

# AH36 고장력 강판의 절단조건 변화에 따른 절단특성에 관한 연구

김 인 철 · 김 성 일

## A Study on the Cutting Characteristics of AH36 Steel Plate Under Various Cutting Conditions

In-Chul Kim and Seong-Il Kim

### 1. 서 론

다양한 가공변수에 따라 그 품질이 결정되는 절단 공정은 선박건조에 있어 생산성에 많은 영향을 미치고 있다. 특히 절단형상 및 절단면의 불량은 선박건조 후처리인 용접, 조립 라인에서 공정지연을 일으켜 경제적인 변수로 작용한다. 절단 공정은 부재의 두께에 따라 많은 조건 변화 요인이 적용되기 때문에 적절한 절단조건으로 절단을 해야만 절단의 정밀도를 유지할 수 있다<sup>1)</sup>. 가스절단에서 정밀도에 영향을 주는 요소를 분석해 보면 첫째로 절단조건을 들 수 있는데 절단조건으로는 절단형상, 경로, 순서, 속도, 재료냉각방식, 재료고정 등을 들 수 있고, 둘째로 열원의 특성으로 열원의 성질과 품질 그리고 공급된 열량의 차이이며, 셋째로 절단기의 성능을 들 수 있는데 위치 결정정도, 기계의 진동, NC-Data, 화구의 성능 등 많은 변화요인을 들 수 있다. 가스 절단은 재료를 800~900℃로 예열 한 다음 고압의 산소를 불어 절단이 시작되고, 계속하여 고압산소를 불어내 고압산소의 기류에 의해 절단이 이루어진다. 일단 절단이 개시된 후에는 강의 연소열과 예열 불꽃의 가열로 인하여 연속적인 절단이 되기 때문에 적정 불꽃을 유지하는 것이 필요하다. 절단면은 고압의 산소가 이들 용융 금속을 토치 반대편 방향으로 드래그 라인에 따라 불어내 절단 폭을 생성하며<sup>2,3)</sup>, 산소의 분사 흐름에 의해 배출되는 용융 금속은 절단 전면을 흘러 판의 뒤쪽으로 배출되어 일부는 절단 홈의 측면 벽으로 유입되고 응고됨으로써 절단면을 형성하게 된다. 절단 조건 중에 산소의 순도는 99.5% 이상 이여야 하며, 순도 저하에 따라 절단 성능이 크게 떨어진다. 가스 불꽃의 조정은 중성염으로 하고 예열 및 절단 불꽃의 백필름 및 백심의 길이도 가공 판재에 따라 적절한 조건을 선택해야 한다<sup>3,4)</sup>. 또한 절단면은 모재에 따라 사용되는 가스의 압력, 예열 시간, 고 순도의 산소, 토치의 이

송속도, 모재의 변형 및 작업환경에 따라 차이가 난다<sup>5)</sup>. 특히 가스 절단 중에서도 산소-LPG가스 절단은 아세틸렌에 비해 절단속도, 슬래그의 유동성, 절단면, 가스 소모 등에서 유리하고 두꺼운 후판 절단에 있어서 좋은 절단면을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

다양한 절단 공정을 필요로 하는 선박 건조에서 후판 가공시, 대형 조선소에서는 플라즈마 절단기도 사용되고 있지만, 중소형 조선소에서는 산소-LPG 가스 절단기를 사용하는 비중이 높은 실정이다. 그러나 가스절단시 작업자의 판단에 따라 품질을 좌우하는 경향이 많으며 이는 부재의 열변형이나 절단부의 재질 변화, 잔류응력의 발생 등에 의한 절단 후공정의 작업상 문제를 발생시키고 이러한 부품이 선체 구조물로서 사용될 경우 성능상 나쁜 영향을 미칠 수 있다<sup>6,7)</sup>. 또한 현장에서 많은 절단조건 변화 때문에 절단품질을 유지하기 위한 적절한 절단조건에 관한 자료가 부족하고, 제품의 절단 공정시 마다 절단 품질에 차이를 일으키기 쉽고, 후 공정에도 영향을 주기 때문에 적정값에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 선박건조 현장에서 많이 사용중인 고장력 강판(AH36)의 산소-LPG가스 절단시 절단속도, 부재두께, 부재와 팁 사이의 거리등의 조건 변화에 따른 절단 특성을 규명하고자 한다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

