA, 18-22 May, 449-457, 1986.