

천연가스용 박판절단노즐 절단특성 실험 연구

The experiments for cutting characteristics of nozzle for cutting thin steel with Natural Gas

이현찬, 한정옥, 이중성, 유현석
한국가스공사 연구개발원

1. 서 론

현재 국내의 산소절단공정은 아세틸렌 및 LPG가 예열연료로 주로 사용되고 있다. 그러나 아세틸렌이나 LPG는 사용단가가 비싸며, 안전성 및 안정적 공급에 문제가 있다. 천연가스는 상대적으로 사용단가가 낮으며, 공기보다 비중이 작기 때문에 안전하고, 배관을 통해 공급하므로 안정적 공급이 용이하므로 산소절단 예열연료로 사용하기에 적절하기 때문에 이를 검증하기 위한 절단특성실험을 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구의 실험장치는 박판용 절단토치, 절단산소, 혼합가스로 사용된 예열산소 및 NG로 구성되어 있으며, 절단산소량 및 NG량을 측정하기 위해 MFM(Tylon)을 설치하였다. Table 1에 산소절단공정에 사용되는 각 예열가스의 특성을 비교하였다. 절단토치는 자동으로 이송되며, 절단속도를 조절할 수 있게 되어있다.

Table 1 Properties of fuel gas

	아세틸렌	NG	LPG
화염온도(℃)	3160	2782	2832
발열량(Kcal/m ³)	13081	9500	25,000
폭발한계(공기중)	2.5-80	5-14	2.4-10
비중(공기=1)	0.91	0.62	1.55

그리고 절단노즐 전단에 절단산소, 예열산소 및 NG연료의 압력을 측정하기 위해 압력계를 각각 설치하였다.

또한 압력계 전단에 절단산소, 예열산소 및 NG유량을 조절할 수 있는 유량조절 밸브가 설치되어 있다. 실험에 사용된 노즐은 상용 LPG 노

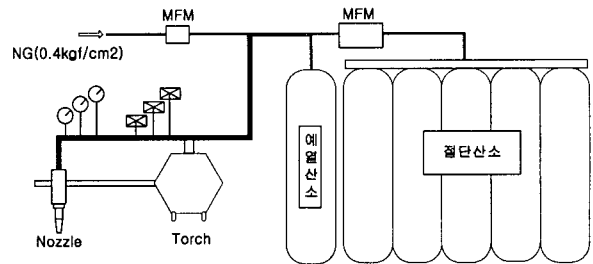
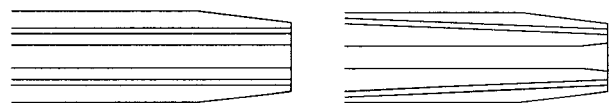


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

즐(LPG#3, LPG#4) 및 LNG 노즐(LNG#3, LNG#4), 그리고 예열혼합가스 공급부에는 Taping 및 절단산소 공급부에는 Divergent로 제작한 Tap & Div.노즐(Fig.2 (b) 참조), 예열혼합가스 공급부의 면적을 상용LPG 노즐과 상용LNG 노즐의 중간정도로 제작한 Dev4-1노즐, 예열혼합가스 공급부의 면적을 상용LNG 노즐보다 증가시킨 Dev4-2노즐이 사용되었다. 여기서 Tap&Div., Dev4-1 및 Dev.4-2 노즐은 천연가스용으로 설계 및 제작한 노즐이다.



(a) General nozzle (b) Tap&Div. nozzle
Fig.2 Nozzle used in the experiments

또한 본 실험에 사용된 절단재료인 철판은 일반적으로 사용되고 있는 SM400을 사용하였으며, 두께 50mm, 100mm 철판을 사용하였다.

2.2 실험방법

본 실험은 먼저 절단공정의 가장 중요한 인자인 절단산소의 특성을 알아보기 위한 실험으로 절단산소 운동량을 변수로 하였다. 측정인자는 최대절단속도와 절단면으로 정의하였다. 본 실험

에서는 table 2 에서와 같이 절단산소 직경이 각각 다른 노즐에 동일 유량을 공급하므로 유속변화에 따른 최대절단속도 측정실험을 통하여 절단산소의 최적 유속을 알아보고자 하였다.

Table 2 Diameter of cutting oxygen nozzle

노즐	1	2	3	4	5	6	7
직경 (mm)	1.0	1.3	1.7	2.05	2.5	2.85	3.18

또한 절단면 상태는 table 3 에서처럼 절단면 상태를 4가지로 기준을 정하여 분류하였고, Fig.3 은 각 기준별 절단면 상태를 나타낸 사진이다.

