

비 접촉원격 토오크 측정 시스템 개발

Development of Pushing Force Measuring System for Coke Oven Machines using Telemetry Method

전 중 학*, 허 윤 기*, 최 일 섭*

*포항제철 기술연구소 제철제어연구팀(Tel:+82-562-220-6301; Fax:+82-562-220-6914;
E-mail:pc542888@smail.posco.co.kr)

Abstracts The coke oven plant on a steel works has not, in the past, been regarded as a prime user of modern instrument technology. The reason for this perception may be due to the fact that the basic design of the coke battery has been changed little over the years. The recording and analysis of oven pushing force on a routine basis is seen as a means of monitoring plant operation. A torque sensor is set up at the shaft of the rotor for measuring pushing force. Pushing force data which is communicated from torque sensor to stator by telemetry method are shown on MMI(Man-Machine Interface) screen and stored in the database automatically. Perhaps the most important feature is that it allows a problem oven to be identified at an early stage and for corrective action to be taken before it develops into a refusal to push. In this way the mechanical loads imposed on the battery structure can be held to a necessary minimum, so helping to prolong its service life.

Key words : Coke, Pushing force, telemetry method

1. 서론

코크스 및 화성조업은 점결성이 있는 원료탄을 밀폐된 COKE OVEN에 장입하여 공기를 차단하고 고온으로 건류시켜 회백색의 단단한 화합물인 코크스와 부생가스인 COG(COKE OVEN GAS)를 제조하는 공정이다. 제조된 코크스는 고로에서 고 코크스의 형태로 열원 환원재로서 이용되며 소결 공장에서는 분 코크스로서 이용된다. 그리고 COG는 제철소의 전공정의 연료로서 사용된다. 주요 공정으로서는 코크스 제조에 필요한 원료탄을 사전 처리하는 선탄공정, 사전 처리된 원료탄을 COKE로 제조하는 COKE공정 그리고 건류중 발생하는 부생 가스의 불순물을 제거하여 제철소의 에너지원인 COG를 생산하는 화성 공정이 있다. 광양 코크스 공장은 5고로 증설과 관련 식탄 조습설비로 인한 장입밀도의 증가를 야기한다. 장입밀도의 증가는 건류압의 증가 및 노체 부하를 증가시키는 문제점이 발생한다. 따라서 이러한 문제점이 발생하기 전에 탄화실 내부의 조업상태를 판단하고 이에 대처할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 토오크 측정 시스템은 코크스 오븐 각 탄화실의 이력 및 노벽상태 등을 지속적으로 관리하기 위한 수단으로서 RAM 압출력에 관련된 정보 [압출력, Motor 전류/전압/전력, 온도, Motor RPM 등]를 On-Line으로 측정하여 정량적으로 기록 관리함으로써 노체 구조물에 걸리는 기계적인 부하를 최소화하여 노체 수명을 연장하기 위하여 개발된 시스템이다.

본 논문에서는 이를 위하여 압출력 측정 센서와 관련된 Torque Measurement System, 3상 전동기의 전류/전압/출력 성분을 판단하기 위한 Motor Performance Test system, 압출력 센서와 전동기 출력간의 상관도를 분석하기 위한 Correlation System, 아날로그 신호처리 System, 압출력의 자동 저장 과 Database 구축 및 검색 System 그리고 이들의 정보를 조업자에게 제공하기 위한 MMI System 등을 구현하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 압출저항

압출저항이란 건류가 완료된 코크스를 압출기로 압출할 때 압출기의 RAM에 걸리는 저항인 압출력으로서 현재까지는 RAM 구동전동기의 전류값으로 표시되었다. 압출저항은 노내의 상태를 판단하기 위한 중요한 요소이다. 본 연구에서는 구동전류 뿐만 아니라 전동기의 축(Shaft)에 토오크 센서를 설치하여 더 정확한 압출저항을 검출하게 된다. 토오크 센서에는 strain gauge, encoder, 신호 전송 보드 등이 설치되어 있어서 압출에 관련된 정보를 얻을 수 있다. 토오크 센서가 부착된 축이 회전을 하므로 케이블에 의한 데이터 전송은 할 수 없다고 판단되어 센서 주위에 Stator를 설치하여 회전하는 토오크 센서와 비접촉 원격 신호 전송 시스템(telemetry system)을 사용한다. Stator로부터 얻어진 신호는 광케이블을 통하여 '토오크 측정시스템'으로 입력된다.

