미분탄 화염 영상 분석을 통한 취입랜스 최적 제어 기법 개발

김지언† ,이민철*,백준영**,정도영***,안영진****

Development of injection lance position control method using fine Bituminous Coal combustion Image Analysis.

Chiyen Kim, Mincheol Lee, Junyoung Baek, Doyoung Jeong and Youngjin Ahn

Key Words: Image Recognition(영상인식), Flame control(화염제어), Furnace heating(고로 가열), lance Control (랜스제어)

Abstract

This paper introduces the automatic fine Bituminous Coal injection lance position control method using flame image process. The fine Coal injection lance is used to supply additional heat into the furnace in Mill plant. It injects fine coal into high pressured air flow and produces very heated and high pressured flame. For the such high temperature and pressure, the fine coal injection lance effects not only efficiency of burner but also furnace abrasion. To keep efficient combustion status and to avoid the abrasion, in this paper, the flame is monitored by computer image process. This paper proposes the flame image process method and lance position control according to calculated result for flame image process.

1. 서 론

철광석에서 철을 추출하는 제선공정은 제철산업의 시작단계로써 특히 공정의 주축인 고로는 철강의 꽃이라 불리는 중요한 요소이다. 하지만 철광원석에서 철을 추출하여 생산하는 고로작업장은 철의 용융점을 넘는 극한의 작업 환경으로 많은 산업 안전 홍보 영상에서도 대표적으로 다루는 위험 현장 예제로 자주 등장하는 위험한 환경이다. 고로에 의한 철의 제조 공정은 고로 내부에 코크스의 발열에 의한 철광원석의 용융이 이루어 지며, 지속적인 공정을 위해 미분탄 연소를 통해 추가적인 열원 공급생성하여 고로 하단부로 취입시킨다. 이러한 고로 제선법은 오래된 방식이며 또한 고온의 열악한 작업환경 때문에 아직은 자동화율이 다른 산업에 비해 늦은 편이며 상당수 작업이 작업자의 수조작에 의해 이루어지고 이따. 특히 본 논문에서 개발하는 장치인 하단부 열원 공급 장치 또한 현장 작업자가 화염의 크기를 육안으로 확인하고 미분탄 랜스의 깊이 조절을 통해 화염을 제어하며 이는 작업자가 현장에서 수조작으로 작업하고 있는 실정이다(1). 따라서 수조작으로 이루어지는 화염 조절을 원격에서 모니터링 하면서 동시에 자동적으로 화염을 조절할 수 있는 자동화 방법의 필요성이 대두되고 있다. 이는 화염 영상을 통해 연소상태를 확인하고 미분탄 취입 랜스의 깊이를 연소상태와 연동시켜 자동적으로 조절할 수 있는 제어 알고리즘개발을 통해 해결할 수 있다(2~4). 따라서 본 논문에서는 화염의 영상 분석을 통한 미분탄 분사장치의 깊이 조절의 양을 추측하고 랜스의 취

† 부산대학교 기계공학부 대학원
E-mail : chiykim@pnu.edu
TEL : (051)510-3081 FAX : (051)512-9835
* 정회원, 부산대학교 기계공학부
** 부산대학교 기계공학부 대학원
*** 부산대학교 기계공학부 대학원
**** (주) 정회원, 삼우기계 기술연구소

입 깊이를 제어하는 기술을 개발한다. 1기의 고로에 단일개가 아닌 최소 36개에서 최대 40개의 버너에 의한 열원 유입이 있고 이들을 개별적으로 조정해야 하며 현재 고로 사업장에서는 다수의 현장 작업자가 이 일을 하고 있다. 따라서, 연구 기술은 입력 영상의 분할 처리와 랜스 깊이제어의 네트워킹 기능 확장성을 기초로 하여 개발한다. 결과적으로 본 기술 개발을 통해 복수개의 자동화 기술을 접목하여 작업자의 안전을 도모함은 물론이고 최적의 화염 조정으로 효율성과 동시에 생산성 향상의 효과도 기대할 수 있게 된다. 본 논문에서는 랜스 자동화를 위해 필요한 시스템을 설계하고 화염 영상 인식 기법을 개발하며, 화염 크기에 따라 사용자가 설정한 화염 크기를 유지하도록 랜스를 제어하는 시스템을 기술한다.

