

# 바이오가스 MGT 발전용 전처리시스템 재료특성 평가

허광범\*, 박정극, 임상규, 김재훈\*\*

## Test Evaluation of Pretreatment System Material for Bio-gas Micro Gas Turbine Power Generation

Kwang-beom Hur\*, Jung-keuk Park, Sang-gyu Rhim and Jae-hoon Kim\*\*

### Abstract

As the distributed generation becomes more reliable and economically feasible, it is expected that a higher application of the distributed generation units would be interconnected to the existing grids. This paper describes the results for the mechanical and environmental tests of pretreatment system material. Mechanical Characteristics make differences between parent / weldment, Notch existence / non-existence and air/H<sub>2</sub>S conditions. As a result, the life of pipe lines needs to maintain and fit for the operating period. Based on actual situations, the tension test of pipe welding-parts is carried out varying the exposure time of hydrogen sulfide and the fatigue resistance test is also performed inserting a notch into the pipe welding part, being exposed to the hydrogen sulfide environment for 720 hours.

### Key words

Bio-gas(바이오 가스), Fatigue Test(피로시험), H<sub>2</sub>S gas(황화수소가스), Pretreatment System(전처리 시스템), Micro Gas Turbine(마이크로 가스터빈), Fatigue limit(피로한도)

\* 한국전력공사 전력연구원

☎ E-mail : kbhur5798@hanmail.net ☎ Tel : (011)852-5619 ☎ Fax : (042)865-5304

\*\* BK21 Mechatronics Group, 충남대학교 기계설계공학과 교수

☎ E-mail : kimjhoon@cnu.ac.kr ☎ Tel : (042)821-6645 ☎ Fax : (042)821-8894

## 1. 서론

국내외적으로 대형발전설비에 대한 입지문제와 막대한 건설비용으로 추가적인 설비증가는 둔화되고 있으며, 국가적차원의 유효에너지를 향상시킬수 있는 분산형 발전시스템의 개발 및 설치가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 또한 급격한 경제성장과 산업의 고도화로 인해 전력소비의 급증과 환경오염 문제가 발생하고 있으며, 이로 인해 에너지 자원의 고갈과

환경파괴 문제가 야기되고 있다. 이러한 문제점에 대처하기 위해 신재생에너지를 이용한 전력생산 및 공급을 통하여 종래의 대형발전소 중심의 전력수급 체제로부터 수요관리와 제어를 고려한 체제로 변화하려 하고 있으며, 더 나아가 다양한 신재생 에너지원의 효율적 활용이 가능한 분산형 전원 시스템의 개발과 도입이 진행되고 있다. 이러한 분산형 전원의 보급을 위해서는 바이오가스와 같은 국내 부존자원의 적극적 활용을 토대로 한 기존의 대규모 발전설비와는 달리 소형이

면서 높은 열효율을 가지며, 환경친화적인 발전원의 도입이 고려되어야 하는데 기존의 대형 발전설비인 수력, 화력, 원자력 발전은 이러한 소규모 친환경적인 시스템으로는 여러 문제점이 있어 현재 가장 환경 친화적 분산발전을 위한 시스템으로 바이오 에너지 마이크로 가스터빈을 이용한 열병합 발전 등이 선진국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, 미래에는 본격적인 보급이 활성화 될 것이다.<sup>(1)</sup>

본 연구에서는 마이크로 가스터빈 전처리시스템의 배관 재료의 황화수소 노출에 의한 건전성을 확보하기 위하여 실험을 수행하였다. 황화수소가 고농도로 유동되는 탈황설비 이전단계에 스테인레스 배관은 재질이 SUS 304이며, 규격은 40A, 용접방법은 TIG 용접을 통해 체결된다. 이때, 황화수소는 용접부에 수분과 함께 반응하여 국부부식의 일종인 점부식과 응력부식균열 등을 유발할 수 있다.<sup>(2-4)</sup> 결과적으로

용접강도가 크게 저하되고, 누출사고와 같은 사고에 노출되게 된다. 실제상황을 근거로 하여 황화수소에 노출된 시간에 따라 배관용접부의 인장시험을 수행하며, 배관용접부에 노치를 삽입하여 황화수소분위기에서 720시간동안 노출시킨 후, 피로시험을 수행하여 피로강도특성을 평가한다. 이상의 내용을 아래와 같이 정리하였다. Fig. 1에 나타내었다.