압출저항의 특성은 (그림 1)에서 보는 바와 같이 압출 초기에 정지 마찰력에 의한 최대치를 보이다가 압출이 시작되면 일정한 레벨까지 내려가서 안정하게 된다. 압출초기의 최대 RAM 압출력은 코크스 오븐의 압출 가능성의 여부를 나타내며 양호한 조업에서는 코크스 Ton당 0.75Ton 정도이다. 압출저항의 지속적인 관리는 조업의 비정상상태를 파악하는 데 중요한 데이터가 된다. 압출저항은 다음과 같은 인자들에 의해 영향을 받는다.

● 장입탄 특성

장입밀도, 최대유동도, 휘발분, 활동성분 등

● 노체 및 연소 특성

카본(Carbon) 부착, 연와열화, COG 연소 등

위의 인자들이 노체에 미치는 영향도를 압출저항을 통해 분석하여 노체 장수명화에 기여할 수 있다.

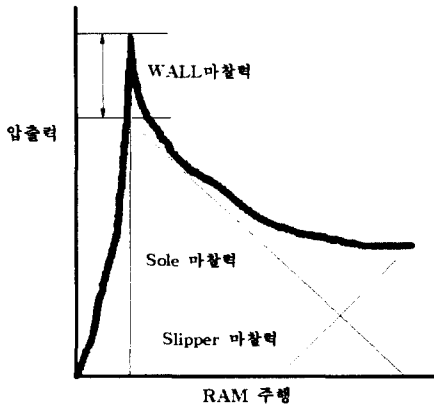


그림 1. 압출저항의 특성

2.2 유도전압, 전류 그리고 토크와의 관계

문제를 간단히 취급하기 위해서 ① 1차 권선의 각 상에 걸어 준 전압 V_1 은 정현파이고 f_1 의 주파수라고 하면, ② 매 극의 자속 Φ 는 에어 갭(Air Gap)으로 되어 있는 공간에서 정현 분포가 되고 있고 동기속도로 회전한다고 가정한다.

2.2.1 전동기 회전수

만약 회전자가 동기속도로 회전한다고 하면 회전자 도체와 자계는 같은 속도이므로 도체는 자속을 끊지 못하고, 2차 회로에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 전류와 자계의 관계에서 생기는 토크는 전류 없다. 따라서 유도전동기가 토크를 발생하여 회전하려고 하면, 회전자 속도는 반드시 동기속도 이하가 되어야 한다. 물리적 입장에서 토크는 다음과 같은 식으로 표시된다. 즉 토크 T 는

$$T = k\Phi I_2 \quad (1)$$

k 는 정수, I_2 는 2차 회로의 전류이다. Φ 는 전동기의 역기전력에 비례하고 1차 공급전압이 일정 하면 대략 일정하다. 부하의 토크가 커지면 전동기의 I_2 는 증가하려 하고 이것이 증가되려면 회전자 속도가 저하하여 동기속도와 차가 커져서 2차 유전압이 증가하여야 한다. 동기속도 n_0 와 전동기의 속도 n 과의 관계를

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100 [\%] \quad (2)$$

로 하고 s 를 전동기의 슬립(Slip)이라고 하면 이것은 부하의 토크에 좌우된다. 또 이것에 의하여 전류가 변한다. 1차 권선에 흐르는 여자 전류에 의하여 생기는 회전자계와 1차 권선에 유기 되는 전압과의 관계는 다음과 같다.

2.2.2 1차,2차의 기전력

$$E_1 = 4.44fN_1k_p k_a \Phi_m = 4.44fN_1k_{\omega 1} \Phi_m \quad [V] \quad (3)$$

여기서 N_1 = 1차 1상의 직렬로 된 권선수, $k_{\omega 1}$ = 1차 권선의 권선 계수이다. 이것은 역기전력이므로, 단자전압 V_1 과의 관계 식은

$$\dot{E}_1 = \dot{V}_1 - \dot{I}_1 Z_1 \quad (4)$$

이고, 각상 전압에서 각상의 임피던스 강하를 뺀 것이다. 회전자계는 회전자가 정지하여 있을 때는 1차 권선을 끊는 것과 같은 속도로 2차 권선을 끊으므로, 2차 유기전압 E_2 는 1차 유기전압과 같은 형식이 된다.

$$E_2 = 4.44fN_2k_{a2}\Phi_m \quad [V] \quad (5)$$

여기서 k_{a2} 는 2차 권선의 권선 계수이다.

