

# Tandem 용접 CO<sub>2</sub> 보호가스 사용량 감소를 위한 최적 토치 극간거리에 대한 연구

이준용<sup>1</sup> · 김일수<sup>2</sup> · 최영도†

(원고접수일 : 2011년 9월 30일, 원고수정일 : 2012년 1월 17일, 심사완료일 : 2012년 2월 17일)

## A Study on the Optimum Tandem Welding Torch Distance for the Reduction of CO<sub>2</sub> Shielding Gas Consumption

Jun-Yong Lee<sup>1</sup> · Ill-Soo Kim<sup>2</sup> · Young-Do Choi†

**요 약 :** 지구온난화의 주원인으로서 CO<sub>2</sub>가스 사용량 증가에 의한 온실효과가 전 세계적인 문제가 되고 있다. 특히, 조선산업 분야에서는 아크용접 시 보호가스로서 막대한 양의 CO<sub>2</sub>가스가 사용되고 있기 때문에 CO<sub>2</sub>가스 사용량을 감소시킬 수 있는 용접장비의 개발에 대한 요구가 커지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 보호가스 사용량을 감소시킬 수 있는 토치노즐의 최적형상 설계인자를 검토하기 위한 기초연구로서 Tandem 용접기 토치 극간거리에 따른 CO<sub>2</sub> 보호가스 분포에 대해서 CFD해석을 수행하였으며, 극간거리와 아크전류 공급량에 따른 용접성에 대해서도 실험적으로 검토하였다. 토치간 거리에 따라서 가장 효과적인 보호가스층이 존재하며, 최적의 극간거리를 정량적으로 결정함에 의해 CO<sub>2</sub> 보호가스의 적절한 사용에 의한 CO<sub>2</sub> 가스 사용량을 감소시킬 수 있다.

**주제어 :** 탠덤 용접, CO<sub>2</sub> 보호가스, 토치 극간거리, 비드 형상, 전산유체역학

**Abstract:** Shipbuilding industry has used a lot of CO<sub>2</sub> gas as a shielding gas for arc welding and thus, development of welding equipment which can reduce the amount of CO<sub>2</sub> gas is requested widely. Therefore, this study is focused on the examination of optimum welding torch distance of Tandem welding system as a fundamental study for the optimum shape design of torch nozzle. CO<sub>2</sub> shielding gas distribution and welding bead shape formation by the torch distance are examined. Results show that according to the torch distance variation, most effective shielding gas layer can be formed and quantitative determination of the optimum torch distance can result in the reduction of CO<sub>2</sub> shielding gas consumption.

**Key words:** Tandem welding, CO<sub>2</sub> shielding gas, Torch distance, Bead shape, CFD

### 1. 서 론

산업화 및 도시화의 진전으로 에너지원으로서 석탄 및 석유 등의 화석연료에 대한 소비가 늘어나게 됨에 따라 CO<sub>2</sub> 가스의 발생량도 급속하게 증가하고 있으며, 지구온난화의 주원인으로서 CO<sub>2</sub> 가스 발생량 증가에 의한 온실효과가 전 세계적인 문제가 되고 있다[1].

또한, 조선·해양산업 분야에서는 아크용접 시 용융금속을 대기로부터 차단하여 용융부의 산화 및 질화를 방지하기 위하여 Ar, He, CO<sub>2</sub> 등의 용접용 보호가스가 주로 사용되고 있다[2-4]. 특히, CO<sub>2</sub> 가스는 반응성이 매우 강한 가스이지만, 가격이 저렴하고 깊은 용입을 얻을 수 있기 때문에 연강이나 합금강 용접에서 100% CO<sub>2</sub> 가스를 널리 사용하고 있

† 교신저자(목포대학교 기계공학과, E-mail:ydchoi@mokpo.ac.kr, Tel: 061-450-2419)

1 목포대학교 대학원 기계공학과

2 목포대학교 기계공학과

다 [4].

그러나, 선박 및 해양구조물의 생산량에 비례하여 막대한 양의 CO<sub>2</sub> 가스가 사용되고 있기 때문에 조선소 등의 용접 관련 산업분야에서도 지구온난화에 대한 대책으로서 CO<sub>2</sub> 보호가스 사용량을 감소시킬 수 있는 용접장비의 개발에 대한 요구가 커지고 있으며, 함 등[5,6]은 가스력을 사용한 비드형상제어 TIG 용접에서 보호가스 노즐의 최적 형상에 대하여 연구를 수행하여 보호가스의 소모를 줄일 수 있는 친환경 용접기술을 개발하고자 하였다.