#### 2.1 실험장치 및 재료

본 연구에서 사용된 실험장치로는 산소-LPG가스를 사용하는 CNC가스절단기 (ECONOGRAPH EG-3100 N/H Hybrid-D11, Koikekorea(주)), 표면 거칠기 측정을 위한 표면 거칠기 측정기(Surftest 301, Mitutoyo Co.), 절단단면 및 절단면을 촬영하기 위한 디지털 카



**Table 1** The specifications of experimental apparatus

CNC 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 : 100~400mm/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 (Mitutoyo Co.)</li> <li>- Measuring range               <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ra : 0.05~40<math>\mu</math>m</li> <li>* Rmax(Ry) : 0.3~160<math>\mu</math>m</li> </ul> </li> <li>- Cutoff length(<math>\lambda c</math>) : 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>
Rockwell hardness tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model : DTR-200 (Daekyung Co.)</li> <li>- Capacity : 150kgf</li> </ul>

**Table 2** Chemical compositions of AH36 steel plate

C	Mn	P	Si	S	Cr	Cu
0.18 max	0.90~1.60	0.035 max	0.10~0.50	0.03 max	0.20 max	0.35 max

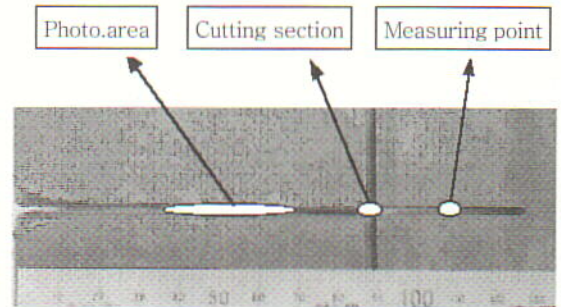
메라(FinePix4900Zoom, FUJIFILM), 절단 폭을 측정하기 위한 디지털 버어니어캘리퍼스(Mitutoyo Co.), 절단 단면에 대한 열 영향부의 경도를 측정하기 위한 경도시험기(DTR-200, DAE KYUNG Co.)등이며, 자세한 사양은 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용한 재료로는 선체구조용 고장력 강판(AH36)이며, 재료의 화학적 성분은 Table 2에 나타내었다.

## 2.2 실험방법

시편은 선박건조에 사용되는 항복강도가 355 N/mm<sup>2</sup>, 인장강도가 490 N/mm<sup>2</sup> 인 고장력 강판(AH36)으로 두께가 20과 23mm이며, 크기는 150mm×1000mm(W×L)로 제작하였다. 절단기의 팁은 Straight형 방식이며 15~30mm를 절단할 때 사용되는 No. 2를 장착하였다. NC절단시 산소압력은 5kg/cm<sup>2</sup>, LPG 압력은 1kg/cm<sup>2</sup>, 화염은 중성염, 예열시 백심의 길이는 10mm, 절단시 백심의 길이는 7mm, 예열 시간은 22sec로 하였다. 초기 절단부인 예열 부위의 절단면은 용융되어 넓게 퍼지므로 절단면과 절단 폭을 정확하게 측정하기 위하여 예비실험을 실시하였다. 예비실험 후 절단은 120mm까지로 하였으며, 절단면의 위 홈폭과 아래 홈폭의 측정은 110mm 위치에서 디지털 버어니어캘리퍼스로 측정하였다. 또한 절단 단면부의 열원의 공급과

**Table 3** Cutting conditions

Cutting speed (mm/min)	200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900
Length of tip to specimen (mm)	3.5, 5
Thickness of specimen (mm)	20, 23

**Photo. 1** The dimension and shape of specimen

열 영향에 따른 경화 정도를 측정하기 위해 절단면에서부터 0.5mm의 간격으로 8mm까지 경도를 측정하였다. 자세한 절단조건은 Table 3과 같이 절단속도를 200~900 mm/min로 8단계, 토치의 팁과 모재의 거리는 3.5와 5mm인 2 조건, 시편의 두께는 20과 23mm로 하였다.

