

# 고장력 강판의 CNC Plasma 切斷시 切斷面에 관한 研究

김인철\*, 김성일<sup>+</sup>

## A Study on the Cutting Surfaces in CNC Plasma Cutting of high tensile steel plate

In-Chul Kim\*, Seong-Il Kim<sup>+</sup>

### Abstract

The cutting tests of high tensile steel plate(AH36) were carried out using CNC plasma arc cutting machine. Both top and bottom width of kerf and the surface roughness(Ra, Rmax) of cut surface are measured under various cutting conditions such as cutting speed, steel plate thickness, etc. In the CNC plasma arc cutting, the surface roughness decreases as cutting speed increases. The hardness is high up to 4mm depth from the cutting surface. In the cutting speed 1300~2100mm/min, the ratio of proper kerf width(Wt/Wb) is around 2.6. Through the series of experiments, the satisfactory cutting conditions of high tensile steel plate were found.

**Key Words :** Cutting speed(절단속도), Kerf width(절단폭), CNC plasma arc cutting machine(CNC 플라즈마절단기), Top and bottom width of kerf(절단홈의 위와 아래폭), Surface roughness(표면거칠기), Distance between tip and specimen(팁과 모재와의 거리)

## 1. 서론

강판의 절단이 필요한 공정 중 특히, 조선소에서의 강판의 절단은 입열 관리가 어렵고 변형요인도 복잡해 절단 정도 관리에 대한 필요성은 대두되고 있다. 특히 절단능력의 향상이 요구되면서 현장에서 CNC 가스절단기가 보급되어 사용되고 있지만, 가스절단으로서의 한계성이 있어 절단능력을 향상시키기 위한 CNC 플라즈마 절단기가 유용하게 사용되고 있고 연구되고 있다. 이러한 연구들로는

여러 인자들의 영향을 정량적으로 조사하기 위하여 수치 해석에 의한 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 연구, 中西의 플라즈마의 예열점에 대한 연구<sup>(1)</sup>, 노태정은 플라즈마 절단시 아크 효율성과 절단 폭 연구<sup>(2)</sup>, 엄기원은 플라즈마 아크를 이용한 판 재료의 절단현상 연구<sup>(4)</sup>, 손석재 등의 선체외판 자동 생산 시스템의 시뮬레이션 기반 개발<sup>(5)</sup>에 관한 연구가 진행되었다. 그러나 이러한 자료로만은 구조용 재질에 관련한 절단 방법의 제시로써, 실제 선박 건조 현장에

\* 김인철, 대불대학교 대학원 기계공학과 (ickim@mail.daebul.ac.kr)  
주소: 526-702 전남 영암군 삼호면 산호리 72-1

+ 대불대학교 자동화기계공학과

사용되는 특수 부재, 즉 AH36과 같은 고장력 강판에 대한 절단시 적정 품질을 요구하는 조건의 자료로는 부족한 부분이 있고, 이러한 조건을 적용하기에는 어려움이 있어 같은 재질을 절단 할 때에도 절단 조건에 따른 차이점을 도출해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 선박건조 현장에서 많이 사용중인 고장력 강판(AH36)의 Plasma arc 절단시 절단속도, 부재 두께 등의 변화에 따른 절단면, 절단폭, 경도 등을 측정하고 절단면의 관찰 및 각 조건에 따른 절단면을 비교, 검토하였다

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 장치로는 플라즈마 기류를 사용한 CNC 플라즈마 절단기 (CNC plasma arc cutting machine), 표면거칠기측정기(Surfest 301, Mitutoyo), 디지털카메라(FinePix4900Zoom, FUJIFILM), 절단 폭을 측정하기 위한 디지털 버어니어캘리퍼스(Mitutoyo Co.), 절단 단면에 대한 열 영향부의 경도를 측정하기 위한 경도시험기 Rockwell hardness tester (DTR-200, Daekyung Co.)등이며 자세한 사양은 Table 1과 같다. 사용된 시편은 선박에 사용되는 항복강도가 355 N/mm<sup>2</sup>, 인장강도가 490 N/mm<sup>2</sup> 인 선체 건조용 고장력 강판(AH36)이며, 강판두께는 20, 23mm 2종류를 사용하였다. 시편의 크기는 150mm × 1000mm (W×L)로 하였다.

