

## 고장력 강판의 CNC 가스 절단시 절단조건 변화에 따른 절단현상에 관한 연구

### A Study on the Cutting Phenomena in CNC Gas Cutting Under Various Cutting Conditions

김성일\*(대불대학교 정보응용학부)

Seong-Il Kim(Daebul Univ.)

#### Abstract

In the CNC gas cutting of steel plate, the cutting quality are strongly dependent on the various cutting conditions. The cutting tests of high tensile steel plate(AH36) were carried out using CNC gas cutting machine at various cutting conditions such as cutting speed, steel plate thickness, distance between tip and specimen etc. The kerf width and the surface roughness of cutting surfaces are examined. The photographs of cutting surface and cutting section are also analyzed.

#### 1. 서 론

조선공업에서 절단공정은 선박생산의 첫 단계로써 용접, 조립 등의 후공정을 위한 준비단계가 아닌 전체공정에서의 경제적인 측면 및 품질관리를 위한 핵심적인 작업으로 인식되어야 한다. 이는 선체를 구성하고 있는 모든 부재는 절단공정을 거쳐서 만들어지기 때문이며, 절단공정에서 표면거칠기 정도도 좋고 직각도와 평면도 등이 좋은 절단면 가공상태를 얻는다면 후공정 예를들면, 조립작업을 용이하게 수행할 수 있기 때문이다. 이런 좋은 절단면을 얻기 위한 절단공정에서는 적절한 절단조건 선택과 작업방법에 주의를 요한다<sup>1,2,3)</sup>.

절단가공 방법으로 열 에너지를 이용한 가스 절단 방법이 개발된 이래, 플라즈마, 레이저 절단

등 가공물의 다양성, 복잡성, 정밀성 등의 요구에 따라 여러 단계에 걸쳐 발달되어 왔고 연구가 진행되고 있다<sup>4,5)</sup>. 그러나 아직도 대부분 가스절단기를 사용하고 있고, 현장에서의 작업조건은 다양하여 작업자에게 의존하는 형편이며, 절단품질 향상을 위한 연구결과는 다양한 조건 때문에 거의 부족한 실정이다.

따라서 본 논문은 절단작업에 있어서 가장 고전적이면서 현장에서 많이 사용되고 있는 가스절단기 특히, 절단효율 및 능력의 향상을 위해 개발된 CNC 가스절단기를 사용하여 절단속도, 절단두께, 팁과 모재와의 거리 등 다양한 조건에서의 절단시 절단단면, 절단면의 형상 및 슬래그를 관찰하고, 절단면의 표면거칠기와 절단폭을 측정하여 절단현상을 규명하고자 한다.

#### 2. 가스절단

가스절단<sup>1)</sup>은 각각의 절단 특성에 적합한 여러 가지 토치를 사용하며, 팁에서 불어 나오는 산소-LPG 불꽃으로 산화가 일어나기 쉬운 온도(약 800~900℃)까지 예열한 뒤 순도가 높은 고압의 산소를 공급하면 산소가 닿는 부위에서 철은 연소하여 산화철이 된다. 이때의 산화철의 용융점은 강도가 낮음으로 용융과 동시에 고압의 산소가 이들 용융금속을 토치 반대편 방향으로 드래그(drag)라인을 따라 불어 내게 됨으로써 절단이 이루어진다(Fig. 1). 일단 절단이 개시된 후에는 강의 연소열과 예열불꽃의 가열로 인하여 연속적

인 절단이 가능해진다.

고속으로 양질의 가스절단을 하기 위해서는 고순도, 고유속의 가스를 절단 반응부에 집중적으로 공급하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 사용할 팁에 적절한 압력을 설정하여야 하며 팁과 모재와의 거리도 중요한 인자의 하나이다.