절단면과 절단 단면을 보기 위해 Photo. 1과 같이 예열 시작부위에서 90mm 위치(Cutting section)를 밴드쏘잉머신으로 절단하였고, 절단면과 절단 단면을 디지털카메라로 촬영하였다. 또한 절단면의 표면거칠기는 이동형 표면 거칠기 측정기를 사용하여 정해진 시편 중앙부 3곳의 위치에서 중심선 표면 거칠기(Ra), 최대높이 표면 거칠기(Rmax)를 측정하였다. 표면거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정 반복 상수(n)는 3으로 설정하였다. 따라서 표면거칠기의 traversing length는 start-up(1mm)를 포함하여 총 3.4mm가 된다. 절단면의 위 홈폭과 아래 홈폭의 측정은 절단 시작부에서 110mm 떨어진 위치(Measuring point)에서 디지털 버어니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Photo. 2는 팁과 모재의 거리 5mm, 부재두께 20mm 조건에서 절단속도에 따른 절단면을 보여준다. 시편의 절단면을 보면, 절단두께에 따라 약간의 변형 시점이나 형상은 차이가 있지만 대체로 절단속도가 낮으면 절단면의 윗면이 많이 용융(Photo. 2(a,b))되다가, 적정 조건에 도달하기 시작하면 윗면의 거친 용융부가 사라지고(Photo. 2(c,d)), 더 속도를 증가시키면 거친 드



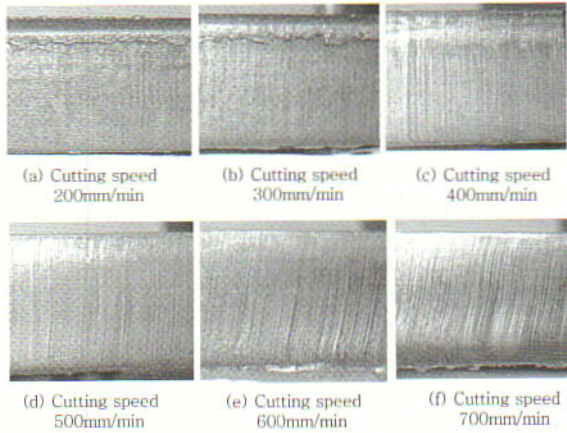


Photo. 2 Cutting surface at various cutting speeds (T=20mm, length of tip to specimen=5mm)

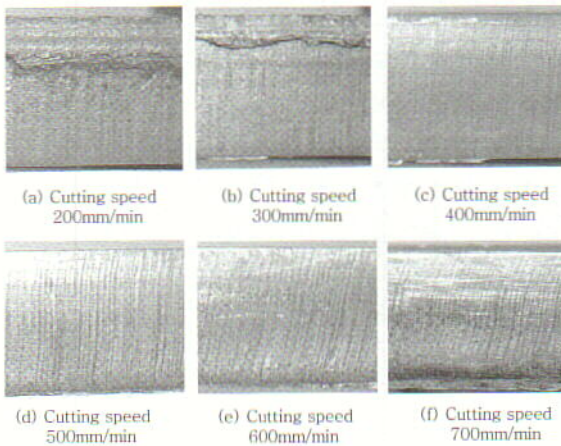


Photo. 3 Cutting surface at various cutting speeds (T=20mm, length of tip to specimen= 3.5mm)

래그선이 보이기 시작하고, 아랫면은 슬래그(Photo. 2(e,f))가 부착되고 있다. 동일한 20mm 부재로 토치의 팁과 모재와의 거리를 3.5mm에서 고정시킨 Photo. 3 상태의 절단면 사진을 보면 초기 윗면의 과다 용융(Photo. 3(a,b))은 더욱 많아지고, 적정속도 이상 절단속도 증가 시 아랫면의 슬래그는 팁과 모재의 거리가 5mm의 경우보다 더욱 많아짐(Photo. 3(e,f))을 볼 수 있다. 이는 절단면이 팁과 모재와의 거리에 영향을 있음을 보여주는 것이다.