본 연구는 CO<sub>2</sub> 보호가스 사용량을 감소시킬 수 있는 토치 노즐의 최적형상 설계를 위한 기초연구로서 수행되었으며, 용접 생산성 향상을 위해 개발 중인 Tandem 용접기에서의 토치 극간거리에 따른 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 분포 및 용접 비드 단면 형상 변화에 대해서 검토하였다.

## 2. 실험 및 수치해석 방법

### 2.1 실험장치

Figure 1은 본 연구에서 채용한 Tandem 용접시스템의 실제 형상을 보이고 있으며, 일반적으로 현장에서 사용하는 가스 메탈 아크(GMA) 용접기 두 대를 사용하여 Interface module에 의한 선행 토치 및 후행 토치에 용접조건을 인가하는 방식으로 용접실험을 수행할 수 있도록 설계되었다. 실험에 사용된 용접기는 500A급 GMA용접기이며, 용접 시험편은 SS400 일반 구조용 압연강재를 사용하였다.

Figure 2는 Tandem 토치의 선·후행 토치 배치를 보이고 있다. Tandem 용접의 토치 노즐은 용접면에 수직인 선행토치(Torch 1)와 15°기울어진 후행토치(Torch 2) 2개의 토치 노즐로 이루어져 있으며, 토치 노즐의 길이는 72mm, 토치 노즐내경은 25mm, 토치 노즐내부의 가스 디퓨저 외경은 8mm, 팁 외경은 6mm이다. 선·후행 토치간의 극간거리는 용접 시 자기불림현상의 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며[4], 본 연구에서는 토치간 극간거리에 따른 보호가스층의 분포 변화를 확인하기 위하여 25mm, 35mm, 45mm의 3종류 극간거리를 채택하였다. 보호가스로는 100% CO<sub>2</sub>를 사용하였으며, 공급 유량을 18l/min로 설정하여 실험을 수행하였다. Table 1은



Figure 1: Tandem welding system using CO<sub>2</sub> shielding gas.

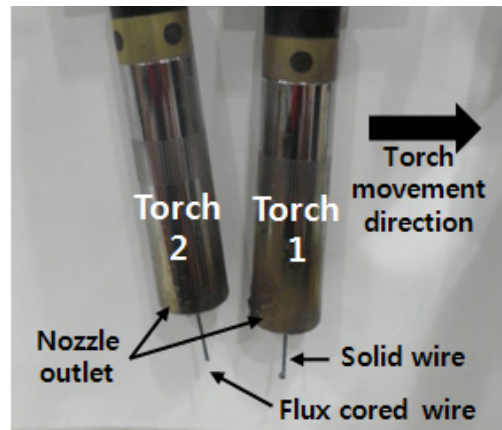


Figure 2: Tandem torch layout

Table 1: Test cases for tandem welding condition.

Test case	Torch current [A]		Welding speed	CR	Dist. [mm]
	Leading	Tail			
1	270	216	40cpm	0.8	25
2	270	216		0.8	35
3	270	216		0.8	45
4	270	270		1	25
5	270	270		1	35
6	270	270		1	45
7	270	324		1.2	25
8	270	324		1.2	35
9	270	324		1.2	45

선행 및 후행 토치 공급 전류비(Current Ratio, CR) 및 극간거리에 따른 실험조건을 보이고 있다.

총 9종류의 실험조건에 따라서 실험을 수행하였으며, 실험을 위해 설정된 노즐 컨택트 팁과 모재간 거리(CTWD)는 선행토치 15mm, 후행토치는 21mm로 설정하였다. 선행토치와 후행토치의 용가재 형태는 솔리드와이어와 플렉스 코어드 와이어를 각각 사용하였다.

2.2 수치해석법

Figure 3은 Tandem 용접기 토치 노즐 유동장에 대하여 작성된 계산격자를 보이고 있다. Tetrahedral 비구조 격자로 생성하였으며, 선행토치와 후행토치 사이의 극간거리가 25mm, 35mm, 45mm인 3가지 종류의 모델에 대하여 각각의 계산격자를 구성하였다. 노즐 내부 유로와 용융부 벽면 주위의 보호가스층이 형성되는 영역에는 격자 밀도를 상대적으로 크게 하였다.