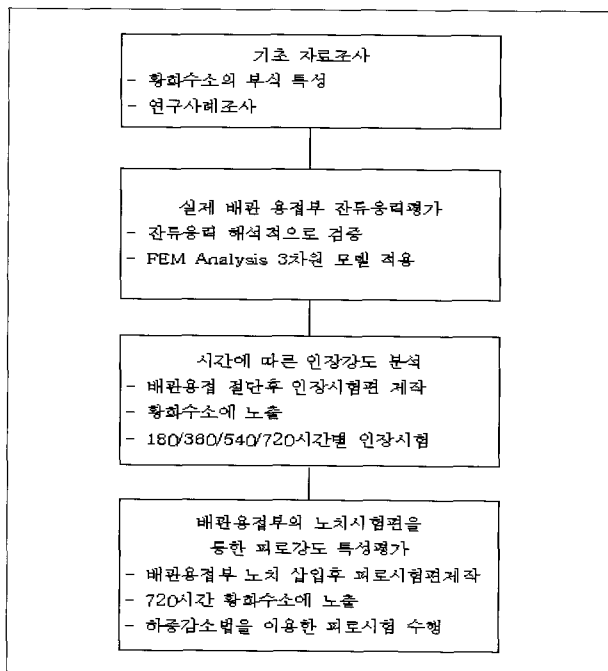


Fig. 1 Flow Diagram of this study.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 가스터빈 전처리시스템에 사용된 STS304 재질의 파이프를 사용하였다. 시험편의 화학적 구성과 기계적특성은 Table 1~2에 나타내었다. 가스터빈 전처리시스템 파이프의 연결은 TIG 용접을 사용한다. 따라서 본 연구에서도 실제와 같은 용접법을 사용하여 STS304 파이프를 용접하였다. TIG용접 후 파이프에서 Fig. 2에 보여진 대로 시험편을 제작하였으며, 시험편은 ASTM E8, E21에 의거하여 인장시험 및 피로시험을 위한 시험편을 제작하였다. 시험편의 종류에는 총 네 가지로 제작하였으며, 시험편의 종류는 Table 3에 나타내었다. 모재와 용접재, 노치가 삽입된 모재와 용접재로 제작하였다. 시험편의 노치는 용접부의 열영향부(Heat Affected Zone)에 해당하는 부분에 노치를 삽입하였다.

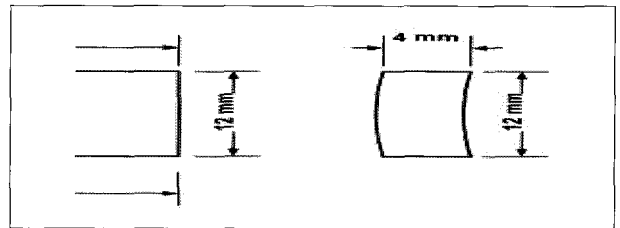


Fig. 2 Shapes of specimen.

Table 1. Chemical composition (Wt. %)

C	Cr	Fe	Mn	Ni	P	S	Si
≤.8	18~20	66~74	≤	8~10.5	0.045	≤.03	≤.0

Table 2. Mechanical properties

Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus of Elasticity (GPa)	Shear Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
505	70	193 - 200	86	0.29

Table 3. Specimens for Test

	Notch (insert)		Notch (none insert)	
	Base metal	Weld metal	Base metal	Weld metal
H <sub>2</sub> S (exposed)	Base metal	Weld metal	Base metal	Weld metal
H <sub>2</sub> S (none exposed)	Base metal	Weld metal	Base metal	Weld metal