실험에 사용한 CNC 플라즈마 아크 절단기의 전류는 230A, 전압은 200V, 절단토치는 L.2(독일, Kjellberg Finsterwalde) 이고, 적용된 노즐은 20mm 이상에서 사용하는 No. 2이다. CNC절단기의 토치 화구 가스는 Air 110Psi, 2차 보조가스 O<sub>2</sub> 는 110Psi, 또한 팁과 모재와의 거리를 4.5mm 하였고, 절단속도는 1300~2100 mm/min 의 9단계로 하였다. 자세한 절단 조건은 Table 2와 같다. 절단면 관찰과 절단폭을 정확하게 측정하기 위하여 절단은 130mm까지로 하였고, 절단 윗폭과 아래 폭은 110mm위치에서 디지털 버어니어캘리퍼스로 측정하였다. 절단면과 절단단면을 보기 위해 예열 시작 부위에서 90mm부위를 밴드 쓰잉머신으로 절단하여 절단면과 절단 단면을 디지털카메라로 촬영하였다. 또한 절단면의 표면거칠기 측정은 이동형 표면거칠기 측정기로 Fig. 1의 Photo. area의 정해진 중앙 3곳의 위치에서 측정하였으며, 중심선 표면 거칠기(Ra)와 최대 높이 표면 거칠기(Rmax)를 측정하였다. 표면 거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 3으로 설정하

였다.

Table 1 The specifications of experimental apparatus

CNC plasma arc cutting machine	- Cutting speed : 100~4,000m/min - Maximum cut length : X= 4,500mm, Y= 30,000mm - Power : DC
Portable surface roughness tester	- Model : Surfest 301 - Mitutoyo Co. - measuring range * Ra : 0.05~40μm * Rmax(Ry) : 0.3~160μm - Cutoff length(λc) : 0.25,0.8,2.5mm - Sampling length(L) : 0.25, 0.8, 2.5, 8mm
Digital camera	- Model : FinePix4900Zoom - Resolution : 2400×1800 - Pixel : 4.3million - Focal distance : 35mm~210mm puls macro
Rockwell hardness tester	- Model: DTR-200 (Daekyung Co.) - Capacity : 150kgf

Table 2 Cutting conditions

Cutting speed (mm/min)	1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100
Distance between tip and specimen (mm)	4.5
Thickness of specimen (mm)	20, 23

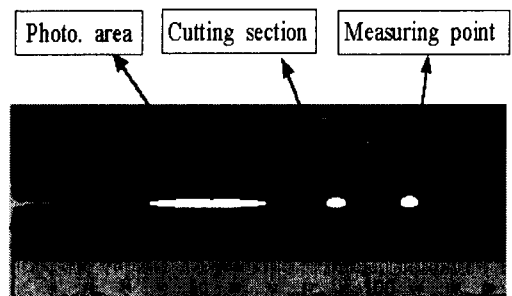


Fig. 1. The dimension and shape of specimen

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Cutting speed 변화에 따른 표면거칠기

양질의 절단면은 최소한 판의 뒷면에 절단 슬래그가 부착되지 않고, 부착되는 경우에도 쉽게 탈락될 수 있어야 한다.

