가스 디퓨저 형상 변화에 따른 노즐 내구성 향상

한 주 호* · 이 정 수* · 김 명 현**,*

*한진중공업 기술연구소 산업기술연구팀

**부산대학교 조선해양공학과

The Improved Durability of a Nozzle Due to the Change of a Gas Diffuser Shape

Ju-Ho Han*, Jeong-Soo Lee*, and Myung-Hyun Kim**,*

*Hanjin Heavy Industries & Construction (HHIC), Busan, 49001, Korea

**Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, 46239, Korea

†Corresponding author : kimm@pusan.ac.kr

(Received August 29, 2017 ; Revised October 11, 2017 ; Accepted October 16, 2017)

Abstract

This study improves the durability of nozzle (CO₂ torch component) by changing the shape of a gas diffuser. In order to identify factors affecting the service life of nozzle, discarded nozzle was collected at random. As a result, it was confirmed that a main factor determining the service life of nozzle is the temperature of the nozzle during welding.

In this study, we analyzed the factors that determine the temperature of CO₂ torch components (electrical resistance heat, arc radiant heat, protective gas convection, ambient air convection, thermal conduction) and improved the durability of nozzle by changing the shape of a gas diffuser. Inner diameter of a gas diffuser, size of a gas outlet, number of a gas outlet, etc. were selected as parameters and welding experiments was conducted.

It was confirmed that the temperature of a nozzle changes according to the shape of a gas diffuser. A gas diffuser capable of lowering the maximum temperature during welding (capable of improving the durability) was developed.

When the developed gas diffuser is used, it is expected that the durability of a nozzle improves.

Key Words : Nozzle, Gas diffuser, Contact tip, Durability evaluation

1. 서 론

가스 메탈 아크용접(Gas Metal Arc Welding, GMAW)은 소모성 전극인 와이어를 일정한 속도로 모재에 공급하면서 와이어를 통해 전류를 인가하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하는 용접 공정이다. GMA 용접은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 와이어가 아크의 높은 열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융풀로 이행하며, 용융부와 아크는 노즐을 통하여 공급되는 보호 가스에 의해 주위의 대기로부터 보호된다¹⁻³⁾.

이러한 GMA 용접은 용착 효율과 생산성이 높은 반면 보호 가스를 CO₂로 사용하는 CO₂ MAG용접의 경

우 다량의 스파터가 발생하고, 발생한 스파터는 노즐 내부로 흐르는 CO₂ 가스 흐름을 방해하며 일정 수준을 넘어설 경우 용접 결함을 유발시키는 원인이 된다^{4,5)}.

Fig. 1 The principle of GMAW

용접 생산 현장에서는 노즐에 스패터가 일정 수준 이상 부착되어 떨어지지 않을 경우 이를 폐기하고 새 것으로 교체 한다. 즉, 노즐의 교체 주기에 의해 작업의 효율성과 구매 비용이 결정된다.

본 연구에서는 노즐의 교체 주기 및 구매 비용 감소를 위해 스패터 부착과 연관이 있을 것으로 예상되는 용접 시 노즐의 온도를 저하 시키기 위한 방안을 제시하고 개발품을 제작하여 그 성능을 평가해 보았다.

2. 노즐 사용 수명 결정 요인

노즐의 사용 수명을 결정짓는 요인을 파악하기 위해 현장에서 수명이 다하고 버려진 노즐을 수거하여 소모 원인과 그 비중을 분석하였다.

2.1 폐노즐 수거 및 손상 요인 비중 분석

수거된 폐노즐은 Table 1에 나타난 것과 같이 A, B 두 종류이다. 표에 나타난 바와 같이 B노즐은 A노즐에 비해 중량이 약 34% 무거우며, 구리 일체형으로 제작되었다.