2. 시스템 구성

본 논문에서는 영상 인식을 위한 영상 획득 부분과 랜스 제어를 위한 모터 구동 부분으로 크게 두 부분으로 나누어 시스템을 구성하였다. 영상 장치에서는 화염 영상을 취득하여 영상 인식 기법 알고리즘을 구동하고, 화염 인식 결과를 출력하며 출력 결과에 따라 랜스 깊이 제어량을 계산한 후 랜스의 깊이를 제어하기 위한 모터 구동부를 랜스에 설치하고 이를 제어하도록 하였다. Figure 1은 이러한 전체 시스템 구성과 구동 플로어를 도식화 하여 설명한다.

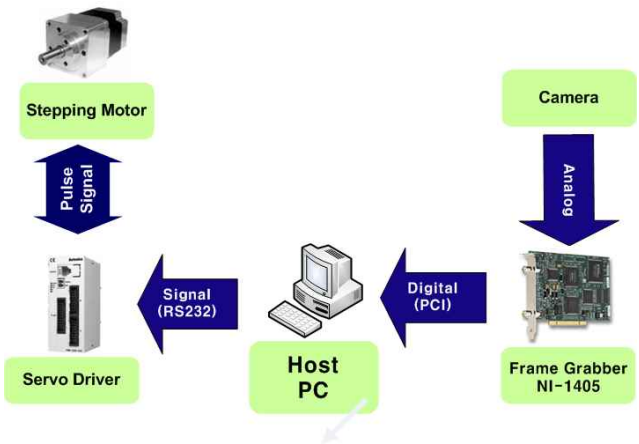

Fig. 1 System Figure

2.1 영상 획득

영상 획득 부분은 단일 CCD 카메라와 NI-1405 frame grabber를 사용하여 국내 제강사의 사용 제품 규격과 연계를 고려하여 선택하였다. 현재 고로에 부착되어 중앙 관제실에 화염 영상을 전송하는 카메라 장치와 호환성을 가지도록 카메라를 선정하여 향후 개발 장치의 시설 접목을 용이토록 하였으며, frame grabber는 화염 영상의 색 정보를 이용하기 위하여 칼라 영상 획득이 가능한 제품을 선정하였다. 아울러 기존 제강사에서 사용중인 National Instrument사 Labview와 연동을 고려해서 Labview 기반의 NI Frame Grabber를 선택하였다, 이를 통해 향후 개발품 설치시 별도의 운용 컴퓨터를 사용하지 않고 기존 컴퓨터에 추가적으로 Frame Grabber Card만 부착하여 기능을 확장할 수 있도록 하였다.

2.2 랜스 제어

랜스는 고압의 고온 산소유동장에 미분탄을 분사하여 화염을 생성하는 연료 공급장치이며 이의 취입 길이에 따라 연소효율 및 점화 상태 조정이 이루어 진다. Fig 2는 유동장과 미분탄 취입 랜스의 구성 형태를 투시한 그림이다. 그림에서 보면 미분탄 취입 랜스가 고온고압의 공기 유동장에 비스듬히 입사되며, 길이가 깊이 들어가면 고로 화염 투입구의 벽면에 직접적인 분사 연소반응으로 침식 현상을 일으켜 자칫 고로 운전을 멈춰야 하는 피해가 발생한다. 또한 깊이가 너무 적게 취입이 되면 고로 내부로 화염이 들어가지 못하고 입구에서 폭발적 연소 반응이 일어나 공기 유동장에 고압의 역압력이 발생하게 되며 연소 효