## 2.2 실험방법

황화수소가스의 인위적 부식을 위하여 황화수소노출 시험기를 제작하였다. 황화수소환경하의 실험을 진행하기위하여 Fig. 3와 같이 황화수소를 시험편에 노출시킬 부식 챔버와 황화수소 노출시 일정온도를 유지시켜줄 시험 장치를 제작하였다. 황화수소는 인체에 유독한 가스이므로 가스가 유출되는 것을 방지하기 위하여 황화수소챔버를 물에 집어넣었다. 그리고 챔버안의 온도를 50°C로 유지하기 위하여 챔버에 온도컨트롤러를 부착하여 물의 온도를 유지하도록 하였다. 인위적 부식을 위해 챔버 안에는 앞서 제작한 모재와 용접재, 노치가 있는 모재, 노치가 있는 용접재를 넣었다. 황화수소 노출시간은 180/ 360/ 540/720시간으로 하였다. Fig. 4는 유압식 만능시험기로 인장시험과 피로시험에 사용된 장비이다. 시험편을 황화수소에 시간별로 노출시킨 후 노출시간별 모재, 용접재, 노치가 있는 모재, 그리고 노치가 있는 용접재를 인장실험 하였

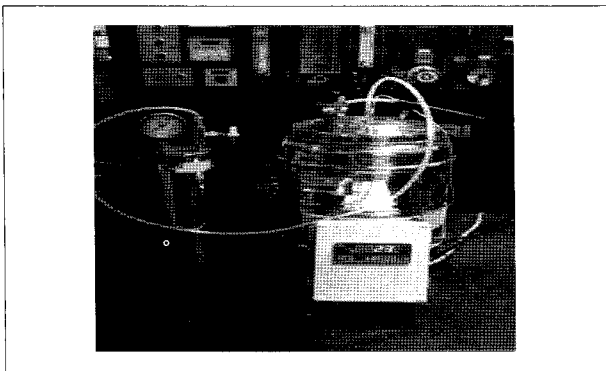


Fig. 3 H<sub>2</sub>S Exposure Testing Equipment.

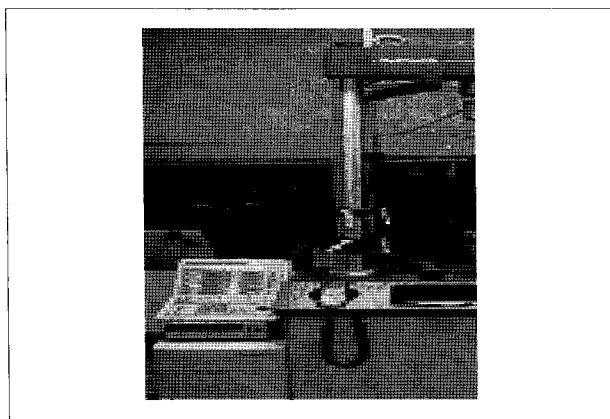


Fig. 4 Hydraulic Universal Testing Machine (INSTRON 8801).

다. 황화수소에 720시간 노출된 모재와 용접재, 황화수소에 노출시키지 않은 상온의 모재와 용접재를 피로실험 하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 시험편별 인장시험 결과

Fig. 5는 황화수소 노출 시간에 따른 모재와 용접재의 인장 실험결과이다. 인장강도는 황화수소 노출시간이 적은 시험편이 노출시간이 길었던 시험편보다 약간 높았다. 최대인장강도 비교에서는 모재의 시험편이 용접재의 시험편보다 높

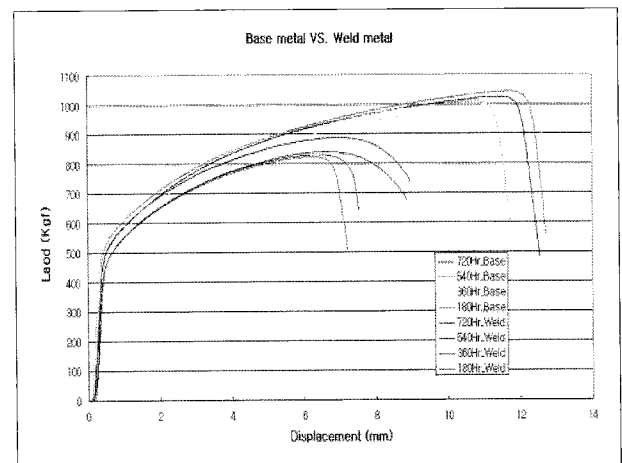


Fig. 5 Tension Test Results according to exposure time to H<sub>2</sub>S for Base and Weld Metals.