Table 3 Classification of the conditions of the cutting surface

분류	1	2	3	4
면상태	절단불능	불량	보통	양호



(a) 양호 (b) 보통 (c) 불량

Fig.3 Classification of the conditions of the cutting surface

그리고 예열연료량을 변화시키면서 절단에 미치는 영향을 측정하기 위한 실험, 절단폭 측정실험 및 LPG 및 NG의 비교실험을 실시하였다.

3. 실험내용 및 결과

3.1 절단산소 운동량이 절단성능에 미치는 영향

3.1.1 최대 절단속도 측정실험

Table 2 에서 제시한 노즐을 가지고 50mm 철판 절단실험을 실시하여, 최대 절단속도를 측정하였다. 절단산소 유량은 120lpm으로 각 노즐에 동일하게 공급하였다.

Fig.4 에서 보는바와 같이 절단산소 유속이 증가할수록 운동량이 증가하여 절단속도가 증가하나, 유속이 더 증가되면, 유속의 증가로 절단재와의 산화반응 시간이 불충하게 되므로 절단속도가 감소하게 되는 것으로 사료된다. 그러므로 절단산소 유속 410m/s 부근에서 최대절단속도 (450mm/min)가

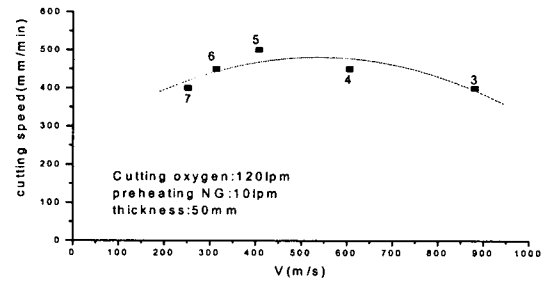


Fig.4 Maximum cutting speed vs. velocity of cutting oxygen on the condition of constant mass flow rate

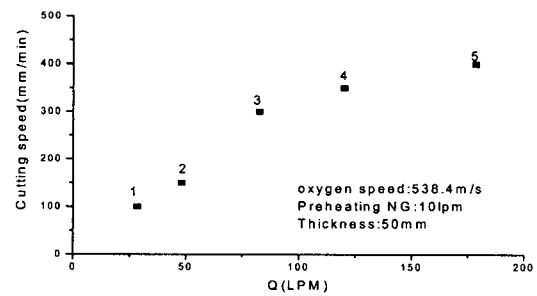


Fig.5 Maximum cutting speed vs. flow rate of cutting oxygen on the condition of constant velocity

측정됨을 알 수 있다. 또한, Fig.5 에서 보는바와 같이 절단산소 유속을 고정시키고, 유량을 변화시키며, 최대 절단속도 측정실험을 실시한 결과, 동일 운동량에서 산화반응 할 수 있는 산소량이 증가하게 되기 때문에 최대 절단속도가 증가하게 되는 것으로 판단된다.

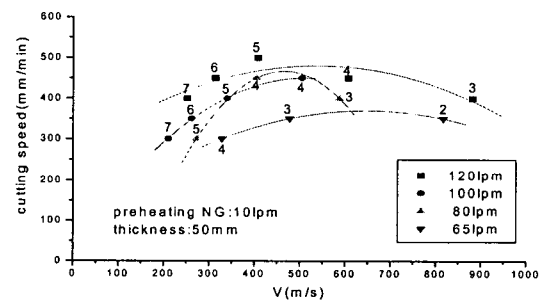


Fig.6 Maximum cutting speed vs. velocity of cutting oxygen on various flow rate

Fig.6 은 절단산소량이 65, 80, 100, 120lpm 일 때 절단산소 유속에 따른 최대 절단속도 측정 실험을 실시하였다. 50mm 철판 절단을 위해서는 절단산소량이 적은 65lpm을 제외하고 나머지 유

량에서는 120lpm 에서처럼 절단산소 유속 400~500m/s 부근에서 최대 절단속도가 측정됨을 알 수 있다. 절단산소량 65lpm의 경우는 50mm 철판을 절단할 수 있는 최소한의 유량이기 때문에 노즐별 절단속도 차이가 크지 않아 최적 절단산소 유속 구간을 찾을 수 가 없다.