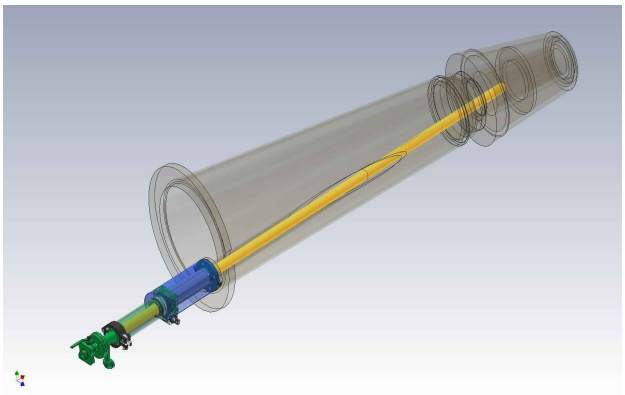

Fig. 2 Lance System Figure

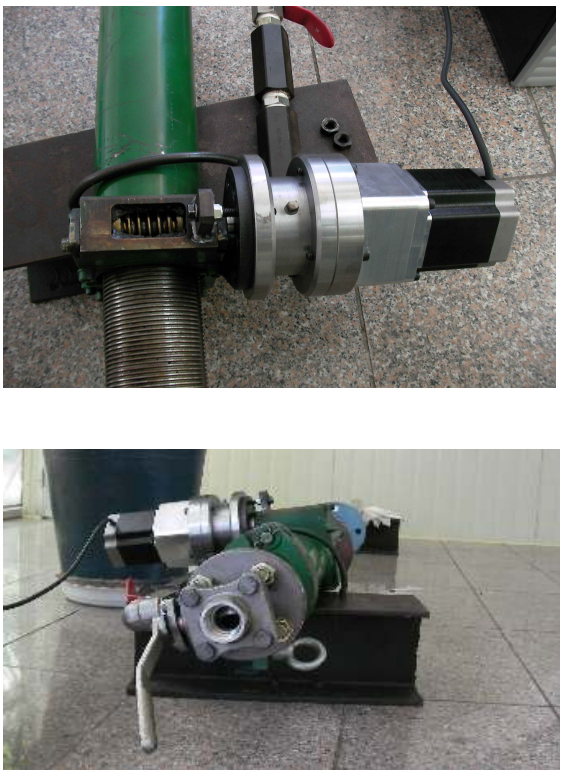

Fig. 3 Lance Driving Motor System

율이 떨어지게 된다.

특히 랜스의 취입 동작시 고온 공기 유동장의 내압때문에 취입을 위한 윔기어 구동 토크가 높기 때문에 충분히 안정적 구동 토크의 모터를 선정하여야 한다. 또한, 기존의 고로 하단부에 부착된 랜스 장비의 여유 공간등을 고려하여 적합한 사이즈의 구동 장치를 설계, 개발하여야한다. 본 연구에서는 제어를 위해 구동 모터로 오토닉스사의 Stepping Motor(A140K-M599-G5)와 모터 드라이버 Motor driver(MD5-MF14)를 선정하였고, 모션 컨트롤러(PMC-1HS-USB)를 사용 제어시스템을 구성하였다. 또한, 기존의 랜스 장비의 취입 기어부에 최대한 밀착 시키며, 사이즈를 소형화 시켜 Fig 3과 같이 장착되도록 구성하였다.

3. 화염 영역 계산 및 크기 조절

고로에 사용되는 화염 영상은 연소에 따른 고에너지의 광량이 CCD에 입사되기 때문에 명도가 매우 높은 영상을 입력받게 된다. 그래서 색조의 구분에 앞서 칼라 영상을 입력 받더라도 흑백 영상에 가깝게 화면을 얻게 된다. 하지만 본 연구