2.2.3 무부하 전류와 부하전류

전동기를 무부하로 운전할 때 1차 측에 흐르는 전류를 무부하 전류라고 한다. 이것은 전동기내의 회전자계를 만들어 주는 데 필요한 자화전류와 철손 및 마찰손을 공급하는 유효전류와의 합성이다. 이 점은 변압기 무부하시의 경우와 같으나, 전동기에는 에어 갭이 있기 때문에 자화 전류가 크고 또, 마찰손이 있기 때문에 유효전류가 많이 흐르고 변압기에 비하여 부하전류가 크다. 전류 부하로는 그렇게 좋지 않다. 자화 전류의 크기는 보통 전 부하전류의 20 ~ 50 % 사이에 있다.

무부하 전류 m_1 상 권선에 의한 기자력 $A \cdot T$ (amp-turn)는 다음과 같이 표시된다.

$$A \cdot T = \frac{m_1}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \sqrt{2} I_f \frac{N_1}{P} k_{\omega 1} \quad (6)$$

그러므로

$$I_f = \frac{P(A \cdot T)}{0.9m_1N_1k_{\omega 1}} = \frac{1.11P(A \cdot T)}{m_1N_1k_{\omega 1}} \quad [A] \quad (7)$$

이고 I_f 는 자화전류, N_1 는 매상의 권선수, $A \cdot T$ 는 에어갭 및 철 부분에 요구되는 자속을 통과시키는 데 필요한 매극마다의 $A \cdot T$ 이다.

2.2.4 토크

회전자계의 공간에 따른 분포를 정현파라고 하면, 이것에 의하여 유도되는 회전자 전압의 분포도 정현파로 되고, 공간적으로 동상이다. 회전자 리액턴스에 의하여 회전자 전류 I_2 는 정현파 분포를 표시한다. 전류는 전압보다 뒤떨어지고, 따라서 자속과 전류간에 위상차가 생긴다. 이 위상각을 θ_2 라고 한다. 또 최대 자속밀도 B_m 점에서 어떠한 각도 Ψ 만큼 떨어진 위치에서의 한 개의 도체에 작용하는 힘을 생각하면, 이 점의 자속밀도는 $B = B_m \cos \Psi$ 이고, 전류는 $i_2 = \sqrt{2} I_2 \cos(\Psi - \theta_2)$ 이다. 따라서 이 도체에 작용하는 힘 f_s 는 다음 식으로 표시된다.

$$f_s = Bi_2 l_a = \sqrt{2} B_m I_2 \cos(\Psi - \theta_2) l_a \quad [N] \quad (8)$$

여기서 B_m 는 (ub/m^2), l_a 는 도체의 유효길이 (m)이다. 회전자의 직경을 D [m]라고 하면, 한 개의 코일의 토크는

$$\begin{aligned} T_\phi &= 2f_s \frac{D}{2} = \sqrt{2} B_m I_2 \cos \Psi \cos(\Psi - \theta_2) l_a D \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} B_m I_2 l_a D [\cos \theta_2 + \cos(2\Psi - \theta_2)] \quad [N \cdot m] \end{aligned} \quad (9)$$

이 된다. 이식에서 제 2항은 2배의 주파수로 변환하는 토오크이므로 전동기 토오크는 T 곡선으로 표시되고, 제 1항은 평균치 T_a 이다. 이 경우 회전자 리액턴스 때문에 θ_2 에 상당한 역방향의 회전력을 발생하고 리액턴스가 없는 경우보다 토오크는 적어진다.

