

아르곤 가스를 효율적으로 사용하기 위한 GMA 용접 토치 구조

Part 1 : AMAG와 DMAG 토치가 아르곤 조성에 미치는 영향

최 상 균* · 문 명 철** · 유 중 돈***

* 영남대학교 공과대학 기계공학부

** (주)NextEye 연구부

*** 한국과학기술원 기계공학과

GMA Torch Configuration for Efficient Use of Argon Gas Part 1 : Effects of AMAG and DMAG Torches on Argon Composition

S.K. Choi*, M.C. Moon** and C.D. Yoo***

* School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyungbuk 712-749, Korea

** Vision Ressearch, NextEye, Inc., Kyunggido 135-080, Korea

*** Dept. of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305-601, Korea

Abstract

Shielding gas has significant effects on arc stability, metal transfer and weld quality in the gas metal arc welding (GMAW) process. The double gas-shielded MAG (DMAG) and auxiliary gas-shielded MAG (AMAG) torches are investigated for their capability to provide argon-rich gas mixture using small amount of argon gas through the inner and auxiliary nozzles, respectively. Argon composition with the DMAG torch is calculated numerically, and compared with the measured data using the gas chromatography. Gas flow pattern of the DMAG torch is calculated to change from the laminar to turbulent flow when total gas flow rate becomes larger than 4.5 liter/min at room temperature. While argon-rich shielding gas was obtained using both the AMAG and DMAG torches, the AMAG torch provides higher argon composition than the DMAG torch, which demonstrates that argon gas can be utilized more efficiently with the AMAG torch.

(Received May 10, 1999)

Key Words : GMA torch configuration, Argon composition, Double gas-shielded MAG, Auxiliary gas-shielded MAG, Gas chromatography

1. 서 론

GMA 용접에서 분위기 가스는 용접부의 산화를 방지하고 아크를 안정시키는 역할을 하며, 사용하는 가스의 종류에 따라 MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas), CO₂ 용접으로 분류한다. 가스의 종류와 혼합비율에 따라 아크 안정성과 비드 형상 및 금속이행 모드가 크게 영향을 받으며, 현재 국내에

서 널리 사용되는 대표적인 가스로 CO₂와 아르곤 (argon) 가스를 들 수 있다. 아르곤 가스는 이온화 전압 (ionization potential)이 낮기 때문에 아크 발생이 용이하며 스파터 발생이 감소하고 스프레이 모드와 양호한 비드를 얻을 수 있지만, 100% 아르곤 가스를 사용하면 음극에서 전자의 발생이 어렵게 되므로 아크의 안정성이 저하된다. CO₂ 가스는 아르곤 가스에 비하여 아크가 불안정하고 스파터가 증가하며 스프레이 모드를 얻을 수 없는 단점이 있지만, 가스 가격이 저렴

하고 음극에서 산화막이 생성되어 전자의 발생이 용이하게 되며 용입이 증가하는 장점이 있다¹⁻³⁾. 이와 같은 CO₂와 아르곤 가스의 장단점을 고려하여 두 가스를 적절한 비율로 혼합하면 각 가스의 장점을 얻을 수 있으며, 아르곤 80%와 CO₂ 20%의 혼합가스가 대표적인 예이다.

아르곤과 CO₂ 가스 외에도 헬륨 (helium), O₂, H₂ 등의 가스도 용도에 따라 적절한 비율로 혼합되어 사용되고 있다. 국내의 경우에는 CO₂ 가스가 아르곤 가스에 비하여 매우 저렴하기 때문에 100% CO₂ 가스를 사용하는 경우가 많다. 그러나 100% CO₂ 가스를 사용하는 것이 원가 면에서 항상 유리하지 않으며, 분위기 가스에 따른 공정 전체의 생산성, 용접품질, 적합성 등을 고려하여 종합적으로 판단하는 것이 필요하다^{2,3)}.

아르곤 가스의 가격이 상대적으로 높기 때문에 적은 양의 아르곤 가스를 사용하면서 아르곤 조성 (argon composition)이 높은 분위기 가스의 장점을 얻을 수 있는 GMA 토치 구조가 고안되었다. 대표적인 예로 Fig.1(a)에 보인 바와 같은 이중 노즐 토치 (double nozzle torch)를 들 수 있으며, 이와 같은 구조의 토치를 사용하는 공정을 DMAG (Double gas-shielded MAG) 공정이라 부른다^{4,5)}. 이중 노즐 토치는 동축에 위치한 내부와 외부 노즐을 통하여 각각 아르곤과 CO₂ 가스를 분사한다. 이와 같은 이중 노즐 토치를 사용하면 적은 양의 아르곤 가스를 사용하여 용접 와이어 끝과 아크를 포함하는 부분에서 아르곤의 비율을 증가시킬 수 있었다. 이중 노즐 토치를 이용한

실험결과에 의하면 아르곤 가스를 28% 정도 사용하여 금속이행, 스패터 발생 및 용접품질 면에서 상용 토치에서 아르곤 80%인 혼합가스를 사용하는 MAG 공정과 동일한 효과를 얻을 수 있는 것으로 보고되었다⁴⁾. 또한, 플럭스 코어드 와이어 (flux cored wire)를 사용하는 경우에도 만족할 만한 결과를 얻었다⁵⁾. 이와 같은 DMAG 공정의 장점에도 불구하고 용접시 내부 노즐에 부착하는 스패터에 의하여 가스의 흐름이 방해받기 때문에 가스의 혼합 비율이 불안정하게 된다. 그러므로 복잡한 토치 내부에 부착된 스패터를 자주 제거하여야 하기 때문에 이중 노즐 토치가 실용화되지 못하였다⁴⁾.

