

CNC 절단기를 이용한 강판의 절단특성에 관한 연구(1)

A Study on the Cutting Characteristics of Plate Steel using CNC Cutting Machine

김성일*(대불대학교 정보응용학부), 이중희(전북대학교 신소재공학부),
김태영(전북대학교 자동차신기술연구센터)

Seong-IL Kim(Daebul Univ.), Joong-Hee Lee, Tae-Young Kim(Chonbuk Univ.)

Abstract

In the cutting of plate steel, the quality of the cut surfaces is strongly dependent on the cutting conditions such as cutting speed, kerf width, plate thickness, length of tip-specimen and oxygen pressure etc. the cutting tests of plate steel were carried out using CNC gas cutting machine. this paper deals with cutting characteristics of plate steel using CNC cutting machine. the width of cutting entrance and exit, the surface roughness of cutting surfaces and the cutting surface are examined at various cutting conditions.

1. 서론

선박건조에 있어서 절단공정은 선박생산공정의 첫단계이고, 선체를 구성하고 있는 모든 부재는 절단공정을 거쳐서 만들어진다. 절단공정에서 가공물의 정확도 및 가공상태는 후공정 즉, 조립공정과 탑재공정에 큰 영향을 미쳐 생산성에 영향을 주므로 정도 높은 절단작업이 요구되고 있다^{1,2,3)}.

절단가공 방법으로 열 에너지를 이용하여 피절단재를 국부적으로 가열 용융 및 분리시키는 가스절단 방법이 20세기 초에 개발된 이래, 플라즈마, 레이저 절단 등 가공물의 다양성, 복잡성, 정밀성 등의 요구에 따라 여러 단계에 걸쳐 발달되어 왔다^{4,5)}. 현장에서 많이 사용되고 있는 가스

절단방법은 수동절단, 직선 및 곡선 반자동절단, NC절단으로 발달되어 왔다. 최근 절단의 자동화 및 절단능력의 향상을 위해 CNC 절단기가 개발되어 사용되면서 절단능력과 품질을 향상시키기 위한 연구가 요구되고 있다. 그러나 절단정도에 영향을 주는 요소, 즉, 절단조건이 너무나 다양하여 현장작업자에 의존하는 형편이고 이에 대한 자료도 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 선박 건조현장에서 많이 사용되고 있는 강판을 CNC 가스절단기를 사용하여 절단속도, 절단두께, 절단 팁과 모재와의 거리 등 절단조건을 변화시켜 절단하였을 때 절단면의 형상을 살펴보고, 절단면의 표면거칠기와 절단폭을 측정하여 절단특성을 규명하고자 한다.

2. 가스절단

1) 가스절단의 원리¹⁾

가스 절단은 순수한 산소와 가열된 금속의 화학적인 반응(산화)에 의하여 발생된 열이 그 금속을 녹여 내어 절단이 이루어지기 때문에, 연료가스 불꽃으로 피절단재를 반응에 필요한 온도 이상으로 유지시키는 것이 필요하다. 가스절단은 각각의 절단 특성에 적합한 여러 가지 토치를 사용하며, 절단부에 공급되는 산소와 절단면과의 사이에서 발생하는 고밀도의 화학 반응열을 이용하여 모재를 용융시키고, 고압의 산소가 이들 용융금속을 토치 반대편 방향으로 드래그(drag)라인을 따라 불어 내게 됨으로써 절단이 이루어진

다(Fig. 1). 또한 절단 홈의 형성 및 주위의 조직 구성은 Fig. 2와 같다. 절단은 B, C보다 반응밀도가 높은 A방향으로 진행된다.

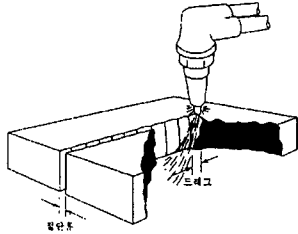


Fig. 1 Kerf width and drag in gas cutting

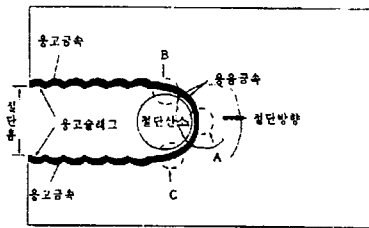


Fig. 2 The formation of cutting hole

또한 이러한 가스 절단법의 특성에 따라 대단히 두꺼운 부재도 절단할 수 있으며, 필요에 따라서는 여러 장을 겹쳐서 절단할 수도 있다.