회전자에 발생하는 전 토오크를 구하려면 T_ϕ 의 평균치에 회전자 전 권선수 N_2' 를 곱하면 된다.

$$\begin{aligned}
 T &= N_2' \frac{1}{2} \pi \int_0^{2\pi} T_\phi d\psi \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{2} B_m I_2 l_a D N_2' \frac{1}{2\pi} \left\{ \int_0^{2\pi} \cos \theta_2 d\psi + \int_0^{2\pi} \cos(2\psi - \theta_2) d\psi \right\} \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{2} B_m I_2 l_a N_2' D \cos \theta_2 \quad [N \cdot m] \quad (10)
 \end{aligned}$$

또 매상의 권선수를 N_2 , 2차 상수를 m_2 라고 하면 $N_2' = m_2 N_2$ 이고, 전 자속은

$$P\Phi_m = \frac{2}{\pi} B_m \times \pi D l_a \quad \text{즉} \quad B_m D l_a = \frac{1}{2} P\Phi_m \quad (11)$$

이 되고, 위의 식은 다음과 같이 된다.

$$T = m_2 \sqrt{2} \pi f N_2 \Phi_m I_2 \frac{P}{4\pi f} \cos \theta_2 \quad (12)$$

또 2차 유효전압 $E_2 = \sqrt{2} \pi f N_2 \Phi_m$ 이므로, 이것을 위의 식에 대입하면

$$T = \frac{m_2 E_2 I_2 \cos \theta_2}{4\pi f P} [N \cdot m] = \frac{m_2 E_2 I_2 \cos \theta_2}{4\pi f P \times 9.8} [kg \cdot m] \quad (13)$$

이 된다. 이식에서 토오크(Torque)는 2차 입력을 동기 각속도로 나눈 것과 같고, 이것을 동기 와트라고 한다.

3. 토오크 측정시스템의 구성

3.1 시스템 구성의 개요

RAM의 압출력을 측정하기 위하여 RAM 구동축에 비접촉 원격 계측 시스템이 장착된 토오크 센서를 부착하여 구동축에 걸리는 토오크를 측정하였다. 또한 센서로부터 출력되는 신호와 실제 압출력과의 관계를 보정하기 위하여 Calibration 장치를 설치하였다. 압출저항의 신호의 분석은 산업용 PC에서 이루어지며, 입력정보로서는 압출력, 3상 유도전동기에 걸리는 전류 및 전압 그리고 전동기의 출력, RAM 위치, 노내 온도 등이다.

3.2 시스템 Hardware(H/W)의 구성

3.2.1 토오크 측정 시스템

압출력을 기존보다 정확하게 측정하기 위한 토오크 측정 시스템은 토오크센서와 Telemetry 시스템으로 구성되어 있다. 토오크센서는 신호 계측 및 전송이 가능하다. 압출기 축에 설치된 Strain Gauge로부터 발생된 신호를 Rotor로 전송하고 Telemetry 시스템은 Rotor에 설치된 토오크센서로부터의 정보를 비접촉 방법으로 Stator로 데이터를 전송한다. (그림2)는 본 시스템의 전체적인 구성도를 나타낸다.