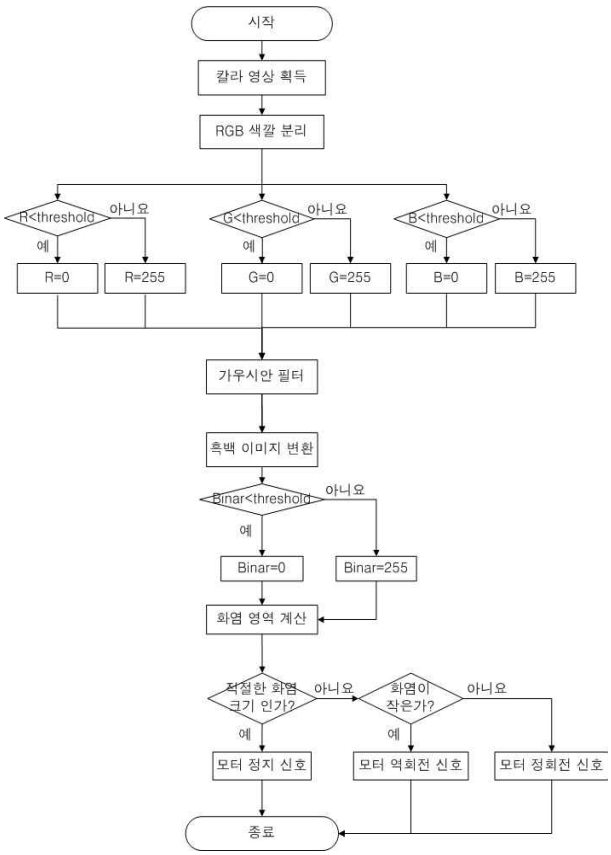

Fig. 4 Flow Chart

에서는 정확한 화염 영역을 추출하기 위해 색분배 과정을 거치도록 하였다. 따라서 단일 명암 모드 보다 좀더 세밀하게 3색분배 칼라 영상에서 화염 영역의 설정 조정 자유도를 늘여 정밀도를 높였다. Fig 4는 본 논문에서 개발한 시스템의 구동 순서를 나타낸 플로어 차트이다. 개발된 프로그램에서는 초기 설정부분에서 사용자가 입사 영상중 화염 영상만 추출하도록 임계값을 조절하는 기능을 추가하였다(5).

임계치 이후 이진화된으로 재구성 영상에 가우시안 필터를 구현하여 폭발 반응에 따른 고주파 노이즈를 제거하여 화염 거동만을 추출하고, 결과 영상에서 최종적으로 화염과 배경을 과정을 거친다. 추출된 화염 영역의 면적 계산을 통해 화염 영역의 퍼센트 분포도를 계산한다. 얻어진 화염 영역 분포도에 따라 입력된 사용자의 설정에 맞도록 랜스 구동 모터에 정/역회전, 정지 명령을 전송하도록 한다. 만약 화염 크기가 설정보다 작게 되면 모터는 랜스가 진입되도록 정회전 구동 명령을 전송하며, 결과적으로 유동장에 미분탄 접촉 면적을 넓혀 화염 생성을 높이도록 한

다. 만약 화염 크기가 크거나 고로 벽면으로 분사 발생이 나타나면, 랜스를 후퇴시키도록 모터를 역회전 구동 명령을 전송하도록 한다.

4. 실 험

고로내 장착 구동 실험을 하기에 앞서 프로토타입의 시스템을 구성하고 화염 영상도 임의의 가스토치를 통해 생성하여 화염에 따른 시스템 구동 실험을 실시하였다.

Fig 5는 가스화염 내에 발화성 물질을 투입하여 고속의 화염영상을 생성한 모습과 영상 획득 후 영상 처리 알고리즘을 거쳐 계산된 화염 영역의 백분율을 화면 상단에 나타낸 결과 영상을 캡쳐한 이미지이다. Fig 6은 화염과 배경이 분리되어 화염 영역만 추출된 결과 영상을 보이고 있