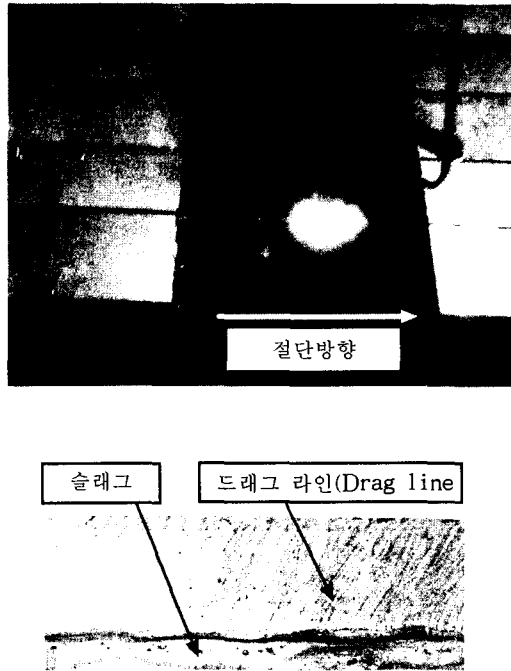


Fig. 1 CNC gas cutting process and drag line

Fig. 1에서 보듯이 절단산소의 분사흐름에 의해 배출되는 용융금속은 절단 전면을 흘러 판의 뒤쪽으로 배출되며, 일부는 절단홈의 측면벽으로 유입되어 응고됨으로써 절단면을 형성하고 절단면 아래쪽에는 슬래그(slag)를 남긴다. 이 때 드래그 라인(drag line)이라는 요철도 생긴다.

### 3. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 장치로는 산소-LPG를 사용한 CNC 가스 절단기 (ECONOGRAPH EG-3100N/H Hybrid-D11, Koikekorea(주)), 표면거칠기측정기(Surftest 301, Mitutoyo), 디지털카메라(FinePix4900Zoom, FUJIFILM)이고 자세한 사양은 Table 1과 같다.

사용된 시편은 선박에 사용되는 항복강도가 355 N/mm<sup>2</sup>, 인장강도가 490 N/mm<sup>2</sup> 인 고장력 강판(AH36)이며, 강판두께는 12와 14mm 2종류를 사용하였다. 시편의 크기는 200mm×1000mm (W×L)로 하였다. 실험에 사용한 절단 팁(Tip)은 스트레이트(Straight)형 No. 1을 사용하였으며, NC절단기의 산소압력은 4.5kg/cm<sup>2</sup>, LPG 압력은 1kg/cm<sup>2</sup>, 예열시간은 21.6sec 로 하였다. Photo. 1은 실험에 사용된 CNC 가스절단기 및 컨트롤러를 보여준다.

Table 1 The specifications of experimental apparatus

CNC gas cutting machine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- duty oxy-fuel and plasma cutting</li> <li>- CNC controller : Hybrid-D11</li> <li>- Cutting speed :100~4000mm/min</li> <li>- Maximum cut length : 3100mm</li> <li>- Power : AC 100~440V, 0.74KVA</li> <li>- Rack &amp; pinion drive, single and dual side drive, both X and Y directions</li> </ul>
Portable surface roughness tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model : Surftest 301</li> <li>- Mitutoyo Co.</li> <li>- measuring range                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ra : 0.05~40μm</li> <li>* Rmax(Ry) : 0.3~160μm</li> </ul> </li> <li>- Cutoff length(λc) :0.25,0.8,2.5mm</li> <li>- Sampling length(L) :0.25, 0.8, 2.5, 8mm</li> </ul>
Digital camera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model : FinePix4900Zoom</li> <li>- Resolution : 2400×1800</li> <li>- Pixel : 4.3million</li> <li>- Focal distance : 35mm~210mm puls macro</li> </ul>

Table 2 Cutting conditions

Cutting speed (mm/min)	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900
Distance between tip and specimen (mm)	2.5, 3.5
Thickness of specimen (mm)	12, 14

팁과 모재와의 거리를 2.5와 3.5mm 2 단계로 하였고, 절단속도는 9 단계로 하였다. 자세한 절단 조건은 Table 2와 같다.

절단면 관찰과 절단폭을 정확하게 측정하기 위

하여 절단은 150mm까지로 하였고, 절단 윗쪽과 아래 쪽은 110mm위치에서 버어니어캘리퍼스로 측정하였다.

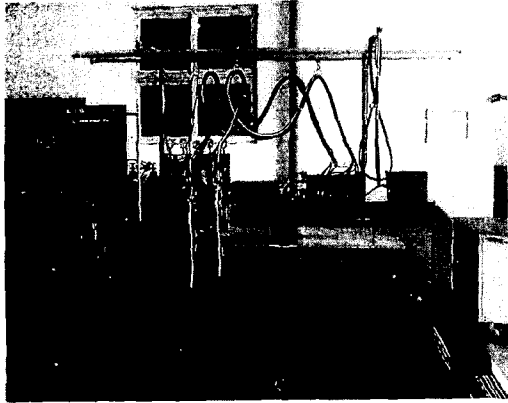


Photo. 1 CNC cutting machine

절단면과 절단단면을 보기 위해 예열시작 부위에서 100mm부위를 밴드쏘잉머신으로 절단하여 절단면과 절단 단면을 디지털카메라로 촬영하였다. 또한 절단면의 표면거칠기 측정은 이동형 표면거칠기 측정기로 Fig. 3의 Photo. area의 정해진 중앙 3곳의 위치에서 측정하였으며, 중심선 표면거칠기(Ra)와 최대 높이 표면 거칠기(Rmax)를 측정하였다.