일반적으로 분위기 가스의 유동이 난류 (turbulent) 이면 층류 (laminar)에 비하여 분위기 가스가 주위의 공기와 활발하게 혼합되므로 분위기 가스의 유동이 층류 상태를 유지하도록 설계한다. GMA 용접을 실외에서 수행하는 경우에 바람의 영향을 줄이기 위한 다양한 아크 용접용 토치 형태가 제안되었으며⁶⁾, 플라즈마 용접에서 용융부를 보호하기 위하여 플라즈마 가스 및 보호가스를 사용하거나, 레이저 용접의 키홀 (keyhole) 모드에서 발생하는 플라즈마를 제거하기 위하여 보조 노즐을 사용하기도 한다⁷⁾.

본 연구에서는 이중 노즐 토치의 단점을 보완하고 아르곤 가스를 효율적으로 사용하기 위한 GMA 용접용 토치 구조로서 Fig.1(b)에 보인 보조 노즐 토치 (auxiliary nozzle torch)를 제안하였다. 아르곤과 CO₂ 가스를 사용하는 이중 노즐 토치의 경우에 대한 아르곤 조성을 수치적으로 계산하였으며, 이중 노즐 토치와 보조 노즐 토치의 아르곤 조성을 가스 크로마토그래피 (gas chromatography)를 이용하여 측정하여 비교하였다. 편의를 위하여 이중 노즐 토치를 DMAG (Double gas-shielded MAG) 토치, 보조 노즐 토치를 AMAG (Auxiliary gas-shielded MAG) 토치로 부르기로 한다.

2. DMAG 토치에 대한 수치 해석 방법

두 종류의 기체가 혼합되는 현상을 정밀하게 해석하려면 기체에 대한 연속식과 운동식 및 확산식을 연계하여 계산하여야 하며, 아크용접에서는 아크와 온도의 영향을 고려하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 계산을 단순화시키기 위하여 계산 영역 내에 존재하는 아크와 온도의 영향을 무시하였으며, 가스의 흐름은 층류 (laminar) 유동으로 가정하였다. 가스의 밀도는 위치에 따라 변화하며, 혼합가스의 점성은 두 기체의 평균값인 상수로 가정하였다. AMAG 토치의 분위기

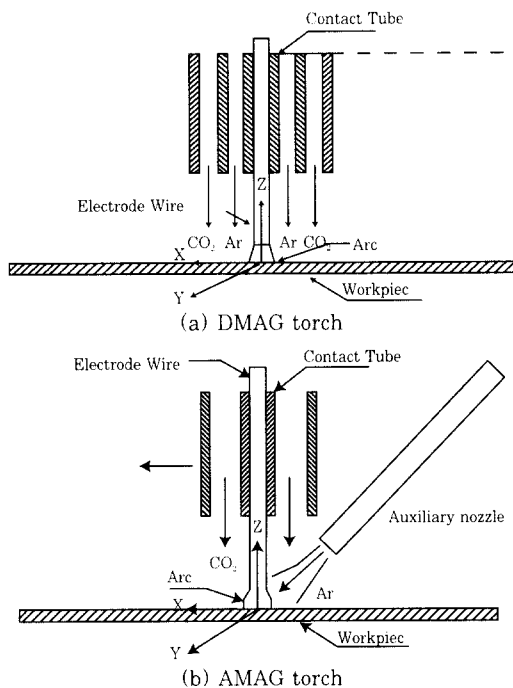


Fig.1 Schematics of DMAG and AMAG torch

가스는 3차원 유동으로 계산이 매우 복잡하기 때문에 본 연구에서 제외하였다.

축대칭 형상의 DMAG 토치에서 이종 기체가 혼합되는 현상을 계산하려면 아래의 연속식과 운동식 및 확산식을 풀어야 한다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho u_r)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D(\rho u_r)}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{D(\rho u_z)}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial Y_A}{\partial t} + u_r \frac{\partial Y_A}{\partial r} + u_z \frac{\partial Y_A}{\partial z} = D_{AB} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial Y_A}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 Y_A}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

이때, ρ 는 밀도, μ 는 점성, Y 는 질량분율 (mass fraction), D_{AB} 는 기체 A, B (아르곤과 CO₂ 가스) 간의 확산계수를 나타낸다. 두 기체의 확산계수는 Fuller 등이 제안한 실험식을 이용하여 계산하였다⁷⁾.

분위기 가스의 유동과 조성을 수치적으로 계산하기 위하여 Simpler 알고리즘을 이용한 EL2D 코드를 사용하였으며⁸⁾, 수치해석의 계산영역에 대한 경계조건을 Fig.2에 나타내었다. DMAG 토치에서 아르곤, CO₂ 및 공기의 3종류의 기체가 존재하지만, 본 연구에서는 아르곤과 CO₂ 가스만을 고려하였다. 초기조건으로 전체 계산 영역이 CO₂ 가스만으로 채워져 있으며 (아르곤의 초기 질량분율은 0), 가스 밀도는 아르곤과 CO₂의 평균 밀도로 설정하였다.