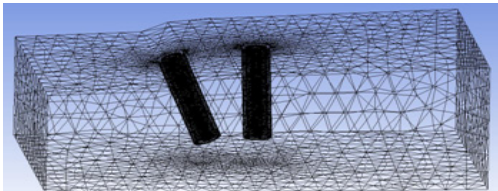


Figure 3: Numerical grid of tandem torch layout by 35mm nozzle outlet distance.

Table 2: Test cases for CFD analysis by torch distance and shielding gas flow rate.

Test case	Torch distance	Shielding gas flow rate of torch 1	Shielding gas flow rate of torch 2
Case I	25mm	18 l/min	18 l/min
Case II	35mm		
Case III	45mm		

Table 2는 CFD해석을 위한 토치 극간거리 및 CO<sub>2</sub> 보호가스 유량에 따른 계산조건을 보이고 있으며, 유동장 유입측인 선행토치와 후행토치 각각의 유입

부에 평균 유량의 CO<sub>2</sub> 보호가스를 동일하게 주입하는 것으로 설정하였다. CO<sub>2</sub> 보호가스의 온도는 25°C로 일정하게 설정하였으며, 토치 노즐 이외의 유동장 영역에는 25°C의 공기상태 조건으로 하였다. Figure 3의 전체 유동장에 대하여 경계조건으로서 토치 하단부 유동장 경계면 및 토치 노즐 내부, 가스 디퓨저는 벽면으로 가정하여 wall 조건을 부여하였으며, 토치 상단부 유동장 경계면과 그 외의 경계면에 대해서는 opening 상태에서 압력 0Pa 조건으로 설정하였다.

수치해석을 위한 solver로서는 상용 CFD 코드인 ANSYS CFX[7]를 사용하였고, 수치해석 결과의 계산격자 및 난류모델에 대한 의존성을 검토하기 위하여 토치 극간거리 35mm의 계산모델에 대하여 격자수를 다르게 설정한 2종류의 Tetrahedral 비구조 격자 및 난류모델로서 *k-ε* 모델과 *k-ω SST* 모델에 대해서 계산을 수행한 결과, CO<sub>2</sub> 보호가스의 분포에서 거의 차이가 없었기 때문에 계산기의 용량 및 유동장의 특성을 고려하여 계산격자 수 및 노드 수는 Table 2에서 적용한 3종류의 토치 노즐 극간거리에 대하여 각각 약 29만개 및 약 5만5천개 정도로 동일하게 설정하였으며, 난류모델로는 *k-ω SST* 모델을 적용하여 정상계산을 수행하였다.

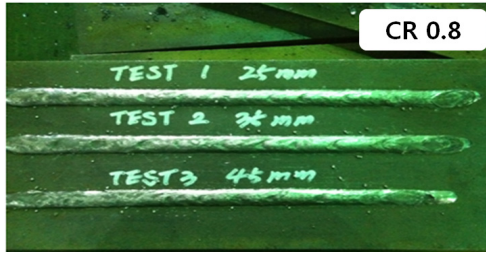
3. 결과 및 고찰

3.1 토치 극간거리에 따른 비드단면 형상

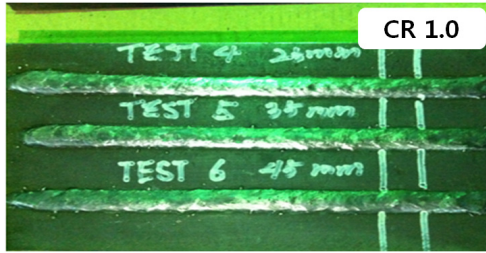
본 연구에서는 토치 극간거리에 따른 보호가스층의 분포를 검토하는 것이 주된 목표이며, 또한 토치 극간 거리에 따른 용접성도 중요한 검토 사항이기 때문에 Table 1의 실험조건을 적용하여 극간거리 및 전류량에 따른 실험을 수행하였다.

Figure 4는 토치 극간거리 및 전류에 따라 9개의 시험편에 대한 표면의 비드형상을 측정된 사진이다. 본 실험은 선행토치의 전류와 전압을 270A, 25V로 고정시키고, 후행토치의 전류를 변화 시키면서 실험을 수행하였으며, 선행토치와 후행토치의 전류비(CR)를 0.8, 1, 1.2로 변화시켰다.

일반적으로 선행토치는 용융부를 용융시키는 역할을 하며, 후행토치는 용융부에 많은 양의 용가재를 용착시키는 역할을 하게 된다.