팁과 모재의 거리를 5mm로 하고 20과 23mm의 강판을 절단하였을 때, 20mm일 때는 900 mm/min, 23mm일 때는 800 mm/min의 절단속도에서 절단이 중단되었다. 이는 절단속도 증가에 의해 연속적인 강판의 예열 및 절단가스의 투과율이 적어지기 때문이다. 따라서 700mm/min 이상은 표면 거칠기가 너무 거칠고 단면형상도 불규칙하여 700mm/min까지의 데이터만을 논문에 포함시켰다.

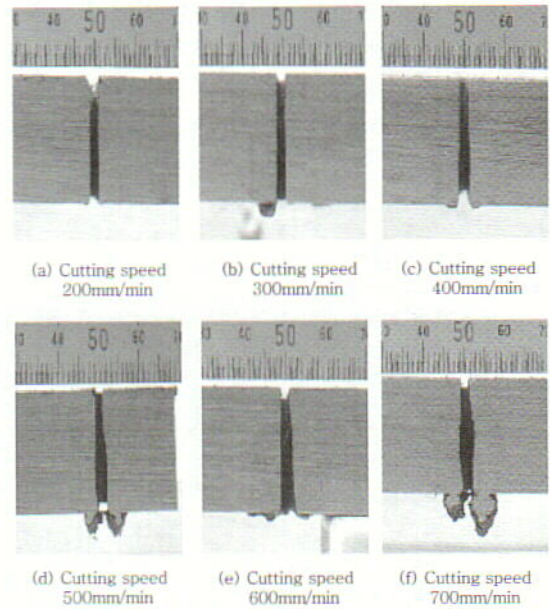


Photo. 4 Shape of cutting section at various cutting speeds (T=20mm, length of tip to specimen=3.5mm)

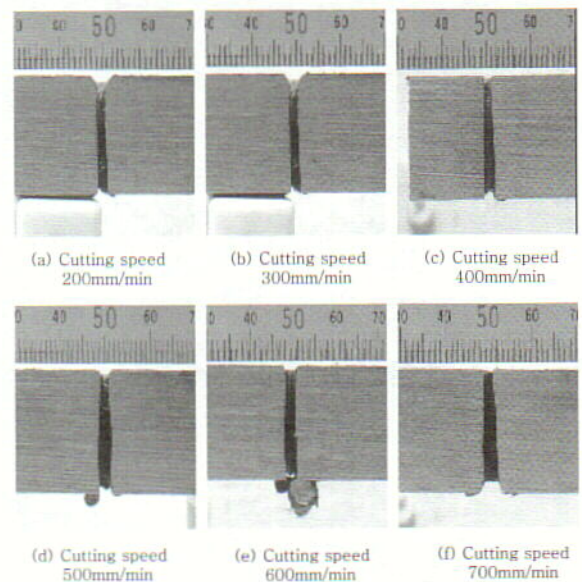


Photo. 5 Shape of cutting section at various cutting speeds (T=20mm, length of tip to specimen=5mm)

Photo. 4는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단 모재 두께 20mm의 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 사진을 보여주는 것으로, 절단속도가 증가함에 따라 절단단면이 직각도를 잃어가고 아랫면의 폭이 윗면의 폭보다 넓어진다. 이는 절단 홈의 윗면연소에 산소가 많이 소비되고, 하부에는 반응을 일으키는 산소가 적게 공급되기 때문이다.

Photo. 5는 팁과 모재와의 거리 5mm, 절단 모재



두께 20mm 조건에서의 절단 홈 단면이다. Photo. 4와의 차이는 절단 홈의 간격이 작고 직각도의 측면에서 보면 약간 양호하다는 것을 알 수 있다.