Table 2에는 수거된 폐노즐을 파손 상태에 따라 세 가지로 분류하고 그 비중을 정리하여 나타내었다. 파손

Table 1 The kind of a nozzle and the characteristics

Type	A	B
Nozzle
Material	Chrome-plated Copper	Copper
Coefficient of Thermal Expansion	Chrome 6.20 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	Copper 16.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
Thermal Conductivity	69.1W/m-K	385W/m-K
Weight	63g	85g

Table 2 The proportion check according to the cause of a failure

Analysis of the cause and the proportion of discarded nozzle		
Type	A	B
Melted	59%	21%
Spatter fused	38%	79%
Deformed	3%	0%
Total	100%	100%

Fig. 2 A discarded nozzle depending on the cause of a failure

원인 중 첫 번째는 Melted로 Fig. 2 (a)와 같이 노즐 끝 부분이 녹은 것이다. 두 번째는 Spatter Fused이며 Fig. 2 (b)와 같이 용접 중 발생한 스패터가 용착되어 떨어지지 않은 것이다. 세 번째는 Deformed로 Fig. 2 (c)와 같이 노즐이 구부러진 경우이다. 이렇게 세 가지로 구분한 파손 원인 별 비중은 A 노즐은 Melted가 59%로 가장 높았고, B 노즐은 Spatter Fused가 79%로 가장 많았다.

A노즐의 deformed 3%를 제외한 모든 경우의 손상 원인이 Melted or Spatter Fused이며, 이는 노즐의 내구성이 온도와 일부 연관이 있다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

2.2 온도-내구성 상관관계 분석

수거된 폐노즐의 파손 원인 별 비중 분석을 통해 추정된 노즐 온도와 내구성의 상관관계를 분석하기 위해 용접 시 노즐의 온도를 측정하고 내구성을 평가하였다.

2.2.1 용접 시 온도 측정

Fig. 3과 같이 컨택트 팁, 노즐, 가스 디퓨저에 열전대를 부착하여 용접 시 최대 온도를 측정하였다. Fig. 4

Fig. 3 A thermocouple attachment for a temperature measurement

Fig. 4 A temperature of the consumables according to the welding time

에 보이는 바와 같이 용접 시작 후 일정 시간이 지나면서 열 평형 상태에 도달하였고, 측정된 온도는 일반적으로 콘택트 팁, 가스 디퓨저, 노즐 순으로 높게 나타났다. 실험은 전류 180~350A, 전압 23~35V, 속도 25cpm, 보호 가스 20ℓ/min의 조건에서 bead on plate 용접으로 진행하였다. 수거한 노즐 A, B 두 종류에 대해 동일한 용접 조건에서 각각 콘택트 팁, 노즐, 가스 디퓨저의 온도를 측정 하였다.

Fig. 5~7에 사용된 전력에 따른 온도 측정 결과를 정리하였다.

Fig. 5 The maximum temperature of a nozzle during welding

Fig. 6 The maximum temperature of a gas diffuser during welding

Fig. 7 The maximum temperature of a contact tip during welding

측정된 콘택트 팁, 노즐, 가스 디퓨저의 온도는 사용하는 전력이 높아질수록 높게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 A노즐이 결합되었을 때의 콘택트 팁, 노즐, 가스 디퓨저의 온도가 B노즐이 결합되었을 때 보다 높게 나타났다.

2.2.2 내구성 평가 실험

Fig. 8과 같이 bead on plate 용접을 전후 왕복 주행하여 20분 동안 연속으로 노즐의 사용 수명이 다할 때까지 수 차례 수행하였다. 이 때 노즐 사용 수명의 기준은 Melted or Spatter fused로 하였다.

온도 측정 실험 결과 차이를 보인 A, B노즐에 대하여 Table 3과 같은 조건으로 내구성 평가 실험을 진행하였다.

내구성 평가 실험 결과 Table 4에 나타낸 바와 같이 A노즐은 20분 연속 용접을 4회 수행 한 총 용접 시간 80분일 때 spatter fused 현상이 나타나면서 사용 수명의 한계를 보였다.

B노즐의 경우 이러한 spatter fused는 20분 연속 용접 8회째 인 160분에서 나타났다. 이는 용접 시 노즐

Fig. 8 Bead on plate welding for the assessment of the durability

Table 3 The test condition on the durability evaluation

20 minutes continuous welding	
Power	10kW
Welding speed	30cpm
CO ₂ gas flow rate	30LM
Contact tip to work-piece distance	15mm
End of experiment	spatter fusion

Table 4 Results of the durability evaluation

(unit:min)

Weld time	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	End
A											
B											

의 온도가 높을수록 spatter fused 현상은 빠르게 일어난다는 것을 보여준다.