(a) Welding current rate 0.8

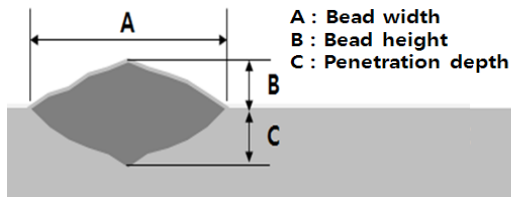


(b) Welding current rate 1.0



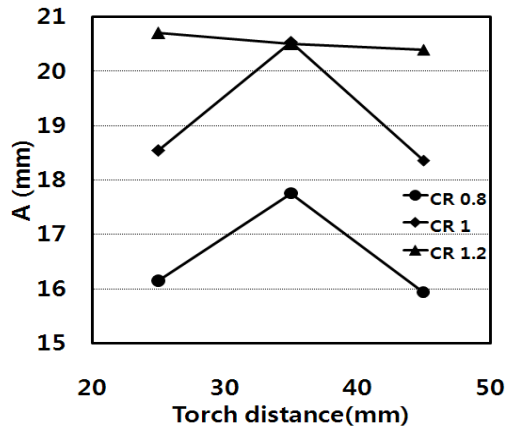
(c) Welding current rate 1.2

**Figure 4:** Welding specimen by welding current ratio CR and torch nozzle outlet distance.

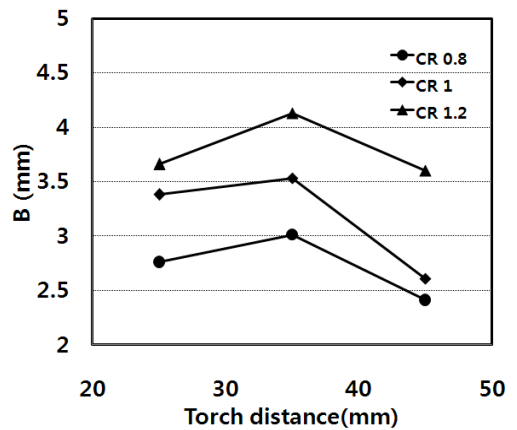


**Figure 5:** Cross sectional view of bead and its dimension.

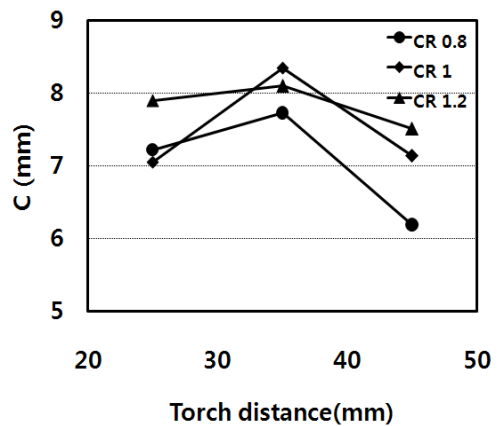
선행토치와 후행토치 사이에서 발생하는 자기불림현상은 용접 표면비드를 불균형한 형태로 용접이 진행되게 한다. 따라서, 선행토치의 전류량에 따른 Tandem 용접부에 작용하는 자기불림현상에 대해 검토하였다.



(a) Bead width A by torch distance



(b) Bead height B by torch distance



(c) Penetration depth C by torch distance

**Figure 6:** Welding bead shape variation by tandem welding torch nozzle outlet distance.

실험 결과 9가지 경우 모두 표면비드의 형상이 균일하며 외관상 결함을 나타내지 않고 있다. 전류-전압에 대한 파형 측정 결과에서는 용접결합을 일으킬 정도의 큰 변화는 발견되지 않았으며, 일반 Single torch CO<sub>2</sub> 용접에 비해 용접시간 및 용착량의 정도가 큰 Tandem 용접에서 25mm, 35mm, 45mm의 전극간 거리에서 자기불립현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

또한, 실험조건에 따른 비드단면 형상데이터를 추출하기 위하여 Figure 5의 추출표본에 대한 각각의 치수에 대하여 측정하여 검토하였다.

Figure 6은 Tandem 용접기 토치 극간거리 및 전류량에 따른 용접 비드 단면 형상 변화에 대해서 측정한 결과를 나타내고 있다.