3.1.2 양호한 절단면 측정실험

절단산소량이 증가할수록 운동량의 증가로 슬래그가 발생되지 않으며, 절단속도도 빨라지나, 산화반응시간의 부족 및 큰 운동량으로 인한 절단산소 유동 자국 발생으로 절단면 상태는 양호 하지 못한 결과를 얻게 된다.

양호한 절단면 상태를 나타나는 절단산소량 범위에서는 슬래그가 발생하나, 이러한 슬래그는 절단산소의 관통을 막으므로 절단재와의 충분한 산화반응이 이루어지며, 절단산소량의 운동량을 줄여 절단면에서 큰 운동량으로 인한 유동 자국이 발생되지 않게 한다. 그러나 과도한 슬래그는 절단재 밑면에 강력하게 붙어있어 제품성을 떨어뜨리는 요인이 된다.

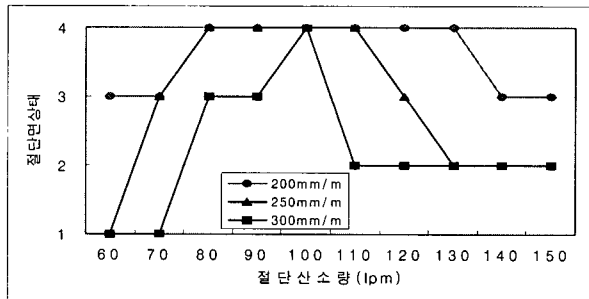


Fig.7 Condition of cutting surface vs. flow rate of cutting oxygen on various cutting speed (nozzle:LPG#3,thickness:50mm)

Fig.7은 절단속도 및 절단산소량에 따른 절단면 상태를 나타낸 것이다. 절단속도가 낮아질수록 양호한 절단면을 얻을 수 있는 절단산소량 범위가 넓음을 알 수 있다. 그리고 노즐의 종류, 절단속도 및 철판두께 등에 따라 양호한 절단면 상태를 얻을 수 있는 범위가 다르므로 각각의 조건에 맞게 절단산소량을 정할 필요가 있다.

이와 같은 방법으로 각 노즐별 양호한 절단면 측정 실험을 실시하였다.

Table 4와 Fig.8은 각 노즐별 양호한 절단면 측정 결과이다. 50mm 철판을 절단속도 250mm/min으로 절단 시 절단산소유량 90~140 lpm에서 절단면 상태가 양호한 결과를 얻었다.

Table 4 Good condition of cutting surface

노즐	연료	절단산소량(lpm)
LPG#4	LPG	90~100
LNG#4	LNG	90~140
Tap&Div.	"	80~100
Div4-1	"	90~140
Div4-2	"	80~90

- *1. 연료량(압) : LNG(13lpm), LPG(0.13kgf/cm2)
- 2. 철판두께 : 50mm, 절단속도 : 250mm/min

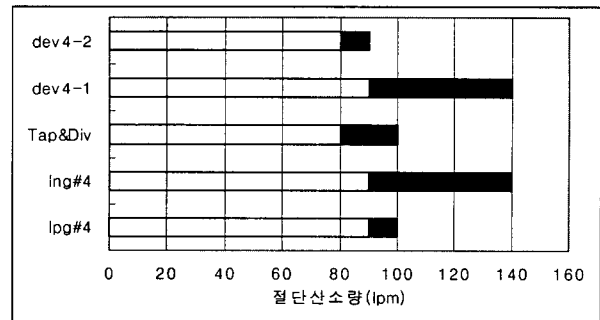


Fig.8 Good condition of cutting surface on thickness 50mm

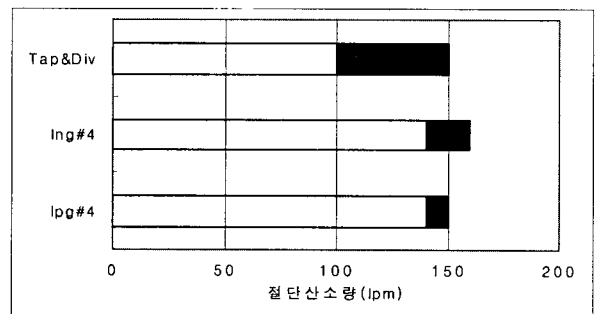


Fig.9 Good condition of cutting surface on thickness 100mm

또한 박판 중에서도 두께가 두꺼운 100mm 철판의 절단실험을 실시하였다.