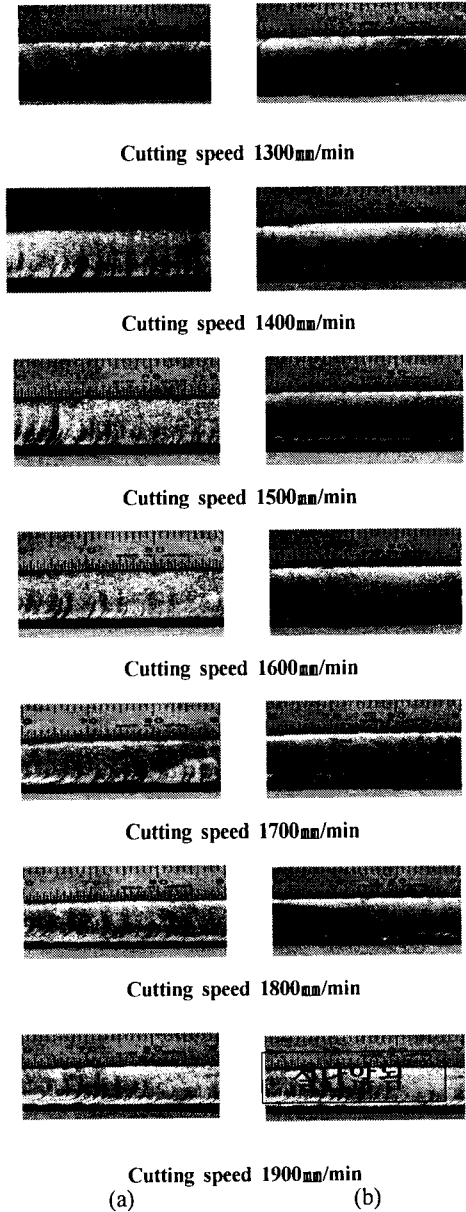


Fig. 2. Cutting surfaces at various cutting speeds (Distance between tip and specimen= 4.5mm)

또한 절단면의 성질은 절단면 윗 모서리의 용융정도, 평면도, 표면거칠기, 노치 유무, 슬래그, 진직도, 절단면의 각도인 경사각 등의 형상 요인에 따라 등급기준이 결정된다.

Fig. 2는 팁과 모재와의 거리를 4.5mm로 고정시킨 상태에서 절단속도에 따른 절단면을 보여주는 것이며, 절단속도 1300~1900mm/min까지의 절단면을 나타내고 있다. 강판 두께가 (a)는 20mm, (b)는 23mm이며, 모재 두께 23mm, 1900mm/min에서 절단이 중단되었다. 이는 절단속도가 빨라 예열이 되지 않은 상태에서 절단이 시작되기 때문이고, 상부 arc열원이 부족하기 때문이며 조건치의 한계속도임을 나타내고 있다. 시편의 절단면을 보면 절단 두께에 따라 약간의 변형시점이나 형상은 차이가 있지만 대체로 절단속도가 느리면 절단면의 윗면이 많이 용융되다가, 적정 조건에 도달하기 시작하면 윗면의 거친 용융부가 사라지고, 더 속도를 증가시키면 거친 드래그 선이 보이기 시작하고, 아랫면은 드로스가 부착되고 있다.

Fig. 3은 모재 두께 20mm에서 절단면의 표면거칠기 ( $R_{max}, R_a$ )와 절단속도와의 관계를 보여주는 것이다. 절단속도가 증가할수록 표면거칠기는 낮아지다가 절단속도 1400mm/min에서 양호해져가고, 가장 좋은 값을 얻을 수 있다. 이후 속도에서는 절단면과 같이 볼 때 다시 표면이 거칠어짐을 알 수 있었다.

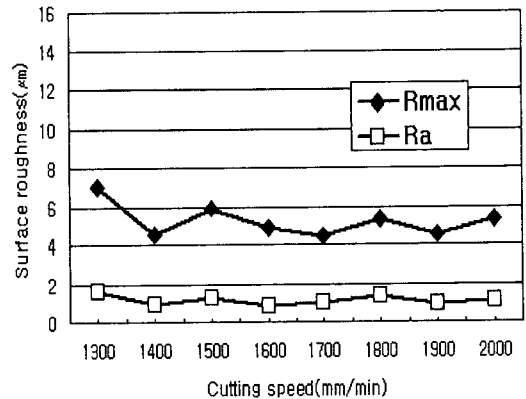


Fig. 3. Surface roughness vs. cutting speed (Thickness of steel plate= 20mm)

Fig. 4는 모재 두께 23mm일 때의 표면거칠기와 절단속도와의 관계를 보인 것이다.  $R_{max}$ 의 변동폭이 크고 1800mm/min에서 값이 낮아지나 1900mm/min의 절단 한계속도에 도달하기 때문에 20mm의 조건보다 적정하지 않음을