토치 극간거리에 따른 비드 폭의 변화에 대해서는 뚜렷한 양상을 찾을 수 없으나, 비드단면의 높이와 용입 깊이는 토치 극간거리가 35mm일 경우 25mm 및 45mm에 비해서 현저하게 크게 형성되지만, 토치 극간거리가 45mm 이상인 경우 용입 깊이는 현저하게 감소함을 확인할 수 있다. 따라서, 토치 극간거리가 35mm일 때 상대적으로 안정된 단면형상을 나타냄을 알 수 있다.

한편, 전류비가 증가할 경우 표면비드 폭과 높이, 용입 깊이 모두 증가함을 확인하였으며, 용입 깊이의 경우, 폭과 높이의 증가량에 비해 낮은 증가 폭을 보이거나 대체적으로 미세하게 증가하는 것을 확인하였다.

### 3.2 토치 극간거리에 따른 CO<sub>2</sub> 보호가스 Volume Fraction 분포

GMA 용접에서 와이어가 아크의 높은 열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융풀로 이행하면 용융부와 아크는 가스노즐을 통하여 공급되는 보호가스에 의해 주위의 대기로부터 보호된다 [4]. 한편, Tandem 용접의 경우 2개의 용접 토치로부터 보호가스가 분사되어 용융부와 아크를 대기로부터 보호하게 되는데, 토치 극간거리에 따라서 CO<sub>2</sub> 보호가스의 최적분포 형상이 결정되기 때문에 최적 토치 극간거리를 결정할 수 있으면 상대적으로 적은 양의 CO<sub>2</sub> 가스를 사용하여 높은 품질의 용접 결과를 기대할

수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 Tandem 용접 토치 노즐에 동일한 양의 CO<sub>2</sub> 보호가스를 주입하여 토치 극간거리에 따른 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 분포에 대해서 검토하였다.

Figure 7은 토치 진행방향에 대하여 토치노즐과 용접면의 수직단면에서의 토치 노즐에서 분사되는 CO<sub>2</sub> 보호가스와 유동장내의 공기의 비율을 나타내고 있다. 100% CO<sub>2</sub> 가스 : Volume Fraction 1.0이며, 100% 공기 : Volume Fraction 0.0을 나타낸다. 토치 노즐 내부 유로에서는 완전한 CO<sub>2</sub> 가스이지만, 노즐 출구를 흘러나오면 공기와 반응하게 되어 용융풀과 접촉하는 부분에서는 순수한 CO<sub>2</sub> 가스층을 형성하지만, 용융풀에서 멀어질수록 공기와 혼합하게 되어 보호가스층이 얇아지게 된다. 그림에서는 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 Volume Fraction 간격을 0.2 단위로 구분하여 나타내고 있다.

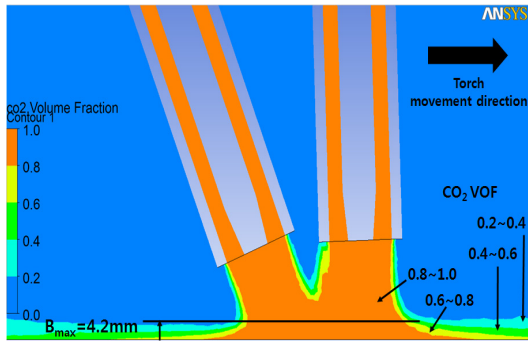
한편, 용융부에서 CO<sub>2</sub>가스가 보호가스로서의 역할을 하기 위해서는 최대한 공기와 용융부를 차단해야 하며, 보호가스 중에 공기의 함유량이 적게 포함되어야 좋은 용접 품질을 기대할 수 있으나, 보호가스와 공기의 정량적인 비율 및 용접성에 대한 참고 데이터를 확보할 수 없었기 때문에 본 연구에서는 Volume Fraction 0.8~1.0의 CO<sub>2</sub> 보호가스층 비율에서 양호한 용접 결과를 기대할 수 있는 것으로 가정하여 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 분포 범위를 검토하였다.

Figure 7(a)에서 토치 극간거리가 25mm(Case I)일 때 용접면으로부터의 최대 비드 높이는 Figure 6의 실험결과로부터  $B_{max}=4.2\text{mm}$ 인 것을 확인하였으므로, 토치 노즐로부터 분사되는 CO<sub>2</sub> 보호가스층 중 Volume Fraction이 0.8~1.0인 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 최대 높이와 최대 비드 높이를 비교해볼 경우, 2개의 토치 간 극간거리의 중간 지점에서 Volume Fraction이 0.8~1.0인 보호가스층의 최대 높이가 최대 비드 높이보다 훨씬 높은 위치까지 보호가스층을 형성하고 있음을 알 수 있다.

