

## 수산소 혼합가스를 이용한 선상가열 특성

김홍건<sup>+</sup>, 꺾이구<sup>\*</sup>

(논문접수일 2011. 04. 19, 수정일 2011. 07. 13, 심사완료일 2011. 07. 19)

### The Characteristics of Line Heating Using Hydrox Gas

Hong Gun Kim<sup>+</sup>, Lee Ku Kwac<sup>\*</sup>

#### Abstract

The technology of line heating has evolved in various methods. Among them, fossil fuels like ethylene gas and LPG(Liquid Petroleum Gas) are widely used due to their simple utility. In the meantime, the technology implementing high frequency for line heating has also been developed continually, but its manufacturing technology or application includes lots of problems by now. One of the main characteristics of line heating using conventional technology is the quenching effect followed by heating process. On the other hand, hydrox gas which is mixed by hydrogen and oxygen is a prominent candidate for an application without above shortcomings. Especially, it is found that line heating using hydrox gas is tremendously effective taking low cost as well as low noise. In this paper, a small cell with high efficiency which can minimize installing space is developed to deal with the problem installing in narrow place. Experiments to prove the validation, efficiency and effectiveness is carried out by characterizing in the line heating of steel. It is found that the energy saving of using hydrox gas for line heating is significant and that the deviation performance is reduced by 78~89%. Furthermore, the noise is also reduced as amount of 18.3% though the heating time is not too different.

**Key Words :** Line Heating(선상가열), Hydrox Gas(수소산소혼합가스), Flame Trap(역화방지기), LPG(액화석유가스), Curvature(곡률)

### 1. 서론

국내 조선업은 자동차 반도체 부문과 더불어 국가 기간산업의 큰 축을 지탱하면서 국내 산업발전과 관련부문 기술을 선도하고 있으며 국내 조선소에서의 선상가열은 중요한 작업의 하나로 외형이나 기타 곡면 가공의 한 공정으로 사용되고 있다. 현재의 LPG, 에틸렌 가스를 이용한 작업공정의 경우 작업장의 심각한 소음 및 고비용의 작업이 이루어지고 있어 개선의 필요성이 대두 되고 있다. 이러한 LPG, 에틸렌 가스와 고압산소 사용하는 현재의 작업에 수소산소혼합가스를 사용하여 작업장

의 심각한 소음과 고비용의 작업을 CO<sub>2</sub> 발생 없이 효율적으로 진행할 수 있으며 친환경 조선소로서 세계 일등 조선 산업에 기여할 수 있다.

현재 까지의 선상가열의 작업은 여러 형태로 진행 되어 왔으며 현재는 에틸렌 가스, LPG 등의 화석연료를 이용하여 사용 있다. 또한 고주파를 이용한 선상가열 연구가 진행되고 있으나 현재까지는 생산 적용이나 기능의 문제로 적용은 문제가 많다고 판단된다. 청정에너지인 수소산소혼합가스의 특성인 화염의 고온과 직진성을 이용하여서 자동차 강판의 도금의 EAGE HEATING용으로 적용하여 성공한 사례가 있으며 선상가열의

<sup>+</sup> 전주대학교 기계자동차공학과

<sup>\*</sup> 교신저자, 전주대학교 탄소나노부품소재공학과 (kwac29@jj.ac.kr)

주소: 560-759 전북 전주시 완산구 백마길 45

특성상 가열 후 급냉하여 철펠의 곡면을 만드는 작업에 수소산소 혼합가스의 특성을 이용 한다면 저비용과 저소음으로 선상 가열을 할 수 있다<sup>(1-2)</sup>.

[Kim]은 수소산소 혼합가스와 LPG이용하여 철펠재료 절단의 열적특성 비교에 관한 연구와 열화상 카메라를 이용하여 수소산소 혼합가스의 연소특성을 실험적으로 연구 하였다<sup>(1-2)</sup>. [Min]은 수소산소 혼합가스를 이용하여 석면을 녹이는 방법에 대해 연구하였다<sup>(3)</sup>. 그리고 [Kim]은 수소산소 혼합가스를 이용하여 연소기에 대한 다양한 특허를 등록하였다<sup>(4-6)</sup>. [Hyun]은 수소산소 혼합가스를 이용하여 조각로의 CO<sub>2</sub>저감에 대한 연구를 진행하였다<sup>(8)</sup>.