상온의 가스 물성치를 사용하여 수치 계산하면, DMAG의 전체 가스 유량이 4.5 liter/min 이상 증가하는 경우에 해가 발산하므로 가스의 유동은 층류에서 난류 (turbulent flow)로 변화하는 것으로 추정되었다. 일반적으로 GMA 용접에서 분위기 가스의 유량은 5 liter/min 이상을 사용하기 때문에 상온에서의 가스 유동은 난류 또는 층류와 난류의 천이 상태이지만, 난류 유동의 계산은 매우 복잡하다. 층류 상태의 유동에서 유동과 가스 조성을 계산하기 위하여 고온의 가스 물성치를 사용하였다. 이는 가스의 온도가 증가하면 밀도는 감소하고 점성은 증가하므로 Reynolds 수가 감소하여 층류 영역에서 계산이 가능하기 때문이다. 본 연구에서 Table 1에 나타낸 1000K의 가스 물성치를 사용하여 층류 상태에서 가스 성분을 계산하였다⁷⁾. 분위기 가스의 혼합 현상을 분석하기 위하여 유속에 의한 대류와 확산의 영향을 나타내는 무차원 수인 Solutal Peclet 수 (Pe_s)를 사용하였다.

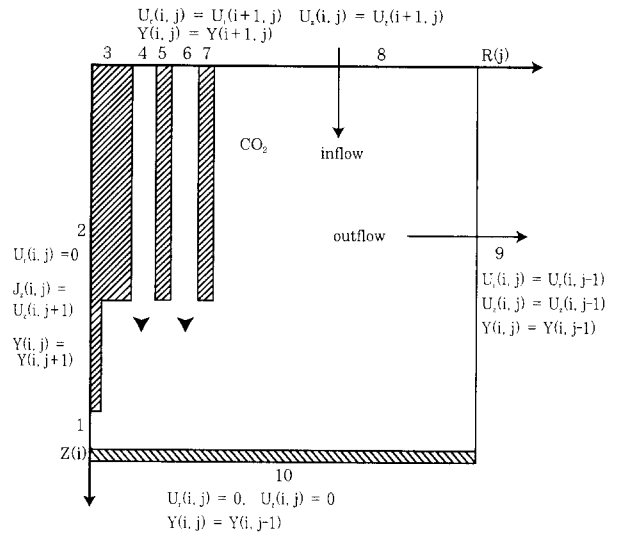


Fig.2 Boundary condition for DMAG torch

$$Pe_s = \frac{UL}{D_{AB}} \quad (4)$$

이때, U 는 유속, L 은 특정 길이 (characteristic length)를 나타낸다.

3. 가스 성분 측정 실험

AMAG와 DMAG 토치를 사용하여 발생하는 혼합 가스의 아르곤 성분을 가스 크로마토그래피를 이용하여 측정한다. 실험에 사용하기 위하여 제작한 DMAG 토치의 구조와 치수를 Fig.3에 나타내었으며, AMAG 토치는 일반 아크 용접 토치의 외부에 내경 6.5mm인 보조 노즐을 부착시킨 형태로서 보조 노즐의 방향과 위치는 조절할 수 있도록 설계하였다.

가스 성분을 측정하기 위하여 Fig.4의 실험 장치에 나타난 바와 같이 주사기 (syringe), 호스 인큐베이터, 펌프를 이용하여 특정 위치의 분위기 가스를 채집하였다. 채집된 가스로부터 가스 크로마토그래피를 이용하여 가스의 아르곤 조성을 측정하였다. 와이어 돌출길이는 14mm 이고, 와이어 끝은 모재면으로부터 5mm 높이에 고정하였다 (CTWD=19mm). AMAG

Table 1 Gas properties used for simulation (1000K, 1 atm)

Properties Gas	Density (g/cm ³)	Viscosity (g/cm · s)	Diffusion coefficient
Ar	0.48 × 10 ³	0.5 × 10 ³	
CO ₂	0.53 × 10 ³	0.401 × 10 ³	
Air	0.3482 × 10 ³	0.428 × 10 ³	
Ar/CO ₂		0.45 × 10 ³	1.27