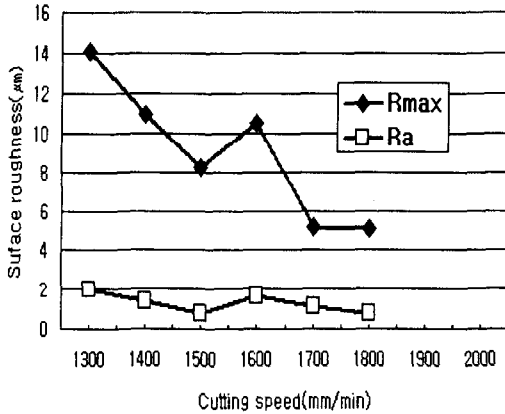


Fig. 4. Surface roughness vs. cutting speed (Thickness of steel plate= 23mm)

알 수 있다.

### 3. 2 Cutting speed 변화에 따른 직각도 및 경사각

플라즈마 절단은 기본적으로, 물리적인 플라즈마 열원에 의해 용융되기 때문에 열원에 가까운 절단 상부에 모재가 많이 용융되어 절단 경사각이 발생한다.

Fig. 5는 팁과 모재와의 거리 4.5mm, 모재 두께 20mm, 절단속도 1300~2100 mm/min의 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 사진을 보여주는 것으로, 절단초기에는 윗면이 넓고 속도가 빨라짐에 따라 윗면과 아랫면의 폭이 동시에 좁아지다가 아랫면이 먼저 단락된다. 이런 경사각은 토치와 부재 사이의 거리, 노즐 및 팁의 상태, 전압 및 가스의 압력 등에 영향을 받는다. 절단 속도가 빨라지면 모재의 아래쪽이 좁아져서 경사각이 더욱 증가하는 경향을 보인다. 따라서 V형의 경사각의 윗면 폭과 아랫면 폭과의 비율을 줄여야만 경사각을 낮추게 됨을 알 수 있다.

### 3. 3 Cutting speed 변화에 따른 Kerf width와 Wt/Wb비

Fig. 6은 절단속도 1300~2100mm/min, 팁과 모재와의 거리 4.5mm, 모재 두께 20, 23mm일 때 절단 윗 폭(Width top of kerf, Wt), 아래 폭(Width bottom of kerf, Wb)과의 관계를 보여주는 것이다. Wt는 20, 23mm를 비교했을 때 초기 간격이 4mm정도이고 속도를 증가할 수록 상부의 간격이 줄어든다. 또한 Wb는 2mm 폭에서 속도가 증가할 수록 Wt의 변화 폭보다 더 폭이 좁아짐을 알 수 있다. Wt가 Wb보다 2mm정도 넓고, 전체적으로 Wt보다 Wb가 속도에 반비례하는 현상이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 속도

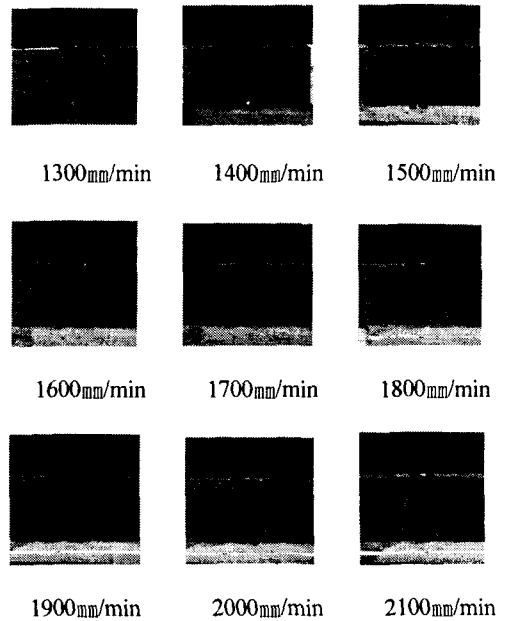


Fig. 5. Shape of cutting section at various cutting speed (Thickness of steel plate = 20mm)