가스절단의 종류로는 산소-아세틸렌, 산소-에틸렌, 산소-프로판, 분말절단이 있다. 이중 산소-프로판 절단은 예열의 경우 열이 퍼지는 경향이 있으므로 절단개시까지는 시간이 걸리나, 일단 절단을 시작하면 아세틸렌에 비해 절단속도가 빠르고, 슬래그의 유동성도 양호하며, 절단면도 깨끗하여 특히 두꺼운 물체의 절단의 경우에 아세틸렌절단보다 유리하다.

2) 가스절단의 특성

(1) 예열

표면을 깨끗이 연마한 연강판의 경우, 절단 능력은 저하되지만 예열 불꽃이 없더라도 절단 자체는 가능하다⁶⁾. 그러나 보통 판의 표면은 산화 스케일이 존재하거나 페인트 등이 도포되어 있기 때문에 예열불꽃의 사용이 필요하게 된다.

(2) 노즐 원압과 분류구조

고속으로 양질의 가스절단을 하기 위해서는 고순도, 고유속의 가스를 절단 반응부에 집중적으로 공급하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 사

용할 노즐에 적절한 압력을 설정하여야 한다.

(3) 절단면의 형성과 슬래그

Fig. 1에서와 같이 절단산소의 분사흐름에 의해 배출되는 용융금속은 절단 전면을 흘러 판의 뒤쪽으로 배출되며, 일부는 절단홈의 측면벽으로 유입되어 응고됨으로써 절단면을 형성하게 된다. 이 때 드래그(drag)선이라는 요철도 생긴다.

3) 자동 NC 가스절단기 특성²⁾

NC는 일종의 전용 컴퓨터로서 제어정보에 따라 토치가 이동하도록 되어 있다. 절단에 필요한 가스와 산소의 개폐 및 유량조절도 물론 제어되도록 되어 있다. NC gas절단기는 1961년 영국의 조선업에서 도입하여 computer에 의한 정보처리 기술의 발전에 따라서 각 국에 보급하여 1960년대의 후기부터 수직절단 뿐만 아니라 개선 가공, 고속마킹 등의 자동화가 급속히 진행되었고 그 특성은 다음과 같다.

- (1) 여러 개의 토치로 복수의 강판을 동시에 절단하여 절단능력이 향상되며, 또 절단개시에서 완료까지의 전체 가공정보가 컴퓨터에 들어 있기 때문에 작업자는 기계의 조작과 감시만을 하는 것으로 충분하여 대폭적인 성력화가 달성된다.
- (2) 수치로 제어하기 때문에 절단의 정도가 비약적으로 향상되어 후공정에 있는 조립 및 용접 자동화를 가능하게 한다.
- (3) 입력을 신속하게 할 수 있어서 형상이 다른 부재의 연속 절단이 가능하고, 조선처럼 다중 소량 생산에도 대량생산 방식이 적용할 수 있게 되었다.

3. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

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.

Table 1 The specifications of experimental apparatus

CNC cutting machine	<ul style="list-style-type: none"> - duty oxy-fuel and plasma cutting - CNC controller : Hybrid-D11 - Cutting speed :100~4000mm/min - Maxium cut length : 3100mm - Power : AC 100~440V, 0.74KVA - Rack & pinion drive, single and dual side drive, both X and Y directions
Portable surface roughness tester	<ul style="list-style-type: none"> - Model : Surftest 301 - Mitutoyo Co. - measuring range <ul style="list-style-type: none"> * 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	<ul style="list-style-type: none"> - Model : FinePix4900Zoom - Resolution : 2400×1800 - Pixel : 4.3million - Focal distance : 35mm~210mm puls macro

Table. 2 Cutting conditions

Cutting speed (mm/min)	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800
Length of tip-Specimen (mm)	2.5, 3.5
Thickness of specimen (mm)	12, 14

2) 실험 방법

본 실험에 사용된 시편은 일반구조용강이며, 크기는 200mm×1000mm(W×L), 두께는 12mm, 14mm 2 종류로 하였다. Photo. 1은 CNC절단기를 보여주고 있고, 실험에 사용한 절단 팁(Tip)은 No. 2를 사용하였다. NC절단기의 산소압력은 3.2kg/cm², LPG 압력은 1kg/cm², 예열시간은 21.6sec 로 하였다.

NC 절단기에서 팁과 모재와의 거리를 일정하게 하여 시편을 제작하였으며, 먼저 팁과 모재와의 거리를 2.5mm, 3.5mm로 하여 절단속도를 7 단계로 구분하여 절단하였다. 이 때 초기 절단부인 예열 부위의 절단면은 용융되어 넓게 퍼지므로 절단면과 절단폭을 정확하게 측정하기 위하여 반복실험 후 절단은 150mm까지로 하였고, 절단

입구와 출구의 폭은 110mm위치에서 버니어캘리퍼스로 측정하였다.