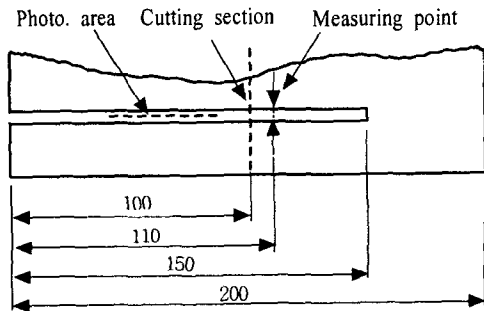


Fig. 3 The dimension and shape of specimen

표면거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 3으로 설정하였다. 따라서 표면거칠기의 traversing length는 start-up(1mm)를 포함하여 총 3.4mm가 된다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

Photo. 2는 팁과 모재와의 거리를 2.5mm로 고정시킨 상태에서 절단속도에 따른 절단면을 보여주는 것이며, 절단속도 700 mm/min까지 절단되었다. 강판두께가 (a)는 12mm, (b)는 14mm이다.

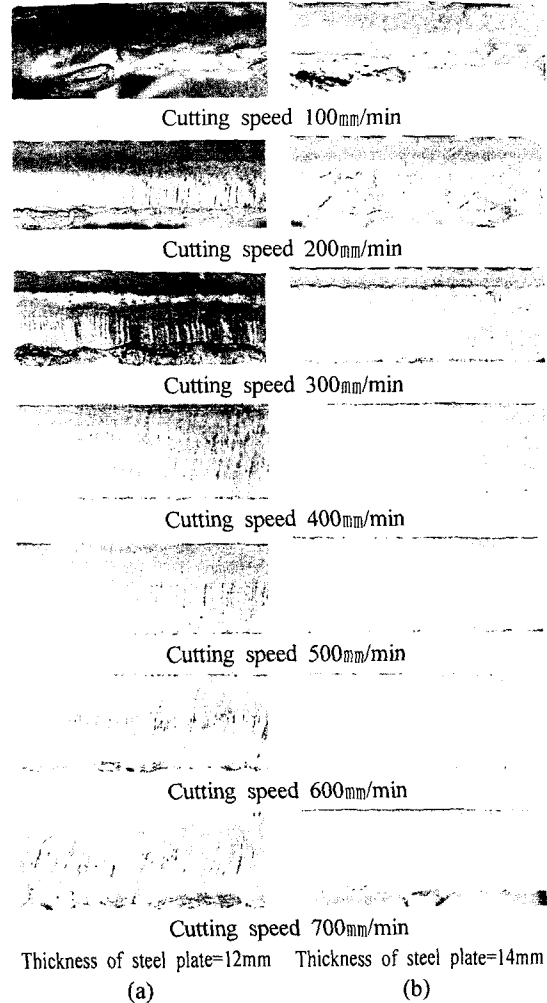
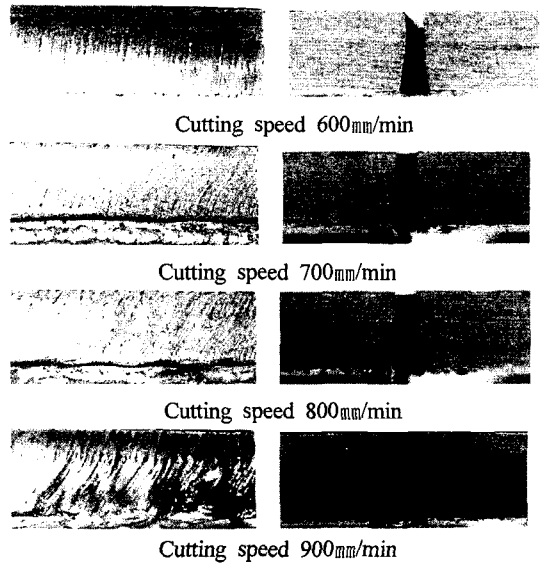
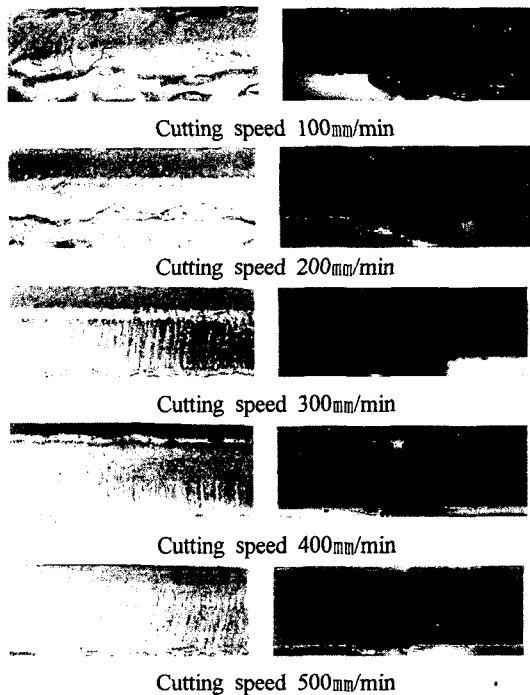