증가에 따라 Wb가 플라즈마 기류와 arc 열, 투과율이 양호하지 못하기 때문이다. 절단속도 1300~2100 mm/min, 팁과 모재와의 거리 4.5mm, 강판두께 20과 23mm 2종류 조건에서, 절단 윗폭(Width top of kerf, Wt)과 아래 폭(Width bottom of kerf, Wb)폭과의 비(Wt/Wb)를 Fig. 7에 나타내었다. 절단속도가 증가함에 따라 절단폭 비(Wt/Wb)는 속도에 따라 더욱 증가하는데 특히 1500 mm/min에서 모재 두께 20, 23mm는 2.7정도로 같지만, 1600mm/min부터는 급격히 커진다. 또한, 23mm가 훨씬 높아지는 것을 알 수 있다. 따라서 절단폭 비는 이론적으로 보았을 때 1에 근접한 속도가 양호하다 볼 수 있으나, 본 실험 조건에서 절단단면, 절단면 거칠기, 절단폭, 드로스 부착정도 등을 종합해 볼 때 1400 mm/min조건이 양호한 조건이며, 절폭비는 절단 속도와 비례한 값을 나타냄을 알 수 있었다.

### 3. 4 플라즈마 절단면의 경도 변화

모재와의 거리 4.5mm, 절단속도 1300~2100mm/min, 모재 두께 20mm(a), 23mm(b)의 고장력 강판을 절단한 후 절단면의 중앙에서 3곳의 위치에서 경도를 측정된 그림 8

에서는 열 영향부의 경도 변화를 알 수 있는데, 절단면에서 가까운 부분은 경도가 높고 측정거리가 멀어질수록 점점 낮아지다가 4mm 이후에는 작은 변화 폭을 보인다. 이는 절단시에 부재가 국부적으로 가열되어 열 영향을 받아 고장력강판의 변태 점 이상으로 온도가 올라가 내부조직이 바뀌는

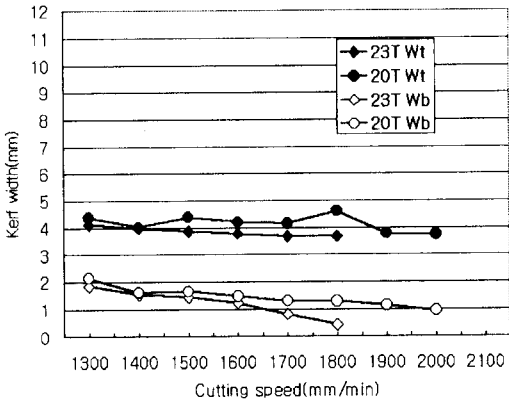


Fig. 6. Kerf width vs. cutting speed

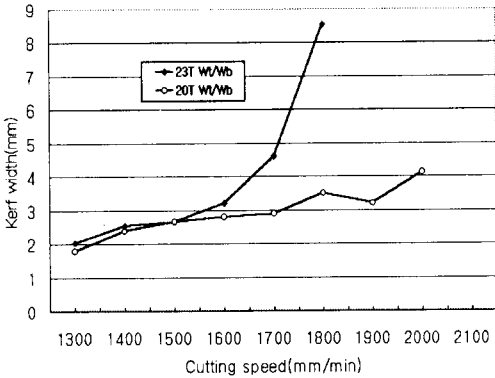
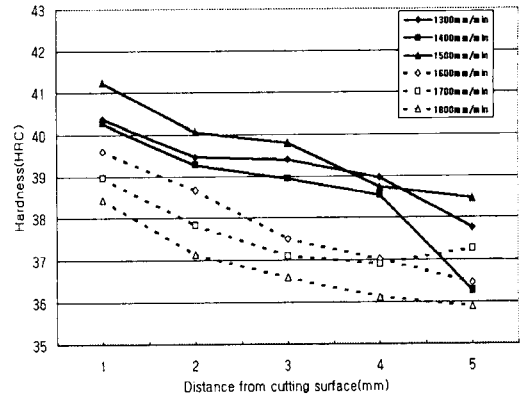
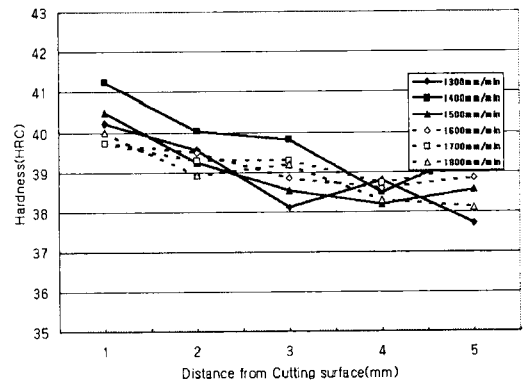