본 연구는 현재 조선소에서 사용하고 있는 선상가열 사용 연료인 LPG, 에틸렌가스와 고압산소를 수소산소 혼합가스로 대체하여서 적용하는 것을 목표 하며 추후 작업효율 및 작업의 속도를 높일 수 있도록 관련 노즐 및 가열 공구를 개발하기로 하였다. 또한 현재 선상 가열작업장에 적용 시 문제가 되는 것은 협소한 설치 장소의 문제와 그에 따르는 수소산소 혼합가스 전용 팀의 개발과 설치 공간을 최소 할 수 있도록 새로운 소형 고효율 Cell을 개발 하여 선상 가열에 적용하여 선상가열의 특성에 대해 실험적 연구를 수행하여 수소산소 혼합가스 선상가열의 유효성에 대하여 검증하고자 하였다.

다음은 현재 조선소에서 수소산소 혼합가스 선상가열시 구비해야할 요구조건을 나열한 것이다.

- (1) 현재 사용중인 LPG Gas, 고압산소 와 동일한 작업속도 또는 그이상이 충족되어야 한다.
- (2) 설치 공간은 현재의 크기보다는 최소 30% 정도의 공간을 덜 차지하여야 한다.
- (3) 최대 40m<sup>3</sup>/h의 발생이 되어야 한다(정격 가동 시 약 35m<sup>3</sup>/h 발생).
- (4) 경제성이 확보되어야 한다.(LPG Gas 대비).
- (5) 사용에 불편이 없어야 한다.
- (6) 하루 20시간 가동이 가능하여야 한다.

## 2. 수소산소 혼합가스 발생원리<sup>(1~2)</sup>

수소산소 혼합가스란 물(H<sub>2</sub>O)의 구성비 그대로 수소와 산소가 2 : 1로 혼합된 상태의 혼합가스를 말하며, 물연료 자동 공급장치에서 생산되는 완전무공해 연료를 말한다. 고도의 전기분해 기술에 의한 물의 해리작용으로 생성되는 수소산소 혼합가스는 자체산소에 의해 완전 연소되는 이상적인 혼합기체로서 임플로전(implosion)현상에 의해 수소산소 혼합가스만의 독특한 연소특성을 나타낸다. Fig. 1은 물의 전기분해에 의한 수소산소 혼합가스의 발생 메카니즘을 나타내었다.

본 논문에서의 수소산소 혼합가스 발생은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 일반적인 전기분해장치와 달리 분리격막이 없으며, 전극

간의 거리를 최적화 하여 효율을 증대시켰으며, 양 전극사이에 형성되는 저항을 최소화하였고, 전기분해 속도를 향상하여 효과적인 실용화장치를 개발하였다. 또한 전기분해시 발생하는 열을 최소화하여 효율을 극대화 하였다. 수소산소 혼합가스는 수소와 산소의 혼합가스로서 일반적인 열현상에서 보이는 보편적인 폭발현상이 나타나지 않으며 대신에 독특한 내폭현상이 발생한다. 수소산소 혼합가스가 연소하면 완전한 중성의 물만이 생성될 뿐 화재의 위험이 전혀 없으며 그 외의 일체의 부산물이 생성되지 않으며, 수소와 산소로 이루어진 혼합기체이므로 직접연소가 가능하며, 밀폐된 장소에서 연소시 외부에서 별도의 기체를 공급할 필요가 없어 환기나 배기설비가 필요없다. 또한 초고온의 열의 발생과 진공을 유도하여 Fig. 3과 같이 불꽃이 분산되지 않고 초점을 형성하고, 주위로 열선을 방출하지 않는 특성을 가지고 있다<sup>(1)</sup>.

수소산소 혼합가스는 일반적인 열현상에서 보이는 보편적인 폭발현상이 나타나지 않으며 대신에 독특한 내폭 현상이 발생한다. 수소산소 혼합가스가 연소하면 완전한 중성의 물만이 생성될 뿐 화재의 위험이 전혀 없으며 그 외의 일체의 부산물이 생성되지 않으며, 수소와 산소로 이루어진 혼합기체이므로 직접연소가 가능하며, 밀폐된 장소에서 연소시 외부에서 별도의 기체를 공급할 필요가 없어 환기나 배기설비가 필요 없다. 또한 초고온의 열이 발생하며, 진공을 유도하여 불꽃이 분산되지 않고 초점을 형성하고, 주위로 열선을 방출하지 않는 특성을 가지고 있다.