3. 용접 시 노즐 온도를 낮추기 위한 방안

앞선 온도 측정과 내구성 평가 실험을 통해 용접 시 노즐의 온도와 내구성의 상관관계를 확인하였고, 노즐의 온도는 낮을수록 내구성은 좋은 것을 알 수 있다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 용접 시 노즐의 온도를 낮추는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 노즐을 가열 시키는 열원의 영향을 줄이는 것이다. 노즐은 아크에 의한 복사열로 가열이 되며 이 복사열을 줄일 수 있다면 노즐의 온도를 낮출 수 있다. 두 번째는 노즐의 냉각 성능을 높이는 것이다. 노즐의 냉각은 대기에 의한 자연 대류와 가스 디퓨저에서 나오는 보호 가스의 강제 대류로 이루어지는데 보호 가스의 제어를 통해 냉각 성능을 향상시킬 수 있다⁶⁾.

위와 같은 노즐의 가열과 냉각의 제어는 가스 디퓨저의 형상 변화를 통해 그 영향을 평가해 볼 수 있다.

Fig. 9 Heating and cooling factors of the consumables

3.1 가스 디퓨저 형상 변수 선정

가스 디퓨저의 형상 변화에 따른 노즐의 온도 변화를 평가하기 위해 Fig. 10과 같이 형상 변수를 선정하였다.

선정된 변수는 기존 형상의 변화를 최소한으로 하는 범위 내에서 복사열의 차단이나 강제 대류 효과의 향상이 가능할 것으로 예상되는 변수를 임의로 선정하였다.

가스 분출구의 위치, 크기, 개수, 가스 디퓨저 내경의 크기 그리고 가스 디퓨저 길이를 변수로 선정하였으며 Table 5에 각 변수 별 테스트 케이스를 나타내었다.

3.2 변수 별 온도 측정 용접 실험

선정한 변수의 노즐 온도에 대한 영향을 확인하기 위해 용접 실험 중 노즐 온도 측정을 수행하였다. 사용된 용접 조건은 CTWD 15mm, 7.15kW, 30cpm, CO₂ Gas flow rate 30ℓ/min 이다. 보호 가스 유량은 실험 전 기존 가스 디퓨저를 장착하여 30ℓ/min을 확인한 후, 테스트 용 가스 디퓨저를 장착하여 유량 변화를 확인하였다. 대부분의 경우 유량 변화는 미미하였다.

Fig. 11에 가스 디퓨저 형상 변화에 따른 노즐 온도 측정 실험 결과를 나타내었다.

가스 분출구 위치에 따른 노즐 온도의 변화는 40mm인 경우를 제외하고는 노즐 온도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 가스 분출구 크기가 작고 개수가 적을수록 노즐의 온도는 낮아졌고, 디퓨저 길이는 긴 것이 노즐 온도를 낮추는데 효과가 있었다. 가스 디퓨저 내경은 Ø3mm 경우를 제외하고는 노즐 온도에 직접적인 영향을 미치지 않았다. Ø3mm일 때는 보호 가

Fig. 10 Variables of a gas diffuser**Table 5** A parametric study on the effect of variables

Variables	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Position of gas outlet	10	15/17	30	40
Size of gas outlet	Ø2	Ø3	Ø2/Ø4	
Number of gas outlet	4	6	8	
Inner diameter	Ø3	Ø4	Ø5	
Length of gas diffuser	68	70

Fig. 11 Results of a parametric study

스 유량이 기존 노즐 대비 10% 줄어들었고 이로 인해 노즐 온도가 큰 폭으로 낮게 나타났다.

4. 냉각 성능 향상 가스 디퓨저

실험 결과를 바탕으로 노즐의 온도를 낮출 수 있을 것으로 예상되는 새로운 가스 디퓨저 형상을 Fig. 12와 같이 선정하였다⁷⁾. 새로운 가스 디퓨저는 기존 대비 길이 2mm 증가, 분출구 크기 Ø0.5mm 감소, 내경 Ø2mm 감소하였고, 분출구 위치는 15/17 엇갈려 가공되던 것을 10mm위치에 일괄 가공하였다.

4.1 가스 디퓨저 적용 온도 측정

개발된 가스 디퓨저의 성능을 평가하기 위해 A노즐에 새로운 가스 디퓨저를 결합하여 온도 측정 실험을 수행

Fig. 12 Characteristics of a developed gas diffuser

하였다. 새로운 가스 디퓨저가 장착된 경우를 A NEW로 명명하고 앞서 수행한 A노즐의 온도 측정 실험 결과와 비교하였다.

Fig. 13~15에 보이는 바와 같이 노즐, 가스 디퓨저, 컨택트 팁 모두 기존 가스 디퓨저가 장착된 경우 보다 온도가 낮게 나타났고, 이러한 경향은 사용된 전력이 높을수록 크게 나타났다.