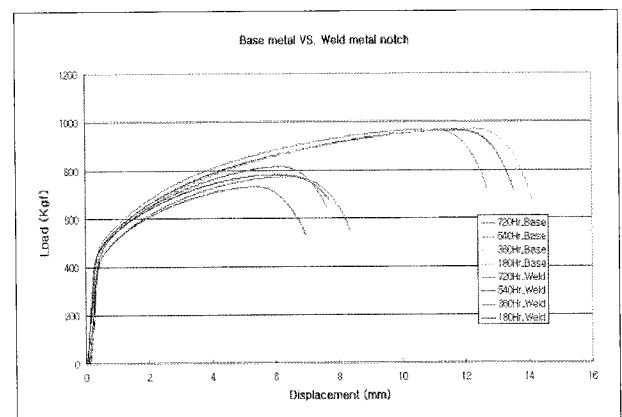


Fig. 6 Tension Test Results according to exposure time to H<sub>2</sub>S for Base and Weld Metals having Notches.

은 인장강도를 보였다. Fig. 6은 노치를 삽입한 모재와 용접재의 황화수소 노출시간에 따른 인장 실험결과이다. 180시간과 360시간의 경우 별다른 차이를 보이지 않았고 유사한 인장 시험결과를 나타내었다. 하지만 시간에 따라서는 약간의 차이를 보이고 있다. 황화수소 노출시간이 180시간과 720시간의 경우는 많은 차이를 보이고 있다. 또한, 노치의 유무에 따라 인장강도의 차이를 보이고 있다.

### 3.2 피로시험방법 및 결과

피로시험의 조건은 다음과 같다. ASTM E206/ ASTM E466/ ASTM E467의거 피로시험을 진행하였다. 하중비(R)는 0.1로 하였으며, 피로수명(fatigue life)의 피로한도(fatigue limit)는  $10^6$  사이클로 정하였다. 피로시험은 720시간 50°C의 황화수소에

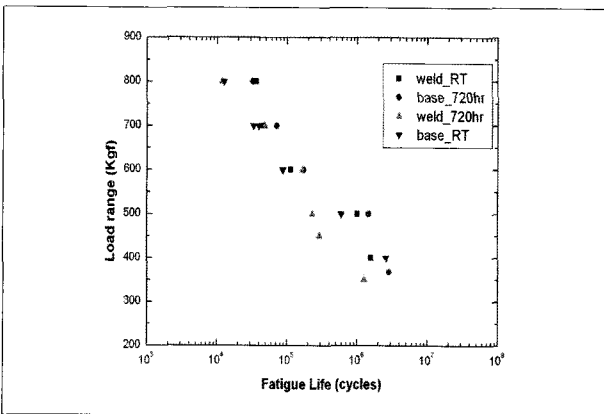


Fig. 7 Fatigue Test Results of Base and Weld Metals Exposed to H2S VS Base and Weld Metals.

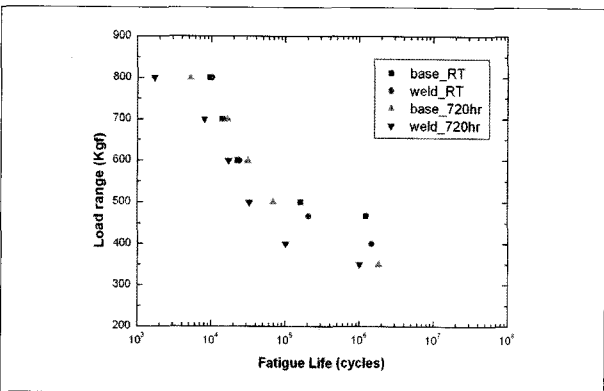


Fig. 8 Fatigue Test Results of Base and Weld Metals Exposed to H2S VS Base and Weld Metals (Notches Inserted).