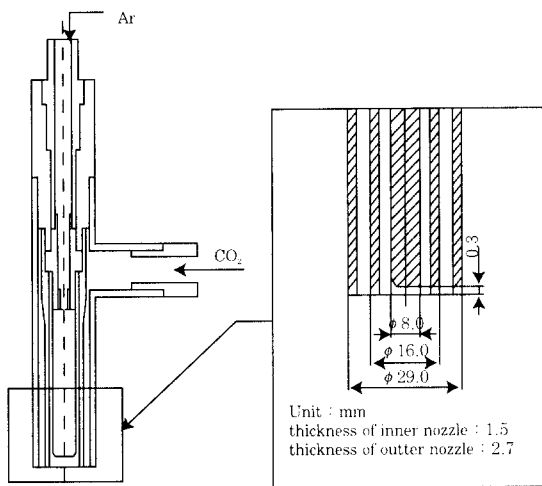


Fig. 3 Structure and dimension of DMAG torch

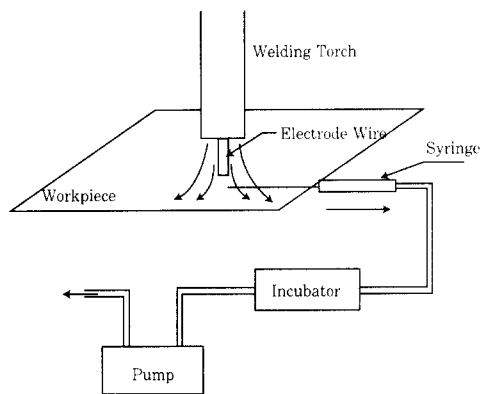


Fig. 4 Schematic diagram of gas composition test

토치의 경우, 보조 노즐의 끝은 모재의 중심으로부터 반경과 축 방향으로 각각 13mm 떨어진 위치에 고정시키고, 노즐의 방향은 와이어 끝을 향하도록 각도를 고정시켰다. 전체 가스 유량을 15-25 liter/min의 범위에서 변화시키며, 전체 가스 유량에 대한 아르곤 가스의 공급 비율을 변화시켰다. DMAG의 경우에는 축대칭 유동이므로 와이어 끝 부분과 와이어 축과 반경 방향을 따라 가스를 채집하였으며, AMAG의 경우에는 3차원 유동이므로 보조 토치의 전방 (front), 후방 (back) 및 측면 (side)의 3 방향에 대하여 가스를 채집하여 분석하였다.

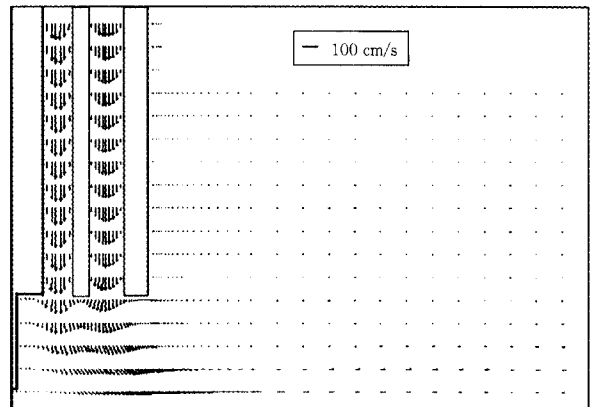
4. 결과 및 고찰

4.1 DMAG 토치의 계산 결과 및 비교

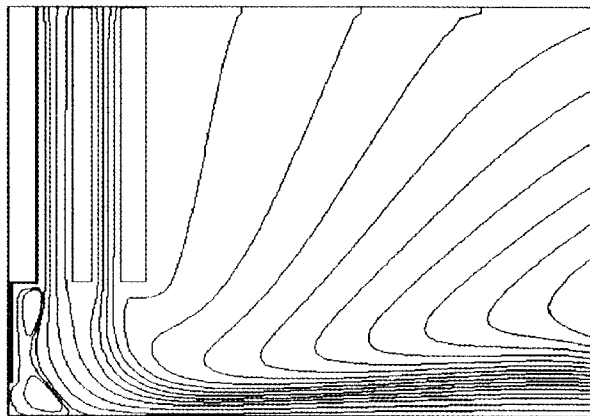
전술한 바와 같이 층류 상태의 가스 유동과 조성을 계산하기 위하여 1000K에서 아르곤과 CO₂ 가스의 물성치를 사용하였다 (Table 1). 전체 가스 유량이

20 liter/min이고 내부 노즐의 아르곤 가스 유량이 7 liter/min인 경우에 정상상태의 가스 유속과 유선 (stream line)을 계산한 결과를 Fig.5에 나타내었다. 토치 밑의 유속은 주로 축 방향 성분이지만, 모재면에 접근할수록 반경 방향의 속도 성분이 증가하였다 (Fig.5a). Fig.5(b)로부터 주위의 가스가 토치 밑으로 유입되며, 컨택 튜브(contact tube)와 와이어의 끝 부분에서 회전 유동이 발생하는 것으로 계산되었다.

Fig.5와 동일한 조건으로 계산한 아르곤 조성 (질량 분율)의 분포를 Fig.6에 나타내었다. 아르곤 조성은 내부 노즐의 반경 부근에서 급격히 변화하며, 모재 표면에 접근할수록 반경 방향의 속도 성분이 증가하므로 아르곤 조성은 반경 방향으로 퍼지는 분포를 나타낸다. 축방향 높이에 따른 반경 방향의 아르곤 질량 분포를 Fig.6(b)에 나타내었다. 모재 표면 (z=0)에서 반경 방향의 유속으로 인하여 아르곤 조성은 서서히 감소한다. 표면으로부터의 높이가 5, 10mm로 증가하면



(a) Velocity



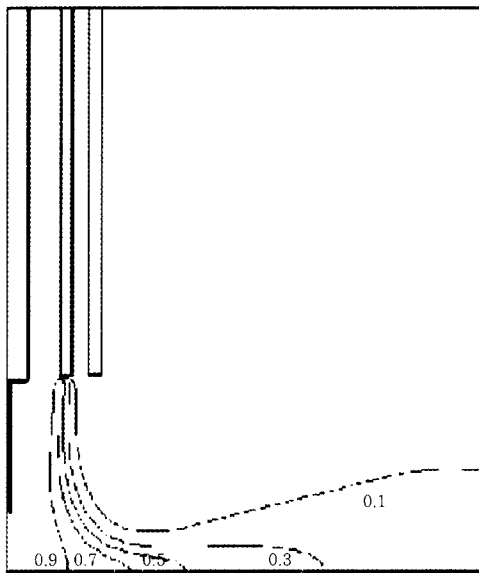
(b) Streamline

Fig. 5 Calculated velocity and streamline profiles of Ar and CO₂ gases for DMAG torch (20 liter/min, Ar ratio = 35%, CTWD = 19mm)