이러한 토치부의 냉각 효과는 개발된 가스 디퓨저의 길이 증가로 인해 노즐 내부를 향한 아크의 복사열이 컨택트 팁에 의해 일부 차단되어 노즐의 가열원이 줄어들었고, 이와 동시에 가스 분출구와 내경의 감소로 보호 가스 유속 상승에 따른 냉각 효과가 높아진 것에 기인한 것으로 보인다. 또한 길어진 가스 디퓨저에 의해 줄

Fig. 13 The maximum temperature of a nozzle when applying a gas diffuser (New & Old)

Fig. 14 The maximum temperature of a gas diffuser when applying a gas diffuser (New & Old)

Fig. 15 The maximum temperature of a contact tip when applying a gas diffuser (New & Old)

Table 6 Results of the durability evaluation when applying a developed gas diffuser

(Unit: min.)

Weld time	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	End
A
A NEW
B
B NEW

어든 노즐의 가열원은 컨택트 팁에 추가로 흡수가 되었으나, 가스 디퓨저의 내경 감소에 따른 컨택트 팁의 전도 냉각 효과가 높아져 컨택트 팁에서 온도 상승은 나타나지 않은 것으로 보인다⁸⁾.

4.2 가스 디퓨저 적용 내구성 평가

개발된 가스 디퓨저를 결합하고 A, B 노즐의 내구성 평가 실험을 수행하였다. 각각 A NEW, B NEW로 명명하였다.

실험 조건과 기준은 2.2.2와 동일하다. Table 6에 나타난 바와 같이 A NEW는 A 보다 50%, B NEW는 B보다 25%의 내구성 향상을 보였다.

5. 결 론

1) 용접 시 노즐의 온도는 노즐의 사용 수명과 일부 상관이 있으며, 온도가 높을수록 사용 수명은 낮아진다.

2) 노즐의 사용 수명을 향상시키기 위해 새로운 가스 디퓨저를 개발, 적용하여 용접 시 노즐의 온도를 낮추었다. 개발된 가스 디퓨저는 기존 대비 길이 2mm 증가,

가스 분출구 직경 Ø0.5mm 감소, 가스 디퓨저 내경 Ø2mm 감소, 가스 분출구 위치 변화와 같은 차이점을 가지고 있다.

3) 개발된 가스 디퓨저를 적용한 내구성 평가 실험 결과, A 노즐은 50%, B 노즐은 25%의 사용 수명 향상을 확인하였다.

ORCID: Ju-Ho Han : <https://orcid.org/0000-0003-0036-7294>

ORCID: Jeong-Soo Lee : <https://orcid.org/0000-0002-8328-9553>

References

1. The Korean Welding and Joining Society, *Welding and Joining Handbook*, Vol. 3 (2007), 45-46
2. Jongdo Kim, Gihoon Myung, Mookeun Song, Jaehwan Oh and Jeong Suh, The characteristics of bead welding on steel with process parameter during the laser-arc hybrid welding(I), *Journal of Welding and Joining*, 33 (2) (2015), 85-99, <https://doi.org/10.5781/JWJ.2015.33.2.85>
3. Douglas Steyer and Baesoo Jun, Shielding Gases for Welding Aluminum, *Journal of KWJS*, 31 (1) (2013), 38-42, <https://doi.org/10.5781/KWJS.2013.31.1.38>
4. Chen, J. H., Sun, Z. C., and Fan, D. Study on the mechanism of spatter produced by basic welding electrodes, *Welding Journal*, 75 (10) (1996), 312-316
5. Namhoo Kim, Hoisoo Ryoo, Heejin Kim and Jinhyun Koh, A Study on the Transfer and Spatter Generation in High Current CO₂ Welding, *Journal of KWJS*, 21 (3) (2003), 51-57
6. J. L. Wilson, G. E. Claussen and C. E. Jackson, The Effect of I²R Heating on Electrode Melting Rate, *Welding Research Supplement*, (1956), 1-8
7. J. H. Han, S. Y. Kim, J. S. Lee, J. O. Yun and B. H. Jin, Welding gas diffuser for the improvement of cooling performance, *Korea patent*, 10-2016-0121213 (2016)
8. Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, Heat and mass transfer, 4th edition, *Mc Graw Hill*, 484-488