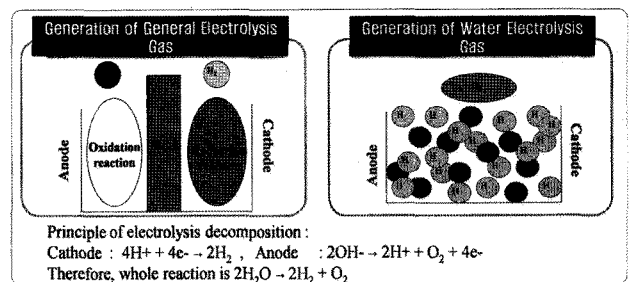


Fig. 1 Generation of hydrox gas

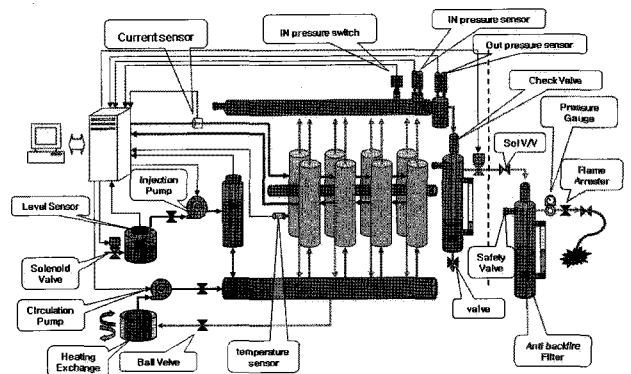


Fig. 2 Schematic diagram of hydrox gas generator

### 3. 수소산소혼합가스 가열실험<sup>(1~2)</sup>

Fig. 3 에 나타난 바와 같이 화석연료(예 : LPG등)의 화염은 복사열에 의한 확장 화염의 특성에 따라 접촉부가 넓게 확산되어 필요외의 부분으로 열이 분산하여 소비되므로 많은 열량을 필요로 하며 절단면 부근의 부위까지 열을 가해 형질 변형의 우려가 있다. 반면 수소산소혼합가스는 직진성 화염으로 접촉하는 물질과 상호반응에 의해 연소온도가 대상물질의 용융점 이상의 승화온도까지 순간 상승하기 때문에 화석연료에서 얻을 수 없는 고온이 형성되며, 적은 열량으로도 최대의 효과를 볼 수 있다.

본 논문에서 수소산소혼합가스의 화염 특성에 근거한 절단에서 모재의 열적특성을 고찰하기 위해 Fig. 4와 같이 절단 시편의 후방 50mm 부근에서 동일 노출과 압력으로 LPG와 수소산소혼합가스 연료로 가열하여 전방부의 온도가 시편의 용융점

(1500°C) 까지 도달하는 시간과 용융점 도달 시의 시편의 온도 분포를 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다.

Fig. 4와 같은 방법으로 측정된 시편의 온도분포는 Fig. 5~7과 같다. Fig. 7에서 확인할 수 있듯이 시편의 용융점인 1500°C 까지 도달 하는 시간은 LPG를 연료로 할 경우 약 23초 소요되었으며, 수소산소혼합가스를 연료로 할 경우 약 17초 소요되었다. 또한 Fig. 5~6에서 확인할 수 있듯이 용융점 도달시의 시편의 온도분포는 LPG를 연료로 하였을 경우 열변형이 우려되는 300°C 이상의 온도의 면적이 120mm<sup>2</sup>이었으며, 수소산소혼합가스를 연료로 사용하였을 경우 300°C 이상의 온도의 면적이 45mm<sup>2</sup>로 확인되었다.

Fig. 4와 같은 실험방법을 통해 확인 할 수 있는 Fig. 5~6의 측정결과는 수소산소혼합가스를 연료로 가열 하였을 경우에 LPG 보다 시편에 대한 열 전달이 60%이상 영향을 적게 미치는 것으로 확인 되었다.

