용접 불티 입자 크기 및 밀도 수를 고려한 화재 확산 위험성 평가를 위한 기초 연구

신연제^{*}, 노경철^{**}, 유우준^{*†} *동양대학교 건축소방안전공학과 ^{**}동양대학교 철도기계시스템학과 [†]Corresponding author. Email: wjyou@dyu.ac.kr

A Fundamental Study on the Fire Spread Risk Assessment Considering the Size and Number Density of Welded spatters

Yeon-Je Shin^{*}, Kyoung-Chul Ro^{**}, Woo-Jun You^{*†} *Dept. of Architecture & Fire Safety, Dong-Yang University **Dept. of Railroad Mechanical Engineering, Dong-Yang University

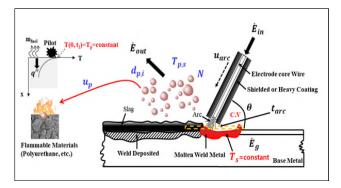
요 약

본 연구에서는 피복 아크 용접 시 비산하는 용접 불티의 화재 위험성을 분석하기 위해서 불티의 입자 크기 및 밀도 수에 관한 기초 연구를 수행하였다. 이를 위해서 반자동화 용접 장치를 제작하였으며, 이미지 분석 기법을 사용하여 전력의 크기에 따라 발생하는 입자 크기 및 밀도수를 정량화 하였다. 본 연구에서 도출한 최대입자에 관한 실험 결과는 용접 과정에서 발생할 수 있는 화재 위험성 평가를 위한 수치 해석 기초자료의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

1. 서론

용접은 산업현장에서 두 가지 이상의 금속류를 접합하는 가 장 경제적이고 간단한 공정 중 하나이며[1,2], 피복아크용접 (Shield Metal Arc Welding, SMAW)은 재료비용이 적게 소 모되고 휴대성이 좋기 때문에 용접 공정 중에서 가장 일반적 으로 사용된다[1-3]. SMAW는 용접봉에 전력을 인가하고 용접 모재 사이에서 발생하는 아크열을 사용하여 피복이 용 융되며, 발생되는 가스가 차폐 역할을 하여 융접(fusion welding)된다[4-6]. 하지만 다른 용접 공정에 비교하여 작업 지점 주위로 비산하는 불티 발생량이 많다는 특징을 가지고 있다[2]. 특히 용접 공정 중 주변의 발화 위험성이 있는 가연물 로 용접 불티가 비산하는 경우 축열에 의하여 화재 위험성이 높아질 수 있다[7-9]. 이러한 이유로 불티 특성 및 화재 위험 성에 관한 연구는 국내외에서 매우 중요한 연구 중 하나로 인 식되고 있다.

비산하는 용접 불티 특성에 대한 연구사례로 Lee[10]은 불티 의 비산에 따른 화재위험성을 분석하기 위해서 인버터 AC/DC TIG 용접기를 사용하여 용접 작업 시 불티의 온도, 비산 거리, 가연물 착화성을 전류변화, 작업높이 그리고 가연 물 종류에 따른 실험을 수행하여 입자 특성에 관한 기초 연구 를 수행한 바 있다. 또한 Song[8]은 Frank- Kamenetskii 식 을 사용하여 폴리우레탄 폼 보온재의 화재확산 경계를 모델 링 하였으며, 입자 크기 3mm, 온도 720K의 단일 입자가 가연 물로 비산 시 화재 위험성이 나타날 수 있다는 결과를 도출하 였다. 이와 같이 용접 불티 및 고온 입자 비산에 따른 화재 위 험성에 대한 연구는 활발히 진행되고 있지만, 용접 작업 시 발생하는 불티는 그림1과 같은 열적 특성을 가지고 있으며 단일 입자가 아닌 다수의 입자를 발생시키기 때문에 밀도수 의 영향을 고려해야한다[11]. 하지만 현재까지 SMAW 불티 의 크기분포를 고려한 상관관계 분석은 매우 부족한 상태이 다. 특히, 불티 비산에 따른 가연물의 화재 위험성 평가를 위 해서는 전력과 작업 시간에 따른 불티의 크기분포를 정량적 으로 분석하는 것이 매우 중요하다고 판단된다. 따라서 본 연 구에서는 용접 작업 시 비산되는 불티의 화재 확산 위험성 기 초 연구를 위해서, 이미지 분석기법을 사용하여 인가 전력 및 작업 시간 변화에 따라 달라지는 입자 크기와 밀도 수에 대한 상관관계를 분석하고자 한다.

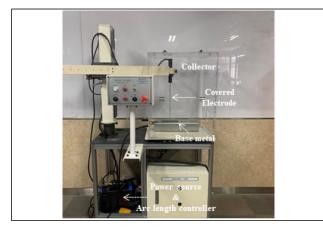


[그림 1] The Schematic Diagram of Welding Spatters production by SMAW and Ignition of flammables from scattering[11]

2. 본론

2.1 실험 장치 및 실험 방법

실험 장치 구성은 그림 2을 통하여 확인할 수 있다. 반자동 용접 실험장치, 포집체, 용접기로 구성되어있으며, 용접 모재 는 두께 9mm의 철띠, 용접봉은 두께 2.6mm의 CR-13을 사용 하였다. 실험 장치의 주요 계측 사항은 표 1와 같다. 실험 결 과의 신뢰성 향상을 위하여 전류 변화 80~150 A, 작업 시간 30~70 s로 각 조건에서 3회 반복 실험을 수행하였다.