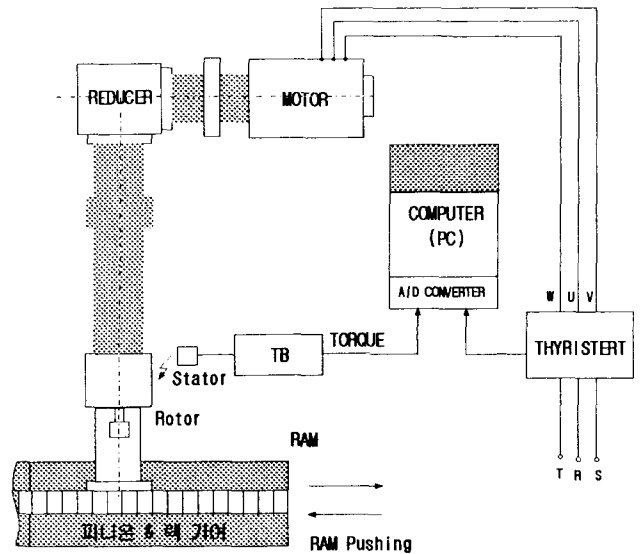


그림 2. 토오크 측정시스템의 H/W 구성

3.3 시스템 Software(S/W)의 구성

압출정보를 On-Line으로 보여주고 고장이력이 검색 가능한 S/W 구성은 다음과 같다. 개발된 S/W는 windows 95에서 구동되며, H/W로부터 오는 각종신호를 ADC를 통하여 PC로 입력된다. 사용된 ADC는 National Instrument사의 AT-MIO-16E1을 사용하였다. 이 보드는 12bit 분해능과 Differential 8 channel 아날로그 입력이 가능하고 최대 1MHz의 sampling time, 아날로그 출력, 디지털 입력력 및 counter/timer 기능을 갖춘 MMI 보드이다. MMI는 Labview를 사용하였고 ADC initialize module과 Differential 8 channel로 아날로그값을 초당 100번 scanning한다. MMI 화면에는 토오크값, RAM 위치, 온도, 전동기 RPM, 전동기 전류/전압/와트 값을 처리한 후 제공한다. 통신을 통하여 현재 작업중인 압출탄화실과 RAM 초기 구동 신호를 입력받는다. (그림3)는 MMI 초기 화면으로서 압출력을 RAM 위치별로 On-Line으로 제공하며 (그림4)는 전동기 전류값 온도 등의 설비 및 계장 정보를 제공한다. MMI에는 작업자가 원하는 시기에 자동으로 파일을 저장할 수 있고 혹은 강제적으로 파일의 형태로 저장할 수 있다.

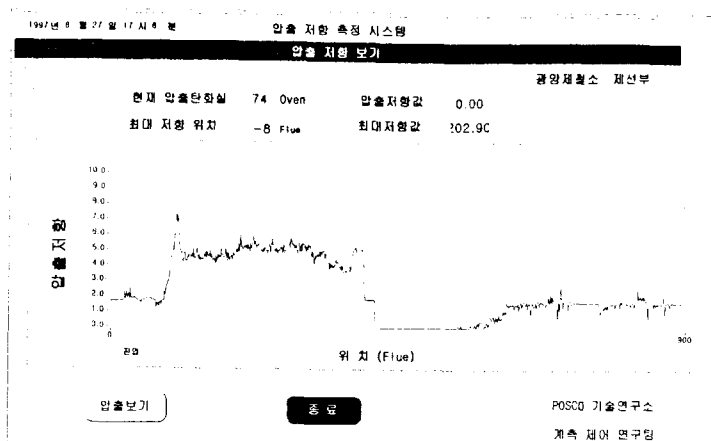


그림 3. 압출저항 Monitoring 화면

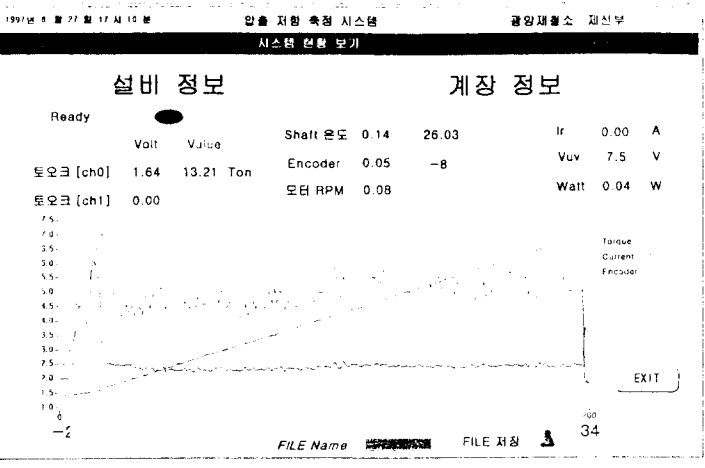


그림 4. 설비 및 계장정보 Monitoring 화면

4. 실험

본 논문에서 수행한 시스템의 성능을 검증하기 위하여 토오크 측정 시스템을 압출기에 설치하여 실험을 수행하였다. Stator로부터 운전실의 PC까지는 광케이블 공사를하여 신호를 전송하였고 운전실의 랙(Rack)에는 센서관련 제어기와 전류/전압/전력 센서 및 ADC 와 그의 주변장치 그리고 산업용 PC가 설치되어 있다.

(그림5)은 코크스 압출시 RAM을 구동하는 전동기의 전류값을 MMI화면을 이용하여 받은 데이터이다. (그림6)의 (1)은 RAM이 초기 구동을 시작하여 오븐 도어 앞에서 일시적으로 정지할 때이고 (2)는 코크스를 압출하기 시작할 때의 최대기동력으로 이 값이 최대 압출력을 나타내며 코크스 공정에서의 압출가능성을 판단할 수 있는 정보이다. (3)은 정상상태의 압출정보이다. 이 값의 경향은 정상조업시에는 일정한 값이 나타나지만 오븐내 카본이 많이 부착되어 있거나 벽면이 손상이 발생하였을 경우 그 부분에서 압출값이 상승한다. (4)는 RAM이 압출을 완료하고 뒤로 후진하기 직전의 데이터이다.