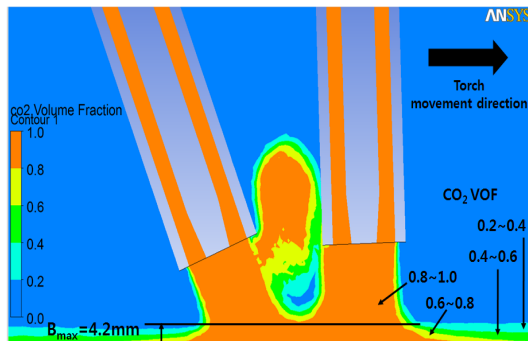
또한, Figure 7(b)의 극간거리가 35mm(Case II)인 경우에도 Volume Fraction이 0.8~1.0인 보호가스층의 높이는 최대 비드 높이와 거의 동일한 위치까지 형성되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 극간거리가

25mm 및 35mm에서는 CO<sub>2</sub> 보호가스층이 용융부와 대기 중의 공기를 효과적으로 차단하고 있는 것으로 판단된다.

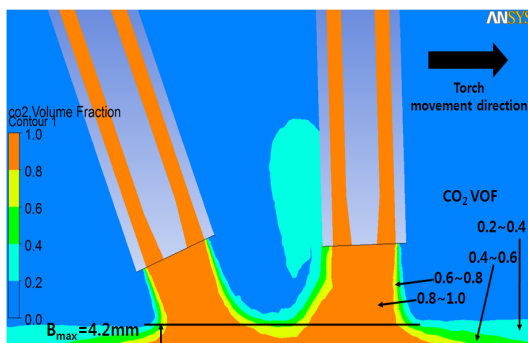
그러나, Figure 7(c)에서 토치 극간거리가 45mm (Case III)인 경우에는 Volume Fraction이 0.8~1.0인 보호가스층의 높이는 2개의 토치 극간거리 중간 지점에서 최대 비드 높이( $B_{max}=4.2mm$ )보다 낮게 형



(a) Case I

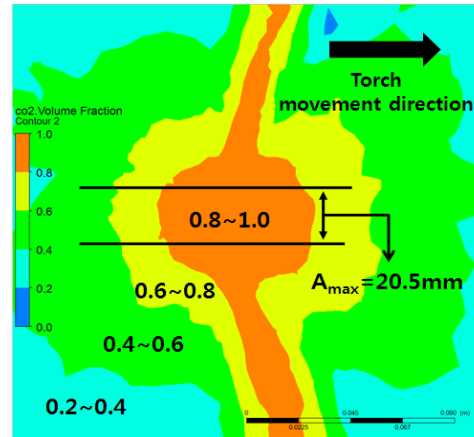


(b) Case II

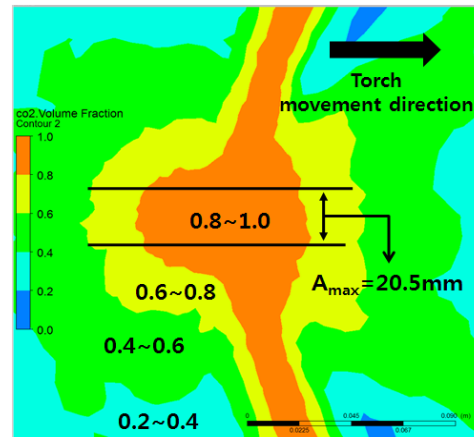


(c) Case III

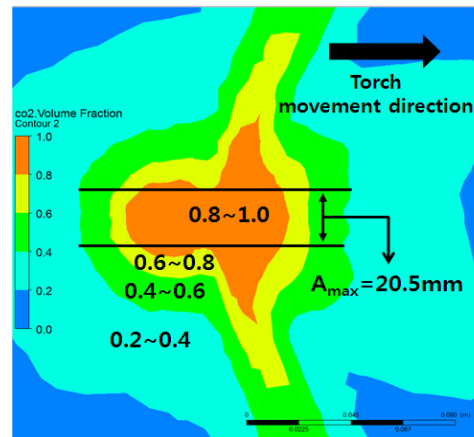
Figure 7: Cross sectional view of volume fraction contours by torch distance.