[그림 2] The Schematic Diagram of welding equipment setup showing the SMAW electrode and Base Metal

[丞 1] Compartment and Experiment Specification

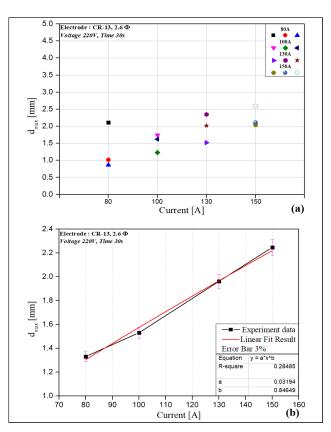
Measurement	Specification
Welding Machine	Model : Rolwal MMA-200E Power voltage : 220 V Rated input capacity : 7 KVA Actual output current : 20~220 A Efficiency : 60 % No-Load voltage : 65 V
Collector	Size : 500x460x640 mm

2.2 실험 결과

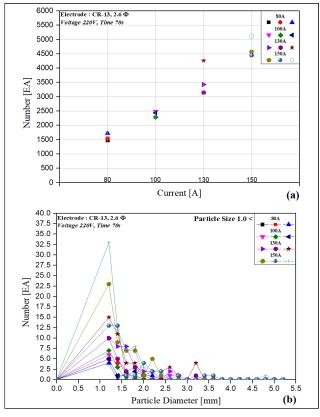
그림 3은 용접기의 전압 220 V, 작업 시간 30s 조건에서 각 전류에 따라서 발생한 최대 입자 크기를 나타낸 결과이다. 그 림에서 보듯이 전류 및 작업 시간의 증가에 따라 입자크기가 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(a)을 통하 여 작업 시간 30s, 작업 전류 150 A 일 때 최대 직경 2.6mm의 입자가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 동일한 조건에서 인가 전력과 최대 입자 크기는 그림 3(b)을 통하여 식 1과 같 이 나타낼 수 있다.

$$d_{\rm max} = 0.03194 \times I^{0.84649} \tag{1}$$

여기서 *I* 는 인가 전류이며 앞서 언급한 실험 조건과 R-square 0.28485인 조건에서 3% 이내의 편차를 갖는다.



[그림 3] Maximum particle size results according to experimental conditions



[그림 4] Results of Welding Spatter Generation under Experimental Conditions

그림 4은 용접기의 전압

220 V, 작업 시간 70s 조건에서 각 전류에 따라서 작업 지점 주위로 비산된 입자의 개수를 나타낸 결과이다. 작업 시간 및 인가 전류에 따라서 용접 속도가 달라지며, 그 결과 그림 4(a) 와 같이 불티 발생량이 증가한다.

또한 미립자를 제외한 1mm 이상의 입자 크기 분포 결과 그 림 4(b)과 같이 나타났으며, 150 A 조건에서 직경 1mm 이상 의 입자가 65개로 가장 많이 나타났다.

3. 결론

본 연구에서는 피복 아크 용접 시 작업 조건에 따라서 불티 입자 특성이 화재 확산에 미치는 영향을 분석하기 위한 기초 연구로 아크 용접기를 사용하여 용접 작업 시 입자의 크기 분 포를 측정하였으며 본 연구를 통하여 산출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 용접 작업의 입력 전류와 시간이 증가함에 따라 불티 입자의 크기 분포는 증가하며, 특히, 전압과 전류가 220V, 80~150A, R-square 0.28485인 조건에서 3% 이내의 편차를 갖는 것으로 나타났다.

둘째, 동일한 전력 조건에서 작업시간이 증가할 때 불티 발 생량이 증가하는 것으로 측정되었다. 이는 작업지점 주위의 온도가 증가하여 용접봉의 용융을 촉진시켜서 불티 발생량이 증가하는 것으로 사료된다. 향후 불티의 비산 온도, 모재 및 용접봉 온도 그리고 입자 크기의 상관관계의 분석이 필요할 것으로 판단되며, 본 연구의 결과는 크기분포를 산출하여 불 티 입자 비산에 따른 화재 위험성을 정량적으로 평가하는데 유용할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업 (19CTAP-C151893-01)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감 사드립니다.

참고문헌

[1] Narasimhan, P.N, "Development of hybrid welding

processes incorporating GMAW and SMAW", ICMPC, Vol. 18, Part 7, pp. 2924–2932, 2019.

- [2] Janusas, G, "Static and vibrational analysis of the GMAW and SMAW joints quality", Journal of Vibroengineering, Vol. 14, Part 3, pp. 1220–1226, 2012.
- [3] Timothy, P.Q, "A melting rate and temperature distribution model for shielded metal arc welding electrodes", Journal of Materials Science, pp. 532–538, December, 1997.
- [4] Messler, R.W, "Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy", Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2008.
- [5] DuPont, J.N, "Welding Metallurgy and Weldability of Nickel-Base Alloys", Wileym, Hoboken, NJ, USA, 2009.
- [6] Weman, K, "Welding Processes Handbook", Cambridge Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2003.
- [7] Mikkelsen, K, "An Experimental Investigation of Ignition Propensity of Hot Work Processes in the Nuclear Industry", Master's thesis, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, 2014.
- [8] Song, J, "Safety distance for preventing hot particle ignition of building insulation materials", Journal of Theor. Appl. Mech. Lett, Vol. 4, Part 3, 2014.
- [9] Hagimoto, N, "Scattering and Igniting Properties of Sparks Generated in an Arc Welding", In Proceedings of the 6th Indo Pacific Congress on Legal Medicine and Forensic Sciences, Kobe, Japan, pp. 26–30, July, 1998.
- [10] 이성룡, "용접·절단 작업시 화재 위험성에 관한 실험적 연 구", 한국화재소방학회, 제 26권, 3호, pp. 60-66, 2012년.
- [11] Shin, Y.J, You, W.J, "Analysis of the Thermal Characteristics of Welding Spatters in SMAW Using Simplified Model in Fire Technology', Journal of Energies. MDPI, Vol. 13, Part. 9, May, 2020.