Photo. 2 Cutting surfaces at various cutting speed (Distance between tip and specimen=2.5mm)

사진에서 보면 강판두께에 따라 약간의 차이는 있지만 절단속도가 낮으면 절단면의 윗면이 많이 용융됨을 보여주고 있고, 속도가 증가함에 따라 절단윗면의 용융이 적어지고 드래그선이 보이기 시작한다. 속도를 더 증가시키면 절단윗면의 용융이 거의 없어지지만 절단 아랫면은 슬래그가

부착되고 있다. 또한 드래그선도 거칠어졌다.

Photo. 3은 팁과 모재와의 거리를 3.5mm로 고정시킨 상태에서 두께가 12mm인 고장력강판의 절단시 절단속도에 따른 절단면과 절단단면을 보여주는 사진이며, 절단속도 900mm/min까지 절단되었다. Photo. 2와 비교해 볼 때 같은 강판두께의 절단시 팁과 모재와의 거리가 2.5mm에서는 절단속도가 최고 700mm/min 였는데, 팁과 모재와의 거리가 3.5mm인 경우는 900mm/min였다. 이는 절단 팁과 모재와의 거리에 따라 절단속도가 차이가 남을 보여주고 있는 것이다. 절단표면의 사진인 (a), 절단단면 사진인 (b)에서 보면 낮은 속도에서는 윗면의 용융이 많아 V홈 형태로 되고, 속도가 증가함에 따라 윗면의 용융이 적어지고 드래그선이 보이기 시작한다. 최적의 속도 부근에서는 드래그선도 일정하며 아래면에 슬래그도 거의 없고 표면거칠기도 양호함을 볼 수 있다. 700mm/min 이상의 절단속도에서는 슬래그가 많아지고 표면이 거칠어지며, 평면도와 직각도도 불량해진다. 이는 절단산소기류가 확산되며, 측면벽으로 밀려가는 용융금속의 양이 증가하고, 슬래그의 유동이 불규칙하여 드래그선이 불규칙하기 때문이라 판단된다<sup>6,7,8)</sup>.



(a) Cutting surface (b) Shape of cutting section

Photo. 3 Cutting surface and shape of cutting section at various cutting speed  
(Thickness of steel plate=12mm,  
Distance between tip and specimen=3.5mm)

Photo. 4는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단 모재 두께 12mm의 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 사진을 보여주는 것으로, 절단속도가 낮을 때는 윗면의 용융이 많아 V홈 형상으로 절단되고, 최적조건 부근에서는 슬래그도 거의 없으며 절단단면의 직각도와 평면도도 양호한 편이다.

Fig. 4의 (a)는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 강판두께 14mm의 조건, (b)는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 강판두께 14mm의 조건에서 절단 윗 폭 (Width top of kerf,  $W_t$ ), 아래 폭 (Width bottom of kerf,  $W_b$ )과 절단속도와의 관계를 보여주는 것으로, 속도가 낮을 때는 윗폭이 넓고 속도가 빠를 때는 아래 폭이 조금 넓어짐을 볼 수 있다. 초기 절단 윗폭이 넓은 것은 절단속도가 늦어 절단 윗면의 용융이 많이 되기 때문이며, 절단속도가 빠를 때 절단 아래폭이 약간 넓어지는 이유는 절단속도가 빨라지면 절단 상부보다 절단하부로 갈수록 절단산소의 흐름이 저하되고 슬래그의 유동성도 불량하며, 절단산소의 기류가 퍼지기 때문이다.