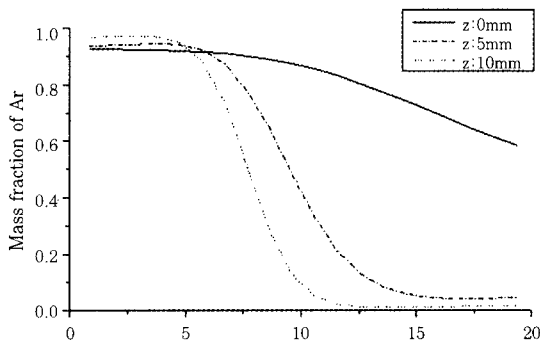
반경 방향으로 6mm 이상 떨어진 위치에서의 아르곤 조성은 높이가 증가할수록 급격히 감소하였다. 일반적으로 내부 노즐의 반경 범위에서 90% 이상의 아르곤 비율을 얻을 수 있는 것으로 계산되었으며, 내부 노즐의 크기와 가스 유동이 아르곤 조성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

DMAG 토치에서 전체 가스 유량이 15, 20, 25 liter/min이고 내부 노즐에서 분사하는 아르곤 가스의 체적비를 20-50%로 변화시키는 경우에 와이어 끝에

산으로 구한 유동은 고온의 층류이지만 실제 측정된 가스의 유동은 상온의 난류이기 때문이다. 층류 상태에서 가스의 혼합이 적게 발생하므로 아르곤 조성의 계산값이 측정값보다 높다. 또한, 수치 계산에서 1000K의 물성치를 사용하였고 실험은 상온에서 수행하였으므로 상당한 오차가 발생하였다. 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 비율이 동일한 경우에 전



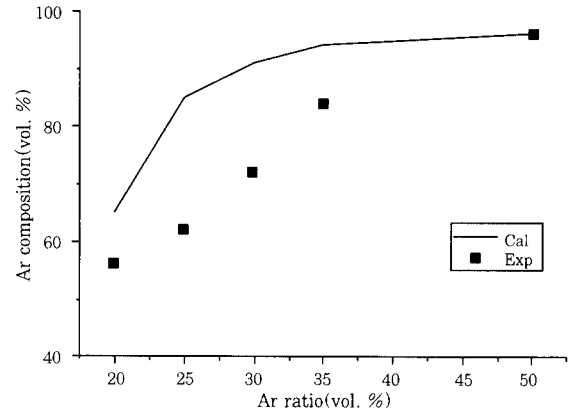
(a) Profile of Ar composition



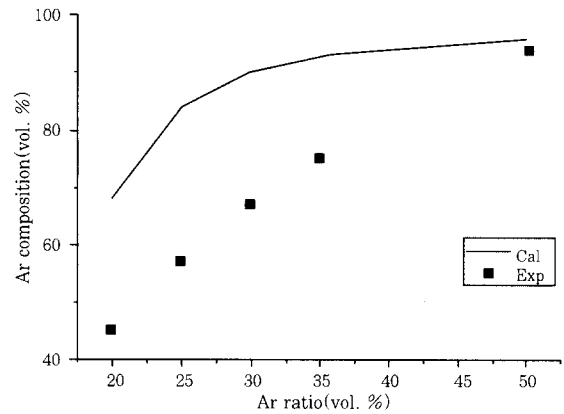
(b) Ar composition in radial direction

Fig. 6 Distribution of Ar composition for DMAG torch(20 liter/min, Ar ratio = 35%, CTWD = 19mm)

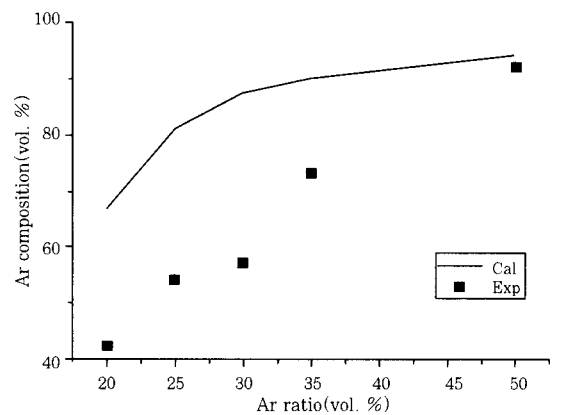
서 아르곤 가스 성분을 계산한 결과와 측정된 결과를 비교하여 Fig.7에 나타내었다. 실험과 계산 결과로부터 내부 노즐로 분사되는 아르곤 가스의 비율이 증가할수록 아르곤 조성은 증가하였다. 그러나 계산된 아르곤 조성은 측정 결과보다 높으며, 계산 결과와 실험 결과 사이에 상당한 오차가 발생하였다. 이는 수치 계



(a) Gas flow rate = 15 liter/min



(b) Gas flow rate = 20 liter/min



(c) Gas flow rate = 25 liter/min

Fig. 7 Effects of gas flow rate on Ar composition at wire tip for DMAG torch(distance from workpiece = 5mm, CTWD = 19mm)

체 가스 유량이 증가하면 와이어 끝에서 측정된 아르곤 조성은 감소하는 것으로 측정되었고, 계산 결과는 층류 상태의 유동이므로 큰 변화가 없다. 측정하는 경우에 가스의 유동은 난류 상태이므로 전체 가스 유량이 증가할수록 유속이 증가하여 난류의 영향이 증가하기 때문에 아르곤과 CO₂ 가스가 활발하게 혼합되기 때문이다. 전체 유량이 15, 20, 25 liter/min 인 경우에 아르곤 조성이 80% 이상인 분위기 가스를 얻으려면 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 체적비를 각각 32%, 40%, 45% 이상으로 증가시켜야 한다.