이는 20mm의 부재가 팁과 모재와의 거리가 5mm에서 더욱 이상적인 열원을 받는것이며, 특히 화구에서 분출되는 절단 가스와 속도가 절단 형상에서 적절한 열원을 형성하고 있음을 알 수 있다. 동일 조건인 Photo.

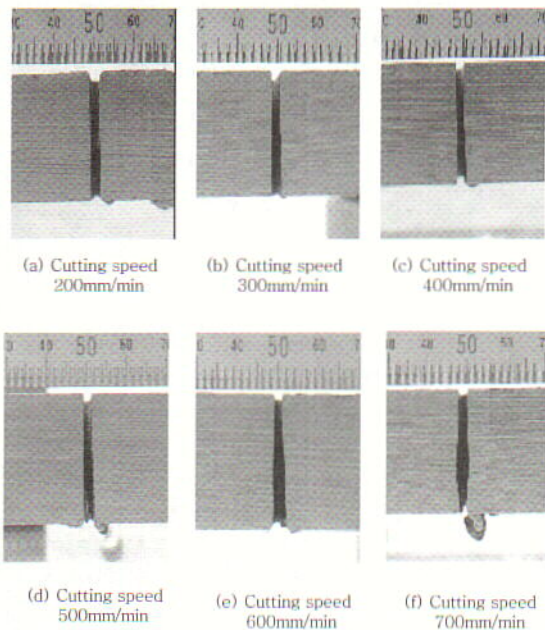


Photo. 6 Shape of cutting section at various cutting speeds (T=23mm, length of tip to specimen=3.5mm)

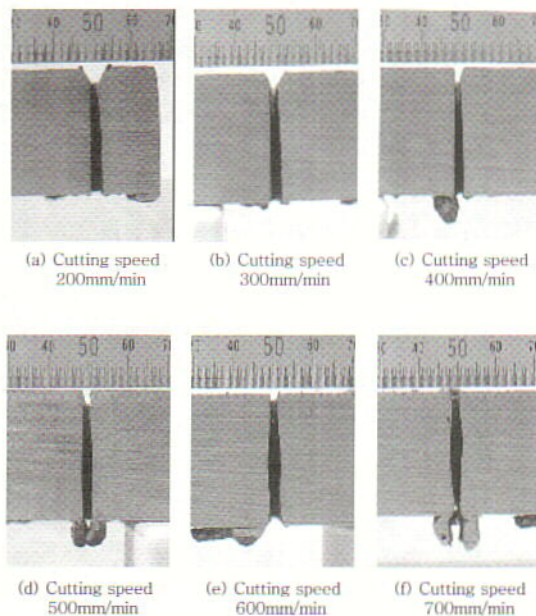


Photo. 7 Shape of cutting section at various cutting speeds (T=23mm, length of tip to specimen=5mm)

3의 절단속도 700mm/min의 절단 표면과 같은 조건인 Photo. 4의 절단속도 700mm/min의 절단단면 사진을 보면 절단단면의 직각도가 불규칙하고 중앙부가 넓게 퍼지는데, 이는 빠른 절단속도로 인한 예열부족, 절단 산소의 유동성 불량, 슬래그의 방해, 절단면의 산화작용이 늦어지기 때문이다<sup>6)</sup>.

Photo. 6, 7은 절단 모재 두께 23mm 조건에서의 절단 홈 단면이다. 모재 두께가 20mm인 Photo. 4, 5와 비교해보면 절단모재가 두꺼워서 절단단면의 직각도가 더욱 불량해지고, 특히 슬래그 발생이 많아짐을 알 수 있다.