Fig. 7. The ratio of kerf width(Wt/Wb) vs. cutting speed

4.5mm) 특성으로 인하여 경화층 재질의 변화를 가져오고 특히 절단면 4mm의 거리까지에서 높은 경화부가 나타나는 현상을 알 수 있었다. 20, 23mm 모두 1800 mm/min에서 경도가 가장 낮음을 알 수 있는데, 빠른 절단속도에 따른 용입 열원의 퍼짐이 적고 고속 절단에 따라 경화부가 좁게 형성되는 현상을 볼 수 있었다.



(a) Thickness of steel plate= 20mm



(b) Thickness of steel plate= 23mm

Fig. 8. Hardness vs. distance from cutting surface (Distance between tip and specimen=

## 4. 결론

선박 건조 공정의 핵심 가공 기술인 절단공정에 있어서, 경제적 우수성으로 현재 많이 사용중이고, 절단 속도 및 품질에서 비교적 안정적인 Plasma arc 절단에 관한 실험을 통하여 선체구조용 고장력 강재(AH36)에 따른 양질의 절단면을 얻기 위한 연구로서, 절단조건 중에서 영향 요인이 크게 적용되는 팁과 모재와의 거리, 절단속도, 슬래그, 절단 두께 등 다양한 절단조건을 변화시켜 절단 강재의 품질 및 정도 문제를 규명하고자 실험한 결론은 다음과 같다.

(1) CNC plasma arc 절단 실험에서는 절단속도가 낮고 절

단 토치와 모재와의 거리가 같을 때는 부재가 얇을수록 절단 윗면이 과다 용융되고, 절단 속도가 빠를 때는 절단 아랫면에 드로스가 나타나며 불규칙한 절단 단면, 넓은 드래그 라인과 드로스 부착이 심하고, 드로스 발생은 절단 한계 속도에 비례한다.

- (2) 속도 증가에 따른 표면 거칠기 값은 속도에 비례관계를 갖지만 적정 속도 이상에서부터는 직각 절단이 어렵고, 드로스가 많아지며 거칠기도 양호하지 못하다.
- (3) 경도는 절단면에서부터 가까운 쪽이 가장 높고 서서히 낮아지다가 4mm이후 변화 폭이 작아지며 속도가 높을수록 경화정도가 낮다.
- (4) Wb는 모재가 두꺼울수록 낮아지며 따라서 절단폭 비 (Wt/Wb)는 속도에 비례하고 특히 1600mm/min이상에서는 급격히 커짐을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- (1) Nakanisi, 1977, *A Study on the plasma Cutting of Previous Heating Point*, Journal of Japan Welding Society, pp. 585~591.
- (2) Heung Kou, Seong-Il Kim, 2001, *Cutting and Assembly Technology*, Supporting Center of Shipbuilding Technology, pp.100~129.
- (3) T.J.Lho, S.J.Na, 1987, "Arc Efficiency and Kerf Width in Plasma Arc Cutting Process", *Journal of the Korean Welding Society*, Vol. 5, No. 1, pp. 23~33.
- (4) K.W.Um, D.J.Kim, 1991, "A Study on the Plasma Arc Cutting Phenomena of Plate Materials", *Journal of the Korean Welding Society*, Vol. 9, No. 4, pp. 69~74.
- (5) S.J.Sohn, J.G.Shin, 1999, " Simulation Based Design of an Automated Hull-piece Manufacturing System", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 36, No. 4, pp. 128~136.
- (6) Ji-On Kim, Su-Won Jung, Dong-Hwan Park, 1992, "A Study on the Gas Cutting and Cutting Quality", *Technical Hyundai, Hyundai Heavy Industries Co.*, Vol. 12, No. 3, pp. 65~74.
- (7) The Society of Naval Architects of Korea, 1998, *Shipbuilding Engineering*, dong myeong sa, pp.140~149.