전체 가스 유량이 20 liter/min이고 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 비율이 20과 35% 인 경우에 모재 표면에서 와이어 축방향으로 높이를 변화시키며 계산한 아르곤 조성을 측정값과 비교하여 Fig.8에 나타내었다. 모재 표면으로부터 높이가 증가하거나 내부 노즐로 분사되는 아르곤 가스의 비율이 증가할수록 아르곤 조성은 증가하는 것으로 측정되었다. Fig.7의 추세와 같이 계산값은 실험값보다 크며 상당한 오차가 발생하였다. 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 비율이 20%인 경우에는 아르곤 조성의 측정값은 높

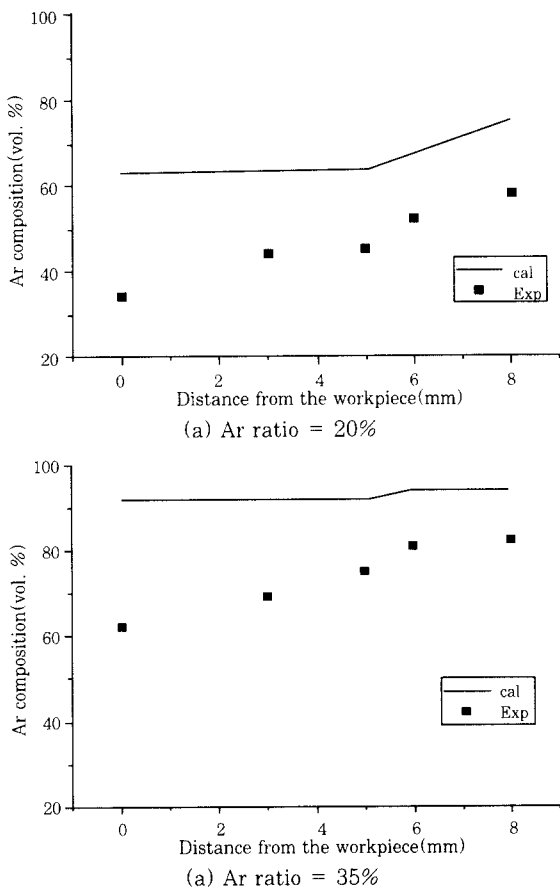


Fig.8 Ar composition in axial direction for DMAG torch

이에 따라 30-50%로 낮으며, 아르곤 가스 비율이 35%인 경우에는 60-80% 정도의 아르곤 조성을 얻을 수 있었다.

전체 가스 유량이 20 liter/min 이고 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 비율은 35%인 경우에 와이어 끝에서 (z=5mm) 반경 방향으로 측정된 아르곤 조성을 계산 결과와 비교하여 Fig.9에 나타내었다. 측정 결과, 반경 2mm 내에서의 아르곤 조성은 75%에서 82%로 증가하고, 반경 2-6mm 범위의 아르곤 조성은 82%로 일정하게 유지되며, 반경 6mm 이상 멀어지면 아르곤 조성은 급격히 감소한다. 반경 2mm 이내의 범위에서 아르곤 조성이 증가하는 이유는 Fig.5(b)에 나타난 바와 같이 와이어 끝 부분에서 회전 유동이 발생하기 때문이다. 회전 유동으로 인하여 모재 표면 부근의 아르곤 조성이 낮은 가스가 와이어 끝으로 이동하여 혼합되므로 와이어 끝 부분의 아르곤 조성이 주변보다 낮아지는 것으로 추정된다. 그러나 이 범위에서 계산에 의한 아르곤 조성은 일정하며, 이는 Fig.8(b)의 계산 결과에서 나타난 바와 같이 축방향의 아르곤 조성이 일정하므로 회전 유동이 아르곤 조성에 영향을 미치지 못하기 때문이다. 아르곤 조성이 급격히 변화하는 반경 6mm는 내부 노즐의 반경인 6.5mm에 해당하며, 이를 기준으로 아르곤 조성이 급격히 감소한다.

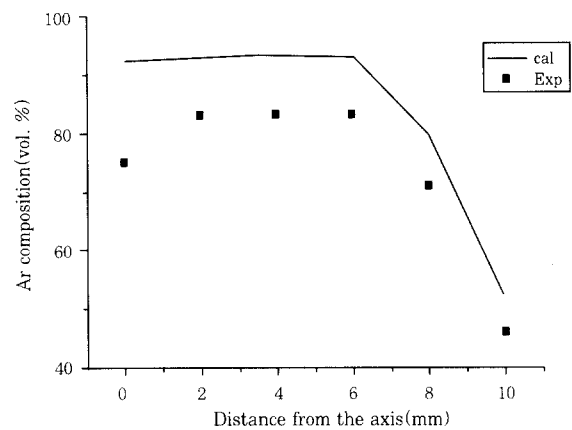


Fig. 9 Ar composition in radial direction for DMAG torch (20 liter/min, Ar ratio = 35%, distance from workpiece = 5mm, CTWD = 19mm)