Fig. 1은 절단 두께 20mm, 팁과 모재와의 거리 3.5와 5mm, Fig. 2는 절단 두께 23mm, 팁과 모재와의 거리 3.5와 5mm 인 조건에서, 절단면의 표면 거칠기(Rmax)와 절단속도와의 관계를 보여주는 것이다. Fig. 1은 절단속도가 증가할수록 표면 거칠기는 좋아지다가 400mm/min의 속도에서 가장 양호하다. 특히 팁과 모재와의 거리가 3.5mm 조건에서는 절단속도 300mm/min이상에서 양호해져 가는 것을 알 수 있고,

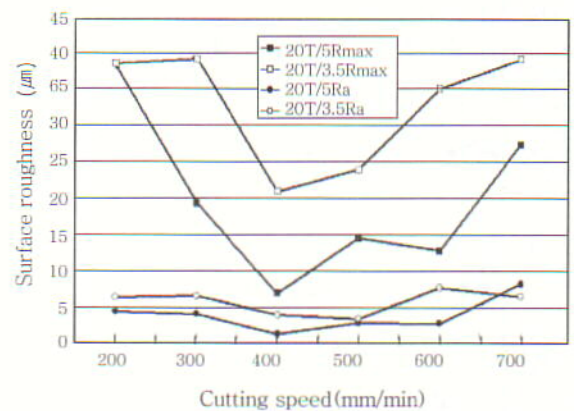


Fig. 1 Surface roughness vs. cutting speed (Length of tip to specimen=3.5, 5mm, T=20mm)

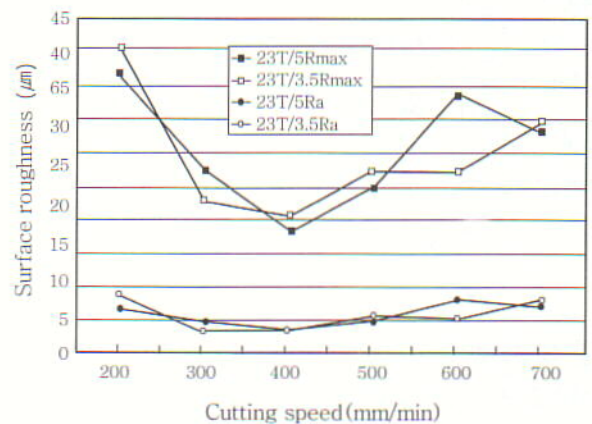


Fig. 2 Surface roughness vs. cutting speed (Length of tip to specimen=3.5, 5mm, T=23mm)



팁과 모재와의 거리가 5mm일 때는 절단속도 400 mm/min에서 가장 좋은 값을 얻을 수 있다. 이후 500mm/min을 지나서 부터는 다시 표면이 거칠어지기 시작하였다. Fig. 2는 Fig. 1과 유사하나 팁과 모재와의 거리의 변화에서 표면거칠기 값의 차이가 Fig. 1보다 작음을 알 수 있다. 이는 두께에 따른 영향을 보여주는 그림이다.

Fig. 3~4는 팁과 모재와의 거리를 3.5와 5mm, 절단 모재 두께 20과 23mm로 절단시, 절단홈의 윗폭 (Top width of kerf, Wt)과 아래 폭(Bottom width of kerf, Wb)의 값을 절단속도에 따라 보인 것으로, 절단속도가 낮을 때는 위폭이 넓지만, 속도가 증가해가면서 절단 윗면의 폭보다 아래면의 폭이 넓어짐을 보여주고 있다. 같은 조건인 Photo. 4~7의 절단단면 사진과 비교해보면, 절단이 시작되는 윗면에서는 압력과 불꽃이 일정하게 공급되지만 절단 아래면으로 갈수록 절단재료의 두께가 두꺼워 절단압력이 다소 약해져 불꽃

이 퍼지기 때문임을 알 수 있다.

Fig. 5는 두께 23mm, 팁과 모재와의 거리를 5mm로 절단한 시편에 대한 열 영향부의 경도 변화를 보여주는 것으로, 절단면에서 가까운 부분은 경도가 높고 측정 거리가 멀어질수록 점점 낮아지다가 2mm와 3mm 사이에서 급격히 떨어지며 3mm 이후에는 작은 변화폭을 보인다. 이는 절단시에 부재가 국부적으로 가열되어 열 영향을 받아 고장력 강판의 변태점 이상으로 온도가 올라가 내부조직이 바뀌는 특성으로 인하여 경화등 재질의 변화를 가져오고 특히 절단면에서부터 2mm의 거리까지에서 높은 경화부가 나타나는 현상을 알 수 있었다.