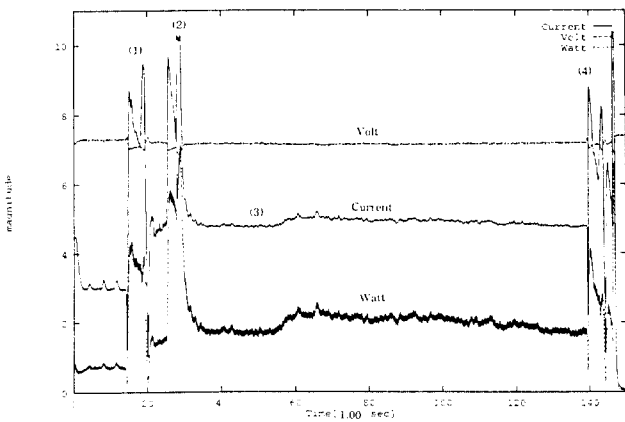


그림 5. 실험 결과

5. 결론

본 논문에서는 코크스로의 장수명화를 위해 가장 필요

한 기술인 탄화실 내부의 조업 상태를 정확하게 판단하여 정보를 조업, 정비 담당자에게 전달함으로써 조치를 가능하게 하는 기술이다. 또한 광양 코크스 공장은 5고로 증설과 관련 석탄조습설비를 설치해야만 하는데 이때 장입밀도 증가로 인한 건류압 증가 및 노체 부하증가의 문제점이 발생하게 되는데, 이와 같은 문제점이 발생하기 전에 연속적으로 탄화실 내부의 상황을 판단해 조치할 수 있는 압출기 압출저항 측정 시스템을 개발하여 문제점을 해결하였다. 측정된 압출저항을 분석함으로써 탄화실 내부 특정 부위의 노체 변형 정도나, 압출기 구동 전동기의 부하 상태 등의 정보를 직접 측정 가능하게 하여 설비 수명연장에도 도움을 주는 시스템이다.

참고문헌

- [1]. W.D. Becich and S. A. Olofsson, "Installation and Start-up of a Pusher Ram Pyrometer System at Inland Steel's No.11 Battery", *Ironmaking Conference Proceedings*, pp. 269-277, 1991
- [2]. B. Henricucz, "Pushing Schedule Derivation Method", *Ironmaking Conference Proceedings*, pp. 303-312, 1996
- [3]. Michio Honma, Shizuki Kasaoka, Makoto Hamaki, and Sakae Tamura, "Automatization of a Equipment to Reduce Physical Labor at Coke Oven Battery", *Ironmaking Conference Proceedings*, pp. 247-252, 1992
- [4]. S. Pilkington, G. Everson and K. Crudgington, "Coke Oven Instrumentation for The 90's-British Steel Developments", *Ironmaking Conference Proceedings*, pp. 241-246, 1991
- [5]. Ikuo Komaki, Kazuaki Furuta, Akikazu Nakazaki, Yasunori Yamamoto and Takatoshi Seki, "Improvement Of A Coke Plant Control System By Artificial Intelligence Technology", NIPPON STEEL CORPORATION, *Ironmaking Conference Proceedings*, 1991
- [6]. Michio Tanino, Minoru Sugawara, Akio Yokokawa, Hiroshi Takahashi, "Automatic Operation System For Coke Oven Machinery", *Ironmaking Conference Proceedings*, 1988, pp. 109-115
- [7]. Shigo Uekubo, Seiki Kayama, Tatashi Ono, Yoshiteru Kitayama, "Improvement of Measuring System of Pushing Force at Coke Oven", pp. 50-53, 1991
- [8]. Y.G. Hur, J.H. Jeon, I.S. Choi "Development of Instrumentation for Pushing Force at COKE OVEN", *ICASE(제어계측 자동화 로보틱스 연구회 합동 학술발표회) 논문집*, pp.189-191, 1997