DMAG 토치의 아르곤 조성에 대한 아르곤 조성은 가스의 유동과 내부 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 비율 및 내부 노즐의 직경에 의해 크게 영향을 받는다. 수치 계산과 실험 결과를 비교하면 상당히 큰 오차가 발생하였으며, 이는 계산에 사용된 조건이 실험과 다르기 때문이다. 그러나 계산 결과는 분위기 가스의 유동 패턴에 대한 정보를 제공하고 측정 결과를 설명하

는데 유용하며, 향후 난류나 3차원 유동 및 아크의 영향을 수치 해석에 포함할 수 있도록 보완하면 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

4.2 AMAG 토치의 가스 성분 측정 결과 및 비교

AMAG 토치를 사용하는 경우, 외부 노즐의 위치와 각도에 따라 상당히 많은 실험이 요구되므로 실험의 횟수를 줄이기 위하여 용접실험을 통하여 적절한 금속 이행과 용접 비드가 형성되는 외부 노즐의 위치와 각도를 이용하여 아르곤 조성을 측정하였다⁹⁾. 실험에 사용된 전체 가스 유량은 20 liter/min이며, 외부 노즐은 모재 표면의 중심에서 반경과 축방향으로 각각 13mm 떨어진 위치에서 와이어 끝을 향하여 아르곤 가스를 분사하였다.

전체 가스 유량이 20 liter/min이고 와이어 돌출 길이나 CTWD 등의 기타 조건은 DMAG 토치의 실험과 동일한 조건에서 외부 노즐에서 분사하는 아르곤 가스의 비율을 20%에서 50% 까지 증가시키며 와이어 끝에서 (z=5mm) 아르곤 조성을 측정한 결과를 Fig.10에 나타내었다. 측정결과 외부노즐에 공급하는 아르곤 가스의 비율과 무관하게 와이어 끝에서 95% 이상의 높은 아르곤 조성이 측정되었으며, 이와 같은 아르곤 조성은 동일한 조건에서 DMAG 토치를 이용한 측정 결과인 Fig.7(b)와 비교하여 매우 높다. AMAG의 아르곤 조성이 증가하는 것은 가스의 혼합이 이종 가스 간의 확산(diffusion) 보다 가스의 유속에 의한 대류(convection)에 의하여 영향을 받기 때문이다. 동일한 유량의 아르곤 가스를 내부와 보조 노즐로 분사하면 현재 사용하는 AMAG의 보조 노즐 내경이 DMAG의 내부 노즐 내경의 1/2 이므로 보조 노즐에서 분사하는 아르곤의 유속은 내부 노즐에서 분사하는 아르곤 유속의 4배가 되며, 식(4)에서 AMAG의

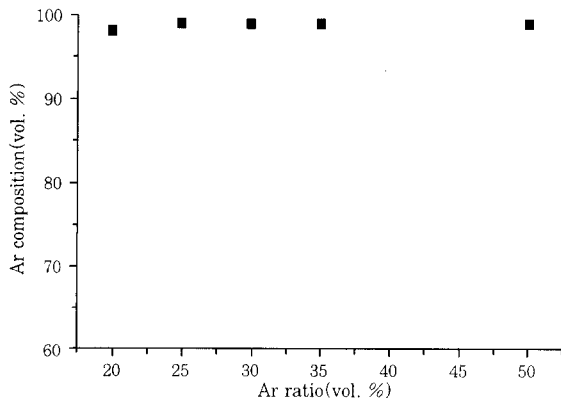


Fig. 10 Effects of Ar ratio on Ar composition at wire tip for AMAG torch (20 liter/min, distance from workpiece = 5mm, CTWD = 19mm)

Pe, 수도 특정 길이가 유사하므로 대략 DMAG의 4배가 된다. AMAG에서 유속에 의한 대류의 영향이 증가하므로 아르곤과 CO₂ 가스의 혼합이 감소하여 AMAG의 아르곤 조성이 증가하는 것으로 추정된다.

전체 가스 유량이 20 liter/min이고 외부 노즐로 공급되는 아르곤 가스의 비율이 30%인 경우에 모재 표면으로부터 와이어 축방향으로 측정된 아르곤 조성을 Fig.11에 나타내었다. 모재 표면으로부터 높이 6mm까지의 아르곤 조성은 98%로 매우 높지만 (와이어 끝부분 : 5mm), 그 이상의 높이에서는 아르곤 성분이 급격히 감소하였다. 그러므로 AMAG 토치를 사용하면 Fig.8의 DMAG 토치에 비하여 와이어 끝과 모재 표면에서 매우 높은 아르곤 조성을 얻을 수 있었다.