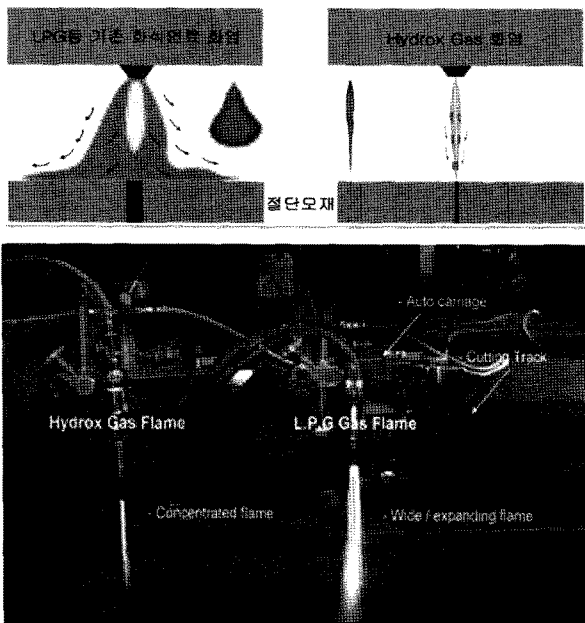


Fig. 3 Flames of LPG and Hydrox gas

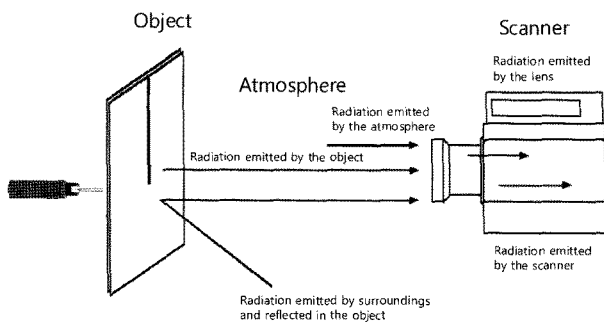


Fig. 4 Thermal distribution measurement situation of hydrox and LPG heating



Fig. 5 Thermal distribution of LPG heating

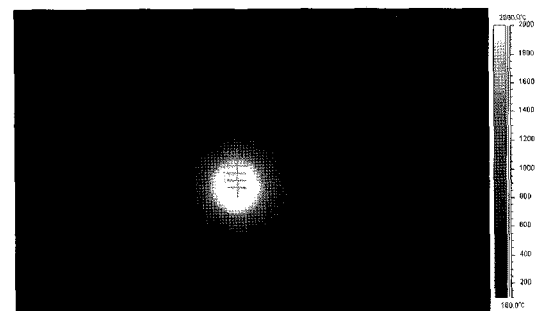


Fig. 6 Thermal distribution of hydrox gas heating

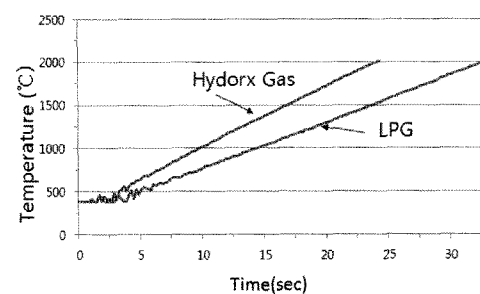


Fig. 7 Temperature of heating point due to hydrox gas and LPG

#### 4. 실험방법 및 결과

수소산소혼합가스를 이용하여 선상가열의 유효성을 판별하기 위하여 4번의 성능 테스트를 실시하였다. 실험목적은 수소산소혼합가스의 소모량과 곡물의 비교 검토와 소음측정을 위한 것이며 500mm×500mm×15mm의 동일시편에 대해 각각 20회의 시험 후 평균값을 구하고 LPG 선상가열과 수소산소혼합가스 선상가열의 특성 차이를 비교 하였다.

사용된 수소산소혼합가스 발생기의 제원은 Table 1과 같으며, Fig.8 은 수소산소혼합가스 화염과 시험 시편을 보여주고 있다.

수소산소혼합가스 선상가열 시험은 조선소의 현지 숙련공에 의해 수행되었으며, LPG 선상가열 작업과 동일한 방법으로 진행되었다. 먼저 LPG 선상가열 작업을 표준 작업으로 설정하고 3번의 시험을 비교하였다. Table 2는 조선소에서 숙련공에 의해 선상가열을 진행한 시간과 LPG 사용유량과 시편 양측 변형량을 측정할 것이다.

Table 3은 수소산소혼합가스 선상가열에 대한 시험값으로서 1차, 2차, 3차 시험에 대한 값을 보여 주고 있다.