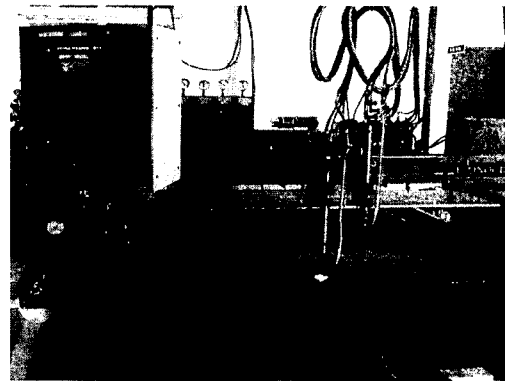


Photo. 1 CNC cutting machine

절단면과 절단단면을 보기 위해 예열시작 부위에서 100mm부위를 밴드쏘잉머신으로 절단하여 절단면과 절단 단면을 디지털카메라로 촬영하였다. 또한 절단면의 거칠기를 측정하기 위해 절단면을 이동형 표면거칠기 측정기를 사용하여 중심선표면거칠기(Ra), 최대높이 표면거칠기(Rmax)를 3곳의 위치에서 측정하였다.

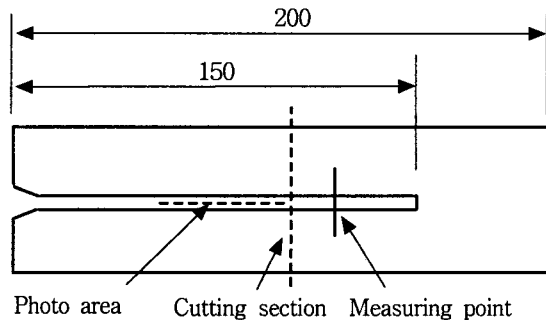


Fig. 3 The dimension and shape of specimen

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

양질의 절단면은 최소한 판의 뒷면에 절단슬

래그가 부착되지 않고, 부착되는 경우에도 쉽게 탈락될 수 있어야 한다. 또한 절단면의 성질은 절단면 윗모서리의 용융정도, 평면도, 표면거칠기, 노치유무, 슬래그, 진직도, 개선면의 각도 등의 형상 요인에 따라 등급기준이 결정된다¹⁾.

Photo. 2는 토치의 팁과 모재와의 거리를 2.5mm로 고정시킨 상태에서 절단속도에 따른 절단면을 보여주는 것으로, 절단두께가 좌측 (a)는 12mm, 우측의 (b)는 14mm이다.

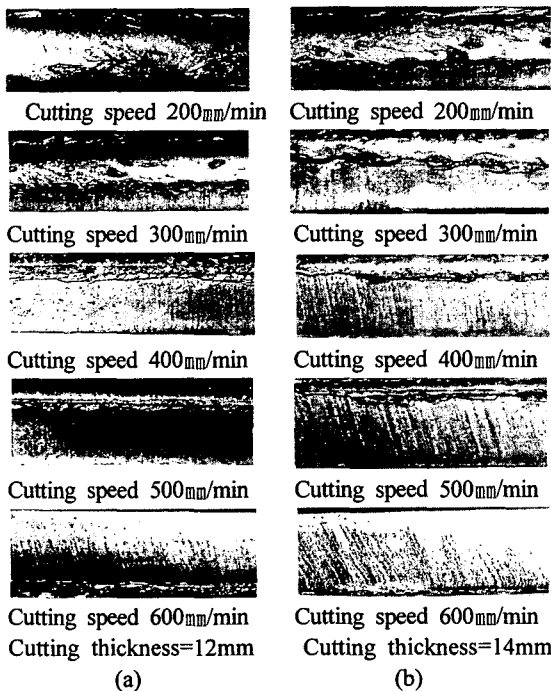


Photo. 2 Cutting surface at various cutting speed (Length of tip-specimen=2.5mm)

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

Photo. 3은 토치의 팁과 모재와의 거리를 3.5mm로 고정시킨 상태에서 절단속도에 따른 절단면을 보여주는 것으로, 절단두께가 좌측 (a)는 12mm, 우측 (b)는 14mm이다. 토치의 팁과 모재와의 거리를 2.5mm로 고정시킨 Photo. 2의 상태

와 비교하여 보면 12mm 강판의 경우 거의 유사한 경향을 보이고 있지만, 14mm의 경우는 속도 증가에 따라 윗면 용융이 빨리 없어지고 절단면 상태도 양호하며 아랫면의 슬래그도 적음을 볼 수 있다. 이는 절단면이 팁과 모재와의 거리에 영향이 있음을 보여주는 것이다.