노출된 시험편과 상온에서의 피로시험을 수행하였다. 시험편의 종류 또한 인장시험과 마찬가지로 모재와 용접부, 노치 삽입된 모재와 용접부 네 가지의 경우에 대하여 시험을 수행하였다.

피로시험의 결과는 Fig. 7과 8에서와 같이 얻어졌다. Fig. 7은 황화수소에 노출한 모재와 용접재의 피로시험결과이고, Fig. 8은 황화수소에 노출된 노치를 삽입한 모재와 용접재의 피로 시험결과이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 황화수소 노출 시간이 길었던 시험편이 피로한도의 수명이 작게 나왔으며, 이는 인장시험을 통하여서도 예상을 할 수 있는 결과였다. 또한 노치가 삽입된 시험편에서도 720시간 황화수소를 노출한 시험편이 가장 낮은 피로한도를 나타내었다.

## 4. FEM 해석을 이용한 잔류응력 해석

### 4.1 FEM을 위한 모델링

FEM(finite element method)에 의하여 잔류응력을 해석

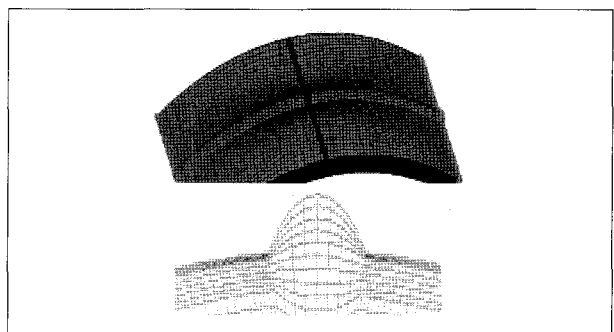


Fig. 9 3D Modeling for FEM.

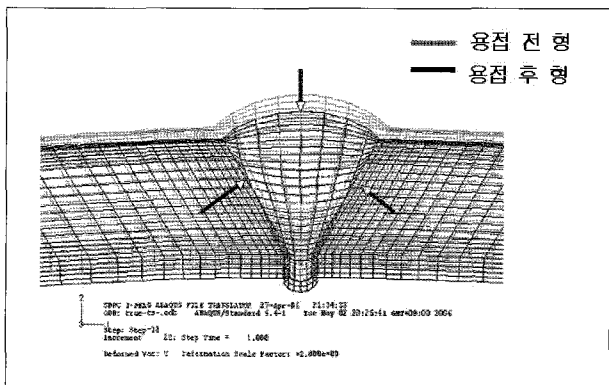


Fig. 10 Welding Parts Deformation by Thermal Effects.

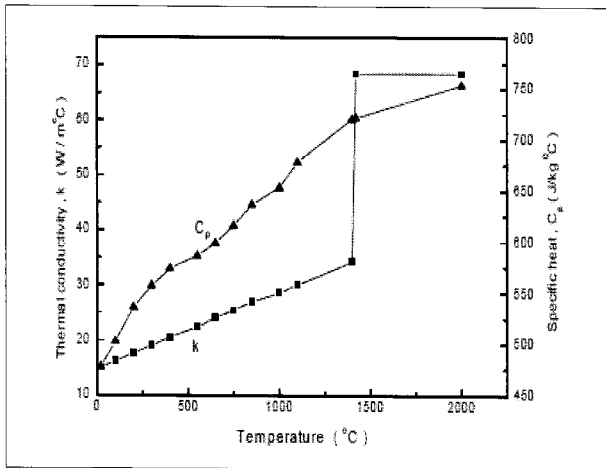


Fig. 11 The Property of Material according to Temperature.