선상가열에서 곡물은 좌측과 우측 변형량의 편차가 적을수록 우수한 가공이다. LPG 선상가열을 하였을 경우 좌우의 편차가

1.8mm인 반면 수소산소혼합가스를 사용하였을 경우 최대 0.2~0.4mm의 편차를 보여 주었으며, 수소산소혼합가스 선상가열의 편차가 78~89% 감소하여 약 11~22% 수준으로 떨어졌다. 또한 가열원형 형성시간은 짧을수록 유리하며, 가열원형 형성시간은 LPG 선상가열의 경우와 수소산소혼합가스 선상가열의 경우의 편차가(현장 사용유량 : 21~24m<sup>3</sup>/h) 0.5~1초 정도로 가공조건과 일정한 시간에 작업이 진행되었다. Fig. 9는 선상가열 시편의 곡물을 측정하는 모습을 보여주고 있다.

수소산소혼합가스 선상가열의 경우 소음 측정은 약 98데시벨로 측정 되었으며, LPG 선상가열의 120 데시벨 보다 약 20%로 소음을 감소하였다. Fig. 10은 소음측정 값을 보여주고 있다.

시험에 사용된 선상가열용 수소산소혼합가스 발생기의 최대 발생유량은 약 시간당 약 31m<sup>3</sup>/h를 발생시키나 사용된 유량은 약 21~24m<sup>3</sup>/h 정도를 사용하였다. 차후 유량의 최적값에 대한 연구를 더 진행한다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. Table 4에서와 같이 수소산소혼합가스 선상가열이 LPG 산소 선상가열에 비해 연료비가 획기적으로 절감된다. 이렇게 경제적인 측면에서도 동일한 작업 시 도입 후 설치 투자금(6억원)이 향후 2년 6개월 안에 회수가 가능하며, 향후 LPG 가격 상승 시에도 전기료의 상승 되지만 동반 상승시 에너지 절감효과 측면에서 더 많은 금액이 절감된다. 또한 향후 LINE 이동시나 증설시 별도의 산소나 LPG라인을 설치하지 않아도 되는 장점이 있다.

Table 1 Specification of hydrox gas generator

Specification	Model	40M-H
	Size	2600*1500*2700mm
	Weight	2000kg
	Gas production	1.8m <sup>3</sup> /h

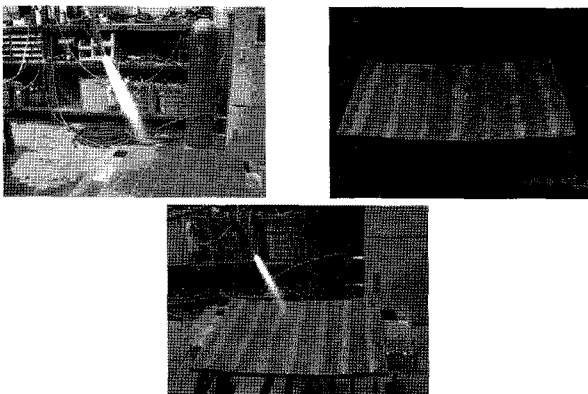


Fig. 8 Hydrox gas flames and specimen for Line Heating

Table 2 Line heating test using LPG

Fuel (LPG/O <sub>2</sub> )	Average Heating Time	Left Average Deformation	Right Average Deformation
12m <sup>3</sup> /h, 43m <sup>3</sup> /h	1min 29s 37	10mm	8.2mm

Table 3 Line heating test using hydrox gas

Test	Fuel (Hydrox Gas)	Average Heating Time	Left Average Deformation	Right Average Deformation
1th	10m <sup>3</sup> /h	1min 53s 31	11.8mm	12mm
2st	13m <sup>3</sup> /h	1min 39s 04	13.8mm	13.2mm
3rd	21~24m <sup>3</sup> /h	1min 33s 49	13.1mm	12.8mm