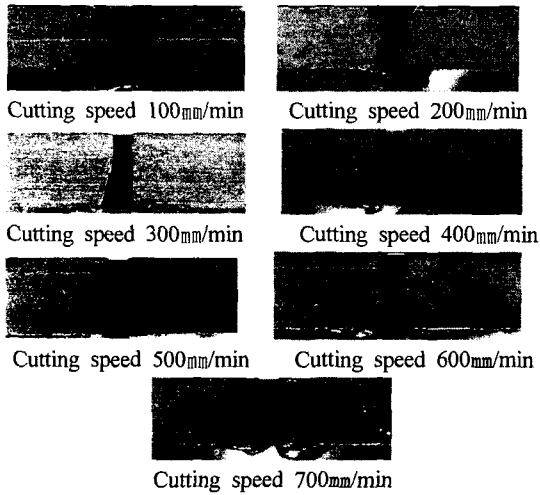
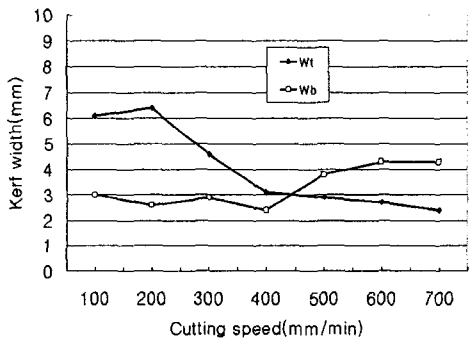
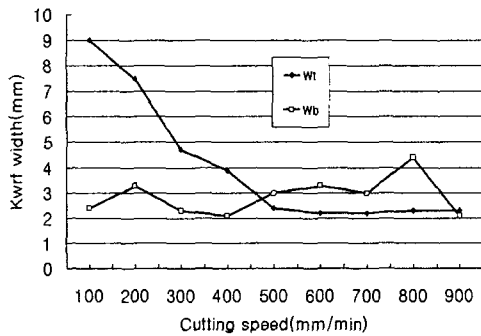


Photo. 4 Shape of cutting section at various cutting speed (Distance between tip and specimen =2.5mm, 12T)



(a) Distance between tip and specimen=2.5mm, 14T

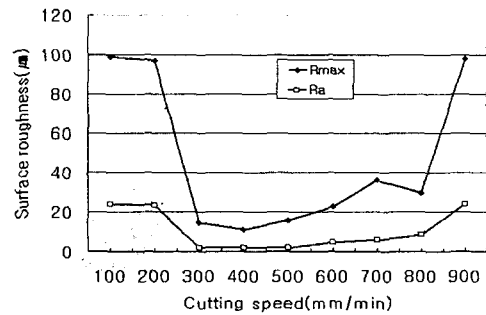


(b) Distance between tip and specimen=3.5mm, 12T

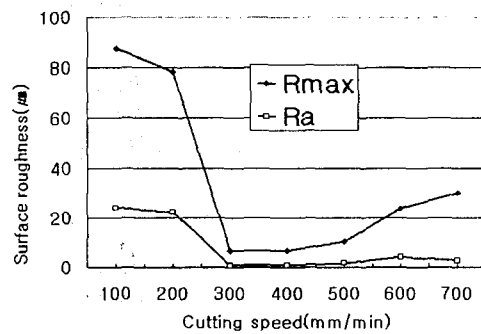
Fig. 4 Kerf width vs. cutting speed

Fig. 5는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 강판 두께 12와 14mm 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단면의 표면거칠기를 보여준다. 속도가 증

가할수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있다. 그러나 속도가 증가하면서 양호한 면을 보여주는 속도 이상에서부터는 슬래그의 부착이 증가함을 볼 수 있다. 12T에서는 900mm/min까지, 14T에서는 700mm/min까지의 속도에서 절단되었으며, 그 이상 절단속도를 더 증가시키면 절단되지 않는 한계속도가 있는데 이는 절단속도를 증가시키면 절단속도가 빨라 예열이 되지 않은 상태에서 절단이 시작되기 때문이고 또한 절단이 되더라도 멈추는 것은 절단홈의 상부의 연소에 산소가 많이 소비되고, 판의 하부에는 반응을 일으킬 수 있는 고순도의 산소가 공급되지 않기 때문이다<sup>1,3)</sup>. 그림 (a)의 데이터를 보면 절단속도가 낮을 때의 거칠기는 모재가 용융되어 측정할 수 없었고, 절단속도가 높을 때는 드래그라인이 거칠고 평면이 아닌 홈이 파여져 표면거칠기 측정값 이상으로 나와 측정이 불가능하여 표면거칠기 측정 한계데이터로 표시하였다.