(a) Case I

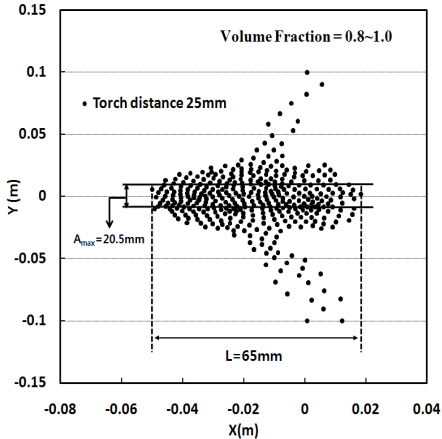


(b) Case II

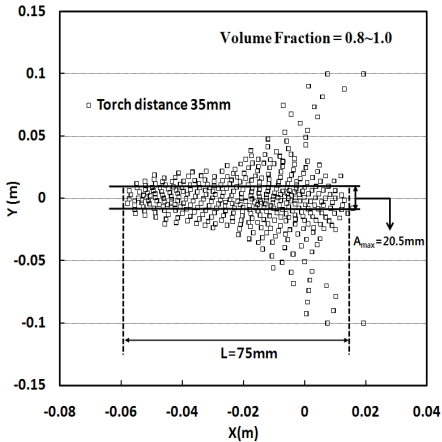


(c) Case III

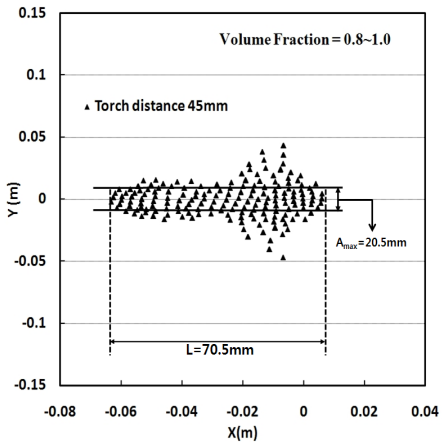
Figure 8: Plane view of volume fraction contours on the welding surface by torch distance.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

**Figure 9:** Shielding gas distribution length by torch distance (Volume Fraction=0.8~1.0).

성되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우 용융부와 아크가 공기와 접촉하게 되어 용접 품질이 불량하게 될 가능성이 높다고 판단된다.

Figure 8은 Figure 7의 유동장 수직단면에서의 CO<sub>2</sub> 보호가스층 Volume Fraction 분포에 대하여 노즐 상부에서 용접면을 바라볼 경우의 2개의 Tandem 용접 토치 노즐에서 분사된 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 Volume Fraction을 나타내고 있다.

각 극간거리에 따른 CO<sub>2</sub> 보호가스층의 평면 분포에서 Volume Fraction이 0.8~1.0인 보호가스층의 폭은 Case I과 II에서는 최대 비드 폭 A<sub>max</sub>=20.5mm보다 넓게 분포하기 때문에 양호한 보호가스 효과를 기대할 수 있으나, Case III에서는 2개의 Tandem 용접 토치 노즐 극간거리 중간 지점에서의 CO<sub>2</sub> 보호가스층 Volume Fraction이 0.8~1.0인 부분이 최대 비드 폭 A<sub>max</sub>와 거의 동일한 넓이의 보호가스층 폭을 형성하고 있기 때문에 용접이 이루어지는 환경에 따라서는 보호가스층이 용융부와 아크를 양호하게 보호할 수 없는 경우도 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, Figure 9는 Figure 8의 CO<sub>2</sub> 보호가스층 Volume Fraction 분포에서 Volume Fraction이 0.8~1.0인 부분만 표시한 것이며, 토치 용접 진행방향에 대해서 보호가스층 최대 길이(L)을 나타내고 있다. 보호가스층의 분포 면적은 각 토치 극간거리에 해당하는 보호가스층 면적에 대하여 계산격자의 해당 노드 위치에서의 점으로 표기하였다. 본 계산 결과에 의하면 3가지 토치 노즐 극간거리 중에서 극간거리가 35mm인 경우의 보호가스층 분포에서 길이방향 분포가 가장 넓은 것을 알 수 있다.

따라서, Figure 7과 8에서 Case III의 보호가스층 분포는 Case I과 II에 비해서 불량하였으며, Figure 9에서 Case II의 보호가스층 길이방향 분포가 Case I에 비해서 상대적으로 넓게 분포하기 때문에 본 연구에서 적용한 3가지 토치 노즐 극간거리 중에서 35mm인 경우의 보호가스층 분포가 가장 양호한 것으로 확인되었다.