14mm 강판의 경우 절단속도를 600mm/min 이상으로 하면 절단이 중단되었다. 이는 절단속도가 빨라 연속적으로 강판의 두께 전체를 뚫고 들어갈 수 없기 때문이다.

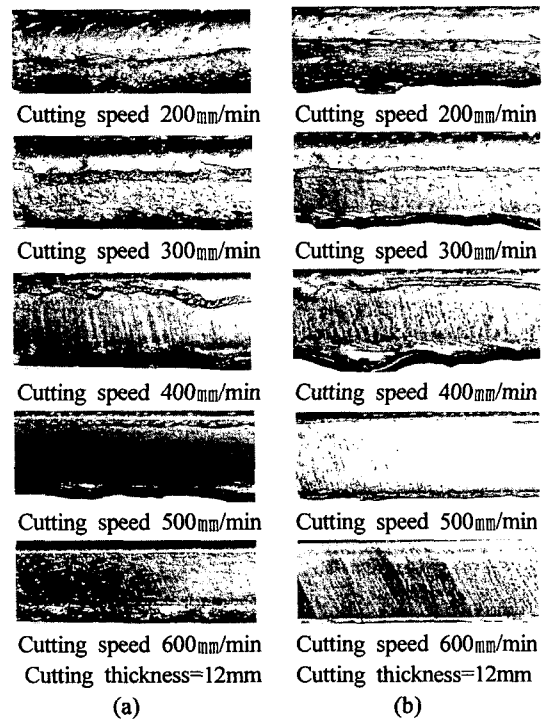


Photo. 3 Cutting surface at various cutting speed (Length of Tip-Specimen = 3.5mm)

Photo. 4는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단 모재 두께 14mm의 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 사진을 보여주는 것으로, 절단속도가 증가해 갈 때 절단 아랫면의 폭이 윗면의 폭보다 약간 넓음을 보여준다.

Fig. 4는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단 모재 두께 14mm의 조건에서 절단속도 변화에 따른 절단 윗면 폭(Entrance width, Wt)과 출구(Exit width, Wb)폭을 보여주는 것으로, 속도가 낮을 때는 윗면이 넓고 속도가 빠를 때는 아랫면

이 넓음을 볼 수 있다.

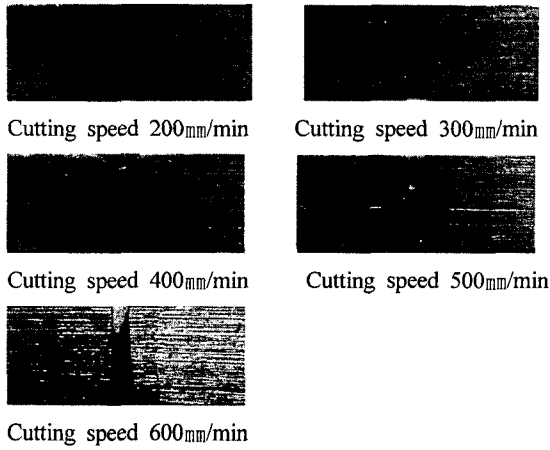


Photo. 4 Shape of cutting section at various cutting speed (Length of tip-specimen=2.5mm)

Fig. 5는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단 두께 12mm, Fig. 6은 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단두께 14mm의 조건으로 절단속도의 변화에 따른 절단면 표면거칠기를 보여준다. 속도가 증가할수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있다. 그러나 속도가 증가하면서 양호한 면을 보여주는 속도 이상에서부터는 슬래그의 부착이 증가함을 볼 수 있었다. 600mm/min이상 속도를 더 증가시키면 속도가 빨라 모재의 예열이 되지 않아 절단되지 않았다.