하였다. Fig. 9는 I-DEAS 10을 이용하여 3차원 모델링을 하였다. 응력구조해석은 ABAQUS를 이용하여 해석을 수행하였다. 용접부의 유한요소해석을 위하여 요소재생법을 사용하였다. 3차원 모델링은 해석시간을 단축하기 위하여 파이프의 4분의 1을 설계하였다. 메쉬 작업은 Fig. 9에서와 같이 8절점, solid mesh(C3D8)로 수행하였다. Fig. 10은 열응력에 의하여 변형이 된 상태를 보여주는 그림이다. 경계조건은 파이프의 양쪽 끝단을 구속하였으며, 용접부분은 자유단으로 하였다. 열응력을 구하기 위하여 Fig. 11의 온도별 재료의 물성치를 입력하여 열전달을 구하였으며, 열전달에 의한 열응력을 해석하였다.<sup>(5,6)</sup>

#### 4.2 FEM 통한 해석 결과

접부의 열응력에 의한 잔류응력의 분포를 확인 하였다. 파이프의 축 방향과 원주방향의 존재하는 응력은 Fig. 12과 13에 나타내었다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 축 방향에서의 잔류응력의 값이 크게 나왔으며, 열영향부에서의 응력집중이 나타났다. 열영향부에서 먼 거리에서는 응력의 이완이 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서 얻어진 주요한 결론은, STS304를 이용한 바

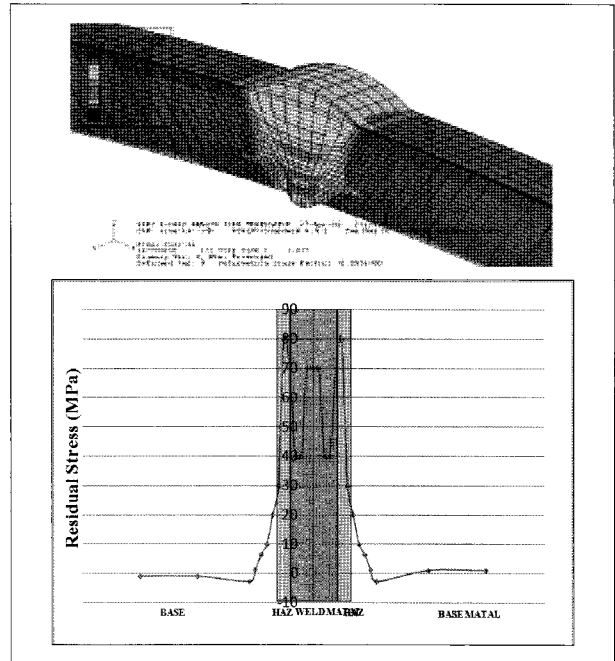


Fig. 12 Residual Stress Distribution for a Direction of the Axis.

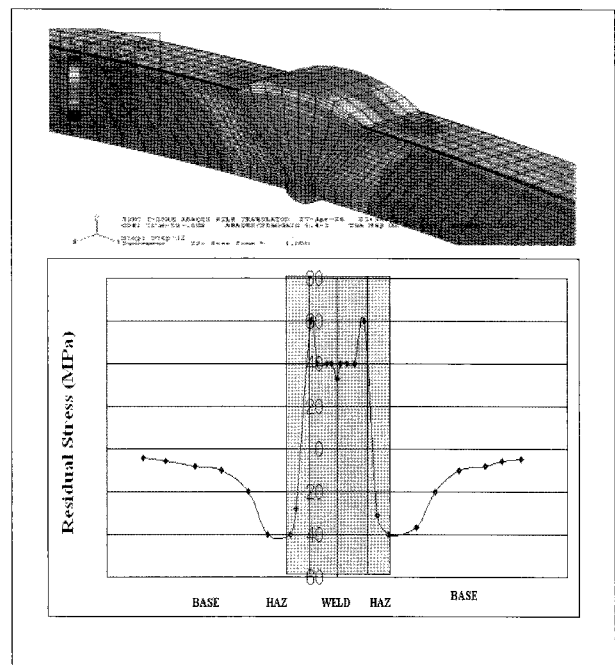


Fig. 13 Residual Stress Distribution for a Direction of the Circumference.