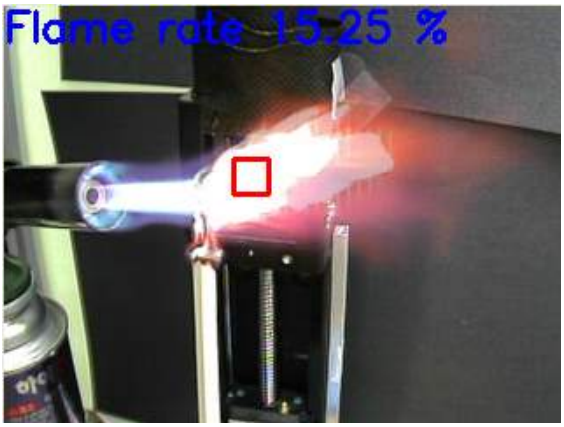

Fig. 5. Burning Input Image

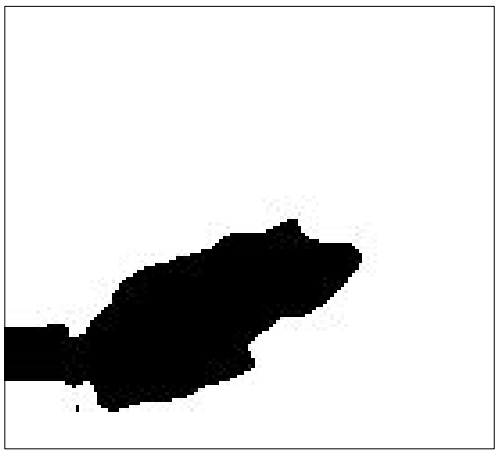

Fig. 6 Flame Image of Fig 5

다. 이렇게 계산된 결과는 미리 입력된 기준 값과 비교하여 모터를 제어하게 되고 설정된 기준 값이 계속 유지되도록 연속적으로 획득 및 계산이 이루어지게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 화염 영상을 통해 연소상태를 확인하고 미분탄 취입 랜스의 깊이를 연소상태와 연동시켜 자동적으로 조절할 수 있는 제어 알고리즘개발을 개발하고 프로토타입을 제작하여 시험 평가 하였다. 이는 향후 고로의 운영 자동화를 발전시킬 수 있는 기초 기술인 동시에 험악한 산업 환경에서 근로자의 안전을 보장하는 안전성 기술이기도 하다. 향후 제품화 단계에서는 입력 화면을 동시에 최대 40개 까지 확장 입력 받아 처리하도록 유연성 및 멀티테스킹 기술의 개발이 필요로 한다. 아울러 랜스 취입 깊이 조절용 밸브의 모터제어도 복수개의 제어를 위해 링타입이나 여러 토폴로지에 따른 네트워킹 기법(6)을 적용하여 실시간 동시제어 환경을 구축하는 추가 개발 기술이 필요로 하다. 또한 화염의 농도와 연소효율간의 상관관계를 분석, 규명하여 단일 화염 영상만으로도 최고의 연소 효율을 얻을 수 있는 연구도 필요로 한다.

후 기

본 연구는 (주)삼우기계 기술연구소와 공동으로 수행한 부산대학교 미래핵심 기계부품소재 산학공동사업단 기술개발과제의 연구 수행 결과 논문입니다.

참고문헌

(1) Bae, D. S., Yang, H. S., Seo, G. Y., and Hu, K. B., 2006, “Dust Coal Mixing Device with Length Adjustable,” KIPO, a patent on a new device.

(2)http://www.posco.co.kr/homepage/docs/kor/html/product/skill/s91c5000040c.html,” Posco.

(3) Lu, G., Yan, Y. and Colechin, M., 2004, "A Digital Imaging BAsed Multifunctional Flame

Monitoring System," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.53, NO.4,pp.1152~1158.
(4) Lu, G., Gilabert, G. and Yan, Y., 2005, "Vision based monitoring and characterisation of combustion flames," Journal of Physics:Conference Series 15, pp.194~200.
(5) Kang, D. J., Ha, J. E., 2003, “Digital Image Processing Using Visual C++," pp.13~51.
(6) Stallings, W., 1997, "Local and Metropolitan Area Networks," Prentice Hall International, Inc.