Fig. 6은 팁과 모재와의 거리를 3.5와 5mm 조건, 절단 모재 두께 20과 23mm의 조건에서 절단홈의 윗폭 (Top width of kerf, Wt)과 아래 폭(Bottom width of kerf, Wb)의 비(Wt/Wb)와 절단속도와의

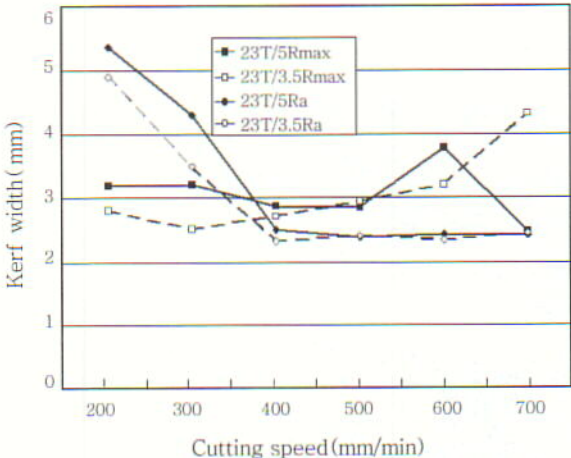


Fig. 3 Kerf width vs. cutting speed (Length of tip to specimen=3.5mm, T=20, 23mm)

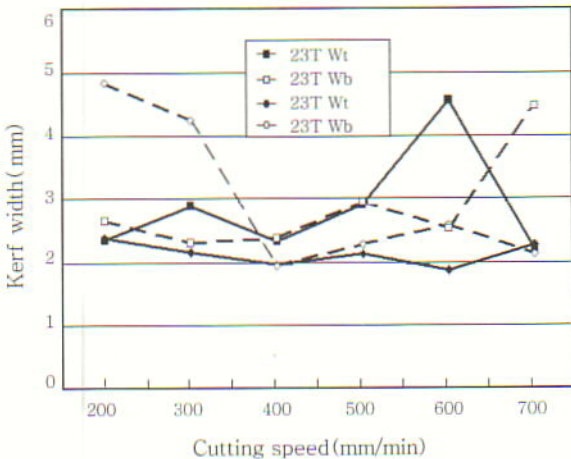


Fig. 4 Kerf width vs. cutting speed (Length of tip to specimen=5mm, T=20, 23mm)

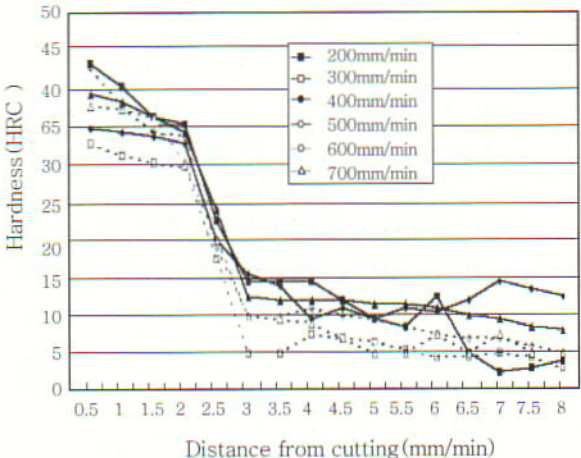


Fig. 5 Hardness vs. distance from cutting surface (Length of tip to specimen=5mm, T=23mm)