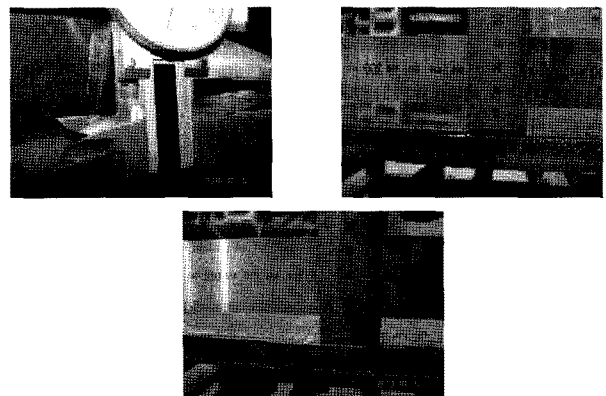


Fig. 9 Deformation measurement of specimen for Line Heating

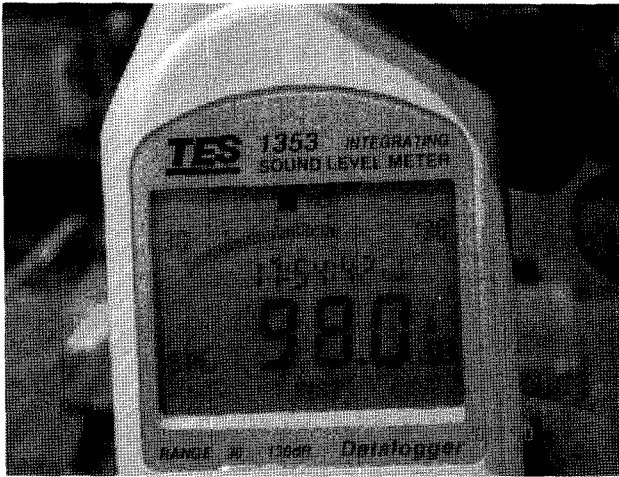


Fig. 10 Noise measurement of line heating

Table 4 Cost comparison of Fuel

Gas	Day (m <sup>3</sup> /h)	Mon (m <sup>3</sup> /h)	Year (m <sup>3</sup> /h)	Unit Cost (Won)	Cost (Won)
LPG	240	6720	80640	2600	209,664,000
Oxygen	860	24080	288960	362	104,603,520
Hydrox	800	22400	268800	240	64,512,000

## 5. 결론

LPG 선상가열과 수소산소혼합가스 선상가열에 대한 특성을 시험한 결과 수소산소혼합가스 선상가열이 에너지는 절약하면서 좌우 편차가 78~89% 감소하여 약 11~22% 수준으로 떨어졌으며 가열시간은 비슷한 값을 보여주었고 소음측면에서도 약 18.3% 감소한 결과를 보여 주었다.

또한 사용된 수소산소혼합가스 발생기는 설치 장소가 부족한 공장에 적용이 가능하며, 이동이 가능한 이동식 저 용량의 가스 발생기의 제작이 가능하여서 선박회사의 야드에서의 절단 작업이 적용이 가능하다. 또한 소형 경량화 된 고용량의 수소산소혼합가스 발생기는 향후 수출 경쟁력에서 유리하게 작용되며 수소산소혼합가스 발생기의 대중화에도 선도적인 역할을 하리라 사료 된다.

## 후 기

“이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0023764)”

## 참 고 문 헌

- (1) Kim, H. G., and Kwac, L. K., 2010, “A Study on the Thermal Characteristics of LPG and Hydrox Gas Cutting,” *Journal of the KSMTE*, Vol. 19, No. 2, pp. 301~305.
- (2) Kim, H. G., and Kwac, L. K., 2010, “A Study on the Characteristics of Mixed Combustion for Hydrox Gas,” *Journal of the KSMTE*, Vol. 19, No. 2, pp. 203~234.
- (3) Min, S. Y., Maken, S., Park, J. W., Gaur, A., and Hyun, S., 2008, “Melting Treatment of Waste Asbestos using Mixture of Hydrogen and Oxygen Produced from Water Electrolysis,” *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol.25, No.2, pp. 323~328.
- (4) Kim, S. N., 2002, *Brown Gas Heating Furnace made of Mineral Stone*, US Patent: 6397834.
- (5) Kim, S. N., 2004, *Brown Gas Combustion Apparatus and Heating System using the Same*, US Patent: 20040013988A1.
- (6) Kim, S. N., 2004, *Heating Apparatus using Thermal Reaction of Brown Gas*, US Patent: 6761558.
- (7) Brown, Y., 1978, *Arc-assisted Oxy/Hydrogen Welding*, US Patent: 4081656.
- (8) Hyun, J. S., Park, J. W., Maken, S., Gaur, A., and Hyun, S., 2004, “Vitrification of Fly and Bottom Ashes from Municipal Solid Waste Incinerator using Brown's Gas,” *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol.10, No.3, pp. 361~367.
- (9) Yoo, Y. T., Kim, J. Y., Ro, K. B., Yang, D. J., Oh, Y. S., Im, K. G., and Kim, J. H., 2003, “Estimation of Laser Welding Behavior of SM45C Steels by Plume Monitoring,” *Journal of the KSMTE*, Vol.12, No.6, pp. 14~21.