이오 가스 전처리시스템의 배관재료 특성에 대한평가로써 다음과 같다.

1. 인장시험과 피로시험을 통하여 노치가 삽입된 시험편이 인장강도와 피로강도가 떨어지는 것을 예상 할 수 있었으며, 황화수소의 영향으로 인하여 강도의 차이가 나타남을 확인 할 수 있었다.
2. 황화수소의 노출시간별로 인장시험을 통하여 노출시간에 의하여 인장강도의 차이를 확인할 수 있었으나 매우 큰 차이는 없었다.
3. 모재와 용접부의 인장강도 차이가 약 100~120Kgf로 나타났다. 또한 노치가 있는 모재와 용접부는 약 80Kgf로 나타났으며, 노치가 있는 모재와 노치가 없는 모재의 인장강도의 차이는 50~80Kgf로 나타났다.
4. 용접부의 해석을 통하여 정량적으로 열응력에 의한 시험편의 잔류응력에 대하여 알 수 있었다. 축 방향에 대하여 약 80MPa 정도의 응력이 존재함을 확인 할 수 있었다.
- 5) 모재와 용접부의 강도차이는 황화수소의 영향이라기보다는 노치의 유무에 따라 큰 차이가 나타남을 확인하였다.

## References

- [1] Francisco Jurado, Antonio Cano, Jos\_e Carpio, 2004, "Biomass based micro-turbine plant and distribution network stability", Energy Conversion and Management, pp. 2713-2727.
- [2] R.H. Jones, C.F. windisch, B.W. Arey, D.R.Baer,1991, "Grain-Boundary Chemistry Effects on the Intergranular Stress Corrosion of Iron Alloys in Sulfate and Nitrate Solutions", National Association of Corrosion Engineers, pp. 542-554.
- [3] J. Congleton, R.A. Berrisford, W. Yang, 1995, "Stress Corrosion cracking of Sensitized Type 304 Stainless Steel in Doped High-Temperature Water", Corrosion Vol. 51, No. 12.
- [4] T. Nakayama, K. Fujiwara, Y. Torii, T. Inoue,1989, "Development of High - Strength, High-Corrosion - Resistant Austenitic Stainless Steel for Sour-Gas Service", Corrosion Vol. 45, No. 9.
- [5] 양승용, "용접시편 변형률 및 잔류응력의 유한요소해석", 2003, 한국철도학회논문집 제7권 제2호, pp. 85-92.
- [6] 박영철, 오세욱, 허선철, 조용배, 1994, "Si3N4/SUS304 접합재의 잔류응력 및 강도평가", 대한기계학회논문집제18권 제1호, pp. 101-112.

### 허 광 범



1993년 성균관대학교 기계공학과 공학사  
2000년 충남대학교 기계설계공학과 공학석사  
1992년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 수화력발전연구소 선임연구원  
(E-mail : kbhur5798@hanmail.net)

### 박 정 극



1999년 연세대학교 기계공학과 공학사  
2003년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과  
공학석사

현재 한국전력공사 전력연구원 수화력발전연구소 연구원  
(E-mail : serendipity@kepri.re.kr)

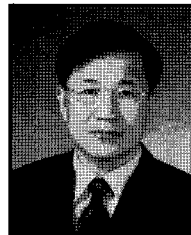
### 임 상 규



1982년 중앙대학교 기계공학과 공학사  
1982년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 수화력발전연구소 책임연구원  
(E-mail : sk6432@kepco.co.kr)

### 김 재 훈



1980년 2월 충남대학교 정밀기계공학과 공학사  
1982년 2월 충남대학교 대학원 기계공학과 공학석사  
1989년 2월 충남대학교 대학원 기계공학과 공학박사  
1994년 1월~1995년 1월 Drexel University, Post Doc.  
2005년 7월~2006년 8월 University of Illinois  
at Urbana-Champaign, 방문교수

현재 충남대학교 기계설계공학과, 교수  
(E-mail : kimjhoon@cnu.ac.kr)