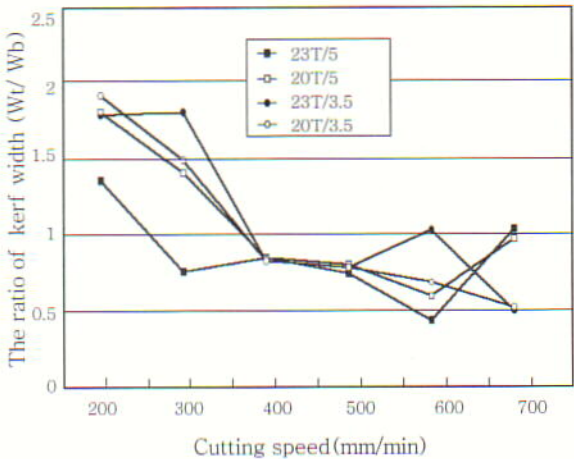


Fig. 6 The ratio of kerf width(Wt/Wb) vs. cutting speed

관계를 보여주는 것이다. 절단속도가 증가하면서 절단 윗면보다 아랫면이 더 넓어짐을 보여주고 있고, 절단 폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 0.8에 근접하며 속도가 더 증가하면 0.8이하로 작아져 거의 일정해지다가 절단면에 홀 형상이 생기면서 폭비는 다시 흔들렸다. Fig. 6, Photo. 4, 5, 6, 7등을 종합해 볼 때 절단 폭 비가 0.8보다 약간 높은 절단속도에서 절단면이 양호함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

1) 절단속도가 낮고 절단 토치와 모재와의 거리가 가까울수록 절단 윗면이 과다 용융되고 절단속도가 빠를 때는 절단 아랫면에 슬래그가 나타나며 불규칙한 절단 단면, 넓은 드래그 라인과 슬래그 부착 등 다소 거친 절단면을 형성한다.

2) 절단단면과 절단표면 사진을 볼 때, 절단 아랫면의 폭이 윗면의 폭보다 약간 클 때가 양호한 절단조건임을 보여준다.

3) 속도가 증가할수록 표면 거칠기는 양호함을 보여주다가 다시 증가하였으며, 적정 속도 이상에서부터는 거친 드래그 라인이 생기며 직각 절단이 어렵고, 슬래그의 부착이 많아짐을 볼 수 있었다.

4) 경도는 절단면에서 가까운 부분이 가장 높고 서서히 낮아지다가 2mm와 3mm 사이에서 급격히 낮아지고 3mm 이후부터는 변화 폭이 작아진다.

5) 절단속도가 증가해가면서 절단 폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 0.8에 근접하며 속도가 더 증가하면 0.8이하로 작아져 거의 일정해지다가 다시 불안정해진다.

#### 참 고 문 헌

1. 대한용접학회편 : 용접·접합편람, 대한용접학회, 1998, 685-716 (in Korean)
2. Heung Kou, Seong-Il Kim : Cutting and Assembly Technology, Supporting Center of Shipbuilding Technology, 2001, 100-129 (in Korean)
3. Se-an Engineering : Cutting Principle, <http://www.powernc.co.kr/main/educationDOC/cutting1.htm>
4. Nakanisi : A Study on the Gas Cutting of Previous Heating Point, Journal of Japan Welding Society, 1968, 37-10 (in Japanese)
5. the Society of Naval Architects of Korea, Shipbuilding Engineering, dong myeong sa, 1998, 140-149
6. Jae-Ha Jung : A Study on the Gas Cutting Quality of Plate In Shipbuilding, Graduated School Industry Technical of Ulsan University, Master Degree Dissertation, 1997, (in Korean)
7. Ji-On Kim, Su-Won Jung, Dong-Hwan Park : A Study on the Gas Cutting and Cutting Quality, Technical Hyundai, Hyundai Heavy Industries Co., 12-3, Sep 1992, 65-74 (in Korean)
8. The Editing Committee Meeting of New Cutting Technology Superintendence, New Cutting Technology Superintendence, Industry Technology Service center Co., Sep 1985, 321~366 (in Japanese)



- 김인철(金仁喆)
- 1973년생
- 대불대학교 대학원, 기계공학과
- CNC 가공 및 플라즈마 특성
- e-mail: ickim@mail.daebul.ac.kr



- 김성일(金聖一)
- 1964년생
- 대불대학교 자동화기계공학과
- CAD/CAM, CNC 가공 및 절단
- e-mail: sikim@mail.daebul.ac.kr