이상의 연구결과로부터 토치간 극간거리에 따라서 가장 효과적인 보호가스층이 형성되는 극간거리가 존재하며, 본 연구에서는 토치 노즐 극간거리 25mm, 35mm, 45mm 중에서 극간거리 35mm의 경우

최적 보호가스층이 형성함을 확인하였다. 최적 극간 거리를 정량적으로 결정하고 노즐 형상을 최적화함에 의해 CO<sub>2</sub> 보호가스의 적정한 사용에 의한 CO<sub>2</sub> 가스 사용량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 보호가스 사용량을 감소시킬 수 있는 토치 노즐의 최적형상 설계를 위한 기초연구로서 Tandem 용접기에서의 토치 극간거리에 따른 용접성을 검토하였으며, 토치 노즐 유동장에 대한 CFD해석을 수행하여 토치 극간거리에 따른 보호가스층의 분포에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

토치간 극간거리에 따라서 가장 효과적인 보호가스층이 형성되는 극간거리가 존재하며, 본 연구에서는 토치 노즐 극간거리 25mm, 35mm, 45mm 중에서 극간거리 35mm의 경우 최적 보호가스층이 형성함을 확인하였다. 최적 극간거리를 정량적으로 결정하고 노즐 형상을 최적화함에 의해 CO<sub>2</sub> 보호가스의 적정한 사용에 의한 사용량의 감소가 가능할 것으로 판단된다.

선행토치의 전류량에 따른 Tandem 용접부에 작용하는 자기불림현상에 대하여 검토하였으며, 일반적인 단일 토치 CO<sub>2</sub> 용접에 비하여 용접시간 및 용착량의 정도가 큰 Tandem 용접에서도 일정한 거리의 극간거리를 설정할 경우 자기불림현상이 발생하지 않는다. 전류비가 증가할 경우 표면비드 폭과 높이, 용입 깊이는 모두 증가하고, 용입 깊이의 경우, 폭과 높이의 증가량에 비해 낮은 증가 폭을 보이나 대체적으로 미세하게 증가한다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참고문헌

- [1] 김경민, 조형희, “발전설비에서 CO<sub>2</sub> 저감에 에너지 효율 향상”, 기계저널, vol. 51, no. 5, pp. 28-53, 2011.
- [2] 정호신, “용융용접의 기초와 실제 (I) (탄산가스 반자동 용접의 원리와 특징),” 대한용접학회

지, 제19권, 제1호, pp. 6-7, 2001.

- [3] 정호신, “용융용접의 기초와 실제 (II) (아크용접용의 보호가스),” 대한용접학회지, 제19권, 제2호, pp. 138-141, 2001.
- [4] 대한용접·접합학회, 용접·접합 편람Ⅲ 공정 및 열가공, pp.7-77, 2007.
- [5] 함효식, 서지석, 최윤환, 이연원, 조상명, “TIG용접에서 가스력을 이용한 비드형상제어를 위한 실드가스 노즐의 최적 형상에 관한 연구(I) - 벤투리노즐의 설계 및 성능분석 -,” 대한용접·접합학회지, 제29권, 제3호, pp. 307-313, 2011.
- [6] 함효식, 서지석, 최윤환, 이연원, 조상명, “TIG용접에서 가스력을 이용한 비드형상제어를 위한 실드가스 노즐의 최적 형상에 관한 연구(II) - 벤투리노즐의 위보기 자세 용융금속제어 효과 -,” 대한용접·접합학회지, 제29권, 제3호, pp. 314-319, 2011.
- [7] ANSYS Inc., ANSYS CFX Documentation, Ver. 12, <http://www.ansys.com>, 2010

#### 저 자 소 개



##### 이준용(李俊勇)

1985년 10월생, 2010년 목포대학교 기계공학과 졸업(공학사), 2010년~현재 목포대학교 대학원 기계공학과 석사과정, 관심분야 : CFD, 풍력발전 블레이드설계, 신재생에너지.



##### 김일수(金一洙)

1958년 4월생, 1995년 호주 Wollongong 대학교 대학원 박사과정수료(공학박사), 1996년~현재 목포대학교 기계공학과 교수, 관심분야 : 용접자동화, 신재생에너지.



##### 최영도(崔永都)

1970년 6월생, 2003년 요코하마국립대학 대학원 박사과정수료(공학박사), 2009년~현재 목포대학교 기계공학과 조교수, 관심분야 : 유동계측 및 가시화, 신재생에너지, 유체기계