(a) Distance between tip and specimen=3.5mm, 12T



(a) Distance between tip and specimen=3.5mm, 14T

Fig. 5 Surface roughness vs. cutting speed

Fig. 6은 팁과 모재와의 거리 2.5와 3.5mm 2

조건과 강판두께 12와 14mm 2종류 조건에서, 절단 윗폭(Width top of kerf, Wt)과 아래 폭(Width bottom of kerf, Wb)폭과의 비(Wt/Wb)를 절단속도에 따라 보인 것으로, 절단속도가 증가함에 따라 절단폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 1에 근접하며 속도가 더 증가하면 1이하로 작아져 거의 일정해진다. 절단단면, 절단면 거칠기, 슬래그 부착정도 등을 종합해 볼 때 절단폭 비가 1보다 약간 낮은 절단속도에서 절단면이 양호함을 볼 수 있었다.

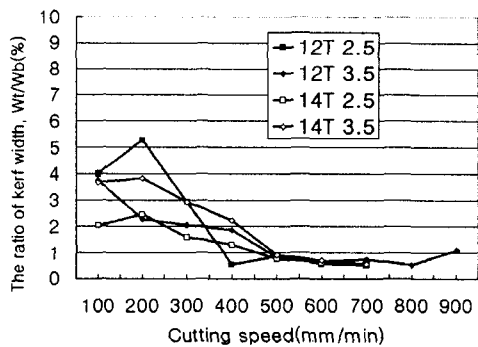


Fig. 6 The ratio of kerf width(Wt/Wb) vs. cutting speed (Distance between tip and specimen=2.5, 3.5mm, Thickness of steel plate=12T, 14T)

## 5. 결 론

이상의 결과를 종합해보면 양질의 절단면을 얻기 위해서는 팁과 모재와의 거리, 절단속도, 슬래그, 절단두께 등 다양한 절단조건을 고려해야만 한다.

- 1) 절단속도가 낮으면 절단윗면의 용융이 많아지고, 속도가 증가할수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있다. 양호한 면을 보여주는 속도 이상에서부터는 슬래그의 부착이 많아짐을 볼 수 있었다.
- 2) 절단면의 표면거칠기는 절단속도가 낮으면 윗면 용융이 불량하여 거칠지만, 속도가 증가함에 따라 양호해지고 속도가 더 증가하면 드래그라인이 길어지며 다시 거칠어진다.
- 3) 절단두께, 팁과 모재와의 거리, 절단단면과 절단표면 사진, 절단폭을 종합하여 볼 때, 절단폭 비가 1보다 약간 낮은 절단속도에서 절단

면이 양호함을 볼 수 있었다.

## 6. 참고문헌

1. 대한용접학회, “용접접합편람”, 1998, pp. 685~716
2. 대한조선학회 편, “선박건조공학”, 동명사. 1998, pp.140~149.
3. 김지은, 정수원, 박동환, “Gas절단과 절단품질에 대한 고찰”, 技術現代, Vol. 12, No. 3 pp.65-74, 1992.
4. 엄기원, 김동조, “플라즈마 아크를 이용한 판재료의 절단현상에 관한 연구”, 대한용접학회지 제9권 4호, 1991, pp.69~74
5. 한국찬, 나석주, “레이저 절단공정에서의 토치 경로생성에 관한 연구”, 대한 기계학회 논문집, Vol.20, No.6, pp. 223~231, 1996
6. 新版接合技術総覧編輯委員会, “新版接合技術総覧”, 株式會社産業技術Service center, 1994. pp. 511-526
7. 接合・溶接技術 Q&A1000編輯委員会, “接合・溶接技術 Q&A1000”, 株式會社産業技術Service center, pp. 778-787, 1999
8. 新版切断技術総覧編輯委員会, “新版切断技術総覧”, 株式會社産業技術 Service center, pp. 321-366, 1985