Fig. 7은 팁과 모재와의 거리를 2.5, 3.5mm, 절단모재 두께 12mm, 14mm 2종류 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 절단 윗면 폭

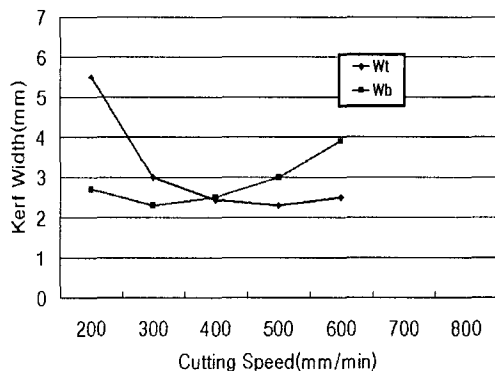


Fig. 4 Kerf width vs. cutting speed (Wt=Top width of kerf, Wb=Bottom width of kerf)

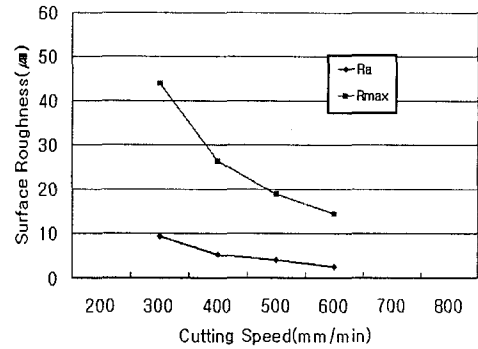


Fig. 5 Surface roughness vs. cutting speed (Length of tip-specimen=2.5mm, Cutting thickness=12mm)

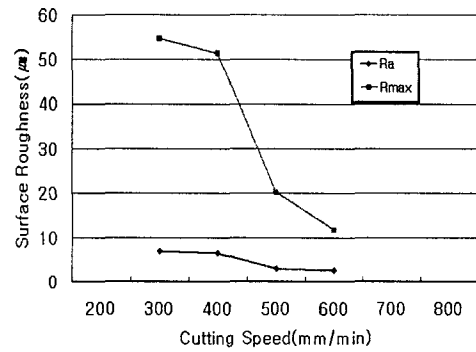


Fig. 6 Surface roughness vs. cutting speed (Length of tip-specimen = 3.5mm, Cutting thickness=14mm)

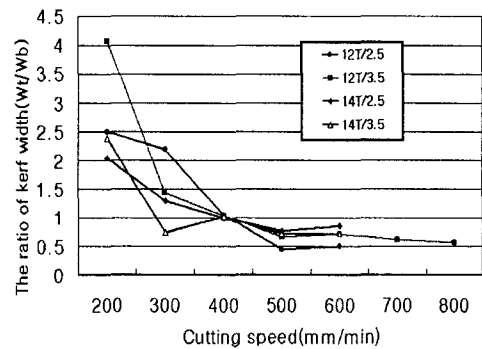


Fig. 7 The ratio of kerf width(Wt/Wb) vs. cutting speed

(Entrance width, Wt)과 출구(Exit width, Wb)폭과의 비(Wt/Wb)를 절단속도의 증가에 따라 보인 것으로 절단속도가 증가하면서 절단 윗면보다 아랫면이 더 넓어짐을 볼 수 있었다. 절단폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 1에 근접하며 속도가 더

증가하면 1이하로 작아져 거의 일정해진다. 절단면 등을 종합해 볼 때 절단폭 비가 1보다 약간 높은 절단속도에서 절단면이 양호함을 볼 수 있었다. 종합해보면 양질의 절단면을 얻기 위해서는 절재와의 거리 등 다양한 절단조건단재의 두께에 따른 예열불꽃의 상태, 절단산소의 유량 및 압력, 절단속도, 절단토치와 모을 고려해야만 한다.

5. 결 론

- 1) 절단속도가 늦으면 절단면의 윗면이 많이 용융되고, 속도가 증가함에 따라 절단윗면의 용융이 적어지고 드래그가 나타나며, 속도가 더 증가하면 절단 아랫면은 슬래그가 부착되었다.
- 2) 절단단면과 절단표면 사진을 볼 때 절단 아랫면의 폭이 윗면의 폭보다 약간 클 때가 양호한 절단면을 보여준다.
- 3) 속도가 증가할수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있지만, 양호한 면을 보여주는 속도 이상에서부터는 슬래그의 부착이 많아짐을 볼 수 있었다.
- 4) 절단속도가 증가해가면서 절단 아랫면의 폭이 증가하고, 절단폭 비(W_t/W_b)는 감소하다가 1에 근접하며 속도가 더 증가하면 1이하로 작아져 거의 일정해진다.

6. 참고문헌

1. 대한용접학회, “용접접합편람”, 1998, pp. 685~716
2. 대한조선학회 편, “선박건조공학”, 동명사. 1998, pp.140~149.
3. 박명규, 조선공학의 NC기술 및 컴퓨터, 해문출판사, 1990.
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. 中西, “가스切斷の豫熱炎に関する研究, 溶接學會誌, 37-10, 1968