Fig.9에서 보는바와 같이 100mm 철판 절단은 절단산소량이 100~150lpm 정도에서 양호한 절단면을 얻을 수 있었고, Tap&Div 노즐이 타 노즐에 비해 유속이 빠르고, 운동량이 크기 때문에 상대적으로 적은 절단산소량에서도 양호한 절단면 상태를 얻을 수 있었다.

3.1.3 절단폭 측정실험

Table 5는 NG와 LPG 노즐의 절단폭 비교표이다. 표에서와 같이 동일한 절단산소유량 시 근소한 차이는 있지만 거의 동일한 절단폭을 나타내고 있다.

Table 5 Comparison of cutting width of LPG and NG on thickness 50mm

노즐	절단산소유량(lpm)	절단폭(mm)
LPG#4	100	2.8
LNG#4	100	2.7
LPG#4	120	3.1
LNG#4	120	2.9

Table 6 Comparison of cutting width at various flow rate of cutting oxygen

노즐	절단산소유량(lpm)	절단폭(mm)
LNG#4	90	2.6
LNG#4	100	2.7
LNG#4	120	2.9
LNG#4	140	3.0

Table 6은 동일 노즐사용 시 절단산소량을 변경시키며, 절단폭을 측정하였다. 측정결과 유량이 증가할수록 절단재와 산화반응량이 많아져서 절단폭이 증가함을 알 수 있다.

Table 7 Comparison of cutting width on various nozzle

노즐	절단산소유량(lpm)	절단폭(mm)
LPG#4	120	3.1
LNG#4	120	2.9
Tap&Div	120	2.6

Table 7은 각 노즐별 절단폭 비교표이다. 표에서 보는바와 같이 Tap&Div 노즐의 예열화염이 Taping의 영향으로 화염이 집중되므로 절단폭이 타 노즐에 비해 매우 적게 나타났다.

3.2 예열화염이 절단성능에 미치는 영향
절단공정에서 예열혼합가스는 절단재를 산화반응에 적당한 온도인 870℃ 이상으로 금속을 가열하고, 절단작업을 유지시켜주는 역할을 담당한다.

Table 8 Ability of cutting at various flow rate of fuel gas

노즐	연료	절단산소량(lpm)	절단속도(mm/min)	연료량	절단유무
LNG	NG	70	250	13	불능
LNG	NG	70	250	17	불능
LNG	NG	70	250	19	불능

그러므로 절단이 개시되면 그 이상으로 공급되는 연료량은 불필요하게 된다. Table 8은 연료량 13lpm으로 절단이 불가능한 조건에서 연료량을 증가시키며, 절단 가능 여부를 측정하였다. 실험결과 연료량을 증가시켜도 절단에는 영향을 미치지 못하였고, 오히려 절단면 위부분의 모서리가 패이게 하는 현상이 발생하였다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대 절단속도 측정 실험을 통하여 50mm 철판 절단 시 유속이 400~500m/s 부근에서 최대 절단속도가 측정 되었다.
- 2) 각 두께의 철판에 대해 양호한 절단면 상태를 얻기 위한 적절한 조건(절단속도, 절단산소량)을 고려해야함을 알 수 있었다.
- 3) 50mm, 100mm 철판 절단실험을 통하여 Tap&Div 노즐이 다른 노즐에 비해 절단산소량이 적은상태에서도 양호한 절단면 상태를 얻었으며, 절단폭 또한 양호한 결과를 얻었다.
- 4) 산소절단공정에 있어서 예열연료는 절단속도에는 큰 영향을 미치지 못하지만 절단면 상태에는 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 5) 현재 절단토치의 연료로 사용되고 있는 LPG 와의 비교실험을 통하여 예열연료로 천연가스를 사용하여도 동일한 절단성능을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국가스공사 연구개발원 자체과제로 수행되었으며, 도움을 주신 모든 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Welding handbook/Charlotte Weisman : Arc and Oxygen Cutting, American Welding Society, c1976-c1984
2. BY K.A. Lyttle, W.F. Garth Stapon and Alexandre Guimaraes : Selecting the Proper Fuel Gas for Cost-Effective Oxyfuel Cutting, Welding Journal, (July 1997), 35-38
3. M. Nakanishi, T. Hayashi and M. Hirai : Further Study on Function of Oxygen Curtain Nozzle and It's Application, Advanced Welding Technology, The second International Symposium of the Japan Welding Society, 1975