AMAG 토치는 DMAG 토치와 달리 3차원 유동이므로, 모재면에서 높이 5mm 인 xy 평면에서 (z=5mm) 보조 노즐에 대한 전방(front)과 후방(back) 및 측면(side)의 3 방향에서 채집한 아르곤 성분을 측정하여 Fig.12에 나타내었다. 중심축에서

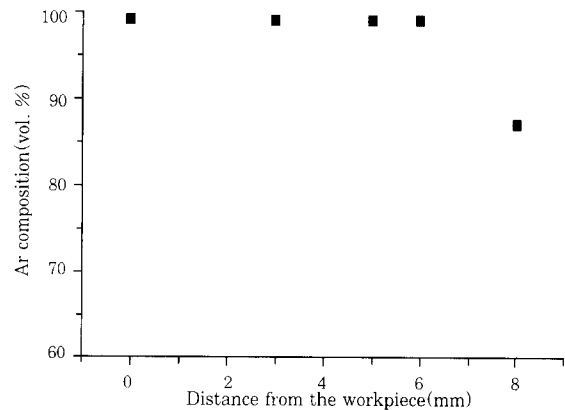


Fig. 11 Ar composition in axial direction for AMAG torch (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm)

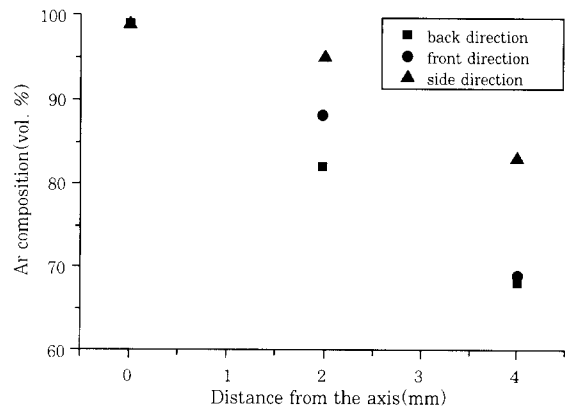


Fig. 12 Ar composition in 3 directions with respect to auxiliary torch (20 liter/min, Ar ratio = 30%, distance from workpiece = 5mm, CTWD=19mm)

멀어질수록 아르곤 조성이 감소하며, 후방, 전방, 측면 방향의 순서로 아르곤 조성이 서서히 감소하였다. 전방과 측면 방향에서 2mm 이내, 후방에서는 4mm 이내에서 80% 이상의 아르곤 혼합비를 얻을 수 있었다. 이와 같은 측정 결과로부터 용융풀의 아르곤 조성을 높이려면 보조 노즐을 토치 진행 방향의 뒤에 위치시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 일반적으로 AMAG 토치의 구조가 DMAG 토치에 비하여 단순하고 동일 조건에서 높은 아르곤 조성을 얻을 수 있으므로 AMAG 토치를 이용하여 효율적으로 아르곤 가스를 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

적은 양의 아르곤 가스를 사용하여 분위기 가스의 아르곤 조성을 증가시킬 수 있는 AMAG와 DMAG 토치에 대한 수치해석과 실험을 수행하였다. DMAG 토치의 경우, 상온에서 분위기 가스의 유동은 천이 또는 난류 영역이므로 1000K의 가스 물성치를 사용하여 층류 영역에서 가스의 유동과 조성을 계산하였다. 가스 성분의 분포는 가스 크로마토그래피를 이용하여 아르곤 성분을 측정하였으며, DMAG 토치에서 아르곤 조성의 계산 결과는 측정값보다 높았다. 이는 실제 가스 유동은 상온에서 난류 또는 천이영역이지만 수치 계산에서의 유동은 고온의 층류로 가정하였기 때문이다. 수치 해석은 2차원 층류 유동의 경우에만 제한적으로 적용할 수 있으므로 향후 3차원 난류와 아크의 영향을 포함하는 해석이 요구된다.

AMAG 토치에서 30%의 아르곤 가스를 사용하여 와이어 끝과 모재 표면에서 90% 이상의 높은 아르곤 조성을 얻을 수 있었으며, 동일한 조건에서 DMAG 토치에 비하여 높은 아르곤 조성을 얻을 수 있었다. 이는 가스의 혼합이 확산보다 유속에 의한 대류에 의하여 크게 영향을 받기 때문이다. 아르곤 조성 분포로부터 용융풀을 보호하기 위하여 토치 진행 방향의 후방에 보조 노즐을 설치하는 것이 바람직하다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 1998년도 과학기술 기초중점연구(1998-018-E00134)를 통하여 지원을 받았으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 집합 및 용접편람, 대한용접학회(1998)
2. B. Irving: Trying to make some sense out of shielding gas, *Welding Journal*, Vol.73, No.5(1994), pp.65-70
3. N. Stenbacka, K.-A. Persson: Shielding gases for GMAW, *Welding Journal*, Vol.68, No.9(1989), pp.41-47
4. I. Masumota, M. Kutsuna, M. Abraham: Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding, *Transaction of the Japan Welding Society*, Vol.19, No.2(1988), pp.38-44
5. I. Masumota, M. Kutsuna, M. Abraham: Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding using flux cored wire, *Transaction of the Japan Welding Society*, Vol.19, No.2(1988), pp.45-51
6. E.I. Okupnik, S.N. Zhiznyakov, F.E. Doroshenko: Arc welding in a shielding gas in wind (review), *Welding International*, Vol.7, No.7(1993), pp.550-553
7. R.C. Reid: *The properties of gases and liquids*, McGraw-Hill Inc.,(1997)
8. S.V. Patanka: *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill Inc.,(1980)
9. 문명철, 고성훈, 유중돈: 아르곤 가스를 효율적으로 사용하기 위한 GMA 용접 토치 구조: Part 2- AMAG와 DMAG 공정의 비교, *대한용접학회지* Vol 17, No. 6(1999) pp.38~pp.45